

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6298371号
(P6298371)

(45) 発行日 平成30年3月20日 (2018. 3. 20)

(24) 登録日 平成30年3月2日 (2018. 3. 2)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 N 29/06 (2006. 01)

GO 1 N 29/06

GO 1 N 29/265 (2006. 01)

GO 1 N 29/265

GO 1 N 29/44 (2006. 01)

GO 1 N 29/44

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2014-128270 (P2014-128270)
 (22) 出願日 平成26年6月23日 (2014. 6. 23)
 (65) 公開番号 特開2016-8845 (P2016-8845A)
 (43) 公開日 平成28年1月18日 (2016. 1. 18)
 審査請求日 平成29年3月8日 (2017. 3. 8)

(73) 特許権者 507250427
 日立GEニュークリア・エナジー株式会社
 茨城県日立市幸町三丁目1番1号
 (74) 代理人 110001829
 特許業務法人開知国際特許事務所
 (72) 発明者 遠藤 正男
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 株式会社日立製作所
 内
 (72) 発明者 大島 佑己
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 株式会社日立製作所
 内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波探傷装置及び超音波探傷方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

配管の外周面に接触する曲面を有するシュー、及び前記配管の周方向に配列された複数の圧電素子を有するアレイセンサを備え、前記アレイセンサから前記シューを介し前記配管の周方向に向けて超音波ビームを送信するとともに反射波を受信する超音波探傷プローブと、

前記プローブを前記配管の周方向に移動可能とし、かつ前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態を調整可能なプローブ走査機構と、

任意のプローブ位置にてビーム送信角を変化させるセクタ電子走査を実行して、ビーム送信角毎に反射波の波形データを取得する送受信部と、

任意のプローブ位置で取得した波形データのうち、少なくとも2つのビーム送信角における多重反射波の波形データを抽出し、抽出した波形データを互いに比較することにより、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であるか否かを判定する接触状態判定部とを備え、

前記接触状態判定部は、

前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であると判定した場合に、任意のプローブ位置で取得した波形データをデータ記憶部に保存させ、

一方、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好でないと判定した場合に、前記プローブ走査機構で前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態を調整させ、その後、前記送受信部でセクタ電子走査を再実行させることを特徴とする超音波探傷

10

20

装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波探傷装置において、

前記接触状態判定部は、前記アレイセンサの中心点を通る前記シューの曲面の法線方向で超音波を送信するビーム送信角度を 0 度としたときに、予め設定された絶対値が等しい正のビーム送信角度及び負のビーム送信角度における多重反射波の波形データを抽出し、それらの互いに対応する反射波の強度の差分を演算し、この差分が所定の閾値より小さいか否かを判定することにより、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であるか否かを判定することを特徴とする超音波探傷装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の超音波探傷装置において、

前記プローブ走査機構は、前記差分に応じて、前記配管の外周面に対する前記プローブの傾きを調整して、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態を調整することを特徴とする超音波探傷装置。

【請求項 4】

配管の外周面に接触する曲面を有するシュー、及び前記配管の周方向に配列された複数の圧電素子を有するアレイセンサを備えた超音波探傷プローブを用い、前記アレイセンサから前記シューを介し前記配管の周方向に向けて超音波ビームを送信するとともに反射波を受信する超音波探傷方法であって、

任意のプローブ位置にてビーム送信角を変化させるセクタ電子走査を実行して、ビーム送信角毎に反射波の波形データを取得し、

任意のプローブ位置で取得した波形データのうち、少なくとも 2 つのビーム送信角における多重反射波の波形データを抽出し、抽出した波形データを互いに比較することにより、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であるか否かを判定し、

前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であると判定した場合に、任意のプローブ位置で取得した波形データをデータ記憶部に保存し、

一方、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好でないと判定した場合に、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態を調整し、その後、セクタ電子走査を再実行することを特徴とする超音波探傷方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の超音波探傷方法において、

前記アレイセンサの中心点を通る前記シューの曲面の法線方向で超音波を送信するビーム送信角度を 0 度としたときに、予め設定された絶対値が等しい正のビーム送信角度及び負のビーム送信角度における多重反射波の波形データを抽出し、それらの互いに対応する反射波の強度の差分を演算し、この差分が所定の閾値より小さいか否かを判定することにより、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であるか否かを判定することを特徴とする超音波探傷方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の超音波探傷方法において、

前記差分に応じて、前記配管の外周面に対する前記プローブの傾きを調整して、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態を調整することを特徴とする超音波探傷方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、配管を検査する超音波探傷装置及び超音波探傷方法に関する。

【背景技術】

【0002】

発電プラントや化学・石油プラントなどの配管は、運転環境によって、その内面に割れ欠陥（詳細には、隙間腐食や応力腐食割れなど）が発生する可能性がある。そこで、超音

10

20

30

40

50

波探傷法などで配管を検査し、配管の健全性を評価する必要がある。

【 0 0 0 3 】

特許文献 1 等に記載のように、フェーズドアレイ式の超音波探傷法では、複数の圧電素子を有するアレイセンサを用いる。そして、各圧電素子に駆動信号を送信して、各圧電素子から配管の内部に超音波を送信する。このとき、遅延パターンに基づき、各圧電素子へ送信する駆動信号を遅延することにより、各圧電素子の超音波の送信タイミングをずらし、超音波ビームを集束させる。したがって、遅延パターンにより、超音波ビームの焦点位置や送信角度等を変化させることが可能である。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

10

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 0 - 2 7 6 4 6 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 】

配管の周方向に進展した割れを探傷する場合には、配管の軸方向に向けて超音波を送受信する。そのため、複数の圧電素子を配管の軸方向に配列して、配管の軸方向断面におけるビーム送信角を変化させるセクタ電子走査を行うことが好ましい。

【 0 0 0 6 】

一方、配管の軸方向に進展した割れを探傷する場合には、配管の周方向に向けて超音波を送受信する。そのため、複数の圧電素子を配管の周方向に配列して、配管の周方向断面におけるビーム送信角を変化させるセクタ電子走査を行うことが好ましい。さらに、超音波ビームを配管に効率よく入射させるため、アレイセンサと配管の間にシュー（クサビ材）を設け、このシューの曲面と配管の外周面を接触させることが好ましい。しかし、シューの曲面と配管の外周面との接触状態が良好でなければ（具体的には、例えば、シューの曲面の周方向一方側縁部と配管の外周面が接触しているものの、シューの曲面の周方向他方側縁部と配管の外周面が接触せず、隙間が形成されていれば）、超音波の屈折角や路程にずれが生じてしまい、検出精度や信頼性が低下する。

20

【 0 0 0 7 】

本発明は、上記事柄に鑑みてなされたものであり、その目的は、検出精度や信頼性を高めることができる超音波探傷装置及び超音波探傷方法を提供することにある。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

上記目的を達成するために、本発明の超音波探傷装置は、配管の外周面に接触する曲面を有するシュー、及び前記配管の周方向に配列された複数の圧電素子を有するアレイセンサを備え、前記アレイセンサから前記シューを介し前記配管の周方向に向けて超音波ビームを送信するとともに反射波を受信する超音波探傷プローブと、前記プローブを前記配管の周方向に移動可能とし、かつ前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態を調整可能なプローブ走査機構と、任意のプローブ位置にてビーム送信角を変化させるセクタ電子走査を実行して、ビーム送信角毎に反射波の波形データを取得する送受信部と、任意のプローブ位置で取得した波形データのうち、少なくとも 2 つのビーム送信角度における多重反射波の波形データを抽出し、抽出した波形データを互いに比較することにより、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であるか否かを判定する接触状態判定部とを備え、前記接触状態判定部は、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であると判定した場合に、任意のプローブ位置で取得した波形データをデータ記憶部に保存させ、一方、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好でないと判定した場合に、前記プローブ走査機構で前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態を調整させ、その後、前記送受信部でセクタ電子走査を再実行させる。

40

【 0 0 0 9 】

また、上記目的を達成するために、本発明は、配管の外周面に接触する曲面を有するシ

50

ュー、及び前記配管の周方向に配列された複数の圧電素子を有するアレイセンサを備えた超音波探傷プローブを用い、前記アレイセンサから前記シューを介し前記配管の周方向に向けて超音波ビームを送信するとともに反射波を受信する超音波探傷方法であって、任意のプローブ位置にてビーム送信角を変化させるセクタ電子走査を実行して、ビーム送信角毎に反射波の波形データを取得し、任意のプローブ位置で取得した波形データのうち、少なくとも2つのビーム送信角度における多重反射波の波形データを抽出し、抽出した波形データを互いに比較することにより、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であるか否かを判定し、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好であると判定した場合に、任意のプローブ位置で取得した波形データをデータ記憶部に保存し、一方、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態が良好でないとは判定した場合に、前記シューの曲面と前記配管の外周面との接触状態を調整し、その後、セクタ電子走査を再実行する。

10

【発明の効果】**【0010】**

本発明によれば、検出精度や信頼性を高めることができる。

【図面の簡単な説明】**【0011】**

【図1】本発明の一実施形態における超音波探傷装置の構成を表すブロック図である。

【図2】本発明の一実施形態における超音波探傷プローブ及びプローブ走査機構の概略構造を表す平面図、及び断面矢視A-Aによる矢視図である。

20

【図3】本発明の一実施形態におけるプローブのシューの曲面と配管の外周面との接触状態を表す概略図であり、接触状態が良好である場合及び良好でない場合を示す。

【図4】本発明の一実施形態における超音波探傷方法の手順を説明するためのフローチャートである。

【図5】本発明の一実施形態におけるプローブのシューの曲面と配管の外周面との接触状態が良好である場合の探傷画像及び波形データを具体例として表す図である。

【図6】本発明の一実施形態におけるプローブのシューの曲面と配管の外周面との接触状態が良好でない場合の探傷画像及び波形データを具体例として表す図である。

【発明を実施するための形態】**【0012】**

30

以下、本発明の一実施形態を、図面を参照しつつ説明する。

【0013】

図1は、本実施形態における超音波探傷装置の構成を表すブロック図である。図2(a)は、本実施形態における超音波探傷プローブ及びプローブ走査機構の概略構造を表す平面図であり、図2(b)は、図2(a)中断面矢視A-Aによる矢視図である。

【0014】

本実施形態の超音波探傷装置は、配管1の内周面2で発生し且つ配管1の軸方向(図2(a)中上下方向、図2(b)中紙面に対し垂直な方向)に進展した割れ3を探傷することを目的としており、超音波探傷プローブ4、プローブ走査機構5、送受信部6、計算機7、入力部8、及び表示部9を備えている。入力部8は、例えばキーボードやマウス等で構成されている。

40

【0015】

超音波探傷プローブ4は、アレイセンサ10と、このアレイセンサ10の超音波送受信側(図1及び図2(b)中下側)に設けられたシュー(クサビ材)11とを備えている。シュー11は曲面12を有し、この曲面12が配管1の外周面13に接触するようになっている。なお、シュー11の曲面12の曲率半径は、配管1の外周面13の曲率半径とほぼ同じである(実際には、配管1の製造時の許容値を考慮して、配管1の外周面13の曲率半径より若干大きい)。また、シュー11の曲面12には超音波用接触媒質が塗布されている。

【0016】

50

プローブ走査機構 5 は、複数（本実施形態では 3 つ）の固定治具 1 4 を介して配管 1 の外周側に取付けられた環状のレール 1 5 と、このレール 1 5 に沿って移動可能に設けられた移動体 1 6 と、この移動体 1 6 をレール 1 5 に沿って移動させる移動機構（図示しないが、モータ等で構成されたもの）と、移動体 1 6 の移動量を検出するエンコーダ（図示せず）とを備えている。

【 0 0 1 7 】

また、プローブ走査機構 5 は、移動体 1 6 に回転可能に設けられてプローブ 4 を支持する支持軸 1 7 と、この支持軸 1 7 を回転させる回転機構（図示しないが、モータ等で構成されたもの）とを備えている。支持軸 1 7 の軸心（回転軸）は、配管 1 の軸方向に延在しており、アレイセンサ 1 0 の超音波送受信面の中心点 C に含まれている。

10

【 0 0 1 8 】

そして、移動体 1 6 がレール 1 5 に沿って移動することにより、プローブ 4 を配管 1 の周方向に移動可能としている。また、支持軸 1 7 が回転することにより、配管 1 の外周面 1 3 に対するプローブ 4 の傾きを調整して、シュー 1 1 の曲面 1 2 と配管 1 の外周面 1 3 との接触状態を調整可能としている。

【 0 0 1 9 】

アレイセンサ 1 0 は、配管 1 の周方向に配列された複数の圧電素子 1 8 を有している。圧電素子 1 8 は、送受信部 6 のパルサ 1 9 からの駆動信号（パルス電圧）によって発振し、シュー 1 1 を介し配管 1 の周方向に向けて超音波を送信する。このとき、後述する遅延パターンに基づき、送受信部 6 のパルサ 1 9 が各圧電素子 1 8 へ送信する駆動信号を遅延することにより、各圧電素子 1 8 の超音波の送信タイミングをずらして、超音波を集束させる（図 2（b）中点線参照）。したがって、遅延パターンにより、超音波ビームの送信角（詳細には、アレイセンサ 1 0 の中心点 C を基準にした送信角）を変化させるようになっている。そして、例えば配管 1 の内周面 2 からの多重反射波（詳細は後述）や割れ 3 からの反射波を受信し、電気信号に変換して送受信部 6 のレシーバ 2 0 に出力するようになっている。

20

【 0 0 2 0 】

なお、本実施形態では、アレイセンサ 1 0 がシュー 1 1 の傾斜面に設けられており、アレイセンサ 1 0 の主音軸が、アレイセンサ 1 0 の中心点 C を通るシュー 1 1 の曲面 1 2 の法線（図 2（b）中上下方向線、後述の図 3（a）及び図 3（b）で示す Y 軸）に対し傾斜している。これにより、アレイセンサ 1 0 の主音軸に沿って送信した超音波ビームが、割れ 3 に対して 4 5 度程度で入射するようになっている。

30

【 0 0 2 1 】

送受信部 6 は、パルサ 1 9、レシーバ 2 0、遅延時間制御部 2 1、及びデータ収録部 2 2 を有している。遅延時間制御部 2 1 は、計算機 7 からの電子走査指令に応じて、配管 1 の周方向断面におけるビーム送信角を変化させるセクタ電子走査を実行するようになっている。詳しく説明すると、遅延時間制御部 2 1 は、各ビーム送信角に対応して予め設定された遅延パターンを、パルサ 1 9 及びレシーバ 2 0 に出力する。パルサ 1 9 は、遅延パターンに基づき、各圧電素子 1 8 に送信する駆動信号を遅延し、各圧電素子 1 8 の超音波の送信タイミングをずらして、超音波を集束させる。レシーバ 2 0 は、遅延パターンに基づき、各圧電素子 1 8 から受信した電気信号を遅延し、それらを合成処理して波形データを生成する。データ収録部 2 2 は、レシーバ 2 0 で生成された波形データを、プローブ位置及びビーム送信角度と関連付けて、一時的に収録する。

40

【 0 0 2 2 】

計算機 7 は、プログラムに従って制御処理やデータ処理等を行うものであり、その機能的構成として、位置制御部 2 3 及び演算 / 解析部 2 4 を有している。

【 0 0 2 3 】

位置制御部 2 3 は、プローブ走査機構 5 に移動体 1 6 の移動指令を出力して移動体 1 6 を移動させるとともに、プローブ走査機構 5 から移動体 1 6 の移動量を入力しており、移動体 1 6 の位置を制御する。すなわち、プローブ 4 の位置を制御するようになっている。

50

また、プローブ4の位置毎に、上述した電子走査指令を遅延時間制御部21に出力するとともに、プローブ位置の情報をデータ収録部22に出力するようになっている。

【0024】

演算/解析部24は、同一のプローブ位置で取得された波形データをデータ収録部22から読み込み、これに基づき、配管1の周方向断面における探傷結果を示す探傷画像（後述の図5(a)及び図5(b)参照）を生成する。詳しく説明すると、まず、ビーム送信角毎の波形データに対して内挿処理を施す。そして、波形データの路程を、配管1の周方向断面上（詳細には、後述の図3(a)及び図3(b)で示すプローブ4のXY座標系を、そのY軸方向にシュー11の中心部の厚みdだけ移動させた座標系）の位置に変換する。また、波形データの強度を、画素値に変換する。そして、配管1の周方向断面上の位置とこれに対応する画素値により、探傷画像を生成する。

10

【0025】

表示部9は、演算/解析部24で生成された探傷画像を表示するとともに、任意のビーム送信角における波形データを表示するようになっている。

【0026】

ところで、遅延パターンの設定や探傷画像の生成などは、プローブ4のシュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好である場合を想定して行われている。すなわち、図3(a)で示すように、配管1の周方向断面におけるプローブ4のXY座標系として、アレイセンサ10の中心点Cを通るシュー11の曲面12の法線をY軸としたときに、このY軸が、アレイセンサ10の中心点C及び配管1の中心点Oを通る配管1の外周面13の法線と一致するような場合を想定している。そして、図3(a)で示すように、プローブ4のシュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好であれば、検出精度や信頼性を高めることができる。

20

【0027】

しかし、例えば配管1の歪み等の理由から、図3(b)で示すように、プローブ4のシュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好でなければ（詳細には、シュー11の曲面12の図中右側縁部と配管1の外周面13が接触しているものの、シュー11の曲面12の図中左側縁部と配管1の外周面13が接触せず、隙間が形成されていれば）、超音波の屈折角や路程にずれが生じてしまい、検出精度や信頼性が低下する。

【0028】

30

そこで、本実施形態では、計算機7は、接触状態判定部25及び接触状態制御部26を有している。接触状態判定部25は、同一のプローブ位置で取得された波形データのうちの一部を送受信部6のデータ収録部22から読み込み、これに基づき、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好であるか否かを判定する（詳細は後述）。そして、例えば接触状態が良好であると判定した場合に、判定材料である波形データを含む、同一のプローブ位置で取得された波形データを、データ記憶部27で最終的に保存させるようになっている。

【0029】

一方、例えば接触状態が良好でないと判定した場合に、接触状態調整指令を出力する。接触状態制御部26は、この指令に応じて、プローブ走査機構5に支持軸17の回転指令を出力して支持軸17を回転させる。これにより、配管1の外周面13に対するプローブ4の傾きを調整して、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態を調整する。その後、接触状態制御部26は、上述した電子走査指令を遅延時間制御部21に出力する。すなわち、セクタ電子走査を再実行させるようになっている。

40

【0030】

次に、本実施形態の超音波探傷方法を、図4を用いて説明する。図4は、本実施形態における超音波探傷方法の手順を説明するためのフローチャートである。

【0031】

ステップS101にて、検査者は、プローブ走査機構5及びプローブ4を設置する。詳細には、まず、プローブ走査機構5を構成するレール15を、固定治具14を用いて配管

50

1の外周側に取付ける。このとき、ルール15の中心が配管1の中心Oと同じになるように取付ける。その後、プローブ走査機構5を構成する他の部品とともに、プローブ4を取付ける。このとき、好ましくは、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態を目視確認しながら、プローブ4を任意の位置に取付ける。そして、必要であれば、プローブ走査機構5の支持軸17を回転させて、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態を調整する。

【0032】

ステップS102に進み、検査者は、設定入力画面（図示せず）を表示部9に表示させ、探傷条件（詳細には、例えば、探傷感度、パルス電圧、及びプローブの移動ピッチ等）及び検査条件（詳細には、例えば、配管の寸法、超音波ビームを集束させる検査領域、及びビーム送信角の制御範囲等）を入力部8で入力する。そして、計算機7が、検査条件等に基づき、各ビーム送信角に対応する遅延パターンを演算して設定する。

10

【0033】

ステップS103に進み、配管1の検査を開始する。まず、計算機7の位置制御部23が、送受信部6に電子走査指令を出力する。送受信部6は、上述した遅延パターンを用いて、ビーム送信角を変化させるセクタ電子走査を実行し、ビーム送信角毎の波形データを取得してデータ収録部22に収録する。そして、計算機7の演算/解析部24が、送受信部6で取得した波形データに基づき、探傷画像を生成する。そして、表示部9が、探傷画像を表示するとともに、任意のビーム送信角における波形データを表示する。

20

【0034】

ステップS104に進み、計算機7の接触状態判定部25が、送受信部6で取得した波形データのうちの一部を抽出する。詳細には、上述したY軸方向のビーム送信角を0度としたときに、絶対値が等しい正のビーム送信角度及び負のビーム送信角度が予め設定されており、これら正のビーム送信角度及び負のビーム送信角度における配管1の内周面2からの多重反射波の波形データを抽出する。

【0035】

ここで理解しやすいように、プローブ4のシュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好である場合（図3（a）参照）の探傷画像（図5（a）参照）を用いて説明すると、負のビーム送信角度に対応する仮想屈折角 m （詳細には、例えば - 5度）における波形データ（図5（b）参照）と、正のビーム送信角度に対応する仮想屈折角 n （詳細には、例えば + 5度）における波形データ（図5（b）参照）を抽出する。また、プローブ4のシュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好でない場合（図3（b）参照）の探傷画像（図6（a）参照）を用いて説明すると、同様に、負のビーム送信角に対応する仮想屈折角 m における波形データ（図6（b）参照）と、正のビーム送信角度に対応する仮想屈折角 n における波形データ（図6（b）参照）を抽出する。

30

【0036】

図5（b）及び図6（b）で示す波形データは、1回目の反射波（言い換えれば、配管1の内周面2で1回だけ反射された反射波）、2回目の反射波（言い換えれば、配管1の内周面2 外周面13 内周面2で反射された反射波）、3回目の反射波（言い換えれば、配管1の内周面2 外周面13 内周面2 外周面13 内周面2で反射された反射波）、4回目の反射波（言い換えれば、配管1の内周面2 外周面13 内周面2 外周面13 内周面2 外周面13 内周面2で反射された反射波）を含んでいる。

40

【0037】

ステップS105及びS106に進み、接触状態判定部25が、抽出した波形データを互いに比較することにより、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好であるか否かを判定する。

【0038】

図5（b）で示す場合は、負のビーム送信角度（すなわち、対応する仮想屈折角 m ）における波形データに対し、1回目の反射波の強度 $M1$ （詳細には、対応する路程範囲に

50

における強度の振幅最大値。以降同様)、2回目の反射波の強度 M_2 、3回目の反射波の強度 M_3 、及び4回目の反射波の強度 M_4 を抽出する。また、正のビーム送信角度(すなわち、対応する仮想屈折角 n)における波形データに対し、1回目の反射波の強度 N_1 、2回目の反射波の強度 N_2 、3回目の反射波の強度 N_3 、及び4回目の反射波の強度 N_4 を抽出する。そして、対応する反射波の強度の組合せ(M_1, N_1)、(M_2, N_2)、(M_3, N_4)、(M_4, N_4)のうち、上限値に達していませんかつ比較的大きなものを選択する。この場合、強度 M_1, N_1 が上限値に達しているため、強度の組合せ(M_2, N_2)を選択する。そして、強度の差分 $|M_2 - N_2|$ を演算し、この差分 $|M_2 - N_2|$ が所定の閾値(詳細には、例えば強度 M_2 又は N_2 の10%)より小さいか否かを判定することにより、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好であるか否かを判定する。

10

【0039】

この場合、強度の差分 $|M_2 - N_2|$ が所定の閾値より小さいから、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好であると判定する。これにより、ステップS106の判定が満たされ、ステップS107に移る。ステップS107では、送受信部6で取得した波形データを、データ記憶部27に保存する。

【0040】

一方、図6(b)で示す場合は、負のビーム送信角度(すなわち、対応する仮想屈折角 m)における波形データに対し、1回目の反射波の強度 M_1' 、2回目の反射波の強度 M_2' 、3回目の反射波の強度 M_3' 、及び4回目の反射波の強度 M_4' を抽出する。また、正のビーム送信角度(すなわち、対応する仮想屈折角 n)における波形データに対し、1回目の反射波の強度 N_1' 、2回目の反射波の強度 N_2' 、3回目の反射波の強度 N_3' 、及び4回目の反射波の強度 N_4' を抽出する。そして、対応する反射波の強度の組合せ(M_1', N_1')、(M_2', N_2')、(M_3', N_4')、(M_4', N_4')のうち、上限値に達していませんかつ比較的大きなものを選択する。この場合、強度 N_1' が上限値に達しているため、強度の組合せ(M_2', N_2')を選択する。そして、強度の差分 $|M_2' - N_2'|$ を演算し、この差分 $|M_2' - N_2'|$ が所定の閾値(例えば強度 M_2' 又は N_2' の10%)より小さいか否かを判定することにより、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好であるか否かを判定する。

20

【0041】

この場合、強度の差分 $|M_2' - N_2'|$ が所定の閾値より大きいから、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態が良好でないと判定する。これにより、ステップS106の判定が満たされず、ステップS108に移る。ステップS108では、接触状態判定部25が、強度の差分 $|M_2' - N_2'|$ と強度 M_2', N_2' の大小関係に応じて、接触状態調整指令を出力する。接触状態制御部26が、この指令に応じて、プローブ走査機構5に支持軸17の回転指令を出力して支持軸17を回転させる。これにより、配管1の外周面13に対するプローブ4の傾きを調整して、シュー11の曲面12と配管1の外周面13との接触状態を調整する。

30

【0042】

その後、ステップS103に進み、接触状態制御部26が、送受信部6に電子走査指令を出力する。これにより、送受信部6が、セクタ電子走査を再実行し、ビーム送信角毎の波形データを再取得してデータ収録部22に書換える。

40

【0043】

そして、上述したステップS104及びS105を経て、ステップS106の判定が満たされれば、ステップS107に移る。ステップS107では、送受信部6で再取得した波形データを、データ記憶部27に保存する。

【0044】

ステップS107の終了後、ステップS109に進み、位置制御部23が、全ての検査箇所の検査が完了したか否かを判定する。全ての検査箇所の検査が完了していない場合は、ステップS109の判定が満たされず、ステップS110に移る。ステップS110では

50

、位置制御部 2 3 が、プローブ走査機構 5 に移動体 1 6 の移動指令を出力して移動体 1 6 を移動させる。すなわち、プローブ 4 を移動させて、検査箇所を変更させる。

【 0 0 4 5 】

その後、ステップ S 1 0 3 に進み、位置制御部 2 3 が、送受信部 6 に電子走査指令を出力する。これにより、送受信部 6 が、セクタ電子走査を実行し、ビーム送信角毎の波形データを取得してデータ収録部 2 2 に収録する。以降、上記同様の手順を繰り返す。

【 0 0 4 6 】

そして、全ての検査箇所の検査が完了すれば、ステップ S 1 0 9 の判定が満たされ、検査が終了する。

【 0 0 4 7 】

以上のような本実施形態においては、シュー 1 1 の曲面 1 2 と配管 1 の外周面 1 3 との接触状態が良好であるか否かを判定し、接触状態が良好であると判定した場合に、波形データを保存する。一方、接触状態が良好でないと判定した場合に、接触状態を調整するとともに、セクタ電子走査を再実行する。したがって、検出精度及び信頼性を高めることができる。

【 0 0 4 8 】

なお、上記一実施形態においては、負のビーム送信角度及び正の送信角度における多重反射波の波形データを抽出し、抽出した波形データを互いに比較することにより、シュー 1 1 の曲面 1 2 と配管 1 の外周面 1 3 との接触状態が良好であるか否かを判定する判定する場合を例にとって説明したが、これに限られず、本発明の趣旨及び技術思想を逸脱しない範囲内で変形が可能である。すなわち、負のビーム送信角度（すなわち、仮想屈折角 m に対応）及び正のビーム送信角度（すなわち、仮想屈折角 m ）における波形データだけでなく、ビーム送信角 0 度（すなわち、仮想屈折角 0 度）における波形データ（図 5（b）及び図 6（b）参照）も抽出してよい。そして、負のビーム送信角度とビーム送信角 0 度における波形データを比較するとともに、負のビーム送信角度とビーム送信角 0 度における波形データを比較することにより、シュー 1 1 の曲面 1 2 と配管 1 の外周面 1 3 との接触状態が良好であるか否かを判定してもよい。この場合も、上記同様の効果を得ることができる。

【 0 0 4 9 】

また、上記一実施形態においては、複数の圧電素子 1 8 が配管 1 の周方向のみに配列された場合を例にとって説明したが、これに限られず、本発明の趣旨及び技術思想を逸脱しない範囲内で変形が可能である。すなわち、複数列の圧電素子 1 8 が配管 1 の周方向だけでなく、配管 1 の軸方向に配列されてもよい。そして、配管 1 の周方向だけでなく、配管 1 の軸方向にビーム送信角を変更させてもよい。このような場合も、上記同様の効果を得ることができる。

【符号の説明】

【 0 0 5 0 】

- 1 配管
- 4 超音波探傷プローブ
- 5 プローブ走査機構
- 6 送受信部
- 1 0 アレイセンサ
- 1 1 シュー
- 1 2 曲面
- 1 3 外周面
- 1 8 圧電素子
- 2 5 接触状態判定部
- 2 7 データ記憶部

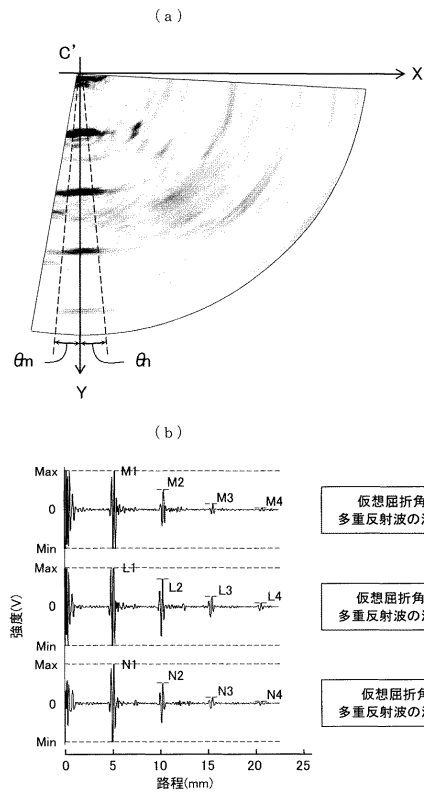
10

20

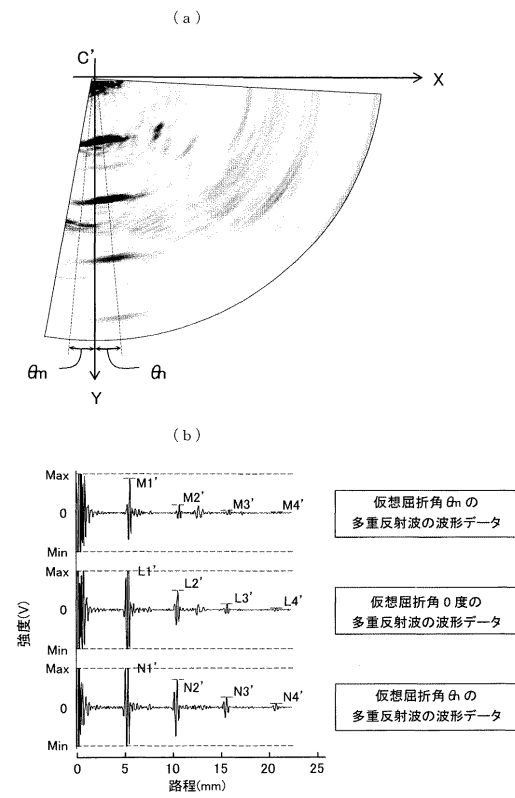
30

40

【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 三木 将裕
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号

株式会社日立製作所内

(72)発明者 江原 和也
茨城県日立市幸町三丁目1番1号
株式会社内

日立GEニュークリア・エナジー

審査官 立澤 正樹

(56)参考文献 特開昭61-210947(JP,A)
特開昭63-235857(JP,A)
特開2000-88824(JP,A)
特開平5-164540(JP,A)
特開2008-203082(JP,A)
米国特許出願公開第2008/0037695(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 29/00-29/52