

(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2020-63971  
(P2020-63971A)

(43) 公開日 令和2年4月23日(2020.4.23)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
GO1D 5/353 (2006.01)	GO1D 5/353	2F103
GO1M 11/00 (2006.01)	GO1M 11/00	2G086

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2018-195645 (P2018-195645)  
(22) 出願日 平成30年10月17日(2018.10.17)

(出願人による申告)平成25年度国立研究開発法人科学技術振興機構、研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム、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 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  
(74) 代理人 100106909  
弁理士 棚井 澄雄  
(74) 代理人 100146835  
弁理士 佐伯 義文  
(74) 代理人 100167553  
弁理士 高橋 久典  
(74) 代理人 100181124  
弁理士 沖田 壮男  
(72) 発明者 古川 靖  
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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法

(57) 【要約】

【課題】測定点数を増加させることなく被測定光ファイバの特性をより短時間で測定することが可能な光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法を提供する。

【解決手段】光ファイバ特性測定装置1は、被測定光ファイバFUTに光を入射させて得られるブリルアン散乱光LSを検出する検出部16と、検出部16から出力される検出信号S1から、ブリルアン散乱光のスペクトルであるブリルアンゲインスペクトルを得るスペクトル取得部17と、スペクトル取得部17で得られたブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバFUTの特性を測定するとともに、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に応じて、スペクトル取得部17でブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を変更するスペクトル解析部18と、を備える。

【選択図】 図1

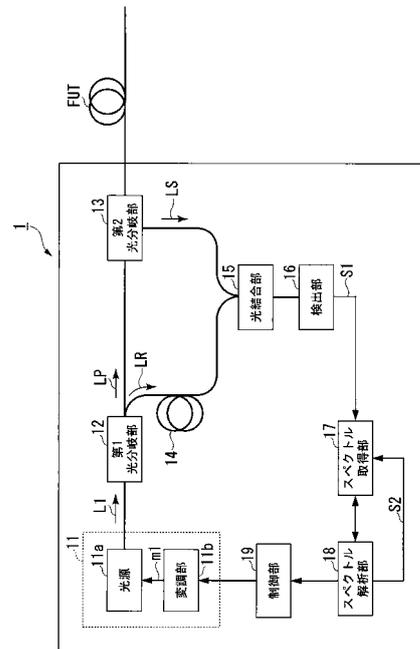


図1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

被測定光ファイバに光を入射させて得られるブリルアン散乱光を検出する検出部と、  
前記検出部から出力される検出信号から、前記ブリルアン散乱光のスペクトルであるブリルアンゲインスペクトルを得るスペクトル取得部と、

前記スペクトル取得部で得られた前記ブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより前記被測定光ファイバの特性を測定するとともに、前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に応じて、前記スペクトル取得部で前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を変更するスペクトル解析部と、

10

を備える光ファイバ特性測定装置。

**【請求項 2】**

前記スペクトル解析部は、前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に基づいて次回得られるであろうピーク周波数を予測し、該予測結果に基づいて前記周波数範囲を変更する、請求項 1 記載の光ファイバ特性測定装置。

**【請求項 3】**

前記スペクトル解析部は、前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数の経時変化を示すデータ又は前記ブリルアンゲインスペクトルの経時変化を示すデータを用いて機械学習を行うことにより得られた学習モデルを用いて、前記次回得られるであろうピーク周波数を予測する演算部と、

20

前記演算部の予測結果に基づいて前記周波数範囲を動的に変更する設定制御部と、

を備える請求項 2 記載の光ファイバ特性測定装置。

**【請求項 4】**

前記スペクトル解析部は、前記演算部の予測結果と、前記演算部の予測結果に基づいて前記周波数範囲を変更した後に得られる前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数との誤差が予め規定された閾値よりも小さくなるように前記機械学習を行い、前記演算部で用いられる前記学習モデルの更新を行う学習部を備える、請求項 3 記載の光ファイバ特性測定装置。

**【請求項 5】**

前記設定制御部は、前記演算部で予測されたピーク周波数に対して非対称となるように前記周波数範囲を変更する、請求項 3 又は請求項 4 記載の光ファイバ特性測定装置。

30

**【請求項 6】**

前記スペクトル解析部は、前記スペクトル取得部で前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を、予め設定された基準周波数範囲よりも狭くなるように変更する、請求項 1 から請求項 5 の何れか一項に記載の光ファイバ特性測定装置。

**【請求項 7】**

前記スペクトル解析部は、前記スペクトル取得部で前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を前記基準周波数範囲よりも狭くなるように変更した後は、前記スペクトル取得部で前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を、当該周波数範囲の広さを変えることなく変更する、請求項 6 記載の光ファイバ特性測定装置。

40

**【請求項 8】**

前記被測定光ファイバに対する温度又は歪みの伝達を緩衝する緩衝部を備える、請求項 1 から請求項 7 の何れか一項に記載の光ファイバ特性測定装置。

**【請求項 9】**

周波数変調された連続光を出力する光源部と、  
前記連続光をポンプ光と参照光とに分岐する第 1 光分岐部と、  
前記ポンプ光を前記被測定光ファイバの一端から入射させ、前記被測定光ファイバ内で生じた前記ブリルアン散乱光を出力する第 2 光分岐部と、

を備え、

前記検出部は、前記ブリルアン散乱光と前記参照光との干渉光を検出する、

50

請求項 1 から請求項 8 の何れか一項に記載の光ファイバ特性測定装置。

【請求項 10】

被測定光ファイバに光を入射させて得られるブリルアン散乱光を検出する検出ステップと、

前記検出ステップで得られる検出信号から、前記ブリルアン散乱光のスペクトルであるブリルアンゲインスペクトルを得るスペクトル取得ステップと、

前記スペクトル取得ステップで得られた前記ブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより前記被測定光ファイバの特性を測定するとともに、前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に応じて、次に前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を変更するスペクトル解析ステップと

10

を有する光ファイバ特性測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバ特性測定装置は、連続光又はパルス光を被測定光ファイバに入射させ、被測定光ファイバ内において生ずる散乱光又は反射光を検出して被測定光ファイバの長さ方向における温度分布、歪み分布、その他の特性を測定する装置である。この光ファイバ特性測定装置では、検出される散乱光又は反射光が被測定光ファイバに影響を及ぼす物理量（例えば、温度や歪み）に応じて変化するため、被測定光ファイバそのものがセンサとして用いられる。

20

【0003】

このような光ファイバ特性測定装置の 1 つに、B O C D R ( Brillouin Optical Correlation Domain Reflectometry ) 方式のものがある。この B O C D R 方式の光ファイバ特性測定装置は、被測定光ファイバの一端から周波数変調された連続光であるポンプ光を入射させ、被測定光ファイバの一端から射出されるブリルアン散乱光と参照光（ポンプ光と同様の周波数変調がされた光）とを干渉させたものを検出する。そして、得られた検出信号からブリルアン散乱光のスペクトル（以下、「ブリルアンゲインスペクトル」という）を得て、ブリルアン散乱光の入射光に対する周波数シフト量（以下、「ブリルアン周波数シフト量」という）を求めることにより被測定光ファイバの特性を測定するものである。

30

【0004】

B O C D R 方式の光ファイバ特性測定装置では、ブリルアン散乱光と参照光とを干渉させることにより、被測定光ファイバ中において「相関ピーク」が現れる特定の位置におけるブリルアン散乱光を選択的に抽出している。ここで、被測定光ファイバ内における相関ピークの間隔は、ポンプ光及び参照光の変調周波数に反比例する。また、ポンプ光及び参照光の変調周波数を掃引することで、被測定光ファイバの長さ方向に沿って相関ピークを移動させることができる。このため、相関ピークを移動させつつ各相関ピークが現れる位置におけるブリルアン周波数シフト量を求めることにより、被測定光ファイバの長さ方向における温度分布や歪み分布を測定することができる。尚、B O C D R 方式の光ファイバ特性測定装置の詳細については、例えば以下の特許文献 1 を参照されたい。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特許第 5 1 0 5 3 0 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

50

ところで、上述したB O C D R方式の光ファイバ特性測定装置では、高い空間分解能で被測定光ファイバの長さ方向をもれなく測定したり、測定精度を劣化させることなく測定可能な温度や歪みの範囲（測定ダイナミックレンジ）を広くしたりするには、測定点数を増やすことが必要である。しかしながら、B O C D R方式の光ファイバ特性測定装置では、測定点数が多くなるにつれて測定時間が長くなるという問題がある。

【0007】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、測定点数を増加させることなく被測定光ファイバの特性をより短時間で測定することが可能な光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法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】

10

【0008】

上記課題を解決するために、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置（1）は、被測定光ファイバ（FUT）に光（LP）を入射させて得られるブリルアン散乱光（LS）を検出する検出部（16）と、前記検出部から出力される検出信号（S1）から、前記ブリルアン散乱光のスペクトルであるブリルアンゲインスペクトルを得るスペクトル取得部（17）と、前記スペクトル取得部で得られた前記ブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより前記被測定光ファイバの特性を測定するとともに、前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に応じて、前記スペクトル取得部で前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を変更するスペクトル解析部（18）と、を備える。

20

【0009】

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記スペクトル解析部が、前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に基づいて次回得られるであろうピーク周波数を予測し、該予測結果に基づいて前記周波数範囲を変更する。

【0010】

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記スペクトル解析部が、前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数の経時変化を示すデータ又は前記ブリルアンゲインスペクトルの経時変化を示すデータを用いて機械学習を行うことによって得られた学習モデル（LM）を用いて、前記次回得られるであろうピーク周波数を予測する演算部（31）と、前記演算部の予測結果に基づいて前記周波数範囲を動的に変更する設定制御部（32）と、を備える。

30

【0011】

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記スペクトル解析部が、前記演算部の予測結果と、前記演算部の予測結果に基づいて前記周波数範囲を変更した後得られる前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数との誤差が予め規定された閾値よりも小さくなるように前記機械学習を行い、前記演算部で用いられる前記学習モデルの更新を行う学習部（33）を備える。

【0012】

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記設定制御部が、前記演算部で予測されたピーク周波数に対して非対称となるように前記周波数範囲を変更する。

40

【0013】

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記スペクトル解析部が、前記スペクトル取得部で前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を、予め設定された基準周波数範囲よりも狭くなるように変更する。

【0014】

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記スペクトル解析部が、前記スペクトル取得部で前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を前記基準周波数範囲よりも狭くなるように変更した後は、前記スペクトル取得部で前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を、当該周波数範囲の広さを変えることなく変更する。

【0015】

50

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、前記被測定光ファイバに対する温度又は歪みの伝達を緩衝する緩衝部（B L 1、B L 2）を備える。

【0016】

また、本発明の一態様による光ファイバ特性測定装置は、周波数変調された連続光（L 1）を出力する光源部（11）と、前記連続光をポンプ光（L P）と参照光（L R）とに分岐する第1光分岐部（12）と、前記ポンプ光を前記被測定光ファイバの一端から入射させ、前記被測定光ファイバ内で生じた前記ブリルアン散乱光を出力する第2光分岐部（13）と、を備え、前記検出部が、前記ブリルアン散乱光と前記参照光との干渉光を検出する。

【0017】

本発明の一態様による光ファイバ特性測定方法は、被測定光ファイバ（F U T）に光（L P）を入射させて得られるブリルアン散乱光（L S）を検出する検出ステップ（S 11、S 15、S 22、S 28）と、前記検出ステップで得られる検出信号から、前記ブリルアン散乱光のスペクトルであるブリルアンゲインスペクトルを得るスペクトル取得ステップ（S 11、S 15、S 22、S 28）と、前記スペクトル取得ステップで得られた前記ブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより前記被測定光ファイバの特性を測定するとともに、前記ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に応じて、次に前記ブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲を変更するスペクトル解析ステップ（S 12～S 14、S 16、S 23、S 24、S 27、S 29、S 31）と、を有する。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、測定点数を増加させることなく被測定光ファイバの特性をより短時間で測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1実施形態におけるスペクトル取得部の構成例を示すブロック図である。

【図3】本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の第1動作例を示すフローチャートである。

【図4】本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の第1動作例を説明するための補足図である。

【図5】本発明の第1実施形態における測定レンジの変更例を説明するための図である。

【図6】本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の第2動作例を示すフローチャートである。

【図7】本発明の第2実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示す図である。

【図8】本発明の第3実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示す図である。

【図9】本発明の第3実施形態において、機械学習で用いられる再帰ニューラルネットワークの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、図面を参照して本発明の実施形態による光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法について詳細に説明する。以下では、まず本発明の実施形態の概要について説明し、続いて本発明の各実施形態の詳細について説明する。

【0021】

〔概要〕

10

20

30

40

50

本発明の実施形態は、測定点数を増加させることなく被測定光ファイバの特性をより短時間で測定することを可能とするものである。ここで、被測定光ファイバの特性を測定するためには、被測定光ファイバの長さ方向に設定される測定点毎に、ブリルアンゲインスペクトルを得る必要がある。このため、測定点数は、被測定光ファイバの長さ方向に設定される測定点の数と、ブリルアンゲインスペクトルを得るために周波数軸方向に設定される測定点の数との積によって定まる。

#### 【0022】

高い空間分解能で被測定光ファイバの長さ方向を漏れなく測定したり、測定精度を劣化させることなく測定可能な温度や歪みの範囲（測定ダイナミックレンジ）を広くしたりするには、測定点数を増やすことが必要である。しかしながら、測定点数が増えるにつれて測定時間が長くなってしまふ。

10

#### 【0023】

本発明の実施形態は、被測定光ファイバに光を入射させて得られるブリルアン散乱光のスペクトルであるブリルアンゲインスペクトルを得た後に、ブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバの特性を測定する。そして、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に応じて、次にブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲（測定レンジ）を変更するようにしている。

#### 【0024】

つまり、本実施形態では、直近に得られたピーク周波数に基づいて、測定レンジを周波数軸方向に動的にシフトさせ、被測定光ファイバの特性を測定する（ブリルアン周波数シフト量を求める）ために必要な周波数範囲のブリルアンゲインスペクトルのみを得るようにしている。これにより、測定点数を増加させることなく被測定光ファイバの特性をより短時間で測定することを可能にしている。

20

#### 【0025】

##### 〔第1実施形態〕

##### 光ファイバ特性測定装置の構成

図1は、本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示すブロック図である。図1に示す通り、本実施形態の光ファイバ特性測定装置1は、光源部11、第1光分岐部12、第2光分岐部13、光遅延部14、光結合部15、検出部16、スペクトル取得部17、スペクトル解析部18、及び制御部19を備える。

30

#### 【0026】

本実施形態の光ファイバ特性測定装置1は、被測定光ファイバFUTにポンプ光LPを入射させて得られるブリルアン散乱光LSに基づいて被測定光ファイバFUTの特性を測定する、所謂BODR方式の測定装置である。上記のポンプ光LPは、周波数変調が与えられた連続光である。上記のブリルアン散乱光LSは、被測定光ファイバFUT内におけるブリルアン散乱により生じた後方散乱光である。尚、被測定光ファイバFUTは、ポンプ光LPの波長等に応じて任意のものを用いることができる。また、本実施形態では、説明を簡単にするために、被測定光ファイバFUTには相関ピークが1つのみ現れるとする。

40

#### 【0027】

光源部11は、光源11aと変調部11bとを備えており、制御部19の制御の下で周波数変調された連続光L1を出力する。光源11aは、例えば分布帰還型レーザダイオード（DFB-LD：Distributed Feed-Back Laser Diode）等の半導体レーザ素子を備えており、変調部11bから出力される変調信号m1に応じて周波数変調された連続光L1を出力する。変調部11bは、制御部19の制御の下で、光源11aから出力される連続光L1を周波数変調するための変調信号m1を出力する。この変調信号m1は、例えば正弦波状の信号であり、その周波数（変調周波数fm）及び振幅が制御部19によって制御される。

#### 【0028】

50

第1光分岐部12は、光源部11から出力された連続光L1を、予め規定された強度比（例えば、1対1）のポンプ光LPと参照光LRとに分岐する。第2光分岐部13は、第1ポート、第2ポート、及び第3ポートを備える。第1ポートは、第1光分岐部12と接続される。第2ポートは、被測定光ファイバFUTと接続される。第3ポートは、光結合部15と接続される。第2光分岐部13は、第1ポートから入力されるポンプ光LPを第2ポートに出力する。また、第2ポートから入力される被測定光ファイバFUTからのブリルアン散乱光LSを第3ポートに出力する。このような第2光分岐部13としては、例えば光サーキュレータを用いることができる。

【0029】

光遅延部14は、第1光分岐部12で分岐された参照光LRを所定の時間だけ遅延させる。光遅延部14は、例えば、所定の長さの光ファイバを含む。光ファイバの長さを変更することで、遅延時間を調節することができる。このような光遅延部14を設けるのは、変調周波数fmの掃引を行っても現れる位置が移動しない0次相関ピークを被測定光ファイバFUTの外部に配置するためである。尚、光遅延部14は、第1光分岐部12と第2光分岐部13との間に設けられていても良い。

10

【0030】

光結合部15は、第2光分岐部13の第3ポートから出力される被測定光ファイバFUTからのブリルアン散乱光LSと、第1光分岐部12から出力されて光遅延部14を介した参照光LRとを結合させる。また、光結合部15は、結合させた光を予め規定された強度比（例えば、1対1）の2つの光に分岐して検出部16に出力する。光結合部15によ

20

【0031】

検出部16は、光結合部15から出力される2つの光に含まれるブリルアン散乱光LSと参照光LRとを干渉させることによって光ヘテロダイン検波を行う。検出部16は、例えば、2つのフォトダイオード（PD：Photo Diode）を直列接続してなるバランスド・フォトダイオードを備えており、光結合部15から出力される2つの光を2つのフォトダイオードによってそれぞれ受光する。検出部16からは、ブリルアン散乱光LSと参照光LRとの周波数差分を示す干渉信号（ビート信号）である検出信号S1が出力される。

30

【0032】

スペクトル取得部17は、検出部16から出力される検出信号S1の周波数特性を測定する。つまり、スペクトル取得部17は、検出部16から出力される検出信号S1から、ブリルアンゲインスペクトルを得る。ここで、スペクトル取得部17がブリルアンゲインスペクトルを得る周波数範囲（測定レンジ）は、スペクトル解析部18から出力される設定信号S2に基づいて設定される。このようにするのは、測定点数を増加させることなく被測定光ファイバFUTの特性をより短時間で測定することを可能にするためである。

【0033】

スペクトル取得部17は、例えば、スペクトラムアナライザ（ESA：Electrical Spectrum Analyzer）を備えていても良い。或いは、スペクトル取得部17は、オシロスコープ等の時間軸測定器と、高速フーリエ変換（FFT：Fast Fourier Transform）を行う変換器とを備えており、時間軸測定器で取得した時間的に連続なデータを、変換器でスペクトルデータに変換するものであっても良い。尚、スペクトル取得部17の構成例について後述する。

40

【0034】

スペクトル解析部18は、スペクトル取得部17で得られたブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバFUTの特性を測定する。このスペクトル解析部18は、求められたブリルアン周波数シフト量を、歪みや温度等の物理情報として表示する表示部を含んで良い。また、被測定光ファイバFUTの歪みや温度等の情報を、その測定対象である物体の状態を意味する情報に解釈して

50

表示部に表示しても良い。表示部は、例えば、液晶ディスプレイや有機EL (Electro Luminescence) 表示装置等である。

【0035】

また、スペクトル解析部18は、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に応じて、スペクトル取得部17の測定レンジを設定(変更)する。例えば、スペクトル解析部18は、スペクトル取得部17の測定レンジを、予め設定された基準測定レンジ(基準周波数範囲)よりも狭くなるように設定する。尚、基準測定レンジは、例えば被測定光ファイバFUTに影響を及ぼすと見込まれる温度や歪みの最大変化量等を考慮して設定される。このような設定を行うことで、ブリルアンゲインスペクトルを得るために周波数軸方向に設定される測定点の数が少なくなるため、被測定光ファイバFUTの特性をより短時間で測定することが可能になる。

10

【0036】

スペクトル解析部18は、例えば、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数を中心として対称となるようにスペクトル取得部17の測定レンジを設定しても良い。つまり、スペクトル解析部18は、測定レンジの最も低い周波数とピーク周波数との差の絶対値と、測定レンジの最も高い周波数とピーク周波数との差の絶対値とが等しくなるように測定レンジを設定しても良い。或いは、スペクトル解析部18は、上記のピーク周波数を中心として非対称となるようにスペクトル取得部17の測定レンジを設定しても良い。

【0037】

また、スペクトル解析部18は、スペクトル取得部17の測定レンジを、上記の基準測定レンジよりも狭くなるように設定(変更)した後は、測定レンジの広さ(幅)を変えずに測定レンジを変更するようにしても良い。例えば、測定レンジの広さを一定に保ったまま、測定レンジを周波数軸方向にシフトするといった具合である。このような測定レンジの変更を行う場合には、1つの測定レンジを測定するのに必要な時間が一定になるため、例えば温度上昇が一定の場合に適用すると有効である。また、このような測定レンジの変更を行う場合に得られるデータは、等価時間サンプリングしたものとなるため、フィルタ処理等の各種処理や、後述する機械学習を行う場合等に有効である。

20

【0038】

また、スペクトル解析部18は、スペクトル取得部17の測定レンジを、上記の基準測定レンジよりも狭くなるように設定(変更)した後は、測定レンジの広さ(幅)を変えつつ測定レンジを周波数軸方向にシフトするようにしても良い。例えば、測定レンジ(の温度が高い側)を徐々に広げていくといった具合である。このような測定レンジの変更を行う場合には、例えば温度上昇が一定ではなく、指数関数や二次関数のように急上昇する場合に、ピークのレンジアウトを防ぐことができるという点で有効である。尚、このような測定レンジの変更を行う場合に得られるデータは、等価時間サンプリングしたものではなく、データを補間し、リサンプリングすることで等間隔の時系列データを得ることが可能である。

30

【0039】

制御部19は、スペクトル解析部18の解析結果等を参照しつつ、光ファイバ特性測定装置1の動作を統括して制御する。例えば、制御部19は、光源部11に設けられた変調部11bを制御して、光源部11から出力される連続光L1の変調周波数 $f_m$ を変更させる。連続光L1の変調周波数 $f_m$ を変更させるのは、例えば被測定光ファイバFUTの長さ方向に沿って相関ピークを移動させるためである。尚、制御部19は、例えばパーソナルコンピュータ等のコンピュータで実現することができる。

40

【0040】

図2は、本発明の第1実施形態におけるスペクトル取得部の構成例を示すブロック図である。尚、図2に示すスペクトル取得部17は、スペクトラムアナライザを備える構成のものである。図2に示す通り、スペクトル取得部17は、第1ミキサ21、第1局部発振器22、第1フィルタ23、第2ミキサ24、第2局部発振器25、第2フィルタ26、

50

A/D変換器27、メモリ28、及び局部発振器制御部29を備える。

【0041】

第1ミキサ21は、検出部16から出力される検出信号S1と、第1局部発振器22から出力される第1局部発振信号とを混合し、検出信号S1の周波数変換を行う。第1ミキサ21で行われる検出信号S1の周波数変換は、検出信号S1の周波数をより高い周波数に変換するもの(アップコンバート)であっても良く、検出信号S1の周波数をより低い周波数に変換するもの(ダウンコンバート)であっても良い。第1フィルタ23は、第1ミキサ21から出力される信号に含まれる不要な信号(例えば、第1ミキサ21で発生するスプリアス信号)を除去する。

【0042】

第2ミキサ24は、第1フィルタ23を介した信号と、第2局部発振器25から出力される第2局部発振信号とを混合し、第1フィルタ23を介した信号の周波数変換を行う。第2ミキサ24で行われる周波数変換は、第1フィルタ23を介した信号の周波数を、A/D変換器27でサンプリング可能な程度の低い周波数に変換するもの(ダウンコンバート)である。第2フィルタ26は、第1フィルタ23と同様に、第2ミキサ24から出力される信号に含まれる不要な信号を除去する。

【0043】

A/D変換器27は、第2フィルタ26を介した信号をサンプリングしてデジタル信号に変換する。メモリ28は、A/D変換器27で変換されたデジタル信号を記憶する。局部発振器制御部29は、スペクトル解析部18から出力される設定信号S2に基づいて、第1局部発振器22及び第2局部発振器25を制御する。具体的に、局部発振器制御部29は、設定信号S2に基づいて設定される測定レンジにおけるブリルアンゲインスペクトルが得られるように、第1局部発振器22から出力される第1局部発振信号及び第2局部発振器25から出力される第2局部発振信号の周波数を変化させる制御を行う。

【0044】

光ファイバ特性測定装置の動作

《第1動作例》

図3は、本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の第1動作例を示すフローチャートである。図3に示すフローチャートは、被測定光ファイバFUTの長さ方向に設定された1つの測定点の特性を測定する際の動作を示すものである。尚、図3に示すフローチャートは、例えば光ファイバ特性測定装置1に対して測定開始の指示がなされることによって開始される。

【0045】

図4は、本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の第1動作例を説明するための補足図である。この図4では、スペクトル取得部17で得られるブリルアンゲインスペクトルの一例を示している。尚、図4では、横軸に周波数を取り、縦軸に光強度をとっている。以下では、被測定光ファイバFUTの周囲温度、又は被測定光ファイバFUTに加わる歪みが増加し、図4に示すブリルアンゲインスペクトルSP1が、ブリルアンゲインスペクトルSP2に変化する場合を例に挙げて説明する。この場合において、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数は、ピーク周波数PK1からピーク周波数PK2にシフトするとする。

【0046】

図3に示すフローチャートの処理が開始されると、まず予め設定された基準測定レンジMR0(図4参照)でブリルアンゲインスペクトルを測定する処理が行われる(ステップS11:検出ステップ、スペクトル取得ステップ)。この処理では、最初にスペクトル解析部18からスペクトル取得部17に設定信号S2が出力されて、スペクトル取得部17の測定レンジが基準測定レンジMR0に設定される。その後、光源部11に設けられた変調部11bが制御部19によって制御され、光源11aからは変調周波数fmで周波数変調された連続光L1が射出される。

【0047】

10

20

30

40

50

光源 11a から射出された連続光 L1 は、第 1 光分岐部 12 に入射してポンプ光 LP と参照光 LR とに分岐される。分岐されたポンプ光 LP は、第 2 光分岐部 13 を介して被測定光ファイバ FUT に入射し、被測定光ファイバ FUT 内を伝播していく。これに伴い、被測定光ファイバ FUT 内ではブリルアン散乱光 LS が順次発生し、ポンプ光 LP が伝播する方向とは反対方向に伝播して被測定光ファイバ FUT の一端から順次射出される。

#### 【0048】

被測定光ファイバ FUT の一端から射出されたブリルアン散乱光 LS は、第 2 光分岐部 13 を介して光結合部 15 に入射する。光結合部 15 に入射したブリルアン散乱光 LS は、第 1 光分岐部 12 で分岐されて光遅延部 14 を介した参照光 LR と結合し、その干渉光が検出部 16 で検出される。上記の干渉光が検出されると、検出部 16 からスペクトル取得部 17 に検出信号 S1 が出力される。

10

#### 【0049】

スペクトル取得部 17 に検出信号 S1 が入力されると、スペクトル取得部 17 に予め設定された測定レンジに従って、図 2 に示す局部発振器制御部 29 によって、第 1 局部発振器 22 及び第 2 局部発振器 25 が制御され、周波数軸方向に設定される測定点の光強度が順次測定される。例えば、図 4 に示す基準測定レンジ MR0 が 1000 [MHz] であって、基準測定レンジ MR0 内に 1 [MHz] の間隔で測定点が設定されている場合には、測定点の数は 1000 点（測定点が基準測定レンジ MR0 の両端に設定されるときには 1001 点）になる。このような場合には、1000 点（又は、1001 点）の測定点の全てで光強度が測定される。スペクトル取得部 17 の測定結果は、測定データとしてスペクトル取得部 17 に設けられているメモリ 28 に順次記憶される。このようにしてブリルアンゲインスペクトル（例えば、ブリルアンゲインスペクトル SP1）が測定される。

20

#### 【0050】

次に、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数を解析する処理がスペクトル解析部 18 で行われる（ステップ S12：スペクトル解析ステップ）。具体的には、スペクトル取得部 17 のメモリ 28 に記憶されている測定データがスペクトル解析部 18 に読み出される。そして、読み出した測定データに対し、平滑化処理、雑音除去のためのフィルタリング処理、最大値の抽出処理、カーブフィッティング処理等がスペクトル解析部 18 で行われてピーク周波数（例えば、ピーク周波数 PK1）が求められる。尚、スペクトル解析部 18 では、以上の処理とともに、ブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバ FUT の特性を測定する処理も行われる。

30

#### 【0051】

次いで、ピーク周波数近傍の測定レンジを決定する処理がスペクトル解析部 18 で行われる（ステップ S13：スペクトル解析ステップ）。例えば、図 4 に示す通り、基準測定レンジ MR0 よりも狭く、ピーク周波数 PK1 が含まれる測定レンジ MR1 を決定する処理がスペクトル解析部 18 で行われる。尚、測定レンジ MR1 は、ピーク周波数 PK1 に対して対称であっても良く、非対称であっても良い。そして、スペクトル解析部 18 からスペクトル取得部 17 に設定信号 S2 が出力され、決定された測定レンジ（例えば、測定レンジ MR1）をスペクトル取得部 17 に設定する処理が行われる（ステップ S14：スペクトル解析ステップ）。

40

#### 【0052】

このような処理が行われることにより、周波数軸方向に設定される測定点の数が減るため、被測定光ファイバ FUT の特性の測定に要する時間を短縮することができる。例えば、図 4 に示す測定レンジ MR1 が 200 [MHz] である場合には、測定点の数は 200 点（測定点が測定レンジ MR1 の両端に設定されるときには 201 点）になる。この場合においては、測定点の数を、基準測定レンジ MR0 に設定される測定点（1000 点又は 1001 点）の約 5 分の 1 に減らすことができるため、測定時間も約 5 分の 1 に短縮することができる。

#### 【0053】

50

ここで、図4に例示する通り、ピーク周波数PK1が存在するのは、ブリルアンゲインスペクトルSP1のごく一部である。このため、ブリルアンゲインスペクトルSP1のピーク周波数PK1の近傍の測定データを得るだけで、ブリルアン周波数シフト量を求めることは可能である。つまり、ブリルアン周波数シフト量を求めるためには、基準測定レンジMR0の全体に亘ってブリルアンゲインスペクトルSP1を測定する必要は必ずしも無く、ブリルアンゲインスペクトルSP1のピーク周波数PK1の近傍のみの測定を行えば良い。

**【0054】**

以上の処理が終了すると、新たに設定された測定レンジ（例えば、測定レンジMR1）でブリルアンゲインスペクトルを測定する処理が行われる（ステップS15：検出ステップ、スペクトル取得ステップ）。ブリルアンゲインスペクトルが測定されると、測定されたブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数を解析する処理がスペクトル解析部18で行われる（ステップS16：スペクトル解析ステップ）。これらステップS14、S15の処理はそれぞれ、ステップS11、S12と同様の処理であるため、ここでの詳細な説明は省略する。尚、この処理とともに、スペクトル解析部18では、ブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバFUTの特性を測定する処理も行われる。

10

**【0055】**

以上の処理が終了すると、ピーク位置（ピーク周波数）が変化したか否かがスペクトル解析部18で判断される。例えば、図4に示すピーク周波数PK1の変化量が、予め規定された閾周波数を越えたか否かが判断される。尚、機械学習を伴うMT法（マハラノビス・タグチ法）のように、累積した測定データから上記の閾周波数を決定するようにしても良い。ピーク位置が変化していないと判断された場合（ステップS17の判断結果が「NO」の場合）には、測定終了か否かが制御部19で判断される（ステップS18）。例えば、光ファイバ特性測定装置1に対して測定終了の指示がなされたか否かが判断される。

20

**【0056】**

測定終了ではないと判断された場合（ステップS18の判断結果が「NO」の場合）には、ステップS15～ステップS17の処理が再び行われる。つまり、ステップS14で設定された測定レンジ（例えば、測定レンジMR1）でブリルアンゲインスペクトルを測定し、ピーク周波数を解析し、ブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバFUTの特性を測定する処理が再び行われる。

30

**【0057】**

ここで、例えば、ブリルアンゲインスペクトルが、図4に示す通り、ブリルアンゲインスペクトルSP1からブリルアンゲインスペクトルSP2に変化し、そのピーク周波数が、ピーク周波数PK1からピーク周波数PK2にシフトしたとする。すると、スペクトル解析部18では、ピーク位置が変化したと判断され、ステップS17の判断結果が「YES」になる。すると、シフト後のピーク周波数（ピーク周波数PK2）近傍の測定レンジを決定する処理がスペクトル解析部18で行われる（ステップS13）。

**【0058】**

例えば、図4に示す通り、基準測定レンジMR0よりも狭く、シフト後のピーク周波数PK2が含まれる測定レンジMR2を決定する処理がスペクトル解析部18で行われる。尚、測定レンジMR2は、ピーク周波数PK2に対して対称であっても良く、非対称であっても良い。また、測定レンジMR2の幅は、測定レンジMR1の幅と同じであっても、異なっても良い。そして、スペクトル解析部18からスペクトル取得部17に設定信号S2が出力され、決定された測定レンジ（例えば、測定レンジMR2）をスペクトル取得部17に設定する処理が行われる（ステップS14）。

40

**【0059】**

以上の処理が終了すると、新たに設定された測定レンジ（例えば、測定レンジMR2）でブリルアンゲインスペクトルを測定する処理がスペクトル取得部17で行われる（ステップS15）。また、測定されたブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数を解析する

50

処理がスペクトル解析部 18で行われる(ステップ S 16)。そして、ピーク位置が変化したか否かがスペクトル解析部 18で判断される(ステップ S 17)。

【0060】

以降、ピーク位置が変化したと判断された場合(ステップ S 17の判断結果が「YES」の場合)には、ステップ S 13~ステップ S 17の処理が行われ、ピーク位置が変化していないと判断された場合(ステップ S 17の判断結果が「NO」の場合)には、ステップ S 15~ステップ S 18の処理が行われる。尚、測定終了であると判断された場合(ステップ S 18の判断結果が「YES」の場合)には、図3に示す一連の処理が終了する。

【0061】

図5は、本発明の第1実施形態における測定レンジの変更例を説明するための図である。尚、ここでは、被測定光ファイバ F U T の周囲温度を測定する場合の測定レンジの変更例について説明する。いま、被測定光ファイバ F U T の周囲温度が、図5中のグラフ G 1に示す通り、ある時点までは 27 [ ] で一定であるが、その後急に 300 [ ] まで上昇する変化をするものとする。

10

【0062】

具体的に、グラフ G 1に示す例では、被測定光ファイバ F U T の周囲温度は、時刻 t 1 (例えば、1秒)では 27 [ ] であり、時刻 t 2 (例えば、2秒)では 118 [ ] になり、時刻 t 3 (例えば、3秒)では 209 [ ] になり、時刻 t 4 (例えば、4秒)では 300 [ ] になっている。この例において、温度上昇の傾斜が 91 [ / s e c ] であるとする、温度上昇が開始されてから 3秒で 27 [ ] から 300 [ ] に達することになる。

20

【0063】

また、被測定光ファイバ F U T の周囲温度とブリルアン周波数シフト量 ( B F S ) とは対応関係にある。具体的に、図5に示す通り、ブリルアン周波数シフト量は、被測定光ファイバ F U T の周囲温度が 27 [ ] の場合には 10.85 [ G H z ] であり、118 [ ] の場合には 10.94 [ G H z ] であり、209 [ ] の場合には 11.03 [ G H z ] であり、300 [ ] の場合には 11.12 [ G H z ] である。

【0064】

図5に示す例において、温度の変化が生ずる前の時刻 t 1における測定レンジ M R 1 1は、例えば 10.70 ~ 11.00 [ G H z ] のブリルアン周波数シフト量を測定可能な周波数範囲に設定される。尚、このときのブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数は、10.85 [ G H z ] である。上記の測定レンジ M R 1 1は、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数 ( 10.85 [ G H z ] ) を中心とした  $\pm 0.15$  [ G H z ] の範囲である。

30

【0065】

温度が上昇し始めた時刻 t 2において、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数は、10.85 [ G H z ] から 10.94 [ G H z ] にシフトする。このシフトに合わせて、次の測定レンジ M R 1 2は、例えば 10.79 ~ 11.09 [ G H z ] に設定される。尚、上記の測定レンジ M R 1 2は、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数 ( 10.94 [ G H z ] ) を中心とした  $\pm 0.15$  [ G H z ] の範囲である。

40

【0066】

次に、時刻 t 3において、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数は、10.94 [ G H z ] から 11.03 [ G H z ] にシフトする。このシフトに合わせて、次の測定レンジ M R 1 3は、例えば 10.88 ~ 11.18 [ G H z ] に設定される。尚、上記の測定レンジ M R 1 3は、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数 ( 11.03 [ G H z ] ) を中心とした  $\pm 0.15$  [ G H z ] の範囲である。

【0067】

続いて、時刻 t 4において、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数は、11.03 [ G H z ] から 11.12 [ G H z ] にシフトする。このシフトに合わせて、次の測定レンジ M R 1 4は、例えば 10.97 ~ 11.27 [ G H z ] に設定される。尚、上記の

50

測定レンジMR14は、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数(11.12 [GHz])を中心とした $\pm 0.15$  [GHz]の範囲である。

【0068】

このように、被測定光ファイバFUTの周囲温度の変化に起因するブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化に応じて、測定レンジ(測定レンジMR11~MR14)が順次設定(変更)される。このようにすることで、限定された測定レンジ(測定レンジMR11~MR14)のみを測定すれば良くなるため、被測定光ファイバFUTの特性の測定に要する時間を短縮することができる。また、測定レンジ(測定レンジMR11~MR14)を順次設定(変更)することで、十分な測定ダイナミックレンジを確保することもできる。

10

【0069】

尚、被測定光ファイバFUTの周囲温度の上昇速度が速く、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定ができない場合も考えられる。このような場合としては、例えば、図5に示す測定レンジMR12を設定した時点で、既に被測定光ファイバFUTの周囲温度が300 [ ]に達している場合が挙げられる。このような場合には、例えば測定レンジを拡大して再測定するか、或いは、従来と同様に、基準測定レンジMR0の全体に亘ってブリルアンゲインスペクトルを再測定するといった手法を用いることができる。例えば、図3に示すフローチャートにおいて、ステップS16の処理にてピーク周波数が得られなかった場合には、ステップS11の処理に戻って基準測定レンジMR0の全体に亘ってブリルアンゲインスペクトルを再測定するようにしても良い。

20

【0070】

《第2動作例》

図6は、本発明の第1実施形態による光ファイバ特性測定装置の第2動作例を示すフローチャートである。図6に示すフローチャートは、被測定光ファイバFUTの長さ方向に設定された複数の異なる測定点の特性を測定する際の動作を示すものである。本動作例においては、スペクトル取得部17の測定レンジの設定が各々の測定点について個別に行われる。尚、図6に示すフローチャートは、例えば光ファイバ特性測定装置1に対して測定開始の指示がなされることによって開始される。

【0071】

図6に示すフローチャートの処理が開始されると、まず初期測定を行う測定点を決定する処理が行われる(ステップS21)。ここで、初期測定とは、スペクトル取得部17の測定レンジを基準測定レンジMR0に設定し、測定点の各々で最初に行うブリルアンゲインスペクトルの測定をいう。具体的に、ステップS21では、被測定光ファイバFUTに沿って設定された複数の異なる測定点のうち、初期測定を行う1つの測定点を決定する処理が制御部19で行われる。初期測定を行う測定点が決定されると、光源部11に設けられた変調部11bが制御部19によって制御され、決定された測定点に相関ピークが現れるように、変調信号m1の周波数(変調周波数fm)が調整される。

30

【0072】

次に、予め設定された基準測定レンジMR0(図4参照)でブリルアンゲインスペクトルを測定する処理が行われる(ステップS22:検出ステップ、スペクトル取得ステップ)。この処理では、図3に示すステップS11と同様に、最初にスペクトル解析部18からスペクトル取得部17に設定信号S2が出力されて、スペクトル取得部17の測定レンジが基準測定レンジMR0に設定される。その後、制御部19の制御によって、変調周波数fmで周波数変調された連続光L1が光源部11から射出される。そして、ポンプ光LPを被測定光ファイバFUTに入射させて得られるブリルアン散乱光LSと参照光LRとの干渉光が検出部16で検出され、検出部16から出力された検出信号S1からブリルアンゲインスペクトルを得る処理がスペクトル取得部17で行われる。

40

【0073】

次に、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数を解析する処理がスペクトル解析部

50

18で行われる(ステップS23:スペクトル解析ステップ)。具体的には、図3に示すステップS12と同様に、スペクトル取得部17のメモリ28に記憶されている測定データを読み出し、読み出した測定データに対し、最大値の抽出処理等の各種処理を行ってピーク周波数を求める処理が行われる。尚、スペクトル解析部18では、以上の処理とともに、ブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバFUTの特性を測定する処理も行われる。

#### 【0074】

次いで、ピーク周波数近傍の測定レンジを決定して記憶する処理がスペクトル解析部18で行われる(ステップS24:スペクトル解析ステップ)。例えば、図3に示すステップS13と同様に、図4に示す基準測定レンジMR0よりも狭く、ピーク周波数PK1が含まれる測定レンジMR1を決定し、決定した測定レンジMR1を記憶する処理がスペクトル解析部18で行われる。尚、測定レンジMR1は、ピーク周波数PK1に対して対称であっても良く、非対称であっても良い。

10

#### 【0075】

続いて、他の測定点を測定するか否か(他の測定点について初期測定を行うか否か)が制御部19で判断される(ステップS25)。例えば、被測定光ファイバFUTに沿って設定された複数の異なる測定点のうち、初期測定を行っていない測定点が存在する場合には、ステップS25の判断結果は「YES」になる。ステップS25の判断結果が「YES」の場合には、ステップS21~S24の処理が繰り返し行われる。このようにして、被測定光ファイバFUTに沿って設定された複数の異なる測定点の各々について初期測定が実施される。

20

#### 【0076】

これに対し、例えば、被測定光ファイバFUTに沿って設定された複数の異なる測定点のうち、初期測定を行っていない測定点が存在しない場合には、ステップS25の判断結果は「NO」になる。ステップS25の判断結果が「NO」の場合には、初期測定が終了して、通常測定に移行する。ここで、通常測定とは、基準測定レンジよりも狭い測定レンジをスペクトル取得部17に設定して行うブリルアンゲインスペクトルの測定をいう。

#### 【0077】

通常測定に移行すると、まず通常測定を行う測定点を設定する処理が行われる(ステップS26)。具体的には、被測定光ファイバFUTに沿って設定された複数の異なる測定点のうち、通常測定を行う1つの測定点を設定する処理が制御部19で行われる。通常測定を行う測定点が設定されると、ステップS21と同様に、光源部11に設けられた変調部11bが制御部19によって制御され、設定された測定点に相関ピークが現れるように、変調信号m1の周波数(変調周波数fm)が調整される。

30

#### 【0078】

次に、ステップS24の処理で記憶された測定レンジを読み出してスペクトル取得部17に設定する処理がスペクトル解析部18で行われる(ステップS27:スペクトル解析ステップ)。具体的には、ステップS26で設定された測定点についての測定レンジが読み出される。そして、スペクトル解析部18からスペクトル取得部17に設定信号S2が出力され、読み出された測定レンジ(例えば、測定レンジMR1)をスペクトル取得部17に設定する処理が行われる。

40

#### 【0079】

次いで、設定された測定レンジでブリルアンゲインスペクトルを測定する処理が行われる(ステップS28:検出ステップ、スペクトル取得ステップ)。この処理では、制御部19の制御によって、変調周波数fmで周波数変調された連続光L1が光源部11から射出される。そして、ポンプ光LPを被測定光ファイバFUTに入射させて得られるブリルアン散乱光LSと参照光LRとの干渉光が検出部16で検出され、検出部16から出力された検出信号S1からブリルアンゲインスペクトルを得る処理がスペクトル取得部17で行われる。

#### 【0080】

50

続いて、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数を解析する処理がスペクトル解析部 18 で行われる（ステップ S 29：スペクトル解析ステップ）。具体的には、ステップ S 23 と同様に、スペクトル取得部 17 のメモリ 28 に記憶されている測定データを読み出し、読み出した測定データに対し、最大値の抽出処理等の各種処理を行ってピーク周波数を求める処理が行われる。尚、スペクトル解析部 18 では、以上の処理とともに、ブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバ F U T の特性を測定する処理も行われる。

#### 【 0 0 8 1 】

以上の処理が終了すると、ピーク位置（ピーク周波数）が変化したか否かがスペクトル解析部 18 で判断される（ステップ S 30）。具体的には、ステップ S 26 で設定された測定点において、ステップ S 29 の処理にて新たに求められたピーク周波数が、先に求められていたピーク周波数（例えば、初期測定で求められていたピーク周波数）から変化したか否かが判断される。この判断は、第 1 動作例と同様に、例えば、ピーク周波数の変化量が、予め規定された閾周波数を越えたか否かによって行われる。尚、機械学習を伴う M T 法（マハラノビス・タグチ法）のように、累積した測定データから上記の閾周波数を決定するようにしても良い。

10

#### 【 0 0 8 2 】

ピーク位置が変化すると判断された場合には、ステップ S 30 の判断結果が「 Y E S 」になる。すると、ピーク周波数近傍の測定レンジを変更する処理がスペクトル解析部 18 で行われる（ステップ S 31：スペクトル解析ステップ）。例えば、スペクトル取得部 17 に設定される測定レンジを、図 4 に示す測定レンジ M R 1 から測定レンジ M R 2 に変更する処理が行われる。

20

#### 【 0 0 8 3 】

続いて、測定終了か否かが制御部 19 で判断される（ステップ S 32）。例えば、光ファイバ特性測定装置 1 に対して測定終了の指示がなされたか否かが判断される。測定終了ではないと判断された場合（ステップ S 32 の判断結果が「 N O 」の場合）には、ステップ S 26 の処理に戻り、通常測定を行う新たな測定点が制御部 19 によって設定され、ステップ S 27 ~ S 29 の処理が行われる。尚、ステップ S 26 の処理で、先に設定した測定点と同じ測定点を設定すれば、1つの測定点を計測して測定することができる。

30

#### 【 0 0 8 4 】

ステップ S 27 ~ S 29 の処理が終了すると、ステップ S 26 で設定された測定点において、ピーク位置（ピーク周波数）が変化したか否かがスペクトル解析部 18 で判断される（ステップ S 30）。ピーク位置が変化すると判断された場合（ステップ S 30 の判断結果が「 Y E S 」の場合）には、ピーク周波数近傍の測定レンジを変更する処理がスペクトル解析部 18 で行われる（ステップ S 31）。

#### 【 0 0 8 5 】

これに対し、ピーク位置が変化していないと判断された場合（ステップ S 30 の判断結果が「 N O 」の場合）には、ステップ S 31 の処理は行われず、測定終了か否かが制御部 19 で判断される（ステップ S 32）。測定終了ではないと判断された場合（ステップ S 32 の判断結果が「 N O 」の場合）には、ステップ S 26 の処理に再び戻る。これに対し、測定終了であると判断された場合（ステップ S 32 の判断結果が「 Y E S 」の場合）には、図 6 に示す一連の処理が終了する。

40

#### 【 0 0 8 6 】

尚、本動作例においても、例えば、被測定光ファイバ F U T の周囲温度の上昇速度が大きく、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定ができない場合も考えられる。このような場合には、第 1 動作例と同様に、例えば測定レンジを拡大して再測定するか、或いは、スペクトル取得部 17 の測定レンジを基準測定レンジ M R 0 に設定して初期測定を再度実施するといった手法を用いることができる。例えば、図 6 に示すフローチャートにおいて、ステップ S 29 の処理にてピーク周波数が得られなかった場合には、ステップ S 31 の処理に移って測定レンジを広げた上でブリルアンゲイ

50

ンスペクトルを再測定するようにしても良い。

【0087】

以上の通り、本実施形態では、被測定光ファイバFUTにポンプ光LPを入射させて得られるブリルアン散乱光LSと参照光LRとの干渉光を検出部16で検出し、検出部16から出力された検出信号S1からブリルアンゲインスペクトルを得ている。そして、得られたブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求めることにより被測定光ファイバFUTの特性を測定するとともに、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に応じて、次にブリルアンゲインスペクトルを得る測定レンジを変更するようにしている。これにより、例えばブリルアンゲインスペクトルを得るために周波数軸方向に設定される測定点の数が少なくなるため、被測定光ファイバFUTの特性をより短時間で測定することができる。

10

【0088】

〔第2実施形態〕

図7は、本発明の第2実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示す図である。本実施形態の光ファイバ特性測定装置は、図7(a)に示す通り、被測定光ファイバFUTに対する温度の伝達を緩衝する緩衝層BL1(緩衝部)を備える。或いは、本実施形態の光ファイバ特性測定装置は、図7(b)に示す通り、被測定光ファイバFUTに対する歪みの伝達を緩衝する緩衝層BL2(緩衝部)を備える。尚、被測定光ファイバFUTに接続される光ファイバ特性測定装置本体の構成は、第1実施形態と同様である。

【0089】

上述した第1実施形態の光ファイバ特性測定装置1は、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化に応じてブリルアンゲインスペクトルの測定レンジの設定を行うものであった。しかしながら、被測定光ファイバFUTに影響を及ぼす温度や歪みの変化が大きい場合には、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定ができない可能性が考えられる。

20

【0090】

本実施形態の光ファイバ特性測定装置は、図7(a)に示す緩衝層BL1又は図7(b)に示す緩衝層BL2を備えることによって、被測定光ファイバFUTに影響を及ぼす温度や歪みの伝達を緩衝している。これにより、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化を遅延させて、ピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定を可能とするようにしている。尚、本実施形態の光ファイバ特性測定装置は、被測定光ファイバFUTに影響を及ぼす温度や歪みの絶対値を正確に測定するという点では十分ではないと考えられるが、それらの急激な変化をもれなく捉えるという点において有効である。

30

【0091】

図7(a)に示す例において、被測定光ファイバFUTは、測定対象TG1の温度を測定するように配置されている。測定対象TG1は、温度を測定する任意の対象であり、その状態は、固体、液体、気体、プラズマの何れであっても良い。緩衝層BL1は、被測定光ファイバFUTの長さ方向の任意の位置において、測定対象TG1と被測定光ファイバFUTとの間に配置される。尚、緩衝層BL1は、被測定光ファイバFUTの全長に亘って設けられていても良い。緩衝層BL1としては、例えば熱容量の大きな鉄鋼等の金属材料を用いることができる。

40

【0092】

図7(a)に示す通り、測定対象TG1と被測定光ファイバFUTとの間に緩衝層BL1を設けることで、測定対象TG1の温度が急激に変化したとしても、被測定光ファイバFUTに対する温度の伝達を遅延させることができる。これにより、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化も遅延することから、ピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定が可能になる。尚、図7(a)に示す例は、例えば温度変化の検知漏れが無く、一定の閾値を超えた場合に警報をならす必要がある用途において有効である。

【0093】

図7(b)に示す例において、被測定光ファイバFUTは、測定対象TG2の歪みを測

50

定するように配置されている。測定対象 T G 2 は、歪みを測定する任意の対象であり、例えば構造物、建物等である。緩衝層 B L 2 は、被測定光ファイバ F U T の長さ方向の任意の位置において、測定対象 T G 2 と被測定光ファイバ F U T との間に設けられ、接着、ろう付け、固定ジグによるクランプ等の方法で、測定対象 T G 2 及び被測定光ファイバ F U T に固定される。尚、緩衝層 B L 2 は、被測定光ファイバ F U T の全長に亘って設けられていても良い。緩衝層 B L 2 としては、例えば測定対象 T G 2 が金属であるときには、金属よりも剛性の低い樹脂材料（例えば、プラスチック系樹脂材料）を用いることができる。

#### 【 0 0 9 4 】

図 7 ( b ) に示す通り、測定対象 T G 2 と被測定光ファイバ F U T との間に緩衝層 B L 2 を設けることで、例えば図 7 ( b ) に示す矢印方向に測定対象 T G 2 が急激に伸長（或いは、収縮）したとしても、被測定光ファイバ F U T に対する歪みの伝達を緩衝することができる。これにより、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化が遅延することから、ピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定が可能になる。尚、図 7 ( b ) に示す例は、例えば歪み変化の検知漏れが無く、一定の閾値を超えた場合に警報をならす必要がある用途において有効である。

10

#### 【 0 0 9 5 】

以上の通り、本実施形態では、被測定光ファイバ F U T に対する温度又は歪みの伝達を緩衝する緩衝層 B L 1 , B L 2 を備えている。これにより、測定対象 T G 1 の温度が急激に変化したとしても、被測定光ファイバ F U T に対する温度の伝達を遅延させることができる。或いは、測定対象 T G 2 の急激な変形が生じたとしても、被測定光ファイバ F U T に対する歪みの伝達を緩衝することができる。これにより、被測定光ファイバ F U T に影響を及ぼす温度や歪みの変化が大きくとも、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定を行うことができる。

20

#### 【 0 0 9 6 】

##### 〔 第 3 実施形態 〕

図 8 は、本発明の第 3 実施形態による光ファイバ特性測定装置の要部構成を示す図である。尚、図 8 では、図 1 に示すスペクトル取得部 1 7 及びスペクトル解析部 1 8 のみを抜き出して図示しており、スペクトル取得部 1 7 及びスペクトル解析部 1 8 以外の構成（光源部 1 1 ~ 検出部 1 6 , 制御部 1 9 ）については図示を省略している。また、スペクトル取得部 1 7 については、メモリ 2 8 のみを図示している。尚、図 8 では、図 1 , 図 2 に示した構成に相当する構成については同一の符号を付してある。

30

#### 【 0 0 9 7 】

前述した第 1 実施形態の光ファイバ特性測定装置 1 は、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に応じて次にブリルアンゲインスペクトルを得る測定レンジの設定を行うものであった。しかしながら、このような設定方法では、被測定光ファイバ F U T に影響を及ぼす温度や歪みの変化に対して後追いになってしまい、被測定光ファイバ F U T に影響を及ぼす温度や歪みの変化が大きい場合には、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定ができない可能性が考えられる。

40

#### 【 0 0 9 8 】

上述した第 2 実施形態の光ファイバ特性測定装置は、図 7 ( a ) , ( b ) に示す緩衝層 B L 1 , B L 2 を設け、被測定光ファイバ F U T に影響を及ぼす温度や歪みの伝達を緩衝し、ブリルアンゲインスペクトルのピーク周波数の変化を遅延させるようにしている。これにより、ピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定が可能になるものの、被測定光ファイバ F U T に影響を及ぼす温度や歪みの絶対値を正確に測定するという点において不十分であると考えられる。

#### 【 0 0 9 9 】

本実施形態の光ファイバ特性測定装置は、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に基づいて次回得られるであろうピーク周波数を予測し、その予測結果に基づいてスペクトル取得部 1 7 の測定レンジを変更するものである。ピーク周波数の予

50

測は、例えばブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数の経時変化を示すデータを用いて機械学習を行って得られた学習モデルを用いて行われる。本実施形態の光ファイバ特性測定装置において、このようなピーク周波数の予測、及び予測結果に基づく測定レンジの変更は、スペクトル解析部 18 で行われる。

#### 【0100】

図8に示す通り、スペクトル解析部18は、演算部31、設定制御部32、及び学習部33を備える。演算部31は、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に基づいて次回得られるであろうピーク周波数を予測する。演算部31は、学習モデルLMを備えており、この学習モデルLMと、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られた直近のピーク周波数とを用いて、次回得られるであろうピーク周波数を予測する。

10

#### 【0101】

学習モデルLMは、例えば、過去に得られたピーク周波数の経時変化を示すデータを用いて機械学習を行うことによって得られる。過去に得られたピーク周波数の経時変化を示すデータに代えて、過去に得られたブリルアンゲインスペクトルの経時変化を示すデータ（つまり、過去にスペクトル取得部17から順次出力された測定データ）を用いて機械学習を行って、学習モデルLMを得ても良い。

#### 【0102】

本実施形態では、学習モデルLMを得るための機械学習として、再帰ニューラルネットワーク（Recurrent Neural Network：RNN）を用いる機械学習が行われるとする。尚、学習モデルLMを得るための機械学習としては、上記の再帰ニューラルネットワークを用いる機械学習に制限される訳ではなく、サポートベクタマシン（Support Vector Machine：SVM）を用いる機械学習等の任意の機械学習を用いることができる。

20

#### 【0103】

図9は、本発明の第3実施形態において、機械学習で用いられる再帰ニューラルネットワークの一例を示す図である。図9に例示する再帰ニューラルネットワークN1は、入力層LY1、隠れ層LY2、及び出力層LY3の3層からなるネットワークである。入力層LY1及び出力層LY3は1つのノードのみを有しており、隠れ層LY2は複数のノードを有する。

#### 【0104】

入力層LY1のノードには、過去に得られたピーク周波数の経時変化を示すデータが入力される。尚、過去に得られたピーク周波数の経時変化を示すデータに代えて、過去に得られたブリルアンゲインスペクトルの経時変化を示すデータが入力層LY1のノードに入力されるようにしても良い。ここで、入力層LY1に入力されるデータの性質に応じて、入力層LY1のノードを複数にしても良い。

30

#### 【0105】

隠れ層LY2の各ノードは、入力層LY1のノードに結合されている。隠れ層LY2の複数のノードは、例えば再帰型のパーセプトロンによって実現される。このため、隠れ層LY2の複数のノードでは、入力層LY1のノードに入力されたデータがフィードバックされて一定時間記憶保持される。このようなノードは、過去のデータが保持されることから、今後の状態を予測する上で不可欠である。隠れ層LY2の複数のノードで用いられる活性化関数（出力値を決定する関数）としては、例えば正規化線形関数（Rectified Linear Unit：ReLU）を用いることができる。尚、活性化関数としては、上記のReLUに制限される訳ではなく、ReLU以外の任意の活性化関数を用いることが可能である。

40

#### 【0106】

出力層LY3のノードには、隠れ層LY2の全てのノードが結合されている。出力層LY3のノードには、隠れ層LY2の全てのノードの出力が入力され、出力層LY3のノードからは、次回得られるであろうと予測されるピーク周波数が出力される。尚、出力層LY3のノードで用いられる活性化関数としては、線形結合（Linear）の活性化関数を用いることができる。

#### 【0107】

50

学習モデルLMは、予め用意した入力データと出力データとを組み合わせた訓練データを用い、図9に例示する再帰ニューラルネットワークN1を用いた機械学習を行うことで得られる。このような訓練データを用いた機械学習により得られた学習モデルLMを用いると、測定対象（温度や歪み）が周期的に変化する場合や、特徴的な変化をする場合等には、一定の誤差範囲内で、学習結果から次の変化を予測することが可能である。

#### 【0108】

設定制御部32は、演算部31で予測されたピーク周波数に基づいて、スペクトル取得部17に設定する測定レンジを動的に変更する。設定制御部32は、スペクトル取得部17に設定する測定レンジを変更する場合には、設定信号S2を出力する。例えば、設定制御部32は、演算部31で予測されたピーク周波数を中心として対称（或いは、非対称）となるようにスペクトル取得部17の測定レンジを設定する。

10

#### 【0109】

ここで、予測されたピーク周波数を中心として非対称となるように測定レンジを設定する場合には、ピーク周波数が変化すると予測される方向に偏るように測定レンジを設定するようにしても良い。例えば、ピーク周波数が高周波側に変化すると予測された場合には、予測されたピーク周波数の高周波側の周波数範囲が広くなるように測定レンジを設定しても良い。

#### 【0110】

学習部33は、演算部31で用いられる学習モデルLMと同様の学習モデルLMを備えており、自身が備える学習モデルLM及び演算部31で用いられる学習モデルLMの更新を行う。具体的に、学習部33は、演算部31で予測されたピーク周波数の誤差が予め規定された閾値よりも小さくなるように機械学習を行い、自身が備える学習モデルLMを更新する。そして、学習部33は、更新した学習モデルLMを、演算部31で用いられる学習モデルLMに反映させて、演算部31で用いられる学習モデルLMを更新する。

20

#### 【0111】

例えば、学習部33は、図9に例示する再帰ニューラルネットワークN1を用いる機械学習を行う。この機械学習を行う場合に、学習部33は、上述した通り、演算部31で予測されたピーク周波数の誤差が予め規定された閾値よりも小さくなるように機械学習を行う。尚、上記の「ピーク周波数の誤差」とは、正確には、演算部31で予測されたピーク周波数と、演算部31で予測されたピーク周波数に基づいて測定レンジを変更した後に得られるブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数との誤差である。

30

#### 【0112】

学習部33を設けることで、光ファイバ特性測定装置の運用が開始された後であっても、演算部31で用いられる学習モデルLMが更新されるため、ピーク周波数の予測精度を高めることができる。尚、説明の便宜のため、図9に示す例では、演算部31と学習部33とを別のブロックとして図示しているが、演算部31及び学習部33は、1つのブロックにまとめられていても良い。

#### 【0113】

本実施形態の光ファイバ特性測定装置は、第1実施形態の光ファイバ特性測定装置1とは、ピーク周波数の予測結果に基づいてスペクトル取得部17の測定レンジを変更する点において相違するものの、基本的な動作は第1実施形態の光ファイバ特性測定装置1と同様である。このため、例えば、被測定光ファイバFUTの長さ方向に設定された1つの測定点の特性を測定する際には、図3に示すフローチャートと同様の処理が行われる。また、被測定光ファイバFUTの長さ方向に設定された複数の異なる測定点の特性を測定する際には、図6に示すフローチャートと同様の処理が行われる。このため、動作についての詳細な説明は省略する。

40

#### 【0114】

以上の通り、本実施形態では、ブリルアンゲインスペクトルを解析して得られたピーク周波数に基づいて次回得られるであろうピーク周波数を予測し、その予測結果に基づいてスペクトル取得部17の測定レンジを変更するようにしている。このため、被測定光ファ

50

イバ F U T に影響を及ぼす温度や歪みの変化が大きい場合であっても、ピーク周波数の変化に追従した測定レンジの設定を可能にしつつ、被測定光ファイバ F U T に影響を及ぼす温度や歪みの絶対値を正確に測定することができる。

【 0 1 1 5 】

以上、本発明の実施形態による光ファイバ特性測定装置及び光ファイバ特性測定方法について説明したが、本発明は上記実施形態に制限される訳ではなく、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。例えば、前述した実施形態では、B O C D R 方式の光ファイバ特性測定装置を例に挙げて説明したが、B O C D R 方式の光ファイバ特性測定装置以外の装置にも適用することができる。具体的には、ブリルアンゲインスペクトルを取得し、取得したブリルアンゲインスペクトルを解析してブリルアン周波数シフト量を求める処理を行う装置に適用することができる。このような装置としては、例えば、B O C D A (Brillouin Optical Correlation Domain Analysis) 方式の光ファイバ特性測定装置や、B O T D R (Brillouin Optical Time Domain Reflectometry) 方式の光ファイバ特性測定装置が挙げられる。

10

【 0 1 1 6 】

また、上記実施形態では、説明を簡単にするために、被測定光ファイバ F U T には相関ピークが 1 つのみ現れるとして説明した。被測定光ファイバ F U T に相関ピークが複数現れる場合には、例えば、時間ゲート法と呼ばれる手法を用いて、複数の相関ピークのうちの 1 つを選択し、選択した相関ピークが現れる位置におけるブリルアン散乱光のみが抽出されるようにすれば良い。

20

【 0 1 1 7 】

また、光遅延部 1 4 は、第 1 光分岐部 1 2 と光結合部 1 5 との間、又は第 1 光分岐部 1 2 と第 2 光分岐部 1 3 との間以外に、第 2 光分岐部 1 3 と光結合部 1 5 との間に設けられていても良い。また、ポンプ光 L P を増幅する第 1 光増幅部を、第 1 光分岐部 1 2 と第 2 光分岐部 1 3 との間に備えても良い。また、ブリルアン散乱光 L S を増幅する第 2 光増幅部を、第 2 光分岐部 1 3 と光結合部 1 5 との間に備えても良い。また、参照光 L R を増幅する第 3 光増幅部を、第 1 光分岐部 1 2 と光結合部 1 5 の間に備えても良い。

【 符号の説明 】

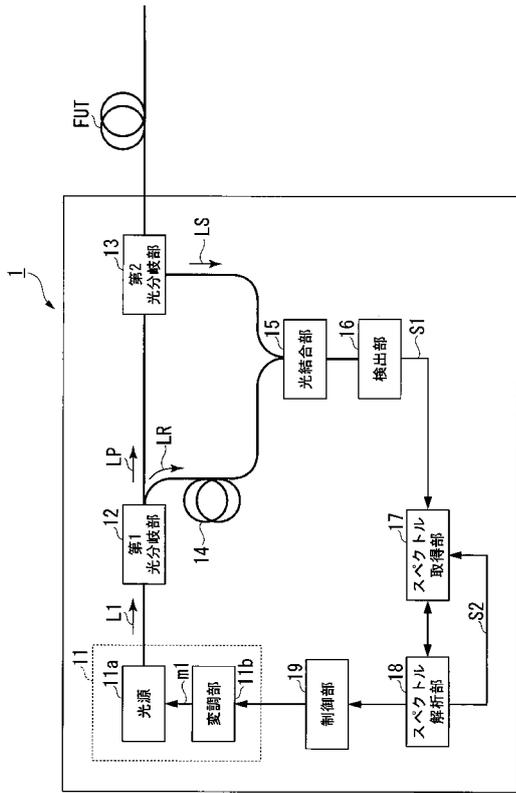
【 0 1 1 8 】

1	光ファイバ特性測定装置
1 1	光源部
1 2	第 1 光分岐部
1 3	第 2 光分岐部
1 6	検出部
1 7	スペクトル取得部
1 8	スペクトル解析部
3 1	演算部
3 2	設定制御部
3 3	学習部
B L 1	緩衝層
B L 2	緩衝層
F U T	被測定光ファイバ
L 1	連続光
L M	学習モデル
L P	ポンプ光
L R	参照光
L S	ブリルアン散乱光
S 1	検出信号
S 2	設定信号

30

40

【図1】



【図2】

図1

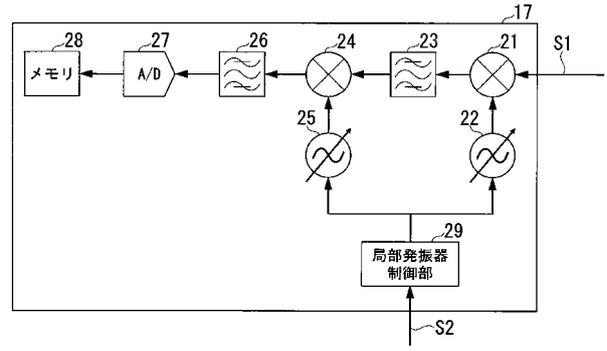


図2

【図3】

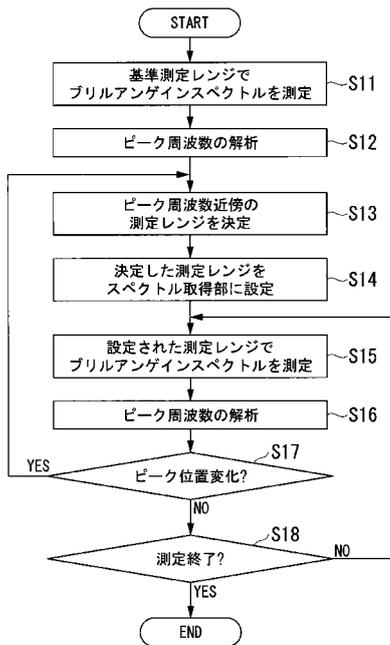


図3

【図4】

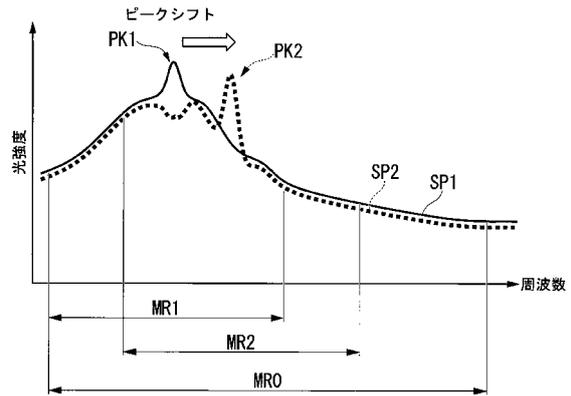


図4

【 図 5 】

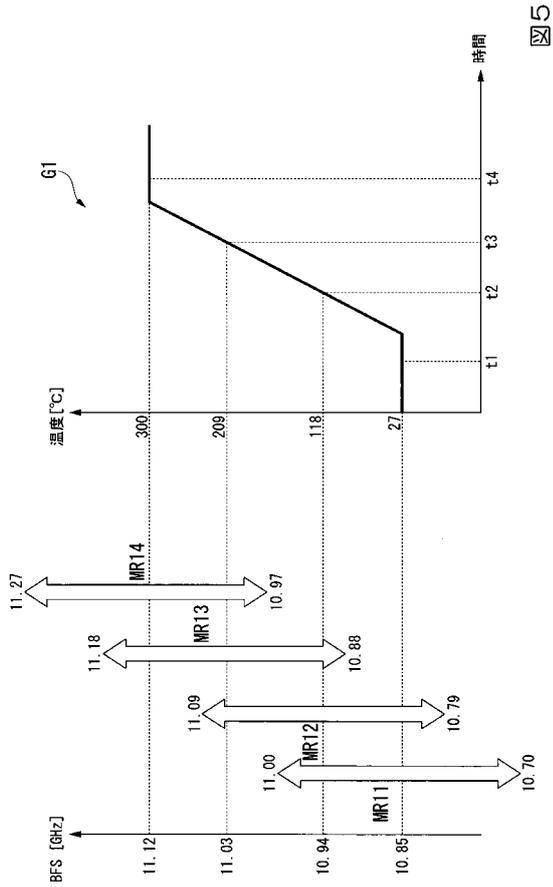


図5

【 図 6 】

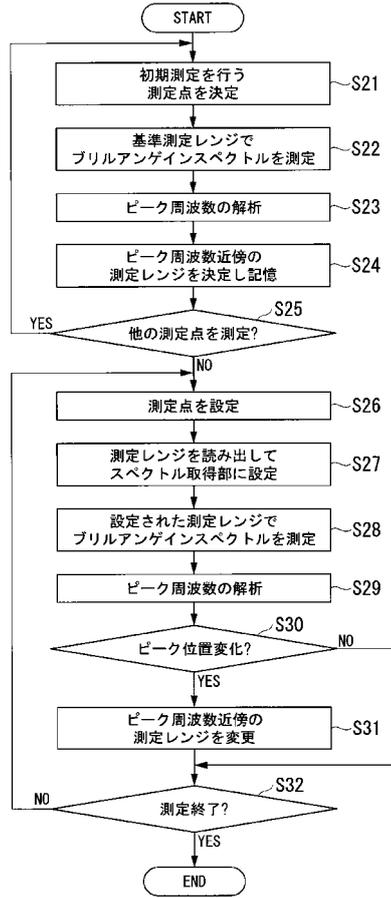


図6

【 図 7 】

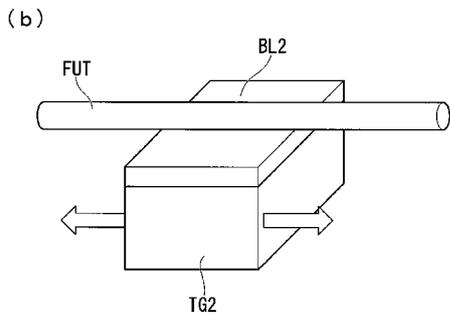
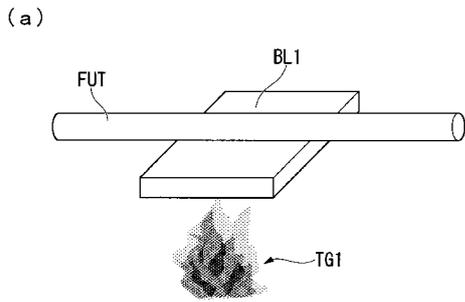


図7

【 図 8 】

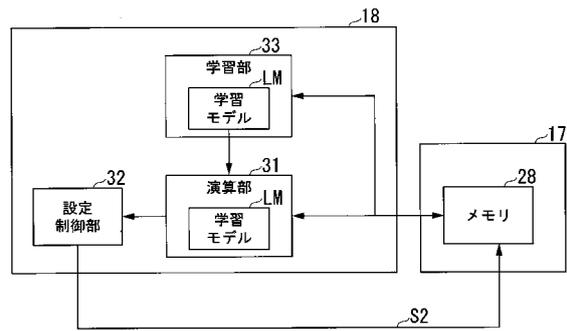


図8

【 図 9 】

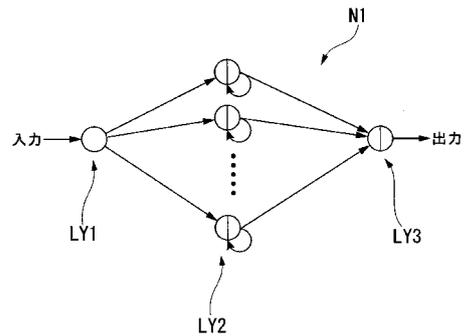


図9

---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2F103 BA41 CA06 CA07 CA08 CA09 CA11 EB02 EB12 EB16 EB19  
EC09 EC10 ED11 ED27 ED36 ED39 FA02 GA11 GA14  
2G086 DD04