

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年2月10日(10.02.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/030251 A1

(51) 国際特許分類:
G01F 1/66 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/027198

(22) 国際出願日: 2021年7月20日(20.07.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2020-135276 2020年8月7日(07.08.2020) JP

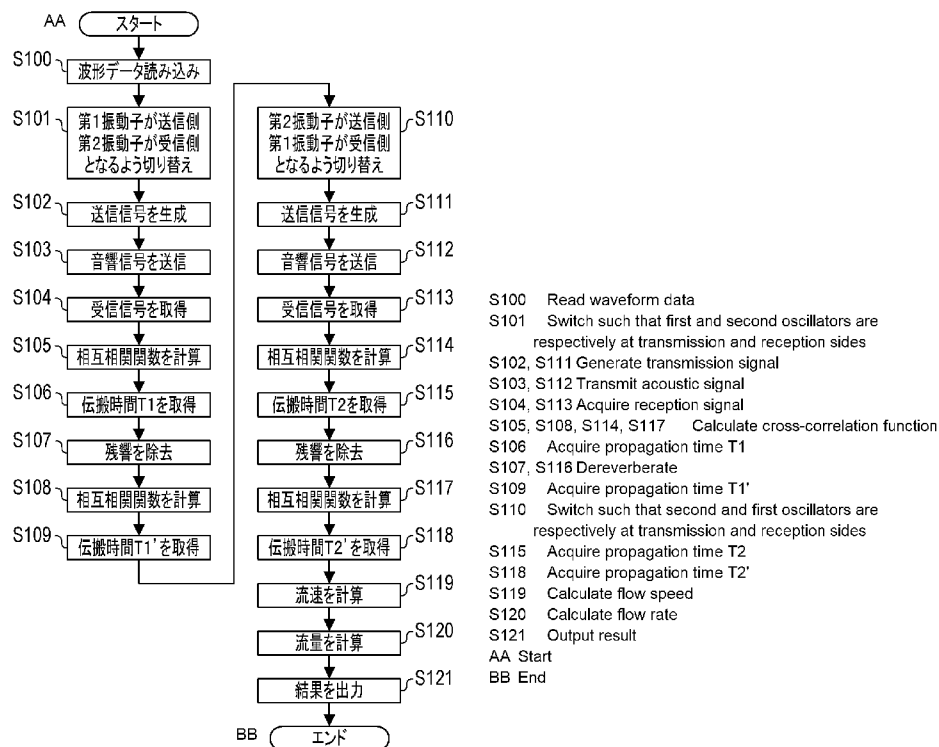
(71) 出願人: オムロン株式会社 (OMRON CORPORATION) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 鶴亀 宜崇 (TSURUKAME, Yoshitaka); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 石田 ゆい (ISHIDA, Yui); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 矢和田 将貴 (YAWATA, Masaki); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人秀和特許事務所 (IP FIRM SHUWA); 〒1030004 東京都中央区東日本橋三丁目4番10号 アクロポリス 21ビル8階 Tokyo (JP).

(54) Title: PROPAGATION TIME MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 伝搬時間測定装置



(57) Abstract: A device for determining a propagation time of an acoustic signal using a cross-correlation analysis between a transmission signal and a reception signal, wherein a propagation time is determined using a cross-correlation analysis between a transmission signal and a reception signal before dereverberation, a signal at or after a timing based on the determined propagation time is removed as reverberation from the reception signal, and a propagation time is determined again using a cross-correlation analysis between the transmission signal and the reception signal after dereverberation.

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 送信信号と受信信号のあいだの相互相関解析により音響信号の伝搬時間を求める装置において、送信信号と残響を除去する前の受信信号とのあいだの相互相関解析により伝搬時間を求め、受信信号から、求めた伝搬時間に基づくタイミング以降の信号を、残響として除去し、送信信号と残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により伝搬時間を再び求める。

明 細 書

発明の名称： 伝搬時間測定装置

技術分野

[0001] 本発明は、音響信号の伝搬時間を測定する技術に関する。

背景技術

[0002] 配管の外側に取り付けたセンサによって配管内部を伝搬する音響信号の伝搬時間を測定し、その伝搬時間に基づき、配管内を流れる流体の流速や流量を非破壊で計測可能な装置が実用化されている。この種の装置は、音響信号として超音波を用いることが一般的であり、「超音波流量計」あるいは「超音波式流量計」などと呼ばれる。

[0003] 例えば特許文献1には、配管の上流側及び下流側に配置された一対の超音波振動子を用いて、流体の流れの正方向に伝搬した超音波と逆方向に伝搬した超音波との伝搬時間差に基づいて流体の流量を求める装置が開示されている。特許文献1の装置では、上流側の超音波振動子の受信信号と下流側の超音波振動子の受信信号の相互相関を計算することにより、伝搬時間差を計算している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2017-187310号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、超音波などの音響信号を受信する振動子は、受信する音響信号が無くなっても直ちに停止することはできないため、振動子から出力される電気信号（受信信号）に残響が含まれることになる。そして、受信信号に残響が含まれていると、残響がノイズとなるため、伝搬時間を精度よく求めることができず、配管を流れる流体の流速や流量を精度よく求めることができない。

[0006] 本発明は上記実情に鑑みなされたものであって、伝搬時間を精度よく求めることができる技術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

[0007] 上記目的を達成するために本発明は、以下の構成を採用する。

[0008] 本発明の第一側面は、流体を流す配管に対し互いに異なる位置に配置される複数の振動子であって、電気信号としての送信信号を音響信号に変換する第1振動子と、前記第1振動子から送信されて前記配管内の流体を伝搬した前記音響信号を受信し電気信号としての受信信号に変換する第2振動子とを少なくとも含む、複数の振動子と、前記受信信号から残響を除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子から前記第2振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める信号処理部と、を備え、前記信号処理部は、前記送信信号と前記残響を除去する前の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子から前記第2振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求め、求めた伝搬時間に基づくタイミング以降の信号を、前記残響として除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子から前記第2振動子までの前記音響信号の伝搬時間を再び求めることを特徴とする伝搬時間測定装置を提供する。

[0009] 受信信号に含まれる残響は、求められる伝搬時間に影響を及ぼす。そのため、残響が除去される前の受信信号を用いて求められた伝搬時間に基づき、残響が発生するタイミングを精度よく求めることができる。上述した構成では、受信信号から、そのように求められたタイミング以降の信号が残響として除去され、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が再び求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、伝搬時間を精度よく求めることができる。さらに、不要な信号値（残響の信号値）が伝搬時間の計算に使用されないため、伝搬時間の計算に要する処理時間を短縮したり、伝搬時間の計算に要する消費電力を低減したりすることができる。

[0010] 受信側の振動子は、伝搬時間が経過したタイミングから送信信号の時間長

と同じ時間長の音響信号を受信すると考えられ、受信信号のうち、音響信号の受信が終わった後の信号は残響であると考えられる。このため、第一側面において、前記タイミングは、前記第1振動子に前記送信信号を入力したタイミングから、前記送信信号と前記残響を除去する前の受信信号とのあいだの相互相関解析により求められた伝搬時間と、前記送信信号の時間長との合計時間が経過したタイミングであるとしてもよい。こうすることで、残響をより精度よく除去することができ、伝搬時間をより精度よく求めることができる。

[0011] 本発明の第二側面は、流体を流す配管に対し互いに異なる位置に配置される複数の振動子であって、電気信号としての送信信号を音響信号に変換する第1振動子と、前記第1振動子から送信されて前記配管内の流体を伝搬した前記音響信号を受信し電気信号としての受信信号に変換する第2振動子とを少なくとも含む、複数の振動子と、前記受信信号から残響を除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子から前記第2振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める信号処理部と、を備え、前記信号処理部は、前記残響を除去する前の受信信号から、当該受信信号の波形の包絡線を近似的に求め、前記包絡線に基づいて閾値を決定し、決定した閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号を、前記残響として除去することを特徴とする伝搬時間測定装置を提供する。

[0012] 受信信号の波形は、比較的大きな包絡線を描く。そして、残響の信号値は比較的小さい。そのため、包絡線に基づき、残響が発生するタイミングを精度よく求めることができる。上述した構成では、受信信号から包絡線が近似的に求められ、受信信号から、包絡線に基づく閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号が残響として除去される。そして、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、伝搬時間を精度よく求めることができる。さらに、不要な信号値（残響の信号値）が伝搬時間の計算に使用されないため、伝

搬時間の計算に要する処理時間を短縮したり、伝搬時間の計算に要する消費電力を低減したりすることができる。

[0013] 第二側面において、前記信号処理部は、前記包絡線のピークを所定の倍率で低減した値を、前記閾値として決定するとしてもよい。第二側面において、前記信号処理部は、前記包絡線を構成する複数の離散値のうち、大きい側から所定数番目の離散値を、前記閾値として決定するとしてもよい。

[0014] 本発明の第三側面は、流体を流す配管に対し互いに異なる位置に配置される複数の振動子であって、電気信号としての送信信号を音響信号に変換する第1振動子と、前記第1振動子から送信されて前記配管内の流体を伝搬した前記音響信号を受信し電気信号としての受信信号に変換する第2振動子とを少なくとも含む、複数の振動子と、前記受信信号から残響を除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子から前記第2振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める信号処理部と、を備え、前記信号処理部は、前記残響を除去する前の受信信号が示す複数のピークのうち、大きい側から所定数番目のピーク以下に信号値が収束するタイミング以降の信号を、前記残響として除去することを特徴とする伝搬時間測定装置を提供する。

[0015] 受信信号は、徐々に大きくなり、その後徐々に小さくなる複数のピークを示す。そして、残響の信号値は比較的小さい。そのため、複数のピークに基づき、残響が発生するタイミングを精度よく求めることができる。上述した構成では、複数のピークのうち、大きい側から所定数番目のピークを閾値として、受信信号から、閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号が残響として除去され、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、伝搬時間を精度よく求めることができる。さらに、不要な信号値（残響の信号値）が伝搬時間の計算に使用されないため、伝搬時間の計算に要する処理時間を短縮したり、伝搬時間の計算に要する消費電力を低減したりすることができる。

- [0016] 第一側面、第二側面、及び、第三側面のそれぞれにおいて、前記タイミングに関する情報を予め記憶する記憶部をさらに備え、前記信号処理部は、前記記憶部が予め記憶した前記情報に基づいて前記残響を除去するとしてもよい。タイミングに関する情報は、当該タイミングそのものを示す情報であってもよいし、そうでなくてもよい。例えば、タイミングに関する情報は、残響が除去される前の受信信号を用いて求められた伝搬時間を示す情報であってもよいし、包絡線や複数のピークに基づく閾値を示す情報であってもよい。
- [0017] 第一側面、第二側面、及び、第三側面のそれぞれにおいて、前記信号処理部は、前記第1振動子からの送信及び前記第2振動子による受信を複数回行うことによって得られた複数の受信信号を用いて、前記タイミングに関する情報を取得するとしてもよい。こうすることで、残響が発生するタイミングをより精度よく求めることができる。ひいては、残響をより精度よく除去することができる、伝搬時間をより精度よく求めることができる。
- [0018] 第一側面、第二側面、及び、第三側面のそれぞれにおいて、前記第1振動子と前記第2振動子は、前記配管を挟んで対向するように配置されるとしてもよい。第一側面、第二側面、及び、第三側面のそれぞれにおいて、前記第1振動子と前記第2振動子は、前記配管の長手方向の異なる位置に配置されるとしてもよい。
- [0019] 第一側面、第二側面、及び、第三側面のそれぞれにおいて、前記第2振動子に前記送信信号が入力され、前記第2振動子から送信された音響信号を受信した前記第1振動子から前記受信信号が出力されるように切り替えを行う切り替え部をさらに備え、前記信号処理部は、さらに、前記第1振動子から出力された前記受信信号から残響を除去し、前記第2振動子に入力した前記送信信号と前記第1振動子から出力されて前記残響が除去された後の受信信号のあいだの相互相関解析により、前記第2振動子から前記第1振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求めるとしてもよい。こうすることで、同一の伝搬経路について、上流側から下流側に音響信号が伝搬するときの伝搬時間

と、下流側から上流側に音響信号が伝搬するときの伝搬時間とを、精度よく求めることができる。

[0020] そして、前記信号処理部は、前記第 1 振動子から前記第 2 振動子までの前記音響信号の伝搬時間と、前記第 2 振動子から前記第 1 振動子までの前記音響信号の伝搬時間との差に基づいて、前記配管内の流体の流速及び／又は流量を求めるとしてもよい。これにより、配管内の流体の情報を高精度に求めることができる。

[0021] 本発明は、上記構成の少なくとも一部を有する伝搬時間測定装置として捉えてもよいし、流速測定装置、流量測定装置、流量計、流量センサなどとして捉えてもよい。また、本発明は、上記処理の少なくとも一部を含む伝搬時間測定方法、流速測定方法、流量測定方法として捉えてもよく、または、かかる方法を実現するためのプログラムやそのプログラムを非一時的に記録した記録媒体として捉えることもできる。なお、上記構成および処理の各々は可能な限り互いに組み合わせて本発明を構成することができる。

発明の効果

[0022] 本発明によれば、伝搬時間を精度よく求めることができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]図 1 は、伝搬時間測定装置の構成を模式的に示す図である。

[図2]図 2 は、配管への振動子の設置例を示す断面図である。

[図3]図 3 は、第 1 実施形態における伝搬時間測定装置の測定動作の流れを示すフローチャートである。

[図4]図 4 A は送信信号の例を示す図であり、図 4 B は図 4 A の送信信号に基づく音響信号の例を示す図であり、図 4 C は受信信号の例を示す図であり、図 4 D は相互相関関数の例を示す図である。

[図5]図 5 A は相互相関関数の例を示す図であり、図 5 B はヒルベルト変換の例を示す図である。

[図6]図 6 は、第 1 実施形態における残響の除去を示す図である。

[図7]図 7 は、第 2 実施形態における伝搬時間測定装置の測定動作の流れを示す

すフローチャートである。

[図8]図8は、第2実施形態における残響の除去を示す図である。

[図9]図9は、第3実施形態における伝搬時間測定装置の測定動作の流れを示すフローチャートである。

[図10]図10は、第3実施形態における残響の除去を示す図である。

[図11]図11は、第4実施形態における伝搬時間測定装置の測定動作の流れを示すフローチャートである。

[図12]図12は、第4実施形態における残響の除去を示す図である。

発明を実施するための形態

[0024] <適用例>

図1を参照して、伝搬時間測定装置の適用例を説明する。

[0025] 伝搬時間測定装置1は、2個以上の振動子101を備え、いずれかの振動子（例えば101a）から送信した音響信号を他の振動子（例えば101b）で受信し、2つの振動子のあいだの経路を音響信号が伝搬するのに要した時間（伝搬時間）を求める。各振動子101は配管120に対し互いに異なる位置に配置されているため、2つの振動子101のあいだを伝搬する音響信号は配管120の内部を通過する（横切る）。そのため、音響信号の伝搬時間は、一定ではなく、配管120内を流れる流体121の状態（例えば、流速、流量、気泡や異物の存在など）の影響を受けて変化する。したがって、伝搬時間測定装置1で測定した伝搬時間を利用することにより、配管120内の流体121の状態を非破壊で計測することができる。

[0026] なお、流体121は、音響信号を伝搬可能な物質であればよく、液体であっても、気体であってもよい。音響信号は、典型的には超音波であるが、可聴域の音波を含んでいてもよい。

[0027] 伝搬時間測定装置1は、伝搬時間の計算に相互相関解析を利用する。例えば、送信側の振動子101に与える駆動用の電気信号を「送信信号」、受信側の振動子101から出力される電気信号を「受信信号」と呼ぶとき、伝搬時間測定装置1は、送信信号と受信信号のあいだの相互相関関数を計算する

。そして、伝搬時間測定装置 1 は、相互相関関数の最大ピーク位置に基づいて、送信信号に対する受信信号のラグ（時間遅れ）を求める。このラグが送信側の振動子 101 から受信側の振動子 101 までの音響信号の伝搬時間に相当する。

[0028] 送信信号の信号波形が受信信号においても十分に保存されている場合には、相互相関関数に明瞭なピークが現れるので、2つの信号のあいだのラグ（つまり伝搬時間）を精度良く求めることができる。しかしながら、受信側の振動子 101 は、受信する音響信号が無くなっても直ちに停止することはできないため、受信信号に残響が含まれることになる。そして、受信信号に残響が含まれていると、残響がノイズとなるため、相互相関関数において、実際の伝搬時間とは異なる時間位置にピークが現れるなどし、伝搬時間を精度よく求めることができない。その結果、配管 120 を流れる流体 121 の流速や流量を精度よく求めることができない。昨今、微少流量の流体を計測可能な装置のニーズが高まっており、これを実現するには、例えばナノ秒オーダーからピコ秒オーダーの精度で伝搬時間を測定可能な性能が必要となる。

[0029] そこで、伝搬時間測定装置 1 は、受信信号から残響を除去し、残響を除去した後の受信信号を用いて伝搬時間を求める。具体的には、伝搬時間測定装置 1 は、以下の方法 1～3 のいずれかで残響を除去する。なお、残響の除去は、残響の信号値を相互相関解析（相互相関関数の計算）から除外する処理であればよく、例えば残響に対応する信号値をゼロにする（カットする）処理であってもよいし、残響の信号値を他の信号値と識別可能にする処理であってもよい。

[0030] （方法 1）

方法 1 では、伝搬時間測定装置 1 は、送信信号と残響を除去する前の受信信号とのあいだの相互相関解析により伝搬時間を求め、求めた伝搬時間に基づくタイミング以降の信号を、残響として除去する。そして、伝搬時間測定装置 1 は、送信信号と残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により伝搬時間を再び求める。

[0031] 受信信号に含まれる残響は、求められる伝搬時間に影響を及ぼす。そのため、残響が除去される前の受信信号を用いて求められた伝搬時間に基づき、残響が発生するタイミングを精度よく求めることができる。方法1では、受信信号から、そのように求められたタイミング以降の信号が残響として除去され、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が再び求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、相互相関関数から正しいピーク（実際の伝搬時間に対応する位置のピーク）を精度よく検出でき、伝搬時間を精度よく求めることができる。

[0032] （方法2）

方法2では、伝搬時間測定装置1は、残響を除去する前の受信信号から、当該受信信号の波形の包絡線を近似的に求め、求めた包絡線に基づいて閾値を決定し、決定した閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号を、残響として除去する。

[0033] 受信信号の波形は、比較的大きな包絡線を描く。そして、残響の信号値は比較的小さい。そのため、包絡線に基づき、残響が発生するタイミングを精度よく求めることができる。方法2では、受信信号から包絡線が近似的に求められ、受信信号から、包絡線に基づく閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号が残響として除去される。そして、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、相互相関関数から正しいピークを精度よく検出でき、伝搬時間を精度よく求めることができる。

[0034] （方法3）

方法3では、伝搬時間測定装置1は、残響を除去する前の受信信号が示す複数のピークのうち、大きい側から所定数番目のピーク以下に信号値が収束するタイミング以降の信号を、残響として除去する。

[0035] 受信信号は、徐々に大きくなり、その後徐々に小さくなる複数のピークを示す。そして、残響の信号値は比較的小さい。そのため、複数のピークに基づき、残響が発生するタイミングを精度よく求めることができる。方法3で

は、複数のピークのうち、大きい側から所定数番目のピークを閾値として、受信信号から、閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号が残響として除去され、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、相互相関関数から正しいピークを精度よく検出でき、伝搬時間を精度よく求めることができる。

[0036] また、方法 1 ～ 3 のいずれにおいても、不要な信号値（残響の信号値）が伝搬時間の計算（具体的に相互相関関数の計算）に使用されないため、伝搬時間の計算に要する処理時間を短縮したり、伝搬時間の計算に要する消費電力を低減したりすることもできる。

[0037] <第 1 実施形態>

（装置構成）

図 1 及び図 2 を参照して、伝搬時間測定装置 1 の具体的な構成を説明する。図 1 は、伝搬時間測定装置 1 の構成を模式的に示すブロック図であり、図 2 は、配管への振動子の設置例を示す断面図である。本実施形態の伝搬時間測定装置 1 は、配管 120 内を流れる流体 121 の流速及び流量を非破壊で計測するための装置であり、超音波流量計又は超音波流量センサとも称される。

[0038] 伝搬時間測定装置 1 は、装置本体 100 と複数の振動子 101 とを有する。装置本体 100 と各振動子 101 のあいだはケーブルで接続されている。本実施形態では、配管 120 の長手方向の上流側に配置される第 1 振動子 101 a と、第 1 振動子 101 a よりも下流側に配置される第 2 振動子 101 b の 2 つの振動子 101 が設けられている。以下、2 つの振動子を区別する必要がある場合は「第 1 振動子 101 a」、「第 2 振動子 101 b」と表記し、両者に共通する説明の場合は単に「振動子 101」という表記を用いる。なお、振動子 101 の数は 2 つに限られず、3 つ以上の振動子 101 が設けられていてもよい。

[0039] 振動子 101 は、電気信号と音響信号を相互に変換するデバイスであり、

トランスデューサとも呼ばれる。振動子 101 としては、例えば piezo 効果によって電圧と力を相互に変換する圧電素子などを用いることができる。図 2 に示すように、各振動子 101 は樹脂で構成されたクランプ 30 中に埋設されている。クランプ 30 で配管 120 を挟み込むと、2 つの振動子 101 a、101 b が配管 120 を挟んで対向し、且つ、2 つの振動子 101 a、101 b を結ぶ直線が配管 120 の軸線に対し所定の角度 θ をなすように、各振動子 101 a、101 b が設置される。このようなクランプ構造を採用することで、既設の配管 120 に対し簡単に（しかも配管 120 に改修を加えることなく）振動子 101 を適切な位置に取り付けることができる。なお、クランプ 30 と配管 120 のあいだを密着させ、且つ、音響インピーダンスの整合をはかるために、クランプ 30 と配管 120 のあいだにグリスやジェルなどが塗布されるとよい。角度 θ は音響信号の伝搬角度と呼ばれる。伝搬角度 θ は任意であるが、後述する伝搬時間差法を利用する場合には $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 、好ましくは $20^\circ < \theta < 60^\circ$ の範囲に設定されるとよい。

[0040] 装置本体 100 は、主たる構成として、制御回路 102、D/A 変換器 103、A/D 変換器 104、切り替え器 105、出力器 106 を有する。制御回路 102 は、伝搬時間測定装置 1 の各部の制御、信号処理、演算処理などを行う回路である。D/A 変換器 103 は、制御回路 102 から入力された送信信号（デジタルデータ）を基に、D/A 変換及び信号増幅を行い、所定の電圧の送信信号（アナログ信号）を振動子 101 へ出力する回路である。A/D 変換器 104 は、振動子 101 から入力された受信信号（アナログ信号）を所定のサンプリング周期で A/D 変換し、受信信号（デジタルデータ）を制御回路 102 へ出力する回路である。切り替え器 105 は、D/A 変換器 103 及び A/D 変換器 104 と第 1 振動子 101 a 及び第 2 振動子 101 b との接続関係を切り替えるスイッチである。D/A 変換器 103 に接続された振動子 101 が送信側となり、A/D 変換器 104 に接続された振動子 101 が受信側となる。出力器 106 は、制御回路 102 による信号処理や演算処理の結果などの情報を出力するデバイスであり、例えば表示器

などである。なお、装置本体１００に、ユーザが操作するための入力部（例えば、ボタン、タッチパネルなど）を設けたり、外部装置（例えば、外部のコンピュータやサーバなど）に情報を送信する通信回路（例えばＷｉＦｉモジュールなど）を設けてもよい。

[0041] 図１に示すように、制御回路１０２は、送信信号生成部１１０、信号処理部１１１、記憶部１１２を有する。送信信号生成部１１０は、測定に用いる送信信号のデータを生成しＤ／Ａ変換器１０３に出力する機能を有する。信号処理部１１１は、送信信号と受信信号に基づき音響信号の伝搬時間を計算し、さらに伝搬時間から流体の流速及び／又は流量を計算する機能を有する。信号処理部１１１は、受信信号から残響を除去する機能も有する。本実施形態では、信号処理部１１１は、上述した方法１で残響を除去する。記憶部１１２は、送信信号の波形を定義する波形データを記憶している。送信信号生成部１１０は記憶部１１２から波形データを読み込み、送信信号のデータを生成する。

[0042] 制御回路１０２は、例えば、ＣＰＵ（プロセッサ）、ＲＡＭ、不揮発性の記憶装置（例えばＲＯＭ、フラッシュメモリ、ハードディスクなど）、Ｉ／Ｏなどを有するコンピュータにより構成してもよい。この場合、ＣＰＵが、記憶装置に格納されたプログラムをＲＡＭに展開し、当該プログラムを実行することによって、送信信号生成部１１０及び信号処理部１１１の機能が提供される。コンピュータの形態は問わない。例えば、パーソナルコンピュータでもよいし、組み込み用のコンピュータでもよいし、スマートフォンやタブレット端末などでもよい。あるいは、制御回路１０２が提供する機能の全部又は一部をＡＳＩＣやＦＰＧＡのような回路で構成してもよい。あるいは、分散コンピューティングやクラウドコンピューティングの技術を利用し、制御回路１０２が他のコンピュータと協働して後述する処理を行ってもよい。

[0043] 配管１２０の材質、サイズ、形状は問わない。例えば、金属配管や樹脂配管を用いてもよい。また配管１２０のサイズは、ＪＩＳやＡＮＳＩで定めら

れた規格サイズのものでもよいし、独自のサイズのものでもよい。本実施形態の方法は、微少流量の測定を高精度に行うことができるという利点を有するため、1／8インチ管（外径：3.18mm、内径：1.59mm）、1／4インチ管（外径：6.35mm、内径：3.97mm）、1／2インチ管（外径：12.70mm、内径：9.53mm）などの小型の配管の測定に特に好ましく適用できる。また、直線状の配管に限らず、屈曲部を有する配管や曲線状の配管などでもよく、配管の断面形状も任意である。

[0044] （測定動作）

図3のフローチャートに沿って、伝搬時間測定装置1の測定動作の流れを説明する。

[0045] ステップS100において、制御回路102の送信信号生成部110は、記憶部112から送信信号の波形データを読み込む。

[0046] ステップS101において、制御回路102は、切り替え器105を制御し、第1振動子101aにD／A変換器103を接続し、第2振動子101bにA／D変換器104を接続する。これにより、第1振動子101aが送信側となり、第2振動子101bが受信側となる。

[0047] ステップS102において、送信信号生成部110は、ステップS100で読み込んだ波形データを基に送信信号を生成し、D／A変換器103に出力する。また、この送信信号は、後段の相互相関解析に利用するため、RAM（ワークメモリ）に一時的に格納される。

[0048] ステップS103において、D／A変換器103にてD／A変換及び増幅された送信信号が第1振動子101aに入力され、第1振動子101aから送信信号に基づく音響信号が送信される。図4Aは送信信号の例であり、横軸は時間であり、縦軸は信号値である。図4Bは図4Aの送信信号に基づく音響信号の例であり、横軸は時間であり、縦軸は音圧である。ここで、送信信号の振幅が一定であるにもかかわらず、音響信号において振幅が一定とならないのは、振動子の周波数特性に因るものである。音響信号は、クランプ30、配管120、及び流体121を経由して、第2振動子101bへと到

達する。

[0049] ステップS 1 0 4において、第2振動子1 0 1 bは受信した音響信号を受信信号に変換し、A/D変換器1 0 4へ出力する。図4 Cは受信信号の例であり、横軸は時間であり、縦軸は信号値である。図4 Cでは図4 Aに対して縦軸が拡大されている。伝搬の過程で音響信号が減衰するため、受信信号の振幅（電圧）は送信信号に比べて $1/100 \sim 1/1000$ 程度のオーダーとなる。例えば、図4 Aの送信信号の振幅は約30 Vであるのに対し、図4 Cの受信信号の振幅は約10 mVである。また、図4 Cに示すように、受信信号には残響を含む様々なノイズが乗っている。A/D変換器1 0 4でA/D変換された受信信号は、制御回路1 0 2に取り込まれ、RAM（ワークメモリ）に一時的に格納される。

[0050] ステップS 1 0 5において、信号処理部1 1 1は、RAMから送信信号と受信信号を読み込み、2つの信号のあいだの相互相関関数を計算する。図4 Dは相互相関関数の一例であり、最大ピークの近傍のみ拡大して示している。横軸は時間（時間シフト量）であり、縦軸は最大ピークの高さが1となるように規格化された相互相関の値である。なお、相互相関関数については公知の技術であるため、ここでは詳しい説明を割愛する。

[0051] ステップS 1 0 6において、信号処理部1 1 1は、ステップS 1 0 5で計算した相互相関関数における最大ピーク（頂点）の時間位置を、第1振動子1 0 1 aから第2振動子1 0 1 bまでの音響信号の伝搬時間T 1として求める。ここでは、受信信号の残響などの影響により、伝搬時間T 1は、実際の伝搬時間からずれている。

[0052] デジタル信号処理の制約上、ステップS 1 0 5で計算される相互相関関数は離散的なデータで構成される。そのため、図5 Aに示すように、相互相関関数のデータが得られている点（黒丸で示す点）と、ピーク（頂点）の位置とが一致するとは限らない。したがってステップS 1 0 6において、信号処理部1 1 1は、相互相関関数の離散的なデータから最大ピーク及びその周辺の波形（最大ピーク波形）の形状を近似的に求めた上で、最大ピークの位置

を推定するとよい。例えば、図5Bに示すように、信号処理部111は、相互相関関数における最大ピーク近傍のデータをヒルベルト変換によって位相のデータに変換してもよい。そして、変換後のデータを直線近似して、その近似直線のゼロクロス点（位相がゼロになる位置）を最大ピークの位置とみなしてもよい。あるいは、信号処理部111は、相互相関関数の最大ピーク近傍のデータを多項式近似により補間することによって、最大ピーク波形の形状を推定し、その頂点の位置を求めてもよい。このような処理によって、A/D変換のサンプリング周期よりも高い分解能で、相互相関が最大となる位置、すなわち音響信号の伝搬時間を求めることができる。

[0053] ステップS107において、信号処理部111は、ステップS105で読み込んだ受信信号から、ステップS106で求めた伝搬時間 T_1 に基づくタイミング以降の信号を、残響として除去する。ここで、受信側の振動子は、伝搬時間が経過したタイミングから送信信号の時間長と同じ時間長の音響信号を受信すると考えられ、受信信号のうち、音響信号の受信が終わった後の信号は残響であると考えられる。このため、図6に示すように、信号処理部111は、第1振動子101aに送信信号を入力したタイミングから伝搬時間 T_1 と送信信号の時間長 T_0 との合計時間が経過したタイミング以降の信号を、受信信号から残響として除去する。こうすることで、残響を精度よく除去することができる。

[0054] ステップS108において、信号処理部111は、ステップS105で読み込んだ送信信号と、ステップS107で残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関関数を計算する。

[0055] ステップS109において、信号処理部111は、ステップS108で計算した相互相関関数における最大ピーク（頂点）の時間位置を、第1振動子101aから第2振動子101bまでの音響信号の伝搬時間 T_1' として求める。ここでは、受信信号から残響が除去されているため、実際の伝搬時間に近い伝搬時間 T_1' が求められる。

[0056] ステップS110において、制御回路102は、切り替え器105を制御

し、第2振動子101bにD/A変換器103を接続し、第1振動子101aにA/D変換器104を接続する。すなわち、送信側と受信側の振動子が入れ替えられる。以降のステップS111～S118の処理は、ステップS102～S109の処理と同様である（ただし、「第1振動子101a」は「第2振動子101b」と読み替え、「第2振動子101b」は「第1振動子101a」と読み替える。）。ステップS115では、残響が除去される前の受信信号に基づく相互相関関数から、第2振動子101bから第1振動子101aまでの音響信号の伝搬時間T2が求められる。ステップS118では、残響が除去された後の受信信号に基づく相互相関関数から、第2振動子101bから第1振動子101aまでの音響信号の伝搬時間T2'が求められる。

[0057] 以上の処理によって、第1振動子101aから第2振動子101bまでの音響信号の伝搬時間T1'と、第2振動子101bから第1振動子101aまでの音響信号の伝搬時間T2'とが得られる。配管120内の流体121が流れている場合、伝搬時間T1'と伝搬時間T2'のあいだに流体121の流速に応じた時間差が生じる。したがって、伝搬時間T1'と伝搬時間T2'を利用して、流体121の流速及び流量を計算することができる。残響が除去されて伝搬時間T1'と伝搬時間T2'が精度よく求められているため、流体121の流速及び流量も精度よく求めることができる。

[0058] ステップS119において、信号処理部111は、下記式により流体121の流速Vを求める。

[数1]

$$V = \frac{L}{2\cos\theta} \left(\frac{1}{T_{ba} - T_o} - \frac{1}{T_{ab} - T_o} \right)$$

[0059] ここで、Vは流体の流速、Lは配管内部における伝搬経路長、 θ は伝搬角度、Tabは上流側の振動子から下流側の振動子までの伝搬時間T1'、Tbaは下流側の振動子から上流側の振動子までの伝搬時間T2'、Toは流体以外の部分の伝搬時間である。なお、流体以外の部分の伝搬時間Toは、

例えば、クランプ30及び配管120の部分を音響信号が伝搬している時間であり、配管120の仕様（内径、外径、材質など）がわかれば実験又はシミュレーションにより予め求めておくことができる。

[0060] ステップS120において、信号処理部111は、下記式により流体の流量 Q を求める。

[数2]

$$Q = V \times A$$

[0061] ここで、 Q は流体の流量、 V は流体の流速、 A は配管内部の断面積である。断面積 A は既知であるものとする。

[0062] ステップS121において、信号処理部111は、処理結果（例えば、伝搬時間、流速、流量など）を出力器106に出力する。

[0063] （本実施形態の利点）

以上述べた本実施形態の構成によれば、残響が除去される前の受信信号を用いて求められた伝搬時間に基づき、残響が発生するタイミングが精度よく求められる。そして、受信信号から、そのように求められたタイミング以降の信号が残響として除去され、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が再び求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、伝搬時間を精度よく求めることができる。よって、微少流量の測定など、高い精度が要求される場面への適用も可能である。さらに、不要な信号値（残響の信号値）が伝搬時間の計算に使用されないため、伝搬時間の計算に要する処理時間を短縮したり、伝搬時間の計算に要する消費電力を低減したりすることができる。

[0064] <第2実施形態>

本発明の第2実施形態に係る伝搬時間測定装置1は、上述した方法2で残響を除去する。基本構成は第1実施形態と同様であるため、以下では、第1実施形態と異なる構成部分を中心に説明する。

[0065] 図7は、第2実施形態に係る伝搬時間測定装置1の測定動作の流れを示すフローチャートである。第1実施形態のフローチャート（図3）と同じ処理

については同一のステップ番号が付されている。

- [0066] ステップS100～S104の処理は第1実施形態と同じである。そして、ステップS200において、信号処理部111は、RAMから受信信号を読み込み、図8に示すように、当該受信信号の波形の包絡線を近似的に求める。包絡線は、公知の技術を用いて求めることができるため、ここでは詳しい説明を割愛する。
- [0067] ステップS201において、信号処理部111は、ステップS200で求めた包絡線のピークを所定の倍率で低減した値を閾値として決定し、ステップS200で読み込んだ受信信号から、決定した閾値以下に信号値が収束するまでの時間 T_a を検出する。所定の倍率は特に限定されないが、例えば1/2倍である。
- [0068] ステップS202において、信号処理部111は、図8に示すように、ステップS200で読み込んだ受信信号から、ステップS201で検出した時間 T_a 以降の信号を、残響として除去する。
- [0069] ステップS203において、信号処理部111は、RAMから送信信号を読み込み、読み込んだ送信信号と、ステップS202で残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関関数を計算する。
- [0070] ステップS204において、信号処理部111は、ステップS203で計算した相互相関関数における最大ピーク（頂点）の時間位置を、第1振動子101aから第2振動子101bまでの音響信号の伝搬時間 T_1' として求める。ここでは、受信信号から残響が除去されているため、実際の伝搬時間に近い伝搬時間 T_1' が求められる。
- [0071] ステップS110～S113の処理は第1実施形態と同じである。ステップS210～S214の処理は、ステップS200～S204の処理と同様である（ただし、「第1振動子101a」は「第2振動子101b」と読み替え、「第2振動子101b」は「第1振動子101a」と読み替える。）。
- ステップS211では、信号処理部111は、ステップS210で求めた包絡線のピークを所定の倍率で低減した値を閾値として決定し、ステップS

210で読み込んだ受信信号から、決定した閾値以下に信号値が収束するまでの時間 T_b を検出する。ステップS214では、残響が除去された後の受信信号に基づく相互相関関数から、第2振動子101bから第1振動子101aまでの音響信号の伝搬時間 T' が求められる。ステップS119～S121の処理は第1実施形態と同じである。

[0072] 以上述べた本実施形態の構成によれば、残響が除去される前の受信信号から、当該受信信号の波形の包絡線が求められ、求められた包絡線のピークを所定の倍率で低減した値が閾値として決定される。そして、受信信号から、決定された閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号が残響として除去され、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、伝搬時間を精度よく求めることができる。よって、微量流量の測定など、高い精度が要求される場面への適用も可能である。さらに、不要な信号値（残響の信号値）が伝搬時間の計算に使用されないため、伝搬時間の計算に要する処理時間を短縮したり、伝搬時間の計算に要する消費電力を低減したりすることができる。

[0073] <第3実施形態>

本発明の第3実施形態に係る伝搬時間測定装置1は、上述した方法2で残響を除去する。但し、残響を除去する具体的な方法は、第2実施形態と異なる。基本構成は上記実施形態と同様であるため、以下では、上記実施形態と異なる構成部分を中心に説明する。

[0074] 図9は、第3実施形態に係る伝搬時間測定装置1の測定動作の流れを示すフローチャートである。第2実施形態のフローチャート（図7）と同じ処理については同一のステップ番号が付されている。

[0075] ステップS100～S104とステップS200の処理は第2実施形態と同じである。ステップS200で求められた包絡線のデータは、離散的なデータである。包絡線を構成する複数の離散値の時間間隔は特に限定されないが、例えば受信信号が示す複数のピークの時間間隔と同等、具体的には送信信号が示す複数のピークの時間間隔と同一である。

- [0076] ステップS301において、信号処理部111は、ステップS200で求めた包絡線を構成する複数の離散値のうち、大きい側から所定数番目の離散値を、閾値として決定する。そして、信号処理部111は、ステップS200で読み込んだ受信信号から、決定した閾値以下に信号値が収束するまでの時間 T_a を検出する。所定数は特に限定されないが、例えば10である。
- [0077] ステップS302において、信号処理部111は、図10に示すように、ステップS200で読み込んだ受信信号から、ステップS301で検出した時間 T_a 以降の信号を、残響として除去する。
- [0078] ステップS303において、信号処理部111は、RAMから送信信号を読み込み、読み込んだ送信信号と、ステップS302で残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関関数を計算する。
- [0079] ステップS304において、信号処理部111は、ステップS303で計算した相互相関関数における最大ピーク（頂点）の時間位置を、第1振動子101aから第2振動子101bまでの音響信号の伝搬時間 T_1' として求める。ここでは、受信信号から残響が除去されているため、実際の伝搬時間に近い伝搬時間 T_1' が求められる。
- [0080] ステップS110～S113とステップS210の処理は第2実施形態と同じである。ステップS311～S314の処理は、ステップS301～S304の処理と同様である（ただし、「第1振動子101a」は「第2振動子101b」と読み替え、「第2振動子101b」は「第1振動子101a」と読み替える。）。ステップS311では、信号処理部111は、ステップS210で求めた包絡線を構成する複数の離散値のうち、大きい側から所定数番目の離散値を、閾値として決定する。そして、信号処理部111は、ステップS210で読み込んだ受信信号から、決定した閾値以下に信号値が収束するまでの時間 T_b を検出する。ステップS314では、残響が除去された後の受信信号に基づく相互相関関数から、第2振動子101bから第1振動子101aまでの音響信号の伝搬時間 T_2' が求められる。ステップS119～S121の処理は第2実施形態と同じである。

[0081] 以上述べた本実施形態の構成によれば、残響が除去される前の受信信号から、当該受信信号の波形の包絡線が求められ、求められた包絡線を構成する複数の離散値のうち、大きい側から所定数番目の離散値が、閾値として決定される。そして、受信信号から、決定された閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号が残響として除去され、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、伝搬時間を精度よく求めることができる。よって、微小流量の測定など、高い精度が要求される場面への適用も可能である。さらに、不要な信号値（残響の信号値）が伝搬時間の計算に使用されないため、伝搬時間の計算に要する処理時間を短縮したり、伝搬時間の計算に要する消費電力を低減したりすることができる。

[0082] <第4実施形態>

本発明の第4実施形態に係る伝搬時間測定装置1は、上述した方法3で残響を除去する。基本構成は上記実施形態と同様であるため、以下では、上記実施形態と異なる構成部分を中心に説明する。

[0083] 図11は、第4実施形態に係る伝搬時間測定装置1の測定動作の流れを示すフローチャートである。第1実施形態のフローチャート（図3）と同じ処理については同一のステップ番号が付されている。

[0084] ステップS100～S104の処理は第1実施形態と同じである。そして、ステップS400において、信号処理部111は、RAMから受信信号を読み込み、当該受信信号が示す複数のピークのうち、大きい側から所定数番目のピークを、閾値として決定する。そして、信号処理部111は、受信信号から、決定した閾値以下に信号値が収束するまでの時間 T_a を検出する。所定数は特に限定されないが、例えば10である。

[0085] ステップS401において、信号処理部111は、図12に示すように、ステップS400で読み込んだ受信信号から、ステップS400で検出した時間 T_a 以降の信号を、残響として除去する。

[0086] ステップS402において、信号処理部111は、RAMから送信信号を

読み込み、読み込んだ送信信号と、ステップS401で残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関関数を計算する。

[0087] ステップS403において、信号処理部111は、ステップS402で計算した相互相関関数における最大ピーク（頂点）の時間位置を、第1振動子101aから第2振動子101bまでの音響信号の伝搬時間 T_1' として求める。ここでは、受信信号から残響が除去されているため、実際の伝搬時間に近い伝搬時間 T_1' が求められる。

[0088] ステップS110～S113の処理は第1実施形態と同じである。ステップS410～S413の処理は、ステップS400～S403の処理と同様である（ただし、「第1振動子101a」は「第2振動子101b」と読み替え、「第2振動子101b」は「第1振動子101a」と読み替える。）
。ステップS410では、信号処理部111は、RAMから受信信号（ステップS113で取得された受信信号）を読み込み、当該受信信号が示す複数のピークのうち、大きい側から所定数番目のピークを、閾値として決定する。そして、信号処理部111は、受信信号から、決定した閾値以下に信号値が収束するまでの時間 T_b を検出する。ステップS413では、残響が除去された後の受信信号に基づく相互相関関数から、第2振動子101bから第1振動子101aまでの音響信号の伝搬時間 T_2' が求められる。ステップS119～S121の処理は第1実施形態と同じである。

[0089] 以上述べた本実施形態の構成によれば、残響が除去される前の受信信号が示す複数のピークのうち、大きい側から所定数番目のピークが、閾値として決定される。そして、受信信号から、決定された閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号が残響として除去され、残響が除去された後の受信信号を用いて伝搬時間が求められる。こうすることで、残響を精度よく除去することができ、伝搬時間を精度よく求めることができる。よって、微小流量の測定など、高い精度が要求される場面への適用も可能である。さらに、不要な信号値（残響の信号値）が伝搬時間の計算に使用されないため、伝搬時間の計算に要する処理時間を短縮したり、伝搬時間の計算に要する消費電

力を低減したりすることができる。なお、受信信号のサンプリング周期（分解能）に依っては、受信信号で示されるべきピークが示されないことがある。そのような場合には、第1～第3実施形態の方がより正確な伝搬時間が得られることが期待できるが、仮の伝搬時間を求めたり、包絡線を求めたりといった処理が増す。

[0090] <その他>

上記実施形態は、本発明の構成を例示的に説明するものに過ぎない。本発明は上記の具体的な形態には限定されることはなく、その技術的思想の範囲内で種々の変形が可能である。例えば、上記実施形態の装置では、音響信号の伝搬時間を測定した後、その伝搬時間の測定値を利用して流体の流速及び流量を計算したが、流速及び流量の計算は必須ではない。伝搬時間測定装置は、単に伝搬時間（伝搬時間 T_1' と伝搬時間 T_2' の少なくとも一方）を測定する処理を行うだけでもよい。また、単に伝搬時間を測定するだけであれば、伝搬角度 θ は90度でもよい。また、上記実施形態では、配管を挟み込むように取り付け可能なクランプオン型の装置を例示したが、配管組み込み型の装置構成を採用してもよい。また、振動子の数は3つ以上でもよく、上流側から下流側への音響信号の伝搬に用いる振動子対と、下流側から上流側への音響信号の伝搬に用いる振動子対を分けてもよい。送信側の振動子と受信側の振動子とは、配管に対して互いに異なる位置に配置されればよく、配管を挟んで対向するように配置されなくてもよいし、配管の長手方向の異なる位置に配置されなくてもよい。

[0091] 記憶部112は、残響が発生するタイミングに関する情報を予め記憶してもよく、信号処理部111は、記憶部112が記憶した当該情報に基づいて残響を除去してもよい。残響が発生するタイミングに関する情報は、当該タイミングそのものを示す情報（第1実施形態の時間 $T_1 + T_0$ や時間 $T_2 + T_0$ 、第2～第4実施形態の時間 T_a 、 T_b など）であってもよいし、そうでなくてもよい。例えば、残響が発生するタイミングに関する情報は、残響を含む受信信号を用いて求められた伝搬時間（第1実施形態の伝搬時間 T_1

や伝搬時間 T_2)を示す情報であってもよい。残響が発生するタイミングに関する情報は、包絡線や複数のピークに基づく閾値(第2～第4実施形態で使用される閾値)を示す情報であってもよい。残響が発生するタイミングに関する情報は、例えば、プレ測定において、第1～第4実施形態で説明した方法と同様の方法で取得される。そして、本測定においては、信号処理部111は、残響が発生するタイミングに関する情報を求める代わりに、当該情報を記憶部112から読み込む。例えば、第1実施形態の方法で伝搬時間 T_1' を得る場合には、プレ測定において、図3のステップS101～S106の処理が行われ、信号処理部111は、求めた伝搬時間 T_1 を記憶部112に格納する。そして、本測定において、ステップS101～S104の処理が行われ、信号処理部111が伝搬時間 T_1 を記憶部112から読み込み、ステップS107～S109の処理が行われる。

[0092] また、伝搬時間 T_1' または伝搬時間 T_2' の測定の際に、振動子対による音響信号の送受信が複数回行われてもよい。そして、信号処理部111は、複数回の送受信によって得られた複数の受信信号を用いて、残響が発生するタイミングに関する情報を取得してもよい。複数の受信信号を合成することで分解能が見かけ上高められるため、複数の受信信号を用いることで、残響が発生するタイミングをより精度よく求めることができる。例えば、伝搬時間 T_1 、伝搬時間 T_2 、包絡線、受信信号のピークなどをより精度よく求めることができる。ひいては、残響をより精度よく除去することができ、伝搬時間をより精度よく求めることができる。

[0093] また、第2～第4実施形態において、第2振動子101bにより得られた受信信号(第1振動子101aから第2振動子101bへの音響信号に対応)から残響を除去するための時間 T_a と、第1振動子101aにより得られた受信信号(第2振動子101bから第1振動子101aへの音響信号に対応)から残響を除去するための時間 T_b とを個別に決定する例を説明したが、これに限られない。例えば、時間 T_a 、 T_b の一方のみを検出し、検出した時間を時間 T_a 、 T_b の他方としても用いるようにしてもよい。これによ

り、処理負荷や処理時間を低減することができる。例えば、時間 T_a のみを検出し、時間 T_a を時間 T_b としても用いる場合には、図 7 のステップ S 2 1 0, S 2 1 1 の処理（包絡線の検出、閾値の決定、及び、時間 T_b の検出）、図 9 のステップ S 2 1 0, S 3 1 1 の処理（包絡線の検出、閾値の決定、及び、時間 T_b の検出）、及び、図 1 1 のステップ S 4 1 0 の処理（閾値の決定、及び、時間 T_b の検出）が不要となる。

[0094] 同様に、第 1 の実施形態において、伝搬時間 T_1 , T_2 の一方を、伝搬時間 T_1 , T_2 の他方としても用いるようにしてもよい。また、第 2 ～第 4 の実施形態において、2 つの時間 T_a , T_b を決定するための 2 つの閾値の一方を、当該 2 つの閾値の他方としても用いるようにしてもよい。これらによっても、処理負荷や処理時間を低減することができる。

[0095] <付記 1>

流体（1 2 1）を流す配管（1 2 0）に対し互いに異なる位置に配置される複数の振動子（1 0 1 a、1 0 1 b）であって、電気信号としての送信信号を音響信号に変換する第 1 振動子（1 0 1 a）と、前記第 1 振動子（1 0 1 a）から送信されて前記配管（1 2 0）内の流体（1 2 1）を伝搬した前記音響信号を受信し電気信号としての受信信号に変換する第 2 振動子（1 0 1 b）とを少なくとも含む、複数の振動子（1 0 1 a、1 0 1 b）と、

前記受信信号から残響を除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第 1 振動子から前記第 2 振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める信号処理部（1 1 1）と、を備え、

前記信号処理部（1 1 1）は、

前記送信信号と前記残響を除去する前の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第 1 振動子（1 0 1 a）から前記第 2 振動子（1 0 1 b）までの前記音響信号の伝搬時間を求め、

求めた伝搬時間に基づくタイミング以降の信号を、前記残響として除去し、

前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子（101a）から前記第2振動子（101b）までの前記音響信号の伝搬時間を再び求めることを特徴とする伝搬時間測定装置（1）。

[0096] <付記2>

流体（121）を流す配管（120）に対し互いに異なる位置に配置される複数の振動子（101a、101b）であって、電気信号としての送信信号を音響信号に変換する第1振動子（101a）と、前記第1振動子（101a）から送信されて前記配管（120）内の流体（121）を伝搬した前記音響信号を受信し電気信号としての受信信号に変換する第2振動子（101b）とを少なくとも含む、複数の振動子（101a、101b）と、

前記受信信号から残響を除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子から前記第2振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める信号処理部（111）と、を備え、

前記信号処理部（111）は、前記残響を除去する前の受信信号から、当該受信信号の波形の包絡線を近似的に求め、前記包絡線に基づいて閾値を決定し、決定した閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号を、前記残響として除去する

ことを特徴とする伝搬時間測定装置（1）。

[0097] <付記3>

流体（121）を流す配管（120）に対し互いに異なる位置に配置される複数の振動子（101a、101b）であって、電気信号としての送信信号を音響信号に変換する第1振動子（101a）と、前記第1振動子（101a）から送信されて前記配管（120）内の流体（121）を伝搬した前記音響信号を受信し電気信号としての受信信号に変換する第2振動子（101b）とを少なくとも含む、複数の振動子（101a、101b）と、

前記受信信号から残響を除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の

受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第 1 振動子から前記第 2 振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める信号処理部（111）と、
を備え、

前記信号処理部（111）は、前記残響を除去する前の受信信号が示す複数のピークのうち、大きい側から所定数番目のピーク以下に信号値が収束するタイミング以降の信号を、前記残響として除去することを特徴とする伝搬時間測定装置（1）。

符号の説明

- [0098] 1 : 伝搬時間測定装置 30 : クランプ 100 : 装置本体
101 : 振動子 101a : 第 1 振動子 101b : 第 2 振動子
102 : 制御回路 103 : D/A 変換器 104 : A/D 変換器
105 : 切り替え器 106 : 出力器
110 : 送信信号生成部 111 : 信号処理部 112 : 記憶部
120 : 配管 121 : 流体

請求の範囲

[請求項1]

流体を流す配管に対し互いに異なる位置に配置される複数の振動子であって、電気信号としての送信信号を音響信号に変換する第1振動子と、前記第1振動子から送信されて前記配管内の流体を伝搬した前記音響信号を受信し電気信号としての受信信号に変換する第2振動子とを少なくとも含む、複数の振動子と、

前記受信信号から残響を除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子から前記第2振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める信号処理部と、

を備え、

前記信号処理部は、

前記送信信号と前記残響を除去する前の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子から前記第2振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求め、

求めた伝搬時間に基づくタイミング以降の信号を、前記残響として除去し、

前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第1振動子から前記第2振動子までの前記音響信号の伝搬時間を再び求める

ことを特徴とする伝搬時間測定装置。

[請求項2]

前記タイミングは、前記第1振動子に前記送信信号を入力したタイミングから、前記送信信号と前記残響を除去する前の受信信号とのあいだの相互相関解析により求められた伝搬時間と、前記送信信号の時間長との合計時間が経過したタイミングである

ことを特徴とする請求項1に記載の伝搬時間測定装置。

[請求項3]

流体を流す配管に対し互いに異なる位置に配置される複数の振動子であって、電気信号としての送信信号を音響信号に変換する第1振動

子と、前記第 1 振動子から送信されて前記配管内の流体を伝搬した前記音響信号を受信し電気信号としての受信信号に変換する第 2 振動子とを少なくとも含む、複数の振動子と、

前記受信信号から残響を除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第 1 振動子から前記第 2 振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める信号処理部と、

を備え、

前記信号処理部は、前記残響を除去する前の受信信号から、当該受信信号の波形の包絡線を近似的に求め、前記包絡線に基づいて閾値を決定し、決定した閾値以下に信号値が収束するタイミング以降の信号を、前記残響として除去することを特徴とする伝搬時間測定装置。

[請求項4] 前記信号処理部は、前記包絡線のピークを所定の倍率で低減した値を、前記閾値として決定することを特徴とする請求項 3 に記載の伝搬時間測定装置。

[請求項5] 前記信号処理部は、前記包絡線を構成する複数の離散値のうち、大きい側から所定数番目の離散値を、前記閾値として決定することを特徴とする請求項 3 に記載の伝搬時間測定装置。

[請求項6] 流体を流す配管に対し互いに異なる位置に配置される複数の振動子であって、電気信号としての送信信号を音響信号に変換する第 1 振動子と、前記第 1 振動子から送信されて前記配管内の流体を伝搬した前記音響信号を受信し電気信号としての受信信号に変換する第 2 振動子とを少なくとも含む、複数の振動子と、

前記受信信号から残響を除去し、前記送信信号と前記残響を除去した後の受信信号とのあいだの相互相関解析により、前記第 1 振動子から前記第 2 振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める信号処理部と、

を備え、

前記信号処理部は、前記残響を除去する前の受信信号が示す複数のピークのうち、大きい側から所定数番目のピーク以下に信号値が収束するタイミング以降の信号を、前記残響として除去することを特徴とする伝搬時間測定装置。

[請求項7]

前記タイミングに関する情報を予め記憶する記憶部をさらに備え、
前記信号処理部は、前記記憶部が予め記憶した前記情報に基づいて前記残響を除去することを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の伝搬時間測定装置。

[請求項8]

前記信号処理部は、前記第1振動子からの送信及び前記第2振動子による受信を複数回行うことによって得られた複数の受信信号を用いて、前記タイミングに関する情報を取得することを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の伝搬時間測定装置。

[請求項9]

前記第1振動子と前記第2振動子は、前記配管を挟んで対向するように配置される
ことを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に記載の伝搬時間測定装置。

[請求項10]

前記第1振動子と前記第2振動子は、前記配管の長手方向の異なる位置に配置される
ことを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載の伝搬時間測定装置。

[請求項11]

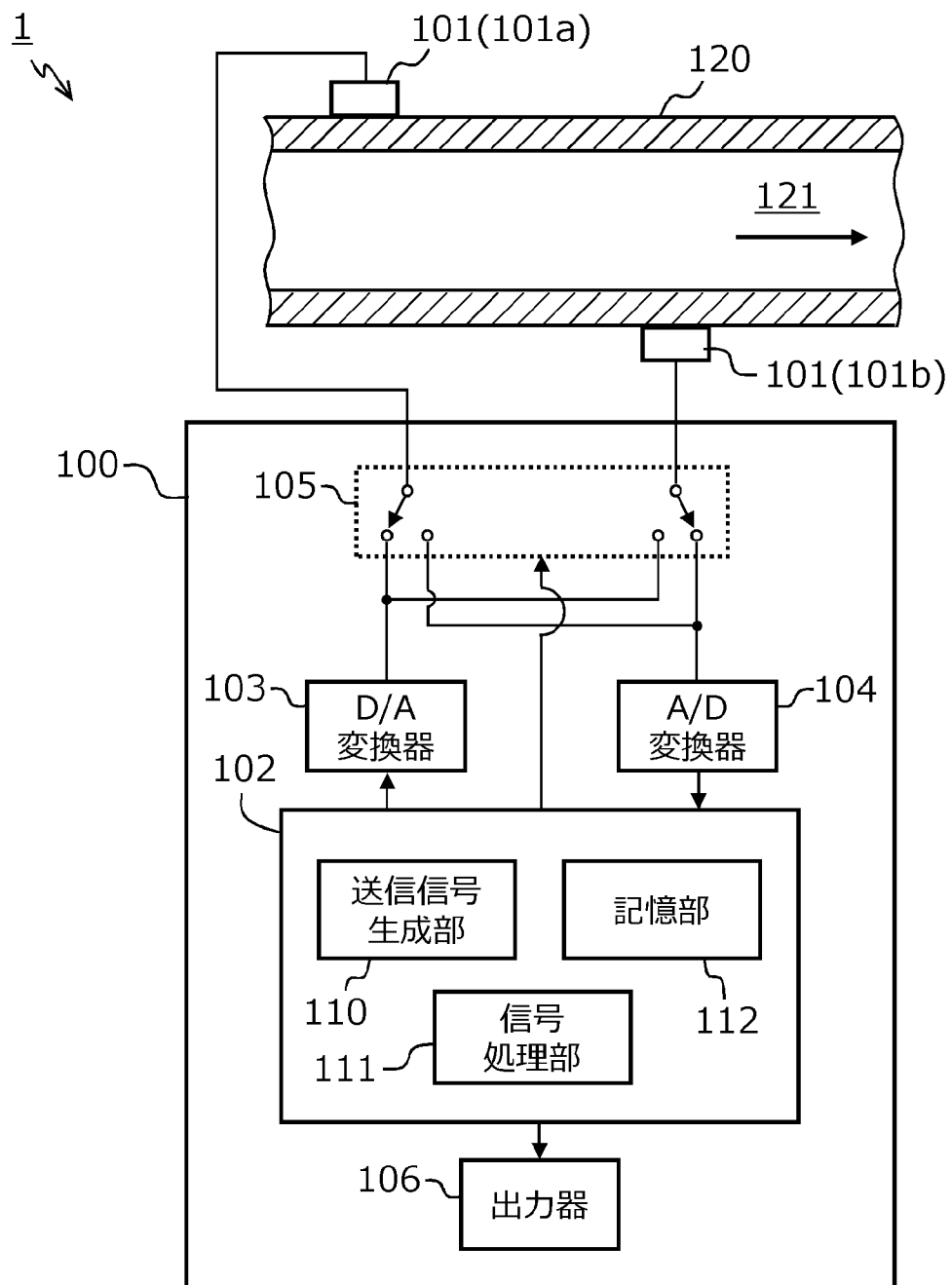
前記第2振動子に前記送信信号が入力され、前記第2振動子から送信された音響信号を受信した前記第1振動子から前記受信信号が出力されるように切り替えを行う切り替え部をさらに備え、

前記信号処理部は、さらに、前記第1振動子から出力された前記受信信号から残響を除去し、前記第2振動子に入力した前記送信信号と

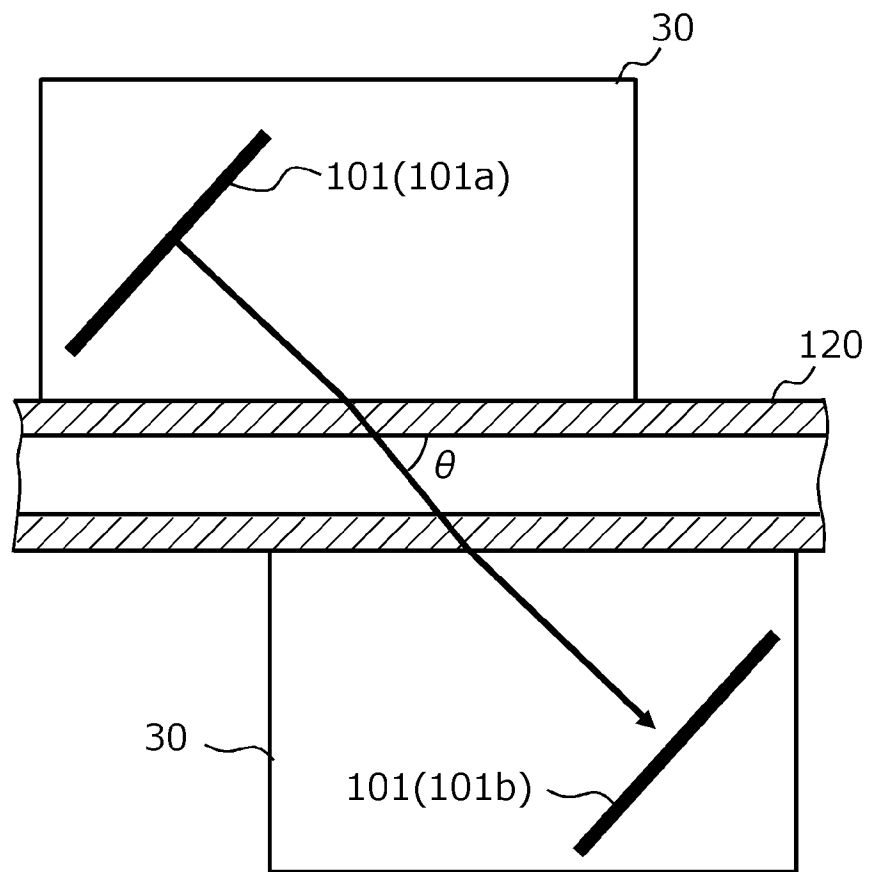
前記第 1 振動子から出力されて前記残響が除去された後の受信信号のあいだの相互相関解析により、前記第 2 振動子から前記第 1 振動子までの前記音響信号の伝搬時間を求める
ことを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の伝搬時間測定装置。

[請求項12] 前記信号処理部は、前記第 1 振動子から前記第 2 振動子までの前記音響信号の伝搬時間と、前記第 2 振動子から前記第 1 振動子までの前記音響信号の伝搬時間との差に基づいて、前記配管内の流体の流速及び／又は流量を求める
ことを特徴とする請求項 11 に記載の伝搬時間測定装置。

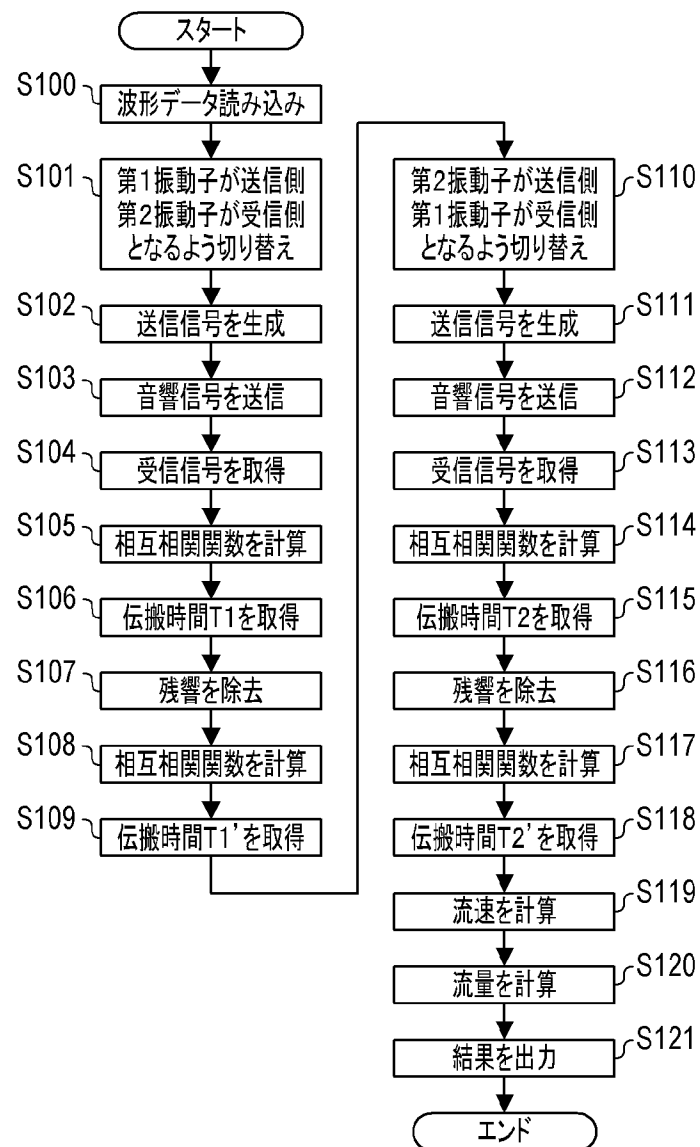
[図1]



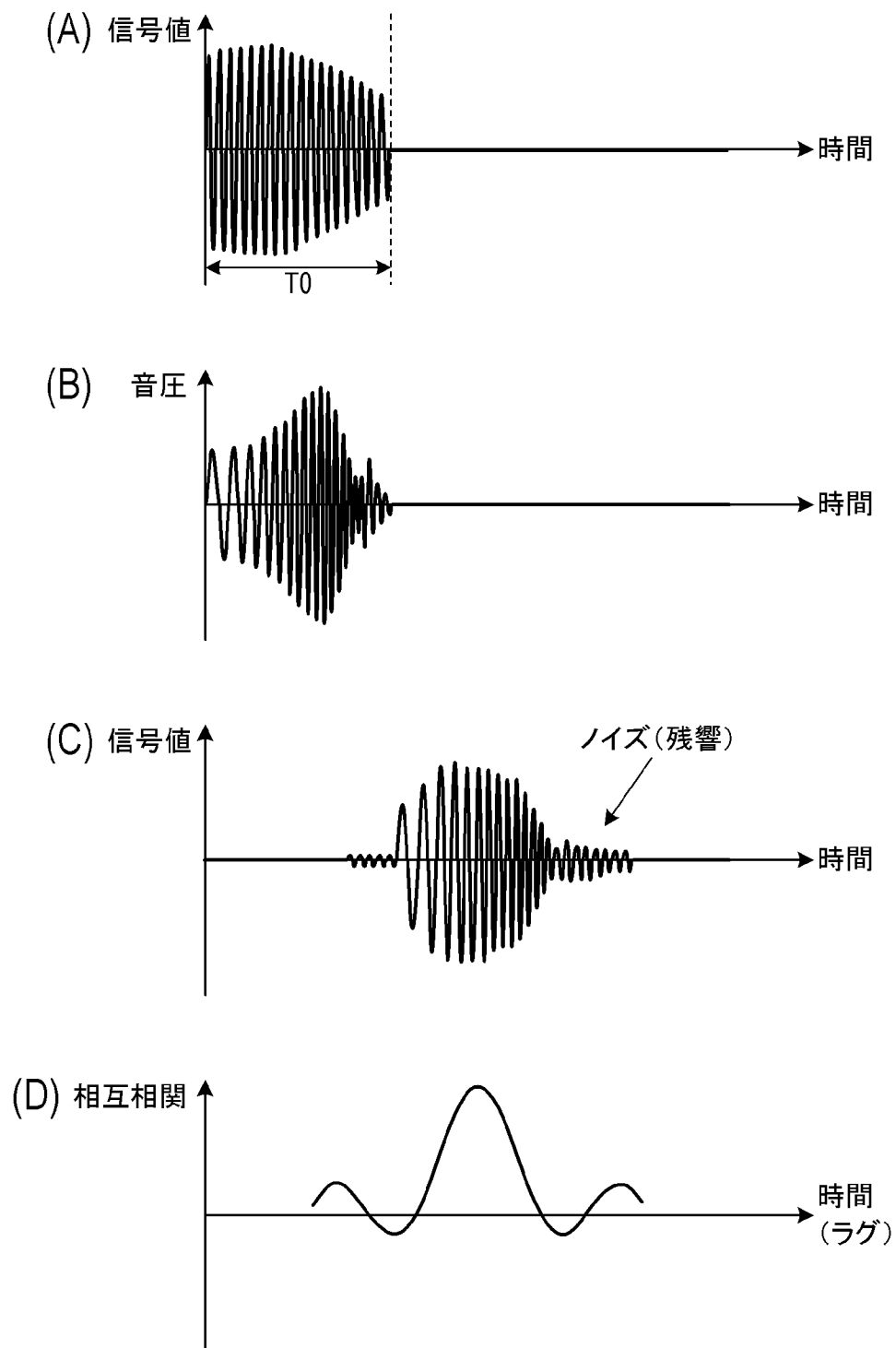
[図2]



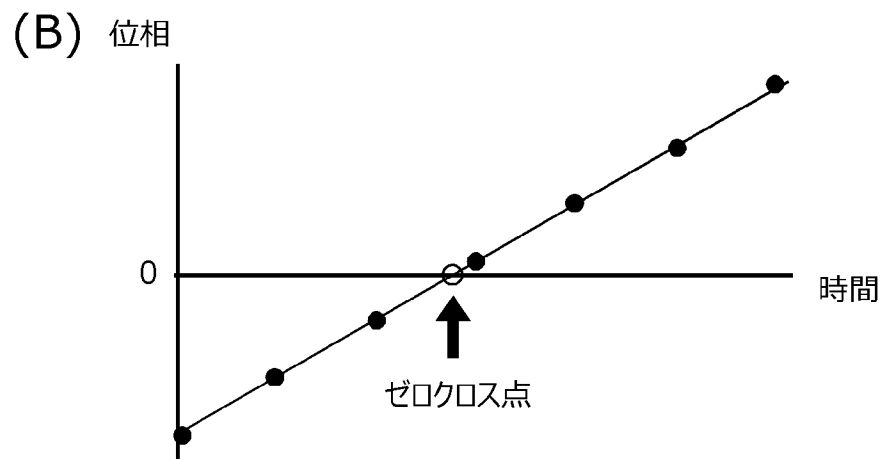
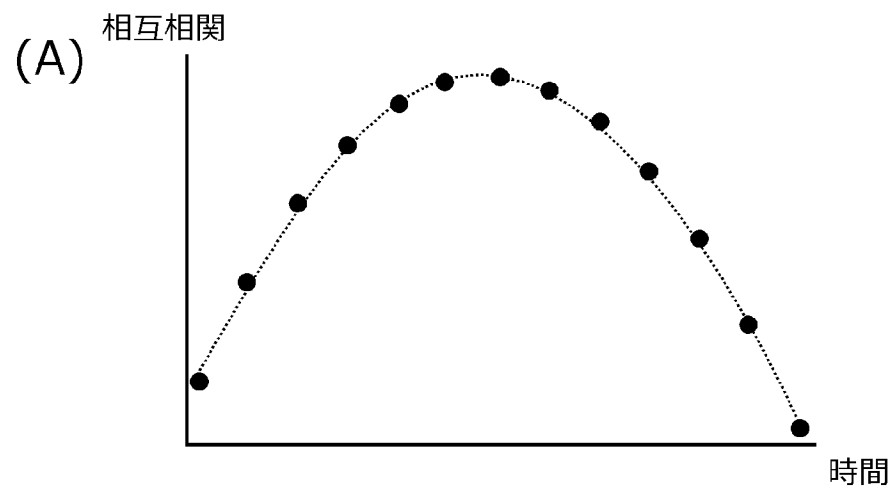
[図3]



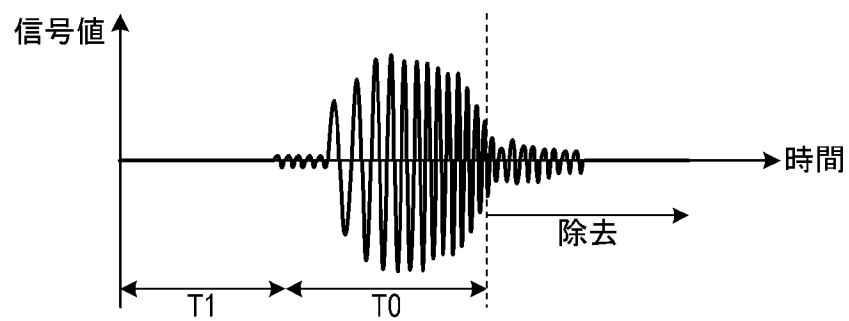
[図4]



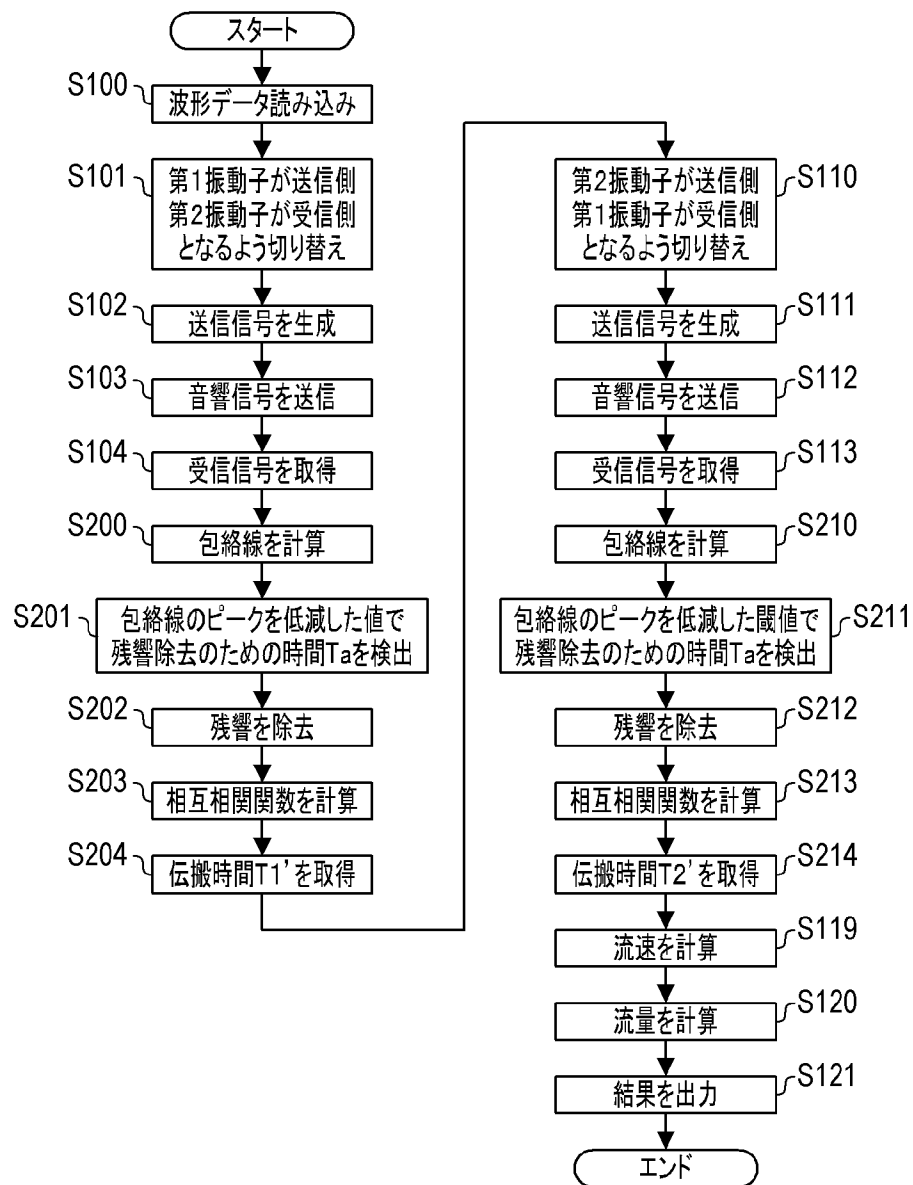
[図5]



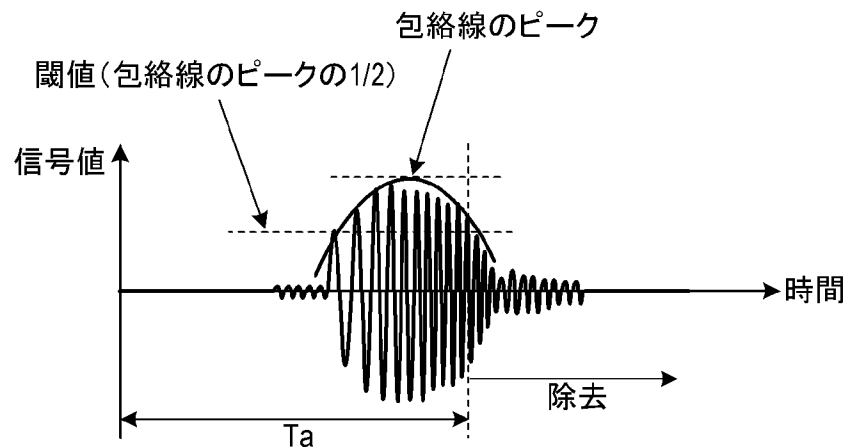
[図6]



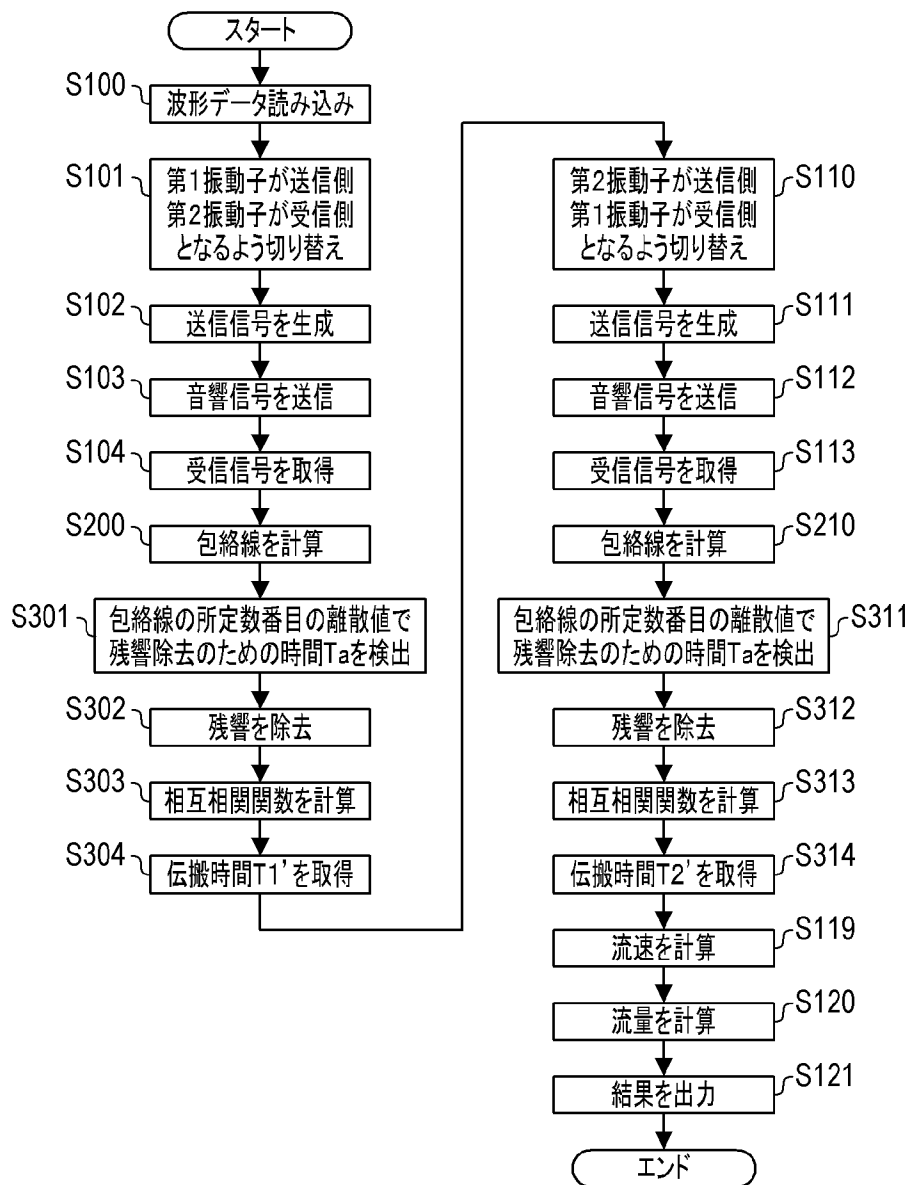
[図7]



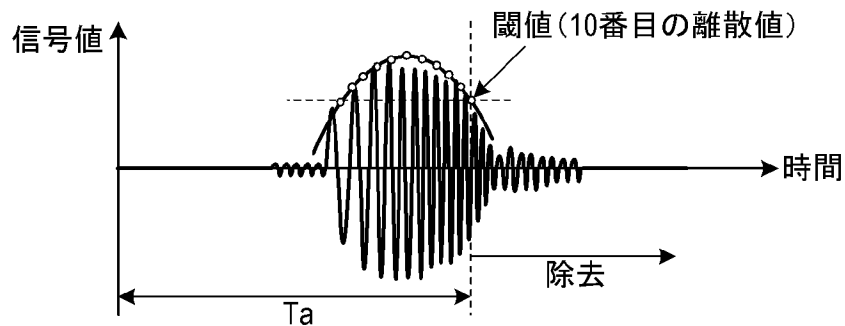
[図8]



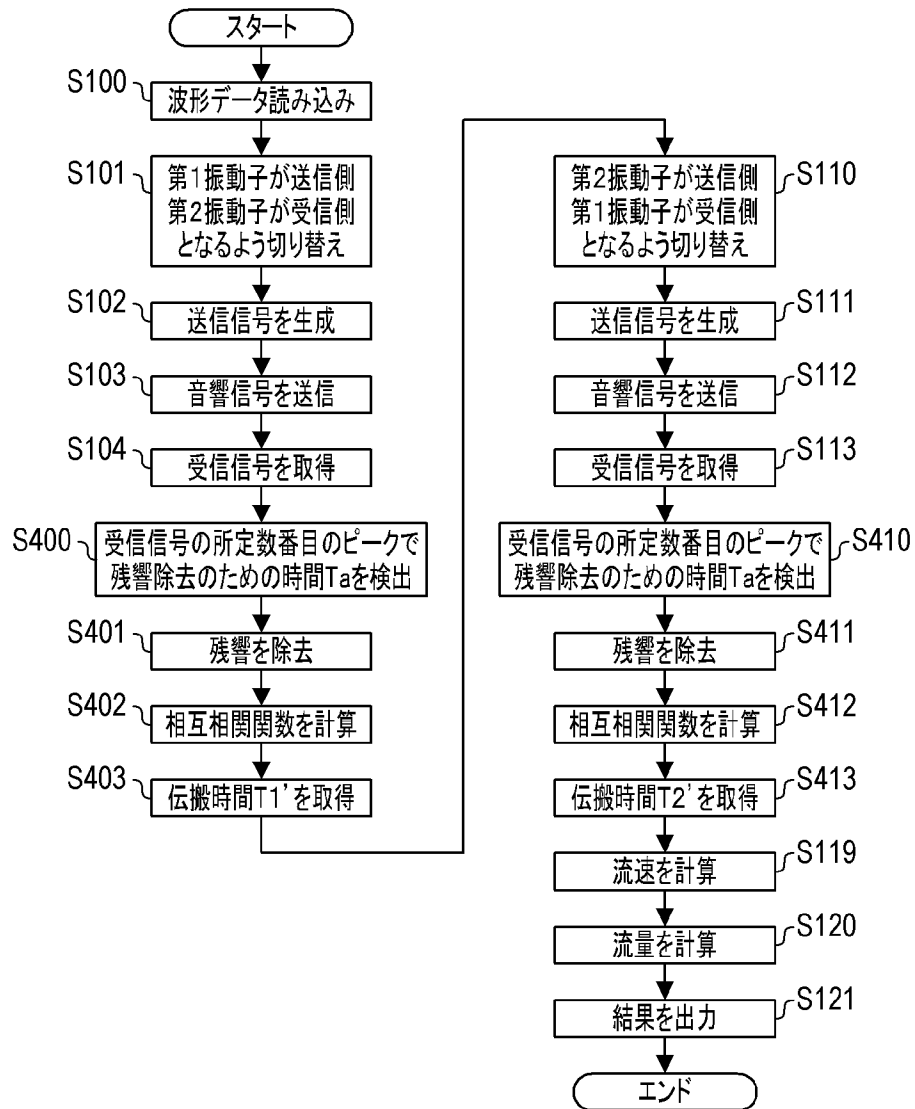
[図9]



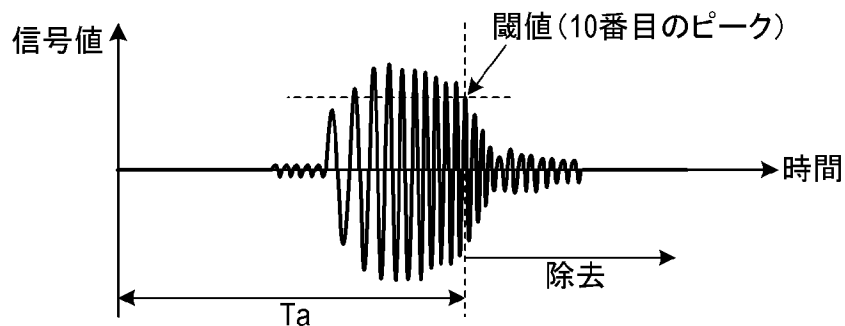
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/027198

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01F1/66 (2006.01) i

FI: G01F1/66101

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01F1/66

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021

Registered utility model specifications of Japan 1996-2021

Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2018-128264 A (AZBIL CORP.) 16 August 2018 (2018-08-16), paragraphs [0044], [0048]	1-12
A	JP 2013-185891 A (TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 19 September 2013 (2013-09-19), paragraph [0035], fig. 5	1-12
A	JP 2003-279396 A (KAIJO KK) 02 October 2003 (2003-10-02), entire text, all drawings	1-12
A	JP 2008-249400 A (TOKYO ELECTRIC POWER CO., INC.) 16 October 2008 (2008-10-16), entire text, all drawings	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 August 2021

Date of mailing of the international search report

07 September 2021

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/027198

JP 2018-128264 A 16 August 2018 (Family: none)

JP 2013-185891 A 19 September 2013 (Family: none)

JP 2003-279396 A 02 October 2003 (Family: none)

JP 2008-249400 A 16 October 2008 (Family: none)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01F 1/66(2006.01)i FI: G01F1/66 101														
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01F1/66 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2021年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2021年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2021年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2021年													
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	JP 2018-128264 A（アズビル株式会社）16.08.2018（2018 - 08 - 16） [0044], [0048]	1 - 12												
A	JP 2013-185891 A（国立大学法人東京工業大学）19.09.2013（2013 - 09 - 19） [0035], [図5]	1 - 12												
A	JP 2003-279396 A（株式会社カイジヨー）02.10.2003（2003 - 10 - 02） 全文, 全図	1 - 12												
A	JP 2008-249400 A（東京電力株式会社）16.10.2008（2008 - 10 - 16） 全文, 全図	1 - 12												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 27.08.2021	国際調査報告の発送日 07.09.2021													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 羽飼 知佳 2F 3306 電話番号 03-3581-1101 内線 3216													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/027198

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2018-128264	A	16.08.2018	(ファミリーなし)	
JP	2013-185891	A	19.09.2013	(ファミリーなし)	
JP	2003-279396	A	02.10.2003	(ファミリーなし)	
JP	2008-249400	A	16.10.2008	(ファミリーなし)	