

(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2015-114227

(P2015-114227A)

(43) 公開日 平成27年6月22日 (2015.6.22)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
GO1K 11/12 (2006.01) GO1K 11/12 F 2F056

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2013-257012 (P2013-257012)
 (22) 出願日 平成25年12月12日 (2013.12.12)

(71) 出願人 000006507
 横河電機株式会社
 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号
 (72) 発明者 竹内 伸成
 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横
 河電機株式会社内
 Fターム(参考) 2F056 VF02 VF12

(54) 【発明の名称】 光ファイバ温度分布測定装置

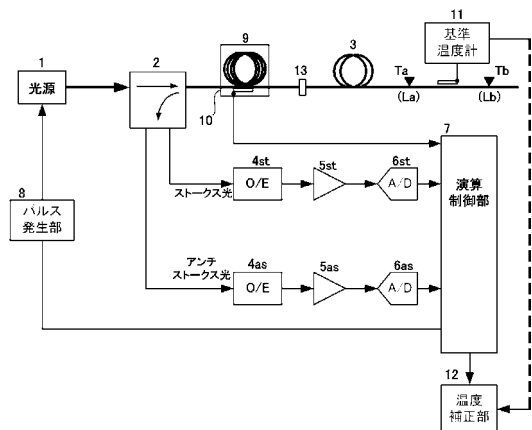
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 温度補正処理を簡略化するとともに、補正精度の向上を図れる光ファイバ温度分布測定装置を提供する。

【解決手段】 光ファイバをセンサとして用い、ラマン後方散乱光を利用して前記光ファイバに沿った温度分布を測定するように構成された光ファイバ温度分布測定装置において、前記光ファイバ上の異なる2点の位置La、Lbで温度計により測定された実温度と光ファイバ温度分布測定装置自身による測定温度を用いて次式に基づき損失補正值Lossを求めることを特徴とする。

$$Loss = ((1/Ta - 1/Tb) - (1/Ta' - 1/Tb')) / A, Ta;$$
 温度計で測定された位置Laの実温度、Tb; 温度計で測定された位置Lbの実温度、Ta'; 位置Laにおける光ファイバ温度分布測定装置自身による測定温度、Tb'; 位置Lbにおける光ファイバ温度分布測定装置自身による測定温度、A; 係数

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ファイバをセンサとして用い、ラマン後方散乱光を利用して前記光ファイバに沿った温度分布を測定するように構成された光ファイバ温度分布測定装置において、

前記光ファイバ上の異なる 2 点の位置 L_a 、 L_b で温度計により測定された実温度と光ファイバ温度分布測定装置自身による測定温度を用いて次式に基づき損失補正值 Loss を求めることを特徴とする光ファイバ温度分布測定装置。

$$\text{Loss} = ((1/T_a - 1/T_b) - (1/T_{a'} - 1/T_{b'})) / A$$

T_a ; 位置 L_a の実温度

T_b ; 位置 L_b の実温度

$T_{a'}$; 位置 L_a における光ファイバ温度分布測定装置自身による測定温度

$T_{b'}$; 位置 L_b における光ファイバ温度分布測定装置自身による測定温度

A ; 係数

10

【請求項 2】

前記求めた損失補正值 Loss を用いて前記光ファイバの温度分布を演算することを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ温度分布測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、後方ラマン散乱光を利用した光ファイバ温度分布測定装置に関し、詳しくは、温度補正の改善に関する。

20

【背景技術】

【0002】

光ファイバをセンサとして用いた分布型測定装置の一種に、光ファイバに沿った温度分布を測定するように構成された光ファイバ温度分布測定装置がある。この技術は光ファイバ内で発生する後方散乱光を利用している。なお、以下の説明では、光ファイバ温度分布測定装置を必要に応じて DTS (Distributed Temperature Sensor) とも表記する。

【0003】

後方散乱光には、レイリー散乱光、ブリルアン散乱光、ラマン散乱光などがあるが、温度測定には温度依存性の高い後方ラマン散乱光が利用され、この後方ラマン散乱光を波長分波して測定を行う。後方ラマン散乱光には、入射光の波長に対して短い波長側に発生するアンチストークス光 AS と、長い波長側に発生するストークス光 ST がある。

30

【0004】

光ファイバ温度分布測定装置は、これらアンチストークス光の強度 I_{as} とストークス光の強度 I_{st} とを測定してその強度比から温度を算出し、光ファイバに沿った温度分布を表示するものであり、プラント設備の温度管理、防災関連の調査・研究、発電所や大型建設物の空調関連などの分野で利用されている。

【0005】

図 9 は、光ファイバ温度分布測定装置の基本構成例を示すブロック図である。図 9 において、光源 1 は光分波器 2 の入射端に接続され、光分波器 2 の入出射端には光ファイバ 3 が接続され、光分波器 2 の一方の出射端には光電変換器 (以下 O/E 変換器という) 4 st が接続され、光分波器 2 の他方の出射端には O/E 変換器 4 as が接続されている。

40

【0006】

O/E 変換器 4 st の出力端子にはアンプ 5 st および A/D 変換器 6 st を介して演算制御部 7 に接続され、O/E 変換器 4 as の出力端子にはアンプ 5 as および A/D 変換器 6 as を介して演算制御部 7 に接続されている。なお、演算制御部 7 は、パルス発生部 8 を介して光源 1 に接続されている。

【0007】

光源 1 としてはたとえばレーザダイオードが用いられ、パルス発生部 8 を介して入力される演算制御部 7 からのタイミング信号に対応したパルス光を出射する。光分波器 2 は、

50

その入射端に光源 1 から出射されたパルス光が入射され、その入射端から出射されたパルス光を光ファイバ 3 に出射し、光ファイバ 3 内で発生した後方ラマン散乱光をその入射端から入射してストークス光 S T とアンチストークス光 A S に波長分離する。光ファイバ 3 は、その入射端から光分波器 2 から出射されたパルス光を入射し、光ファイバ 3 内で発生した後方ラマン散乱光をその入射端から光分波器 2 に向けて出射する。

【 0 0 0 8 】

O / E 変換器 4 st および 4 as としてはたとえばフォトダイオードが用いられ、O / E 変換器 4 st には光分波器 2 の一方の出射端から出射されたストークス光 S T が入射され、O / E 変換器 4 as には光分波器 2 の他方の出射端から出射されたアンチストークス光 A S が入射されて、それぞれ入射光に対応する電気信号を出力する。

10

【 0 0 0 9 】

アンプ 5 st および 5 as は、O / E 変換器 4 st および 4 as から出力された電気信号をそれぞれ増幅する。A / D 変換器 6 st および 6 as は、アンプ 5 st および 5 as から出力された信号をそれぞれデジタル信号に変換する。

【 0 0 1 0 】

演算制御部 7 は、A / D 変換器 6 st および 6 as から出力されたデジタル信号に基づいて後方散乱光の 2 成分、すなわち、ストークス光 S T とアンチストークス光 A S の強度比から温度を演算し、その時系列に基づいて光ファイバ 3 に沿った温度分布を表示手段 (図示せず) に表示する。なお、演算制御部 7 にはあらかじめ、強度比と温度の関係がテーブルや式の形で記憶されている。また、演算制御部 7 は、光源 1 にタイミング信号を送り、光源 1 から出射される光パルスのタイミングを制御する。

20

【 0 0 1 1 】

次に温度分布測定の原理を説明する。ストークス光 S T およびアンチストークス光 A T の信号強度を光源 1 における発光タイミングを基準にした時間の関数として表すと、光ファイバ 3 中の光速が既知であるので、光源 1 を基準にして光ファイバ 3 に沿った距離の関数に置き換えることができる。すなわち、横軸を距離とし、光ファイバの各距離位置で発生したストークス光 S T およびアンチストークス光 A S の強度、つまり距離分布とみなすことができる。

【 0 0 1 2 】

一方、アンチストークス光強度 I as とストークス光強度 I st はいずれも光ファイバ 3 の温度に依存し、さらに、両光の強度比 I as / I st も光ファイバ 3 の温度に依存する。したがって、強度比 I as / I st が分かればラマン散乱光が発生した箇所の温度を知ることができる。ここで、強度比 I as / I st は距離 x の関数 I as (x) / I st (x) であるから、この強度比 I as (x) / I st (x) から光ファイバ 3 に沿った温度分布 T (x) を求めることができる。

30

【 0 0 1 3 】

図 1 0 は従来の光ファイバ温度分布測定装置の他の例を示すブロック図であり、図 9 と共通する部分には同一の符号を付けている。

【 0 0 1 4 】

図 1 0 において、光分波器 2 と光ファイバ 3 との間には数十 m 巻回された光ファイバよりなる温度基準部 9 がコネクタ接続部 1 3 を介して設けられていて、この温度基準部 9 には実際の温度を測定するためのたとえば白金測温抵抗体よりなる温度計 1 0 が設けられている。この温度計 1 0 の出力信号は、演算制御部 7 に入力されている。なお、温度センサとして用いる光ファイバ 3 の近傍にも、実際の温度を測定するためのたとえば白金測温抵抗体よりなる基準温度計 1 1 が設けられている。

40

【 0 0 1 5 】

このような構成において、光ファイバ 3 のある区間の温度を T (K) とすると、温度が T (K) の位置から後方散乱されるアンチストークス光 A S とストークス光 S T との強度比は、(1) 式で求められる。

【 0 0 1 6 】

50

$$\frac{I_{as}}{I_{st}} = G_{as} \times \left(\frac{\nu_0 + \nu_r}{\nu_0 - \nu_r} \right)^4 \times \exp\left(-\frac{h \cdot C \cdot \nu_r}{k \cdot T} \right) \quad (1)$$

【 0 0 1 7 】

G_{as} : アンチストークスASとストークスST測定系の利得の比

ν_0 : 光源 1 の光波数

ν_r : 光ファイバ 3 のラマンシフト波数

h : プランク定数 (6.626×10^{-34} Js)

k : ボルツマン定数 (1.38×10^{-23} JK⁻¹)

ここで、

【 0 0 1 8 】

$$L_n = G_{as} \times \left(\frac{\nu_0 + \nu_r}{\nu_0 - \nu_r} \right)^4 \quad (2)$$

【 0 0 1 9 】

とした場合、実際のシステムでは L_n は未知であるが、この値は、温度基準部 9 に設けられている温度計 10 の温度データから以下のように求めることができる。

【 0 0 2 0 】

温度基準部 9 に設けられている温度計 10 の温度を T_0 、温度基準部 9 に用いる光ファイバから後方散乱されるアンチストークス光 AS とストークス光 ST の強度比 I_{as}/I_{st} を $G_0(T_0)$ とすると、式 (1)、(2) から、

【 0 0 2 1 】

$$L_n = G_0(T_0) \times \exp\left(\frac{h \cdot C \cdot \nu_r}{k \cdot T_0} \right) \quad (3)$$

【 0 0 2 2 】

となる。

この値を使い、光ファイバ 3 の温度が T (K) の位置から後方散乱されるアンチストークス光 AS とストークス光 ST の光強度比 (I_{as}/I_{st}) から温度 T を求める式は、式 (1)、(3) から、

【 0 0 2 3 】

$$\begin{aligned} T &= \frac{h \cdot C \cdot \nu_r}{k} \times \frac{1}{-\log\left(\frac{I_{as}}{I_{st}}\right) + \log(L_n)} \\ &= \frac{h \cdot C \cdot \nu_r}{k} \times \frac{1}{-\log\left(\frac{I_{as}}{I_{st}}\right) + \log(G_0(T_0)) + \frac{h \cdot C \cdot \nu_r}{k \cdot T_0}} \end{aligned} \quad (4)$$

【 0 0 2 4 】

となる。

なお、ここでは、光ファイバ 3 のラマンシフト波数と温度基準部 9 に用いる光ファイバのラマンシフト波数は同一と仮定している。

実際には装置本体と光ファイバ 3 の接続部分 13 での損失や、光ファイバ 3 の真のラマンシフト波数と計算に使っているラマンシフト波数との違いによる誤差が生じるため、光ファイバ 3 の近傍に配置した基準温度計 11 を使って真の温度を測定しておき、温度計算に用いるラマンシフト波数 (ν_r) の微調整や、式 (4) で求めた温度 T に対し係数やオフセットによる補正を行っている。

また、実際には、アンチストークス光 AS とストークス光 ST が光ファイバを伝搬する際の光ファイバ損失が若干異なるため、この損失差に対する補正があらかじめ行われてい

10

20

30

40

50

るものとする。

【0025】

係数およびオフセット補正の例としては次のような方法がある。

$$T_r = A \times T + C \quad (5)$$

T_r : 補正後の温度(K)

T : 補正前の温度(K)

A : 係数補正值

C : オフセット補正值

【0026】

また、接続部13での損失や温度基準部9に用いる光ファイバと、センサとして用いる光ファイバ3のラマンシフト波数の違いによる誤差を無くすために、たとえば特許文献1に開示されているように、温度計算のための基準となる温度基準部を装置外部の測定用光ファイバの経路に設ける方法が提案されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0027】

【特許文献1】特開2008-249515号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0028】

しかし、図10に示す従来の構成によれば、光ファイバ3における損失は考慮されていないことから、得られる温度測定結果は光ファイバ3における損失の影響を含むものであり、高精度の温度測定結果を得るためには光ファイバ3における損失を的確に把握しなければならぬという課題があった。

20

【0029】

また、特許文献1に開示されているように、温度演算のための基準となる温度基準部を装置本体外部の測定用光ファイバの経路に設ける場合には、それらの構成が複雑になるとともに、温度基準部を測定用光の設置現場で構築しなければならず、温度補正に関わる作業が複雑になってしまうという問題もある。

【0030】

本発明はこれらの課題を解決するもので、その目的は、温度補正処理を簡略化するとともに、光ファイバ3における損失を的確に把握することにより補正精度の向上が図れる光ファイバ温度分布測定装置を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0031】

このような課題を達成するために、本発明のうち請求項1記載の発明は、光ファイバをセンサとして用い、ラマン後方散乱光を利用して前記光ファイバに沿った温度分布を測定するように構成された光ファイバ温度分布測定装置において、前記光ファイバ上の異なる2点の位置La、Lbで温度計により測定された実温度と光ファイバ温度分布測定装置自身による測定温度を用いて次式に基づき損失補正值Lossを求めることを特徴とする。

40

$$\text{Loss} = ((1/T_a - 1/T_b) - (1/T_{a'} - 1/T_{b'})) / A$$

T_a ; 温度計で測定された位置Laの実温度

T_b ; 温度計で測定された位置Lbの実温度

$T_{a'}$; 位置Laにおける光ファイバ温度分布測定装置自身による測定温度

$T_{b'}$; 位置Lbにおける光ファイバ温度分布測定装置自身による測定温度

A ; 係数

【0032】

請求項2記載の発明は、

請求項1に記載の光ファイバ温度分布測定装置において、

50

前記求めた損失補正值Lossを用いて前記光ファイバの温度分布を演算することを特徴とする。

【発明の効果】

【0033】

本発明によれば、温度校正処理を簡略化するとともに、高精度の温度補正が行える光ファイバ温度分布測定装置を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0034】

【図1】本発明の一実施例を示すブロック図である。

【図2】本発明に基づく測定処理の流れを説明するフローチャートである。

10

【図3】温度分布特性例図である。

【図4】図1のブロック図における演算制御部7と温度補正部12の具体例を示すブロック図である。

【図5】本発明の他の実施例を示すブロック図である。

【図6】図5の動作の流れを説明するフローチャートである。

【図7】本発明の他の実施例を示すブロック図である。

【図8】図7のブロック図における表示部16の表示画面例図である。

【図9】光ファイバ温度分布測定装置の基本構成例を示すブロック図である。

【図10】従来の光ファイバ温度分布測定装置の一例を示すブロック図である。

【発明を実施するための最良の形態】

20

【0035】

以下、本発明の実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。図1は本発明の一実施例を示すブロック図であり、図10と共通する部分には同一の記号を付して重複する説明は省略する。図1と図10の相違点は、図1では演算制御部7に温度補正部12が接続されていることと、光ファイバ3上の位置が異なる2位置LaとLbで基準温度計11により温度を測定して所定の演算式に基づき損失補正值を求めることである。

【0036】

温度補正部12は、温度センサとして用いる光ファイバ3上の異なる2点の位置LaとLbの近傍における基準温度計11による温度測定データと本発明による補正式を用いて装置本体の演算制御部7で演算される温度に対する補正を行い、高精度の温度測定結果を出力する。

30

【0037】

ここで、光ファイバ3上における光分波器2から位置Laまでの距離はたとえば100mとして位置Lbまでの距離はたとえば310mとし、これら位置LaとLbの空間分解能程度(たとえば1m)の近傍区間内では温度が一定であり、温度測定処理を行うのに要するたとえば1分間程度の間の温度変化は少なく安定しているものとする。光ファイバ3の温度は必ずしも一様でなくてもよく、たとえば位置Lb付近の温度が他の場所より高くてもよい。

【0038】

図1の構成における本発明に基づく具体的な演算処理について説明する。

40

基準温度計11で測定した位置Laの実温度をTa(K)、位置Lbの実温度をTb(K)とし、一般的な光ファイバ温度分布測定装置により測定した位置Laの温度をTa'(K)とし、位置Lbの温度をTb'(K)とする。

【0039】

位置LaとLb間の損失補正值をLoss(dB)とすると、Lossは(6)式で求めることができる。

$$\text{Loss} = ((1/Ta - 1/Tb) - (1/Ta' - 1/Tb')) / A \quad (6)$$

ここで、Aは $A = 10 * k / (h * C * \lambda_r * \log(e))$ で求められる係数であって、kはボルツマン定数、hはプランク定数、Cは光速(m/s)、 λ_r はシフト波数(1/m)、eは自然対数の底である。なお、10やlog(e)はLossの単位をdBにするための係数であり、必ずしも式(6)

50

の係数として限定するものではない。

【0040】

式(6)について説明する。

光ファイバ温度分布測定装置が受光するアンチストークス光ASとストークス光STの強度比は、(7)式で示される。

$$I_{as}/I_{st} = ((\nu_0 + \nu_s)^4 / (\nu_0 - \nu_s)^4) \exp(-h \cdot C \cdot \nu_s / (k \cdot T)) \quad (7)$$

ここで、 I_{as} はAS光強度(W)、 I_{st} はST光強度(W)、 ν_0 は出射光波数(1/m)、 T は絶対温度(K)である。

【0041】

式(6)の両辺に常用対数を取って10倍すると、(8)式のようになる。

$$10 \cdot \log(I_{as}/I_{st}) = 10 \cdot \log((\nu_0 + \nu_s)^4 / (\nu_0 - \nu_s)^4 \exp(-h \cdot C \cdot \nu_s / (k \cdot T))) \quad (8)$$

【0042】

温度 T が T_{ref} 、 T_a 、 T_b のそれぞれの場合において、従来技術を用いて式(8)を整理すると、それぞれ以下のように示される。

$$1/T_a = 1/T_{ref} - A(R(T_a) - R(T_{ref})) \quad (9)$$

$$1/T_b = 1/T_{ref} - A(R(T_b) - R(T_{ref})) \quad (10)$$

ここで、 $A = 10 \cdot k / (h \cdot C \cdot \nu_s \cdot \log(e))$ であり、 $R(T_{ref})$ 、 $R(T_a)$ 、 $R(T_b)$ は、温度 T がそれぞれ T_{ref} 、 T_a 、 T_b の場合のそれぞれの式(8)の左辺を示す。

【0043】

T_{ref} は温度演算にあたって温度基準部9として用いる光ファイバの温度、 T_a は位置 L_a における光ファイバ3の温度、 T_b は位置 L_b における光ファイバ3の温度とする。なお、前述のように、位置 L_a と L_b は異なる位置とし、 T_a と T_b は異なる温度とし、光ファイバ3のアンチストークス光ASとストークス光STの損失には差があるものとする。

【0044】

式(9)の両辺から式(10)の両辺を引くと、

$$1/T_a - 1/T_b = A(-R(T_a) + R(T_b)) \quad (11)$$

になり、 $R(T_{ref})$ が消去される。

なお、式(11)が成り立つためには、既に $R(T_a)$ 、 $R(T_b)$ について損失補正が行われていることが必要である。

【0045】

これらの損失補正が行われていないときは、光ファイバ3のアンチストークス光ASとストークス光STに損失差があるので光ファイバ温度分布測定装置は正確な温度測定ができない。この様子を式(11)と同様の形式で示すと、

$$\begin{aligned} 1/T_a' - 1/T_b' &= A(-R(T_a) - \text{Loss}(a) + R(T_b) + \text{Loss}(b)) \\ &= A(-R(T_a) + R(T_b)) + A(-\text{Loss}(a) + \text{Loss}(b)) \end{aligned} \quad (12)$$

【0046】

ここで、 T_a' は光ファイバ温度分布測定装置による位置 L_a の測定温度、 T_b' は光ファイバ温度分布測定装置による位置 L_b の測定温度、 $\text{Loss}(a)$ は位置 L_a でのST光とAS光の損失差、 $\text{Loss}(b)$ は位置 L_b でのST光とAS光の損失差である。

【0047】

式(12)の右辺の第1項を式(11)の左辺に置き替えることにより、

$$\text{Loss}(a) - \text{Loss}(b) = \text{Loss}$$

として式(12)を整理すると、前述の式(6)が求められる。

【0048】

位置 L_a と L_b の2点間の損失補正值は式(6)で求めることができるが、式(6)は光ファイバ3の損失が一樣でない場合における位置 L_a と L_b の2点間においても成立する。

【0049】

光ファイバ3の損失が一樣の場合には、単位長当たりの損失補正值UnitLossは、

10

20

30

40

50

UnitLoss = Loss / (Db - Da) (1 3)

ここで、Daは光分波器2からの位置Laまでの光ファイバ長、Dbは光分波器2から位置Lbまでの光ファイバ長であり、Db > Daとする。

【0050】

式(6)に用いる光ファイバ温度分布測定装置の温度測定値Ta'、Tb'にはシフト波数を用いて演算することが必要であり、既知でなければたとえば特許第5152540号に記載されている手法を用いればよい。ただし、従来の手法ではストークス光STとアンチストークス光ASの損失補正を事前に求めているが、本発明では損失補正を行わずに求めたシフト波数を用いて温度分布の演算を行う。

【0051】

従来の手法で温度校正を行う場合、損失補正を行わないと温度校正を行った位置1点の温度を正確に求めることができるものの、その他の場所では正確に温度を求めることができない。ただし、予め損失補正を行えば、光ファイバ全長において正確な温度を求めることができる。この段階では、未だ損失補正は行われていない。

【0052】

図2は、本発明に基づく測定処理の流れを説明するフローチャートである。はじめに、図1のように構成された光ファイバ温度分布測定装置を用いて、光ファイバ3の温度分布を測定し、位置Laの温度Ta'(K)と、位置Lbの温度Tb'(K)を測定する(ステップS1)。この時点では図3(A)に示すような温度分布特性CH-Aが得られるが、損失補正が行われていないので、正確な温度は求められていない。図3(B)は図3(A)に示す温度分布特性CH-Aの拡大図であり、光ファイバ3の位置Laの温度Ta'と位置Lbの温度Tb'を示している。

【0053】

続いて、基準温度計11を用いて、位置Laの実温度Ta(K)と、位置Lbの実温度Tb(K)を測定する(ステップS2)。なお、ステップS1とS2は順序が逆でもよい。

【0054】

その後、式(6)に基づいて光ファイバ3の損失差、すなわち損失補正值を求める(ステップS3)。

【0055】

そして、求めた損失補正值を用い、光ファイバ温度分布測定装置による光ファイバ3の温度分布を演算する(ステップS4)。この結果、光ファイバ3の全長において正確な温度分布が求められる。

【0056】

なお、種類の異なる複数の光ファイバが直列に接続されている場合には、それぞれの光ファイバ毎に上記に示す損失補正を行えばよい。

【0057】

図4は、図1のブロック図における演算制御部7と温度補正部12の具体例を示すブロック図である。

【0058】

まず、演算制御部7は、式(4)で表される温度演算を行う温度演算部7aを中心に、プランク定数hおよびボルツマン定数kを格納する定数格納部7b、装置内部の基準温度部9のラマンシフト波数 σ_r を格納する内部基準温度部ラマンシフト波数格納部7c、装置内部の基準温度部9の温度測定値T₀を格納する内部基準温度格納部7d、装置内部の基準温度部9における光強度比G₀(T₀)を演算する内部基準温度部光強度比演算部7e、温度センサとして用いる光ファイバ3の光強度比I_{as}/I_{st}を演算するセンサ光強度比演算部7fなどで構成されている。

【0059】

そして、温度補正部12は、たとえば式(5)で表される温度補正演算を行う温度補正演算部12aを中心に、演算制御部7の温度演算部7aで演算された温度Tを格納する演算温度格納部12b、装置内部の基準温度部9のラマンシフト波数 σ_r を格納する内部基

10

20

30

40

50

準温度部ラマンシフト波数格納部 1 2 c、温度センサとして用いる光ファイバ 3 の近傍に設けられた基準温度計 1 1 で測定した基準温度 T_1 、 T_2 を格納するセンサ基準温度格納部 1 2 d、基準温度が T_1 、 T_2 の時の補正前の測定温度値 T_1' 、 T_2' を格納するセンサ基準温度部演算温度格納部 1 2 e、温度センサとして用いる光ファイバ 3 のラマンシフト波数 λ_1 を演算するセンサラマンシフト波数演算部 1 2 f、光ファイバ 3 の基準温度測定位置情報を格納するセンサ基準温度位置格納部 1 2 g、光ファイバ 3 の基準温度測定位置 L_a と L_b 間における損失補正值 Loss を演算する位置間損失補正值演算部 1 2 h などによって構成されている。

【0060】

次に、損失補正值とシフト波数を同時に求める場合について本発明を説明する。

図 5 は本発明の他の実施例を示すブロック図であり、図 1 と共通する部分には同一の符号を付けている。図 5 では、図 1 の一方の位置 L_a に、他方の位置 L_b との間に温度差を設定するための温度可変部 1 4 が追加されている。

【0061】

図 6 は、図 5 の動作の流れを説明するフローチャートである。

はじめに、位置 L_a を任意の温度に設定する（ステップ S 1）。次に、位置 L_a の温度を光ファイバ温度分布装置および温度計で測定する（ステップ S 2）。その後、位置 L_a を別の温度に設定する（ステップ S 3）。位置 L_a の温度を光ファイバ温度分布装置および温度計で測定する（ステップ S 4）。ステップ S 2 の測定結果とステップ S 4 の測定結果に基づきシフト波数を求める（ステップ S 5）。

【0062】

求めたシフト波数を用いて位置 L_a 、 L_b の温度を光ファイバ温度分布装置で測定する（ステップ S 6）。位置 L_a 、 L_b の温度を温度計で測定する（ステップ S 7）。これらの測定結果に基づき、光ファイバの損失差を求める（ステップ S 8）。求めた損失差に基づいて光ファイバに対する損失補正を行う（ステップ S 9）。

【0063】

これにより、光ファイバ全長に渡って正確に温度分布を求めることができる。

【0064】

温度可変部 1 4 を用いない場合に位置 L_a と L_b の温度が異なる条件であれば、ステップ S 1 または S 3 の片方の温度は、温度可変部 1 4 を用いて設定する必要はない。この場合には温度可変部 1 4 は複数の温度を可変することなく、異なる 1 つの温度だけを設定できればよい。

【0065】

図 7 も本発明の他の実施例を示す機能ブロック図であり、図 1 および図 5 と共通する部分には同一の符号を付けている。図 7 において、演算制御部 7 には、バス B を介して測定部 1 5、表示部 1 6、設定部 1 7 などが接続されている。

【0066】

演算制御部 7 は、たとえば図 2 や図 6 のアルゴリズムを実行して式 (6) に示すような補正值を求めることにより、測定部 1 5 による測定結果の演算処理を実行する。

【0067】

測定部 1 5 には光ファイバ 3 が接続されていて、温度分布を測定する。

【0068】

表示部 1 6 は、たとえば図 8 の表示画面例に示すように、測定位置 L_a 、 L_b における温度計による温度の測定結果と D T S（光ファイバ温度分布測定装置）による温度の測定結果とを比較照合できるように並べて表示する。

【0069】

図 8 において、測定位置 L_a を A 点として測定対象温度を T_a とし、測定位置 L_b を B 点として測定対象温度を T_1 と T_2 としている。そして、これら各測定点における測定対象温度を温度計と D T S とで並行して測定することにより、それらの測定結果を並べて表示する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 0 】

セルグループ S G 1 は従来の手法によるシフト波数算出に必要な項目であり、この事例では B 点における温度計と D T S の測定温度を表示している。セルグループ S G 2 は A 点と B 点を区別する表題であり、セルグループ S G 3 は A 点の温度計と D T S の温度測定値を表示している。セルグループ S G 4 は A 点と B 点の位置を表示している。

【 0 0 7 1 】

なお、表示画面は図 8 の例に限るものではなく、たとえばさらに損失補正値を追加してもよい。

【 0 0 7 2 】

表示部 1 6 に設定部 1 7 の設定操作に必要な項目を一覧表示することにより、設定部 1 7 の設定操作性を大幅に改善できる。

【 0 0 7 3 】

設定部 1 7 は、たとえば表示部 1 6 に表示すべき測定温度の測定対象を設定する。これにより、演算制御部 7 は、たとえば設定された温度に基づいて測定対象の損失補正値を計算する。

【 0 0 7 4 】

具体的な設定例を以下に示す。

最初に B 点でシフト波数を設定する。

B 点の位置 310m

光ファイバ温度 (温度計の測定温度) 25.8 (T1)

シフト波数設定前、損失補正前の DTS 測定温度 22.6 (T1 ')

光ファイバ温度 (温度計の測定温度) 65.9 (T2)

シフト波数設定前、損失補正前の DTS 測定温度 77.9 (T2 ')

シフト波数設定後、損失補正前の DTS 測定温度 65.9

【 0 0 7 5 】

次に A 点と B 点で損失補正を行う。

A 点の位置 100m

光ファイバ温度 (温度計の測定温度) 25.9 (Ta)

損失補正前の DTS 測定温度 28.4 (Ta ')

損失測定後の DTS 測定温度 25.9

【 0 0 7 6 】

B 点の位置 310m

光ファイバ温度 (温度計の測定温度) 65.9 (Tb、Tb=T2 とした)

損失補正前の DTS 測定温度 65.9 (Tb ')

損失測定後の DTS 測定温度 65.9

【 0 0 7 7 】

ここで、3 者の温度が一致しているのは B 点でシフト波数を求め、B 点で D T S の温度オフセット補正を行ったことによる。

損失補正値 0.09dB (式 (6) による損失補正値)

0.44dB/km (式 (1 3) による単位長当たりの損失補正値)

【 0 0 7 8 】

本発明は、位置が異なる 2 点の光ファイバ温度と D T S 測定温度から式 (6) により D T S の損失補正値を求めるものである。

【 0 0 7 9 】

なお、損失補正を行う前にシフト波数を求めてもよいし、シフト波数を求めた後に損失補正を行ってもよい。

【 0 0 8 0 】

また、損失補正を求めるための 2 点の片方と、シフト波数を求める位置が等しくてもよい。

【 0 0 8 1 】

10

20

30

40

50

損失補正を求めるための2点の温度が異なる場合には、シフト波数を求めるために2点のうち片方の温度を別の温度に設定して、損失補正とシフト波数を求めるようにする。

【0082】

光ファイバ3の損失が均一の場合には、式(13)により単位長当たりの損失補正値を求める。

【0083】

損失補正を求めるパラメータとシフト波数を求めるパラメータを、表示画面上の同一位置あるいは近傍に設定手段を介して表示する。

【0084】

種類の異なる複数の光ファイバが接続されている場合には、それぞれの光ファイバについてこれらの一部または全部を適用すればよい。

10

【0085】

また、上記実施例では、ラマン散乱光の強度比を用いるタイムドメイン方式の装置の例について説明したが、本発明は周波数掃引方式の装置にも適用できるものである。

【0086】

以上説明したように、本発明によれば、温度校正処理を簡略化できるとともに、光ファイバ3における損失を的確に把握することにより高精度の温度補正が行える光ファイバ温度分布測定装置が実現できる。

【符号の説明】

【0087】

20

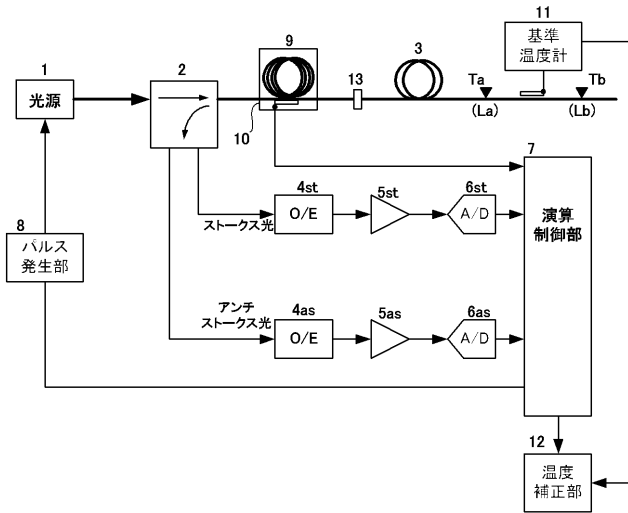
- 1 光源
- 2 光分波器
- 3 光ファイバ
- 4 st, 4 as O/E変換器
- 6 st, 6 as A/D変換器
- 7 演算制御部
 - 7 a 温度演算部
 - 7 b 定数格納部
 - 7 c 内部基準温度部ラマンシフト波数格納部
 - 7 d 内部基準温度格納部
 - 7 e 内部基準温度部光強度比演算部
 - 7 f センサ光強度比演算部
- 8 パルス発生部
- 9 温度基準部
- 10 温度計
- 11 基準温度計
- 12 温度補正部
 - 12 a 温度補正演算部
 - 12 b 演算温度格納部
 - 12 c 内部基準温度部ラマンシフト波数格納部
 - 12 d センサ基準温度格納部
 - 12 e センサ基準温度部演算温度格納部
 - 12 f センサラマンシフト波数演算部

30

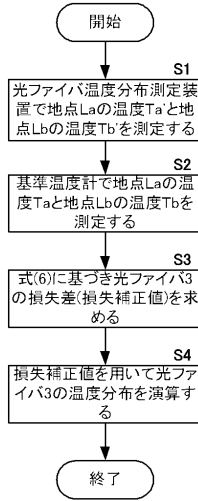
40

- 13 コネクタ接続部
- 15 測定部
- 16 表示部
- 17 設定部

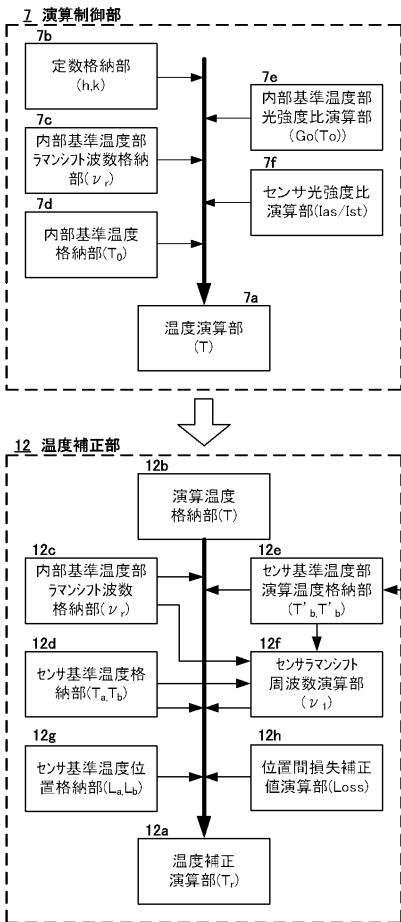
【図1】



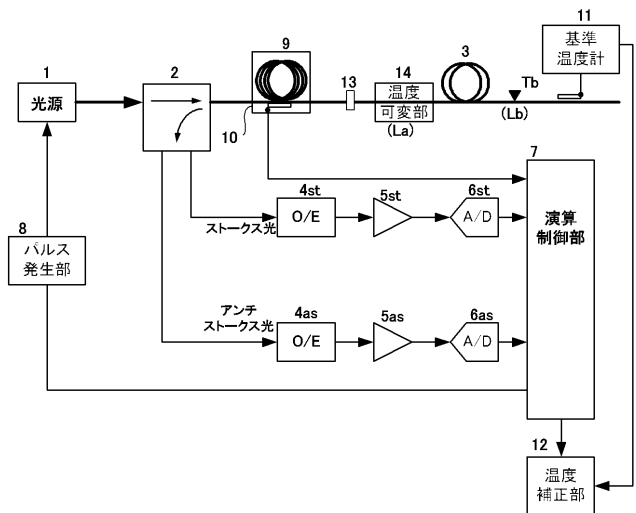
【図2】



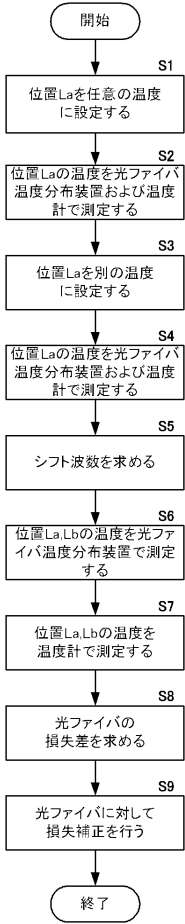
【図4】



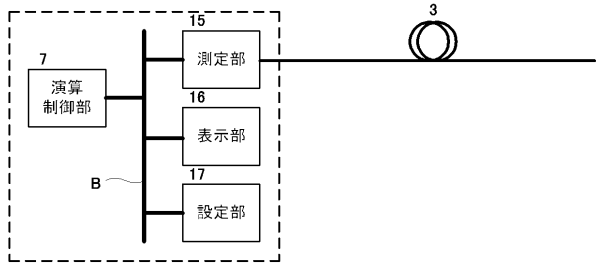
【図5】



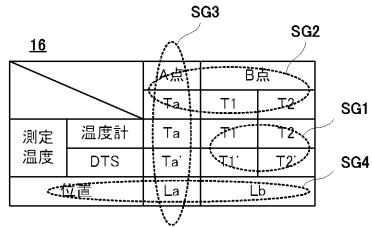
【図6】



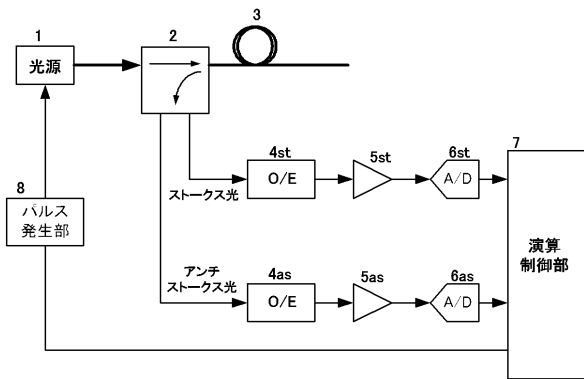
【図7】



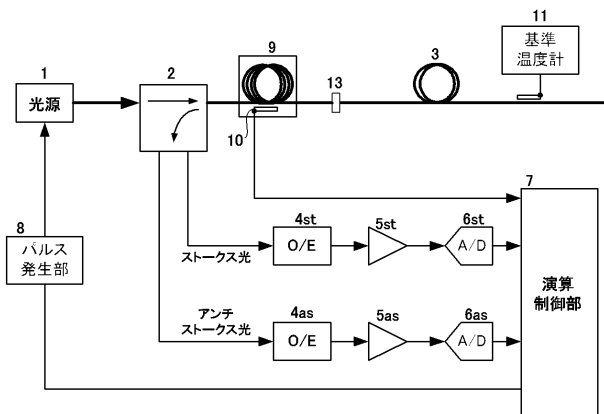
【図8】



【図9】

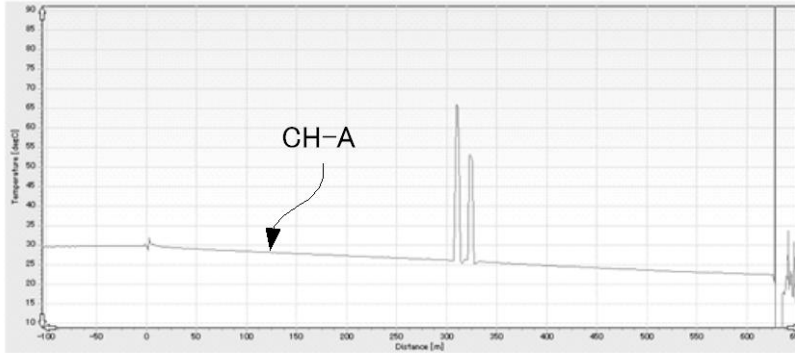


【図10】



【 図 3 】

(A)



(B)

