

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6598045号  
(P6598045)

(45) 発行日 令和1年10月30日(2019.10.30)

(24) 登録日 令和1年10月11日(2019.10.11)

(51) Int. Cl.	F 1	
GO 1 N 29/38	(2006.01)	GO 1 N 29/38
GO 1 N 29/26	(2006.01)	GO 1 N 29/26
GO 1 N 29/11	(2006.01)	GO 1 N 29/11
GO 1 N 29/48	(2006.01)	GO 1 N 29/48

請求項の数 4 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2019-54687 (P2019-54687)	(73) 特許権者	594123387
(22) 出願日	平成31年3月22日 (2019. 3. 22)		ヤマハファインテック株式会社
(62) 分割の表示	特願2017-560123 (P2017-560123) の分割		静岡県浜松市南区青屋町283番地
原出願日	平成28年12月27日 (2016. 12. 27)	(74) 代理人	100161207
(65) 公開番号	特開2019-117206 (P2019-117206A)		弁理士 西澤 和純
(43) 公開日	令和1年7月18日 (2019. 7. 18)	(74) 代理人	100134359
審査請求日	平成31年4月25日 (2019. 4. 25)		弁理士 勝俣 智夫
(31) 優先権主張番号	特願2016-750 (P2016-750)	(74) 代理人	100162868
(32) 優先日	平成28年1月5日 (2016. 1. 5)		弁理士 伊藤 英輔
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)	(74) 代理人	100206391
早期審査対象出願			弁理士 柏野 由布子
		(72) 発明者	奈良 晃寛
			静岡県浜松市南区青屋町283番地 ヤマ ハファインテック株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被検査体を検査する超音波検査方法であって、  
前記被検査体が間に配されるように、超音波送信素子と超音波受信素子とを対向させて配置し、

前記超音波送信素子から超音波を発信し、

前記発信された超音波を、前記被検査体を介して前記超音波受信素子で受信し、

前記受信された超音波を、前記被検査体の透過波である第1超音波信号と、空中を伝搬してきた回折波による第2超音波信号とに時間的に区別し、

前記区別する過程では、前記超音波受信素子で受信した超音波信号が超音波の強度の閾値である第1閾値以上であった場合には、当該超音波信号が当該第1閾値よりも大きい第2閾値以上であるか否かを判定し、前記超音波信号が前記第2閾値以上である場合には、前記超音波信号が前記第2超音波信号であると判定し、

当該第2超音波信号の前に前記第1閾値以上の前記第1超音波信号を検知していたか否かに基づき前記被検査体を検査する

超音波検査方法。

【請求項2】

前記回折波が前記超音波受信素子により受信される時刻よりも早い時刻に時間窓を設け、当該時間窓に入る信号を前記第1超音波信号とすることにより、前記第1超音波信号と前記第2超音波信号とを区別する

請求項 1 に記載の超音波検査方法。

【請求項 3】

当該第 2 超音波信号の前に前記第 1 閾値以上の前記第 1 超音波信号を検知された場合に前記被検査体が正常であると判定する

請求項 1 または請求項 2 に記載の超音波検査方法。

【請求項 4】

前記第 1 閾値以上の前記第 1 超音波信号が検知されなかった場合に前記被検査体に欠陥があると判定する

請求項 1 または請求項 2 に記載の超音波検査方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、円筒形状の被検査体の内部を超音波検査する方法に関する。

本願は、2016年1月5日に日本に出願された特願2016-750号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

【背景技術】

【0002】

管や筒体などの円筒形状の被検査体の内部を超音波検査する場合、被検査体に対してガイド波（管や板のように境界面を有する物体中を伝搬する横波又は板波）の励起角度で超音波を入射し、被検査体内を經由した超音波を受信側では逆向きの同じ角度で受けるように調整する必要がある。

20

【0003】

例えば、特許文献 1 には、送信超音波探触子と受信超音波探触子とを被検査管の周上に離間配置し、送信超音波探触子の入射角の被検査管の外周面の法線に対する傾き方向と、受信超音波探触子の外周面の法線に対する傾き方向とを互いに逆方向に設定することによって、送信超音波探触子から出力された超音波パルスが被検査管でガイド波の伝搬モードで伝搬し、この超音波パルスが欠陥に当接したときに、この欠陥から生じる超音波パルスに対して逆方向にガイド波の伝搬モードで伝搬する欠陥エコーを検出できるように受信超音波探触子の外周面に対する姿勢を設定する管体超音波探傷方法が開示されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2010 - 25817 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、超音波受信素子によって受信される超音波は、被検査体内を伝搬してきた超音波だけでなく、被検査体の外側の媒質（空気）中を經由して直接到達した超音波も含まれる。

【0006】

40

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、被検査体内を伝搬してきた超音波だけでなく、被検査体の外側の媒質中を經由して直接到達した超音波も受信されたとしても被検査体の検査をすることができる超音波検査方法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】

【0007】

本発明の超音波検査方法は、被検査体を検査する超音波検査方法であって、前記被検査体が間に配されるように、超音波送信素子と超音波受信素子とを対向させて配置し、前記超音波送信素子から超音波を発信し、前記発信された超音波を、前記被検査体を介して前記超音波受信素子で受信し、前記受信された超音波を、前記被検査体の透過波である第 1 超音波信号と、空中を伝搬してきた回折波による第 2 超音波信号とに時間的に区別し、前

50

記区別する過程では、前記超音波受信素子で受信した超音波信号が超音波の強度の閾値である第1閾値以上であった場合には、当該超音波信号が当該第1閾値よりも大きい第2閾値以上であるか否かを判定し、前記超音波信号が前記第2閾値以上である場合には、前記超音波信号が前記第2超音波信号であると判定し、当該第2超音波信号の前に前記第1閾値以上の前記第1超音波信号を検知していたか否かに基づき前記被検査体を検査する。

【0008】

本発明の超音波検査方法においては、前記回折波が前記超音波受信素子により受信される時刻よりも早い時刻に時間窓を設け、当該時間窓に入る信号を前記第1超音波信号とすることにより、前記第1の超音波信号と前記第2の超音波信号とを区別することとしてもよい。

10

【0010】

本発明の超音波検査方法においては、当該第2超音波信号の前に前記第1閾値以上の前記第1超音波信号を検知された場合に前記被検査体が正常であると判定することとしてもよい。

【0011】

本発明の超音波検査方法においては、前記第1閾値以上の前記第1超音波信号が検知されなかった場合に前記被検査体に欠陥があると判定することとしてもよい。

【発明の効果】

【0013】

本発明の超音波検査方法によれば、被検査体内を伝搬してきた超音波だけでなく、被検査体の外側の媒質中を經由して直接到達した超音波も受信されたとしても被検査体の検査をすることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の第1実施形態の超音波検査方法を示す断面図である。

【図2】図1に示された超音波検査方法において、ガイド波を励起する角度で超音波を送受信する状態を示す断面図である。

【図3】本発明の第1実施形態の超音波検査方法を示すフローチャートである。

【図4】第1実施形態の超音波検査方法において受信される信号を示す波形図であり、被検査体を伝搬する透過波による超音波信号を検出するための時間窓を設定する第1の方法を示すグラフである。

30

【図5】第1実施形態の超音波検査方法において受信される信号を示す波形図であり、被検査体を伝搬する透過波による超音波信号を検出するための時間窓を設定する第2の方法を示すグラフである。

【図6】第1実施形態の超音波検査方法において受信される信号を示す波形図であり、被検査体を伝搬する透過波による超音波信号を検出するための時間窓を設定する第3の方法を示すグラフである。

【図7】第1実施形態の超音波検査方法において、被検査体内を伝搬する透過波による超音波を受信せず、被検査体の外側を經由した回折波による超音波のみを受信した場合を示す波形図である。

40

【図8】第1実施形態の超音波検査方法において、被検査体内を伝搬した透過波による超音波のみを受信した場合を示す波形図である。

【図9】本発明の第1実施形態の超音波検査方法に用いられる超音波検査装置を示すブロック図である。

【図10】第1実施形態の超音波検査方法に対して、被検査体の外側に遮蔽体を設けた変形例を示す断面図である。

【図11】本発明の第2実施形態の超音波検査方法を示すフローチャートである。

【図12】本発明の第3実施形態の超音波検査方法を示すフローチャートである。

【図13】本発明の第4実施形態の超音波検査方法を示す断面図である。

【図14】本発明の第5実施形態の超音波検査方法を示す断面図である。

50

【図 15】本発明の第 6 実施形態の超音波検査方法を示す断面図である。

【図 16】図 15 に示された超音波検査方法において、ガイド波を励起する角度で超音波を送受信する状態を示す断面図である。

【図 17】本発明の第 6 実施形態の超音波検査方法に用いられる超音波検査装置を示すブロック図である。

【図 18】第 6 実施形態の超音波検査方法に対して、被検査体の外側に遮蔽体を設けた変形例を示す断面図である。

【図 19】本発明の第 7 実施形態の超音波検査方法を示す断面図である。

【図 20】本発明の第 8 実施形態の超音波検査方法を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0015】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

< 第 1 実施形態 >

[ 超音波検査装置 ]

まず、本発明の第 1 実施形態の超音波検査方法に用いられる超音波検査装置について説明すると、この超音波検査装置 1 は、図 9 に示すように、パルサーレシーバー部 2 と、探査部 3 と、信号処理部 4 とから構成されている。

パルサーレシーバー部 2 は、超音波駆動信号を発生する信号発生器 5 と、発生した超音波駆動信号を超音波送信素子 6 に送信する信号送信部 7 と、超音波受信素子 8 からの信号を受信する信号受信部 9 と、受信した信号を増幅する受信信号増幅部 10 とを有している。

20

【0016】

探査部 3 は、信号送信部 7 から送信された超音波駆動信号により被検査体 11 に向けて超音波を送信する超音波送信素子 6 と、被検査体 11 を伝搬して透過した超音波を受信して受信電圧信号として信号受信部 9 に送る超音波受信素子 8 とを有している。これら超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とは、超音波ビームを点集束させるポイントフォーカスタイプの探触子が好ましく、内部に圧電素子からなる超音波振動素子（図示略）を有しており、超音波送信素子 6 では、入力される電圧信号に応じて振動素子から超音波を送信し、超音波受信素子 8 では、受信した超音波を振動素子により電圧信号に変換して出力する。

【0017】

30

超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 は、図示略のフレーム部材により Z 軸方向に対向した状態に保持される。被検査体 11 は、Y 軸方向に延びる円筒軸が超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 の対向方向（Z 軸方向）に直交するように超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 との間に配置される。さらに、被検査体 11 は、円筒軸に直交する円筒形状の断面の直径が Y 軸および Z 軸に直交する X 軸方向となるように配置される。したがって、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 の先端に設けられている振動素子は被検査体 11 に向けた状態に配置される。さらに、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 は、Z - X 平面において、被検査体 11 の X 軸方向に延びる直径を通る直線に関して対称な位置となる。

被検査体 11 に対して超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を、被検査体 11 の直径方向と平行な X 方向、被検査体 11 の円筒軸方向と平行な Y 方向、及び被検査体 11 に対して離間接近する Z 方向にそれぞれ移動させながら、被検査体 11 を超音波検査する。

40

すなわち、図 11 にも示すように、被検査体 11 は、その円筒軸が Y 軸方向となるように水平に配置される。被検査体 11 の円筒形断面の直径および直径と平行な直線は X 軸方向となる。これら X 軸および Y 軸に直交する上下方向は Z 軸方向となる。

超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 は、その対向方向（Z 軸方向）には相互に離間接近するように個別に移動させられるが、X 軸方向及び Y 軸方向には一体となって移動させられる。なお、この X 軸方向及び Y 軸方向の移動は、被検査体 11 と超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 とを相対的に移動させればよいので、被検査体 11 を X 軸方向及び Y 軸方向に移動させてもよい。

50

## 【 0 0 1 8 】

信号処理部 4 は、信号発生器 5 における超音波駆動信号発生のための条件を設定する条件設定部 3 1 と、信号受信部 9 からの受信電圧信号に基づき被検査体 1 1 内の欠陥の有無を判定する欠陥判定部 3 2 と、受信電圧信号等を表示する表示部 3 3 と、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 のスキャン操作を制御するスキャン制御部 3 4 と、これら条件設定部 3 1、欠陥判定部 3 2、表示部 3 3、およびスキャン制御部 3 4 に各種制御値を入力する操作部 3 5 とを備えている。

## 【 0 0 1 9 】

この信号処理部 4 はパソコン等により構成することができ、表示部 ( モニタ ) 3 3 の画面上にタッチパネル式の操作部 3 5 を設け、その操作部 3 5 から後述する各種条件やスキャン制御部 3 4 に対する位置情報等の制御値を設定することができる。もちろん、操作部 3 5 は、キーボード等を用いてもよい。

## 【 0 0 2 0 】

## [ 超音波検査方法 ]

このように構成した超音波検査装置 1 により円筒形状の被検査体 1 1 の超音波検査を実施する方法について説明する。

検査方法の概略について図 3 のフローチャートに従って説明すると、被検査体 1 1 を介して超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とを対向させた状態で、1 ラインのスキャンを開始するための初期位置に配置する ( S 1 )。1 ラインのスキャンを開始する初期位置は図 1 の A - A 線上の位置であり、この図 1 の左方向矢印で示すように被検査体 1 1 の直径方向に沿う移動を 1 ラインのスキャンとする。

次に、超音波送信素子 6 からバースト又はパルス型超音波を発信する ( S 2 )。超音波受信素子 8 においては、受信される超音波について、被検査体 1 1 を回り込んで媒質 ( 空気 ) を直接伝搬する回折波と、被検査体 1 1 内を透過してくる透過波とを区別し ( S 3 )、透過波について強度を解析して ( S 4 )、現在のスキャン位置における強度を欠陥判定部 3 2 に記録する ( S 5 )。回折波と透過波とを区別する具体的方法は後述する。

## 【 0 0 2 1 】

そして、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を対向させた姿勢を維持しながら、これら超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を被検査体 1 1 の円筒の直径方向 ( X 軸方向 ) に所定のスキャンピッチで移動する ( S 6 )。これを 1 ラインのスキャンが終了するまで繰り返し、1 ラインのスキャンが終了したと判断されたら ( S 7 )、その 1 ラインのスキャンのなかで、所定の強度を超える超音波信号を検知した箇所が 2 か所存在するかどうかを判定する ( S 8 )。所定の強度を超える超音波信号を検知した箇所が 2 か所存在すると認められた場合 ( S 8 の判断が Y E S である場合 ) は、表示部 3 3 に「 O K 」を表示し ( S 9 )、2 か所存在するとは認められなかった場合 ( S 8 の判断が N O である場合 ) は、表示部 3 3 に「 N G 」を表示して ( S 1 0 )、処理を終了する。

## 【 0 0 2 2 】

次に、この検査方法について、超音波の伝搬形態、及び受信される超音波の区別方法等も含めて詳細に説明する。

超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とが、被検査体 1 1 を介して被検査体 1 1 の円筒軸に直交する被検査体 1 1 の X 軸方向の直径を通る直線に関して対称に対向した位置 ( 図 1 に A - A で示す 1 ラインスキャンの初期位置 ) に配置される。超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とは、対向した状態に保持され、超音波送信素子 6 は被検査体 1 1 に対してバースト又はパルス型超音波を送信する。この超音波送信素子 6 から送信された超音波は、被検査体 1 1 内にガイド波を励起する角度以外の角度で到達した場合は、被検査体 1 1 内を円筒状の周方向に沿って伝搬する超音波の強度が非常に小さくなるので、被検査体 1 1 内を伝播する超音波信号としては超音波受信素子 8 で受信されないとみなしてよい。

## 【 0 0 2 3 】

図 1 の A - A で示す位置から超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を対向させた状態のまま、その対向方向に直交する被検査体 1 1 の直径方向 ( X 軸方向 ) に移動しながら

10

20

30

40

50

、超音波送信素子6から矢印で示すように超音波を送信する。この移動により、超音波送信素子6から送信され被検査体11に到達する超音波は、被検査体11の表面に対する送信方向の角度が徐々に変化する。超音波送信素子6から送信された超音波の、被検査体11に対する送信方向の角度が、被検査体11内にガイド波を励起する角度になると、被検査体11内に入射した超音波がガイド波に変換され、被検査体11を透過して周方向に伝搬する。例えば、被検査体11が鉄製の円筒体である場合、屈折角が90°を超える臨界角は、空気からの入射を考えると、約3.3°となる。そこで、入射角が約3.3°となる位置を超えてスキャンすることで、被検査体11内をガイド波に変換されて伝搬する可能性のある角度範囲をすべてカバーすることができる。

【0024】

10

このようにして超音波送信素子6から送信した超音波が被検査体11内にガイド波として透過して伝搬するとき、超音波受信素子8は、超音波送信素子6と対向した姿勢に保持されて同期して移動する。したがって、超音波受信素子8の受信方向が被検査体11に対して超音波送信素子6と同じ大きさの逆向きの角度となる姿勢で対向していることになる。このため、被検査体11内を伝搬したガイド波がモード変換して被検査体11の表面から出力される超音波を受信することができる。

図2がこの状態を模式化して示しており、超音波送信素子6からの超音波が被検査体11にガイド波を励起する角度で入射し、被検査体11内を透過して周方向に伝搬して、同じ大きさの逆向きの角度で超音波受信素子8に受信される。前述した鉄製の被検査体の場合、その入射角で入射した超音波は、反対側に対向する超音波受信素子8には、被検査体11をほぼ半周分伝搬した後に受信される。

20

【0025】

超音波送信素子6および超音波受信素子8により被検査体11を直径方向にスキャンしていくと、図2に示すように、被検査体11の表面に直角に超音波が到達する位置を中心に、左右反対側でも同じように、超音波送信素子6からの超音波が被検査体11にガイド波を励起する角度で入射し、被検査体11内を透過して周方向に伝搬して、同じ角度（大きさ同じで逆向きの角度）で超音波受信素子8に受信される位置が生じる。

したがって、超音波送信素子6および超音波受信素子8により被検査体11を直径方向にスキャンすることで、被検査体11内を伝搬した超音波を左右2か所（図2で示す位置）で受信することができる。

30

【0026】

ところで、超音波受信素子8によって受信される超音波は、被検査体11内を伝搬してきた超音波だけでなく、被検査体11の外側の媒質（空気）中を経由して直接到達した超音波も含まれる。前者は透過波であり、後者は回折波である。

これら超音波のうち、被検査体11内を伝搬する超音波（透過波）の音速は、被検査体11の外側を経由して空中を伝搬してくる超音波（回折波）に比べて格段に速い。したがって、超音波受信素子8には被検査体11内を伝搬してきた超音波（透過波）が先に到達し、空中を伝搬してきた超音波（回折波）がその後に到達する。

【0027】

40

これら受信した超音波の信号を時間波形として図形化すると図4に示すようになる。この図4は、横軸が時間で、縦軸が信号の強度（振幅）を示す。超音波受信素子8には、先に、被検査体11内を伝搬してきた透過波による第1超音波信号Uが発生し、その後、空中を伝搬してきた回折波による第2超音波信号Sが発生する。そこで、これらの信号U、Sを時間的に区別することにより、第1超音波信号Uを検知したときに、被検査体11内を伝搬して得られた超音波信号であることが識別できる。この第1超音波信号Uの強度（振幅）が低下した場合には被検査体11内に欠陥が存在していると判断できる。

つまり、第2超音波信号Sの前に生じる第1超音波信号Uの強度（振幅）が所定値以上であるか否かを判定し、所定値以上である場合に被検査体11が正常で、所定値未満である場合に被検査体11に欠陥が存在すると判定する。

【0028】

50

この超音波信号Sと超音波信号Uとを区別する方法について具体的に述べる。

バーストまたはパルス型超音波の送信タイミングを $0 \mu\text{sec}$ として、超音波送信素子6および超音波受信素子8の間に被検査体11がない場合の超音波伝搬は、例えば空気を媒質として伝わってくるため、 $C = (\text{超音波送信素子および超音波受信素子間距離} \text{mm}) / (\text{空気の音速} \text{m/s}) \times 1000 \mu\text{sec}$ の時刻で受信される。そこで図4に示すように、 $C$ よりも $d \mu\text{sec}$ 早い時刻を $B \mu\text{sec}$ 、それより $f \mu\text{sec}$ 早い時刻を $A \mu\text{sec}$ とし、 $A \mu\text{sec}$ から $B \mu\text{sec}$ の範囲の時間窓を設定する。このAからBまでの時間窓に収まる超音波信号をUとする。例えば $C = 125 \mu\text{sec}$ の場合、 $A = 100 \mu\text{sec}$ 、 $B = 124 \mu\text{sec}$  ( $d = 1 \mu\text{sec}$ 、 $f = 24 \mu\text{sec}$ )のように時間窓を設定し、この時間窓に入る信号を超音波信号Uとすることで、超音波信号Sと超音波信号Uを区別することが出来る。

10

図5に示すように時間窓が $C$ よりも前の時刻に来るように、 $0 \mu\text{sec}$ からの遅延時間 $d$ の後に幅 $f$ の時間窓を設定する方法もある。

#### 【0029】

超音波振動Sと超音波信号Uとの区別方法について、図6を参照してさらに他の方法を以下に具体的に述べる。

被検査体11内を伝搬してきた超音波(透過波)の強度(振幅)は、空中を伝搬してきた超音波(回折波)よりも小さい。そこで、超音波信号の強度についての閾値を第1超音波信号Uに対して、正常とする判定用に第1閾値、第2超音波信号Sに対して第1閾値より大きい第2閾値の二つを設定しておく。超音波受信素子8で受信した超音波信号の強度が第1閾値以上であった場合には、第2閾値以上であるか否かを判定する。その超音波信号の強度が第2閾値以上であると判定された場合に、その超音波信号を前述した第2超音波信号Sであると判定する。

20

#### 【0030】

そして、この第2超音波信号Sの前に、第2超音波信号Sより小さい強度の第1超音波信号Uを受信したか否かを判定する。つまり、図6に示すように、第2閾値以上の第2超音波信号Sを検知するよりも所定時間(例えば $5 \mu\text{s}$ )前に第2閾値未満で第1閾値以上の超音波信号を検知していたときに、これを第1超音波信号Uであると判定し、この第1超音波信号Uが検知された場合に被検査体11が正常であると判定する。第2超音波信号Sの前に第1閾値以上の第1超音波信号Uが検知されなかった場合には、被検査体11に欠陥があるか、あるいは被検査体11を検査できていないと判定する。

30

#### 【0031】

図1及び図2に示すように、被検査体11の直径方向に超音波送信素子6および超音波受信素子8をスキャンすることにより、2か所で被検査体11内をガイド波の超音波が伝搬し、被検査体11が正常な場合は図4に示すように二種類の超音波信号U、Sを検出することができる。一方、その2か所以外の位置では、被検査体11への超音波の送信角度がガイド波を励起する角度ではないため、被検査体11内を伝搬する第1超音波信号Uとしては検知されない。この場合、被検査体11の外側を経由して受信される回折波による第2超音波信号Sのみが検知されるので、図7に示すような第2超音波信号Sのみの波形となる。また、図2に示す2か所の位置においても、被検査体11内に欠陥がある場合には、第1閾値以上の第1超音波信号Uとしては検知されずに、第1閾値未満の超音波信号となる。

40

前述の検査方法では、この第1超音波信号Uが第1閾値以上で検知されたときに、被検査体11が正常であると判定し、そうでない場合は、被検査体11に欠陥があるか、あるいは超音波送信素子6および超音波受信素子8の送受信方向が被検査体11内にガイド波を励起する角度で配置されていないと判定する。

#### 【0032】

以上説明した超音波検査方法においては、超音波送信素子6を円筒状被検査体11の直径方向に移動するので、超音波送信素子6から送信した超音波が被検査体11に対してガイド波を励起する角度で到達する位置で、超音波を被検査体11内に周方向に伝搬させる

50

ことができる。このとき、超音波受信素子 8 は、被検査体 1 1 を挟んで超音波送信素子 6 と常に対向する位置に配置されており、被検査体 1 1 から超音波を入射角と同じ角度（大きさが同じで向きが逆の角度）で受信することができ、その受信した超音波信号により被検査体 1 1 内部を検査することができる。被検査体 1 1 の直径が変わっても、設定の変更をせずに超音波検査することができる。

#### 【 0 0 3 3 】

したがって、この超音波検査方法であれば、被検査体 1 1 を構成する材料内の音速データが不明な場合や、異種材料の積層材からなる場合であっても、被検査体 1 1 に対する入射角度の位置決め作業を不要とすることができる。また、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 が常に対向した姿勢に保持されて被検査体 1 1 をスキャンするので、被検査体 1 1 の直径が途中で変化する場合であっても、入射角度の計算をすることなく被検査体 1 1 内に超音波を入射して検査することができる。

10

特に、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 としてポイントフォーカス型の探触子を用いていることにより、被検査体 1 1 に所定の角度でフォーカスする超音波を送信するので、ガイド波への変換を確実にし、被検査体がテーパ状の筒体である場合も確実に検査することができる。

#### 【 0 0 3 4 】

なお、被検査体内を伝搬する超音波（透過波）は、被検査体内を複数周伝搬する。そして、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 が図 2 に示す配置のときに、超音波受信素子 8 には、被検査体 1 1 内を周回するごとに超音波が受信されるが、一周以上周回してきてきた超音波信号は、被検査体 1 1 の外側を通過して受信した超音波信号（第 2 超音波信号 S）と混在して識別し難いため、前述の検査においては、被検査体 1 1 内を伝搬して最初に検知される超音波信号によって欠陥の有無を判定する。

20

#### 【 0 0 3 5 】

ところで、前述したように、超音波受信素子 8 によって受信される超音波は、被検査体 1 1 内を伝搬してきた超音波（透過波）だけでなく、被検査体 1 1 の外側を経由して空中を伝搬してきた超音波（回折波）も含まれる。前述の実施形態では、受信される超音波信号の時間的なずれを利用して被検査体 1 1 内を伝搬した超音波（第 1 超音波信号 U）であるか否かを判定したが、欠陥が存在する場合に受信される超音波信号の強度が低下するため、被検査体 1 1 内を伝搬した超音波信号のみによって検査することも可能である。その場合は、受信した超音波信号が前述した第 1 閾値 より大きい場合は正常で、第 1 閾値 より小さい場合には欠陥が存在していると判定する。

30

#### 【 0 0 3 6 】

ただし、この検査方法を実施する場合は、被検査体 1 1 の外部を経由して空中を伝搬してくる超音波（回折波）を超音波受信素子 8 で受信しないようにする必要がある。

そこで、図 1 0 に示すように、被検査体 1 1 の外側を通過して超音波送信素子 6 から超音波受信素子 8 に到達する超音波信号を遮断するように被検査体 1 1 の外周面上に遮蔽体 4 1 を配置して超音波検査を行う。図 1 0 に示す例では、超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 との対向方向に対して直交する方向に伸びるブロック状の遮蔽体 4 1 を被検査体 1 1 の外周面に接した状態に配置している。遮蔽体 4 1 としては、例えばアクリル樹脂やアルミニウムを用いることができる。

40

この遮蔽体 4 1 を設けた状態で超音波検査することにより、前述した第 2 超音波信号 S（図 4 参照）が受信されなくなり、第 1 超音波信号 U のみを有効に検出することができ、正確な超音波検査を実施することができる。

#### 【 0 0 3 7 】

この遮蔽体 4 1 を用いて超音波検査する場合、前述した第 2 超音波信号 S を受信しないので、図 8 に示すように被検査体 1 1 内を 1 周以上周回して伝搬する超音波信号も受信して解析対象とすることが可能である。前述したように被検査体 1 1 内を伝搬する超音波は被検査体 1 1 のほぼ半周分を伝搬して超音波受信素子 8 に受信されるが、ほぼ 1 周半、2 周半伝搬する超音波も受信して解析することにより、より精度の高い検査を実施すること

50

ができる。なお、被検査体 11 内を 1 周以上周回する超音波を受信して検査する場合、左右 2 か所で超音波信号を送受信しなくとも、そのいずれか一方のみで送受信することで検査してもよく、被検査体 11 の直径方向の半分（右半分又は左半分）のみスキャンすればよい。

#### 【0038】

##### <第2実施形態>

以上の超音波検査は、被検査体 11 の特定の横断位置を直径方向にスキャンして検査する方法であったが、被検査体 11 の全長にわたって超音波検査する場合は、図 11 に示すフローチャートにしたがって処理する。この図 11 のフローチャートにおいて、図 3 のフローチャートと同じ処理の部分には同一符号を付して説明を簡略化する（以下、後述する図 12 のフローチャートにおいても同様とする）。

10

被検査体 11 の全長を超音波検査する場合、S1 から S10 までの処理を被検査体 11 の円筒の軸方向（Y 方向）に所定ピッチで移動しながら軸の終端まで繰り返せばよい。

すなわち、S1 から S10 までの処理の後、その 1 ラインのスキャンが被検査体 11 の軸終端であるか否かが判断され（S11）、軸終端であると判断されなかった場合は、被検査体 11 の軸方向に所定の送りピッチで超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を移動し（S12）、S1 からの処理を繰り返す。

#### 【0039】

この図 11 のフローチャートでは、1 ラインのスキャンごとに表示部 33 に「OK」又は「NG」の表示をするようにしたが、これに加えて、又はこれに代えて、被検査体 11 の全長にわたって検査した後に、表示部 33 に「OK」又は「NG」の表示をするようにしてもよい。あるいは、S8 の 1 ラインのスキャンで所定の強度を超える箇所が 2 か所存在していたと判断されなかった（S8 の判断が NO である）場合には、表示部 33 に「NG」を表示するが、2 か所存在していたと判断された（S8 の判断が YES である）場合には、表示部 33 に「OK」と表示することなく、S11 以降の処理をして、被検査体 11 の軸方向に超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を移動し、軸終端まで検査した後（1 ラインごとのスキャンのすべてで S8 の判断結果が YES である場合）に、表示部 33 に「OK」と表示するようにしてもよい。

20

また、図 11 では、S10 において表示部 33 に「NG」と表示した後でも、被検査体 11 を軸方向に移動して検査しているが、最初の 1 ラインスキャンの検査結果により S10 で表示部 33 に「NG」と表示されたら、その後の検査を終了してもよい。

30

#### 【0040】

##### <第3実施形態>

ところで、これまで述べてきたように、1 ラインごとのスキャンで、所定の強度を超える超音波信号を 2 か所で検知したか否かを判断することで、被検査体 11 の円周方向の大部分を超音波検査することができる。しかしながら、送信した超音波がガイド波に変換される入射角となる超音波送信素子 6 の配置は、被検査体 11 の表面に対して送信方向がわずかに斜めになる位置関係であるので、被検査体 11 に 90° の角度（つまり、超音波送信素子 6 が被検査体 11 の直径方向の延長上に配置される角度）で超音波が入射する位置の付近では超音波が内部に入射してガイド波に変換しない。このため、この部分の超音波検査を実施することができない。

40

#### 【0041】

そこで、前述のようにして被検査体 11 に対して一の直径方向にスキャンしながら超音波検査した後、被検査体 11 を円筒軸中心 O に例えば 90° 回転して、再度直径方向にスキャンしながら超音波検査する。

図 12 のフローチャートで説明すると、S8 で所定の強度を超える箇所が 2 か所存在したと判定された場合に、角度を変えてラインスキャンを 2 回繰り返したか否かが判定され（S13）、2 回繰り返していないと判定された場合は、被検査体 11 を円筒軸心回りに例えば 90° 回転した（S14）後、再度 S1 からの検査を実施し、S13 で角度を変えて 2 回繰り返したと判定された場合に、表示部 33 に「OK」と表示する。以降は、被検査

50

査体 11 の円筒軸方向に所定の送りピッチで超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を移動し (S11)、S1 からの処理を繰り返す。

【0042】

このように、被検査体 11 を軸中心に回転させて、被検査体 11 に対する異なる二方向の直径方向でスキャンして超音波検査することにより、被検査体 11 の全周を検査することができる。

そして、被検査体 11 の特定の長さ方向位置で超音波検査した後、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を被検査体 11 の長さ方向 (Y 方向) に移動した後、前述と同様にして被検査体 11 の直径方向にスキャンする。この操作を、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を被検査体 11 の長さ方向 (Y 方向) に少しずつ移動しながら繰り返すことにより、被検査体 11 の全長にわたって超音波検査することができる。

なお、図 12 では、S10 において表示部 33 に「NG」と表示した後でも、被検査体 11 を軸方向に移動して検査しているが、最初の 1 ラインスキャンの検査結果により S10 で表示部 33 に「NG」と表示されたら、その後の検査を終了してもよい。

【0043】

<第 4 実施形態>

図 13 は、本発明の超音波検査方法において、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 のスキャン方法の異なる第 4 実施形態を示している。第 1 実施形態から第 3 実施形態の超音波検査方法では、一組の超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とを用いて、これら超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を対向させた状態で移動させた。第 4 実施形態では、超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とを複数組用いて、これらをアレイ状に並べて使用する。

すなわち、複数組の超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とが被検査体 11 の直径方向 (X 軸方向) に並べられるとともに、各組の超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 は、被検査体 11 を介して Z 軸上に離れて配置され、Z 軸方向に対向している。この状態で、各超音波送信素子 6 から被検査体 11 に超音波を送信すると、送信方向が被検査体 11 に対してガイド波を励起する角度 (図 2 の角度 参照) となった超音波送信素子 6 からの超音波が被検査体 11 内に入射され、ガイド波として被検査体 11 内を周方向に伝搬する。このとき、その超音波送信素子 6 と対向する超音波受信素子 8 も、入射角度と同じ大きさで逆向きの角度に設定されていることから、被検査体 11 内を伝搬した超音波を受信することができる。図 13 に示す例では、B-B で示す位置において、超音波送信素子 6 から送信され被検査体 11 内を伝搬した超音波が超音波受信素子 8 に受信される。

【0044】

<第 5 実施形態>

また、超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とのいずれか一方を被検査体 11 の直径方向 (X 方向) にアレイ状に並べて複数配置し、他方に超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とのいずれか他方を 1 個配置して、被検査体 11 の直径方向 (X 方向) に移動しながら超音波検査する方法としてもよい。

図 14 には、超音波受信素子 8 を被検査体 11 の直径方向 (X 軸方向) にアレイ状に並べて配置し、超音波送信素子 6 を矢印で示す直径方向 (X 軸方向) に移動しながら超音波を送信して検査する方法を示している。この検査方法では、超音波送信素子 6 が被検査体 11 に対してガイド波を励起する角度 (図 2 の角度 参照) で超音波を送信する位置に配置されたときに、アレイ状の超音波受信素子 8 のうち、超音波送信素子 6 の位置と対向する位置関係にある超音波受信素子 8 (図 14 の B-B で示す対向関係にある超音波受信素子) によって被検査体 11 内を伝搬してきた超音波を受信することができる。

図 14 では、1 個の超音波送信素子 6 を被検査体 11 の直径方向に移動し、複数個の超音波受信素子 8 を被検査体 11 の直径方向に並べて配置したが、逆に、複数個の超音波送信素子 6 を被検査体 11 の直径方向に並べて配置し、1 個の超音波受信素子 8 を被検査体 11 の直径方向に移動しながら超音波を受信する方法としてもよい。

【0045】

## &lt; 第 6 実施形態 &gt;

次に、図 15 から図 17 を参照して、本発明の第 6 実施形態について説明する。上述した第 3 実施形態においては、被検査体 11 に  $90^\circ$  の角度で超音波送信素子 6 からの超音波が入射する部分についても超音波検査を行うために、被検査体 11 を円筒軸中心に  $90^\circ$  回転させて再度直径方向にスキャンして超音波検査を行うようにしている。

## 【 0046 】

これに対して、第 6 実施形態においては、図 15 および図 16 に示すように、第 3 実施形態における超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を被検査体 11 の円筒軸を中心に  $90^\circ$  回転させた位置に、第 2 の超音波送信素子 61 および第 2 の超音波受信素子 81 の組を設けている。超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 による被検査体 11 の図 15 の左方向 (X 軸方向) のスキャンが完了すると、被検査体 11 を円筒軸周りに回転させることなく、第 2 の超音波送信素子 61 および第 2 の超音波受信素子 81 を矢印方向にスキャンさせながら超音波送信素子 61 から超音波を送信して、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 によって超音波検査を行うことができなかった部分についても超音波検査を行うことができる。

10

## 【 0047 】

すなわち、図 16 に示すように、第 2 の超音波送信素子 61 からの超音波が被検査体 11 にガイド波を励起する角度で入射し、被検査体 11 内を透過して円周方向に伝搬して、同じ大きさの逆向きの角度で出射して第 2 の超音波受信素子 81 に受信される。第 2 の超音波送信素子 61 から入射角で入射した超音波は、反対側に対向する第 2 の超音波受信素子 81 に、被検査体 11 をほぼ半周分伝搬した後に受信される。この超音波の伝搬箇所には、超音波送信素子 6 からの超音波が  $90^\circ$  の角度で入射する部分も含まれるので、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 によって超音波検査を行うことができなかった部分についても超音波検査を行うことができる。

20

## 【 0048 】

なお、第 6 実施形態においては、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を被検査体 11 の円筒軸を中心に  $90^\circ$  回転させた位置に、第 2 の超音波送信素子 61 および第 2 の超音波受信素子 81 の組を設けている。しかしながら、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 と、第 2 の超音波送信素子 61 および第 2 の超音波受信素子 81 との配置位置は、被検査体 11 の円筒軸を中心として  $90^\circ$  の角度だけ回転させた位置に限定されない。この角度は、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$  等の任意の角度でも良い。また、本実施形態においては、超音波送信素子および超音波受信素子を 2 組設けているが、2 組に限らず、より多くの組を設けてもよい。

30

## 【 0049 】

この第 6 実施形態の超音波検査方法に用いられる超音波検査装置について図 17 を参照して説明する。図 17 において、図 9 に示された超音波検査装置と同一の構成については同一の参照番号を付し、それらの説明は省略する。

## 【 0050 】

図 17 を参照すると、上述したとおり、第 2 の超音波送信素子 61 および第 2 の超音波受信素子 81 の組は、超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を被検査体 11 の円筒軸を中心に  $90^\circ$  回転させた位置に設けられている。第 2 の超音波送信素子 61 および第 2 の超音波受信素子 81 は、スキャン制御部 34 によって Z 軸方向に駆動できるようになっている。第 2 の超音波送信素子 61 は、超音波送信素子 6 と同様に、信号送信部 7 に接続される。第 2 の超音波送信素子 61 は、信号送信部 7 から送信された超音波駆動信号により、被検査体 11 に向けて超音波を送信する。第 2 の超音波受信素子 81 は、超音波受信素子 8 と同様に、信号受信部 9 に接続される。第 2 の超音波受信素子 81 は、超音波受信素子 8 と同様に、被検査体 11 を伝搬して透過した超音波を受信して受信電圧信号として信号受信部 9 に送る。その他の動作は、図 9 に示された超音波検査装置と同様である。

40

## 【 0051 】

この第 6 実施形態の検査方法を実施する場合は、図 10 に示された超音波検査方法と同

50

様に、超音波送信素子 6 1 から被検査体 1 1 の外部を経由して空中を伝搬してくる超音波（回折波）を超音波受信素子 8 1 で受信しないようにすることが望ましい。

そこで、図 1 8 に示すように、遮蔽体 4 1 に加え、被検査体 1 1 の外側を通して超音波送信素子 6 1 から超音波受信素子 8 1 に到達する超音波信号を遮断するように被検査体 1 1 の外周面上に遮蔽体 4 2 を配置して超音波検査を行う。図 1 8 に示す例では、超音波送信素子 6 1 と超音波受信素子 8 1 との対向方向に対して直交する方向に伸びるブロック状の遮蔽体 4 2 を被検査体 1 1 の外周面に接した状態に遮蔽体 4 1 から 90°回転させた位置に配置している。遮蔽体 4 2 としては、遮蔽体 4 1 と同様に例えばアクリル樹脂やアルミニウムを用いることができる。

#### 【0052】

この遮蔽体 4 2 を設けた状態で超音波検査することにより、超音波受信素子 8 1 において前述した第 2 超音波信号 S（図 4 参照）が受信されなくなり、第 1 超音波信号 U のみを有効に検出することができ、正確な超音波検査を実施することができる。

#### 【0053】

##### <第 7 実施形態>

図 1 9 を参照して、本発明の第 7 実施形態の超音波検査方法を説明する。上述した第 4 実施形態においては、図 1 3 に示すように、超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とを複数組用いて、これらをアレイ状に並べて使用する。第 7 実施形態においては、第 4 実施形態の構成に加えて、第 2 の超音波送信素子 6 1 および第 2 の超音波受信素子 8 1 も複数組用いて、これらをアレイ状に並べて使用する。

すなわち、第 4 実施形態の構成に加え、複数組の超音波送信素子 6 1 と超音波受信素子 8 1 とが被検査体 1 1 の Z 軸方向の直径方向に並べられるとともに、各組の超音波送信素子 6 1 および超音波受信素子 8 1 は、被検査体 1 1 を介して X 軸上に離れて配置され、X 軸方向に対向している。すなわち、第 7 実施形態においては、複数組の超音波送信素子 6 1 と超音波受信素子 8 1 とが、複数組の超音波送信素子 6 と超音波受信素子 8 とを被検査体 1 1 の円筒軸を中心に 90°回転させた位置に配置されている。

#### 【0054】

この状態で、各超音波送信素子 6 1 から被検査体 1 1 に超音波を送信すると、送信方向が被検査体 1 1 に対してガイド波を励起する角度（図 1 6 の角度 参照）となった超音波送信素子 6 1 からの超音波が被検査体 1 1 内に入射され、ガイド波として被検査体 1 1 内を周方向に伝搬する。このとき、その超音波送信素子 6 1 と対向する超音波受信素子 8 1 も、入射角度と同じ大きさで逆向きの角度に設定されていることから、被検査体 1 1 内を伝搬して出射した超音波を受信することができる。図 1 9 に示す例では、C - C で示す位置において、超音波送信素子 6 1 から送信され被検査体 1 1 内を伝搬した超音波が超音波受信素子 8 1 に受信される。

#### 【0055】

なお、第 7 実施形態においては、複数組の超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 を被検査体 1 1 の円筒軸を中心に 90°回転させた位置に、複数組の第 2 の超音波送信素子 6 1 および第 2 の超音波受信素子 8 1 を設けている。しかしながら、複数組の超音波送信素子 6 および超音波受信素子 8 と、複数組の第 2 の超音波送信素子 6 1 および第 2 の超音波受信素子 8 1 との配置位置は、被検査体 1 1 の円筒軸を中心として 90°の角度だけ回転させた位置に限定されない。この角度は、30°、45°等の任意の角度でも良い。また、本実施形態においては、複数組の超音波送信素子および超音波受信素子を 2 組設けているが、2 組に限らず、より多くの組を設けてもよい。

#### 【0056】

##### <第 8 実施形態>

図 2 0 を参照して、本発明の第 8 実施形態の超音波検査方法を説明する。上述した第 5 実施形態においては、図 1 4 に示すように、超音波受信素子 8 を被検査体 1 1 の直径方向（X 軸方向）にアレイ状に並べて配置し、超音波送信素子 6 を矢印で示す直径方向（X 軸方向）に移動しながら超音波を送信して検査する。第 8 実施形態においては、第 5 実施形

10

20

30

40

50

態の構成に加えて、複数の超音波受信素子 8 1 を被検査体 1 1 の Z 軸方向の直径方向にアレイ状に並べて配置し、超音波送信素子 6 1 を矢印で示す Z 軸方向に移動しながら超音波を送信して検査する。すなわち、第 8 実施形態においては、超音波送信素子 6 1 と複数の超音波受信素子 8 1 とが、超音波送信素子 6 と複数の超音波受信素子 8 とを被検査体 1 1 の円筒軸を中心に 90° 回転させた位置に配置されている。

【0057】

この検査方法では、超音波送信素子 6 1 が被検査体 1 1 に対してガイド波を励起する角度（図 2 の角度 参照）で超音波を送信する位置に配置されたときに、アレイ状の超音波受信素子 8 1 のうち、超音波送信素子 6 1 の位置と対向する位置関係にある超音波受信素子 8 1（図 20 の C - C で示す対向関係にある超音波受信素子）によって被検査体 1 1 内を伝搬してきた超音波を受信することができる。

10

【0058】

第 8 実施形態においては、1 個の超音波送信素子 6 1 を被検査体 1 1 の Z 軸方向の直径方向に移動し、複数の超音波受信素子 8 を被検査体 1 1 の Z 軸方向の直径方向に並べて配置した。しかしながら、逆に、複数の超音波送信素子 6 1 を被検査体 1 1 の Z 軸方向の直径方向に並べて配置し、1 個の超音波受信素子 8 1 を被検査体 1 1 の Z 軸方向の直径方向に移動しながら超音波を受信する方法としてもよい。

【0059】

なお、第 8 実施形態においては、1 つの超音波送信素子 6 および複数の超音波受信素子 8 を被検査体 1 1 の円筒軸を中心に 90° 回転させた位置に、1 つの超音波送信素子 6 1 および複数の超音波受信素子 8 1 の組を設けている。しかしながら、1 つの超音波送信素子 6 および複数の超音波受信素子 8 の組と、1 つの超音波送信素子 6 1 および複数の超音波受信素子 8 1 の組との配置位置は、被検査体 1 1 の円筒軸を中心として 90° の角度だけ回転させた位置に限定されない。この角度は、30°、45° 等の任意の角度でも良い。また、本実施形態においては、超音波送信素子および超音波受信素子を 2 組設けているが、2 組に限らず、より多くの組を設けてもよい。

20

【0060】

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

例えば、前記実施形態では、受信した超音波信号の強度（振幅）に着目して第 1 超音波信号 U と第 2 超音波信号 S を区別したが、周波数特性に着目して第 1 超音波信号 U と第 2 超音波信号 S を区別してもよい。この場合、周波数解析して二つのピークのうち特定の周波数の方を選択する、あるいは、回折波は強度が非常に強いので強度の弱いほうのピークを選択するようにしてもよい。

30

また、前記実施形態では、超音波送信素子および / または超音波受信素子を X 方向及び Y 方向に移動するように説明したが、被検査体を X 方向及び Y 方向に移動してもよい。

【0061】

さらに、上述した実施形態において、被検査体 1 1 は、円筒形状である例を示した。しかしながら、被検査体の形状は、筒状であれば、筒状軸と直交する断面が楕円形状でもよい。

40

被検査体の断面が楕円形状であって超音波送信素子 6 または超音波受信素子 8 をスキャンさせる場合には、その楕円形状の長軸または短軸と平行に超音波送信素子 6 または超音波受信素子 8 をスキャンさせればよい。また、被検査体の断面が楕円形状であって複数の超音波送信素子 6 または超音波受信素子 8 を並設する場合には、被検査体の断面の楕円形状の長軸または短軸と平行に複数の超音波送信素子 6 または超音波受信素子 8 を設ければよい。したがって、本明細書において、「円筒形状」という文言には、円筒形の筒だけでなく、楕円形の筒も含まれる。

【産業上の利用可能性】

【0062】

本発明は、超音波による円筒形状の被検査体の内部検査に適用でき、円筒形状の被検査

50

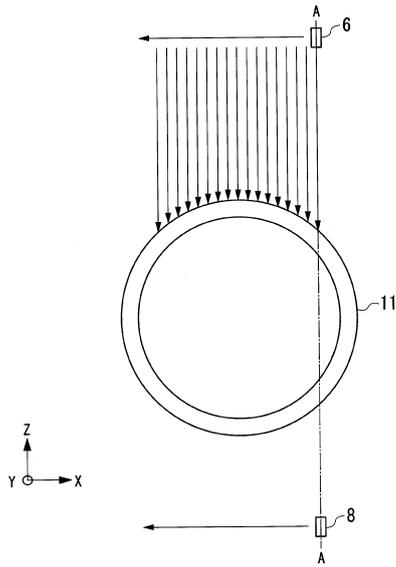
体に対する入射角の面倒な位置決め作業を不要とし、被検査体の材料内の音速データが不明な場合や被検査体が積層材からなる場合等でも被検査体の欠陥等を容易に検査することができる。

【符号の説明】

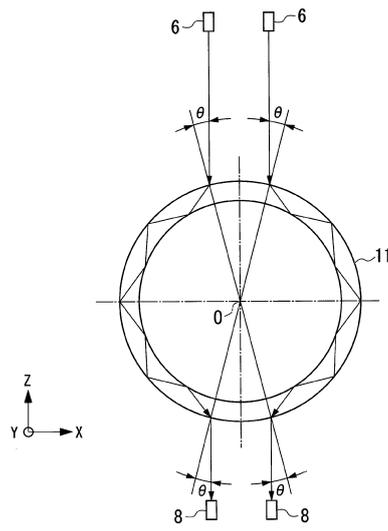
【 0 0 6 3 】

- |        |                 |    |
|--------|-----------------|----|
| 1      | 超音波検査装置         |    |
| 2      | パルサーレシーバー部      |    |
| 3      | 探査部             |    |
| 4      | 信号処理部           |    |
| 5      | 信号発生器           | 10 |
| 6      | 超音波送信素子（検査波送信機） |    |
| 7      | 信号送信部           |    |
| 8      | 超音波受信素子         |    |
| 9      | 信号受信部           |    |
| 10     | 受信信号増幅部         |    |
| 11     | 被検査体            |    |
| 21     | スキャン機構部         |    |
| 22     | ステージ            |    |
| 23     | X方向駆動部          |    |
| 24     | Y方向駆動部          | 20 |
| 25, 26 | Z方向駆動部          |    |
| 31     | 条件設定部           |    |
| 32     | 欠陥判定部           |    |
| 33     | 表示部             |    |
| 34     | スキャン制御部         |    |
| 35     | 操作部             |    |
| 41     | 遮蔽体             |    |

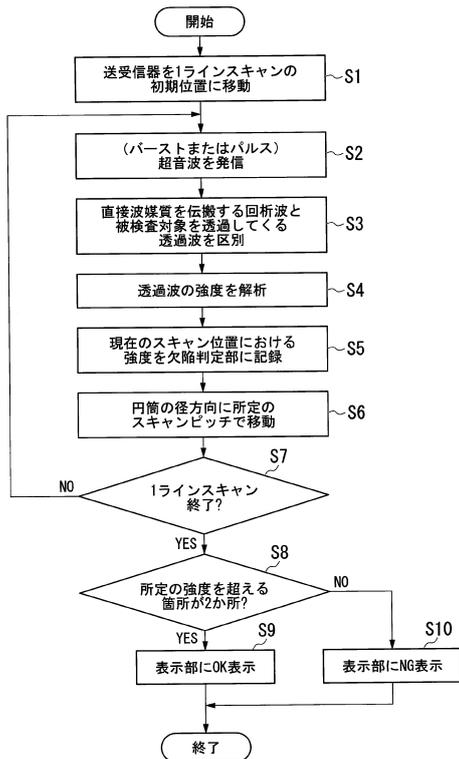
【図1】



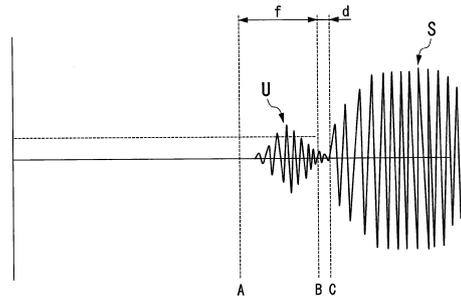
【図2】



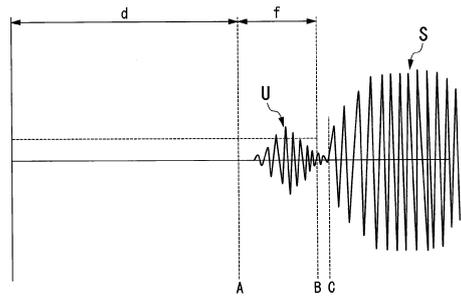
【図3】



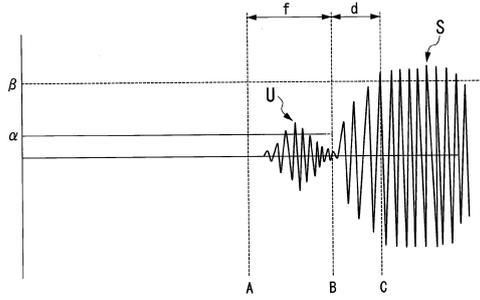
【図4】



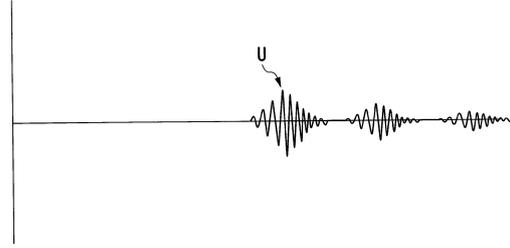
【図5】



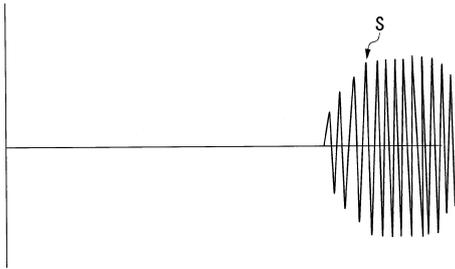
【図6】



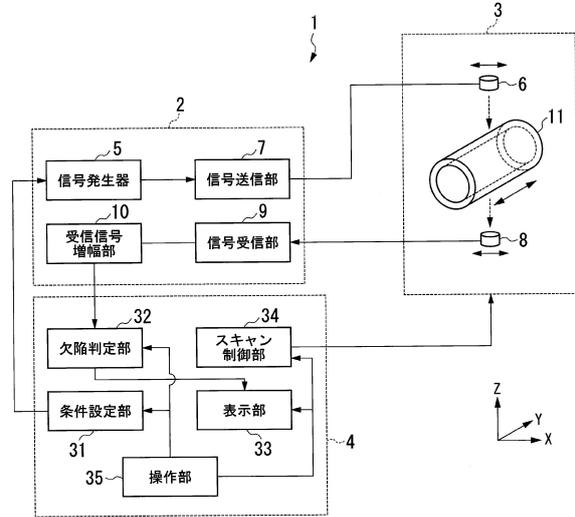
【図8】



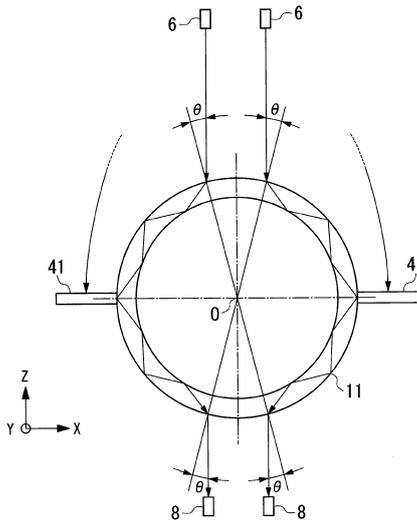
【図7】



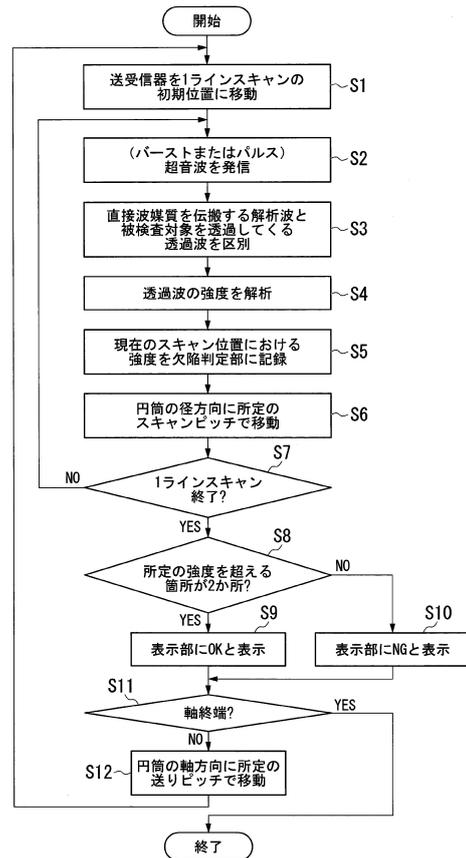
【図9】



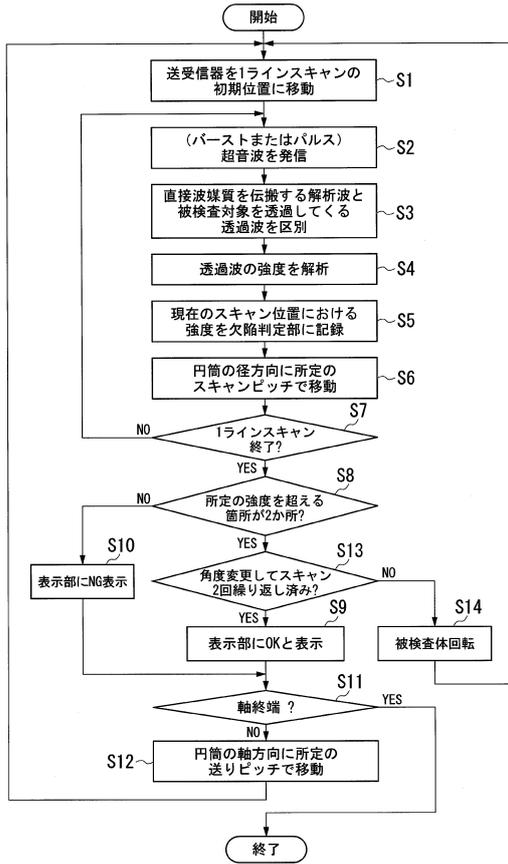
【図10】



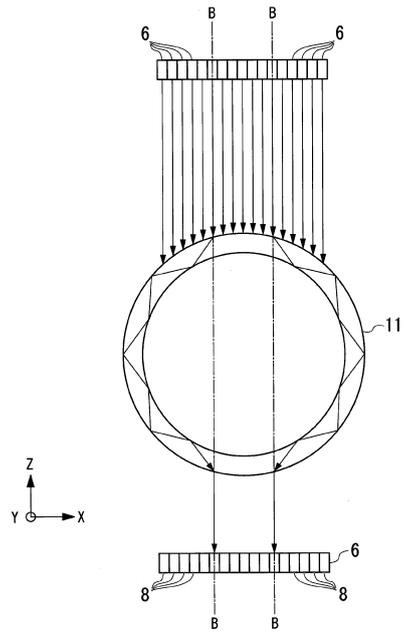
【図11】



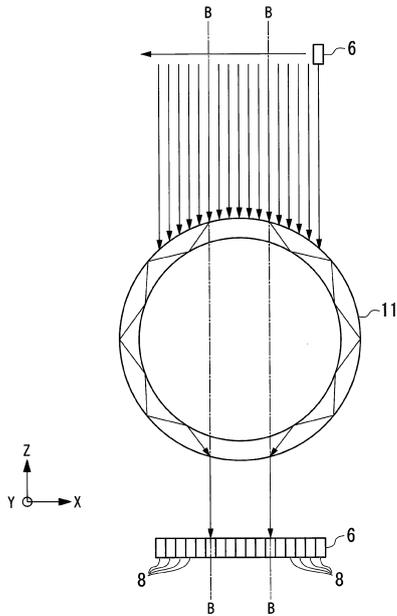
【図12】



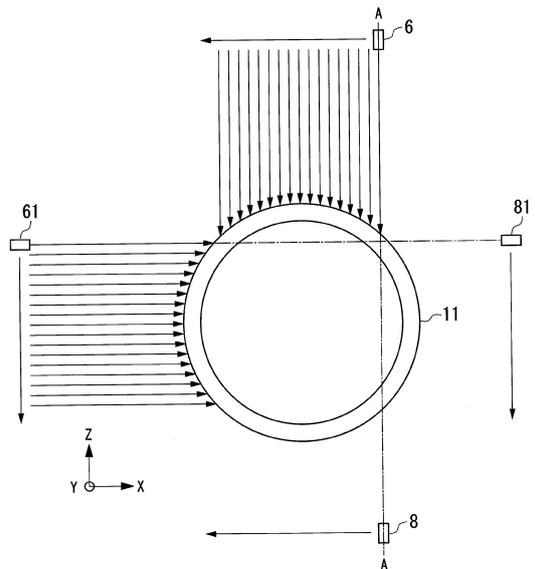
【図13】



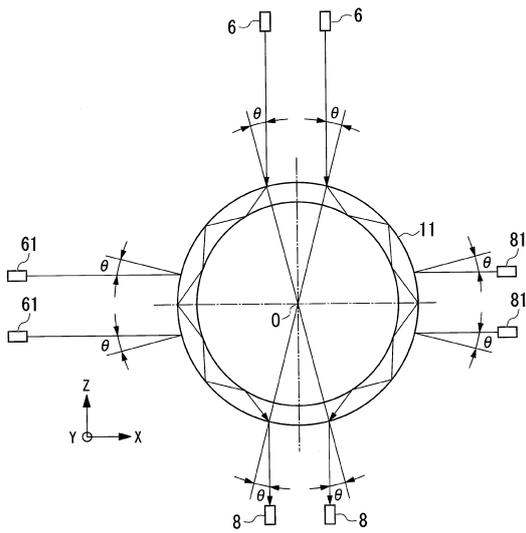
【図14】



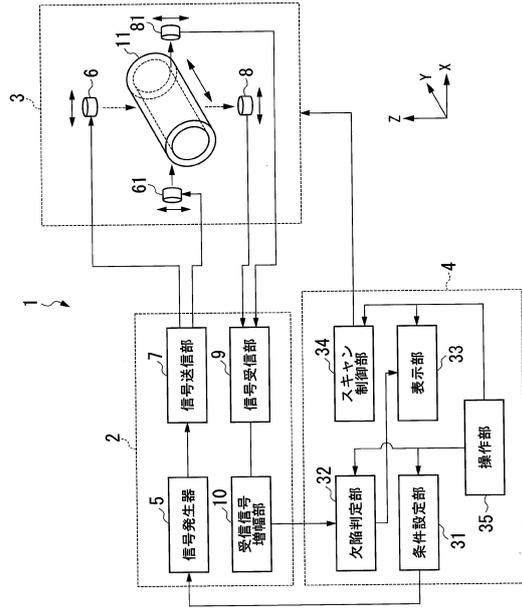
【図15】



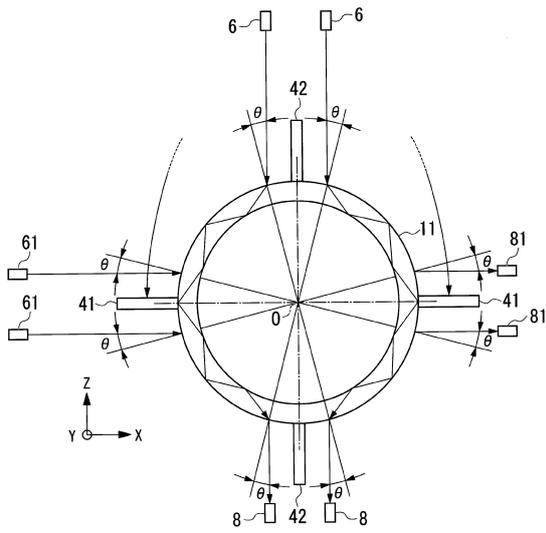
【図16】



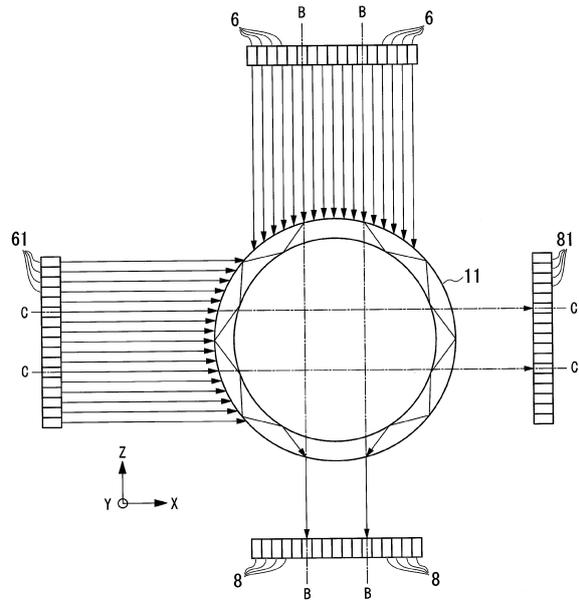
【図17】



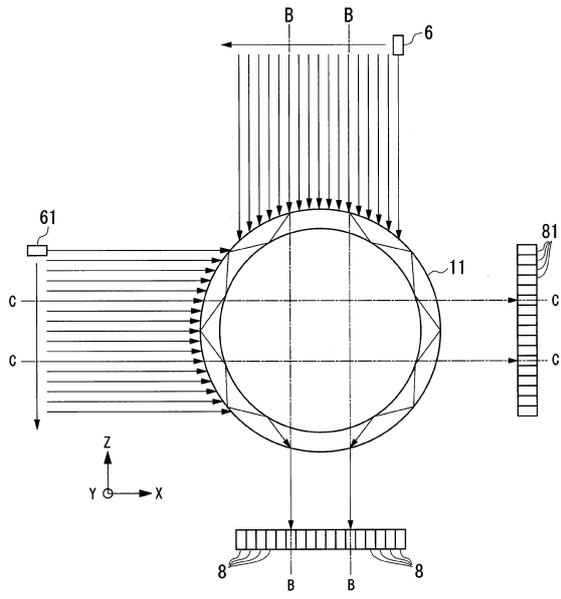
【図18】



【図19】



【 図 20 】



## フロントページの続き

審査官 嶋田 行志

- (56)参考文献 特開2000-241397(JP,A)  
国際公開第2017/119359(WO,A1)  
特開2012-141230(JP,A)  
特表2009-515158(JP,A)  
国際公開第2009/122904(WO,A1)  
米国特許出願公開第2006/0201252(US,A1)  
特開2010-025817(JP,A)  
韓国公開特許第10-2006-0129711(KR,A)  
国際公開第2015/096902(WO,A1)  
西野秀郎 他,非接触空中超音波センサーで励起した円周方向ラム波の周回波の重ね合わせによる探傷方法の提案,平成20年度春季大会講演概要集,日本,社団法人 日本非破壊検査協会,2008年 5月20日,第9-12頁  
川嶋 紘一郎 Koichiro KAWASHIMA Koichiro KAWASHIMA,空気伝搬超音波法による非破壊材料評価と検査 Nondestructive Material Evaluation and Testing of Structures with Air-Coupled Transducers,非破壊検査,阿部 節矢 社団法人日本非破壊検査協会,2009年 7月,第58巻

## (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G01N 29/00-29/52  
JSTPlus/JST7580/JSTChina(JDreamIII)  
J-STAGE