

(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2020-159983  
(P2020-159983A)

(43) 公開日 令和2年10月1日(2020.10.1)

(51) Int. Cl.  
GO1N 27/90 (2006.01)

F I  
GO1N 27/90

テーマコード(参考)  
2G053

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2019-62222 (P2019-62222)  
(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

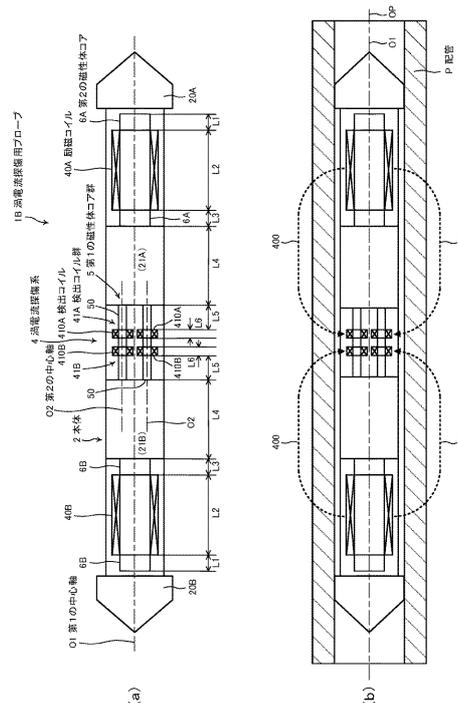
(54) 【発明の名称】 渦電流探傷用プローブ及び渦電流探傷装置

(57) 【要約】

【課題】配管に加工痕が形成されていた場合であっても、加工痕の影響を低減し、微小欠陥を的確に検出する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。

【解決手段】渦電流探傷用プローブ1Bは、間接磁場を利用した渦電流探傷系4を備える。渦電流探傷系4は、第1の磁性体コア群5を有し、第1の中心軸O1に沿って並列して配置された一対の検出コイル群41A、41Bと、第2の磁性体コア6A、6Bを有し、第1の中心軸O1に沿って一対の検出コイル群41A、41Bの軸方向外側に配置された励磁コイル40A、40Bとを備える。第1の磁性体コア群5は、複数の第2の中心軸O2に沿って配置されているとともに、複数の検出コイル41A、41Bの軸方向外側に対して第1のコア長さL5だけ長く配置されており、第1のコア長さL5は、複数の検出コイル41A、41Bの軸方向のコイル長さL6よりも長く構成されている。

【選択図】 図9



**【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、間接磁場を利用した渦電流探傷系を備える渦電流探傷用プローブであって、

前記渦電流探傷系は、

第 1 の磁性体コア群を有し、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た一対の検出コイル群と、

第 2 の磁性体コアを有し、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 の中心軸に沿って配置されているとともに、前記複数の検出コイルの前記軸方向外側に対して第 1 のコア長さだけ長く配置されており、

前記第 1 のコア長さは、

前記複数の検出コイルの前記軸方向のコイル長さよりも長い、

ことを特徴する渦電流探傷プローブ。

**【請求項 2】**

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、

周方向に少なくとも 2 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 2 つの周溝は、

前記軸方向両端部から前記第 1 のコア長さだけ前記軸方向内側の位置にそれぞれ形成されており、

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 2 つの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】**

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】****【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】**

10

20

30

40

50

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。

【 0 0 0 3 】

例えば、特許文献 1 には、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 C 法測定プローブ 1 1 が開示されている。特許文献 1 に開示された R F E C 法測定プローブ 1 1 は、複数の受信コイル 1 4 を備え、複数の受信コイル 1 4 を、中心軸 1 3 を中心とする全周に対して等間隔で配置したものである。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 1 - 2 8 9 8 2 5 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

特許文献 1 に開示された R F E C 法測定プローブ 1 1 は、所謂、マルチコイル型と呼ばれるものであり、複数の検出コイルを周方向に配置するため、各検出コイルのサイズを小さくする必要がある。しかし、検出コイルのサイズを小さくすると、検出コイルによる検出信号も小さくなることから、検出性能 ( S / N 比 ) が低下することになる。

【 0 0 0 6 】

特に、30mm以下の小口径配管は、配管製造時に配管の撓みを矯正加工する工程において、所定のピッチ (例えば、5mm~30mm程度) で僅かな加工痕が配管の表面に形成される。このような加工痕が形成された小口径配管に対して渦電流探傷試験を行う場合、検出コイルによる検出信号が、加工痕の影響を受けることで、加工痕を微小欠陥として誤って検出したり (誤検出)、加工痕による検出信号の乱れの中に実際の微小欠陥による検出信号の乱れが埋もれてしまい (例えば、図 1 1 ( b ) 参照)、微小欠陥を検出できなかったりする (検出漏れ) ことから、微小欠陥を的確に検出することは極めて困難である。

【 0 0 0 7 】

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、配管に加工痕が形成されていた場合であっても、加工痕の影響を低減し、微小欠陥を的確に検出する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 】

【 0 0 0 8 】

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、間接磁場を利用した渦電流探傷系を備える渦電流探傷用プローブであって、

前記渦電流探傷系は、

第 1 の磁性体コア群を有し、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た一对の検出コイル群と、

第 2 の磁性体コアを有し、前記第 1 の中心軸に沿って前記一对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、

前記一对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 の中心軸に沿って配置されているとともに、前記複数の検出コイルの

10

20

30

40

50

前記軸方向外側に対して第 1 のコア長さだけ長く配置されており、

前記第 1 のコア長さは、

前記複数の検出コイルの前記軸方向のコイル長さよりも長い、ことを特徴する。

【 0 0 0 9 】

また、上記渦電流探傷用プローブにおいて、

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、

前記一对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。

10

【 0 0 1 0 】

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、

周方向に少なくとも 2 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 2 つの周溝は、

前記軸方向両端部から前記第 1 のコア長さだけ前記軸方向内側の位置にそれぞれ形成されており、

前記一对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 2 つの周溝にそれぞれ巻回されている、ことを特徴する。

20

【 0 0 1 1 】

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对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对の励磁コイルを備える、ことを特徴する。

【 0 0 1 2 】

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 】

【 0 0 1 3 】

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、第 1 の磁性体コア群が、第 1 の中心軸に平行な軸方向において複数の検出コイルの軸方向外側に対して第 1 のコア長さだけ長く配置されており、その第 1 のコア長さは、複数の検出コイルの軸方向のコイル長さよりも長く構成されているので、配管に加工痕が形成されていた場合であっても、加工痕の影響を低減し、微小欠陥を的確に検出することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 4 】

【 図 1 】本発明の第 1 の実施形態に係る渦電流探傷装置 1 0 0 の全体構成の一例を示す模式図である。

40

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

【 図 3 】本発明の第 1 の実施形態に係るプローブ 1 A の内部構造を示す斜視図である。

【 図 4 】本発明の第 1 の実施形態に係るプローブ 1 A 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 】本発明の第 1 の実施形態に係る第 1 の磁性体コア 5 0 の一例を示し、( a ) は斜視図、( b ) は正面図である。

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

50

【図 7】本発明の第 1 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】本発明の第 1 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。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態に係るプローブ 1B の一例を示し、(a) はプローブ 1B が配管 P に挿入されていない状態、(b) はプローブ 1B が配管 P に挿入された状態を示す模式図である。

【図 10】本発明の第 2 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 11】(a) は、本発明の第 1 及び第 2 の実施形態に係るプローブ 1A、1B の検出性能に関する評価結果として、配管 P に形成された加工痕 M のピッチ (横軸) と、第 1 のコア長さ L5 (縦軸) との関係を示すグラフである。(b) は、本発明の第 1 及び第 2 の実施形態に係るプローブ 1A、1B において、加工痕 M が形成された配管 P に対する検出信号の一例を示す図である。

【図 12】本発明の第 1 及び第 2 の実施形態に係るプローブ 1A、1B の検出性能に関する評価結果として、励磁周波数毎の第 1 のコア長さ L5 (横軸) と、S/N 比 (縦軸) との関係を示し、(a) は励磁周波数 150 Hz、(b) は励磁周波数 300 Hz、(c) は励磁周波数 600 Hz に対するグラフである。

【図 13】本発明の第 1 及び第 2 の実施形態に係るプローブ 1A、1B の検出性能に関する評価結果として、本発明を適用した適用例 (第 1 のコア長さ L5 = 4.0 mm) と、本発明を適用していない比較例とについて、励磁周波数 (横軸) と、S/N 比 (縦軸) との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

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。

【0016】

(第 1 の実施形態)

図 1 は、本発明の第 1 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) 1A と、プローブ 1A 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。

【0017】

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、19.0 mm 程度、その内径 R2 が、12.8 mm 程度、管肉厚が、3.1 mm 程度である。配管 P には、配管製造時に配管 P の撓みを矯正加工する工程において、所定のピッチ (例えば、5 mm ~ 30 mm 程度) の加工痕 M が形成されている。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。

【0018】

プローブ 1A 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 1A 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。

【0019】

処理装置 11 は、プローブ 1A により検出された検出信号を処理する装置である。具体

10

20

30

40

50

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 0 】

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

プローブ 1 A 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 2 】

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 3 】

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 4 】

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 5 】

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 6 】

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 からなる一対の励磁コイル 4 0 A、4 0 B と、第 1 の検出コイル群 4 1 A 及び第 2 の検出コイル群 4 1 B からなる一対の検出コイル群 4 1 A、4 1 B とを備える。

#### 【 0 0 2 7 】

一対の検出コイル群 4 1 A、4 1 B は、図 2 ( a )、図 3 に示すように、第 1 の中心軸 O 1 に沿って一対の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B 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 4 0 A、4 0 B は、図 2 ( a )、図 3 に示すように、第 1 の中心軸 O 1 に沿って一対の検出コイル群 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。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 8 】

一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 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 4 1 A、4 1 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 R 3 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 4 1 0 A、4 1 0 B により構成されている。そして、複数の検出コイル 4 1 0 A、4 1 0 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。

## 【 0 0 2 9 】

なお、本実施形態では、第 1 の検出コイル群 4 1 A を構成する複数の検出コイル 4 1 0 A の個数は 1 2 個、第 2 の検出コイル群 4 1 B を構成する複数の検出コイル 4 1 0 B の個数は 1 2 個であるものとして説明するが、検出コイル 4 1 0 A、4 1 0 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。

10

## 【 0 0 3 0 】

一对の励磁コイル 4 0 A、4 0 B は、ケーブル 1 2 を介して第 2 の励磁出力部 1 1 1 に接続されている。一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B は、ケーブル 1 2 を介して差動結線により第 2 の検出出力部 1 1 3 に接続されている。一对の励磁コイル 4 0 A、4 0 B 及び一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 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 3 1 】

第 2 の渦電流探傷系 4 では、第 2 の励磁出力部 1 1 1 から一对の励磁コイル 4 0 A、4 0 B に所定の周波数（例えば、1 0 0 H z ~ 1 0 0 0 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、一对の励磁コイル 4 0 A、4 0 B 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 4 1 A、4 1 B が配置された位置で配管 P 内に流れ込む磁束 4 0 0 の流路（間接磁場）を形成する。そして、一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B は、磁束 4 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、間接磁場を利用した渦電流探傷試験（R F - E C T）を行う。

20

## 【 0 0 3 2 】

したがって、プローブ 1 A 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 E C T 及び R F - E C T 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。

30

## 【 0 0 3 3 】

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 2 0 A、2 0 B と、第 1 の励磁コイル 4 0 A 及び第 1 の検出コイル群 4 1 A の間を連結する第 1 の連結部 2 1 A と、第 2 の励磁コイル 4 0 B 及び第 2 の検出コイル群 4 1 B の間を連結する第 2 の連結部 2 1 B と、ケーブル 1 2 を挿通可能な筒状部 2 2 とを備える。

## 【 0 0 3 4 】

ガイド部 2 0 A、2 0 B は、配管 P の直径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 2 0 A、2 0 B 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 O 1 が、配管 P の配管中心軸 O P と同軸に配置される。

40

## 【 0 0 3 5 】

第 1 の連結部 2 1 A 及び第 2 の連結部 2 1 B は、ケーブル 1 2 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 2 2 は、第 1 の連結部 2 1 A 及び第 2 の連結部 2 1 B に取り付けられることで、第 1 の中心軸 O 1 に沿って配置されている。また、筒状部 2 2 は、図 4 ( a )、( b ) に示すように、一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B 及び一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B の内側に配置されている。

## 【 0 0 3 6 】

また、プローブ 1 A は、図 2 ( a )、図 3 に示すように、一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B 及び一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B が巻回された第 1 の磁性体コア群 5 と

50

、一对の励磁コイル 40 A、40 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 とをさらに備える。

【0037】

第 1 の磁性体コア群 5 及び一对の第 2 の磁性体コア 6 A、6 B 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。

【0038】

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 410 A、410 B 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。

10

【0039】

一对の励磁兼検出コイル 30 A、30 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 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 41 A、41 B の各々を構成する複数の検出コイル 410 A、410 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 50 にそれぞれ巻回されている。

【0040】

一对の第 2 の磁性体コア 6 A、6 B 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。

20

【0041】

図 5 は、本発明の第 1 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 501 A、501 B、502 A、502 B を有する。なお、棒状部材 500 は、周溝 501 A、501 B、502 A、502 B の軸方向外側に対して鏢状に形成された鏢状部 ( 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。

【0042】

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 21 A 及び第 2 の連結部 21 B 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。

30

【0043】

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

【0044】

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

40

【0045】

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 40 A、40 B のコイル長さ L2 は、例えば、30 mm ~ 100 mm 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、6 mm ~ 10 mm 程度である。第 2 の磁性体コア 6 A、6 B は、励磁コイル 40 A、40 B 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 6 A、6 B の第 2 のコア長さ L1、L3 は、例えば、例えば、1 mm ~ 5 mm 程度である。第 1 の連結部 21 A 及び第 2 の連結部 21 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

50

4 は、例えば、20 mm ~ 50 mm 程度である。

【0046】

図5(b)に示すように、一対の検出コイル群41A、41Bを構成する検出コイル410A、410Bのコイル長さL6は、0.5 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30A、30Bのコイル長さL8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R2よりも小さく、例えば、6 mm ~ 10 mm 程度である。

【0047】

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、0.5 mm ~ 3 mm 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、0.5 mm ~ 3 mm 程度である。

10

【0048】

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、1 mm ~ 10 mm 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。

【0049】

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

20

【0050】

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。

【0051】

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。

30

【0052】

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。

40

【0053】

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。

【0054】

なお、芯線120a ~ 123a及びシールド線120b ~ 123bは、ケーブル12を

50

構成する。また、図6では図示していないが、第2の検出入口部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。

**【0055】**

図7は、本発明の第1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。

10

**【0056】**

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。

**【0057】**

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に入力された励磁信号は、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。

20

**【0058】**

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。

30

**【0059】**

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。

**【0060】**

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に入力された励磁信号は、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。

40

**【0061】**

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、一对の検出コイル群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、一对の検出コイル群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。

**【0062】**

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

50

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。

【 0 0 6 3 】

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。

10

【 0 0 6 4 】

図 8 は、本発明の第 1 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。

【 0 0 6 5 】

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。

20

【 0 0 6 6 】

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。

30

【 0 0 6 7 】

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。

【 0 0 6 8 】

以上のように、本発明の第 1 の実施形態に係るプローブ 1 A 及びプローブ 1 A 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 ( 一対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 ( 一対の励磁コイル 4 0 A、4 0 B 及び一対の検出コイル群 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、配管 P の同一の場所に対して E C T 及び R F - E C T を同時に行うことができる。

40

【 0 0 6 9 】

( 第 2 の実施形態 )

図 9 は、本発明の第 2 の実施形態に係るプローブ 1 B の一例を示し、( a ) はプローブ 1 B が配管 P に挿入されていない状態、( b ) はプローブ 1 B が配管 P に挿入された状態を示す模式図である。

50

## 【 0 0 7 0 】

本実施形態に係るプローブ 1 B は、第 1 の実施形態に係るプローブ 1 A と比較して、間接磁場を利用した第 2 の渦電流探傷系 4 を備える点は共通するが、直接磁場を利用した第 1 の渦電流探傷系 3 を備えていない点で異なるものがある。その他の基本的な構成は共通するため、説明を省略する。

## 【 0 0 7 1 】

すなわち、プローブ 1 B が備える渦電流探傷系 4 は、第 1 の磁性体コア群 5 を有し、第 1 の中心軸 O 1 に沿って第 1 の中心軸 O 1 と平行な軸方向に並列して配置された一対の検出コイル群 4 1 A、4 1 B と、第 2 の磁性体コア 6 A、6 B を有し、第 1 の中心軸 O 1 に沿って一対の検出コイル群 4 1 A、4 1 B の軸方向外側にそれぞれ配置されて、第 1 の中心軸 O 1 をコイルの中心とする一対の励磁コイルとを備える。

10

## 【 0 0 7 2 】

一対の検出コイル群 4 1 A、4 1 B の各々は、第 1 の実施形態と同様に、第 1 の中心軸 O 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て、第 1 の中心軸 O 1 に平行な複数の第 2 の中心軸 O 2 をコイルの中心とする複数の検出コイル 4 1 0 A、4 1 0 B により構成されている。

## 【 0 0 7 3 】

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（本実施形態では、12 個）の複数の第 1 の磁性体コア 5 0 により構成されている。複数の第 1 の磁性体コア 5 0 の各々は、第 2 の中心軸 O 2 に沿ってそれぞれ配置されている。

20

## 【 0 0 7 4 】

一対の検出コイル群 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、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。

## 【 0 0 7 5 】

図 10 は、本発明の第 2 の実施形態に係る第 1 の磁性体コア 5 0 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 5 0 の各々は、例えば、断面が円形状の棒状部材 5 0 0 により構成されている。複数の棒状部材 5 0 0 の各々は、棒状部材 5 0 0 の周方向に対して全周に亘って形成された 2 つの周溝 5 0 2 A、5 0 2 B を有する。

## 【 0 0 7 6 】

複数の棒状部材 5 0 0 の各々は、その軸方向両端部が、例えば、第 1 の連結部 2 1 A 及び第 2 の連結部 2 1 B に取り付けられることで、棒状部材 5 0 0 の軸方向が複数の第 2 の中心軸 O 2 に沿ってそれぞれ配置されている。

30

## 【 0 0 7 7 】

一対の検出コイル群 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、2 つの周溝 5 0 2 A、5 0 2 B にそれぞれ巻回されている。

## 【 0 0 7 8 】

ここで、プローブ 1 B の外形、特に軸方向の長さについて、図 9 ( a )、図 10 ( b ) を参照しつつ説明する。まず、図 9 ( 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、30 mm ~ 100 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 ~ 10 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、20 mm ~ 50 mm 程度である。

40

## 【 0 0 7 9 】

また、図 10 ( b ) に示すように、一対の検出コイル群 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。第 1 の検出コイル群 4 1 A を構成する検出

50

コイル410Aと第2の検出コイル群41Bを構成する検出コイル410Bとの間のコイル間長さL10は、例えば、0.5mm~3mm程度である。

【0080】

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、2つの周溝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。

【0081】

(第1の磁性体コア50の第1のコア長さL5について)

次に、第1及び第2の実施形態に係るプローブ1A、1Bにおいて、加工痕Mが形成された配管Pに対して渦電流探傷試験を行う場合の第1の磁性体コア50の第1のコア長さL5と、S/N比との関係について説明する。

【0082】

図11(a)は、本発明の第1及び第2の実施形態に係るプローブ1A、1Bの検出性能に関する評価結果として、配管Pに形成された加工痕Mのピッチ(横軸)と、第1のコア長さL5(縦軸)との間の関係を示すグラフである。図11(b)は、本発明の第1及び第2の実施形態に係るプローブ1A、1Bにおいて、加工痕Mが形成された配管Pに対する検出信号の一例を示す図である。

【0083】

図11(a)では、第2の励磁出力部111から一対の励磁コイル40A、40Bに3種類の励磁周波数(150Hz、300Hz、600Hz)の励磁電流をそれぞれ出力した場合において、第1のコア長さL5を1mm~7mmの範囲で変化させたときに、最も高いS/N比が得られた第1のコア長さL5を示す。ここで、S/N比は、図11(b)に示すように、加工痕Mに対するN信号を基準として、欠陥に対するS信号の大きさを比率で示すものである。

【0084】

なお、第1のコア長さL5以外の軸方向の長さとして、第1の実施形態に係るプローブ1Aでは、励磁コイル40A、40Bのコイル長さL2は50mm、第2の磁性体コア6A、6Bの第2のコア長さL1、L3は4mm、第1の磁性体コア50と第2の磁性体コア6A、6Bとの間のコア間長さL4は30mm、検出コイル410A、410Bのコイル長さL6は1mm、励磁兼検出コイル30A、30Bのコイル長さL8は0.5mm、検出コイル410A、410B及び励磁兼検出コイル30A、30Bの間のコイル間長さL7は1.25mm、一対の励磁兼検出コイル30A、30Bの間のコイル間長さL9は0.5mmとした。

【0085】

また、第2の実施形態に係るプローブ1Bでは、励磁コイル40A、40Bのコイル長さL2は50mm、第2の磁性体コア6A、6Bの第2のコア長さL1、L3は4mm、第1の磁性体コア50と第2の磁性体コア6A、6Bとの間のコア間長さL4は30mm、検出コイル410A、410Bのコイル長さL6は1mm、検出コイル410A及び検出コイル410Bの間のコイル間長さL10は、1.25mmとした。

【0086】

上記各パラメータ(L1~L4、L6からL10)の値は、各パラメータを所定の範囲内において所定の変化量(例えば、0.5mm)で変化させて数値計算を繰り返すことで、S/N比が高くなる組み合わせとして求めたものである。

【0087】

このとき、第1のコア長さL5の影響を評価したところ、図11(a)に示すように、加工痕Mのピッチが5mm~30mmの全ての範囲において、第1のコア長さL5は、検出コイル410A、410Bのコイル長さL6である1mmよりも大きい場合に、最も高いS/N比が得られることが分かった。

10

20

30

40

50

## 【0088】

図12は、本発明の第1及び第2の実施形態に係るプローブ1A、1Bの検出性能に関する評価結果として、励磁周波数毎の第1のコア長さL5（横軸）と、S/N比（縦軸）との間の関係を示し、（a）は励磁周波数150Hz、（b）は励磁周波数300Hz、（c）は励磁周波数600Hzに対するグラフである。

## 【0089】

図12（a）～（c）では、配管Pに形成された加工痕Mのピッチが、15mm、17.5mm、20mmである場合において、第1の磁性体コア50の第1のコア長さL5を1mm～7mm（（b）では1.0mm～4.5mm、（c）では1.0mm～4.0mm）の範囲で変化させたときのS/N比の値を示す。

10

## 【0090】

図12（a）～（c）に示すように、励磁周波数が、150Hz、300Hz、600Hzであって、加工痕Mのピッチが、15mm、17.5mm、20mmの条件では、第1のコア長さL5が1mmよりも大きい場合、S/N比の値は、2よりも大きくなることが分かった。そして、第1のコア長さL5が1mmよりも長くなるほど、S/N比は上昇し、上昇したときのS/N比のピークは、励磁周波数及び加工痕Mのピッチに応じて変動するが、第1のコア長さL5が、3mm～6mm程度であることが分かった。

## 【0091】

図13は、本発明の第1及び第2の実施形態に係るプローブ1A、1Bの検出性能に関する評価結果として、本発明を適用した適用例（第1のコア長さL5＝4.0mm）と、本発明を適用していない比較例とについて、励磁周波数（横軸）と、S/N比（縦軸）との間の関係を示すグラフである。

20

## 【0092】

本発明を適用していない比較例、すなわち、第1の磁性体コア50が、検出コイル410A、410Bの軸方向外側に長く配置されていない場合には、図13に示す比較例のグラフG2のように、励磁周波数100Hz、150Hzに対するS/N比は、2よりも小さくなり、微小欠陥の誤検出や検出漏れが発生する可能性が高いことが分かった。

## 【0093】

一方、本発明を適用した適用例、すなわち、第1の磁性体コア50が、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、その第1のコア長さL5（＝4.0mm）が、検出コイル410A、410Bのコイル長さL6（＝1mm）よりも十分大きい場合には、図13に示す適用例のグラフG1のように、励磁周波数の全ての範囲（100Hz～1000Hz）に対するS/N比は、2よりも大きくなり、微小欠陥の誤検出や検出漏れが発生する可能性が低いことが分かった。また、適用例のグラフG1と、比較例のグラフG2とを比較すると、励磁周波数の全ての範囲（100Hz～1000Hz）において、適用例のS/N比は、比較例のS/N比よりも大きくなることが分かった。

30

## 【0094】

以上のように、本発明の第1及び第2の実施形態に係るプローブ1A、1B及びプローブ1A、1Bを備える渦電流探傷装置100によれば、第1の磁性体コア群5が、第1の中心軸O1に平行な軸方向において複数の検出コイル410A、410Bの軸方向外側に対して第1のコア長さL5だけ長く配置されており、その第1のコア長さL5は、複数の検出コイル410A、410Bの軸方向のコイル長さL6よりも長く構成されているので、配管Pに加工痕Mが形成されていた場合であっても、加工痕Mの影響を低減し、微小欠陥を的確に検出することができる。

40

## 【0095】

また、一对の検出コイル群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る。

## 【0096】

50

また、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)、図5(b)、図10(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。また、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ができる。

#### 【0097】

特に、第1の実施形態では、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

#### 【0098】

また、複数の第1の磁性体コア50の各々は、周方向に少なくとも2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。

#### 【0099】

また、励磁コイルとして、一对の励磁コイル40A、40Bが、第1の中心軸O1に沿って一对の検出コイル群41A、41Bの軸方向外側にそれぞれ配置されているので、磁性体により磁化力を高めることにより、安定した間接磁場を形成することができる。

20

#### 【0100】

(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。

#### 【0101】

例えば、上記実施形態では、間接磁場を利用した第2の渦電流探傷系4は、第1の中心軸O1に沿って一对の検出コイル群41A、41Bの軸方向外側にそれぞれ配置された一对の励磁コイル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、一对の励磁コイル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。

30

#### 【符号の説明】

#### 【0102】

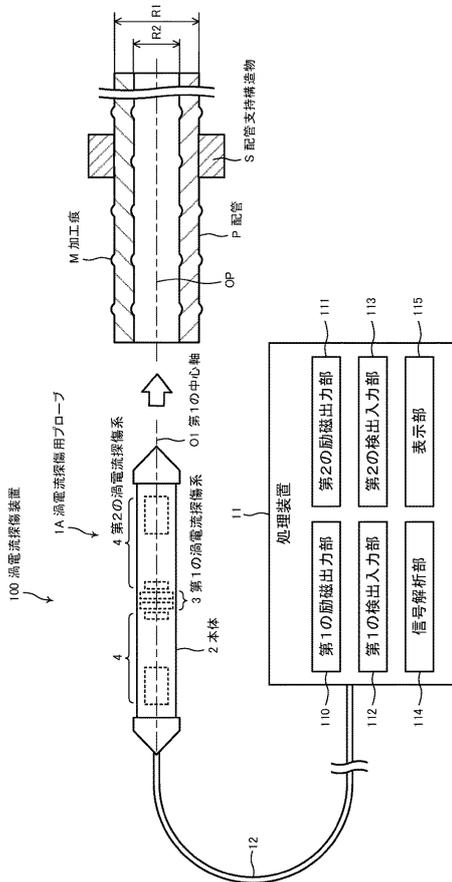
1 渦電流探傷用プローブ、2 本体、3 第1の渦電流探傷系、  
 4 第2の渦電流探傷系、5 第1の磁性体コア群、6A、6B 第2の磁性体コア、  
 11 処理装置、12 ケーブル、20A、20B ガイド部、  
 21A 第1の連結部、21B 第2の連結部、22 筒状部、  
 30A 第1の励磁兼検出コイル、30B 第2の励磁兼検出コイル、  
 40A 第1の励磁コイル、40B 第2の励磁コイル、  
 41A 第1の検出コイル群、41B 第2の検出コイル群、  
 50 第1の磁性体コア、100 渦電流探傷装置、  
 110 第1の励磁出力部、111 第2の励磁出力部、112 第1の検出入力部、  
 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、

40

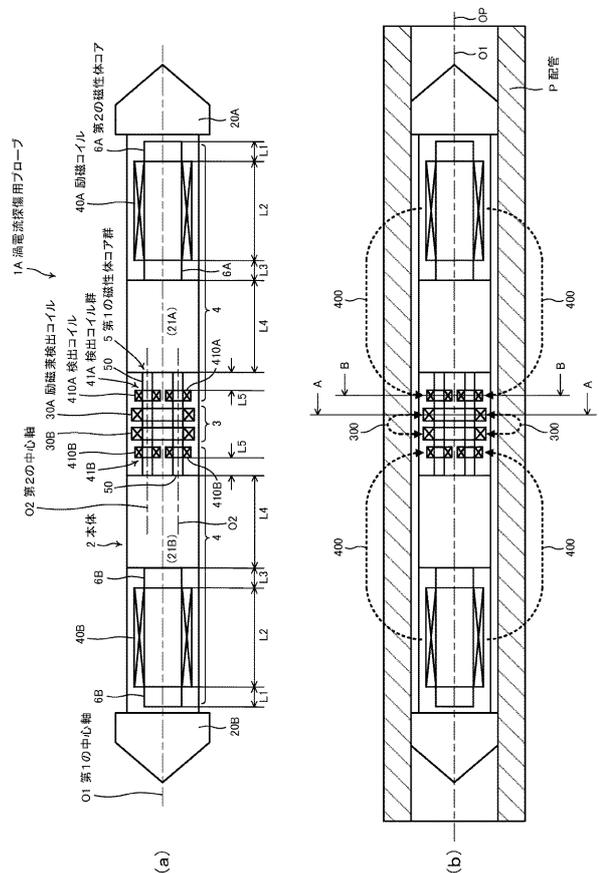
50

- 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、
- 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、M 加工痕

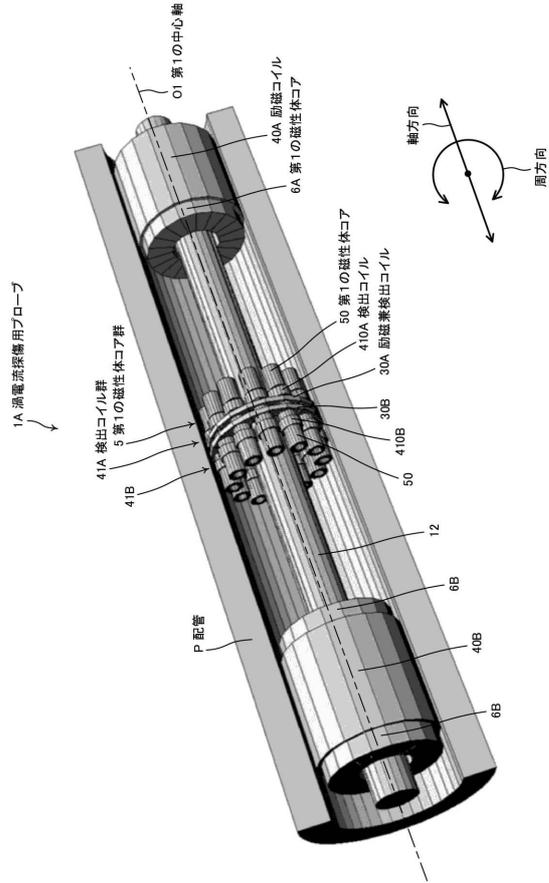
【図1】



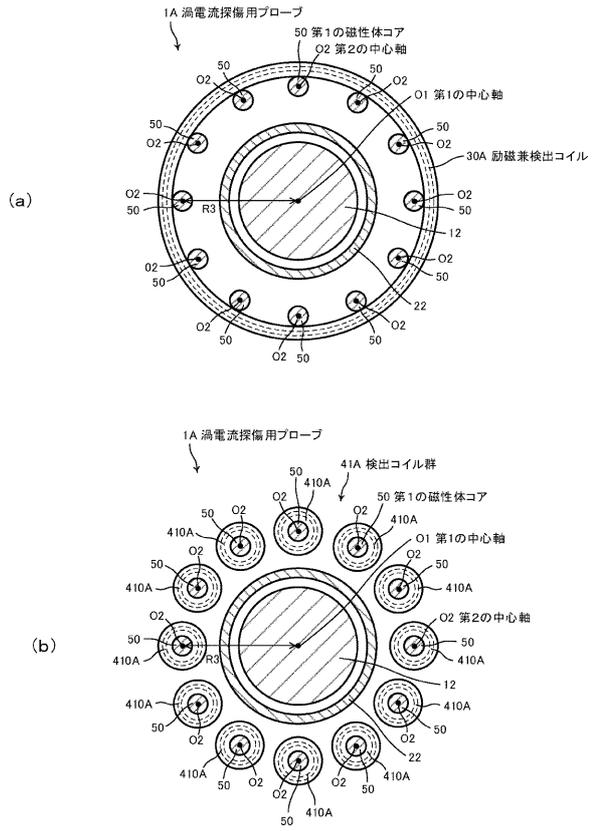
【図2】



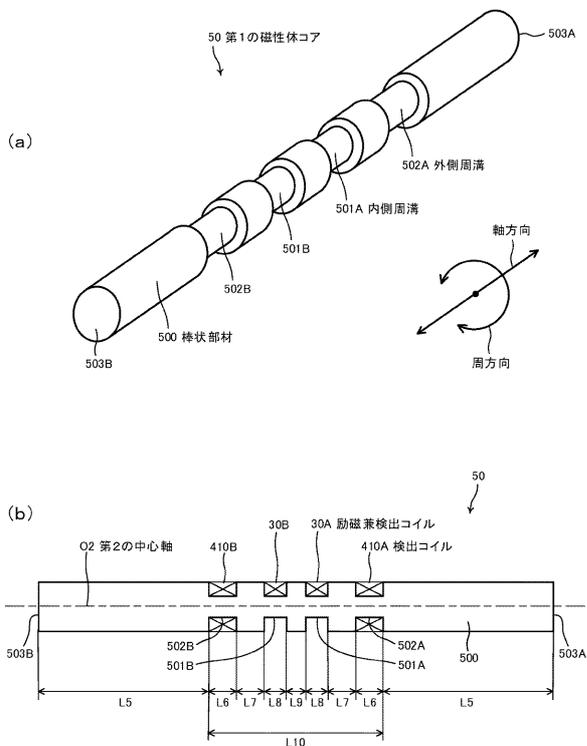
【図3】



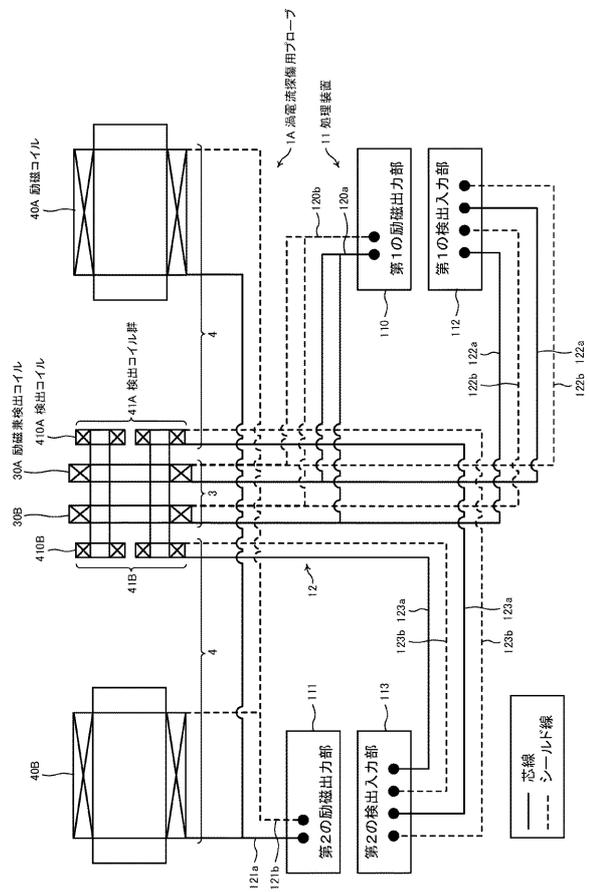
【図4】



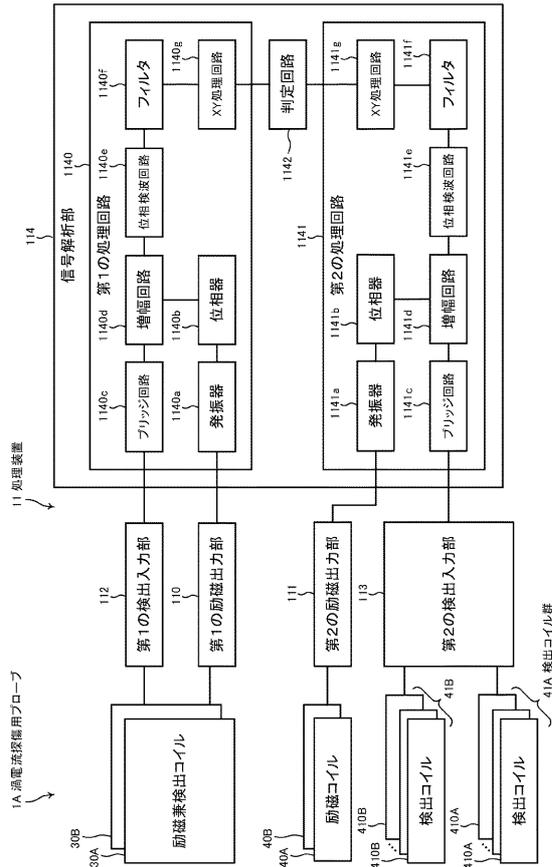
【図5】



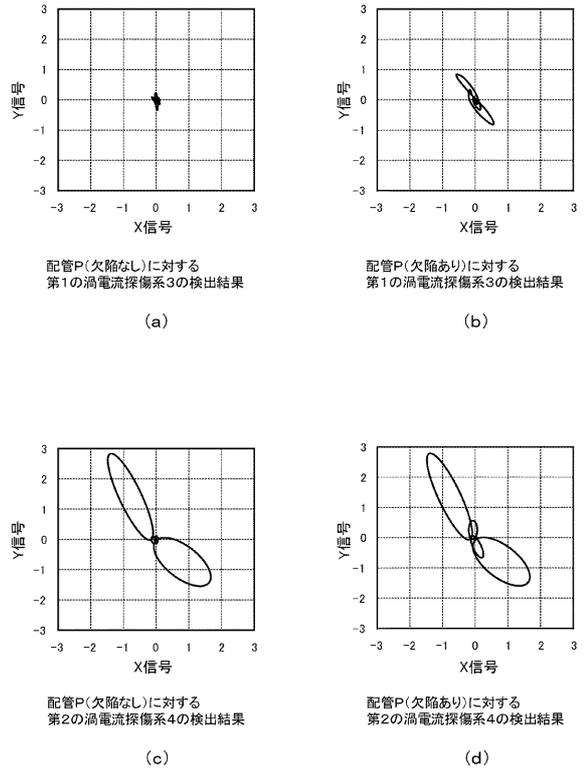
【図6】



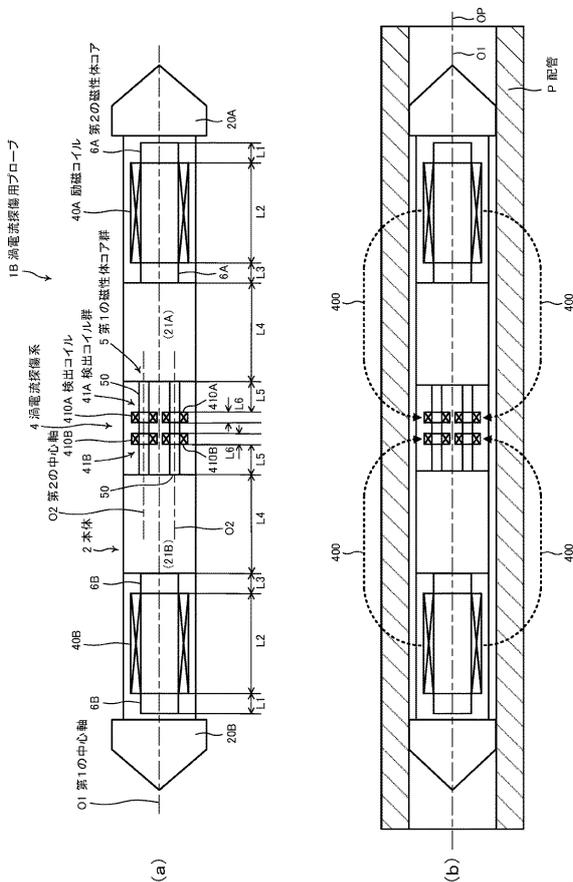
【図7】



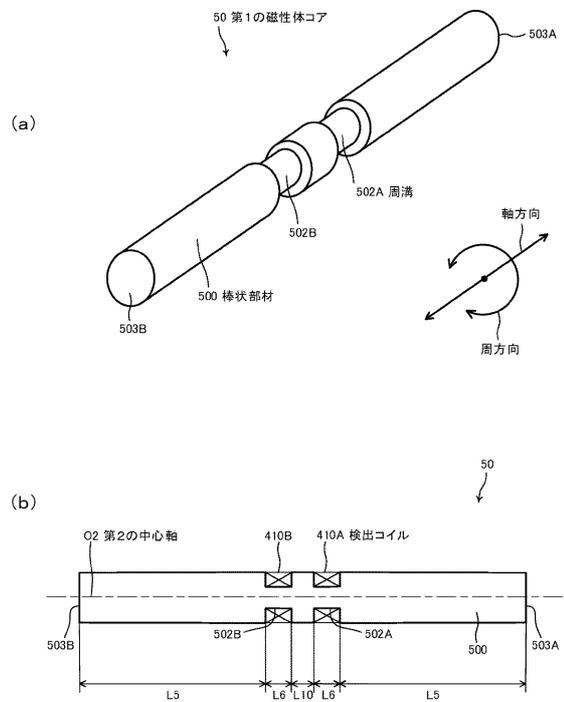
【図8】



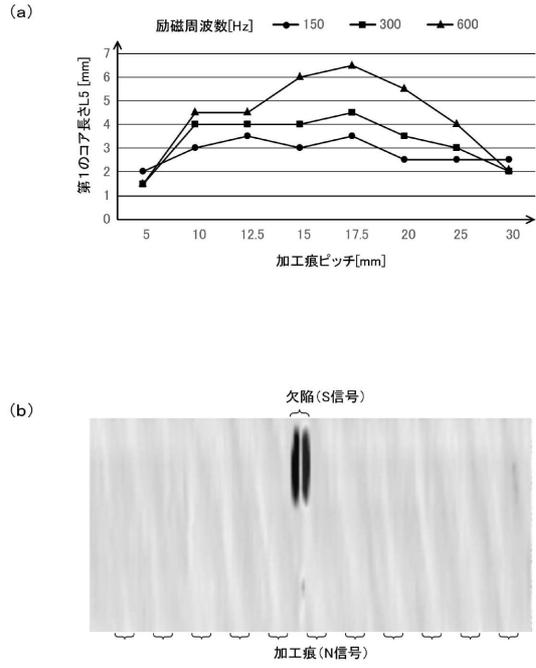
【図9】



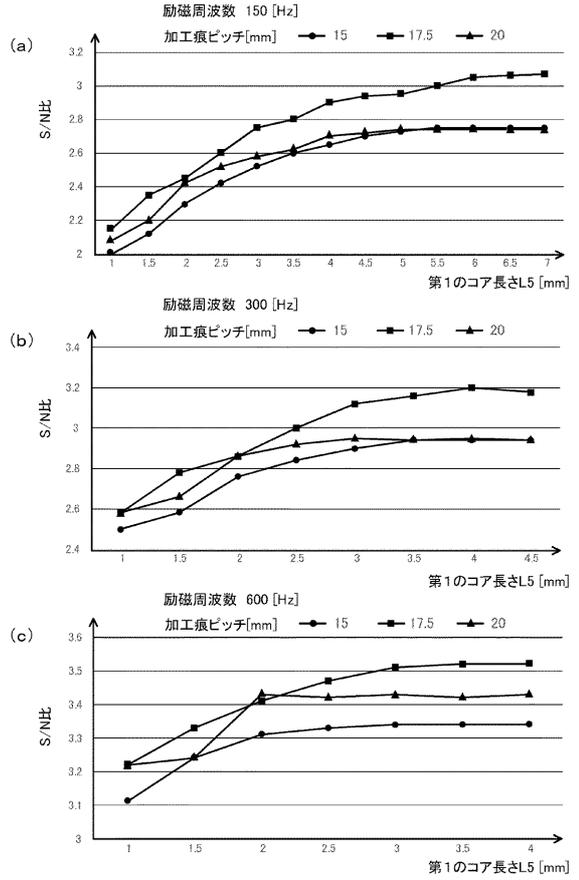
【図10】



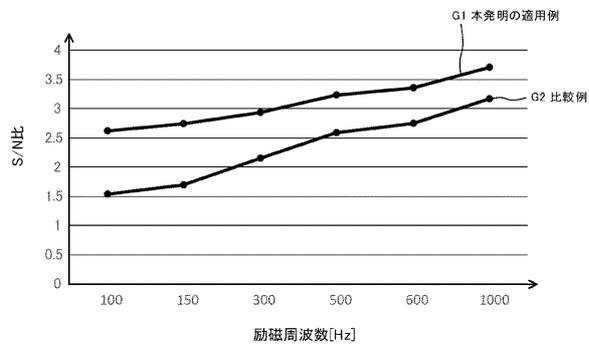
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



---

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