

(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2016-217852
(P2016-217852A)

(43) 公開日 平成28年12月22日(2016.12.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
GO1D 5/353 (2006.01)	GO1D 5/353 C	2F103
GO2B 6/02 (2006.01)	GO2B 6/02 416	2H150
	GO2B 6/02 A	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2015-102278 (P2015-102278)
(22) 出願日 平成27年5月19日 (2015.5.19)

(71) 出願人 000151520
株式会社東京測器研究所
東京都品川区南大井6丁目8番2号
(74) 代理人 110000800
特許業務法人創成国際特許事務所
(72) 発明者 佐藤 裕
群馬県桐生市相生町4丁目247 株式会
社東京測器研究所 桐生工場内
(72) 発明者 井上 史一
群馬県桐生市相生町4丁目247 株式会
社東京測器研究所 桐生工場内
Fターム(参考) 2F103 BA01 CA04 CA06 EC09 EC17
FA02 GA15
2H150 AG02 AG18 AG27 AG39 AH38
AH50

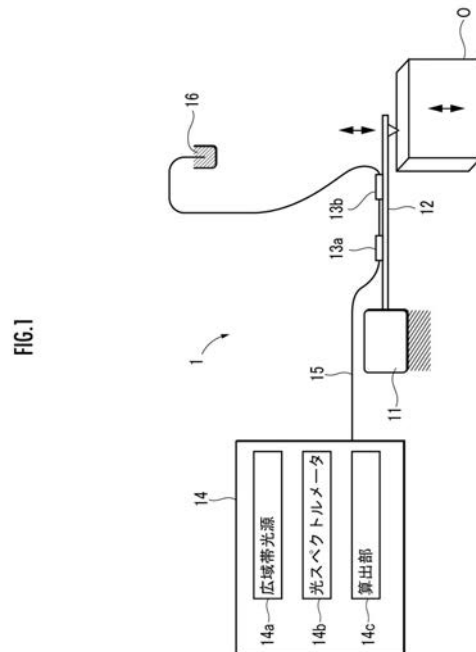
(54) 【発明の名称】 変位量測定システム及び変位量測定方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 耐久性・信頼性が高く、生産コストの低い温度補償機能を有する変位量測定システムを提供する。

【解決手段】 一端部が固定され、測定対象物Oにより他端部が変位する片持ち梁状の起歪体12と、2つのFBGセンサ13a、13bと、FBGセンサ13a、13bの反射波長の変化量の差に基づいて、起歪体12の変位量を算出する測定装置14とを備える。FBGセンサ13a、13bは、温度が同一と認められ、他端部が変位した場合の歪み量が異なる位置に付設される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

一端が固定され他端が変位可能な片持ち梁状に形成された起歪体と、
前記起歪体において温度が同一と認められ前記他端が変位した場合の歪み量が異なる複数の位置に付設された複数の F B G センサと、
前記他端が変位した際の前記複数の F B G センサの反射波長の変化量の差に基づいて、前記他端の変位量を算出する測定装置とを備えていることを特徴とする変位量測定システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の変位量測定システムであって、
前記他端が変位した際における所定の前記 F B G センサを付設した位置における前記起歪体の歪み量と他の前記 F B G センサを付設した位置における前記起歪体の歪み量との比率が、予め定められていることを特徴とする変位量測定システム。

10

【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の変位量測定システムであって、
前記複数の F B G センサは、前記一端から前記他端に向かう方向に沿って前記起歪体に付設され、
前記起歪体は、前記他端が変位した際に、少なくとも前記複数の F B G センサがそれぞれ付設された位置で前記一端から前記他端に向かう方向の曲率が一定になるように、湾曲することを特徴とする変位量測定システム。

20

【請求項 4】

請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれか 1 項に記載の変位量測定システムであって、
前記起歪体は、前記 F B G センサを収容可能に設けられた溝部を有していることを特徴とする変位量測定システム。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか 1 項に記載の変位量測定システムであって、
前記複数の F B G センサは、前記他端が変位する方向と交わる方向から見て、前記起歪体を挟んで対向するように付設されていることを特徴とする変位量測定システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

30

【0001】

本発明は、ファイバ・ブラッグ・グレーティング (Fiber Bragg Grating。以下、「F B G」という。) センサを備え、温度補償機能を有する変位量測定システムに関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、一端が固定され他端が変位可能な片持ち梁状に形成された起歪体に F B G センサを付設し、起歪体が歪んだ際における F B G の反射波長の変化量を測定して、起歪体の歪み量、ひいては起歪体の自由端に連動して変位する測定対象物の変位量を算出する変位量測定技術が知られている (例えば、特許文献 1, 2 参照。)。

【0003】

40

ここで、F B G センサとは、光ファイバのコア部分を、光ファイバ軸方向において屈折率が周期的に変化するように形成した光伝送用部品のことをいう。F B G センサは、光ファイバ中を光波が伝播しているときに、ブラッグ波長と呼ばれる特定の波長の光を反射する機能を持つ。F B G センサのブラッグ波長は、F B G センサの歪み量や温度変化量等の物理量に応じて変化する性質がある。そのため、F B G センサは歪み検知素子や温度検知素子として利用することができる。

【0004】

特許文献 1, 2 に記載の技術は、F B G センサに作用する張力によって発生する歪みによる反射波長の変化を物理量に変換するものであり、その変換に際しては、温度による反射波長変化分を相殺することで温度補償を行うものである。

50

【0005】

また、特許文献2に記載の技術は、温度変化に応じて撓みが増加する一対のバイメタル部材でFBGセンサの両端を保持することによって温度補償機能を実現している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2005-147802号公報

【特許文献2】特開2003-287435号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0007】

しかし、特許文献1, 2に開示された従来の変位量測定方式は、FBGセンサ素線に直接張力が加えられる形式であるので、測定対象物の変位した際や、測定装置の調整時あるいは設置時にFBGセンサに過大な力が加わりやすい。そのため、光ファイバを用いたFBGセンサに破損が生じ、測定が不能となったり、検出精度が低下したりして、信頼性が乏しいという問題があった。

【0008】

また、特許文献2に開示された技術では、バイメタル部材を介してFBGセンサに加えられる張力を温度変化によるFBGセンサの反射波長の変化を抑制するものとしなければならないので、製作が比較的難しく、また、調整に多くの時間を要し、生産コストが高くなってしまふという問題があった。

20

【0009】

本発明は以上の点に鑑みてなされたものであり、耐久性・信頼性が高く、生産が比較的容易で生産コストの低い温度補償機能を有する変位量測定システム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】

【0010】

本発明の変位量測定システムは、一端が固定され他端が変位可能な片持ち梁状に形成された起歪体と、起歪体において温度が同一と認められ他端が変位した場合の歪み量が異なる複数の位置に付設された複数のFBGセンサと、他端が変位した際の複数のFBGセンサの反射波長の変化量の差に基づいて、他端の変位量を算出する測定装置とを備えていることを特徴とする。

30

【0011】

本発明によれば、起歪体において温度が同一と認められ歪み量が異なる複数の位置にFBGセンサを配置し、各FBGセンサの反射波長に基づいて起歪体の変位可能な他端の変位量のみを算出するので、算出される変位量は温度変化に依存しないものとなる。したがって、変位量測定システムは、温度変化の影響を回避し得る温度補償機能を有する。なお、温度が同一と認められるとは、完全に温度が同一である場合の他、温度差が無視できる程度に小さい場合も含む。

【0012】

40

また、FBGセンサは、起歪体に付設され、起歪体と一体となるものであるため、測定対象物に変位が生じた際にもFBGセンサのみに歪みが生じることがない（すなわち、FBGセンサに直接張力が加えられることがない）ので、FBGセンサに過大な力が加わりにくく、破損が生じにくい。

【0013】

よって、耐久性・信頼性が高く、生産コストの低い温度補償機能を有する変位量測定システムを得ることができる。

【0014】

また、本発明の変位量測定システムにおいては、他端が変位した際における所定のFBGセンサを付設した位置における起歪体の歪み量と他のFBGセンサを付設した位置にお

50

ける起歪体の歪み量との比率が、予め定められていることが好ましい。

【0015】

このように、複数のFBGの各々が検出する歪み量の比率を起歪体の形状や材質等を変更することによって予め決めておけば、算出過程が複雑なものになりやすく、より簡易で信頼性の高いシステムとすることができる。

【0016】

また、本発明の変位量測定システムにおいては、複数のFBGセンサは、一端から他端に向かう方向に沿って起歪体に付設され、起歪体は、他端が変位した際に、少なくとも複数のFBGセンサがそれぞれ付設された位置で一端から他端に向かう方向の曲率が一定になるように、湾曲することが好ましい。

10

【0017】

このように、FBGの向きにおいて、起歪体が一定の曲率で湾曲するように構成すれば、FBGの反射波長の尖鋭性を損なうことなく精度及び信頼性の高いシステムとすることができる。

【0018】

また、本発明の変位量測定システムにおいては、起歪体は、FBGセンサを収容可能に設けられた溝部を有していることが好ましい。

【0019】

このような溝部を設ければ、FBGの配置位置を容易に確定させることができ、また、接着面積をより広くすることができるので、製造が容易になり、ひいては、生産コストを低下させるとともに、起歪体に対して強固にFBGを付設することができる。

20

【0020】

また、本発明の変位量測定システムにおいては、複数のFBGセンサは、他端が変位する方向と交わる方向から見て、起歪体を挟んで対向するように（例えば、板状の起歪体の表裏面の対向する位置に）付設されていてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明の実施形態に係る変位量測定システムの構成を示す模式図。

【図2】図1の起歪体及びFBGセンサの形状を示す模式図であり、図2Aは、平面図、図2Bは起歪体の自由端が変位していない状態における側面図、図2Cは起歪体の自由端が変位した状態における側面図、図2Dは起歪体の図2AのI-I線断面図。

30

【図3】第1変形例に係る起歪体の形状を示す模式図であり、図3Aは、平面図、図3Bは起歪体の自由端が変位していない状態における側面図。

【図4】第2変形例に係る起歪体の形状を示す模式図であり、図4Aは、平面図、図4Bは起歪体の自由端が変位していない状態における側面図。

【図5】図3に示す変形例におけるFBGセンサの反射波長の変化と温度との関係を示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態に係る変位量測定システム1について説明する。

40

【0023】

まず、変位量測定システム1の構成について説明する。

【0024】

図1に示すように、変位量測定システム1は、ベース11と、ベース11に固定された片持ち梁状の起歪体12と、起歪体12に付設された第1FBGセンサ13a及び第2FBGセンサ13bと、第1FBGセンサ13a及び第2FBGセンサ13bの反射波長を測定する測定装置14と、第1FBGセンサ13a及び第2FBGセンサ13bと測定装置14とを接続する光ファイバ15と、光ファイバ15の測定装置14の端部とは反対側の端部に接続された屈折率整合ジェル16とを備えている。

50

【 0 0 2 5 】

第 1 F B G センサ 1 3 a の初期反射波長と第 2 F B G センサ 1 3 b 初期反射波長とは、異なる波長となっている。

【 0 0 2 6 】

測定装置 1 4 は、光ファイバ 1 5 を介して、第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b へ所定の帯域の光を出射する広域帯光源 1 4 a と、第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b から反射された光を測定する光スペクトルメータ 1 4 b と、光スペクトルメータ 1 4 b が測定した光の波長から起歪体 1 2 の歪み量を算出する算出部 1 4 c とを有している。

【 0 0 2 7 】

図 2 A ~ 図 2 C に示すように、起歪体 1 2 は、熱伝導率が高い材料（例えば、ベリリウム銅）で形成された板状の弾性部材である。起歪体 1 2 の一端部 1 2 a は、ベース 1 1 に固定された固定端である。起歪体 1 2 の他端部 1 2 b は、測定対象物 O から作用点 P に荷重を受けた際に、変位する自由端である。

【 0 0 2 8 】

また、図 2 A に示すように、起歪体 1 2 は、第 1 F B G センサ 1 3 a が付設される一端部 1 2 a 側の第 1 領域 A 1 と、第 2 F B G センサ 1 3 b が付設される他端部 1 2 b 側の第 2 領域 A 2 とに分けられる。

【 0 0 2 9 】

第 1 領域 A 1 の両側縁は、平面形状において、底辺の長さが b で、作用点 P を頂点とする二等辺三角形の底辺側と一致する。第 2 領域 A 2 の両側縁は、平面形状において、底辺の長さが $2b$ で、作用点 P を頂点とする二等辺三角形の頂点側と一致する。すなわち、起歪体 1 2 の平面形状は、底辺の長さが $2b$ の二等辺三角形の底辺側の両側縁が切欠かれた形状となっている。

【 0 0 3 0 】

第 1 領域 A 1 に付設される第 1 F B G センサ 1 3 a の向き及び第 2 領域 A 2 に付設される第 2 F B G センサ 1 3 b の向きは、一端部 1 2 a から他端部 1 2 b に向かう方向に沿う方向となっている。

【 0 0 3 1 】

図 2 C に示すように、第 1 領域 A 1 及び第 2 領域 A 2 は、第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b がそれぞれ付設された位置で、他端部 1 2 b が変位した際に、一端部 1 2 a から他端部 1 2 b に向かう方向（すなわち、第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b の向きと一致する方向）において、各領域において曲率が一定になるように湾曲する。

【 0 0 3 2 】

本実施形態においては、起歪体 1 2 の平面形状（図 2 A 参照）における第 1 領域 A 1 の板幅と第 2 領域 A 2 の板幅との比が 1 : 2 に近似できる。

【 0 0 3 3 】

ここで、起歪体 1 2 の第 1 領域 A 1 の板幅 b_1 及び第 2 領域 A 2 の板幅 b_2 と第 1 領域 A 1 の曲率 κ_1 及び第 2 領域 A 2 の曲率 κ_2 との関係を説明する。

【 0 0 3 4 】

一般に、曲率 κ は、任意の着目点から荷重が加わる点までの距離を x 、曲げモーメントを $M(x)$ 、ヤング率を E 、断面二次モーメントを I としたとき、以下の式で表すことができる。

【 数 1 】

$$\kappa = M(x) / EI$$

【 0 0 3 5 】

断面二次モーメント I は、起歪体 1 2 の板幅を $b(x)$ 、板厚を h としたとき、以下の式で表すことができる。

10

20

30

40

50

【数 2】

$$I = b(x)h^3/12$$

【0036】

曲げモーメント $M(x)$ 、ヤング率 E 、板厚 h は第 1 領域 A_1 及び第 2 領域 A_2 で同じであるので、第 1 領域 A_1 の板幅 b_1 及び第 2 領域 A_2 の板幅 b_2 と第 1 領域 A_1 の曲率 κ_1 及び第 2 領域 A_2 の曲率 κ_2 との関係は、以下の式で表すことができる。

【数 3】

$$\kappa_1/\kappa_2 = I_2/I_1 = b_2(x)/b_1(x)$$

10

【0037】

すなわち、起歪体 12 の第 1 領域 A_1 及び第 2 領域 A_2 における板幅 $b(x)$ と曲率とは反比例の関係にあるので、本実施形態においては、他端部 12b が変位した際における第 1 領域 A_1 の曲率と第 2 領域 A_2 の曲率との比は 2 : 1 と近似できる。

【0038】

なお、起歪体表面の弾性歪み量 ε^e と曲率 κ との関係は、以下の式で表すことができる。

【数 4】

$$\varepsilon^e = \kappa h/2$$

20

【0039】

すなわち、弾性歪み量 ε^e は曲率 κ に比例する。また、上記したように曲率 κ は板幅 $b(x)$ に反比例するので、弾性歪み量 ε^e も板幅 $b(x)$ に反比例する。

【0040】

このように、他端部 12b が変位した際における第 1 領域 A_1 で生じる弾性歪み量と第 2 領域 A_2 で生じる弾性歪み量との比率は、所定の比率となるように予め定められる。この比率は、起歪体 12 の形状を変更することによって、任意に定めることができる。

【0041】

第 1 領域 A_1 と第 2 領域 A_2 とは十分に近接した位置に存在するので、それらの領域の間で温度が大きく変化することはない。すなわち、第 1 領域 A_1 に付設された第 1 F B G センサ 13a と第 2 領域 A_2 に付設された第 2 F B G センサ 13b とは、温度が同一と認められる位置に付設されている。なお、温度が同一と認められるとは、完全に温度が同一である場合の他、温度差が無視できる程度に小さい場合も含む。

30

【0042】

また、図 2A の I - I 線断面図である図 2D に拡大して示すように、起歪体 12 の第 2 F B G センサ 13b を付設する位置には、第 2 F B G センサ 13b を收容可能な溝部 12c が形成されている。第 2 F B G センサ 13b は、溝部 12c に配置された後、接着剤 17 で固定される。また、起歪体 12 の第 1 F B G センサ 13a を付設する位置にも同様の溝部 12c が形成されている。起歪体 12 には、このような溝部 12c が設けられているので、第 1 F B G センサ 13a 及び第 2 F B G センサ 13b の配置位置を容易に確定させるとともに、接着面積をより広くすることができる。これにより、製造が容易になって、生産コストを低下させるとともに、起歪体 12 に対して強固に第 1 F B G センサ 13a 及び第 2 F B G センサ 13b を付設することができる。

40

【0043】

次に、変位量測定システム 1 の測定装置 14 が、算出部 14c において、測定対象物 O の変位量（すなわち、他端部 12b の変位量）を算出する方法について説明する。

【0044】

起歪体 12 の他端部 12b が変位した際（すなわち、測定対象物 O が変位した際）における第 1 領域 A_1 の弾性歪み量（第 1 F B G センサ 13a の歪み量）を ε_1^e 、第 2 領域 A_2 の弾性歪み量（第 2 F B G センサ 13b の歪み量）を ε_2^e としたとき、その歪み量

50

の比率 f_r は次式 (1) で表すことができる。

【数 5】

$$f_r = \varepsilon_2^e / \varepsilon_1^e \quad \dots (1)$$

【0045】

第 1 領域 A 1 の弾性歪み量 ε_1^e 、第 2 領域 A 2 の弾性歪み量 ε_2^e 及びそれらの歪み量の比率 f_r は、起歪体 1 2 の形状によって任意に定めることができる。例えば、本実施形態の起歪体 1 2 は、ベリリウム銅で形成されており、図 2 で示した形状 (具体的には、他端部 1 2 b が変位した際における第 1 領域 A 1 の曲率と第 2 領域 A 2 の曲率との比が 2 : 1 と近似できる形状) であるので、曲率に比例する弾性歪み量 ε_1^e 、 ε_2^e の比率 f_r は次のように設定されている。

10

【数 6】

$$f_r = \varepsilon_2^e / \varepsilon_1^e = 0.5$$

【0046】

また、例えば、第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b を側方 (他端部 1 2 b が変位する方向と交わる方向) から見て起歪体 1 2 を挟んで対向する位置に付設した場合 (具体的には、図 3 に示す第 1 変形例の起歪体 1 8、又は図 4 に示す第 2 変形例の起歪体 1 9 の場合) には、比率 f_r は次のように設定することができる。

【数 7】

$$f_r = \varepsilon_2^e / \varepsilon_1^e = -1$$

【0047】

一般に、起歪体 1 2 の他端部 1 2 b が変位すると、起歪体 1 2 が湾曲する。このとき、起歪体 1 2 とともに起歪体 1 2 に付設された第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b も湾曲する。ここで、温度一定の条件の下で、他端部 1 2 b が変位した際の第 1 F B G センサ 1 3 a の反射波長の変化量を $\delta_{B1}(\delta_s)$ とし、第 2 F B G センサ 1 3 b の反射波長の変化量を $\delta_{B2}(\delta_s)$ とすると、他端部 1 2 b の変位量 δ_s は、次式 (2) で表すことができる。

【数 8】

$$\delta_s = K_{f1} \times \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) = K_{f2} \times \Delta\lambda_{B2}(\delta_s) \quad \dots (2)$$

【0048】

ここで、一般に、弾性歪み量 ε と F B G センサの反射波長の変化量 δ_B との間には、次式 (3) で示す関係が成立する。

【数 9】

$$\Delta\lambda_B = k^e \times \varepsilon^e \quad \dots (3)$$

【0049】

式 (3) における k^e は、所定の波長範囲ではほぼ一定とみなすことができる (例えば、波長が 1550 nm 近傍の場合には $\varepsilon = 1 \mu$ ひずみ当たりで $k^e = 1.2 \text{ pm}$)。

40

【0050】

したがって、第 1 F B G センサ 1 3 a の歪み量 ε_1^e 、第 2 F B G センサ 1 3 b の歪み量 ε_2^e 、第 1 F B G センサ 1 3 a の反射波長の変化量 $\delta_{B1}(\delta_s)$ 、第 2 F B G センサ 1 3 b の反射波長の変化量 $\delta_{B2}(\delta_s)$ との間には、次式 (4) で示す関係が成立する。

【数 10】

$$\Delta\lambda_{B2}(\delta_s) / \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) = k^e \varepsilon_2^e / k^e \varepsilon_1^e = \varepsilon_2^e / \varepsilon_1^e \quad \dots (4)$$

【0051】

50

式(2), (4)より得られた2つの係数 K_{f1} 及び K_{f2} と比率 f_r の間には、次式(5)で示す関係が成立する。

【数11】

$$f_r = \varepsilon_2^e / \varepsilon_1^e = \Delta\lambda_{B2}(\delta_s) / \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) = K_{f1} / K_{f2} \quad \dots (5)$$

【0052】

式(5)より、他端部12bが変位した際の第1FBGセンサ13aの反射波長の変化量 $\Delta\lambda_{B1}(\delta_s)$ 及び第2FBGセンサ13bの反射波長の変化量 $\Delta\lambda_{B2}(\delta_s)$ と、それらの比率 f_r との関係を示す式として、次式(6)が得られる。

【数12】

$$\Delta\lambda_{B2}(\delta_s) = f_r \times \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) \quad \dots (6)$$

【0053】

ところで、第1FBGセンサ13a及び第2FBGセンサ13bの反射波長は、温度の変化による影響を受ける。そこで、温度が T だけ変化した際の第1FBGセンサ13aの反射波長の変化量を $\Delta\lambda_{B1}(T)$ とし、第2FBGセンサ13bの反射波長の変化量を $\Delta\lambda_{B2}(T)$ とすると、起歪体12の他端部12bが変位するとともに温度が変化した際の第1FBGセンサ13a及び第2FBGセンサ13bの反射波長の変化量 $\Delta\lambda_{B1}^T$, $\Delta\lambda_{B2}^T$ は、次式(7), (8)で表すことができる。

【数13】

$$\Delta\lambda_{B1}^T = \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) + \Delta\lambda_{B1}(T) \quad \dots (7)$$

$$\Delta\lambda_{B2}^T = \Delta\lambda_{B2}(\delta_s) + \Delta\lambda_{B2}(T) \quad \dots (8)$$

【0054】

ここで、本実施形態の起歪体12に付設された第1FBGセンサ13a及び第2FBGセンサ13bは、温度が同一と認められる位置に付設されている。そのため、温度が変化した際の第1FBGセンサ13aの反射波長の変化量 $\Delta\lambda_{B1}(T)$ と、第2FBGセンサ13bの反射波長の変化量 $\Delta\lambda_{B2}(T)$ は、同一の変化量 $\Delta\lambda(T)$ とみなすことができる。そのため、式(7), (8)は次式(9), (10)となる。

【数14】

$$\Delta\lambda_{B1}^T = \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) + \Delta\lambda(T) \quad \dots (9)$$

$$\Delta\lambda_{B2}^T = \Delta\lambda_{B2}(\delta_s) + \Delta\lambda(T) \quad \dots (10)$$

【0055】

式(6), (9), (10)より、次式(11)を得ることができる。

【数15】

$$\Delta\lambda_{B1}^T - \Delta\lambda_{B2}^T = \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) - \Delta\lambda_{B2}(\delta_s) = (1 - f_r) \times \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) \quad \dots (11)$$

【0056】

上記の図3に示す起歪体18において、温度が変化した際の第1FBGセンサ13a及び第2FBGセンサ13bの反射波長の変化量 $\Delta\lambda_{B1}^T$, $\Delta\lambda_{B2}^T$ と温度の変化量との関係は、例えば図5のグラフで示される。このグラフにおいて基準点とは $\delta_s = 0$, $T = 20$ の状態であり、グラフ中の各線はP点を約1mm押し下げた状態($\delta_s = 1$ mmの状態)を示す。また、 $\Delta\lambda = 1$ nmは $\delta_s = 833$ μ m歪みに相当する。

【0057】

このグラフからも明らかのように、温度が変化した際の第1FBGセンサ13a及び第2FBGセンサ13bの反射波長の変化量の差($\Delta\lambda_{B1}^T - \Delta\lambda_{B2}^T$)は、温度によらず一定となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 8 】

式 (2) , (1 1) より、起歪体 1 2 の他端部 1 2 b の変位量 δ_s を表す式として、次式 (1 2) を得ることができる。

【 数 1 6 】

$$\delta_s = K_{f1} \Delta \lambda_{B1}(\delta_s) = K_{f1} \times \frac{\Delta \lambda_{B1}^T - \Delta \lambda_{B2}^T}{1 - f_r} \dots (12)$$

【 0 0 5 9 】

式 (1 2) において、弾性歪み量の比率 f_r , 係数 K_{f1} は既知の値であり、反射波長の変化量 $\Delta \lambda_{B1}^T$, $\Delta \lambda_{B2}^T$ は測定により得られる値である。また、式 (1 2) には、温度が変化した場合の第 1 F B G センサ 1 3 a の反射波長の変化量 $\Delta \lambda_{B1}(\Delta T)$ 及び第 2 F B G センサ 1 3 b の反射波長の変化量 $\Delta \lambda_{B2}(\Delta T)$ が存在していない。

【 0 0 6 0 】

すなわち、式 (1 2) は、温度が変化した場合の第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b の反射波長の変化量の影響を受けない式であるので、反射波長の変化量 $\Delta \lambda_{B1}^T$, $\Delta \lambda_{B2}^T$ を測定することによって、温度補償をしつつ起歪体 1 2 の他端部 1 2 b の変位量 δ_s (すなわち、測定対象物 O の変位量) を得ることができる。

【 0 0 6 1 】

本実施形態においては、第 1 領域 A 1 における弾性歪み量と第 2 領域 A 2 における弾性歪み量との比率 f_r を予め定めている。この比率 f_r の値は、起歪体 1 2 の設計によって凡その値を定めることができるが、正確な値は実際の試験によらなければ得ることはできない。ただし、起歪体 1 2 の他端部 1 2 b の変位量 δ_s と反射波長の変化量 $\Delta \lambda_{B1}^T$, $\Delta \lambda_{B2}^T$ との関係を実際に求めておけば (具体的には、式 (1 2) において、 $K_{f1} / (1 - f_r)$ を求めておけば)、比率 f_r の正確な値を予め知ることは、実用上必ずしも必要ではない。

【 0 0 6 2 】

なお、本実施形態の変位量測定システム 1 では、起歪体 1 2 の他端部 1 2 b 変位とともに温度が変化した場合の第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b の反射波長の変化量 $\Delta \lambda_{B1}^T$, $\Delta \lambda_{B2}^T$ を測定することによって、温度による第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b の反射波長の変化量 $\Delta \lambda_{B1}(\Delta T)$, $\Delta \lambda_{B2}(\Delta T)$ を求めることができる。すなわち、温度測定を行うことができる。

【 0 0 6 3 】

例えば、第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b を、側面から見て起歪体 1 2 を挟んで対向する位置とならないように付設した場合 ($f_r = 1$ の場合)、比率 f_r と式 (9) , (1 0) より、次式 (1 3) を得ることができる。

【 数 1 7 】

$$\begin{aligned} f_r \times \Delta \lambda_{B1}^T - \Delta \lambda_{B2}^T &= f_r \times \Delta \lambda_{B1}(\delta_s) - \Delta \lambda_{B2}(\delta_s) + (f_r - 1) \times \Delta \lambda(\Delta T) \\ &= f_r \times \Delta \lambda_{B1}(\delta_s) - f_r \Delta \lambda_{B1}(\delta_s) + (f_r - 1) \times \Delta \lambda(\Delta T) \\ &= (f_r - 1) \times \Delta \lambda(\Delta T) \dots (13) \end{aligned}$$

【 0 0 6 4 】

式 (1 3) を変形すると、次式 (1 4) を得ることができる。

【 数 1 8 】

$$\Delta \lambda(\Delta T) = \frac{f_r \times \Delta \lambda_{B1}^T - \Delta \lambda_{B2}^T}{f_r - 1} \dots (14)$$

【 0 0 6 5 】

式(14)において、弾性歪み量の比率 f_r は既知の値であり、反射波長の変化量 λ_{B1}^T 、 λ_{B2}^T は測定により得られる値である。また、式(14)は、他端部12bの変位量 δ_s に依存しない。したがって、反射波長の変化量 λ_{B1}^T 、 λ_{B2}^T を測定することによって、反射波長の変化量 $\Delta\lambda$ (T) を求めることができる。すなわち、温度測定を行うことができる。

【0066】

さらに、温度変化量 T と F B G センサの反射波長の変化量 $\Delta\lambda$ (T) をとの間には、次式(15)が成立する。

【数19】

$$\Delta\lambda(\Delta T) = k^T \times \Delta T \quad \dots (15)$$

10

【0067】

ここで、係数 k^T は、F B G センサに用いられる光ファイバと起歪体12の材料によって定まる値である。そのため、係数 k^T を予め求めておくことにより、基準温度からの温度変化量 T の測定も行うことができる。

【0068】

また、第1 F B G センサ13a及び第2 F B G センサ13bを、側面から見て起歪体を挟んで対向する位置となるように付設した場合 ($f_r = -1$ の場合。図3に示す第1変形例の起歪体18又は図4に示す第2変形例の起歪体19の場合)、式(9)、(10)より、次式(16)を得ることができる。

20

【数20】

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_{B1}^T + \Delta\lambda_{B2}^T &= \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) + \Delta\lambda_{B2}(\delta_s) + 2\Delta\lambda(\Delta T) \\ &= (1 + f_r) \times \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) + 2\Delta\lambda(\Delta T) \quad \dots (16) \end{aligned}$$

【0069】

$f_r = -1$ であるので、式(16)は、次式(17)となる。

【0070】

【数21】

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_{B1}^T + \Delta\lambda_{B2}^T &= \Delta\lambda_{B1}(\delta_s) + \Delta\lambda_{B2}(\delta_s) + 2\Delta\lambda(\Delta T) \\ &= 2\Delta\lambda(\Delta T) \quad \dots (17) \end{aligned}$$

30

【0071】

式(17)を変形すると、次式(18)を得ることができる。

【0072】

【数22】

$$\Delta\lambda(\Delta T) = \frac{\Delta\lambda_{B1}^T + \Delta\lambda_{B2}^T}{2} \quad \dots (18)$$

40

【0073】

式(18)において、反射波長の変化量 λ_{B1}^T 、 λ_{B2}^T は測定により得られる値である。また、式(18)は、他端部12bの変位量 δ_s に依存しない。したがって、反射波長の変化量 λ_{B1}^T 、 λ_{B2}^T を測定することによって、反射波長の変化量 $\Delta\lambda$ (T) を求めることができる。さらに、式(15)を用いることにより、基準温度からの温度変化量 T の測定も行うことができる。

【0074】

以上、図示の実施形態について説明したが、本発明はこのような形態に限られるもので

50

はない。

【 0 0 7 5 】

例えば、上記実施形態においては、第 1 F B G センサ 1 3 a を起歪体 1 2 の一端部 1 2 a 側の第 1 領域 A 1 に付設し、第 2 F B G センサ 1 3 b を起歪体 1 2 の他端部 1 2 b 側の第 2 領域 A 2 に付設している。しかし、起歪体に 3 つ以上の F B G センサを付設するようにしてもよい。また、F B G センサの配置位置も、検出される歪み量が異なる位置であればよい。例えば、起歪体の表裏に 1 つずつ F B G センサを配置するようにしてもよい。

【 0 0 7 6 】

また、上記実施形態においては、図 2 A に示すように、起歪体 1 2 の平面形状を、底辺側の領域の外縁が切欠かれた二等辺三角形となるように構成し、起歪体の一方側の面に 2 つの F B G センサを配置している。しかし、起歪体はこのような形状に限定されない。

10

【 0 0 7 7 】

例えば、図 3 に示す第 1 変形例の起歪体 1 8 のように、ベース 1 1 に固定された一端部 1 8 a 近傍の平面形状を、作用点 P を頂点とする二等辺三角形の底辺側の形状とし、測定対象物 O から作用点 P に荷重を受けた際に変位する他端部 1 8 b 近傍の平面形状を、端部が半円形で二等辺三角形の底辺側から頂点側に延びた形状とし、F B G センサ 1 3 a , 1 3 b を、起歪体 1 8 の表裏に 1 つずつ配置するようにしてもよい。

【 0 0 7 8 】

また、例えば、図 4 に示す第 2 変形例の起歪体のように、ベース 1 1 に固定された一端部 1 9 a 近傍の平面形状を、作用点 P を頂点とする二等辺三角形の底辺側の形状とし、測定対象物 O から作用点 P に荷重を受けた際に変位する他端部 1 9 b 近傍の平面形状を矩形として、F B G センサ 1 3 a , 1 3 b を、起歪体 1 9 の表裏面に 1 つずつ配置するようにしてもよい。

20

【 0 0 7 9 】

また、上記実施形態においては、起歪体 1 2 に溝部 1 2 c を設け、その溝部 1 2 c に第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b を付設している。しかし、溝部 1 2 c は、省略しても構わない。

【 0 0 8 0 】

また、上記実施形態では、起歪体 1 2 の平面形状を、二等辺三角形の底辺近傍の外縁を切欠いた形状としている。しかし、本発明の起歪体の形状はそのような形状に限定されるものではない。例えば、F B G センサのグレーティング長が起歪体の長さに対して十分に小さいとみなせる場合等には、平面形状が矩形であってもよいし、切欠きのない三角形であってもよい。

30

【 0 0 8 1 】

また、上記実施形態においては、第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b の向きと起歪体 1 2 の曲率が変化する向きを一致させるとともに、その向きにおいては他端部 1 2 b が変位した際における起歪体 1 2 の曲率が、第 1 F B G センサ 1 3 a 及び第 2 F B G センサ 1 3 b の配置した位置（上記実施形態では、第 1 領域 A 1 及び第 2 領域 A 2）で、それぞれ一定となるように構成している。しかし、F B G センサの向きや、起歪体の湾曲時の曲率は、適宜変更してもよい。

40

【 符号の説明 】

【 0 0 8 2 】

1 ... 変位量測定システム、1 1 ... ベース、1 2 , 1 8 , 1 9 ... 起歪体、1 2 a , 1 8 a , 1 9 a ... 一端部、1 2 b , 1 8 b , 1 9 b ... 他端部、1 2 c ... 溝部、1 3 a ... 第 1 F B G センサ、1 3 b ... 第 2 F B G センサ、1 4 ... 測定装置、1 4 a ... 広域帯光源、1 4 b ... 光スペクトルメータ、1 4 c ... 算出部、1 5 ... 光ファイバ、1 6 ... 屈折率整合ジェル、1 7 ... 接着剤、A 1 ... 第 1 領域、A 2 ... 第 2 領域、O ... 測定対象物、P ... 作用点。

【 図 1 】

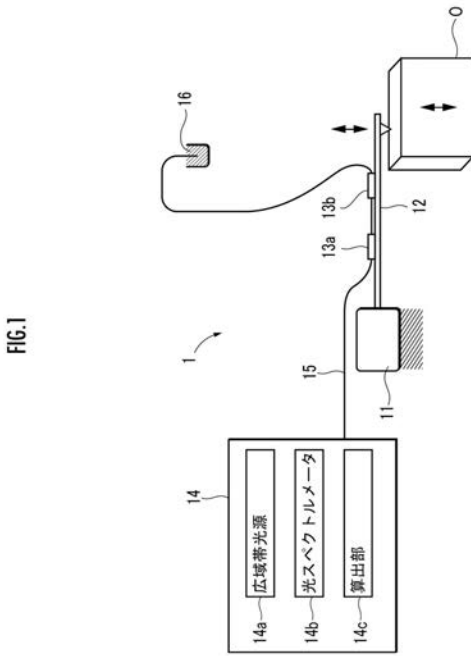
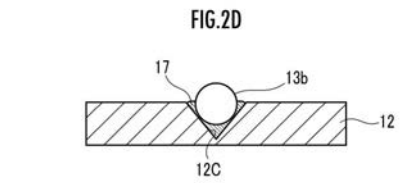
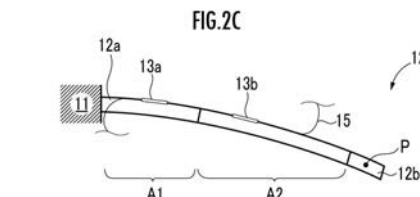
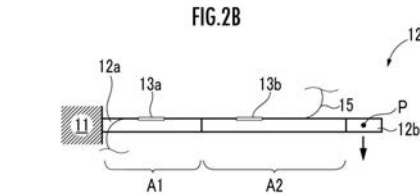
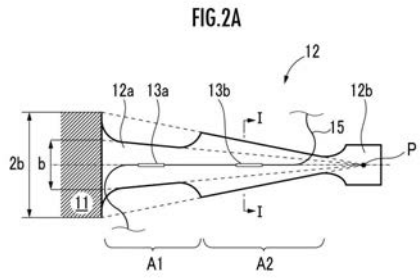
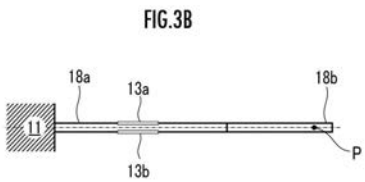
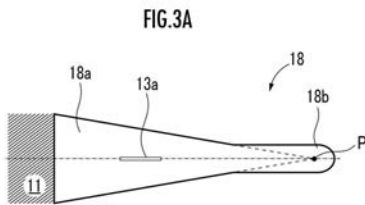


FIG.1

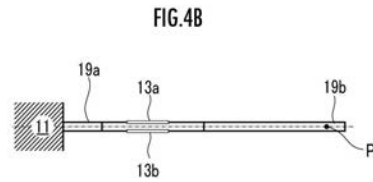
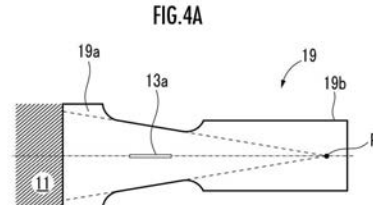
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】

FIG.5

