

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
G01D 5/26		G01D 5/26	D 2F065
G01B 11/16		G01B 11/16	Z 2F103

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全11頁)

(21)出願番号 特願2002 - 13249(P 2002 - 13249)

(22)出願日 平成14年1月22日(2002.1.22)

(71)出願人 800000080

タマティーエルオー株式会社
東京都八王子市旭町9番1号 八王子スク
エアビル11階

(71)出願人 596090742

株式会社インターアクション
神奈川県横浜市金沢区福浦1 - 1 横浜金
沢ハイテクセンタービル1階

(74)代理人 100094053

弁理士 佐藤 隆久

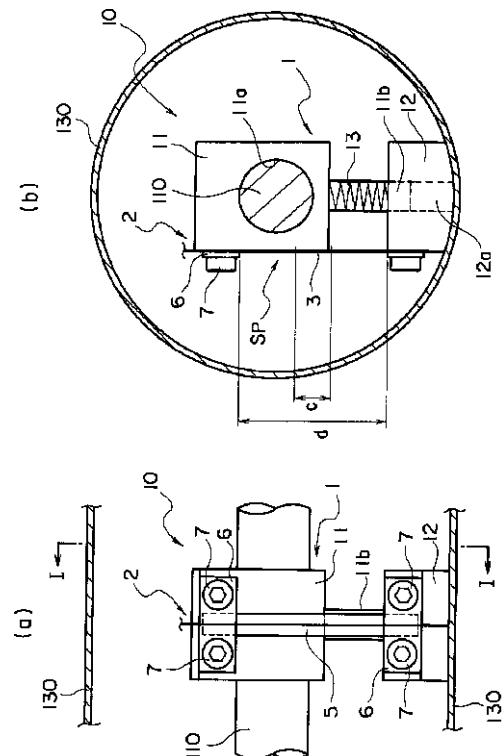
最終頁に続く

(54)【発明の名称】光ファイバ型センサおよび光ファイバ型センサシステム

(57)【要約】

【課題】 製造の容易なヘテロ・コア型光ファイバを使用して、この光ファイバに無理な屈曲や伸張を与えることなく、測定対象の各種変化を、幅広い測定範囲で、かつ、長期的、広範囲に測定可能な光ファイバ型センサおよび光ファイバ型センサシステムを提供する。

【解決手段】 光ファイバ型センサは、ヘテロ・コア部を有するヘテロ・コア型光ファイバと、応力を、ヘテロ・コア部を中心とした前記ヘテロ・コア型光ファイバの屈曲に変換する機構手段とを有し、ヘテロ・コア部の屈曲に応じて、ヘテロ・コア型光ファイバに光伝送の損失を生じさせる。光ファイバ型センサシステムは、一つ以上の前記ヘテロ・コア型光ファイバを所定の間隔で直列に接続したヘテロ・コア型のセンサ用光ファイバラインと、前記機構手段と、センサ用光ファイバラインに検出用の光を入射する光入射手段と、前記検出用の光を受光する受光手段とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】コアおよびクラッドを有する第 1 および第 2 の光ファイバと、

前記第 1 および第 2 の光ファイバの間に位置し、その両端部が前記第 1 および第 2 の光ファイバと融着接合されており、長手方向と直交する方向の応力印加に応じて屈曲可能で前記第 1 および第 2 の光ファイバのコアの屈折率またはクラッドの屈折率と同等の屈折率を持つ光透過部材とを有するセンサ用光ファイバと、
 応力が印加されたとき、その応力に応じて前記光透過部材を中心として前記センサ用光ファイバを屈曲させ、前記応力が解除されたとき、前記屈曲状態から復帰させる機構手段とを有し、

前記光透過部材の屈曲に応じて、前記センサ用光ファイバに光伝送の損失が生じる光ファイバ型センサ。

【請求項 2】前記機構手段は、

前記光透過部材を有するセンサ用光ファイバの一端部を保持する第 1 の保持部材と、
 前記第 1 の保持部材と所定の距離をおいて配置され、前記光透過部材を挟んで前記センサ用光ファイバの他端部を保持する第 2 の保持部材と、
 応力が印加されないとき、弾性力により前記第 1 および第 2 の保持部材を所定の位置関係に保持する弾性体とを有し、

前記第 1 および第 2 の保持部材は、応力が印加されたとき、その応力に応じて保持している前記センサ用光ファイバの長手方向に沿ってそれぞれ相対的に移動し、前記応力が解除されたとき、前記弾性体の弾性力により前記所定の位置関係に復帰させられる請求項 1 に記載の光ファイバ型センサ。

【請求項 3】応力印加により、前記弾性体の弾性力に抗して前記第 1 および第 2 の保持部材の距離が縮まり前記センサ用光ファイバを屈曲させる請求項 2 に記載の光ファイバ型センサ。

【請求項 4】前記弾性体の弾性力に抗して、前記第 1 の保持部材と、前記第 2 の保持部材に装着される外部連結部材とを引張り前記第 1 および第 2 の保持部材の距離を縮めて前記センサ用光ファイバを屈曲させる請求項 2 に記載の光ファイバ型センサ。

【請求項 5】コアおよびクラッドを有する第 1 および第 2 の光ファイバと、

前記第 1 および第 2 の光ファイバの間に位置し、その両端部が前記第 1 および第 2 の光ファイバと融着接合されており、長手方向と直交する方向の応力印加に応じて屈曲可能で前記第 1 および第 2 の光ファイバのコアの屈折率またはクラッドの屈折率と同等の屈折率を持つ光透過部材とを有するセンサ用光ファイバを複数直列に接続したセンサ用光ファイバラインと、
 応力が印加されたとき、その応力に応じて前記光透過部材を中心として前記センサ用光ファイバを屈曲させ、前

記応力が解除されたとき、前記屈曲状態から復帰させる機構手段と、

前記センサ用光ファイバラインに検出用の光を入射する光入射手段と、

前記検出用の光を受光する受光手段と、

を有し、

前記検出用の光により、前記光透過部材の屈曲に応じた前記センサ用光ファイバの光伝送の損失を検出し、前記センサ用光ファイバラインの周囲の情報を測定する光ファイバ型センサシステム。

【請求項 6】複数の前記センサ用光ファイバラインと、前記複数のセンサ用光ファイバラインと前記光入射手段および受光手段とを接続し、測定に利用する前記センサ用光ファイバラインを適宜選択切換える光スイッチとをさらに有する請求項 5 に記載の光ファイバ型センサシステム。

【請求項 7】前記機構手段は、

前記光透過部材を有するセンサ用光ファイバの一端部を保持する第 1 の保持部材と、

20 前記第 1 の保持部材と所定の距離をおいて配置され、前記光透過部材を挟んで前記センサ用光ファイバの他端部を保持する第 2 の保持部材と、

応力が印加されないとき、弾性力により前記第 1 および第 2 の保持部材を所定の位置関係に保持する弾性体とを有し、

前記第 1 および第 2 の保持部材は、応力が印加されたとき、その応力に応じて保持している前記センサ用光ファイバの長手方向に沿ってそれぞれ相対的に移動し、前記応力が解除されたとき、前記弾性体の弾性力により前記所定の位置関係に復帰させられる請求項 5 または 6 に記載の光ファイバ型センサシステム。

【請求項 8】応力印加により、前記弾性体の弾性力に抗して前記第 1 および第 2 の保持部材の距離が縮まり前記センサ用光ファイバを屈曲させる請求項 7 に記載の光ファイバ型センサシステム。

【請求項 9】前記弾性体の弾性力に抗して、前記第 1 の保持部材と、前記第 2 の保持部材に装着される外部連結部材とを引張り前記第 1 および第 2 の保持部材の距離を縮めて前記センサ用光ファイバを屈曲させる請求項 7 に記載の光ファイバ型センサシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバを用いて測定対象に関わる所定の物理量または現象の変化を測定する光ファイバ型センサ、ならびにこの光ファイバ型センサを用いた光ファイバ型センサシステムに関する。詳細には、本発明は、光ファイバの曲げによる光の伝達損失を効果的に検出して、測定対象のひずみ、曲げ、縮み、伸び等の変化を測定する光ファイバ型センサ、ならびにこの光ファイバ型センサを用いた光ファイバ型セン

サシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】安全確保、災害予知等の観点から、高架道路、トンネル、高架橋、鉄道、各種プラント、大型航空機、船舶等の構造物や、その近傍の自然環境の損傷や変化の効果的なモニタリングの要求が高まっている。これらのモニタリングは、長期かつ広範囲にわたり、検出された情報を一元的に統括できることが望まれている。従来から、機械や建築物等の構造物のひずみ測定器としては、電気抵抗式のひずみゲージが知られている。また、光ファイバの持つ軽量、低電力、耐電磁誘導性、耐腐食性等の特徴を活かそうとする光ファイバ式ひずみセンサも考案されている（例えば特開平11-287626号公報を参照）。

【0003】光ファイバ式ひずみセンサには、屈曲型と伸張型という2つの代表的な方式が存在する。屈曲型の光ファイバ式ひずみセンサでは、光ファイバ自体にあらかじめ曲率半径数mm程度の小さな曲げ（マイクロベンディング）を部分的に与えておき、測定したいひずみ量をこの曲げに伝え、光の伝達損失からひずみ量を検出する。この方式は、光ファイバは伝達損失が発生する曲率半径の範囲において、曲率半径が小さくなると伝達損失が増大し、曲率半径が大きくなると伝達損失が減少するという原理に基づいている。

【0004】一方、伸張型の光ファイバ式ひずみセンサでは、測定したいひずみ量を、光ファイバを長手方向に伸張させるような力に変換し、光ファイバを伸ばそうとするときに光ファイバ内部に生じる屈折率の周期的な変化を利用する。光ファイバが長手方向にひずみ状態になっている領域を光が通過するとき、散乱される光の波長が少しだけシフトする。この波長のシフトと光ファイバの長手方向のひずみとの間には相関があり、波長のシフトを測定すれば、ひずみ量を測定することができる。この伸張型のひずみ測定方式は、「ブリルアン散乱法」とも呼ばれる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、電気抵抗式のひずみゲージでは、電力消費、金属腐食による接点不良・寿命短縮、電磁界の影響下でのノイズ等の不利益があり、上記のような長期的、広範囲な使用には適さない。

【0006】屈曲型の光ファイバ式ひずみセンサにおいては、通常のシングルモード光ファイバは曲率半径が数十mm程度の緩やかな曲げ（マクロベンディング）にはほとんど伝達損失を示さないということが問題になる。このため、損失によってひずみを計測するためには、破断限界に近い屈曲を光ファイバに与える必要がある。このようなマイクロベンディングによるセンサは、ひずみ量の変化に対して非常に敏感なので、実用上は使いにくく、また適用範囲も限られる。さらに、破断限界近傍で

光ファイバを用いると、検出時の測定対象の変化によりファイバが容易に破断し、センシング機能がその時点で損なわれてしまうという危険性も生じる。

【0007】通常のシングルモード光ファイバではなく、コアを光ファイバの中心軸からずらしたり、屈折率の異なる光ファイバを組み合わせた特殊な光ファイバを用いて、マクロベンディングに対しても伝達損失を検出可能な屈曲型センサも考えられている。しかし、このような特殊な光ファイバは製造が困難であり、コスト面でも大きな不利が存在する。

【0008】伸張型の光ファイバ式ひずみセンサにおいても、光ファイバに伸びを与える際に、光ファイバがガラスにより製造されていることに起因する破断限界が存在し、上記と同じセンシング機能の消失の可能性がある。また、ブリルアン散乱法は、ごくわずかな周波数シフトを測定するため、その測定のための装置が複雑かつ高価になる。

【0009】さらには、測定対象によりその変化は数 μ mから数cmまで多岐にわたるため、これらの変化を効果的に光ファイバのマクロベンディングに変換する機構が必要となる。これまでは、マイクロベンディング状態において微少な曲率半径の変化しか光ファイバに与えていなかったため、上記のような機構は考えられていなかった。

【0010】本発明は上述した問題点を鑑みてなされたものであって、その目的は、製造が容易で、測定対象のひずみ、曲げ、縮み等の変化を測定可能なセンサ用光ファイバを用いて、このセンサ用光ファイバに無理な屈曲や伸張を与えることなく、測定対象の上記変化を幅広い測定範囲で効果的に測定可能な光ファイバ型センサを提供することにある。また、本発明の別の目的は、この光ファイバ型センサを利用して、測定対象の各種変化を、幅広い測定範囲で、かつ、長期的、広範囲に測定可能であり、検出情報を一元管理することができる光ファイバ型センサシステムを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の光ファイバ型センサは、コアおよびクラッドを有する第1および第2の光ファイバと、前記第1および第2の光ファイバの間に位置し、その両端部が前記第1および第2の光ファイバと融着接合されており、長手方向と直交する方向の応力印加に応じて屈曲可能で前記第1および第2の光ファイバのコアの屈折率またはクラッドの屈折率と同等の屈折率を持つ光透過部材とを有するセンサ用光ファイバと、応力が印加されたとき、その応力に応じて前記光透過部材を中心として前記センサ用光ファイバを屈曲させ、前記応力が解除されたとき、前記屈曲状態から復帰させる機構手段とを有し、前記光透過部材の屈曲に応じて、前記センサ用光ファイバに光伝送の損失を生じさせる。

【0012】好適には、前記機構手段は、前記光透過部材を有するセンサ用光ファイバの一端部を保持する第1の保持部材と、前記第1の保持部材と所定の距離を置いて配置され、前記光透過部材を挟んで前記センサ用光ファイバの他端部を保持する第2の保持部材と、応力が印加されないとき、弾性力により前記第1および第2の保持部材を所定の位置関係に保持する弾性体とを有し、前記第1および第2の保持部材は、応力が印加されたとき、その応力に応じて保持している前記センサ用光ファイバの長手方向に沿ってそれぞれ相対的に移動し、前記応力が解除されたとき、前記弾性体の弾性力により前記所定の位置関係に復帰させられる。

【0013】前記機構手段は、応力印加により、前記弾性体の弾性力に抗して前記第1および第2の保持部材の距離が縮まり前記センサ用光ファイバを屈曲させる構成であってもよいし、前記弾性体の弾性力に抗して、前記第1の保持部材と、前記第2の保持部材に装着される外部連結部材とを引張り前記第1および第2の保持部材の距離を縮めて前記センサ用光ファイバを屈曲させる構成であってもよい。

【0014】本発明の光ファイバ型センサシステムは、コアおよびクラッドを有する第1および第2の光ファイバと、前記第1および第2の光ファイバの間に位置し、その両端部が前記第1および第2の光ファイバと融着接合されており、長手方向と直交する方向の応力印加に応じて屈曲可能で前記第1および第2の光ファイバのコアの屈折率またはクラッドの屈折率と同等の屈折率を持つ光透過部材とを有するセンサ用光ファイバを複数直列に接続したセンサ用光ファイバラインと、応力が印加されたとき、その応力に応じて前記光透過部材を中心として前記センサ用光ファイバを屈曲させ、前記応力が解除されたとき、前記屈曲状態から復帰させる機構手段と、前記センサ用光ファイバラインに検出用の光を入射する光入射手段と、前記検出用の光を受光する受光手段と、を有し、前記検出用の光により、前記光透過部材の屈曲に応じた前記センサ用光ファイバの光伝送の損失を検出し、前記センサ用光ファイバラインの周囲の情報を測定する。

【0015】また、前記センサ用光ファイバラインは複数であってもよく、その場合には当該複数のセンサ用光ファイバラインと前記光入射手段および受光手段との間に、測定に利用する前記センサ用光ファイバラインを適宜選択切替える光スイッチが接続される。

【0016】本発明では、2本の光ファイバの間に、これらの光ファイバのコアの屈折率またはクラッドの屈折率と同等の屈折率を持つ光透過部材が挟み込まれ、光透過部材と光ファイバの長手方向に直交する断面が互いに融着接合される。これによりセンサ用光ファイバが形成され、融着接合された光透過部材がセンサとして機能する。測定対象の変化は、機構手段により、その変化に応

じたセンサ用光ファイバの曲げに変換される。センサ用光ファイバを、光透過部材を中心としてある曲率半径の範囲内で曲げると、曲率半径の変化に応じて光透過部材を透過する光の伝達損失が変化する。この伝達損失の変化を検出することで、測定対象の変化を測定することができる。

【0017】本発明においては、光透過部材とその両側の光ファイバは、その両端側を、2つの保持部材によりそれぞれ保持される。これらの保持部材が光ファイバの長手方向に相対的に動くことで、測定対象の変化が光透過部材とその両側の光ファイバの曲げに変換される。保持部材は、測定対象に応力が印加されないときには、弾性体の弾性力により所定の位置に復帰される。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら述べてゆく。

【0019】曲げロッドセンサ

図1(a)は、本発明の一実施形態に係る曲げロッドセンサの構成を示す図である。図1(a)に示す曲げロッドセンサ100は、光ファイバ型センサ10と、支持ロッド110と、ボールジョイント120と、ロッド130と、ブーツ140を有する。図1(b)は、支持ロッド110の端部の拡大図である。

【0020】光ファイバ型センサ10は、図1(a)に示すように、一端部に支持ロッド110を挿通させて、この支持ロッド110ごと中空のロッド130の内部に挿入されている。支持ロッド110の両端部には、図1(b)に示すように、ボールジョイント120が螺合している。それぞれのボールジョイント120は、例えば2分割されたブーツ140に挟み込まれることで保持される。ブーツ140は、ロッド130の両端部においてロッド130の内壁面に嵌合しており、例えば、外部からロッド130を貫通して螺合するボルト150によって、ロッド130に固定される。以上の構成により、支持ロッド110は、中空のロッド130の内部においてロッド130と同心で支持される。また、光ファイバ型センサ10は、例えばロッド130の長手方向の中央部に、支持ロッド110が貫通している端部の反対側の端部がロッド130の内壁面に接触するように配置される。

【0021】図2(a)は図1(a)における光ファイバ型センサ10近傍の拡大図であり、図2(b)はその断面I-Iから見た側面図である。光ファイバ型センサ10は、センサヘッド1と、ヘテロ・コア型光ファイバ2を有する。光ファイバ型センサ10は、後述する光入射手段および受光手段に接続されている。センサヘッド1は、第1の保持部材11と、第2の保持部材12と、圧縮コイルばね13を有する。ヘテロ・コア型光ファイバ2が本発明におけるセンサ用光ファイバの一実施態様である。また、センサヘッド1が本発明における機構手段

の一実施態様であり、圧縮コイルばね 13 が本発明における弾性体の一実施態様である。

【0022】第 1 保持部材 11 には、支持ロッド 110 の外径に嵌合する大きさの直径を有する貫通孔 11a が備えられている。この貫通孔 11a に、支持ロッド 110 が挿入される。また、第 1 保持部材 11 には、貫通孔 11a に嵌合した支持ロッド 110 の長手方向と直交する方向に突出したピン 11b が備えられており、第 1 保持部材 11 と一体化している。このピン 11b は、圧縮コイルばね 13 に差し込まれてから、第 2 保持部材 12 に設けられている挿入孔 12a に挿入される。このとき、挿入孔 12a にはピン 11b のみが挿入され、圧縮コイルばね 13 は第 1 保持部材 11 と第 2 保持部材 12 の間に挟み込まれる。

【0023】これにより、第 1 保持部材 11 と第 2 保持部材 12 は、図 2 (a) に示されるように、支持ロッド 110 と第 1、第 2 保持部材 11, 12 とがなす姿勢が T 字型になるように配置される。第 1 保持部材 11 と第 2 保持部材 12 は、ピン 11b の軸方向に沿って、その軸上で互いに移動可能である。第 1 保持部材 11 と第 2 保持部材 12 の大きさは、移動の際に十分なストロークが得られるように規定される。なお、第 2 保持部材 12 のロッド 130 の内周面に接する側の端部は、前述のように、ロッド 130 の内周面と面接触するように、ロッド 130 の内径の曲率半径と同じ曲率半径となるように形成されている。

【0024】このセンサヘッド 1 には、図 3 に示すヘテロ・コア型光ファイバ 2 が取り付けられる。図 3 は、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 の要部の長手方向の断面図である。ヘテロ・コア型光ファイバ 2 は、光ファイバにより構成される光の伝送体の中途部に、同じく光伝送体で構成される数 mm から数 cm の微小なヘテロ・コア部 3 を挟装したものである。ヘテロ・コア部 3 は、本発明における光透過部材の一実施態様である。本実施形態においては、ヘテロ・コア部 3 の長さ c は 5 mm とした。以下では、ヘテロ・コア部 3 に融着接合される一方の光伝送体を第 1 の光ファイバ部 20a、もう一方の光伝送体を第 2 の光ファイバ部 20b と呼ぶこととする。本実施形態において用いられるヘテロ・コア型光ファイバ 2 においては、第 1 の光ファイバ部 20a と第 2 の光ファイバ部 20b は、どちらも同じ光ファイバ 20 である。

【0025】第 1 および第 2 の光ファイバ部 20a, 20b (光ファイバ 20)、ならびにヘテロ・コア部 3 には、例えば、シングル・モード光ファイバを用いる。光ファイバ 20 は、コア 21 およびクラッド 22 を有する。ヘテロ・コア部 3 は、コア 31 およびクラッド 32 を有する。本実施形態においては、ヘテロ・コア部 3 のコア 31 の径 b は、光ファイバ 20 のコア 21 の径 a よりも十分に小さく、 $a = 9 \mu\text{m}$ 、 $b = 5 \mu\text{m}$ とする。光ファイバ 20 とヘテロ・コア部 3 は、長手方向に直交する界面

4 でコア同士が接触するように同軸に接続されている。この接続には、好適には、汎用化されている放電による融着手法が採用される。従って、安価、容易な製造が可能である。

【0026】この接続されたヘテロ・コア部 3 およびその近傍の光ファイバ 20 により、センサ部が構成される。ヘテロ・コア型光ファイバ 2 には、通常、図 3 に示すコア・クラッド構造の上から、ファイバ保護のため例えばプラスチックによる図示しない薄いコーティングが施される。センサ部は、センサ部の保護および曲げ方向を一定とするため、その上からさらにテープ 5 により挟み込まれる。テープ 5 は、例えば適度な弾性力を有する薄いプラスチックテープである。

【0027】このセンサ部の一端側を、座金 6 でテープ 5 を第 1 保持部材 11 に押さえ付けて、その上から六角穴付きボルト 7 で締結することにより、第 1 保持部材 11 に固定する。センサ部の他端側は、同様に座金 6 と六角穴付きボルト 7 により第 2 保持部材 12 に固定される。座金 6 により固定されている第 1 保持部材 11 と第 2 保持部材 12 の間の部分が、本実施形態において曲げセンサとして機能するセンサ部 SP となる。なお、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 は、ヘテロ・コア部 3 がセンサ部 SP の中央に位置するように配置される。

【0028】テープ 5 により保護されている部分以外のヘテロ・コア型光ファイバ 2 は、コーティングの上から図示しない 2 次被覆を施されている。本実施形態においては、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 の第 2 保持部材 12 側の端部は、ファイバを切断したままの状態になっている。一方、第 1 保持部材 11 側からは、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 がそのまま伸びて、例えばブーツ 140 に設けられた引き出し穴からロッド 130 の外部に出て、後述する OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) に接続される。なお、後述するように、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 の第 2 保持部材 12 側の端部を、光ファイバ 20 を接続することにより延長し、別の光ファイバ型センサ 10 のヘテロ・コア型光ファイバ 2 に接続することも可能である。

【0029】次に、各構成要素の作用について説明する。図 1 (a) において、例えば曲げロッドセンサ 100 の両端部を固定しておき、矢印の方向に力 F が作用したとする。力 F は曲げロッドセンサ 100 を矢印方向に曲げようとする力として作用し、曲げロッドセンサ 100 の曲げは、ロッド 130 の中央部のたわみとしてあらわれる。前述のように、センサヘッド 1 の第 2 保持部 12 はロッド 130 の内周面に接触しており、第 1 保持部 11 は支持ロッド 110 により支持されている。支持ロッド 110 の中心軸は、ロッド 130 の中心軸と一致しており、かつ、ボールジョイント 120 によって支持されている。従って、ロッド 130 のたわみが支持ロッド 110 に影響を与えることはない。支持ロッド 110 が

十分な剛性を有していれば、ロッド 130 がたわんだ時の光ファイバ型センサ 10 の動きを表す図 4 に示されるように、第 1 保持部材 11 は動かず、第 2 保持部材 12 のみが、ピン 11b に沿って、第 1 保持部材 11 の方向へ動くことになる。第 2 保持部材 12 のストローク ST は、ロッド 130 のたわみ量と同じである。

【0030】第 2 保持部材 12 が動くと、センサ部 SP も、図 4 に示すように円弧状に曲がる。図 4 に示すように、光ファイバ型センサ 10 は、OTDR 60 に接続されている。この状態でセンサ部 SP に光パルスが入力されると、ヘテロ・コア部 3 の入口、出口である界面 4 において、光パルスの一部がコア 21 からクラッド 32 へリークして、伝達損失が発生することになる。本実施形態においては、光ファイバ 20 のコア径 a とヘテロ・コア部 3 のコア径 b が異なる、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 を用いている。従って、曲率半径の比較的大きいマクロベンディングにおいても、コア 21 からクラッド 32 へのリークを効果的に発生させることができる。この、センサ部 SP の曲げによる光の伝達損失（曲げ損失）を、例えば OTDR により検出することで、曲げロッドセンサ 100 の曲がり具合を検出することができる。

【0031】OTDR は、光ファイバにレーザー光等の光パルスを入射させ、光伝送の途中から入射側（後方）に反射して戻ってくる後方散乱光を時間分解して測定するもので、光伝送路の任意の位置の反射情報を実時間で測定することができる装置である。この OTDR が、本発明における光入射手段と受光手段を兼ねている。曲げによってセンサ部 SP におけるリークが増加すると、界面 4 からの後方散乱光の強さも変化するので、この後方散乱光を OTDR で測定することで、実質的に曲げ損失を測定することができる。

【0032】図 5 は、センサ部 SP の曲率半径と曲げ損失との関係を示す図である。図 5 (a) に示すように、ヘテロ・コア部 3 を有するセンサ部 SP の曲率半径を R0 とする。第 1、第 2 光ファイバ部 20a, 20b のコア径 a が 9 μm で、ヘテロ・コア部 3 のコア径 b が 5 μm の 9 - 5 - 9 型のヘテロ・コア型光ファイバ 2 において、ファイバ長を 160m、伝送光の波長を 1.3 μm として、曲げ損失を OTDR (ADVANTEST 製、Q8460A/Q84601) によって測定した結果の一例を図 5 (b) に示す。図 5 (b) において、曲率半径が 15 ~ 20mm の範囲で曲げ損失は約 1.5 ~ 3dB の範囲でほぼ単調に変化していることがわかる。ヘテロ・コア型光ファイバでない従来の光ファイバにおいては、曲率半径 15 ~ 20mm では測定に利用できる程の損失変化は生じないが、本実施形態におけるヘテロ・コア型光ファイバ 2 では、観測しやすい損失変化を生じているといえる。

【0033】以下、これまで述べてきた光ファイバ型センサ 10 および曲げロッドセンサ 100 を用いた光ファイバ型センサシステムと、この光ファイバ型センサシ

テムを利用して測定対象の変化を測定する場合の動作の一例について述べる。例えばロッド 130 の長さを 1m として、材料や肉厚等の設計パラメータを適切に設定すると、約 3400N の力が中央部に加わったとき、ロッド 130 が 5mm たわむ曲げロッドセンサ 100 を作成することができる。ロッド 130 および支持ロッド 110 の材料としては、例えばスチールが用いられる。この曲げロッドセンサ 100 は、例えば土砂崩れの予知のような、比較的大きな力が加わった際に生じる微小な変位を測定する必要がある場合などに利用することができる。

【0034】図 6 は、本実施形態に係る光ファイバ型センサシステムを利用して、土地のひずみを測定する場合の構造概念図である。図 6 において示されている光ファイバ型センサシステムは、OTDR 60 と、光ファイバ 20 と、ヘテロ・コア型センサライン 50 を有する。

【0035】ヘテロ・コア型センサライン 50 は、一つ以上の曲げロッドセンサ 100 を所定間隔で並べ、曲げロッドセンサ 100 内の光ファイバ型センサ 10 同士を、光ファイバ 20 により接続することで構成される。図 6 においては、4 本の曲げロッドセンサ 100 が、長手方向を鉛直にして観測エリア AR の土中に埋められている。光ファイバ 20 は、光ファイバ型センサ 10 のヘテロ・コア型光ファイバ 2 の、第 1 の光ファイバ部 20a および/または第 2 の光ファイバ部 20b に、例えば放電による融着手法を用いて融着される。光ファイバ 20 の接続は、通常の光コネクタ等の接続手段によってもよい。以上の構成により、光伝送路としての光ファイバ 20 の中途部に、所定間隔でヘテロ・コア部 3 が存在するヘテロ・コア型の光ファイバラインが形成される。この光ファイバの一端は長く延ばされて、観測場所に設置されている OTDR 60 に接続される。

【0036】雨などにより地盤がゆるむと、地中では土砂などの流動が生じることがある。土砂が流動すると、地表に固定されている曲げロッドセンサ 100 を曲げようとする応力が発生する。例えば 3400N 程度の力 F が中央部にかかり、曲げロッドセンサ 100 が曲がるとすると、前述のようにロッド 130 は約 5mm たわむ。センサヘッド 1 の圧縮コイルばね 13 は、このたわみを減らさず、また、応力が解除されたときに、センサ部 SP が曲げのない状態となるように第 2 保持部材 12 を復帰させる強さのものが選ばれる。応力が解除された時（無負荷状態）のセンサ部 SP の長さ d を 20mm としておくと、ロッド 130 のたわみにより第 2 保持部材 12 が 5mm、第 1 保持部材 11 方向へ移動した場合には、センサ部 SP の曲率半径 R0 は約 8mm となる。これは、曲率半径 8mm に至るまでの、曲げ損失を観測しやすい曲率半径 15 ~ 20mm の範囲の曲げが、ロッド 130 の約 5mm のたわみの範囲内で生じているということであり、小さな変位を敏感に計測可能であるということを意味している。また、曲率半径 8mm ならばファイバの破断・破損も生じず、セ

ンシング機能に影響を与えることもない。

【0037】上記本発明の一実施形態においては、センサ部に光ファイバを用いているため、電力供給ラインなどでセンサ部に電力を直接供給する必要がない。従って経済的で、絶縁の必要もなく広範囲にセンサを配置することができる。また、電磁波によるノイズ等の不利益もない。さらには、金属ではないため、腐食・接点不良等の不利益がなく、長寿命である。従って、長期にわたるモニタリングに適している。

【0038】また、本一実施形態にかかるヘテロ・コア型光ファイバ2は、好適には、通常普及している光ファイバを用いて、汎用化されている放電融着手法により製造されるので、安価で容易に供給することができる。また、本実施形態において用いた9-5-9型のヘテロ・コア型光ファイバ2は、ヘテロ・コア部3を挿入したことによる挿入損失が比較的小さいため、前述のように、一本の光伝送路中に複数個直列に設置することができる。これにより、低コストで効率的なセンシングが可能になる。直列に設置できるヘテロ・コア部3の数はOTDRのダイナミックレンジによって異なる。ダイナミックレンジを15dB程度と考えると、ヘテロ・コア部3の一つ当たりの挿入損失を0.3~0.4dB、曲げ損失を1dBとすれば、10個程度の直列接続を見込むことができる。このヘテロ・コア型光ファイバによる曲げ損失の計測は、ブリルアン散乱方式に比べれば、波長のずれの変化を計測せずに、光の増減のみを計測しているので計測システムは簡便で廉価にできるという利点もある。

【0039】これまで述べてきたように、本実施形態においては、マクロベンディングにおいて曲げ損失を検出可能なので、ファイバの破断・破損がない。また、センサヘッド1のような簡単な構成で、測定対象の変位をセンサ部SPの円弧状の曲げに変換することができる。さらに、マクロベンディングであれば、マイクロベンディングとは異なり、図5(b)に示すように、例えば10~25mmの範囲の比較的大きな曲率半径の変化をファイバに与えることができる。これにより、数 μm ~数cmの広い範囲で測定対象の変位を測定することが可能になり、また、様々な測定対象に光ファイバ型センサを適用することが可能になる。

【0040】また、本発明においては、前述のヘテロ・コア型センサライン50を複数用いることも可能である。図7は、複数のヘテロ・コア型センサライン50を用いて土地のひずみを測定する場合の構造概念図である。図7においては、観測エリアAR内の別々の場所に、2つのヘテロ・コア型センサライン50が設置されている。各ヘテロ・コア型センサラインのヘテロ・コア型光ファイバラインは、光スイッチ70を介してOTDR60に接続される。光スイッチ70は、検出に利用するヘテロ・コア型ファイバラインならびにセンサラインを、必要に応じて適宜切替える。

【0041】各ヘテロ・コア型センサライン50からは、それぞれ異なる検出情報が同時に伝送され、そのうち、光スイッチ70によって選択されたヘテロ・コア型センサライン50からの検出情報がOTDR60で測定される。光スイッチ70によるヘテロ・コア型センサライン50の選択切替えは、所定時間間隔で自動的に行ってもよいし、手動で任意に行ってもよい。なお、光スイッチ70の接続ポート数により、接続可能なヘテロ・コア型センサライン50の数は規定される。

【0042】ヘテロ・コア型センサライン50から伝送された検出情報を、OTDR60に接続される図示しないコントローラによって解析し、グラフ、動画等の高度な表現によりモニタに表示することも可能である。その際に、複数のヘテロ・コア型センサライン50からの検出情報を総合して解析することも可能である。

【0043】図7に示す形態によれば、さらに広範囲で多種類の同時的に得られる検出情報を、一元的に測定することができる。また、そのときに必要となるOTDRの数も少なくすむ。なお、本発明の一実施形態に係る曲げロッドセンサ100は、土地のひずみの測定だけでなく、様々な分野で使用することができる。例えば、曲げロッドセンサ100を梁等の構成要素として用いれば、建物等の構造物を構築することができるだけでなく、その構成要素が用いられている部分の曲げやたわみを容易に恒常的に観測することができる。

【0044】縮みロッドセンサ

本発明は、曲げロッドセンサ100とは異なる実施形態をとることも可能である。図8は、異なる実施形態としての縮みロッドセンサ200の構成を示す図であり、図8(a)はその側面図、図8(b)はその矢印G方向から見た背面図である。縮みロッドセンサ200は、光ファイバ型センサ40と、リンク80と、ロッド130と、第1キャップ85と、第2キャップ86と、第3キャップ87を有する。

【0045】光ファイバ型センサ40は、曲げロッドセンサ100に用いられた光ファイバ型センサ10の第1、第2保持部材11、12の代わりに、第1保持部材11からピン11bを取り除いたリンク用保持部材14を2個用いたものである。従って、光ファイバ型センサ40においては、圧縮コイルばね13も用いられていない。リンク用保持部材14には、第1保持部材11とその貫通孔11aと同じ位置関係で、貫通孔14aが設けられている。それ以外の光ファイバ型センサ40の構成は光ファイバ型センサ10と同じであるので、詳細な説明は省略する。

【0046】リンク80は、4つの長いアーム81と、4つの短いアーム82を有する。図8(b)に示すように、アーム81同士で1つの大きな平行四辺形型のリンク83が形成され、アーム82同士で1つの小さな平行四辺形型のリンク84が形成されている。小リンク84

の長い対角線をなす頂点部が、大リンク 83 の短い対角線をなす頂点部に、それぞれピン 85 により回転自在に軸支されることで、小リンク 84 が大リンク 83 に連結される。大リンク 83 の残りの頂点部は、ピン 91 によってそれぞれリンクベース 90 に回転自在に連結される。

【0047】一方のリンクベース 90 はボルトによって第 1 キャップ 85 に固定され、他方のリンクベース 90 は第 2 キャップ 86 に固定される。第 1 キャップ 85 には、例えば光ファイバ 20 の連通のために用いられる連

通孔 85a が設けられている。
【0048】光ファイバ型センサ 40 は、その 2 つのリンク用保持部材 14 が、貫通孔 14a にピン 85 を連通させて、小リンク 84 の短い対角線をなす頂点部にそれぞれ軸支されることで小リンク 84 に連結される。光ファイバ型センサ 40 を連結されたリンク 80 は、ロッド 130 の内部に挿入される。ロッド 130 の一端の内周面は第 1 キャップ 85 により閉塞され、他端の内周面は、第 2 キャップ 86 の上からさらに第 3 キャップ 87 を嵌合することで閉塞される。

【0049】縮みロッドセンサ 200 の両端部から図 8 (b) 中の矢印 H 方向に力が加わると、ロッド 130 が矢印 H 方向に縮み、大リンク 83 が矢印 J 方向にひらく。この大リンク 83 の動きに連動して、小リンク 84 は矢印 K 方向に縮む。これにより、小リンク 84 に連結している光ファイバ型センサ 40 も、リンク用保持部材 14 間の相対距離が縮まるように動く。光ファイバ型センサ 40 が矢印 K 方向に縮むと、光ファイバ型センサ 40 のリンク用保持部材 14 に保持されているセンサ部 SP が円弧状に曲がる。このセンサ部 SP の曲げも、リンク用保持部材 14 の間隔を適切に規定すると、光ファイバ型センサ 10 の場合と同じくマクロな曲げとすることができる。

【0050】以上のように、縮みロッドセンサ 200 によると、ロッド 130 の矢印 H 方向へのわずかな縮みを、センサ部 SP のマクロベンディングに変換して、敏感に検出することができる。縮みロッドセンサ 200 の場合にも、曲げロッドセンサ 100 の場合と同じく、複数の縮みロッドセンサ 200 を用いて光ファイバ型センサシステムを構成することができる。

【0051】引張りセンサ

図 9 は、本発明のさらに異なる実施形態に係る光ファイバ型センサ 120 の構成図であり、図 9 (a) はその上面図、図 9 (b) は図 9 (a) における断面 II - II から見た断面図である。光ファイバ型センサ 120 は、引張りセンサとして用いられる。

【0052】光ファイバ型センサ 120 は、センサヘッド 15 と、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 を有する。センサヘッド 15 は、箱型の第 1 保持部材 121 と、第 2 保持部材 122 と、スライド軸 123 と、連結部材 124、圧縮コイルばね 13 を有する。第 2 保持部材 122

は、箱型の第 1 保持部材 121 の内部に形成されている空間 MS 内に、第 1 保持部材 121 と同軸で互いに移動可能なように配置される。

【0053】第 1 保持部材 121 と第 2 保持部材 122 の間には、圧縮コイルばね 13 が配置される。また、第 1 保持部材 121 と第 2 保持部材 122 の間には、これまで述べてきた光ファイバ型センサ 10, 40 と同じく、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 が設置される。第 2 保持部材 122 は、連結部材 124、第 1 保持部材 121、圧縮コイルばね 13 を貫通して第 2 保持部材 122 に螺合するスライド軸 123 によって、連結部材 124 に接続される。このスライド軸 123 および連結部材 124 が、本発明における外部連結部材の一実施態様である。

【0054】以上の構成により、第 1 保持部材 121 の、連結部材 124 側とは反対側の端部に形成されている連結穴 121a と、連結部材 124 に形成されている連結穴 124a に、例えば棒などを差し込んで、図 9 に示す矢印 L 方向に引張ると、第 2 保持部材 122 が矢印 M 方向に動くことになる。この第 2 保持部材 122 の動きにより、これまでと同じく、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 のセンサ部 SP が、円弧状に曲げられる。引張り力が解除されると、圧縮コイルばね 13 の付勢力により、第 2 保持部材 122 はセンサ部 SP の曲げが存在しない初期位置に戻る。なお、ねじ 150 は第 2 保持部材 122 の初期位置を変化させるためのものである。ねじ 150 の出現部分を長くすると、第 2 保持部材 122 の初期位置が矢印 M 方向へずれ、センサ部 SP も引張り力が存在しない時にある程度曲がった状態となる。これにより、センサ部 SP の感度を変えることができる。また、図 9 (a) に示されているゴム管 125 は、ヘテロ・コア型光ファイバ 2 の光ファイバ 20 をセンサヘッド 15 の外部へ導くためのものである。

【0055】光ファイバ型センサ 120 によれば、引張り力をセンサ部 SP のマクロベンディングに変換して、例えば部材の伸びなどを測定することができる。光ファイバ型センサ 120 を用いても、これまでと同じく光ファイバ型センサシステムを構成することができる。

【0056】なお、本発明は、上述した実施形態に限定されない。例えば、上記実施形態においては、第 1、第 2 の光ファイバ部 20a, 20b およびヘテロ・コア部 3 にシングル・モード光ファイバを用いたが、マルチ・モード光ファイバを用いてもよい。また、これら 2 種の光ファイバを組み合わせてヘテロ・コア型光ファイバを作成してもよい。これにより、センサヘッドの設計を変更することなく、センサ部の感度を変えることができる。

【0057】また、ヘテロ・コア部 3 のコア径 b は、図 10 (a) に示すように、光ファイバ 20 のコア径 a より大きくてもよい。また、コア・クラッドの内外積層構造にこだわらず、図 10 (b) に示すように、例えば光フ

ファイバ 20 のクラッド 22 と同等の屈折率を持つ光伝送部材 30 を、ヘテロ・コア部 3 の代わりの光透過部材として用いることも可能である。要は、マクロベンディング状態において界面 4 で効果的な光のリークが生じる構造であればよい。

【0058】さらに、圧縮コイルばねに限らず、付勢ばね等の他の弾性体を用いてもよい。光ファイバ型センサシステムを構成する場合にも、曲げロッドセンサ 100、縮みロッドセンサ 200、光ファイバ型センサ 120 を組み合わせて用いることができる。これにより、一本のセンサ用光ファイバラインで、多種の情報を検出することが可能になる。光の伝達損失の計測には、OTDR だけでなく、1 つのセンサ部の光の入出力関係を損失として計測する手法を用いることも可能である。さらにまた、前述の実施形態においてはセンサ部 SP に曲げが生じていない状態を初期状態としているが、第 1、第 2 保持部材間距離を変化させることにより、センサ部 SP がある程度曲がった状態を初期状態とすることもできる。これにより、例えば部材の伸び・縮みの両方を一つの光ファイバ型センサで測定することが可能になる。

【0059】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、製造が容易で、測定対象のひずみ、曲げ、縮み等の変化を測定可能なセンサ用光ファイバを使用して、この光ファイバに無理な屈曲や伸張を与えることなく、測定対象の上記変化を、幅広い測定範囲において測定可能で、検出情報を一元管理することのできる光ファイバ型センサおよび光ファイバ型センサシステムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 (a) は本発明の一実施形態に係る曲げロッドセンサの構成図であり、図 1 (b) はその支持ロッドの端部の拡大図である。

【図 2】図 2 (a) は図 1 (a) の要部の拡大図であり、

図 2 (b) は図 2 (a) の断面 I - I から見た側面図である。

【図 3】本発明の一実施形態に係るヘテロ・コア型光ファイバの要部の長手方向の断面図である。

【図 4】図 2 に示す光ファイバ型センサの動きを説明するための図である。

【図 5】図 5 (a) はセンサ部の曲率半径を規定するための図であり、図 5 (b) はその曲率半径と曲げ損失の関係を示したグラフである。

10 【図 6】本発明の一実施形態に係る光ファイバ型センサシステムの構造概念図である。

【図 7】図 6 の光ファイバ型センサシステムの別の実施形態様を示す構造概念図である。

【図 8】図 8 (a) は、本発明の異なる実施形態に係る縮みロッドセンサの構成を示す側面図であり、図 8 (b) はその矢印 G 方向から見た背面図である。

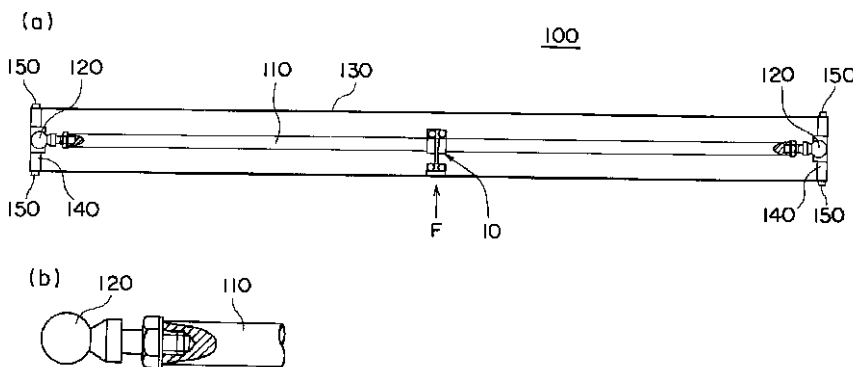
20 【図 9】図 9 (a) は、本発明のさらに異なる実施形態に係る光ファイバ型センサの構成を示す上面図であり、図 9 (b) は図 9 (a) の断面 II - II から見た断面図である。

【図 10】図 10 (a) , (b) は、本発明に係るセンサ用光ファイバの異なる実施形態の要部の長手方向の断面図である。

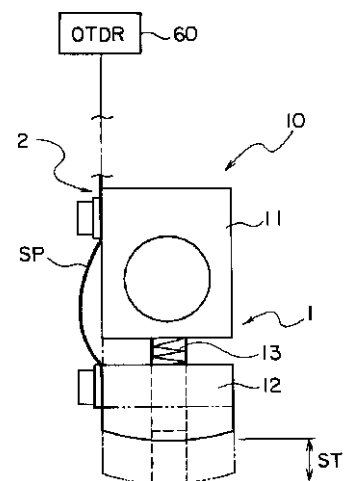
【符号の説明】

1, 15...センサヘッド、2...ヘテロ・コア型光ファイバ、3...ヘテロ・コア部、10, 40, 120...光ファイバ型センサ、11, 121...第 1 保持部材、12, 122...第 2 保持部材、13...圧縮コイルばね、14...リンク用保持部材、20...光ファイバ、50...ヘテロ・コア型センサライン、80...リンク、90...リンクベース、100...曲げロッドセンサ、110...支持ロッド、123...スライド軸、124...連結部材、130...ロッド、200...縮みロッドセンサ

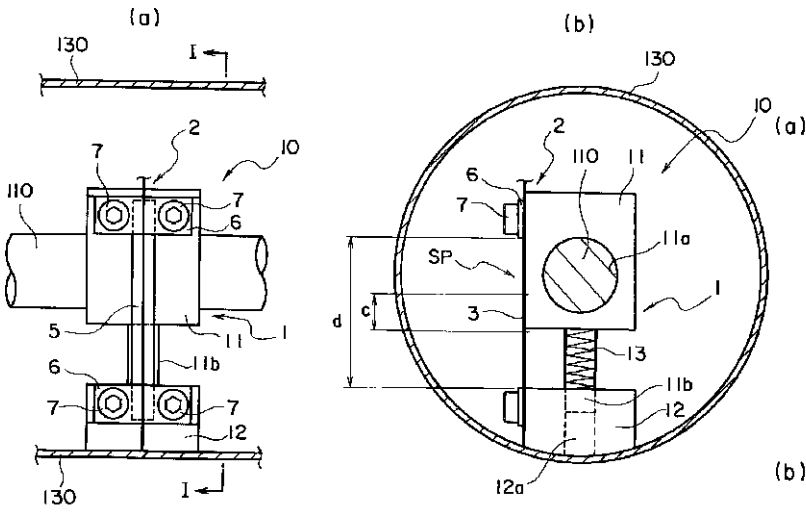
【図 1】



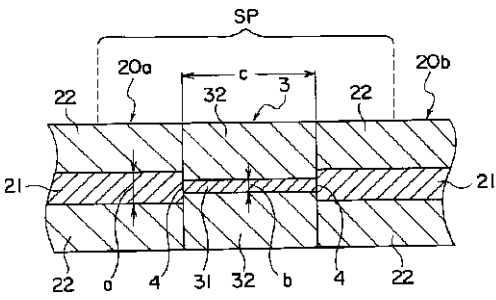
【図 4】



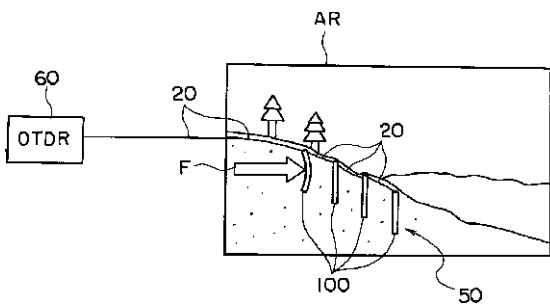
【図 2】



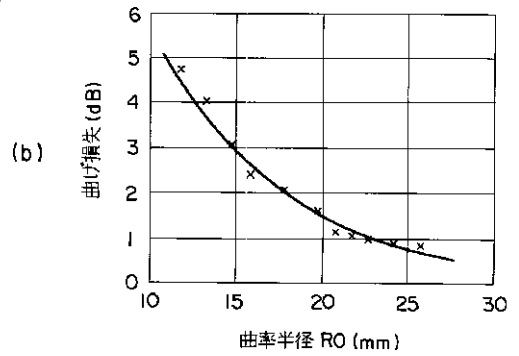
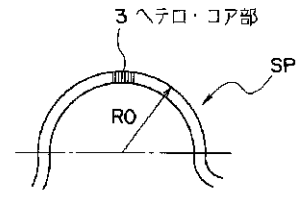
【図 3】



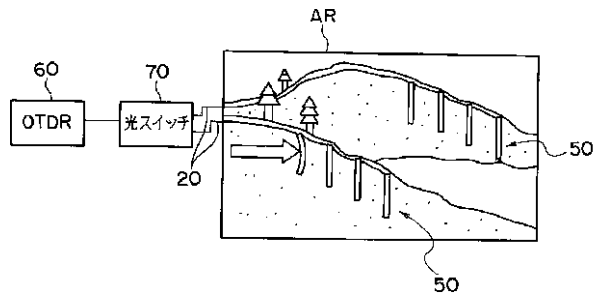
【図 6】



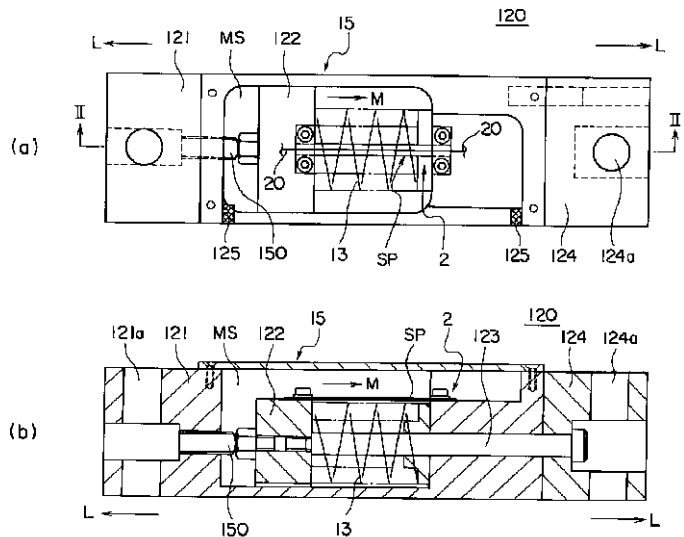
【図 5】



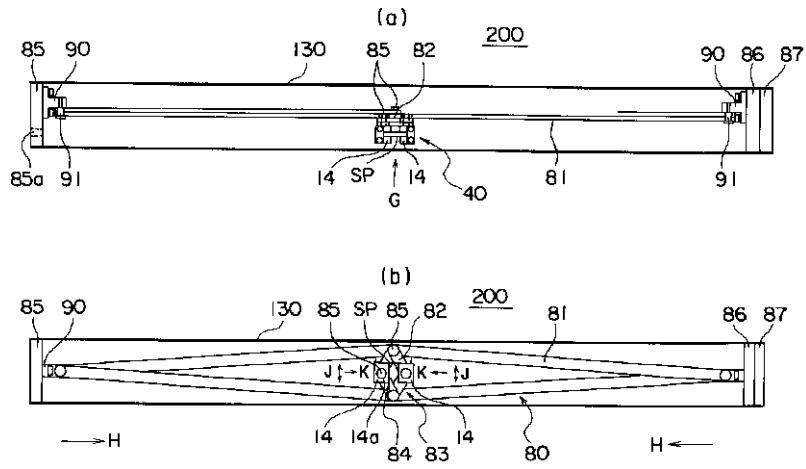
【図 7】



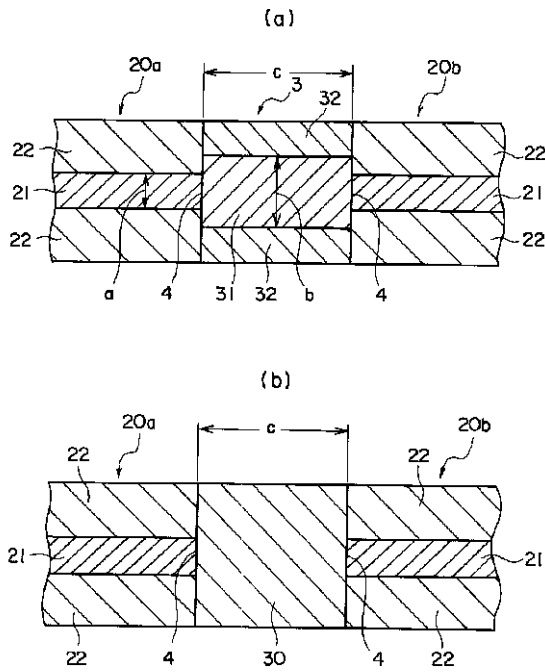
【図 9】



【 図 8 】



【 図 10 】



フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 一弘
 東京都八王子市丹木町 1 - 236 創価大学
 工学部内

F ターム(参考) 2F065 AA65 BB05 CC14 CC40 DD02
 DD03 FF46 FF49 FF58 GG04
 JJ00 LL02 LL67 UU04
 2F103 BA04 BA17 BA37 CA07 EB02
 EC09 EC10 GA15