

(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2012-127779

(P2012-127779A)

(43) 公開日 平成24年7月5日(2012.7.5)

(51) Int.Cl.
G01K 11/12 (2006.01)F I
G O 1 K 11/12テーマコード (参考)
2 F 0 5 6

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2010-279099 (P2010-279099)
(22) 出願日 平成22年12月15日 (2010.12.15)(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 足立 正二
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 VF11

(54) 【発明の名称】 光ファイバ分布型測定装置

(57) 【要約】

【課題】 比較的安価な構成で光ファイバの線路損失を測定でき、常に正確な温度分布を測定できる装置を提供すること。

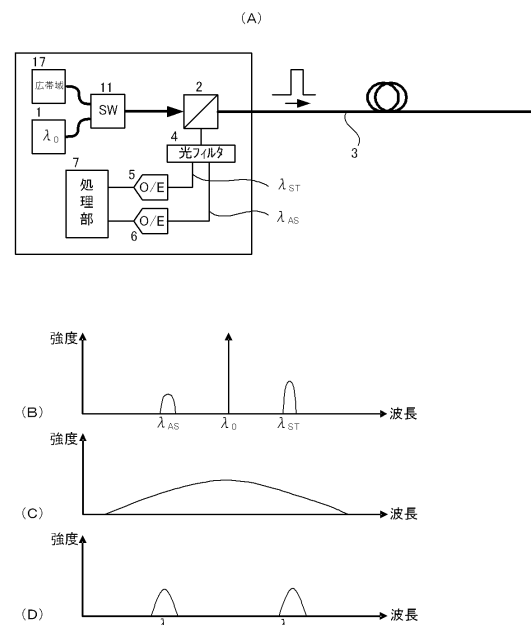
【解決手段】 光ファイバをセンサとして用い、ラマン後方散乱光を利用して前記光ファイバに沿った温度分布を測定するように構成された光ファイバ温度分布測定装置において、

波長 λ_{ST} のストークス光が受ける光ファイバの線路損失と波長 λ_{AS} のアンチストークス光が受ける光ファイバの線路損失を測定するための出力波長 λ_{ST} と出力波長 λ_{AS} を含む広帯域光源を設け、

これら光ファイバの線路損失測定結果に基づき、前記光ファイバに沿った温度分布の測定結果に含まれる前記光ファイバの線路損失の変動を補正することを特徴とするもの。

【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、

波長 λ_{ST} のストークス光が受ける光ファイバの線路損失と波長 λ_{AS} のアンチストークス光が受ける光ファイバの線路損失を測定するための出力波長 λ_{ST} と出力波長 λ_{AS} を含む広帯域光源を設け、

これら光ファイバの線路損失測定結果に基づき、前記光ファイバに沿った温度分布の測定結果に含まれる前記光ファイバの線路損失の変動を補正することの特徴とする光ファイバ分布型測定装置。

10

【請求項 2】

前記広帯域光源は、複数の広帯域光源モジュールの出力光を合波したものであることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ分布型測定装置。

【請求項 3】

前記広帯域光源は、LED 光源であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の光ファイバ分布型測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバ分布型測定装置に関し、詳しくは、光ファイバの損失特性に起因する測定誤差の補正に関するものである。

20

【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温度測定装置がある。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。

【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、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 3 は、従来の光ファイバ分布型測定装置の一例を示す説明図である。図 3 (A) において、光源 1 から波長 λ_0 の光パルスが送出され、方向性結合器 2 を介して被測定光ファイバ 3 に入力される。光ファイバ 3 の中で光パルスにより発生するラマン後方散乱光は、被測定光ファイバ 3 の入射端に向かって戻ってくる。

40

【0006】

この散乱光は、再び方向性結合器 2 を介して光フィルタ 4 に入力され、波長 λ_{ST} のストークス光成分と波長 λ_{AS} のアンチストークス光成分に分離される。分離されたストークス光成分は受光素子 5 に入力されて電気信号に変換され、アンチストークス光成分は受光素子 6 に入力されて電気信号に変換される。これら変換された電気信号は、処理部 7 に入力される。図 3 (B) は後方レーリー散乱光および後方ラマン散乱光のスペクトラムを示し、図 3 (C) は光フィルタ 4 の透過特性を示している。

【0007】

これら二つの信号強度を I_{ST} 、 I_{AS} とすると、その強度比 $R(T)$ は (1) 式で表される。この (1) 式より、光ファイバ 3 の温度を求めることができる。ただし、光ファイバ 3

50

中のどこか一区間（数メートル）の温度は何らかの方法（たとえば白金温度センサ）で測定し得るものとし、絶対温度校正はこの値から求める。

【0008】

$$R(T) = (\lambda_{ST}/\lambda_{AS})^4 \exp(-hc\Delta\nu/kT) \quad (1)$$

【0009】

ところが、実際に測定されるストークス光成分およびアンチストークス光成分は、測定対象とする温度による強度変化のみではなく、光ファイバ3の損失による変化も含んでいる。このため、温度に換算するのにあたっては、図4に示すように、光ファイバ3の損失を補正して演算を行う必要がある。さらに、測定されるストークス光とアンチストークス光は波長が異なるため、損失差を考慮した補正も必要になる。

10

【0010】

図4において、(A)はストークス後方散乱光強度を示すものであり、実線CH1は得られるストークス強度波形を表し、破線CH2は光ファイバ3の損失を表している。光ファイバ3の損失は、往路における光源1の出力波長 λ_0 の損失と復路における波長 λ_{ST} のストークス光成分の損失を含んでいる。

【0011】

(B)はアンチストークス後方散乱光強度を示すものであって、実線CH3は得られるアンチストークス強度波形を表し、破線CH4は光ファイバ3の損失を表している。光ファイバ3の損失は、往路における光源1の出力波長 λ_0 の損失と復路における波長 λ_{AS} のアンチストークス光成分の損失を含んでいる。

20

【0012】

(C)は温度測定例を示している。この温度データは、(A)および(B)の各データに基づいて光ファイバ3の損失を補正した後、温度へ換算することにより求められる。

【0013】

ところで、図4に示す手法は、ストークス光およびアンチストークス光による光ファイバの損失分布が変化しない場合には問題ないが、光ファイバ3が配置される環境によっては、その損失特性は一定にはならずに変化することがある。光ファイバ3の損失特性が変化すると、損失特性が一定であるとする、図4に基づく補正は不適切となり、得られる温度データは誤差を含むことになる。

30

【0014】

このような光ファイバ3の損失特性の変化に伴う不都合を回避するために、以下に説明するようないくつかの方法が提案されている。

【0015】

図5は、ダブルエンド方法を用いた光ファイバ分布型測定装置の構成説明図であり、図3(A)と共通する部分には同一の符号を付けている。図5において、光ファイバ3はループ状になるようにその両端が折り返され、光スイッチ8を介して方向性結合器2に接続されている。そして、光スイッチ8を切り換えて近端側および遠端側からそれぞれ測定を行うことにより、光ファイバ3の損失の変化を打ち消すことができる。

【0016】

図6は、図5の動作説明図である。(A)はストークス光による近端側からの測定結果例を示し、(B)はストークス光による遠端側からの測定結果例を示している。これらの測定結果(A)と(B)を加算することにより、(C)に示すように温度に起因するストークス光の特性変動分のみを得ることができる。

40

【0017】

(D)はアンチストークス光による近端側からの測定結果例を示し、(E)はアンチストークス光による遠端側からの測定結果例を示している。これらの測定結果(D)と(E)を加算することにより、(F)に示すように温度に起因するアンチストークス光の特性変動分のみを得ることができる。

【0018】

50

これら (C) のストークス光の特性変動分と (F) のアンチストークス光の特性変動分に基づき、(G) に示すように温度に変換する。

【0019】

図5の構成によれば、光ファイバ3の損失の変化を打ち消すことができるが、光ファイバ3の長さが2倍必要になることから、シングルエンド方式に比べると、温度測定精度や測定所要時間などで劣ってしまう。

【0020】

図7は、2種類(2波長)の光源を実装してレイリー光を使用する光ファイバ分布型測定装置の説明図であり、図3(A)と共通する部分には同一の符号を付けている。図7(A)において、出力波長 λ_{0A} を有する光源9と出力波長 λ_{0B} を有する光源10が光スイッチ11を介して方向性結合器2に接続されている。光フィルタ4は、これら光源9および光源10のレイリー光を分離して受光素子5に入力するとともに、波長 λ_{ST_A} を有する光源9のストークス光および波長 λ_{AS_B} を有する光源10のアンチストークス光を分離して受光素子6に入力する。

【0021】

図7(B)は出力波長 λ_{0A} を有する光源9を使用する時の後方レーリー散乱および後方ラマン散乱光のスペクトラムを示し、図7(C)は出力波長 λ_{0B} を有する光源10を使用する時の後方レーリー散乱および後方ラマン散乱光のスペクトラムを示している。

【0022】

出力波長 λ_{0A} を有する光源9を使用する時にストークス光が受ける光ファイバ3の損失に注目すると、往路は光源9の出力波長 λ_{0A} による損失になり、復路は波長 λ_{ST_A} のストークス光による損失となる。また、出力波長 λ_{0B} を有する光源10を使用する時にアンチストークス光が受ける光ファイバ3の損失は、往路は光源10の出力波長 λ_{0B} による損失になり、復路は波長 λ_{AS_B} のアンチストークス光による損失となる。

【0023】

したがって、ストークス光の波長 λ_{ST_A} とアンチストークス光の波長 λ_{AS_B} が等しくなるように光源9の出力波長 λ_{0A} および光源10の出力波長 λ_{0B} を設定するとともに、これら波長 λ_{0A} および波長 λ_{0B} によるレイリー光を測定できるように構成することで光ファイバ3の損失補正が可能になるが、ラマン散乱光測定用に高価な高出力光源が2つ必要となり、測定時間も2倍になってしまう。

【0024】

図8は、2種類(2波長)の光源を実装してレイリー光を使用しない光ファイバ分布型測定装置の説明図であり、図7(A)と共通する部分には同一の符号を付けている。図8(A)において、出力波長 λ_{0C} を有する光源12と出力波長 λ_{0D} を有する光源13が光スイッチ11を介して方向性結合器2に接続されている。光フィルタ4は、光源12の出力光に基づく波長 λ_{ST_C} のストークス光を分離して受光素子5に入力するとともに、光源13の出力光に基づく波長 λ_{AS_D} のアンチストークス光を分離して受光素子6に入力する。

【0025】

図8(B)は出力波長 λ_{0C} を有する光源12を使用する時の後方レーリー散乱および後方ラマン散乱光のスペクトラムを示し、図8(C)は出力波長 λ_{0D} を有する光源13を使用する時の後方レーリー散乱および後方ラマン散乱光のスペクトラムを示している。

【0026】

出力波長 λ_{0C} を有する光源12を使用する時の光ファイバ3における損失は、往路は出力波長 λ_{0C} の光源12の出力光による損失となり、復路は波長 λ_{ST_C} のストークス光による損失となる。そして、出力波長 λ_{0D} の光源13を使用する時の光ファイバ3における損失は、往路は出力波長 λ_{0D} の光源13の出力光による損失となり、復路は波長 λ_{AS_D} のアンチストークス光による損失となる。

【0027】

ここで、光源12の出力波長 λ_{0C} と光源13の出力光に基づくアンチストークス光の波長 λ_{AS_D} が同一になり、また、光源12の出力光に基づくストークス光の波長 λ_{ST_C} およ

10

20

30

40

50

び光源 1 3 の出力波長 λ_{0D} が同一になるように設定されていて、これらストークス光とアンチストークス光の比をとることにより、線路損失の変動をキャンセルできる。しかし、この場合も、ラマン散乱光測定用に高価な高出力光源が 2 つ必要となり、測定時間も 2 倍になってしまう。

【0028】

図 9 は、3 種類（3 波長）の光源を実装した光ファイバ分布型測定装置の構成説明図であり、図 3（A）と共通する部分には同一の符号を付けている。図 9（A）において、出力波長 λ_0 を有する光源 1 と出力波長 λ_a を有する光源 1 4 と出力波長 λ_b を有する光源 1 5 とが光スイッチ 1 6 を介して方向性結合器 2 に接続されている。光フィルタ 4 は、光源 1 のストークス光 λ_{ST} を分離して受光素子 5 に入力するとともに、アンチストークス光 λ_{AS} を分離して受光素子 6 に入力する。

10

【0029】

図 9（B）は出力波長 λ_0 を有する光源 1 を使用する時の後方レーリー散乱および後方ラマン散乱光のスペクトラムを示し、図 9（C）は線路損失測定用光源として用いる出力波長 λ_a を有する光源 1 4 と出力波長 λ_b を有する光源 1 5 の波長関係を示している。

【0030】

前述のように、ストークス光での光ファイバ 3 の損失は、往路は出力波長 λ_0 の光源 1 の出力光による損失で復路は波長 λ_{ST} のストークス光による損失であり、アンチストークス光での光ファイバの損失は、往路は波長 λ_0 の光源 1 の出力光による損失で復路は波長 λ_{AS} のアンチストークス光による損失であって、これらが増加すると温度測定上のエラーになる。

20

【0031】

そこで、アンチストークス光 λ_{AS} と同一の出力波長 λ_a を有する光源 1 4 の光源およびストークス光 λ_{ST} と同一の出力波長 λ_b を有する光源 1 5 で線路損失を測定することで、補正が可能となる。この場合、光源は 3 つ必要になるが、出力波長 λ_a の光源 1 4 および出力波長 λ_b の光源 1 5 はレーリー光を測定することからパワーは弱くてもよい。しかし、これら出力波長 λ_a の光源 1 4 および出力波長 λ_b の光源 1 5 は波長が特殊なため、入手が困難である。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0032】

特許文献 1 には、3 種類（3 波長）の光源を使用して温度を測定する方法および温度測定値を較正する方法が開示されている。

【0033】

【特許文献 1】特開 2004-69685 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0034】

上記の説明から明らかなように、光ファイバ 3 の損失が時間とともに変動した場合、変動に対応した何らかの損失補正を行わないと測定データに誤差を生じる。そこで、これまで多くの提案がなされているが、コスト面から必ずしも満足できるものはなかった。

40

【0035】

本発明は、このような課題を解決するものであり、その目的は、比較的安価な構成で光ファイバの線路損失を測定でき、常に正確な温度分布を測定できる装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0036】

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、

波長 λ_{ST} のストークス光が受ける光ファイバの線路損失と波長 λ_{AS} のアンチストークス

50

光が受ける光ファイバの線路損失を測定するための出力波長 λ_{ST} と出力波長 λ_{AS} を含む広帯域光源を設け、

これら光ファイバの線路損失測定結果に基づき、前記光ファイバに沿った温度分布の測定結果に含まれる前記光ファイバの線路損失の変動を補正することの特徴とする。

【0037】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の光ファイバ分布型測定装置において、

前記広帯域光源は、複数の広帯域光源モジュールの出力光を合波したものであることを特徴とする。

【0038】

請求項3記載の発明は、請求項1または請求項2に記載の光ファイバ分布型測定装置において、

前記広帯域光源は、LED光源であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0039】

これらにより、光ファイバにおける線路損失を測定でき、常に光ファイバに沿った正確な温度分布を測定できる。

【図面の簡単な説明】

【0040】

【図1】本発明の一実施例を示す説明図である。

【図2】本発明の他の実施例を示す説明図である。

【図3】従来の光ファイバ分布型測定装置の一例を示す説明図である。

【図4】光ファイバ分布型測定装置における温度校正処理説明図である。

【図5】ダブルエンド方法を用いた光ファイバ分布型測定装置の構成説明図である。

【図6】図5の動作説明図である。

【図7】2種類（2波長）の光源を実装してレイリー光を使用する光ファイバ分布型測定装置の説明図である。

【図8】2種類（2波長）の光源を実装してレイリー光を使用しない光ファイバ分布型測定装置の説明図である。

【図9】3種類（3波長）の光源を実装した光ファイバ分布型測定装置の構成説明図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0041】

以下、本発明について、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説明図であり、図9（A）と共通する部分には同一の符号を付けている。図1（A）と図9（A）の相違点は、図1（A）では、図9（A）の線路損失測定用光源として用いる出力波長 λ_a を有する光源14と出力波長 λ_b を有する光源15に代えて、安価で比較的容易に入手できる広帯域光源17を用いていることにある。

【0042】

図1（B）は出力波長 λ_0 を有する光源1を使用する時の後方レイリー散乱および後方ラマン散乱光のスペクトラムを示し、図1（C）は広帯域光源17のスペクトラムを示し、図1（D）は光フィルタ4の透過特性を示している。

【0043】

図1（A）において、広帯域光源17としては、たとえばLED光源を用いる。一般的に、LED光源の出力光は、50～100nmの帯域幅を有する。このような広帯域光源17を用いて、波長 λ_{ST} におけるストークス光の光ファイバ3の線路損失と、波長 λ_{AS} におけるアンチストークス光の光ファイバ3の線路損失を測定する。

【0044】

光ファイバ3の線路損失測定にあたっては、光強度がラマン散乱光と比べて1000倍程度高いレイリー散乱光を用いるため、相対的に低出力の光源を用いることができる。光出力が不足して十分なS/N比が得られない場合には、出力光のパルス幅を拡げることで

10

20

30

40

50

S/N比を改善向上させることができる。たとえば、ラマン散乱測定用の光源の出力を1 W、パルス幅を10 nsecとすると、同一強度のレーリー散乱光を得るためには、光源の出力を10 μ W、パルス幅を1000 nsecにすればよく、ほぼ実現可能な範囲である。

【0045】

一方、ラマン散乱光であるストークス光とアンチストークス光を抽出受光するために、波長分離用の光フィルタとして帯域通過フィルタ（バンドパスフィルタ）を用いる。したがって、波長 λ_{ST} でのストークス光の線路損失および波長 λ_{AS} でのアンチストークス光の線路損失を測定する際の光源は、出力帯域幅が100 nmを超える程度の広帯域であつてもよい。この帯域が、ストークス光の波長 λ_{ST} およびアンチストークス光の波長 λ_{AS} をカバーするものであれば、1つの光源で波長 λ_{ST} におけるストークス光の光ファイバ3の線路損失と、波長 λ_{AS} におけるアンチストークス光の光ファイバ3の線路損失を測定することができる。

10

【0046】

すなわち、図1（A）の構成で、ラマン散乱光を得る際に、ストークス光が復路で波長 λ_{ST} で受ける線路損失と、アンチストークス光が復路で波長 λ_{AS} で受ける線路損失を知ることにより、線路損失をキャンセルすることができ、温度測定上の誤差を低減できる。

【0047】

図9（A）に示す従来の構成では、線路損失測定用光源として波長 λ_{ST} の成分と波長 λ_{AS} の成分を含む2つが必要であったが、本発明では、これら波長 λ_{ST} および λ_{AS} の成分を含む1つの広帯域光源を用い、波長分離用の光フィルタとして帯域通過フィルタ（バンドパスフィルタ）を用いる。このような広帯域光源としては、出力に波長 λ_{ST} および λ_{AS} の成分を含めばよいので、容易に入手できる安価なLED光源を用いることができる。

20

【0048】

広帯域光源の出力が弱くてS/N比が不足している場合には、線路損失分布の測定には空間分解能は緩和されるので、出力光のパルス幅を拡げることで対応できる。

【0049】

なお、図1の1つの広帯域光源17だけでは帯域が不足したり出力が弱い場合には、図2（A）や（B）に示すように、光出力が比較的小さく中心波長などの制約は極めて緩くて安価に入手できる複数の広帯域光源を組み合わせて、波長 λ_{ST} および λ_{AS} の成分を含む合波広帯域光源を構成してもよい。（C）は（A）または（B）で合波された出力光のスペクトラムを示し、（D）は光フィルタ4の透過特性を示している。

30

【0050】

図2（A）は一体型合波モジュール18の例である。出力光に波長 λ_{AS} の成分を含む第1の広帯域光源18aと波長 λ_{ST} の成分を含む第2の広帯域光源18bが互いの出力光軸が直交するように配置されるとともに、これら出力光軸の直交位置にはハーフミラー18cが45度の傾斜角度で配置されている。2個の広帯域光源18aと18bの出力光はこのハーフミラー18cで合波され、レンズ18dを介して光ファイバ3に出力される。

【0051】

図2（B）は光合波器を用いる例である。出力光に波長 λ_{AS} の成分を含む第1の広帯域光源モジュール19と波長 λ_{ST} の成分を含む第2の広帯域光源モジュール20は、それぞれの出力端が光ファイバカップラよりなる光合波器21に接続されている。

40

【0052】

このように複数の広帯域光源を組み合わせることで、1つの広帯域光源では帯域が不足したり出力が弱い場合に、比較的安価な構成で対応できる。

【0053】

以上説明したように、本発明によれば、比較的安価な構成で光ファイバの線路損失を測定でき、常に正確な温度分布を測定できる光ファイバ分布型測定装置が実現でき、光ファイバに沿った各種の温度分布測定に好適である。

【符号の説明】

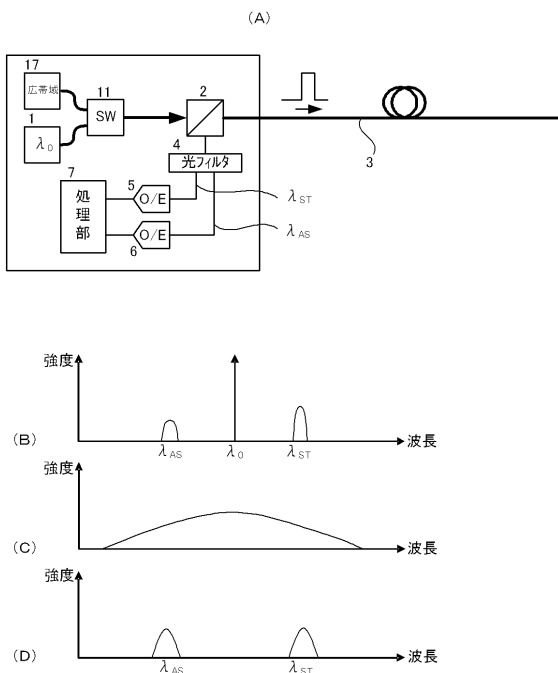
50

【 0 0 5 4 】

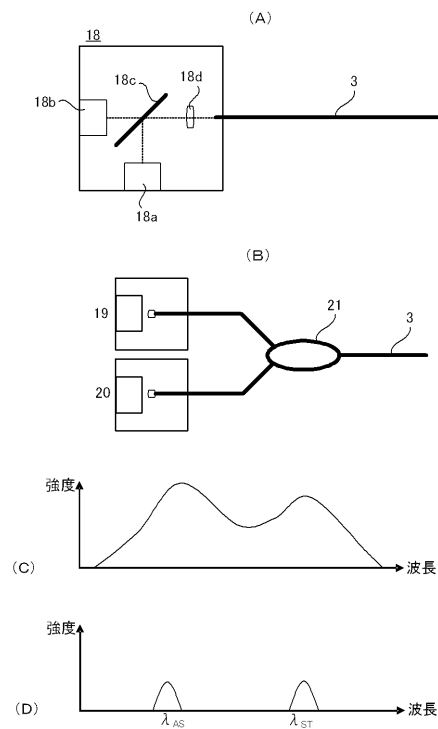
- 1 光源
- 2 方向性結合器
- 3 光ファイバ
- 4 光フィルタ
- 5、6 受光素子
- 7 処理部
- 17 広帯域光源
- 18 一体型合波モジュール
- 19、20 広帯域光源モジュール
- 21 光合波器（光ファイバカプラ）

10

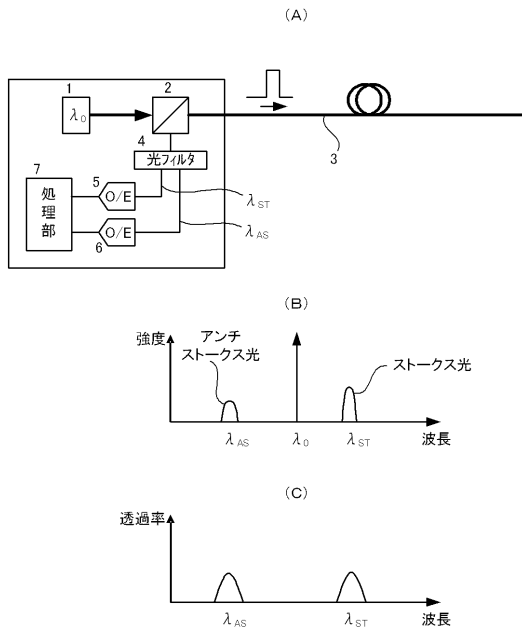
【 図 1 】



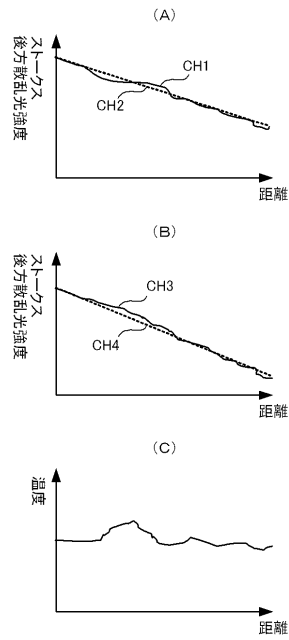
【 図 2 】



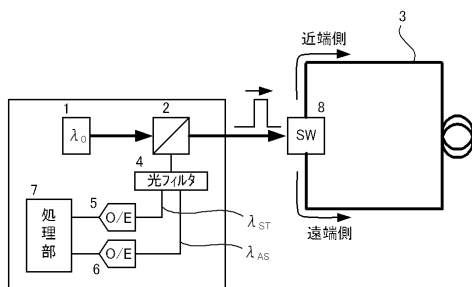
【図 3】



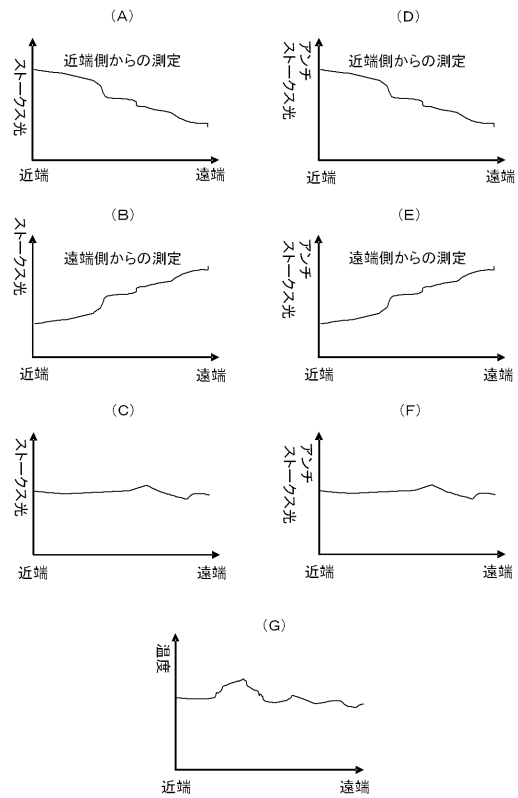
【図 4】



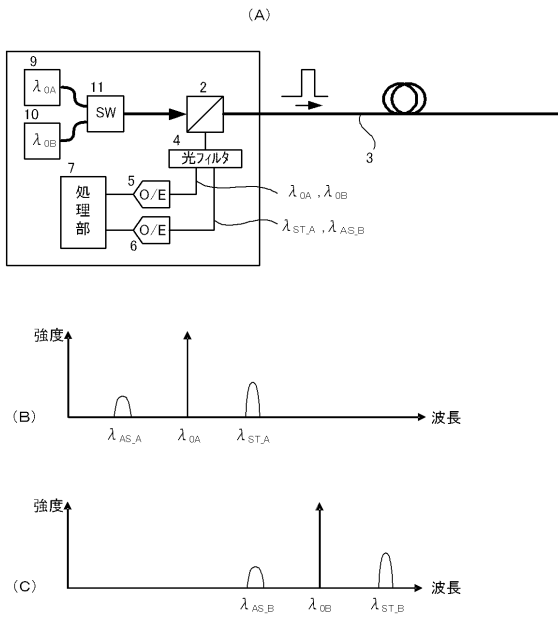
【図 5】



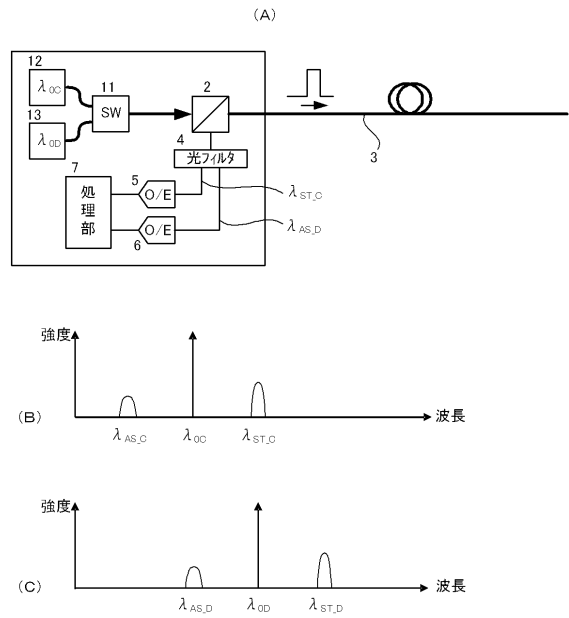
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【図 9】

