

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2023-176501
(P2023-176501A)

(43)公開日 令和5年12月13日(2023.12.13)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
G 0 1 B 17/00 (2006.01)	G 0 1 B 17/00	A 2 F 0 6 8
G 0 1 S 15/88 (2006.01)	G 0 1 S 15/88	5 J 0 8 3

審査請求 有 請求項の数 12 O L (全34頁)

(21)出願番号	特願2022-88811(P2022-88811)	(71)出願人	390027177 坂田電機株式会社 東京都杉並区荻窪4丁目8番13号
(22)出願日	令和4年5月31日(2022.5.31)	(74)代理人	100180817 弁理士 平瀬 実
		(72)発明者	坂田 文男 東京都西東京市柳沢二丁目17番20号 坂田電機株式会社内
		(72)発明者	後藤 知英 東京都西東京市柳沢二丁目17番20号 坂田電機株式会社内
		(72)発明者	宮原 幸治 東京都西東京市柳沢二丁目17番20号 坂田電機株式会社内
		Fターム (参考)	2F068 AA02 AA06 AA13 BB09 最終頁に続く

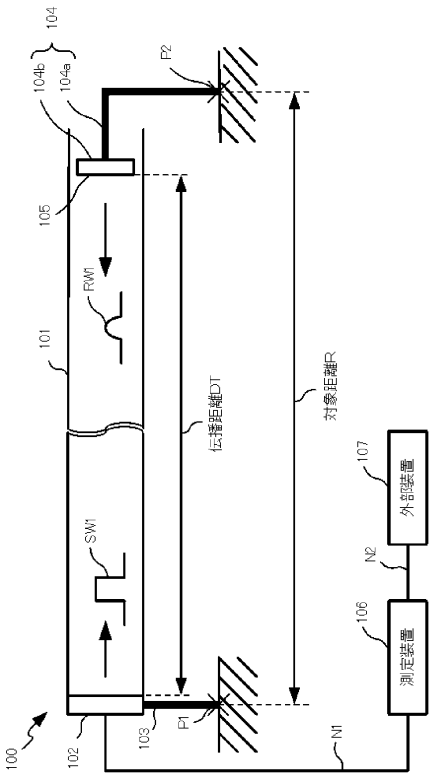
(54)【発明の名称】 測定システム及び測定方法

(57)【要約】

【課題】音波を用いて任意の2点間の距離又はその変化を容易に測定することを可能にする。

【解決手段】測定システム100は、第1音響導波管101と、パルス状の第1音波SW1を第1音響導波管101の内部へ送出し、第1音波SW1が第1音響導波管101の内部の第1反射部105で反射した第1反射波RW1を受信する第1送受信部102と、第1音波SW1が送出されてから第1反射波RW1が受信されるまでの第1時間に基づいて、第1送受信部102と第1反射部105との間の距離又はその変化を求める測定装置106とを備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 音響導波管と、
パルス状の第 1 音波を前記第 1 音響導波管の内部へ送出し、前記第 1 音波が前記第 1 音響導波管の内部の第 1 反射部で反射した第 1 反射波を受信する第 1 送受信部と、
前記第 1 音波が送出されてから前記第 1 反射波が受信されるまでの第 1 時間に基づいて、前記第 1 送受信部と前記第 1 反射部との間の距離又はその変化を求める測定装置とを備える
測定システム。

【請求項 2】

10

前記第 1 反射部は、前記第 1 音響導波管の内部で移動可能である
請求項 1 に記載の測定システム。

【請求項 3】

前記第 1 音響導波管の内部に配置される前記第 1 反射部をさらに備える
請求項 1 又は 2 に記載の測定システム。

【請求項 4】

前記第 1 反射部は、前記第 1 音響導波管の内部を途中まで満たす液体の液面である
請求項 1 又は 2 に記載の測定システム。

【請求項 5】

前記第 1 音響導波管は、前記液体が内部に注入される連通管の一部である
請求項 4 に記載の測定システム。

20

【請求項 6】

前記第 1 送受信部は、基準点に対して固定されている
請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 7】

前記第 1 音響導波管に並べて設けられ、パルス状の第 2 音波を伝播させるための第 2 音響導波管と、
前記第 2 音響導波管に配置され、前記第 2 音波を反射する第 2 反射部と
前記第 2 音波を前記第 2 音響導波管の内部へ送出し、前記第 2 音波が前記第 2 反射部で反射した第 2 反射波を受信する第 2 送受信部とをさらに備え、
前記測定装置は、
前記第 2 音波が送出されてから前記第 2 反射波が受信されるまでの第 2 時間と、前記第 2 送受信部と前記第 2 反射部との間の距離と、に基づいて、音速を求める音速測定部を含む
請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

30

【請求項 8】

第 1 音響導波管は、可撓性を有する
請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 9】

前記第 1 反射波が受信される時期は、前記第 1 送受信部が前記第 1 反射波の時間軸上の中心を受信した時期であり、
前記測定装置は、前記第 1 送受信部から出力される第 1 受信信号に基づいて、前記第 1 送受信部が受信する前記第 1 反射波の時間軸上の中心を検出する
請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

40

【請求項 10】

前記第 1 送受信部は、圧電素子を含む
請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の測定システム。

【請求項 11】

前記距離又はその変化を含む測定情報を外部装置へ送信する通信部をさらに備える
測定システム。

50

【請求項 1 2】

パルス状の第 1 音波を第 1 音響導波管の内部へ送出し、
前記第 1 音波が前記第 1 音響導波管の内部の第 1 反射部で反射した第 1 反射波を受信し

、
前記第 1 音波が送出されてから前記第 1 反射波が受信されるまでの第 1 時間に基づいて
、前記第 1 送受信部と前記第 1 反射部との間の距離又はその変化を求める
測定方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、測定システム及び測定方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

音波を用いて距離を測定するための機器などが種々提案されている。例えば、特許文献 1 には、管状部材の一端からスピーカによりパルス状音波を送出してからその反射波をマイクロフォンで集音するまでの時間から、管状部材の長さを測定するための音響式管路長測定器が開示されている。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【特許文献 1】特開平 4 - 2 9 7 8 1 6 号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

しかしながら、特許文献 1 に記載の音響式管路長測定器によって管状部材の長さを測定することができたとしても、任意の 2 点間の距離又はその変化を測定することは困難である。

【0005】

本発明は、上述の事情に鑑みてなされたもので、音波を用いて任意の 2 点間の距離又はその変化を測定することが可能な測定システム及び測定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】**【0006】**

上記目的を達成するため、本発明の第 1 の観点に係る測定システムは、

第 1 音響導波管と、

パルス状の第 1 音波を前記第 1 音響導波管の内部へ送出し、前記第 1 音波が前記第 1 音響導波管の内部の第 1 反射部で反射した第 1 反射波を受信する第 1 送受信部と、

前記第 1 音波が送出されてから前記第 1 反射波が受信されるまでの第 1 時間に基づいて
、前記第 1 送受信部と前記第 1 反射部との間の距離又はその変化を求める測定装置とを備える。

【0007】

上記目的を達成するため、本発明の第 2 の観点に係る測定方法は、

パルス状の第 1 音波を第 1 音響導波管の内部へ送出し、

前記第 1 音波が前記第 1 音響導波管の内部の第 1 反射部で反射した第 1 反射波を受信し

、

前記第 1 音波が送出されてから前記第 1 反射波が受信されるまでの第 1 時間に基づいて
、前記第 1 送受信部と前記第 1 反射部との間の距離又はその変化を求める。

【発明の効果】**【0008】**

本発明によれば、音波を用いて任意の 2 点間の距離又はその変化を測定することが可能

10

20

30

40

50

になる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施の形態1に係る測定システムの構成例を示す図である。

【図2】実施の形態1に係る測定装置の機能的な構成例を示す図である。

【図3】第1音波SW1の波形の一例を示す図である。

【図4】(a)～(c)は、第1反射信号FS1を含む第1受信信号RS1、第1パルスPA1、第2パルスPA2それぞれの波形の一例を示す図である。

【図5】実施の形態1に係る検出部の機能的な構成例を示す図である。

【図6】実施の形態1に係る測定部の機能的な構成例を示す図である。

10

【図7】実施の形態1に係る測定処理の一例を示すフローチャートである。

【図8】実施の形態1に係る検出処理の詳細例を示すフローチャートである。

【図9】測定情報の構成の一例を示す図である。

【図10】実施の形態1に係る第1送受信部の物理的な構成例を示す図である。

【図11】実施の形態1に係る測定装置の物理的な構成例を示す図である。

【図12】変形例11に係る検出処理の詳細例を示すフローチャートである。

【図13】実施の形態2に係る測定システムの構成例を示す図である。

【図14】実施の形態2に係る測定装置の機能的な構成例を示す図である。

【図15】実施の形態2に係る音速測定処理の一例を示すフローチャートである。

【図16】実施の形態3に係る測定システム300の構成例を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。なお、すべての図面において、同様な構成要素には同様の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0011】

<実施の形態1>

本発明の実施の形態1に係る測定システム100は、その構成例を図1に示すように、基準点P1と測定点P2との間の距離R又はその変化Rを測定するためのシステムである。

【0012】

30

基準点P1は、距離R又はその変化Rを測定する基準となる点である。測定点P2は、基準点P1からの距離R又はその変化Rを測定する対象となる点である。本実施の形態では、基準点P1と測定点P2とが、地面に設定される地点である例を用いて説明する。

【0013】

なお、基準点P1と測定点P2との各々は、任意に設定されてよく、例えば、建物、構造物、装置、機器、器具、製品などに設定されてもよい。

【0014】

測定システム100は、第1音響導波管101と、第1送受信部102と、第1固定部材103と、第1反射部105を含む第2固定部材104と、測定装置106と、外部装置107とを備える。

40

【0015】

第1送受信部102と測定装置106とは、有線、無線又はこれらを組み合わせた通信ネットワークN1を介して相互に情報を送受信する。測定装置106と外部装置107とは、有線、無線又はこれらを組み合わせた通信ネットワークN2を介して相互に情報を送受信する。通信ネットワークN1と通信ネットワークN2とは、共通のネットワークであってもよく、異なるネットワークであってもよい。

【0016】

第1音響導波管101は、音響導波管である。

【0017】

50

音響導波管とは、音波を伝播させるための中空の管である。音波は、音響導波管の内壁での反射と減衰とを可能な限り少なくするために、概ね平面波となって、音響導波管の内部の中空を伝播することが望ましい。このような音波の伝播を実現するための条件は、音響導波管の内径と音波の波長（或いは周波数）との関係で規定することができる。

【 0 0 1 8 】

音波の波長に比べて内径が大きいと、伝播経路でマルチパスが生じて、音波の進行方向とは異なる方向への反射が生じる。音波の波長に比べて内径が小さいと、伝播インピーダンスが大きくなり、音波の減衰が大きくなる。このような観点から、音響導波管の内部を伝播する音波の波長は、例えば、音響導波管の内径の $1/2 \sim 1/4$ 程度が好適である。

【 0 0 1 9 】

第 1 音響導波管 1 0 1 は、基準点 P 1 と測定点 P 2 との間の距離 R を測定するために必要な適宜の長さを有し、基準点 P 1 と測定点 P 2 との間に延びるように設けられる。

【 0 0 2 0 】

詳細には例えば、第 1 音響導波管 1 0 1 は、長さ方向に沿って見た断面が円形の円管である。第 1 音響導波管 1 0 1 の内径は、例えば $5 \sim 30$ mm 程度である。距離 R は、例えば、数 cm（センチメートル） ~ 100 m（メートル）程度である。第 1 音響導波管 1 0 1 の材料は、例えば、金属、樹脂、ゴムである。第 1 音響導波管 1 0 1 は、概ね曲がったり、撓んだりしない堅い管であってもよく、可撓性を有する管であってもよい。第 1 音響導波管 1 0 1 は、非透光性の管であってもよく、透光性を有する透明又は半透明の管であってもよい。

【 0 0 2 1 】

なお、第 1 音響導波管 1 0 1 の形状、寸法、材料、材質などは適宜変更されてよい。第 1 音響導波管 1 0 1 の材質は、熱膨張率が小さいものが望ましい。

【 0 0 2 2 】

第 1 送受信部 1 0 2 は、音波を送受信する部材である。

【 0 0 2 3 】

第 1 送受信部 1 0 2 は、例えば測定装置 1 0 6 からの送出信号を受けて、第 1 音波 S W 1 を出力する。第 1 音波 S W 1 は、パルス状の音波である。また、第 1 送受信部 1 0 2 は、音波を受信すると、当該受信した音波に応じた第 1 受信信号 R S 1 を測定装置 1 0 6 へ出力する。

【 0 0 2 4 】

第 1 送受信部 1 0 2 は、第 1 音響導波管 1 0 1 の内部へ第 1 音波 S W 1 を送出するように配置される。また、第 1 送受信部 1 0 2 は、第 1 反射波 R W 1 を受信するように配置される。第 1 反射波 R W 1 は、第 1 音波 S W 1 が第 1 音響導波管 1 0 1 の内部の第 1 反射部 1 0 5 で反射した音波である。

【 0 0 2 5 】

詳細には、本実施の形態に係る第 1 送受信部 1 0 2 は、音波を送出する部位及び音波を受信する部位を第 1 音響導波管 1 0 1 の内方へ向けて、第 1 音響導波管 1 0 1 の一端又は一端近傍に配置される。また、本実施の形態に係る第 1 送受信部 1 0 2 は、第 1 音響導波管 1 0 1 に固定される。

【 0 0 2 6 】

ここで、「近傍」とは、ある位置から予め定められた範囲を意味し、例えば一端近傍は、一端から予め定められた範囲を意味する。以下においても、同様である。

【 0 0 2 7 】

すなわち、第 1 送受信部 1 0 2 は、第 1 音波 S W 1 を第 1 音響導波管 1 0 1 の内部へ送出し、第 1 音波 S W 1 が第 1 音響導波管 1 0 1 の内部の第 1 反射部 1 0 5 で反射した第 1 反射波 R W 1 を受信する。

【 0 0 2 8 】

第 1 送受信部 1 0 2 は、第 1 反射波 R W 1 を受信すると、第 1 反射信号 F S 1 を含む第 1 受信信号 R S 1 を出力する。第 1 反射信号 F S 1 は、第 1 反射波 R W 1 に応じた信号で

10

20

30

40

50

ある。

【 0 0 2 9 】

第 1 反射信号 F S 1 を含む第 1 受信信号 R S 1 は、第 1 反射信号 F S 1 だけでなく、ノイズ信号を含むことが多い。そのため、第 1 反射信号 F S 1 を含む第 1 受信信号 R S 1 は、通常、第 1 反射信号 F S 1 と完全には一致しておらず、第 1 反射信号 F S 1 にノイズ信号を重畳した信号になる（図 4（a）参照）。ノイズ信号は、第 1 送受信部 1 0 2 が受信する雑音（第 1 反射波 R W 1 以外の音）に基づくノイズ信号、電気系統に起因するノイズ信号などを含む。電気系統に起因するノイズ信号としては、例えば、電子回路に混入する外来雑音に基づくノイズ信号がある。

【 0 0 3 0 】

なお、図 4（a）において、ノイズ信号のレベルは、分かり易くするため、第 1 反射信号 F S 1 のレベルに対して大きく示している。第 1 反射信号 F S 1 のレベルに対するノイズ信号のレベルの大きさは、実際には図 4（a）に示すよりも小さいことが通常である。

【 0 0 3 1 】

第 1 固定部材 1 0 3 は、第 1 送受信部 1 0 2 を基準点 P 1 に対して固定するための部材である。本実施の形態では、第 1 固定部材 1 0 3 は、その基端が基準点 P 1 に固定されるとともに、その先端に第 1 送受信部 1 0 2 が固定されている。第 1 固定部材 1 0 3 は、第 1 送受信部 1 0 2 を固定又は保持すればよく、その部位は先端でなくてもよい。

【 0 0 3 2 】

すなわち、本実施の形態では、第 1 送受信部 1 0 2 は、第 1 固定部材 1 0 3 を用いて、基準点 P 1 に対して固定される。これにより、第 1 送受信部 1 0 2 の位置は、基準点 P 1 に対して関連付けられる。

【 0 0 3 3 】

なお、第 1 送受信部 1 0 2 は、基準点 P 1 との位置関係が関連付けられていれば、基準点 P 1 に対して固定されていなくてもよい。

【 0 0 3 4 】

第 1 固定部材 1 0 3 は、例えば、金属の棒であるが、その材料、材質、形状は適宜変更されてもよい。

【 0 0 3 5 】

第 2 固定部材 1 0 4 は、第 1 反射部 1 0 5 を含む部材である。第 1 反射部 1 0 5 は、第 1 送受信部 1 0 2 から送出された第 1 音波 S W 1 を反射する部位である。第 1 反射部 1 0 5 は、第 1 音響導波管 1 0 1 の内部に配置される。

【 0 0 3 6 】

詳細には、第 2 固定部材 1 0 4 は、固定部 1 0 4 a と、第 1 反射部 1 0 5 を含む円板部 1 0 4 b とを含む。

【 0 0 3 7 】

固定部 1 0 4 a は、その基端が測定点 P 2 に固定されるとともに、その先端に円板部 1 0 4 b が固定されている。図 1 に示す例では、固定部 1 0 4 a は、基端と先端との間が屈曲した概ね L 字状の棒であるが、その形状は適宜変更されてもよい。

【 0 0 3 8 】

円板部 1 0 4 b は、第 1 音響導波管 1 0 1 の内径よりも小さい径の円板状をなし、第 1 音響導波管 1 0 1 に緩やかに嵌まる。円板部 1 0 4 b は、第 1 音響導波管 1 0 1 の他端又は他端近傍に配置される。

【 0 0 3 9 】

第 1 反射部 1 0 5 は、円板部 1 0 4 b が有する 2 つの主面のうち、固定部 1 0 4 a が固定される面とは反対側の面、すなわち、第 1 音響導波管 1 0 1 の内方を向く面を形成する部位である。第 1 反射部 1 0 5 は、第 1 音響導波管 1 0 1 の長さ方向に延びるその内部空間を介して、第 1 送受信部 1 0 2 と対向する。

【 0 0 4 0 】

第 1 反射部 1 0 5 は、例えば平面を形成する。なお、第 1 反射部 1 0 5 は、第 1 音波 S

10

20

30

40

50

W 1 を反射する形状であればよく、平面に限らず、曲面等であってもよい。

【 0 0 4 1 】

すなわち、本実施の形態では、第 1 反射部 1 0 5 は、第 2 固定部材 1 0 4 を用いて、測定点 P 2 に対して固定される。これにより、第 1 反射部 1 0 5 の位置は、測定点 P 2 に対して関連付けられる。

【 0 0 4 2 】

また、円板部 1 0 4 b は、上述の通り、第 1 音響導波管 1 0 1 の内径よりも小さい。そのため、第 1 反射部 1 0 5 は、第 1 音響導波管 1 0 1 の内部で移動可能である。

【 0 0 4 3 】

なお、第 2 固定部材 1 0 4 は、これに限られない。例えば、第 2 固定部材 1 0 4 は、棒状の部材であってもよく、この場合、第 1 音響導波管 1 0 1 の内部に配置される第 2 固定部材 1 0 4 の端面が、第 1 反射部 1 0 5 として採用されてもよい。

【 0 0 4 4 】

(測定装置 1 0 6 の機能的な構成例)

測定装置 1 0 6 は、第 1 時間に基づいて距離 R 又はその変化 R を求めるための装置である。第 1 時間は、第 1 送受信部 1 0 2 によって第 1 音波 S W 1 が送出されてから第 1 反射波 R W 1 が受信されるまでの時間である。距離 R は、上述の通り、基準点 P 1 と測定点 P 2 との間の距離である。

【 0 0 4 5 】

詳細には、測定装置 1 0 6 は、その機能的な構成例を図 2 に示すように、音波制御部 1 0 8 と、検出部 1 0 9 と、測定部 1 1 0 と、履歴記憶部 1 1 1 と、通信部 1 1 2 とを備える。

【 0 0 4 6 】

音波制御部 1 0 8 は、パルス状の第 1 音波 S W 1 を第 1 送受信部 1 0 2 に送出させる。詳細には例えば、音波制御部 1 0 8 は、送出信号を第 1 送受信部 1 0 2 に出力することで、パルス状の第 1 音波 S W 1 を第 1 送受信部 1 0 2 に送出させる。

【 0 0 4 7 】

図 3 は、第 1 音波 S W 1 の波形の一例を示す図である。図 3 の横軸は時間 (単位は、例えば、秒) であり、縦軸は音の大きさ (単位は、例えば、デシベル) を示す。図 3 に例示する第 1 音波 S W 1 は、大きさが A 1 である時間長さ (パルス幅) が P T S 1 であり、かつ、それ以外の大きさが 0 である。パルス幅 P T S 1 は、例えば、0 . 5 m S (ミリ秒) 秒である。第 1 音波 S W 1 は、例えば超音波であり、その周波数は例えば、2 0 k H z ~ 4 0 k H z である。

【 0 0 4 8 】

図 3 に示す送出時期 T S 1 は、第 1 送受信部 1 0 2 が第 1 音波 S W 1 を送出した時期である。送出時期 T S 1 は、第 1 送受信部 1 0 2 から第 1 音波 S W 1 が送出される期間を代表する時点であればよく、例えば、第 1 音波 S W 1 の時間軸上の中心である。

【 0 0 4 9 】

図 2 を再び参照する。

検出部 1 0 9 は、第 1 送受信部 1 0 2 から出力される第 1 受信信号 R S 1 に基づいて、第 1 反射波 R W 1 の受信時期 T R 1 を検出する。

【 0 0 5 0 】

受信時期 T R 1 は、第 1 送受信部 1 0 2 が第 1 反射波 R W 1 を受信した時期である。受信時期 T R 1 は、第 1 送受信部 1 0 2 によって第 1 反射波 R W 1 が受信される期間を代表する時点であればよく、例えば、第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心である。検出部 1 0 9 は、第 1 送受信部 1 0 2 から出力される第 1 受信信号 R S 1 に基づいて、第 1 送受信部 1 0 2 が受信する第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を検出する。

【 0 0 5 1 】

図 4 (a) は、第 1 反射信号 F S 1 を含む第 1 受信信号 R S 1 の波形の一例を示す図である。図 4 (a) の横軸は時間 (単位は、例えば、秒) であり、縦軸は信号レベル (単位

10

20

30

40

50

は、例えば、ボルト)を示す。図4(a)に例示する第1反射信号FS1は、受信時期TR1に受信された第1反射波RW1に応じた信号であり、その信号レベルの最大値がAR1、かつ、幅(時間長さ)がPTR1である。

【0052】

第1反射波RW1は、パルス状の第1音波SW1の反射波であるため、時間軸上の中心を介して概ね対称である。そのため、第1反射信号FS1も、第1反射波RW1の時間軸上の中心である受信時期TR1を介して概ね対称である。

【0053】

上述の通り、第1反射信号FS1を含む第1受信信号RS1はノイズ信号も含むことが多いが、通常、第1反射波RW1の信号レベルの方が、ノイズの信号レベルよりも大きい。そのため、図4(a)に示すように、第1反射信号FS1を含む第1受信信号RS1は、第1反射信号FS1と同様に、第1反射波RW1の時間軸上の中心である受信時期TR1を介して概ね対称である。

10

【0054】

検出部109は、第1反射信号FS1を含む第1受信信号RS1が第1反射信号FS1の時間軸上の中心を介して概ね対称であることを利用して、第1反射信号FS1の時間軸上の中心を検出する。本実施の形態では、第1反射信号FS1の時間軸上の中心が、第1送受信部102が受信する第1反射波RW1の時間軸上の中心である。

【0055】

なお、信号処理などに要する時間のために、第1反射信号FS1を含む第1受信信号RS1の時間軸上の中心に対応する時期と、第1送受信部102が第1反射波RW1を受信した受信時期TR1との間に時間的なズレが生じることがある。この場合、検出部109は、この時間的なズレに基づいて較正を行って、第1送受信部102が受信する第1反射波RW1の時間軸上の中心を検出してもよい。

20

【0056】

図5を参照して、検出部109の詳細な機能的な構成を説明する。検出部109は、第1生成部113と、反射波検出部114と、中心特定部115とを含む。

【0057】

第1生成部113は、第1パルスPA1(信号)を発生させる。

【0058】

第1パルスPA1は、図4(b)に示すように、1つの矩形波から構成されるパルスである。図4(b)の点線で示す横軸は、時間軸である。第1パルスPA1は、例えば、レベルがA2である時間長さ(パルス幅)がPT2であり、それ以外のレベルが0の信号である。パルス幅PT2は、幅PTR1よりも大きい(すなわち、 $PT2 > PTR1$)。パルス幅PT2は、例えば、幅PTR1の約2倍である。レベルA2は、適宜定められてよいが、例えば1である。

30

【0059】

図5を再び参照する。

反射波検出部114は、第1送受信部102から出力される第1受信信号RS1と第1パルスPA1とに基づいて、第1送受信部102が第1反射波RW1を受信したことを検出する。例えば、反射波検出部114は、第1受信信号RS1と第1パルスPA1との積を時間軸に沿って足し合わせることで得られる値に基づいて、第1送受信部102が第1反射波RW1を受信したことを検出する。

40

【0060】

中心特定部115は、第1送受信部102が受信した第1反射波RW1の時間軸上の中心を特定する。例えば、中心特定部115は、第1送受信部102から出力される第1受信信号RS1に基づいて、第1送受信部102が受信する第1反射波RW1の時間軸上の中心を特定する。

【0061】

詳細には、中心特定部115は、第2生成部116と、パルス制御部117とを含む。

50

【 0 0 6 2 】

第 2 生成部 1 1 6 は、第 2 パルス P A 2 (信号) を発生させる。

【 0 0 6 3 】

第 2 パルス P A 2 は、図 4 (c) に示すように、値がゼロとなる基準点 R P を介して点対称な 1 組の矩形波から構成されるパルスである。図 4 (c) の点線で示す横軸は、時間軸である。

【 0 0 6 4 】

第 2 パルス P A 2 は、例えば、レベルが - A 3 の第 1 矩形波 F P A 2 とレベルが A 3 の第 2 矩形波 R P A 2 とから構成され、それら全体の時間長さ (パルス幅) が P T 3 であり、それ以外のレベルが 0 の信号である。パルス幅 P T 3 は、パルス幅 P T 2 と同じ程度であるか、又はパルス幅 P T 1 よりも大きい (すなわち、 $P T 3 > P T 2$)。レベル A 3 の大きさは、適宜定められてよいが、例えば 1 である。

【 0 0 6 5 】

詳細には例えば、第 1 矩形波 F P A 2 は、値がゼロとなる基準点 R P より前の矩形波である。第 1 矩形波 F P A 2 は、レベルが - A 3 である時間長さが $P T 3 / 2$ である。第 2 矩形波 R P A 2 は、基準点 R P より後の矩形波である。第 2 矩形波 R P A 2 は、レベルが A 3 である時間長さが $P T 3 / 2$ である。

【 0 0 6 6 】

第 1 矩形波 F P A 2 と第 2 矩形波 R P A 2 とは、レベルの大きさが同じ A 3 であり、かつ、その時間長さ ($P T 3 / 2$) が等しい。そのため、第 1 矩形波 F P A 2 と第 2 矩形波 R P A 2 とは、値がゼロとなる基準点 R P を介して点対称である。なお、第 1 矩形波 F P A 2 のレベルが A 3、第 2 矩形波 R P A 2 のレベルが - A 3、であってもよい。

【 0 0 6 7 】

図 5 を再び参照する。

パルス制御部 1 1 7 は、反射波検出部 1 1 4 によって検出された第 1 反射信号 F S 1 を含む第 1 受信信号 R S 1 と第 2 パルス P A 2 とに基づいて、第 1 送受信部 1 0 2 が受信する第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を特定する。

【 0 0 6 8 】

詳細には例えば、パルス制御部 1 1 7 は、基準点 R P が第 1 反射信号 F S 1 の時間軸上の中心となるように、第 2 生成部 1 1 6 が第 2 パルス P A 2 を発生させるタイミング (発生タイミング) を調整する。より詳細には、パルス制御部 1 1 7 は、第 1 受信信号 R S 1 と第 2 パルス P A 2 との積を時間軸に沿って足し合わせることで得られる第 2 合算値が小さく (望ましくは、ゼロに) なるように、第 2 生成部 1 1 6 が第 2 パルス P A 2 を発生させるタイミングを調整する。第 2 パルス P A 2 が図 4 (c) に示す波形である場合、パルス制御部 1 1 7 は、第 2 合算値が「正」であれば発生タイミングを早くし、第 2 合算値が「負」であれば発生タイミングを遅くするように調整する。

【 0 0 6 9 】

そして、パルス制御部 1 1 7 は、調整した第 2 パルス P A 2 に基づいて、第 1 反射信号 F S 1 の時間軸上の中心を検出する。第 1 反射信号 F S 1 の時間軸上の中心を検出すると、パルス制御部 1 1 7 は、発生タイミングを調整した第 2 パルス P A 2 の基準点 R P に基づいて、第 1 反射信号 F S 1 の時間軸上の中心を特定する。

【 0 0 7 0 】

第 1 反射信号 F S 1 と第 1 反射波 R W 1 とは時間軸上で対応しているので、それらの時間軸上の中心も対応している。そのため、第 1 反射信号 F S 1 の時間軸上の中心を特定することで、パルス制御部 1 1 7 は、第 1 送受信部 1 0 2 が受信した第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を特定することができる。

【 0 0 7 1 】

なお、パルス制御部 1 1 7 は、反射波検出部 1 1 4 によって検出された第 1 反射信号 F S 1 を用いずに、第 1 受信信号 R S 1 を直接的に用いて、第 1 送受信部 1 0 2 が受信した第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を検出してもよい。この場合、測定装置 1 0 6 は、第

10

20

30

40

50

1 生成部 1 1 3 及び反射波検出部 1 1 4 を含まなくてもよい。

【0072】

図 2 を再び参照する。

測定部 1 1 0 は、第 1 時間に基づいて、伝播距離 D_T 、伝播距離 D_T の変化 ΔD_T 、距離 R 、距離 R の変化 ΔR を求める。ここで、伝播距離 D_T は、第 1 送受信部 1 0 2（例えば、音波を送受信する部位）と、第 1 反射部 1 0 5 との間の距離である。

【0073】

詳細には、測定部 1 1 0 は、図 6 に示すように機能的に、時間取得部 1 1 8 と、距離取得部 1 1 9 とを含む。

【0074】

時間取得部 1 1 8 は、送出時期 T_S 1 と受信時期 T_R 1 とに基づいて、第 1 時間を取得する。

【0075】

距離取得部 1 1 9 は、時間取得部 1 1 8 が求めた第 1 時間に基づいて、伝播距離 D_T 、伝播距離 D_T の変化 ΔD_T 、距離 R 、距離 R の変化 ΔR などを求める。

【0076】

より詳細には例えば、距離取得部 1 1 9 は、時間取得部 1 1 8 が求めた第 1 時間と音速とに基づいて、伝播距離 D_T を求める。距離取得部 1 1 9 は、基準点 P_1 と第 1 送受信部 1 0 2 との位置関係、第 1 反射部 1 0 5 と測定点 P_2 との位置関係を予め保持し、これらの位置関係と伝播距離 D_T とに基づいて、距離 R を求める。

【0077】

また例えば、距離取得部 1 1 9 は、過去に求めた伝播距離 D_T と現在の伝播距離 D_T とに基づいて、例えば現在の伝播距離 D_T から過去に求めた伝播距離 D_T を差し引く演算を行うことで、伝播距離 D_T の変化 ΔD_T を求める。距離取得部 1 1 9 は、過去に求めた距離 R と現在の距離 R とに基づいて、例えば現在の距離 R から過去に求めた距離 R を差し引く演算を行うことで、距離 R の変化 ΔR （＝現在の距離 R - 過去に求めた距離 R ）を求める。

【0078】

距離取得部 1 1 9 は、測定の結果を含む測定情報を生成して履歴記憶部 1 1 1 に記憶させる。測定情報は、伝播距離 D_T 、その変化 ΔD_T 、距離 R 、その変化 ΔR を含む。履歴記憶部 1 1 1 は、測定情報の履歴を記憶するための記憶部である。

【0079】

通信部 1 1 2 は、通信ネットワーク N を介して外部装置 1 0 7（図 1 参照）と通信する。通信部 1 1 2 は、例えば測定情報を外部装置 1 0 7 へ送信する。外部装置 1 0 7 は、測定装置 1 0 6 以外の装置である。例えば、外部装置 1 0 7 は、測定情報を管理するための装置である。

【0080】

これまで、本発明の実施の形態 1 に係る測定システム 1 0 0 の機能的な構成について主に説明した。ここから、本実施の形態に係る測定システム 1 0 0 の動作について説明する。

【0081】

（測定システム 1 0 0 の動作）

測定システム 1 0 0 は、図 7 にフローチャートの一例を示す測定処理を実行する。測定処理は、任意に設定される基準点 P_1 と測定点 P_2 との間の距離 R 又はその変化 ΔR を測定するための処理である。

【0082】

測定処理を開始する前に、第 1 音響導波管 1 0 1 が基準点 P_1 と測定点 P_2 との間に配置される。

【0083】

例えば、測定システム 1 0 0 を用いて地滑りや法面などの地表面の動きを測定する場合

10

20

30

40

50

、基準点 P 1 は、基準となる地表面に設定される。具体的には例えば、第 1 固定部材 1 0 3 の一部を地面に固定するなどの適宜の方法で、第 1 固定部材 1 0 3 が基準点 P 1 に関連付けて固定されるとよい。測定点 P 2 は、基準点 P 1 に対する動きを測定する対象となる地表面に設定される。具体的には例えば、第 2 固定部材 1 0 4 の一部を地面に固定するなどの適宜の方法で、第 2 固定部材 1 0 4 が測定点 P 2 に関連付けて固定されるとよい。この場合例えば、第 1 音響導波管 1 0 1 は、屋外の基準点 P 1 と測定点 P 2 との間の地表面に置かれるとよい。

【 0 0 8 4 】

また例えば、測定システム 1 0 0 を用いて構造物間（例えば、橋脚間、建物間）の距離を測定する場合、基準点 P 1 は、基準となる構造物の特定部位、地盤などに設定され、測定点 P 2 は、基準点 P 1 に対する動きを測定する対象となる構造物の特定部位に設定される。この場合例えば、第 1 音響導波管 1 0 1 は、基準点 P 1 と測定点 P 2 との間の空中に配置されてもよく、一部又は概ね全体が地面に置かれてもよい。

10

【 0 0 8 5 】

なお、基準点 P 1 と測定点 P 2 とはこれらに限定されない。第 1 音響導波管 1 0 1 は、屋内に配置されてもよく、屋外と屋内とにまたがって配置されてもよい。第 1 音響導波管 1 0 1 の一部又は全部は、土中などに埋設されてもよい。

【 0 0 8 6 】

第 1 送受信部 1 0 2 は、例えば、基準点 P 1 に固定された第 1 固定部材 1 0 3 に取り付けられるとともに、第 1 音響導波管 1 0 1 の内部へ第 1 音波 S W 1 を送出できるように第 1 音響導波管 1 0 1 （例えば、その一端）に取り付けられる。これにより、第 1 送受信部 1 0 2 は、基準点 P 1 に関連付けて設けられる。

20

【 0 0 8 7 】

第 1 反射部 1 0 5 は、例えば、測定点 P 2 に固定された第 2 固定部材 1 0 4 に取り付けられるとともに、第 1 音波 S W 1 を反射させるために第 1 音響導波管 1 0 1 の内部に配置される。これにより、第 1 反射部 1 0 5 は、測定点 P 2 に関連付けて設けられる。

【 0 0 8 8 】

このような準備の後に、測定装置 1 0 6 は、例えばユーザからの指示に応じて測定処理を開始する。

【 0 0 8 9 】

30

図 7 を参照する。

音波制御部 1 0 8 は、第 1 送受信部 1 0 2 に第 1 音波 S W 1 を送出させる。例えば、音波制御部 1 0 8 は、第 1 音波 S W 1 を送出させるための送出信号を第 1 送受信部 1 0 2 に出力する。これに応じて、第 1 送受信部 1 0 2 は、第 1 音波 S W 1 を送出する（ステップ S 1 0 1 ）。

【 0 0 9 0 】

ステップ S 1 0 1 において、第 1 送受信部 1 0 2 は、1 つのパルス状の第 1 音波 S W 1 を送出するとよい。ステップ S 1 0 1 を実行した後、第 1 送受信部 1 0 2 は、第 1 音響導波管 1 0 1 の内部の音波を受信し、受信した音波に応じた第 1 受信信号 R S 1 を出力する。

40

【 0 0 9 1 】

検出部 1 0 9 は、第 1 受信信号 R S 1 に基づいて、第 1 送受信部 1 0 2 が第 1 反射波 R W 1 を受信したことを検出する（ステップ S 1 0 2 ）。

【 0 0 9 2 】

図 8 は、本実施の形態に係る検出処理（ステップ S 1 0 2 ）の詳細例を示すフローチャートである。

【 0 0 9 3 】

反射波検出部 1 1 4 は、第 1 送受信部 1 0 2 から第 1 受信信号 R S 1 を取得する（ステップ S 1 1 1 ）。

【 0 0 9 4 】

50

第 1 送受信部 102 は、例えば、音波を受信すると、その音波に応じた第 1 受信信号 RS1 を概ねリアルタイムで出力する。反射波検出部 114 は、ステップ S101 が実行された後、第 1 送受信部 102 からリアルタイムで出力される第 1 受信信号 RS1 を継続的に取得する。反射波検出部 114 は、取得した第 1 受信信号 RS1 を保持してもよい。

【0095】

第 1 生成部 113 及び第 2 生成部 116 は、それぞれ、第 1 パルス PA1 及び第 2 パルス PA2 を発生させる（ステップ S112）。

【0096】

このとき、第 1 生成部 113 及び第 2 生成部 116 は、同期した（すなわち、時間軸上の中心位置が同じ）第 1 パルス PA1 及び第 2 パルス PA2 を発生させるとよい。また、第 1 生成部 113 及び第 2 生成部 116 は、パルス幅 PT2、PT3 が同じ第 1 パルス PA1 及び第 2 パルス PA2 を発生させてもよい。これにより、第 1 パルス PA1 及び第 2 パルス PA2 の発生時期（基準点 RP を除いて、0 ではない時期）は、概ね一致する。

【0097】

反射波検出部 114 は、ステップ S111 にて取得する第 1 受信信号 RS1 と第 1 パルス PA1 とに基づいて、第 1 反射波 RW1 を検出したか否かを判定する（ステップ S113）。

【0098】

詳細には例えば、反射波検出部 114 は、第 1 送受信部 102 から出力される第 1 受信信号 RS1 と第 1 パルス PA1 とを時間軸に沿って乗算した値を第 1 パルス PA1 のパルス幅 PT2 の全体で足し合わせる。なお、第 1 受信信号 RS1 と第 1 パルス PA1 とを時間軸に沿って乗算する際に、第 1 パルス PA1 のレベル A2 は、例えば第 1 受信信号 RS1 のレベル AR1 と等しくするなど、適宜修正されてもよい。

【0099】

反射波検出部 114 は、足し合わせることによって得られる第 1 合算値と第 1 閾値とを比較する。反射波検出部 114 は、第 1 合算値と第 1 閾値とを比較した結果に基づいて、第 1 受信信号 RS1 に含まれる第 1 反射信号 FS1 を検出する。第 1 閾値は、予め定められる値である。

【0100】

パルス幅 PT2 は、パルス幅 PT1 より大きいため、通常、第 1 反射波 RW1 のパルス幅よりも大きい。また、第 1 受信信号 RS1 に含まれるノイズは、通常、第 1 反射波 RW1 よりも小さい。さらに、例えば外来雑音に基づくノイズ信号のように、第 1 反射波 RW1 よりも高い周波数であり、かつ、そのレベルがゼロを中心に時間軸に沿って概ね正負均一に生じるノイズの場合、時間軸に沿って加算すること（電気回路のローパスフィルタを通過させること）で、ノイズは互いに打ち消されて概ねゼロとみなせる程度に小さくなる。そのため、第 1 合算値は、時間軸に沿った、第 1 反射信号 FS1 と第 1 パルス PA1 との重なり度合いを精度良く表す値となる。

【0101】

第 1 合算値が大きいほど、第 1 パルス PA1 と乗算した第 1 受信信号 RS1 の当該部分が第 1 反射信号 FS1 を含む可能性が高い。そのため、反射波検出部 114 は、例えば第 1 合算値が第 1 閾値よりも大きい場合に、第 1 反射波 RW1 を検出したと判定する。また例えば、第 1 合算値が第 1 閾値以下である場合に、反射波検出部 114 は、第 1 反射波 RW1 を検出していないと判定する。

【0102】

第 1 受信信号 RS1 は、上述の通り、第 1 送受信部 102 が受信した音波に応じて出力される信号である。そのため、第 1 受信信号 RS1 は、上述の通り、第 1 反射波 RW1 だけでなく、ノイズに対応する信号を含むことがある。また、一般的に、音響導波管では第 1 反射波 RW1 の振幅変動が大きくなることがある。第 1 反射信号 FS1 と第 1 パルス PA1 との重なり度合いに基づいて第 1 反射信号 FS1 を検出することで、ノイズや振幅変動が検出精度に与える影響を軽減することができるため、第 1 受信信号 RS1 から第 1 反

10

20

30

40

50

射信号 F S 1 を精度良く検出することができる。そのため、第 1 反射波 R W 1 が受信されたことを、を精度良く検出することができる。

【 0 1 0 3 】

第 1 反射波 R W 1 を検出していないと判定された場合（ステップ S 1 1 3 ; N o ）、第 1 生成部 1 1 3 及び第 2 生成部 1 1 6 は、ステップ S 1 1 2 を再び実行する。

【 0 1 0 4 】

第 1 反射波 R W 1 を検出したと判定された場合（ステップ S 1 1 3 ; N o ）、パルス制御部 1 1 7 は、ステップ S 1 1 3 にて第 1 反射波 R W 1 を検出したと判定された第 1 受信信号 R S 1 と第 2 パルス P A 1 とに基づいて、第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を検出したか否かを判定する（ステップ S 1 1 4 ）。

10

【 0 1 0 5 】

詳細には例えば、パルス制御部 1 1 7 は、第 1 反射信号 F S 1 を含む第 1 受信信号 R S 1 と第 2 パルス P A 2 とを時間軸に沿って乗算した値を第 2 パルス P A 2 のパルス幅 P T 3 の全体で足し合わせることで、第 2 合算値を求める。なお、第 1 受信信号 R S 1 と第 2 パルス P A 2 とを時間軸に沿って乗算する際に、第 2 パルス P A 2 のレベル A 3 は、例えば第 1 受信信号 R S 1 のレベル A R 1 と等しくするなど、適宜修正されてもよい。

【 0 1 0 6 】

パルス制御部 1 1 7 は、第 2 合算値と第 2 閾値とを比較する。パルス制御部 1 1 7 は、第 2 合算値と第 2 閾値とを比較した結果に基づいて、第 1 受信信号 R S 1 に含まれる第 1 反射信号 F S 1 の時間軸上の中心を検出する。

20

【 0 1 0 7 】

パルス幅 P T 3 は、パルス幅 P T 1 より大きいため、通常、第 1 反射波 R W 1 のパルス幅よりも大きい。また、例えば外来雑音に基づくノイズ信号のように、第 1 反射波 R W 1 よりも高い周波数であり、かつ、そのレベルがゼロを中心に時間軸に沿って概ね正負均一に生じるノイズの場合、時間軸に沿って加算すること（電気回路のローパスフィルタを通過させること）で、ノイズは互いに打ち消されて概ねゼロとみなせる程度に小さくなる。そのため、第 2 合算値は、第 1 反射信号 F S 1 と第 2 パルス P A 2 との時間軸に沿った中心の一致度合いを精度良く表す値となる。

【 0 1 0 8 】

より詳細には、第 2 合算値が 0 に近いほど、第 2 パルス P A 2 の基準点 R P が第 1 反射信号 F S 1 の時間軸に沿った中心に近い可能性が高い。そのため、パルス制御部 1 1 7 は、例えば第 2 合算値が第 2 閾値よりも小さい場合に、第 1 反射波 R W 1 の中心を検出したと判定する。また例えば、第 2 合算値が第 2 閾値以上である場合に、パルス制御部 1 1 7 は、第 1 反射波 R W 1 の中心を検出していないと判定する。

30

【 0 1 0 9 】

第 2 閾値は、予め定められる適宜の値でよいが、例えば、第 1 合算値の $1 / 1000$ である。一般的に、第 1 受信信号 R S 1 の電圧レベルは距離 R に応じて変動するため、第 2 閾値が第 1 合算値の $1 / 1000$ 程度であれば、第 2 合算値を 0 とみなすことができる。

【 0 1 1 0 】

反射波 R W 1 の時間軸上の中心を検出していないと判定した場合（ステップ S 1 1 4 ; N o ）、パルス制御部 1 1 7 は、第 2 パルス P A 2 を発生させるタイミング（発生タイミング）を調整する（ステップ S 1 1 5 ）。

40

【 0 1 1 1 】

詳細には例えば、パルス制御部 1 1 7 は、第 2 合算値が第 2 閾値よりも小さくなるように、第 2 生成部 1 1 6 が第 2 パルス P A 2 を発生させるタイミング（発生タイミング）を調整する。

【 0 1 1 2 】

発生タイミングの調整方法について、図 4（c）に示す第 2 パルス P A 2 を例に説明する。図 4（c）に示す第 2 パルス P A 2 は、基準点 R P より前の第 1 矩形波 F P A 2 のレベルが正で、基準点 R P より後の第 2 矩形波 R P A 2 のレベルが負である。

50

【 0 1 1 3 】

この場合において、第 2 合算値が正の値となる時は、基準点 R P が時間軸に沿って第 1 反射波 R W 1 の中心よりも遅れている。そのため、パルス制御部 1 1 7 は、現在の設定よりも予め定められた時間だけ早く第 2 パルス P A 2 を発生させるように、第 2 生成部 1 1 6 を制御する。

【 0 1 1 4 】

第 2 合算値が負の値となる時は、基準点 R P が時間軸に沿って第 1 反射波 R W 1 の中心よりも早い。そのため、パルス制御部 1 1 7 は、現在の設定よりも予め定められた時間だけ遅く第 2 パルス P A 2 を発生させるように、第 2 生成部 1 1 6 を制御する。

【 0 1 1 5 】

本実施の形態では、第 1 パルス P A 1 及び第 2 パルス P A 2 が同期しているので、第 2 パルス P A 2 とともに、第 1 パルス P A 1 の発生タイミングも同様に調整される。

【 0 1 1 6 】

続けて、ステップ S 1 1 1 以降の処理が再び実行される。次のステップ S 1 1 2 では、ステップ S 1 1 5 で調整された発生タイミングで第 1 パルス P A 1 及び第 2 パルス P A 2 が発生することになる。

【 0 1 1 7 】

第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を検出したと判定した場合（ステップ S 1 1 4 ; Y e s）、パルス制御部 1 1 7 は、第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を特定し（ステップ S 1 1 6）、測定処理（図 7 参照）へ戻る。

【 0 1 1 8 】

詳細には例えば、検出された第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心は、調整された第 2 パルス P A 2 の基準点 R P と時間軸上で対応する。そのため、パルス制御部 1 1 7 は、第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を、第 1 送受信部 1 0 2 が受信した第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心として特定する。

【 0 1 1 9 】

ここで、第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を検出したと判定した場合には（ステップ S 1 1 4 ; Y e s）、パルス制御部 1 1 7 は、ステップ S 1 1 5 のような発生タイミングの調整を行わない。そのため、第 1 パルス P A 1 及び第 2 パルス P A 2 は、良好な発生タイミングを維持することができる。従って、第 1 反射波 R W 1 が受信された時期を正確に追跡することが可能になる。

【 0 1 2 0 】

図 7 を再び参照する。

時間取得部 1 1 8 は、送出時期 T S 1 と受信時期 T R 1 とに基づいて、第 1 時間を求める（ステップ S 1 0 3）。

【 0 1 2 1 】

詳細には例えば、時間取得部 1 1 8 は、ステップ S 1 0 1 が実行された時期に基づいて、第 1 音波 S W 1 の送出時期 T S 1 を特定する。

【 0 1 2 2 】

また例えば、時間取得部 1 1 8 は、ステップ S 1 0 2 での第 1 反射波 R W 1 の検出結果に基づいて、第 1 反射波 R W 1 の受信時期 T R 1 を特定する。本実施の形態では、時間取得部 1 1 8 は、ステップ S 1 1 6 にて特定された第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心に対応する時期を第 1 反射波 R W 1 の受信時期 T R 1 として取得する。

【 0 1 2 3 】

第 1 受信信号 R S 1 は、上述の通り、第 1 送受信部 1 0 2 が受信した音に応じて出力される信号である。そのため、第 1 受信信号 R S 1 は、第 1 反射波 R W 1 だけでなく、ノイズに対応する信号を含むことがある。また、一般的に、音響導波管では第 1 反射波 R W 1 の振幅変動が大きい。このような場合であっても、ステップ S 1 1 4 のように第 1 反射波 R W 1 の全面積の中央値を用いることで、第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を精度良く検出することができる。従って、第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を精度良く特定し、

10

20

30

40

50

第 1 時間を正確に求めることができる。

【 0 1 2 4 】

そして、時間取得部 118 は、送出時期 TS1 と受信時期 TR1 との差に基づいて、第 1 時間を取得する。なお、第 1 時間を取得する方法は、これに限られず、時間取得部 118 は、第 1 音波 SW1 の送出時期 TS1 から、第 1 反射波 RW1 の受信時期 TR1 までの時間を計測することで、第 1 時間を取得してもよい。

【 0 1 2 5 】

距離取得部 119 は、ステップ S103 にて求められた第 1 時間に基づいて、第 1 送受信部 102 と第 1 反射部 105 との間の距離である伝播距離 DTなどを求める（ステップ S104）。

10

【 0 1 2 6 】

第 1 時間は、第 1 音波 SW1 が第 1 送受信部 102 と第 1 反射部 105 との間を往復する時間である。そのため、伝播距離 DTは、音速を v とすると、 $DT = v \times \text{第 1 時間} / 2$ の演算により求められる。

【 0 1 2 7 】

音速 v (m/s) は、温度を T () として、例えば、 $v = 331.5 + 0.6071 \times T$ の演算により求められる。音速を決定するための温度には、例えば第 1 音響導波管 101 の近傍で測定された気温が採用されるとよい。第 1 音響導波管 101 が屋外に配置される場合、温度 T () は、一般的に、マイナス数度 ~ 50 度程度である。

【 0 1 2 8 】

20

また例えば、第 1 音響導波管 101 の近傍の複数の測定点で温度を計測し、その平均値が音速を決定するための温度に採用されてもよい。距離取得部 119 は、例えばユーザの入力により、音速 v を取得してもよい。また、距離取得部 119 は、例えばユーザの入力により、温度 T を取得し、取得した温度と上述の式に基づいて音速 v を取得してもよい。

【 0 1 2 9 】

本実施の形態では、上述の通り、第 1 送受信部 102 と第 1 反射部 105 とはそれぞれ基準点 P1 と測定点 P2 とに対して固定されている。距離取得部 119 は、第 1 送受信部 102 と基準点 P1 との位置関係として、第 1 送受信部 102 と基準点 P1 との間の距離を予め保持するとよい。また、距離取得部 119 は、第 1 反射部 105 と測定点 P2 との位置関係として、第 1 反射部 105 と測定点 P2 との間の距離を予め保持するとよい。距離取得部 119 は、例えば、予め保持されたこれらの距離と、伝播距離 DTとに基づいて、基準点 P1 と測定点 P2 との間の距離 R を求める。

30

【 0 1 3 0 】

距離取得部 119 は、履歴記憶部 111 に記憶された測定情報を参照し、過去に求めた伝播距離 DT及び距離 R を取得する。距離取得部 119 は、ステップ S104 にて求めた現在の伝播距離 DTと、過去に求めた伝播距離 DTとの差に基づいて、伝播距離 DTの変化 ΔDT を取得する。同様に、距離取得部 119 は、ステップ S104 にて求めた現在の距離 R と、過去に求めた距離 R との差に基づいて、距離 R の変化 ΔR を取得する。

【 0 1 3 1 】

距離取得部 119 は、ステップ S104 で求めた伝播距離 DTなどを含む測定情報 111a を生成する（ステップ S105）。距離取得部 119 は、生成した測定情報を履歴記憶部 111 に記憶させる。

40

【 0 1 3 2 】

図 9 は、測定情報 111a の構成の一例を示す図である。同図に示す測定情報は、測定時期と、伝播距離 DTと、伝播距離 DTの変化 ΔDT と、距離 R と、距離 R の変化 ΔR とを関連付ける。測定時期は、測定された時期に関する情報であり、測定された日付、時刻などを含む。伝播距離 DT、距離 R、変化 ΔDT 、変化 ΔR は、いずれもステップ S104 で求められる距離又はその変化である。

【 0 1 3 3 】

本実施の形態では、上述の通り、第 1 送受信部 102 と第 1 反射部 105 とは、それぞ

50

れ、基準点 P 1 と測定点 P 2 とに対して固定されている。そのため、変化 D T と変化 R とは概ね等しくなる。そのため、距離 R 自体を管理せず、その変化 R を管理する場合には、第 1 送受信部 1 0 2 と基準点 P 1 との位置関係や、第 1 反射部 1 0 5 と測定点 P 2 との位置関係は、距離取得部 1 1 9 に予め保持されなくてもよい。

【 0 1 3 4 】

また、第 1 送受信部 1 0 2 と第 1 反射部 1 0 5 はそれぞれ基準点 P 1 と測定点 P 2 に関連付けられていればよく、例えば、例えば、第 1 送受信部 1 0 2 (例えば、第 1 送受信部 1 0 2 が第 1 音波 S W 1 を送出し第 1 反射波 R W 1 を受信する部位) が、基準点 P 1 とされてもよい。また例えば、第 1 反射部 1 0 5 が測定点 P 2 とされてもよい。

【 0 1 3 5 】

なお、距離取得部 1 1 9 は、伝播距離 D T、その変化 D T、距離 R、その変化 R の少なくとも 1 つを求めればよい。また、測定情報は、距離取得部 1 1 9 が求めた伝播距離 D T、その変化 D T、距離 R、その変化 R の少なくとも 1 つを含めばよい。

【 0 1 3 6 】

通信部 1 1 2 は、ステップ S 1 0 5 で生成した測定情報を通信ネットワーク N を介して外部装置 1 0 7 へ送信し (ステップ S 1 0 6)、測定処理を終了する。

【 0 1 3 7 】

このような測定処理を実行することにより、第 1 送受信部 1 0 2 と第 1 反射部 1 0 5 との間の伝播距離 D T 又はその変化 D T を測定することができる。また、第 1 送受信部 1 0 2 と第 1 反射部 1 0 5 とは異なる 2 点間の距離 R 又はその変化 R を測定する場合であっても、任意の 2 点 (基準点 P 1、測定点 P 2) のそれぞれに関連付けて第 1 送受信部 1 0 2 と第 1 反射部 1 0 5 を設定することで、距離 R 又はその変化 R を測定することができる。

【 0 1 3 8 】

このような測定処理は、例えば 1 日、1 週間、1 ヶ月などの予め定められた時間や、予め定められた時間間隔で実行されてもよい。これにより、測定情報 1 1 1 a の履歴を収集して管理し、例えば、地表面の動きなどを監視することができる。このとき、最初の測定処理で固定又は設置された第 1 固定部材 1 0 3、第 2 固定部材 1 0 4 及び第 1 音響導波管 1 0 1 は、そのまま固定又は設置された状態にしておいて、2 回目以降の測定処理でも用いられるとよい。これにより、繰り返し実行される各測定処理で、共通の基準点 P 1、測定点 P 2 及び第 1 音響導波管 1 0 1 を利用することができるので、距離 R の変化 R を正確に測定することができる。

【 0 1 3 9 】

なお、測定処理は、第 1 時間よりも長い予め定められた時間間隔で、例えば所定回数やユーザから終了の指示を受けるまで、繰り返し実行されてもよい。そして、各測定処理で求められた距離 R、その変化 R などの平均値が、距離 R、その変化 R などとして採用されてもよい。

【 0 1 4 0 】

これまで、本発明の実施の形態 1 に係る測定システム 1 0 0 の動作について説明した。ここから、本実施の形態に係る測定システム 1 0 0 の物理的な構成例について説明する。

【 0 1 4 1 】

(測定システム 1 0 0 の物理的な構成例)

図 1 0 は、第 1 送受信部 1 0 2 の物理的な構成例を示す図である。第 1 送受信部 1 0 2 は、例えば、音波素子 9 1 0 と、音波発生器 9 1 2 と、受信回路 9 1 4 と、A / D (Analog / Digital) 変換器 9 1 6 とを含む。

【 0 1 4 2 】

音波素子 9 1 0 は、パルス状の音波を発生させるとともに音波 (反射波) を受信する素子である。音波素子 9 1 0 は、例えば、圧電素子である。

【 0 1 4 3 】

音波発生器 9 1 2 は、音波素子 9 1 0 にパルス状の音波を発生させる回路である。

10

20

30

40

50

【 0 1 4 4 】

受信回路 9 1 4 は、音波素子 9 1 0 から出力されるアナログ信号を受信する回路である。受信回路 9 1 4 は、例えば、増幅回路、整流回路、フィルタ回路、バッファ回路などから構成される。

【 0 1 4 5 】

A / D 変換器 9 1 6 は、アナログ信号をデジタル信号に変換する回路である。

【 0 1 4 6 】

A / D 変換器 9 1 6 と音波発生器 9 1 2 とは、測定装置 1 0 6 に接続されて、データを送受信する。この接続は、有線であっても無線であってもよい。

【 0 1 4 7 】

第 1 送受信部 1 0 2 は、例えば 1 つのユニットで構成されて、ケース 9 1 8 に収容される。ケース 9 1 8 を含むことによって、音波発生素子を保護することができるとともに、第 1 音響導波管 1 0 1 の音響的な整合をとることができる。

【 0 1 4 8 】

なお、第 1 送受信部 1 0 2 は、配線などで接続された複数のユニットで構成されてもよい。第 1 送受信部 1 0 2 は、音波を発生させる素子と音波を受信する素子とを個別に含んでもよい。

【 0 1 4 9 】

図 1 1 は、測定装置 1 0 6 の物理的な構成例を示す図である。測定装置は、物理的には例えば、バス 1 0 1 0 と、プロセッサ 1 0 2 0 と、メモリ 1 0 3 0 と、ストレージデバイス 1 0 4 0 と、ネットワークインタフェース 1 0 5 0 と、ユーザインタフェース 1 0 6 0 と、入出力インタフェース 1 0 7 0 とを含む。

【 0 1 5 0 】

バス 1 0 1 0 は、プロセッサ 1 0 2 0、メモリ 1 0 3 0、ストレージデバイス 1 0 4 0、ネットワークインタフェース 1 0 5 0、ユーザインタフェース 1 0 6 0、入出力インタフェース 1 0 7 0 が、相互にデータを送受信するためのデータ伝送路である。ただし、プロセッサ 1 0 2 0 などを互いに接続する方法は、バス接続に限定されない。

【 0 1 5 1 】

プロセッサ 1 0 2 0 は、CPU (C e n t r a l P r o c e s s i n g U n i t) や GPU (G r a p h i c s P r o c e s s i n g U n i t) などを実現されるプロセッサである。メモリ 1 0 3 0 は、RAM (R a n d o m A c c e s s M e m o r y) などを実現される主記憶装置である。

【 0 1 5 2 】

ストレージデバイス 1 0 4 0 は、HDD (H a r d D i s k D r i v e)、SSD (S o l i d S t a t e D r i v e)、メモリカード、又は ROM (R e a d O n l y M e m o r y) などを実現される補助記憶装置である。ストレージデバイス 1 0 4 0 は、測定装置 1 0 6 の機能を実現するためのプログラムモジュールを記憶している。プロセッサ 1 0 2 0 がこれら各プログラムモジュールをメモリ 1 0 3 0 に読み込んで実行することで、そのプログラムモジュールに対応する機能が実現される。

【 0 1 5 3 】

ネットワークインタフェース 1 0 5 0 は、測定装置 1 0 6 を通信ネットワーク N に接続するためのインタフェースである。

【 0 1 5 4 】

ユーザインタフェース 1 0 6 0 は、ユーザが情報を入力するためのインタフェースとしてのタッチパネル、キーボード、マウスなど、及び、ユーザに情報を提示するためのインタフェースとしての液晶パネルなどである。

【 0 1 5 5 】

入出力インタフェース 1 0 7 0 は、第 1 送受信部 1 0 2 との間で信号を送受信するためのインタフェースである。

【 0 1 5 6 】

10

20

30

40

50

以上、本発明の実施の形態 1 について説明した。

【0157】

(作用・効果)

本実施の形態によれば、測定システム 100 は、第 1 音響導波管 101 と、第 1 送受信部 102 と、測定装置 106 とを備える。第 1 音響導波管 101 は、パルス状の第 1 音波 SW1 を伝播させるための部材である。第 1 送受信部 102 は、第 1 音波 SW1 を第 1 音響導波管 101 の内部へ送出し、第 1 音波 SW1 が第 1 音響導波管 101 の内部の第 1 反射部 105 で反射した反射波 (第 1 反射波 RW1) を受信する。測定装置 106 は、第 1 音波 RW1 が送出されてから反射波 (第 1 反射波 RW1) が受信されるまでの第 1 時間に基づいて、第 1 送受信部 102 と第 1 反射部 105 との間の距離 DT 又はその変化 DT を求める。 10

【0158】

また本実施の形態によれば、測定装置 106 は、音波制御部 108 と、検出部 109 と、測定部 110 とを備える。音波制御部 108 は、パルス状の第 1 音波 SW1 を第 1 送受信部 102 に送出させる。検出部 109 は、第 1 音波 SW1 が第 1 音響導波管 101 の内部の第 1 反射部 105 で反射した反射波 (第 1 反射波 RW1) の受信を検出する。測定部 110 は、第 1 音波 SW1 が送出されてから反射波 (第 1 反射波 RW1) が受信されるまでの第 1 時間に基づいて、第 1 送受信部 102 と第 1 反射部 105 との間の距離 DT 又はその変化 DT を求める。

【0159】

これにより、第 1 送受信部 102 と第 1 反射部 105 を任意の 2 点 (基準点 P1、測定点 P2) に関連付けて設定することで、任意の 2 点間の距離 R 又はその変化 R を測定することができる。従って、音波を用いて任意の 2 点間の距離 R 又はその変化 R を測定することが可能になる。 20

【0160】

また、第 1 音波 SW1 及び第 1 反射波 RW1 は第 1 音響導波管 101 の内部を伝播する。そのため、第 1 音波 SW1 及び第 1 反射波 RW1 の伝播領域を限定するとともに、これらの伝播に対する外部の影響を受け難くすることができる。そのため、第 1 音波 SW1 及び第 1 反射波 RW1 を安定して伝播させることができる。従って、音波を用いて任意の 2 点間の距離 R 又はその変化 R を、安定的にかつ容易に測定することが可能になる。 30

【0161】

また、測定システム 100 は機械的な可動部を殆ど含まないため、堅牢かつコンパクトな測定システム 100 を提供することが可能になる。さらに、音波素子 910 は一般的に比較的安価である。そのため、電波、光などを用いて距離を測定する場合に比べて、経済的に優れた測定システム 100 を提供することが可能になる。

【0162】

一般的に、距離を測定するために、光、電波、音波が用いられることがある。しかし、光、電波、音波を用いる場合、基準点 P1 と測定点 P2 との間には、これらが伝播するための直線的な空間が必要になり、その間に入り込む障害物があると、距離の測定が困難になる可能性がある。特に例えば基準点 P1 や測定点 P2 の一方又は両方を屋外に設定する場合、一般的な光、電波、音波を用いて距離を測定すると、雨、雪、霧、植生、地表面の凹凸、石などの測定環境の影響で、距離の測定が困難になることがある。さらに、測定環境の影響で、予期せぬ反射に起因するマルチパスルなどが生じて測定結果の誤差が大きくなることもある。 40

【0163】

本実施の形態に係る測定システム 100 では、基準点 P1 と測定点 P2 との間に第 1 音響導波管 101 を設置すればよい。例えば、基準点 P1 と測定点 P2 との間の直線的な空間を確保することが困難な場合であっても、第 1 音響導波管 101 を設置することは容易であることが多い。また、上述の通り、第 1 音波 SW1 及び第 1 反射波 RW1 の伝播領域を限定するとともに、これらの伝播に対する外部の影響を受け難くすることができるので 50

、測定環境の影響を受け難くなる。そのため、一般的に距離の測定が困難である場合や、測定結果の誤差が大きくなる場合であっても、音波を用いて任意の２点間の距離 R 又はその変化 R を、安定的にかつ容易に測定することが可能になる。

【 0 1 6 4 】

屋外で長期にわたって２点間の距離 R 又はその変化 R を観測する場合などであっても、金属、樹脂、ゴムなどで作られた第１音響導波管 1 0 1 であれば、損傷し難い。これによっても、音波を用いて任意の２点間の距離 R 又はその変化 R を、安定的にかつ容易に測定することが可能になる。

【 0 1 6 5 】

また、第１音響導波管 1 0 1 の損傷のおそれがある場合には、測定システム 1 0 0 は、第１音響導波管 1 0 1 を内部に収容する保護管をさらに備えてもよい。これにより、より牽牛な測定システム 1 0 0 を提供することが可能になる。

【 0 1 6 6 】

本実施の形態によれば、第１反射部 1 0 5 は、第１音響導波管 1 0 1 の内部で移動可能である。これにより、第１反射部 1 0 5 を測定点 P 2 に容易に関連付けて位置付けることができる。従って、音波を用いて任意の２点間の距離 R 又はその変化 R を、容易に測定することが可能になる。

【 0 1 6 7 】

特に複数回にわたって２点間の距離 R 又はその変化 R を観測する場合には、例えば、初回の測定時に配置した第１音響導波管 1 0 1 を、第１送受信部 1 0 2 を取り付けるとともに第１反射部 1 0 5 を内部に配置した状態で置いておくことよい。第１反射部 1 0 5 が移動するので、同じ２点間の距離 R 又はその変化 R の測定を容易に繰り返すことができる。従って、音波を用いて任意の２点間の距離 R 又はその変化 R を、複数回にわたって容易に測定することが可能になる。

【 0 1 6 8 】

本実施の形態によれば、第１送受信部 1 0 2 を基準点 P 1 に対して固定するための第１固定部材 1 0 3 を備える。これにより、第１送受信部 1 0 2 を基準点 P 1 に容易に関連付けることができる。従って、音波を用いて任意の２点間の距離 R 又はその変化 R を、容易に測定することが可能になる。

【 0 1 6 9 】

特に複数回にわたって２点間の距離 R 又はその変化 R を観測する場合には、第１送受信部 1 0 2 を基準点 P 1 に対して固定して位置付けておくことができる。従って、音波を用いて任意の２点間の距離 R 又はその変化 R を、複数回にわたって容易に測定することが可能になる。

【 0 1 7 0 】

本実施の形態によれば、第１音響導波管 1 0 1 の内部に配置される第１反射部 1 0 5 を含んでおり、第１反射部 1 0 5 を測定点 P 2 に対して固定するための第２固定部材 1 0 4 を備える。これにより、第１反射部 1 0 5 を測定点 P 2 に容易に関連付けることができる。従って、音波を用いて任意の２点間の距離 R 又はその変化 R を、容易に測定することが可能になる。

【 0 1 7 1 】

特に複数回にわたって２点間の距離 R 又はその変化 R を観測する場合には、第１反射部 1 0 5 を測定点 P 2 に対して固定して位置付けておくことができる。従って、音波を用いて任意の２点間の距離 R 又はその変化 R を、複数回にわたって容易に測定することが可能になる。

【 0 1 7 2 】

本実施の形態によれば、第１音響導波管 1 0 1 は、可撓性を有する。これにより、凹凸、障害物などがある場所であっても、第１音響導波管 1 0 1 を容易に配置することができる。従って、音波を用いて任意の２点間の距離 R 又はその変化 R を、容易に測定することが可能になる。

10

20

30

40

50

【0173】

本実施の形態によれば、第1反射波RW1が受信される時期TR1は、第1送受信部102が第1反射波RW1の時間軸上の中心を受信した時期である。測定装置106は、第1送受信部102から出力される第1受信信号RS1に基づいて、第1送受信部102が受信する第1反射波RW1の時間軸上の中心を検出する。

【0174】

これにより、第1反射波RW1の受信時期TR1を正確に取得することができる。また、測定を繰り返す場合、いずれの測定においても、第1反射波RW1の時間軸上の中心に基づいて、その受信時期TR1を決定することができる。そのため、測定のたびに、第1反射波RW1の時間軸上の異なる点に基づいてその受信時期TR1を決定することが殆どなくなるので、第1反射波RW1の受信時期TR1を安定して取得することができる。従って、音波を用いて任意の2点間の距離R又はその変化Rを、精度良く安定して測定することが可能になる。

10

【0175】

本実施の形態によれば、第1送受信部102は、圧電素子を含む。圧電素子は一般的に比較的安価な素子である。従って、経済的に優れた測定システム100を提供することが可能になる。

【0176】

本実施の形態によれば、距離DT, R、距離の変化DT, Rの少なくとも1つを含む測定情報111aを外部装置107へ送信する通信部112を備える。これにより、基準点P1や測定点P2から離れた場所においても、測定情報111aを容易に管理することができる。従って、音波を用いて任意の2点間の距離R又はその変化Rを、容易に管理することが可能になる。

20

【0177】

<変形例1>

第1反射信号FS1が第1受信信号RS1のどこに含まれるか分からない場合、反射波検出部114は、第1反射波RW1を検出するために、時間軸に沿って広範囲の第1受信信号RS1を探索する必要がある。そこで、第1生成部113及び第2生成部116は、第1反射波RW1を探索するためのサーチモードと、第1反射波RW1を精度良く検出するための測距モードとで、パルス幅PT2, PT3を変更してもよい。

30

【0178】

例えば、サーチモードでのパルス幅PT2, PT3は、測距モードでのパルス幅PT2, PT3よりも大きいパルス幅が採用されるとよい。測距モードでのパルス幅PT2, PT3は、例えば、第1反射波RW1のパルス幅の2倍程度が採用されるとよい。

【0179】

詳細には例えば、パルス幅PT2, PT3の初期値には、サーチモードでのパルス幅PT2, PT3が設定されるとよい。そして、第1反射波RW1を検出していない間、第1生成部113及び第2生成部116は、サーチモードでのパルス幅PT2, PT3で第1パルスPA1及び第2パルスPA2を発生させるとよい。第1反射波RW1を検出した後に、第1生成部113及び第2生成部116は、測距モードでのパルス幅PT2, PT3で第1パルスPA1及び第2パルスPA2を発生させるとよい。

40

【0180】

図12は、本変形例に係る検出処理(ステップS102)の詳細例を示すフローチャートである。

【0181】

実施の形態1と同様のステップS111の後に、第1生成部113及び第2生成部116は、それぞれ、サーチモードで第1パルスPA1及び第2パルスPA2を発生させる(ステップS112a)。

【0182】

反射波検出部114は、ステップS111にて取得する第1受信信号RS1と、ステッ

50

ブ S 1 1 2 a にて発生した第 1 パルス P A 1 とに基づいて、第 1 反射波 R W 1 を検出したか否かを判定する（ステップ S 1 1 3 a）。ここでの第 1 反射波 R W 1 を検出する方法は、ステップ S 1 1 3 と同様でよい。

【 0 1 8 3 】

反射波 R W 1 を検出していないと判定された場合（ステップ S 1 1 3 a ; N o ）、反射波検出部 1 1 4 は、ステップ S 1 1 2 a に戻る。第 1 反射波 R W 1 を検出したと判定された場合（ステップ S 1 1 3 a ; Y e s ）、第 1 生成部 1 1 3 及び第 2 生成部 1 1 6 は、それぞれ、測距モードで第 1 パルス P A 1 及び第 2 パルス P A 2 を発生させる（ステップ S 1 1 2 b ）。

【 0 1 8 4 】

反射波検出部 1 1 4 は、ステップ S 1 1 3 a にて第 1 反射波 R W 1 を検出したと判定された第 1 受信信号 R S 1 と、ステップ S 1 1 2 b にて発生した第 1 パルス P A 1 とに基づいて、第 1 反射波 R W 1 を検出したか否かを判定する（ステップ S 1 1 3 b ）。ここでの第 1 反射波 R W 1 を検出する方法は、ステップ S 1 1 3 と同様でよい。

【 0 1 8 5 】

反射波 R W 1 を検出していないと判定された場合（ステップ S 1 1 3 b ; N o ）、第 1 生成部 1 1 3 及び第 2 生成部 1 1 6 は、ステップ S 1 1 2 b を再び実行する。

【 0 1 8 6 】

第 1 反射波 R W 1 を検出したと判定された場合（ステップ S 1 1 3 b ; Y e s ）、パルス制御部 1 1 7 は、ステップ S 1 1 3 b にて第 1 反射波 R W 1 を検出したと判定された第 1 受信信号 R S 1 と、ステップ S 1 1 2 b で発生した第 2 パルス P A 1 とに基づいて、第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を検出したか否かを判定する（ステップ S 1 1 4 ）。ここでの第 1 反射波 R W 1 の時間軸上の中心を検出する方法は、実施の形態 1 のステップ S 1 1 4 と同様でよい。

【 0 1 8 7 】

続けて、実施の形態 1 と同様のステップ S 1 1 5 ~ S 1 1 6 が実行されるとよい。

【 0 1 8 8 】

本変形例によれば、第 1 反射波 R W 1 を検出する前のパルス幅 P T 2 , P T 3 を、第 1 反射波 R W 1 を検出した後のパルス幅 P T 2 , P T 3 よりも大きくする。これにより、第 1 反射波 R W 1 を速く検出することができる。従って、音波を用いて任意の 2 点間の距離 R 又はその変化 R を速く測定することが可能になる。

【 0 1 8 9 】

< 実施の形態 2 >

実施の形態 1 で説明したように、第 1 時間に基づいて伝播距離 D T を求めるために、音速 v を用いる。しかし、特に第 1 音響導波管 1 0 1 が屋外に配置されている場合などには、第 1 音響導波管 1 0 1 の一部に直射日光が当たり、残部が日陰になるなど、第 1 音響導波管 1 0 1 の内部における全体的な温度を測定することが難しく、その結果、音速 v を正確に求めることが難しいことがある。

【 0 1 9 0 】

実施の形態 2 では、第 1 音響導波管 1 0 1 に並べて設けた第 2 音響導波管を用いて、第 1 音響導波管 1 0 1 の内部における音速 v を求める例を説明する。本実施の形態では、説明を簡潔にするため、実施の形態 1 と異なる点を主に説明し、重複する説明は適宜省略する。

【 0 1 9 1 】

本発明の実施の形態 2 に係る測定システム 2 0 0 は、その構成例を図 1 3 に示すように、実施の形態 1 と同様の第 1 音響導波管 1 0 1、第 1 送受信部 1 0 2、第 1 固定部材 1 0 3、第 1 反射部 1 0 5、第 2 固定部材 1 0 4 及び外部装置 1 0 7 を備える。測定システム 2 0 0 は、実施の形態 1 に係る測定装置 1 0 6 に代わる測定装置 2 0 6 を備える。測定システム 2 0 0 は、さらに、第 2 音響導波管 2 2 0 と、第 2 送受信部 2 2 1 と、第 2 反射部 2

10

20

30

40

50

23を含む固定部材222を備える。

【0192】

第2音響導波管220は、音響導波管である。第2音響導波管220は、パルス状の第2音波SW2を伝播させるために、第1音響導波管101に並べて設けられる。第2音響導波管220の長さは、第1音響導波管101の長さと同程度であってもよいが、適宜変更されてもよい。

【0193】

第2音響導波管220は、第1音響導波管101の近傍に分離して並べられてもよいが、第1音響導波管101とともに共通の収容管(図示せず)の中に収容されてもよい。これにより、第1音響導波管101及び第2音響導波管220を保護することができる。また、第1音響導波管101と第2音響導波管220とを並べて配置することが容易になる。

10

【0194】

第2音響導波管220は、音波が内部で伝播する環境を第1音響導波管101とできるだけ同じにするために、第1音響導波管101と同じ材料で作られることが望ましい。また、第2音響導波管220は、第1音響導波管101同径であることが望ましい。

【0195】

第2送受信部221は、第2音波SW2を第2音響導波管220の内部へ送出し、第2音波SW2が第2音響導波管220の内部の第2反射部223で反射した第2反射波RW2を受信する。第2送受信部221の構成の詳細は、第1送受信部102と同様でよい。

20

【0196】

すなわち、第2送受信部221は、測定装置206からの送出信号を受けて、第2音波SW2を発生させる。第2送受信部221は、音波を受信すると、受信した音に応じた第2受信信号RS2を測定装置206へ出力する。第2送受信部221が第2反射波RW2を受信すると、第2送受信部221から出力される第2受信信号RS2は、第2反射波RW2に応じた第2反射信号FS2を含む。また、第2送受信部221は、第2反射波RW1以外のノイズを受信し、ノイズに応じたノイズ信号を含む第2受信信号RS2を出力することがある点も、第1送受信部102と同様である。

【0197】

第2送受信部221は、例えば、第2音響導波管220の一端又は一端近傍に配置される。本実施の形態では、第2送受信部221は、第2音響導波管220の一端に固定される。

30

【0198】

第2反射部223は、第2送受信部221から送出された第2音波SW2を反射する部位であり、第2音響導波管220の内部に配置される。第2反射部223は、実施の形態1に係る第1反射部105と同様に構成されてもよいが、本実施の形態では固定部材222に含まれる。固定部材222は、円板状の部材であり、第2音響導波管220の他端又は他端近傍に配置される。

【0199】

本実施の形態では、固定部材222は、第2音響導波管220の他端に嵌まって固定される。第2反射部223は、固定部材222が有する2つの主面のうち、第2送受信部221に対向する面を形成する部位である。第2反射部223は、例えば平面を形成する。なお、第2反射部223は、第2音波SW2を反射する形状であればよく、平面に限らず、曲面等であってもよい。なお、固定部材222の形状は、平板状に限られず、適宜変更されてもよい。

40

【0200】

第2送受信部221と第2反射部223が第2音響導波管220に固定されるので、第2送受信部221と第2反射部223との間の距離である参照距離RDは、概ね一定である。参照距離RDは、予め測定されて既知である。

【0201】

50

(測定装置 206 の機能的な構成例)

測定装置 206 は、実施の形態 1 に係る測定装置 106 と同様の機能を備える。測定装置 206 は、さらに、第 2 時間と参照距離 RD とに基づいて、音速 v を求める。第 2 時間は、第 2 送受信部 221 によって第 2 音波 SW2 が送出されてから第 2 反射波 RW2 が受信されるまでの時間である。

【0202】

本実施の形態では、測定装置 206 が音速 v を求めるために、実施の形態 1 に係る測定装置 106 が備える機能に追加して備える機能について主に説明する。

【0203】

測定装置 206 は、その機能的な構成例を図 14 に示すように、実施の形態 1 と同様の測定部 110、履歴記憶部 111 及び通信部 112 を備える。測定装置 206 は、実施の形態 1 に係る音波制御部 108 及び検出部 109 に代わる音波制御部 208 及び検出部 209 を備える。測定装置 206 は、さらに、音速測定部 224 を備える。

【0204】

音波制御部 208 は、実施の形態 1 に係る音波制御部 108 と同様の機能を備える。音波制御部 208 は、さらに、パルス状の第 2 音波 SW2 を第 2 送受信部 221 に送出させる。第 2 音波 SW2 は、第 1 音波 SW1 と同様である。ただし、第 2 音波 SW2 の大きさ、パルス幅の一方又は両方は、第 1 音波 SW1 の大きさ A1、パルス幅 PT1 と異なってもよい。

【0205】

検出部 209 は、実施の形態 1 に係る検出部 109 と同様の機能を備える。検出部 209 は、さらに、第 2 送受信部 221 が第 2 反射波 RW2 を受信したことを検出する。例えば、検出部 209 は、第 2 送受信部 221 から出力される第 2 受信信号 RS2 に基づいて、第 2 送受信部 221 が第 2 反射波 RW2 を受信したことを検出する。

【0206】

検出部 209 は、実施の形態 1 に係る検出部 109 (第 1 生成部 113、反射波検出部 114、中心特定部 115、第 2 生成部 116、パルス制御部 117) の説明において、「第 1 送受信部 102」「第 1 反射波 RW1」のそれぞれを「第 2 送受信部 221」「第 2 反射波 RW2」に置き換えた機能をさらに備える。

【0207】

これにより、検出部 209 は例えば、第 2 受信信号 RS2 と第 1 パルス PA1 とに基づいて、第 2 反射波 RW2 を検出する。また例えば、検出部 209 は、第 2 送受信部 221 が受信した第 2 反射波 RW2 の時間軸上の中心を特定する。

【0208】

音速測定部 224 は、第 2 時間と参照距離 RD とに基づいて、音速 v を求める。

【0209】

詳細には、音速測定部 224 は、第 2 音波 SW2 の送出時期 TS2 と第 2 反射波 RW2 の受信時期 TR2 とに基づいて、第 2 時間を求める。送出時期 TS2 は、第 2 送受信部 221 が第 2 音波 SW2 を送出した時期であり、例えば、第 2 送受信部 221 が第 2 音波 SW2 の時間軸上の中心を送出した時期である。受信時期 TR2 は、第 2 送受信部 221 が第 2 反射波 RW2 を受信した時期であり、例えば、第 2 送受信部 221 が第 2 反射波 RW2 の時間軸上の中心を受信した時期である。

【0210】

これまで、本発明の実施の形態 2 に係る測定システム 200 の機能的な構成について主に説明した。ここから、本実施の形態に係る測定システム 200 の動作について説明する。

【0211】

(測定システム 200 の動作)

測定システム 200 は、実施の形態 1 と同様の測定処理を実行する。これに加えて、測定システム 200 は、図 15 にフローチャートの一例を示す音速測定処理を実行する。音

10

20

30

40

50

速測定処理は、音速 v を測定するための処理である。

【0212】

測定処理を開始する前に、第2音響導波管220が第1音響導波管101とともに基準点P1と測定点P2との間に配置される。第2送受信部221は、第2音響導波管220の一端に固定される。固定部材222（第2反射部223）は、第2音響導波管220の他端に固定される。

【0213】

このような準備の後に、測定装置206は、例えばユーザからの指示に応じて音速測定処理を開始する。

【0214】

音波制御部208は、第2送受信部221に第2音波SW2を送出させる。例えば、音波制御部208は、第2音波SW2を送出させるための送出信号を第2送受信部221に出力する。これに応じて、第2送受信部221は、第2音波SW2を送出する（ステップS201）。

【0215】

ステップS201において、ステップS101と同様に、第2送受信部221は、1つのパルス状の第2音波SW2を送出するとよい。ステップS201を実行した後、第2送受信部221は、第2音響導波管220の内部の音波を受信し、受信した音波に応じた第2受信信号RS2を出力する。

【0216】

検出部209は、第2送受信部221から出力される第2受信信号RS2に基づいて、第2送受信部221が第2反射波RW2を受信したことを検出する（ステップS202）。

【0217】

検出処理（ステップS202）の詳細は、実施の形態1に係る検出処理（ステップS102）と概ね同様でよい。すなわち、検出処理（ステップS202）では、実施の形態1に係る検出処理（ステップS102）の説明において、「第1送受信部102」「第1受信信号RS1」「第1反射波RW1」「ステップS101」「第1時間」のそれぞれを、「第2送受信部221」「第2受信信号RS2」「第2反射波RW2」「ステップS201」「第2時間」に置き換えた処理が実行される。

【0218】

音速測定部224は、送出時期TS2と受信時期TR2とに基づいて、第2時間を求める（ステップS203）。

【0219】

ステップS203の詳細は、実施の形態1に係るステップS103と概ね同様でよい。すなわち、ステップS203では音速測定部224が、実施の形態1に係るステップS103の説明において、「第1送受信部102」「第1音波SW1」「第1反射波RW1」「ステップS101」「第1時間」のそれぞれを、「第2送受信部221」「第2音波SW2」「第2反射波RW2」「ステップS201」「第2時間」に置き換えた処理を実行する。

【0220】

音速測定部224は、ステップS203にて求めた第2時間で参照距離RDを除することによって音速 v を求め（ステップS204）、音速測定処理を終了する。

【0221】

音速測定処理を実行することで、第2音響導波管220における音速 v を求めることができる。第1音響導波管101は、第2音響導波管220に並べて設けられている。そのため、第2音響導波管220における音速 v は、通常、第1音響導波管101における音速 v と概ね等しい。従って、第1音響導波管101における音速 v を求めることができる。

【0222】

10

20

30

40

50

測定処理では、音速測定処理で求めた音速 v を用いて、伝播距離 D を求めるとよい。

【0223】

物理的には、第2送受信部221、測定装置206は、第1送受信部102、測定装置106のそれぞれと同様に構成されるとよい。

【0224】

以上、本発明の実施の形態2について説明した。

【0225】

(作用・効果)

本実施の形態によれば、測定システム200は、第2音響導波管220と、第2反射部223と、第2送受信部221とを備える。測定装置206は、音速測定部224を備える。

10

【0226】

第2音響導波管220は、第1音響導波管101に並べて設けられ、パルス状の第2音波 SW_2 を伝播させるための部材である。第2反射部223は、第2音響導波管220に配置され、第2音波 SW_2 を反射する。第2送受信部221は、第2音波 SW_2 を第2音響導波管220の内部へ送出し、第2音波 SW_2 が第2反射部223で反射した第2反射波 RW_2 を受信する。音速測定部224は、第2音波 SW_2 が送出されてから第2反射波 RW_2 が受信されるまでの第2時間と、第2送受信部221と第2反射部223との間の距離(参照距離 RD)と、に基づいて、音速 v を求める。

【0227】

20

第2音響導波管220における音速 v を求めることができる。上述の通り、第2音響導波管220における音速 v は、通常、第1音響導波管101における音速 v と概ね等しいので、第1音響導波管101における音速 v を求めることができる。従って、音波を用いて任意の2点間の距離又はその変化を、精度良く測定することが可能になる。

【0228】

<実施の形態3>

実施の形態1では、測定システム100が第1反射部105(第2固定部材104)を備える例を説明した。しかし、第1反射部は液面であってもよい。実施の形態3では、第1反射部が液面の例を説明する。本実施の形態では、説明を簡潔にするため、実施の形態1と異なる点を主に説明し、重複する説明は適宜省略する。

30

【0229】

本発明の実施の形態3に係る測定システム300は、その構成例を図16に示すように、実施の形態1に係る第1音響導波管101に代わる第1音響導波管301と、実施の形態1と同様の第1送受信部102、測定装置106及び外部装置107とを備える。

【0230】

第1音響導波管301は、実施の形態1と同様に、音波を伝播させるための中空の管である。本実施の形態に係る第1音響導波管301は、実施の形態1に係る第1音響導波管101とは、設置態様が異なる。第1音響導波管301は、下端から内部の途中まで液体が満たされ、その液面が反射部305となる。このような反射部305は、実施の形態1に係る第1反射部105と同様に、第1音響導波管301の内部で移動可能である。

40

【0231】

例えば、図16に例示するように、第1音響導波管301は、地中に埋設される。この場合、第1音響導波管301の途中まで満たす液体は、例えば、地下水である。また例えば、図示しないが、第1音響導波管301は、液体が内部に注入される連通管の一部であってもよく、この場合に、第1音響導波管301の途中まで満たす液体は、水などの適宜の液体でよい。

【0232】

第1音響導波管301は、設置態様を除いて、実施の形態1に係る第1音響導波管10

50

１と同様に構成されてよい。例えば、第１音響導波管３０１の形状、寸法、材料、材質などは、実施の形態１に係る第１音響導波管１０１と同様であってもよく、適宜変更されてもよい。

【０２３３】

本実施の形態では、第１送受信部１０２は、第１音響導波管３０１の上端又は上端近傍に固定される。これにより、第１送受信部１０２は、実施の形態１と同様に、第１音波ＳＷ１を第１音響導波管１０１の内部へ送出し、第１音波ＳＷ１が第１音響導波管１０１の内部の第１反射部１０５で反射した第１反射波ＲＷ１を受信する。

【０２３４】

本実施の形態に係る測定システム３００は、実施の形態１に係る測定システム１００と同様に動作するとよい。

10

【０２３５】

第１送受信部１０２から送出される第１音波ＳＷ１は、反射部３０５で第１音響導波管３０１の内部の第１反射部３０５で反射する。そして、第１送受信部１０２は、第１反射部３０５で反射した第１反射波ＲＷ１を受信する。そのため、測定装置１０６は、実施の形態１と同様に、第１音波ＳＷ１が送出されてから第１反射波ＲＷ１が受信されるまでの第１時間に基づいて、第１送受信部１０２と第１反射部３０５との間の距離ＤＴ又はその変化ＤＴを求めることができる。伝播距離ＤＴの変化ＤＴは、実施の形態１と同様に、過去に求めた伝播距離ＤＴと現在の伝播距離ＤＴとに基づいて、伝播距離ＤＴの変化ＤＴを求めることができる。

20

【０２３６】

図１６に示す例では、伝播距離ＤＴは、第１送受信部１０２（例えば、音波を送受信する部位）と、反射部３０５である液面との間の距離である。地表面から地下水の液面までの距離Ｒを測定する場合、例えば、地表面から上方に突き出している部分の長さ（地上長さＬ）を予め測定しておくことよい。そして、距離取得部１１９が地上長さＬを予め保持し、伝播距離ＤＴから地上長さＬを差し引く演算をすることで、距離Ｒを測定することができる。距離Ｒの変化Ｒを求める場合、実施の形態１と同様に、過去に求めた距離Ｒと現在の距離Ｒとに基づいて、距離Ｒの変化Ｒを求める。

【０２３７】

以上、本発明の実施の形態３について説明した。

30

【０２３８】

（作用・効果）

本実施の形態によれば、第１反射部３０５は、第１音響導波管３０１の内部を途中まで満たす液体の液面である。

【０２３９】

これにより、第１音響導波管３０１の内部を途中まで液体を満たすだけで、第１送受信部１０２から液面までの距離などを測定することができる。従って、音波を用いて第１送受信部１０２と液面との距離又はその変化を測定することが可能になる。

【０２４０】

例えば、地下水の水位の変化を測定する場合、第１送受信部１０２を取り付けた第１音響導波管３０１を地中に埋設した状態で置いておけばよい。測定のたびに第１音響導波管３０１を地中に埋設する必要はないので、地下水の水位の変化を容易に測定することができる。

40

【０２４１】

なお、第１音響導波管３０１は、上述したように、液体が内部に注入される連通管の一部であってもよい。これにより、離れた２点の高さの差を測定するための水盛りに適用することができる。従って、離れた２点の高さの差を容易に測定することが可能になる。

【０２４２】

以上、図面を参照して本発明の実施の形態及び変形例について述べたが、これらは本発明の例示であり、上記以外の様々な構成を採用することもできる。例えば、本発明は、こ

50

れまで説明した実施の形態及び変形例の一部又は全部を適宜組み合わせた形態、その形態に適宜変更を加えた形態をも含む。また例えば、方法、処理などに含まれる複数の工程の順番は、内容的に支障のない範囲で変更されてもよい。

【 0 2 4 3 】

例えば、実施の形態 3 においても、実施の形態 2 を適用することができる。第 2 音響導波管 2 2 0 を第 1 音響導波管 3 0 1 に並べて埋めておくことで、第 1 音響導波管 3 0 1 の内部における正確な音速 v を求めて、より正確に測定することができる。

【 符号の説明 】

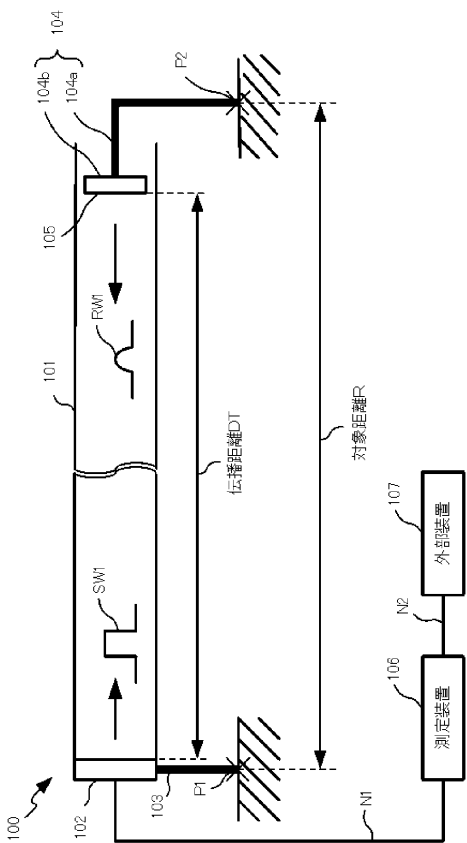
【 0 2 4 4 】

1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0	測定システム	10
1 0 1 , 3 0 1	第 1 音響導波管	
1 0 2	第 1 送受信部	
1 0 3	第 1 固定部材	
1 0 4	第 2 固定部材	
1 0 4 a	固定部	
1 0 4 b	円板部	
1 0 5 , 3 0 5	第 1 反射部	
1 0 6 , 2 0 6	測定装置	
1 0 7	外部装置	
1 0 8 , 2 0 8	音波制御部	20
1 0 9 , 2 0 9	検出部	
1 1 0	測定部	
1 1 1	履歴記憶部	
1 1 1 a	測定情報	
1 1 2	通信部	
1 1 3	第 1 生成部	
1 1 4	反射波検出部	
1 1 5	中心特定部	
1 1 6	第 2 生成部	
1 1 7	パルス制御部	30
1 1 8	時間取得部	
1 1 9	距離取得部	
2 2 0	第 2 音響導波管	
2 2 1	第 2 送受信部	
2 2 2	固定部材	
2 2 3	第 2 反射部	
2 2 4	音速測定部	

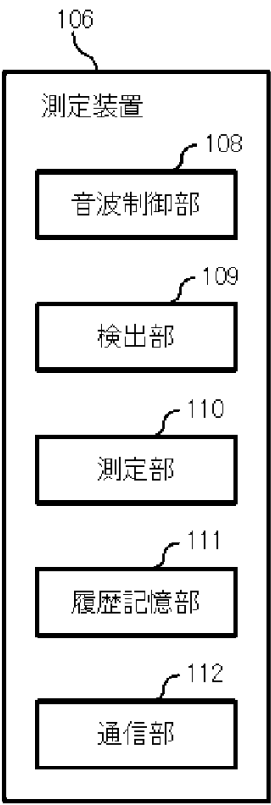
40

50

【図面】
【図 1】



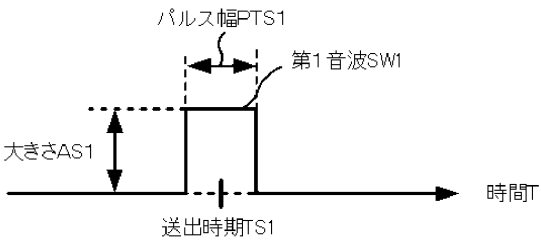
【図 2】



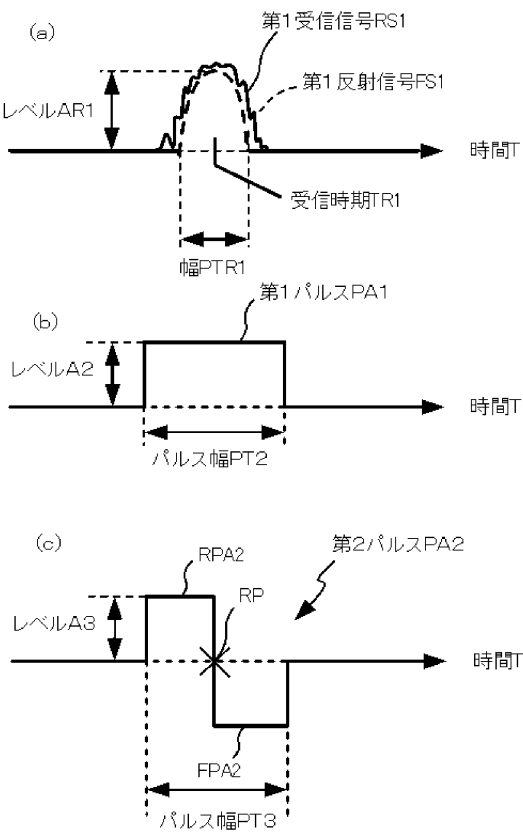
10

20

【図 3】



【図 4】

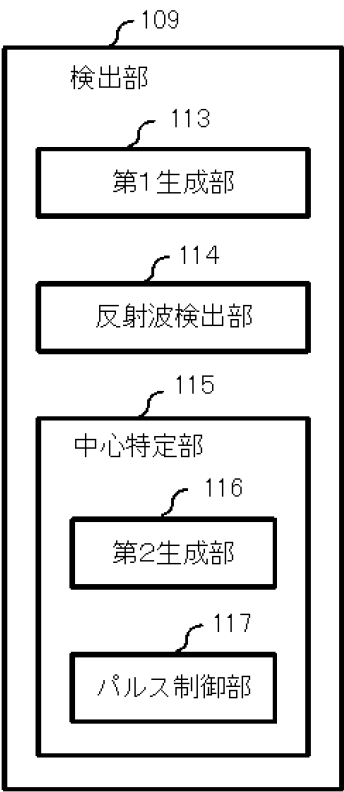


30

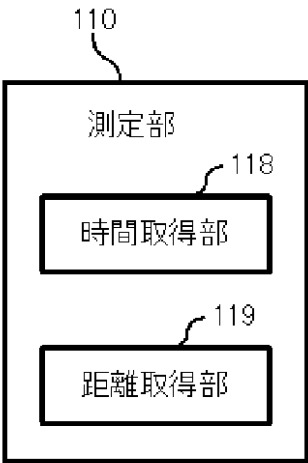
40

50

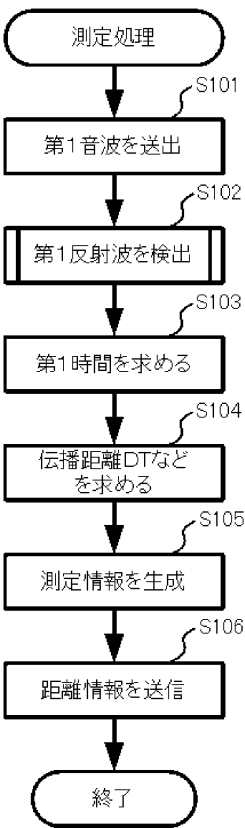
【 図 5 】



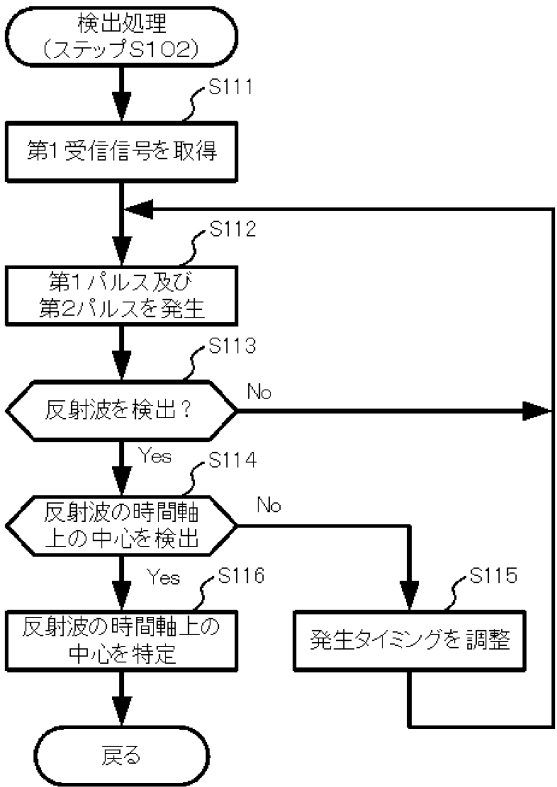
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



10

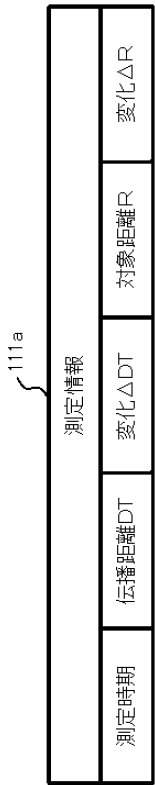
20

30

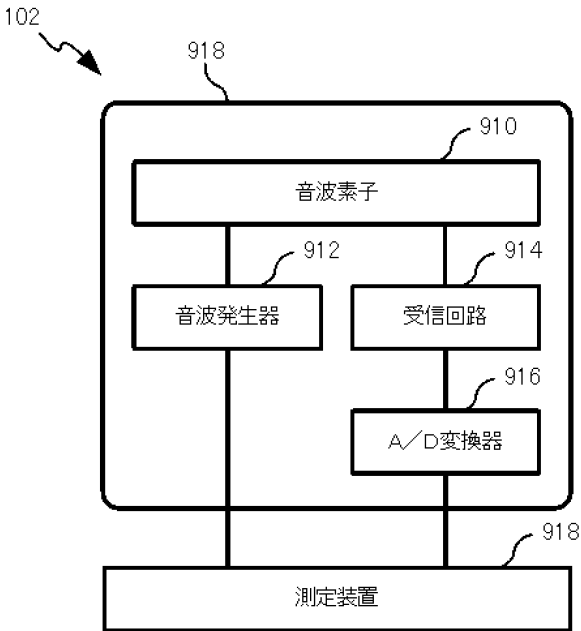
40

50

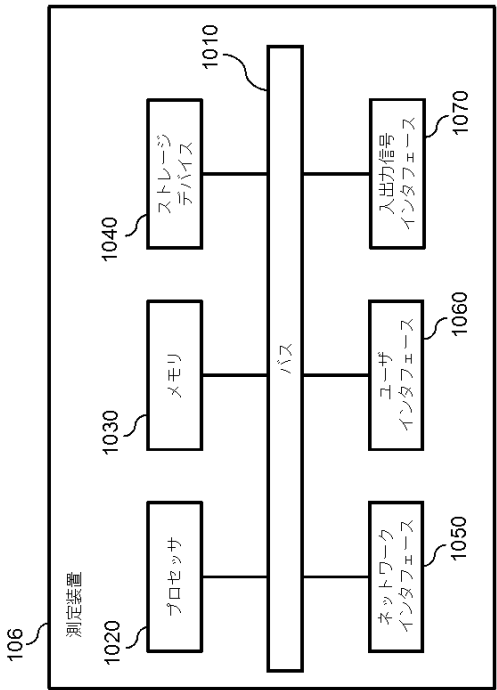
【図 9】



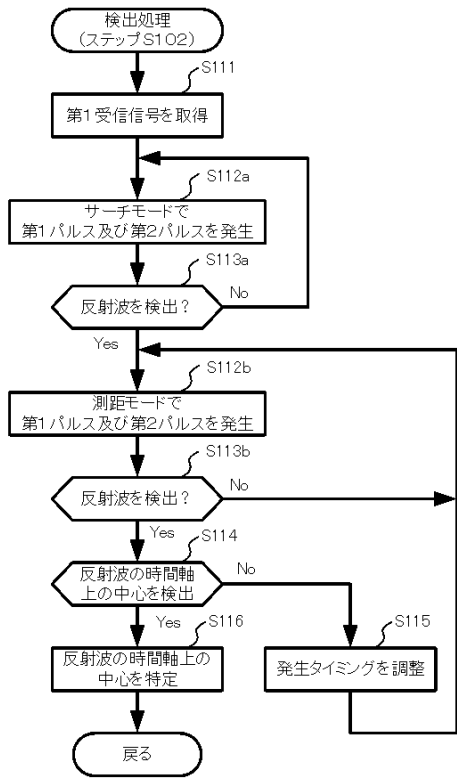
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

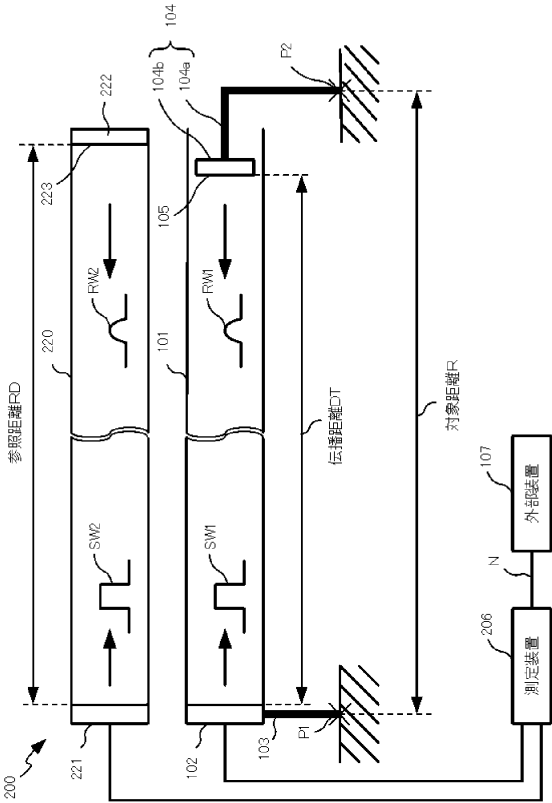
20

30

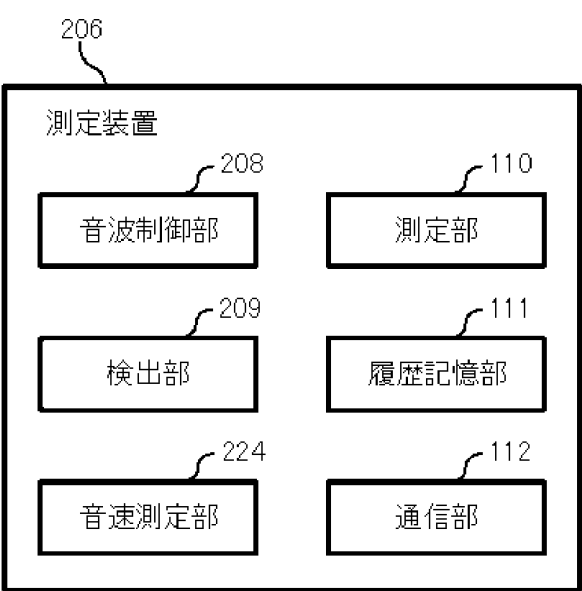
40

50

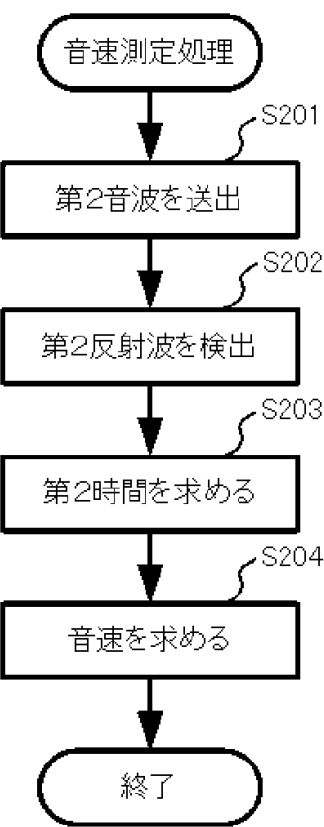
【図 1 3】



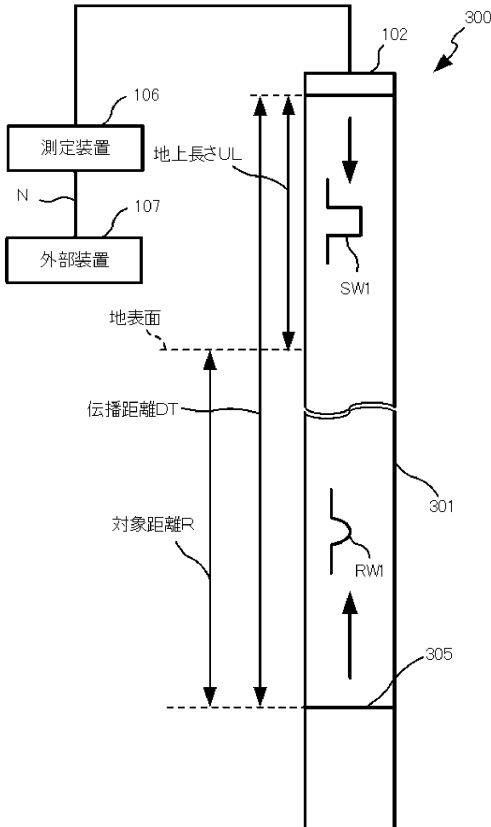
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

20

30

40

50

【手続補正書】

【提出日】令和5年3月2日(2023.3.2)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1音響導波管と、

パルス状の第1音波を前記第1音響導波管の内部へ送出し、前記第1音波が前記第1音響導波管の内部の第1反射部で反射した第1反射波を受信する第1送受信部と、

前記第1音波が送出されてから前記第1反射波が受信されるまでの第1時間に基づいて、前記第1送受信部と前記第1反射部との間の距離又はその変化を求める測定装置とを備える

測定システム。

【請求項2】

前記第1反射部は、前記第1音響導波管の内部で移動可能である

請求項1に記載の測定システム。

【請求項3】

前記第1音響導波管の内部に配置される前記第1反射部をさらに備える

請求項1又は2に記載の測定システム。

【請求項4】

前記第1反射部は、前記第1音響導波管の内部を途中まで満たす液体の液面である

請求項1又は2に記載の測定システム。

【請求項5】

前記第1音響導波管は、前記液体が内部に注入される連通管の一部である

請求項4に記載の測定システム。

【請求項6】

前記第1送受信部は、基準点に対して固定されている

請求項1又は2に記載の測定システム。

【請求項7】

前記第1音響導波管に並べて設けられ、パルス状の第2音波を伝播させるための第2音響導波管と、

前記第2音響導波管に配置され、前記第2音波を反射する第2反射部と

前記第2音波を前記第2音響導波管の内部へ送出し、前記第2音波が前記第2反射部で反射した第2反射波を受信する第2送受信部とをさらに備え、

前記測定装置は、

前記第2音波が送出されてから前記第2反射波が受信されるまでの第2時間と、前記第2送受信部と前記第2反射部との間の距離と、に基づいて、音速を求める音速測定部を含む

請求項1又は2に記載の測定システム。

【請求項8】

前記第1音響導波管は、可撓性を有する

請求項1又は2に記載の測定システム。

【請求項9】

前記第1反射波が受信される時期は、前記第1送受信部が前記第1反射波の時間軸上の中心を受信した時期であり、

前記測定装置は、前記第1送受信部から出力される第1受信信号に基づいて、前記第1送受信部が受信する前記第1反射波の時間軸上の中心を検出する

10

20

30

40

50

請求項 1 又は 2 に記載の測定システム。

【請求項 1 0】

前記第 1 送受信部は、圧電素子を含む

請求項 1 又は 2 に記載の測定システム。

【請求項 1 1】

前記距離又はその変化を含む測定情報を外部装置へ送信する通信部をさらに備える

請求項 1 又は 2 に記載の測定システム。

【請求項 1 2】

パルス状の第 1 音波を第 1 音響導波管の内部へ送出し、

前記第 1 音波が前記第 1 音響導波管の内部の第 1 反射部で反射した第 1 反射波を受信し 10

、

前記第 1 音波が送出されてから前記第 1 反射波が受信されるまでの第 1 時間に基づいて

、前記第 1 送受信部と前記第 1 反射部との間の距離又はその変化を求める

測定方法。

20

30

40

50

F ターム (参考)	DD04 FF03 GG01 QQ05 QQ21 QQ24
5J083	AA02 AB20 AD04 AD30 AE10 AF01 BA01 BB03 BE11 BE12 BE19 CA01 CB01