(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
2019年1月31日(31.01.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/022084 A1

(51) 国際特許分類:
G01D 5/353 (2006.01)　*G01H 17/00* (2006.01)
G01H 3/00 (2006.01)　*G01B 11/16* (2006.01)
G01H 9/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2018/027730

(22) 国際出願日：　2018年7月24日(24.07.2018)

(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 2017-146173　2017年7月28日(28.07.2017)　JP

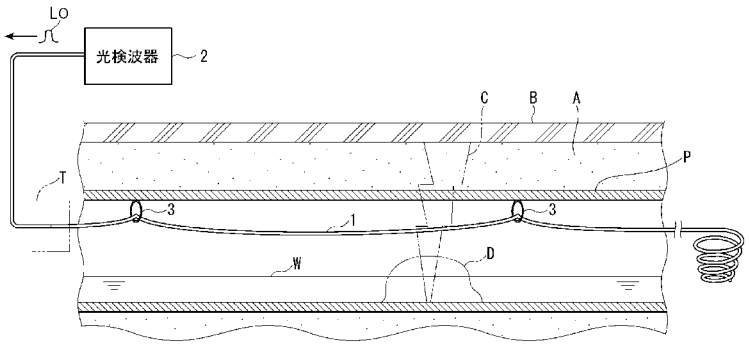
(71) 出願人: 長野計器株式会社 (NAGANO KEIKI CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1438544 東京都大田区東馬込一丁目３０番４号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 藤田 圭一 (FUJITA Keiichi); 〒1438544 東京都大田区東馬込一丁目３０番４号 長野計器株式会社内 Tokyo (JP). 大井 直幸 (OHI Naoyuki); 〒1438544 東京都大田区東馬込一丁目３０番４号 長野計器株式会社内 Tokyo (JP). 小川 顕 (OGAWA Ken); 〒1438544 東京都大田区東馬込一丁目３０番４号 長野計器株式会社内 Tokyo (JP). 土屋 宗典 (TSUCHIYA Munenori); 〒1438544 東京都大田区東馬込一丁目３０番４号 長野計器株式会社内 Tokyo (JP).

(54) **Title:** SEWER MONITORING SYSTEM AND METHOD FOR IMPLEMENTING SAME

(54) 発明の名称： 下水道モニタリングシステム及びその施工方法

[図2]



2 Photodetector

(57) **Abstract:** The present invention comprises: an optical fiber (1) disposed in a pipe (P) having a sewage flow path through which sewage (W) flows, the optical fiber (1) being disposed so as to extend axially in a portion of the sewage flow path positioned above a preset normal water level; and a photodetector (2) that operates according to a timed main scheme, the photodetector (2) having a light transmitter (21) that transmits pulse light within the optical fiber (1) and a light detector (22) that detects scattered light generated within the optical fiber (1) due to a change in the environment outside the optical fiber (1).

(57) 要約：下水（W）が流通される下水流路を有する管（P）のうち下水流路の予め設定された通常時水位より上方に位置する部分において軸方向に伸びて配置された光ファイバ（１）と、光ファイバ（１）の内部にパルス光を送信する光送信部（２１）及び光ファイバ（１）の外部における環境の変化によって光ファイバ（１）の内部で生じる散乱光を検出する光検出部（２２）を有するタイムドメイン方式による光検波器（２）と、を備えた。

WO 2019/022084 A1

［続葉有］

(74) 代理人：特許業務法人樹之下知的財産事務所 (KINOSHITA & ASSOCIATES)；〒1670051 東京都杉並区荻窪五丁目２６番１３号３階 Tokyo (JP).

(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, JO, JP, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 下水道モニタリングシステム及びその施工方法

技術分野

[0001] 本発明は、下水道モニタリングシステム及びその施工方法に関する。

背景技術

[0002] 大都市だけでなく地方都市においても、下水道管が地下に埋設されている。下水道管は、長期に渡って使用されるものであるため、モニタリングされている。

下水道のモニタリングの一つの例として、永年疲労や大地震等による下水道の損傷の有無を確認するために、管の下部において光ファイバを配置し、この光ファイバの端部に光ファイバ音響分布センサ（ＤＡＳ）を接続したシステムが知られている（特許文献１）。

[0003] 下水道のモニタリングの他の例として、下水道のオーバーフロー管のうち上流側に第１の測定箇所を設置し、下流側に第２の測定箇所を設置し、これらの測定箇所にそれぞれ光ファイバ経路を直接接続し、光ファイバ経路に光伝送特性測定器を接続し、光伝送特性測定器により、第１の測定箇所と第２の測定箇所との検知時刻の差から下水の流速や流量を求める検知装置が知られている（特許文献２）。

さらに、下水道のモニタリングの他の例として、下水道設備での下水のオーバーフローに備えるため、複数のＦＢＧセンサを光ファイバに設け、光ファイバからの反射光を監視装置で分析する遠隔監視システムが知られている（特許文献３）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第２０１７／０２１７０２号

特許文献2：特許第４７６３２９６号公報

特許文献3：特許第５１９９８４５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献１の従来例では、光ファイバは管の下部に配置されているので、常時、下水に浸されることになる。下水を通しての検出であるため、例えば、管の上部で生じた損傷等に伴う音は、下水に含まれる浮遊物やゴミ等により散乱し、正確なモニタリングができない。

[0006] 特許文献２の従来例は、下水の流速や流量を求めるものであり、下水道管自体や下水道管の周囲の変化をモニタリングするものではない。しかも、第１の測定箇所と第２の測定箇所は、それぞれ光ファイバ経路に直列接続されたプローブであり、プローブは、予め設定された場所に設置されている。隣合うプローブの間の寸法が長いと、これらのプローブの中間位置で生じた下水の物理量の変化を十分に検出することができない。

特許文献３の従来例は、オーバーフローに備えて水位を監視するものであり、下水道管自体や下水道管の周囲の変化をモニタリングするものではない。しかも、複数のＦＢＧセンサを有するものであり、これらのＦＢＧセンサは予め設定された位置に設けられている。隣合うＦＢＧセンサの間の寸法が長いと、これらのプローブの中間位置で生じた下水の物理量の変化を十分に検出することができない。

[0007] 本発明の目的は、下水道のモニタリングを正確に行うことができ、かつ、光ファイバの構造が簡易な下水道モニタリングシステム及びその施工方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の下水道モニタリングシステムは、下水が流通される下水流路を有する管のうち前記下水流路の予め設定された通常時水位より上方に位置する部分において軸方向に伸びて配置された光ファイバと、前記光ファイバの内部にパルス光を送信する光送信部、及び前記光ファイバの外部における環境の変化によって前記光ファイバの内部で生じる散乱光を検出する光検出部を有するタイムドメイン方式による光検波器と、を備えた、ことを特徴とする

。

[0009] 本発明では、光ファイバと光検波器とからセンサが構成される。

ここで、下水流路を有する管には、下水が流通する下水道管だけでなく、下水道管として機能する下水流路と、下水流路の上の電気ケーブル、ガス管、通信ケーブル、上水道管が収納された収納空間とが１つの管の中に配置された共同溝も含まれる。通常時水位とは、通常の状態で流通する下水の上限位置であり、この上限位置を超えて水位が上昇すると、下水が十分に流通しなくなったり、下水流路自体に破損等が生じたりして、不都合が生じる。この通常時水位は予め設定されるものである。光ファイバは下水流路のうち通常時水位より上方に位置する部分であれば、その具体的な位置は、限定されるものではなく、下水流路の内周面の上部でもよく、側部でもよく、さらには、共同溝における電気ケーブル等が収納された収納空間であってもよい。

[0010] センサでは、光検波器の光送信部から光ファイバにパルス光を送信する。光ファイバに送られたパルス光のうち僅かな光が光検波器に入射する。

この状態で、下水流路を有する管に亀裂等の損傷が生じたり、管の上部が陥没したりすると、光ファイバに伝わる音、振動、温度、歪み等の環境が変化することになる。光ファイバに伝わる環境の変化は、散乱光の変化となる。

散乱光の変化は光検出部で検出される。光検出部では、散乱光の信号を時系列信号として受信する。光検波器から近い位置の信号が早く受信し、光検波器から遠い位置の信号が遅く受信する。即ち、時系列信号と距離とは比例関係にあるので、光ファイバの各位置からの反射光を検出できる。この動作を高速に繰り返すことで、各地点の反射光の光強度の変化、つまり、音響信号、振動信号、加速度信号、温度信号、歪み信号の変化を捉えることができる。この音響信号等の変化から下水流路を有する管に亀裂等が生じた位置を推定できる。これにより、下水道の特定の位置が異常であると判断できる。

これに対して、管に損傷が生じない場合では、光ファイバの外部から内部に伝わる音、振動、温度等の環境が変化することがなく、その結果、光検出

部で検出される散乱光の変化はない。そのため、下水道が正常であることが判断できる。

さらに、光検波器では、音、振動、温度、歪み等のデータに基づき、統計データやＡＩ（人工知能）を用いて管の監視を行ってもよい。例えば、光検波器は、音等のデータをスペクトルパターンとして予め記憶した記憶部を有し、この記憶部で記憶したスペクトルパターンと、光検出部から送られた音等のデータに基づいて作成されるスペクトルパターンとを対比して、損傷や陥没といった管に生じる不都合をモニタリングすることも可能である。

[0011] 従って、本発明では、光ファイバは、管のうち通常時水位より上方に位置する部分に配置されているので、下水流路の上部や管自体の上部で生じた損傷等に伴う音、振動、温度等は、下水を通さず、直接、光ファイバに伝わる。しかも、光ファイバにおいて散乱光の変化が大きい箇所は、音、振動、温度等の環境変化の発生源から最も近い部位である。そのため、正確なモニタリングができる。

[0012] 本発明では、前記光検波器で検出される散乱光は、レイリー散乱に伴うもの、ラマン散乱に伴うもの、ブリルアン散乱に伴うもののうち少なくとも１つとしてもよい。

ここで、レイリー散乱は、光ファイバの媒質内の密度の揺らぎに発生するものであり、入射光と同じ周波数で戻る後方散乱光である。散乱光が発生した場所の光ファイバの損失の変動に伴い散乱光の光強度が変化する。

ラマン散乱は、光ファイバの媒質内の分子振動の相互作用により発生するものであり、後方散乱光と前方散乱光との双方がある。ラマン散乱は、発生した場所の温度の変化に伴い散乱光の光強度が変化する。

ブリルアン散乱は、光ファイバの媒質内の音波との相互作用により発生する後方散乱光であり、散乱光が発生した場所の歪みや温度変化に伴い周波数が変化する。

散乱光は、レイリー散乱に伴うもの、ラマン散乱に伴うもの、ブリルアン散乱に伴うものの１つ、あるいは、これらの組み合わせである。

[0013] この構成では、下水流路内に土砂が流入したり、その他の理由によって、下水流路内で下水の水位が上昇して光ファイバが下水に浸されたり、あるいは、光ファイバを下水流路に止める係止部材が脱落し、光ファイバの一部が下水に浸されたりすると、光ファイバが下水に浸される前後で、温度が変化する。光ファイバの内部では、音等の振動が変化すると、レイリー散乱に伴う散乱光が変化し、温度が変化すると、ラマン散乱に伴う散乱光が変化する。さらに、温度が変化し、光ファイバが引っ張られて歪みが生じると、ブリルアン散乱に伴う散乱光が変化する。

従って、タイムドメイン方式による光検波器により、レイリー散乱、ラマン散乱、ブリルアン散乱に伴うもののうち少なくとも１つの散乱光を検出するようにしたから、下水道の特定の場所での管の破損、管の損傷、これらに伴う土砂の流入、土砂の流入に伴う光ファイバの浸水、光ファイバの一部の脱落、管の内部への人や動物の侵入、管の陥没やクラック、管の伸び等を検出することができる。

[0014] 本発明の下水道モニタリングシステムは、下水が流通される下水流路を有する管のうち前記下水流路の予め設定された通常時水位より上方に位置する部分において軸方向に複数の振動センサが配置された振動センサアレイと、前記振動センサアレイで検出された振動に基づいて前記管を監視するモニタと、を備えた、ことを特徴とする。

[0015] 本発明では、下水流路を有する管に亀裂等の損傷が生じたり、管の上部が陥没したりすると、管に振動が発生する。ここで、振動には、音だけでなく音を伴わない振動が含まれる。

振動は振動センサアレイを構成する複数の振動センサで検出される。振動センサアレイからモニタに振動のデータが送られ、モニタでは、振動のデータに基づき、統計データやＡＩ（人工知能）を用いて管の監視を行う。例えば、モニタは、正常時の振動のデータをスペクトルパターンとして予め記憶した記憶部を有し、この記憶部で記憶したスペクトルパターンと、振動センサアレイからモニタに送られた振動のデータに基づいて作成されるスペクト

ルパターンとを対比して、損傷や陥没といった管に生じる不都合をモニタリングする。

従って、本発明では、亀裂等の損傷や陥没に伴って発生する振動を振動センサアレイで検出し、この検出された振動に基づいて、モニタにより管を監視するので、下水流路のモニタリングを視覚的に行える。

[0016] 本発明では、前記振動センサは、マイクロホンであり、前記振動センサアレイは、前記マイクロホンを前記下水流路の長さ方向に複数配置したマイクロホンアレイである構成が好ましい。

この構成では、亀裂等の損傷や陥没に伴って音が発生すると、この音が複数のマイクロホンで集音される。マイクロホンで集音された音のデータがマイクロホンアレイからモニタに送られ、モニタでは、音のデータに基づいて管の監視を行う。

従って、本発明では、亀裂等の損傷や陥没に伴って発生する音をマイクロホンで集音するので、装置の構造を簡易なものにできる。

[0017] 本発明では、前記下水流路を流れる下水に浮かぶ音源を有する、構成が好ましい。

この構成では、音源が下水流路での下水の流れとともに移動する。移動する音源を光検出部や振動センサアレイで検出することで、下水の流速を測定することが可能となる。なお、振動センサアレイには、加速度で振動を検出する加速度センサアレイが含まれる。

[0018] 本発明では、前記下水流路を流れる下水とともに転動する転動体を有し、前記転動体が転動する際に前記下水流路を構成する管に振動を伝達する構成が好ましい。

この構成では、転動体が下水流路での下水の流れとともに転動する。転動体が転動する際に、下水流路を構成する管に伝わる振動を光検出部や振動センサアレイで検出することで、下水の流速を測定することが可能となる。

[0019] 本発明の下水道モニタリングシステムの施工方法は、下水が流通される下水流路を有する管のうち前記下水流路の予め設定された通常時水位より上方

に位置する部分において軸方向に伸びて既設された光ファイバの一端に、前記光ファイバの内部にパルス光を送信し前記光ファイバの外部における環境の変化によって前記光ファイバの内部で生じる散乱光を検出するタイムドメイン方式による光検波器を接続する、ことを特徴とする。

本発明では、下水流路の通信用、その他の用途であって既設の光ファイバをそのまま用いることができるので、下水道モニタリングシステムの施工を簡易かつ低コストで実施することができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]光ファイバの内部で発生するレイリー散乱、ラマン散乱、ブリルアン散乱の散乱光の周波数と光強度との関係を示すグラフ。

[図2]本発明の第１実施形態にかかる下水道モニタリングシステムの概略構成図。

[図3]下水道モニタリングシステムの基本構成を説明する概略図であって、光検波器の概略構成と、光ファイバで発生する散乱光と、光ファイバの距離と散乱光の光強度との関係のグラフとを示す。

[図4]下水道モニタリングシステムの基本構成を説明する概略図であって、光検波器の概略構成と、光ファイバの距離と光ファイバで発生する散乱光の光強度との関係のグラフとを示す。

[図5]本発明の第２実施形態にかかる下水道モニタリングシステムの基本構成を説明する概略図であって、図３に対応する図。

[図6]第２実施形態にかかる下水道モニタリングシステムの基本構成を説明する概略図であって、図４に対応する図。

[図7]下水道モニタリングシステムが利用される状況を説明する概略構成図。

[図8]下水道モニタリングシステムが利用される状況を説明する概略構成図。

[図9]本発明の第３実施形態にかかる下水道モニタリングシステムの概略を示すものであって、図２に対応する図。

[図10]第３実施形態にかかる下水道モニタリングシステムの基本構成を示す図。

[図11]本発明の第４実施形態にかかる下水道モニタリングシステムの概略を示すものであって、図２に対応する図。

[図12]本発明の第５実施形態にかかる下水道モニタリングシステムの概略を示すものであって、図２に対応する図。

[図13]本発明の第６実施形態にかかる下水道モニタリングシステムの概略を示すものであって、図２に対応する図。

発明を実施するための形態

[0021] 本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。各実施形態の説明において、同一構成は同一符号を付して説明を省略する。

光ファイバの内部では、音や振動が変化すると、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光が発生し、温度が変化すると、ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光が発生し、温度が変化し光ファイバ１の歪みが生じると、ブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光が発生する。

レイリー散乱ＬＬ、ラマン散乱ＬＲ、ブリルアン散乱ＬＢと周波数との関係が図１に示されている。

[0022] 図１において、光ファイバ１に所定の周波数の入射光ＬＯが入射すると、入射光ＬＯと同じ周波数でレイリー散乱ＬＬに伴う散乱光が発生する。レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光の光強度ＰＬは、散乱光が発生した場所の光ファイバ１の損失の変動に対応する。

ラマン散乱ＬＲには、入射光ＬＯよりも周波数が大きな、つまり、入射光ＬＯの周波数よりも＋数ＴＨｚだけシフトするストークス成分ＲＡと、周波数が小さな、つまり、入射光ＬＯの周波数よりも－数ＴＨｚシフトするアンチストークス成分ＲＢとがあり、これらの散乱光はレイリー散乱ＬＬの散乱光より光強度が極めて小さい。

ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光の光強度ＰＲは、散乱光が発生した場所の温度の変化に対応する。つまり、ストークス成分ＲＡの光強度は、温度が高いと大きくなり、温度が低いと小さくなる。なお、図１では、ラマン散乱ＬＲの後方散乱光の例が示されているが、ラマン散乱ＬＲには、後方散乱光の他

に前方散乱光がある。

[0023] ブリルアン散乱ＬＢは、入射光ＬＯよりも周波数が大きな、つまり、入射光ＬＯの周波数よりも＋数ＧＨｚシフトするストークス成分と、周波数が小さな、つまり、入射光ＬＯの周波数よりも－数ＧＨｚシフトするアンチストークス成分とがある。

これらの散乱光の光強度ＰＲは、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光の光強度ＰＬより小さい。ブリルアン散乱ＬＢの周波数シフト量ＴＢは、散乱光が発生した場所の歪みや温度変化に依存する。なお、ブリルアン散乱ＬＢは、光ファイバ１の歪みを検出しやすくするため、下水道管Ｐの軸方向に沿って接着固定すること（図９参照）が好ましい。

[0024] ［第１実施形態］

本発明の第１実施形態にかかる下水道モニタリングシステムを図２から図４に基づいて説明する。

図２には、第１実施形態の下水道モニタリングシステムの概略構成が示されている。

図２において、第１実施形態の下水道モニタリングシステムは、下水道管Ｐの上部で生じる音や振動を利用して、下水道管Ｐをモニタリングするものであり、光ファイバ１と光検波器２と、を有する光ファイバ音響分布センサ（ＤＡＳ：Distributed Acoustic Sensing）である。

[0025] 光ファイバ１は、図２では、下水道管Ｐの内周の上部に配置されているが、第１実施形態では、下水道管Ｐの内周の予め設定された通常時水位より上方に位置する部分であれば、下水道管Ｐの内周の側部であってもよい。ここで、通常時水位とは、通常の状態で流通する下水の上限位置であり、この上限位置を超えて水位が上昇すると、下水が十分に流通しなくなったり、下水道管Ｐ自体に破損等が生じたりして、不都合が生じる。この通常時水位は下水道管Ｐの設置者等が予め設定する。

光ファイバ１は、シングルモード光ファイバであり、光検波器２は、一般販売されている製品を用いた場合、５０Ｋｍの区間を位置分解能１０ｍで、

０～２０ｋＨＺの周波数帯域の音を検出できる。検出できる距離は、５０Ｋｍである。

[0026] 下水道管Ｐは、地中層Ａの中に埋設されており、地中層Ａの上に道路Ｂが施工されている。なお、下水道管Ｐは、その一部が地中ではなく、河川の上等では、地上に露出するものでもよい。

下水道管Ｐの内部は、大気と開放されており、各家庭やオフィス等から排出される下水Ｗが下水導入管（図示せず）を通じて送り込まれる。

光ファイバ１は、所定位置が係止部材３を介して下水道管Ｐの内周面の上部に係止されている。係止部材３は適宜な金具、例えば、リング状金具やフック状金具を用いることができる。

第１実施形態では、光ファイバ１は、光が通過する線の一端側は光検波器２と接続されている。なお、図２において、符号Ｔで示される部材は端子台である。

[0027] 図３及び図４には、光ファイバ音響分布センサ（ＤＡＳ）の基本構成が示されている。図３には光検波器２の概略構成と、光ファイバ１で発生する散乱光と、光ファイバ１の距離と散乱光の光強度との関係のグラフとが示されている。

図３に示される通り、光ファイバ１の内部にレーザの入射光ＬＯを照射すると、光ファイバ１の内部の微小な構造欠陥Ｓで反射してレイリー散乱ＬＬが発生する。外部の要因によって、光ファイバ１に伝わる音や振動の変化に伴い、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光の光強度が変化する。同様に、外部の要因によって、光ファイバ１に伝わる温度が変化すると、ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光の光強度が変化する。光ファイバ１に引張力が生じ，温度変化が生じると、ブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光の光強度が変化する。

[0028] 図３及び図４に示される通り、光検波器２は、光ファイバ１の内部に入射光ＬＯを送信する光送信部２１と、光ファイバ１の外部における環境の変化によって光ファイバ１の内部で生じる散乱光を検出する光検出部２２と、光送信部２１で送信されたパルス光を光ファイバ１に送り、光ファイバ１から

送られる散乱光を光検出部２２に送るサーキュレータ２３と、サーキュレータ２３と光検出部２２との間に配置されサーキュレータ２３から送られる散乱光を増幅するアンプ２４と、下水道で発生する土砂の流入や浸水等の異常パターンを記憶する記憶部５１と、光検出部２２で検出した結果を音響や振動に変換して音響スペクトルや振動スペクトルを計算し、この計算結果と記憶部５１で記憶したデータとに基づいて異常を判定する解析部５０と、解析部５０の解析結果を表示する表示部２５と、を有する。

[0029] 光送信部２１は、所定波長のパルス光を出射する光源、その他の装置である。

光検出部２２は、光ファイバ１の内部でそれぞれ生じるレイリー散乱ＬＬ、ラマン散乱ＬＲ及びブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光を時系列信号として受信するものであり、時間と光強度との関係の波形として出力する。

光検出部２２は、光ファイバ１の２ｋｍの領域を２０μｓで測定する。

なお、図４で示される波形は図３の波形を簡略化したものであり、両者は実質的に同じである。

ここで、アンプ２４から光検出部２２に送られる散乱光は、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光がラマン散乱ＬＲ及びブリルアン散乱ＬＢの散乱光よりも光強度が大きいので（図１参照）、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光のみのものと同視できる。なお、光検出部２２に、ラマン散乱ＬＲ及びブリルアン散乱ＬＢに対応する周波数領域の散乱光をカットし、レイリー散乱ＬＬのみに伴う散乱光のデータを取得するフィルタ（図示せず）を用いてもよい。

[0030] 波形の左右の位置が時間と線形比例関係にある。光ファイバ１の位置（距離）ｄ（ｍ）と、光ファイバ１に入射光ＬＯが入射してからの時間ｔｐ（ｓ）との関係は、

ｄ＝２（ｔｐ×ｌｖ）／ｎ　……式１

である。ここで、ｌｖは光速で、２９９７９２４５８ｍ／ｓ（真空中）であり、ｎは光ファイバ１の屈折率で、約１．４１である。

式１を用いて、図３及び図４の波形を示すグラフの横軸を時間から距離に

置き換える。これらの図のグラフでは、図中右側は光検波器２からの距離が長く、左側は光検波器２からの距離が短い。

[0031] 光ファイバ１のうちレイリー散乱ＬＬに伴う散乱光が変化する位置は、光ファイバ１の外部であって音や振動が生じた位置に最も近い位置である。同様に、ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光が変化する位置は、光ファイバ１の外部であって温度変化が生じた位置に最も近い位置であり、ブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光が変化する位置は、光ファイバ１の温度変化と歪みが生じた位置に最も近い位置である。

[0032] 解析部５０では、統計データが用いられ、アンプ２４から送られる光強度の変化ＮＬのスペクトルパターンが、記憶部５１で記憶されている異常時における音響信号や振動信号のスペクトルパターンと一致すると、異常と判断し、その異常と判断したスペクトルパターンの位置ＤＬと対応する光ファイバ１の位置を求める。ここで、一致は、下水道管Ｐの大きさ、強度、その他の条件により、下水道管Ｐ毎に設定されるものであり、予め記憶部５１で記憶されているか、設定時に調整されている。解析部５０で演算された結果は、図３のグラフとともに、表示部２５で表示される。なお、表示部２５では、光ファイバ１が施設された地図情報が表示され、地図情報の上に光ファイバ１の異常が生じた箇所が表示される。

[0033] 第１実施形態では、内周面の上部に通信用の光ファイバ１が既設された下水道管Ｐの一端に、光検波器２を接続して下水道モニタリングシステムを施工する。

下水道管Ｐは既に地中に埋設されている。

下水道管Ｐにおいて既設された光ファイバ１の一端が接続された端子台Ｔに光検波器２の光送信部２１を接続する。

[0034] このように施工された下水道モニタリングシステムでは、光検波器２の光送信部２１から光ファイバ１に入射光ＬＯを送信する。光ファイバ１に送られた入射光ＬＯのうち僅かな光がレイリー散乱ＬＬ、ラマン散乱ＬＲ及びブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光としてサーキュレータ２３及びアンプ２４を

介して光検出部２２に送られる。光検出部２２は、距離と光強度との波形を出力し、この波形が表示部２５で表示される。また、解析部５０では、光ファイバ１に異常な音や振動が伝達されない状態では、異常ではない、と判断し、その旨が表示部２５で表示される。

[0035] この状態で、下水道管Ｐに亀裂Ｃが生じて下水道管Ｐの内部に土砂Ｄが流れ込んだり（図２参照）、下水道管Ｐの上部の道路Ｂが陥没したりすると、外部から光ファイバ１に伝わる音や振動が変化し、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光の変化となる。

光検出部２２では、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光の変化を光強度の変化ＮＬとし、この変化ＮＬを基準値と対比し、基準値より大きい場合には、異常と判断し、その異常と判断した光強度の位置ＤＬを生じた光ファイバ１の位置を推定する。

解析部５０で異常と判断された光ファイバ１の位置は表示部２５で地図情報とともに表示される。

[0036] これに対して、下水道管Ｐに損傷が生じない場合では、光ファイバ１の外部から内部に伝わる音の変化が少なく、その結果、光検出部２２で検出される散乱光の変化も少ない。そのため、光検出部２２では、下水道が正常であることを判断し、表示部２５には、異常である旨の表示はされない。なお、第１実施形態では、アスファルトカッターや重機を用いて道路Ｂのアスファルトを剥がす際に生じる音や、道路Ｂを通る自動車の振動を検出することができるが、これらの音や振動の大きさは、基準値以下と設定されれば、異常として表示されない。

[0037] 第１実施形態では、次の効果を奏することができる。

（１）下水道管Ｐのうち通常時水位より上方に位置する部分であって軸方向に伸びて光ファイバ１を配置したので、管自体の上部で生じた損傷等に伴う音、振動、温度等は、下水を通さず、直接、光ファイバ１に伝わり、光検波器２で検出するから、正確なモニタリングを実施できる。しかも、光ファイバ１において散乱光の変化が大きい箇所は、音、振動、温度等の環境変化の

発生源から最も近い部位であるので、この点からも、正確なモニタリングができる。

[0038] （２）下水道管Ｐの内周面の上部に軸方向に沿って既設された光ファイバ１の一端に、光検波器２を接続したから、下水道管Ｐの通信用であって既設の光ファイバ１をそのまま用いることができるので、下水道モニタリングシステムの施工を簡易かつ低コストで実施することができる。

[0039] （３）光検波器２は、光ファイバ１の外部における音や振動の変化によって光ファイバ１の内部で生じるレイリー散乱ＬＬに伴う散乱光を検出する光検出部２２と、光検出部２２で検出した結果に基づいて音響や振動に変換して音響スペクトルや振動スペクトルを計算し下水道管Ｐの異常を判断する解析部５０とを有するので、下水道の特定の場所での下水道管Ｐの破損等を検出することができる。

[0040] ［第２実施形態］

次に、本発明の第２実施形態を図５から図８に基づいて説明する。

第２実施形態は、温度の変化を検出するために、ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光を検出する構成を備えたものであり、他の構成は第１実施形態と同じである。

第２実施形態の下水道モニタリングの全体構成が図５及び図６に示されている。

図５及び図６において、第２実施形態の下水道モニタリングシステムは、下水道管Ｐの内周の上部において、軸方向に沿って設置された光ファイバ１と、光ファイバ１の一端に接続された光検波器２Ａと、を有する光ファイバ温度分布センサ（ＤＴＳ：Distributed Temperature Sensing）である。

[0041] 光検波器２Ａは、アンプ２４で増幅された散乱光のうち所定範囲の波長（周波数）のものを通す波長フィルタ２６と、波長フィルタ２６からの信号を受信する光検出部２２Ａ，２２Ｂと、光検出部２２Ａ，２２Ｂで検出したデータを温度に変換し当該温度が異常か否かを解析する解析部５０Ａと、下水道で発生する温度の異常パターンを記憶する記憶部５１Ａと、光検出部２２

Ａ，２２Ｂの検出結果を表示する表示部２５と、を有する。

波長フィルタ２６は、レイリー散乱ＬＬ及びブリルアン散乱ＬＢに対応する周波数領域の散乱光をカットし、ラマン散乱ＬＲのみに伴う散乱光を取得するフィルタ部と、ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光を入射光ＬＯより周波数が大きいストークス成分と、周波数が小さいアンチストークス成分とに分離するフィルタ部とを有する。

[0042] 光検出部２２Ａ，２２Ｂは、光ファイバ１の外部における環境の変化によって光ファイバ１の内部で生じる散乱光を検出する。

光検出部２２Ａは、ラマン散乱ＬＲの散乱光のうちストークス成分ＲＡを時系列信号として受信するものであり、時間と光強度との関係の波形として出力する。

光検出部２２Ｂは、ラマン散乱ＬＲの散乱光のうちアンチストークス成分ＲＢを時系列信号として受信するものであり、時間と光強度との関係の波長として出力する。

[0043] 解析部５０Ａでは、ラマン散乱ＬＲの散乱光のうちストークス成分ＲＡとアンチストークス成分ＲＢとの距離（時間）と光強度との関係を示す時系列分布（図６参照）から、アンチストークス成分ＲＢに対するストークス成分ＲＡの比を求める。

ここで、図６の時系列分布のグラフで示される通り、高温領域ＤＨでは、アンチストークス成分ＲＢがストークス成分ＲＡよりも高く、低温領域ＤＬでは、ストークス成分ＲＡがアンチストークス成分ＲＢよりも高い。つまり、アンチストークス成分ＲＢに対するストークス成分ＲＡの比（ＲＡ／ＲＢ）は、温度と比例関係にある。

[0044] 解析部５０Ａでは、アンチストークス成分ＲＢに対するストークス成分ＲＡの比（ＲＡ／ＲＢ）を求め、この比（ＲＡ／ＲＢ）が、記憶部５１Ａで記憶されている異常時におけるアンチストークス成分ＲＢに対するストークス成分ＲＡの比の範囲に含まれるか否かを判断する。解析部５０Ａでは、異常と判断した場合、光ファイバ１の位置を求める。解析部５０Ａで演算された

結果は表示部２５で表示される。

なお、第２実施形態では、光検波器２Ａは、前述の構成に限定されるものではなく、公知の構成を採用することができる。

[0045] 次に、第２実施形態の下水道モニタリングシステムの作用について説明する。

第２実施形態の下水道モニタリングシステムでは、第１実施形態と同様に、光検波器２Ａの光送信部２１から光ファイバ１に入射光ＬＯを定期的に送信する。

光ファイバ１に送られた入射光ＬＯのうち僅かな光がレイリー散乱ＬＬと、ラマン散乱ＬＲと、ブリルアン散乱ＬＢとが混在した散乱光として波長フィルタ２６に送られる。波長フィルタ２６では、散乱光のうちラマン散乱ＬＲのみに伴う散乱光が、ストークス成分ＲＡとアンチストークス成分ＲＢとに分けけられ、ストークス成分ＲＡが光検出部２２Ａに送られ、アンチストークス成分ＲＢが光検出部２２Ｂに送られる。

[0046] 光検出部２２Ａでは、ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光のストークス成分ＲＡを検出し、光検出部２２Ｂでは、ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光のアンチストークス成分ＲＢを検出する。

解析部５０Ａでは、光検出部２２Ａ，２２Ｂから出力されたラマン散乱ＬＲの散乱光のストークス成分ＲＡとアンチストークス成分ＲＢとの距離（時間）と光強度との関係を示す時系列分布から、アンチストークス成分ＲＢに対するストークス成分ＲＡの比を求め、この比が異常か否かを判断する。下水道管Ｐや光ファイバ１において、温度に伴う異常がなければ、アンチストークス成分ＲＢに対するストークス成分ＲＡの比（ＲＡ／ＲＢ）が許容範囲であるため、解析部５０Ａでは、異常ではないと判断し、この結果が表示部２５で表示されている。

[0047] この状態で、図７に示される通り、下水道管Ｐへの土砂の流入等に伴って、下水道管Ｐでの下水Ｗの水位が上昇して光ファイバ１が下水Ｗに浸されたり、図８に示される通り、光ファイバ１を下水道管Ｐに止める係止部材３が

脱落し、光ファイバ１の一部が下水Ｗに浸されたりすると、光ファイバ１の下水Ｗに浸された部分の周囲では、温度が変化する。

同様に、下水道管Ｐの内部へ人や動物が侵入したり、下水道管Ｐの陥没やクラックが生じると、温度が変化する。

外部の温度変化が光ファイバ１の内部に伝わると、ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光が変化する。

[0048] 前述の通り、解析部５０Ａでは、ストークス成分ＲＡのアンチストークス成分ＲＢに対する比（ＲＡ／ＲＢ）を求め、この比（ＲＡ／ＲＢ）を、記憶部５１Ａで記憶されている異常時における比の範囲と比較し、異常か否かを判断するが、下水道管Ｐや光ファイバ１に温度に伴う異常がなければ、解析部５０Ａでは、異常ではないと判断し、これが表示部２５で表示され続ける。一方、異常と判断した場合には、光ファイバ１の位置を推定し、位置情報とともに表示部２５で表示される。

[0049] 従って、第２実施形態では、第１実施形態の（１）（２）と同様の効果を奏することができる他、次の効果を奏することができる。

（４）光検出部２２Ａ，２２Ｂは、光ファイバ１の外部における温度の変化によって光ファイバ１の内部で生じるラマン散乱ＬＲに伴う散乱光を検出するから、下水Ｗの増水で下水道管Ｐの上部に空気がない状態や、光ファイバ１の脱落を検出することができる。

[0050] ［第３実施形態］

本発明の第３実施形態を図９及び図１０に基づいて説明する。

第３実施形態の下水道モニタリングシステムは、下水道管Ｐの歪みと温度と音を含む振動とを検出するために、ブリルアン散乱ＬＢとレイリー散乱ＬＬとに伴う散乱光を検出する構成を備えたものであり、他の構成は第１実施形態と同じである。

図９に示される通り、下水道モニタリングシステムは、下水道管Ｐの内周の上部において、軸方向に沿って固定された光ファイバ１と、光ファイバ１の一端に接続された光検波器２Ｂと、を有する温度分布歪分布センサ（ＢＯ

ＴＤＲ：Brillouin Optical-fiber Time Domain Reflectometer）である。

光ファイバ１は、下水道管Ｐの内周面の上部において、軸方向に沿って接着固定されている。なお、光ファイバ１は、第１実施形態のように、所定位置を係止部材３を介して下水道管Ｐの内周面の上部に係止してもよいが、下水道管Ｐの内周面に軸方向に沿って固定した構成が好ましい。

[0051] 光検波器２Ｂは、サーキュレータ２３から送られる散乱光をレイリー散乱ＬＬに伴う散乱光とブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光とに分離するフィルタ２７と、フィルタ２７で分離されたレイリー散乱ＬＬに伴う散乱光の信号を処理するレイリー散乱信号処理部２８と、フィルタ２７で分離されたブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光の信号を処理するブリルアン散乱信号処理部２９と、レイリー散乱信号処理部２８及びブリルアン散乱信号処理部２９からの信号を受けて歪みを演算する演算部３０とを備えている。

[0052] フィルタ２７は、第一マッハツェンダー干渉計２７１と第二マッハツェンダー干渉計２７２とを備えた公知の技術を用いることができる（著書名「An Introduction to Distributed Optical Fibre Sensors」著作者「Arthur H. Hartog」出版社：CRC Press, 2017年 参照）。

第一マッハツェンダー干渉計２７１は、光路差ΔＬを有するものであり、光路長を制御するヒータ２７１Ａとインプットカプラー２７１Ｂとを備えている。

第二マッハツェンダー干渉計２７２は、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光とブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光とを一方向に送る光アイソレータ２７２Ａとアウトプットカプラー２７２Ｂとを備える。なお、本実施形態では、マッハツェンダー干渉計は１つであってもよい。

[0053] レイリー散乱信号処理部２８は、アウトプットカプラー２７２Ｂから出力された信号を受信するレイリー散乱受信部２８１と、レイリー散乱受信部２８１で受信された信号に基づいてレイリー散乱を検出するレイリー散乱測定部２８２とを備える。

ブリルアン散乱信号処理部２９は、インプットカプラー２７１Ｂを通じて

受信するブリルアン散乱受信部２９１と、ブリルアン散乱受信部２９１で受信された信号に基づいてブリルアン散乱を検出するブリルアン散乱測定部２９２とを備える。

演算部３０は、レイリー散乱測定部２８２から出力された信号とブリルアン散乱測定部２９２から出力された信号とに基づいて、これらの信号が大きく変化した時間（距離）と、その時間（距離）におけるレイリー散乱ＬＬとブリルアン散乱ＬＢとの散乱光の比とを演算して光ファイバ１の歪みを求め、その歪みが予め記憶された許容範囲内にあるか否かを判定する。判定結果は、位置情報とともに図示しない表示部で表示される。

なお、ブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光の光強度は、温度に影響するので、別途、温度補正のための補正手段を設ける。この補正手段として、ラマン散乱ＬＲに伴う散乱光に基づいて温度を検出し、この検出した温度に基づいて、光ファイバ１の歪みを補正する構成を採用してもよい。

また、本実施形態では、前述の構成に代えて、あるいは、前述の構成に加えて、他の歪み検出システム、例えば、特許第６３０８１８４号公報に記載された技術を用いてもよい。

[0054] 前述の構成の下水道モニタリングシステムでは、下水道管Ｐに地震等の外力が働いて下水道管Ｐとともに光ファイバ１が引張されると、光ファイバ１に歪みが生じ、さらに、外部の音や振動が変化すると、それらが光ファイバ１の内部に伝わる。

光ファイバ１の内部で変化したレイリー散乱ＬＬ、ブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光は光検波器２Ｂに送られる。光検波器２Ｂでは、フィルタ２７により、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光とブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光とに分離され、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光の信号がレイリー散乱信号処理部２８で処理され、ブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光の信号がブリルアン散乱信号処理部２９で処理される。さらに、レイリー散乱信号処理部２８及びブリルアン散乱信号処理部２９からの信号が演算部３０に送られ、演算部３０では、光ファイバ１の歪みが求められ、この歪みが許容範囲か否かが判断

される。許容範囲でない場合には、異常である旨の表示が位置情報とともに表示部で表示される。

[0055] 従って、第３実施形態では、第１実施形態の（１）（２）と同様の効果を奏することができる他、次の効果を奏することができる。

（５）光検波器２Ｂは、レイリー散乱ＬＬに伴う散乱光とブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光とに分離するフィルタ２７と、フィルタ２７で分離されたレイリー散乱ＬＬに伴う散乱光の信号を処理するレイリー散乱信号処理部２８と、フィルタ２７で分離されたブリルアン散乱ＬＢに伴う散乱光の信号を処理するブリルアン散乱信号処理部２９と、レイリー散乱信号処理部２８及びブリルアン散乱信号処理部２９からの信号を受けて歪みを演算する演算部３０とを備えたから、地震等によって下水道管Ｐに引張力が働いた場合、光ファイバ１に生じる歪みから下水道管Ｐの異常を判断できる。

[0056] ［第４実施形態］

本発明の第４実施形態を図１１に基づいて説明する。

図１１に示される通り、第４実施形態は、下水Ｗの流速を測定するために、下水Ｗに浮かぶ音源Ｍを用いたことが第１実施形態と異なるもので、他の構成は第１実施形態と同じである。

下水Ｗの上に浮かぶ音源Ｍは、船Ｑに設置されている。音源Ｍとしては、スピーカ、ベル、ラジオ、その他でもよい。

[0057] 第４実施形態では、図３及び図４に示される通り、光検波器２の光送信部２１から光ファイバ１に入射光ＬＯを送信する。光ファイバ１に送られた入射光ＬＯのうち僅かな光がレイリー散乱ＬＬやラマン散乱ＬＲに伴う散乱光として光検出部２２に送られる。光検出部２２は、距離（時間）と光強度との波形を出力する。下水Ｗに浮いている音源Ｍから出される音により、光強度の変化ＮＬが大きい部分が生じる。音源Ｍは下水Ｗの流れに伴って移動するため、光強度の変化ＮＬが大きい部分も移動する。そのため、解析部５０において、光強度の変化ＮＬが移動する時間と距離とを求めることにより、下水Ｗの流速を求めることができる。この流速は表示部２５で表示される。

[0058] 第４実施形態では、第１実施形態の（１）（２）と同様の効果を奏することができる他、次の効果を奏することができる。

（６）下水道管Ｐの内部を流れる下水に浮かぶ音源Ｍを有するから、音源Ｍが下水道管Ｐの下水Ｗの流れとともに移動することになり、これを光検波器２で検出することで、下水の流速を測定することができる。

[0059] ［第５実施形態］

本発明の第５実施形態を図１２に基づいて説明する。

図１２に示される通り、第５実施形態は、下水Ｗに浮かぶ音源Ｍに代えて転動体Ｎを用いた点が第４実施形態とは異なるもので、他の構成は第４実施形態と同じである。

転動体Ｎは、下水道管Ｐを流れる下水とともに転動して下水道管Ｐに振動を伝達するものであり、例えば、石、ブロック等を例示できる。

下水道管Ｐに振動を伝達しやすくするために、転動体Ｎは、外面に複数の角部が設けられ、下水Ｗに浮かない程度の重さとするものが好ましい。

[0060] 第５実施形態では、第４実施形態と同様も手順で下水Ｗの流速を求める。

図３及び図４に示される通り、光検波器２の光送信部２１から光ファイバ１に入射光ＬＯを送信すると、入射光ＬＯのうち僅かな光がレイリー散乱ＬＬやラマン散乱ＬＲに伴う散乱光として光検出部２２に送られる。

ここで、転動体Ｎの下水Ｗの中での転動に伴って生じる音や振動により、光強度の変化ＮＬが大きい部分が生じる。転動体Ｎが下水Ｗの流れに伴って移動すると、光強度の変化ＮＬが大きい部分も移動するので、解析部５０で、光強度の変化ＮＬが移動する時間と距離とを求めることにより、下水Ｗの流速を求めることができる。

[0061] 第４実施形態では、第１実施形態の（１）（２）と同様の効果を奏することができる他、次の効果を奏することができる。

（７）下水Ｗとともに転動体Ｎが転動する際に下水道管Ｐに伝達される振動を光検波器２で検出することで、下水の流速を測定することができる。

[0062] ［第６実施形態］

本発明の第６実施形態を図１３に基づいて説明する。第６実施形態では、光ファイバ１に代えて振動センサアレイ４を用いることが第１実施形態と異なる。

図１３において、下水道モニタリングシステムは、局所的な範囲において、下水道管Ｐの内周面の上部において、軸方向に沿って設置された振動センサアレイ４と、振動センサアレイ４で検出された振動情報に基づいて下水道管Ｐを監視するモニタ５と、を備える。

第６実施形態の下水道モニタリングシステムは、下水道管Ｐに生じる振動として、音を検出するものである。振動センサ４１は、マイクロホンであり、振動センサアレイ４は、下水道管Ｐの軸方向に沿って並んで配置された複数の振動センサ４１が支持金具４２を介して下水道管Ｐに取り付けられたマイクロホンアレイである。

[0063] モニタ５は、音のデータをスペクトルパターンとして予め記憶した記憶部（図示せず）と、この記憶部で記憶したスペクトルパターンと振動センサアレイ４からモニタ５に送られた音のデータに基づいて作成されるスペクトルパターンとを対比して、損傷や陥没、その他、下水道管Ｐに生じる不都合を判定する判定部（図示せず）とを有する構造である。なお、本実施形態では、ＡＩ（人工知能）を用いてモニタリングする構成としてもよい。

[0064] 第６実施形態では、第１実施形態の（１）（２）と同様の効果を奏することができる他、次の効果を奏することができる。

（８）下水道管Ｐの内周面の上部において、軸方向に沿って設置され複数の振動センサ４１を有する振動センサアレイ４と、振動センサアレイ４で検出された音に基づいて下水道管Ｐを監視するモニタ５と、を備えているので、隣合う振動センサ４１に集音する音の量を対比することで、音が発生された位置を推定し、正確なモニタリングを視覚的に行うことができる。

[0065] なお、第６実施形態において、振動センサ４１をマイクロホンとし、振動センサアレイ４をマイクロホンアレイとしたが、下水道管Ｐの振動を検出するものであれば、振動センサ４１はマイクロホンに限定されるものではない

。例えば、下水道管Ｐにおいて、音を伴わない振動を検出するために、振動センサ４１として歪みゲージ型センサを用いてもよい。さらに、振動センサアレイには、複数の加速度センサを有する加速度センサアレイが含まれる。

[0066] ［変形例］

なお、本発明は前述の各実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

本発明では、光検波器２，２Ａ，２Ｂは、解析部５０，５０Ａ，５０Ｂで解析した結果をスマートホン等の端末に送信する送信機能を備えてもよい。

また、前記各実施形態では、下水道管Ｐは、既に地中に埋設されているものとしたが、本発明では、光ファイバ１が既設されているものであれば、新規に製造された下水道管Ｐに用いてもよい。

[0067] さらに、前記各実施形態では、下水流路を有する管として下水道管Ｐを説明したが、本発明の下水道管Ｐは、上水道管やガス管とともに共同溝に配置されているものでもよい。共同溝は、下水道管として機能する下水流路と、下水流路の上の電気ケーブル、ガス管、通信ケーブル、上水道管が収納された収納空間とが１つの管内に配置されたものである。この場合、光ファイバ１や振動センサアレイ４は、下水流路の上の収納空間に配置されるものでもよい。

また、前記各実施形態では、下水道管Ｐ等の異常を検出し、この異常を表示部２５で表示させる構成としたが、本発明では、異常の検出を表示部２５で表示せず、表示部２５を見ている作業員が距離と光強度との波形をみて判断するものでもよい。

[0068] さらに、第１、第２、第４、第５、第６実施形態では、解析部５０，５０Ａ，５０Ｂは、統計データを用いたが、本発明では、光ファイバ１から出力された散乱光の信号に基づいて、周波数と時間との関係をカラーマップとして表示し、このカラーマップが時間の経過とともに変化する色に基づいて散乱光の変化の大きさを認識するものでもよい。

[0069] 本発明では、第６実施形態の構成を第４実施形態と第５実施形態に用いる

ことも可能である。つまり、第４実施形態における音源Ｍや、第５実施形態における転動体Ｎを下水道管Ｐの内部で下水Ｗとともに移動させ、この際に生じる音や振動を振動センサアレイ４で検出するものでもよい。

符号の説明

[0070] １…光ファイバ、２，２Ａ，２Ｂ…光検波器、２１…光送信部、２２，２２Ａ，２２Ｂ…光検出部、４…振動センサアレイ（マイクロホンアレイ）、４１…振動センサ（マイクロホン）、５…モニタ、５０，５０Ａ，５０Ｂ…解析部、Ｍ…音源、Ｎ…転動体

請求の範囲

[請求項1] 下水が流通される下水流路を有する管のうち前記下水流路の予め設定された通常時水位より上方に位置する部分において軸方向に伸びて配置された光ファイバと、

前記光ファイバの内部にパルス光を送信する光送信部、及び前記光ファイバの外部における環境の変化によって前記光ファイバの内部で生じる散乱光を検出する光検出部を有するタイムドメイン方式による光検波器と、を備えた、

ことを特徴とする下水道モニタリングシステム。

[請求項2] 請求項１に記載の下水道モニタリングシステムにおいて、

前記光検波器で検出される散乱光は、レイリー散乱に伴うもの、ラマン散乱に伴うもの、ブリルアン散乱に伴うもののうち少なくとも１つである、

ことを特徴とする下水道モニタリングシステム。

[請求項3] 下水が流通される下水流路を有する管のうち前記下水流路の予め設定された通常時水位より上方に位置する部分において軸方向に複数の振動センサが配置された振動センサアレイと、

前記振動センサアレイで検出された振動に基づいて前記管を監視するモニタと、を備えた、

ことを特徴とする下水道モニタリングシステム。

[請求項4] 請求項３に記載の下水道モニタリングシステムにおいて、

前記振動センサは、マイクロホンであり、前記振動センサアレイは、前記マイクロホンを前記下水流路の長さ方向に複数配置したマイクロホンアレイである

ことを特徴とする下水道モニタリングシステム。

[請求項5] 請求項１ないし請求項４のいずれか１項に記載の下水道モニタリングシステムにおいて、

前記下水流路を流れる下水に浮かぶ音源を有する、

ことを特徴とする下水道モニタリングシステム。

[請求項6] 請求項１ないし請求項４のいずれか１項に記載の下水道モニタリングシステムにおいて、

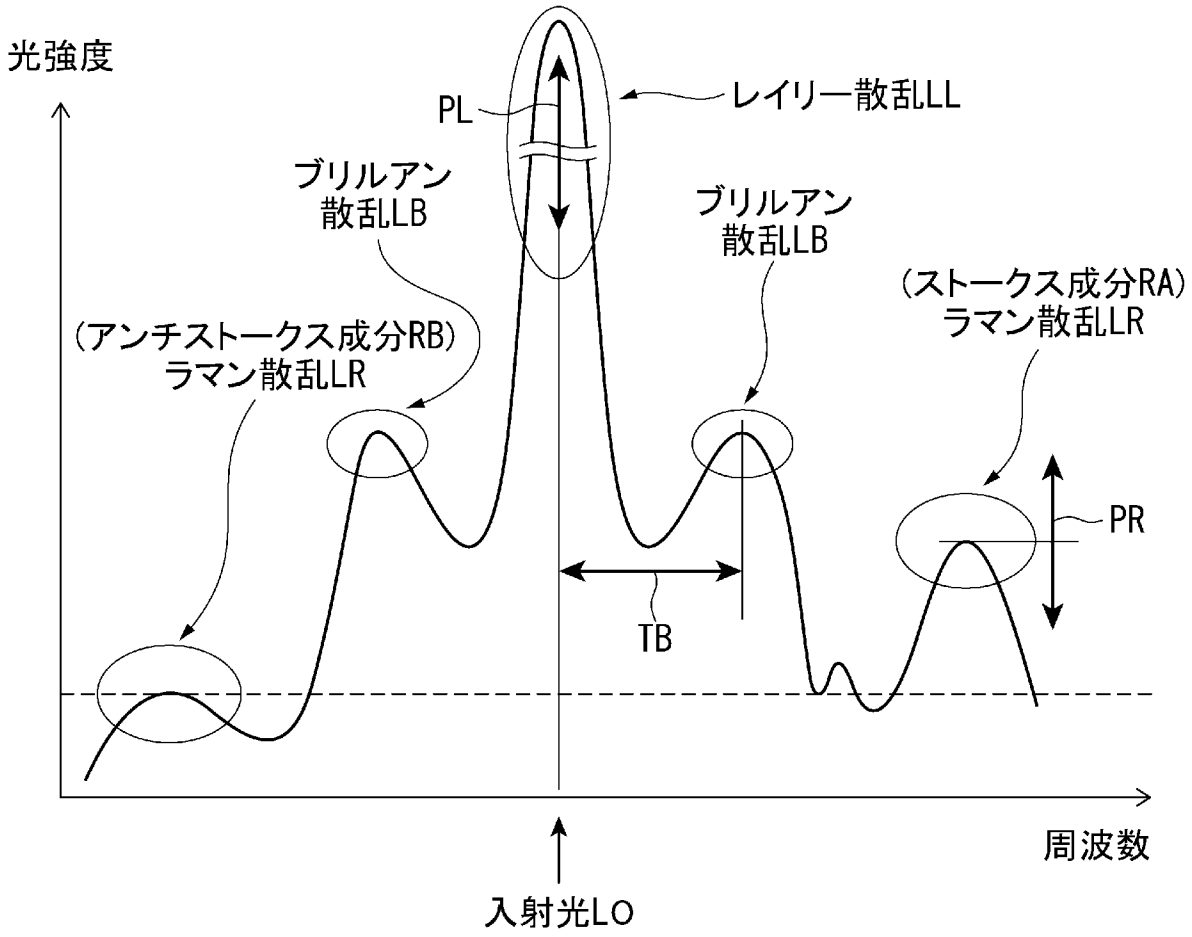
前記下水流路を流れる下水とともに転動する転動体を有し、前記転動体が転動する際に前記下水流路を構成する管に振動を伝達する

ことを特徴とする下水道モニタリングシステム。

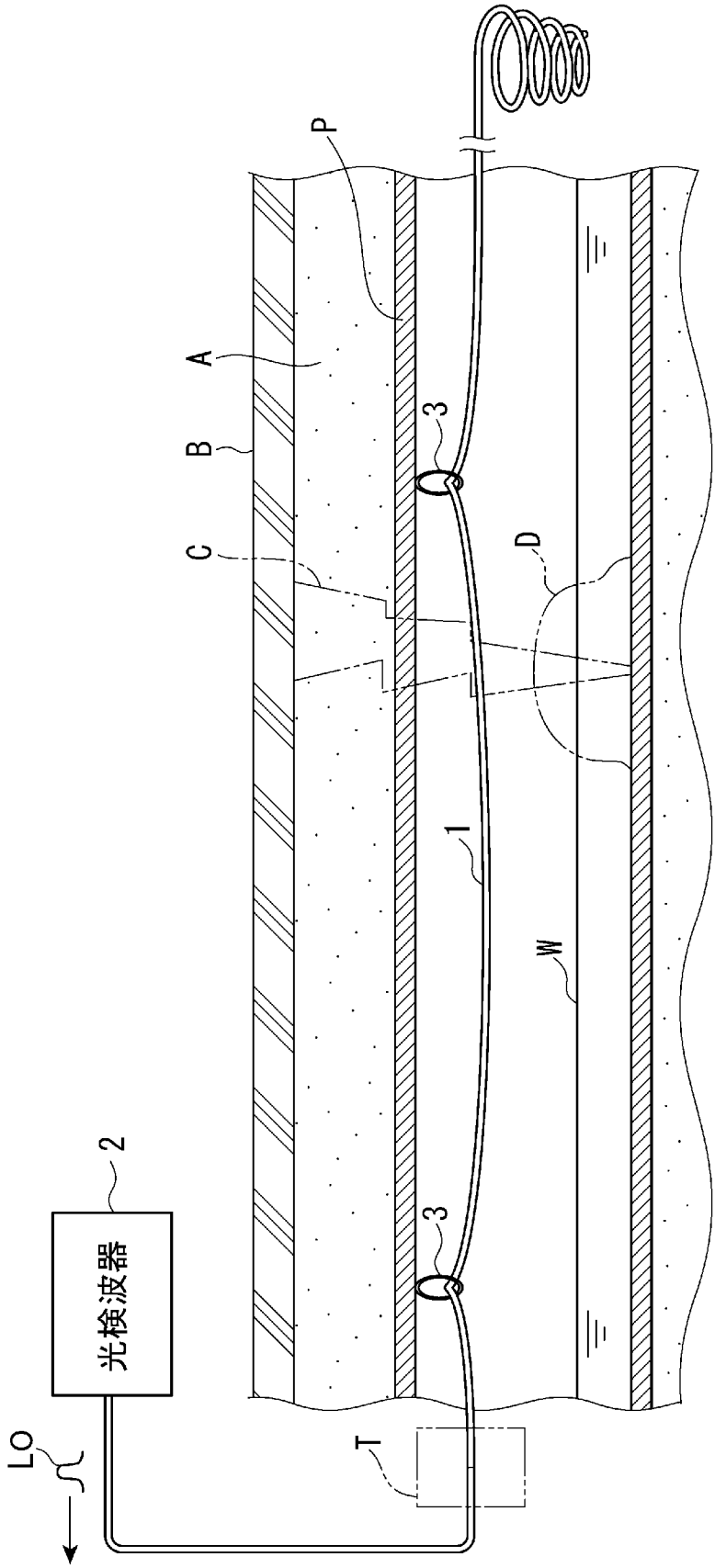
[請求項7] 下水が流通される下水流路を有する管のうち前記下水流路の予め設定された通常時水位より上方に位置する部分において軸方向に伸びて既設された光ファイバの一端に、前記光ファイバの内部にパルス光を送信し前記光ファイバの外部における環境の変化によって前記光ファイバの内部で生じる散乱光を検出するタイムドメイン方式による光検波器を接続する

ことを特徴とする下水道モニタリングシステムの施工方法。

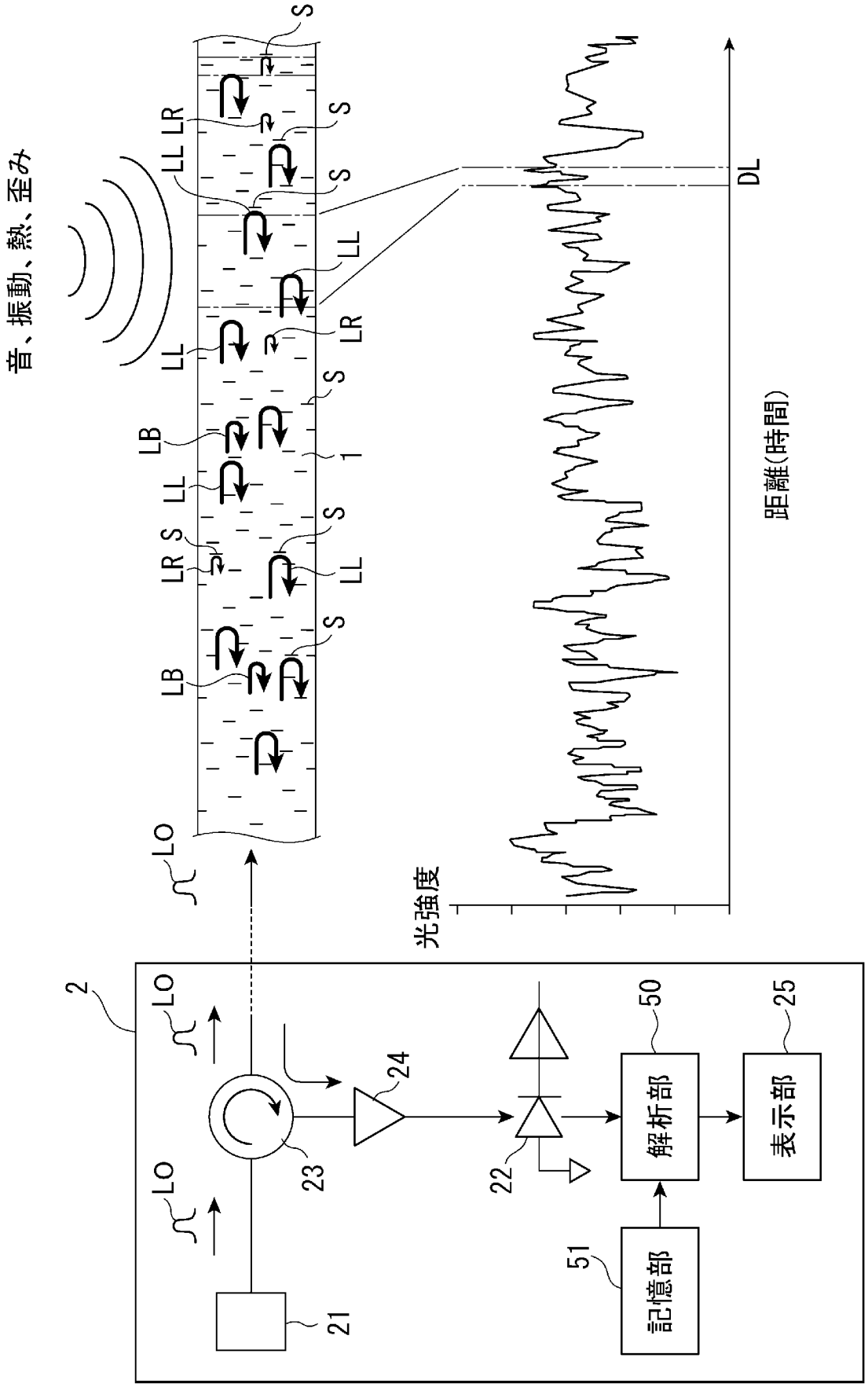
[図1]


光強度
PL
レイリー散乱LL
ブリルアン
散乱LB
ブリルアン
散乱LB
(ストークス成分RA)
ラマン散乱LR
(アンチストークス成分RB)
ラマン散乱LR
PR
TB
周波数
入射光LO

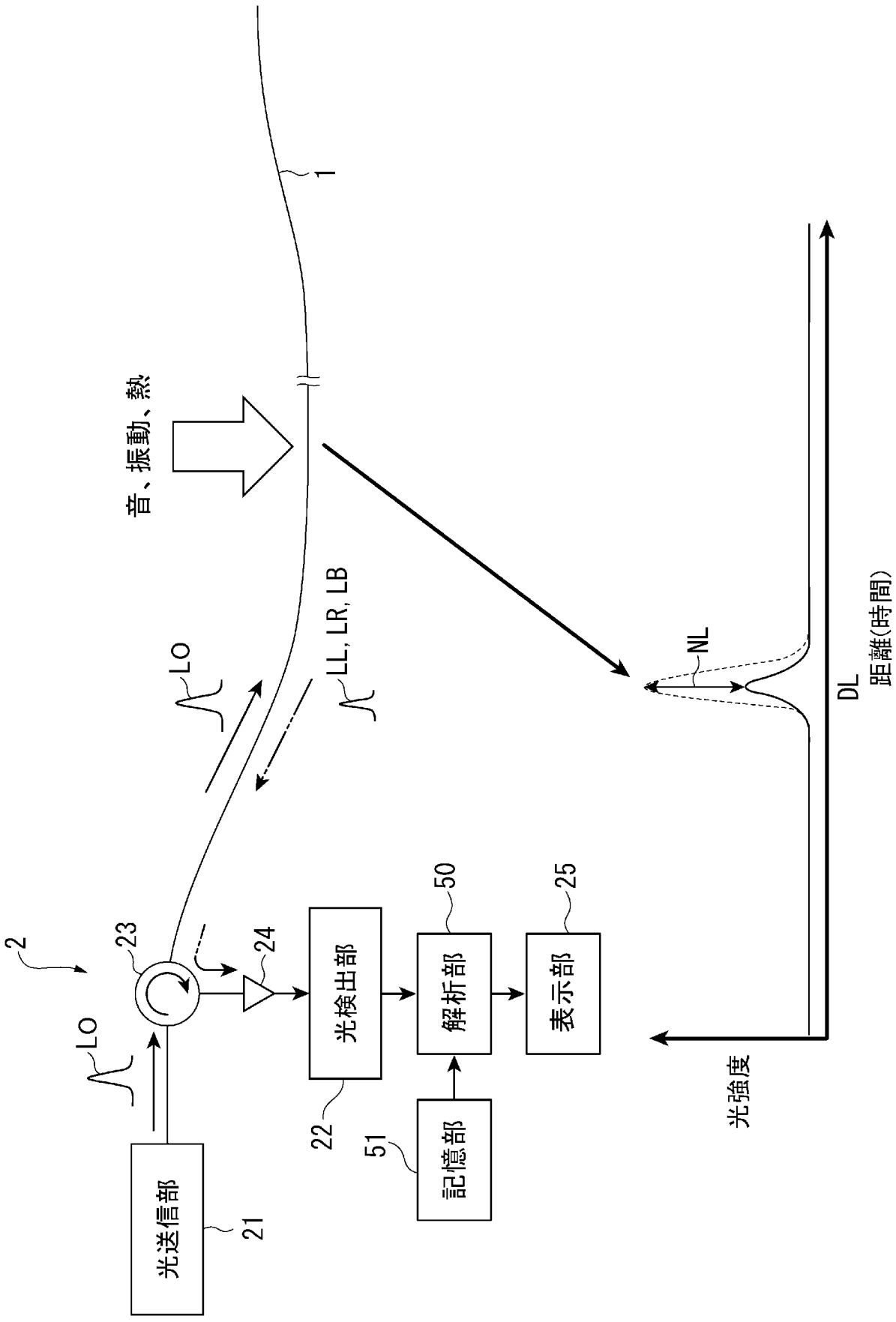
[図2]



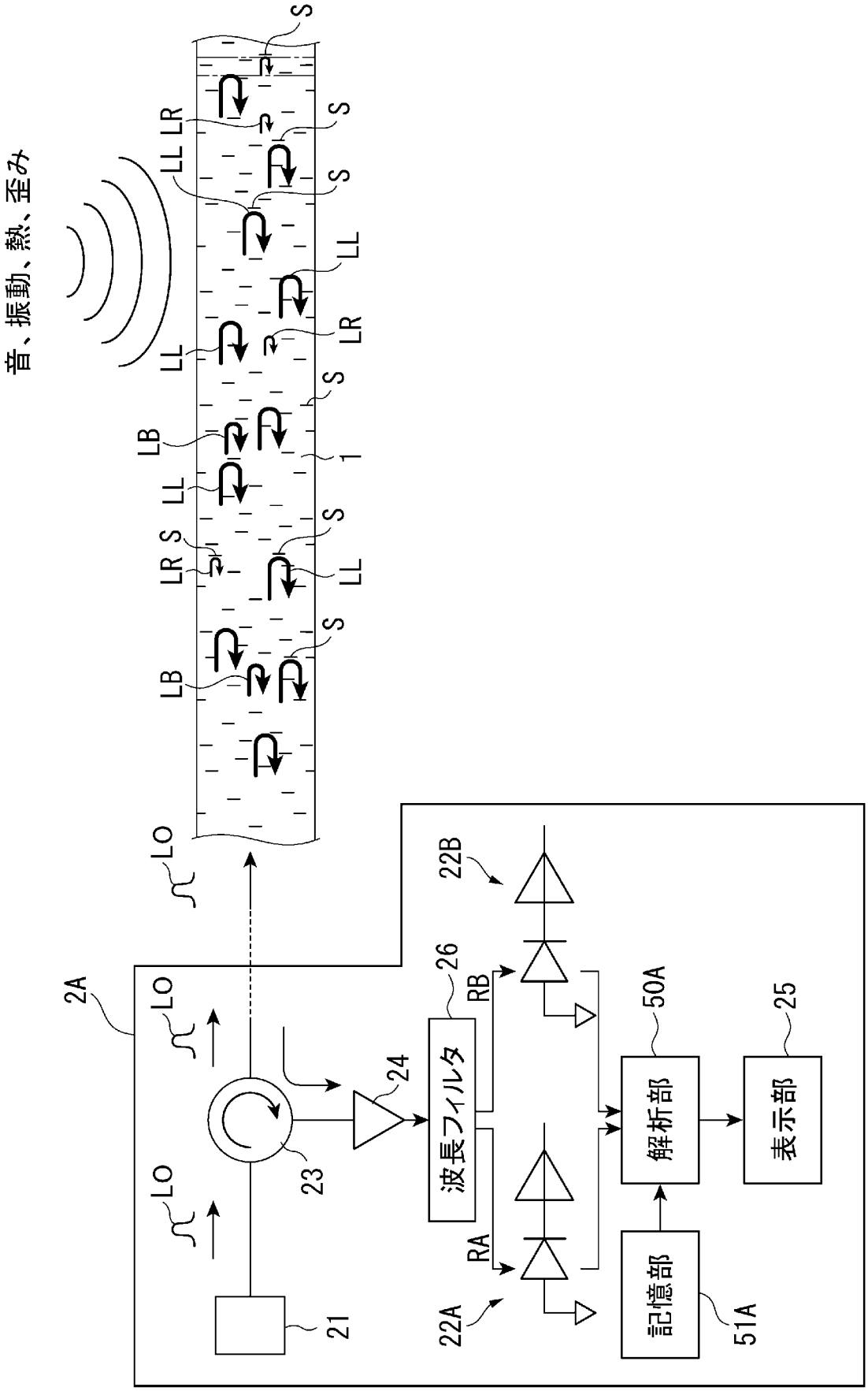
[図3]


音、振動、熱、歪み
S
LL LR
LL
LR
LB
1
LO
光強度
距離(時間)
DL
2
21
22
23
24
25
50
51
解析部
表示部
記憶部

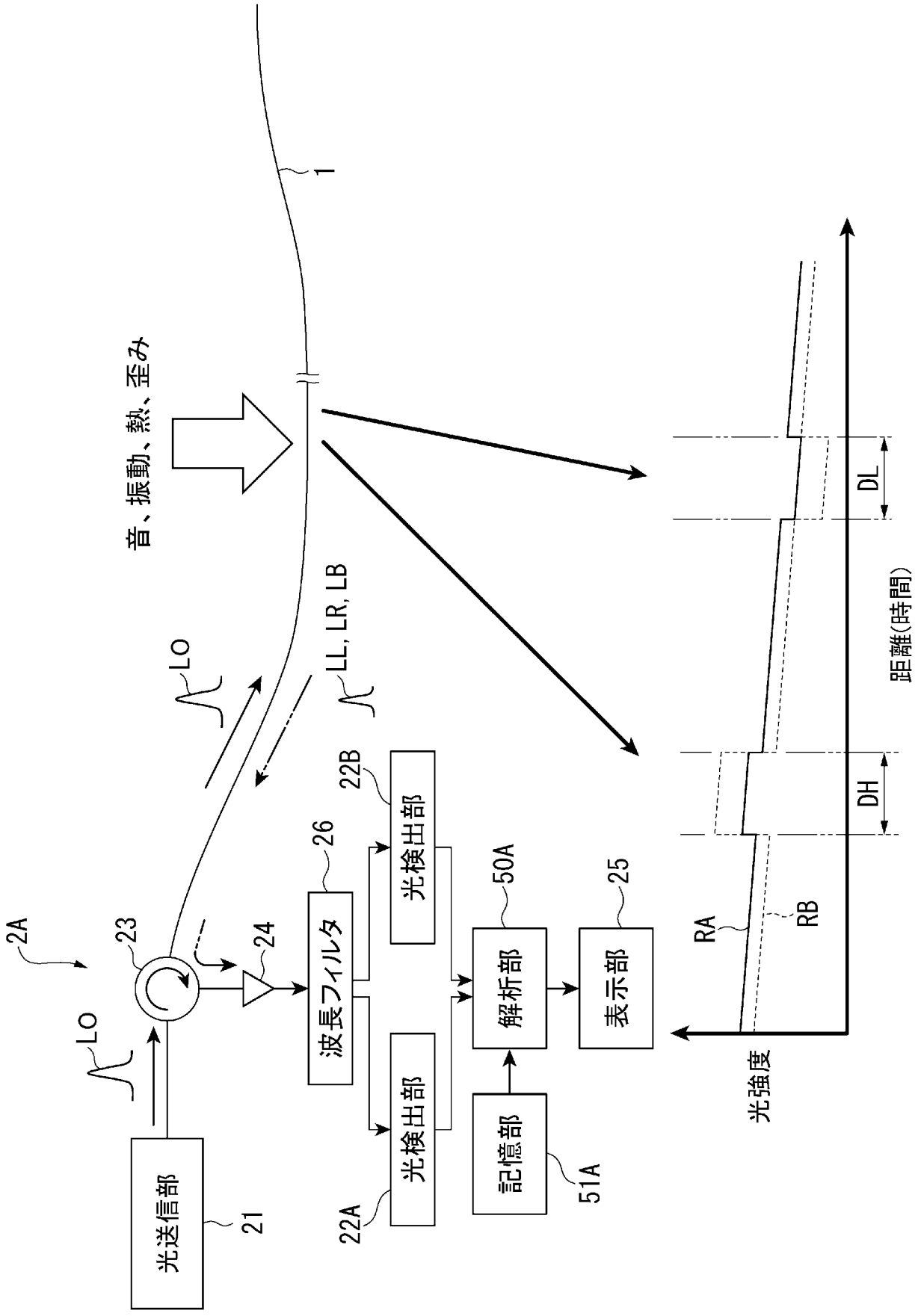
[図4]


1
音、振動、熱
LO
LL, LR, LB
2
23
24
LO
光送信部
21
光検出部
22
解析部
50
記憶部
51
表示部
25
NL
DL
距離(時間)
光強度

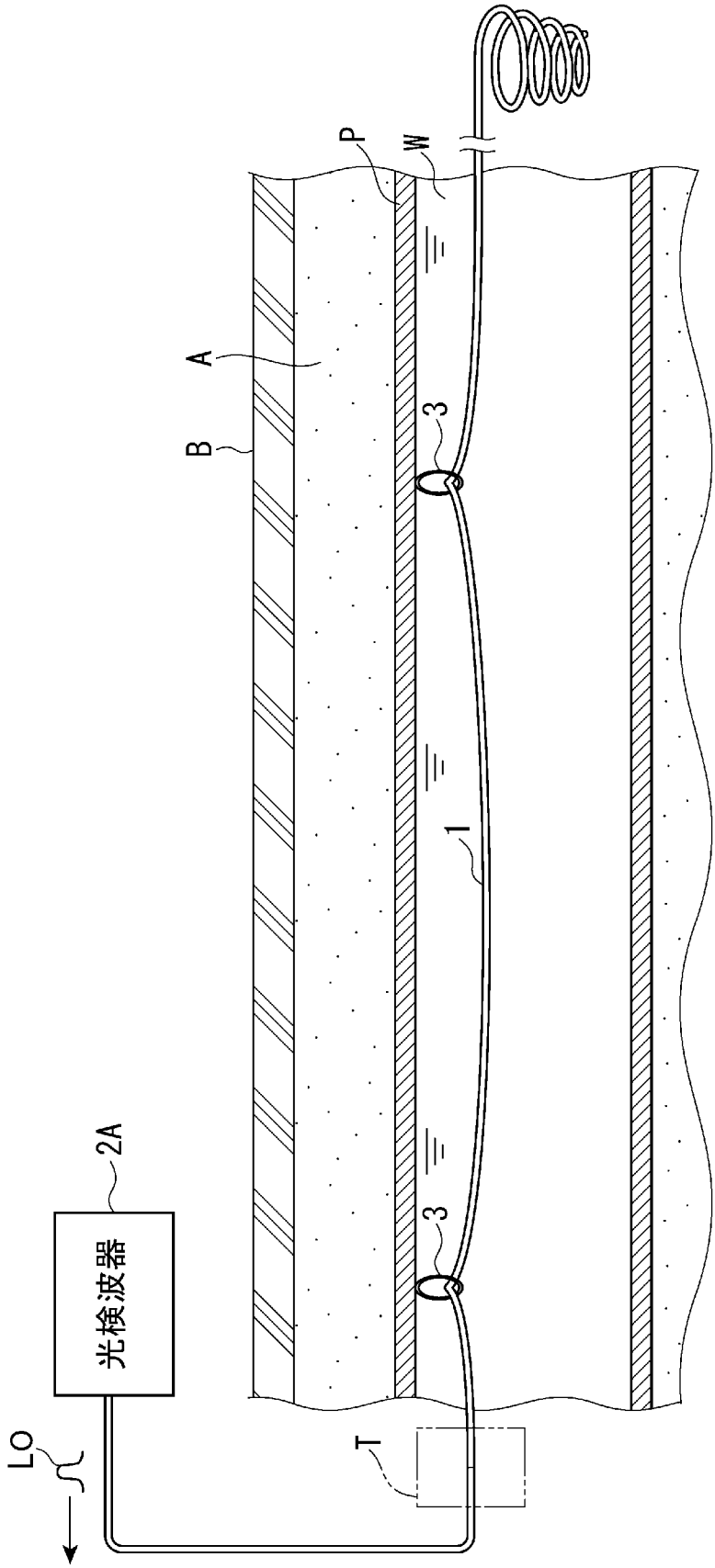
[図5]


音、振動、熱、歪み
S
LL LR
LL
LR
LB
1
LO
2A
21
23
24
26
波長フィルタ
RB
RA
22A
22B
50A
解析部
25
表示部
記憶部
51A

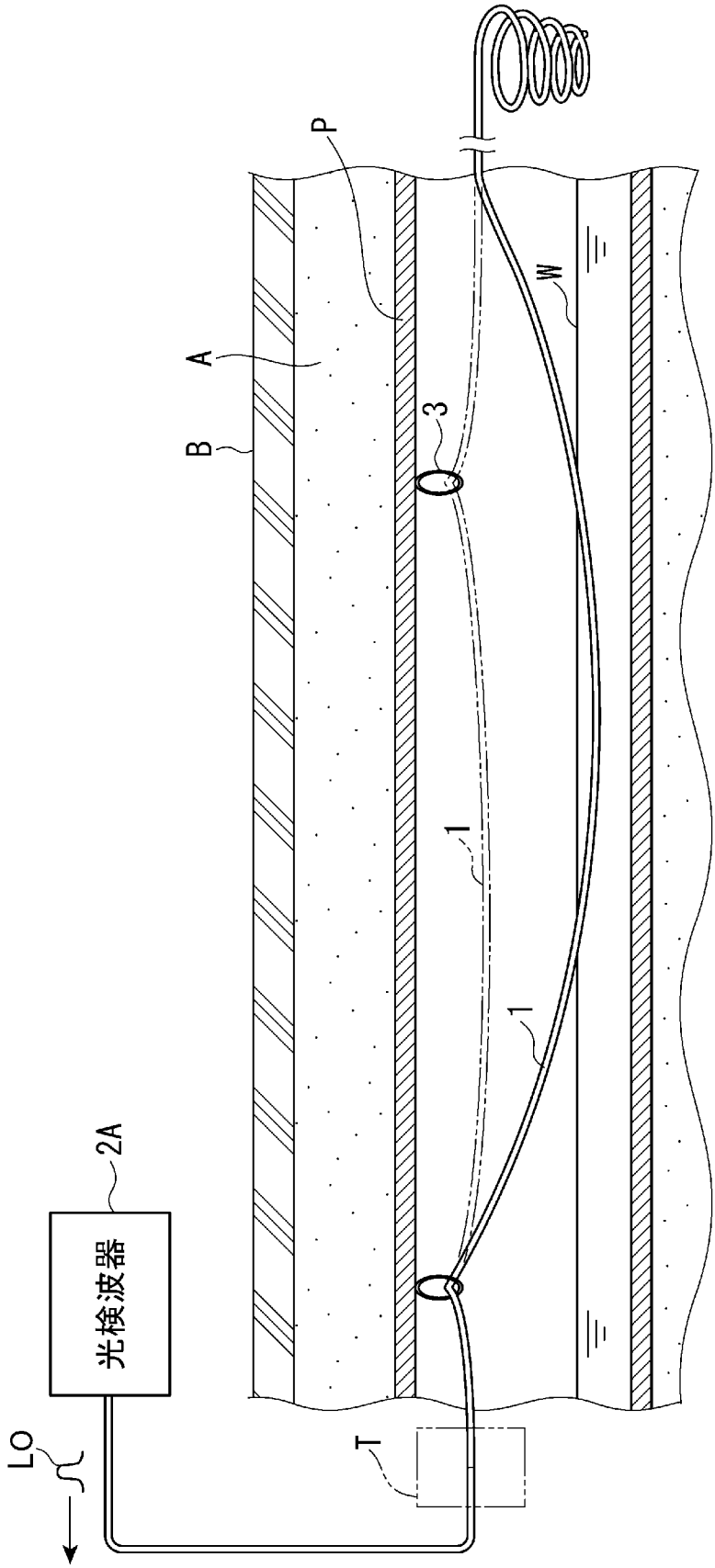
[図6]


1
音、振動、熱、歪み
LO
LL, LR, LB
2A
23
24
LO
光送信部
21
波長フィルタ
26
光検出部
22B
光検出部
22A
解析部
50A
記憶部
51A
表示部
25
RA
RB
DH
DL
光強度
距離(時間)

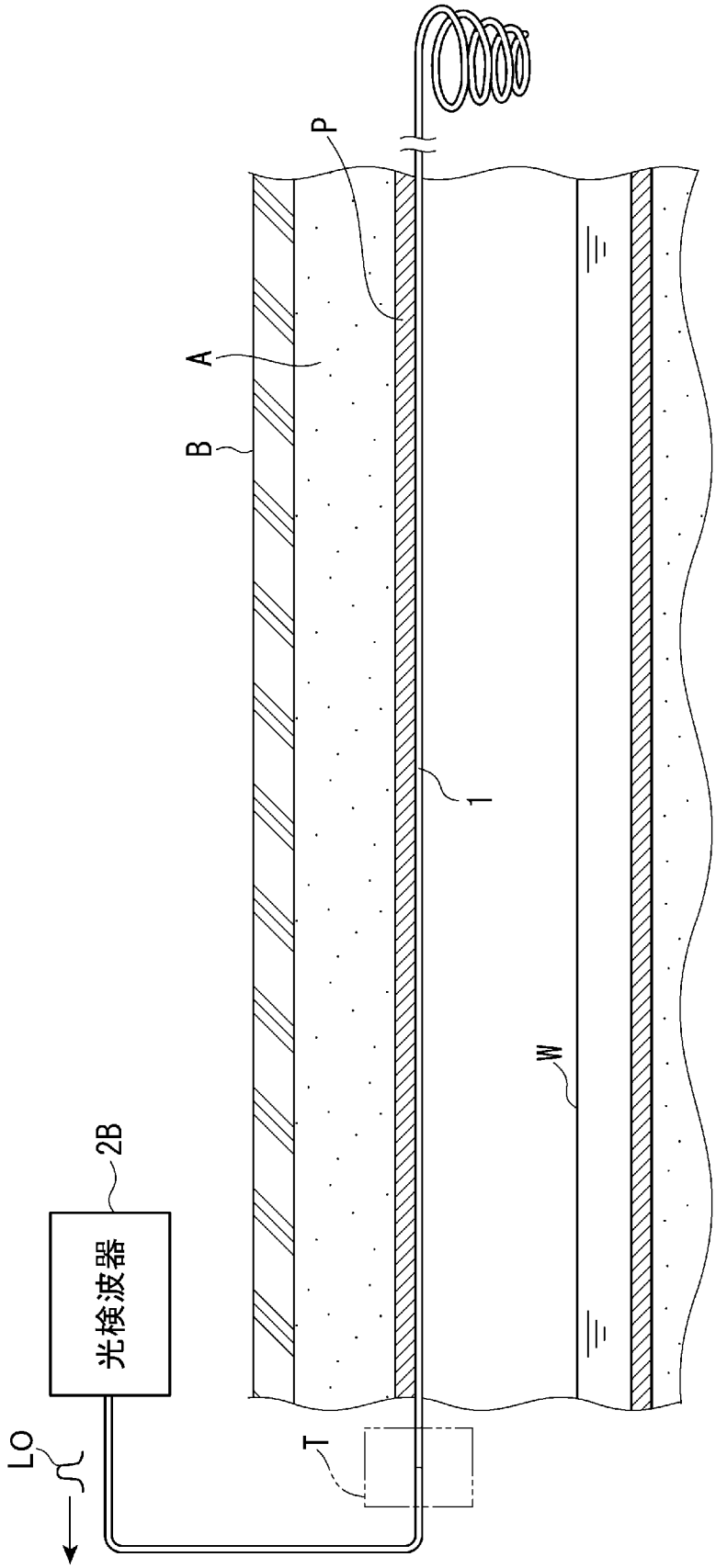
[図7]



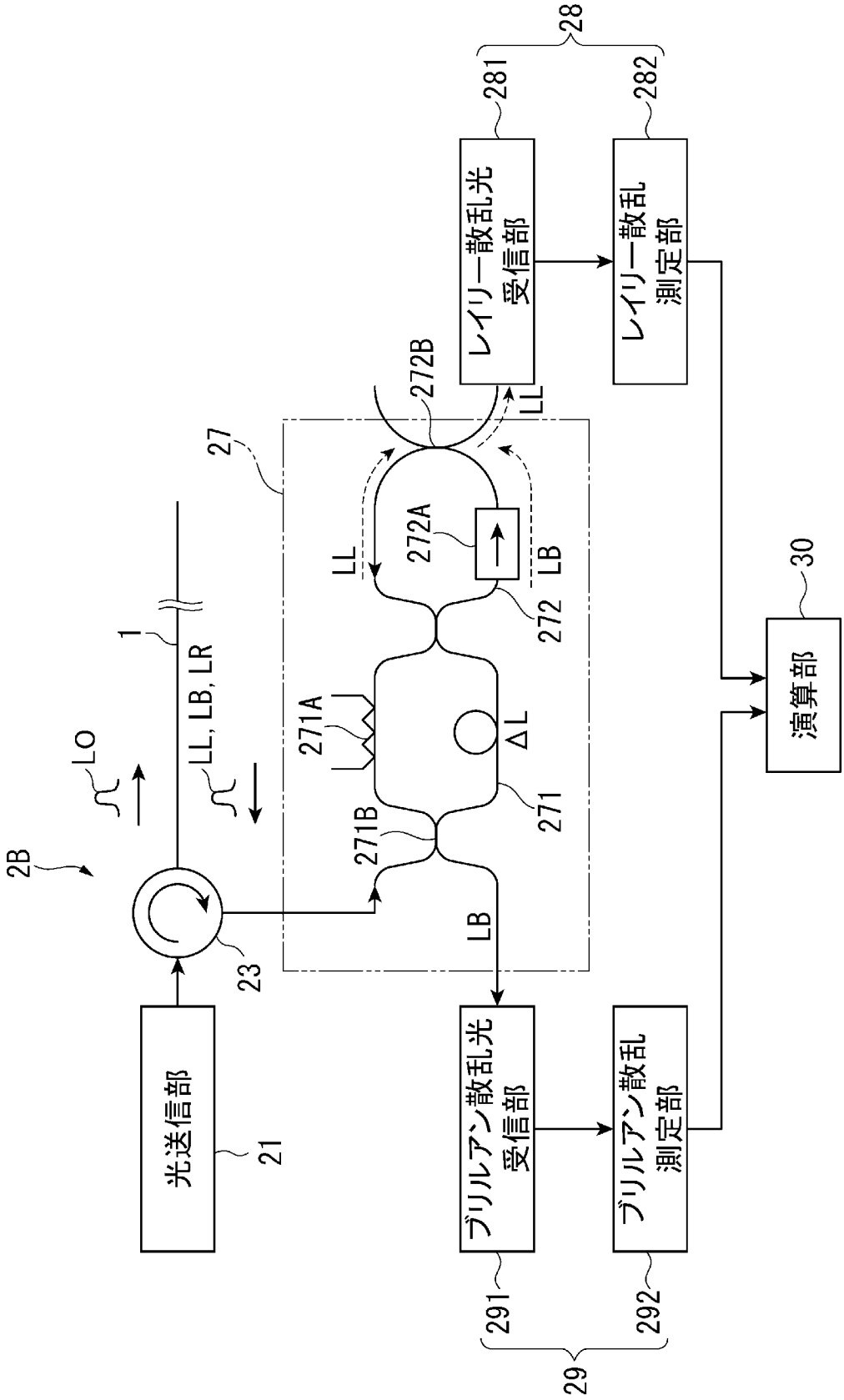
[図8]



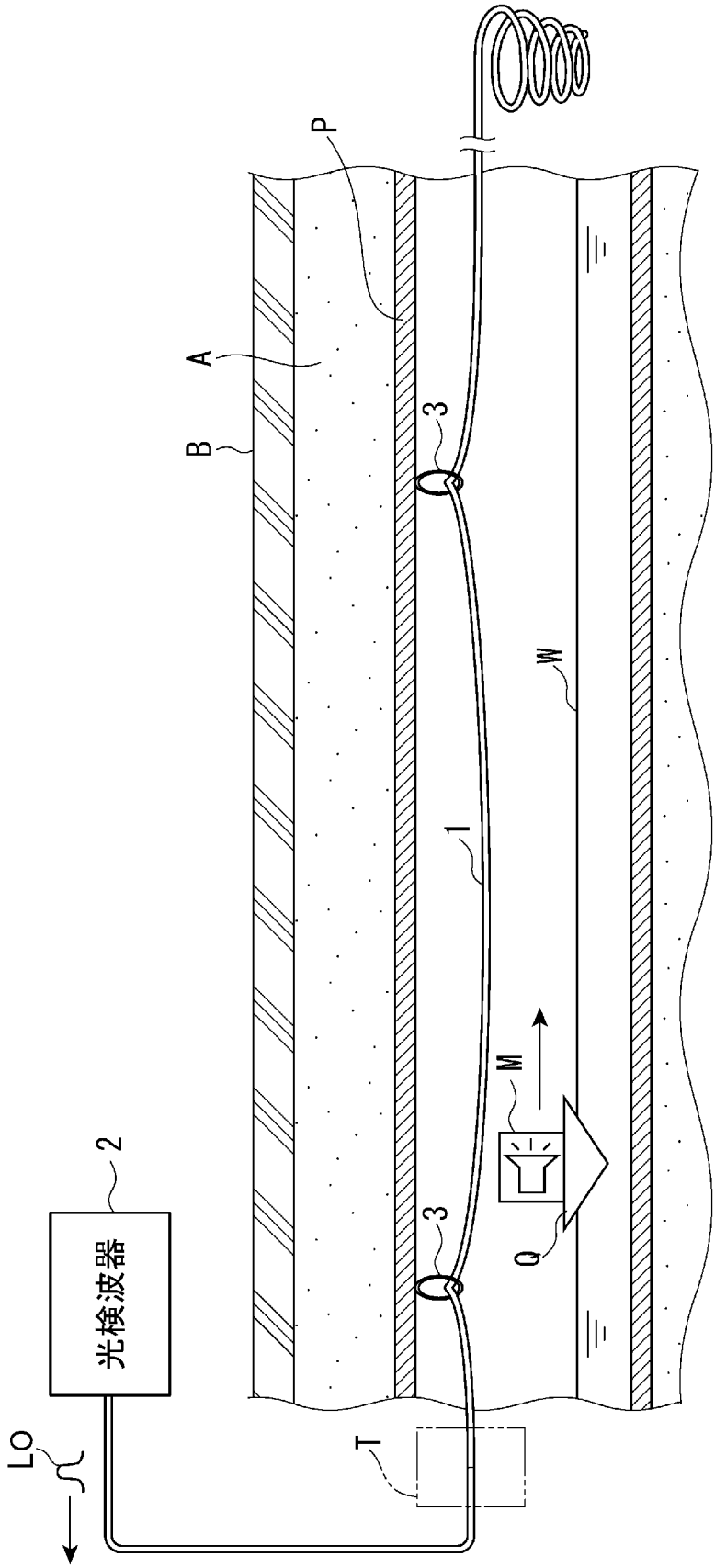
[図9]



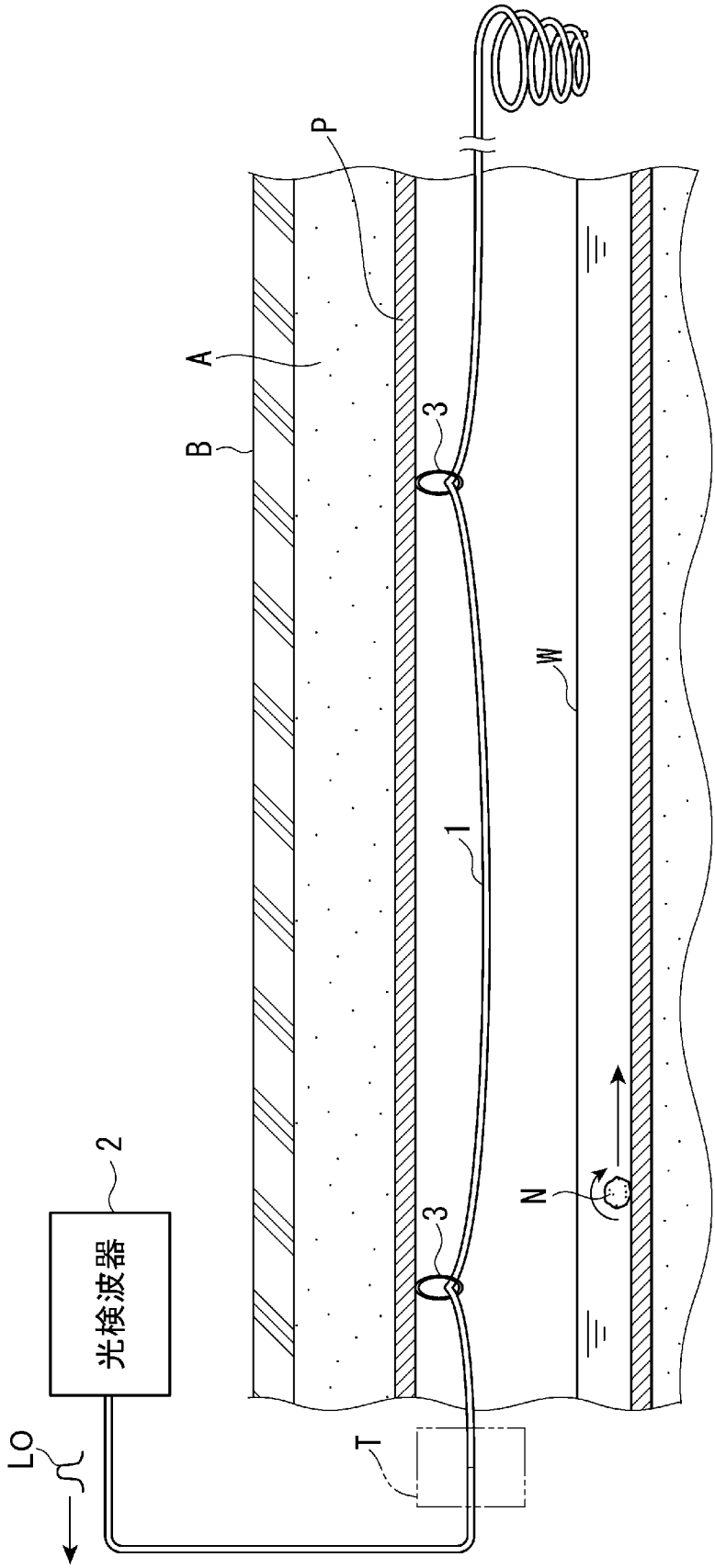
[図10]


光送信部
21
2B
LO
LL, LB, LR
1
23
27
271A
271B
271
ΔL
272A
272
272B
LL
LB
LB
LL
レイリー散乱光
受信部
281
レイリー散乱
測定部
282
28
ブリルアン散乱光
受信部
291
ブリルアン散乱
測定部
292
29
演算部
30

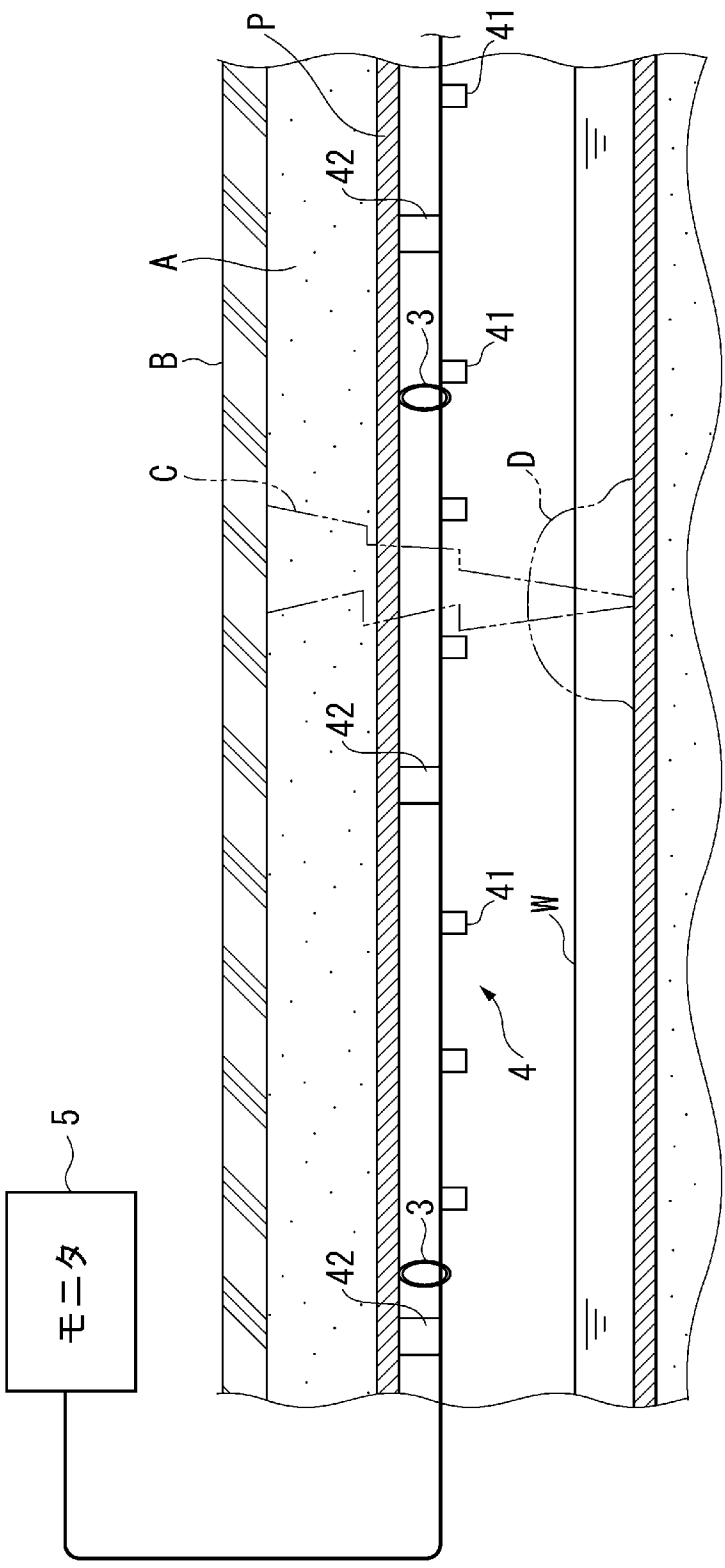
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/027730

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G01D5/353(2006.01)i, G01H3/00(2006.01)i, G01H9/00(2006.01)i, G01H17/00(2006.01)i, G01B11/16(2006.01)n

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. G01D5/26-5/38, G01H3/00, G01H9/00, G01H17/00, G01B11/16, G01M11/00, G02B6/46-6/54

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	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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.
Y A	JP 2005-345376 A (RIKOGAKU SHINKOKAI) 15 December 2005, paragraphs [0003], [0014]-[0035], fig. 1-7 (Family: none)	1, 2, 7 3-6
Y A	JP 2001-84268 A (HITACHI, LTD.) 30 March 2001, paragraphs [0023]-[0026], fig. 7 (Family: none)	1, 2, 7 3-6

☒ 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	Date of mailing of the international search report
10 October 2018 (10.10.2018)	23 October 2018 (23.10.2018)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/027730

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2002-318333 A (MOLE KOGYO KK) 31 October 2002, paragraphs [0022]-[0026], [0068], fig. 1-3, 25-26 (Family: none)	1, 2, 7 3-6
Y A	JP 2003-304615 A (KANA FLEX CORPORATION KK) 24 October 2003, paragraphs [0008]-[0013], fig. 1-7 (Family: none)	1, 2, 7 3-6
Y A	JP 2005-346105 A (ASHIMORI INDUSTRY CO., LTD.) 15 December 2005, paragraphs [0035]-[0069], fig. 1-10 & US 2003/0021633 A1, paragraphs [0185]-[0220], fig. 1-10 & WO 2002/013345 A1 & EP 1309054 A1 & CA 2387342 A1 & CN 1389009 A & TW 290403 B & AT 410805 T & HK 1053195 A	1, 2, 7 3-6
A	JP 2016-166839 A (NEC CORP.) 15 September 2016, paragraph [0002] (Family: none)	1-7
A	JP 2006-183457 A (YAMAGUCHI UNIVERSITY) 13 July 2006, paragraphs [0028]-[0097], fig. 1-4 (Family: none)	1-7
A	JP 2011-128791 A (TOSHIBA CORP.) 30 June 2011, paragraphs [0012]-[0072], fig. 1-8 (Family: none)	1-7
A	US 2013/0021874 A1 (SCHLUMBERGER TECHNOLOGY CORPORATION) 24 January 2013, paragraphs [0012]-[0048], fig. 1-6 & US 2010/0107754 A1 & WO 2010/053931 A1 & EP 2361393 A1	1-7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０２７７３０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01D5/353(2006.01)i, G01H3/00(2006.01)i, G01H9/00(2006.01)i, G01H17/00(2006.01)i, G01B11/16(2006.01)n

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））

Int.Cl.　G01D5/26-5/38, G01H3/00, G01H9/00, G01H17/00, G01B11/16, G01M11/00, G02B6/46-6/54

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

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８年

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）

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
Y A	JP 2005-345376 A (財団法人理工学振興会) 2005.12.15, 段落[0003], [0014]-[0035], 図１－７（ファミリーなし）	1,2,7 3-6
Y A	JP 2001-84268 A (株式会社日立製作所) 2001.03.30, 段落[0023]-[0026], 図７（ファミリーなし）	1,2,7 3-6

☑　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。

＊　引用文献のカテゴリー
「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
「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
「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）
「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
「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「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
「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
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１０．１０．２０１８	２３．１０．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｆ　３９０２
吉田　久
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６

Ｃ（続き）．　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
Y A	JP 2002-318333 A (株式会社モール工業) 2002.10.31, 段落[0022]-[0026], [0068], 図１－３，２５－２６ （ファミリーなし）	1,2,7 3-6
Y A	JP 2003-304615 A (カナフレックスコーポレーション株式会社) 2003.10.24, 段落[0008]-[0013], 図１－７（ファミリーなし）	1,2,7 3-6
Y A	JP 2005-346105 A (芦森工業株式会社) 2005.12.15, 段落[0035]-[0069], 図１－１０ & US 2003/0021633 A1,[0185]-[0220],Figs.1-10 & WO 2002/013345 A1 & EP 1309054 A1 & CA 2387342 A1 & CN 1389009 A & TW 290403 B & AT 410805 T & HK 1053195 A	1,2,7 3-6
A	JP 2016-166839 A (日本電気株式会社) 2016.09.15, 段落[0002] (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2006-183457 A (国立大学法人山口大学) 2006.07.13, 段落[0028]-[0097], 図１－４（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2011-128791 A (株式会社東芝) 2011.06.30, 段落[0012]-[0072], 図１－８（ファミリーなし）	1-7
A	US 2013/0021874 A1 (SCHLUMBERGER TECHNOLOGY CORPORATION) 2013.01.24, 段落[0012]-[0048], FIGs.1-6 & US 2010/0107754 A1 & WO 2010/053931 A1 & EP 2361393 A1	1-7