

(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2010-66168
(P2010-66168A)

(43) 公開日 平成22年3月25日(2010.3.25)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
 GO 1 N 29/28 (2006.01) GO 1 N 29/28 2 GO 4 7
 GO 1 N 29/26 (2006.01) GO 1 N 29/26 5 O 1

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2008-233887 (P2008-233887)
 (22) 出願日 平成20年9月11日(2008.9.11)

(71) 出願人 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 100080621
 弁理士 矢野 寿一郎
 (72) 発明者 松岡 勝己
 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
 Fターム(参考) 2G047 AA05 BB04 BC07 DB09 EA10
 GE08 GF06 GG25 GG28 GG37

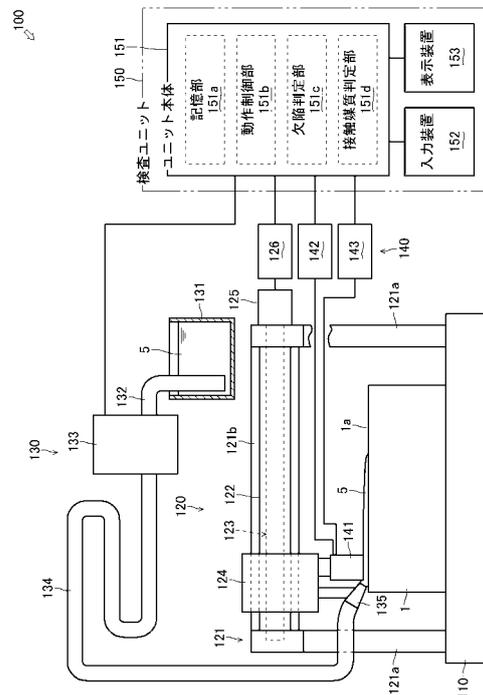
(54) 【発明の名称】 超音波検査装置および超音波検査方法

(57) 【要約】

【課題】超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が供給されているか否かを精度良く判定することが可能な超音波検査装置および超音波検査方法を提供する。

【解決手段】超音波検査装置100に、被検査物1の被検査面1aに接触媒質5を供給する接触媒質供給機構130と、接触媒質5を介して超音波を被検査物1に向けて発信すると共に受信した超音波の強度を検出する超音波センサ141と、超音波強度-受信時間グラフを近似する三次以上の高次関数の二次以上の係数の値に基づいて超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されているか否かを判定する接触媒質判定部151dと、を具備した。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検査物の被検査面に接触媒質を供給する接触媒質供給部と、

前記接触媒質を介して超音波を前記被検査物に向けて発信し、前記被検査物および前記接触媒質により反射された超音波を受信し、受信した超音波の強度を検出する超音波センサと、

前記超音波センサにより検出された超音波の強度と前記超音波センサが超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの時間との関係を示すグラフを近似する三次以上の高次関数を生成し、前記高次関数の二次以上の係数の値に基づいて前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されているか否かを判定する接触媒質判定部と、

を具備する超音波検査装置。

【請求項 2】

前記接触媒質判定部は、

前記高次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値以上である場合には前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていると判定し、

前記高次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値未満である場合には前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定する請求項 1 に記載の超音波検査装置。

【請求項 3】

前記接触媒質判定部が前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定した場合に警報を発する警報発生部を具備する請求項 1 または請求項 2 に記載の超音波検査装置。

【請求項 4】

前記超音波センサを前記被検査物の被検査面に沿って相対移動させる移動部を具備する請求項 1 から請求項 3 までのいずれか一項に記載の超音波検査装置。

【請求項 5】

前記移動部は、

前記接触媒質供給部における接触媒質の吐出口と前記超音波センサとの相対的な位置を保持しつつ、前記接触媒質供給部における接触媒質の吐出口および前記超音波センサを前記被検査物の被検査面に沿って相対移動させる請求項 4 に記載の超音波検査装置。

【請求項 6】

前記移動部は、

前記接触媒質判定部が前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定した場合に前記超音波センサの相対移動を停止する請求項 4 または請求項 5 に記載の超音波検査装置。

【請求項 7】

超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質を供給している状態で、前記超音波センサが前記接触媒質を介して超音波を前記被検査物に向けて発信し、前記被検査物および前記接触媒質により反射された超音波を受信し、受信した超音波の強度を検出する超音波発信・受信工程と、

前記超音波センサにより検出された超音波の強度と前記超音波発信・受信工程において超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの時間との関係を示すグラフを生成する超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程と、

前記超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程において生成されたグラフを近似する三次以上の高次関数を生成し、前記高次関数の二次以上の係数の値に基づいて前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されているか否かを判定する接触媒質判定工程と、

を具備する超音波検査方法。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

前記接触媒質判定工程において、

前記高次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値以上である場合には前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていると判定し、

前記高次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値未満である場合には前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定する請求項 7 に記載の超音波検査方法。

【請求項 9】

前記接触媒質判定工程において前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定した場合に警報を発する警報発生工程を具備する請求項 7 または請求項 8 に記載の超音波検査方法。

10

【請求項 10】

前記超音波センサを前記被検査物の被検査面に沿って相対移動させる移動工程を具備する請求項 7 から請求項 9 までのいずれか一項に記載の超音波検査方法。

【請求項 11】

前記接触媒質判定工程において前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定した場合に前記超音波センサの相対移動および前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置への前記接触媒質の供給を停止する緊急停止工程を具備する請求項 10 に記載の超音波検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、超音波を用いて被検査物の内部の品質を検査する技術に関する。

より詳細には、超音波を発生する超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が供給されているか否かを判定する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、超音波を用いて被検査物の内部の品質、例えば被検査物の内部にクラックが有るか否か、被検査物の内部に異物が有るか否か等を検査する超音波検査装置は公知となっている。

このような超音波検査装置は、一般には超音波を被検査物に向かって発信するとともに被検査物により反射されてきた超音波の受信強度に応じた強度の信号を出力する超音波センサと、超音波センサが出力した信号に基づいて被検査物の内部に異物が有るか否か等を判定する判定装置と、を具備する。

30

【0003】

また、このような超音波検査装置は、超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に水あるいはグリセリン等の接触媒質を介在させることにより、超音波センサが発信する超音波を被検査物に効率良く（あまり減衰させずに）入射させる。

超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質を介在させる方法としては、以下の（1）および（2）の方法が知られている。

【0004】

40

（1）の方法は、容器（水槽等）に接触媒質および被検査物を収容し、被検査物が接触媒質に浸漬された状態で検査を行う方法である。

（1）の方法は、接触媒質を超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に確実に介在させる（供給する）ことが可能である点において優れている。

しかし、（1）の方法は接触媒質が収容（貯留）された容器に被検査物を浸漬する作業および検査後に被検査物を取り出す作業を要し、被検査物が重量物（作業者が手で持って搬送することが困難な程度の重量を有する物品）である場合にはこれらの作業を機械化するための装置が必要であるため、全体として装置が大型化・複雑化するという問題点を有する。

【0005】

50

(2)の方法は、例えばノズルの先端から接触媒質を吐出することにより超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に継続して接触媒質を供給しつつ検査を行う方法である。

(2)の方法が適用される装置としては、例えば、特許文献1に記載の超音波探傷装置が知られている。

(2)の方法は、接触媒質が収容された容器に被検査物を浸漬する作業および検査後に被検査物を取り出す作業を必要としない分、装置を簡素化・小型化し易いという利点を有する。

しかし、(2)の方法は超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に流体たる接触媒質を供給するため、被検査物の形状、姿勢、その他の装置構成等によっては超音波センサと被検査物とで挟まれる位置にうまく接触媒質を供給することができない場合がある。

10

また、一般に、超音波センサが受信する超音波の強度(受信強度)は超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在しているか否かにより変動する(接触媒質が介在しない場合には受信強度が小さくなる)。

従って、上記(2)の方法は、超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在していたことが確認されない限り、検査結果の信頼性が低いという問題を有する。

【0006】

上記(2)の方法の問題点を解消する装置としては、特許文献2および特許文献3に記載の装置が知られている。

【0007】

特許文献2に記載の自動超音波探傷装置は、被検査物と接触媒質との境界面で反射した超音波(境界エコー)の立ち上がり時間(超音波センサから発信された超音波が接触媒質に入射してから被検査物と接触媒質との境界面により反射され、超音波センサにより受信されるまでに要する時間)が接触媒質の厚さに略比例する性質を利用して接触媒質の厚さを推定する。

20

また、特許文献2に記載の自動超音波探傷装置は、予め接触媒質の厚さと超音波センサの受信感度との関係を実験的に求めておき、当該関係および推定された接触媒質の厚さを用いて超音波センサが受信した超音波の受信強度を補正する。

しかし、特許文献2に記載の自動超音波探傷装置は、実験的に求められる接触媒質の厚さと超音波センサの受信感度との関係が信頼性(再現性)の高いものでなければ、結局は検査結果の信頼性を高めることが困難であるという問題を有する。

30

【0008】

特許文献3に記載の超音波試験装置は、超音波センサが受信する超音波の強度(音圧)が予め設定された閾値以上である場合には超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在していると判定し、超音波センサが受信する超音波の強度(音圧)が予め設定された閾値未満である場合には超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在していないと判定する。

しかし、特許文献3に記載の超音波試験装置は超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在しているか否かを判定するための超音波の閾値を設定することが困難であるという問題を有する。

【0009】

40

超音波センサにより検出される超音波のうち、超音波センサが超音波を発信してから受信するまでの時間(受信時間)が短いものは接触媒質により反射された超音波であると考えられる。

そして、定性的には、受信時間が短い超音波の強度が比較的大きい場合には超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在していると考えられ、受信時間が短い超音波の強度が比較的小さい場合には超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在していないと考えられる。

従って、外部からのノイズの影響を考慮しない場合には、図4の(a)および(b)に示す如く、受信時間が短い所定の判定区間における超音波の強度の最大値が所定の閾値以上であるか否かで超音波試験装置は超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質

50

が介在しているか否かを判定することが可能である。

【0010】

しかし、図4の(c)に示す如く、実際の検査では超音波センサにより検出される超音波に外部のノイズが重畳し、超音波センサにより検出される超音波のうち、受信時間が短いものの強度が一時的に大きくなる場合がある。このような場合には、ノイズに起因する超音波の強度(電圧)のピーク値が予め設定された閾値以上となる場合がある。

図4の(c)に示す場合、実際には超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在していない状態で検査が行われているにもかかわらず、超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在している状態で検査が行われていると誤判定されることとなる。

超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在していない状態で検査が行われた場合、受信時間から見て被検査物の内部から反射したと思われる超音波の強度が全体的に小さくなるので、実際には欠陥があるにもかかわらず欠陥が無いと誤判定する、あるいは欠陥のサイズを実際よりも小さいものと誤判定する、といった事態を引き起こすこととなる。

このように、超音波センサにより検出される超音波のうち、受信時間が短いものの強度のみに基づいて超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在しているか否かを判定する方法は検査結果の信頼性を向上することが困難であり、ひいては検査の自動化を行う上で障害となる(例えば、超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が介在していない状態で大量の被検査物を検査し、実際にはこれらの被検査物の中に欠陥を有するものが混入しているにもかかわらずこれらの被検査物にはいずれも欠陥が無いと誤判定する、といった事態を引き起こす恐れがある)。

【特許文献1】特開2000-298120号公報

【特許文献2】特開昭63-198865号公報

【特許文献3】特開2006-234770号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明は以上の如き状況に鑑みてなされたものであり、超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が供給されているか否かを精度良く判定することが可能な超音波検査装置および超音波検査方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の解決しようとする課題は以上の如くであり、次にこの課題を解決するための手段を説明する。

【0013】

すなわち、請求項1においては、

被検査物の被検査面に接触媒質を供給する接触媒質供給部と、

前記接触媒質を介して超音波を前記被検査物に向けて発信し、前記被検査物および前記接触媒質により反射された超音波を受信し、受信した超音波の強度を検出する超音波センサと、

前記超音波センサにより検出された超音波の強度と前記超音波センサが超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの時間との関係を示すグラフを近似する三次以上の高次関数を生成し、前記高次関数の二次以上の係数の値に基づいて前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されているか否かを判定する接触媒質判定部と、

を具備するものである。

【0014】

請求項2においては、

前記接触媒質判定部は、

10

20

30

40

50

前記高次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値以上である場合には前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていると判定し、
前記高次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値未満である場合には前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定するものである。

【0015】

請求項3においては、

前記接触媒質判定部が前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定した場合に警報を発する警報発生部を具備するものである。

【0016】

請求項4においては、

前記超音波センサを前記被検査物の被検査面に沿って相対移動させる移動部を具備するものである。

【0017】

請求項5においては、

前記移動部は、

前記接触媒質供給部における接触媒質の吐出口と前記超音波センサとの相対的な位置を保持しつつ、前記接触媒質供給部における接触媒質の吐出口および前記超音波センサを前記被検査物の被検査面に沿って相対移動させるものである。

【0018】

請求項6においては、

前記移動部は、

前記接触媒質判定部が前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定した場合に前記超音波センサの相対移動を停止するものである。

【0019】

請求項7においては、

超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質を供給している状態で、前記超音波センサが前記接触媒質を介して超音波を前記被検査物に向けて発信し、前記被検査物および前記接触媒質により反射された超音波を受信し、受信した超音波の強度を検出する超音波発信・受信工程と、

前記超音波センサにより検出された超音波の強度と前記超音波発信・受信工程において超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの時間との関係を示すグラフを生成する超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程と、

前記超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程において生成されたグラフを近似する三次以上の高次関数を生成し、前記高次関数の二次以上の係数の値に基づいて前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されているか否かを判定する接触媒質判定工程と、

を具備するものである。

【0020】

請求項8においては、

前記接触媒質判定工程において、

前記高次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値以上である場合には前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていると判定し、

前記高次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値未満である場合には前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定するものである。

【0021】

請求項9においては、

前記接触媒質判定工程において前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前

10

20

30

40

50

記接触媒質が供給されていないと判定した場合に警報を発する警報発生工程を具備するものである。

【0022】

請求項10においては、

前記超音波センサを前記被検査物の被検査面に沿って相対移動させる移動工程を具備するものである。

【0023】

請求項11においては、

前記接触媒質判定工程において前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置に前記接触媒質が供給されていないと判定した場合に前記超音波センサの相対移動および前記超音波センサと前記被検査物とで挟まれる位置への前記接触媒質の供給を停止する緊急停止工程を具備するものである。

【発明の効果】

【0024】

本発明は、超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に接触媒質が供給されているか否かを精度良く判定することが可能である、という効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

以下では、図1を用いて本発明に係る超音波検査装置の実施の一形態である超音波検査装置100について説明する。

【0026】

超音波検査装置100は被検査物1の品質を検査する装置である。

「被検査物」は、超音波検査装置による検査の対象となる物品を指す。被検査物の具体例としては、ダイキャスト製品、複数の部品が溶接により接合された物品の溶接部、半導体のインゴット等が挙げられる。

「被検査物の品質を検査すること」には、被検査物の内部に欠陥（クラック、異物、空洞等）があるか否かを判定すること等が含まれる。

本実施形態の被検査物1の形状は直方体形状であり、その上面が被検査面1aとなる。

「被検査物の被検査面」は被検査物の表面のうち、超音波センサから発信された超音波が入射される面を指す。

なお、本発明に係る被検査物の形状は本実施形態の如き直方体形状に限定されないが、本発明に係る超音波検査装置による検査結果の信頼性を向上させる観点からは、被検査物の被検査面が平滑であることが望ましく、超音波センサから被検査物の被検査面までの距離が一定に保持された状態で検査が行われることが望ましい。

【0027】

図1に示す如く、超音波検査装置100は主として検査台110、移動機構120、接触媒質供給機構130、超音波センサユニット140および検査ユニット150を具備する。

【0028】

検査台110は被検査物1を所定の位置に所定の姿勢で載置する台である。

本実施形態の検査台110は長方形の板状の部材であり、地面あるいは床面に載置される。地面あるいは床面に載置された検査台110の上面（被検査物1が載置される面）は水平面（重力が作用する方向に垂直な面）に対して平行となる。

【0029】

移動機構120は本発明に係る移動部の実施の一形態であり、後述する超音波センサ141を被検査物1の被検査面に沿って相対移動させるものである。

移動機構120はフレーム121、レール122、ボールネジ123、スライドブロック124、モータ125および移動制御装置126を有する。

【0030】

フレーム121は移動機構120の主たる構造体を成す部材である。フレーム121は

10

20

30

40

50

検査台 1 1 0 の二つの隅からそれぞれ立設される柱 1 2 1 a ・ 1 2 1 a および柱 1 2 1 a ・ 1 2 1 a の上端部を連結する梁 1 2 1 b を有する。

【 0 0 3 1 】

レール 1 2 2 は長い棒状の部材であり、検査台 1 1 0 の上方に配置される。レール 1 2 2 の両端部はフレーム 1 2 1 に固定される。

【 0 0 3 2 】

ボールネジ 1 2 3 は全長にわたって外周面に雄ネジが形成された丸棒状の部材である。

ボールネジ 1 2 3 は、その軸線方向がレール 1 2 2 の長手方向と平行となるように配置される。ボールネジ 1 2 3 の両端部はフレーム 1 2 2 に回転可能に軸支される。

【 0 0 3 3 】

スライドブロック 1 2 4 はレール 1 2 2 に係合しつつレール 1 2 2 の長手方向に摺動する部材である。スライドブロック 1 2 4 はボールネジ 1 2 3 に螺合する。

【 0 0 3 4 】

モータ 1 2 5 はボールネジ 1 2 3 を回転駆動する駆動源である。本実施形態のモータ 1 2 5 は回転量（回転角度）を制御することが可能な電気式のモータ（例えば、サーボモータ、ステッピングモータ等）からなる。

モータ 1 2 5 に通電するとボールネジ 1 2 3 が回転駆動され、ボールネジ 1 2 3 に螺合するスライドブロック 1 2 4 がレール 1 2 2 に沿って摺動する。

【 0 0 3 5 】

移動制御装置 1 2 6 はモータ 1 2 5 の動作、ひいては移動機構 1 2 0 の動作を制御する装置である。移動制御装置 1 2 6 には移動機構 1 2 0 の動作に係るプログラムが格納される。本実施形態の移動制御装置 1 2 6 はプログラマブルロジックコントローラ（Programmable Logic Controller ; PLC）からなる。

【 0 0 3 6 】

接触媒質供給機構 1 3 0 は本発明に係る接触媒質供給部の実施の一形態であり、被検査物 1 の上面に接触媒質 5 を供給するものである。

「接触媒質」は超音波センサが発信する超音波を被検査物に伝達するための媒質（波動が伝播する場となる物質あるいは物体）であり、通常は流動性を有する物質（液体またはゲル状の物質）からなる。接触媒質の具体例としては、水、油、グリセリン、水ガラス（珪酸ナトリウムの水溶液）等が挙げられる。

接触媒質供給機構 1 3 0 は主としてタンク 1 3 1、第一搬送配管 1 3 2、ポンプ 1 3 3、第二搬送配管 1 3 4、ノズル 1 3 5 を有する。

【 0 0 3 7 】

タンク 1 3 1 は接触媒質 5 を収容する容器である。

第一搬送配管 1 3 2 はタンク 1 3 1 に収容された接触媒質 5 を取り出して搬送するための配管であり、その一端はタンク 1 3 1 に挿入される。

ポンプ 1 3 3 はタンク 1 3 1 に収容された接触媒質 5 を吸入し、圧力を作用させて吐出するものである。ポンプ 1 3 3 は吸入ポートおよび吐出ポートの二つのポートを有し、吸入ポートから接触媒質 5 を吸入し、吸入した接触媒質 5 を吐出ポートから吐出する。ポンプ 1 3 3 の吸入ポートは第一搬送配管 1 3 2 の他端に接続される。

第二搬送配管 1 3 4 はポンプ 1 3 3 から吐出された接触媒質 5 を搬送するための配管であり、その一端はポンプ 1 3 3 の吐出ポートに接続される。本実施形態の第二搬送配管 1 3 4 は屈曲可能な材質（例えば、ゴム、樹脂等）からなる。

ノズル 1 3 5 は接触媒質供給機構 1 3 0 における接触媒質 5 の吐出口を成す筒状の部材であり、第二搬送配管 1 3 4 の他端に接続される。ノズル 1 3 5 は移動機構 1 2 0 のスライドブロック 1 2 4 に固定され、スライドブロック 1 2 4 と一体的に移動する。

【 0 0 3 8 】

接触媒質供給機構 1 3 0 のポンプ 1 3 3 が動作することにより、タンク 1 3 1 に収容された接触媒質 5 が第一搬送配管 1 3 2、ポンプ 1 3 3 および第二搬送配管 1 3 4 を経てノズル 1 3 5 まで圧送され、ノズル 1 3 5 から吐出される。ノズル 1 3 5 から吐出された接

10

20

30

40

50

触媒質 5 は被検査物 1 の被検査面 1 a に注がれる。

【 0 0 3 9 】

超音波センサユニット 1 4 0 は超音波センサ 1 4 1、超音波発信機 1 4 2 および超音波受信機 1 4 3 を有する。

【 0 0 4 0 】

超音波センサ 1 4 1 は本発明に係る超音波センサの実施の一形態であり、接触媒質 5 を介して超音波を被検査物 1 に向けて発信し、被検査物 1 および接触媒質 5 により反射された超音波を受信し、受信した超音波の強度を検出するものである。

本実施形態の超音波センサ 1 4 1 はユニモルフ構造の振動子、すなわち圧電セラミックに金属板を貼り合わせるとともに一对の電極を設けた振動子を有する。

10

【 0 0 4 1 】

超音波発信機 1 4 2 は超音波センサ 1 4 1 の振動子に所定周波数の電圧を印加する装置である。超音波発信機 1 4 2 は超音波センサ 1 4 1 の振動子に設けられた一对の電極に接続される。

超音波発信機 1 4 2 が超音波センサ 1 4 1 の振動子に所定周波数の電圧を印加すると、当該振動子は超音波発信機 1 4 2 が印加した電圧の周波数と同じ周波数で屈曲し、当該振動子は超音波発信機 1 4 2 が印加した電圧の周波数と同じ周波数の超音波を発信する。

【 0 0 4 2 】

超音波センサ 1 4 1 の振動子が外部からの超音波を受信すると、受信した超音波の周波数と同じ周波数を有し、かつ、超音波センサ 1 4 1 の振動子が受信した超音波の強度（音圧）に比例する電圧を有する電気信号を生成する。当該電気信号は、超音波センサ 1 4 1 が検出した超音波の強度に係る情報に相当する。

20

【 0 0 4 3 】

超音波受信機 1 4 3 は超音波センサ 1 4 1 の振動子が生成した電気信号を受信し、受信した信号を後述するユニット本体 1 5 1 が受信可能な電気信号に変換する装置である。超音波受信機 1 4 3 は超音波センサ 1 4 1 の振動子に設けられた一对の電極に接続される。超音波受信機 1 4 3 により変換された電気信号も、超音波センサ 1 4 1 が検出した超音波の強度に係る情報に相当する。

【 0 0 4 4 】

超音波センサ 1 4 1 はスライドブロック 1 2 4 に固定され、検査台 1 1 0 に載置された被検査物 1 に向けて（本実施形態では、斜め下方に）超音波を発信する。

30

検査台 1 1 0 に載置された被検査物 1 の被検査面 1 a およびレール 1 2 2 の長手方向はいずれも水平面に平行であるため、スライドブロック 1 2 4 がレール 1 2 2 に沿って移動しても超音波センサ 1 4 1 の下端部から被検査物 1 の被検査面 1 a までの距離は一定に保持される。

【 0 0 4 5 】

接触媒質供給機構 1 3 0 により被検査物 1 の被検査面 1 a に注がれた接触媒質 5 は、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 の被検査面 1 a との間に供給され、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 の被検査面 1 a との間は接触媒質 5 により満たされる。

従って、超音波センサ 1 4 1 が発信した超音波は、接触媒質 5 を介して被検査物 1 に入射されることとなる。

40

また、被検査物 1 の内部の欠陥または接触媒質 5 により反射された超音波（反射波）は接触媒質 5 を介して超音波センサ 1 4 1 に伝わり、超音波センサ 1 4 1 に受信される。

【 0 0 4 6 】

本実施形態では、ノズル 1 3 5（接触媒質供給機構 1 3 0 における接触媒質 5 の吐出口）および超音波センサ 1 4 1 がともにスライドブロック 1 2 4 に固定されるため、ノズル 1 3 5 と超音波センサ 1 4 1 との相対的な位置が保持された状態でスライドブロック 1 2 4 が移動する。

また、ノズル 1 3 5 はその先端（接触媒質 5 の吐出口）が超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 の被検査面 1 a とで挟まれる位置に向けられた状態でスライドブロック 1 2 4 に固定

50

されるので、スライドブロック124が移動しても（被検査物1に対する超音波センサ141の相対的な位置が変化しても）接触媒質5が超音波センサ141と被検査物1の被検査面1aとで挟まれる位置に安定して供給される。

【0047】

検査ユニット150はユニット本体151、入力装置152および表示装置153を備える。

【0048】

ユニット本体151は種々のプログラム等を格納することができ、これらのプログラム等を展開することができ、これらのプログラム等に従って所定の演算を行うことができ、当該演算の結果等を記憶することができ、当該演算の結果等を外部に出力することができる。

10

【0049】

ユニット本体151は、実体的には、CPU(Central Processing Unit)、ROM(Read-Only Memory)、RAM(Random Access Memory)、HDD(Hard Disk Drive)等がバスで相互に接続される構成であっても良く、あるいはワンチップのLSI(Large Scale Integration;大規模集積回路)等からなる構成であっても良い。

本実施形態におけるユニット本体151は専用品であるが、市販のパーソナルコンピュータやワークステーション等にプログラム等を適宜格納したもので達成することも可能である。

20

【0050】

ユニット本体151は移動制御装置126に接続される。ユニット本体151は移動機構120の動作（スライドブロック124の移動）およびその停止を指令するための信号を移動制御装置126に送信することが可能である。

【0051】

ユニット本体151はポンプ133に接続される。ユニット本体151はポンプ133の動作（接触媒質5の圧送）およびその停止を指令するための信号をポンプ133に送信することが可能である。

【0052】

ユニット本体151は超音波発信機142に接続される。ユニット本体151は超音波発信機142の動作（超音波センサ141の振動子への所定周波数の電圧の印加）およびその停止を指令するための信号を超音波発信機142に送信することが可能である。

30

【0053】

ユニット本体151は超音波受信機143に接続される。ユニット本体151は、超音波受信機143により変換された電気信号を取得することが可能である。

【0054】

入力装置152は超音波検査装置100による被検査物1の検査に係る種々の情報・指示等をユニット本体151に入力するものであり、ユニット本体151に接続される。

本実施形態の入力装置152は専用品であるが、例えば市販のキーボード、マウス、ポインティングデバイス、ボタン、スイッチ等を用いても良い。

40

【0055】

表示装置153は入力装置152からユニット本体151への入力内容、超音波検査装置100の動作状況等を表示するものであり、ユニット本体151に接続される。

本実施形態の表示装置153は専用品であるが、例えば市販の液晶ディスプレイ(LCD; Liquid Crystal Display)やCRTディスプレイ(Cathode Ray Tube Display)等を用いても良い。

【0056】

以下では、ユニット本体151の構成の詳細について説明する。

ユニット本体151は、機能的には記憶部151a、動作制御部151b、欠陥判定部151cおよび接触媒質判定部151dを有する。

50

【 0 0 5 7 】

記憶部 1 5 1 a は動作制御部 1 5 1 b、欠陥判定部 1 5 1 c および接触媒質判定部 1 5 1 d が行う演算等に用いられる各種パラメータ（数値）、超音波検査装置 1 0 0 の動作状況の履歴、超音波検査装置 1 0 0 による検査結果等を記憶するものである。

記憶部 1 5 1 a は、実体的には HDD、RAM、ROM、CD-ROM あるいは DVD-ROM 等の記憶媒体からなる。

【 0 0 5 8 】

動作制御部 1 5 1 b は超音波検査装置 1 0 0 が行う一連の動作を制御するものである。

実体的には、ユニット本体 1 5 1 が、ユニット本体 1 5 1 に格納された動作制御プログラムに従って所定の演算等を行うことにより、動作制御部 1 5 1 b としての機能を果たす。

10

【 0 0 5 9 】

動作制御部 1 5 1 b はポンプ 1 3 3 に動作する旨の信号を送信する。当該信号を受信したポンプ 1 3 3 は接触媒質 5 を圧送する。その結果、接触媒質 5 はノズル 1 3 5 から吐出され、被検査物 1 の被検査面 1 a に注がれる。

【 0 0 6 0 】

動作制御部 1 5 1 b は移動制御装置 1 2 6 に動作する旨の信号を送信する。当該信号を受信した動作制御部 1 5 1 b はスライドブロック 1 2 4、ひいては超音波センサ 1 4 1 を所定方向に所定距離（例えば、数 mm）だけ移動させる。

【 0 0 6 1 】

動作制御部 1 5 1 b は超音波発信機 1 4 2 に動作する旨の信号を送信する。当該信号を受信した超音波発信機 1 4 2 は、所定時間だけ超音波センサ 1 4 1 の振動子に所定周波数の電圧を印加する。その結果、超音波センサ 1 4 1（の振動子）は所定時間だけ所定周波数の超音波を発信する。

20

【 0 0 6 2 】

動作制御部 1 5 1 b が移動制御装置 1 2 6 に動作する旨の信号を送信するタイミングと動作制御部 1 5 1 b が超音波発信機 1 4 2 に動作する旨の信号を送信するタイミングとは同期している。

すなわち、これらの信号が交互に送信されることにより、スライドブロック 1 2 4（超音波センサ 1 4 1）の所定距離の移動および超音波センサ 1 4 1（の振動子）による超音波の発信が交互に行われる。

30

【 0 0 6 3 】

欠陥判定部 1 5 1 c は被検査物 1 の内部に欠陥があるか否かを判定するものである。

実体的には、ユニット本体 1 5 1 が、ユニット本体 1 5 1 に格納された欠陥判定プログラムに従って所定の演算等を行うことにより、欠陥判定部 1 5 1 c としての機能を果たす。

欠陥判定部 1 5 1 c は、超音波受信機 1 4 3 により変換された電気信号および動作制御部 1 5 1 b が超音波発信機 1 4 2 に動作する旨の信号を送信するタイミングとに基づいて、図 2 の（a）あるいは（b）に示す如き「超音波センサ 1 4 1 により検出された超音波の強度（本実施形態では、「電圧」の形で表される）と超音波センサ 1 4 1 が超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの時間（受信時間）との関係を示すグラフ（以下、「超音波強度 - 受信時間グラフ」という。）」を生成する。

40

欠陥判定部 1 5 1 c により生成された「超音波強度 - 受信時間グラフ」は、記憶部 1 5 1 a により適宜記憶される。

【 0 0 6 4 】

欠陥判定部 1 5 1 c は、生成された「超音波強度 - 受信時間グラフ」に基づいて、被検査物 1 の内部に欠陥が有るか否かを判定する。

図 2 の（a）および（b）に示す如き「超音波強度 - 受信時間グラフ」の横軸（受信時間）と被検査物 1 の被検査面 1 a からの深さとの間には相関があり、縦軸（電圧のピーク値）と超音波を反射する欠陥のサイズとの間には相関がある。

50

欠陥判定部 151c は、受信時間と被検査物 1 の被検査面 1a からの深さとの相関および電圧のピーク値と欠陥のサイズとの相関を利用して、欠陥が存在する位置（被検査物 1 の被検査面 1a からの深さ）および欠陥のサイズを判定する。

欠陥判定部 151c による欠陥の有無、欠陥の位置および欠陥のサイズに係る判定結果は、記憶部 151a により適宜記憶される。

【0065】

接触媒質判定部 151d は本発明に係る接触媒質判定部の実施の一形態であり、超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されているか否かを判定するものである。

実体的には、ユニット本体 151 が、ユニット本体 151 に格納された接触媒質判定プログラムに従って所定の演算等を行うことにより、接触媒質判定部 151d としての機能を果たす。

【0066】

以下では、接触媒質判定部 151d による判定（超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されているか否かの判定）の手順について説明する。

【0067】

まず、接触媒質判定部 151d は、欠陥判定部 151c が生成した「超音波強度 - 受信時間グラフ」に基づいて、当該グラフを近似する四次関数（ $Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$ ）を生成する。

生成された四次関数は、記憶部 151a により適宜記憶される。

【0068】

図 2 の (a) に示す如く、超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されている場合には、「超音波強度 - 受信時間グラフ」における比較的受信時間が短い領域（本実施形態では受信時間が t_0 以上 t_1 以下となる領域）に高い電圧のピーク群が見られる。

これに対して、図 2 の (b) に示す如く、超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていない場合には、「超音波強度 - 受信時間グラフ」における比較的受信時間が短い領域（本実施形態では受信時間が t_0 以上 t_1 以下となる領域）に高い電圧のピーク群が見られない。

本実施形態における受信時間が t_0 以上 t_1 以下となる領域に対応する電圧のピーク群は、接触媒質 5 により反射された超音波に対応する。

【0069】

なお、四次関数を生成する場合には受信時間の下限値たる t_0 および上限値たる t_1 を予め設定する必要がある。

接触媒質判定部 151d は、実質的には、超音波検査装置 100 に異常がなければ接触媒質 5 により反射されて超音波センサ 141 に受信される超音波の強度に基づいて、実際に超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されているか否かを判定するものである。

従って、受信時間の下限値たる t_0 と上限値たる t_1 は、超音波センサ 141 から被検査物 1 の被検査面 1a までの距離 L および接触媒質 5 を伝播する超音波の速度（音速） V に基づいて算出される「超音波が超音波センサ 141 から発信してから接触媒質 5 と被検査物 1 との境界（本実施形態の場合、被検査面 1a）で反射されて超音波センサ 141 に受信されるまでに要する時間（ $= 2L/V$ ）の範囲に収まっていること（ $0 < t_0 < t_1 < 2L/V$ が成立すること）が望ましい。

また、接触媒質 5 により反射される超音波を超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されているか否かの判定に最大限に反映させる観点からは、 t_0 を極力 0（ゼロ）に近い値とし、 t_1 を極力 $2L/V$ に近い値とすることが望ましい。

【0070】

本実施形態の場合、図 2 の (a) に示す「超音波強度 - 受信時間グラフ」に対応して生

10

20

30

40

50

成される四次関数（図2の（a）において太い実線で表される）は、受信時間が t_0 以上 t_1 以下となる領域（ $t_0 \leq X \leq t_1$ ）について生成され、 $Y = a_1 X^4 + b_1 X^3 + c_1 X^2 + d_1 X + e_1$ で表される。

また、図2の（b）に示す「超音波強度 - 受信時間グラフ」に対応して生成される四次関数（図2の（b）において太い実線で表される）は、受信時間が t_0 以上 t_1 以下となる領域（ $t_0 \leq X \leq t_1$ ）について生成され、 $Y = a_2 X^4 + b_2 X^3 + c_2 X^2 + d_2 X + e_2$ で表される。

【0071】

図2の（a）に示す「超音波強度 - 受信時間グラフ」を三次以上の高次関数（本実施形態では、四次関数）で近似した場合、図2の（b）に示す「超音波強度 - 受信時間グラフ」を三次以上の高次関数で近似した場合に比べて二次以上の係数の絶対値の値が大きくなる傾向がある。

これは、図2の（a）に示す「超音波強度 - 受信時間グラフ」の場合には横軸（受信時間）がゼロに近い領域に接触媒質5により反射された超音波のピーク群が現れるためである。

また、図2の（a）に示す「超音波強度 - 受信時間グラフ」および図2の（b）に示す「超音波強度 - 受信時間グラフ」にノイズ等の外乱要素に起因する電圧のピークが重畳した場合、これらの「超音波強度 - 受信時間グラフ」を近似した高次関数の二次以上の係数の絶対値が大きく変化することは無い。

【0072】

次に、接触媒質判定部151dは、算出された四次関数の二次以上の係数の値に基づいて、超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されているか否かを判定する。

より詳細には、接触媒質判定部151dは、欠陥判定部151cが生成した「超音波強度 - 受信時間グラフ」に対応する四次関数の四次の係数 a の絶対値 $|a|$ 、三次の係数 b の絶対値 $|b|$ および二次の係数 c の絶対値 $|c|$ と、記憶部151aにより予め記憶された四次の係数の基準値 a_0 の絶対値 $|a_0|$ 、三次の係数の基準値 b_0 の絶対値 $|b_0|$ 、および二次の係数の基準値 c_0 の絶対値 $|c_0|$ と、を比較する。

その結果、接触媒質判定部151dは、 $(A) |a| > |a_0|$ かつ $|b| > |b_0|$ かつ $|c| > |c_0|$ が成立する場合には、「超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されている（より厳密には、超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されている状態で発信および受信された超音波に基づいて「超音波強度 - 受信時間グラフ」が生成された）」と判定する。

また、接触媒質判定部151dは、 $(B) |a| < |a_0|$ 、 $|b| < |b_0|$ 、 $|c| < |c_0|$ のうち少なくとも一つが成立する場合には、「超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていない（より厳密には、超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていない状態で発信および受信された超音波に基づいて「超音波強度 - 受信時間グラフ」が生成された）」と判定する。

接触媒質判定部151dによる判定結果は、記憶部151aにより適宜記憶される。

【0073】

なお、本実施形態において「超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていない」と判定される場合の具体例としては、タンク131に接触媒質5が収容されていない場合（タンク131が空になっている場合）、ポンプ133が故障して接触媒質5を圧送することが出来ない場合（あるいは接触媒質5を圧送する量が少ない場合）、第二搬送配管134の中途部が破れて接触媒質5が漏れている場合、スライドロック124に固定されているノズル135の向きが変わってしまった場合等が挙げられる。

【0074】

本実施形態の場合、図2の（a）に示す「超音波強度 - 受信時間グラフ」に対応して生

10

20

30

40

50

成される四次関数の四次の係数 a_1 の絶対値 $|a_1|$ 、三次の係数 b_1 の絶対値 $|b_1|$ および二次の係数 c_1 の絶対値 $|c_1|$ がそれぞれ四次の係数の基準値 a_0 の絶対値 $|a_0|$ 、三次の係数の基準値 b_0 の絶対値 $|b_0|$ 、および二次の係数の基準値 c_0 の絶対値 $|c_0|$ よりも大きくなるように、 a_0 、 b_0 および c_0 の値が設定される ($|a_1| > |a_0|$ 、 $|b_1| > |b_0|$ 、 $|c_1| > |c_0|$ が成立する)。

また、図2の(b)に示す「超音波強度 - 受信時間グラフ」に対応して生成される四次関数の四次の係数 a_2 の絶対値 $|a_2|$ 、三次の係数 b_2 の絶対値 $|b_2|$ および二次の係数 c_2 の絶対値 $|c_2|$ がそれぞれ四次の係数の基準値 a_0 の絶対値 $|a_0|$ 、三次の係数の基準値 b_0 の絶対値 $|b_0|$ 、および二次の係数の基準値 c_0 の絶対値 $|c_0|$ よりも小さくなるように、 a_0 、 b_0 および c_0 の値が設定される ($|a_2| < |a_0|$ 、 $|b_2| < |b_0|$ 、 $|c_2| < |c_0|$ が成立する)。

従って、接触媒質判定部151dは、図2の(a)に示す如き「超音波強度 - 受信時間グラフ」が生成された場合には「超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されている」と判定し、図2の(b)に示す如き「超音波強度 - 受信時間グラフ」が生成された場合には「超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていない」と判定することとなる。

【0075】

記憶部151aにより予め記憶される四次の係数の基準値 a_0 、三次の係数の基準値 b_0 および二次の係数の基準値 c_0 は、予め実験等により求められる。

四次の係数の基準値 a_0 、三次の係数の基準値 b_0 および二次の係数の基準値 c_0 を求める実験の具体例としては、接触媒質供給機構130が超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に供給する接触媒質5の量(ポンプ133が圧送する単位時間当たりの接触媒質5の体積)を適宜変更しつつ超音波センサ141による超音波(反射波)の受信を行い、得られた複数の「超音波強度 - 受信時間グラフ」に基づいて生成される四次関数の二次以上の係数を比較する実験等が挙げられる。

【0076】

接触媒質判定部151dは、「超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていない」と判定した場合には、表示装置153に警報信号を送信する。

表示装置153は、接触媒質判定部151dから警報信号を受信した場合には、「接触媒質が供給されていません」という文言を表示する。

このように、表示装置153は本発明に係る警報発生部の実施の一形態であり、接触媒質判定部151dが超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていないと判定した場合に警報を発する。

【0077】

接触媒質判定部151dは、「超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていない」と判定した場合には、移動制御装置126に移動機構120の動作の停止を指令するための信号(移動部停止信号)を送信する。

接触媒質判定部151dから移動部停止信号を受信した移動機構120(の移動制御装置126)は、モータ125の駆動、ひいてはスライドブロック124の移動を停止する。

【0078】

接触媒質判定部151dは、「超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていない」と判定した場合には、ポンプ133にポンプ133の動作の停止を指令するための信号(圧送停止信号)を送信する。

接触媒質判定部151dから圧送停止信号を受信した接触媒質供給機構130(のポンプ133)は、ポンプ133による接触媒質5の圧送を停止する。

【0079】

以上の如く、

超音波検査装置100は、

10

20

30

40

50

被検査物 1 の被検査面 1 a に接触媒質 5 を供給する接触媒質供給機構 1 3 0 と、
 接触媒質 5 を介して超音波を被検査物 1 に向けて発信し、被検査物 1 および接触媒質 5
 により反射された超音波を受信し、受信した超音波の強度を検出する超音波センサ 1 4 1
 と、

「超音波センサ 1 4 1 により検出された超音波の強度と超音波センサ 1 4 1 が超音波を
 発信してから反射された超音波を受信するまでの時間との関係を示すグラフ（超音波強度
 - 受信時間グラフ）」を近似する四次関数（ $Y = a X^4 + b X^3 + c X^2 + d X + e$ ）を
 生成し、当該四次関数の二次以上の係数の値（四次の係数 a、三次の係数 b および二次の
 係数 c）に基づいて超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供
 給されているか否かを判定する接触媒質判定部 1 5 1 d と、

10

を具備する。

このように構成することは、以下の利点を有する。

すなわち、接触媒質判定部 1 5 1 d は、超音波センサ 1 4 1 により検出された超音波の
 強度と超音波センサ 1 4 1 が超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの時
 間との関係を示すグラフを近似する四次関数の二次以上の係数の値に基づいて超音波セン
 サ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されているか否かを判定する
 ため、単に当該グラフにおける超音波の強度（電圧）のみに基づいて判定する場合よりも
 ノイズ等の外乱の影響を受けにくく、判定結果の安定性が高い（ロバスト性が高い）。

従って、超音波検査装置 1 0 0 は、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置
 に接触媒質 5 が供給されているか否かを精度良く判定することが可能である。

20

【0080】

本実施形態では接触媒質判定部 1 5 1 d は超音波センサ 1 4 1 により検出された超音波
 の強度と超音波センサ 1 4 1 が超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの
 時間との関係を示すグラフ（超音波強度 - 受信時間グラフ）を近似する四次関数を生成し
 たが、本発明はこれに限定されない。

例えば、接触媒質判定部が「超音波強度 - 受信時間グラフ」を近似する三次関数あるい
 は五次以上の高次関数を生成する構成としても良い。

【0081】

また、超音波検査装置 1 0 0 の接触媒質判定部 1 5 1 d は、

超音波センサ 1 4 1 により検出された超音波の強度と超音波センサ 1 4 1 が超音波を発
 信してから反射された超音波を受信するまでの時間との関係を示すグラフ（超音波強度 -
 受信時間グラフ）を近似する四次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値以上
 である場合（本実施形態の場合、 $|a| \geq |a_0|$ かつ $|b| \geq |b_0|$ かつ $|c| \geq |c_0|$
 $|c_0|$ が成立する場合）には超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒
 質 5 が供給されていると判定し、

30

当該四次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値未満である場合（本実施形
 態の場合、 $|a| < |a_0|$ 、 $|b| < |b_0|$ 、 $|c| < |c_0|$ のうち少なくとも一
 つが成立する場合）には超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5
 が供給されていないと判定する。

このように構成することにより、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に
 接触媒質 5 が供給されているか否かを精度良く判定することが可能である。

40

【0082】

本実施形態では、超音波センサ 1 4 1 により検出された超音波の強度と超音波センサ 1
 4 1 が超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの時間との関係を示すグラ
 フ（超音波強度 - 受信時間グラフ）を近似する四次関数の二次以上の係数の絶対値の全て
 （ $|a|$ 、 $|b|$ および $|c|$ ）を用いて超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる
 位置に供給される接触媒質 5 の有無を判定するが、本発明はこれに限定されない。

例えば、「超音波強度 - 受信時間グラフ」を近似する四次関数の二次以上の係数の絶対
 値のいずれか一つを用いて超音波センサと被検査物とで挟まれる位置に供給される接触媒
 質の有無を判定しても良い。

50

【0083】

また、超音波検査装置100は、

接触媒質判定部151dが超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていないと判定した場合に「接触媒質が供給されていません」という文言を表示することにより警報を発する表示装置153を具備する。

このように構成することにより、作業者は超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5が供給されていないことを容易に認識することが可能である。

【0084】

本実施形態では、表示装置153が「接触媒質が供給されていません」という文言を表示することにより警報を発するが、本発明はこれに限定されるものではない。

本発明に係る警報発生部の他の実施形態としては、音を発生する警報器（ブザー）、点灯または点滅するランプ等が挙げられる。

【0085】

また、超音波検査装置100は、

超音波センサ141を被検査物1の被検査面1aに沿って相対移動させる移動機構120を具備する。

このように構成することにより、被検査物1の複数の位置について検査することが可能である。

【0086】

本実施形態の移動機構120は超音波センサ141を被検査物1の被検査面1aに平行な一軸方向（レール122の長手方向に平行な方向）にのみ移動させるが、本発明に係る移動部はこれに限定されない。

例えば、超音波センサを被検査物の被検査面に平行かつ互いに平行でない二軸方向に移動させても良い。

【0087】

本実施形態の移動機構120はボールネジ123の回転により超音波センサ141が固定されたスライドブロック124を移動させるが、本発明に係る移動部はこれに限定されない。

例えば、ロボットアームの先端部に超音波センサを固定し、当該ロボットアームが動作することにより超音波センサが被検査物の被検査面に沿って移動しても良い。

【0088】

本実施形態では被検査物1が検査台110に載置（静置）され、スライドブロック124、ひいては超音波センサ141が移動する構成としたが、本発明はこれに限定されない。

例えば、超音波センサ141が所定の位置に固定（静止）され、被検査物1が移動することにより超音波センサ141が被検査物1に対して相対的に移動する（相対移動する）構成としても良い。

【0089】

また、超音波検査装置100の移動機構120は、

接触媒質供給機構130における接触媒質5の吐出口であるノズル135および超音波センサ141をスライドブロック124に固定することにより、ノズル135および超音波センサ141の相対的な位置を保持しつつ、これらを被検査物1の被検査面1aに沿って相対移動させる。

このように構成することにより、超音波センサ141が被検査物1に対して相対的に移動しても超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒質5を安定して供給することが可能であり、ひいては超音波検査装置100による被検査物1の検査結果の信頼性が向上する。

【0090】

また、超音波検査装置100の移動機構120は、

接触媒質判定部151dが超音波センサ141と被検査物1とで挟まれる位置に接触媒

10

20

30

40

50

質 5 が供給されていないと判定した場合にスライドブロック 1 2 4、ひいては超音波センサ 1 4 1 (およびノズル 1 3 5) の移動を停止する。

このように構成することにより、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていない状態で検査を継続することを防止し、検査結果の信頼性を向上することが可能である。

また、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていない状態で検査を継続することを防止することにより、先に検査が行われた被検査物 1 について (検査の確実を期するために) 再度検査を行う等の検査作業における無駄を排除することが可能であり、ひいては作業効率の向上に寄与する。

【 0 0 9 1 】

本実施形態では一つの超音波センサ 1 4 1 が超音波を接触媒質 5 を介して被検査物 1 に向けて発信し、被検査物 1 および接触媒質 5 により反射された超音波を受信し、受信した超音波の強度を検出するが、本発明はこれに限定されない。

例えば、超音波を接触媒質を介して被検査物に向けて発信する第一の超音波センサ、並びに、被検査物および接触媒質により反射された超音波を接触媒質を介して受信するとともに受信した超音波の強度を検出する第二の超音波センサ、の二つの超音波センサを用いても良い。

【 0 0 9 2 】

以下では、図 3 を用いて本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態について説明する。

本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態は、超音波検査装置 1 0 0 を用いて被検査物 1 を検査する方法である。

図 3 に示す如く、本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態は主として設定工程 S 1 1 0 0、被検査物載置工程 S 1 2 0 0、接触媒質供給開始工程 S 1 3 0 0、移動工程 S 1 4 0 0、超音波発信・受信工程 S 1 5 0 0、超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S 1 6 0 0、接触媒質判定工程 S 1 7 0 0、移動判定工程 S 1 8 0 0、通常停止工程 S 1 9 0 0、警報発生工程 S 2 0 0 0 および緊急停止工程 S 2 1 0 0 を具備する。

【 0 0 9 3 】

設定工程 S 1 1 0 0 は超音波検査装置 1 0 0 を適正に動作させるための設定を行う工程である。設定工程 S 1 1 0 0 における設定には、(1) 被検査物 1 の識別番号 (ロット番号等) の入力、超音波センサ 1 4 1 から被検査物 1 への超音波の入射条件 (超音波の周波数、入射角度等) の入力、(3) 基準値 a_0 、 b_0 、 c_0 の入力、超音波センサ 1 4 1 の移動速度および移動ピッチの入力、等が含まれる。

設定工程 S 1 1 0 0 において、作業者は、上記 (1) ~ (3) 等の入力作業を行う。

設定工程 S 1 1 0 0 が終了したら、被検査物載置工程 S 1 2 0 0 に移行する。

【 0 0 9 4 】

なお、超音波検査装置 1 0 0 が複数の被検査物 1 ・ 1 ・ ・ ・ を順次検査する場合、設定工程 S 1 1 0 0 は最初の被検査物 1 を検査する際にのみ行い、それ以降については設定工程 S 1 1 0 0 を省略することが可能である。

【 0 0 9 5 】

被検査物載置工程 S 1 2 0 0 は被検査物 1 を所定の検査位置 (本実施形態では検査台 1 1 0 の上面) に載置する工程である。

被検査物載置工程 S 1 2 0 0 において、作業者は、被検査物 1 を手で持って検査台 1 1 0 の上面に載置し、超音波センサ 1 4 1 を被検査物 1 の被検査面 1 a に所定の距離 (間隔) を空けて対向させる。

被検査物載置工程 S 1 2 0 0 が終了したら、接触媒質供給開始工程 S 1 3 0 0 に移行する。

【 0 0 9 6 】

本実施形態では、作業者が被検査物 1 を手で持って検査台 1 1 0 の上面に載置するが、本発明はこれに限定されない。

10

20

30

40

50

例えば、複数の被検査物を順に並べて搬送可能なベルトコンベア等の搬送装置を用いて被検査物を所定の検査位置に載置しても良い。

【0097】

接触媒質供給開始工程 S 1 3 0 0 は超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置への接触媒質 5 の供給を開始する工程である。

接触媒質供給開始工程 S 1 3 0 0 において、動作制御部 1 5 1 b はポンプ 1 3 3 に動作する旨の信号を送信する。当該信号を受信したポンプ 1 3 3 は接触媒質 5 を圧送する。

その結果、接触媒質 5 はノズル 1 3 5 から吐出され、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給される（これ以降、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置への接触媒質 5 の供給は、後述する通常停止工程 S 1 9 0 0 または緊急停止工程 S 2 1 0 0 に移行するまで継続される）。

接触媒質供給開始工程 S 1 3 0 0 が終了したら、移動工程 S 1 4 0 0 に移行する。

【0098】

移動工程 S 1 4 0 0 は本発明に係る移動工程の実施の一形態であり、超音波センサ 1 4 1 を被検査物 1 の被検査面 1 a に沿って相対移動させる工程である。

移動工程 S 1 4 0 0 において、動作制御部 1 5 1 b は移動制御装置 1 2 6 に動作する旨の信号を送信する。当該信号を受信した動作制御部 1 5 1 b はスライドブロック 1 2 4、ひいては超音波センサ 1 4 1 を所定方向に所定距離だけ移動させる。

移動工程 S 1 4 0 0 が終了したら、超音波発信・受信工程 S 1 5 0 0 に移行する。

【0099】

超音波発信・受信工程 S 1 5 0 0 は本発明に係る超音波発信・受信工程の実施の一形態であり、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 を供給している状態で、超音波センサ 1 4 1 が接触媒質 5 を介して超音波を被検査物 1 に向けて発信し、被検査物 1 および接触媒質 5 により反射された超音波を受信し、受信した超音波の強度を検出する工程である。

超音波発信・受信工程 S 1 5 0 0 において、動作制御部 1 5 1 b は超音波発信機 1 4 2 に動作する旨の信号を送信する。当該信号を受信した超音波発信機 1 4 2 は超音波センサ 1 4 1 の振動子に電圧を印加する。その結果、超音波センサ 1 4 1 は所定周波数の超音波を発信する。

超音波センサ 1 4 1 により発信された超音波は接触媒質 5 を介して被検査物 1 に入射される。接触媒質 5 および被検査物 1 により反射された超音波は超音波センサ 1 4 1 により受信され、受信された超音波の強度および周波数を示す電気信号を生成される。超音波センサ 1 4 1 により生成された電気信号を受信した超音波受信機 1 4 3 は当該電気信号を欠陥判定部 1 5 1 c（ユニット本体 1 5 1）が受信可能な電気信号に変換し、欠陥判定部 1 5 1 c に送信する。

超音波発信・受信工程 S 1 5 0 0 が終了したら、超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S 1 6 0 0 に移行する。

【0100】

超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S 1 6 0 0 は本発明に係る超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程の実施の一形態であり、超音波センサ 1 4 1 により検出された超音波の強度と超音波発信・受信工程 S 1 5 0 0 において超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの時間（受信時間）との関係を示すグラフ、すなわち「超音波強度 - 受信時間グラフ」を生成する工程である。

超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S 1 6 0 0 において、欠陥判定部 1 5 1 c は超音波受信機 1 4 3 から受信した電気信号に基づいて、図 2 の（a）あるいは（b）に示す如き「超音波強度 - 受信時間グラフ」を生成する。

超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S 1 6 0 0 が終了したら、接触媒質判定工程 S 1 7 0 0 に移行する。

なお、超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S 1 6 0 0 の終了後、欠陥判定部 1 5 1 c は、生成された「超音波強度 - 受信時間グラフ」に基づいて、超音波検査装置 1 0 0 の本

10

20

30

40

50

来の目的である「被検査物 1 の内部に欠陥が有るか否かの判定」を行う。

【0101】

接触媒質判定工程 S 1 7 0 0 は本発明に係る接触媒質判定工程の実施の一形態であり、超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S 1 6 0 0 において生成されたグラフ（超音波強度 - 受信時間グラフ）を近似する四次関数（ $Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$ ）を生成し、当該四次関数の二次以上の係数の値（本実施形態の場合四次の係数 a の絶対値 $|a|$ 、三次の係数 b の絶対値 $|b|$ および二次の係数 c の絶対値 $|c|$ ）に基づいて超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されているか否かを判定する工程である。

接触媒質判定工程 S 1 7 0 0 において、接触媒質判定部 1 5 1 d は (A) $|a| > |a_0|$ かつ $|b| > |b_0|$ かつ $|c| > |c_0|$ が成立する場合には、「超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されている」と判定し、(B) $|a| < |a_0|$ 、 $|b| < |b_0|$ 、 $|c| < |c_0|$ のうち少なくとも一つが成立する場合には、「超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていない」と判定する。

10

【0102】

接触媒質判定部 1 5 1 d が「超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されている」と判定した場合、移動判定工程 S 1 8 0 0 に移行する。

接触媒質判定部 1 5 1 d が「超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていない」と判定した場合、接触媒質判定部 1 5 1 d は警報発生工程 S 2 0 0 0 に移行する。

20

【0103】

移動判定工程 S 1 8 0 0 は超音波センサ 1 4 1 が移動する必要があるか否かを判定する工程である。

移動判定工程 S 1 8 0 0 において、動作制御部 1 5 1 b は被検査物 1 に対する超音波センサ 1 4 1（スライドブロック 1 2 4）の相対的な位置に基づいて、超音波センサ 1 4 1 が移動する必要があるか否かを判定する。

具体的には、動作制御部 1 5 1 b は被検査物 1 に対する超音波センサ 1 4 1 の相対的な位置と予め記憶部 1 5 1 a により記憶された「最終位置（超音波検査装置 1 0 0 による被検査物 1 の検査が滞りなく行われた場合における最終的な超音波センサ 1 4 1 の到達位置）」とを比較する。

30

その結果、動作制御部 1 5 1 b は、被検査物 1 に対する超音波センサ 1 4 1 の相対的な位置が最終位置に到達していない場合には「超音波センサ 1 4 1 が移動する必要がある」と判定し、被検査物 1 に対する超音波センサ 1 4 1 の相対的な位置が最終位置に到達している場合には「超音波センサ 1 4 1 が移動する必要が無い」と判定する。

【0104】

動作制御部 1 5 1 b が「超音波センサ 1 4 1 が移動する必要がある」と判定した場合には移動工程 S 1 4 0 0 に移行する。

すなわち、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置に適正に接触媒質 5 が供給された状態が継続している場合、超音波センサ 1 4 1 が最終位置に到達するまでは移動工程 S 1 4 0 0 超音波発信・受信工程 S 1 5 0 0 超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S 1 6 0 0 接触媒質判定工程 S 1 7 0 0 移動判定工程 S 1 8 0 0 移動工程 S 1 4 0 0 … という一連のサイクルが繰り返し行われることとなる。

40

【0105】

動作制御部 1 5 1 b が「超音波センサ 1 4 1 が移動する必要が無い」と判定した場合には通常停止工程 S 1 9 0 0 に移行する。

【0106】

通常停止工程 S 1 9 0 0 は、超音波センサ 1 4 1 と被検査物 1 とで挟まれる位置への接触媒質 5 の供給を停止する工程である。

通常停止工程 S 1 9 0 0 において、動作制御部 1 5 1 b はポンプ 1 3 3 に動作を停止す

50

る旨の信号を送信し、当該信号を受信したポンプ 133 は接触媒質 5 の圧送を停止する。

その結果、超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置への接触媒質 5 の供給が停止される。

通常停止工程 S1900 が終了したら、本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態（超音波検査装置 100 による被検査物 1 の検査）が終了する。

【0107】

本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態が通常停止工程 S1900 を経て終了することは、超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に適正に接触媒質 5 が供給された状態で超音波検査装置 100 による被検査物 1 の検査が行われたことを意味し、得られた被検査物 1 の検査結果の信頼性が高い。

10

【0108】

警報発生工程 S2000 は本発明に係る警報発生工程の実施の一形態であり、接触媒質判定工程 S1700 において超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていないと判定した場合に警報を発する工程である。

警報発生工程 S2000 において、表示装置 153 は「接触媒質が供給されていません」という文言を表示する。

警報発生工程 S2000 が終了したら、緊急停止工程 S2100 に移行する。

【0109】

緊急停止工程 S2100 は本発明に係る緊急停止工程の実施の一形態であり、超音波センサ 141 の相対移動および超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置への接触媒質 5 の供給を停止する工程である。

20

また、緊急停止工程 S2100 において、動作制御部 151b はポンプ 133 に動作を停止する旨の信号を送信し、当該信号を受信したポンプ 133 は接触媒質 5 の圧送を停止する。

その結果、超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置への接触媒質 5 の供給が停止される。

また、緊急停止工程 S2100 に移行した後、動作制御部 151b は移動制御装置 126 に動作する旨の信号を送信しないので、超音波センサ 141 の移動が停止される。

緊急停止工程 S2100 が終了したら、本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態（超音波検査装置 100 による被検査物 1 の検査）が終了する。

30

【0110】

本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態が緊急停止工程 S2100 を経て終了することは、超音波検査装置 100 による被検査物 1 の検査の途中で超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に適正に接触媒質 5 が供給されない状態に陥ったことを意味する。

【0111】

以上の如く、本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態は、

超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 を供給している状態で、超音波センサ 141 が接触媒質 5 を介して超音波を被検査物 1 に向けて発信し、被検査物 1 および接触媒質 5 により反射された超音波を受信し、受信した超音波の強度を検出する超音波発信・受信工程 S1500 と、

40

超音波センサ 141 により検出された超音波の強度と超音波発信・受信工程 S1500 において超音波を発信してから反射された超音波を受信するまでの時間（受信時間）との関係を示すグラフ（超音波強度 - 受信時間グラフ）を生成する超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S1600 と、

超音波強度 - 受信時間グラフ生成工程 S1600 において生成された超音波強度 - 受信時間グラフを近似する四次関数を生成し、当該四次関数の二次以上の係数の値（本実施形態の場合、四次の係数 a の絶対値 $|a|$ 、三次の係数 b の絶対値 $|b|$ および二次の係数 c の絶対値 $|c|$ ）に基づいて超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されているか否かを判定する接触媒質判定工程 S1700 と、

50

を具備する。

このように構成することは、以下の利点を有する。

すなわち、単に超音波強度 - 受信時間グラフにおける超音波の強度（電圧）のみに基づいて判定する場合よりもノイズ等の外乱の影響を受けにくく、判定結果の安定性が高い（ロバスト性が高い）。

従って、本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態は、超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されているか否かを精度良く判定することが可能である。

【0112】

また、本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態は、

接触媒質判定工程 S1700 において、

生成された四次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値以上である場合（本実施形態の場合、 $|a| \geq |a_0|$ かつ $|b| \geq |b_0|$ かつ $|c| \geq |c_0|$ が成立する場合）には超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていると判定し、

当該四次関数の二次以上の係数の絶対値が予め設定された値未満である場合（本実施形態の場合、 $|a| < |a_0|$ 、 $|b| < |b_0|$ 、 $|c| < |c_0|$ のうち少なくとも一つが成立する場合）には超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていないと判定する。

このように構成することにより、超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されているか否かを精度良く判定することが可能である。

【0113】

また、本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態は、

接触媒質判定工程 S1700 において超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていないと判定した場合に警報を発する警報発生工程 S2000 を具備する。

このように構成することにより、作業者は超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていないことを容易に認識することが可能である。

【0114】

また、本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態は、

超音波センサ 141 を被検査物 1 の被検査面 1a に沿って相対移動させる移動工程 S1400 を具備する。

このように構成することにより、被検査物 1 の複数の位置について検査することが可能である。

【0115】

また、本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態は、

接触媒質判定工程 S1700 において超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていないと判定した場合に超音波センサ 141 の相対移動および超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置への接触媒質 5 の供給を停止する緊急停止工程 S2100 を具備する。

このように構成することにより、超音波センサ 141 と被検査物 1 とで挟まれる位置に接触媒質 5 が供給されていない状態で検査を継続することを防止し、検査結果の信頼性を向上することが可能である。

【0116】

本実施形態では、警報発生工程 S2000 が終了したら緊急停止工程 S2100 に移行する構成としたが、本発明はこれに限定されない。

例えば、警報発生工程および緊急停止工程が並行して行われる構成としても良く、緊急停止工程が終了したら警報発生工程に移行する構成としても良い。

【図面の簡単な説明】

【0117】

10

20

30

40

50

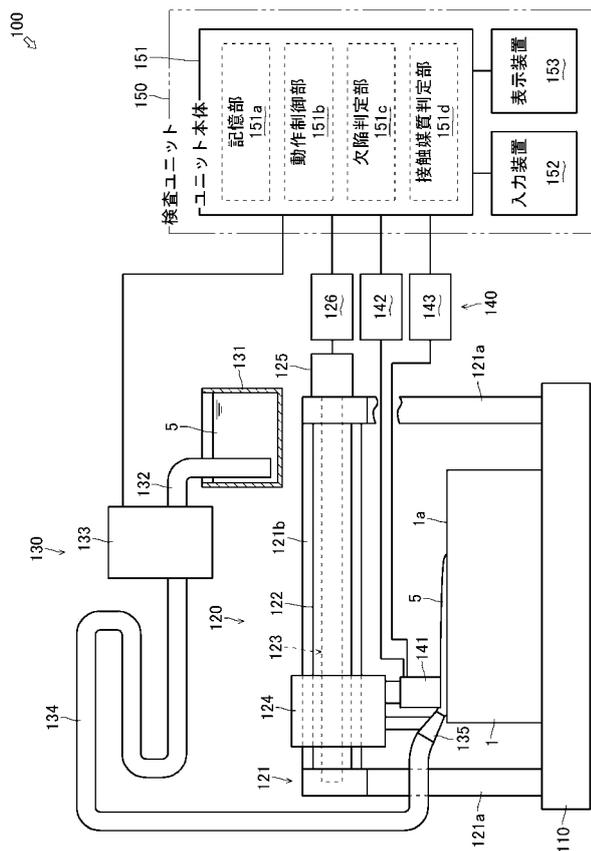
- 【図1】本発明に係る超音波検査装置の実施の一形態を示す図。
- 【図2】本発明に係る超音波検査装置の実施の一形態が作成する「超音波の強度と受信時間との関係を示すグラフ」および「当該グラフを近似する四次関数」を示す図。
- 【図3】本発明に係る超音波検査方法の実施の一形態を示すフロー図。
- 【図4】従来の超音波検査装置が作成する「超音波の強度と受信時間との関係を示すグラフ」を示す図。

【符号の説明】

【0118】

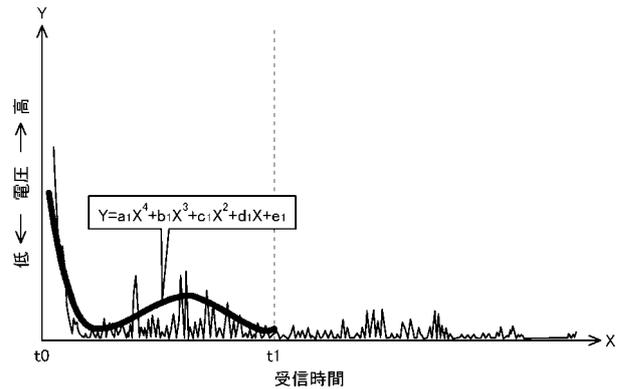
- 1 被検査物
- 1 a 被検査面
- 5 接触媒質
- 120 移動機構（移動部）
- 130 接触媒質供給機構（接触媒質供給部）
- 141 超音波センサ
- 151 d 接触媒質判定部
- 153 表示装置（警報発生部）

【図1】

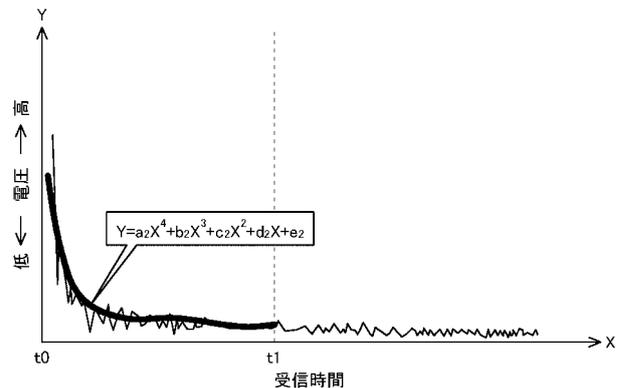


【図2】

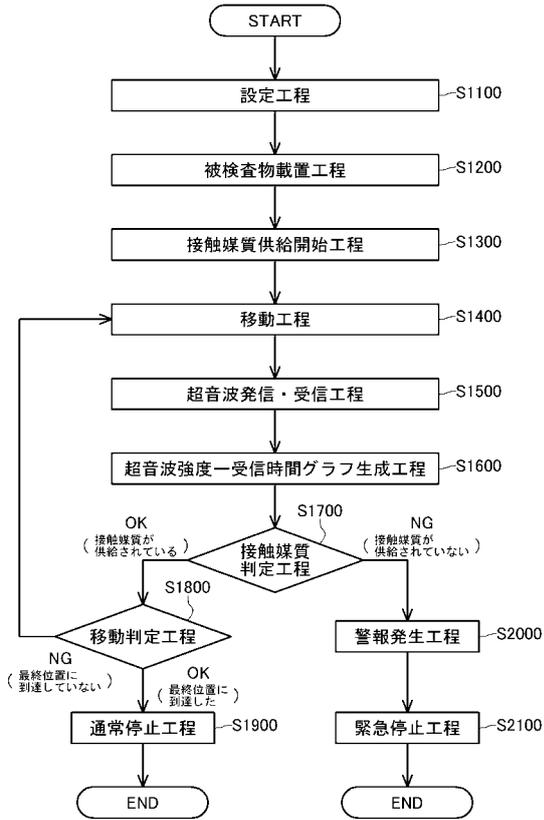
(a)接触媒質が供給されているとき



(b)接触媒質が供給されていないとき

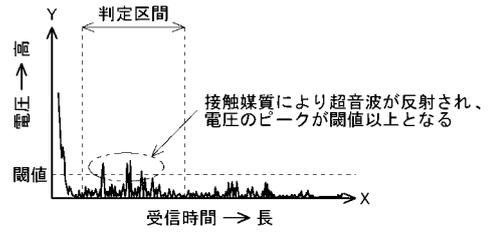


【 図 3 】

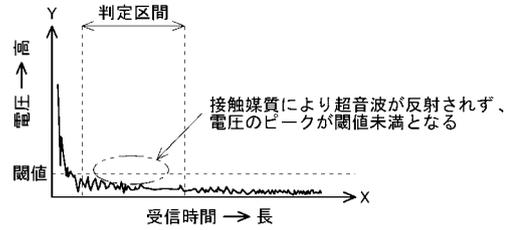


【 図 4 】

(a)接触媒質が供給されているとき



(b)接触媒質が供給されていないとき（ノイズ無し）



(c)接触媒質が供給されていないとき（ノイズ有り）

