

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5904339号
(P5904339)

(45) 発行日 平成28年4月13日(2016.4.13)

(24) 登録日 平成28年3月25日(2016.3.25)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 29/02 (2006.01) GO 1 N 29/02

請求項の数 15 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2013-187043 (P2013-187043)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社
(22) 出願日	平成25年9月10日 (2013.9.10)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(65) 公開番号	特開2014-196996 (P2014-196996A)	(73) 特許権者	392036153 菱電湘南エレクトロニクス株式会社
(43) 公開日	平成26年10月16日 (2014.10.16)		神奈川県鎌倉市山崎25番地
審査請求日	平成26年12月12日 (2014.12.12)	(73) 特許権者	301031392 国立研究開発法人土木研究所
(31) 優先権主張番号	特願2013-46710 (P2013-46710)		茨城県つくば市南原1番地6
(32) 優先日	平成25年3月8日 (2013.3.8)	(74) 代理人	100110423 弁理士 曾我 道治
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100111648 弁理士 梶並 順
		(74) 代理人	100122437 弁理士 大宅 一宏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 液体検知方法および液体検知装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

送信用探触子を用いて試験体内に超音波を伝搬させ、受信用探触子で前記試験体内を伝搬した透過波を受信し、前記透過波の振幅から前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する液体検知方法であって、

前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を f [MHz]、前記試験体の厚さを t [mm] としたとき、

$$1.2 f \times t \leq 5.6$$

という関係を満足するように、前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を、前記試験体の厚さに応じて変化させる

液体検知方法。

【請求項2】

受信された前記透過波が複数個ある場合に、前記試験体が接している物質が液体であると判別する

請求項1に記載の液体検知方法。

【請求項3】

送信用探触子を用いて試験体内に超音波を伝搬させ、受信用探触子で前記試験体内を伝搬した透過波を受信し、前記透過波の振幅から前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する液体検知方法であって、

前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を、前記試験体の厚さに応じて変化させ、

受信された前記透過波が複数個ある場合に、前記試験体が接している物質が液体であると判別し、

受信された前記透過波が複数個ある場合、複数個の前記透過波の受信時間間隔に基づいて、前記試験体から当該試験体に接している液体の液面までの距離を求める

液体検知方法。

【請求項 4】

前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を f [MHz]、前記試験体の厚さを t [mm]

$$1.2 \quad f \times t \quad 5.6$$

という関係を満足するように、前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を、前記試験体の厚さに応じて変化させる

請求項 3 に記載の液体検知方法。

【請求項 5】

電気信号によって駆動され、前記電気信号に基づく超音波を試験体中に伝搬させる送信用探触子と、

前記試験体中を伝搬した透過波を受信して、前記透過波を電気信号に変換して出力する受信用探触子と、

前記送信用探触子を駆動するための前記電気信号を出力する送信部、前記受信用探触子から出力された前記電気信号を受信する受信部、および、前記受信部で受信した前記電気信号に基づいて前記透過波の振幅を求め、それに基づいて前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する信号処理部を有する送受信器と

を備え、

前記送信部は、前記試験体の厚さに応じて、前記送信用探触子を駆動する前記電気信号の周波数帯域を調整し、

前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を f [MHz]、前記試験体の厚さを t [mm]

$$1.2 \quad f \times t \quad 5.6$$

という関係を満足するように、

前記送信部は前記送信用探触子を駆動する前記電気信号の周波数帯域を調整する液体検知装置。

【請求項 6】

電気信号によって駆動され、前記電気信号に基づく超音波を試験体中に伝搬させる送信用探触子と、

前記試験体中を伝搬した透過波を受信して、前記透過波を電気信号に変換して出力する受信用探触子と、

前記送信用探触子を駆動するための前記電気信号を出力する送信部、前記受信用探触子から出力された前記電気信号を受信する受信部、および、前記受信部で受信した前記電気信号に基づいて前記透過波の振幅を求め、それに基づいて前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する信号処理部を有する送受信器と

を備え、

前記受信部は、受信フィルタを有し、前記試験体の厚さに応じて、前記受信フィルタにより、前記受信用探触子から出力された前記電気信号の周波数帯域を調整し、

前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を f [MHz]、前記試験体の厚さを t [mm]

$$1.2 \quad f \times t \quad 5.6$$

という関係を満足するように、

前記受信部は前記受信フィルタの周波数帯域を調整する液体検知装置。

【請求項 7】

電気信号によって駆動され、前記電気信号に基づく超音波を試験体中に伝搬させる送

10

20

30

40

50

用探触子と、

前記試験体中を伝搬した透過波を受信して、前記透過波を電気信号に変換して出力する受信探触子と、

前記送信探触子を駆動するための前記電気信号を出力する送信部、前記受信探触子から出力された前記電気信号を受信する受信部、および、前記受信部で受信した前記電気信号に基づいて前記透過波の振幅を求め、それに基づいて前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する信号処理部を有する送受信器と

を備え、

前記送信部は、前記試験体の厚さに応じて、前記送信探触子を駆動する電気信号の周波数帯域を調整し、

前記受信部は、受信フィルタを有し、前記試験体の厚さに応じて、前記受信フィルタにより、前記受信探触子から出力された前記電気信号の周波数帯域を調整し、

前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を f [MHz]、前記試験体の厚さを t [m] としたとき、

$$\frac{1.2}{f \times t} \leq 5.6$$

という関係を満足するように、

前記送信部は前記送信探触子を駆動する前記電気信号の周波数帯域を調整し、

前記受信部は前記受信フィルタの周波数帯域を調整する

液体検知装置。

【請求項 8】

前記送受信器は、前記送信部が前記周波数帯域の自動調整を行うように制御する制御部を有する

請求項 5 に記載の液体検知装置。

【請求項 9】

前記送受信器は、前記受信部が前記周波数帯域の自動調整を行うように制御する制御部を有する

請求項 6 に記載の液体検知装置。

【請求項 10】

前記送受信器は、前記送信部および前記受信部が前記周波数帯域の自動調整を行うように制御する制御部を有する

請求項 7 に記載の液体検知装置。

【請求項 11】

前記送受信器は、前記試験体の厚さを測定する測定部を有する

請求項 5 から 10 までのいずれか 1 項に記載の液体検知装置。

【請求項 12】

電気信号によって駆動され、前記電気信号に基づく超音波を試験体中に伝搬させる送信探触子と、

前記試験体中を伝搬した透過波を受信して、前記透過波を電気信号に変換して出力する受信探触子と、

前記送信探触子を駆動するための前記電気信号を出力する送信部、前記受信探触子から出力された前記電気信号を受信する受信部、および、前記受信部で受信した前記電気信号に基づいて前記透過波の振幅を求め、それに基づいて前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する信号処理部を有する送受信器と

を備え、

前記送信部は、前記試験体の厚さに応じて、前記送信探触子を駆動する電気信号の周波数帯域を調整し、

前記送受信器は、前記受信探触子が受信した前記透過波の個数を算出し、2 個以上の透過波が受信されている場合には、前記試験体が接している物質が液体であると判別する液体検知装置。

【請求項 13】

10

20

30

40

50

電気信号によって駆動され、前記電気信号に基づく超音波を試験体中に伝搬させる送信用探触子と、

前記試験体中を伝搬した透過波を受信して、前記透過波を電気信号に変換して出力する受信用探触子と、

前記送信用探触子を駆動するための前記電気信号を出力する送信部、前記受信用探触子から出力された前記電気信号を受信する受信部、および、前記受信部で受信した前記電気信号に基づいて前記透過波の振幅を求め、それに基づいて前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する信号処理部を有する送受信器と

を備え、

前記受信部は、受信フィルタを有し、前記試験体の厚さに応じて、前記受信フィルタにより、前記受信用探触子から出力された前記電気信号の周波数帯域を調整し、

前記送受信器は、前記受信用探触子が受信した前記透過波の個数を算出し、2個以上の透過波が受信されている場合には、前記試験体が接している物質が液体であると判別する液体検知装置。

【請求項14】

電気信号によって駆動され、前記電気信号に基づく超音波を試験体中に伝搬させる送信用探触子と、

前記試験体中を伝搬した透過波を受信して、前記透過波を電気信号に変換して出力する受信用探触子と、

前記送信用探触子を駆動するための前記電気信号を出力する送信部、前記受信用探触子から出力された前記電気信号を受信する受信部、および、前記受信部で受信した前記電気信号に基づいて前記透過波の振幅を求め、それに基づいて前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する信号処理部を有する送受信器と

を備え、

前記送信部は、前記試験体の厚さに応じて、前記送信用探触子を駆動する電気信号の周波数帯域を調整し、

前記受信部は、受信フィルタを有し、前記試験体の厚さに応じて、前記受信フィルタにより、前記受信用探触子から出力された前記電気信号の周波数帯域を調整し、

前記送受信器は、前記受信用探触子が受信した前記透過波の個数を算出し、2個以上の透過波が受信されている場合には、前記試験体が接している物質が液体であると判別する液体検知装置。

【請求項15】

前記送受信器は、前記受信用探触子によって複数個の透過波が受信された場合に、当該透過波のうち連続する2つの透過波の受信時間間隔に基づいて、前記試験体から当該試験体に接している液体の液面までの距離を算出する

請求項12から14までのいずれか1項に記載の液体検知装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、超音波を用いて液体の有無を判断する液体検知方法および液体検知装置に関するものであり、特に超音波を試験体中に伝搬させ、伝搬後の超音波の振幅から試験体に接触している物質が液体か気体かを検知する液体検知方法および液体検知装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、道路橋等の構造物の老朽化が問題となっており、適切な維持管理が要求されている。道路橋に用いられている鋼床版は、板状のデッキプレートとその下に設けられたウリブとから構成されている。このとき、デッキプレートに亀裂が発生し、当該亀裂がデッキプレートを貫通すると、路面が陥没する可能性があるため、貫通亀裂を発見する技術が望まれている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

貫通亀裂が発生した場合には、当該貫通亀裂から雨水が浸入し、デッキプレートの下方に設けられているUリブ内に水が溜まるので、当該Uリブ内の水の有無が分かれば、貫通亀裂の発生を検知することができる。従って、Uリブ内の水の有無を検知する方法が必要である。

【 0 0 0 4 】

密閉された容器内にある液体を検知する従来の方法としては、例えば、特許文献1および特許文献2に記載されている液体検知方法がある。特許文献1, 2に記載の方法は、容器内の液体の有無を検知するためのもので、これらの方法においては、容器の壁に向けて一定の角度で超音波を入射し、入射された超音波の伝播波または反射波を容器壁面から検出

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献1】特開昭58 - 216918号公報

【特許文献2】特開昭58 - 223714号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

しかしながら、特許文献1, 2のいずれの方法も、容器内の液体の有無を検知するためのもので、道路橋を構成する鋼床版のUリブ内の液体の有無を検知することについては意図されていない。特許文献1, 2に記載されている方法においては、対象となっている容器が単一の材料から構成されたものであり、そのような容器内の液体の有無しか、検知することはできない。

20

【 0 0 0 7 】

しかしながら、一般的に、Uリブには塗装が施してあり、詳細については後述するが、特許文献1, 2に記載の方法のように単に超音波を伝搬させて透過波の強度を検知するだけでは、塗装の状態によっては、検知結果が大幅に異なってしまうため、Uリブ内に水があるのか空気があるのか、識別が困難な場合がある。特許文献1, 2で示されている液体検知方法では、容器の外側に塗装が施されているような状況は想定していないため、従

30

【 0 0 0 8 】

この発明は、かかる問題点を解決するためになされたものであり、Uリブの塗装の状態にかかわらず、Uリブ内の水の有無を検出することが可能な、液体検知方法および液体検知装置を得ることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

この発明は、送信用探触子を用いて試験体内に超音波を伝搬させ、受信用探触子で前記試験体内を伝搬した透過波を受信し、前記透過波の振幅から前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する液体検知方法であって、前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を f [MHz]、前記試験体の厚さを t [mm] としたとき、 $1.2 f \times t \leq 5.6$ という関係を満足するように、前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を、前記試験体の厚さに応じて変化させる液体検知方法である。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

この発明は、送信用探触子を用いて試験体内に超音波を伝搬させ、受信用探触子で前記試験体内を伝搬した透過波を受信し、前記透過波の振幅から前記試験体が接している物質が液体であるか気体であるかを判別する液体検知方法であって、前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数を f [MHz]、前記試験体の厚さを t [mm] としたとき、 $1.2 f \times t \leq 5.6$ という関係を満足するように、前記試験体中に伝搬させる超音波の周波数

50

を、前記試験体の厚さに応じて変化させる液体検知方法であるので、道路を構成する鋼床版に塗装が有る場合でも、鋼床版の下の水の有無を検出可能であるという効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】鋼床版に貫通亀裂が発生した状態を説明するための部分斜視図である。

【図2】特許文献1, 2に記載の方法をこの発明の液体検知に適用した場合の概略想定図である。

【図3】単に透過波を伝搬させた場合のUリブ内の水検知が困難であることを説明する断面図である。

【図4】単に透過波を伝搬させた場合のUリブ内の水検知が困難であることを説明する説明図である。

【図5】単に透過波を伝搬させた場合のUリブ内の水検知が困難であることを説明する説明図である。

【図6】塗装の厚さに対する透過波の振幅変化を模擬的に示した図である。

【図7】塗装の厚さに対する透過波の振幅変化を模擬的に示した図である。

【図8】透過波の周波数を1MHzとした場合のシミュレーション結果を示した図である。

【図9】透過波の周波数に対する振幅を示した図である。

【図10】塗装の厚さに対する透過波の振幅を示した図である。

【図11】塗装の厚さに対する透過波の振幅を示した図である。

【図12】この発明の実施の形態1に係る液体検知装置の構成を示した構成図である。

【図13】この発明の実施の形態2に係る液体検知装置の構成を示した構成図である。

【図14】この発明の実施の形態2に係る液体検知装置による実験結果を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

上述したように、道路橋等の構造物の老朽化を検査するために、道路橋を構成する鋼床版のデッキプレートに貫通亀裂が発生したか否かを検知する技術が望まれている。図1は、鋼床版のデッキプレートに貫通亀裂が発生した状態を説明するための図である。図1に示すように、板状のデッキプレート3の下に、断面形状がU字型のUリブ1が設けられている。なお、実際には、デッキプレート3上にアスファルトの舗装が施されているが、ここでは省略して説明する。このとき、図1に示すように、デッキプレート3に貫通亀裂4が発生すると、貫通亀裂4から雨水が浸入し、デッキプレート3を下方から支えているUリブ1内に水2が溜まる。従って、Uリブ1内の水の有無が分かれば、貫通亀裂4の発生の有無を検出することができる。

【0013】

上述の特許文献1および2に記載の従来の検知方法を、Uリブ1内の水検知に適用した場合を想定すると、図2のようになる。図2は、特許文献1, 2で示されている方法を、Uリブ1内の水検知に適用した場合の概略想定図であり、Uリブ1を横から示した側面図である。図2は、Uリブ1内に水がない場合の図である。図2に示すように、送信用探触子5および受信用探触子6をUリブ1に設置し、送信用探触子5から超音波14を発生させてUリブ1の壁面内を伝搬させ、それを受信用探触子6で受信する。

【0014】

しかしながら、このようにして、特許文献1, 2の方法を用いて、単に、超音波を伝搬させるだけでは、Uリブ1内の水検知は困難である。その理由をシミュレーション結果に基づいて図3～図5を参照しながら説明する。

【0015】

図3は、シミュレーション条件を示した図である。図3に示すように、Uリブ1は、その壁面を構成する鋼板7の外側に、塗装8が施されて、形成されている。このとき、送信

10

20

30

40

50

用探触子 5 および受信用探触子 6 を塗装 8 を介して鋼板 7 に設置し、送信用探触子 5 と受信用探触子 6 とのそれぞれの対向面間の距離を 260 mm とし、かつ、鋼板 7 の厚さを 8 mm (固定値) とし、塗装 8 の厚さを変化させて、シミュレーションを行った。

【0016】

また、図 3 (a) では、U リブ 1 内は空気とし、図 3 (b) では、U リブ 1 内は水 2 があるものとし、2 つのシミュレーション結果を比較することとした。このとき、図 3 (a) , (b) の送信用探触子 5 から 1 MHz の超音波を発生させ、当該超音波を U リブ 1 を構成している鋼板 7 中に伝搬させ、伝搬後の透過波を受信用探触子 6 で受信して求めるというシミュレーションを行った。図 4 に、塗装の厚さを 0 μ m (すなわち、塗装なし) とし、U リブ 1 内が空気の場合の透過波と水の場合の透過波のシミュレーション結果を示す。図 4 において、横軸は時間、縦軸は透過波の振幅である。具体的には、図 4 (a) が、図 3 (a) に示す U リブ 1 内が空気の場合の透過波で、図 4 (b) が、図 3 (b) に示す U リブ 1 内が水の場合の透過波である。図 4 (a) , (b) を比較すれば分かるように、U リブ 1 内に水がある方が、透過波の振幅は大きくなっている。なお、透過波の振幅差が図 4 に示す程度 (すなわち、100 [a . u .] 程度) であれば、振幅差に基づいて、水の有無を検知することは可能である。

10

【0017】

一方、塗装 8 の厚さを 500 μ m とし同様のシミュレーションを行ない、透過波を求めた場合の結果を図 5 に示す。図 5 においても、図 4 と同様に、横軸が時間、縦軸が透過波の振幅である。この場合は、図 5 に示すように、図 4 とは逆に、U リブ 1 内に水がある方が若干振幅は小さくなっているが、その振幅差は僅か (7 [a . u .] 程度) である。したがって、塗装 8 の厚さが 500 μ m の場合、透過波の振幅から水の有無を検知することは困難である。

20

【0018】

図 4 および図 5 に示したシミュレーション結果を整理すると、透過波の振幅は、

- ・ 塗装がない場合： U リブ 1 内が空気 < U リブ 1 内が水
- ・ 塗装が 500 μ m の場合： U リブ 1 内が空気 U リブ 1 内が水

という結果となり、塗装 8 の状態によっては、U リブ 1 内に水があるのか空気があるのか、識別困難である。上述したように、特許文献 1 や特許文献 2 で示されている液体検知方法は、このような状況は想定していないため、それらの方法では、U リブ 1 内の水の有無を常に正確に検知することはできない。

30

【0019】

また、図 5 のシミュレーション結果に示されるように、U リブ 1 の壁面を構成する鋼板 7 内に超音波を伝搬させて、透過波の振幅を比較するだけでは、振幅差が僅かで、水検知が困難な場合がある。この発明では、塗装の有無および厚さにかかわらず適用可能な液体検知方法および装置を説明する。以下に、この発明の実施の形態について説明する。

【0020】

実施の形態 1 .

透過波の振幅に基づいて水の有無を検知する方法では、透過波の振幅に対する閾値を設ける必要がある。すなわち、透過波の振幅が閾値を越えた場合には、U リブ 1 内に「水なし」と判定し、閾値未満の場合には、U リブ 1 内に「水あり」と判定する。また、この逆も考えられ、閾値を越えた場合には、U リブ 1 内に「水あり」と判定し、閾値未満の場合には、U リブ 1 内に「水なし」と判定する方法もある。どちらにしても、閾値が必要である。さらに塗装の状態が変化しても、この結果が変わらないという条件が必要となる。これらを考慮すると、透過波の振幅は以下の 2 つの条件を満足する必要がある。

40

条件 1 : U リブ 1 内に水が有る場合と水が無い場合の透過波の振幅の差が十分大きい (すなわち、振幅の差が所定の値より大きい) 。

条件 2 : U リブ 1 の塗装 8 の状態が変化しても、U リブ 1 内に水が有る場合の透過波の振幅の値が常に閾値を越えない (あるいは、常に閾値を下回らない) 、かつ、水が無い場合の透過波の振幅の値が常に閾値を下回らない (あるいは、常に閾値を越えない) 。すな

50

わち、一方が常に閾値を越えず、他方が常に閾値を下回らず、それぞれの透過波の振幅は、当該閾値を上下するような変化をしない。

【 0 0 2 1 】

上記の条件 2 に関して、図 6 および図 7 を参照しながら詳細に説明する。図 6 および図 7 は、塗装の厚さに対する透過波の振幅変化を模擬的に示した図である。これらの図において、横軸が塗装 8 の厚さ、縦軸が透過波の振幅である。図 6 および図 7 では、図 3 (a) のように U リブ 1 内が空気の場合を実線のグラフで示し、図 3 (b) のように U リブ 1 に水がある場合を破線のグラフで示している。図 6 は、塗装 8 が無いときに (すなわち、塗装 8 の厚さが 0 のときに)、U リブ 1 内が空気の方が水の場合よりも透過波の振幅が大きい場合を示している。一方、図 7 は、塗装 8 が無いときに (すなわち、塗装 8 の厚さが 0 のときに)、U リブ 1 内が水の方が空気の場合よりも透過波の振幅が大きい場合を示している。これらの図に示すように、塗装 8 が厚くなるにつれて振幅がそれぞれ変化しても、一方の透過波の振幅が、予め設定された閾値を越えず、かつ、他方の透過波の振幅が閾値を下回らなければ、U リブ 1 内の水の有無を検知することは可能である。このような状態を、ここでは条件 2 とした。すなわち、図 6 では、U リブ 1 内が空気の場合、透過波の振幅の値は、常に閾値より大きく、塗装 8 が厚くなるにつれて振幅が変化しても、閾値を下回ることはない。一方、図 6 において U リブ 1 内が水の場合、透過波の振幅の値は、常に閾値より小さく、塗装 8 が厚くなるにつれて振幅が変化しても、閾値を超えることはない。図 7 はその逆である。

【 0 0 2 2 】

図 4 および図 5 に示したシミュレーション結果では、図 4 に塗装がない場合、図 5 に塗装 8 の厚さが 5 0 0 μm の場合についてそれぞれ示した。そこで、図 8 に、塗装 8 の厚さを変えて同様のシミュレーションを行った結果を示す。すなわち、図 4 および図 5 の場合と同様に、送信用探触子 5 から 1 M H z の超音波を発生させ、当該超音波を U リブ 1 を構成している鋼板 7 中に伝搬させ、伝搬後の透過波を受信用探触子 6 で受信して求めた。図 8 において、横軸は塗装 8 の厚さ、縦軸は透過波の振幅である。図 8 に示すように、塗装 8 が無い場合 (すなわち、塗装 8 の厚さが 0 のとき) には、U リブ 1 内が水の場合と空気の場合とで透過波の振幅差が大きい。塗装 8 が 1 0 0 μm 以上の領域では両者の差異は僅かである。すなわち、塗装 8 が無い場合だけ、上記の条件 1 を満足するが、図 8 のように閾値を設けても、上記の条件 2 を満足しない。したがって、透過波の周波数を 1 M H z

【 0 0 2 3 】

このように透過波の周波数を 1 M H z とした場合には、上述の通り、水検知は困難であるが、他の周波数では可能性があると考え、周波数を変化させて、同様のシミュレーションを行い、透過波の振幅を求めた。当該シミュレーションの結果得られた、周波数に対する透過波の振幅の変化を図 9 に示す。図 9 において、横軸は周波数、縦軸は相対振幅である。図 9 では、塗装がない場合の特性を示している。図 9 に示すように、0 . 1 5 M H z ~ 0 . 7 M H z の帯域 (符号 1 5)、および、0 . 8 5 M H z ~ 1 M H z の帯域 (符号 1 6) で、U リブ 1 内が水の場合と空気の場合の振幅差が大きいので、塗装 8 が無い場合には、この周波数帯域で条件 1 を満足する。しかしながら、1 M H z では、図 8 に示したように、条件 2 を満足しないので、0 . 8 5 M H z ~ 1 M H z の周波数帯域 (符号 1 6) では水の有無を検知することは困難と考えられる。

【 0 0 2 4 】

従って、以下では、0 . 1 5 M H z ~ 0 . 7 M H z の周波数帯域 (符号 1 5) で、条件 2 を満足するかどうか、シミュレーションにより確認した。塗装 8 の厚さを変えて透過波の振幅を求めた結果を、図 1 0 および図 1 1 に示す。これらの図において、横軸が塗装の厚さ、縦軸は透過波の振幅である。また、図 1 0 は、透過波の周波数が 0 . 2 M H z のときの特性であり、図 1 1 は透過波の周波数が 0 . 5 M H z のときの特性である。これらの図から分かるように、透過波の振幅は、塗装の状態が変化しても閾値を越えず、かつ、閾値を下回らないので、条件 2 も満足する。したがって、0 . 1 5 M H z ~ 0 . 7 M H z の

周波数帯域（図9の符号15）では、条件1および条件2を同時に満足するので、水の有無を検知することが可能である。

【0025】

以上説明したように、 $0.15\text{MHz} \sim 0.7\text{MHz}$ の周波数帯域なら、条件1および条件2を同時に満足するので、水の有無を検知することが可能である。一方、透過波の特性は、透過波の周波数と鋼板7の板厚との積で表すことができる。ここで示したシミュレーションでは、全て鋼板7の板厚を8mmとしているので、周波数 f [MHz]と板厚 t [mm]との積を用いて、 $0.15\text{MHz} \sim 0.7\text{MHz}$ の周波数帯域を表すと、 $1.2 f \times t \sim 5.6$ となる。この範囲でなら、Uリブ1内の水の有無を検知することが可能である。言い換えれば、板厚 t [mm]により、透過波の周波数を変化させて水検知を行うということになる。

10

【0026】

上記説明した検知方法を実現するためのこの発明の本実施の形態1に係る液体検知装置を、図12に示す。図12に示すように、この発明の実施の形態1に係る液体検知装置は、後述する送受信器10からの電気信号（以下、励振信号とする。）によって駆動されて、超音波を試験体である鋼板7中に伝搬させる送信用探触子5と、鋼板7中を伝搬した超音波（透過波）を受信して電気信号に変換して出力する受信用探触子6と、送信用探触子5を駆動させるとともに受信用探触子6から出力された電気信号の処理を行う送受信器10とを備えている。

【0027】

20

送受信器10は、送信用探触子5を駆動するための励振信号を出力する送信部11、受信用探触子6からの電気信号を受信する受信部12、および、受信部12を介して受信した受信用探触子6からの電気信号を処理する信号処理部13を有する。図12に示すように、送信部11および受信部12は、信号処理部13に接続されている。また、送信部11は送信用探触子5に接続されており、受信部12は受信用探触子6に接続されている。信号処理部13は、受信部12で受信した受信信号の振幅を求め、それに基づいて、鋼板7が接している物質が液体（水）であるか気体（空気）であるかを判別する。

【0028】

なお、送信部11は、鋼板7の厚さ t [mm]に応じて、送信用探触子5を駆動するための励振信号の周波数を調整する周波数調整部（図示せず）を有する。当該周波数調整部により、送信部11は、鋼板7中を伝搬させる超音波の周波数を f [MHz]、鋼板7の厚さを t [mm]としたとき、 $1.2 f \times t \sim 5.6$ という関係を満足するように、鋼板7の厚さ t [mm]に応じて、送信用探触子5を駆動する励振信号の周波数（周波数スペクトル）を調整する。

30

【0029】

また、受信部12は、周波数帯域が可変な受信フィルタ（図示せず）を有し、当該受信フィルタを用いて、鋼板7の厚さ t [mm]に応じて、受信用探触子6からの電気信号の周波数を調整する。受信部12は、当該受信フィルタにより、鋼板7中を伝搬させる超音波の周波数を f [MHz]、鋼板7の厚さを t [mm]としたとき、 $1.2 f \times t \sim 5.6$ という関係を満足するように、鋼板7の厚さ t [mm]に応じて、受信用探触子6からの電気信号に対し受信フィルタを掛けて、当該電気信号の周波数（周波数スペクトル）を調整する。

40

【0030】

次に、液体検知装置の動作について説明する。まず、送信部11が、鋼板7の厚さ t [mm]に応じて、 $1.2 f \times t \sim 5.6$ という関係を満足する周波数 f の超音波を、送信用探触子5に生成させるための励振信号を発生し、送信部11から送信用探触子5にそれが送信される。なお、鋼板7の厚さ t [mm]が不明な場合は、別途測定する必要がある。

【0031】

送信用探触子5は、当該励振信号に基づいて、 $1.2 f \times t \sim 5.6$ という関係を満

50

足する周波数 f の超音波を発生させ、鋼板 7 中に伝搬させる。鋼板 7 中を伝搬した超音波（透過波）は、受信用探触子 6 で受信され、そこで、電気信号に変換され、受信部 1 2 に送信される。受信部 1 2 では、 $1.2 \leq f \times t \leq 5.6$ という関係が満足するように、当該電気信号を受信フィルタに掛ける。信号処理部 1 3 では、受信部 1 2 からの信号に基づいて透過波の振幅を求め、予め設定していた閾値と比較し、当該比較結果に基づいて、鋼板 7 が接している物質が液体（水）であるか気体（空気）であるかを判別する（すなわち、水の有無を検知する）。図 10 および図 11 の例で説明すると、透過波の振幅が予め設定した閾値より大きければ、鋼板 7 が接している物質は空気（気体）であり、逆に、透過波の振幅が予め設定した閾値より小さければ、鋼板 7 が接している物質は水（液体）である。この逆の場合もあり得るので、閾値の値、および、閾値による判定条件については、

10

【0032】

なお、送受信器 10 に、鋼板 7 の厚さ t を測定するための測定部（図示せず）を別途設けも構わない。あるいは、別体の測定装置（図示せず）により、鋼板 7 の厚さの測定を行ってもよい。

また、鋼板 7 の厚さ t の送受信器 10 への入力、鋼板 7 の厚さ t が既知の場合および鋼板 7 の厚さ t を測定装置で行った場合のいずれにおいても、オペレータが行ってもよいが、その場合に限らず、鋼板 7 の厚さ t を測定装置で行った場合には、測定装置から自動

20

的に送受信器 10 に入力される構成にしておいてもよい。

また、送受信器 10 に設けられた測定部による測定またはオペレータや測定装置による外部からの入力により鋼板 7 の厚さ t を送受信器 10 が取得したときに、鋼板 7 の厚さ t に基づいて、 $1.2 \leq f \times t \leq 5.6$ という条件を満足するように、送信部 1 1 及び受信部 1 2 が周波数の自動調整を行うように、送信部 1 1 及び受信部 1 2 を制御する制御部（図示せず）を送受信器 10 に設けても構わない。

【0033】

なお、上記の説明においては、送信部 1 1 および受信部 1 2 の両方で周波数帯域の調整を行う例について説明したが、その場合に限らず、 $1.2 \leq f \times t \leq 5.6$ という関係が満足されるのであれば、送信部だけ、あるいは、受信部だけの周波数の調整で構わない。

30

【0034】

以上のように、本実施の形態 1 においては、送信部 1 1、受信部 1 2 の少なくとも一方の周波数帯域を鋼板の 7 の厚さを考慮して調整し、信号処理部 1 3 が受信部 1 2 からの信号に基づいて透過波の振幅を求め、予め設定していた閾値と比較し、当該比較結果に基づいて鋼板 7 に接している物質が液体（水）であるか気体（空気）であるかを判別するようにしたので、液体（水）の有無を検知できる効果が得られる。

【0035】

また、本実施の形態 1 においては、送信部 1 1、受信部 1 2 を鋼板 7 の上方に設置して測定し、鋼板 7 の下方に接している物質が液体（水）であるか気体（空気）であるかを判別するようにしたので、液体（水）が満たされた状態であるか否かを検知できる効果がある。

40

【0036】

実施の形態 2 .

U リブ 1 内に水 2 がある場合には、透過波 1 4 の振幅が小さくなるだけでなく、複数個の透過波 1 4 が受信される。この現象を利用して、水検知を行うことも可能である。実施の形態 2 では、水 2 があると透過波 1 4 が複数個受信されることを説明し、さらに透過波 1 4 の受信時間間隔から液面までの距離を求めることができることを示す。

【0037】

この発明の本実施の形態 2 に係る液体検知装置を、図 1 3 に示す。図中、20 は、U リブ 1 内に溜まった水 2 の液面である。他の構成については、図 1 2 と同様であるため、同

50

一符号を付して示し、ここではその説明を省略する。

【0038】

図13には、受信される透過波14の伝搬経路(経路1、経路2)を示している。図13を参照しながら、透過波14が複数個受信される理由を説明する。実施の形態1と同様の動作で、鋼板7中に透過波14(超音波)が伝搬する。鋼板7中をそのまま伝搬して受信される経路を、「経路1」とする。一方、水2がある場合には、水中にエネルギーが漏洩し、液面20で透過波14が反射され、鋼板7方向へ戻り、再び鋼板7中を伝搬して受信される。この経路を「経路2」とする。図13では経路2を1個しか示していないが、鋼板7と液面20との間で多重反射が生じるので、水2がある場合には透過波は複数個受信される。

10

【0039】

実際に透過波14が複数個受信される様子を、実験で確認した。実験で用いた鋼板7の厚さ t は6mmであり、送信用探触子5と受信用探触子6との間の距離 L (以下、探触子間距離 L とする)は390mmとした。送信用探触子5および受信用探触子6は、共に、0.3MHzで広帯域の探触子を用いた。また、 $1.2 \times t \leq L \leq 5.6 \times t$ という関係を満足するように、受信部12の周波数を調整した。図14に、実験で得られた透過波14を示す。水深 d は21mmとした。図14において、点線が水2がない場合の透過波14であり、実線が水2がある場合の透過波である。図14に示すように、水2を入れると透過波14の振幅が大きく異なるだけでなく、透過波14が複数個受信される。したがって、透過波14が複数個受信されることで水2の有無を検知可能であることが実験で証明された。

20

【0040】

本実施の形態2に係る液体検知装置としての構成は、実施の形態1と殆ど同じであるが、信号処理部13の機能が異なるので、ここで説明する。信号処理部13は、受信部12から送られてきた透過波14の電気信号に基づいて、一定の閾値を超えた透過波14の数をカウントするとともに、閾値を超えた透過波14が複数個受信された場合、水2が Urip 1 内にあると判定する。これらの動作により、信号処理部13で水2の有無を判定することが可能である。

【0041】

以上説明したように、複数の透過波14が受信された場合に、Urip 1 内に水2があると判別することが可能である。この方法であれば、送信用探触子5および受信用探触子6と、鋼板7との接触状態が不安定な場合でも水検知が可能である。すなわち、透過波14の振幅で判別するのではなく、透過波14の数で判別するので、装置の感度校正が不要となるという効果もある。

30

【0042】

これまでは、水2の有無を検知するということを述べたが、透過波14が複数個受信されることを利用すれば、液面20までの距離を求めることも可能である。この理由を以下に説明する。

【0043】

図13には、鋼板7から液面20までの距離を d 、探触子間距離を L として示している。また、鋼板7から水2中に放射する波の角度を θ 、鋼板7において超音波が伝搬しない距離を W として示している。

40

【0044】

図13に示す経路1を伝搬して受信された透過波14の受信時間を T_1 とすると、 T_1 は以下の式(1)で示される。

【0045】

【数1】

$$T_1 = \frac{L}{V_g} \quad (1)$$

50

【 0 0 4 6 】

ここで、 V_g は鋼板 7 を伝搬する透過波 (超音波) 1 4 の群速度である。また、経路 2 を伝搬して受信された透過波 1 4 の受信時間を T_2 とすると、 T_2 は以下の式 (2) で示される。

【 0 0 4 7 】

【数 2】

$$T_2 = \frac{L-W}{V_g} + \frac{2d}{V_w \cos \theta} \quad (2)$$

【 0 0 4 8 】

ここで、 V_w は水中の音速である。また、スネルの法則から次式 (3) が成り立つ。

【 0 0 4 9 】

【数 3】

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{V_w}{V_p} \right) \quad (3)$$

【 0 0 5 0 】

ここで、 V_p は、鋼板 7 を伝搬する透過波 (超音波) 1 4 の位相速度である。したがって、 T_1 と T_2 との受信時間差を T_w とすると、 T_w は次式 (4) となる。

【 0 0 5 1 】

【数 4】

$$T_w = T_2 - T_1 = \frac{2d}{V_w \cos \theta} - \frac{W}{V_g} \quad (4)$$

【 0 0 5 2 】

一方、幾何学的関係から、次式 (5) が成り立つ。

【 0 0 5 3 】

【数 5】

$$W = 2d \tan \theta \quad (5)$$

【 0 0 5 4 】

式 (5) を式 (4) に代入すると、次式 (6) を得る。

【 0 0 5 5 】

【数 6】

$$T_w = 2d \left(\frac{1}{V_w \cos \theta} - \frac{\tan \theta}{V_g} \right) \quad (6)$$

【 0 0 5 6 】

したがって、鋼板 7 から液面 2 0 までの距離 d は、次式 (7) から求めることができる。

【 0 0 5 7 】

【数 7】

$$d = \frac{T_w}{2} \left(\frac{1}{V_w \cos \theta} - \frac{\tan \theta}{V_g} \right)^{-1} \quad (7)$$

【 0 0 5 8 】

図 1 4 に示した透過波 1 4 の受信時間間隔 T_w は、 $26.8 \mu s$ であった。また、実験条件から、位相速度 $V_p = 2690 m/s$, 群速度 $V_g = 3249 m/s$ である。水の音速 V_w を $1480 m/s$ とし、これらの数値を式 (7) に代入すると、 $d = 22.1 mm$ であった。一方、鋼板 7 から液面 2 0 までの距離を定規で測定したところ、約 $21 mm$ で

10

20

30

40

50

あったことから、ここで示した方法が有効であることが確認できた。

【 0 0 5 9 】

本実施の形態 2 に係る液体検知装置の信号処理部 1 3 の構成は、上記の計算式を用いて鋼板 7 から液面 2 0 までの距離 d を求める機能も有するものとする。すなわち、本実施の形態 1 3 は、上記の動作に加えて、さらに、複数個受信された透過波 1 4 の受信時間間隔 T_w を求め、位相速度 V_p 、群速度 V_g 、水の音速 V_w から、式 (7) を用いて、鋼板 7 から液面 2 0 までの距離 d を求める。

【 0 0 6 0 】

以上のように、本実施の形態 2 においては、上記の実施の形態 1 と同様の効果が得られるとともに、さらに、本実施の形態 2 においては、透過波 1 4 の振幅ではなく、透過波 1 4 の個数で水 2 の有無を判定するようにしたので、送信用探触子 5 および受信用探触子 6 と、鋼板 7 との接触状態が不安定な場合でも水検知が可能であるという効果が得られる。

10

【 0 0 6 1 】

さらに、本実施の形態 2 では、信号処理部 1 3 が、水 2 の複数個受信された透過波 1 4 の受信時間間隔 T_w を求め、位相速度 V_p 、群速度 V_g 、水の音速 V_w から、式 (7) を用いて、鋼板 7 から液面 2 0 までの距離 d を求めることができるため、どのくらいの量の水 2 が Uripu 1 内に溜まっているのかを検知することができるという効果が得られる。

【 0 0 6 2 】

なお、本実施の形態 2 では、受信された複数個の透過波 1 4 のうちの最初の透過波 1 4 の受信時間 T_1 と 2 番目に受信された透過波 1 4 との受信時間間隔を求め、液面 2 0 までの距離を求める例について説明したが、図 1 4 のグラフから分かるように、複数の透過波 1 4 の受信時間間隔は、2 番目以降もほぼ同じ間隔となっている。従って、最初の透過波 1 4 の受信時間 T_1 と 2 番目に受信された透過波 1 4 との受信時間間隔に限定されず、複数の透過波 1 4 のうちの連続する 2 つの透過波の受信時間間隔であればいずれのものでもよいものとする (2 番目と 3 番目の受信時間間隔や、3 番目と 4 番目の受信時間間隔など)。あるいは、各受信時間間隔の平均値を求め、当該平均値から液面 2 0 までの距離を求めるようにしてもよい。

20

【 0 0 6 3 】

なお、図 1 3 には、塗装 8 がない場合が図示されているが、塗装 8 が有る場合にも本実施の形態 2 は適用可能であることは言うまでもない。

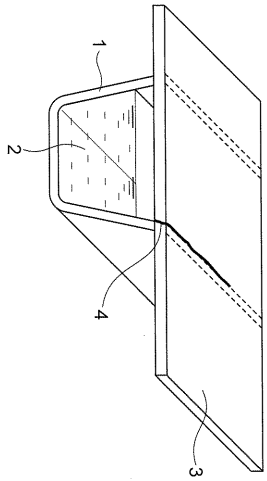
30

【 符号の説明 】

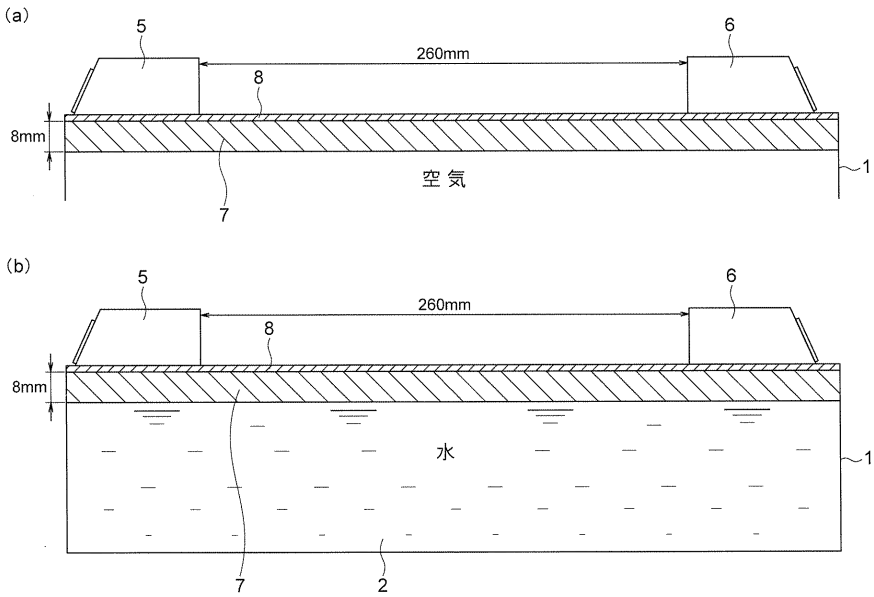
【 0 0 6 4 】

1 Uripu、2 水、3 デッキプレート、4 貫通亀裂、5 送信用探触子、6 受信用探触子、7 鋼板、8 塗装、1 0 送受信器、1 1 送信部、1 2 受信部、1 3 信号処理部、2 0 液面。

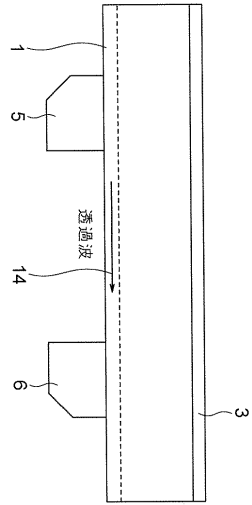
【図1】



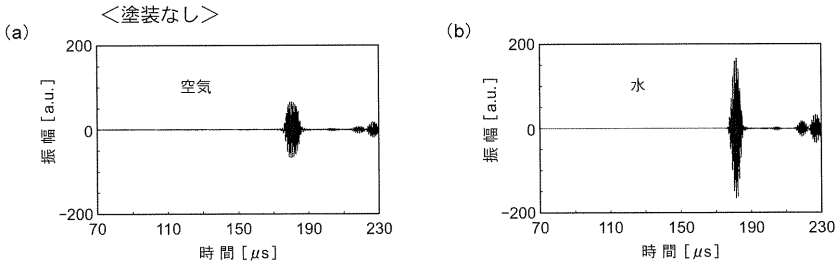
【図3】



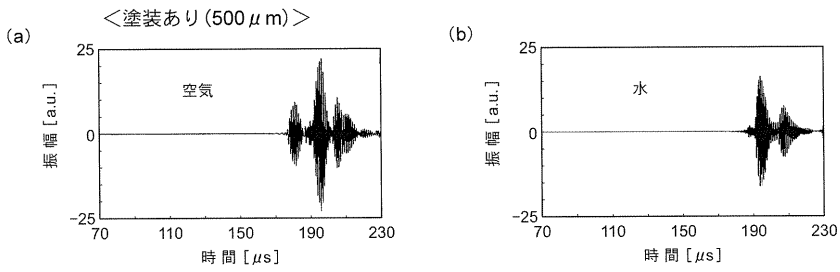
【図2】



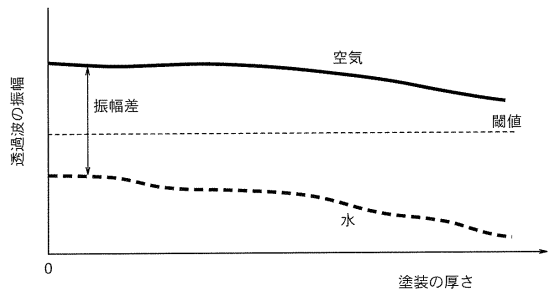
【図4】



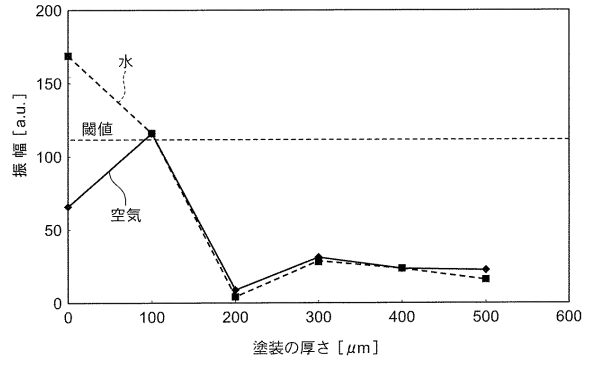
【図5】



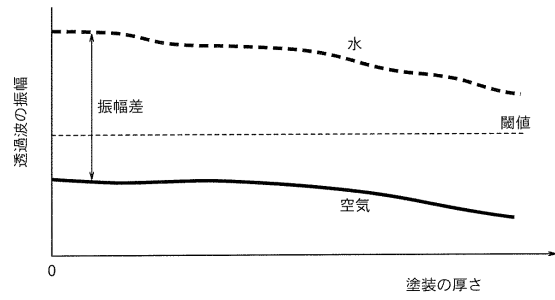
【図6】



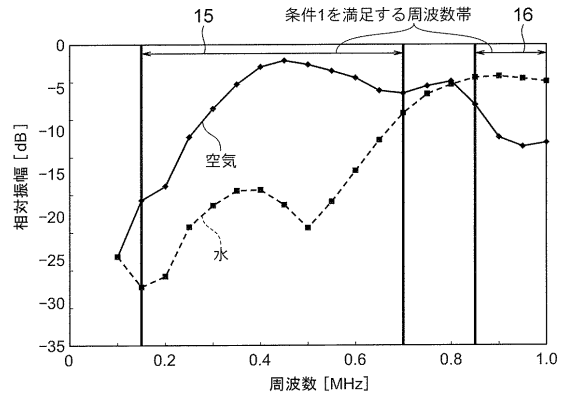
【図8】



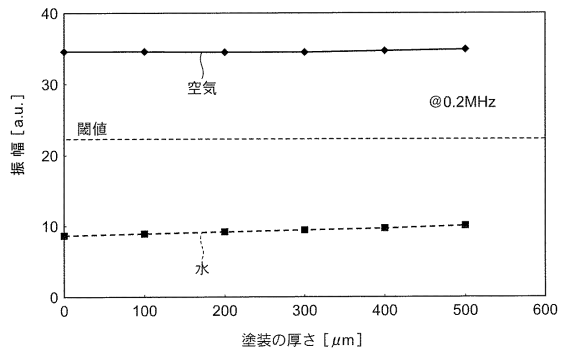
【図7】



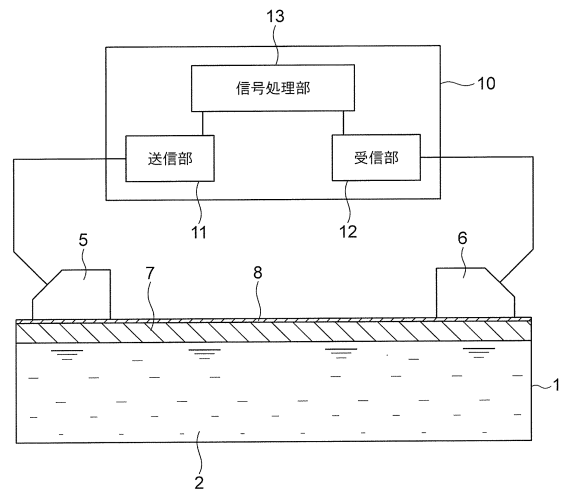
【図9】



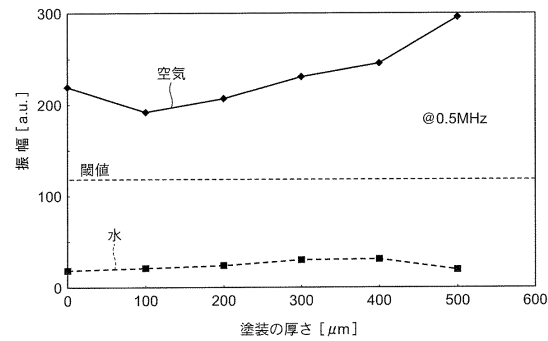
【図10】



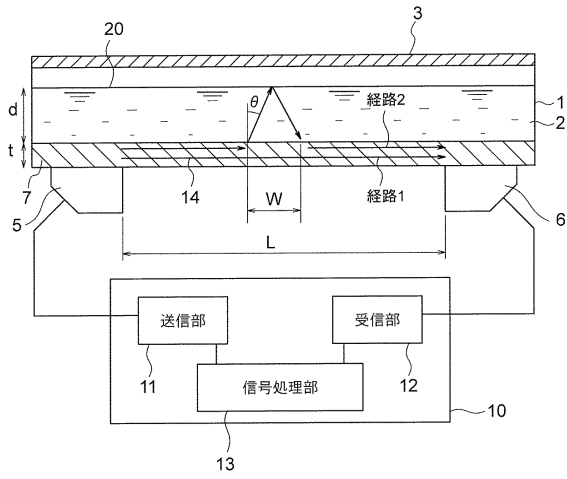
【図12】



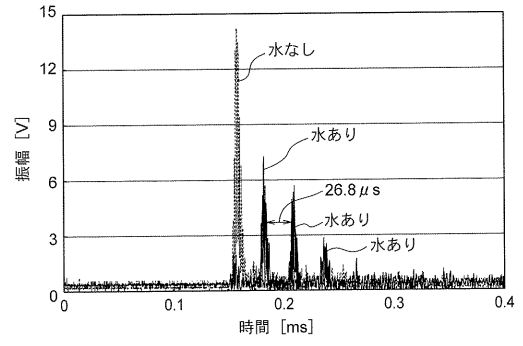
【図11】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

- (74)代理人 100147566
弁理士 上田 俊一
- (74)代理人 100161171
弁理士 吉田 潤一郎
- (74)代理人 100161115
弁理士 飯野 智史
- (72)発明者 木村 友則
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 小池 光裕
神奈川県鎌倉市山崎2番地 菱電湘南エレクトロニクス株式会社内
- (72)発明者 高橋 実
茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究所内
- (72)発明者 村越 潤
茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究所内

審査官 横井 亜矢子

- (56)参考文献 特開昭58-223714(JP,A)
特開平07-280775(JP,A)
特開昭61-270656(JP,A)
国際公開第2000/013008(WO,A1)
特開平09-043360(JP,A)
特開2001-324483(JP,A)
特開2006-322902(JP,A)
特開2011-038975(JP,A)
特開平02-051012(JP,A)
特開2005-241367(JP,A)
特開平05-142356(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 29/00-29/52
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)