

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6702442号  
(P6702442)

(45) 発行日 令和2年6月3日(2020.6.3)

(24) 登録日 令和2年5月11日(2020.5.11)

(51) Int.Cl. F I  
 H O 4 R 3/00 (2006.01) H O 4 R 3/00 3 3 0  
 G O 1 S 7/52 (2006.01) G O 1 S 7/52

請求項の数 6 (全 24 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2018-564459 (P2018-564459)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成30年1月10日 (2018.1.10)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/JP2018/000268</p> <p>(87) 国際公開番号 W02018/139192</p> <p>(87) 国際公開日 平成30年8月2日 (2018.8.2)</p> <p>審査請求日 平成31年4月11日 (2019.4.11)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2017-11157 (P2017-11157)</p> <p>(32) 優先日 平成29年1月25日 (2017.1.25)</p> <p>(33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国 (JP)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000006231 株式会社村田製作所 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号</p> <p>(74) 代理人 110001195 特許業務法人深見特許事務所</p> <p>(72) 発明者 渡辺 恒介 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内</p> <p>(72) 発明者 中尾 元保 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内</p> <p>審査官 堀 洋介</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 超音波装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

超音波トランスデューサと、  
 前記超音波トランスデューサに音波を発信させる駆動回路と、  
 前記超音波トランスデューサが受けた音波を受信する受信回路と、  
 前記超音波トランスデューサのQ値を検出するQ値検出部と、  
 予め定められた温度における前記超音波トランスデューサのQ値を記憶する記憶部と、  
 温度検出部と、  
 前記温度検出部が検出した温度と前記記憶部に記憶されたQ値と前記Q値検出部が検出したQ値とに基づいて、前記超音波トランスデューサの異常を判定する判定部とを備える  
 超音波装置。

10

【請求項2】

超音波トランスデューサと、  
 前記超音波トランスデューサに音波を発信させる駆動回路と、  
 前記超音波トランスデューサが受けた音波を受信する受信回路と、  
 前記超音波トランスデューサの共振周波数を検出する周波数検出部と、  
 予め定められた温度における前記超音波トランスデューサの共振周波数を記憶する第1記憶部と、  
 前記超音波トランスデューサのQ値を検出するQ値検出部と、  
 予め定められた温度における前記超音波トランスデューサのQ値を記憶する第2記憶部

20

と、

温度検出部と、

前記温度検出部が検出した温度と前記第1記憶部に記憶された共振周波数と前記周波数検出部が検出した共振周波数と前記第2記憶部に記憶されたQ値と前記Q値検出部が検出したQ値とに基づいて、前記超音波トランスデューサの異常を判定する判定部とを備える、超音波装置。

【請求項3】

前記超音波装置は、

前記第1記憶部に記憶された共振周波数に基づいて前記温度検出部が検出した温度における共振周波数を推定する共振周波数推定部と、

10

前記第2記憶部に記憶されたQ値に基づいて前記温度検出部が検出した温度におけるQ値を推定するQ値推定部とをさらに備え、

前記判定部は、

前記共振周波数推定部が推定した共振周波数に基づいて前記周波数検出部が検出した共振周波数が正常か異常かを判定する第1判定処理部と、

前記Q値推定部が推定したQ値に基づいて前記Q値検出部が検出したQ値が正常か異常かを判定する第2判定処理部とを含む、請求項2に記載の超音波装置。

【請求項4】

前記超音波装置は、

前記第1記憶部に記憶された共振周波数に基づいて前記温度検出部が検出した温度における共振周波数を推定する共振周波数推定部と、

20

前記第2記憶部に記憶されたQ値に基づいて前記温度検出部が検出した温度におけるQ値を推定するQ値推定部とをさらに備え、

前記判定部は、前記共振周波数推定部が推定した共振周波数と前記Q値推定部が推定したQ値との組み合わせに基づいて前記超音波トランスデューサが正常か異常かを判定する、請求項2に記載の超音波装置。

【請求項5】

前記温度検出部は、

前記超音波トランスデューサの容量を検出する容量検出部と、

予め定められた温度における前記超音波トランスデューサの容量を記憶する容量記憶部と、

30

前記容量検出部が検出した容量と前記容量記憶部が記憶した容量とに基づいて、温度を推定する温度推定部とを含む、請求項1～4のいずれか1項に記載の超音波装置。

【請求項6】

超音波トランスデューサと、

前記超音波トランスデューサに音波を発信させる駆動回路と、

前記超音波トランスデューサが受けた音波を受信する受信回路と、

前記超音波トランスデューサのQ値を検出するQ値検出部と、

予め定められた温度における前記超音波トランスデューサのQ値を記憶する記憶部と、

前記超音波トランスデューサの容量を検出する容量検出部と、

40

予め定められた温度における前記超音波トランスデューサの容量を記憶する容量記憶部と、

前記容量検出部が検出した容量と前記記憶部に記憶されたQ値と前記Q値検出部が検出したQ値とに基づいて、前記超音波トランスデューサの異常を判定する判定部とを備える、超音波装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、超音波装置に関し、特に、搭載する超音波トランスデューサの異常検知機能を備えた超音波装置に関する。

50

## 【背景技術】

## 【0002】

超音波トランスデューサから超音波を送信し、被検出物で反射した反射波を超音波トランスデューサによって受信することによって、被検出物との距離などを測定する超音波装置が実用に供されている。

## 【0003】

超音波トランスデューサの振動面に、泥等の異物が付着したり、付着した水滴が凍結したりすると、超音波トランスデューサによる送波や受波ができなくなる。この結果、超音波トランスデューサの前方に障害物があるにもかかわらず障害物が存在しないという誤った検知をする。

10

## 【0004】

特許第2998232号公報(特許文献1)は、泥等の異物の付着を検知できる超音波センサを開示する。この超音波センサは、超音波振動子の共振周波数を検出し、この共振周波数を監視して固有周波数と比較することにより超音波振動子の動作異常を検知する。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献1】特許第2998232号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

20

## 【0006】

しかしながら、温度が変化すると共振周波数は変化する。したがって、共振周波数の測定結果だけを用いて異常を検知する方法では、異常なのか温度変化なのか判別できない場合が考えられる。

## 【0007】

この発明は、上記の課題を解決するためになされたものであって、その目的は超音波トランスデューサの異常を精度良く検出することが可能な超音波装置を提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

30

本開示のある局面に関わる超音波装置は、超音波トランスデューサと、駆動回路と、受信回路と、周波数検出部と、記憶部と、温度検出部と、判定部とを備える。駆動回路は、超音波トランスデューサに音波を発信させる。受信回路は、超音波トランスデューサが受けた音波を受信する。周波数検出部は、超音波トランスデューサの共振周波数を検出する。記憶部は、予め定められた温度における超音波トランスデューサの共振周波数を記憶する。判定部は、温度検出部が検出した温度と記憶部に記憶された共振周波数と周波数検出部が検出した共振周波数とに基づいて、超音波トランスデューサの異常を判定する。

## 【0009】

本開示の第2の局面に関わる超音波装置は、超音波トランスデューサと、超音波トランスデューサに音波を発信させる駆動回路と、超音波トランスデューサが受けた音波を受信する受信回路と、超音波トランスデューサのQ値を検出するQ値検出部と、予め定められた温度における超音波トランスデューサのQ値を記憶する記憶部と、温度検出部と、温度検出部が検出した温度と記憶部に記憶されたQ値とQ値検出部が検出したQ値とに基づいて、超音波トランスデューサの異常を判定する判定部とを備える。

40

## 【0010】

本開示の第3の局面に関わる超音波装置は、超音波トランスデューサと、超音波トランスデューサに音波を発信させる駆動回路と、超音波トランスデューサが受けた音波を受信する受信回路と、超音波トランスデューサの共振周波数を検出する周波数検出部と、予め定められた温度における超音波トランスデューサの共振周波数を記憶する第1記憶部と、超音波トランスデューサのQ値を検出するQ値検出部と、予め定められた温度における超

50

音波トランスデューサのQ値を記憶する第2記憶部と、温度検出部と、温度検出部が検出した温度と第1記憶部に記憶された共振周波数と周波数検出部が検出した共振周波数と第2記憶部に記憶されたQ値とQ値検出部が検出したQ値とに基づいて、超音波トランスデューサの異常を判定する判定部とを備える。

【0011】

好ましくは、判定部は、第1記憶部に記憶された共振周波数に基づいて温度検出部が検出した温度における共振周波数を推定する共振周波数推定部と、共振周波数推定部が推定した共振周波数に基づいて周波数検出部が検出した共振周波数が正常か異常かを判定する第1判定処理部と、第2記憶部に記憶されたQ値に基づいて温度検出部が検出した温度におけるQ値を推定するQ値推定部と、Q値推定部が推定したQ値に基づいてQ値検出部が検出したQ値が正常か異常かを判定する第2判定処理部とを含む。

10

【0012】

好ましくは、判定部は、第1記憶部に記憶された共振周波数に基づいて温度検出部が検出した温度における共振周波数を推定する共振周波数推定部と、第2記憶部に記憶されたQ値に基づいて温度検出部が検出した温度におけるQ値を推定するQ値推定部と、共振周波数推定部が推定した共振周波数とQ値推定部が推定したQ値との組み合わせに基づいて超音波トランスデューサが正常か異常かを判定する異常判定部とを含む。

【0013】

好ましくは、温度検出部は、超音波トランスデューサの容量を検出する容量検出部と、予め定められた温度における超音波トランスデューサの容量を記憶する容量記憶部と、容量検出部が検出した容量と容量記憶部が記憶した容量とに基づいて、温度を推定する温度推定部とを含む。

20

【0014】

本開示の第4の局面に関わる超音波装置は、超音波トランスデューサと、超音波トランスデューサに音波を発信させる駆動回路と、超音波トランスデューサが受けた音波を受信する受信回路と、超音波トランスデューサのQ値を検出するQ値検出部と、予め定められた温度における超音波トランスデューサのQ値を記憶する記憶部と、超音波トランスデューサの容量を検出する容量検出部と、予め定められた温度における超音波トランスデューサの容量を記憶する容量記憶部と、容量検出部が検出した容量と記憶部に記憶されたQ値とQ値検出部が検出したQ値とに基づいて、超音波トランスデューサの異常を判定する判定部とを備える。

30

【0015】

本開示の第5の局面に関わる超音波装置は、超音波トランスデューサと、超音波トランスデューサに音波を発信させる駆動回路と、超音波トランスデューサが受けた音波を受信する受信回路と、超音波トランスデューサの共振周波数を検出する周波数検出部と、予め定められた温度における前記超音波トランスデューサの共振周波数を記憶する記憶部と、超音波トランスデューサの容量を検出する容量検出部と、予め定められた温度における前記超音波トランスデューサの容量を記憶する容量記憶部と、容量検出部が検出した容量と記憶部に記憶された共振周波数と周波数検出部が検出した共振周波数とに基づいて、超音波トランスデューサの異常を判定する判定部とを備える。

40

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、精度良く超音波トランスデューサの異常を検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】超音波トランスデューサを備えた超音波装置の構成を示す概略ブロック図である。

【図2】超音波トランスデューサ100を示す断面図である。

【図3】実施の形態1の超音波装置の構成を示したブロック図である。

【図4】周波数推定部116における周波数 $f_c$ の推定処理の第1例を説明するための図

50

である。

【図 5】周波数推定部 1 1 6 における周波数  $f_c$  の推定処理の第 2 例を説明するための図である。

【図 6】実施の形態 2 の超音波装置の構成を示したブロック図である。

【図 7】Q 値推定部 2 1 6 における Q 値  $Q_c$  の推定処理の第 1 例を説明するための図である。

【図 8】Q 値推定部 2 1 6 における Q 値  $Q_c$  の推定処理の第 2 例を説明するための図である。

【図 9】水滴の付着と共振周波数の変化との関係を示すグラフである。

【図 10】水滴の付着と Q 値の変化との関係を示すグラフである。

10

【図 11】泥の付着と共振周波数の変化との関係を示すグラフである。

【図 12】泥の付着と Q 値の変化との関係を示すグラフである。

【図 13】実施の形態 3 で実行される判定処理を説明するためのフローチャートである。

【図 14】実施の形態 3 に係る超音波装置の構成を示したブロック図である。

【図 15】異常判定部 3 1 9 の動作を説明するための図である。

【図 16】実施の形態 4 に係る超音波装置の構成を示したブロック図である。

【図 17】異常判定部 4 1 9 の判定処理について説明するための図である。

【図 18】実施の形態 5 に係る超音波装置の構成を示すブロック図である。

【図 19】温度検出部 1 1 2 における温度  $T_c$  の推定処理の第 1 例を説明するための図である。

20

【図 20】温度検出部 1 1 2 における温度  $T_c$  の推定処理の第 2 例を説明するための図である。

【図 21】実施の形態 6 に係る超音波装置の構成を示すブロック図である。

【図 22】Q 値推定部 6 1 6 の推定処理の第 1 例を説明するための図である。

【図 23】Q 値推定部 6 1 6 の推定処理の第 2 例を説明するための図である。

【図 24】実施の形態 6 の変形例の超音波装置の構成を示したブロック図である。

【図 25】実施の形態 7 に係る超音波装置の構成を示すブロック図である。

【図 26】Q 値推定部 8 1 6 の推定処理を説明するための図である。

【図 27】実施の形態 7 の変形例の超音波装置の構成を示したブロック図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0018】

本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中の同一または相当部分については、同一符号を付してその説明は繰り返さない。

【0019】

[各実施例に共通な全体構成]

図 1 は、超音波トランスデューサを備えた超音波装置の構成を示す概略ブロック図である。超音波装置 1 は、超音波トランスデューサ 100 と、マイコン 101 と、メモリ 102 と、検出回路 103 と、駆動回路 104 と、電源 105 と、受信回路 106 と、異常検出部 110 とを備える。

【0020】

40

マイコン 101 は、メモリ 102 に格納されているデータを読み出して、超音波トランスデューサ 100 の駆動に適した制御信号を駆動回路 104 に出力する。電源 105 は、たとえば 12V の直流電圧を駆動回路 104 に出力する。駆動回路 104 は、マイコン 101 から出力された制御信号に基づいて直流電圧から交流電圧を生成する。交流電圧は、必要に応じて増幅回路（図示せず）により昇圧された状態で超音波トランスデューサ 100 に供給される。超音波トランスデューサ 100 が駆動され、超音波トランスデューサ 100 から気中などに向けて超音波が送信（送波）される。

【0021】

超音波トランスデューサ 100 が物標からの反射波を受信した際、超音波トランスデューサ 100 にて発生した受波信号は電圧値として受信回路 106 に送られ、検出回路 10

50

3を通してマイコン101に入力される。マイコン101により、物標の有無や移動に関する情報を把握することが可能となる。超音波装置1は、たとえば車などに搭載される超音波センサとして使用することができる。

【0022】

[超音波トランスデューサ100]

図2は、超音波トランスデューサ100を示す断面図である。なお、図2に開示する超音波トランスデューサの構成は、例示であり、他の構成を有する超音波トランスデューサを用いた場合にも本実施の形態の超音波装置で異常を検出することが可能である。図2に示す超音波トランスデューサ100は、圧電素子50と、ケース60と、吸音材63と、端子80, 81とを備える。ケース60は、有底筒状の形状を有する。ケース60は、たとえば、高い弾性を有しかつ軽量なアルミニウムで形成される。ケース60は、アルミニウムをたとえば鍛造または切削加工をすることによって作製される。

10

【0023】

ケース60は、円盤状の底部62と、底部62の周縁に沿って設けられた円筒状の筒状部61とを含む。圧電素子50は、たとえばチタン酸ジルコン酸鉛系セラミックスからなる。圧電素子50は、底部62の内面上に配置され、接着剤を用いて内面に接合される。超音波トランスデューサ100が駆動している際には、圧電素子50は、底部62とともにペンディング振動する。樹脂71は、ケース60の内部空間を埋めるように設けられる。吸音材63は、スポンジ等の成形体からなり、樹脂71と圧電素子50を収容する部分72との間に設けられる。吸音材63は、圧電素子50に間隔を空けて対向している。

20

【0024】

圧電素子50は、2つの電極51, 52を有している。端子80は、ワイヤおよびケース60を介して電極52に電氣的に接続される。端子81は、ワイヤを介して電極51に電氣的に接続される。

【0025】

なお、図1の超音波トランスデューサ100としては、図2に示した2端子のもの以外にも、GND、送信、受信の3端子を有するものであっても良い。

【0026】

[実施の形態1]

図3は、実施の形態1の超音波装置の構成を示したブロック図である。実施の形態1の超音波装置は、超音波トランスデューサ100と、駆動回路104と、受信回路106と、異常検出部110とを含む。

30

【0027】

異常検出部110は、周波数検出部114と、周波数記憶部118と、周波数推定部116と、温度検出部112と、異常判定部119とを含む。

【0028】

駆動回路104は、超音波トランスデューサ100に音波を発信させるように駆動信号を出力する。受信回路106は、超音波トランスデューサ100が受けた音波を受信する。

【0029】

周波数検出部114は、超音波トランスデューサ100の共振周波数 $f_m$ を検出する。周波数記憶部118は、予め定められた温度における超音波トランスデューサ100の共振周波数 $f_m$ を記憶する。たとえば、超音波装置を工場で生産している工程において、予め定められた温度の雰囲気において超音波トランスデューサ100を共振させたときに周波数検出部114で検出した周波数 $f_m$ を、初期値 $f_{ini}$ として周波数記憶部118に記憶させる。

40

【0030】

周波数検出部114、温度検出部112としては、公知のどのようなものを使用しても良い。たとえば、周波数検出部114は、特開2015-10888号公報等に記載されているように、残響周波数から共振周波数を計測する回路を使用することができる。また

50

、温度検出部 112 は、サーミスタ等の感温素子であっても良く、車両などに設けられた外部の温度センサから温度情報を受信するようなものであっても良い。

【0031】

図 4 は、周波数推定部 116 における周波数  $f_c$  の推定処理の第 1 例を説明するための図である。図 3、図 4 を参照して、工場出荷時等の超音波トランスデューサ 100 に異常が生じていないことが分かっている状態で、特定の温度 ( $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$ ) において、それぞれ共振周波数 ( $f_{ini1}, f_{ini2}, f_{ini3}, f_{ini4}, f_{ini5}$ ) を測定する。なお、温度点数は一点でも、複数点でも良い。測定点  $P_1 \sim P_5$  の測定値は、周波数記憶部 118 に記憶される。周波数推定部 116 は、記憶された周波数から、個別の超音波トランスデューサごとの温度 - 共振周波数の関係  $f_{std}$  を求める。

10

【0032】

温度 - 共振周波数の関係は、例えば温度と共振周波数のテーブルデータを記憶して、データ間は線形補間して算出することができる。なお、この関係を一次式、二次式または多項式等の数式で表現し、測定点  $P_1 \sim P_5$  から数式の係数を決定しても良い。

【0033】

使用時に温度検出部 112 から得られた温度  $T_m$  に対応する値を数式またはテーブルで与えられた  $f_{std}$  から決定することによって、周波数推定部 116 は、推定共振周波数  $f_c$  を推定する。

【0034】

20

図 4 に示したように個別の超音波トランスデューサごとに温度特性のデータを測定しておき、そのデータを使用して推定共振周波数  $f_c$  を求めても良いが、個別の超音波トランスデューサごとに温度特性のデータを測定および記録するのは時間がかかる。したがって、標準温度  $T_{std}$  における初期値  $f_{ini}$  を個別のトランスデューサごとに測定および記録しておき、共通の標準データを用いて温度特性変化による周波数シフト分  $f$  の補正を行なう以下の第 2 例の方が現実的である。

【0035】

図 5 は、周波数推定部 116 における周波数  $f_c$  の推定処理の第 2 例を説明するための図である。図 3、図 5 を参照して、予め定められた温度 (たとえば、 $T_{std} = 25$ ) において計測された超音波トランスデューサ 100 の共振周波数  $f_{ini}$  (図 5 の  $P_6$  に該当) が周波数記憶部 118 に記憶されている。周波数推定部 116 には、複数の超音波装置で共通に用いられる超音波トランスデューサの温度 - 共振周波数特性 (図 5 の  $f_{org}$ ) が記憶されている。温度 - 共振周波数特性 ( $f_{org}$ ) は、温度の関数 (数式) として記憶されていても良いし、マップのようにデータテーブルで記憶されていても良い。

30

【0036】

個別の超音波トランスデューサ 100 に対応する温度  $T_{std}$  における共振周波数  $f_{ini}$  と温度 - 共振周波数特性 ( $f_{org}$ ) とのシフト分  $f$  を算出する。これは個体差による周波数シフト分  $f$  である。そして、温度 - 共振周波数特性 ( $f_{org}$ ) を  $f$  シフトさせた温度 - 共振周波数特性 ( $f_{std}$ ) を求める。使用時に温度検出部 112 から得られた温度  $T_m$  に対応する値を数式またはテーブルで与えられた  $f_{std}$  から決定することによって、周波数推定部 116 は、推定共振周波数  $f_c$  を推定する。

40

【0037】

なお、図示しないが、温度 - 共振周波数特性 ( $f_{org}$ ) 上での予め定められた温度  $T_{std}$  に対応する共振周波数と温度  $T_m$  における共振周波数との差  $f_1$  を算出し、 $f_{ini}$  に対して  $f_1$  を加算して  $f_c$  を求めても良い。

【0038】

図 3 に戻って、周波数推定部 116 は、温度検出部 112 から現在の測定温度  $T_m$  を受けると、推定共振周波数  $f_c$  を出力する。なお、図 3 では、周波数記憶部 118 に記憶された  $f_{ini}$  が周波数推定部 116 に送信されているが、図 4、図 5 に示した  $f_{std}$  が予め演算されて周波数記憶部 118 に記憶され周波数推定部 116 がこれを参照するので

50

も良い。

【 0 0 3 9 】

異常判定部 1 1 9 は、温度検出部 1 1 2 が検出した温度  $T_m$  と周波数記憶部 1 1 8 に記憶された共振周波数  $f_{ini}$  と周波数検出部 1 1 4 が検出した共振周波数  $f_m$  とに基づいて、超音波トランスデューサ 1 0 0 の異常を判定し、判定結果を示す信号  $S_{R1}$  を出力する。

【 0 0 4 0 】

より詳細には、周波数推定部 1 1 6 が、温度  $T_m$  と初期値  $f_{ini}$  とに基づいて、温度  $T_m$  における周波数推定値  $f_c$  を推定し、異常判定部 1 1 9 が周波数推定値  $f_c$  と測定値である共振周波数  $f_m$  とを比較し、測定値が異常であるか否かを判定する。たとえば、異常判定部 1 1 9 は周波数推定値  $f_c$  を中心としてプラス側しきい値  $f(+)$  とマイナス側しきい値  $f(-)$  を決定し、 $f(-) < f_m < f(+)$  が成立した場合に測定値が正常であると判定し、成立しない場合に測定値が異常であると判定する。

【 0 0 4 1 】

以上説明した構成とすることによって、実施の形態 1 に係る超音波装置は、従来よりも精度良く超音波トランスデューサの異常を検出することができる。

【 0 0 4 2 】

すなわち、特許第 2 9 9 8 2 3 2 号公報（特許文献 1）に示された方法では、周波数の変化を元に異常を検出するが、周波数は温度によっても変化する。水や泥などの異物の付着の異常を検出する場合、周波数が温度によって変化したのか、付着によって変化したのかを判別する必要がある。そこで、実施の形態 1 では周波数検出部 1 1 4 以外に温度検出部 1 1 2 を設け、検出した温度における周波数変化分を判定しきい値に反映させることによって、周波数変化が温度変化によるものか、それ以外の異常によるものかを判別することができる。

【 0 0 4 3 】

[ 実施の形態 2 ]

実施の形態 1 では、異常を判定するパラメータとして共振周波数を用いたが、実施の形態 2 では、Q 値を用いる。Q 値は、尖鋭度、すなわち共振回路の共振のピークの鋭さを表す値「Q : Quality factor」として一般的に用いられる指標である。本願発明者は、泥の付着等の異常が Q 値の変化としても検出できることに気付いた。

【 0 0 4 4 】

図 6 は、実施の形態 2 の超音波装置の構成を示したブロック図である。実施の形態 2 の超音波装置は、超音波トランスデューサ 1 0 0 と、駆動回路 1 0 4 と、受信回路 1 0 6 と、異常検出部 2 1 0 とを含む。

【 0 0 4 5 】

異常検出部 2 1 0 は、Q 値検出部 2 1 4 と、Q 値記憶部 2 1 8 と、Q 値推定部 2 1 6 と、温度検出部 1 1 2 と、異常判定部 2 1 9 とを含む。

【 0 0 4 6 】

駆動回路 1 0 4、受信回路 1 0 6、温度検出部 1 1 2 は、実施の形態 1 と同様であるので、ここでは説明を繰り返さない。

【 0 0 4 7 】

Q 値検出部 2 1 4 は、超音波トランスデューサ 1 0 0 の Q 値  $Q_m$  を検出する。Q 値記憶部 2 1 8 は、予め定められた温度における超音波トランスデューサ 1 0 0 の Q 値  $Q_m$  を記憶する。たとえば、超音波装置を工場で生産している工程において、予め定められた温度の雰囲気において超音波トランスデューサ 1 0 0 を振動させたときに Q 値検出部 2 1 4 で検出した Q 値  $Q_m$  を、初期値  $Q_{ini}$  として Q 値記憶部 2 1 8 に記憶させる。

【 0 0 4 8 】

Q 値検出部 2 1 4 としては、公知のどのようなものを使用しても良い。たとえば、Q 値検出部 2 1 4 は、特開 2 0 1 5 - 1 0 8 8 8 号公報等に記載されているように、残響周波数の減衰カーブから Q 値を計測する。

10

20

30

40

50



## 【0049】

図7は、Q値推定部216におけるQ値 $Q_c$ の推定処理の第1例を説明するための図である。図6、図7を参照して、工場出荷時等の超音波トランスデューサ100に異常が生じていないことが分かっている状態で、特定の温度( $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$ )において、それぞれQ値( $Q_{ini1}, Q_{ini2}, Q_{ini3}, Q_{ini4}, Q_{ini5}$ )を測定する。なお、温度点数は一点でも、複数点でも良い。測定点P11~P15の測定値は、Q値記憶部218に記憶される。Q値推定部216は、記憶されたQ値から、個別の超音波トランスデューサごとの温度-Q値の関係 $Q_{std}$ を求める。

## 【0050】

温度-Q値の関係は、例えば温度とQ値のテーブルデータを記憶して、データ間は線形補間して算出することができる。なお、この関係を一次式、二次式または多項式等の数式で表現し、測定点P11~P15から数式の係数を決定しても良い。

10

## 【0051】

使用時に温度検出部112から得られた温度 $T_m$ に対応する値を数式またはテーブルで与えられた $Q_{std}$ から決定することによって、Q値推定部216は、推定Q値 $Q_c$ を推定する。

## 【0052】

図7に示したように個別の超音波トランスデューサごとに温度特性のデータを測定しておき、そのデータを使用して推定Q値 $Q_c$ を求めても良いが、個別の超音波トランスデューサごとに温度特性のデータを測定および記録するのは時間がかかる。したがって、標準温度 $T_{std}$ における初期値 $Q_{ini}$ を個別のトランスデューサごとに測定および記録しておき、共通のデータを用いて温度特性変化によるQ値シフト分 $Q$ の補正を行なう以下の第2例の方が現実的である。

20

## 【0053】

図8は、Q値推定部216におけるQ値 $Q_c$ の推定処理の第2例を説明するための図である。図6、図8を参照して、予め定められた温度(たとえば、 $T_{std} = 25$ )において計測された超音波トランスデューサ100のQ値 $Q_{ini}$ (図18のP16に該当)がQ値記憶部218に記憶されている。Q値推定部216には、複数の超音波装置で共通に用いられる超音波トランスデューサの温度-Q値特性( $Q_{org}$ )が記憶されている。温度-Q値特性( $Q_{org}$ )は、温度の関数(数式)として記憶されていても良いし、マップのようにデータテーブルで記憶されていても良い。

30

## 【0054】

個別の超音波トランスデューサ100に対応する温度 $T_{std}$ におけるQ値 $Q_{ini}$ と温度-Q値特性( $Q_{org}$ )とのQ値シフト分 $Q$ を算出する。これは、個体差によるQ値シフト分 $Q$ である。そして、温度-Q値特性( $Q_{org}$ )を $Q$ シフトさせた温度-Q値特性( $Q_{std}$ )を求める。使用時に温度検出部112から得られた温度 $T_m$ に対応する値を数式またはテーブルで与えられた $Q_{std}$ から決定することによって、Q値推定部216は、推定Q値 $Q_c$ を推定する。

## 【0055】

なお、図示しないが、温度-Q値特性( $Q_{org}$ )上での予め定められた温度 $T_{std}$ に対応するQ値と温度 $T_m$ におけるQ値との差 $Q_1$ を算出し、 $Q_{ini}$ に対して $Q_1$ を加算して $Q_c$ を求めても良い。

40

## 【0056】

Q値推定部216は、温度検出部112から現在の測定温度 $T_m$ を受けると、推定Q値 $Q_c$ を出力する。なお、図6では、Q値記憶部218に記憶された $Q_{ini}$ がQ値推定部216に送信されているが、図7、図8に示した $Q_{std}$ が予め演算されてQ値記憶部218に記憶されQ値推定部216がこれを参照するのも良い。

## 【0057】

異常判定部219は、温度検出部112が検出した温度 $T_m$ とQ値記憶部218に記憶されたQ値 $Q_{ini}$ とQ値検出部214が検出したQ値 $Q_m$ とに基づいて、超音波トラン

50

スデューサ 100 の異常を判定し、判定結果を示す信号 S R 2 を出力する。

【 0 0 5 8 】

より詳細には、Q 値推定部 216 が、温度  $T_m$  と初期値  $Q_{ini}$  とに基づいて、温度  $T_m$  における Q 値推定値  $Q_c$  を推定し、異常判定部 219 が 推定 Q 値  $Q_c$  (または Q 値推定値  $Q_c$ ) と測定値である  $Q_m$  とを比較し、測定値が異常であるか否かを判定する。たとえば、異常判定部 219 は Q 値推定値  $Q_c$  を中心としてプラス側しきい値  $Q(+)$  とマイナス側しきい値  $Q(-)$  を決定し、 $Q(-) < Q_m < Q(+)$  が成立した場合に測定値が正常であると判定し、成立しない場合に測定値が異常であると判定する。

【 0 0 5 9 】

以上説明した構成とすることによって、実施の形態 2 に係る超音波装置は、Q 値を温度補正するため、精度良く超音波トランスデューサの異常を検出することができる。また、従来は Q 値のみで異常を検出することは行なわれていなかったため、いままで判別できなかった異常を検出することが期待できる。

【 0 0 6 0 】

[ 実施の形態 3 ]

実施の形態 2 では、Q 値 (共振先鋭度) で異常を判定した。実施の形態 3 では、共振周波数の変化と Q 値の変化とを同時に観測することによって、異常の内容を分類可能とするものである。

【 0 0 6 1 】

図 9 は、水滴の付着と共振周波数の変化との関係を示すグラフである。図 10 は、水滴の付着と Q 値の変化との関係を示すグラフである。図 11 は、泥の付着と共振周波数の変化との関係を示すグラフである。図 12 は、泥の付着と Q 値の変化との関係を示すグラフである。

【 0 0 6 2 】

図 9 ~ 図 10 から分かるように、超音波トランスデューサ 100 の振動面に水滴が付着した場合には、共振周波数は変わるが、Q 値はほとんど変わらない。一方、図 11 ~ 図 12 から分かるように、泥が付着した場合には、共振周波数と Q 値は両方とも変化する (下がる)。

【 0 0 6 3 】

図 13 は、実施の形態 3 で実行される判定処理を説明するためのフローチャートである。図 13 を参照して、ステップ S1 において実施の形態 3 に係る異常検出部は、初期の共振周波数と Q 値とを記憶部に記憶させる。続いて、ステップ S2 において温度  $T_m$  が測定され、ステップ S3 において、現在の温度  $T_m$  における共振周波数  $f_c$  および Q 値  $Q_c$  が推定される。

【 0 0 6 4 】

ステップ S2, S3 の処理に並行して、ステップ S4 において、現在の共振周波数  $f_m$  と Q 値  $Q_m$  とが測定される。

【 0 0 6 5 】

ステップ S3 およびステップ S4 の処理が終了すると、ステップ S5 において、推定共振周波数  $f_c$  に対する測定共振周波数  $f_m$  の低下量  $D_f$  が判定しきい値  $D_{f_{th}}$  よりも大きいかが判断される。 $D_f > D_{f_{th}}$  であった場合 (S5 で YES)、ステップ S5 からステップ S6 に処理が進められ、Q 値の低下量  $D_Q$  が判定しきい値  $D_{Q_{th}}$  よりも大きいかが判断される。

【 0 0 6 6 】

ステップ S6 において  $D_Q > D_{Q_{th}}$  であった場合 (S6 で YES)、ステップ S7 に処理が進められ、泥が超音波トランスデューサ 100 の共振面 (図 2 の底部 62) の全面に付着している可能性があるとして判断される。一方、 $D_C > D_{Q_{th}}$  でなかった場合 (S6 で NO)、ステップ S8 に処理が進められ、水が共振面に付着したか、または乾燥した泥が付着している可能性があるとして判断される。

【 0 0 6 7 】

10

20

30

40

50

ステップS5において、 $Df > Df_{th}$ でなかった場合(S5でNO)、ステップS5からステップS9に処理が進められ、Q値の低下量DQが判定しきい値 $DQ_{th}$ よりも大きいかが判断される。

【0068】

ステップS9において $DQ > DQ_{th}$ であった場合(S9でYES)、ステップS10に処理が進められ、泥が超音波トランスデューサ100の共振面の1/2以上に付着している可能性があるとして判断される。一方、 $DQ > DQ_{th}$ でなかった場合(S9でNO)、ステップS11に処理が進められ、水が共振面に付着している可能性は低く、泥の付着は共振面の1/2以下であると判断される。

【0069】

図14は、実施の形態3に係る超音波装置の構成を示したブロック図である。実施の形態3の超音波装置は、超音波トランスデューサ100と、駆動回路104と、受信回路106と、異常検出部310とを含む。

【0070】

異常検出部310は、温度検出部112と、周波数検出部114と、周波数記憶部118と、周波数推定部116と、異常判定部119とを含む。温度検出部112、周波数検出部114、周波数記憶部118、周波数推定部116、および異常判定部119については、実施の形態1(図3)で説明したものと同様であるので、ここでは説明は繰り返さない。

【0071】

異常検出部310は、さらに、Q値検出部214と、Q値記憶部218と、Q値推定部216と、異常判定部219とを含む。Q値検出部214、Q値記憶部218、Q値推定部216、および異常判定部219については、実施の形態2(図6)で説明したものと同様であるので、ここでは説明は繰り返さない。

【0072】

異常検出部310は、さらに、異常判定部319を含む。異常判定部319は、異常判定部119、219とともに、判定部320を構成する。この判定部320は、温度検出部112が検出した温度 $T_m$ と周波数記憶部118に記憶された共振周波数 $f_{ini}$ と周波数検出部114が検出した共振周波数 $f_m$ とQ値記憶部218に記憶されたQ値 $Q_{ini}$ とQ値検出部214が検出したQ値 $Q_m$ とに基づいて、超音波トランスデューサ100の異常を判定する。

【0073】

異常判定部319は、異常判定部119および219の判定結果から総合的に異常の状態を判定する。異常判定部319は、異常の状態が水付着なのか、凍結または泥付着なのかを判定することができる。

【0074】

図15は、異常判定部319の動作を説明するための図である。図15を参照して、共振周波数 $f_m$ が推定共振周波数 $f_c$ によって定まるプラス側しきい値 $f(+)$ とマイナス側しきい値 $f(-)$ との間にあることを信号SR1が示す場合に、「 $f(OK)$ 」と表記する。また、Q値 $Q_m$ が推定Q値 $Q_c$ によって定まるプラス側しきい値 $Q(+)$ とマイナス側しきい値 $Q(-)$ との間にあることを信号SR2が示す場合に、「 $Q(OK)$ 」と表記する。

【0075】

また、図15において、 $f_m$ がプラス側しきい値 $f(+)$ より高い場合に、「 $f(+)$ 」と表記し、 $f_m$ がマイナス側しきい値 $f(-)$ より低い場合に、「 $f(-)$ 」と表記する。

【0076】

また、図15において、 $Q_m$ がプラス側しきい値 $Q(+)$ より大きい場合に、「 $Q(+)$ 」と表記し、 $Q_m$ がマイナス側しきい値 $Q(-)$ より小さい場合に、「 $Q(-)$ 」と表記する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 7 】

信号SR1が「f (OK)」に該当し、かつ、信号SR2が「Q (OK)」に該当するときには、異常判定部319は、判定結果SR3として「PASS」を出力する。「PASS」は超音波トランスデューサ100が正常であることを示す。

## 【 0 0 7 8 】

信号SR1がマイナス側しきい値より低い「f (-)」に該当し、かつ、信号SR2がマイナス側しきい値より低い「Q (-)」に該当するときには、異常判定部319は、判定結果SR3として「M2」を出力する。「M2」は超音波トランスデューサ100に氷または泥が付着している可能性があることを示す。

## 【 0 0 7 9 】

信号SR1がマイナス側しきい値より低い「f (-)」に該当し、かつ、信号SR2が「Q (OK)」に該当するときには、異常判定部319は、判定結果SR3として「M1」を出力する。「M1」は超音波トランスデューサ100に水が付着している可能性があることを示す。

## 【 0 0 8 0 】

なお、それ以外の場合には、図15において「F」と示されており、超音波トランスデューサ100が故障している可能性があることを示す。

## 【 0 0 8 1 】

以上説明したように、実施の形態3の超音波装置によれば超音波トランスデューサ100の異常の状態を細かく推定できる。すなわち、異常が水付着なのか泥付着または凍結なのかを、周波数変化とQ値の変化の組合せで切り分けることができるため、より高精度な制御や修理の場合の分類等に应用できる。

## 【 0 0 8 2 】

## [ 実施の形態4 ]

実施の形態4は、実施の形態3と似ているが、異常判定部の判定を変更している。

## 【 0 0 8 3 】

図16は、実施の形態4に係る超音波装置の構成を示したブロック図である。実施の形態4の超音波装置は、超音波トランスデューサ100と、駆動回路104と、受信回路106と、異常検出部410とを含む。

## 【 0 0 8 4 】

異常検出部410は、温度検出部112と、周波数検出部114と、周波数記憶部118と、周波数推定部116と、Q値検出部214と、Q値記憶部218と、Q値推定部216と、異常判定部419とを含む。

## 【 0 0 8 5 】

温度検出部112、周波数検出部114、周波数記憶部118、および周波数推定部116については、実施の形態1(図3)で説明したものと同様である。Q値検出部214、Q値記憶部218、およびQ値推定部216については、実施の形態2(図6)で説明したものと同様である。したがって、ここではこれらの説明は繰り返さない。

## 【 0 0 8 6 】

異常判定部419は、周波数推定部116が推定した共振周波数 $f_c$ と、周波数検出部114が検出した共振周波数 $f_m$ と、Q値推定部216が推定したQ値 $Q_c$ と、Q値検出部214が検出したQ値 $Q_m$ とに基づいて、超音波トランスデューサ100の異常を判定する。

## 【 0 0 8 7 】

図17は、異常判定部419の判定処理について説明するための図である。異常判定部419は、共振周波数の測定値と推定値、Q値の測定値と推定値の4つから総合的に異常を判定する。図17を参照して、異常判定部419は、Q-f平面上において、座標P( $Q_c, f_c$ )を中心にしたPASS領域に座標Pm( $Q_m, f_m$ )が入るか否かで、正常か異常かの判定を行なう。このようにすることで、図17に示すように、判定結果PASS, M1, M2, Fに該当する領域を実験の実験結果等に合わせて細かく設定することが

10

20

30

40

50

可能である。

【 0 0 8 8 】

実施の形態 4 の構成は、実施の形態 3 の構成と似ているが、共振周波数、Q 値の各々で個別に判別した結果を組み合わせるのではなく、はじめから共振周波数と Q 値の組合せの状態によって 1 回で判別するため、効率よく、高精度な判定ができる。

【 0 0 8 9 】

[ 実施の形態 5 ]

実施の形態 1 ~ 4 では、温度検出部 1 1 2 は、公知の種々の温度センサを用いることとしていたが、実施の形態 5 では、温度検出部 1 1 2 が超音波トランスデューサ 1 0 0 の圧電素子の容量変化を検出することによって温度を推定する。なお、この温度検出部 1 1 2 10  
については、実施の形態 1 ~ 4 のいずれにも適用することができるが、代表として、実施の形態 2 に適用した場合を説明する。

【 0 0 9 0 】

図 1 8 は、実施の形態 5 に係る超音波装置の構成を示すブロック図である。図 1 8 を参照して、実施の形態 5 の超音波装置は、超音波トランスデューサ 1 0 0 と、駆動回路 1 0 4 と、受信回路 1 0 6 と、異常検出部 5 1 0 とを含む。

【 0 0 9 1 】

異常検出部 5 1 0 は、Q 値検出部 2 1 4 と、Q 値記憶部 2 1 8 と、Q 値推定部 2 1 6 と、温度検出部 1 1 2 と、異常判定部 2 1 9 とを含む。

【 0 0 9 2 】

駆動回路 1 0 4、受信回路 1 0 6、Q 値検出部 2 1 4 と、Q 値記憶部 2 1 8 と、Q 値推定部 2 1 6 と、異常判定部 2 1 9 は、実施の形態 1、2 と同様であるので、ここでは説明を繰り返さない。 20

【 0 0 9 3 】

温度検出部 1 1 2 は、容量検出部 5 1 2 と、容量記憶部 5 1 4 と、温度推定部 5 1 6 とを含む。

【 0 0 9 4 】

容量検出部 5 1 2 は、あらかじめ容量値がわかっている容量を超音波トランスデューサ 1 0 0 の圧電素子の容量と直列接続になるように接続し、交流電圧波形を与える。直列接続された 2 つの容量の接続ノードの電圧は、交流電圧が容量比で分割した電圧となるので、圧電素子の容量値がいくらかを検出することができる。 30

【 0 0 9 5 】

図 1 9 は、温度検出部 1 1 2 における温度  $T_c$  の推定処理の第 1 例を説明するための図である。図 1 8、図 1 9 を参照して、工場出荷時等の超音波トランスデューサ 1 0 0 に異常が生じていないことが分かっている状態で、特定の温度 ( $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$ ) において、それぞれ容量値 ( $C_{ini1}, C_{ini2}, C_{ini3}, C_{ini4}, C_{ini5}$ ) を測定する。なお、温度点数は一点でも、複数点でも良い。測定点  $P_{21} \sim P_{25}$  の測定値は、容量記憶部 5 1 4 に記憶される。温度推定部 5 1 6 は、記憶された容量値から、個別の超音波トランスデューサごとの温度 - 容量値の関係を求める。 40

【 0 0 9 6 】

温度 - 容量値の関係は、例えば温度と容量値のテーブルデータを記憶して、データ間は線形補間して算出することができる。なお、この関係を一次式、二次式または多項式等の数式で表現し、測定点  $P_{21} \sim P_{25}$  から数式の係数を決定しても良い。

【 0 0 9 7 】

使用時に容量検出部 5 1 2 から得られた容量値  $C_m$  に対応する温度を数式またはテーブルで与えられた温度 - 容量値特性  $C_{std}$  から決定することによって、温度推定部 5 1 6 は、推定温度  $T_c$  を推定する。

【 0 0 9 8 】

図 1 9 に示したように個別の超音波トランスデューサごとに温度 - 容量特性のデータを測定しておき、そのデータを使用して推定温度  $T_c$  を求めても良いが、個別の超音波トラ 50

ンスデューサごとに温度 - 容量特性のデータを測定および記録するのは時間がかかる。したがって、標準温度  $T_{std}$  における初期値  $C_{ini}$  を個別のトランスデューサごとに測定および記録しておき、共通のデータを用いて温度特性変化による容量シフト分  $C$  の補正を行なう以下の第 2 例の方が現実的である。

【 0 0 9 9 】

図 20 は、温度検出部 112 における温度  $T_c$  の推定処理の第 2 例を説明するための図である。図 18、図 20 を参照して、予め定められた温度（たとえば、 $T_{std} = 25$ ）において計測された超音波トランスデューサ 100 の容量値  $C_{ini}$ （図 20 の P 2 6 に該当）が容量記憶部 514 に記憶されている。温度推定部 516 には、複数の超音波装置で共通に用いられる超音波トランスデューサの温度 - 容量特性（ $C_{org}$ ）が記憶されている。温度 - 容量特性（ $C_{org}$ ）は、温度の関数（数式）として記憶されていても良いし、マップのようにデータテーブルで記憶されていても良い。

10

【 0 1 0 0 】

個別の超音波トランスデューサ 100 に対応する温度  $T_{std}$  における容量値  $C_{ini}$  と温度 - 容量特性（ $C_{org}$ ）の容量値シフト分  $C$  を算出する。これは、個体差による容量値シフト分  $C$  である。そして、温度 - 容量特性（ $C_{org}$ ）を  $C$  シフトさせた温度 - 容量特性（ $C_{std}$ ）を求める。使用時に容量検出部 512 から得られた容量値  $C_m$  に対応する温度を数式またはテーブルで与えられた  $C_{std}$  から決定することによって、温度推定部 516 は、推定温度  $T_c$  を推定する。

【 0 1 0 1 】

なお、図示しないが、温度推定部 516 は、測定した容量値  $C_m$  と容量記憶部 514 から読み出した容量値  $C_{ini}$  との差  $C_1$  を算出し、 $C_{org}$  が  $T_{std}$  から  $C_1$  だけ変化した温度を推定温度  $T_c$  として出力しても良い。

20

【 0 1 0 2 】

Q 値推定部 216 は、温度検出部 112 から推定温度  $T_c$  を受けると、推定 Q 値  $Q_c$  を出力する。異常判定部 219 については、実施の形態 2 で説明した動作と同様な動作を行なって、判定結果を示す信号  $SR_5$  を出力する。

【 0 1 0 3 】

実施の形態 5 に係る超音波装置は、容量検出を超音波トランスデューサ 100 にもともと含まれている圧電素子の容量変化に基づいて温度を検出するので、新たに温度センサなどを追加する必要がなくなる。

30

【 0 1 0 4 】

実施の形態 5 によれば、温度センサの追加が不要となるので、低コストで実施の形態 1 ~ 4 の機能を実現することができる。

【 0 1 0 5 】

[ 実施の形態 6 ]

実施の形態 1 ~ 5 までは、温度  $T_m$  または  $T_c$  を仲介させて Q 値の推定値  $Q_c$  等を求めていた。実施の形態 6 では、超音波トランスデューサ 100 の容量の測定値  $C_m$  から直接的に共振周波数  $f_c$  または Q 値の推定値  $Q_c$  を推定する。

【 0 1 0 6 】

図 21 は、実施の形態 6 に係る超音波装置の構成を示すブロック図である。図 21 を参照して、実施の形態 6 の超音波装置は、超音波トランスデューサ 100 と、駆動回路 104 と、受信回路 106 と、異常検出部 610 とを含む。

40

【 0 1 0 7 】

異常検出部 610 は、Q 値検出部 214 と、Q 値記憶部 218 と、容量検出部 512 と、Q 値推定部 616 と、異常判定部 219 とを含む。

【 0 1 0 8 】

駆動回路 104、受信回路 106、Q 値検出部 214、Q 値記憶部 218、容量検出部 512、および異常判定部 219 は、実施の形態 1、2、5 と同様であるので、ここでは説明を繰り返さない。

50

## 【0109】

図22は、Q値推定部616の推定処理の第1例を説明するための図である。図21、図22を参照して、工場出荷時等の超音波トランスデューサ100に異常が生じていないことが分かっている状態で、特定の温度( $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$ )にそれぞれ対応する容量値( $C_{ini1}, C_{ini2}, C_{ini3}, C_{ini4}, C_{ini5}$ )において、それぞれQ値( $Q_{ini1}, Q_{ini2}, Q_{ini3}, Q_{ini4}, Q_{ini5}$ )を測定する。なお、温度点数は一点でも、複数点でも良い。測定点P31~P35の測定値は、Q値記憶部218に記憶される。Q値推定部616は、記憶されたQ値から、個別の超音波トランスデューサごとの容量値 - Q値の関係 $Q_{std}$ を求める。

## 【0110】

容量値 - Q値の関係は、例えば容量値とQ値のテーブルデータを記憶して、データ間は線形補間して算出することができる。なお、この関係を一次式、二次式または多項式等の数式で表現し、測定点P31~P35から数式の係数を決定しても良い。

## 【0111】

使用時に容量検出部512から得られた容量値 $C_m$ に対応する値を数式またはテーブルで与えられた $Q_{std}$ から決定することによって、Q値推定部616は、推定Q値 $Q_c$ を推定する。

## 【0112】

図22に示したように個別の超音波トランスデューサごとに容量値 - Q値特性のデータを測定しておき、そのデータを使用して推定Q値 $Q_c$ を求めても良いが、個別の超音波トランスデューサごとに容量値 - Q値特性のデータを測定および記録するのは時間がかかる。したがって、標準温度 $T_{std}$ 対応する容量値 $C_{std}$ における初期値 $Q_{ini}$ を個別のトランスデューサごとに測定および記録しておき、共通のデータを用いて容量特性変化によるQ値シフト分  $Q$ の補正を行なう以下の第2例の方が現実的である。

## 【0113】

図23は、Q値推定部616の推定処理の第2例を説明するための図である。図21、図23を参照して、予め定められた温度(たとえば、 $T_{std} = 25$ )において計測された超音波トランスデューサ100の容量値 $C_{std}$ とQ値 $Q_{ini}$ (図23のP36に該当)がQ値記憶部218に記憶されている。Q値推定部616には、複数の超音波装置で共通に用いられる超音波トランスデューサの容量値 - Q値特性( $Q_{org}$ )が記憶されている。容量値 - Q値特性( $Q_{org}$ )は、容量値の関数(数式)として記憶されていても良いし、マップのようにデータテーブルで記憶されていても良い。

## 【0114】

個別の超音波トランスデューサ100に対応する容量 $C_{std}$ におけるQ値 $Q_{ini}$ と容量値 - Q値特性( $Q_{org}$ )のQ値シフト分  $Q$ を算出する。これは、個体差によるQ値シフト分  $Q$ である。そして、容量値 - Q値特性( $Q_{org}$ )を  $Q$ シフトさせた容量値 - Q値特性( $Q_{std}$ )を求める。使用時に容量検出部512から得られた容量値 $C_m$ に対応する値を数式またはテーブルで与えられた $Q_{std}$ から決定することによって、Q値推定部616は、推定Q値 $Q_c$ を推定する。

## 【0115】

なお、図示しないが、容量値 - Q値特性( $Q_{org}$ )上での予め定められた容量 $C_{std}$ に対応するQ値と容量値 $C_m$ におけるQ値との差  $Q_1$ を算出し、 $Q_{ini}$ に対して $Q_1$ を加算して $Q_c$ を求めても良い。

## 【0116】

異常判定部219は、温度検出部112が検出した温度 $T_m$ とQ値記憶部218に記憶されたQ値 $Q_{ini}$ とQ値検出部214が検出したQ値 $Q_m$ とに基づいて、超音波トランスデューサ100の異常を判定し、判定結果を示す信号SR6を出力する。

## 【0117】

実施の形態6では、実施の形態1~5の温度検出部112をなくし、容量検出部512のみにする。また、周波数推定部やQ値推定部616では、温度ではなく容量測定結果C

10

20

30

40

50

mから直接にQ値を推定する。

【0118】

このような構成により低コストで機能を実現することができる。すなわち、温度検出部を省略することで、実施の形態5と同じ結果が得られるため、より低コストで同じ機能を実現することができる。

【0119】

[実施の形態6の変形例]

実施の形態6では、Q値の推定値 $Q_c$ について代表的に例示して説明したが、共振周波数 $f_c$ にも実施の形態1に組み合わせることによって同様に適用可能である。

【0120】

図24は、実施の形態6の変形例の超音波装置の構成を示したブロック図である。実施の形態6の変形例の超音波装置は、超音波トランスデューサ100と、駆動回路104と、受信回路106と、異常検出部710とを含む。

【0121】

異常検出部710は、周波数検出部114と、周波数記憶部118と、周波数推定部716と、容量検出部512と、異常判定部119とを含む。

【0122】

駆動回路104は、受信回路106は、周波数検出部114は、周波数記憶部118は、図3で示したものと同様であり説明は繰り返さない。容量検出部512は、図21で示したものと同様であり説明は繰り返さない。

【0123】

周波数推定部716において、容量-共振周波数特性を $f_{ini}$ を考慮してシフトさせ、周波数推定値 $f_c$ を求めることによって、共振周波数の場合も実施の形態6と同様な効果が得られる。

【0124】

[実施の形態7]

実施の形態6では、直接的に容量とQ値との関係を示すマップデータまたは関係式を使用して、温度等の周囲環境が変化した場合のQ値推定値 $Q_c$ を求めた。しかし、個々の超音波トランスデューサ100には製造ばらつきがある。共通のマップデータを個々の超音波トランスデューサ100に対して適用するのは誤差が大きくなる場合が考えられる。実施の形態7では、このようなマップデータまたは関係式を共通にしたときに誤差を小さくできるように、容量変化率を求める点の特徴である。なお、容量変化率を求める点については、実施の形態1~4のいずれにも適用することができる。

【0125】

たとえば、圧電素子の容量に関していえば、容量値に製造ばらつきがあったとしても、温度が変化したときの容量値の変化率(%)にはあまり個体差は無い。したがって、容量変化率とQ値との関係をマップや関係式としておけば、製造時に共通にこのデータを用いることができる。

【0126】

図25は、実施の形態7に係る超音波装置の構成を示すブロック図である。図25を参照して、実施の形態7の超音波装置は、超音波トランスデューサ100と、駆動回路104と、受信回路106と、異常検出部810とを含む。

【0127】

異常検出部810は、Q値検出部214と、Q値記憶部218と、容量検出部512と、容量記憶部814と、容量変化率算出部812と、Q値推定部816と、異常判定部219とを含む。

【0128】

駆動回路104、受信回路106、Q値検出部214と、Q値記憶部218と、容量検出部512と、異常判定部219は、実施の形態1, 2, 5と同様であるので、ここでは説明は繰り返さない。

10

20

30

40

50



## 【 0 1 2 9 】

容量変化率算出部 8 1 2 は、容量検出部 5 1 2 が検出した容量値  $C_m$  が容量  $C_{ini}$  に対して変化した割合を容量変化率  $C_m(\%)$  として出力する。Q 値推定部 8 1 6 は、予め定められた温度 ( $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$ ) における超音波トランスデューサ 1 0 0 の容量変化率  $C_{ini1}, C_{ini2}, C_{ini3}, C_{ini4}, C_{ini5}$  と Q との関係 (容量変化率 - Q 値特性) を記憶する。この関係は、個別の素子に対して共通に用いることができる値である。

## 【 0 1 3 0 】

図 2 6 は、Q 値推定部 8 1 6 の推定処理を説明するための図である。Q 値推定部 8 1 6 は、測定点 P 4 1 ~ P 4 5 から、測定点の間を線形補間して容量変化率 - Q 値特性を算出する。なお、この関係を多項式等の数式で表現し、測定点 P 4 1 ~ P 4 5 から数式の係数を決定しても良い。Q 値推定部 8 1 6 は、容量変化率 - Q 値特性から容量変化率  $C_m$  に対応する Q 値を求め、推定値  $Q_c$  を出力する。

10

## 【 0 1 3 1 】

実施の形態 7 の構成とすれば、容量に個体パラツキがある場合でも容量変化率を Q 値推定部の入力とすることによって共通のマップまたは数式を使用した場合でも、推定値の誤差を小さくすることができる。

## 【 0 1 3 2 】

[ 実施の形態 7 の変形例 ]

実施の形態 7 では、Q 値の推定値  $Q_c$  について代表的に例示して説明したが、共振周波数  $f_c$  にも実施の形態 1 に組み合わせることによって同様に適用可能である。

20

## 【 0 1 3 3 】

図 2 7 は、実施の形態 7 の変形例の超音波装置の構成を示したブロック図である。実施の形態 7 の変形例の超音波装置は、超音波トランスデューサ 1 0 0 と、駆動回路 1 0 4 と、受信回路 1 0 6 と、異常検出部 9 1 0 とを含む。

## 【 0 1 3 4 】

異常検出部 9 1 0 は、周波数検出部 1 1 4 と、周波数記憶部 1 1 8 と、周波数推定部 9 1 6 と、容量検出部 5 1 2 と、容量記憶部 8 1 4 と、容量変化率算出部 8 1 2 と、異常判定部 1 1 9 とを含む。

## 【 0 1 3 5 】

駆動回路 1 0 4 と、受信回路 1 0 6 と、周波数検出部 1 1 4 と、周波数記憶部 1 1 8 とは、図 3 で示したものと同様であり説明は繰り返さない。容量検出部 5 1 2 と、容量変化率算出部 8 1 2 と、容量記憶部 8 1 4 とは、図 2 5 で示したものと同様であり説明は繰り返さない。

30

## 【 0 1 3 6 】

周波数推定部 9 1 6 は、容量変化率 - 共振周波数特性から容量変化率  $C_m$  に対応する共振周波数を求め、推定共振周波数  $f_c$  を出力する。

## 【 0 1 3 7 】

このようにすれば、共振周波数の場合も実施の形態 7 と同様な効果が得られる。

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

40

## 【 符号の説明 】

## 【 0 1 3 8 】

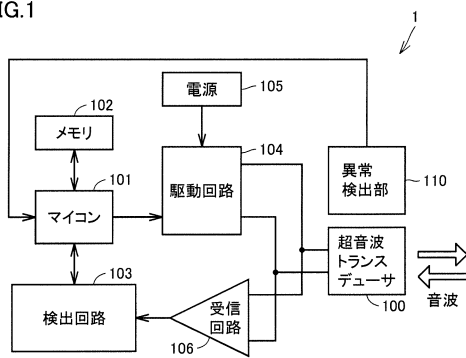
1 超音波装置、5 0 圧電素子、5 1, 5 2 電極、6 0 ケース、6 1 筒状部、6 2 底部、6 3 吸音材、7 1 樹脂、8 0, 8 1 端子、1 0 0 超音波トランスデューサ、1 0 1 マイコン、1 0 2 メモリ、1 0 3 検出回路、1 0 4 駆動回路、1 0 5 電源、1 0 6 受信回路、1 1 0, 2 1 0, 3 1 0, 4 1 0, 5 1 0, 6 1 0, 7 1 0, 8 1 0, 9 1 0 異常検出部、1 1 2 温度検出部、1 1 4 周波数検出部、1 1 6 周波数推定部、1 1 8 周波数記憶部、1 1 9, 2 1 9, 3 1 9, 4 1 9 異常判定

50

部、214 Q値検出部、216, 616, 816 Q値推定部、218 Q値記憶部、  
 320 判定部、512 容量検出部、514, 814 容量記憶部、516 温度推定  
 部、812 容量変化率算出部。

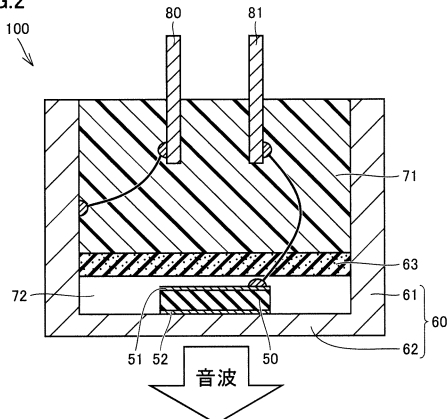
【図1】

FIG.1



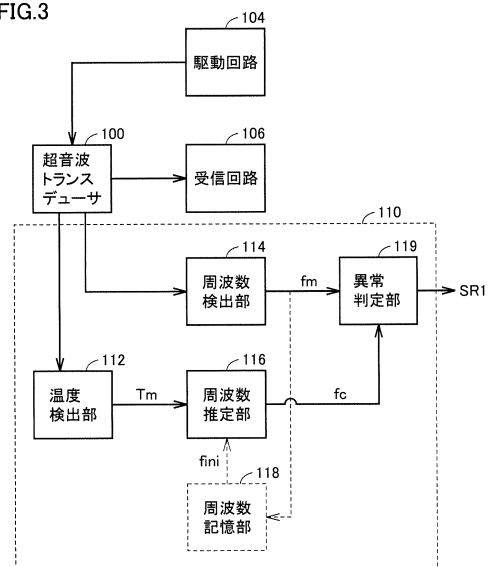
【図2】

FIG.2



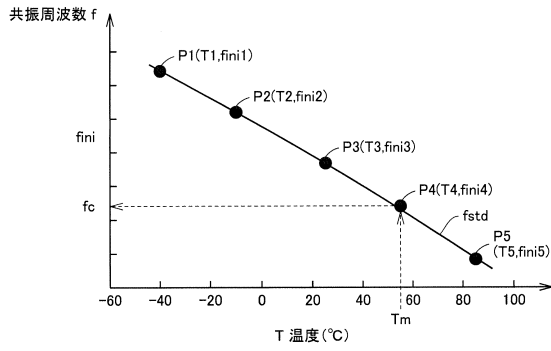
【図3】

FIG.3



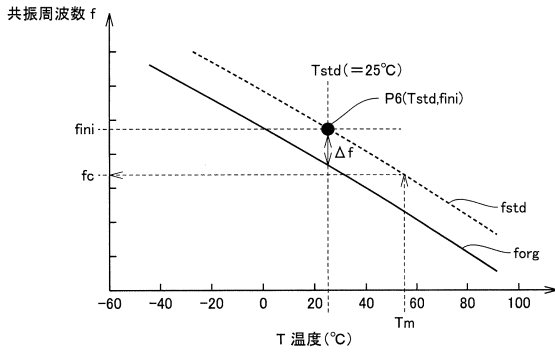
【 図 4 】

FIG.4



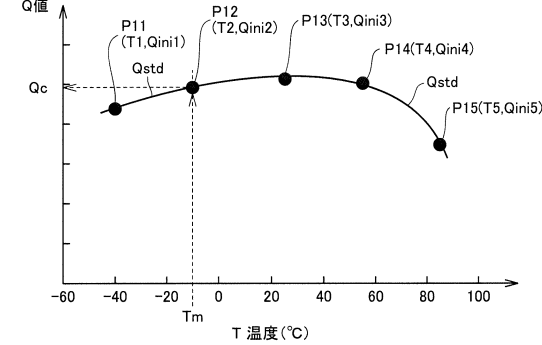
【 図 5 】

FIG.5



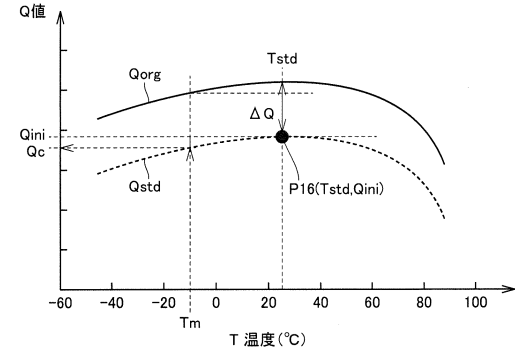
【 図 7 】

FIG.7



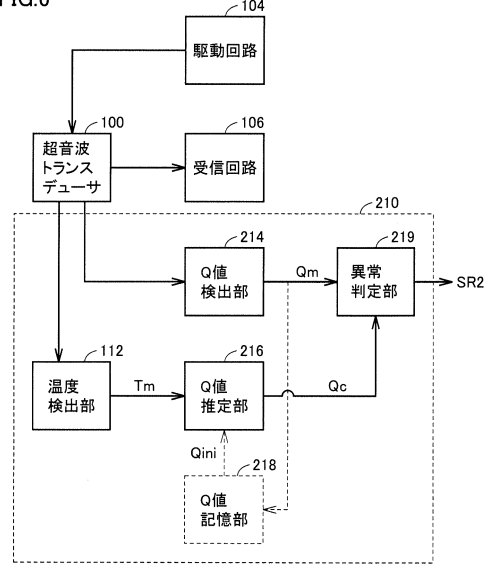
【 図 8 】

FIG.8



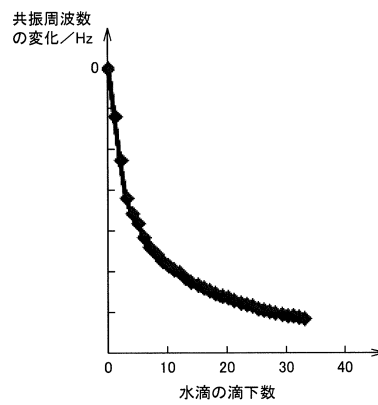
【 図 6 】

FIG.6



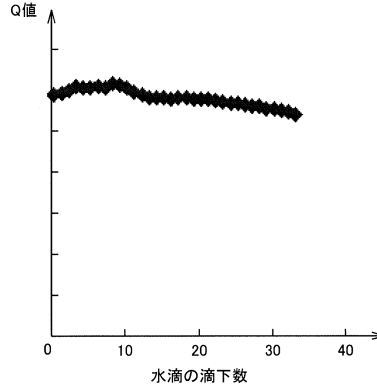
【 図 9 】

FIG.9



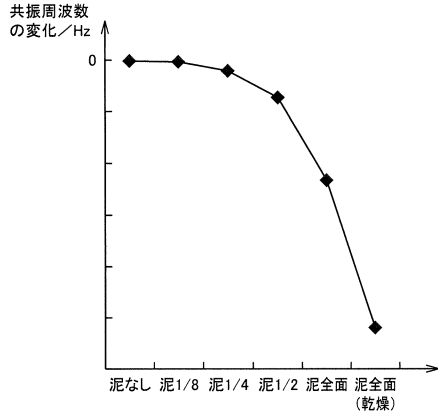
【 図 10 】

FIG.10



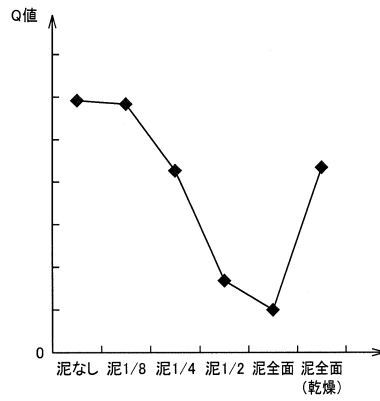
【図11】

FIG.11



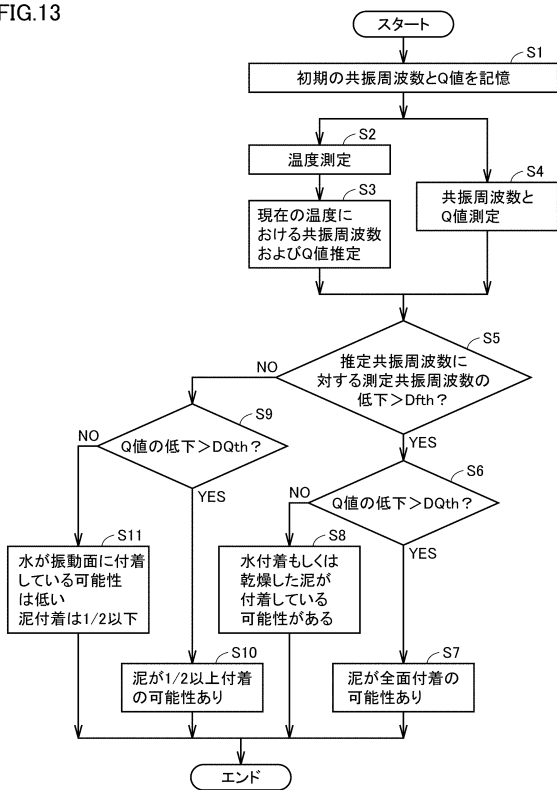
【図12】

FIG.12



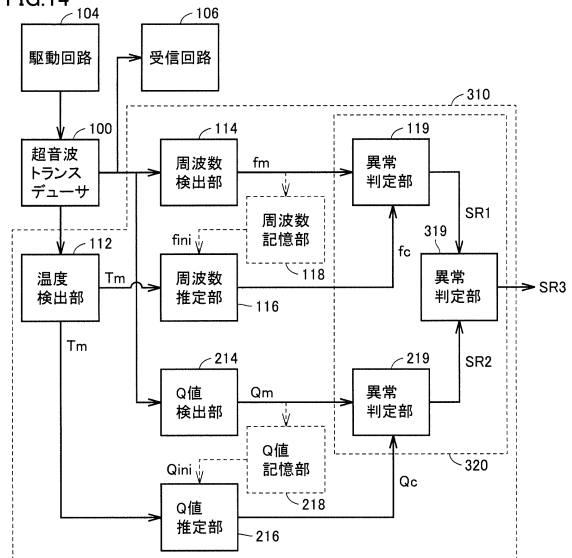
【図13】

FIG.13



【図14】

FIG.14



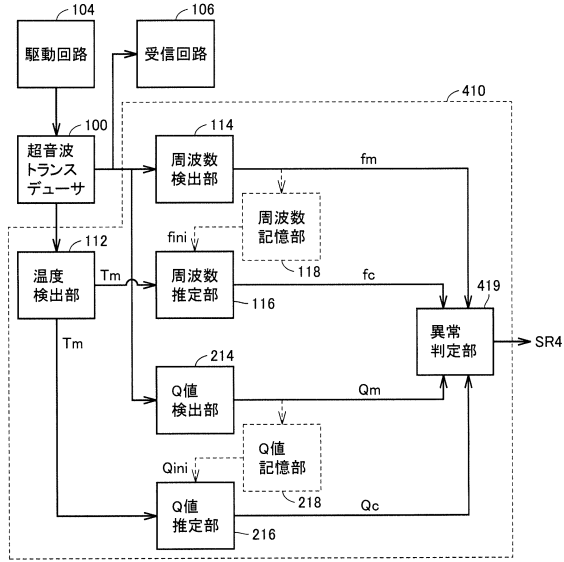
【図15】

FIG.15

SR1 \ SR2	Q(-)	Q(OK)	Q(+)
f(+)	F	F	F
f(OK)	F	PASS	F
f(-)	M2 (水、泥)	M1 (水)	F

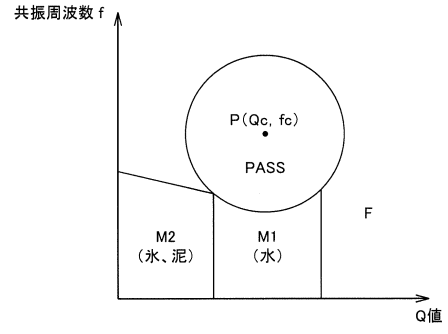
【図16】

FIG.16



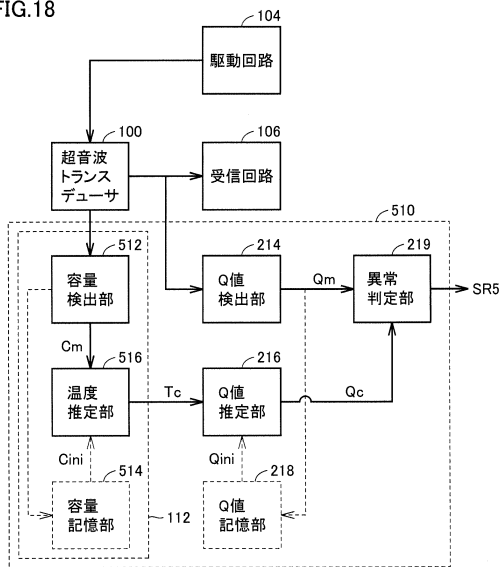
【図17】

FIG.17



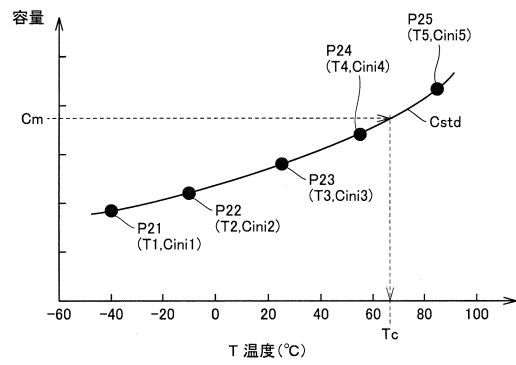
【図18】

FIG.18



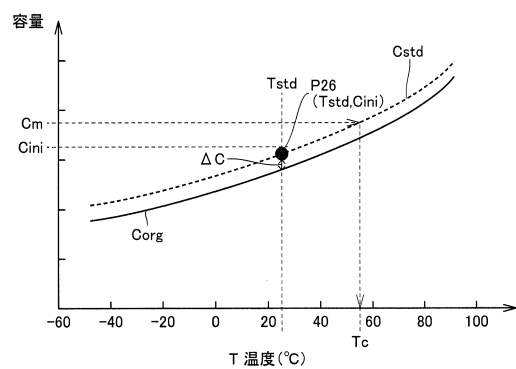
【図19】

FIG.19

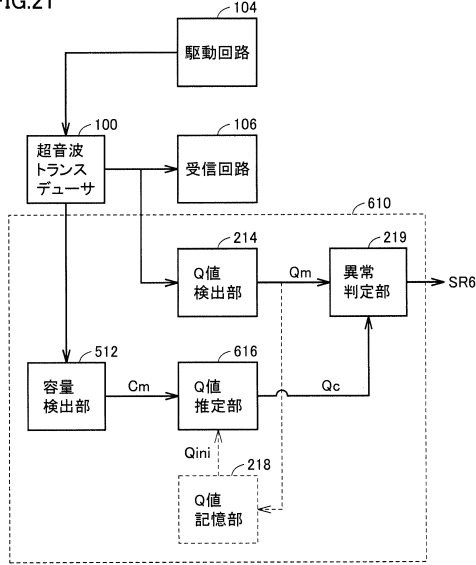


【図20】

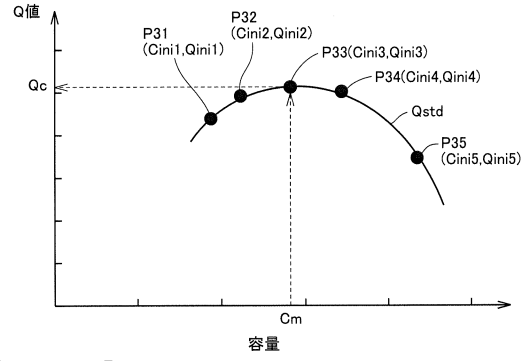
FIG.20



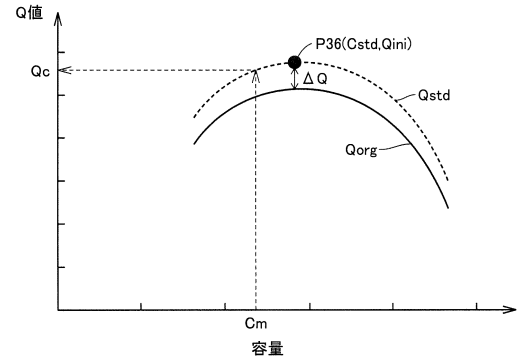
【図 2 1】  
FIG.21



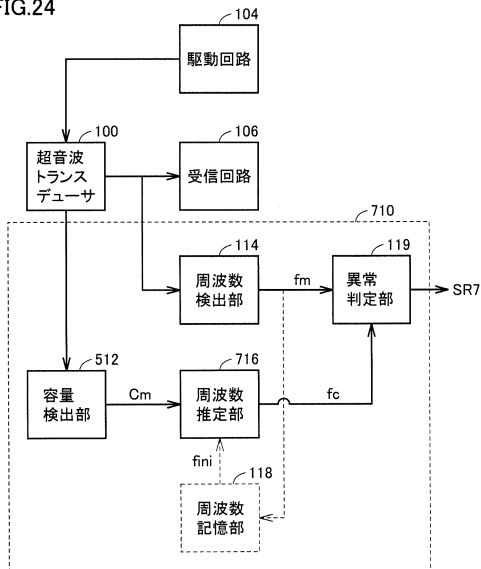
【図 2 2】  
FIG.22



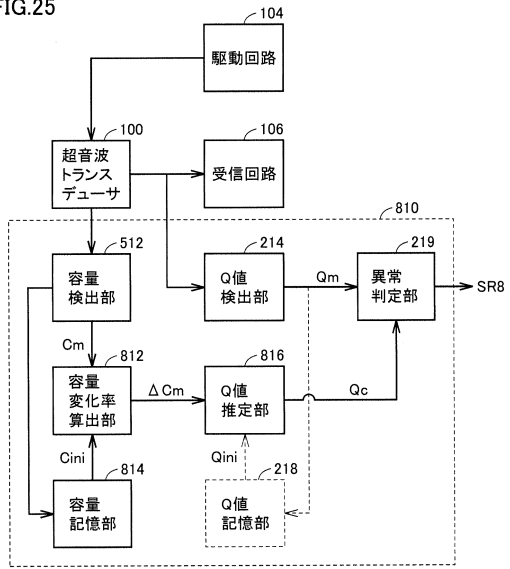
【図 2 3】  
FIG.23



【図 2 4】  
FIG.24

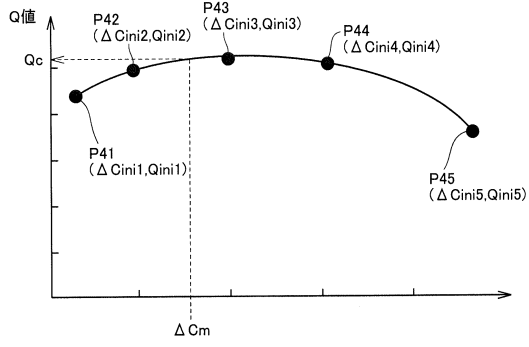


【図 2 5】  
FIG.25



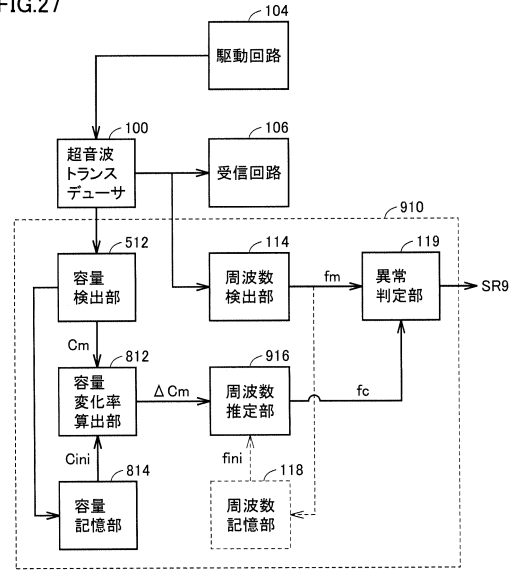
【図26】

FIG.26



【図27】

FIG.27



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特許第2998232(JP, B2)  
特開2009-254819(JP, A)  
特開2003-000610(JP, A)  
特開2015-010888(JP, A)  
特開2013-099736(JP, A)  
米国特許出願公開第2016/0223658(US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H04R 3/00  
G01S 7/52