

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5224912号
(P5224912)

(45) 発行日 平成25年7月3日(2013.7.3)

(24) 登録日 平成25年3月22日(2013.3.22)

(51) Int.Cl.

G 0 1 H 17/00 (2006.01)

F I

G 0 1 H 17/00

A

請求項の数 5 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2008-143083 (P2008-143083)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成20年5月30日 (2008.5.30)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2009-288164 (P2009-288164A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成21年12月10日 (2009.12.10)	(74) 代理人	100145816
審査請求日	平成22年12月20日 (2010.12.20)		弁理士 鹿股 俊雄
		(74) 代理人	100087332
			弁理士 猪股 祥晃
		(74) 代理人	100081189
			弁理士 猪股 弘子
		(72) 発明者	尾崎 健司
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
			東芝内
		(72) 発明者	加藤 信也
			東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
			東芝内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動監視装置および監視方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

構造物と前記構造物内の測定対象物との間に中間構造物を有する構造物の振動監視装置において、

前記構造物の外壁に設けられ測定対象物に超音波を発信し受信波を受信する超音波送受信装置と、受信波をデジタル値に変換するA/D変換装置と、前記デジタル値を演算処理し受信信号の時間波形形状の変化から測定対象物の振動変位を計測し、前記測定対象物の振動値と振動周波数を算出する信号処理装置と、前記振動値又は振動周波数の変化を監視することにより前記測定対象物の異常を判定する異常判定装置と、を備え、

前記超音波送受信装置は、当該超音波送受信装置から発信される超音波の周波数を変化させて受信波のエコーレベルが最大となる周波数を決定することによって、前記測定対象物に発信する超音波の波長を、 n を整数としたとき前記中間構造物の厚さの $2/n$ 倍に設定することを特徴とする振動監視装置。

【請求項 2】

前記超音波送受信装置が、超音波送信装置と超音波受信装置からなることを特徴とする請求項1記載の振動監視装置と監視方法。

【請求項 3】

前記測定対象物からの受信波領域を前記構造物の設計情報から算出し、前記受信波の時間波形情報から前記中間構造物からの受信波と分離する信号処理手段を有することを特徴とする請求項1又は2記載の振動監視装置。

10

20

【請求項 4】

前記超音波の発信周波数が複数の周波数成分を含んでいることを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれか 1 項に記載の振動監視装置。

【請求項 5】

構造物と前記構造物内の測定対象物との間に中間構造物を有する構造物の振動監視方法において、

前記構造物の外壁に設けられた超音波送受信装置から発信される超音波の周波数を変化させて受信波のエコーレベルが最大となる周波数を決定することによって、前記測定対象物に発信する超音波の波長を、 n を整数としたとき前記中間構造物の厚さの $2/n$ 倍に設定するとともに、当該波長の超音波を前記測定対象物に発信し、受信波をデジタル値に変換し、前記デジタル値を演算処理し受信信号の時間波形形状の変化から測定対象物の振動変位を計測し、前記振動変位から前記測定対象物の振動値と振動周波数を算出し、前記振動値又は振動周波数の変化を監視することにより前記測定対象物の異常を判定することを特徴とする振動監視方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本件発明は、構造物の振動監視装置及び監視方法に関し、特に、構造物の内部にある測定対象物の振動を構造物の外部から超音波送受信装置により測定する振動監視装置及び監視方法に関する。

20

【背景技術】

【0002】

従来の非破壊検査装置において、容器内部や容器内を流れる流路の内側にある検査対象物の振動を非破壊で監視する方法として、測定対象物に加速度計を設け直接振動を監視する方法、外部に設けた超音波送受信装置により測定対象物の振動を監視する方法が用いられている。

【0003】

超音波を用いた振動監視方法は、容器の外部に設置した超音波送受信装置から検査対象物に向けて超音波を発信し、容器の壁と容器内の媒質を伝わって検査対象物に入射した超音波は検査対象物から反射され、その超音波を受信してその伝播時間を計測するとともに、超音波の媒質中での伝播速度を考慮して距離に換算する。このプロセスを高速に繰り返すことで、測定対象物の振動変位量を計測し、測定対象物の構造物の異常を検出するものである。

30

【0004】

このような超音波を用いた振動監視装置として、特許文献 1 には、原子炉压力容器内の炉内構造物を監視するために、压力容器の外側に設置した超音波送受信装置から超音波を炉内構造物に向けて送受信し、信号処理により炉内構造物の振動に基づく超音波の伝搬時間の変化分を測定することにより、炉内構造物の振動を監視することが記載されている。

【0005】

また、特許文献 2 には、容器内に設置された電動ポンプの回転軸の振動を監視するために、容器外部に設置された超音波送受信装置から超音波を回転軸に向けて送受信し、反射波形を周波数解析等を用いて信号処理することにより、回転軸の変位を測定し、電動ポンプの振動を監視することが記載されている。

40

【特許文献 1】特許第 3782559 号公報

【特許文献 2】特開 2004-020540 号公報

【非特許文献 1】「超音波技術便覧」日刊工業新聞社刊、昭和 46 年、p 16 ~ 21

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述した加速度計を直接検査対象物に取り付ける従来の振動監視方法では、測定対象物

50

が複数箇所にあつた場合、加速度計も多数設置する必要があるほか、測定対象物の動作に影響を及ぼしたり、複雑な配線が必要になったり、また、加速度計の劣化、脱落等、コスト上及び構造上、多くの問題があつた。

【0007】

また、上述した超音波を用いた振動監視装置では、容器や流路の外側から内部にある構造物の振動を監視することが可能であるが、容器や流路と振動を計測する対象物との間に、中間構造物が存在する場合、容器の外側から発信された超音波の大部分は中間構造物で反射されるため、測定対象物の振動を正確に計測できない問題があつた。

【0008】

このような場合、超音波の伝搬の妨害とならないように中間構造物に開口部を設けることにより、測定対象物の振動を計測することが可能ではあるが、開口を設けるために構造物の改造が必要となる問題があつた。

【0009】

本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、容器等の構造物と前記構造物内の測定対象物との間に中間構造物がある場合においても、超音波を効率よく伝播させ、測定対象物の振動を高精度で監視することができる振動監視装置および監視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】

【0010】

上記課題を解決するために、本発明に係る振動監視装置は、構造物と前記構造物内の測定対象物との間に中間構造物を有する構造物の振動監視装置において、前記構造物の外壁に設けられ測定対象物に超音波を発信し受信波を受信する超音波送受信装置と、受信波をデジタル値に変換するA/D変換装置と、前記デジタル値を演算処理し受信信号の時間波形形状の変化から測定対象物の振動変位を計測し、前記測定対象物の振動値と振動周波数を算出する信号処理装置と、前記振動値又は振動周波数の変化を監視することにより前記測定対象物の異常を判定する異常判定装置と、を備え、前記超音波送受信装置は、当該超音波送受信装置から発信される超音波の周波数を変化させて受信波のエコーレベルが最大となる周波数を決定することによって、前記測定対象物に発信する超音波の波長を、 n を整数としたとき前記中間構造物の厚さの $2/n$ 倍に設定することを特徴とする。

【0011】

また、本発明に係る振動監視方法は、構造物と前記構造物内の測定対象物との間に中間構造物を有する構造物の振動監視方法において、前記構造物の外壁に設けられた超音波送受信装置から発信される超音波の周波数を変化させて受信波のエコーレベルが最大となる周波数を決定することによって、前記測定対象物に発信する超音波の波長を、 n を整数としたとき前記中間構造物の厚さの $2/n$ 倍に設定するとともに、当該波長の超音波を前記測定対象物に発信し、受信波をデジタル値に変換し、前記デジタル値を演算処理し受信信号の時間波形形状の変化から測定対象物の振動変位を計測し、前記振動変位から前記測定対象物の振動値と振動周波数を算出し、前記振動値又は振動周波数の変化を監視することにより前記測定対象物の異常を判定することを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、容器等の構造物と前記構造物内の測定対象物との間に中間構造物がある場合、超音波を効率よく伝播させ、測定対象物の振動を高精度で監視することができる振動監視装置および監視方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明に係る振動監視装置および監視方法の実施形態について、図面を参照して説明する。

(第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態に係る振動監視装置を、図1～図5を用いて説明する。

【 0 0 1 4 】

図 1 は、容器の外壁 4 の外側に設置した超音波送受信装置 1 により、容器の内部にある測定対象物 6 の振動を計測する場合を示しているが、容器の外壁 4 と測定対象物 6 との間には、内壁等の中間構造物 5 が存在する構造となっている。

【 0 0 1 5 】

超音波パルス発生装置 2 1 により、超音波送受信装置 1 から送信波形 2 で示される所定周波数の超音波パルスが発信されると発信された超音波パルスは外壁 4、容器 4 の内部の流体あるいは気体中を伝播し、中間構造物 5 に到達する。超音波パルスの一部は中間構造物 5 により反射されるが、それ以外は中間構造物 5 を透過し、測定対象物 6 まで伝播する。超音波パルスは測定対象物 6 で反射され再び流体あるいは気体中、中間構造物、外壁を伝播し、受信波形 3 で示される超音波パルスが超音波送受信装置 1 に到達し受信される。

10

【 0 0 1 6 】

受信された超音波パルスは、A / D 変換装置 2 2 によりアナログ - デジタル変換され、信号処理装置 2 3 に取り込まれる。信号処理装置 2 3 では、超音波パルスのデジタル値を演算処理し受信信号の時間波形形状の変化から超音波エコーの戻り時間の変化を算出する。さらに、戻り時間の変化に流体あるいは気体中を伝播する超音波の音速を乗することにより、測定対象物の振動変位を算出する。算出された振動変位から測定対象物 6 の振動値及び振動周波数が算出され、それらの値は表示装置 2 4 に表示されるとともに、異常判定装置 2 5 で振動値及び振動周波数の変化を監視することにより検査対象である測定対象物 6 の異常の有無を判定する。

20

ここで本発明に係る振動監視装置の測定原理について説明する。

【 0 0 1 7 】

容器 4 と測定対象物 6 の間にある中間構造物 5 における超音波の透過率 T_I は、中間構造物周囲の音響インピーダンスを z_1 、中間構造物のインピーダンスを z_2 、中間構造物の板厚さを L 、中間構造物中を伝播する超音波の波長を λ_2 とすると、次式 (1) であらわされる (非特許文献 1)。

【 数 1 】

$$T_I = 1 - \frac{\left(\frac{z_1}{z_2} - \frac{z_2}{z_1} \right)^2}{4 \cot^2 \frac{2\pi L}{\lambda_2} + \left(\frac{z_1}{z_2} + \frac{z_2}{z_1} \right)^2} \quad \dots (1)$$

30

【 0 0 1 8 】

この式 (1) に示すように、超音波の透過率 T_I は、中間構造物の板厚さ L が中間構造物 5 中の波長 λ_2 の $2 / n$ 倍となったときに最大となる。本発明は、発信する超音波の波長を透過率が最大となるように変更し、最適な波長となるように設定するものである。超音波の音速は温度と材質により決まるため、そのパラメータを考慮して周波数を制御する。具体的には、超音波送受信装置 1 から発信される発信波の周波数を変化させて、受信されるエコーが最大となる周波数を自動的に決定する。

40

【 0 0 1 9 】

このとき、寸法や材質を設計情報から測定対象物 6 に超音波が到達する時間を推定し、その時間領域の受信エコーをモニターし、エコーレベルが最大となる周波数を見つけ出す。

【 0 0 2 0 】

超音波送受信装置 1 として、一般的な超音波探触子を用いる場合、変更可能な発信周波数の幅が小さいため、周波数の走査範囲は限定されたものとなる。したがって、構造物の設計情報を基にして、推定される周波数に近い共振周波数を有する超音波送受信装置を選定するのが望ましい。また、発信するパルス信号は、複数の周波数を含む矩形波形のパルス波や超音波送受信装置の周波数特性を効率よく利用可能なチャープ波を用いるのが望ま

50

しい。さらに、送受信装置の共振周波数によらず変更可能な縦波を発信可能な電磁超音波（EMAT）を用いることも可能である。

【0021】

図2に超音波受信波の時間波形の例を示す。図2中、受信エコー領域（1）は、発信されたパルスが外壁4の中で多重反射したものを受信している領域である。また、受信エコー領域（2）は中間構造物5の表面からの反射された多重エコーであり、受信エコー領域（3）は測定対象物6から反射されたエコーである。

【0022】

したがって、測定対象物6に超音波が到達する時間を推定し、その時間領域の受信エコーをモニターし、受信エコー領域（3）にある測定対象物6からの受信波を検出し、解析する。

10

【0023】

図3は、受信エコー領域（3）の超音波受信波の拡大図である。測定対象物6が超音波の伝播方向に振動している場合、超音波が測定対象物6に到達するまでの時間が振動量分だけ変化するため、受信波は受信波3aおよび受信波3bのように時間軸方向に移動した形状となる。超音波の発信を連続的に行い、受信波3a、3bを連続的に保存し、信号処理装置により受信波3a、3bの形状変化量を算出し、超音波の速度と掛け合わせることで、測定対象物6の振動量（変位量）を算出することができる。

【0024】

例えば、測定対象物6が水中にある場合を考える。水中での超音波の速度1500m/secとし、受信波の時間軸方向の変化量が10nsecとすると、 $1500(m/sec) \times 10(nsec) / 2 = 7.5 \mu m$ の振動を計測できたこととなる。その結果として図4に示すような振動の時間変化を得ることができる。この振動の時間変化から、検査対象6の振動の大きさ（振動値）及び振動周波数を検出し、それらの値の変動を監視することにより、検査対象の異常を把握することが可能となる。

20

【0025】

また、図5に示すように、超音波送受信装置1として、送信用の超音波送信装置1aと受信用の超音波受信装置1bを別個に設けてもよい。これにより、送受信波の感度調整、雑音解析をそれぞれ別個に行うことができるので、精度の高い信号処理及び振動監視が可能となる。

30

【0026】

本第1の実施形態によれば、容器等の構造物と測定対象物との間に内壁等の中間構造物が存在しても、中間構造物を伝播可能な周波数を有する超音波パルスを送受信波として用いることにより、高精度で測定対象物の振動を測定し、異常の発生の有無を監視することができる。

【0027】

（第2の実施形態）

本発明の第2の実施形態に係る振動監視装置を、図6～図8を用いて説明する。

本発明の第2の実施形態は、本発明に係る監視装置をポンプ軸の監視又は熱交換機の伝熱管の監視に適用したものである。

40

【0028】

図6(a)は揚水型の縦型ポンプの全体構成図で、長い揚水管の下端に羽根車を配置し、流体を吸い上げるものである。一般的にポンプに異常がないかどうか、振動監視による手法が用いられており、モータ部の加速度や回転部の軸振動が監視されている。この縦型ポンプは、図6(a)に示すように、揚水管10とポンプ軸12の間に上記の中間構造物5に相当する保護管11が設置されている。ポンプ軸12の振動を監視する場合、図6(a)の破線囲み部分を拡大して図6(b)に示すように、揚水管10の外側に超音波送受信装置1を設置し、内部にある保護管11を透過する超音波を発信することによりポンプ軸12の振動監視を行う。

【0029】

50

本発明により外側から回転軸の監視が可能となることから、ポンプ本体の改造が不要でかつポンプの機能への影響を与えずにポンプの監視が可能となる。

【 0 0 3 0 】

また、揚水管 1 0 がバレルやタンク内に設置されているタイプの縦型ポンプでは（図示せず）、バレルやタンクに超音波送受信装置 1 を設置し、中間構造物に相当する揚水管を通してポンプ軸 1 2 の振動監視を行うことも可能である。

【 0 0 3 1 】

さらに、図 7 は熱交換器や給水加熱器のように伝熱管を持つ機器 1 4 の振動監視に本発明の振動監視装置を適用した場合を示す。伝熱管 1 7 を支える支え板の摩耗により伝熱管 1 7 の振動が増加し、伝熱管が破損にいたることがある。図 8 の例では、容器 1 5 と測定対象物である伝熱管 1 7 の間に邪魔板 1 6 が存在するが、外壁に設けた超音波送受信装置 1 により邪魔板 1 6 を伝播する超音波パルスを発信し、伝熱管 1 7 からの受信波を検出することにより伝熱管 1 7 の振動を監視する。

10

【 0 0 3 2 】

図 8 に振動監視の具体例を示す。検査対象物であるポンプ軸または伝熱管の振動の時間変化から、振動値及び振動周波数を検出し、それらの値の変動を監視する。そして、図 8（a）に示すように、振動値が予め定められた判定基準を超えたときに異常が発生した判断する。また、振動周波数については、その周波数が正常時の周波数よりも所定値以上シフトしたときに異常が発生したと判断する。上記説明では、振動値及び振動周波数を、それぞれ別個に監視対象としているが、それらを組み合わせてもよいことはもちろんである。

20

【 0 0 3 3 】

また、本第 2 の実施形態では、本発明に係る振動監視装置をポンプまたは伝熱管の監視に適用した例を説明したが、検出対象物と超音波送受信装置 1 との間に中間構造物が存在する構造物であれば、全ての構造物に適用できることはもちろんである。

【 0 0 3 4 】

本第 2 の実施形態によれば、本発明に係る振動監視装置を揚水ポンプや伝熱管を持つ機器、等に適用することにより、保護管や邪魔板等の中間構造物が存在したとしても、高精度でポンプ軸又は伝熱管の振動を監視し、確実に異常の発生を把握することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 5 】

30

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係る振動監視装置の全体構成図。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信波の模式図。

【図 3】本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信波の波形図。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態に係る振動波形の模式図。

【図 5】（a）は本発明の第 1 の実施形態に係る振動監視装置の垂直断面図、（b）はその平面断面図。

【図 6】（a）は揚水ポンプの全体図、（b）は本発明に係る振動監視装置を揚水ポンプに適用した場合の模式図。

【図 7】本発明に係る振動監視装置を、伝熱管を有する機器に適用した場合の模式図。

【図 8】（a）は本発明に係る振動監視装置の運転時間に対する振動値の変化図、（b）は周波数特性に対する振動値の変化図。

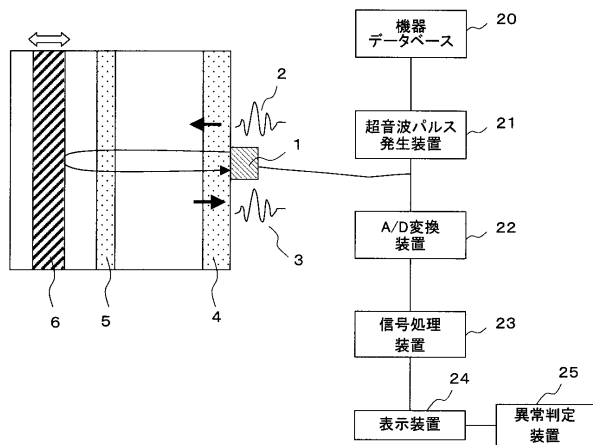
40

【符号の説明】

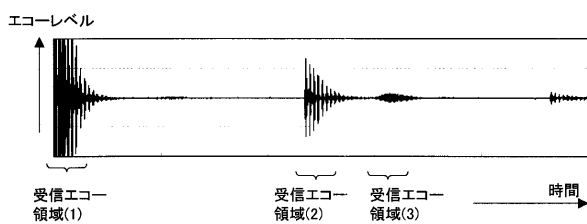
【 0 0 3 6 】

1 ... 超音波送受新装置、1 a ... 超音波発振装置、1 b ... 超音波受信装置、2 ... 送信波形、3 ... 受信波形、3 a , 3 b ... 受信波、4 ... 外壁、5 ... 中間構造物、6 ... 測定対象物、1 0 ... 揚水管、1 1 ... 保護管、1 2 ... ポンプ軸、1 3 ... 揚水ポンプ、1 4 ... 機器、1 5 ... 外壁、1 6 ... 邪魔板、1 7 ... 伝熱管。

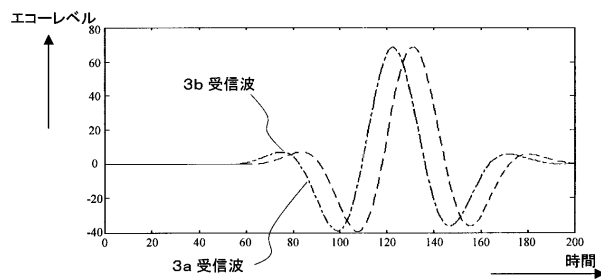
【図 1】



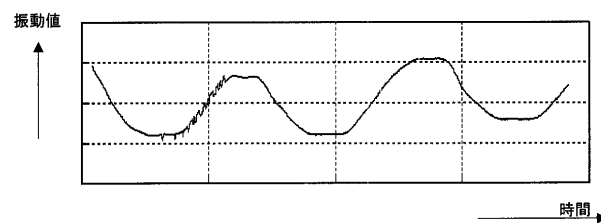
【図 2】



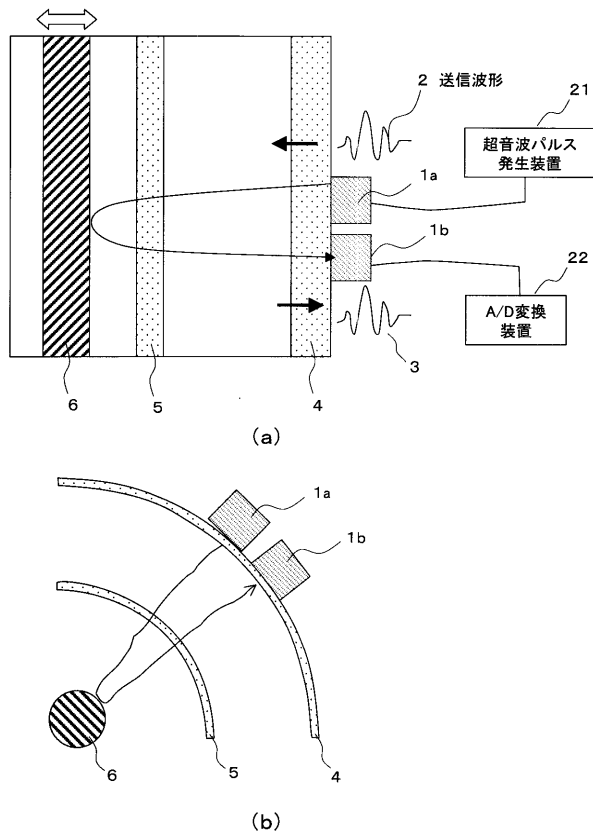
【図 3】



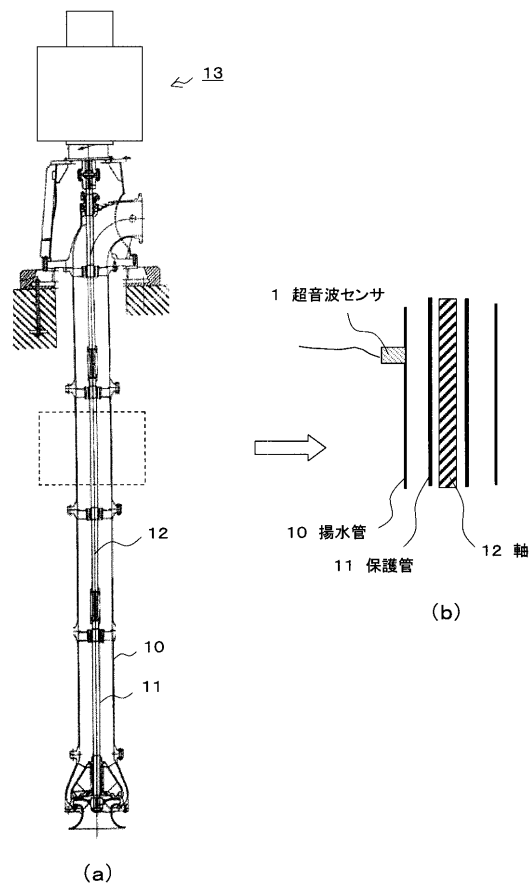
【図 4】



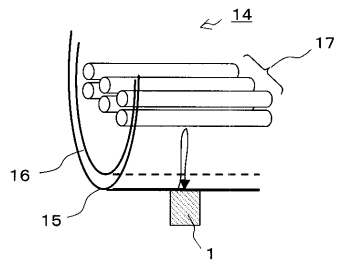
【図 5】



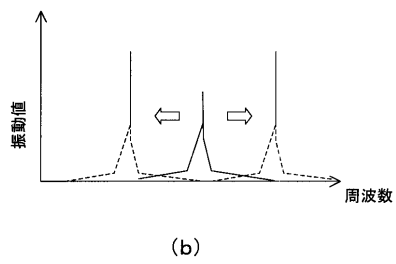
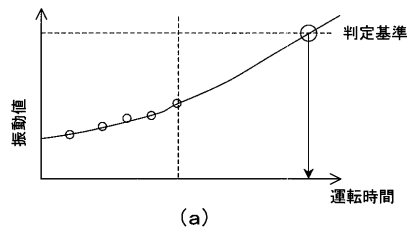
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 日隈 幸治

東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(72)発明者 渡部 幸夫

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 アイテル技術サービス株式会社内

審査官 高橋 亨

(56)参考文献 特開2004-361131(JP,A)

特開平11-125688(JP,A)

特開平05-142356(JP,A)

特開平03-094109(JP,A)

特開2003-042857(JP,A)

特開平08-194059(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01H 17/00