

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2009年12月10日(10.12.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/147963 A1

- (51) 国際特許分類:
G01M 11/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/059498
- (22) 国際出願日: 2009年5月25日(25.05.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-144903 2008年6月2日(02.06.2008) JP
特願 2009-021442 2009年2月2日(02.02.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 長谷川 健美(HASEGAWA Takemi) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 林 哲也(HAYASHI Tetsuya) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内 Kanagawa (JP). 中路 晴雄(NAKAJI Haruo) [JP/JP]; 〒2448588 神奈川県横浜

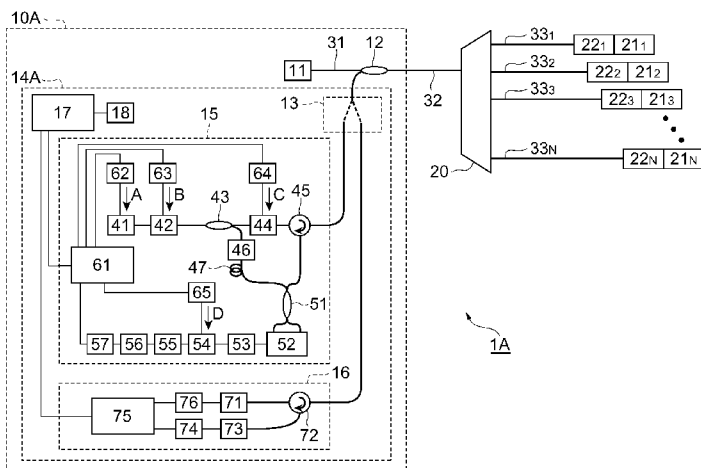
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiaki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目10番6号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (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, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

[続葉有]

(54) Title: BEAM PATH MONITORING DEVICE, AND BEAM PATH MONITORING SYSTEM

(54) 発明の名称: 光線路監視装置および光線路監視システム

[図1]



(57) Abstract: Provided are a beam path monitoring device and a beam path monitoring system, which can measure a reflectivity distribution in a beam path in a high space resolving power for a short time period. A beam path monitoring device (14A), which is installed in an office station (10A), comprises an OCDR measuring unit (15) for performing OCDR measurements, an OTDR measuring unit (16) for performing OTDR measurements, an optical switch (13) for connecting one of the OCDR measuring unit (15) and the OTDR measuring unit (16) selectively with an optical coupler (12), a control unit (17) and a storage unit (18). The control unit (17) performs predetermined operations on the basis of the OCDR measurement result, which is acquired by causing the OCDR measuring unit (15) to perform the OCDR measurements, and the OTDR measurement result, which is acquired by causing the OTDR measuring unit (16) to perform the OTDR measurements.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2009/147963 A1



CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, 添付公開書類:
TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

光線路における反射率分布を高い空間分解能で短時間に測定することができる光線路監視装置および光線路監視システムを提供する。局舎 10A に設けられた光線路監視装置 14A は、OCDR 測定を行う OCDR 測定部 15、OTDR 測定を行う OTDR 測定部 16、OCDR 測定部 15 および OTDR 測定部 16 のうちの一方を選択して光結合器 12 に接続する光スイッチ 13、制御部 17、ならびに記憶装置 18 を備える。制御部 17 は、OCDR 測定部 15 に対して OCDR 測定を行わせて取得させた OCDR 測定結果と、OTDR 測定部 16 に対して OTDR 測定を行わせて取得させた OTDR 測定結果とに基づいて、所定の演算を行う。

明 細 書

発明の名称：光線路監視装置および光線路監視システム

技術分野

[0001] 本発明は、光リフレクトメトリ技術を利用して光線路における反射率分布を測定することで該光線路を監視する光線路監視装置および光線路監視システムに関するものである。

背景技術

[0002] 光ファイバ線路を用いて光通信を行う光通信システムにおいて、その光ファイバ線路の破断や伝送損失増加などの故障を検知することは重要である。特に、近年普及しつつある加入者系の光通信システムでは、光ファイバ線路や加入者端末で故障が発生した場合に、迅速に故障箇所を特定して修復することが要求されている。

[0003] そこで、光通信システムにおいては、このような故障を検知するために光線路監視装置が設けられる。光線路監視装置は、光リフレクトメトリ技術を利用するものであって、光ファイバ線路等の光線路を監視光が伝搬する際に生じる反射光（フレネル反射光およびレイリー散乱光）に基づいて、その光線路における反射率分布を求めて、その光線路における故障の箇所を検知する。そして、このような光線路監視装置は、高い空間分解能で反射率分布を測定することが要求されている。

[0004] 光リフレクトメトリ技術として、パルス状の監視光が光線路を伝搬する際に生じる反射光の強度の時間変化に基づいて反射率分布を測定するOTDR（Optical Time Domain Reflectometry）が知られている。また、他の光リフレクトメトリ技術として、OCDR（Optical Coherence Domain Reflectometry）も知られている（特許文献1および非特許文献1，2を参照）。

[0005] OCDRでは、光周波数が変調されて櫛歯状の光波コヒーレンス関数を有する監視光を発生させ、この監視光が光線路を伝搬する際に生じる反射光を入力するとともに、この監視光の一部を分岐して取り出した参照光をも入力

し、これら反射光と参照光との干渉の大きさが両光の間の遅延時間差に依存することを利用して、光線路における特定位置における反射率を測定する。さらに、OCDRでは、監視光における光周波数変調の間隔を変化させる等により、反射率を測定する位置を変化させて、光線路における反射率分布を求める。

[0006] 光波コヒーレンス関数は、時刻 t を変数とする関数である光の電場 $V(t)$ の自己相関関数 $\langle V(t) \cdot V^*(t - \tau) \rangle$ を光強度で規格化したものであり、光パワースペクトルのフーリエ変換を光強度で規格化したものである。電場 $V(t)$ の光が2分岐されて、これら2つの分岐光の間の遅延時間差が τ であるとしたとき、これら2つの分岐光の干渉縞の大きさは、その光の光波コヒーレンス関数の実部により表される。また、光波コヒーレンス関数の絶対値は、可干渉度と呼ばれ、干渉の大きさを表す。

[0007] OCDRで用いられる監視光は、光周波数が変調されたものであって、櫛歯状の光波コヒーレンス関数を有する。具体例としては、光周波数を一定時間間隔で順に $f_0, f_0 + f_s, f_0 - f_s, f_0 + 2f_s, f_0 - 2f_s, f_0 + 3f_s, f_0 - 3f_s, \dots$ というように変調された光が監視光として用いられる。或いは、変調周波数 f_s で光周波数を正弦波状に変調された光が監視光として用いられる。このように光周波数が変調された監視光の光波コヒーレンス関数は、 $f_s \tau$ が整数であるときにデルタ関数形状に類似した形状のピーク（コヒーレンスピーク）を有する。すなわち、これらの監視光は、櫛歯状の光波コヒーレンス関数を有する。 f_s が変化すると、コヒーレンスピークの位置も変化する。

[0008] 櫛歯状の光波コヒーレンス関数は、間隔 $(1/f_s)$ で配置される複数のコヒーレンスピークを有する。そのうちの1つのコヒーレンスピークが光線路のうちの被測定区間に存在するように、コヒーレンスピークの配置の間隔 $(1/f_s)$ より短い時間幅のゲートが監視光にかけられて監視光のパルスが切り出される。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開平10-148596号公報

非特許文献

[0010] 非特許文献1：K. Hotate and Z. He, Journal of Lightwave Technology, vol. 24, pp. 2541-2557 (2006)

非特許文献2：Z. He and K. Hotate, Journal of Lightwave Technology, vol. 20, pp. 1715-1723 (2002)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] OTDRで高い空間分解能を得るには、監視光のパルス幅を狭くすることが必要である。また、監視光のパルス幅を狭くすると、監視光のエネルギーの低下に因る測定の信号対雑音比（SNR：Signal to Noise Ratio）の低下を補うために、監視光のパワーを高くすることが必要である。ところが、監視光のパワーを高くすると、光線路において誘導ブリルアン散乱などの非線形光学現象が発現することによって測定性能の低下や通信信号への干渉が生じる可能性がある。したがって、OTDRでは、空間分解能は数メートル程度に制限される。

[0012] 一方、OCDRでは、OTDRと比べると高い空間分解能を得ることができる。非特許文献1には、例えば5 km遠方の反射点を19 cmの空間分解能で測定できることが示されている。

[0013] しかし、OCDRでは、光線路に沿って連続的に生じるレイリー散乱光を検出することができない。なぜなら、実現可能な変調技術では光波コヒーレンス関数のサイドローブ（コヒーレンスピーク以外の部分）をゼロに抑えることができないことから、異なる2つの位置からの反射光を厳密に分離することができず、光線路における接続点などで生じる大きな反射光によってレイリー散乱光がノイズに埋もれてしまうからである。したがって、OCDRでは、光線路上の離散的な反射点を検出することはできるが、これらの反射

点の間の区間で生じるレイリー散乱光を検出することができないので、光線路の断片的な情報しか得ることができず、故障検知能力が不十分である。

[0014] また、OCDRでは測定時間が長くなる問題がある。これは、光線路における所定の測定距離範囲を漏れなく測定するためには、少なくとも測定距離を空間分解能で割った値より大きな測定点数が必要になるからである。また、OCDRでは、反射光を検出して得られる電気信号がフィルタを通して検出されることから、典型的には測定点1点当り1ms程度の測定時間が必要である。したがって、実用的な長さ20kmの光線路を10cm程度の空間分解能で測定しようとする、200秒程度の時間が必要となる。空間分解能をさらに改善すると、それだけ測定時間は長くなる。

[0015] 本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、光線路における反射率分布を高い空間分解能で短時間に測定することができる光線路監視装置および光線路監視システム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

[0016] 本発明に係る光線路監視装置は、(1) OTDRまたはOCDRにより、第1監視光を光線路に伝搬させ、その第1監視光の伝搬の際に生じる第1反射光を受光して、光線路における光伝搬方向に沿った反射率分布を第1測定結果として取得する第1測定手段と、(2) OCDRにより、第2監視光を光線路に伝搬させ、その第2監視光の伝搬の際に生じる第2反射光を受光して、光線路における光伝搬方向に沿った反射率分布を第2測定結果として取得する第2測定手段と、(3) 第1測定手段による第1測定結果の取得を第1空間分解能で行わせた後、その第1測定結果に基づいて決定される光線路の一部範囲について第2測定手段による第2測定結果の取得を第1空間分解能より小さい第2空間分解能で行わせる制御部と、を備えることを特徴とする。

[0017] 制御部が、第2測定結果に基づいて光線路における離散反射点の位置を求め、この求めた離散反射点の位置と第1空間分解能とに基づいて、離散反射点での反射による第1測定結果への寄与の程度を求め、この求めた寄与の程度に基づいて第1測定結果を補正して、その補正結果を出力するのが好適で

ある。第1測定手段において第1監視光を出力する光源部と、第2測定手段において第2監視光を出力する光源部とが、共通の部品を含むのが好適である。また、第1測定手段において第1反射光を受光する検出部と、第2測定手段において第2反射光を受光する検出部とが、共通の部品を含むのが好適である。

[0018] 本発明に係る光線路監視システムは、光線路により互いに光学的に接続された局側端末と加入者端末との間で光通信を行う光通信システムを監視するシステムであって、光線路の途中に設けられた光結合器と、この光結合器に光学的に接続された上記の本発明に係る光線路監視装置と、を備え、光線路監視装置から選択的に出力される第1監視光または第2監視光を、光結合器を経て光線路に伝搬させ、第1反射光または第2反射光を、光結合器を経て光線路監視装置に入力させることを特徴とする。

[0019] 局側端末と複数の加入者端末とが光分岐器を介して光学的に接続されており、局側端末と光分岐器との間の光線路の途中に光結合器が設けられているのが好適である。また、複数の加入者端末それぞれが、第1監視光および第2監視光を波長選択的に反射する反射フィルタを含むのが好適である。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、光線路における反射率分布を高い空間分解能で短時間に測定することができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]第1実施形態に係る光線路監視装置14Aを備える光線路監視システム1Aの構成を示す図である。

[図2]直接変調信号A、外部変調信号B、監視光ゲート信号Cおよび電気信号ゲート信号Dそれぞれの波形を示す図である。

[図3]反射光（戻り監視光）と参照光との相関強度、監視光ゲート信号Cと電気信号ゲート信号Dとの重なり（パルスウィンドウ）、および、反射光の検出感度それぞれを、光線路上の位置 z との関係において示す図である。

[図4]図3（a）中に示された光線路上における位置 z_1 、 z_2 それぞれからの

反射光による干渉信号のスペクトルを示す図である。

[図5] 第1実施形態に係る光線路監視装置14Aの動作を説明するフローチャートである。

[図6] 第1実施形態に係る光線路監視システム1Aの構成を簡略化して示す図である。

[図7] 第1実施形態に係る光線路監視システム1Aにおいて反射率分布を測定した場合の測定波形の計算結果を示す図である。

[図8] 第1実施形態に係る光線路監視システム1Aにおいて反射率分布を測定した場合の測定波形の計算結果を示す図である。

[図9] 第2実施形態に係る光線路監視装置14Bを備える光線路監視システム1Bの構成を示す図である。

[図10] 第3実施形態に係る光通信システム101Aおよび光反射測定装置113Aの構成図である。

[図11] OCDR測定結果、OTDR測定結果および処理部170の処理結果それぞれを模式的に示す図である。

[図12] 処理部170の処理のフローを示す図である。

[図13] 第4実施形態に係る光通信システム101Bおよび光反射測定装置113Bの構成図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0023] (第1実施形態)

[0024] 図1は、第1実施形態に係る光線路監視装置14Aを備える光線路監視システム1Aの構成を示す図である。この図に示される光線路監視システム1Aは、局舎10Aに設けられた局側端末11とN個の加入者端末 $21_1 \sim 21_N$ とが光分岐器20を介して互いに光ファイバ線路により光学的に接続されていて、局側端末11と各加入者端末 21_n との間で光通信を行うものである。

ここで、 N は2以上の整数であり、 n は1以上 N 以下の各整数である。このような光通信システムの形態は、PON (Passive Optical Network) と呼ばれる。分岐数 N は4～32が典型的である。

- [0025] 局舎10Aには、局側端末11の他に光結合器12および光線路監視装置14Aが設けられている。局側端末11と光結合器12とは光ファイバ線路31により光学的に接続されている。また、光結合器12には光線路監視装置14Aも光学的に接続されている。光結合器12と光分岐器20とは第1の光線路32により光学的に接続されている。光分岐器20と各加入者端末 21_n とは第2の光線路33 $_n$ により光学的に接続されている。第1の光線路32および第2の光線路33 $_n$ は光ファイバで構成される線路であり、好ましくはITU-T G. 652準拠のシングルモード光ファイバで構成される。
- [0026] 各加入者端末 21_n の光線路に対する接続端には、通信光を透過させ監視光を反射させる光フィルタ22 $_n$ が接続されているのが好ましい。一般的には通信光として $1.26\mu\text{m}\sim 1.62\mu\text{m}$ の波長の光が用いられるので、監視光としては波長 $1.65\mu\text{m}$ 帯 ($1.64\sim 1.66\mu\text{m}$) の光が用いられることが好ましく、したがって、各光フィルタ22 $_n$ は波長 $1.65\mu\text{m}$ 帯の光を選択的に反射するフィルタであることが好ましい。このような光フィルタはファイバグレーティングなどにより実現され得る。
- [0027] 光線路監視装置14Aは、OCDR測定を行うOCDR測定部15、OTDR測定を行うOTDR測定部16、OCDR測定部15およびOTDR測定部16のうち的一方を選択して光結合器12に接続する光スイッチ13、制御部17、ならびに記憶装置18を備える。光線路監視装置14Aは、測定対象のPONシステム (第1の光線路32, 光分岐器20, 第2の光線路33 $_n$, 光フィルタ22 $_n$, 加入者端末 21_n) を監視する。
- [0028] なお、1つのPONシステムにはOCDR測定部15およびOTDR測定部16のうち的一方が接続されるが、他方は別のPONシステムに接続されてもよく、それによって測定部の稼働率を高めて複数のPONシステムを監視対象に含めることができるので、加入者当りの監視コストを低減すること

ができる。

- [0029] O C D R測定部 1 5は、光源 4 1、強度変調器 4 2、光分岐器 4 3、監視光ゲート部 4 4、光サーキュレータ 4 5、偏波変調器 4 6、遅延光ファイバ 4 7、光結合器 5 1、バランス検波器 5 2、第 1 フィルタ 5 3、電気信号ゲート部 5 4、第 2 フィルタ 5 5、R F 検波器 5 6、A D 変換器 5 7、制御部 6 1 および信号発生器 6 2 ~ 6 5 を備える。
- [0030] 光源 4 1 は、出力光の光周波数を変調することができるものであって、例えば半導体 D F B レーザ光源や外部共振器付き半導体レーザ光源等である。光源 4 1 は、信号発生器 6 2 から出力される周期的な直接変調信号 A を入力して、この直接変調信号 A に基づいて光周波数が周期的に変調された光を出力する。この光源 4 1 からの出力光は櫛歯状の光波コヒーレンス関数を有する。
- [0031] 強度変調器 4 2 は、信号発生器 6 3 から出力される周期的な外部変調信号 B を入力して、この外部変調信号 B に基づいて光源 4 1 からの出力光を強度変調して出力する。外部変調信号 B は直接変調信号 A に同期した周期的な信号である。この強度変調器 4 2 からの出力光は、強度変調によって光スペクトルが整形されたものとなり、光波コヒーレンス関数に含まれるノイズが低減されたものとなる。
- [0032] 光分岐器 4 3 は、光源 4 1 から出力され必要に応じて強度変調器 4 2 により強度変調された光を入力し、この入力光を監視光と参照光とに 2 分岐して、そのうち監視光を監視光ゲート部 4 4 へ出力し、参照光を偏波変調器 4 6 へ出力する。
- [0033] 監視光ゲート部 4 4 は、光分岐器 4 3 から出力された監視光を入力し、また、信号発生器 6 4 から出力された監視光ゲート信号 C をも入力する。監視光ゲート信号 C は、一定周期 T でゲート幅 $w 1$ のパルスをも有する周期的な信号である。監視光ゲート信号 C のゲート幅 $w 1$ は、直接変調信号 A および外部変調信号 B それぞれの変調周期にほぼ等しい。監視光ゲート部 4 4 は、このような監視光ゲート信号 C のゲート幅 $w 1$ のパルスの期間のみ、光分岐器

4 3 から出力された監視光を光サーキュレータ 4 5 へ出力する。

[0034] 光サーキュレータ 4 5 は、監視光ゲート部 4 4 からパルス化されて出力された監視光を入力し、その監視光を光結合器 1 2 へ出力する。また、光サーキュレータ 4 5 は、光結合器 1 2 から到達した光を入力し、その光を光結合器 5 1 へ出力する。

[0035] 光サーキュレータ 4 5 から出力された監視光は、光スイッチ 1 3 および光結合器 1 2 を経て第 1 の光線路 3 2 へ送出され、さらに、第 1 の光線路 3 2、光分岐器 2 0、第 2 の光線路 3 3_n を経て光フィルタ 2 2_n に達する。この監視光の伝搬の際に生じる反射光（フレネル反射光やレイリー散乱光）は、監視光の伝搬経路と逆方向の経路を辿って、光結合器 1 2、光スイッチ 1 3 および光サーキュレータ 4 5 を経て光結合器 5 1 に入力される。このとき、各第 2 の光線路 3 3_n の末端と加入者端末 2 1_n との間に光フィルタ 2 2_n が配置されていることにより、OTDR 測定および OCDR 測定の際に光フィルタ 2 2_n により監視光が反射されて生じた反射光を検出することで光線路の断線などの異常を検出することができる。

[0036] 特に、光フィルタの反射率 R [dB] は、光分岐器の分岐数を N として、下記 (1) 式を満たすことが好ましい。ここで、 R_0 は、光サーキュレータ 4 5、光結合器 1 2、第 1 の光線路 3 2 および光分岐器 2 0 における内部反射率であり、典型的には -40 dB である。この (1) 式を満たすことにより、光フィルタ 2 2_n で反射されて監視装置に到達する反射光のパワーは、光分岐器 2 0 の上流（監視装置側）での意図しない反射により生じた反射光のパワーに比べて大きくなるので、光分岐器 2 0 上流での意図しない反射による雑音の影響が相対的に低減され、測定時間が短縮される。

[0037]
$$R > R_0 + 20 \log_{10} (N) \quad \dots (1)$$

[0038] 光分岐器 4 3 と光結合器 5 1 との間の参照光の光路に遅延光ファイバ 4 7 が設けられているのが好ましい。遅延光ファイバ 4 7 は、光サーキュレータ 4 5 から光結合器 5 1 に入力される反射光（監視光の戻り光）と、光分岐器 4 3 から光結合器 5 1 に入力される参照光と、の間の遅延時間を設定する。

測定する距離範囲内の任意の位置で監視光が反射されて生じた反射光と参照光との間の遅延時間が、光源 4 1 の出力光のコヒーレンス時間より長くなるように、遅延光ファイバ 4 7 の長さを設定するのが好ましい。遅延時間がコヒーレンス時間より短い範囲では空間分解能は遅延時間と共に増大し、遅延時間がコヒーレンス時間より長い範囲では空間分解能は略一定値となるので、遅延時間を上記のように設定することにより、測定範囲内での空間分解能のバラツキを低減することができる。

[0039] 光分岐器 4 3 と光結合器 5 1 との間の参照光の光路に偏波変調器 4 6 が設けられているのも好ましい。偏波変調器 4 6 は、光分岐器 4 3 から出力された参照光を入力し、その参照光の偏波状態を変えて出力する。反射光（監視光の戻り光）と参照光とを互いに干渉させて検出する際、その検出効率は 2 つの光の偏波状態の相対関係に依存するので、反射光および参照光の少なくとも一方の偏波状態を変えながら測定を行い、複数の偏波状態で測定した結果に対して平均化などの演算処理を施して、偏波状態に依存しない測定結果を得ることが好ましい。

[0040] 光結合器 5 1 は、光サーキュレータ 4 5 から出力された反射光（監視光の戻り光）を入力するとともに、光分岐器 4 3 から出力されて偏波変調器 4 6 および遅延光ファイバ 4 7 を経た参照光を入力し、これら入力した反射光と参照光とを合波してバランス検波器 5 2 へ出力する。光結合器 5 1 として例えば 3 dB カプラが用いられる。

[0041] バランス検波器 5 2 は、光結合器 5 1 により合波された反射光および参照光を入力して、これら反射光と参照光とが互いに干渉してなる干渉光の強度を示す電気信号を第 1 フィルタ 5 3 へ出力する。すなわち、バランス検波器 5 2 は、干渉光の強度に応じた値の電気信号を出力する光電変換部として作用する。

[0042] 第 1 フィルタ 5 3 は、バランス検波器 5 2 から出力される電気信号を入力し、この電気信号に含まれる不要雑音を除去して、その除去後の電気信号を電気信号ゲート部 5 4 へ出力する。第 1 フィルタ 5 3 は、入力した電気信号

の直流成分を除去するフィルタであることが好ましい。直流成分の雑音は、光結合器 5 1 およびバランス検波器 5 2 におけるバランスの誤差によって生じるが、これを第 1 フィルタ 5 3 により除去することにより、後段の電気信号ゲート部 5 4 における雑音発生量を低減することができる。

[0043] 電気信号ゲート部 5 4 は、バランス検波器 5 2 から出力されて第 1 フィルタ 5 3 を経た電気信号を入力し、また、信号発生器 6 5 から出力された電気信号ゲート信号 D をも入力する。電気信号ゲート信号 D は、一定周期 T でゲート幅 w 2 のパルスをも有する周期的な信号である。電気信号ゲート信号 D の周期 T は監視光ゲート信号 C の周期 T とほぼ等しい。電気信号ゲート信号 D のパルス中心は、監視光ゲート信号 C のパルス中心に対してゲート遅延時間 d だけ遅れている。

[0044] 電気信号ゲート部 5 4 は、このような電気信号ゲート信号 D のゲート幅 w 2 のパルスの期間のみ、第 1 フィルタ 5 3 から出力された電気信号を第 2 フィルタ 5 5 へ出力する。電気信号ゲート部 5 4 から第 2 フィルタ 5 5 へ出力される電気信号はパルス信号となる。電気信号ゲート部 5 4 としては、電気信号ゲート信号 D のレベルに応じて ON/OFF 動作するオペアンプ回路が用いられる。

[0045] 第 2 フィルタ 5 5 は、電気信号ゲート部 5 4 から出力されたパルス状の電気信号を入力し、その入力した電気信号の特定周波数帯域のものを選択的に RF 検波器 5 6 へ出力する。第 2 フィルタ 5 5 における上記特定周波数帯域は、電気信号ゲート信号 D の繰り返し周波数 f ($= 1/T$) の整数倍の周波数 $n f$ (ただし n は自然数) を含まないことが好ましい。特に、上記特定周波数帯域は f ($= 1/T$) の半奇数倍の周波数を含み $f/2$ 以下の帯域幅を持つことが好ましい。電気信号ゲート部に入力される信号は、直流および $1/p$ の整数倍の周波数に雑音を持っており、この雑音が電気信号ゲート部を通過することにより、 f の整数倍の周波数に雑音が拡散する。しかし、上記のように周波数帯域を設定することにより、電気信号ゲート部 5 4 において生じる雑音の影響を低減することができ、測定の SN 比を改善することがで

きて、測定時間を短縮することができる。

[0046] RF検波器56は、第2フィルタ55から出力される電気信号を入力し、干渉成分の大きさに相当する電気信号に変換してAD変換器57へ出力する。AD変換器57は、RF検波器56から出力される電気信号を入力し、この電気信号（アナログ信号）をデジタル信号に変換して、このデジタル信号を制御部61へ出力する。このデジタル信号の値は、光源41における光周波数変調の周期 p およびゲート遅延時間 d により決定される光線路上の位置 z において生じた反射光のパワーを表す。

[0047] 制御部61は、AD変換器57から出力されたデジタル値を入力して、このデジタル値と位置 z とを互いに関連付けて記憶する。制御部61は、信号発生器62~65それぞれを制御して、信号発生器62から出力される直接変調信号Aの変調周期 p 、信号発生器63から出力される外部変調信号Bの変調周期 p 、信号発生器64から出力される監視光ゲート信号Cの周期 T およびゲート幅 w_1 、信号発生器65から出力される電気信号ゲート信号Dの周期 T およびゲート幅 w_2 、ならびに、ゲート遅延時間 d を指定する。これにより、制御部61は、測定対象である光線路上の測定位置 z を指定して、その位置 z において生じた反射光のパワーを表すデジタル値をAD変換器57から取得する。そして、制御部61は、光線路上における監視光伝搬方向に沿った反射率分布を求める。

[0048] OTDR測定部16は、光源71、光サーキュレータ72、光検出器73、AD変換器74、制御部75、および信号発生器76を備える。

[0049] 光源71は、信号発生器76から出力されるパルス信号を入力して、このパルス信号により駆動されてパルス状の監視光を発生する光源であり、例えば半導体レーザを用いることができる。光サーキュレータ72は、光源71から出力された監視光を入力し、その監視光を光結合器12へ出力する。また、光サーキュレータ72は、光結合器12から到達した光を入力し、その光を光検出器73へ出力する。

[0050] 光検出器73は、光サーキュレータ72から光を入力して検出し、その光

強度に応じた電気信号を出力する。電気信号は時間とともに変化し、その変化は光線路に沿った反射率の分布を反映する。AD変換器74は、検出器73から電気信号を入力し、この電気信号（アナログ信号）を逐次デジタル信号に変換し、デジタル信号系列として制御部75へ出力する。制御部75は、AD変換器74から出力されたデジタル信号系列を入力して、OTDR測定結果として記録する。

- [0051] 制御部17は、OCDR測定部15の制御部61およびOTDR測定部16の制御部75と接続され、これらの制御部61、75に対して測定範囲などの測定条件を出力するとともに、制御部61、75から測定結果のデータを入力する。また、制御部17は記憶装置18に接続されている。記憶装置18には、監視装置から各光フィルタ22_nまでの距離や、光フィルタ22_nおよび加入者端末21_nの設置位置（建物の名称や建物内での位置など）などの情報が格納される。
- [0052] 制御部17は、反射率分布の中から光フィルタ22_nに由来する反射率のピークを検出し、事前に準備された光フィルタ22_nまでの距離の情報と反射率ピークの距離とを照合して、各光フィルタ22_nからの反射光が検出されたか否かを判定する。そして、制御部17は、反射光が検出される加入者端末と反射光が検出されない加入者端末とが混在する場合は、後者の加入者端末が所属する加入者側光ファイバに断線などの異常があると判定し、異常を表示する。
- [0053] また、制御部17は、光フィルタ22_nまでの距離情報に基づいて、光フィルタ22_nの近傍に限定してOCDR測定を行い、光フィルタ22_nからの反射光の有無や反射率の大きさを知ることにより、その光フィルタ22_nが属する第2の光線路33_nの異常の有無を判定するための時間を短縮することができる。
- [0054] さらに、制御部17は、OCDR測定部15に対してOCDR測定を行わせて取得させたOCDR測定結果と、OTDR測定部16に対してOTDR測定を行わせて取得させたOTDR測定結果とに基づいて、後述するような

所定の演算を行う。

- [0055] 次に、図2～図4を用いて、直接変調信号A、外部変調信号B、監視光ゲート信号C、電気信号ゲート信号D、および、RF検波器56から出力される電気信号、等について説明する。
- [0056] 図2は、直接変調信号A、外部変調信号B、監視光ゲート信号Cおよび電気信号ゲート信号Dそれぞれの波形を示す図である。同図(a)は、信号発生器62から光源41に与えられる直接変調信号Aの波形を示す。同図(b)は、信号発生器63から強度変調器42に与えられる外部変調信号Bの波形を示す。同図(c)は、信号発生器64から監視光ゲート部44に与えられる監視光ゲート信号Cの波形を示す。また、同図(d)は、信号発生器65から電気信号ゲート部54に与えられる電気信号ゲート信号Dの波形を示す。
- [0057] 図3は、反射光(戻り監視光)と参照光との相関強度、監視光ゲート信号Cと電気信号ゲート信号Dとの重なり(パルスウィンドウ)、および、反射光の検出感度それぞれを、光線路上の位置 z との関係において示す図である。同図(a)は、反射光(戻り監視光)と参照光との相関強度分布を示す。同図(b)は、監視光ゲート信号Cと電気信号ゲート信号Dとの重なり(パルスウィンドウ)を示す。また、同図(c)は、反射光の検出感度分布を示す。
- [0058] 図4は、図3(a)中に示された光線路上における位置 z_1 、 z_2 それぞれの反射光による干渉信号のスペクトルを示す図である。同図(a)は、図3(a)中に示された相関が高い位置 z_1 からの反射光による干渉信号のスペクトルを示す。また、同図(b)は、図3(a)中に示された相関が低い位置 z_2 からの反射光による干渉信号のスペクトルを示す。
- [0059] 図2(a)に示されるように、直接変調信号Aは、周期 p を有する周期的な信号であって、光源41からの出力光を光周波数変調するための信号である。周期 p は、光線路上における測定位置 z を規定する。測定対象である光線路の位置 z で反射・散乱されて生じた反射光(戻り監視光)の参照光に対す

る遅延時間差 d が下記 (2) 式の条件を満たすときに、その位置 (図 3 (a) 中の位置 z_1) からの反射光と参照光との変調の位相が同期して反射光と参照光との相関が高まる。一方、下記 (2) 式の条件を満たさない位置 (図 3 (a) 中の位置 z_2) で反射・散乱されて生じた反射光 (戻り監視光) は参照光との相関が低い。

[0060] $d/p = \text{整数} \quad \dots (2)$

[0061] 反射光 (戻り監視光) と参照光との相関が高い場合 (図 3 (a) 中の位置 z_1 の場合) には、両光による干涉信号のスペクトルは監視光の線幅と同程度の周波数帯域に局在する (図 4 (a) 参照)。一方、相関が低い場合 (図 3 (a) 中の位置 z_2 の場合) には、干涉信号のスペクトルは監視光の光周波数変調の振幅と同程度の周波数帯域にわたって拡散される (図 4 (b) 参照)。したがって、監視光の線幅より大きな振幅で光周波数変調を施すことにより、特定の測定位置からの反射光を選択的に検出することができる。空間分解能は光周波数変調の振幅にほぼ逆比例するので、周波数変調の振幅は大きいほうが好ましい。一方、光源 4 1 としてのレーザダイオードに注入することができる電流の上限値は損傷閾値で規定され、下限値はゼロであるので、それによって振幅の上限が規定される。なお、直接変調信号 A の波形は、本実施形態では正弦波であるが、矩形波や三角波などの様々な周期的波形であってもよい。

[0062] より好ましくは、空間分解能は 9 cm 以下とすることが好ましい。それにより、異なる第 2 の光線路に属する光フィルタの反射ピークの重なりを避けるためには、第 2 の光線路の長さを互いに 9 cm 以上異ならせれば十分であり、各第 2 の光線路には 9 cm の余長を確保すれば良い。一方、第 2 の光線路として用いられる光ファイバとしては一般的には I T U-T G. 6 5 2 準拠のシングルモード光ファイバのうち、曲げ特性を強化して許容曲げ半径を 1 5 mm とした光ファイバが普及している。この許容曲げ半径 1 5 mm で 1 周巻くことにより、9 cm の余長を収納することができるので、空間分解能を 9 cm 以下とすることにより、余長収納のスペースを最小化することができ

る。

[0063] 図2(b)に示されるように、外部変調信号Bは、直接変調信号Aに同期した周期的な信号であって、光源41からの出力光を強度変調器42により直接変調信号Aに同期して強度変調するための信号である。これによって、強度変調器42から出力される光のスペクトルを整形することができる。OCDRにおける反射光検出感度は距離の関数として表され、この距離の関数は光波コヒーレンス関数として知られる。特定の測定位置からの反射光を選択的に検出するためには、光波コヒーレンス関数はデルタ関数列に近いことが好ましい。一方、光波コヒーレンス関数は光のパワースペクトルのフーリエ変換で与えられるので、強度変調によってスペクトルを整形することにより、OCDRによる反射光測定の位置選択性を高めることができる。

[0064] 図2(c)に示されるように、監視光ゲート信号Cは、一定周期Tでゲート幅 w_1 のパルスをもつ周期的な信号であって、監視光ゲート部44から出力される監視光をゲート幅 w_1 のパルスの期間のみに選択するための信号である。また、図2(d)に示されるように、電気信号ゲート信号Dは、一定周期Tでゲート幅 w_2 のパルスをもつ周期的な信号であって、電気信号ゲート部54から出力される電気信号をゲート幅 w_2 のパルスの期間のみに選択するための信号である。

[0065] 電気信号ゲート信号Dの周期Tは監視光ゲート信号Cの周期Tと等しい。電気信号ゲート信号Dのパルス中心は、監視光ゲート信号Cのパルス中心に対してゲート遅延時間 d だけ遅れている。このようにすることにより、光線路における特定の測定距離範囲（パルスウィンドウ）からの反射光が選択的に検出される（図3(b), (c)参照）。

[0066] 直接変調信号Aの周期 p 、監視光ゲート信号Cのゲート幅 w_1 および電気信号ゲート信号Dのゲート幅 w_2 が、下記(3)式の関係を満たすことが好ましい。このようにすることにより、パルスウィンドウの中心において反射光（戻り監視光）と参照光との相関がピークとなるようにゲート遅延時間 d を定めれば、パルスウィンドウの中に存在し得る相関ピークは1つに制限さ

れる。

$$[0067] \quad w_1 + w_2 < 2p \quad \dots (3)$$

[0068] 監視光ゲート信号Cおよび電気信号ゲート信号Dそれぞれの周期Tは、直接変調信号Aの周期pの整数倍であることが好ましい。第2フィルタ55の透過帯域は、監視光ゲート信号Cおよび電気信号ゲート信号Dそれぞれの繰り返し周波数 $f (= 1/T)$ の整数倍の周波数を含まないことが好ましい。

[0069] これは以下の理由による。バランス検波器52に入力される反射光（戻り監視光）の電界の複素振幅を E_1 とし、バランス検波器52に入力される参照光の電界の複素振幅を E_2 とすると、バランス検波器52から出力される電気信号（電流 I_1 ）は、比例係数を省略すると、下記（4）式で表される。この式の第1項は非干渉性の雑音である。 ϵ はバランス検出による同相成分の減衰係数を示す。 ϵ は、ゼロであることが理想的であるが、実際には 10^{-5} またはそれ以上の値をとることが多く、雑音の原因となる。第2項は干渉信号である。

$$[0070] \quad I_1 = \epsilon (|E_1|^2 + |E_2|^2) + 2 \operatorname{Re}[E_1 \cdot E_2^*] \quad \dots (4)$$

[0071] 非干渉雑音は、光強度に比例し、スペクトル成分としては、平均パワーに相当する直流成分と、光源41での寄生強度変調および外部強度変調による変調成分（周期p）とを有する。非干渉雑音は、第1フィルタ53によって直流成分が減衰された後、電気信号ゲート部54において電気信号ゲート信号Dによってパルスが切り出される。

[0072] 電気信号ゲート部54から出力される電気信号（電流 I_2 ）は下記（5）式で表される。ここで、Fは、電気信号ゲート信号Dであり、周期Tを有する。この式の第1項は非干渉性雑音であり、第2項は干渉信号である。

$$[0073] \quad I_2 = \epsilon F (|E_1|^2 + |E_2|^2) + 2 F \cdot \operatorname{Re}[E_1 \cdot E_2^*] \quad \dots (5)$$

[0074] この（5）式の第1項の非干渉性雑音は、周波数 $(1/p)$ の関数と周波数 $(1/T)$ の関数との積であるから、 i, j を整数として、周波数 $(i/p + j/T)$ に出現する雑音となる。ここで、監視光ゲート信号Cおよび電気信号ゲ

ート信号Dそれぞれのパルス繰返し周期Tが直接変調信号Aの変調周期pの整数倍に等しくなるようにパルス周期を設定すると、非干渉性の雑音が生じる周波数は、 i を整数として、 i/T に限定される。したがって、周波数(i/T)を含まない周波数帯域の成分を第2フィルタ55により切り出して検出帯域とすることにより、雑音の少ない測定結果を得ることができる。

[0075] 次に、図5～図8を用いて、第1実施形態に係る光線路監視装置14Aの動作について説明するとともに、OTDR測定および複数のOCDR測定により光線路に沿った反射率分布の高分解能での測定のための時間を短縮する方法について説明する。

[0076] 図5は、第1実施形態に係る光線路監視装置14Aの動作を説明するフローチャートである。図6は、第1実施形態に係る光線路監視システム1Aの構成を簡略化して示す図である。図7および図8は、第1実施形態に係る光線路監視システム1Aにおいて反射率分布を測定した場合の測定波形の計算結果を示す図である。

[0077] 図6に示されるように、ここではN値が4とされ、光線路監視システム1Aには4つの加入者端末21₁～21₄が含まれ、加入者端末の光線路への接続端には光フィルタ22₁～22₄が挿入されているとする。光線路監視装置14Aから光フィルタ22₁までの距離は19004mであり、光線路監視装置14Aから光フィルタ22₂までの距離は19005mであり、光線路監視装置14Aから光フィルタ22₃までの距離は19006mであり、光線路監視装置14Aから光フィルタ22₄までの距離は19007mであるとする。各光フィルタ22_nの反射率は-5dBであるとする。このときの反射率分布は図7(a)に示されており、この分布を光線路監視装置14Aによって以下の手順で測定する。

[0078] 初めにOTDRによる測定が行われる(ステップS1)。OTDR測定に際しては、OTDR測定部16の光源71からパルス状の監視光が出力され、その監視光が光線路を伝搬する際に生じる反射光がOTDR測定部16の光検出器73により受光され、その反射光の強度が時間の関数として測定さ

れる。そのOTDR測定結果は、AD変換器74によりデジタルデータに変換され、制御部75により取得され、さらに制御部17により取得される。

[0079] 典型的な光線路の長さは約20km以下であり、光線路中の光速は約 $2 \times 10^8 \text{ m/s}$ であるから、監視光が反射されて戻ってくるまでの時間は長くても $100 \mu\text{s}$ である。したがって、短時間でOTDR測定することが可能である。一方、OTDRの空間分解能は、パルス幅を小さくした場合のSN比の低下などにより、実用的には約2mが下限となる。このときのOTDR測定結果は、図7(b)に示されるように、1m間隔の4つの光フィルタを個々に識別することができず、1つの広い反射ピークとして測定される。

[0080] 続いて、上記のOTDR測定結果に対して閾値処理が施される(ステップS2)。この閾値処理により、反射光パワーが閾値以上となる距離範囲R1が抽出される。閾値は、反射ピークにおけるパワーと光線路からのレイリー散乱による反射光パワーとの間で設定される。図7(b)において、測定範囲R1は19000m~19011mにわたる11mの範囲となる。

[0081] 続いて、距離範囲R1を測定範囲として第1のOCDR測定が行われる(ステップS3)。第1のOCDR測定では空間分解能は20cmとされる。測定範囲R1における第1のOCDR測定の結果と、測定範囲R1以外の範囲におけるOTDR測定の結果とを連結して得られる測定結果が、図7(c)に示されている。第1のOCDR測定により、1m間隔の4つの光フィルタは4つの反射ピークとして個々に識別される。

[0082] 続いて、第1のOCDR測定結果に対し閾値処理が施される(ステップS4)。この閾値処理により、反射光パワーが閾値以上となる距離範囲R2が抽出される。図7(c)において、測定範囲R2は、19003.60~19004.42m、19004.60~19005.42m、19005.60~19006.42m、および、19006.60~19007.42mの4つの部分範囲を含み、全体として328cm(=82cm×4)の範囲となる。

[0083] 続いて、距離範囲R2を測定範囲として第2のOCDR測定が行われる(ステップS5)。第2のOCDR測定では空間分解能は4cmとされる。測

定範囲R2における第2のOC DR測定の結果と、測定範囲R2以外の範囲における第1のOC DR測定の結果（OTDR測定の結果も含む）とを連結して得られる測定結果が、図7（d）に示されている。第2のOC DR測定により、4つの光フィルタの反射ピークの幅がさらに狭まり、ピークの位置をより高い精度で決定することが可能となる。

[0084] 続いて、第2のOC DR測定結果に対しピーク検出処理が施される（ステップS6）。このピーク検出処理により、4つの光フィルタの位置が認識され、離散反射点の位置および強度（反射光パワーのピーク値）のデータが得られる。このデータが図8（a）にプロットで示されている。

[0085] 続いて、記憶装置18に記憶されている離散反射点の位置および強度のデータと、第1のOC DR測定のインパルス応答とが畳み込み演算され、第1のOC DR測定のインパルス応答が測定結果へ与える寄与が計算される（ステップS7）。インパルス応答は、反射点が1つだけ存在した場合に得られる測定結果である。4つの離散反射点の各々に畳み込まれた4つのインパルス応答が図8（a）に点線で示されている。

[0086] これらのインパルス応答が測定範囲R2以外の範囲において合算されることにより、インパルス応答による第1のOC DR測定への寄与が求められる。これが図8（a）に実線で示されている。インパルス応答による寄与が第2のOC DR測定の結果（図7（d））から減算されることにより、第1のOC DR測定のインパルス応答が補正された反射率分布が得られる。この補正後の反射率分布が図8（b）に示されている。

[0087] 同様にして、記憶装置18に記憶されている離散反射点の位置および強度のデータと、OTDR測定のインパルス応答とが畳み込み演算され、OTDR測定のインパルス応答が測定結果へ与える寄与が計算される（ステップS8）。4つの離散反射点の各々に畳み込まれた4つのインパルス応答が図8（c）に点線で示されている。

[0088] これらのインパルス応答が測定範囲R2以外の範囲において合算されることにより、インパルス応答による第1のOC DR測定への寄与が求められる

。これが図8(c)に実線で示されている。インパルス応答による寄与が、第1のOCDR測定のインパルス応答が補正された反射率分布(図8(b))から減算されることにより、OTDR測定のインパルス応答が補正された反射率分布が得られる。この補正後の反射率分布が図8(d)に示されている。図8(d)に示されるように、測定すべき反射率分布(図7(a))に良く一致する測定結果が得られる。

[0089] 以上のように、インパルス応答を補正する処理を行わない場合は、図7(d)に示されるように、インパルス応答に起因する測定結果の不連続性が測定範囲の境界部に生じる。これに対して、インパルス応答を補正する処理を行うことにより、図8(d)に示されるように、不連続性が低減された測定結果が得られる。反射率分布の測定結果における不連続性は、光線路中の反射や光学損失などの特徴点が測定結果に与える寄与と区別することがしばしば困難であるので、不連続性を低減することによって誤った特徴点検出を低減することができる。

[0090] なお、インパルス応答の補正処理を実現するために、OCDR測定およびOTDR測定それぞれのインパルス応答の波形を記憶装置18に記憶しておくことが望ましい。また、光線路監視装置内または光線路内に意図的に反射点を設け、この反射点を測定することによってインパルス応答を求めても良い。

[0091] また、上述したように、OTDR測定(分解能2m)、第1のOCDR測定(分解能20cm)および第2のOCDR測定(分解能4cm)を組み合わせることで測定することにより、広い距離範囲を対象として離散反射点を高い空間分解能で短時間に検出することができる。仮に、上に示したように約20kmの距離範囲を分解能4cmのOCDRで漏れなく測定しようとする、OCDRの測定点数は50万点となる。典型的なOCDR測定では、約1ms/点が必要となるから、測定時間は500秒が必要となる。一方、本実施形態では、OTDRによる測定時間は100μsであり、第1のOCDR測定(測定範囲R1の長さ=11m、分解能=20cm)の測定時間は55m

s (= 55 点 × 1 ms / 点) であり、第 2 の O C D R 測定 (測定範囲 R 2 の長さの合計 = 328 cm、分解能 = 4 cm) の測定時間は 82 ms (= 82 点 × 1 ms / 点) であるから、測定時間は 137 ms に短縮される。

[0092] (第 2 実施形態)

[0093] 図 9 は、第 2 実施形態に係る光線路監視装置 14 B を備える光線路監視システム 1 B の構成を示す図である。図 1 に示された第 1 実施形態に係る光線路監視システム 1 A と比較すると、この図 9 に示される第 2 実施形態に係る光線路監視システム 1 B は、局舎 10 A に替えて局舎 10 B を備える点で相違し、局舎が光線路監視装置 14 A に替えて光線路監視装置 14 B を備える点で相違する。

[0094] また、図 1 中の光線路監視装置 14 A の構成と比較すると、図 9 中の光線路監視装置 14 B は、O C D R 測定部 15 および O T D R 測定部 16 に替えて O C D R / O T D R 測定部 15 B を備える点で相異なる。また、図 1 中の O C D R 測定部 15 の構成と比較すると、図 9 中の O C D R / O T D R 測定部 15 B は、光スイッチ 66 および A D 変換器 67 を備える点で相違する。

[0095] 光スイッチ 66 は、光分岐器 43 と偏波変調器 46 との間に設けられていて、光分岐器 43 から分岐されて出力される光の通過 / 遮断を行う。A D 変換器 67 は、バランス検波器 52 から出力される電気信号 (アナログ信号) をデジタル信号に変換して、このデジタル信号を制御部 61 へ出力する。

[0096] O C D R / O T D R 測定部 15 B は、O C D R 測定および O T D R 測定の双方を行うことができる。O C D R / O T D R 測定部 15 B が O C D R 測定を行う場合、光スイッチ 66 は開通状態とされる。O C D R / O T D R 測定部 15 B のその他の構成要素は図 1 中の O C D R 測定部 15 と同じように動作して、O C D R 測定を実現する。

[0097] O C D R / O T D R 測定部 15 B が O T D R 測定を行う場合、光スイッチ 66 は遮断状態とされ、光分岐器 43 から分岐されて出力される光はバランス検波器 52 に入力されない。信号発生器 62 はパルス信号を出力し、そのパルス信号が入力された光源 41 はパルス状の監視光を出力する。光強度変

調器 4 2 および監視光ゲート部 4 4 は開通状態とされ、光源 4 1 から出力されたパルス状の監視光は、そのまま光強度変調器 4 2 および監視光ゲート部 4 4 を通過する。

[0098] 或いは、光源 4 1 から連続光を出力させ光強度変調器 4 2 または監視光ゲート部 4 4 で光強度を変調することでパルス状の監視光を発生させても良い。後者の場合、光源 4 1 において周波数変調を行って光スペクトルを拡散させることにより、光線路中での誘導ブリルアン散乱の発生を抑制し、より高いパワーの監視光を光線路に送出することが可能となる。その結果、測定のス N 比が改善されるとともに、測定距離が延伸され、許容される光線路損失の拡大が実現され得る。

[0099] 監視光は、光サーキュレータ 4 5 および光結合器 1 2 を経て測定対象の P O N システム（第 1 の光線路 3 2、光分岐器 2 0、第 2 の光線路 3 3_n、光フィルタ 2 2_n）に送出され、測定対象中で発生した反射光は、光結合器 1 2 および光サーキュレータ 4 5 を経てバランス検波器 5 2 に達する。バランス検波器 5 2 は、O T D R 測定の場合は、非バランス動作し、反射光パワーに比例した電気信号を出力する。バランス検波器 5 2 から出力された電気信号は 2 分岐され、一方は第 1 フィルタ 5 3 等を経て A D 変換器 5 7 へ出力され、他方は A D 変換器 6 7 へ出力される。このうち A D 変換器 6 7 からの出力が制御部 6 1 によって読み取られ、O T D R 測定結果として記憶される。

[0100] 以上のようにして O C D R / O T D R 測定部 1 5 B により取得された O C D R 測定結果および O T D R 測定結果は、制御部 1 7 において、第 1 実施形態における処理と同様に処理される。

[0101] このように、本実施形態では、O T D R 測定および O C D R 測定における光源部および検出部が共通化されている。このようにすることにより、共通化しない場合に比べて、光源波長のバラツキおよび検出部の感度のバラツキによって生じる O T D R 測定結果と O C D R 測定結果と間の不整合が低減され得る。このような不整合は、第 1 実施形態で説明したインパルス応答の補正処理では除去され得ず、測定結果の不連続性の原因となる。これに対して

、本実施形態のように光源部および検出部を共通化することによって、そのような不連続性が低減され、光線路中の特徴点の誤検出が低減され得る。

[0102] (第3実施形態)

[0103] 図10は、第3実施形態に係る光通信システム101Aおよび光反射測定装置113Aの構成図である。この図に示される光通信システム101Aは、局舎110Aに設けられた局側端末111とN個の加入者端末 $121_1 \sim 121_N$ とが光分岐器120を介して互いに光ファイバ線路により光学的に接続されていて、局側端末111と各加入者端末 121_n との間で光通信を行うものである。ここで、Nは2以上の整数であり、nは1以上N以下の各整数である。このような光通信システム101Aの形態は、PON (Passive Optical Network) と呼ばれる。分岐数Nは4~32が典型的である。

[0104] 局舎110Aには、局側端末111の他に光結合器112および光反射測定装置113Aが設けられている。局側端末111と光結合器112とは光ファイバ線路131により光学的に接続されている。光結合器112と光分岐器120とは光ファイバ線路132により光学的に接続されている。光分岐器120と各加入者端末 121_n とは光ファイバ線路133_nにより光学的に接続されている。また、光結合器112には光反射測定装置113Aも光学的に接続されている。

[0105] 光反射測定装置113Aは、OCDR測定およびOTDR測定の双方を行うことができ、OCDR測定結果とOTDR測定結果とを組み合わせ出力する。光反射測定装置113Aは、光源部140A、測定部160Aおよび処理部170を備え、更に光変調器151および光遅延線152を備える。

[0106] 光源部140Aは、光周波数が変調されて櫛歯状の光波コヒーレンス関数を有する第1監視光およびパルス状の第2監視光の何れかを選択して光結合器112へ出力する。また、光源部140Aは、第1監視光の一部を分岐して参照光として光変調器151へ出力する。第1監視光および参照光はOCDR測定に用いられ、第2監視光はOTDR測定に用いられる。光源部140Aは、光源141、信号発生器142、光変調器143および光結合器1

44を含む。

- [0107] 光源部140Aに含まれる光源141は、出力光の光周波数を変調することができるものであって、例えば半導体DFBレーザ光源や外部共振器付き半導体レーザ光源等である。光源141は連続光を出力する。信号発生器142は、光源141から出力される連続光の光周波数を変調するための変調信号を出力し、その変調信号を光源141に与える。光変調器143は、光源141から出力される光を入力して、この光を必要に応じて変調して出力する。光結合器144は、光変調器143から出力される光を2分岐して、一方の分岐光を光結合器112へ出力し、他方の分岐光を光変調器151へ出力する。
- [0108] 測定部160Aは、光源部140Aから出力された第1監視光が測定対象物を伝搬する際に生じる反射光および光源部140Aから出力される参照光に基づいてOCDR測定結果を取得する。また、測定部160Aは、光源部140Aから出力された第2監視光が測定対象物を伝搬する際に生じる反射光に基づいてOTDR測定結果を取得する。測定部160Aは、光結合器161、バランス検波器162、フィルタ163、RF検波器164、AD変換器165およびAD変換器166を含む。
- [0109] 測定部160Aに含まれる光結合器161は、光結合器144から出力される光を入力するとともに、光遅延線152から光が出力される場合にはその光をも入力して、その入力した光をバランス検波器162へ出力する。バランス検波器162は、光結合器161から出力される光を入力して検波し、その検波結果を表す電気信号をフィルタ163またはAD変換器166へ出力する。フィルタ163は、バランス検波器162から出力される電気信号を入力し、その電気信号に含まれる雑音成分を除去して、その除去後の電気信号をRF検波器164へ出力する。
- [0110] 測定部160Aに含まれるRF検波器164は、フィルタ163から出力される電気信号を入力し、干渉成分の大きさに相当する電気信号に変換してAD変換器165へ出力する。AD変換器165は、RF検波器164から

出力される電気信号を入力し、この電気信号（アナログ信号）をデジタル信号に変換して、このデジタル信号（OCDR測定結果）を処置部170へ出力する。また、AD変換器166は、バランス検波器162から出力される電気信号を入力し、この電気信号（アナログ信号）をデジタル信号に変換して、このデジタル信号（OTDR測定結果）を処置部170へ出力する。

[0111] なお、OCDR測定の際には、AD変換器166は用いられない。また、OTDR測定の際には、フィルタ163、RF検波器164およびAD変換器165は用いられない。

[0112] 処理部170は、測定部160Aにより取得されたOCDR測定結果とOTDR測定結果とを組み合わせ出力する。また、処理部170は、OCDR測定結果とOTDR測定結果とに基づいて所定の演算を行って、その演算結果を出力する。処理部170は、制御部171および記憶部172を含む。

[0113] 処理部170に含まれる制御部171は、光源部140Aの動作を制御する。また、制御部171は、AD変換器165から出力されるデジタル信号（OCDR測定結果）を入力するとともに、AD変換器166から出力されるデジタル信号（OTDR測定結果）を入力して、これらOCDR測定結果およびOTDR測定結果を記憶部172に記憶させる。記憶部172は、第2監視光のパルス時間波形を予め記憶している。そして、制御部171は、OCDR測定結果、OTDR測定結果および第2監視光のパルス時間波形に基づいて所定の演算を行って、その演算結果を出力する。

[0114] 次に、OCDR測定について説明する。OCDR測定の場合、光源部140Aは、光周波数が変調されて櫛歯状の光波コヒーレンス関数を有する第1監視光を出力する。このとき、光源141から出力される連続光は、信号発生器142により光周波数が変調されて、櫛歯状の光波コヒーレンス関数を有するものとされる。具体例としては、光周波数を一定時間間隔で順に f_0 , $f_0 + f_s$, $f_0 - f_s$, $f_0 + 2f_s$, $f_0 - 2f_s$, $f_0 + 3f_s$, $f_0 - 3f_s$, ... というように変調された光が第1監視光として用いられる。或いは、変調周

波数 f_s で光周波数が正弦波状に変調された光が第 1 監視光として用いられる。このように光周波数が変調された第 1 監視光の光波コヒーレンス関数は、 $f_s \tau$ が整数であるときにデルタ関数形状に類似した形状のピーク（コヒーレンスピーク）を有する。すなわち、これらの第 1 監視光は、櫛歯状の光波コヒーレンス関数を有する。 f_s が変化すると、コヒーレンスピークの位置も変化する。

[0115] 光変調器 143 は、光源 141 から出力される連続光を光周波数変調に同期して強度変調して、この強度変調した光を第 1 監視光として出力するのが好適である。このような第 1 監視光は、光波コヒーレンス関数のサイドローブが抑圧されたものとなる。そして、光結合器 144 は、光変調器 143 から出力された第 1 監視光を光結合器 112 へ出力するとともに、第 1 監視光の一部を分岐して参照光として光変調器 151 へ出力する。

[0116] 光結合器 144 から光結合器 112 へ出力された第 1 監視光は、光ファイバ線路 132、光分岐器 120 および光ファイバ線路 133_n を経て加入者端末 121_n へ伝搬する。第 1 監視光が測定対象物（光ファイバ線路 132、光分岐器 120、光ファイバ線路 133_n、加入者端末 121_n）を伝搬する際に、測定対象物上の離散反射点においてフレネル反射光が生じ、また、離散反射点の間の区間においてレイリー散乱光が生じる。これら反射光（フレネル反射光、レイリー散乱光）は、光結合器 112 および光結合器 144 を経て光結合器 161 へ入力される。

[0117] 一方、光結合器 144 から光変調器 151 へ出力された参照光は、光変調器 151 および光遅延線 152 を経て光結合器 161 へ入力される。光変調器 151 は、光結合器 144 から出力される参照光を入力し、必要に応じて、所定のタイミングで参照光にゲートをかけることで、OCDR 測定の際の測定対象物における被測定位置を決定する。光遅延線 152 は、光変調器 151 から出力される参照光に対して遅延を与えることで、光結合器 161 へ入力される第 1 監視光の反射光と参照光との光路長差を小さくして、光源 141 から出力される光の位相揺らぎによって生じる雑音を低減する。

- [0118] なお、光変調器 151 は、参照光に対してゲートをかけることその他、参照光を偏波変調してもよいし、参照光の光周波数をシフトさせてもよいし、これらのうちの複数の処理をしてもよい。参照光を偏波変調して複数の偏波状態で O C D R 測定結果を平均化することにより、第 1 監視光および参照光の偏波ゆらぎの影響を低減することができる。また、参照光の光周波数をシフトさせて第 1 監視光の反射光がヘテロダイン検波されるようにすることで、第 1 監視光の強度ゆらぎによる雑音を低減することができる。
- [0119] 光結合器 161 は、光結合器 144 から出力される第 1 監視光の反射光と光遅延線 152 から出力される参照光とを結合して、これらをバランス検波器 162 へ出力する。バランス検波器 162 は、これら反射光と参照光とを入力してバランス検波して、これら反射光および参照光それぞれの電界の干渉成分に相当する電気信号をフィルタ 163 へ出力する。フィルタ 163 は、バランス検波器 162 から出力される電気信号を入力し、その電気信号に含まれる雑音成分を除去して、その除去後の電気信号を R F 検波器 164 へ出力する。
- [0120] R F 検波器 164 は、フィルタ 163 から出力される電気信号を入力し、干渉成分の大きさに相当する電気信号に変換して A D 変換器 165 へ出力する。A D 変換器 165 は、R F 検波器 164 から出力される電気信号を入力し、この電気信号をデジタル信号に変換して、このデジタル信号を制御部 171 へ出力する。制御部 171 は、A D 変換器 165 から出力されたデジタル信号を入力して、このデジタル信号を記憶部 172 により記憶させる。このデジタル信号の値は、測定対象物における被測定位置での反射率を表す。
- [0121] さらに、制御部 171 による制御に従って、光源 141 における光周波数変調の際のパラメータ f_s が変更されることにより、コヒーレンスピークの位置（すなわち、測定対象物における被測定位置）が変更されて、上記と同様にして、測定対象物における被測定位置での反射率を表すデジタル信号が記憶部 172 により記憶される。コヒーレンスピークの位置（すなわち、測定対象物における被測定位置）が走査されることで、O C D R 測定結果が得ら

れる。

[0122] 次に、OTDR測定について説明する。OTDR測定の場合、光源部140Aは、パルス状の第2監視光を出力する。このとき、光変調器143は、光源141から出力される連続光を強度変調して、パルス状の第2監視光として出力する。このとき、光源141は、信号発生器142から出力される変調信号に従って光周波数を変調して、スペクトル拡散された連続光を出力するのが好適である。このように第2監視光のスペクトルが拡散されることで、光ファイバ線路132、133₁~33_Nを第2監視光が伝搬する際に誘導ブリルアン散乱などの非線形光学現象の発生が抑制される。そして、光結合器144は、光変調器143から出力された第2監視光を光結合器112へ出力するとともに、第2監視光の一部を分岐して光変調器151へ出力する。光変調器151へ出力された光は、この光変調器151により遮断される。

[0123] 光結合器144から光結合器112へ出力された第2監視光は、光ファイバ線路132、光分岐器120および光ファイバ線路133_nを経て加入者端末121_nへ伝搬する。第2監視光が測定対象物（光ファイバ線路132、光分岐器120、光ファイバ線路133_n、加入者端末121_n）を伝搬する際に、測定対象物上の離散反射点においてフレネル反射光が生じ、また、離散反射点の間の区間においてレイリー散乱光が生じる。これら反射光（フレネル反射光、レイリー散乱光）は、光結合器112および光結合器144を経て光結合器161へ入力される。

[0124] 光結合器161は、光結合器144から出力される第2監視光の反射光を入力して、これをバランス検波器162へ出力する。バランス検波器162は、非バランス動作を行い、光結合器161から出力される光を入力して、この入力光パワーに応じた電気信号をAD変換器166へ出力する。この電気信号を時間の関数としたものが、測定対象物における反射率分布をあらわす。AD変換器166は、バランス検波器162から出力される電気信号を入力し、この電気信号を一定時間間隔でデジタル信号に変換して、このデジ

タル信号を制御部 171 へ出力する。制御部 171 は、AD 変換器 166 から出力されたデジタル信号を入力して、このデジタル信号を記憶部 172 により記憶させる。このようにして、OTDR 測定結果が得られる。

[0125] 次に、図 11 および図 12 を用いて、処理部 170 における処理の内容について説明する。図 11 は、OCDR 測定結果、OTDR 測定結果および処理部 170 の処理結果それぞれを模式的に示す図である。図 12 は、処理部 170 の処理のフローを示す図である。処理部 170 に含まれる制御部 171 は、以上のようにして得られて記憶部 172 により記憶されている OCDR 測定結果および OTDR 測定結果、ならびに、記憶部 172 により予め記憶されている第 2 監視光のパルス時間波形を用いて、以下のような処理を行う。

[0126] 図 11 に示されるように、一般に、OCDR 測定結果によれば、離散的な反射点の位置（例えば光ファイバ線路 133_n と加入者端末 121_n との接続点）が高い空間分解能で得られるが、これらの反射点の間の区間では光波コヒーレンス関数のサイドローブに起因するコヒーレンスノイズが観測されるので当該区間での情報が得られない。一方、OTDR 測定結果によれば、離散的な反射点の間の区間ではレイリー散乱光が観測されるが、これら反射点の付近では反射点位置と第 2 監視光のパルス時間波形との畳み込みに因るブロードなピークが観測される。

[0127] そこで、このような OCDR 測定結果および OTDR 測定結果それぞれの特徴を考慮して、本実施形態に係る光反射測定装置 113A の処理部 170 は、OCDR 測定結果、OTDR 測定結果および第 2 監視光のパルス時間波形を用いて図 12 に示される処理を行うことにより、図 11 に示されるようなレイリー散乱光測定を含んだ高分解能の反射点測定結果を得る。

[0128] 処理部 170 に含まれる制御部 171 は、先ず、記憶部 172 に記憶されている OCDR 測定結果を用い、コヒーレンスノイズより高い所定の水準で OCDR 測定結果の閾値処理を行ってピーク位置を検出することにより、測定対象物における離散反射点の位置のリストを求める。

- [0129] また、制御部 171 は、記憶部 172 に記憶されている第 2 監視光のパルス時間波形、および、測定対象物の波長分散や偏波モード分散の長手方向分布などの情報を用いて、測定対象物を第 2 監視光が伝搬する際のパルス拡がりによる各位置での第 2 監視光のパルス時間波形を求める。
- [0130] さらに、制御部 171 は、既に求めた離散反射点の位置リストと各位置での第 2 監視光のパルス時間波形とを畳み込み演算することにより、離散反射点での第 2 監視光の反射による OTDR 測定結果への寄与の程度を求める。
- [0131] そして、制御部 171 は、この求めた寄与の程度に基づいて、記憶部 172 に記憶されている OTDR 測定結果を補正して、その補正結果を出力する。具体的には、制御部 171 は、離散反射点での第 2 監視光の反射による OTDR 測定結果への寄与を OTDR 測定結果から減算し、離散反射点の位置リストからデルタ関数状の反射ピーク波形を生成して、これを上記の減算の結果に対して合成する。
- [0132] このような処理を処理部 170 が行うことで、本実施形態に係る光反射測定装置 113A は、測定対象物において発生するレイリー散乱光および離散的な反射光を高精度に検出することができ、高分解能の反射率分布の測定結果を得ることができる。
- [0133] (第 4 実施形態)
- [0134] 図 13 は、第 4 実施形態に係る光通信システム 101B および光反射測定装置 113B の構成図である。図 10 に示された第 3 実施形態に係る光通信システム 101A の構成と比較すると、この図 13 に示される第 4 実施形態に係る光通信システム 101B は、局舎 110A に替えて局舎 110B を備える点で相違し、光反射測定装置 113A に替えて光反射測定装置 113B を備える点で相違する。
- [0135] また、図 10 中の光反射測定装置 113A の構成と比較すると、図 13 中の光反射測定装置 113B は、光源部 140A に替えて光源部 140B を含む点で相違し、測定部 160A に替えて測定部 160B を含む点で相違し、また、光サーキュレータ 153 を更に含む点で相違する。

- [0136] 光源部 140B は、光源 141、信号発生器 142、光変調器 143 および光結合器 144 を含む。光結合器 144 は、光源 141 と光変調器 143 との間に設けられ、光源 141 から出力される第 1 監視光および第 2 監視光それぞれを 2 分岐して、一方の分岐光を光変調器 143 へ出力し、他方の分岐光を光変調器 151 へ出力する。光変調器 143 は、光結合器 144 から出力された光を入力し、この光を変調して光サーキュレータ 153 へ出力する。
- [0137] 光サーキュレータ 153 は、光変調器 143 から出力された光を入力して、この入力した光を光結合器 112 へ出力する。また、光サーキュレータ 153 は、光結合器 112 から出力された光を入力して、この入力した光を光結合器 161 へ出力する。
- [0138] 測定部 160B は、光結合器 161、バランス検波器 162、フィルタ 163、RF 検波器 164 および AD 変換器 165 を含む。光結合器 161 は、光サーキュレータ 153 から出力された光を入力するとともに、光遅延線 152 から出力された光をも入力して、これらの光をバランス検波器 162 へ出力する。
- [0139] OCDR 測定の場合、光源 141 から出力された第 1 監視光は、光結合器 144、光変調器 143、光サーキュレータ 153 および光結合器 112 を経て、測定対象物（光ファイバ線路 132、光分岐器 120、光ファイバ線路 133_n、加入者端末 121_n）を伝搬する。この伝搬の際に生じる反射光（フレネル反射光、レイリー散乱光）は、光結合器 112 および光サーキュレータ 153 を経て光結合器 161 へ入力される。また、光源 141 から出力された第 1 監視光の一部は光結合器 144 により分岐されて参照光とされる。その参照光は、光変調器 151 および光遅延線 152 を経て光結合器 161 へ入力される。測定部 160B および処理部 170 においては、第 3 実施形態の場合と同様の動作が行われて、OCDR 測定結果が得られる。
- [0140] 一方、OTDR 測定の場合、光源 141 から出力された第 2 監視光は、光結合器 144、光変調器 143、光サーキュレータ 153 および光結合器 1

12を経て、測定対象物を伝搬する。この伝搬の際に生じる反射光（フレネル反射光、レイリー散乱光）は、光結合器112および光サーキュレータ153を経て光結合器161へ入力される。また、光源141から出力された第2監視光の一部は光結合器144により分岐されて参照光とされる。その参照光は、光変調器151および光遅延線152を経て光結合器161へ入力される。

[0141] 本実施形態では、OTDR測定の場合にも、バランス検波器162はバランス検波動作する。望ましくは、光変調器151により参照光の光周波数がシフトされ、バランス検波器162により第2監視光がヘテロダイン検波される。その結果、コヒーレントOTDR（C-OTDR）として知られる測定方式が実現され、反射率分布が測定される。

[0142] 処理部170は、第3実施形態の場合と同様の処理をする。OCDR測定結果およびC-OTDR測定結果が図12のフローで処理されることにより、図11に示したような高分解能の反射率分布測定結果が得られる。さらに、C-OTDRでは十分に高いパワーを有する参照光を用いることによりショットノイズ限界の測定が可能であるので、32分岐システムなどの光分岐器120での挿入損失が高いPONシステムにも用いることができる。

[0143] 以上、光反射測定装置は、(1) 光周波数が変調されて楕円状の光波コヒーレンス関数を有する第1監視光およびパルス状の第2監視光の何れかを選択して出力するとともに、第1監視光の一部を分岐して参照光として出力する光源部と、(2) 光源部から出力された第1監視光が測定対象物を伝搬する際に生じる反射光および光源部から出力される参照光に基づいてOCDR測定結果を取得するとともに、光源部から出力された第2監視光が測定対象物を伝搬する際に生じる反射光に基づいてOTDR測定結果を取得する測定部と、(3) 測定部により取得されたOCDR測定結果とOTDR測定結果とを組み合わせ出力する処理部と、を備えることを特徴とする。このようにしてOCDR測定結果とOTDR測定結果とが組み合わせられて出力されることにより、測定対象物における離散反射点が高い空間分解能で検出されるとともに、

測定対象物における離散反射点の間の区間の状態をも測定され得る。

[0144] また、光反射測定装置では、処理部は、OCDR測定結果に基づいて、測定対象物における離散反射点の位置を求め、この求めた離散反射点の位置と第2監視光のパルス時間波形とに基づいて、離散反射点での第2監視光の反射によるOTDR測定結果への寄与の程度を求め、この求めた寄与の程度に基づいてOTDR測定結果を補正して、その補正結果を出力するのが好適である。このような処理が行われることにより、測定対象物における離散反射点の付近の状態が測定されるとともに、離散反射点および離散反射点の間の区間の情報が一元化され得る。

[0145] また、光通信システムは、光ファイバ線路により互いに光学的に接続された局側端末と加入者端末との間で光通信を行う光通信システムであって、光ファイバ線路の途中に設けられた光結合器と、この光結合器に光学的に接続された上記の光反射測定装置とを備え、光反射測定装置から選択的に出力される第1監視光または第2監視光を、光結合器を経て光ファイバ線路に伝搬させ、第1監視光または第2監視光が光ファイバ線路を伝搬する際に生じる反射光を、光結合器を経て光反射測定装置に入力させることを特徴とする。また、本発明に係る光通信システムは、局側端末と複数の加入者端末とが光分岐器を介して光学的に接続されており、局側端末と光分岐器との間の光ファイバ線路の途中に光結合器が設けられているのが好適である。このように光通信システムにおいて上記の光反射測定装置が用いられることにより、加入者端末や光ファイバ線路で生じる故障の箇所が特定され得る。

[0146] また、光通信システムは、光分岐器から複数の加入者端末それぞれまでの光ファイバ長が加入者端末毎に異なるのが好適である。この場合には、加入者端末が個別に区別され得る。

[0147] 上記の光反射測定装置や光通信システムによれば、測定対象物において発生するレイリー散乱光および離散的な反射光を高精度に検出することができる。

[0148] (変形例)

- [0149] 本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、上記第3及び第4実施形態において、第1監視光の光波コヒーレンス関数のサイドローブを抑圧する手法を組み合わせ用いてもよい。すなわち、信号発生器142が生成する変調波形を正弦波とすると、光源141から出力される光のパワースペクトルの両端部においてスペクトル変化が急峻となるのでサイドローブが発生するが、このサイドローブを抑圧するために、光フィルタによってスペクトルの両端部を平滑化する方法や、変調波形を歪ませることでスペクトルを平滑化する方法を採用するのが好ましい。
- [0150] また、上記第3及び第4実施形態において、局側端末111から出力される信号光の波長と異なる波長の監視光を用いることにより、信号光と監視光との干渉を防ぐことが望ましい。信号光波長としては $1.3\mu\text{m}$ 帯、 $1.49\mu\text{m}$ 帯および $1.55\mu\text{m}$ 帯などが用いられるので、第1監視光または第2監視光の波長としては $1.58\sim 1.65\mu\text{m}$ 帯が好ましい。また、光結合器112は、波長合波器として信号光および監視光の挿入損失を最小限に抑えることが好ましい。
- [0151] また、上記第3及び第4実施形態において、OTDR測定に用いる第2監視光は、光源141を直接変調することによって生成しても良い。
- [0152] また、上記第3及び第4実施形態において、図10および図13それぞれに模式的に示されるように、光ファイバ線路 $133_1\sim 133_n$ それぞれの長さは互いに異なることが望ましい。特に、各光ファイバ線路 133_n の長さの差を、OCDR測定の典型的な分解能より大きく（例えば 50cm 以上）すると、加入者端末 121_n と光ファイバ線路 133_n との接続点で生じる離散反射点を加入者端末毎に区別して測定することができるので好ましい。または、加入者端末 121_n と光ファイバ線路 133_n との間に、加入者端末毎に異なる間隔で形成された離散反射点を有する反射マーカ要素子を挿入することも、端末判別手段として用いることができる。
- [0153] また、上記第3及び第4実施形態において、光通信システムの構築時もし

くは構築後の測定によって、それぞれの加入者端末から局舎までの距離の情報を取得し、それを記憶部172に記憶し、記憶された加入者端末までの距離の近傍にOCDRの測定範囲を制限しても良い。それにより、それぞれの加入者端末と局舎の間の光学的接続が保たれているかどうかを、短時間で監視することが可能となる。

符号の説明

[0154] 1A, 1B…光線路監視システム、10A, 10B…局舎、11…局側端末、12…光結合器、13…光スイッチ、14A, 14B…光線路監視装置、15…OCDR測定部、15B…OCDR/OTDR測定部、16…OTDR測定部、17…制御部、18…記憶装置、20…光分岐器、21₁~21_N…加入者端末、22₁~22_N…光フィルタ、31, 32, 33₁~33_N…光ファイバ線路、41…光源、42…強度変調器、43…光分岐器、44…監視光ゲート部、45…光サーキュレータ、46…偏波変調器、47…遅延光ファイバ、51…光結合器、52…バランス検波器、53…第1フィルタ、54…電気信号ゲート部、55…第2フィルタ、56…RF検波器、57…AD変換器、61…制御部、62~65…信号発生器、66…光スイッチ、67…AD変換器、71…光源、72…光サーキュレータ、73…光検出器、74…AD変換器、75…制御部、76…信号発生器、101A, 101B…光通信システム、110A, 110B…局舎、111…局側端末、112…光結合器、113A, 113B…光反射測定装置、120…光分岐器、121₁~121_N…加入者端末、131, 132, 133₁~133_N…光ファイバ線路、140A, 140B…光源部、141…光源、142…信号発生器、143…光変調器、144…光結合器、151…光変調器、152…光遅延線、153…光サーキュレータ、160A, 160B…測定部、161…光結合器、162…バランス検波器、163…フィルタ、164…RF検波器、165…AD変換器、166…AD変換器、170…処理部、171…制御部、172…記憶部。

請求の範囲

[請求項1]

OTDRまたはOCDRにより、第1監視光を光線路に伝搬させ、その第1監視光の伝搬の際に生じる第1反射光を受光して、前記光線路における光伝搬方向に沿った反射率分布を第1測定結果として取得する第1測定手段と、

OCDRにより、第2監視光を前記光線路に伝搬させ、その第2監視光の伝搬の際に生じる第2反射光を受光して、前記光線路における光伝搬方向に沿った反射率分布を第2測定結果として取得する第2測定手段と、

前記第1測定手段による前記第1測定結果の取得を第1空間分解能で行わせた後、その第1測定結果に基づいて決定される前記光線路の一部範囲について前記第2測定手段による前記第2測定結果の取得を前記第1空間分解能より小さい第2空間分解能で行わせる制御部と、
を備えることを特徴とする光線路監視装置。

[請求項2]

前記制御部が、

前記第2測定結果に基づいて前記光線路における離散反射点の位置を求め、

この求めた離散反射点の位置と前記第1空間分解能とに基づいて、前記離散反射点での反射による前記第1測定結果への寄与の程度を求め、

この求めた寄与の程度に基づいて前記第1測定結果を補正して、その補正結果を出力する、

ことを特徴とする請求項1に記載の光線路監視装置。

[請求項3]

前記第1測定手段において前記第1監視光を出力する光源部と、前記第2測定手段において前記第2監視光を出力する光源部とが、共通の部品を含み、

前記第1測定手段において前記第1反射光を受光する検出部と、前記第2測定手段において前記第2反射光を受光する検出部とが、共通

の部品を含む、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の光線路監視装置。

[請求項4]

光線路により互いに光学的に接続された局側端末と加入者端末との間で光通信を行う光通信システムを監視するシステムであって、

前記光線路の途中に設けられた光結合器と、この光結合器に光学的に接続された請求項 1 ～ 3 の何れか 1 項に記載の光線路監視装置と、を備え、

前記光線路監視装置から選択的に出力される前記第 1 監視光または前記第 2 監視光を、前記光結合器を経て前記光線路に伝搬させ、

前記第 1 反射光または前記第 2 反射光を、前記光結合器を経て前記光線路監視装置に入力させる、

ことを特徴とする光線路監視システム。

[請求項5]

前記局側端末と複数の加入者端末とが光分岐器を介して光学的に接続されており、

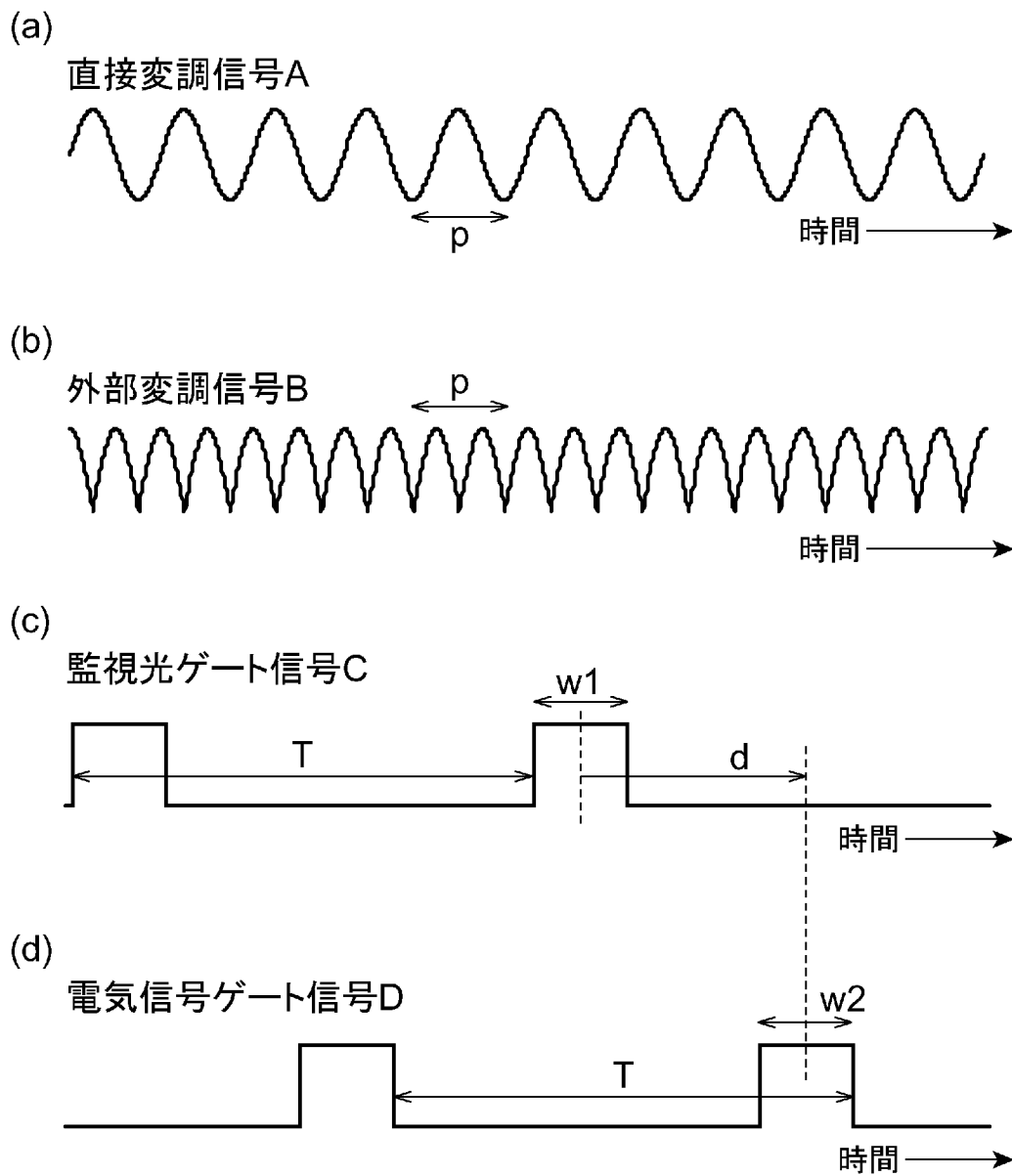
前記局側端末と前記光分岐器との間の光線路の途中に前記光結合器が設けられている、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の光線路監視システム。

[請求項6]

前記複数の加入者端末それぞれが、前記第 1 監視光および前記第 2 監視光を波長選択的に反射する反射フィルタを含む、ことを特徴とする請求項 5 に記載の光線路監視システム。

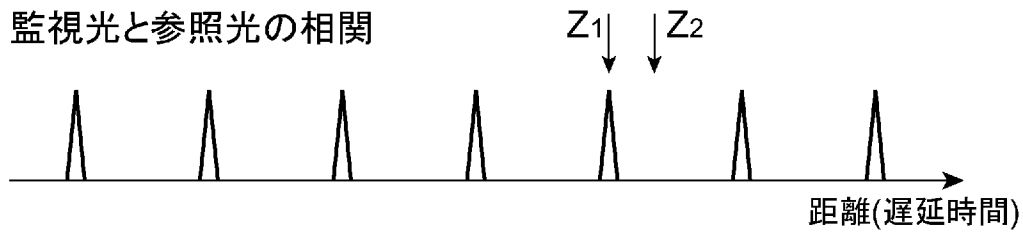
[図2]



[図3]

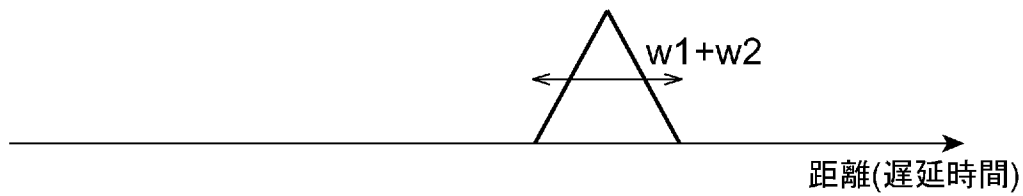
(a)

監視光と参照光の相関



(b)

監視光ゲートと電気信号ゲートの重なり (パルスウィンドウ)



(c)

反射光の検出感度

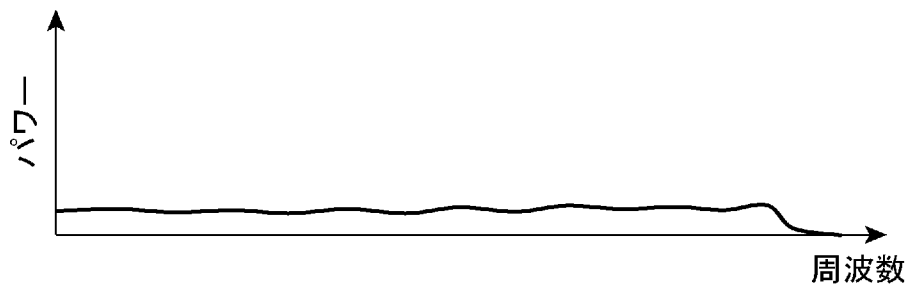


[図4]

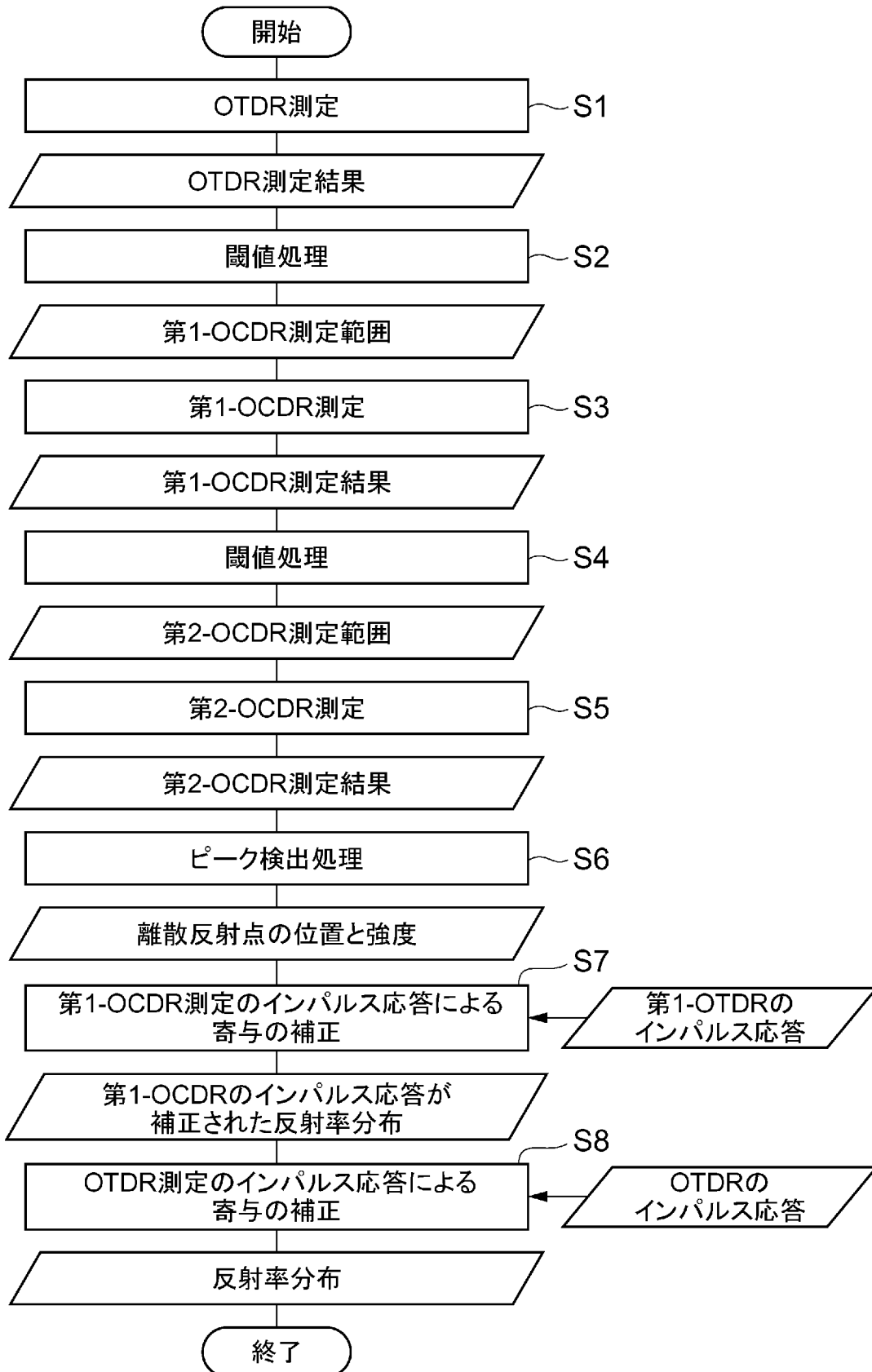
(a)

位置Z₁での反射光による干渉信号

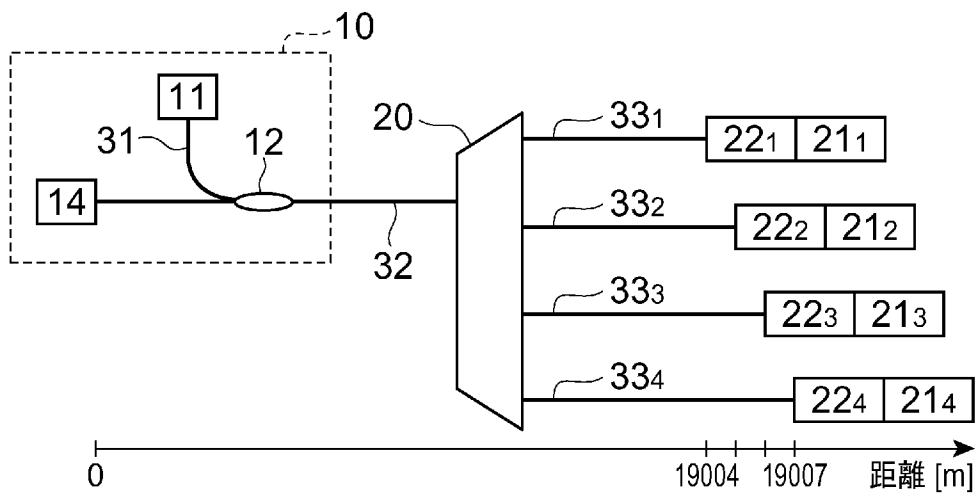
(b)

位置Z₂での反射光による干渉信号

[図5]

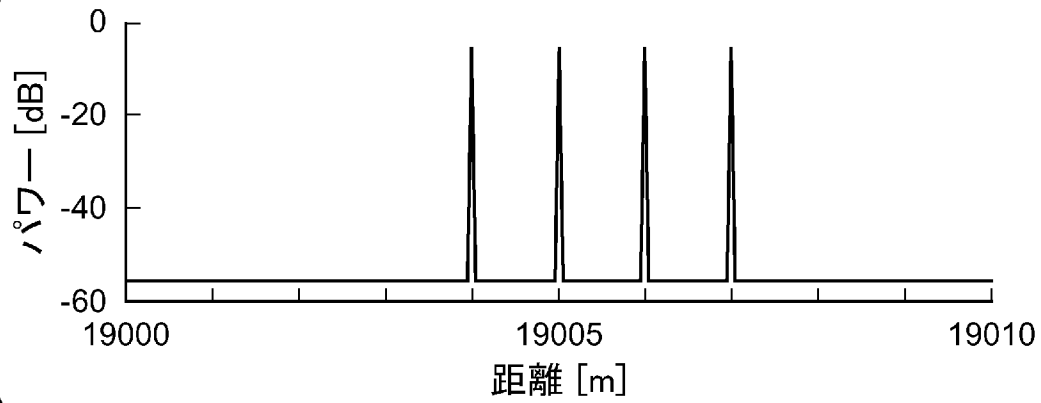


[圖6]

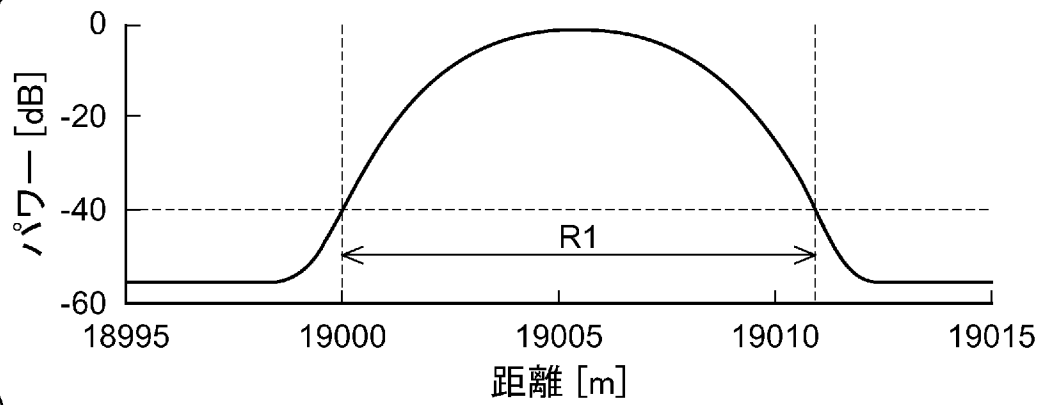


[図7]

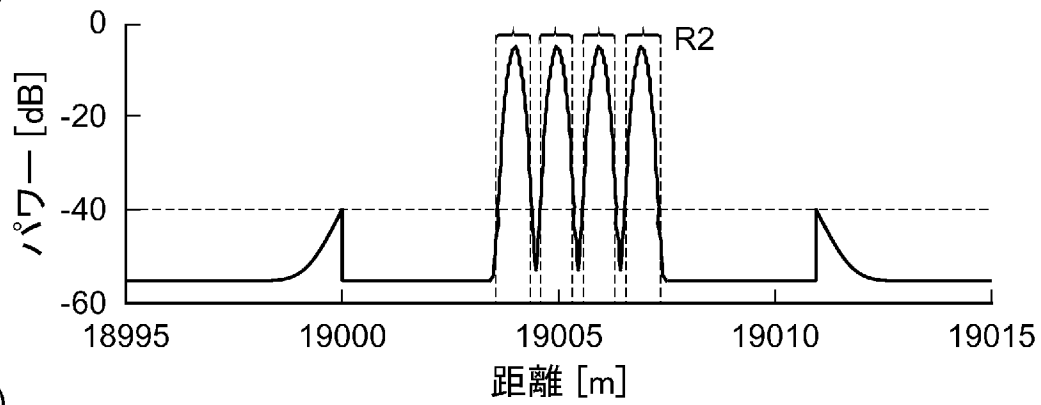
(a)



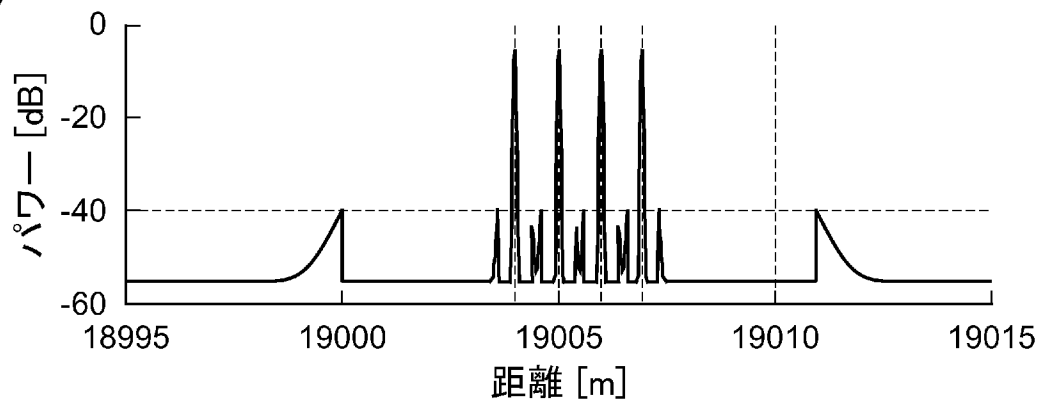
(b)



(c)

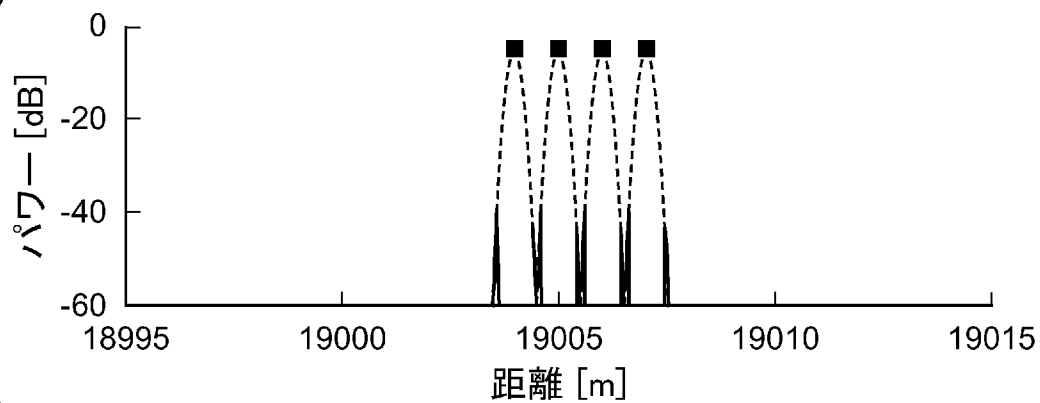


(d)

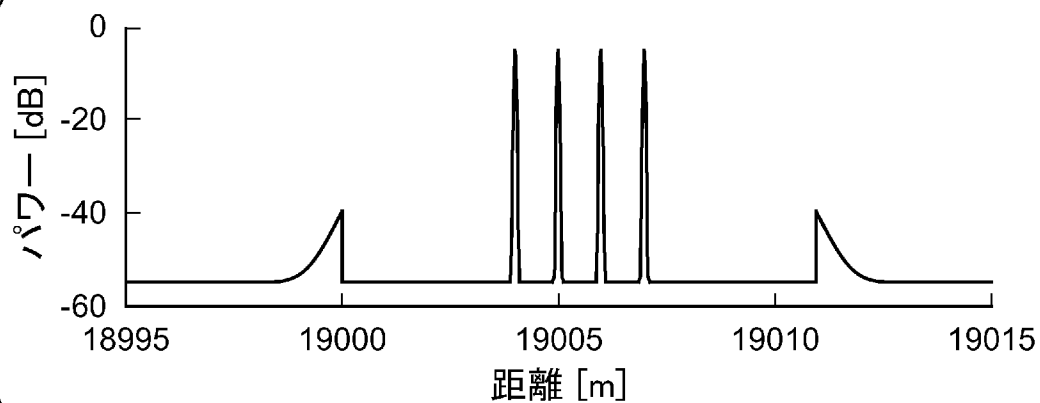


[図8]

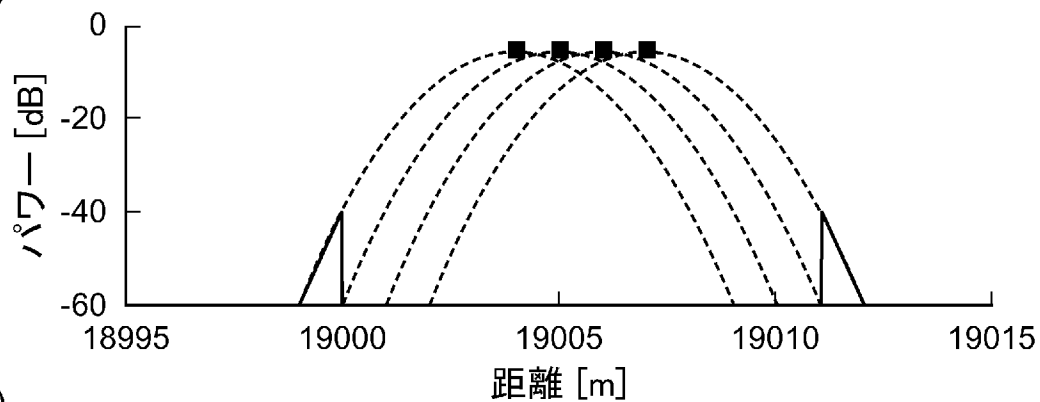
(a)



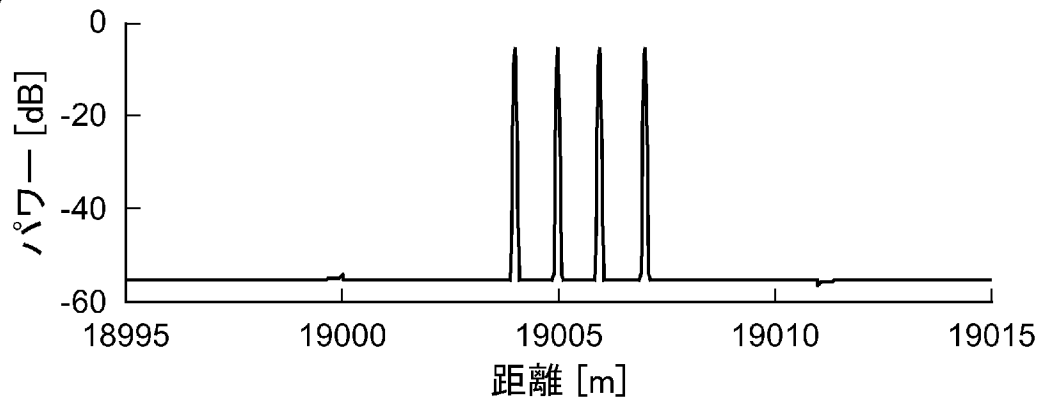
(b)



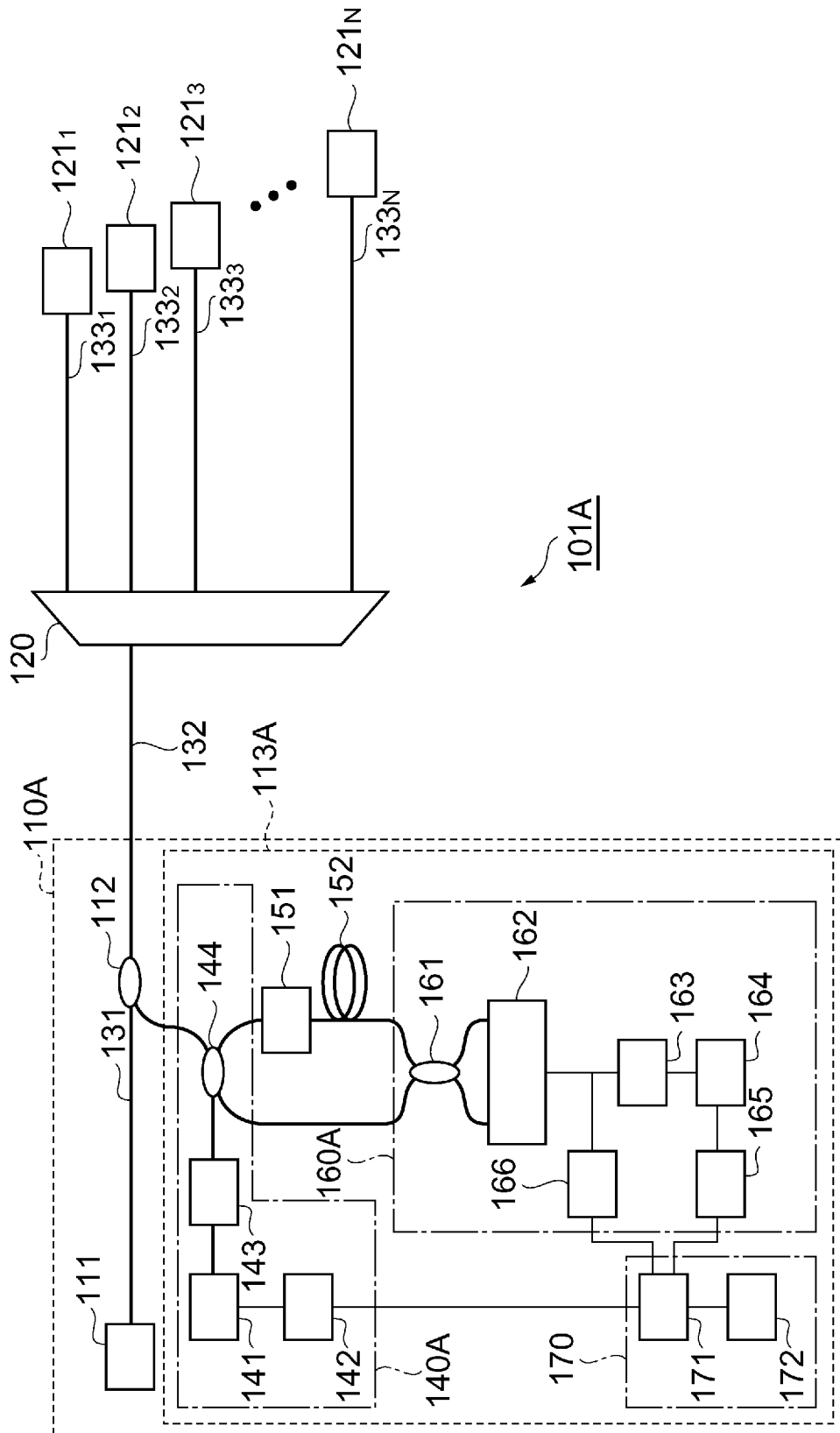
(c)



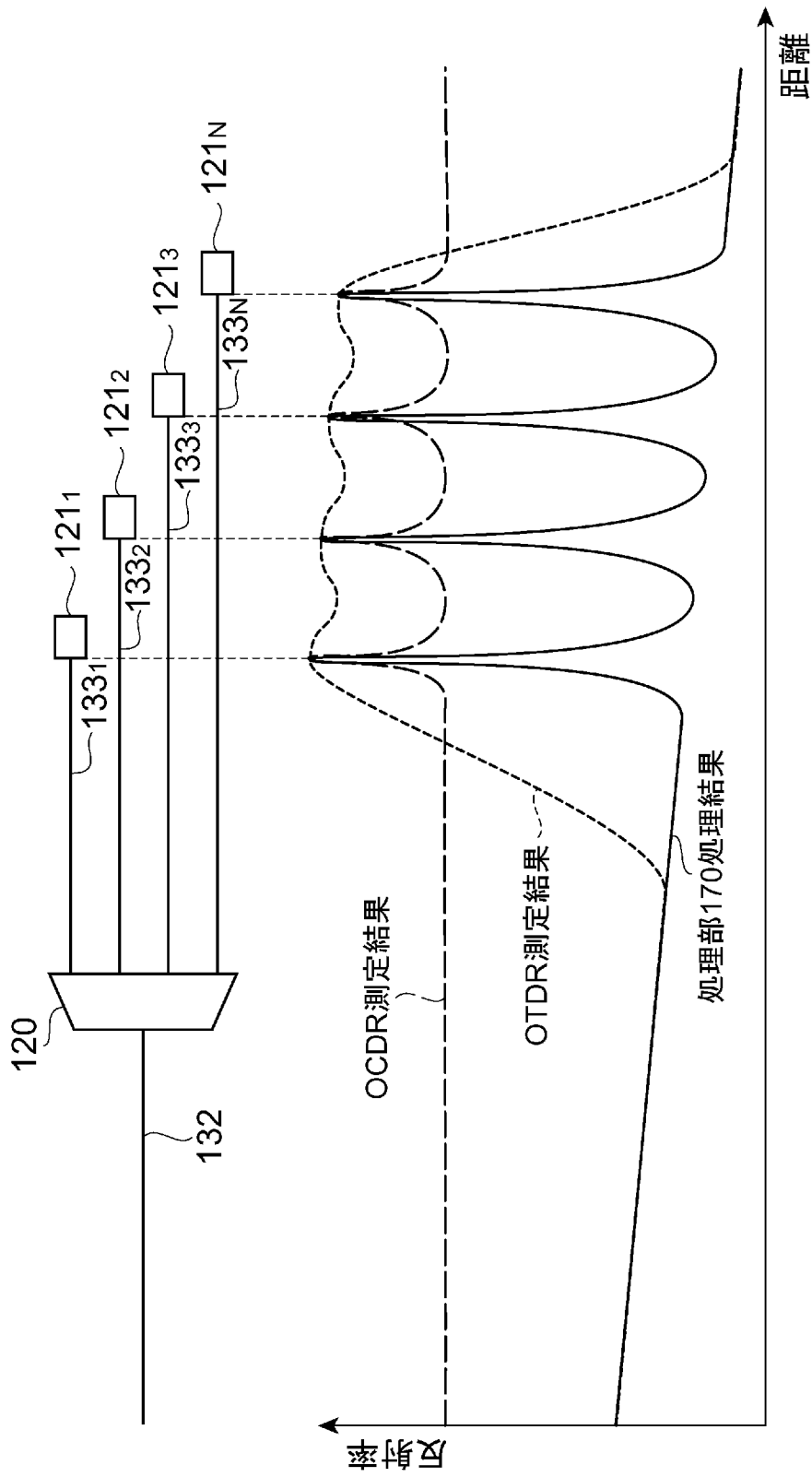
(d)



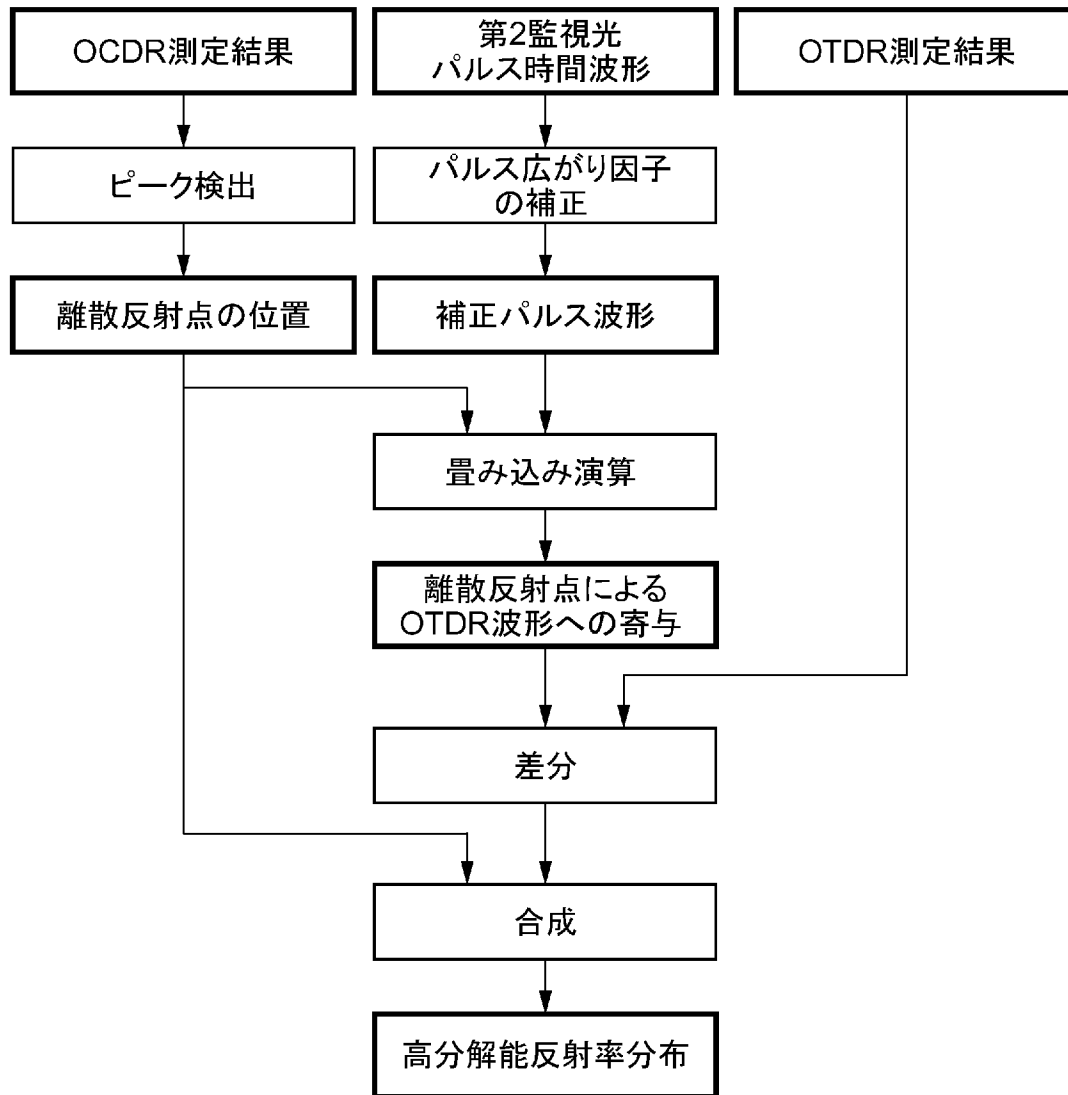
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/059498

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01M11/00 (2006.01) i

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)
G01M11/00-11/02

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII), UTILITY MODEL FILE (PATOLIS), PATENT FILE (PATOLIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-184038 A (Anritsu Corp.), 13 July, 2006 (13.07.06), Full text (Family: none)	1, 3-6
Y	JP 4-265834 A (Hewlett-Packard Co.), 22 September, 1992 (22.09.92), Particularly, Par. Nos. [0003], [0011] & US 5202745 A & EP 484913 A2 & DE 69109237 C & CA 2048278 A & CA 2048278 A1	1, 3-6
Y	JP 2002-139403 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 17 May, 2002 (17.05.02), Particularly, Figs. 1, 6 (Family: none)	3-6

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 16 June, 2009 (16.06.09)	Date of mailing of the international search report 30 June, 2009 (30.06.09)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01M11/00(2006.01)i

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))

Int.Cl. G01M11/00-11/02

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

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009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)

JSTPlus(JDreamII), JST7580(JDreamII), 実用新案ファイル(PATOLIS), 特許ファイル(PATOLIS)

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
Y	JP 2006-184038 A (アンリツ株式会社) 2006.07.13, 全文 (ファミリーなし)	1, 3-6
Y	JP 4-265834 A (ヒューレット・パカード・カンパニー) 1992.09.22, 特に【0003】【0011】 & US 5202745 A & EP 484913 A2 & DE 69109237 C & CA 2048278 A & CA 2048278 A1	1, 3-6
Y	JP 2002-139403 A (住友電気工業株式会社) 2002.05.17, 特に図1、図6 (ファミリーなし)	3-6

☐ 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。

* 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矛盾するものではなく、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

16.06.2009

国際調査報告の発送日

30.06.2009

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

樋口 宗彦

2W

9118

電話番号 03-3581-1101 内線 3292