

(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
2020年8月20日(20.08.2020)



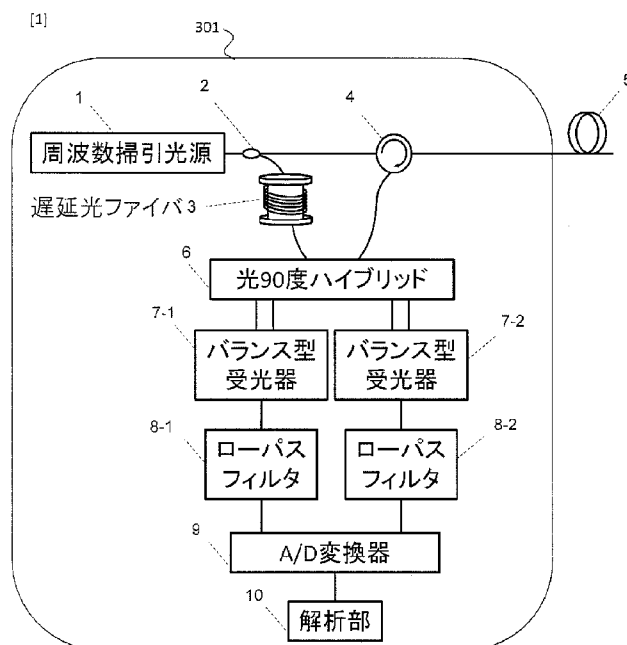
(10) 国際公開番号

WO 2020/166331 A1

- (51) 国際特許分類:
G01D 5/353 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/003108
- (22) 国際出願日: 2020年1月29日(29.01.2020)
- (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 2019-022953 2019年2月12日(12.02.2019) JP
- (71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 岡本 達也 (OKAMOTO, Tatsuya); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 飯田 大輔 (IIDA, Daisuke); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 押田 博之 (OSHIDA, Hiroyuki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 N T T 知的財産センタ内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 岡田 賢治, 外 (OKADA, Kenji et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋二丁目12番5号 瀬戸口ビル3階アイル知財事務所 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,

(54) **Title:** DEVICE FOR MEASURING OPTICAL FREQUENCY REFLECTION AND MEASUREMENT METHOD THEREOF

(54) 発明の名称: 光周波数反射計測装置およびその計測方法



- 1...Frequency-swept light source
3...Delay optical fiber
6...90° optical hybrid
7-1, 7-2...Balanced optical receiver
8-1, 8-2...Low-pass filter
9...A/D converter
10...Analyzer

(57) **Abstract:** The purpose of the present invention is to provide a device for measuring optical frequency reflection and a measurement method thereof capable of measuring a reflectance distribution having low spatial resolution degradation caused by phase noise without using a broadband reception system, even when performing long-distance measurements. The device for measuring optical frequency reflection according to the present invention is provided with a delay optical fiber for delaying local light by a prescribed time, acquires information on a delay of backscatter light from an optical fiber under measurement relative to the local light and information on the positivity and negativity of a beat frequency by

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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, 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:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))

measuring an in-phase component and an orthogonal component of a beat signal obtained by combining the backscatter light from the optical fiber under measurement and the local light delayed by the delay optical fiber, and obtains the reflectance distribution in the longitudinal direction of the optical fiber under measurement on the basis of these pieces of information.

(57) 要約: 長距離測定を行う場合であっても、広帯域な受信系を用いることなく、位相雑音による空間分解能劣化の少ない反射率分布を測定できる光周波数反射計測装置およびその計測方法を提供することを目的とする。本発明に係る光周波数反射計測装置は、ローカル光を所定時間遅延させる遅延用光ファイバを備え、被測定光ファイバからの後方散乱光と遅延用光ファイバによって遅延させたローカル光とを合波することにより得られるビート信号の同相成分と直交成分とを測定することで、被測定光ファイバからの後方散乱光のローカル光に対する相対的な遅延の情報とビート周波数の正負の情報を取得し、これらの情報に基づいて被測定光ファイバの長手方向の反射率分布を求める。

明 細 書

発明の名称：光周波数反射計測装置およびその計測方法

技術分野

[0001] 本開示は、光周波数反射計測（OFDR：Optical Frequency Domain Reflectometry）に関する。

背景技術

[0002] 光ファイバ反射計測技術として、非特許文献1（以下、従来技術1と呼ぶ）記載の光周波数反射計測技術（以下、OFDRと呼ぶ）が確立されている。OFDRでは、光周波数を線形掃引できる周波数掃引光源を用いる。周波数掃引光をプローブ光とローカル光に2分岐し、プローブ光を光ファイバに入射することで発生する光ファイバからの後方散乱光とローカル光のビート信号を測定する。後方散乱光はローカル光に対して、時間的に遅延したレプリカであるため、距離 z からの後方散乱光とローカル光のビート周波数 f_{beat} は

$$f_{beat} = \gamma 2z / c$$

で与えられる。ここで、 γ は周波数掃引速度、 c は光ファイバ中の光速、 $2z / c$ は距離 z からの後方散乱光のローカル光に対する遅延を表す。

[0003] 周波数掃引光源を使うため、光帯域を容易に広帯域化でき、非特許文献2（以下、従来技術2と呼ぶ）では、 $22\mu m$ の空間分解能が報告されている。レーザの位相雑音起因の周波数掃引非線形性が空間分解能を劣化させる要因ではあるが、非特許文献3（以下、従来技術3と呼ぶ）では、信号処理によって非線形性を補償することで、空間分解能を劣化させることなく40kmの長距離測定が報告されている。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：W. Eickhoff and R. Ulrich, “Optical frequency domain reflectom

etry in single mode fiber,” Appl. Phys. Lett., vol. 39, 1981.

非特許文献2: B. J. Soller et al., “High resolution optical frequency domain reflectometry for characterization of components and assemblies,” Opt. Exp., vol. 13, no. 2, 2005.

非特許文献3: X. Fan et al., “Centimeter-level spatial resolution over 40 km realized by bandwidth-division phase-noise-compensated OFDR,” Opt. Exp., vol. 19, no. 20, 2011.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 従来方式における距離は絶対的な距離であり、絶対的な距離を係数 γ^2/c でビート周波数に割り当てている。このため、従来方式には、長距離からの後方散乱光のビート周波数は高くなり、広帯域な受信系が必要という課題があった。さらに、従来方式には、長距離測定においては空間分解能劣化を防ぐためにレーザの位相雑音を補償する信号処理が必要であり、その処理時間のために計測時間が長くなるという課題があった。

[0006] そこで、本発明は、上記課題を解決するために、長距離測定を行う場合であっても、広帯域な受信系を用いることなく、位相雑音による空間分解能劣化の少ない反射率分布を測定できる光周波数反射計測装置およびその計測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

[0007] 上記目的を達成するために、本発明に係る光周波数反射計測装置およびその計測方法は、絶対的な距離にビート周波数を割り当てるのではなく、参照となる距離を基準とした相対距離にビート周波数を割り当てることとした。

- [0008] 具体的には、本発明に係る光周波数反射計測装置は、
被測定光ファイバの長手方向にある任意点を基準とするようにローカル光を遅延する遅延光ファイバと、
前記遅延光ファイバで遅延された前記ローカル光に対する後方散乱光の相対遅延で、前記ローカル光と前記後方散乱光とのビート信号のビート周波数を表現する解析部と、
を備えることを特徴とする。
- [0009] 具体的には、本発明に係る光周波数反射計測方法は、OFDRで、
被測定光ファイバの長手方向にある任意点を基準とするようにローカル光を遅延光ファイバで遅延し、前記遅延光ファイバで遅延された前記ローカル光に対する後方散乱光の相対遅延で、前記ローカル光と前記後方散乱光とのビート信号のビート周波数を表現することを特徴とする。
- [0010] 本発明に係る光周波数反射計測装置及びその計測方法は、ローカル光を遅延し、参照となる距離を長くすることで、長距離測定においてもビート周波数を高くすることなく測定を実現できる。また信号処理を行うことなくレーザの位相雑音による空間分解能劣化を抑制することができる。
- [0011] 従って、本発明は、長距離測定を行う場合であっても、広帯域な受信系を用いることなく、位相雑音による空間分解能劣化の少ない反射率分布を測定できる光周波数反射計測装置およびその計測方法を提供することができる。
- [0012] 本発明に係る光周波数反射計測装置及びその計測方法は、光90度ハイブリッドで前記ローカル光と前記後方散乱光とを合波し、前記ビート信号を生成し、前記光90度ハイブリッドから前記ビート信号の同相成分と直交成分を取得し、前記同相成分と前記直交成分とから前記ビート信号のビート周波数の正負を判断し、前記後方散乱光が発生した被測定光ファイバの長手方向の位置を特定することを特徴とする。
- [0013] 本発明に係る光周波数反射計測装置及びその計測方法は、前記光90度ハイブリッドからの前記ビート信号の同相成分と直交成分をA/D変換する前に、前記光90度ハイブリッドからの前記ビート信号の同相成分と直交成分

から前記A／D変換器のナイキスト周波数を超えるビート周波数を低減することを特徴とする。エイリアシングの発生を抑制してノイズを低減できる。

[0014] 本発明に係る光周波数反射計測装置及びその計測方法は、被測定光ファイバの測定対象となる位置に応じて前記遅延光ファイバの遅延量を変更することを特徴とする。長距離測定においては、ローカル光の遅延を大きくすることで、ビート周波数が高くなることなく長距離からの後方散乱光を測定できる。

発明の効果

[0015] 本発明は、長距離測定を行う場合であっても、広帯域な受信系を用いることなく、位相雑音による空間分解能劣化の少ない反射率分布を測定できる光周波数反射計測装置およびその計測方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明に係る光周波数反射計測装置を説明する図である。

[図2]本発明に係る光周波数反射計測装置の測定原理を説明する図である。

[図3]従来の光周波数反射計測装置の測定原理を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0017] 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。

[0018] 図1は、本実施形態の光周波数反射計測装置301を説明する図である。

1は周波数掃引光源、2は光分岐手段、3は遅延光ファイバ、4は光サーキュレータ、5は被測定光ファイバ、6は光90度ハイブリッド、7-1と7-2はバランス型受光器、8-1と8-2は電気ローパスフィルタ、9はA／D変換器、10は解析部を表す。

[0019] 周波数掃引光源1から出力された周波数掃引光は光分岐手段2によって2分岐され、一方は光サーキュレータ4に伝搬するプローブ光として分岐され、もう一方は遅延用光ファイバ3を伝搬し、光90度ハイブリッド6に伝搬

するローカル光として分岐される。光サーキュレータ 5 を介して被測定光ファイバ 5 に入射したプローブ光は、被測定光ファイバ 5 を構成する散乱体によって後方散乱される。後方散乱された光は、被測定光ファイバ 5 の各位置からの後方散乱光の重ね合わせであり、信号光として光サーキュレータ 5 を介して光 90 度ハイブリッド 6 に伝搬する。ローカル光と信号光は光 90 度ハイブリッド 6 で合波され、そのビート信号の同相成分と直交成分がそれぞれバランス型受光器 7-1 と 7-2 によって検出される。検出されたビート信号の同相成分と直行成分に含まれる不要な高周波はそれぞれローパスフィルタ 8-1 と 8-2 で除去される。ローパスフィルタで高周波除去されたビート信号の同相成分と直交成分が A/D 変換器 9 によって数値化（デジタル化）される。測定されたビート信号の同相成分と直交成分は解析部 10 において、解析され、被測定光ファイバの反射率が測定される。

[0020] 遅延用光ファイバ 3 は、被測定光ファイバ 5 の長手方向にある任意点を基準とするようにローカル光を遅延する。解析部 10 は、遅延光ファイバ 3 で遅延された前記ローカル光に対する後方散乱光の相対遅延で、前記ローカル光と前記後方散乱光とのビート信号のビート周波数を表現する。

[0021] 光周波数反射計測装置 301 が、遅延用光ファイバ 3 の長さを相対距離の基準とし、相対距離における被測定光ファイバ 5 の反射率を測定できることを説明する。そして、従来技術に対して光周波数反射計測装置 301 が長距離測定において、ビート周波数を高くすることなく測定を実現し、また信号処理を行うことなくレーザの位相雑音による空間分解能劣化を抑制することを説明する。

[0022] 周波数掃引光源 1 から出射する光電界波形 $E(t)$ を次式で表す。

[数1]

$$E(t) \propto \exp \left[j \left\{ 2\pi \left(\nu_0 + \frac{1}{2} \gamma t \right) t + \theta(t) \right\} \right] \quad (1)$$

ここで、 ν_0 は周波数掃引開始時刻における光周波数、 γ は周波数掃引速度、 $\theta(t)$ は光源の位相雑音を表す。ローカル光は長さ z_{L0} の遅延用光ファイバを伝搬することで、その電界波形 $E_{L0}(t)$ は次式で表される。

[数2]

$$E_{LO}(t) = E(t - \tau_{LO}), \tau_{LO} = z_{LO}/c \quad (2)$$

ここで、 τ_{LO} は遅延用光ファイバの伝搬による遅延、 c は光ファイバ中の光速を表す。一方、被測定光ファイバからの後方散乱光 $E_{SIG}(t)$ は各距離 z からの後方散乱光の重ね合わせであり、次式で表される。

[数3]

$$E_{SIG}(t) = \int d\tau \sqrt{R(\tau)} E(t - \tau), \tau = 2z/c \quad (3)$$

ここで、 τ は距離 z の往復伝搬による遅延、 $R(\tau)$ は遅延 τ における光反射率を表す。

[0023] (2)式で与えられるローカル光と(3)式で表される後方散乱光は光90度ハイブリッド6で合波され、ビート信号 $E_{SIG}^*(t) \cdot E_{LO}(t)$ の同相成分 $I(t)$ と直交成分 $Q(t)$ がバランス型受光器(7-1、7-2)で検出される。

[数4]

$$E_{SIG}^*(t) \cdot E_{LO}(t) = \int d\tau \sqrt{R(\tau)} \exp[j\{2\pi\gamma(\tau - \tau_{LO})t + \theta(t - \tau) - \theta(t - \tau_{LO}) + \varphi(\tau)\}] \quad (4)$$

[数5]

$$\varphi(\tau) = v_0(\tau - \tau_{LO}) - \pi\gamma(\tau^2 - \tau_{LO}^2) \quad (5)$$

[数6]

$$I(t) = \text{Re}[E_{SIG}^*(t) \cdot E_{LO}(t)], \quad Q(t) = \text{Im}[E_{SIG}^*(t) \cdot E_{LO}(t)] \quad (6)$$

[0024] (4)式はビート信号がローカル光の遅延 τ_{LO} を基準とした相対的な遅延 $\tau - \tau_{LO}$ でビート周波数 $\gamma(\tau - \tau_{LO})$ が定められる振幅 $\sqrt{R(\tau)}$ の波の重ね合わせであることを表す。ビート周波数の正負を見分けるために(6)式で表されるビート信号 $E_{SIG}^*(t) \cdot E_{LO}(t)$ の同相成分 $I(t)$ と直交成分 $Q(t)$ から解析信号 $S(t)$ を生成する。

[数7]

$$S(t) = I(t) + jQ(t) = \int d\tau \sqrt{R(\tau)} \exp[j\{2\pi\gamma(\tau - \tau_{LO})t + \theta(t - \tau) - \theta(t - \tau_{LO}) + \varphi(\tau)\}] \quad (7)$$

[0025] (7) 式をフーリエ変換し、ビート周波数領域における解析信号の表式を得る。ここでは簡単のために、(4) 式の位相雑音の項 $\theta(t - \tau) - \theta(t - \tau_{LO})$ は考慮しない。

[数8]

$$\begin{aligned}\tilde{S}(f) &= \int d\tau \sqrt{R(\tau)} \int dt \exp(-j2\pi f t) \exp[j\{2\pi\gamma(\tau - \tau_{LO})t + \varphi(\tau)\}] \\ &= \int d\tau \sqrt{R(\tau)} \exp[j\varphi(\tau)] \cdot \delta[2\pi\{\gamma(\tau - \tau_{LO}) - f\}]\end{aligned}\quad (8)$$

ここで f はビート周波数を表す。

[0026] (8) 式はビート周波数領域における標本化関数 $\delta[2\pi\{\gamma(\tau - \tau_{LO}) - f\}]$ で複素振幅 $\sqrt{R(\tau)} \exp[j\varphi(\tau)]$ を標本化することを表す。(4) 式の位相雑音の項 $\theta(t - \tau) - \theta(t - \tau_{LO})$ は考慮しなかったが、この位相雑音の項は標本化関数の幅を広げる効果を持つ。

[0027] (8) 式はビート周波数 $\gamma(\tau - \tau_{LO})$ に複素振幅 $\sqrt{R(\tau)} \exp[j\varphi(\tau)]$ が割り当てられることを表し、絶対的な遅延 τ における複素振幅 $\sqrt{R(\tau)} \exp[j\varphi(\tau)]$ を相対的な遅延 $\tau - \tau_{LO}$ で表すことを意味する。相対的な遅延の大きさ $|\tau - \tau_{LO}|$ が大きくなるほど（相対的な遅延の基準 τ_{LO} から離れるほど）ビート周波数は大きくなる。

[0028] A/D変換器9のナイキスト周波数を超えるビート周波数はエイリアシングを発生させ、折り返しノイズとなる。これを防ぐためにアンチエイリアスフィルタとしてローパスフィルタ8-1と8-2で(8)式に含まれるビート周波数のうち、低周波のみを抽出する。A/D変換器9のサンプリングレートを f_{sam} とすると、A/D変換器9のナイキスト周波数は $f_{sam}/2$ であり、エイリアシングを発生させない条件は次式で与えられる。

[数9]

$$|\gamma(\tau - \tau_{LO})| < f_{sam}/2 \quad (9)$$

(9) 式を満たすようにローパスフィルタ8-1と8-2のカットオフ周波数を設定すればエイリアシングを防ぐことができる。

[0029] 本発明と従来技術を比較する。従来技術では(4)式において $\tau_{LO} = 0$ の

場合であり、さらにビート信号の成分の同相成分のみを測定するため、（４）－（５）式から、測定されるビート信号 $S'(t)$ は次式で表される。

[数10]

$$S'(t) = \text{Re} \left[\int d\tau \sqrt{R(\tau)} \exp \left[j \left\{ 2\pi\gamma\tau t + \theta(t-\tau) - \theta(t) + \varphi'(\tau) \right\} \right] \right] \quad (10)$$

[数11]

$$\varphi'(\tau) = v_0\tau - \pi\gamma\tau^2 \quad (11)$$

[0030] （１０）式はビート信号が被測定ファイバの絶対的な遅延 τ でビート周波数 $\gamma\tau$ が定められる振幅 $\sqrt{R(\tau)}$ の波の重ね合わせであることを表す。（１０）式のスペクトルを解析することで、ビート周波数 $\gamma\tau$ に反射率 $R(\tau)$ を持つスペクトルを得ることができ、このスペクトルは絶対遅延 τ に反射率 $R(\tau)$ を持つ被測定ファイバの反射率を表す。

[0031] （７）式と（１０）式を比較すると、図２に示すように、本発明のビート周波数（３１、３２）はローカル光２１の遅延を基準とした相対遅延で与えられる。ビート周波数３１は、遅延 τ_1 の後方散乱光２２のビート周波数 $\gamma(\tau_1 - \tau_{L0})$ であり、負の値である。ビート周波数３１は、遅延 τ_2 の後方散乱光２３のビート周波数 $\gamma(\tau_2 - \tau_{L0})$ であり、正の値である。長距離測定においては、所望の測定点に応じてローカル光２１の遅延 τ_{L0} を設定する（当該測定点近傍に設定する）ことで、ビート周波数が高くなることなく遠距離からの後方散乱光を測定できる。また、ビート周波数の正負より、設定した遅延より遠端側の後方散乱光なのか近端側の後方散乱光なのかを判断することができる。一方、従来技術では、ビート周波数は被測定ファイバの絶対遅延で与えられるため、遠端からの後方散乱光２３のビート周波数３２（ $\gamma\tau_2$ ）は近端からの後方散乱光２２のビート周波数３１（ $\gamma\tau_1$ ）より高くなる（図３）。

[0032] また位相雑音による空間分解能劣化について、本発明では $\theta(t-\tau) - \theta(t-\tau_{L0})$ で与えられるが、従来技術では $\theta(t-\tau) - \theta(t)$ で与えられる。２つの位相雑音の間の相対的な遅延量が大きいほど、空間分解能

が劣化する。本発明では相対遅延 $\tau - \tau_{LO}$ で決定するが、従来技術では絶対遅延 τ で決定するため、長距離測定における位相雑音による空間分解能劣化を抑制することができる。

[0033] 被測定光ファイバ5が短い、あるいは被測定光ファイバ5の近端側（プローブ光の入射端に近い側）の領域の反射率を測定する場合は、従来技術のようにビート信号のビート周波数を絶対的な距離で与えてもよい。しかし、被測定光ファイバ5が長い、あるいは被測定光ファイバ5の遠端側（プローブ光の入射端から遠い側）の領域の反射率を測定する場合は、本発明のように遅延光ファイバ5でローカル光を遅延し、ビート信号のビート周波数をローカル光の遅延を基準とした相対遅延で与えるとよい。また、反射率を測定しようとする位置に応じてローカル光の遅延量を調整することが好ましい。

[0034] （発明の効果）

本発明に係る光反射計測装置は、従来技術に対して以下の有利な特徴を持つ。

[0035] 従来技術1～3では、光ファイバの絶対遅延をビート周波数に割り当てるため、長距離測定では広帯域な受信系が求められるが、本発明では、ローカル光の遅延との相対遅延でビート周波数に割り当てる。ローカル光の遅延を長くすることで、長距離からのビート周波数を落とし、広帯域な受信系を必要としない。

[0036] 従来技術3では、絶対遅延で位相雑音による空間分解能が劣化するため、参照干渉計で測定した位相雑音の時間波形を元に測定されたビート信号がデジタル上でリサンプリング（補間）する信号処理を行った後、リサンプリングされたビート信号をスペクトル解析し、ファイバの反射率を測定していた。本発明では、相対遅延で位相雑音による空間分解能が劣化するため、長距離測定においては、従来技術で発生するほどの空間分解能劣化が発生しない。測定されたビート信号をスペクトル解析のみでファイバの反射率を測定することができる。

[0037] [付記]

以下は、本発明に係る光反射計測装置を説明したものである。

[0038] (1) : 本発明に係る光反射計測装置は、

被測定光ファイバの反射率分布を測定する装置であって、周波数掃引光源と、前記周波数掃引光源が出力する周波数掃引光を2分岐する光分岐手段と、前記周波数掃引光の一方のうち、被測定光ファイバに入射し、被測定光ファイバからの後方散乱光を導波させる光サーキュレータと、前記周波数掃引光のもう一方をローカル光とし、前記ローカル光に遅延を与える遅延用光ファイバと、前記後方散乱光と前記遅延用光ファイバで遅延を与えられたローカル光を合波する光90度ハイブリッドと、前記合波された後方散乱光とローカル光のビート信号の同相成分と直交成分を検出し、出力する手段と、前記出力されたビート信号の同相成分と直交成分に含まれる高周波を除去するローパスフィルタと、前記ローパスフィルタによって高周波が除去されたビート信号の同相成分と直交成分をA/D変換するA/D変換器と、前記A/D変換されたビート信号の同相成分と直交成分からスペクトルを解析する解析部から構成される。

[0039] (2) : 本発明に係る光反射計測装置は、

ローカル光に設けた遅延を基準とした後方散乱光の相対遅延でビート周波数が決まり、光90度ハイブリッドでビート信号の同相成分と直交成分を測定し、前記ビート信号の同相成分と直交成分からビート信号の解析信号を生成し、前記解析信号の周波数の正負の符号を見分けることで、前記ローカル光の遅延で設定された相対遅延における被測定光ファイバの反射率を測定する。

[0040] (3) : 本発明に係る光反射計測装置は、

前記ローカル光に設けた遅延を基準とした後方散乱光の相対遅延でビート信号に含まれる位相雑音が決まり、前記ローカル光に設けた遅延を長くすることで、長距離測定におけるビート信号に含まれる位相雑音を低減する。

符号の説明

[0041] 1 : 周波数掃引光源

- 2 : 光分岐手段
- 3 : 遅延光ファイバ
- 4 : 光サーキュレータ
- 5 : 被測定光ファイバ
- 6 : 光90度ハイブリッド
- 7-1、7-2 : バランス型受光器
- 8-1、8-2 : 電気ローパスフィルタ
- 9 : A/D変換器
- 10 : 解析部
- 21 : ローカル光
- 22、23 : 後方散乱光
- 31、32 : ビート周波数
- 301 : 光周波数反射計測装置

請求の範囲

- [請求項1] 被測定光ファイバの長手方向にある任意点を基準とするようにローカル光を遅延する遅延光ファイバと、
- 前記遅延光ファイバで遅延された前記ローカル光に対する後方散乱光の相対遅延で、前記ローカル光と前記後方散乱光とのビート信号のビート周波数を表現する解析部と、
- を備えることを特徴とする光周波数反射計測（OFDR：Optical Frequency Domain Reflectometry）装置。
- [請求項2] 前記ローカル光と前記後方散乱光とを合波し、前記ビート信号を生成する光90度ハイブリッドをさらに備え、
- 前記解析部は、
- 前記光90度ハイブリッドから前記ビート信号の同相成分と直交成分を取得し、前記同相成分と前記直交成分とから前記ビート信号のビート周波数の正負を判断し、前記後方散乱光が発生した被測定光ファイバの長手方向の位置を特定することを特徴とする請求項1に記載のOFDR装置。
- [請求項3] 前記光90度ハイブリッドからの前記ビート信号の同相成分と直交成分をA/D変換するA/D変換器と、
- 前記光90度ハイブリッドからの前記ビート信号の同相成分と直交成分から前記A/D変換器のナイキスト周波数を超えるビート周波数を低減して、前記A/D変換器へ入力するローパスフィルタと、
- をさらに備えることを特徴とする請求項2に記載のOFDR装置。
- [請求項4] 前記遅延光ファイバの遅延量を変更する遅延量可変機構をさらに備えることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載のOFDR装置。
- [請求項5] 光周波数反射計測（OFDR：Optical Frequency Domain Reflectometry）で、

被測定光ファイバの長手方向にある任意点を基準とするようにローカル光を遅延光ファイバで遅延し、

前記遅延光ファイバで遅延された前記ローカル光に対する後方散乱光の相対遅延で、前記ローカル光と前記後方散乱光とのビート信号のビート周波数を表現することを特徴とする計測方法。

[請求項6] 光90度ハイブリッドで前記ローカル光と前記後方散乱光とを合波し、前記ビート信号を生成し、

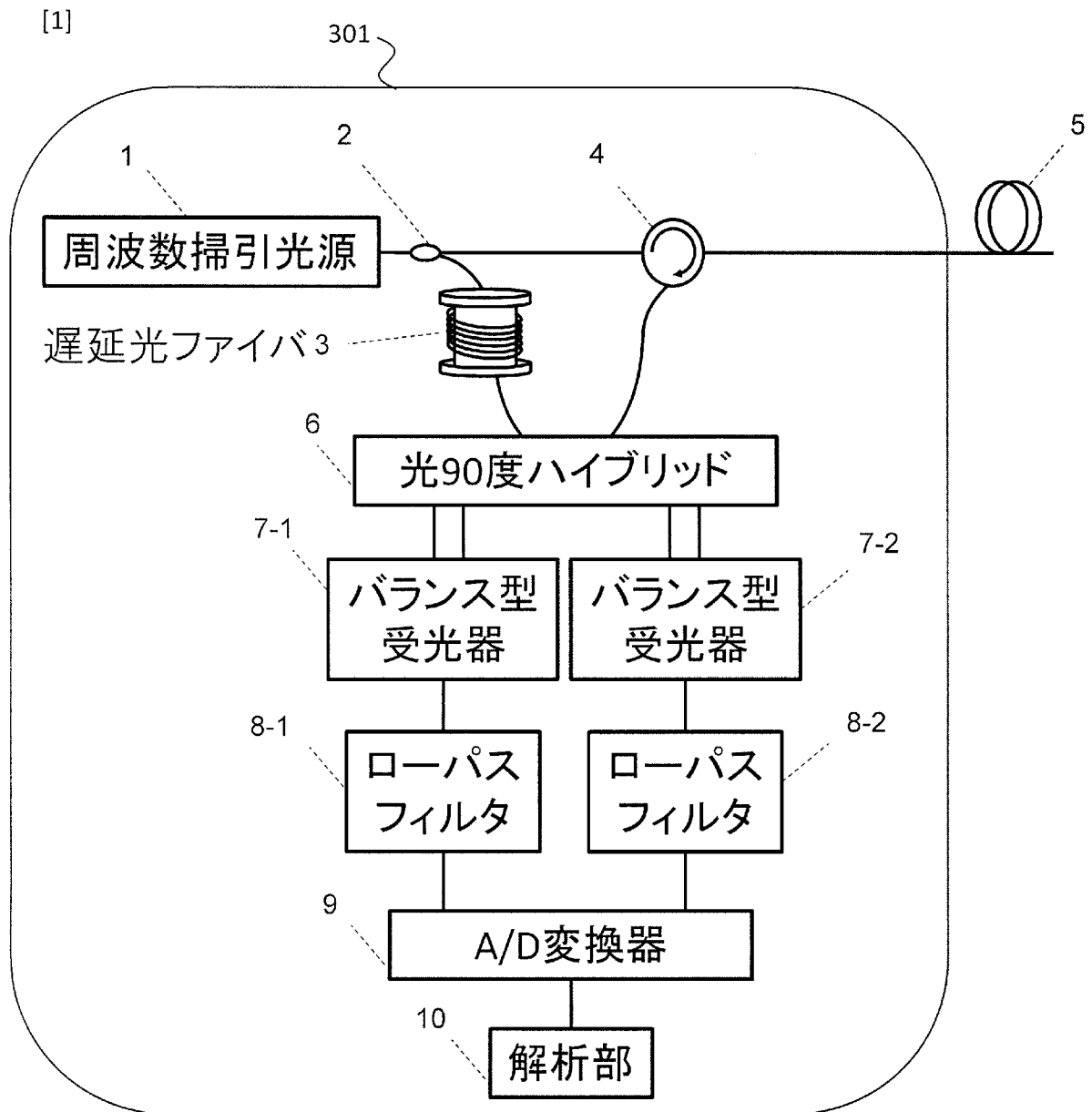
前記光90度ハイブリッドから前記ビート信号の同相成分と直交成分を取得し、前記同相成分と前記直交成分とから前記ビート信号のビート周波数の正負を判断し、前記後方散乱光が発生した被測定光ファイバの長手方向の位置を特定することを特徴とする請求項5に記載の計測方法。

[請求項7] 前記光90度ハイブリッドからの前記ビート信号の同相成分と直交成分をA/D変換する前に、

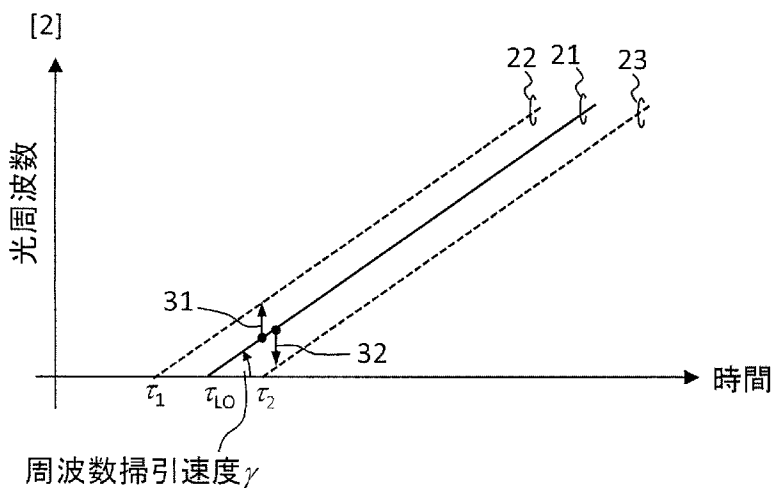
前記光90度ハイブリッドからの前記ビート信号の同相成分と直交成分からA/D変換器のナイキスト周波数を超えるビート周波数を低減することを特徴とする請求項6に記載の計測方法。

[請求項8] 被測定光ファイバの測定対象となる位置に応じて前記遅延光ファイバの遅延量を変更することを特徴とする請求項5から7のいずれかに記載の計測方法。

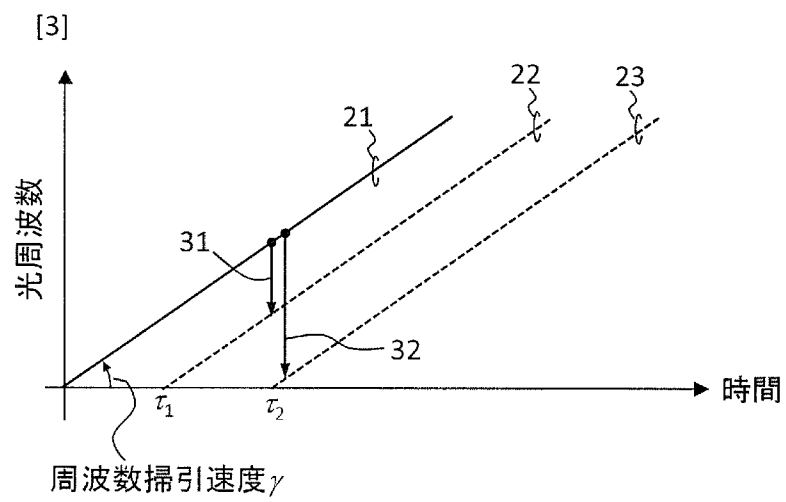
[図1]



[図2]



[図3]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/003108

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01D5/353 (2006.01) i

FI: G01D5/353 A

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)

Int. Cl. G01D5/353

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 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2018-146371 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 20 September 2018, paragraphs [0031]-[0041], fig. 1-4	1-8
Y	JP 2013-195225 A (ANRITSU CORP.) 30 September 2013, paragraph [0004]	1-8
Y A	JP 2014-209685 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 06 November 2014, paragraphs [0044]-[0058], fig. 6-8, paragraphs [0044]-[0058], fig. 6-8	2-4, 6-8 1, 5
Y A	WO 2017/115459 A1 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 06 July 2017, paragraphs [0044]-[0049], fig. 1, paragraphs [0044]-[0049], fig. 1	3-4, 7-8 1-2, 5-6



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
10.03.2020

Date of mailing of the international search report
24.03.2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/003108

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2003-322589 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 14 November 2003, paragraphs [0068]-[0083], fig. 5, paragraphs [0068]-[0083], fig. 5	4, 8 1-3, 5-7
Y A	JP 2003-322588 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 14 November 2003, paragraphs [0033]-[0082], fig. 1-7, paragraphs [0033]-[0082], fig. 1-7	4, 8 1-3, 5-7
A	EP 2110646 A2 (BAM BUNDESANSTALT FUER MATERIALFORSCHUNG UND-PRUEFUNG) 21 October 2009, paragraphs [0017]-[0036], fig. 1-8	1-8
A	US 2014/0176937 A1 (LIU, Tiegeng) 26 June 2014, paragraphs [0005]-[0075], fig. 1-5	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/003108

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2018-146371 A	20.09.2018	(Family: none)	
JP 2013-195225 A	30.09.2013	(Family: none)	
JP 2014-209685 A	06.11.2014	(Family: none)	
WO 2017/115459 A1	06.07.2017	US 2018/0371729 A1 paragraphs [0052]- [0057], fig. 1 EP 3399331 A1 CN 108474846 A TW 201723529 A	
JP 2003-322589 A	14.11.2003	(Family: none)	
JP 2003-322588 A	14.11.2003	(Family: none)	
EP 2110646 A2	21.10.2009	DE 102008019150 A1	
US 2014/0176937 A1	26.06.2014	WO 2013/023425 A1 CN 102322880 A	

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 FI: G01D5/353 A														
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 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 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table> 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）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020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 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年													
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 2018-146371 A（日本電信電話株式会社）20.09.2018（2018 - 09 - 20） 段落[0031]-[0041], 図1-4	1-8												
Y	JP 2013-195225 A（アンリツ株式会社）30.09.2013（2013 - 09 - 30） 段落[0004]	1-8												
Y	JP 2014-209685 A（日本電信電話株式会社）06.11.2014（2014 - 11 - 06） 段落[0044]-[0058], 図6-8	2-4, 6-8												
A	段落[0044]-[0058], 図6-8	1, 5												
Y	WO 2017/115459 A1（パナソニックIPマネジメント株式会社）06.07.2017（2017 - 07 - 06） 段落[0044]-[0049], 図1	3-4, 7-8												
A	段落[0044]-[0049], 図1	1-2, 5-6												
Y	JP 2003-322589 A（日本電信電話株式会社）14.11.2003（2003 - 11 - 14） 段落[0068]-[0083], 図5	4, 8												
A	段落[0068]-[0083], 図5	1-3, 5-7												
☒ 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</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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 10.03.2020	国際調査報告の発送日 24.03.2020													
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） 吉田 久 2F 3902 電話番号 03-3581-1101 内線 3216													

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 2003-322588 A (日本電信電話株式会社) 14.11.2003 (2003 - 11 - 14) 段落[0033]-[0082], 図1-7	4, 8
A	段落[0033]-[0082], 図1-7	1-3, 5-7
A	EP 2110646 A2 (BAM BUNDESANSTALT FUER MATERIALFORSCHUNG UND-PRUEFUNG) 21.10.2009 (2009 - 10 - 21) 段落[0017]-[0036], FIGs. 1-8	1-8
A	US 2014/0176937 A1 (LIU, Tiegeng) 26.06.2014 (2014 - 06 - 26) 段落[0005]-[0075], Figs. 1-5	1-8

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/JP2020/003108

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2018-146371	A	20.09.2018	(ファミリーなし)	
JP	2013-195225	A	30.09.2013	(ファミリーなし)	
JP	2014-209685	A	06.11.2014	(ファミリーなし)	
WO	2017/115459	A1	06.07.2017	US 2018/0371729	A1
				[0052]-[0057], FIG. 1	
				EP 3399331	A1
				CN 108474846	A
				TW 201723529	A
JP	2003-322589	A	14.11.2003	(ファミリーなし)	
JP	2003-322588	A	14.11.2003	(ファミリーなし)	
EP	2110646	A2	21.10.2009	DE 102008019150	A1
US	2014/0176937	A1	26.06.2014	WO 2013/023425	A1
				CN 102322880	A