

HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

frequency modulation amount $f(x_i, t)$ for each of the sections; calculates the cumulative value $f_{\text{offset}}(t)$ by accumulating the optical frequency modulation amounts of the sections located closer to a proximal end-side than the analysis position of the optical fiber 13 (step S03, step Si3); and corrects the analysis position x_i on the basis of the cumulative value (step Sa1).

(57) 要約：本発明は、空間分解能を劣化させることなく、少ない処理負荷で振動による位置ずれの影響を抑制できる光ファイバセンシング装置の解析装置及び光ファイバセンシング方法を提供することを目的とする。本発明に係る解析回路12は、測定装置11を利用して光ファイバ13のセクション#i毎にスペクトルシフト $\Delta\nu(x_i, t)$ を測定すること(ステップS01、S02、Si1、Si2)、前記スペクトルシフトから前記セクション毎に光周波数変調量 $f(x_i, t)$ を計算すること、光ファイバ13の解析位置よりも近端側に位置する前記セクションの前記光周波数変調量を累積して累積値 $f_{\text{offset}}(t)$ を計算すること(ステップS03、ステップSi3)、及び前記累積値に基づいて前記解析位置 x_i の補正すること(ステップSa1)を行う。

明 細 書

発明の名称： 解析装置及び光ファイバセンシング方法

技術分野

[0001] 本開示は、OFDR (Optical Frequency Domain Reflectometry) を用いた光ファイバセンシング装置の解析装置及びそのセンシング方法に関する。

背景技術

[0002] 図1は、OFDRを用いたセンシング原理を説明する図である。OFDRは、周波数掃引光をプローブ光として採用する。そして、光ファイバのプローブ光に対するレイリー後方散乱光の波形 $r(\tau)$ (図1(A)) をフーリエ変換することでスペクトル $S(\nu)$ (図1(B)) を解析することができる (例えば、非特許文献1を参照。)。

[0003] 後方散乱光のスペクトル $S(\nu)$ は光ファイバの歪みや温度に対して変動する (スペクトルシフト)。このため、参照測定で得られた参照スペクトル S_{ref} が各測定時においてどれだけ移動したか (スペクトルシフト $\Delta\nu$) を検出することで、次式のように光ファイバの歪みや温度の変化量を算出することができる。

[数0]

$$-\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = 0.78\varepsilon + 6.92 \times 10^{-6} T \quad (0)$$

ここで、 $\Delta\nu$ はスペクトルシフト、 ν_0 はプローブ光の中心周波数、 ε は歪み、 T は温度である。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1: M. Froggatt and J. Moore, "High-spatial-resolution distributed

strain measurement in optical fiber with Rayleigh scatter,” Appl. Opt., vol. 37, no. 10, pp. 1735–1740, 1998.

非特許文献2: Okamoto, Tatsuya, Daisuke Iida, and Hiroyuki Oshida. “Vibration-induced beat frequency offset compensation in distributed acoustic sensing based on optical frequency domain reflectometry”. Journal of Lightwave Technology 37. 18 (2019): 4896–4901.

非特許文献3: Okamoto, Tatsuya, Daisuke Iida, and Hiroyuki Oshida. “Investigation of tolerance of OFDR-based DAS to vibration-induced beat frequency offset”. , 2020 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC). IEEE, 2020.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] OFDRによる光ファイバセンシング装置には、解析しようとする解析位置より手前の振動による光周波数変調が解析位置の距離を変化させるため、一貫した光スペクトルが得にくく、正しい振動解析が困難という基本課題がある。

[0006] 図2は、基本課題を説明する図である。図2（A）は、光ファイバのプローブ光に対するレイリー後方散乱光の波形 $r(\tau)$ である。通常、光ファイバには振動が発生している。このため、解析位置（時間 τ_1 から τ_2 の区間）

より手前（プローブ光入射端側）の光ファイバの振動（周波数オフセット 21）により解析したい波形 $r(\tau)$ の位置が時間的に変動し、時間 τ_1 から τ_2 の区間に解析対象外の波形 $r(\tau)$ が含まれることになる。つまり、時刻ごとに解析する波形 $r(\tau)$ が変化するため、波形 $r(\tau)$ をフーリエ変換したスペクトル $S(\nu)$ の波形も光スペクトル構造が変化し、スペクトルシフト量（歪み量）を計算することが困難になる（図 2（B））。

[0007] この基本課題に対し、非特許文献 2 は、解析長さの拡大による位置ずれの影響緩和する方法を開示する。この方法は、周波数オフセット 21 に対して、センサー長さ（時間 τ_1 から τ_2 の区間）が十分長ければ、位置ずれを抑えることができる（振動に対する耐力をもつ）ことを利用している。しかし、この方法は、解析長さを拡大すれば歪み解析の空間分解能が劣化するという新たな課題が発生する。

[0008] また、この基本課題に対し、非特許文献 3 は、位置ずれ補正を信号処理で行う方法を開示する。この方法は、振動センサーの損失分布波形の相互相関で距離オフセットを推定し、解析したい振動センサーの位置を追跡する信号処理である。しかし、この方法は、相互相関のための信号負荷が大きいという新たな課題が発生する。

[0009] そこで、本発明は、前記課題を解決するために、空間分解能を劣化させることなく、少ない処理負荷で振動による位置ずれの影響を抑制できる光ファイバセンシング装置の解析装置及び光ファイバセンシング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

[0010] 上記目的を達成するために、本発明に係る光ファイバセンシング装置及びその方法は、光ファイバのセクションごとのスペクトルシフトから当該セクションの光周波数変調量を求め、解析位置よりも手前に位置する各セクションの光周波数変調量の累積値を用いて解析位置の位置ずれ補正を行うこととした。

[0011] 具体的には、本発明に係る光ファイバセンシング装置の解析装置は、OF

D Rを用いた光ファイバセンシング装置が備える解析装置であって、

光ファイバのセクション毎に測定されたスペクトルシフトから前記セクション毎に光周波数変調量を計算すること、

前記光ファイバの解析位置よりも近端側に位置する前記セクションの前記光周波数変調量を累積して累積値を計算すること、及び

前記累積値に基づいて前記解析位置を補正することを行う。

[0012] また、本発明に係る光ファイバセンシング方法は、OFDRを用いた光ファイバセンシング方法であって、

光ファイバのセクション毎にスペクトルシフトを測定すること、

前記スペクトルシフトから前記セクション毎に光周波数変調量を計算すること、

前記光ファイバの解析位置よりも近端側に位置する前記セクションの前記光周波数変調量を累積して累積値を計算すること、及び

前記累積値に基づいて前記解析位置の補正を行うことを特徴とする。

[0013] 光ファイバセンシング装置は、各セクションでの歪の積算が振動による光ファイバの伸縮量であるとし、光ファイバを複数のセクションに分けて光周波数変調量を測定し、解析位置よりも手前に位置する各セクションの光周波数変調量の累積値で解析位置の位置ずれ補正する。このため、本発明は、空間分解能を劣化させることなく、少ない処理負荷で振動による位置ずれの影響を抑制できる光ファイバセンシング装置の解析装置及び光ファイバセンシング方法を提供することができる。

[0014] 前記累積値を計算することは、前記近端の前記セクションから前記解析位置直前の前記セクションまでの前記光周波数変調量を累積すること、あるいは任意の前記セクションから前記解析位置直前の前記セクションまでの前記光周波数変調量を累積することとしてもよい。

[0015] 本発明は、前記解析装置としてコンピュータを機能させるためのプログラ

ムである。

[0016] なお、前記解析装置は、コンピュータとプログラムによっても実現でき、プログラムを記録媒体に記録することも、ネットワークを通して提供することも可能である。

[0017] なお、上記各発明は、可能な限り組み合わせることができる。

発明の効果

[0018] 本発明は、空間分解能を劣化させることなく、少ない処理負荷で振動による位置ずれの影響を抑制できる光ファイバセンシング装置の解析装置及び光ファイバセンシング方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1] OFDRを用いたセンシング原理を説明する図である。

[図2] 本発明の課題を説明する図である。

[図3] 本発明に係る光ファイバセンシング装置を説明する図である。

[図4] 本発明に係る光ファイバセンシング方法を説明する図である。

[図5] 本発明に係る光ファイバセンシング方法の原理を説明する図である。

[図6] 本発明に係る光ファイバセンシング方法の効果を説明する図である。

[図7] 本発明に係る光ファイバセンシング装置を説明する図である。

[図8] 本発明に係る光ファイバセンシング方法の効果を説明する図である。

[図9] 本発明に係る光ファイバセンシング装置を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0020] 添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明する。以下に説明する実施形態は本発明の実施例であり、本発明は、以下の実施形態に制限されるものではない。なお、本明細書及び図面において符号が同じ構成要素は、相互に同一のものを示すものとする。

[0021] (実施形態1)

図3は、本実施形態の光ファイバセンシング装置301を説明する図である。光ファイバセンシング装置301は、測定装置11と解析装置12を備えるセンシングシステムである。測定装置11は、周波数を1回掃引したプ

ローブ光を光ファイバ13へ入力し、光ファイバ13におけるレイリー後方散乱光のスペクトルを取得するOFDRである。

本明細書では、光ファイバ13の両端のうち、測定装置11に接続される端を「近端」、他端を「遠端」と記載することがある。

[0022] 解析装置12は、測定装置11が得た前記スペクトルの時間変動からスペクトルシフト $\Delta\nu$ を取得する。そして、解析装置12は、光ファイバ13を長手方向に複数のセクション# i （“ i ”はセクション番号であり、0からNまでの整数である。）に区分し、光ファイバ13のセクションごとのスペクトルシフト $\Delta\nu(x_i, t)$ から当該セクションの光周波数変調量 $f(x_i, t)$ を求め、解析位置よりも手前に位置する各セクションの光周波数変調量の累積値 $f_{offset}(t)$ を用いて解析位置の位置ずれ補正を行う。

以下に、解析装置12が行う解析位置の位置ずれ補正の詳細を説明する。

[0023] 図4は、解析装置12が行う光ファイバセンシング方法を説明する図である。

解析装置12は、

測定装置11を利用して光ファイバ13のセクション# i 毎にスペクトルシフト $\Delta\nu(x_i, t)$ を測定すること（ステップS01、S02、Si1、Si2）、

前記スペクトルシフトから前記セクション毎に光周波数変調量 $f(x_i, t)$ を計算すること、

光ファイバ13の解析位置よりも近端側に位置する前記セクションの前記光周波数変調量を累積して累積値 $f_{offset}(t)$ を計算すること（ステップS03、ステップSi3）、及び

前記累積値に基づいて前記解析位置 x_i の補正すること（ステップSa1）を行う。

[0024] 図5は、本光ファイバセンシング方法における解析位置の位置ずれ補正を説明するイメージ図である。光ファイバ13を複数のセクション# i （ i は0からNまでの整数）に分けて検討する。 x_i はセクション# i の長さ、 t は

時刻、 $\varepsilon(x_i, t)$ はセクション # i における光ファイバ 13 の歪量である。
長さ x_i は測定装置 11 が検出可能な歪の空間分解能 L より長く設定する。

[0025] 本光ファイバセンシング方法は、各セクション # i の歪量 $\varepsilon(x_i, t)$ から光周波数変調量 $f(x_i, t)$ を解析し、近端からセクション # i まで伝搬したプローブ光の光周波数変調量は、セクション # 0 から # i までの光周波数変調量の蓄積で与えられることを利用する。なお、本光ファイバセンシング方法は、歪量 ε をスペクトルシフト $\Delta\nu(x_i, t)$ で表現する。

[0026] [ステップ S01]

解析装置 12 は、測定装置 11 が取得した後方散乱光のうち、セクション # 0 (近端からの距離が x_0 の位置) からの戻り光からスペクトルグラム $S(x_0, t, \nu)$ を取得する。 ν は光周波数である。

[ステップ S02]

そして、解析装置 12 は、スペクトルグラム $S(x_0, t, \nu)$ からスペクトルシフト $\Delta\nu(x_0, t)$ を解析する。なお、スペクトルグラム S からスペクトルシフト $\Delta\nu$ を解析する手法は非特許文献 1 に開示されるような手法でよい。

[ステップ S03]

解析装置 12 は、 $\Delta\nu(x_0, t)$ から次式で光周波数変調量 $f(x_0, t)$ を算出する。なお、歪量 ε と位相変化量 θ との関係は付録 A にて説明する。

[数1]

位相変化量：

$$\theta(x_0, t) = \frac{2\pi nL}{0.78c} \Delta v(x_0, t) \quad (1)$$

光周波数変調量：

$$f(x_0, t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \theta(x_0, t)$$

さらに、解析装置12は、セクション#0（距離 x_0 ）を往復伝搬したプローブ光のビート周波数オフセット $f_{\text{offset}}(t)$ を算出する。

[数2]

$$f_{\text{offset}}(t) = 2 \int_{x_i}^{x_j} f(x, t) dx \quad (2)$$

式（2）は、距離 x_i から x_j まで伝搬したプローブ光の周波数変調量であるから、セクション#0における周波数オフセットは、

$$f_{\text{offset}}(t) = 2 f(x_0, t)$$

である。

[ステップSc1]

セクション番号を0から1とする。

[ステップSa1]

図6は、ステップSa1を説明する図である。解析装置12は、振動解析位置（距離 x_{i-1} ；ステップS03の後であれば距離 x_0 、ステップSi3の後であれば距離 x_{i-1} ）の位置ずれを次式によって補正する。

[数3]

ビート周波数表記の場合：

$$f_0 + f_{\text{offset}}(t)$$

距離表記の場合：

(3)

$$\frac{c}{2n\gamma} \times (f_0 + f_{\text{offset}}(t))$$

つまり、解析装置12は、セクション#0～#i-1までの光周波数変調量の蓄積 $f_{\text{offset}}(t)$ を用いて、振動解析位置の位置ずれ補正を行う。

[ステップS i 1]

解析装置12は、測定装置11が取得した後方散乱光のうち、セクション#i（近端からの距離が x_i の位置）からの戻り光からスペクトルグラム $S(x_i, t, \nu)$ を取得する。 ν は光周波数である。

[ステップS i 2]

そして、解析装置12は、スペクトルグラム $S(x_i, t, \nu)$ からスペクトルシフト $\Delta\nu(x_i, t)$ を解析する。

ここで、解析装置12は、セクション#i毎のスペクトルシフト $\Delta\nu(x_i, t)$ からセクション毎の歪量 $\varepsilon(x_i, t)$ を計算してもよい。歪量 $\varepsilon(x_i, t)$ は所望の解析位置についてのみ算出すればよい。具体的には、歪量 $\varepsilon(x_i, t)$ は、位置ずれを補正した位置 x_i において付録Aに記載の式(A2)を用いて算出する。

[ステップS i 3]

式(2)を用いて、距離 x_0 から x_i を往復伝搬した光のビート周波数オフセット $f_{\text{offset}}(t)$ を算出する。

なお、 $i = N$ となっている場合、本ステップを行わずに終了する。

[0027] ステップS i 3の後、ステップSc2でセクション番号を1つカウントアップしてステップSa1に戻り、振動解析位置（距離 x_{i-1} ）の位置ずれを式

(3) によって補正する。

[0028] [実施例]

図7は、実験系を説明する図である。光ファイバ13について、近端側を光ファイバ13a、遠端を光ファイバ13bの2つの区間に分けた。光ファイバ13aの長さは60m、光ファイバ13bの長さは160mである。光ファイバ13aのみに30Hzの正弦波の振動を与えた。

測定装置11の空間分解能Lは66cmである。

図8は、本発明の効果を説明する図である。図8(A)は、図7の実験系において、解析装置12で位置ずれ補正を行わなかった歪測定の結果（比較例）である。図8(B)は、図7の実験系において、解析装置12で位置ずれ補正を行った歪測定の結果（実施例）である。

比較例では、距離0～30m程度までは正しく歪 ε が測定できているが、それ以降で測定エラーが発生している。これは次を意味している。測定装置11の空間分解能は、プローブ光が距離0～30m程度まで伝搬したときの蓄積周波数変調量に対しては耐力があるが、それ以降の距離での蓄積周波数変調量に対しては耐力が不十分である。特に位置ずれが最大となる時刻、又は正弦波状の歪みがゼロとなる時刻近傍において、測定エラーが頻発している。

一方、実施例では、光ファイバ13aの区間及び振動を与えていない光ファイバ13bの区間のいずれにおいても位置ずれが補正され、歪 ε が正しく測定されている。

(補足)

式(A3)のように、歪 ε はプローブ光に位相変化 θ を与える。位相変化 θ の時間微分が光周波数変調量 f である。本実験では正弦波状の歪みを加えたので、光周波数変調量（位置ずれ量）が最大となるのは歪みがゼロとなる時刻である（正弦波の時間微分が最大となるのはゼロ点を通る時）。実験結果は確かにその様子を表しており、歪みがゼロとなる時刻近傍で測定エラーが発生している。

歪 ε による光周波数変調量 f はプローブ光の伝搬とともに蓄積されていく。このため、距離0～30m程度までは正しく歪 ε を測定できるが、それ以降では光周波数変調量の累積値が測定装置11の空間分解能を超えてしまい、測定エラーが発生するようになる。

(補足終了)

[0029] [効果]

本発明に係る光ファイバセンシング方法は、図8で説明したように、信号処理の負荷(微分と足し算)が従来(相互相関)より少なく、歪み解析の空間分解能を劣化させることなく振動分布を測定が可能である。

[0030] 上記実施形態では、近端のセクション#0から解析位置直前のセクション# $N-1$ までの光周波数変調量 $f(x_i, t)$ を累積し、位置補正を行うことを説明したが、本発明に係る光ファイバセンシング方法は、式(2)で説明したように、任意の区間($x_i \sim x_j$)についての周波数オフセット $f_{\text{offset}}(t)$ を計算できる。このため、近端に限らず任意地点のセクションから解析位置直前のセクション# $N-1$ までの光周波数変調量 $f(x_i, t)$ を累積して位置ずれ量を解析することもできる。従って、本発明に係る光ファイバセンシング方法は、歪測定の精度とともに利便性も高めることができる。

[0031] (実施形態2)

解析装置12はコンピュータとプログラムによっても実現でき、プログラムを記録媒体に記録することも、ネットワークを通して提供することも可能である。

図9は、システム100のブロック図を示している。システム100は、ネットワーク135へと接続されたコンピュータ105を含む。

[0032] ネットワーク135は、データ通信ネットワークである。ネットワーク135は、プライベートネットワーク又はパブリックネットワークであってよく、(a)例えば或る部屋をカバーするパーソナル・エリア・ネットワーク、(b)例えば或る建物をカバーするローカル・エリア・ネットワーク、(c)例えば或るキャンパスをカバーするキャンパス・エリア・ネットワーク

、（d）例えば或る都市をカバーするメトロポリタン・エリア・ネットワーク、（e）例えば都市、地方、又は国家の境界をまたいでつながる領域をカバーするワイド・エリア・ネットワーク、又は（f）インターネット、のいずれか又はすべてを含むことができる。通信は、ネットワーク135を介して電子信号及び光信号によって行われる。

[0033] コンピュータ105は、プロセッサ110、及びプロセッサ110に接続されたメモリ115を含む。コンピュータ105が、本明細書においてはスタンドアロンのデバイスとして表されているが、そのように限定されるわけではなく、むしろ分散処理システムにおいて図示されていない他のデバイスへと接続されてよい。

[0034] プロセッサ110は、命令に応答し且つ命令を実行する論理回路で構成される電子デバイスである。

[0035] メモリ115は、コンピュータプログラムがエンコードされた有形のコンピュータにとって読み取り可能な記憶媒体である。この点に関し、メモリ115は、プロセッサ110の動作を制御するためにプロセッサ110によって読み取り可能及び実行可能なデータ及び命令、すなわちプログラムコードを記憶する。メモリ115を、ランダムアクセスメモリ（RAM）、ハードドライブ、読み出し専用メモリ（ROM）、又はこれらの組み合わせにて実現することができる。メモリ115の構成要素の1つは、プログラムモジュール120である。

[0036] プログラムモジュール120は、本明細書に記載のプロセスを実行するようにプロセッサ110を制御するための命令を含む。本明細書において、動作がコンピュータ105或いは方法又はプロセス若しくはその下位プロセスによって実行されると説明されるが、それらの動作は、実際にはプロセッサ110によって実行される。

[0037] 用語「モジュール」は、本明細書において、スタンドアロンの構成要素又は複数の下位の構成要素からなる統合された構成のいずれかとして具現化され得る機能的動作を指して使用される。したがって、プログラムモジュール

120は、単一のモジュールとして、或いは互いに協調して動作する複数のモジュールとして実現され得る。さらに、プログラムモジュール120は、本明細書において、メモリ115にインストールされ、したがってソフトウェアにて実現されるものとして説明されるが、ハードウェア（例えば、電子回路）、ファームウェア、ソフトウェア、又はこれらの組み合わせのいずれかにて実現することが可能である。

[0038] プログラムモジュール120は、すでにメモリ115へとロードされているものとして示されているが、メモリ115へと後にロードされるように記憶装置140上に位置するように構成されてもよい。記憶装置140は、プログラムモジュール120を記憶する有形のコンピュータにとって読み取り可能な記憶媒体である。記憶装置140の例として、コンパクトディスク、磁気テープ、読み出し専用メモリ、光記憶媒体、ハードドライブ又は複数の並列なハードドライブで構成されるメモリユニット、並びにユニバーサル・シリアル・バス（USB）フラッシュドライブが挙げられる。あるいは、記憶装置140は、ランダムアクセスメモリ、或いは図示されていない遠隔のストレージシステムに位置し、且つネットワーク135を介してコンピュータ105へと接続される他の種類の電子記憶デバイスであってよい。

[0039] システム100は、本明細書においてまとめてデータソース150と称され、且つネットワーク135へと通信可能に接続されるデータソース150A及びデータソース150Bを更に含む。実際には、データソース150は、任意の数のデータソース、すなわち1つ以上のデータソースを含むことができる。データソース150は、体系化されていないデータを含み、ソーシャルメディアを含むことができる。

[0040] システム100は、ユーザ101によって操作され、且つネットワーク135を介してコンピュータ105へと接続されるユーザデバイス130を更に含む。ユーザデバイス130として、ユーザ101が情報及びコマンドの選択をプロセッサ110へと伝えることを可能にするためのキーボード又は音声認識サブシステムなどの入力デバイスが挙げられる。ユーザデバイス1

30は、表示装置又はプリンタ或いは音声合成装置などの出力デバイスを更に含む。マウス、トラックボール、又はタッチ感応式画面などのカーソル制御部が、さらなる情報及びコマンドの選択をプロセッサ110へと伝えるために表示装置上でカーソルを操作することをユーザ101にとって可能にする。

[0041] プロセッサ110は、プログラムモジュール120の実行の結果122をユーザデバイス130へと出力する。あるいは、プロセッサ110は、出力を例えばデータベース又はメモリなどの記憶装置125へともたすことができ、或いはネットワーク135を介して図示されていない遠隔のデバイスへともたすことができる。

[0042] 例えば、図4のフローチャートを行うプログラムをプログラムモジュール120としてもよい。システム100を解析装置12として動作させることができる。

[0043] 用語「・・・を備える」又は「・・・を備えている」は、そこで述べられている特徴、完全体、工程、又は構成要素が存在することを指定しているが、1つ以上の他の特徴、完全体、工程、又は構成要素、或いはそれらのグループの存在を排除してはいないと、解釈されるべきである。用語「a」及び「an」は、不定冠詞であり、したがって、それを複数有する実施形態を排除するものではない。

[0044] (他の実施形態)

なお、この発明は上記実施形態に限定されるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施可能である。要するにこの発明は、上位実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。

[0045] また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素を適宜組み合わせにより種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態に亘る構成要素を適宜組み合わせてもよい。

[0046] [付録 A]

歪量 ε 、スペクトルシフト Δ 、及び位相変化量 θ の関係を説明する。

レイリー後方散乱光のスペクトルシフトの歪み及び温度依存性は次式で与えられる。

[数A1]

$$-\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = 0.78\varepsilon + 6.92 \times 10^{-6} T \quad (A1)$$

光ファイバに温度変化 T がなく歪み ε のみが加わる状況を考えるとレイリー後方散乱光のスペクトルシフト $\Delta\nu$ は次式で与えられる。

[数A2]

$$-\frac{\Delta\nu}{\nu_0} = 0.78\varepsilon \quad (A2)$$

歪み ε によって長さ L の区間が伸縮量 ΔL だけ変化するとき位相変化量 θ は次式で与えられる。

[数A3]

$$\begin{aligned} \theta(x_0, t) &= kn\Delta L \\ &= kn\varepsilon L \\ &= -\frac{knL}{0.78\nu_0} \Delta\nu(x_0, t) \\ &= -\frac{2\pi nL}{0.78c} \Delta\nu(x_0, t) \end{aligned} \quad (A3)$$

[0047] [定義]

本明細書で使用されるパラメータは次の通りである。

x : 光ファイバの長手方向の位置（近端からの距離）

t : 時刻

n : 光ファイバの屈折率

$\Delta \nu$: スペクトルシフト

ν_0 : プローブ光の中心光周波数

c : 真空中の光速

L : 測定装置が検出できる歪の空間分解能

k : 波数

T : 光ファイバの温度変化

f_0 : $t = 0$ の振動解析位置

γ : OFDR (測定装置) の周波数掃引速度

符号の説明

[0048] 1 1 : 測定装置

1 2 : 解析回路

1 3 : 光ファイバ

1 0 0 : システム

1 0 1 : ユーザ

1 0 5 : コンピュータ

1 1 0 : プロセッサ

1 1 5 : メモリ

1 2 0 : プログラムモジュール

1 2 2 : 結果

1 2 5 : 記憶装置

1 3 0 : ユーザデバイス

1 3 5 : ネットワーク

1 4 0 : 記憶装置

1 5 0 : データソース

3 0 1 : 光ファイバセンシング装置

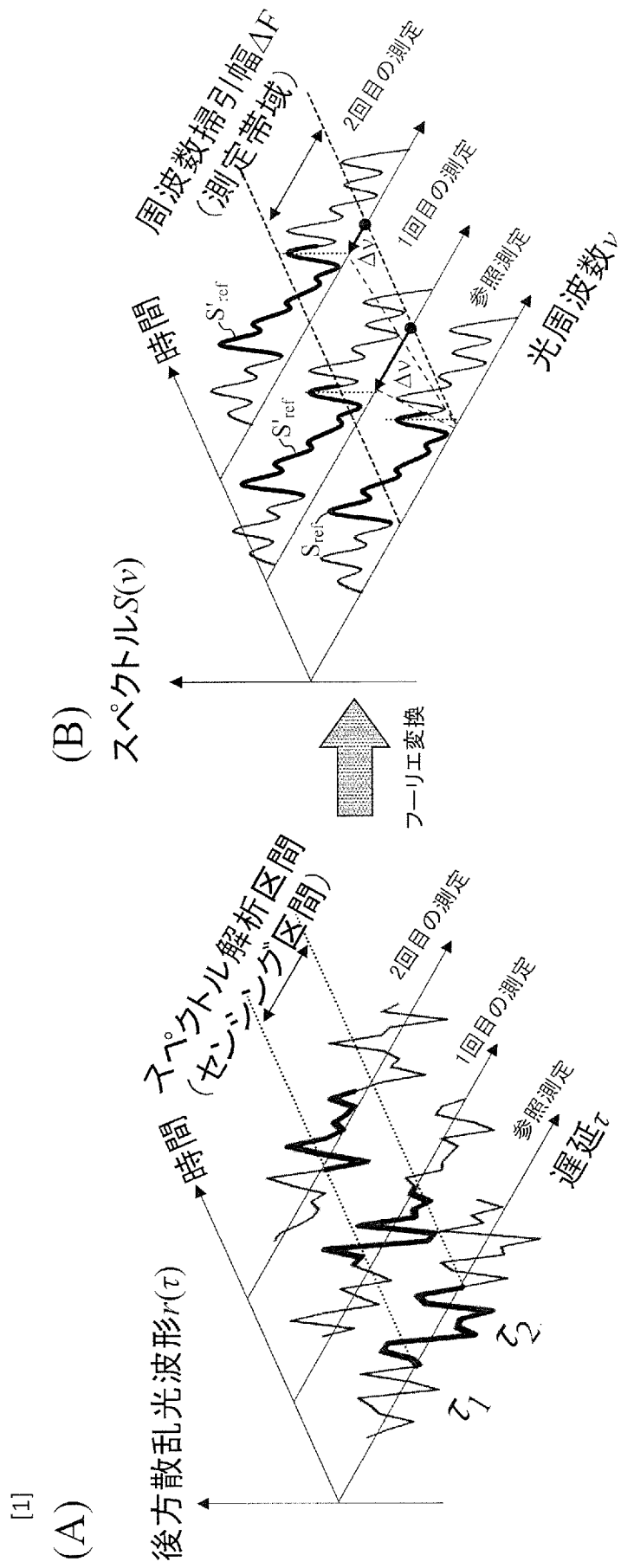
請求の範囲

- [請求項1] O F D Rを用いた光ファイバセンシング装置が備える解析装置であって、
- 光ファイバのセクション毎に測定されたスペクトルシフトから前記セクション毎に光周波数変調量を計算すること、
- 前記光ファイバの解析位置よりも近端側に位置する前記セクションの前記光周波数変調量を累積して累積値を計算すること、及び
- 前記累積値に基づいて前記解析位置を補正すること
- を行う解析装置。
- [請求項2] 前記累積値を計算することは、前記近端の前記セクションから前記解析位置直前の前記セクションまでの前記光周波数変調量を累積することである請求項1に記載の解析装置。
- [請求項3] 前記累積値を計算することは、任意の前記セクションから前記解析位置直前の前記セクションまでの前記光周波数変調量を累積することである請求項1に記載の解析装置。
- [請求項4] O F D Rを用いた光ファイバセンシング方法であって、
- 光ファイバのセクション毎にスペクトルシフトを測定すること、
- 前記スペクトルシフトから前記セクション毎に光周波数変調量を計算すること、
- 前記光ファイバの解析位置よりも近端側に位置する前記セクションの前記光周波数変調量を累積して累積値を計算すること、及び
- 前記累積値に基づいて前記解析位置の補正を行うこと
- を特徴とする光ファイバセンシング方法。
- [請求項5] 前記累積値を計算することは、前記近端の前記セクションから前記解析位置直前の前記セクションまでの前記光周波数変調量を累積することである請求項4に記載の光ファイバセンシング方法。
- [請求項6] 前記累積値を計算することは、任意の前記セクションから前記解析位置直前の前記セクションまでの前記光周波数変調量を累積すること

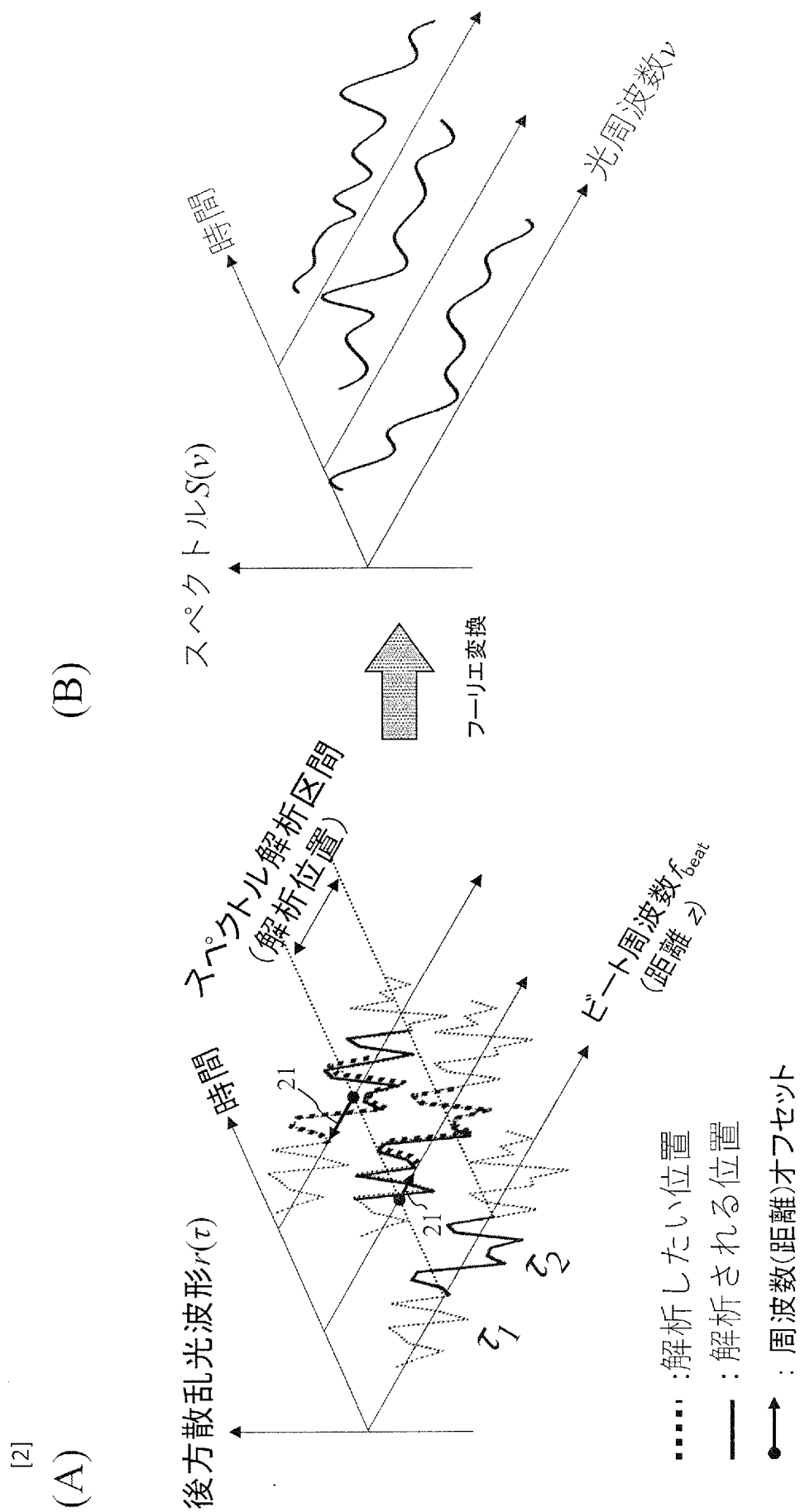
である請求項 4 に記載の光ファイバセンシング方法。

[請求項 7] 請求項 1 から 3 のいずれかに記載の解析装置としてコンピュータを機能させるためのプログラム。

[図1]

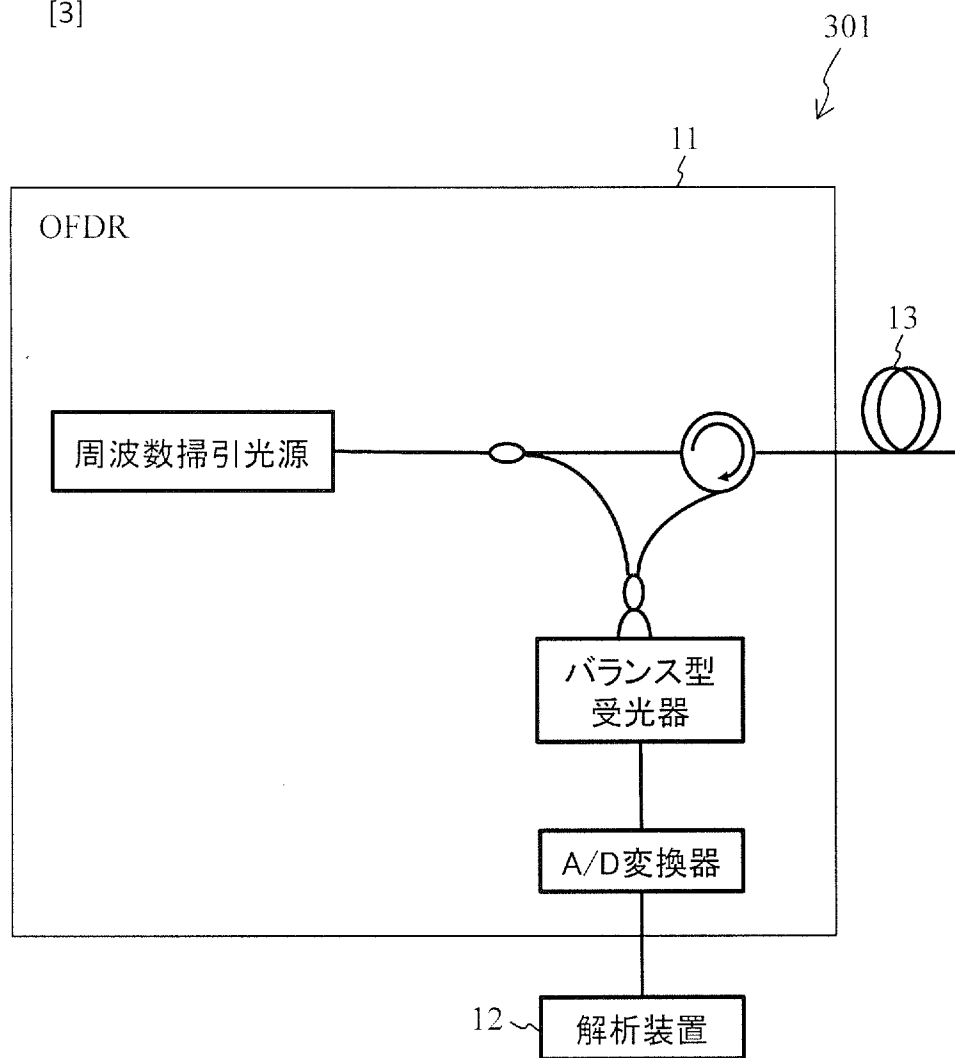


[図2]

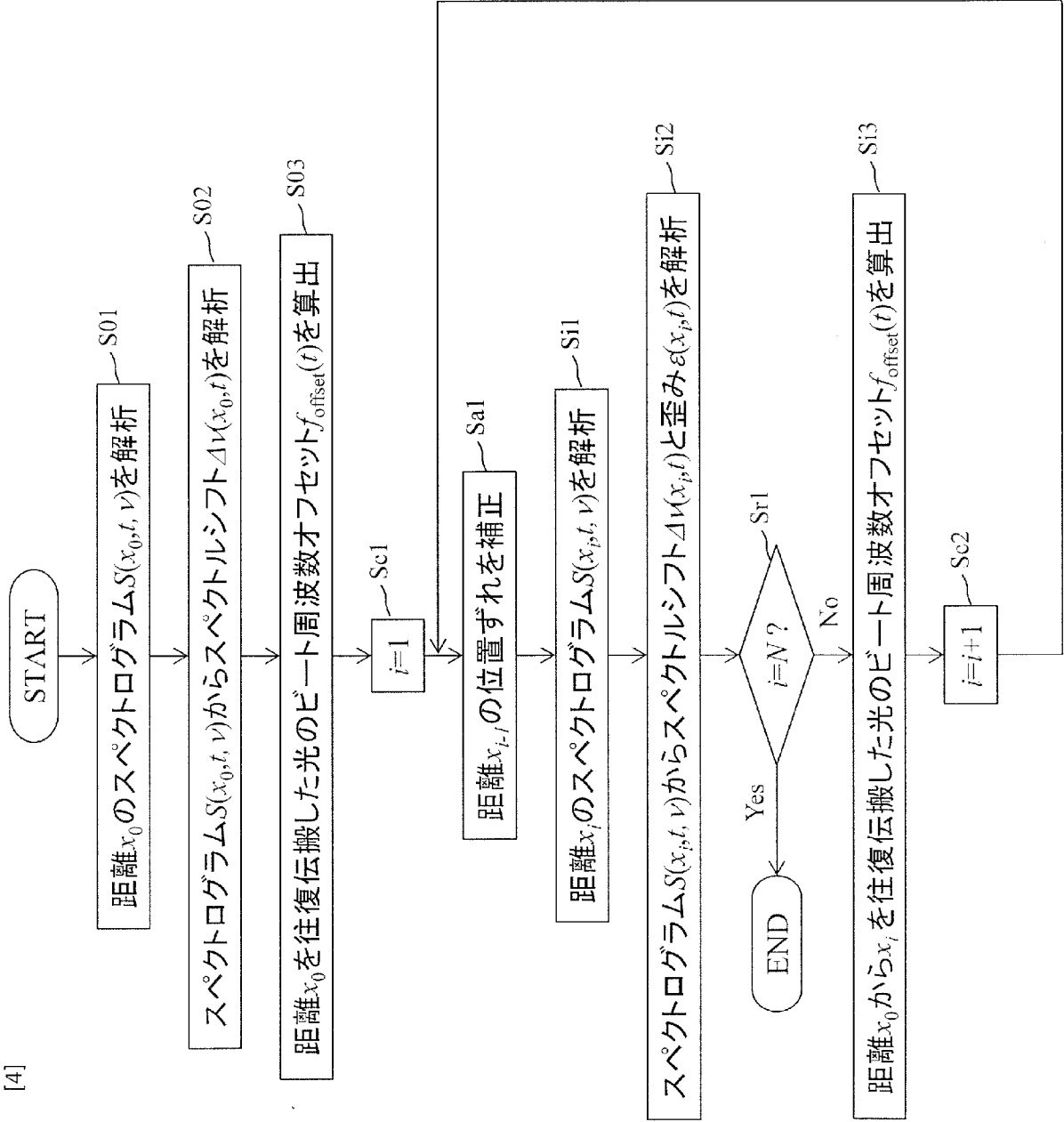


[図3]

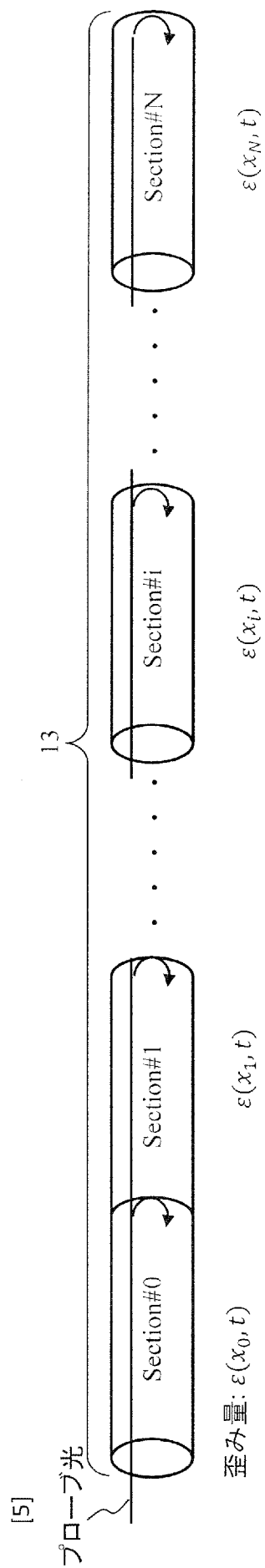
[3]



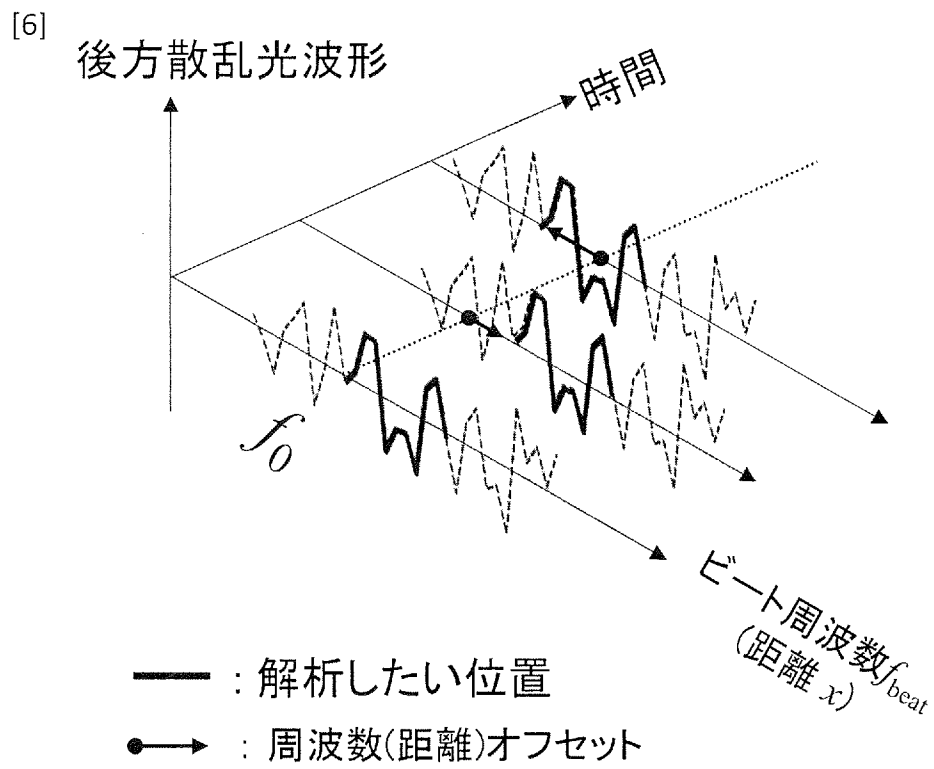
[図4]



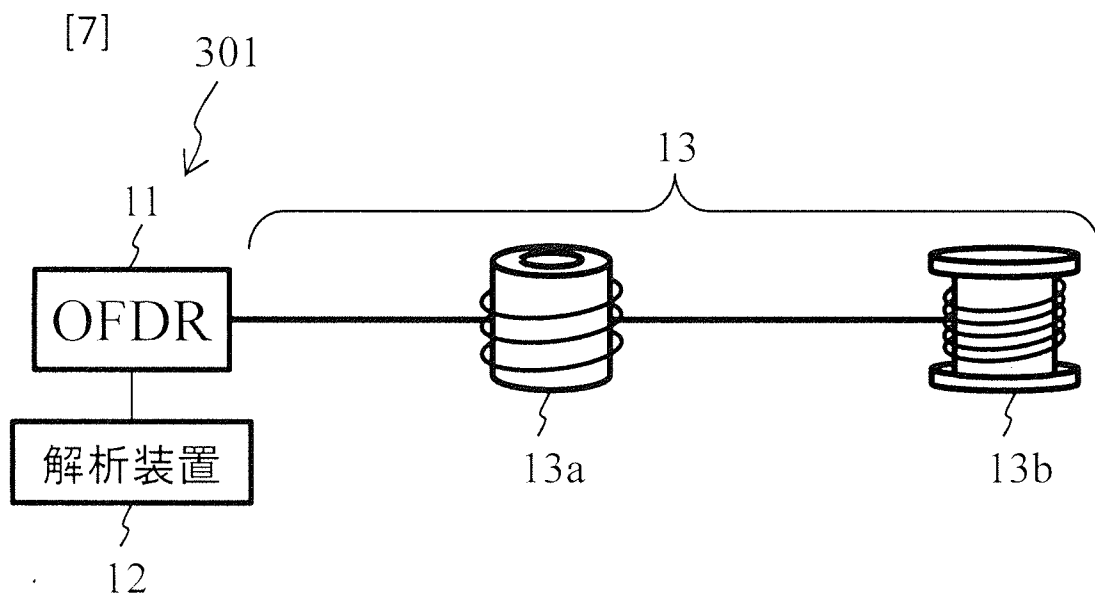
[図5]



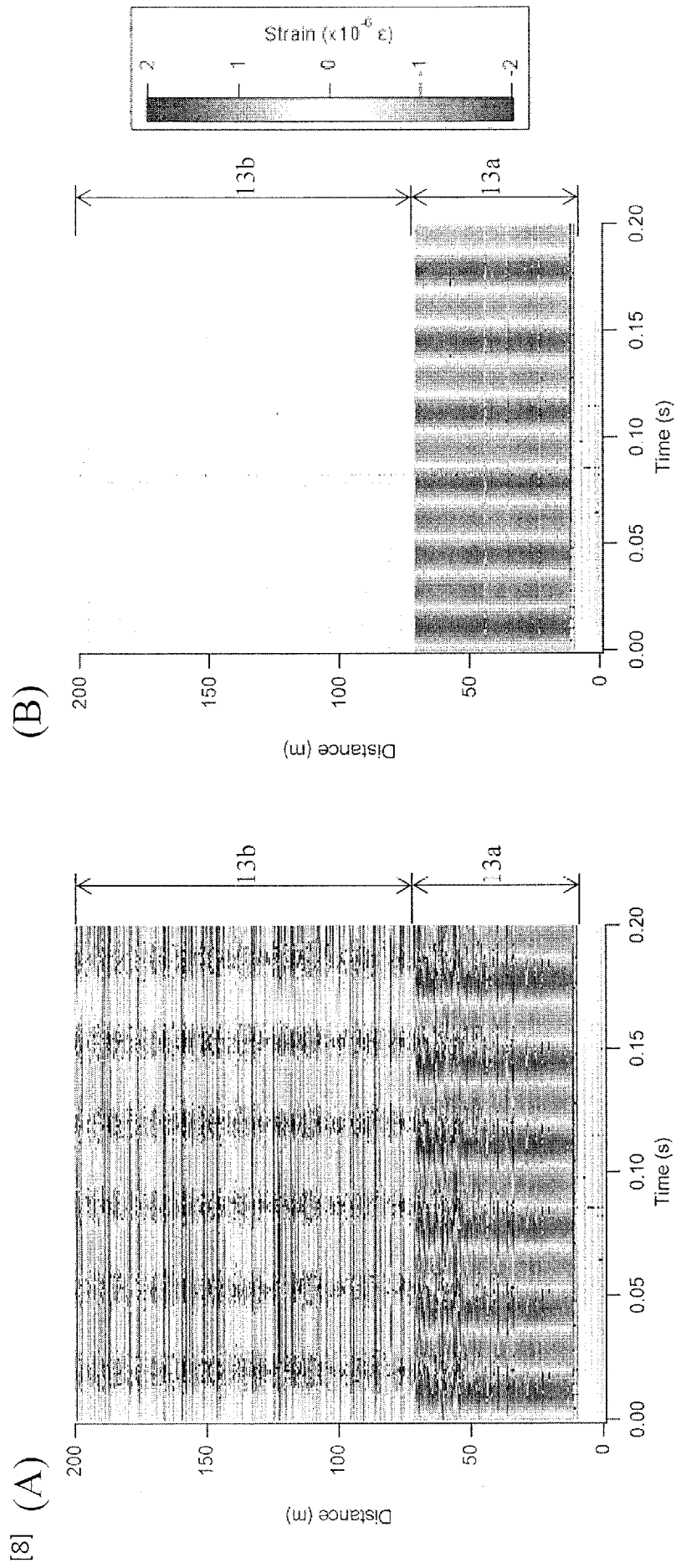
[図6]



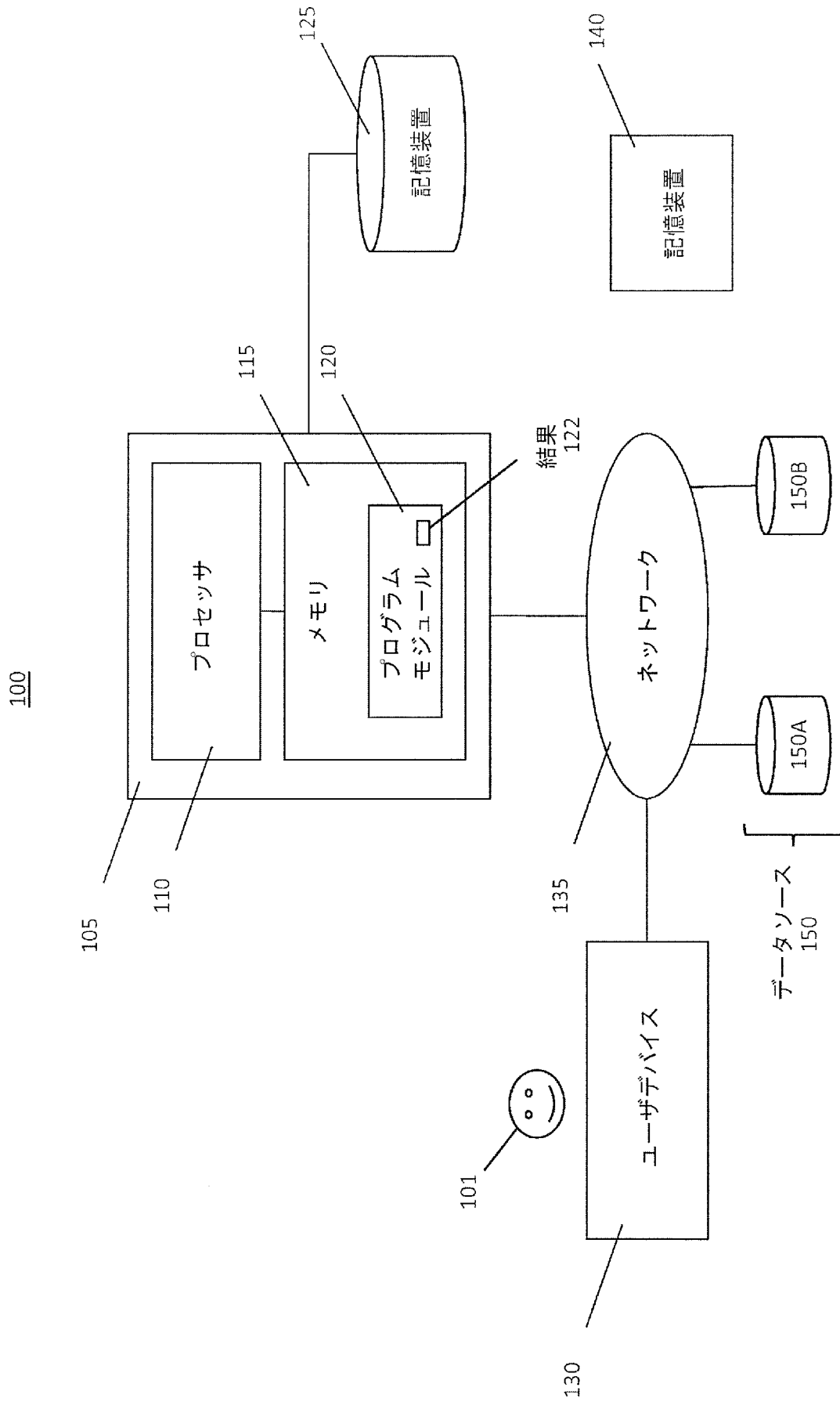
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/029795

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01D 5/353**(2006.01)i; **G01D 5/26**(2006.01)i

FI: G01D5/353 B; G01D5/26 D

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01D5/353; G01D5/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2020/0264018 A1 (INTUITIVE SURGICAL OPERATIONS, INC.) 20 August 2020 (2020-08-20) entire text, all drawings	1-7
A	US 2021/0348971 A1 (UT-BATTELLE, LLC) 11 November 2021 (2021-11-11) entire text, all drawings	1-7
A	OKAMOTO, Tatsuya et al. Investigation of Tolerance of OFDR-Based DAS to Vibration-induced Beat Frequency Offset. Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC). 2020 entire text, all drawings	1-7
A	OKAMOTO, Tatsuya et al. Vibration-Induced Beat Frequency Offset Compensation in Distributed Acoustic Sensing Based on Optical Frequency Domain Reflectometry. JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY. September 2019, vol. 37, no. 18, pp. 4896-4901 entire text, all drawings	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 October 2022

Date of mailing of the international search report

18 October 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)

3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915

Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/029795

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2020/0264018	A1	20 August 2020	WO 2019/070423 A1 entire text, all drawings CN 110476095 A	
US	2021/0348971	A1	11 November 2021	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01D 5/353(2006.01)i; G01D 5/26(2006.01)i FI: G01D5/353 B; G01D5/26 D										
B. 調査を行った分野										
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01D5/353; G01D5/26										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年
日本国実用新案公報	1922 - 1996年									
日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年									
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年									
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） IEEE Xplore										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
A	US 2020/0264018 A1 (INTUITIVE SURGICAL OPERATIONS, INC.) 20.08.2020 (2020 - 08 - 20) 全文、全文	1-7								
A	US 2021/0348971 A1 (UT-BATTELLE, LLC) 11.11.2021 (2021 - 11 - 11) 全文、全文	1-7								
A	OKAMOTO, Tatsuya et al., Investigation of Tolerance of OFDR-Based DAS to Vibration-induced Beat Frequency Offset, Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC), 2020 全文、全文	1-7								
A	OKAMOTO, Tatsuya et al., Vibration-Induced Beat Frequency Offset Compensation in Distributed Acoustic Sensing Based on Optical Frequency Domain Reflectometry, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 2019.09, vol.37, no.18, pp.4896-4901 全文、全文	1-7								
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 </td> <td> “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 03.10.2022		国際調査報告の発送日 18.10.2022								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 後藤 順也 2F 3101 電話番号 03-3581-1101 内線 3216								

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/029795

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
US	2020/0264018	A1	20.08.2020	WO	2019/070423	A1	
				全文、全図			
				CN	110476095	A	
				(ファミリーなし)			
US	2021/0348971	A1	11.11.2021				