

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-207426

(P2017-207426A)

(43) 公開日 平成29年11月24日(2017.11.24)

(51) Int.Cl.
G01B 17/00 (2006.01)F I
G01B 17/00テーマコード (参考)
2F068

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2016-101370 (P2016-101370)	(71) 出願人	301021533
(22) 出願日	平成28年5月20日 (2016. 5. 20)		国立研究開発法人産業技術総合研究所
			東京都千代田区霞が関1-3-1
		(74) 代理人	100064908
			弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100134544
			弁理士 森 隆一郎
		(74) 代理人	100188558
			弁理士 飯田 雅人
		(74) 代理人	100140774
			弁理士 大浪 一徳
		(72) 発明者	西村 良弘
			茨城県つくば市東1-1-1 国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンター内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音波伝搬長測定方法、及び音波伝搬長測定装置

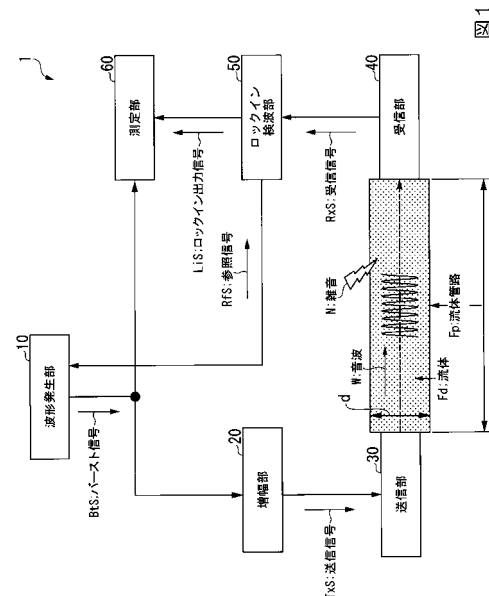
(57) 【要約】

【課題】 流体管路内において音波を送受信し、送信された音波と受信された音波とに基づいて、音波の伝搬長を測定する場合において、流体管路内に生じる雑音の影響を低減する。

【解決手段】 内部を流体が流通する流体管路内の流体を介して音波を送受信することにより音波の伝搬長を測定する音波伝搬長測定方法であって、所定の周波数帯域の信号を発生させる波形発生手順と、信号を、流体管路を導波管と見なした場合の一次遮断周波数よりも低い周波数の音波にして流体管路中の流体に対して送信する音波送信手順と、音波を受信する音波受信手順と、音波に含まれる雑音を、信号に基づいて低減する雑音低減手順と、雑音低減手順において雑音が低減された信号と、波形発生手順において発生された信号とに基づいて、流体中を伝搬する音波の伝搬長を測定する測定手順とを有する。

。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内部を流体が流通する流体管路内の当該流体を介して音波を送受信することにより前記音波の伝搬長を測定する音波伝搬長測定方法であって、

所定の周波数帯域の信号を発生させる波形発生手順と、

前記波形発生手順において発生された信号を、前記流体管路を導波管と見なした場合の一次遮断周波数よりも低い周波数の音波にして前記流体管路中の前記流体に対して送信する音波送信手順と、

前記音波送信手順において送信された音波を受信する音波受信手順と、

前記音波受信手順において受信された音波に含まれる雑音を、前記波形発生手順において発生された信号に基づいて低減する雑音低減手順と、

前記雑音低減手順において雑音が低減された信号と、前記波形発生手順において発生された信号とに基づいて、前記流体中を伝搬する音波の伝搬長を測定する測定手順と

を有する音波伝搬長測定方法。

【請求項 2】

前記雑音低減手順において、

前記音波受信手順において受信された音波に含まれる雑音を、前記波形発生手順において発生された信号に基づくロックイン検波手法によって低減する

請求項 1 に記載の音波伝搬長測定方法。

【請求項 3】

前記波形発生手順において、

所定の周波数帯域のバースト信号を前記信号として発生させる

請求項 1 又は請求項 2 に記載の音波伝搬長測定方法。

【請求項 4】

前記波形発生手順において、

所定の周波数帯域の連続信号を前記信号として発生させる

請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の音波伝搬長測定方法。

【請求項 5】

前記音波受信手順において、

前記音波送信手順において送信された音波が測定対象物に反射された反射波を受信し、

前記測定手順において、

前記音波受信手順において受信された前記反射波の変化に基づいて、前記測定対象物の位置の変化を測定する

請求項 4 に記載の音波伝搬長測定方法。

【請求項 6】

内部を流体が流通する流体管路内の当該流体を介して音波を送受信することにより前記音波の伝搬長を測定する音波伝搬長測定装置であって、

所定の周波数帯域の信号を発生させる波形発生部と、

前記波形発生部が発生させる信号を、前記流体管路を導波管と見なした場合の一次遮断周波数よりも低い周波数の音波にして前記流体管路中の前記流体に対して送信する音波送信部と、

前記音波送信部が送信する音波を受信する音波受信部と、

前記音波受信部が受信する音波に含まれる雑音を、前記波形発生部が発生させる信号に基づいて低減する雑音低減部と、

前記雑音低減部によって雑音が低減された信号と、前記波形発生部が発生させる信号とに基づいて、前記流体中を伝搬する音波の伝搬長を測定する測定部と

を備える音波伝搬長測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、音波伝搬長測定方法、及び音波伝搬長測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、流体管路内において音波を送受信し、送信された音波と受信された音波とに基づいて、音波の伝搬長を測定する技術が知られている(例えば、特許文献1を参照。)

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2002-196074号公報

【発明の概要】

10

【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に記載されるような従来の技術においては、受信された音波波形に流体管路内に生じる雑音の波形が重畳してしまう場合があり、この場合には、音波の伝搬長の測定精度が低下してしまうという問題がある。

【0005】

そこで、本発明は、上記の問題を解決するために、流体管路内に生じる雑音の影響を低減することができる波伝搬長測定方法、及び音波伝搬長測定装置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】

20

【0006】

本発明の一つの態様は、内部を流体が流通する流体管路内の当該流体を介して音波を送受信することにより前記音波の伝搬長を測定する音波伝搬長測定方法であって、所定の周波数帯域の信号を発生させる波形発生手順と、前記波形発生手順において発生された信号を、前記流体管路を導波管と見なした場合の一次遮断周波数よりも低い周波数の音波にして前記流体管路中の前記流体に対して送信する音波送信手順と、前記音波送信手順において送信された音波を受信する音波受信手順と、前記音波受信手順において受信された音波に含まれる雑音を、前記波形発生手順において発生された信号に基づいて低減する雑音低減手順と、前記雑音低減手順において雑音が低減された信号と、前記波形発生手順において発生された信号とに基づいて、前記流体中を伝搬する音波の伝搬長を測定する測定手順とを有する音波伝搬長測定方法である。

30

【0007】

本発明の一つの態様は、前記雑音低減手順において、前記音波受信手順において受信された音波に含まれる雑音を、前記波形発生手順において発生された信号に基づくロックイン検波手法によって低減する。

【0008】

本発明の一つの態様は、前記波形発生手順において、所定の周波数帯域のバースト信号を前記信号として発生させる。

【0009】

本発明の一つの態様は、前記波形発生手順において、所定の周波数帯域の連続信号を前記信号として発生させる。

40

【0010】

本発明の一つの態様は、前記音波受信手順において、前記音波送信手順において送信された音波が測定対象物に反射された反射波を受信し、前記測定手順において、前記音波受信手順において受信された前記反射波の変化に基づいて、前記測定対象物の位置の変化を測定する。

【0011】

本発明の一つの態様は、内部を流体が流通する流体管路内の当該流体を介して音波を送受信することにより前記音波の伝搬長を測定する音波伝搬長測定装置であって、所定の周波数帯域の信号を発生させる波形発生部と、前記波形発生部が発生させる信号を、前記流

50

体管路を導波管と見なした場合の一次遮断周波数よりも低い周波数の音波にして前記流体管路中の前記流体に対して送信する音波送信部と、前記音波送信部が送信する音波を受信する音波受信部と、前記音波受信部が受信する音波に含まれる雑音を、前記波形発生部が発生させる信号に基づいて低減する雑音低減部と、前記雑音低減部によって雑音が低減された信号と、前記波形発生部が発生させる信号とに基づいて、前記流体中を伝搬する音波の伝搬長を測定する測定部とを備える音波伝搬長測定装置である。

【発明の効果】

【0012】

流体管路内において音波を送受信し、送信された音波と受信された音波とに基づいて、音波の伝搬長を測定する場合において、流体管路内に生じる雑音の影響を低減することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】第1の実施形態の音波伝搬長測定装置の構成の一例を示す図である。

【図2】第1の実施形態の信号波形の一例を示す図である。

【図3】第2の実施形態の音波伝搬長測定装置の構成の一例を示す図である。

【図4】第2の実施形態の信号波形の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

[第1の実施形態]

20

以下、本発明の第1の実施形態について図面を参照しながら説明する。まず、図1を参照して、音波伝搬長測定装置1の概要について説明する。

【0015】

図1は、本実施形態の音波伝搬長測定装置1の構成の一例を示す図である。この音波伝搬長測定装置1は、内部を流体F_dが流通する流体管路F_p内の流体F_dを介して音波Wを送受信することにより音波Wの伝搬長を測定する。具体的には、音波伝搬長測定装置1は、波形発生部10と、増幅部20と、送信部30と、受信部40と、ロックイン検波部50と、測定部60とを備える。

【0016】

波形発生部10は、バースト信号B_tSと、参照信号R_fSとを発生させる。波形発生部10は、発生させたバースト信号B_tSを、増幅部20及び測定部60に供給する。このバースト信号B_tSとは、例えば、10[kHz]のバースト波形信号である。波形発生部10は、発生させた参照信号R_fSをロックイン検波部50に供給する。この参照信号R_fSとは、例えば、10[kHz]の連続波形信号である。

30

【0017】

増幅部20は、波形発生部10から供給されるバースト信号B_tSを増幅して、増幅した信号を送信信号T_xSとして送信部30に供給する。

【0018】

送信部30は、例えば、水中スピーカーを備えており、供給される送信信号T_xSを、流体管路F_p内の流体F_dに対して、音波Wとして出力する。以下、この音波Wの性質について、流体管路F_pが、間隔dで対向する平行平板壁であるものとして説明する。

40

【0019】

間隔dで対向する平板間に、波長 $\lambda = d/4$ の波動が伝搬する場合を考える。この場合、0次の波は平板間を直進して伝搬する。またこの場合、1次の波、2次の波、3次の波が伝搬し、4次以上の波は伝搬しえない。1次の波、2次の波、3次の波のような高次の波は平板面に対して斜めに進行して壁面で多重反射し、0次の波より遅れて進行する。このため、0次の波に比べ高次の波は、受信部40への到着が遅れる。したがって、0次の波に比べ高次の波は、受信部40に受信された波形が時間軸に方向にぼやけて伸びる。このため、0次の波に比べ高次の波は、受信部40への到着時間の決定が困難となる。したがって、送信部30は、流体管路F_p内に0次の波を音波Wとして出力することが好まし

50

い。

【0020】

ここで、流体管路 F_p をいわゆる導波管として考え、導波管の遮断周波数の概念を音波 W に対してあてはめると、次のようにして説明することができる。すなわち、流体管路 F_p を導波管と見なした場合の一次遮断周波数より小さい周波数の音波 W であれば、1 次の波、2 次の波、3 次の波…等の高次の境界波動は存在できず、0 次の波のみしか存在し得ないといえる。換言すれば、流体管路 F_p を導波管と見なした場合の一次遮断周波数に対応する波長よりも長い波長の音波であれば、1 次の波、2 次の波、3 次の波…等の高次の境界波動は存在できず、0 次の波のみしか存在し得ないといえる。

【0021】

なお、音波 W における一次遮断周波数は、電磁波の導波管の一遮断周波数と同様にして、管の断面形状、流体中の音速（例えば、常温の水中での音速は 1500 m/s 、海水中では 1513 m/s 等）、管壁での境界条件等を考慮して数学的に解析できることがよく知られている。板波の波動解析や電磁波の導波路解析でもよく知られているように遮断周波数の波動の波長のオーダーも境界条件にほとんどよらないことも数学的に自明である。

また、間隔 d で対向した平板間の水路を導波管と見なした場合の音波 W の一次遮断周波数に対応する波長 λ は、概ね $\lambda = d$ であることが知られている。

【0022】

波形発生部 10 が、流体管路 F_p を導波管と見なした場合の一次遮断周波数より小さい周波数の音波 W を生成しうるバースト信号 $B_t S$ を出力すれば、流体管路 F_p 内の音波 W が 0 次の波になる。換言すれば、波形発生部 10 が発生させるバースト信号 $B_t S$ とは、流体管路 F_p を導波管と見なした場合の一次遮断周波数より小さい周波数の音波 W を生成しうる信号である。

すなわち、送信部 30 は、波形発生部 10 が発生させる信号を、流体管路 F_p を導波管と見なした場合の一次遮断周波数よりも低い周波数の音波 W にして流体管路 F_p 中の流体 F_d に対して送信する。

【0023】

受信部 40 は、例えば水中マイクを備えており、送信部 30 が流体 F_d に対して出力する音波 W を受信し、受信した音波 W を受信信号 $R_x S$ として出力する。ここで、受信部 40 が受信する音波 W には、雑音 N が含まれている場合がある。ここで、雑音 N とは、受信部 40 が受信する音波 W の成分のうち、送信部 30 が送信する音波 W の成分以外の成分である。例えば、雑音 N とは、送信部 30 が送信した音波 W に対して、流体管路 F_p 内において加えられる振動成分である。具体的な一例として、流体管路 F_p は、工場など振動が発生する環境におかれる場合がある。このような場合において、流体管路 F_p に振動が加えられると、流体管路 F_p の壁面から流体 F_d に振動が伝達され、流体 F_d に振動が生じる。流体 F_d に振動が生じると、受信部 40 が受信する音波 W には、この振動に応じた雑音 N が含まれる。雑音 N が含まれた受信信号 $R_x S$ の一例を図 2 に示す。

【0024】

図 2 は、第 1 の実施形態の信号波形の一例を示す図である。波形発生部 10 は、図 2 (a) に示すバースト信号 $B_t S$ を出力する。送信部 30 は、このバースト信号 $B_t S$ が増幅された送信信号 $T_x S$ を音波 W として出力する。つまり、波形発生部 10 が発生させるバースト信号 $B_t S$ の波形と、送信部 30 が出力する音波 W の波形とは相似である。受信部 40 は、音波 W を受信し、図 2 (b) に示す受信信号 $R_x S$ を出力する。この一例に示すように、バースト信号 $B_t S$ の波形に対して受信信号 $R_x S$ の波形は変形している。つまり、受信信号 $R_x S$ には、雑音 N が含まれている。

【0025】

図 1 に戻り、ロックイン検波部 50 は、参照信号 $R_f S$ に基づいて、受信信号 $R_x S$ を既知のロックイン検波手法によって検波する。ロックイン検波部 50 は、受信信号 $R_x S$ の検波結果をロックイン出力信号 $L_i S$ として測定部 60 に出力する。このロックイン出力信号 $L_i S$ の波形の一例を図 2 (c) に示す。ここで、図 2 (b) に示す受信信号 $R_x S$

10

20

30

40

50

Sと、ロックイン出力信号 $L_i S$ とを比較すると、ロックイン出力信号 $L_i S$ は、受信信号 $R_x S$ に含まれる雑音 N 成分が低減された矩形形状の波形を有する。つまり、ロックイン出力信号 $L_i S$ は、受信信号 $R_x S$ に含まれる雑音 N 成分が低減されている。

すなわち、ロックイン検波部 50 は、受信部 40 が受信する音波 W に含まれる雑音 N を、波形発生部 10 が発生させる信号に基づいて低減する。

【0026】

ここで、既知のロックイン検波手法においては、所定の周波数オーダーの連続信号をその参照信号として用いることが好ましい。ここで、所定の周波数とは、例えば、100 kHz 以下、又は 1 kHz ~ 100 kHz である。波形発生部 10 が発生させるバースト信号 $B_t S$ 及び参照信号 $R_f S$ は、いずれも所定の周波数（例えば、100 kHz 以下、又は 1 kHz ~ 100 kHz）オーダーの信号である。すなわち、波形発生部 10 は、所定の周波数帯域の信号を発生させる。また、参照信号 $R_f S$ は、所定の周波数（例えば、100 kHz 以下、又は 1 kHz ~ 100 kHz）オーダーの連続波である。したがって、波形発生部 10 が発生させるバースト信号 $B_t S$ 及び参照信号 $R_f S$ は、既知のロックイン検波手法に適した周波数帯域と波形とを有している。

【0027】

測定部 60 は、波形発生部 10 が出力するバースト信号 $B_t S$ と、ロックイン検波部 50 が出力するロックイン出力信号 $L_i S$ とに基づいて、送信部 30 と受信部 40 との間の音波 W の伝搬長 l を測定する。具体的には、測定部 60 は、波形発生部 10 が出力するバースト信号 $B_t S$ を取得する。このバースト信号 $B_t S$ とは、図 2 (a) に示すように時刻 t_1 においてバースト波形が立ち上がる信号である。測定部 60 は、ロックイン検波部 50 が出力するロックイン出力信号 $L_i S$ を取得する。このロックイン出力信号 $L_i S$ とは、図 2 (c) に示すように時刻 t_2 において矩形形状の波形が立ち上がる信号である。測定部 60 は、これら 2 つの信号の立ち上がりの時刻差 Δt と、流体 F_d 中を伝搬する音波 W の音速 W_s とに基づいて、音波 W の伝搬長 l を測定する。

すなわち、測定部 60 は、ロックイン検波部 50 によって雑音が低減された信号と、波形発生部 10 が発生させる信号とに基づいて、流体 F_d 中を伝搬する音波 W の伝搬長 l を測定する。

【0028】

以上説明したように本実施形態の音波伝搬長測定装置 1 において、波形発生部 10 は、ロックイン検波部 50 の検波方式に適した周波数帯域及び波形である信号、すなわち、バースト信号 $B_t S$ 及び参照信号 $R_f S$ を出力する。また、音波伝搬長測定装置 1 において、ロックイン検波部 50 は、波形発生部 10 が出力する参照信号 $R_f S$ に基づいて、受信信号 $R_x S$ に含まれる雑音 N を低減する。換言すれば、音波伝搬長測定装置 1 は、雑音 N の低減効果を有するロックイン検波方式を採用しうる周波数帯域及び波形によって、音波 W の伝搬長 l を測定する。

つまり、本実施形態の音波伝搬長測定装置 1 によれば、流体管路 F_p 内において音波 W を送受信し、送信された音波 W と受信された音波 W とに基づいて、音波 W の伝搬長 l を測定する場合において、流体管路 F_p 内に生じる雑音 N の影響を低減することができる。この方法は、送信部 30 及び受信部 40 を送受信装置に置き換えれば、次に示す第 2 の実施形態でも適用可能である。

【0029】

[第 2 の実施形態]

図 3 及び図 4 を参照して、本発明の第 2 の実施形態について説明する。まず、図 2 を参照して、本実施形態の音波伝搬長測定装置 2 の概要について説明する。なお、以下の説明において、上述した第 1 の実施形態と同一の構成については、第 1 の実施形態と同一の符号を付して、その説明を省略する。

【0030】

図 3 は、第 2 の実施形態の音波伝搬長測定装置 2 の構成の一例を示す図である。音波伝搬長測定装置 2 は、波形発生部 10 に代えて波形発生部 15 を、送信部 30 及び受信部 4

10

20

30

40

50

0に代えて送受信部35を、ロックイン検波部50に代えてロックイン検波部55を、測定部60に代えて測定部65をそれぞれ備える。なお、送受信部35は、必ずしも、一体である必要はないし離れて設置されていてもよいことに留意してほしい。この音波伝搬長測定装置2は、音波Wの反射による位相遅れを利用して、流体管路Fp内の測定対象Objの位置を測定する点において、上述した第1の実施形態と異なる。ここで、測定対象Objとは、例えば、流体管路Fp内を移動する点検用ロボットや、流体管路Fp内の異物等である。この一例では、測定対象Objは、図3に示す移動方向Dmにある速度で移動している。この測定対象Objの移動速度が、流体Fd内を伝搬する音波Wの音速WSに比べて十分に低い場合（例えば、測定対象Objの移動速度が10[km/h]程度の場合）について説明する。

10

【0031】

波形発生部15は、連続信号CtSを増幅部20に対して出力する。この連続信号CtSとは、例えば、10[kHz]の連続波形を有する信号である。

【0032】

送受信部35は、例えば、水中スピーカーを備えており、供給される送信信号TxSを、流体管路Fp内の流体Fdに対して音波Wとして出力する。この送受信部35が流体Fdに出力する音波Wを、測定対象Objの入射波Wi、又は単に入射波Wiともいう。また、送受信部35は、例えば、水中マイクを備えており、流体Fdに出力された入射波Wiが測定対象Objによって反射された音波W、すなわち反射波Wrを受信し、受信した反射波Wrを受信信号RxSとして出力する。この受信信号RxSには、流体Fdの振動に応じた雑音Nが含まれる。雑音Nが含まれた受信信号RxSの一例を図4に示す。

20

【0033】

図4は、第2の実施形態の信号波形の一例を示す図である。波形発生部15は、図4(a)に示す連続信号CtSを出力する。送受信部35は、この連続信号CtSが増幅された送信信号TxSを音波Wとして出力する。つまり、波形発生部15が発生させる連続信号CtSの波形と、送受信部35が出力する音波Wの波形とは相似である。

【0034】

ロックイン検波部55は、参照信号RfSに基づいて、受信信号RxSを既知のロックイン検波手法によって検波する。ロックイン検波部55は、受信信号RxSの検波結果をロックイン出力信号LiSとして測定部65に出力する。このロックイン出力信号LiSの波形の一例を図4(b)に示す。なお、ロックイン出力信号LiSは、送受信部35が受信する受信信号RxSに含まれる雑音N成分が低減された信号であるが、この雑音N成分が低減される仕組みは、上述した第1の実施形態と同様であるので説明を省略する。

30

【0035】

本実施形態のロックイン出力信号LiSは、送受信部35と測定対象Objとの間の距離l2に応じて立ち上がり立ち下りが生じる矩形状の波形を有する信号である。具体的には、ロックイン出力信号LiSは、流体Fd中の音波Wの波長λの1/4の長さ、つまり距離(λ/4)だけ移動方向Dmに移動する毎に、立ち上がり立ち下りが生じる。図4に示す具体例では、測定対象Objは、時刻t1から時刻t2にかけて距離(λ/4)だけ移動方向Dmに移動している。また、測定対象Objは、時刻t2から時刻t3にかけて距離(λ/4)だけ、時刻t3から時刻t4にかけて距離(λ/4)だけ、それぞれ移動方向Dmに移動している。

40

【0036】

図3に戻り、測定部65は、ロックイン出力信号LiSの波形の立ち上がり及び立ち下りの回数を計数することにより、送受信部35と測定対象Objとの間の距離l2の変化を測定する。ここで、図4に示す時刻t1における、送受信部35と測定対象Objとの間の距離が既知であれば、測定部65は、ロックイン出力信号LiSの波形変化の計数結果に基づいて、送受信部35と測定対象Objとの間の距離l2を測定することもできる。また、測定部65は、単位時間当たりのロックイン出力信号LiSの波形変化の計数結果に基づいて、測定対象Objの移動速度を測定することもできる。

50

【0037】

以上説明したように本実施形態の音波伝搬長測定装置2によれば、流体管路Fp内に生じる雑音Nの影響を低減しつつ、流体管路Fp内における測定対象Objの位置や移動速度を測定することができる。つまり、音波伝搬長測定装置2によれば、流体管路Fp内における測定対象Objの位置や移動速度を測定する場合において、流体管路Fp内に生じる雑音Nの影響を低減することができる。

【0038】

なお、上記実施形態及び各変形例における構成は、相互に矛盾しない限り適宜組み合わせられてよい。

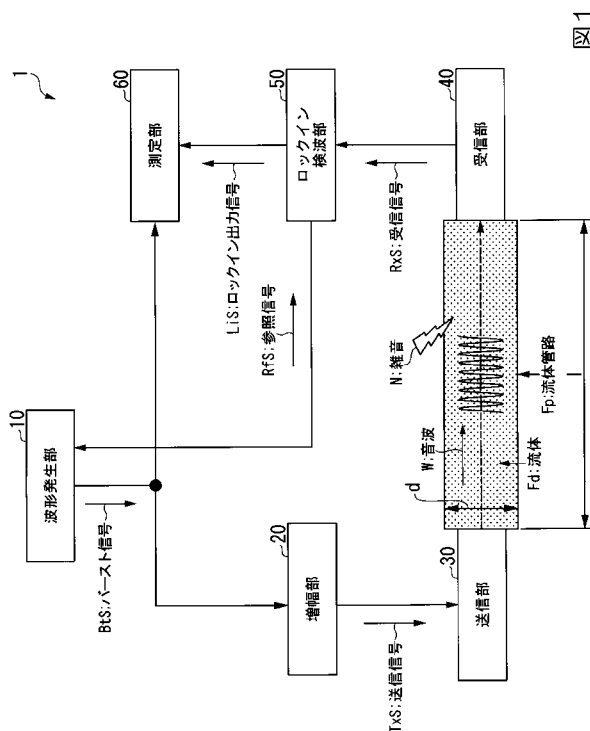
【符号の説明】

【0039】

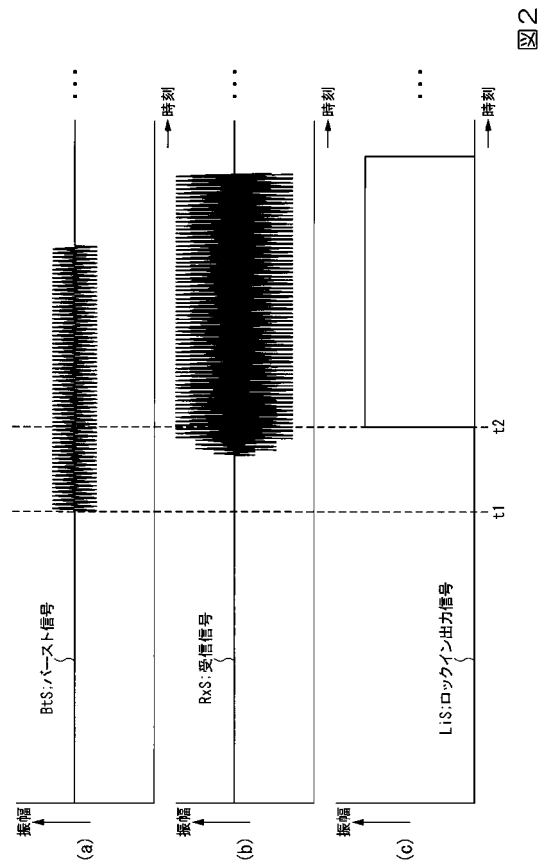
1、2…音波伝搬長測定装置、10…波形発生部、20…増幅部、30…送信部（音波送信部）、35…送受信部（音波送信部、音波受信部）、40…受信部（音波受信部）、50、55…ロックイン検波部（雑音低減部）、60、65…測定部、Fp…流体管路、Obj…測定対象

10

【図1】



【図2】



【図 3】

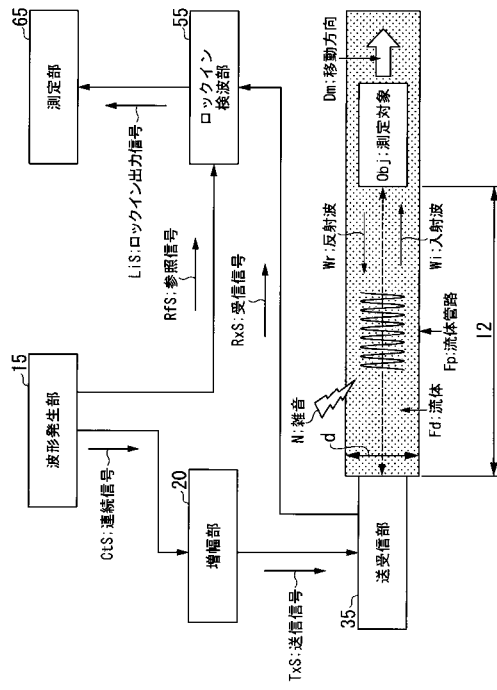


図 3

【図 4】

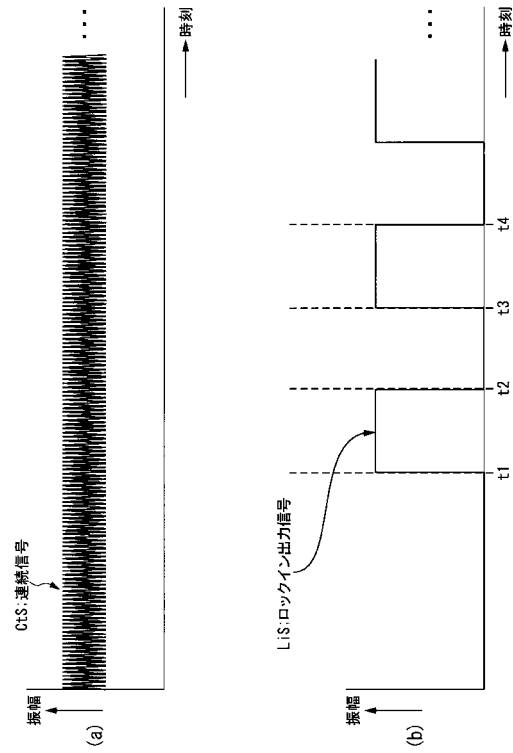


図 4

フロントページの続き

Fターム(参考) 2F068 AA02 AA06 BB09 DD03 FF04 FF12 FF25 HH01