

(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2019-207200
(P2019-207200A)

(43) 公開日 令和1年12月5日(2019.12.5)

(51) Int. Cl. F I テーマコード(参考)
GO 1 N 29/12 (2006.01) GO 1 N 29/12 2 GO 4 7
GO 1 N 29/32 (2006.01) GO 1 N 29/32

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2018-103821 (P2018-103821)
 (22) 出願日 平成30年5月30日(2018.5.30)

(出願人による申告)平成29年度、経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構委託事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 000005348
 株式会社SUBARU
 東京都渋谷区恵比寿一丁目20番8号
 (74) 代理人 100136504
 弁理士 山田 毅彦
 (72) 発明者 副島 英樹
 東京都渋谷区恵比寿一丁目20番8号 株式会社SUBARU内
 (72) 発明者 荻巢 敏充
 東京都渋谷区恵比寿一丁目20番8号 株式会社SUBARU内
 Fターム(参考) 2G047 AA05 BA04 BC07 BC18 CA01
 CA07 CB04 EA05 EA10 GA18
 GD01 GF25 GG06 GG09 GG20
 GG33 GG41 GG43

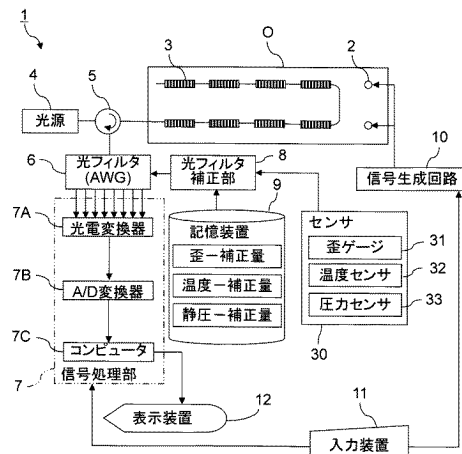
(54) 【発明の名称】 光検査システム、光検査方法及び航空機構造体

(57) 【要約】

【課題】光ファイバセンサを用いた超音波検査等の非破壊検査において検査対象となる構造体に温度、加速度、歪量等の変化が生じる場合であっても、実用的な精度で検査を続行できるようにすることである。

【解決手段】実施形態に係る光検査システムは、被検査対象を伝播する振動を検出し、振動の振幅の時間変化に対応する波長の時間変化を有する光信号を出力する光ファイバセンサと、波長の時間変化を有する光信号を、波長の時間変化に対応する強度の時間変化を有する光信号に変換して出力する光フィルタと、強度の時間変化を有する光信号に基づいて被検査対象の検査情報を取得する信号処理部と、波長の時間変化を有する光信号を強度の時間変化を有する光信号に変換するための、光信号の波長の時間変化と、光信号の強度の時間変化との間における対応関係を、光フィルタの波長特性を変化させることによって補正する補正部とを備えるものである。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被検査対象を伝播する振動又は被検査対象の変位を検出し、前記振動の振幅の時間変化又は前記変位の時間変化に対応する波長の時間変化を有する光信号を出力する光ファイバセンサと、

前記波長の時間変化を有する光信号を、前記波長の時間変化に対応する強度の時間変化を有する光信号に変換して出力する光フィルタと、

前記強度の時間変化を有する光信号に基づいて前記被検査対象の検査情報を取得する信号処理部と、

前記波長の時間変化を有する光信号を前記強度の時間変化を有する光信号に変換するための、前記光信号の波長の時間変化と、前記光信号の前記強度の時間変化との間における対応関係を、前記光フィルタの波長特性を変化させることによって補正する補正部と、を備える光検査システム。

10

【請求項 2】

前記光フィルタとしてアレイ導波路グレーティング、ファイバ・ブラッグ・グレーティング又は位相シフト・ファイバ・ブラッグ・グレーティングを用いた請求項 1 記載の光検査システム。

【請求項 3】

前記被検査対象の温度と、前記光フィルタの波長特性の変化量との関係を表す情報を記憶する記憶装置を備え、

前記補正部は、前記被検査対象の温度に対応する変化量で前記光フィルタの波長特性を変化させるように構成される請求項 1 又は 2 記載の光検査システム。

20

【請求項 4】

前記被検査対象の歪量と、前記光フィルタの波長特性の変化量との関係を表す情報を記憶する記憶装置を備え、

前記補正部は、前記被検査対象の歪量に対応する変化量で前記光フィルタの波長特性を変化させるように構成される請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光検査システム。

【請求項 5】

前記被検査対象を含む構造体にかかる圧力と、前記光フィルタの波長特性の変化量との関係を表す情報を記憶する記憶装置を備え、

前記補正部は、前記構造体にかかる圧力に対応する変化量で前記光フィルタの波長特性を変化させるように構成される請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光検査システム。

30

【請求項 6】

前記信号処理部は前記検査情報として前記被検査対象に欠陥が生じたか否か及び前記被検査対象に生じた欠陥の程度の少なくとも一方を取得するように構成される請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光検査システム。

【請求項 7】

前記信号処理部は前記検査情報として前記被検査対象の歪量を取得するように構成される請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光検査システム。

【請求項 8】

前記補正部は、前記光フィルタを構成する光導波路の温度を調節することによって前記光フィルタの波長特性を変化させるように構成される請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光検査システム。

40

【請求項 9】

前記補正部は、前記光フィルタを構成する光導波路を伸縮させることによって前記光フィルタの波長特性を変化させるように構成される請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光検査システム。

【請求項 10】

前記被検査対象に超音波振動を伝播させる超音波振動子を更に備え、

前記光ファイバセンサは前記被検査対象を伝播する超音波振動を検出するように構成さ

50

れる構成される請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光検査システム。

【請求項 1 1】

請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 項に記載の光検査システムを設けた航空機構造体。

【請求項 1 2】

請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 項に記載の光検査システムを用いて前記被検査対象の検査情報を取得する光検査方法。

【請求項 1 3】

光ファイバセンサを用いて被検査対象を伝播する振動又は被検査対象の変位を検出し、前記振動の強度の時間変化又は前記変位の時間変化に対応する波長の時間変化を有する光信号を出力するステップと、

光フィルタを用いて前記波長の時間変化を有する光信号を、前記波長の時間変化に対応する強度の時間変化を有する光信号に変換して出力するステップと、

前記強度の時間変化を有する光信号に基づいて前記被検査対象の検査情報を取得するステップと、

前記波長の時間変化を有する光信号を前記強度の時間変化を有する光信号に変換するための、前記光信号の波長の時間変化と、前記光信号の前記強度の時間変化との間における対応関係を、前記光フィルタの波長特性を変化させることによって補正するステップと、を有する光検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、光検査システム、光検査方法及び航空機構造体に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、ファイバ・ブラッグ・グレーティング (FBG: Fiber Bragg Grating) を用いて歪量等の物理量を計測する技術が知られている。例えば、FBG 及びアレイ導波路グレーティング (AWG: Arrayed Waveguide Grating) を用いて航空機等の材料として用いられる複合材の損傷を探知するシステムが提案されている (例えば特許文献 1 参照)。より具体的には、 piezoelectric から発振される超音波のセンサとして FBG センサを用い、FBG センサで検出される超音波の波形変化に基づいて損傷を検知するシステムが提案されている。

【0003】

また、超音波センサとして位相シフト FBG (PS-FBG: Phase-shifted FBG) を用いることによって物体に生じた微小な変位を高感度に計測する技術も提案されている (例えば特許文献 2 参照)。

【0004】

このような超音波検査法を用いれば、航空機構造体や建築物等の構造ヘルスマモニタリング (SHM: Structural Health Monitoring) が可能である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2007 - 232371 号公報

【特許文献 2】特開 2014 - 153094 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら超音波検査の対象が航空機等の移動体である場合には、超音波検査の対象となる構造体の温度が短時間で変化したり、荷重を受けて変形する場合がある。特に航空機構造体の温度や航空機構造体に負荷される荷重は、地上で使用される構造体の温度や地

10

20

30

40

50

上で使用される構造体に負荷される荷重に比べて極端に大きく変化する。また、移動体を構成する構造体が超音波検査の対象である場合には、超音波検査の対象に振動が生じることになる。

【0007】

光ファイバセンサを用いた超音波検査の対象となる構造体の温度、構造体に生じる振動の大きさ、構造体に負荷される荷重による歪分布等の条件が変化すると、光ファイバセンサから出力される光信号の波長等の特性が変化する。その結果、超音波検査のための光信号の処理に適切な条件で光信号を取得することができない場合がある。換言すれば、超音波検査の対象となる構造体の状態によっては、超音波検出信号の検出感度や検出精度が低下する場合がある。

10

【0008】

そこで本発明は、光ファイバセンサを用いた超音波検査等の非破壊検査において検査対象となる構造体に温度、加速度、歪量等の変化が生じる場合であっても、実用的な精度で検査を続行できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の実施形態に係る光検査システムは、被検査対象を伝播する振動又は被検査対象の変位を検出し、前記振動の振幅の時間変化又は前記変位の時間変化に対応する波長の時間変化を有する光信号を出力する光ファイバセンサと、前記波長の時間変化を有する光信号を、前記波長の時間変化に対応する強度の時間変化を有する光信号に変換して出力する光フィルタと、前記強度の時間変化を有する光信号に基づいて前記被検査対象の検査情報を取得する信号処理部と、前記波長の時間変化を有する光信号を前記強度の時間変化を有する光信号に変換するための、前記光信号の波長の時間変化と、前記光信号の前記強度の時間変化との間における対応関係を、前記光フィルタの波長特性を変化させることによって補正する補正部とを備えるものである。

20

【0010】

また、本発明の実施形態に係る航空機構造体は、上述の光検査システムを設けたものである。

【0011】

また、本発明の実施形態に係る光検査方法は、上述の光検査システムを用いて前記被検査対象の検査情報を取得するものである。

30

【0012】

また、本発明の実施形態に係る光検査方法は、光ファイバセンサを用いて被検査対象を伝播する振動又は被検査対象の変位を検出し、前記振動の強度の時間変化又は前記変位の時間変化に対応する波長の時間変化を有する光信号を出力するステップと、光フィルタを用いて前記波長の時間変化を有する光信号を、前記波長の時間変化に対応する強度の時間変化を有する光信号に変換して出力するステップと、前記強度の時間変化を有する光信号に基づいて前記被検査対象の検査情報を取得するステップと、前記波長の時間変化を有する光信号を前記強度の時間変化を有する光信号に変換するための、前記光信号の波長の時間変化と、前記光信号の前記強度の時間変化との間における対応関係を、前記光フィルタの波長特性を変化させることによって補正するステップとを有するものである。

40

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る光検査システムの構成図。

【図2】図1に示す光ファイバセンサとして用いられるFBGセンサから出力される光信号に対してAWGが光フィルタとして機能する原理を説明するグラフ。

【図3】図1に示す被検査対象となり得る航空機構造体の温度変化と歪量の変化の一例を示すグラフ。

【図4】図1に示す光フィルタを構成する光導波路の温度を調節することによって光フィルタの波長特性を変化させるようにした光フィルタ補正部の構成例を示す図。

50

【図5】(A)及び(B)は図1に示す光ファイバセンサから出力される光信号の外乱による波長変化がキャンセルされるように光フィルタの波長特性を補正した例を示すグラフ。

【図6】図1に示す光検査システムを用いて被検査対象の検査情報を取得する流れを示すフローチャート。

【図7】本発明の第2の実施形態に係る光検査システムの構成図。

【図8】本発明の第3の実施形態に係る光検査システムの構成図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本発明の実施形態に係る光検査システム、光検査方法及び航空機構造体について添付図面を参照して説明する。

10

【0015】

(第1の実施形態)

(光検査システムの構成及び機能)

図1は本発明の第1の実施形態に係る光検査システムの構成図である。

【0016】

光検査システム1は、被検査対象Oの超音波検査を行うシステムである。ここでは、主として被検査対象Oが航空機構造体であり、検査内容が損傷や亀裂等の欠陥の有無及び進展である場合について説明するが、自動車等の移動体を構成する構造体はもちろん、建築物が被検査対象Oであっても同様な超音波検査を行うことができる。また、検査内容は欠陥の有無等に限らず、被検査対象Oの歪量や厚さであっても良い。被検査対象Oが航空機構造体である場合には、光検査システム1は航空機構造体に設けられる。

20

【0017】

光検査システム1は、超音波振動子2、光ファイバセンサ3、光源4、光サーキュレータ5、光フィルタ6、信号処理部7、光フィルタ補正部8、記憶装置9、信号生成回路10、入力装置11及び表示装置12で構成することができる。

【0018】

超音波振動子2は、被検査対象Oの検査対象エリアに向けて超音波を発振し、被検査対象Oに超音波振動を伝播させるアクチュエータ等の素子である。検査対象エリアが広い場合には、図1に例示されるように複数の超音波振動子2を適切な間隔で配置することができる。また、被検査対象Oが板状であれば、超音波としてラム(Lamb)波を発振させることが検査内容の検出感度を向上させる観点から好適である。ラム波は、超音波の波長の半分以下の薄板を伝播する波である。

30

【0019】

光ファイバセンサ3は、被検査対象Oを伝播する超音波振動を検出する超音波センサである。検査対象エリアが広い場合には、図1に例示されるように複数の光ファイバセンサ3を適切な間隔で配置することができる。

【0020】

光ファイバセンサ3としては、FBGセンサやPS-FBGセンサが挙げられる。また、光の干渉を利用して物理量を測定する干渉計も光ファイバセンサ3の一例である。干渉計には、マッハ・ツェンダ干渉計、マイケルソン干渉計、リング干渉計、ファブリペロー干渉計等の種類がある。以降では、光ファイバセンサ3がFBGセンサである場合を例に説明する。

40

【0021】

光ファイバセンサ3で超音波振動を検出すると、光ファイバセンサ3からは超音波振動の振幅の時間変化に対応する波長の時間変化を有する光信号が出力される。これは、光ファイバセンサ3に超音波振動が伝播すると、光ファイバセンサ3の長さが超音波振動の振幅に応じて変化する結果、光ファイバセンサ3の光透過特性及び光反射特性が光の波長方向にシフトすることに起因している。

【0022】

50

従って、光ファイバセンサ3の反射光を光信号として検出しても良いし、光ファイバセンサ3の透過光を光信号として検出しても良い。図1は光ファイバセンサ3の反射光を光信号として検出する場合の例を示している。このため、光ファイバセンサ3の一端に光サーキュレータ5が接続されている。そして、光サーキュレータ5の入射ポートに光ファイバセンサ3にレーザ光を出射するための光源4が接続され、光サーキュレータ5の出射ポートから光ファイバセンサ3で反射したレーザ光の反射光が光検出信号として出力されるように光学系が構成されている。光ファイバセンサ3の透過光を光信号として検出する場合には、光ファイバセンサ3の他端から透過光として光信号を出力するように光学系を構成することができる。

【0023】

光フィルタ6は、光ファイバセンサ3から出力される波長の時間変化を有する光信号を、波長の時間変化に対応する強度の時間変化を有する光信号に変換して出力する光学デバイスである。光フィルタ6としては、AWGを用いることができる。AWGは、入力側スラブ導波路と出力側スラブ導波路との間を光路長が異なる複数の曲線チャネル導波路で接続することによって構成される光デバイスである。

【0024】

図2は図1に示す光ファイバセンサ3として用いられるFBGセンサから出力される光信号に対してAWGが光フィルタ6として機能する原理を説明するグラフである。

【0025】

図2において横軸は光の波長()を示し、縦軸は光強度の損失(dB)を示す。AWGに複数の波長の光成分を含む光を入射させると異なる波長を有する光をそれぞれ出力することができる。すなわち、AWGを用いると、入射光を波長ごとに分波することができる。従って、AWGから出力される光の損失は図2の一点鎖線で示すようにAWGのn(nは自然数)個の出力ポートP1、P2、P3、...、Pnに対応する特定の波長において小さくなり、n個の複数の極小値を呈する。換言すれば、図2に一点鎖線で示す曲線の各極小値に対応する飛び飛びの値を有する複数の特定の波長を有する光のみが選択的にAWGを通過することになる。

【0026】

一方、FBGセンサからの反射光は、図2に実線で示すように特定の波長において損失が最小値を呈する下に凸の強度分布を有する。そして、FBGセンサから出力される光信号は、図2に示すような波長方向における光強度分布が波長方向に時間的に振動する信号となる。

【0027】

従って、図2に示すようにFBGセンサから出力される光信号の強度のピークが、AWGの出力ポートP3を通過することが可能な光の中心波長と、出力ポートP4を通過することが可能な光の中心波長との間にある場合であれば、光信号の波長が大きくなる程、AWGの出力ポートP4から出力される光の強度が大きくなり、逆に、光信号の波長が小さくなる程、AWGの出力ポートP4から出力される光の強度が大きくなる。従って、AWGの出力ポートP1、P2、P3、...、Pnから出力される光信号は、強度が時間的に変化する信号となる。

【0028】

特に、AWGの隣接する2つの出力ポート、すなわち出力する光信号の中心波長が最も近い2つの出力ポートから出力される2つの光信号の一方の強度を反転させて両者の差分をとれば、波長の時間変化を有する光信号の振幅を増幅することができる。その結果、被検査対象Oに生じた欠陥の検出感度を飛躍的に向上させることができる。

【0029】

また、図1に例示されるように複数の光ファイバセンサ3から光信号が出力される場合には、各光ファイバセンサ3から出力される光信号の中心波長の変動範囲が、AWGの互いに異なる出力ポートP1、P2、P3、...、Pnに対応する波長間となるように各光ファイバセンサ3の波長特性を決定すれば、共通のAWGを用いて複数の光ファイバセンサ

10

20

30

40

50

3 から出力される光信号を、波長の時間変化を表す信号から強度の時間変化を表す信号に変換することができる。尚、このような A W G を光フィルタ 6 として用いた信号処理法の詳細は、日本国特開 2 0 0 7 - 2 3 2 3 7 1 号公報に詳述されている。

【 0 0 3 0 】

信号処理部 7 は、光フィルタ 6 として機能する A W G から出力される強度の時間変化を有する光信号に基づいて被検査対象 O の検査情報を取得する装置である。信号処理部 7 は、光電変換器 7 A、A / D (a n a l o g - t o - d i g i t a l) 変換器 7 B 及びプログラムを読込ませたコンピュータ 7 C 等の光信号及び電気信号の少なくとも一方を処理する回路類で構成することができる。

【 0 0 3 1 】

尚、必要に応じて光信号を処理する光学素子や光学デバイス並びにアナログの電気信号を処理する電気回路を設けても良い。具体例としてノイズを低減するためのフィルタ処理やアベレーシング（加算平均化）処理を施すための回路を光信号又は電気信号の信号線上に接続することができる。

【 0 0 3 2 】

光電変換器 7 A は、光フィルタ 6 から出力される波長別の光信号をそれぞれ電気信号に変換する光検出器である。光電変換器 7 A においてアナログの電気信号に変換された波長別の光信号は、A / D 変換器 7 B においてデジタルの電気信号に変換されてコンピュータ 7 C に出力される。そして、コンピュータ 7 C における所望の信号処理によって被検査対象 O の検査情報を取得することができる。

【 0 0 3 3 】

すなわち、被検査対象 O の検査情報として被検査対象 O の検査対象エリアに欠陥が生じたか否か及び被検査対象 O の検査対象エリアに生じた欠陥の程度の少なくとも一方をコンピュータ 7 C における信号処理によって取得することができる。また、上述したように検査情報として被検査対象 O の検査対象エリアにおける歪量をコンピュータ 7 C における信号処理によって取得するようにしても良い。

【 0 0 3 4 】

コンピュータ 7 C では、光フィルタ 6 として用いられる A W G から出力される中心波長が異なる 2 つの光信号を光電変換して得られる 2 つの電気信号を取得することができる。そこで、上述したように、2 つの電気信号の一方の強度を反転させて差分を取る信号処理をコンピュータ 7 C で実行すれば、F B G センサ等の光ファイバセンサ 3 の微小な伸縮量の時間変化に対応する強度の時間変化を有する信号を生成することができる。従って、被検査対象 O の検査対象エリアを伝播した超音波振動の振幅に対応する強度の時間変化を有する信号を取得することができる。

【 0 0 3 5 】

超音波振動の振幅に対応する超音波検出信号の時間波形が取得できると、例えば、基準波形との比較によって被検査対象 O の検査対象エリアに欠陥が生じたか否かを判定することができる。より具体的には、被検査対象 O の検査対象エリアに欠陥が生じていない場合に取得された超音波検出信号の振幅の時間波形を基準波形に決定することができる。そうすると、検査対象エリアに欠陥が生じると、検査対象エリアを透過した超音波振動又は検査対象エリアで反射した超音波振動の波形が変化することを利用して、検査対象エリアに欠陥が存在するか否かを判定することができる。すなわち、検査対象となる信号の時間波形と基準波形との間における最小 2 乗誤差、相互相関値或いはピーク値の差等の乖離量を表す指標値が閾値以上又は閾値を超えた場合には、検査対象エリアに欠陥が存在すると判定することができる。

【 0 0 3 6 】

別の信号処理法として、超音波検出信号の時間波形の特徴を表す 2 乗平均平方根 (R M S : R o o t M e a n S q u a r e) 等の指標値を算出し、基準波形との比較を行わずに、指標値に対する閾値処理によって検査対象エリアに欠陥が存在するか否かを判定するようにしても良い。また、超音波振動の振幅の加速度の時間変化を取得する処理、アベ

10

20

30

40

50

レージング処理、ノイズ除去のためのフィルタ処理、移動平均化処理フーリエ変換やウェーブレット変換等の周波数解析処理並びに包絡線検波処理等の所望の信号処理を閾値処理の前処理として実行するようにしても良い。

【0037】

検査対象エリアに複数の光ファイバセンサ3が配置される場合には、光ファイバセンサ3ごとに欠陥の有無を判定することができる。従って、欠陥の存在が検出された光ファイバセンサ3を特定することによって、欠陥の大きさを評価することもできる。すなわち、被検査対象Oの検査対象エリアに生じた欠陥の程度を検査内容として取得することができる。

【0038】

尚、検査内容が歪量や厚さ等の値である場合には、歪量等の検出目的とする値と信号波形との関係を事前に調べてデータベース化することによって、検出目的とする値を求めることができる。その場合においても、信号波形と基準波形との比較又は信号波形の特徴量の評価によって検査内容を取得することができる。

【0039】

しかしながら、被検査対象Oに急激な温度変化、歪の発生或いは振動等の光ファイバセンサ3の長さを変化させる事象が生じると、光ファイバセンサ3から出力される光信号は温度変化、歪の発生或いは振動等の影響を受けて変化する。すなわち、光ファイバセンサ3から出力される光信号の波長が、欠陥の有無のみならず、温度変化、歪の発生或いは振動等の影響によっても変化してしまう。この場合、検査内容を正確に検出することが困難となる。

【0040】

特に、被検査対象Oが航空機構造体である場合には、空力荷重を受けながら上空を飛行することになるため、単位時間当たりの温度変化量、単位時間当たりの歪量の変化量及び振動の大きさが静止した状態で使用される構造体はもちろん、地上で使用される移動体の構造体に比べて非常に大きい。

【0041】

図3は図1に示す被検査対象Oとなり得る航空機構造体の温度変化と歪量の変化の一例を示すグラフである。

【0042】

図3において横軸は時間を示し、縦軸は歪量及び温度を示す。航空機構造体は空力による荷重を受けながら気圧及び高度の変化を伴って上空を飛行する。従って、図3に示すように航空機構造体の歪量と温度は飛行期間中に大きく変化する。このため、被検査対象Oとともに光ファイバセンサ3が伸縮する。

【0043】

光ファイバセンサ3が伸縮すると、光ファイバセンサ3から出力される光信号の波長分布が波長方向にシフトする。そうすると、光フィルタ6として用いられるAWGを通過する光信号の振幅が変化する。その結果、欠陥の検出のための信号波形と基準波形との比較や信号波形の特徴量の評価等の信号処理部7における信号処理において、欠陥が存在しないにも関わらず、欠陥が生じたと誤判定される恐れがある。すなわち、被検査対象Oの温度変化や歪量の変化等によって、欠陥が誤検知される可能性がある。

【0044】

特に、航空機構造体の材料として使用されるガラス繊維強化プラスチック(GFRP: Glass Fiber Reinforced Plastics)や炭素繊維強化プラスチック(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics)等の複合材、すなわち樹脂を繊維で強化した繊維強化プラスチック(FRP: Fiber Reinforced Plastics)に欠陥が生じたか否かを検出する場合には、数十kHzから10MHzの高い周波数で変化する超音波が発振される。この場合、光ファイバセンサ3では数 μ 程度の非常に小さい微小歪の変化の時間履歴として超音波が検出される。このため、被検査対象Oの温度変化や歪量の変化等は、無視できな

10

20

30

40

50

い外乱となる場合が多い。

【 0 0 4 5 】

そこで、光フィルタ 6 には、光フィルタ 6 の波長特性を変化させる光フィルタ補正部 8 が設けられる。光フィルタ補正部 8 は、光ファイバセンサ 3 から出力される光信号の波長変化のうち、欠陥等の検査内容以外の要因による光信号の波長変化がキャンセルされるように、光フィルタ 6 の波長特性を波長方向にシフトさせる補正を行う補正部である。換言すれば、光フィルタ補正部 8 は、光ファイバセンサ 3 から出力される波長の時間変化を有する光信号を、強度の時間変化を有する光信号に変換するための、光信号の波長の時間変化と、光信号の強度の時間変化との間における対応関係を補正する装置である。

【 0 0 4 6 】

光フィルタ 6 として用いられる A W G の波長特性を波長方向に調整するためには、A W G を構成する曲線チャネル導波路によって形成される光路長を変化させることが必要となる。このため、光フィルタ補正部 8 は、光フィルタ 6 を構成する光導波路を伸縮させることによって光フィルタ 6 の波長特性を変化させることが可能な任意のデバイスで構成することができる。光フィルタ 6 を構成する光導波路を伸縮させる方法としては、光フィルタ 6 を構成する光導波路を加熱又は冷却する方法と、機械的に力を付与する方法が挙げられる。

【 0 0 4 7 】

図 4 は図 1 に示す光フィルタ 6 を構成する光導波路の温度を調節することによって光フィルタ 6 の波長特性を変化させるようにした光フィルタ補正部 8 の構成例を示す図である。

【 0 0 4 8 】

光フィルタ 6 として用いられる A W G 2 0 は、上述したように、入力側スラブ導波路 2 1 と出力側スラブ導波路 2 2 との間を光路長が異なる複数の曲線チャネル導波路 2 3 で接続した光デバイスである。

【 0 0 4 9 】

一方、光フィルタ補正部 8 は、ペルチェ素子 8 A、直流電源 8 B 及び電源制御装置 8 C で構成することができる。ペルチェ素子 8 A は、直流電流によって冷却及び加熱を含む温度制御を行う半導体素子である。このため、ペルチェ素子 8 A を A W G 2 0 の温度を変化させる部分に直接又は間接的に取付けることによって、A W G 2 0 を構成する曲線チャネル導波路 2 3 の長さを変化させることができる。ペルチェ素子 8 A の位置は、試験やシミュレーションによって適切な位置に決定することができる。

【 0 0 5 0 】

直流電源 8 B は、ペルチェ素子 8 A に直流電圧を印加する電源であり、電源制御装置 8 C は直流電源 8 B からペルチェ素子 8 A に印加される直流電圧を制御する電気回路である。このため、電源制御装置 8 C で直流電源 8 B からペルチェ素子 8 A に印加される直流電圧を制御することによって、光フィルタ 6 として用いられる A W G 2 0 の波長特性を変化させることができる。すなわち、光フィルタ 6 として用いられる A W G 2 0 を透過することが可能な光信号の波長方向における強度分布を波長方向にシフトさせることができる。

【 0 0 5 1 】

図 4 に例示されるように光フィルタ 6 の温度制御によって光フィルタ 6 の光学特性を調整すれば、精密かつ正確な調整を簡易な構成で行うことが可能となる。もちろん、ペルチェ素子 8 A 以外の熱電素子等の温度制御デバイスを用いて光フィルタ 6 の温度制御を行うようにしても良い。また、ボールねじ、ラック・アンド・ピニオン機構或いはシリンダ機構等の伸縮機構を用いて光フィルタ 6 を機械的に伸縮させることによって、光フィルタ 6 の光学特性を調整するようによっても良い。或いは、光フィルタ 6 の温度制御と、伸縮機構を併用して光フィルタ 6 の光学特性を調整するようによっても良い。

【 0 0 5 2 】

図 5 (A) 及び (B) は図 1 に示す光ファイバセンサ 3 から出力される光信号の外乱による波長変化がキャンセルされるように光フィルタ 6 の波長特性を補正した例を示すグラ

10

20

30

40

50

フである。

【 0 0 5 3 】

図 5 (A) 及び (B) において各横軸は光の波長 () を示し、各縦軸は光強度の損失 (d B) を示す。被検査対象 O に急激な温度変化、歪量の変化或いは振動等の光ファイバセンサ 3 を伸縮させる原因が生じると、図 5 (A) に示すように光ファイバセンサ 3 から出力される光信号の波長スペクトルが波長方向にシフトする。この場合、図 5 (A) に示すように A W G の透過光の波長スペクトルと、光信号の波長スペクトルとのオーバーラップ領域が不適切となり、A W G から出力される光信号の強度が検出可能な程度に変化しなくなる場合がある。

【 0 0 5 4 】

そこで、図 5 (B) に示すように A W G の透過特性を波長方向にシフトさせることによって、光ファイバセンサ 3 から出力される光信号の波長方向へのシフトを相対的にキャンセルすることができる。理想的には、図 5 (B) に示すように A W G の波長方向における透過特性を表す曲線の隣接する極小値間の中心における波長が、光ファイバセンサ 3 から出力される光信号の波長スペクトルの中心波長となるように、A W G の透過特性を波長方向にシフトさせることができる。

【 0 0 5 5 】

光ファイバセンサ 3 から出力される光信号の波長変化のうち、欠陥等の検査内容以外の要因による光信号の波長変化がキャンセルされるように、光フィルタ 6 の波長特性を波長方向にシフトさせるためには、検査内容以外の温度変化等の各要因による光信号の波長変化量を要因ごとに予め調べておくことが必要となる。検査内容以外の各要因による光信号の波長変化量は試験やシミュレーションによって調べることができる。検査内容以外の各要因による光信号の波長変化量が分かれば、光信号の波長変化量が変化させるべき光フィルタ 6 の波長特性の変化量となる。

【 0 0 5 6 】

そこで、温度や歪量等の被検査対象 O の状態を表す値と、変化させるべき光フィルタ 6 の波長特性の変化量との関係を表すテーブルや関数等の情報を記憶装置 9 に記憶させることができる。そして、光フィルタ補正部 8 は、記憶装置 9 に保存されたテーブルや関数等の情報を参照して決定した変化量で光フィルタ 6 の波長特性を変化させるように構成することができる。

【 0 0 5 7 】

被検査対象 O が航空機構造体である場合には、図 4 に示すように被検査対象 O の温度変化と歪量の変化が光ファイバセンサ 3 から出力される光信号の波長変化の主要な要因となる。そこで、具体例として、被検査対象 O の温度と、変化させるべき光フィルタ 6 の波長特性の変化量との関係を表す情報及び被検査対象 O の歪量と、変化させるべき光フィルタ 6 の波長特性の変化量との関係を表す情報の少なくとも一方を記憶装置 9 に記憶させることができる。

【 0 0 5 8 】

また、被検査対象 O が航空機構造体である場合には、被検査対象 O に生じる歪量は、被検査対象 O を含む構造体に負荷される荷重に依存して変化すると考えられる。そこで、歪量に代えて、或いは歪量に加えて、被検査対象 O を含む構造体にかかる圧力と、変化させるべき光フィルタ 6 の波長特性の変化量との関係を表す情報を記憶装置 9 に記憶させるようにしても良い。

【 0 0 5 9 】

被検査対象 O の温度、被検査対象 O に生じた歪量、被検査対象 O を含む構造体に負荷される圧力等の外乱を表す単一又は複数のパラメータと、変化させるべき光フィルタ 6 の波長特性の変化量との関係を表す情報が記憶装置 9 に保存されると、光フィルタ補正部 8 では、被検査対象 O の温度、被検査対象 O の歪量、被検査対象 O を含む構造体に負荷される圧力等の外乱を表すパラメータの値に対応する変化量で光フィルタ 6 の波長特性を変化させることが可能となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

例えば、図 4 に示す構成を有する光フィルタ補正部 8 であれば、光フィルタ 6 の波長特性が目的とする変化量で変化するように直流電源 8 B からペルチェ素子 8 A に印加される直流電圧を制御することができる。従って、光フィルタ 6 の波長特性の変化量を、直流電源 8 B からペルチェ素子 8 A に印加される直流電圧の値として間接的に表す情報を記憶装置 9 に記憶させるようにしても良い。光フィルタ補正部 8 が他のメカニズムによって光フィルタ 6 の波長特性を変化させる場合においても、同様に光フィルタ 6 の波長特性を変化させるために制御対象となるパラメータで、光フィルタ 6 の波長特性の変化量を間接的に表すことができる。

【 0 0 6 1 】

光フィルタ補正部 8 において、被検査対象 O の状態を表すパラメータの値に対応する変化量で光フィルタ 6 の波長特性を変化させるためには、記憶装置 9 に保存されたパラメータと光フィルタ 6 の波長特性の変換量との間における変換情報の他、光ファイバセンサ 3 で超音波振動を検出する際における被検査対象 O の状態を表すパラメータの値を特定することが必要である。

10

【 0 0 6 2 】

そこで、光フィルタ補正部 8 には現在の被検査対象 O の状態を表すパラメータの値をセンサ 3 0 等の所望の情報源からリアルタイムに取得する機能が設けられる。そして、光フィルタ補正部 8 は、センサ 3 0 等からリアルタイムに取得される現在の被検査対象 O の状態を表すパラメータの値と、記憶装置 9 に保存された、光フィルタ 6 の波長特性の変換量へのパラメータの値の変換情報とを参照することによって、光フィルタ 6 の波長特性の変換量を設定するように構成される。

20

【 0 0 6 3 】

センサ 3 0 は被検査対象 O に通常備えられるものであっても良いし、光検査システム 1 の構成要素として新たに被検査対象 O に取付けられるものであっても良い。具体例として、被検査対象 O が航空機構造体であれば、被検査対象 O の歪量を測定するための歪ゲージ 3 1、被検査対象 O の温度を測定するための温度センサ 3 2 及び被検査対象 O を含む航空機構造体に負荷される静圧を測定する圧力センサ 3 3 等のセンサ 3 0 が被検査対象 O に取付けられている場合が多い。航空機構造体用の典型的な圧力センサ 3 3 は静圧管、ピトー静圧管或いは静圧孔で構成される。

30

【 0 0 6 4 】

以上のような光フィルタ補正部 8 による光フィルタ 6 の波長特性の波長方向における補正によって、被検査対象 O の温度、歪量、加速度等の状態が変動した場合であっても、超音波検査を十分な精度で続行することが可能となる。尚、被検査対象 O の歪量が検査対象である場合には、被検査対象 O の歪量以外の振動等が光信号への外乱となる。被検査対象 O の温度変化については、被検査対象 O の歪量が温度依存性を有することから光信号の外乱であるとは言えない。このため、被検査対象 O の歪量以外の状態を表す加速度等のパラメータの値に応じて光フィルタ 6 の波長特性を補正することができる。

【 0 0 6 5 】

信号生成回路 1 0 は、超音波振動子 2 に電気信号を出力することによって超音波振動子 2 から超音波を発振させる電気回路である。信号生成回路 1 0 は、入力装置 1 1 の操作によって動作するように構成することができる。すなわち、入力装置 1 1 の操作によって手動で超音波振動子 2 から超音波を発振させるようにすることができる。或いは、タイマー等を信号生成回路 1 0 に内蔵し、予め定めた時刻に信号生成回路 1 0 の動作及び超音波振動子 2 からの超音波の発振を行うようにしても良い。

40

【 0 0 6 6 】

入力装置 1 1 は、光検査システム 1 に必要な情報を入力するためのマウス、キーボード、スイッチ等のデバイスである。表示装置 1 2 には、光検査システム 1 において生成される所望の情報を表示させることができる。例えば、ユーザインターフェース用の画面や信号処理部 7 において取得された検査情報を表示装置 1 2 に表示させることができる。

50

【 0 0 6 7 】

(光検査システムを用いた光検査方法)

次に光検査システム 1 を用いた光検査方法について説明する。

【 0 0 6 8 】

図 6 は、図 1 に示す光検査システム 1 を用いて被検査対象 O の検査情報を取得する流れを示すフローチャートである。

【 0 0 6 9 】

まずステップ S 1 において、超音波検査の外乱となる被検査対象 O の温度や歪量等が取得される。具体的には、歪ゲージ 3 1 及び温度センサ 3 2 等のセンサ 3 0 で測定された被検査対象 O の温度及び歪量等の被検査対象 O の状態を表すパラメータの値を光フィルタ補正部 8 が各センサ 3 0 から取得する。

10

【 0 0 7 0 】

被検査対象 O が航空機の主翼構造体や尾翼構造体等の翼構造体である場合や航空機の胴体である場合のように、被検査対象 O が航空機構造体である場合には、被検査対象 O を含む航空機構造体に負荷される静圧を航空機の機体表面に配置されている各圧力センサ 3 3 から被検査対象 O の状態を表すパラメータの値として取得するようにしても良い。

【 0 0 7 1 】

次に、ステップ S 2 において、被検査対象 O の温度や歪量等の被検査対象 O の状態を表すパラメータの値に基づいて、光フィルタ 6 として用いられる A W G の波長特性の補正量が決定される。具体的には、光フィルタ補正部 8 が記憶装置 9 に保存されたパラメータの各値と光フィルタ 6 の波長特性の補正量との間における対応情報を参照し、センサ 3 0 で測定されたパラメータの値に対応する光フィルタ 6 の波長特性の補正量を特定する。

20

【 0 0 7 2 】

次に、ステップ S 3 において、光フィルタ 6 として用いられる A W G の波長特性が、被検査対象 O の温度や歪量等に対応する補正量だけ補正される。具体的には、光フィルタ補正部 8 が A W G を構成する曲線チャネル導波路の長さを伸縮させることによって、A W G の波長特性をステップ S 2 で決定した補正量だけ波長方向にシフトさせる。

【 0 0 7 3 】

例えば、光フィルタ補正部 8 が図 4 に例示されるようにペルチェ素子 8 A 等の温度制御デバイスを用いて A W G 2 0 を構成する曲線チャネル導波路 2 3 の温度を調整することによって A W G 2 0 の波長特性を補正するように構成されている場合であれば、直流電源 8 B からペルチェ素子 8 A に印加される直流電圧の値が A W G 2 0 の波長特性の制御値に対応する値となるように電源制御装置 8 C において制御される。

30

【 0 0 7 4 】

これにより、光フィルタ 6 の波長特性によって定まる、光ファイバセンサ 3 から出力される波長の時間変化を有する光信号を強度の時間変化を有する光信号に変換するための、光信号の波長の時間変化と、光信号の強度の時間変化との間における対応関係が補正される。すなわち、光フィルタ 6 の波長特性を補正量だけ変化させることによって被検査対象 O の温度変化や歪量の変化等の外乱の影響がキャンセルされるように光信号の波長の時間変化と、光信号の強度の時間変化との間における対応関係を補正することができる。

40

【 0 0 7 5 】

次に、ステップ S 4 において、光ファイバセンサ 3 及び波長特性が補正された光フィルタ 6 を含む光学系により超音波検出信号が取得される。具体的には、信号生成回路 1 0 において送信信号が電気信号として生成される。生成された送信信号は超音波振動子 2 に出力される。そうすると、超音波振動子 2 において送信信号が電気信号から超音波信号に変換され、被検査対象 O の検査対象エリアに向けて超音波が発振される。

【 0 0 7 6 】

超音波振動子 2 から超音波が発振されると、発振された超音波が被検査対象 O の検査対象エリアを伝播し、光ファイバセンサ 3 に到達する。そうすると、被検査対象 O を伝播する超音波振動によって光ファイバセンサ 3 が伸縮する。このため、光ファイバセンサ 3 の

50

波長特性が変化し、光ファイバセンサ3から出力される光の波長スペクトルが変化する。その結果、超音波振動を光ファイバセンサ3の微小な変位の時間変化に対応する光の波長の時間変化として検出することができる。すなわち、光ファイバセンサ3において、被検査対象Oを伝播する超音波振動が、超音波振動の強度の時間変化に対応する波長の時間変化を有する光信号に変換されて出力される。

【0077】

但し、光ファイバセンサ3は、超音波振動の他、被検査対象Oの急激な温度変化や歪量の変化等の外乱によっても伸縮する。従って、光ファイバセンサ3から出力される光信号は、外乱の影響によって波長方向にシフトすることになる。

【0078】

光ファイバセンサ3から出力された光信号は光フィルタ6を構成するAWGに入射する。AWGでは、波長の時間変化を有する光信号が波長の時間変化に対応する強度の時間変化を有する光信号に変換されて出力される。光信号の波長の時間変化と、光信号の強度の時間変化との間における対応関係は、図2に示すようにFBGセンサ等の光ファイバセンサ3から出力された光信号の波長スペクトルと、AWGの透過特性とのオーバーラップ領域によって定まる。

【0079】

但し、光ファイバセンサ3から出力された光信号は、被検査対象Oの急激な温度変化や歪量の変化等の外乱の影響によって波長方向にシフトしている。このため、AWGの波長特性が補正されていなければ、図5(A)に例示されるように、FBGセンサ等の光ファイバセンサ3から出力された光信号の波長スペクトルと、AWGの透過特性とのオーバーラップ領域が、AWGにおいて波長の時間変化を有する光信号を波長の時間変化に対応する強度の時間変化を有する光信号に変換するために適切でない領域となる場合がある。

【0080】

これに対してステップS3において光ファイバセンサ3から出力された光信号の外乱の影響による波長方向へのシフトがキャンセルされるようにAWGの透過特性が補正されている。具体例として、図5(B)に例示されるように光ファイバセンサ3から出力された光信号の中心波長が、AWGの透過特性の隣接する極小値間における中心波長となるようにAWGの透過特性が補正されている。

【0081】

従って、AWGから出力される光信号は、外乱以外の超音波振動による波長の時間変化に対応する強度の時間変化を有する光信号となる。換言すれば、外乱をキャンセルし、超音波の振動波形が強度の時間変化となった光信号を取得することができる。

【0082】

次に、ステップS5において、AWGから出力された強度の時間変化を有する光信号に基づいて、被検査対象Oの検査情報が取得される。そのために、AWGから出力された光信号は、信号処理部7の光電変換器7Aにおいて強度の時間変化を有する光信号から電圧の時間変化を有するアナログの電気信号に変換される。続いて、光電変換器7Aにおいて得られたアナログの電気信号は、A/D変換器7Bにおいてデジタルの電気信号に変換されてコンピュータ7Cに出力される。これにより、コンピュータ7Cでは、被検査対象Oの検査対象エリアを伝播する超音波振動の振幅の時間変化に対応する相対電圧の時間変化を有するデジタルの電気信号として、超音波検出信号を取得することができる。

【0083】

コンピュータ7Cにおいて超音波検出信号が取得されると、超音波検出信号に対する任意の信号処理によって、被検査対象Oの検査対象エリアに欠陥が存在するか否か等の被検査対象Oの検査情報を取得することができる。

【0084】

時系列の被検査対象Oの検査情報を一定期間に亘って取得する場合には、ステップS1からステップS5までの動作や処理を順次繰返すことによって、時系列の被検査対象Oの検査情報を取得することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 5 】

(効果)

以上のような光検査システム 1 及び光検査方法は、被検査対象 O の温度、歪量、加速度等の状態に応じて波長が変化する光ファイバセンサ 3 からの光検出信号に追従して光フィルタ 6 の波長特性を自動で調整できるようにしたものである。より具体的には、光検査システム 1 及び光検査方法は、被検査対象 O の温度、歪量及びノ又は加速度等の外乱によって変化する光ファイバセンサ 3 からの光検出信号の波長の変化量を事前に把握し、常に光フィルタ 6 の波長特性が光ファイバセンサ 3 からの光検出信号の中心波長に対して相対的に適切となるように光フィルタ 6 の波長特性を自動で補正できるようにしたものである。

【 0 0 8 6 】

このため、光検査システム 1 及び光検査方法によれば、被検査対象 O の温度、歪量及びノ又は加速度等の外乱によって光ファイバセンサ 3 から出力される光検出信号の波長が変化した場合であっても、超音波検査の感度及び精度を維持することができる。従って、航空機構造体のように被検査対象 O の空間位置や速度が変化する場合であっても、光ファイバセンサ 3 を超音波センサとする超音波検査を高感度かつ高精度に行うことができる。その結果、欠陥の誤検知や不正確な歪量等の不正確な検査内容の取得を回避することができる。

【 0 0 8 7 】

(第 2 の実施形態)

図 7 は本発明の第 2 の実施形態に係る光検査システムの構成図である。

【 0 0 8 8 】

図 7 に示された第 2 の実施形態における光検査システム 1 A は、被検査対象 O に超音波振動を伝播させずに被検査対象 O の検査内容を取得するようにした点が第 1 の実施形態における光検査システム 1 と相違する。第 2 の実施形態における光検査システム 1 A の他の構成及び作用については第 1 の実施形態における光検査システム 1 と実質的に異ならないため同一の構成又は対応する構成については同符号を付して説明を省略する。

【 0 0 8 9 】

光ファイバセンサ 3 では、超音波振動に限らず他の要因で被検査対象 O を伝播する振動による微小な変位の時間変化や被検査対象 O に生じた微小な変位を光信号の波長変化として検出することができる。このため、光ファイバセンサ 3 で被検査対象 O の変位を検出し、変位の時間変化に対応する波長の時間変化を有する光信号を出力することができる。

【 0 0 9 0 】

この場合、例えば、信号処理部 7 において被検査対象 O の歪量を検査内容として取得することができる。被検査対象 O の歪量が検出対象である場合には、光ファイバセンサ 3 は歪センサとして機能することになる。また、被検査対象 O の歪量が検出対象である場合には、被検査対象 O の歪量以外の振動等が光信号への外乱となる。このため、被検査対象 O の歪量以外の状態を表す加速度等のパラメータの値に応じて光フィルタ 6 の波長特性を補正することができる。これにより、被検査対象 O の歪量の変化に起因して強度が変化する光信号を光フィルタ 6 から出力させることができる。

【 0 0 9 1 】

検査内容の別の例として、被検査対象 O が複合材である場合には、アコースティック・エミッション (AE: Acoustic Emission) による振動の検出によって欠陥の発生を検知するようにしてもよい。AE は、複合材が変形する際、或いは複合材に亀裂が発生する際に、複合材に蓄えられていた歪エネルギーが弾性波として放出される現象である。

【 0 0 9 2 】

(第 3 の実施形態)

図 8 は本発明の第 3 の実施形態に係る光検査システムの構成図である。

【 0 0 9 3 】

図 8 に示された第 3 の実施形態における光検査システム 1 B は、光フィルタ 6 として F

10

20

30

40

50

B G又はP S - F B Gを用いた点が第 1 の実施形態における光検査システム 1 と相違する。第 3 の実施形態における光検査システム 1 B の他の構成及び作用については第 1 の実施形態における光検査システム 1 と実質的に異ならないため同一の構成又は対応する構成については同符号を付して説明を省略する。

【 0 0 9 4 】

F B G 及び P S - F B G も波長ごとに異なる強度の光を透過又は反射させる透過特性及び反射特性を有する。このため、光ファイバセンサ 3 から出力される光信号の波長スペクトルとオーバーラップするように透過特性又は反射特性が決定された F B G 又は P S - F B G を光ファイバセンサ 3 から出力される光信号の経路上に配置すれば、F B G 又は P S - F B G を、波長の時間変化を有する光信号を、強度の時間変化を有する光信号に変換する光フィルタ 6 として機能させることができる。F B G 又は P S - F B G を光フィルタ 6 として機能させる例については、例えば日本国特開 2 0 1 4 - 1 5 3 0 9 4 号公報に様々なバリエーションが開示されている。

10

【 0 0 9 5 】

尚、図 8 に示す例では、光ファイバセンサ 3 の数が 1 つであるが、複数の光ファイバセンサ 3 が配置される場合においても、各光ファイバセンサ 3 から出力される光信号が F B G 又は P S - F B G で構成される光フィルタ 6 を区別可能な状態で経由するように光学系を構成すれば、同様な超音波検査が可能である。例えば、各光ファイバセンサ 3 にそれぞれ F B G 又は P S - F B G を接続することができる。或いは、複数の光ファイバセンサ 3 から出力される光信号を切換えて共通の F B G 又は P S - F B G に出力できるように光学系を構成することもできる。

20

【 0 0 9 6 】

もちろん、第 2 の実施形態における光検査システム 1 A の光フィルタ 6 として F B G 又は P S - F B G を用いるようにしても良い。換言すれば第 3 の実施形態において超音波の発振を行わないようにしても良い。

【 0 0 9 7 】

(他の実施形態)

以上、特定の実施形態について記載したが、記載された実施形態は一例に過ぎず、発明の範囲を限定するものではない。ここに記載された新規な方法及び装置は、様々な他の様式で具現化することができる。また、ここに記載された方法及び装置の様式において、発明の要旨から逸脱しない範囲で、種々の省略、置換及び変更を行うことができる。添付された請求の範囲及びその均等物は、発明の範囲及び要旨に包含されているものとして、そのような種々の様式及び変形例を含んでいる。

30

【符号の説明】

【 0 0 9 8 】

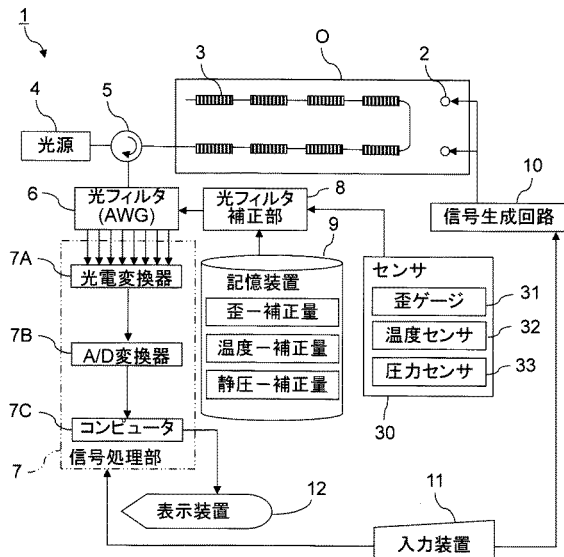
- 1、 1 A、 1 B 光検査システム
- 2 超音波振動子
- 3 光ファイバセンサ
- 4 光源
- 5 光サーキュレータ
- 6 光フィルタ
- 7 信号処理部
- 7 A 光電変換器
- 7 B A / D 変換器
- 7 C コンピュータ
- 8 光フィルタ補正部
- 8 A ペルチェ素子
- 8 B 直流電源
- 8 C 電源制御装置
- 9 記憶装置

40

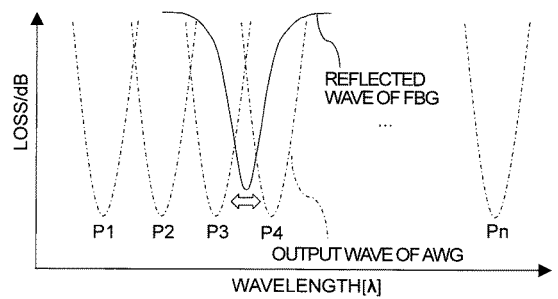
50

- 1 0 信号生成回路
- 1 1 入力装置
- 1 2 表示装置
- 2 0 A W G
- 2 1 入力側スラブ導波路
- 2 2 出力側スラブ導波路
- 2 3 曲線チャネル導波路
- 3 0 センサ
- 3 1 歪ゲージ
- 3 2 温度センサ
- 3 3 圧力センサ
- 0 被検査対象

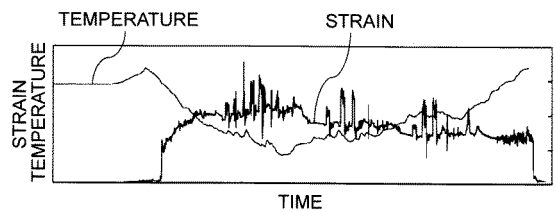
【 図 1 】



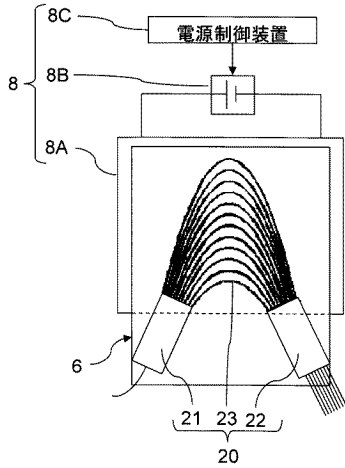
【 図 2 】



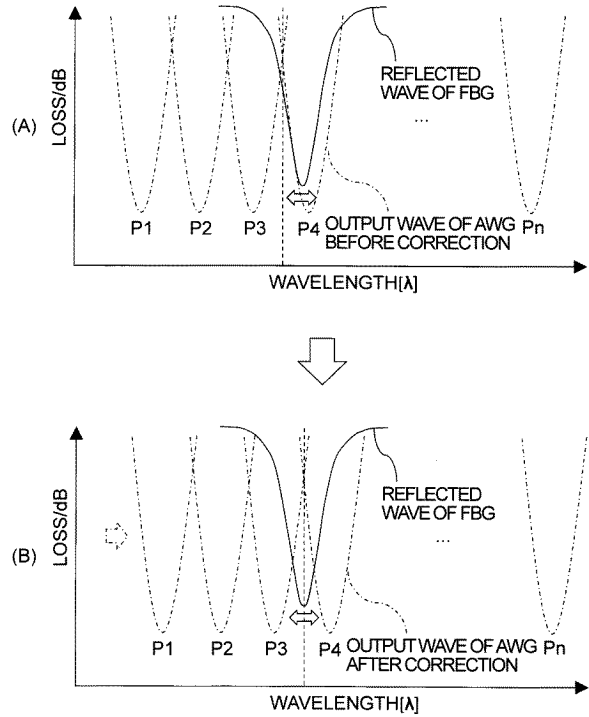
【 図 3 】



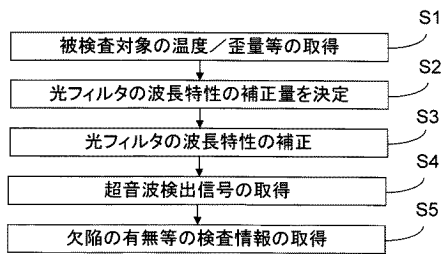
【 図 4 】



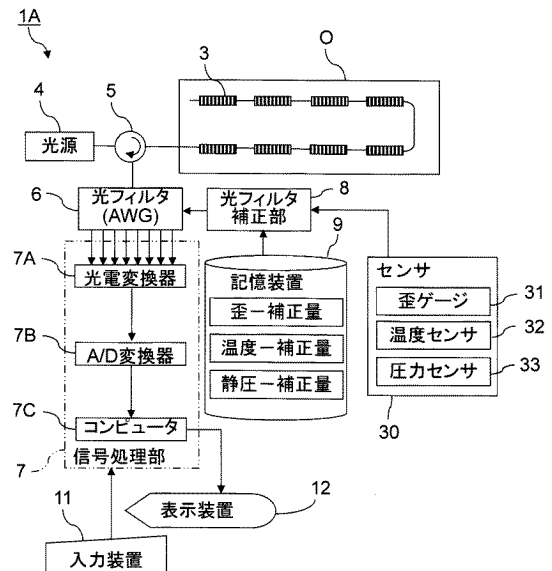
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【図8】

