

(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
2016 年 11 月 17 日(17.11.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/181542 A1

- (51) 国際特許分類:
G01K 11/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/063838
- (22) 国際出願日: 2015 年 5 月 13 日(13.05.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 富士通株式会社 (FUJITSU LIMITED) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 宇野和史(UNO, Kazushi); 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP). 笠嶋丈夫(KASAJIMA, Takeo); 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP). 有岡孝祐(ARIOKA, Takahiro); 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP). 福田裕幸(FUKUDA, Hiroyuki); 〒2118588 神奈川県川崎

市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).

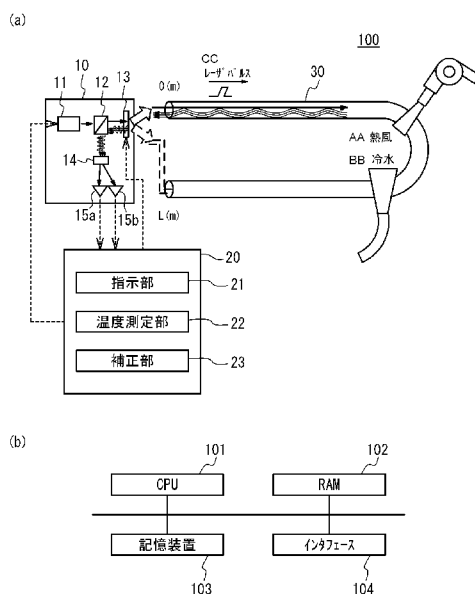
- (74) 代理人: 片山修平(KATAYAMA, Shuhei); 〒1040031 東京都中央区京橋 1-6-1 三井住友海上テプコビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, 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, 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

[続葉有]

(54) Title: TEMPERATURE MEASUREMENT DEVICE, TEMPERATURE MEASUREMENT METHOD, AND TEMPERATURE MEASUREMENT PROGRAM

(54) 発明の名称: 温度測定装置、温度測定方法および温度測定プログラム

[図1]



21 Instruction unit
22 Temperature measurement unit
23 Correction unit
103 Storage device
104 Interface
AA Hot air
BB Cold water
CC Laser pulse

(57) Abstract: This temperature measurement device is provided with: a detector that detects a first Stokes component and a first anti-Stokes component in back-scattered light produced when light enters a first end of an optical fiber, and detects a second Stokes component and a second anti-Stokes component in back-scattered light produced when light enters a second end of the optical fiber; a correction unit that, within a prescribed region containing a sample point of a partial region of the first end side of the optical fiber, replaces the second anti-Stokes component with a value corresponding to the first Stokes component, the first anti-Stokes component, and the second Stokes component if any size of a correlation of the second anti-Stokes component to the first Stokes component and the first anti-Stokes component is less than or equal to a threshold value; and a measurement unit that measures the temperature at the sample point using the first Stokes component, the first anti-Stokes component, the second Stokes component, and the second anti-Stokes component, which was replaced by the correction unit.

(57) 要約: 温度測定装置は、光ファイバの第1端に光が入射する場合の後方散乱光から第1ストークス成分および第1アンチストークス成分を検出し、光ファイバの第2端に光が入射する場合の後方散乱光から第2ストークス成分および第2アンチストークス成分を検出する検出器と、光ファイバの第1端側の一部の領域のサンプル点を含む所定領域において、第1ストークス成分および第1アンチストークス成分と、第2アンチストークス成分との相関の少なくともいずれかの大きさが閾値以下の場合に、第2アンチストークス成分を、第1ストークス成分と、第1アンチストークス成分と、第2ストークス成分とに応じた値に置き換える補正部と、第1ストークス成分、第1アンチストークス成分、第2ストークス成分、および補正部によって置き換えられた後の第2アンチストークス成分を用いてサンプル点における温度を測定する測定部と、を備える。



ロツパ (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))

明 細 書

発明の名称：

温度測定装置、温度測定方法および温度測定プログラム

技術分野

[0001] 本件は、温度測定装置、温度測定方法および温度測定プログラムに関する。

背景技術

[0002] 光源から光ファイバに光を入射した際に当該光ファイバからの後方ラマン散乱光を用いて光ファイバの温度を測定する技術が開発されている（例えば、特許文献１～６参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0003] 特許文献１：特開２００３－１４５５４号公報
特許文献２：特開２００３－５７１２６号公報
特許文献３：特開昭６２－１１０１６０号公報
特許文献４：特開平７－１２６５５号公報
特許文献５：特開平２－１２３３０４号公報
特許文献６：特開２００２－２６７２４２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0004] 上記技術で測定された温度に対して補正などの後処理を行おうとすると、例えばノイズの抑圧とともに信号成分も減衰するなどのおそれが生じる。すなわち、測定される温度を補正することが困難である。
- [0005] 本件は上記課題に鑑みなされたものであり、測定される温度を補正することができる温度測定装置、温度測定方法および温度測定プログラ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

[0006] 1つの態様では、温度測定装置は、光ファイバの第1端に光が入射する場合の後方散乱光から第1ストークス成分および第1アンチストークス成分を検出し、前記光ファイバの第2端に光が入射する場合の後方散乱光から第2ストークス成分および第2アンチストークス成分を検出する検出器と、前記光ファイバの前記第1端側の一部の領域のサンプル点を含む所定領域において、前記第1ストークス成分および前記第1アンチストークス成分と、前記第2アンチストークス成分との相関の少なくともいずれかの大きさが閾値以下の場合に、前記第2アンチストークス成分を、前記第1ストークス成分と、前記第1アンチストークス成分と、前記第2ストークス成分とに応じた値に置き換える補正部と、前記第1ストークス成分、前記第1アンチストークス成分、前記第2ストークス成分、および前記補正部によって置き換えられた後の前記第2アンチストークス成分を用いて前記サンプル点における温度を測定する測定部と、を備える。

発明の効果

[0007] 測定される温度を補正することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1] (a) は実施形態に係る温度測定装置の全体構成を表す概略図であり、(b) は制御部のハードウェア構成を説明するためのブロック図である。

[図2] 後方散乱光の成分を表す図である。

[図3] (a) はレーザによる光パルス発光後の経過時間と、ストークス成分およびアンチストークス成分の光強度との関係を例示する図であり、(b) は(a) の検出結果および式(1)を用いて算出した温度である。

[図4] ダブルエンド方式の詳細な手続きを表す。

[図5] ダブルエンド方式の利点を表す。

[図6] 室温約24℃時に光ファイバの一部区間を約55℃のお湯に浸漬した場合の応答例を示す。

[図7] 図6および式(3)から得られる結果を例示する図である。

[図8]インパルス応答の典型例を例示する。

[図9] (a) ~ (c) は各浸漬長に対してインパルス応答から推定した出力波形と、実際に得られた出力波形との比較を例示する図である。

[図10] 2つの20cmの高温印加区間に対して、中央に印加しない区間を設け、その区間の幅を徐々に変化したときの出力波形の計算値を例示する。

[図11] 後方ラマン散乱光検出によって得た片端からパルスを入射した場合の温度分布の一例を示す。

[図12] 図11の両端から入射した2つの信号のストークス成分およびアンチストークス成分をそれぞれ平均化して温度を算出した図である。

[図13] 測定精度を定量的に例示する。

[図14] 図11から抽出したノイズの少ないLメートル側片端のお湯への浸漬区画の温度分布と、図12から抽出した200m近傍の平坦温度部を重ねて例示する図である。

[図15] 2つの波形のパワースペクトルを例示する図である。

[図16] 図9 (a) ~ 図9 (c) で例示した温度分布を算出する元信号であるストークス成分およびアンチストークス成分を例示する図である。

[図17] (a) ~ (c) は第1端から光パルスを入射した場合において図16とは別の区間をお湯に浸漬した別のデータである。

[図18A] 図16の4800m~5100mの拡大図である。

[図18B] 図16の4800m~5100mの拡大図である。

[図19] Pearsonの積率相関係数の値を示したものである。

[図20] 温度測定部が測定した温度を補正部が補正する際に実行するフローチャートの一例である。

[図21] 図16のデータに対してPearsonの積率相関係数とSpearmanの順位相関係数の比較を例示する図である。

[図22] 温度測定部が測定した温度を補正部が補正する際に実行するフローチャートの他の例である。

[図23] 温度測定部が測定した温度を補正部が補正する際に実行するフローチャ

ャートの他の例である。

[図24]他の適用例を例示する図である。

[図25]他の適用例を例示する図である。

[図26] (a) および (b) は他の適用例を例示する図である。

[図27] (a) および (b) は他の適用例を例示する図である。

[図28]他の適用例を例示する図である。

[図29] (a) ～ (d) は算出結果を例示する図である。

[図30] O 1 A および O 2 A の片側平均化要素数の関係を示す図である。

[図31] O 1 A および O 2 A の片側平均化要素数の関係を示す図である。

[図32]ダブルエンド方式の温度算出結果を例示する図である。

[図33]ダブルエンド方式の温度算出結果を例示する図である。

[図34]処理前後の温度分布の定量的な比較を示す図である。

[図35] (a) ～ (d) は算出結果を例示する図である。

[図36] O 1 A および O 2 A の片側平均化要素数の関係を示す図である。

[図37] O 1 A および O 2 A の片側平均化要素数の関係を示す図である。

[図38]ダブルエンド方式の温度算出結果を例示する図である。

[図39]ダブルエンド方式の温度算出結果を例示する図である。

[図40]処理前後の温度分布の定量的な比較を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、図面を参照しつつ、実施形態について説明する。

[0010] (実施形態)

図 1 (a) は、実施形態に係る温度測定装置 100 の全体構成を表す概略図である。図 1 (a) で例示するように、温度測定装置 100 は、測定機 10、制御部 20 などを備える。温度測定装置 100 は、光ファイバ 30 に接続されている。測定機 10 は、レーザ 11、ビームスプリッタ 12、光スイッチ 13、フィルタ 14、複数の検出器 15 a, 15 b などを備える。制御部 20 は、指示部 21、温度測定部 22、補正部 23 などを備える。

[0011] 図 1 (b) は、制御部 20 のハードウェア構成を説明するためのブロック

図である。図1(b)で例示するように、制御部20は、CPU101、RAM102、記憶装置103、インタフェース104などを備える。これらの各機器は、バスなどによって接続されている。CPU(Central Processing Unit)101は、中央演算処理装置である。CPU101は、1以上のコアを含む。RAM(Random Access Memory)102は、CPU101が実行するプログラム、CPU101が処理するデータなどを一時的に記憶する揮発性メモリである。記憶装置103は、不揮発性記憶装置である。記憶装置103として、例えば、ROM(Read Only Memory)、フラッシュメモリなどのソリッド・ステート・ドライブ(SSD)、ハードディスクドライブに駆動されるハードディスクなどを用いることができる。CPU101が記憶装置103に記憶されている温度測定プログラムを実行することによって、制御部20に指示部21、温度測定部22、補正部23などが実現される。なお、指示部21、温度測定部22および補正部23は、専用の回路などのハードウェアであってもよい。

[0012] レーザ11は、半導体レーザなどの光源であり、指示部21の指示に従って所定の波長範囲のレーザ光を出射する。本実施形態においては、レーザ11は、所定の時間間隔で光パルス(レーザパルス)を出射する。ビームスプリッタ12は、レーザ11が出射した光パルスを光スイッチ13に入射する。光スイッチ13は、入射された光パルスの出射先を切り替えるスイッチであり、指示部21の指示に従って光ファイバ30の第1端および第2端に一定周期で交互に光パルスを入射する。なお、本実施形態においては、光ファイバ30の長さをLメートル(m)とし、第1端の位置を0メートル(m)とし、第2端の位置をLメートル(m)とする。

[0013] 光ファイバ30に入射した光パルスは、光ファイバ30を伝搬する。光パルスは、伝搬方向に進行する前方散乱光および帰還方向に進行する後方散乱光(戻り光)を生成しながら徐々に減衰して光ファイバ30内を伝搬する。後方散乱光は、光スイッチ13を通過してビームスプリッタ12に再度入射

する。ビームスプリッタ 1 2 に入射した後方散乱光は、フィルタ 1 4 に対して出射される。フィルタ 1 4 は、WDM カプラなどであり、後方散乱光を長波長成分（後述するストークス成分）と短波長成分（後述するアンチストークス成分）とを抽出する。検出器 1 5 a, 1 5 b は、受光素子である。検出器 1 5 a は、後方散乱光の短波長成分の受光強度を電気信号に変換して温度測定部 2 2 および補正部 2 3 に送信する。検出器 1 5 b は、後方散乱光の長波長成分の受光強度を電気信号に変換して温度測定部 2 2 および補正部 2 3 に送信する。補正部 2 3 は、アンチストークス成分を補正する。温度測定部 2 2 は、ストークス成分およびアンチストークス成分を用いて温度測定を行う。

[0014] 図 2 は、後方散乱光の成分を表す図である。図 2 で例示するように、後方散乱光は、大きく 3 種類に分類される。これら 3 種類の光は、光強度の高い順かつ入射光波長に近い順に、OTDR（光パルス試験器）などに使用されるレイリー散乱光、歪測定などに使用されるブリルアン散乱光、温度測定などに使用されるラマン散乱光である。ラマン散乱光は、温度に応じて変化する光ファイバ 3 0 内の格子振動と光との干渉で生成される。強めあう干渉によりアンチストークス成分と呼ばれる短波長成分が生成され、弱めあう干渉によりストークス成分と呼ばれる長波長成分が生成される。

[0015] 図 3（a）は、レーザ 1 1 による光パルス発光後の経過時間と、ストークス成分（長波長成分）およびアンチストークス成分（短波長成分）の光強度との関係を例示する図である。経過時間は、光ファイバ 3 0 における伝搬距離（光ファイバ 3 0 における位置）に対応している。図 3（a）で例示するように、ストークス成分およびアンチストークス成分の光強度は、両方とも経過時間とともに低減する。これは、光パルスが前方散乱光および後方散乱光を生成しながら徐々に減衰して光ファイバ 3 0 内を伝搬することに起因する。

[0016] 図 3（a）で例示するように、アンチストークス成分の光強度は光ファイバ 3 0 において高温になる位置では、ストークス成分と比較してより強くな

り、低温になる位置では、ストークス成分と比較してより弱くなる。したがって、両成分を検出器 15 a, 15 b で検出し、両成分の特性差を利用することによって、光ファイバ 30 内の各位置の温度を検出することができる。なお、図 3 (a) において、極大を示す領域は、図 1 (a) においてドライヤなどで光ファイバ 30 を意図的に加熱した領域である。また、極小を示す領域は、図 1 (a) において冷水などで光ファイバ 30 を意図的に冷却した領域である。

[0017] 本実施形態においては、温度測定部 22 は、経過時間ごとにストークス成分とアンチストークス成分とから温度を測定する。それにより、光ファイバ 30 内における各位置の温度を測定することができる。温度測定部 22 は、例えば、下記式 (1) に従って温度を算出することによって、光ファイバ 30 内の各位置の温度を測定する。光量は、光強度に対応している。2つの成分の比を用いることで微弱な成分の差が強調され、実用的な値を得ることができる。なお、ゲインおよびオフセットは、光ファイバ 30 の仕様に依存するため、予め較正しておけばよい。

$$\text{温度} = \text{ゲイン} / \{ \text{オフセット} - 2 \times \ln (\text{アンチストークス光量} / \text{ストークス光量}) \} \quad (1)$$

[0018] 図 3 (b) は、図 3 (a) の検出結果および上記式 (1) を用いて算出した温度である。図 3 (b) の横軸は、経過時間を基に算出した光ファイバ 30 内の位置である。図 3 (b) で例示するように、ストークス成分およびアンチストークス成分を検出することによって、光ファイバ 30 内の各位置の温度を測定することができる。レーザ 11 は、例えば一定周期で光パルス光ファイバ 30 に入射する。空間分解能は、光パルスのパルス幅が狭いほど向上する。他方、パルス幅が狭いほど光量が小さく (= 暗く) なるので、その分パルスの尖塔値を高くする必要が生じ、上記式のゲインが非線形となる応答に変わる。

[0019] 光スイッチ 13 からの光ファイバ 30 への入射位置が第 1 端または第 2 端で固定されていれば、上記式 (1) での温度測定が可能である。本実施形態

のように入射位置を一定周期で第1端と第2端とで交互に切り替える場合には、アンチストークス光量とストークス光量とを各光ファイバ30の位置で平均化（平均値の算出）すればよい。この切替による方式は、「ループ式測定」や、「ダブルエンド測定」や、「デュアルエンド測定」などと呼ばれる（以下、ダブルエンド方式と称する）。

[0020] ダブルエンド方式では、上記式（1）を、下記式（2）のように変更すればよい。すなわち、上記式（1）においてアンチストークス光量およびストークス光量を光ファイバ30の各位置で平均化すればよい。オフセットおよびゲインは、方端時の測定時の平均値や大きい方の値を用いたり、新たに較正したりするなどで設定することができる。

温度＝ゲイン／{オフセット－2×ln（平均アンチストークス光量／平均ストークス光量）} （2）

[0021] 図4は、ダブルエンド方式の詳細な手続きを表す。「O1S」は、第1端から光パルスを入射した場合（O→L）のストークス成分を示す。「O1A」は、第1端から光パルスを入射した場合（O→L）のアンチストークス成分を示す。「O2S」は、第2端から光パルスを入射した場合（L→O）のストークス成分を示す。「O2A」は、第2端から光パルスを入射した場合（L→O）のアンチストークス成分を示す。なお、「O2S」および「O2A」は、第2端から光パルスを入射した場合に検出される光強度「O2S′」および「O2A′」を、経過時間に対して反転させることによって得ることができる。この反転によって、位置を統一することができる。

[0022] 図5は、ダブルエンド方式の利点を表す。経路中に過大な曲げが発生すると伝送損失が発生し、当該地点で光強度が急峻に低下する。光強度が急峻に低下すると、ストークス成分とアンチストークス成分との比が変わり、上記式（2）で算出される温度は通常、低下する方向にずれる。ダブルエンド方式でない方端方式（以下、シングルエンド方式と称する）では、第1端（Oメートル）側から第2端（Lメートル）側にパルスが伝搬する場合は、曲げ損失点から第2端側において、同一印加温度に対する出力温度が低下する。

一方、第2端（Lメートル）側から第1端（Oメートル）側にパルスが伝搬する場合は、曲げ損失点から第1端側において、同一印加温度に対する出力温度が低下する。

[0023] 例えば、校正用の測温抵抗体などを用いて、第1端または第2端の温度を校正することができる。ところで、シングルエンド方式では、校正された箇所よりも遠方で値のずれが生じるおそれがある。これに対して、ダブルエンド方式では、平均を取ることで、以下のメリットが得られる。（1）曲げ損失点前後の急峻な変化を打ち消すことができる、つまり、損失の長さ方向の変化を解消できる。（2）シングルエンド方式の測温抵抗体で校正された各始端温度とダブルエンド方式の同じ位置の温度は変わらないはずであるから、そうなるようにゲインやオフセット値を再校正できる。

[0024] 現在流通している光ファイバは性能が向上して屈折率の不均一等はないものの、各対象への敷設で曲げや引張、コネクタ接続などにより異なる大きさの伝送損失が発生することがある。したがって、シングルエンド方式では正確な温度を測定するには、各損失発生後の区間にそれぞれ独自の較正值を付与することが好ましい。しかしながら、測定最中に発生した損失に対する補償はできないが、ダブルエンド方式では伝送損失の発生は使用長さに影響するので好ましくないものの、正確な測定が出来ないか否かを心配しなくてもよい。

[0025] 続いて、光ファイバにおける温度測定対象区間長と、ラマン散乱光から得られる測定温度との関係を例示する。図6は、室温約24℃時に光ファイバ30の一部区間を約55℃のお湯に浸漬した場合の応答例を示す。0.5mから10.5mまで浸漬長を長くしていく場合に、約2m以上で、ピーク温度がお湯と同じ55℃となる。したがって、正確な温度を測定するためには、温度測定対象区間を長くすることが好ましい。

[0026] 正確な湯温から正確な室温を差し引いた温度を光ファイバ30への印加温度とすると、測定系の感度は下記式（3）で定義される。

感度＝（お湯浸漬位置のピーク温度－浸漬位置前後のファイバで測定した室

温) / 印加温度 $\times 100$ (%) (3)

図6および上記式(3)から得られる結果を図7に示す。図7で例示するように、わずかにオーバーシュートが見られる。これは、後述するように、システムのインパルス応答がガウシアンではなく、 sinc 関数に近い負の成分および高次のピークを持つ波形のためである。感度100%となる、もしくははみなせる最小長さを最小加熱長と称する。

[0027] 図6によれば、一定温度区間内に高温印加区間(＝お湯浸漬区間)を設けた際の温度は、単一方形波に対してインパルス応答を畳み込んだものと等価とみなすことができる。それにより、システムのインパルス応答が求まる。図8は、求めたインパルス応答の典型例を例示する。後方ラマン散乱光を用いた光ファイバの温度測定においては、図8で例示するように、インパルス応答は sinc 関数に中心から離れた位置がきれいに減衰するような窓関数処理をした波形とみなせる。図7の感度曲線のオーバーシュートは、このインパルス応答波形に起因して生ずる。光ファイバ30の長さ方向に沿った印加温度分布に対してこのインパルス応答を畳み込めば、ほぼ正確な出力予測が出来る。

[0028] 図9(a)～図9(c)は、各浸漬長に対してインパルス応答から推定した出力波形と、実際に得られた出力波形との比較を例示する図である。図9(a)～図9(c)で例示するように、出力波形はほぼ正確に予測できている。図9(a)の3.25mの浸漬ではインパルス応答の畳込どうしが干渉したことでピークが平坦化している。

[0029] そこで、図10には、2つの20cmの高温印加区間に対して、中央に印加しない区間を設け(つまり、お湯の浸漬でいえば空気中に出すということ)、その区間の幅を徐々に変化させたときの出力波形の計算値を例示する。ピーク温度を1とし、基準温度を0として規格化している。図10で例示するように、1.2～1.4mの区間が空くと高温印加区間は2つある、とみなすことができる。これは、図8で例示したインパルス応答波形の拡がりによる干渉の結果である。高温印加区間が2つとみなせるのは、図10のイン

パルス応答の半値幅以上に離間した場合である。明確に離間したと判定するためには、勾配が逆転する 0 次成分幅の半値以上が好ましい。図 10 において、中央の非加熱区間の最低温度が基準温度と等しくなる、つまり、インパルス応答波形の干渉が無視できるようになるのは、図 10 から、2 つの高温印加区間の間隔が 1 次ピーク間幅よりも大きく、たとえば 1 次成分幅程度になった場合である。

[0030] したがって、現在着目している光ファイバ位置で伝達関数の作用により温度が変化している、つまり、正しく温度が出力されている、と判断するには、その位置を中心にして、0 次成分幅以上、かつ、1 次成分幅以下の範囲の温度変化に着目することが好ましい。光パルスは、波長拡がりや入射画角、散乱などの影響で徐々に拡がってかつ減衰しながら伝搬される。そのため、インパルス応答は、光ファイバ 30 の仕様に記載された最大使用長のファイバを接続したときの中央位置で測定・算出したものとするのが好ましく、または近端と中央、遠端の 3 か所の平均とするなどで対応することが好ましい。

[0031] より高精度に温度を測定するためには、たとえば図 9 (a) ~ 図 9 (c) で例示するような量み込みと出力データとの比較が問題ない程度の差異である範囲は同じとみなせる複数の区間を定め、各区間の中心位置で測定・算出して保存しておき、それぞれの区間ごとにそれぞれ保存したインパルス応答を用いる、などとするのが好ましい。時間の経過とともに、インパルス応答波形はレーザの劣化等により僅かに変化するため、さらに高精度に温度を測定するためには、一定期間ごとにインパルス応答を初回取得と同じ位置で較正することが好ましい。

[0032] 図 11 は、後方ラマン散乱光検出によって得た片端からパルスを入射した場合の温度分布の一例を示す。図 11 では、図 1 で例示した第 1 端 (0 メートル) から入射した場合の波形と、第 2 端 (L メートル) から入射した場合の波形とが重ねて例示してある。第 1 端から入射した場合には、第 1 端近傍においては測定温度のばらつきが小さく、第 2 端に向けて測定温度のばらつ

きが大きくなる。一方、第2端から入射した場合には、第2端近傍においては測定温度のばらつきが小さく、第1端に向けて測定温度のばらつきが大きくなる。温度変化の大きい3000m近傍は、清掃が不十分なコネクタ接続位置であり、4900m地点はお湯に浸漬した箇所である。この例では光ファイバ30が複数のボビンに巻かれて経路が構成され、かつ、それらの平均温度が微妙に異なるために、複数の段差が生じている。図11によれば、光源から離れるほど、ばらつきが大きくなっており、測定精度が低下していることがわかる。

[0033] 図12は、図11の両端から入射した2つの信号のストークス成分およびアンチストークス成分をそれぞれ平均化（平均値を算出）して温度を算出したものである。平均化により、端点の測定精度の低下は図11よりも緩和されたが、良好な側の端点には及ばない。図13は、測定精度を定量的に例示する。それぞれ温度変化のない平坦部3か所各100mの値を用いて算出した標準偏差 3σ の値である。平均（ループ式）は0（m）から入射した場合の値とL（m）から入射した場合の値の平均値となっていることが確認できる。

[0034] 後方ラマン散乱光検出による光ファイバを用いた温度測定は、トンネルや石炭ベルトコンベアの火災異常検知等に用いられる。火災検知は $\pm 6^{\circ}\text{C}$ でも問題はないが、たとえば、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ を必要とする場合、測定時間を $(6 \div 1)^2 = 36$ 倍掛ければよい。たとえば、図13の測定精度が20秒で得られるレベルの機器ならば12分、1分間で得られるレベルの機器ならば36分を掛けて測定することで、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ を得るが、リアルタイムに該当する時間ではなく、用途は限定される。より幅広い分野に活用するには、高価な光源やフィルタ、回路等の部品を使用せずに、後処理によって測定精度を向上させることが好ましい。

[0035] ノイズ低減のための後処理としては、必要な信号帯域以外は低域高域（および中域）ともにカットしてしまうバンドパスフィルタや、ノイズモデルを設計し、それを基に有効な信号帯域を抽出する適応フィルタなどの適用があ

る。ここで、図 14 に、図 11 から抽出したノイズの少ない L メートル側片端のお湯への浸漬区画の温度分布と、図 12 から抽出した 200 m 近傍の平坦温度部を重ねて例示する。平坦温度部の温度の振れはノイズによるものである。

[0036] これらのデータは、FFT（高速フーリエ変換）時のエイリアシングの影響を最小化するため信号の両側を減衰させている。波形の非線形は、サンプリングが約 50 cm 間隔であることに拠る。これら 2 つの波形のパワースペクトルを図 15 に例示する。図 15 で例示するように、ノイズと信号成分の帯域は重複している。つまり、いかなるフィルタ処理でもノイズの抑圧とともに信号成分も減衰してしまう。お湯の温度と浸漬長が既知ならば良好なノイズ圧縮が可能だが、光ファイバに付与される温度分布のパターンはあらかじめ定まるものではない。後方ラマン散乱光検出による光ファイバの温度測定において、ダブルエンド方式の測定を行った際には、上記の通り、中央近傍に比べて光源に近い端部の測定精度が悪い問題に加えて、その緩和のためになんらかのフィルタ処理を加えようとしても、信号成分自体の減衰も避けられないという問題がある。

[0037] 図 16 に図 9 (a) ~ 図 9 (c) で例示した温度分布を算出する元信号であるストークス成分およびアンチストークス成分を例示する。図 16 においては、第 1 端に光パルスを入射する場合のストークス成分「O1S」、アンチストークス成分「O1A」、第 2 端に光パルスを入射する場合のストークス成分「O2S」、アンチストークス成分「O2A」が例示されている。さらに、第 2 軸に下記式 (4) を例示する。

$$O2A - (O1A + (O2S - O1S)) \quad (4)$$

[0038] 図 16 では、O1A と O2A との差と、O1S と O2S との差がほぼ等しく、かつ、O1S と O1A との差と、O2S と O2A との差がほぼ等しいように見える。そこで、このことが正しいのか否かを実際に確認するために、上記式 (4) を用いてグラフ化してある。図 16 によれば、上記式 (4) は測定区間内でノイズが印加されるが、ほぼゼロで推移していることがわかる

。

[0039] このことについて、図 17 (a) ~ 図 17 (c) を用いて説明する。図 17 (a) ~ 図 17 (c) は、第 1 端から光パルスを入射した場合 ($0 \rightarrow L$) において、図 16 とは別の区間をお湯に浸漬した別のデータである。図 17 (a) は適正な温度分布になっているのに対して、図 17 (b) および図 17 (c) は遠端になるにつれて温度が上昇し続けるか、下降し続けるかの違いが生じている。アンチストークス成分の長さ方向の減衰量は、図 17 (a) に対して図 17 (b) では小さく、図 17 (c) では大きくなるように変更されている。シングルエンド方式でもダブルエンド方式でも、出力される温度分布は、ノイズ成分を除けばほぼ同じでなければならない。したがって、アンチストークス成分の損失の補正は、図 17 (a) のような分布となるように調整される。この場合、ストークス成分およびアンチストークス成分の長さ方向に対する減衰値は、ほぼ等しくなる。

[0040] 図 17 (a) ~ 図 17 (c) の例は、第 1 端から光パルスを入射した場合 ($0 \rightarrow L$) であるが、第 2 端から光パルスを入射した場合 ($L \rightarrow 0$) でも同じことが言える。したがって、入射端から射出端までのトータルの減衰量は 0 (m) 側からの入射の場合も L (m) 側からの入射の場合も等しいことから、図 16 において、上記式 (4) がほぼ値が 0 で推移することが確からしいということがわかる。

[0041] 図 18 (a) および図 18 (b) は、図 16 の $4800\text{ m} \sim 5100\text{ m}$ の拡大図を示す。図 18 (b) は、図 16 と異なり、下記式 (5) を用いて得られた測定温度を例示する。これは、光ファイバ長約 6000 (m) のうち、図 18 (a) および図 18 (b) の区間は第 1 端側から光パルスを入射した場合の方が、信号強度が低下し、ノイズが大きくなるので、そのノイズが大きい 2 つの信号のうちのノイズが大きい 0.1 A を対象としたいためである。

$$0.1\text{ A} - (0.2\text{ A} + (0.1\text{ S} - 0.2\text{ S})) \quad (5)$$

[0042] 図 18 (a) および図 18 (b) からわかるように、温度変化の影響に関

ならず、一定のばらつきで推移しているように見える。したがって、図 17 (a) ~ 図 17 (c) からの推定と併せて 01A は他の 3 つの成分を用いて一定程度推定可能と言える。

[0043] そこで、どのような場合に、どのように推定するのか、について、説明する。図 19 には、第 1 端からパルス入射した場合 (0 → L) の、ストークス成分 (図 18 (a) の 01S) とアンチストークス成分 (図 18 (a) の 01A) について、現在着目している位置を中心に ±2 m のデータ範囲で Pearson の積率相関係数の値を示したものである。図 19 によれば、たとえば 01A を基準に考えると、01S、02A、02S の 3 つの信号に対してのうち、少なくとも 1 つのペアにおいて、相関が高い場合は有意な温度変化が生じていると考えられる。つまり、相関が低い場合は、温度変化が生じていないか、緩やかに変化している状態と考えられるため、上記 3 つの成分を用いた推定をおこなっても出力に差異は生じない。

[0044] 相関が低い場合に、たとえば 6000 m (第 2 端) 近傍の、0 m (第 1 端) から光パルスを入射した遠端近傍で 01A を置換対象とする場合に、ノイズ成分が次に大きいのは図 18 (a) によれば、01S である。前述したように、温度が変化する、ということは、ストークス成分とアンチストークス成分とが光ファイバ 30 の長さ方向に同期して変化することである。つまり、その同期の範囲を限定できれば、その他の領域は光源側の隣接するファイバ位置の温度に対して変化していない、もしくは、なだらかに傾きが変わっているだけ、と考えることができる。

[0045] そこで、図 6 ~ 8 で説明した最小加熱長に着目することができる。後方ラマン散乱光の検出による光ファイバ温度測定は、一定区間内はほぼ同じ最小加熱長応答を示すとしてもよい。最小加熱長のファイバを一定温度周囲よりも加熱すると、図 6 のインパルス応答とほぼ同じ波形が得られる。その、周囲に影響を及ぼす範囲 (干渉範囲) は、前述のとおり、勾配が逆転する 0 次成分幅以上、かつ、振幅がほぼゼロに減衰する 1 次成分幅以下の範囲に着目することが好ましい。

[0046] そこで、01Sに対しては、最大の平均化範囲を「0次成分幅以上かつ振幅がほぼゼロに減衰する1次成分幅以下の範囲」として、相関の大きさに応じた平均化要素数（平均化範囲）を決定し、その平均化要素数に応じて現在着目している位置を中心に平均化した値で置き換えることでノイズを低減する。また、0メートル（第1端）側から光パルスを入射した場合にはLメートル（第2端）近傍が遠端になる。そこで、01Aを基準として置換するかどうか、その際の01Sの処理、02Sおよび02Aの活用を考えるが、Lメートル（第2端）側から光パルスを入射した場合は0メートル（第1端）付近が遠端になるため、02Aを基準として考える。

[0047] 図20は、温度測定装置100が温度測定する際に実行するフローチャートの一例である。まず、一例として、出荷前のダブルエンド方式における光ファイバ30の長さ方向の測定精度分布もしくは機種種の代表機のダブルエンド方式における光ファイバ30の長さ方向の測定精度分布に基づき、光ファイバ30を、0メートル（第1端）近傍の測定精度が劣る第1区間、中央の第2区間、Lメートル（第2端）近傍の測定精度が劣る第3区間に均等に分ける。温度測定装置100は、3つの各区間について図20のフローチャートを実行する。

[0048] まず、補正部23は、着目している光ファイバの区間が光ファイバ30の総長の $1/3$ 以下の第1区間であるか否かを判定する（ステップS1）。ステップS1で「Yes」と判定された場合、補正部23は、第1区間の各サンプル点を中心として、最小加熱長応答波形の0次成分幅以上かつ1次成分幅以下に設定した所定範囲（指定範囲）の相関の大きさをサンプル点ごとに求める。サンプル点とは、光ファイバ30の長さ方向における温度測定対象点である。まず、補正部23は、各サンプル点において、02Sと01Sとの相関係数および02Sと01Aとの相関係数を求め、小さい方の相関係数を α_{02S} として保持する（ステップS2）。次に、補正部23は、各サンプル点において、02Aと01Sとの相関係数および02Aと01Aとの相関係数を求め、小さい方の相関係数を α_{02A} として保持する（ステッ

プS3)。

[0049] 相関の大きさの求め方はさまざまであるが、たとえば、Pearsonの積率相関係数を用いることができる。02Aと01Sの場合のPearsonの積率相関係数式を下記式(6)で表す。

相関係数 $\alpha = (\text{指定範囲の01Sと同範囲の02Aの共分散}) / (\text{同範囲の01Sの標準偏差}) / (\text{同範囲の02Aの標準偏差})$ (6)

[0050] 光ファイバ30のサンプル点kを中心としたPearsonの積率相関係数を $\alpha[k]$ 、01Sの配列を01S[k]、02Aの配列を02A[k]、指定範囲のサンプル数をn、01S[k]の指定範囲平均を01Save、02A[k]の指定範囲平均を02Aaveとすると、上記式(6)は具体的に、下記式(7)のように表すことができる。

[数1]

$$\alpha[k] = \frac{n^{-1} \sum_{k=0}^n (01S[k] - 01Save)(02A[k] - 02Aave)}{\sqrt{n^{-1} \sum_{k=0}^n (01S[k] - 01Save)^2} \sqrt{n^{-1} \sum_{k=0}^n (02A[k] - 02Aave)^2}} \quad (7)$$

[0051] 別の例として、変形のSpearmanの順位相関係数を用いる場合には、まず、指定範囲(上記式(7)ではn)内の01Sおよび02Aの、そのn個の中での順位付を行い、その順位どうしについて、Pearsonの積率相関係数を使うものである。同一順位がある場合は、補正式を使用するが、通常、ストークス成分およびアンチストークス成分に関しては、同一順位の発生はほぼ皆無であるため、最初に出現した方を上位とするという処理でよい。

[0052] たとえば、図6のインパルス応答で示される区間に上記条件に合致する範囲として $\pm 3.6m$ を設定し、図16のデータに対してPearsonの積率相関係数とSpearmanの順位相関係数の比較を図21に例示する。一般的に、Pearsonの積率相関係数は1もしくは-1のときを完全な相関、以下絶対値で0.7以上1未満を高い相関、0.4以上0.7未満を相関、0.2以上0.4未満を低い相関、0.2以下を相関無し、として扱

う。しかしながら、相関無しの0.2以下の領域ではSpearmanの方がより傾きが変化してしまうものの、低い相関範囲の0.3以上の値ではほぼ1:1となっており、図16に対しては同等の結果をもたらす。規格化されていれば自作してもよいし、その他の相関係数を用いてももちろん構わない。

[0053] 次に、補正部23は、各サンプル点において、相関係数 α_{02A} が所定の値以下（例えば0.2以下）であるか否かを判定する（ステップS4）。ステップS4で「Yes」と判定された場合、補正部23は、当該サンプル点において、 $O2A$ を代替 $O2A$ で置き換える（ステップS5）。

[0054] 代替 $O2A$ は、下記式（8）で表すことができる。

$$\text{代替}O2A = O1A + (\text{AVERAGE1}(O2S) - O1S) + (\text{AVERAGE2}(O2A) - \text{AVERAGE2}(O1A)) - (\text{AVERAGE2}(O2S) - \text{AVERAGE2}(O1S)) \quad (8)$$

AVERAGE1は、現在着目しているサンプル点の信号品質に応じて区間が可変の平均である。AVERAGE2は、現在着目しているサンプル点を中心とした固定幅の平均である。補正部23は、 $O2S$ と $O1S$ との相関係数の小ささ、および $O2S$ と $O1A$ との相関係数の小ささに応じてAVERAGE1の平均化範囲を決める。例えば、 $1/\alpha_{02S}$ を四捨五入して得た整数サンプル分をAVERAGE1の平均化範囲としてもよい。この場合、現在着目している位置の相関係数が小さければ小さい程AVERAGE1の平均化範囲は大きくなる。ただし、AVERAGE1の平均化範囲の上限値は上記のように、0次成分幅以上かつ振幅がほぼゼロに減衰する1次成分幅以下の範囲とすることが好ましい。

[0055] 代替 $O2A$ は、図16の第2軸の説明に使用した式「 $O2A - (O1A + (O2S - O1S))$ 」の $O2S$ をAVERAGE1($O2S$)として、第2項を使用し、さらに、この第1項目と第2項のわずかなオフセット値AVERAGE2($O2A$) - (AVERAGE2($O1A$) - (AVERAGE2($O2S$) - AVERAGE2($O1S$)))を差し引いた値とする。AV

AVERAGE 2の平均化範囲は現在着目している位置を中心とした、AVERAGE 1の平均化範囲よりも大きな平均化範囲である。

[0056] ステップS 5の実行後、またはステップS 4で「No」と判定された場合、温度測定部22は、O 1 SとO 2 Sとの平均値を平均ストークス成分とし、O 1 AとO 2 Aとの平均値をアンチストークス成分として、上記式(2)を用いて温度を測定する(ステップS 6)。すなわち、ステップS 4で「Yes」と判定された場合には、O 2 Aが代替O 2 Aで置き換えられた後に温度が算出され、ステップS 4で「No」と判定された場合には、O 2 Aを代替O 2 Aで置き換えずに温度が算出される。

[0057] 以上の処理により、ノイズが少なく信頼性の値を相対的に重み付けすることになり、ノイズを除去することができる。なお、ステップS 2およびステップS 3でいずれか小さい方を用いたが、大きい方であってもよく、平均を用いてもよい。小さい方にするということは、確実に温度変化と見られるものの以外のデータを平均化することであり、大きい方を用いるということは、ノイズに埋もれたわずかな変化のデータも可能な限り除去しないというものである。

[0058] ステップS 1で「No」と判定された場合、補正部23は、着目している光ファイバの区間が光ファイバ30の総長の2/3以上の第3区間であるかを判定する(ステップS 7)。第3区間では、O 2 SがO 1 Sに相当し、O 2 AがO 1 Aに相当する。そこで、ステップS 7で「Yes」と判定された場合、補正部23は、O 2 SとO 1 Sと入れ替え、O 2 AとO 1 Aとを入れ替え、ステップS 2～ステップS 6と同様の処理を行う(ステップS 8)。したがって、相関係数 $\alpha_{O 1 A}$ が所定の値(例えば0.2以下)である場合、O 1 Aが下記式(9)の代替O 1 Aに置き換わる。

$$\text{代替O 1 A} = \text{O 2 A} - (\text{O 2 S} - \text{AVERAGE 1 (O 1 S)}) - (\text{AVERAGE 2 (O 2 A)} - \text{AVERAGE 2 (O 1 A)}) + (\text{AVERAGE 2 (O 2 S)} - \text{AVERAGE 2 (O 1 S)}) \quad (9)$$

[0059] なお、右辺の第1項および第2項が前述した3つの信号を使用したもので

あり、第3項はわずかに生じたオフセットの補正項である。わずかなオフセット項は、図16および図17で説明したシングルエンド方式の場合のストークス成分に対するアンチストークス成分の減衰量の補正は、きっちりと仕切れるわけではない。これは、逆のLメートル（第2端）側から光パルスを入射した場合も同じである。そこで、広い平均化範囲AVERAGE2を用いて、オフセット成分を除去するものである。

[0060] 具体的に、オフセット成分は、 $\Delta O1A \div O1A - (O2A + (O1S - O2S) \div - (AVERAGE2(O2A) - AVERAGE2(O1A)) + (AVERAGE2(O2S) - AVERAGE2(O1S)))$ であるため、代替O1Aは、この成分を差し引いたものである。これは、前述の第1区間における代替O2Aについても同様のことが言える。なお、代替O1Aは、下記式(10)で表される。式(10)は、式(9)と等しい。

$$\text{代替}O1A = O2A + (AVERAGE1(O1S) - O2S) + (AVERAGE2(O2S) - AVERAGE2(O1S)) - (AVERAGE2(O2A) - AVERAGE2(O1A)) \quad (10)$$

[0061] ステップS7で「No」と判定された場合、温度測定部22は、O1SとO2Sとの平均値を平均ストークス成分とし、O1AとO2Aとの平均値をアンチストークス成分として、上記式(2)を用いて温度を測定する（ステップS9）。なお、図20では相関係数の大きさの逆数を平均化範囲の指標としたが、必ずしも逆数を用いなくてもよい。相関係数が大きいほど平均化範囲を相対的に狭くし、相関係数が小さいほど平均化範囲を相対的に大きくすればよい。さらには、AVERAGE1の平均化範囲をサンプル点の信号品質によらず、固定区間としてもよい。その場合もステップS4における α_O2A を用いてO2Aを代替O2Aで置き換えるかを決定する手続き、ステップS8における α_O1A を用いてO1Aを代替O1Aで置き換えるかを決定する手続きについては全く同じであり、また、AVERAGE2の平均化範囲がAVERAGE1の平均化範囲よりも大きいことも同じである。

[0062] 図22は、温度測定部100が温度測定する際に実行するフローチャート

の他の例である。図22が図20と異なる点は、ステップS4で「No」と判定された場合に、02Sおよび02Aそれぞれの平均化範囲を、片側について、 $1/\alpha \times 02S$ の四捨五入した整数サンプル分とし、平均化した値と置き換える点である（ステップS10）。ステップS10の実行後には、ステップS6が実行される。これにより、遠端のアンチストークス成分と他の成分の相関が所定の値以上の場合には、遠端のアンチストークス成分、ストークス成分ともに、その相関係数の大きさに応じた平均化範囲で平均した値と置き換わる。これにより、遠端のノイズ的な変動のアンチストークス成分だけでなく、ストークス成分のノイズ低減も可能になる。

[0063] 図23は、温度測定装置100が温度測定する際に実行するフローチャートの他の例である。図23が図22と異なる点について説明する。まず、光ファイバ30の長さ方向の測定精度分布に基づき、光ファイバ30を、0メートル（第1端）近傍の測定精度が劣る第1区間、中央の第3区間、Lメートル（第2端）近傍の測定精度が劣る第5区間、第1区間と第3区間との間の第2区間、第3区間と第5区間との間の第4区間に均等に分ける。補正部23は、5つの各区間について図23のフローチャートを実行する。

[0064] まず、補正部23は、着目している光ファイバの区間が光ファイバ30の総長の $1/5$ 以下の第1区間であるか否かを判定する（ステップS11）。ステップS11で「Yes」と判定された場合、補正部23は、ステップS2～ステップS4と同様の処理のステップS12～ステップS14を実行する。なお、ステップS14で用いる所定の値を第1閾値と称する。ステップS14で「Yes」と判定された場合、補正部23は、ステップS5と同様の処理のステップS15を実行する。

[0065] ステップS14で「No」と判定された場合、補正部23は、相関係数 $\alpha \times 02A$ が、ステップS14で用いた値1よりも大きい第2閾値（例えば0.55）以上であるか否かを判定する（ステップS16）。ステップS16で「Yes」と判定された場合またはステップS15の実行後、ステップS6と同様の処理のステップS17が実行される。ステップS16で「No」

と判定された場合、ステップS 1 0と同様の処理のステップS 1 8が実行される。ステップS 1 8の実行後、ステップS 1 7が実行される。なお、S 1 6において、 α_02A が第2閾値以上であったとしても、 α_02S は小さい値である可能性がある。この場合、S 1 8と同様に、片側の平均化範囲を $1/\alpha_02S$ の四捨五入した整数部分として平均化した値と置き換えてもよい。

[0066] ステップS 1 1で「N o」と判定された場合、補正部23は、着目している光ファイバの区間が光ファイバ30の総長の $4/5$ 以上であるか否かを判定する（ステップS 1 9）。ステップS 1 9で「Y e s」と判定された場合、ステップS 1 2～ステップS 1 8と同様の処理を、ステップS 1 2～ステップS 1 8において、02Sと01Sとを置き換え、02Aと01Aとを置き換え、の手続き後に実行する（ステップS 2 0）。

[0067] ステップS 1 9で「N o」と判定された場合、補正部23は、着目している区間が光ファイバ30の総長の $2/5$ 以下であるか否か、もしくは $3/5$ 以上であるか否かを判定する（ステップS 2 1）。ステップS 2 1で「Y e s」であり、かつ総長の $2/5$ 以下である場合、ステップS 1 2～S 1 8と同様の処理を実行する。ただし、相関係数に対する閾値や平均化上限値として異なる値を用いる。ステップS 2 1で「Y e s」であり、かつ総長の $3/5$ 以上である場合、ステップS 2 0と同様の処理を実行する。ただし、相関係数に対する閾値や平均化上限値として異なる値を用いる。それにより、区間毎に変化する最小加熱長に対する補正を行うことができる。ステップS 2 1で「N o」と判定された場合、ステップS 9と同様の処理のステップS 2 3が実行される。

[0068] なお、図20、図22および図23では、平均化範囲を最小加熱長の1次成分幅以下とした。これは、それを超えると平均化信号が隣接信号のクロストークの影響を大きく受ける可能性が高くなることに起因する。なお、たとえば、得られた相関係数が -1 の場合は通常完全な相関に分類されるが、本願では、ノイズとして扱う。なぜならば、たとえば、温度上昇の場合、スト

ークスもアンチストークスも上に凸になり、温度低下の場合は両者とも下に凸になる。この場合、アンチストークスがストークスの成分を上下反転させたような形状になることはなく、そのような場合は通常、ノイズ状態か、もしくは、接続不良のコネクタや、屈折率差の大きいファイバどうしを融着やコネクタ接続するときのみであるためである。

[0069] 図20、図22および図23では区画の分割を3または5としたが、たとえば中心で分割した2区画や、その各区画をさらに半分にした4区画、さらにその半分の8区画などでも構わない。その場合は、01S、01A、02S、および02Aがすべて処理なしで温度が算出される中央区間がなくなるだけである。

[0070] 本実施形態によれば、ダブルエンド方式を用い、第2端に光パルスを入射する場合に第1端側の一部の領域のサンプル点を含む所定領域において、02Aと01Sとの相関係数および02Aと01Aとの相関係数の少なくともいずれかが閾値以下である場合に、02Aが01S、01A、および02Sに応じた代替値に置き換わる。この場合、02Aにノイズが大きく現れる場合に、02Aがノイズの少ない01S、01Aおよび02Sに応じた値に置き換わる。それにより、02Aのノイズを低減することができる。一方、第1端に光パルスを入射する場合に第2端側の一部の領域のサンプル点を含む所定領域において、01Aと02Sとの相関係数および01Aと02Aとの相関係数の少なくともいずれかが閾値以下である場合に、当該01Aが02S、02Aおよび01Sに応じた代替値に置き換わる。この場合、01Aにノイズが大きく現れる場合に、01Aがノイズの少ない02S、02Aおよび01Sに応じた値に置き換わる。それにより、01Aのノイズを低減することができる。これら補正された02Aおよび01Aを用いることにより、測定される温度を補正することができる。なお、02Aの代替値を求める場合、01Sと01Aは、光スイッチ13によるスイッチに関して02Aの直前の成分であることが好ましいが、直前に限らず02Aよりも前の成分であってもよい。または、02Aよりも後の成分であってもよい。01Aの代替

値を求める場合、 O_{2S} と O_{2A} は、光スイッチ13によるスイッチに関して O_{1A} の直前の成分であることが好ましいが、直前に限らず O_{1A} よりも前の成分であってもよい。または O_{1A} よりも後の成分であってもよい。第2端に光パルスを入射する場合に、 O_{2A} と O_{1S} との相関係数および O_{2A} と O_{1A} との相関係数の少なくともいずれかが閾値以下である場合を O_{2A} の置き換えの条件としたが、 O_{2S} と O_{2A} との相関係数が一定以上であれば、 O_{2S} と O_{1S} との相関係数および O_{2S} と O_{1A} との相関係数の少なくともいずれかが閾値以下であるか否か、 O_{2A} と O_{1S} 、 O_{2A} と O_{1A} 、 O_{2S} と O_{1S} 、 O_{2S} と O_{1A} の少なくともいずれかが閾値以下であるか否か、などを O_{2A} の置き換えの条件としてもよい。同様に、第1端に光パルスを入射する場合に、 O_{1A} と O_{2S} との相関係数および O_{1A} と O_{2A} との相関係数の少なくともいずれかが閾値以下である場合を O_{2A} の置き換えの条件としたが、 O_{1S} と O_{1A} との相関係数が一定以上であれば、 O_{1S} と O_{2S} との相関係数および O_{1S} と O_{2A} との相関係数の少なくともいずれかが閾値以下であるか否か、 O_{1A} と O_{2S} 、 O_{1A} と O_{2A} 、 O_{1S} と O_{2S} 、 O_{1S} と O_{2A} の少なくともいずれかが閾値以下であるか否か、などを O_{1A} の置き換え条件としてもよい。

[0071] また、上記実施形態においては、平均化範囲においてストークス成分およびアンチストークス成分の平均値を求めているが、当該範囲においてデータのばらつきが抑制されていればよい。そこで、重み付けを考慮した相加平均や、相乗平均、調和平均などの他の平均を用いてもよい。また、 O_{1S} と O_{2S} との平均値および O_{1A} と O_{2A} との平均値を求める場合に、重み付けを考慮した相加平均を用いてもよい。

[0072] (他の適用例)

上記実施形態に係る温度測定装置100は、様々な温度測定対象に適用することができる。例えば、図24で例示するように、高温高圧の原料輸送配管の枝配管に光ファイバを敷設することが考えられる。このような高温高圧の配管では、ラッキング材および外側金属板により保温・保護がなされてい

るため、接続継手部の腐食により漏洩が発生しても、火災事故等につながる甚大な状況にまで至らないと発見されない場合が多い。そこで、光ファイバの接続継手部に巻きつけておき、各光ファイバ位置の温度どうしの変化の相関関係を比較することで外気温や内部の温度・圧力が変化した場合でも正確に接続部の漏洩の有無を早期に検知することができる。各光ファイバ位置の温度どうしの相関関係を比較する手段として、各光ファイバ位置の温度を要素として分散共分散行列を生成し、マハラノビス距離やMSD法といった手法で外れ値検定を行う方法がある。

[0073] 図25は、一本の光ファイバで製作した多数の捲回部による通過空気温度の測定方法への適用を例示する。各捲回部は、ほぼ同一の直径で数周同一箇所巻きつけられて隣接捲回部と接続されている。上記実施形態に係る測定機10および制御部20を用いて捲回部のそれぞれの平均温度を取得して各捲回部の中心位置座標の代表温度としてグラデーションを生成すれば、どのような温度分布の風が、ファイバが敷設されたシート・枠内を通過しているかを測定することができる。各捲回部に巻きつける周回数を増やせば増やすほど、平均される測定点数が増加して見かけの測定精度は向上するので、短時間の測定で所望の測定精度が得られる。なお、光ファイバ長を短くすることで、入射パルスの減衰が小さくなるので、測定精度が向上する。より短時間の測定で所望の測定精度を得るには、出力される温度データ自体が高精度であることが要求される。上記実施形態を適用すれば、この要求を実現することができる。

[0074] 図26(a)および図26(b)は、耐熱ファイバを用いて製作した捲回部を多数連結したファイバネットを溶融炉の表面に敷設した例を例示する。各ファイバネットは接続されるが、端部の2枚のネットの入口端と出口端のファイバは測定機10および制御部20に接続されて、ダブルエンド方式の測定を行う構成となっている。各ネット1～3の位置と温度分布の関係を図26(b)で例示する2次元グラデーション表示にし、溶融炉の基準方位に対して各ネットの方位に相当する位置に生成した2次元グラデーションをは

め込むことで溶融炉の表面温度状態をわかりやすく可視化できる。閾値を設けて突発的な温度変化異常を管理する場合においても、図24の適用例と同様に、各ネットの捲回部どうしの温度変化の相対的な関係の時間推移を用いてマハラノビス距離の変化やMSD法で算出した値の変化から異常の予兆を分析する場合においても、温度測定を高精度で行うことができる。

[0075] 図27(a)および図27(b)は、データセンターのサーバラックの上部に一直線に敷設した光ファイバを用いて空調管理を行うシステムへの適用を例示する。ハウジングサービスを主とするデータセンターの場合、サーバラックに対して敷設が許諾されないことがある。そこで、図27(a)および図27(b)で例示するように、サーバラックの吸気面上部などに光ファイバを一直線もしくは一定程度排気面側に蛇行するなどの方法で敷設する。そして、あらかじめラック部の温度を何らかの方法で測定しておき、敷設した光ファイバで見て、何度の余裕があるかを対応付けて各ラックの上部に相当する光ファイバの各長さにそれぞれ警報の閾値を設定する。通常、サーバラックは60cmもしくは70cm程度のものが一般的であるため、たとえばデータのサンプリング間隔が50cmの場合、測定点数は1点乃至2点のみであるため、ダブルエンド方式の測定レベルの測定精度が必要である。上記実施形態を適用することによって、高精度で温度測定が可能となる。閾値を超えるかもしくは越えそうになった場合に、空調を強めて余裕度を上げることができる制御が可能となり、省エネと安全が両立できる。

[0076] 図28は、ビニールハウス内での高級果物などの栽培及び盗難防止への適用を例示する。図28の例は、たとえばクラウンメロンの栽培を前提としたものである。土中温度、周囲環境温度、果物温度などを測定するための光ファイバを設置し、さらに、乾湿計と同様の原理を利用した湿度管理用の光ファイバを設置し、ラマン散乱を用いて温度および湿度を測定することができる。ここで盗難者がメロンを盗難してメロンを引っ張ると、土中の光ファイバが引き抜かれ、温度が急峻に変化する。それをもって、盗難が発生していると警報を所有者に通知することができる。急峻な温度変化を確実に測定す

るには、システムの測定精度が良好であることが求められる。また、各温度の時間推移を詳細に管理して積分値管理を行い、良好な育成を行おうとすれば、同様にシステムの測定精度が良好であることを求められる。上記実施形態を用いることで、この要求を実現することができる。

実施例 1

[0077] 上記実施形態に従い、具体的な実施例について説明する。図 1 1～図 1 6、図 1 8 および図 1 9 に対して、図 2 2 の処理を行った。ただし、第 1 区間を、光ファイバ 3 0 の総長の $2/5$ 未満とし、第 2 区間を $2/5$ 以上 $3/5$ 未満とし、 $3/5$ 以上とした。相関係数の大小を判定するための閾値として、図 2 3 と同様に値 1 ($=0.2$) および値 2 ($=0.6$) を設けた。

[0078] 図 2 9 (a)～図 2 9 (d) に結果を示す。図 2 9 (a) は、0 1 S および 0 1 A について、処理前後の比較である。図 2 9 (a) で例示するように、処理前には遠端側でばらつきが見られたものの、処理後にはばらつきが抑制された。図 2 9 (b) は、お湯に浸漬した領域近傍を拡大したものである。図 2 9 (b) で例示するように、特にアンチストークス成分について、処理前のばらつきが処理後には大きく抑制された。図 2 9 (c) は、0 2 S および 0 2 A について、処理前後の比較である。図 2 9 (c) で例示するように、遠端である 0 (m) 近傍でばらつきが見られたものの、処理後にはばらつきが抑制された。図 2 9 (d) は、お湯に浸漬した領域の拡大である。図 2 9 (d) で例示するように、図 2 9 (b) と比べるとわずかに改善しているが、ほぼ処理なしに近い。これは、近端のため、ノイズ成分が小さいためである。

[0079] 図 3 0 および図 3 1 は、図 2 2 および図 2 3 の処理に基づいて決定した 0 1 A および 0 2 A の片側平均化要素数の関係を示している。図 3 1 は、図 3 0 の一部拡大図である。片側平均化要素数は、 $1/\alpha_{01A}$ および $1/\alpha_{02A}$ に相当する。この平均化要素数が 3 以上であるときには、それぞれ $3/5$ 以上の区間および $2/5$ 未満の区間にて、代替 0 1 A および代替 0 2 A を用いている。

[0080] 図31を図29(a)～図29(d)と比較すると、温度変化が生じてストークス成分とアンチストークス成分の両方に変化がある場合はどちらもほぼ同じ値を取っていることがわかる。図29(a)～図29(d)、図30および図31からダブルエンド方式の温度を算出したものが図32および図33である。図32およびお湯に浸漬した部分の拡大である図33を見ると、温度変化の成分が失われることなく、雑音成分が抑圧されていることがわかる。

[0081] 図32および図33の温度は、上記式(2)で算出した。相関係数が1である位置では平均化要素数が1となるため、処理前後の温度は変わらない。そこで、代替処理後に使用するゲインとオフセット値は代替処理前に使用するものと同じものとする必要があるため、下記式(11)で表される。

$$\text{処理後温度} = \text{ゲイン} / \{ \text{オフセット} - 2 \times \ln(\text{処理後平均アンチストークス光量} / \text{処理後平均ストークス光量}) \} \quad (11)$$

[0082] 図34は、処理前後の温度分布の定量的な比較を示す。温度変化位置ではいずれの場合も処理前後で変化がないため、平坦部での標準偏差値 3σ を比較する。図34で例示するように、2800m～2900mの、通常の温度算出区間では値の変化はないが、処理を行った区間では、83%以上のノイズ抑圧が達成されている。上記実施形態の処理で得られた83%の抑圧効果の場合、測定精度は5.9分の1倍になったことになるので、同一の測定精度の場合、測定時間は処理前を35として、処理後が1となる程度に圧縮される。また、図11でダブルエンド方式での測定時は中央の2800m～2900m位置の測定精度に対して100m～200mおよび5600m～5700mの位置は3倍であったが、上記実施形態の処理により、逆に、両側の測定精度が2倍になっている。

実施例 2

[0083] 実施例1とは異なる測定対象および測定周期にて得た温度分布についての具体的な実施例について説明する。適用した処理方法は実施例1とほぼ同じであるが、区間を総長の3/5未満および2/5以上の重複2区間としてい

る。これにより、重複された区間では、相関の大きさが小さい場合、0.1 A、0.1 S、0.2 Aおよび0.2 Sのすべてが置換されることになる。

[0084] 図35(a)～図35(d)は算出結果を例示する。図35(a)は0.1 Sおよび0.1 Aについて、処理前後の比較である。図35(a)で例示するように、処理前には遠端側でばらつきが見られたものの、処理後にはばらつきが抑制された。図35(b)は、加熱領域近傍を拡大したものである。図35(b)で例示するように、特にアンチストークス成分について、処理前のばらつきが処理後には大きく抑制された。図35(c)は、0.2 Sおよび0.2 Aについて、処理前後の比較である。図35(c)で例示するように、遠端である0(m)近傍でばらつきが見られたものの、処理後にはばらつきが抑制された。図35(d)は、お湯に浸漬した領域の拡大である。図35(d)で例示するように、図35(b)と比べるとわずかに改善しているが、ほぼ処理なしに近い。これは、近端のため、ノイズ成分が小さいためである。

[0085] 図36および図37は、図22および図23の処理に基づいて決定した0.1 Aおよび0.2 Aの片側平均化要素数の関係を示している。図37は、図36の一部拡大図である。 $1/\alpha_{0.1A}$ および $1/\alpha_{0.2A}$ に相当するもので、この平均化要素数が3以上であるときには、それぞれ2/5以上の区間および3/5未満の区間にて、代替0.1 Aおよび代替0.2 Aを用いている。

[0086] 図37を図35(a)～図35(d)と比較すると、温度変化が生じてストークス成分とアンチストークス成分の両方に変化がある場合はどちらもほぼほぼ同じ値を取っている。しかしながら、大きな温度変化の間の小さな温度変化に対して0.1 Sの変化がノイズとみなされるためか、やや0.2 Aに関連する平均化要素数のほうが0.1 Aに関連するものよりも大きい。

[0087] 図35(a)～図35(d)、図36および図37をダブルエンド方式で温度を算出したものが図38および図39である。図38および加熱部分の拡大である図39を見ると、温度変化の成分が失われることなく、雑音成分

が抑圧されているのがわかる。図 37 の 2 つの平均化要素数の違いは問題ないと言える。

[0088] 図 40 は、処理前後の温度分布の定量的な比較を例示する。温度変化位置ではいずれの場合も処理前後で変化がないため、平坦部での標準偏差値 3σ を比較する。重複により、中央の 2800 m ~ 2900 m でも、わずかながら改善が見られた。中央区間では、0.1 A および 0.2 A とともにノイズが重畳されるので、お互いの値で置換してもあまり改善が見られなかったと考えられる。これに対して、両側の区間では、86% 以上のノイズ抑圧が達成されている。上記実施形態の処理により、逆に両側の精度が 1.5 倍以上になっている。

[0089] 以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明は係る特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

請求の範囲

[請求項1] 光ファイバの第1端に光が入射する場合の後方散乱光から第1ストークス成分および第1アンチストークス成分を検出し、前記光ファイバの第2端に光が入射する場合の後方散乱光から第2ストークス成分および第2アンチストークス成分を検出する検出器と、

前記光ファイバの前記第1端側の一部の領域のサンプル点を含む所定領域において、前記第1ストークス成分および前記第1アンチストークス成分と、前記第2アンチストークス成分との相関の少なくともいずれかの大きさが閾値以下の場合に、前記第2アンチストークス成分を、前記第1ストークス成分と、前記第1アンチストークス成分と、前記第2ストークス成分とに応じた値に置き換える補正部と、

前記第1ストークス成分、前記第1アンチストークス成分、前記第2ストークス成分、および前記補正部によって置き換えられた後の前記第2アンチストークス成分を用いて前記サンプル点における温度を測定する測定部と、を備えることを特徴とする温度測定装置。

[請求項2] 光源からの光を前記第1端と前記第2端とに交互に入射する光スイッチを備え、

前記補正部は、前記光スイッチから前記第1端に前記光が入射される場合の第1ストークス成分および第1アンチストークス成分と、次に前記光スイッチから前記第2端に前記光が入射される場合の第2アンチストークス成分との相関の少なくともいずれかの大きさが前記閾値以下の場合に、前記第2アンチストークス成分を、前記第1ストークス成分と、前記第1アンチストークス成分と、前記第2アンチストークス成分と同じタイミングで検出された第2ストークス成分とに応じた値に置き換えることを特徴とする請求項1記載の温度測定装置。

[請求項3] 前記補正部は、前記第2アンチストークス成分を、前記第1ストークス成分と、前記第1アンチストークス成分と、前記第2ストークス成分とに応じた値に置き換える場合に、前記第2ストークス成分とし

て、前記サンプル点を含む所定の可変範囲における前記第 2 ストークス成分を平滑化した値を用い、

前記可変範囲は、前記サンプル点における、前記第 1 ストークス成分および前記第 1 アンチストークス成分と、前記第 2 ストークス成分との相関の少なくともいずれかの大きさに応じた長さの範囲であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の温度測定装置。

[請求項4] 前記補正部は、前記相関が小さいほど前記可変範囲を長くすることを特徴とする請求項 3 記載の温度測定装置。

[請求項5] 前記補正部は、前記可変範囲に上限を設定することを特徴とする請求項 3 または 4 記載の温度測定装置。

[請求項6] 前記補正部は、前記第 2 アンチストークス成分を、前記第 1 ストークス成分と、前記第 1 アンチストークス成分と、前記第 2 ストークス成分とに応じた値に置き換える場合に、さらに、前記サンプル点を含む所定の固定範囲における前記第 1 ストークス成分、前記第 1 アンチストークス成分、前記第 2 ストークス成分および前記第 2 アンチストークス成分を平滑化した値を用いることを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の温度測定装置。

[請求項7] 前記補正部は、前記相関が閾値以上であれば、前記第 2 アンチストークス成分を置き換えないことを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の温度測定装置。

[請求項8] 前記相関の大きさとして、P e a r s o n の積率相関係数を用いることを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の温度測定装置。

[請求項9] 前記相関の大きさとして、S p e a r m a n の順位積率相関係数を用いることを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の温度測定装置。

[請求項10] 前記所定領域は、前記サンプル点の周囲の光ファイバを一定温度とし、前記サンプル点を中心とした最小加熱長区間に該一定温度と異な

る一定の温度を付与した際に得られる温度分布の半値幅よりも大きく、1次成分幅よりも小さい領域であることを特徴とする請求項1～9のいずれか一項に記載の温度測定装置。

[請求項11]

光ファイバの第1端に光が入射する場合の後方散乱光から第1ストークス成分および第1アンチストークス成分を検出し、前記光ファイバの第2端に光が入射する場合の後方散乱光から第2ストークス成分および第2アンチストークス成分を、検出器を用いて検出し、

前記光ファイバの前記第1端側の一部の領域のサンプル点を含む所定領域において、前記第1ストークス成分および前記第1アンチストークス成分と、前記第2アンチストークス成分との相関の少なくともいずれかの大きさが閾値以下の場合に、前記第2アンチストークス成分を、前記第1ストークス成分と、前記第1アンチストークス成分と、前記第2ストークス成分とに応じた値に置き換え、

前記第1ストークス成分、前記第1アンチストークス成分、前記第2ストークス成分、および置き換えられた後の前記第2アンチストークス成分を用いて前記サンプル点における温度を測定する、ことを特徴とする温度測定方法。

[請求項12]

コンピュータに、

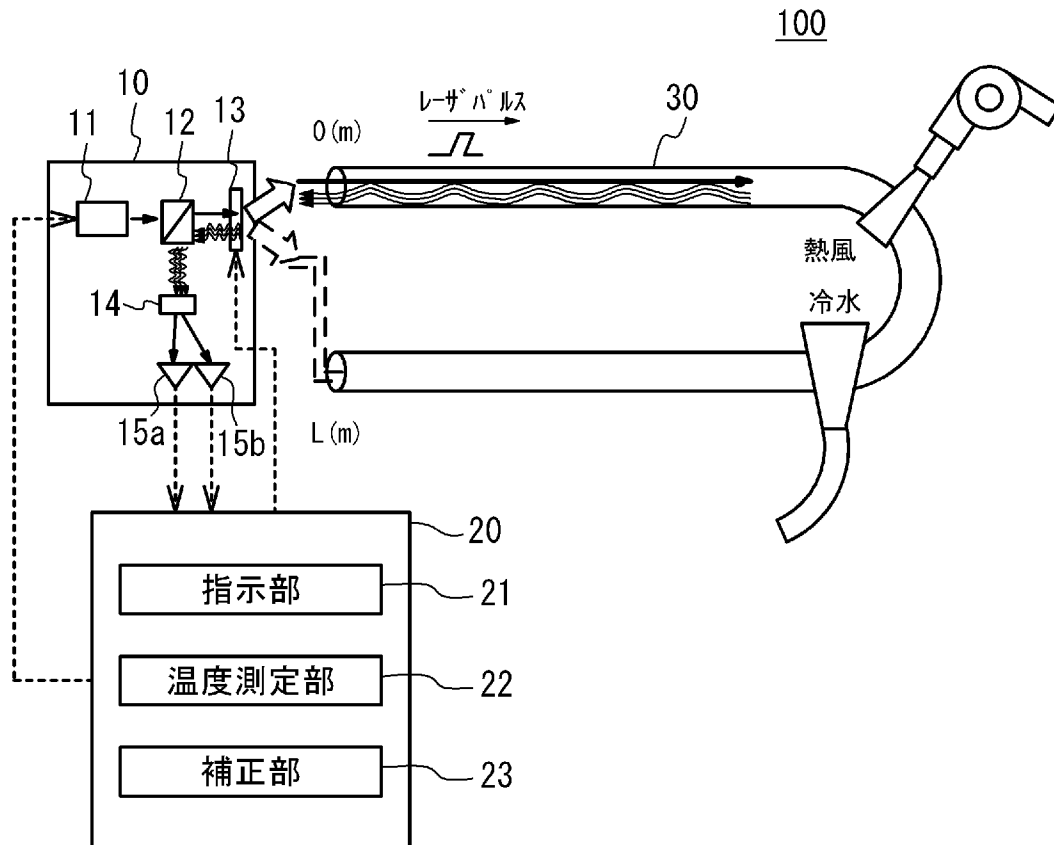
光ファイバの第1端に光が入射する場合の後方散乱光から第1ストークス成分および第1アンチストークス成分を検出し、前記光ファイバの第2端に光が入射する場合の後方散乱光から第2ストークス成分および第2アンチストークス成分を検出する処理と、

前記光ファイバの前記第1端側の一部の領域のサンプル点を含む所定領域において、前記第1ストークス成分および前記第1アンチストークス成分と、前記第2アンチストークス成分との相関の少なくともいずれかの大きさが閾値以下の場合に、前記第2アンチストークス成分を、前記第1ストークス成分と、前記第1アンチストークス成分と、前記第2ストークス成分とに応じた値に置き換える処理と、

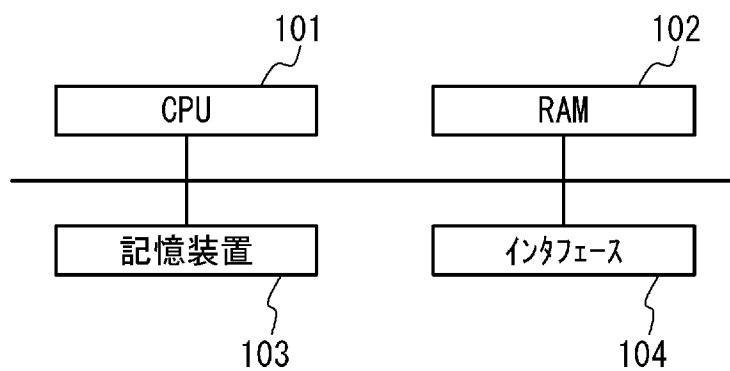
前記第 1 ストークス成分、前記第 1 アンチストークス成分、前記第 2 ストークス成分、および置き換えられた後の前記第 2 アンチストークス成分を用いて前記サンプル点における温度を測定する処理と、を実行させることを特徴とする温度測定プログラム。

[図1]

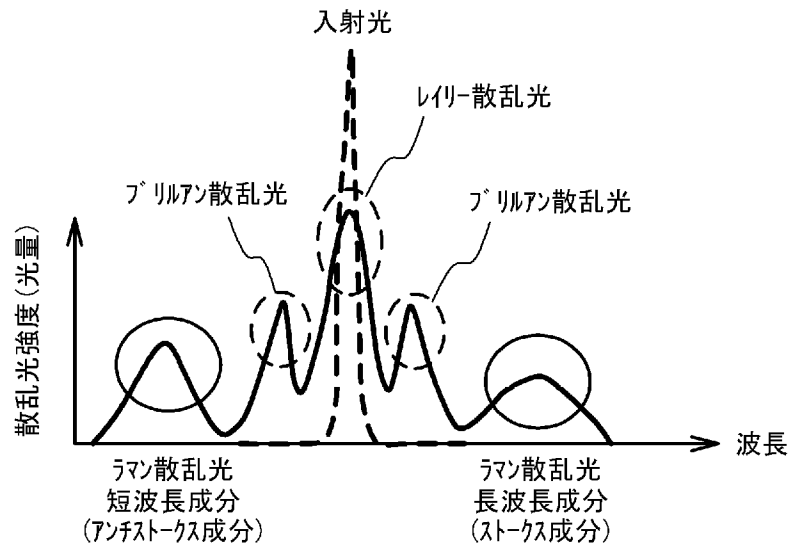
(a)



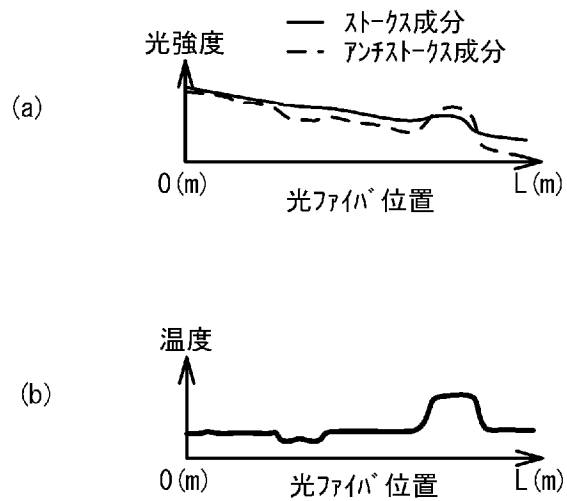
(b)



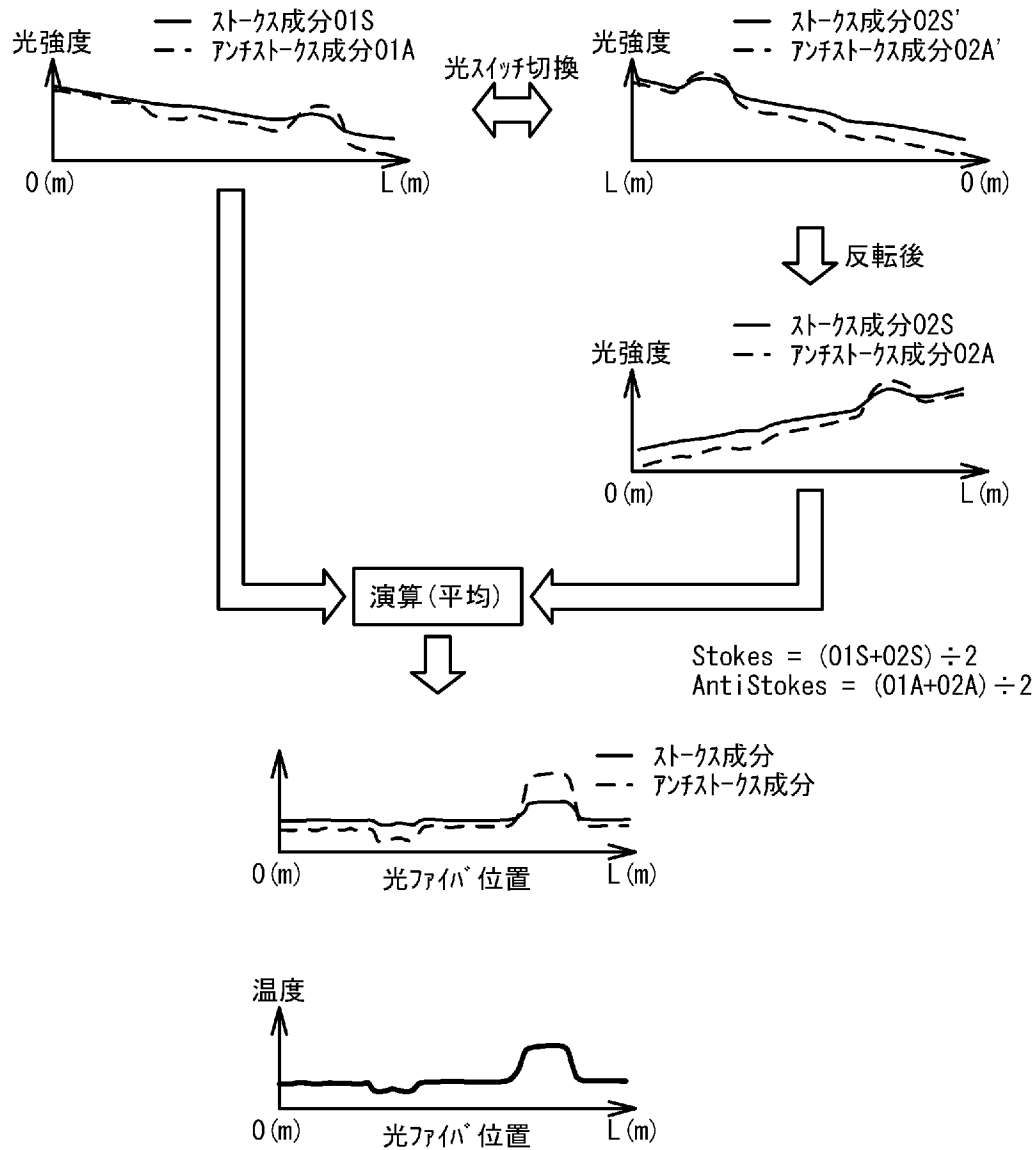
[図2]



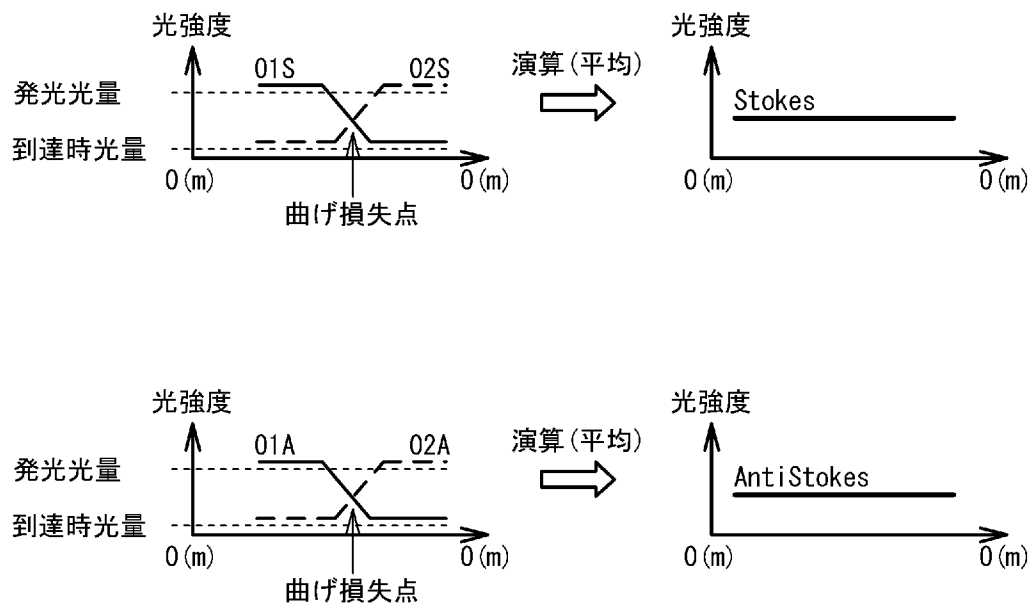
[図3]



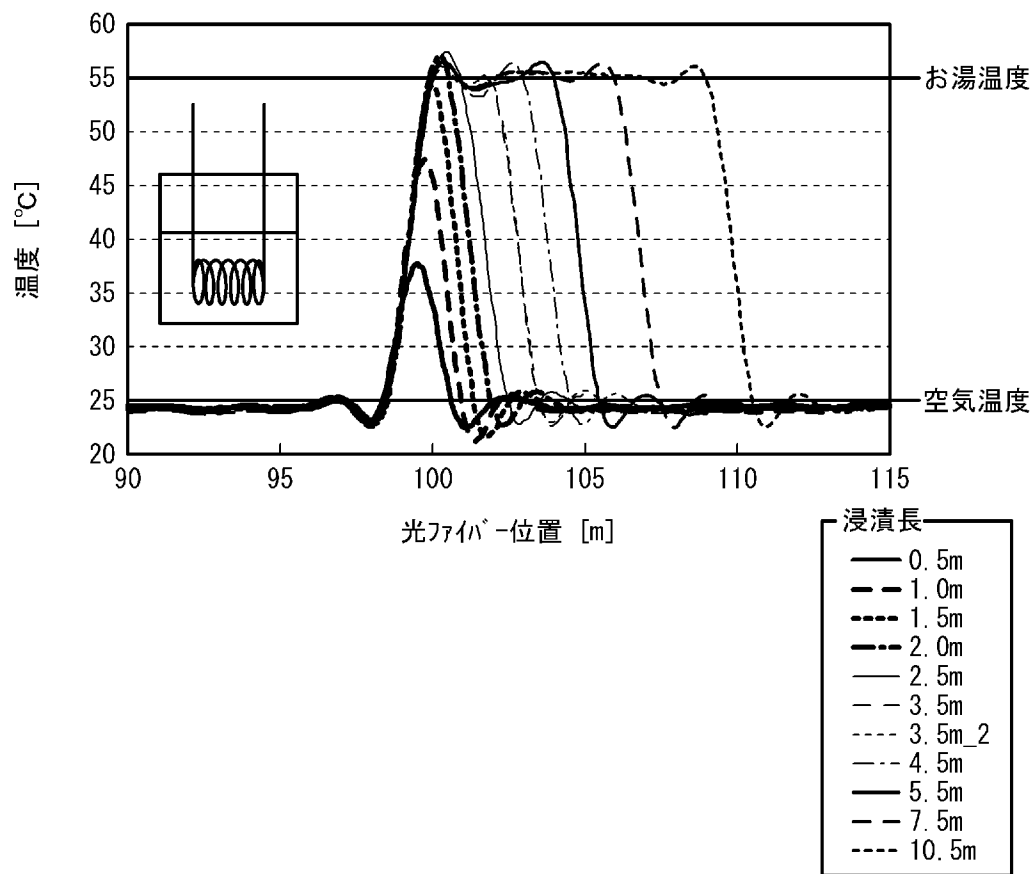
[図4]



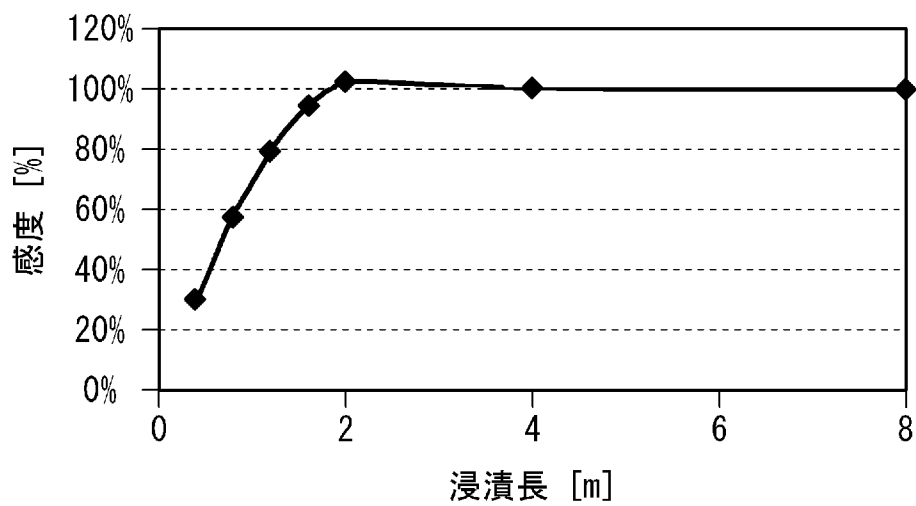
[図5]



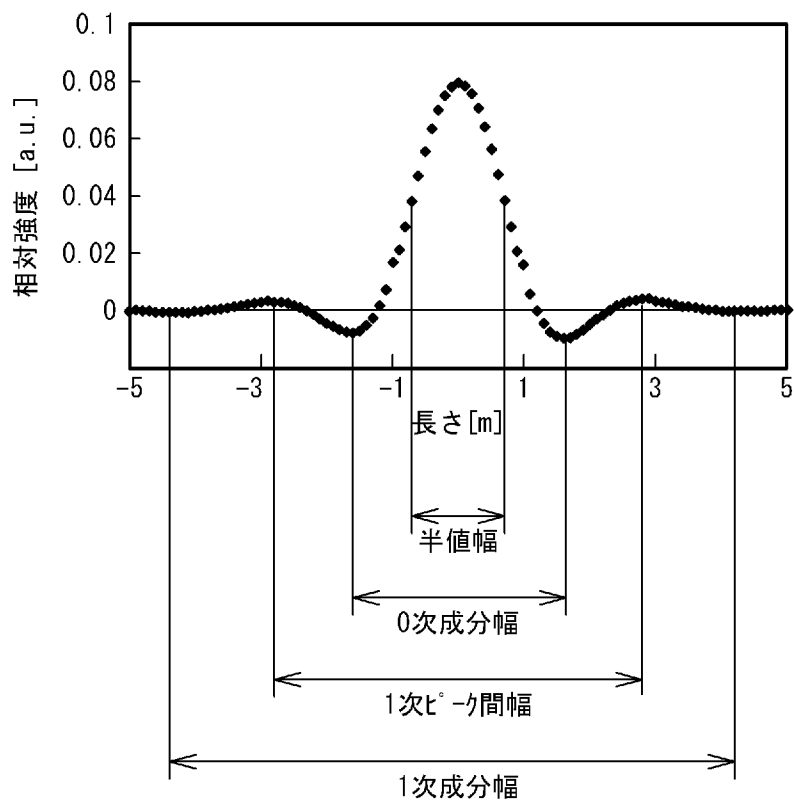
[図6]



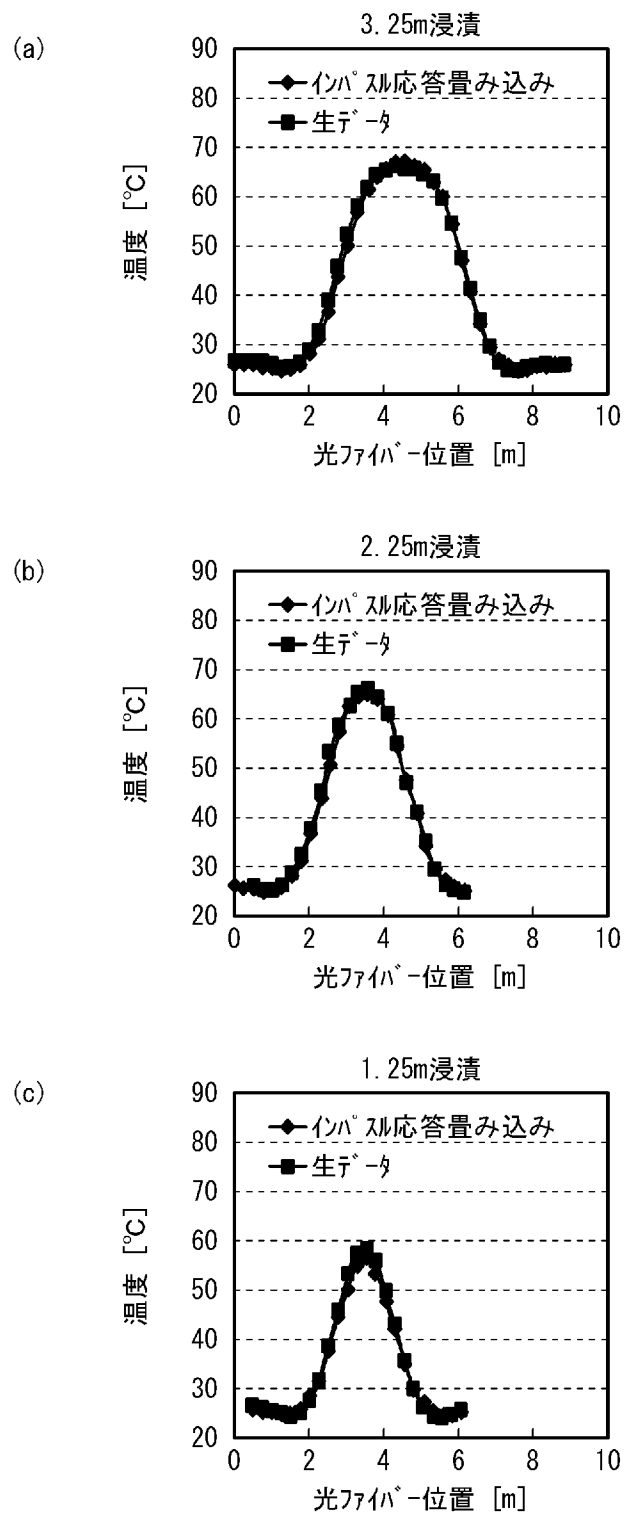
[図7]



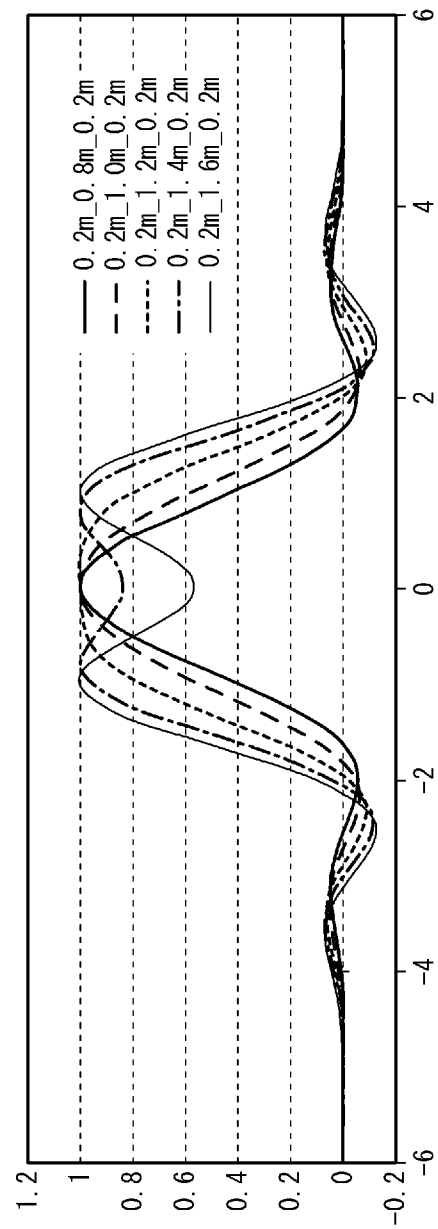
[図8]



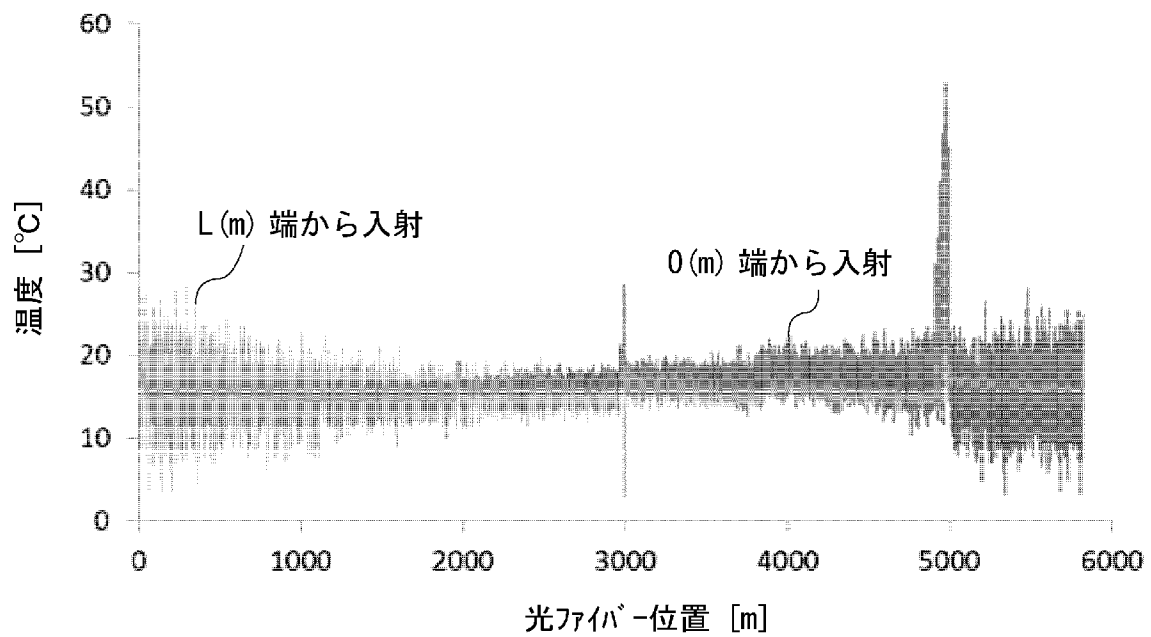
[図9]



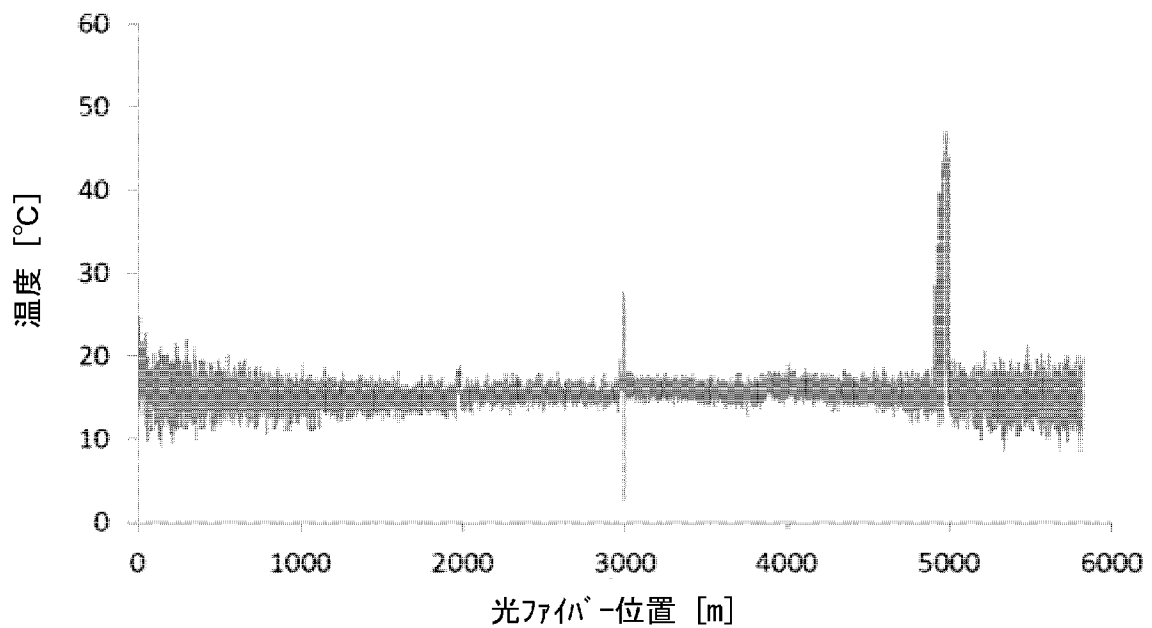
[図10]



[図11]



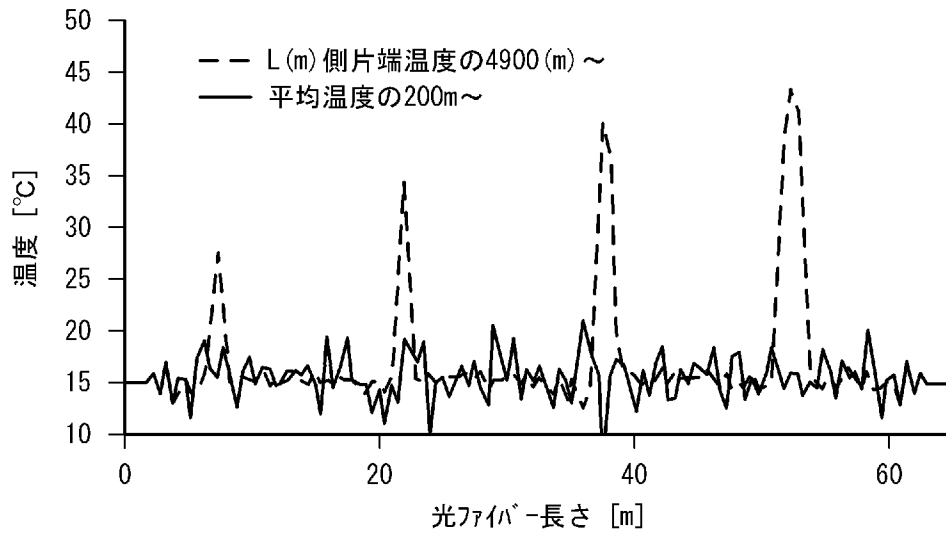
[図12]



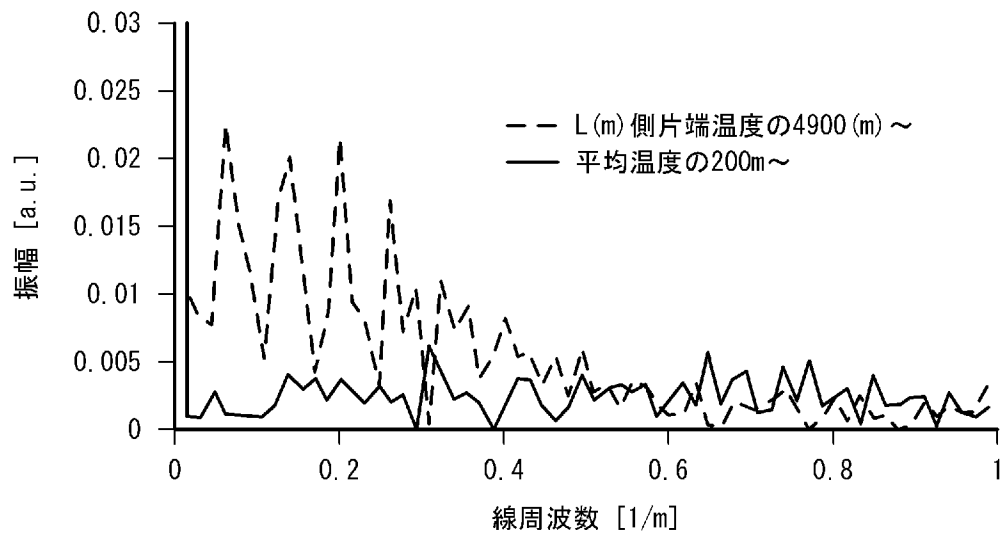
[図13]

	平均 (ループ 式)	0 (m) から入射	L (m) から入射
100~200m	± 6.2	± 0.8	± 11.7
2800~2900m	± 1.9	± 2.2	± 3.0
5600~5700m	± 5.7	± 11.3	± 0.9

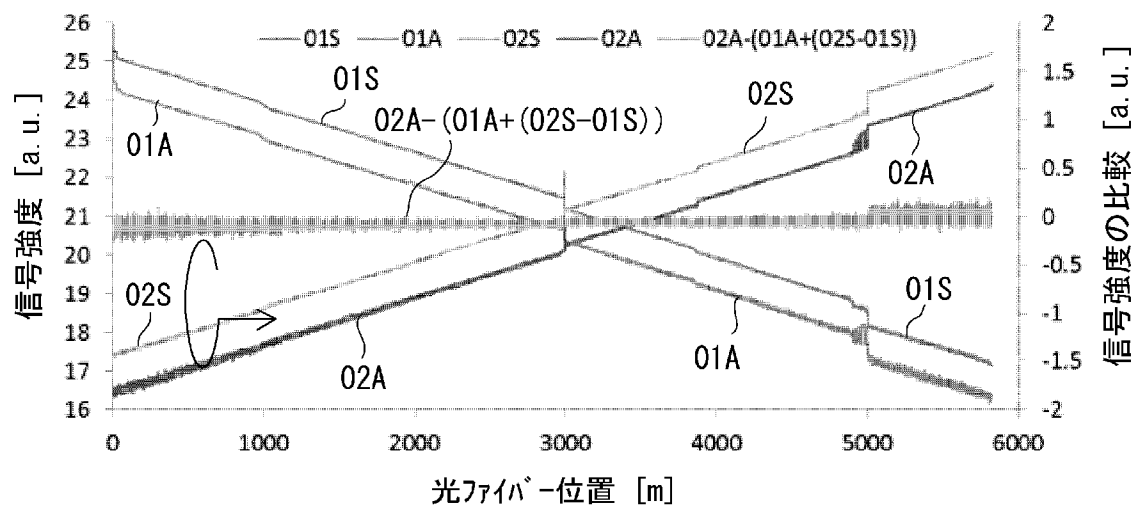
[図14]



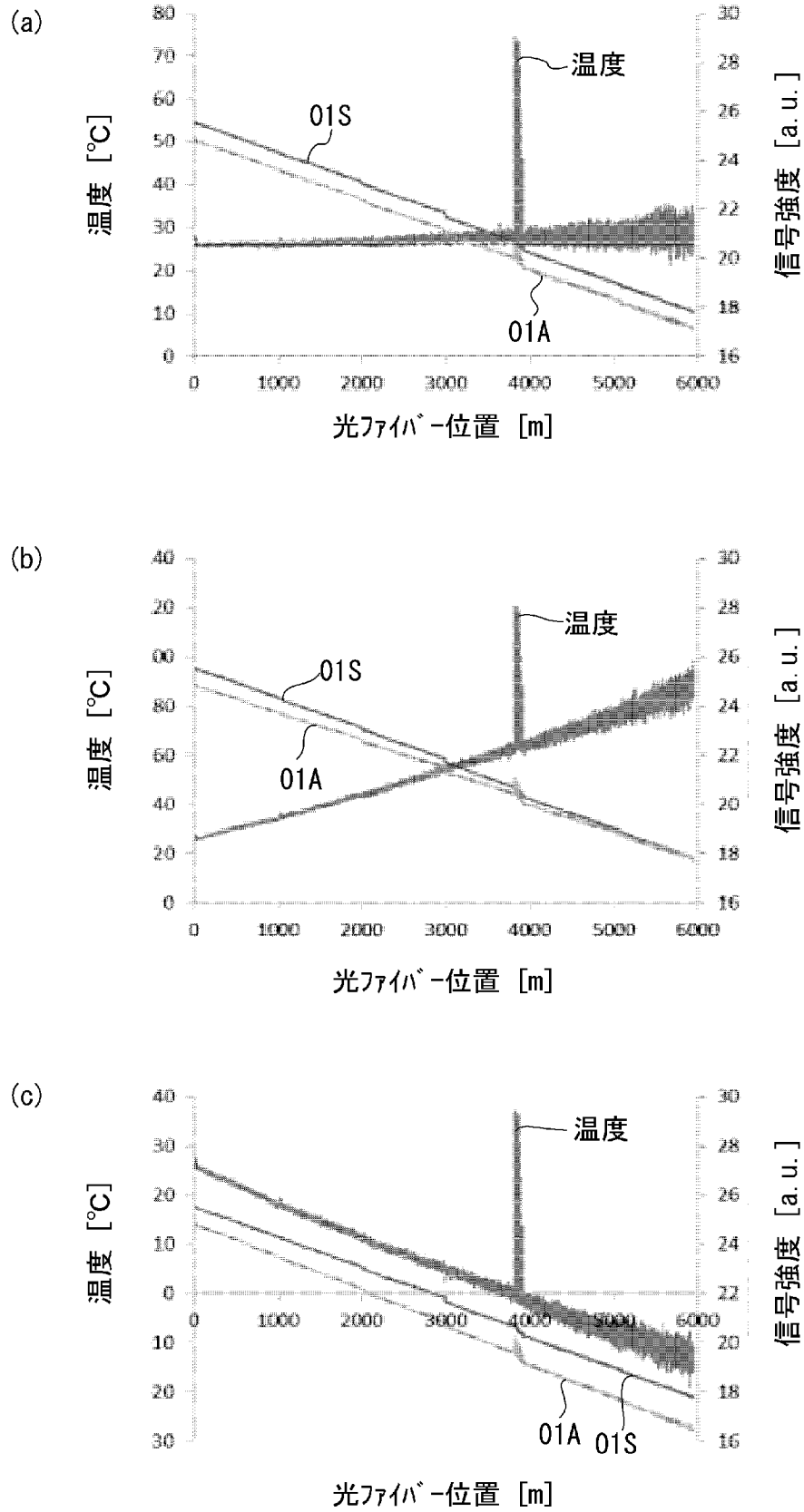
[図15]



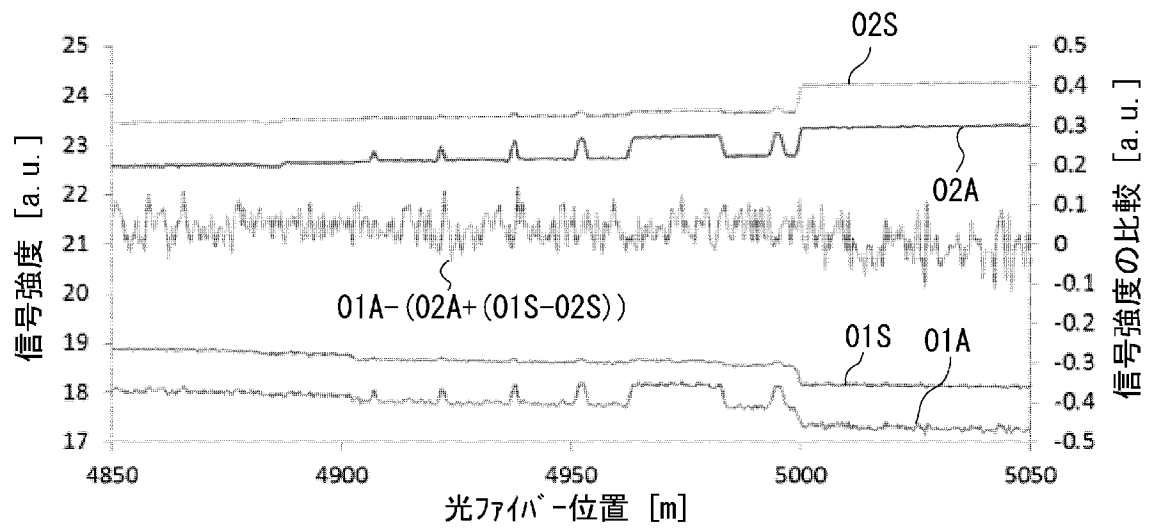
[図16]



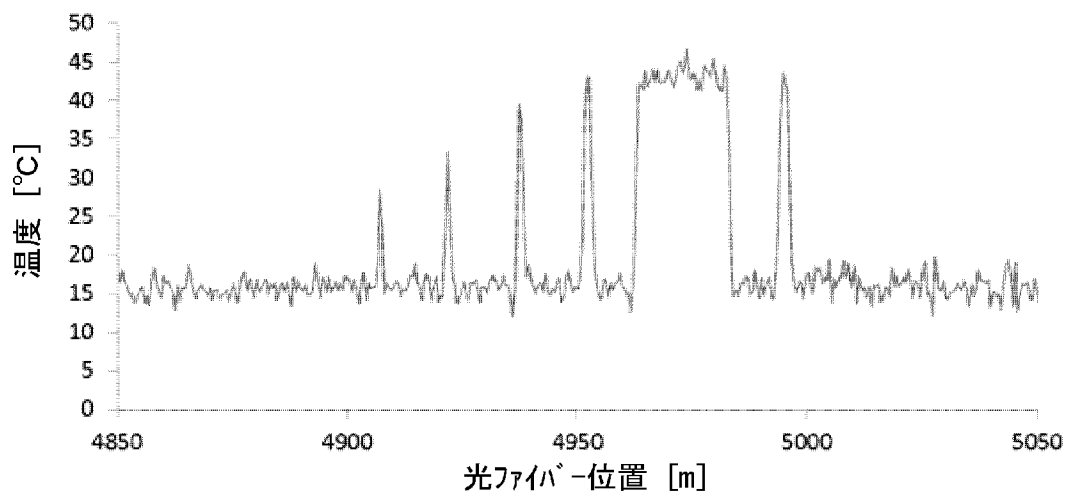
[図17]



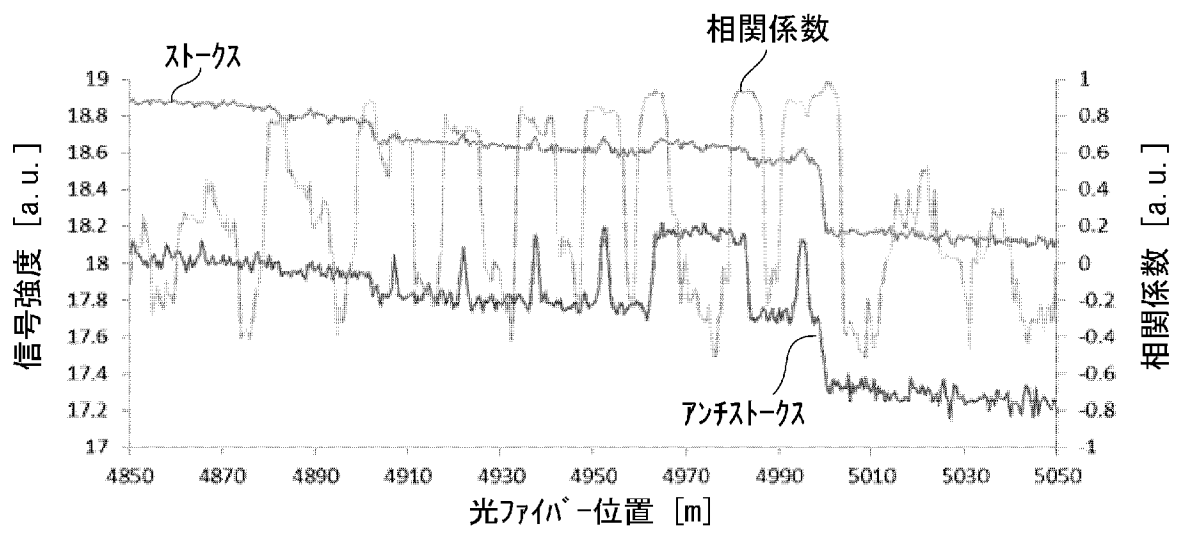
[図18A]



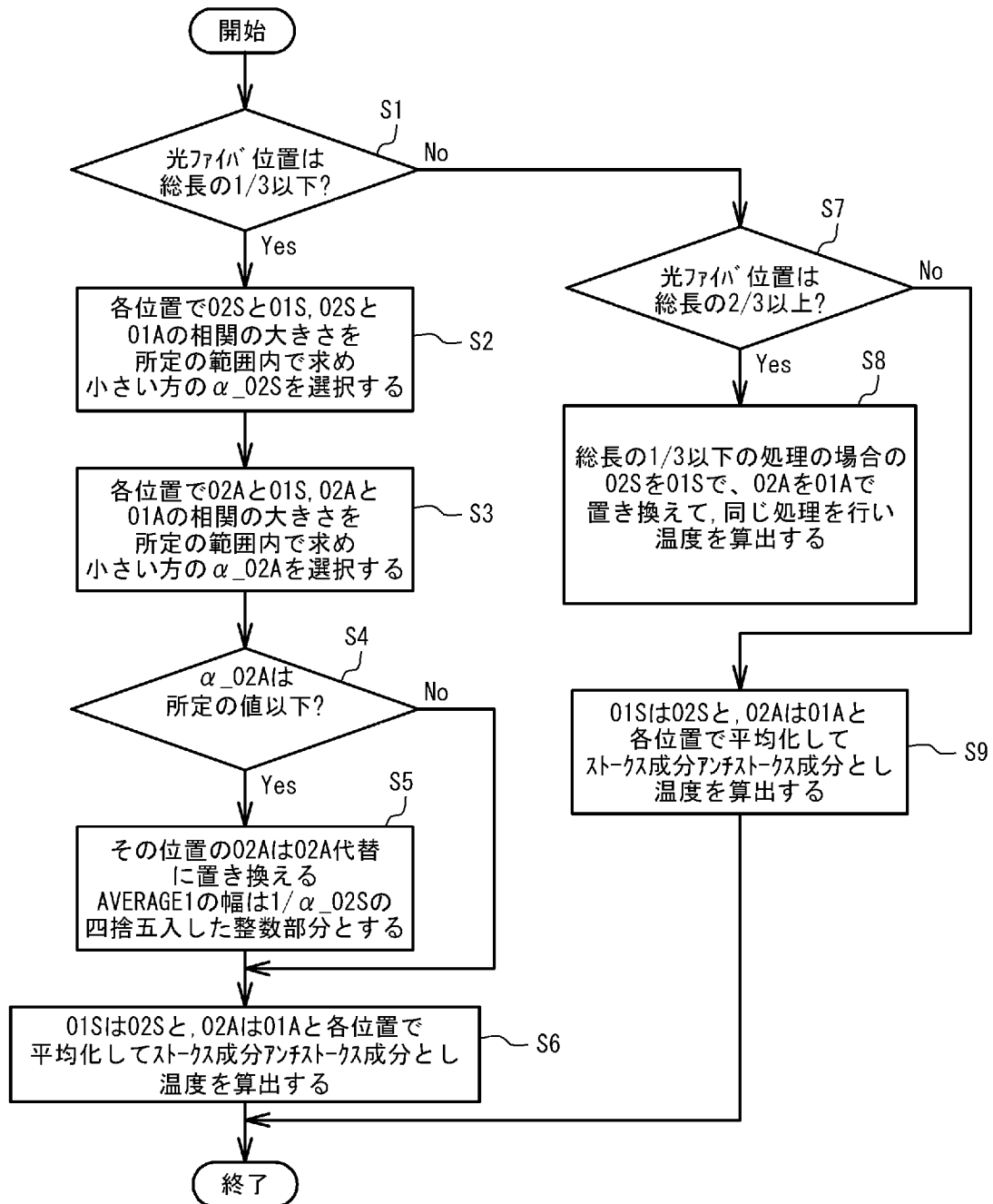
[図18B]



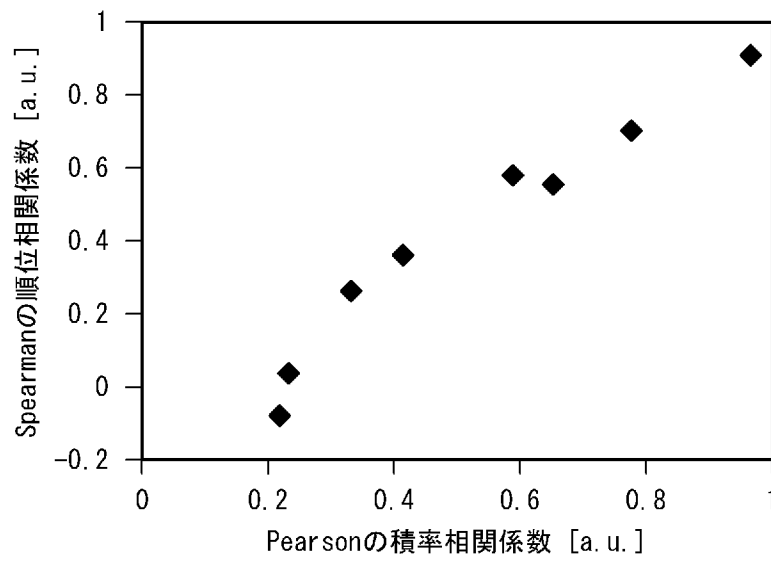
[図19]



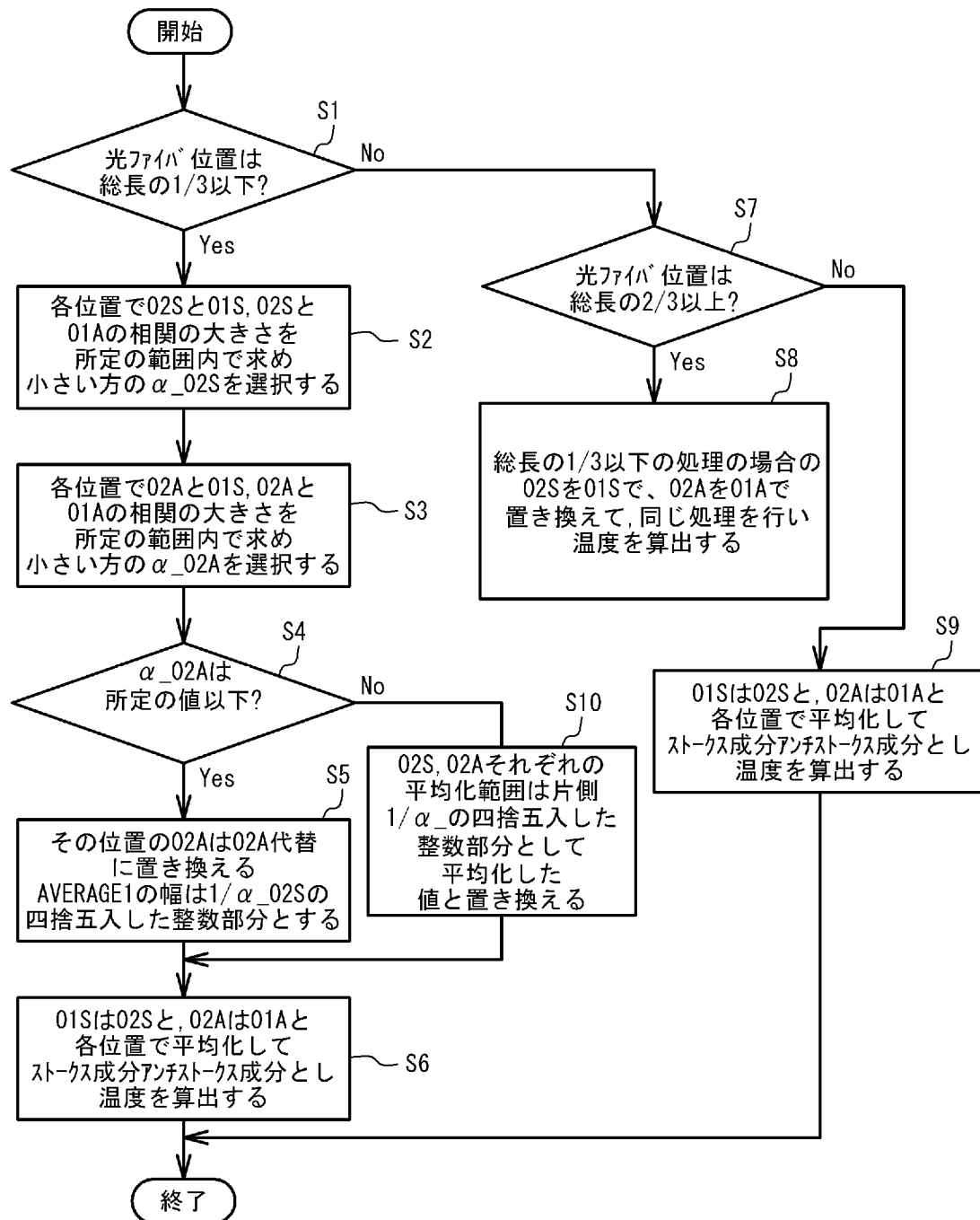
[図20]



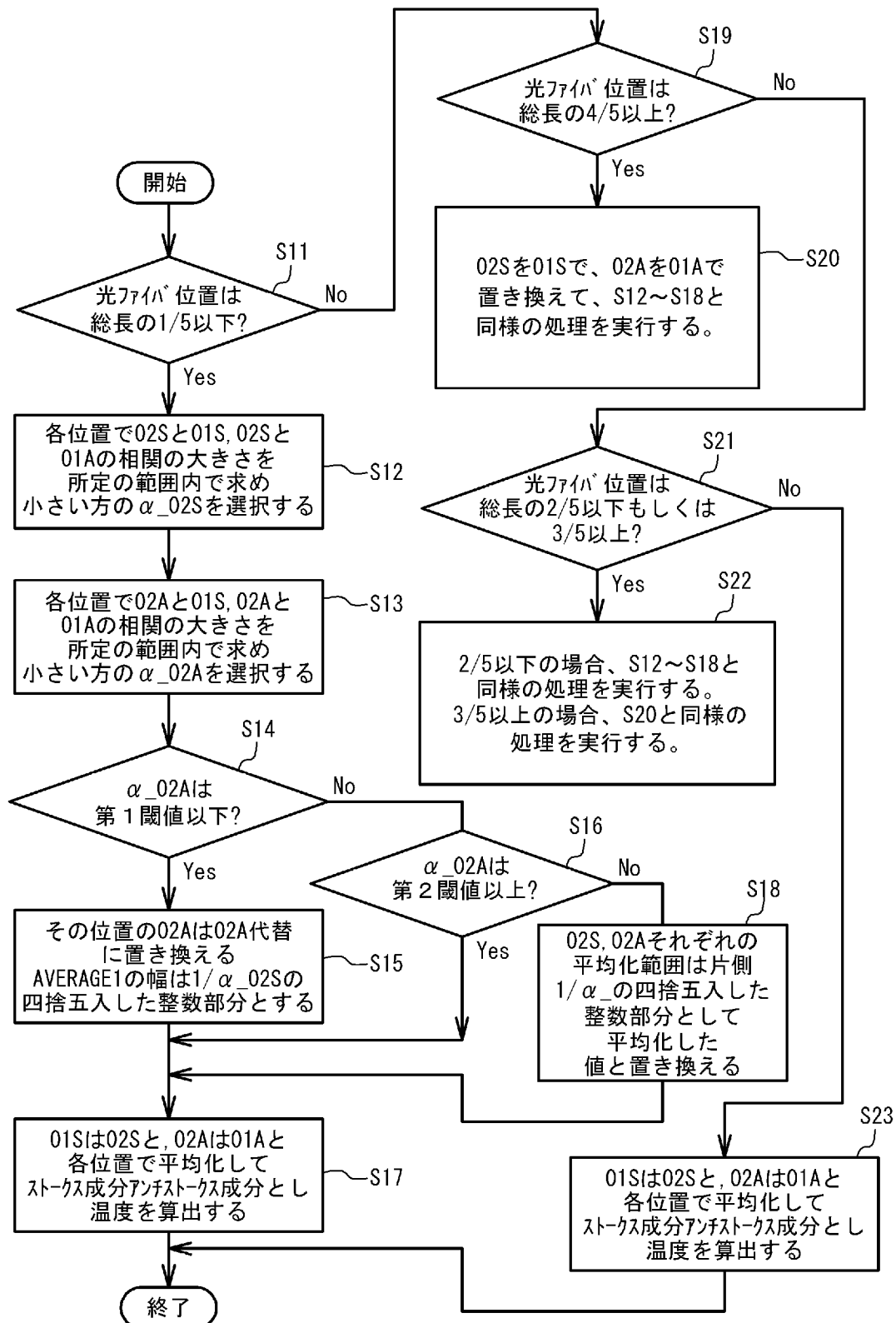
[図21]



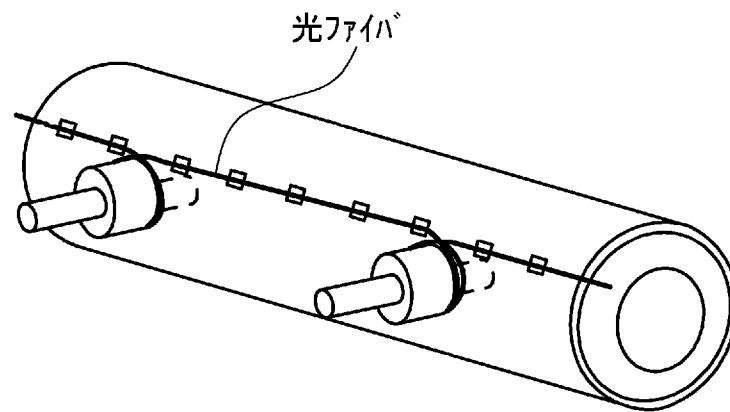
[図22]



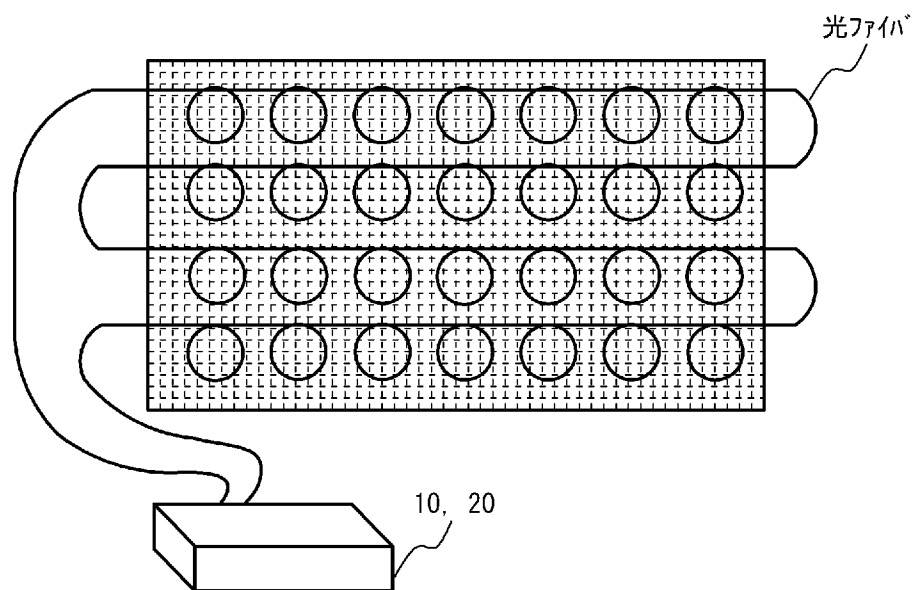
[図23]



[図24]

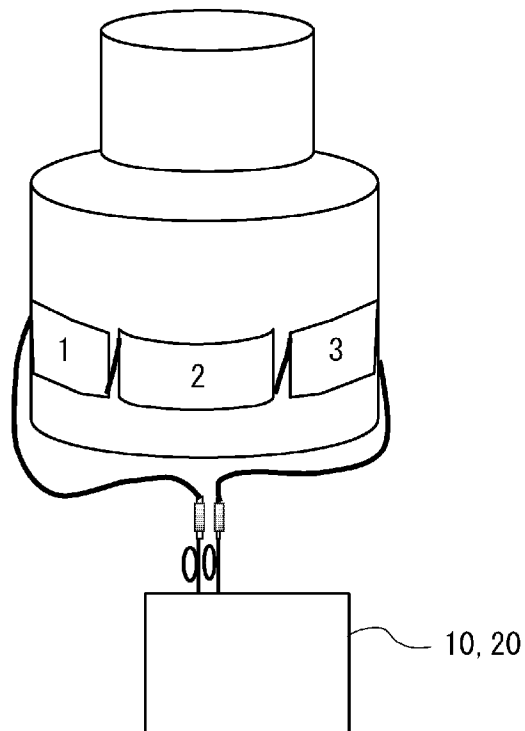


[図25]

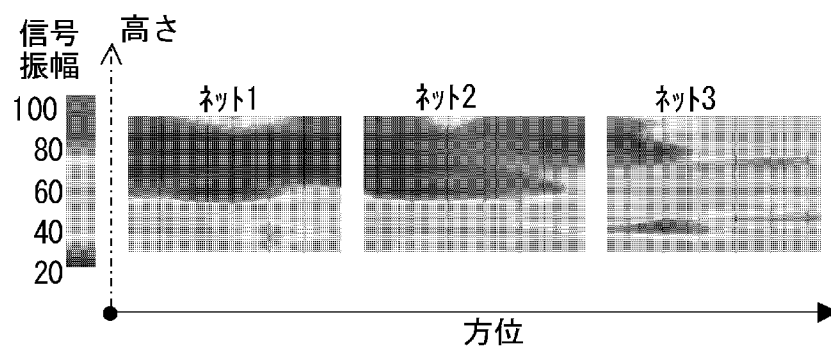


[図26]

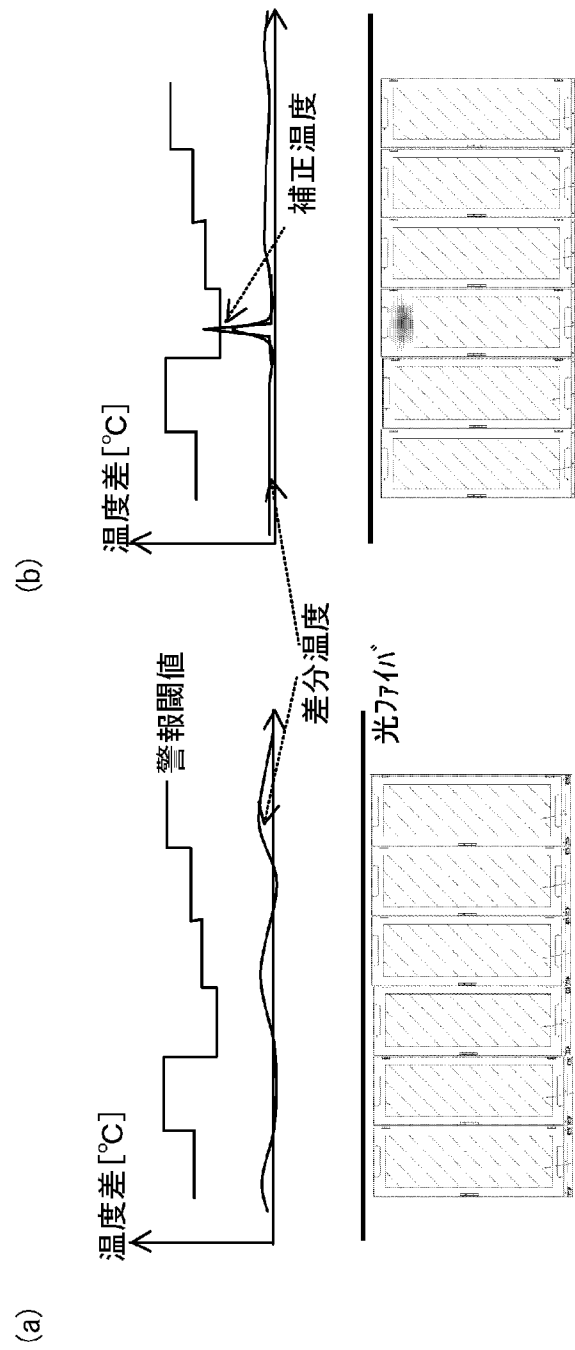
(a)



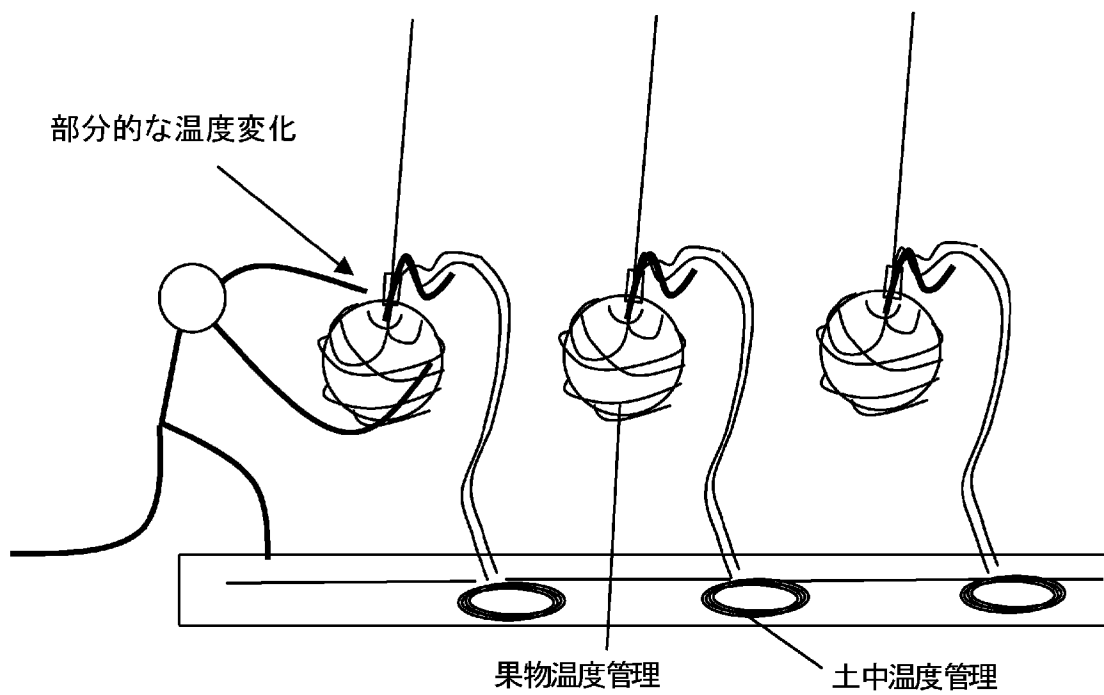
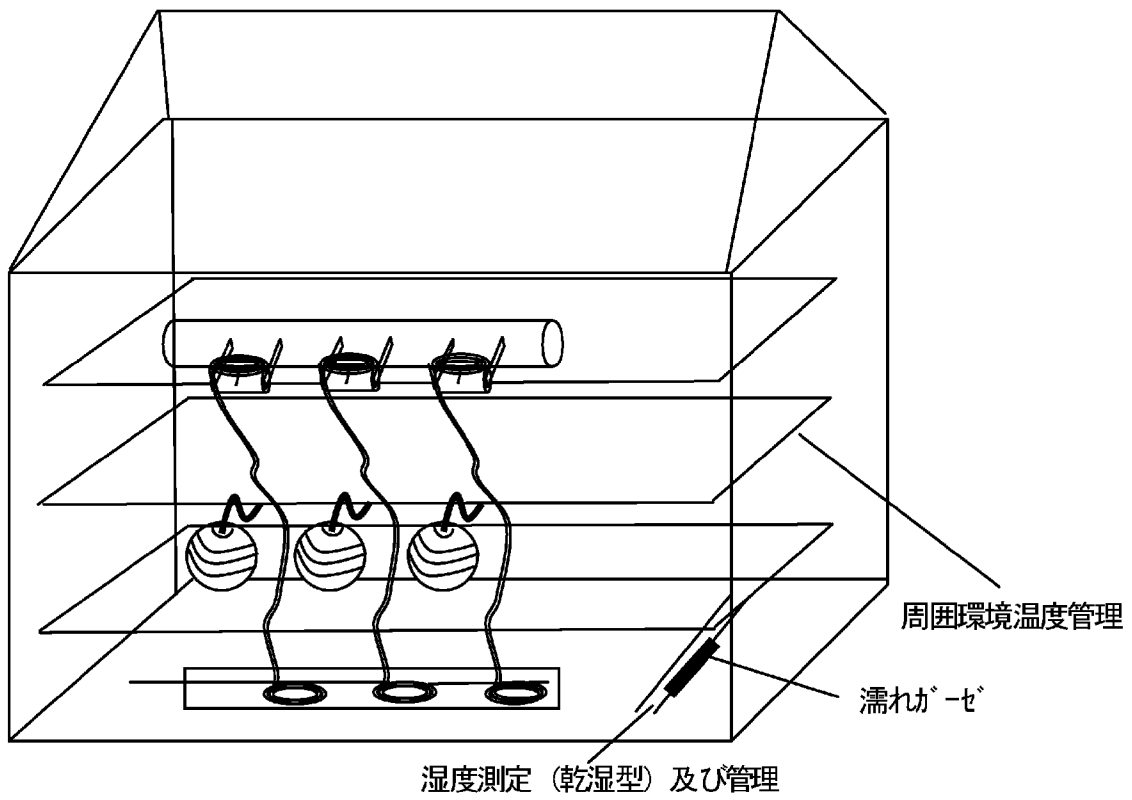
(b)



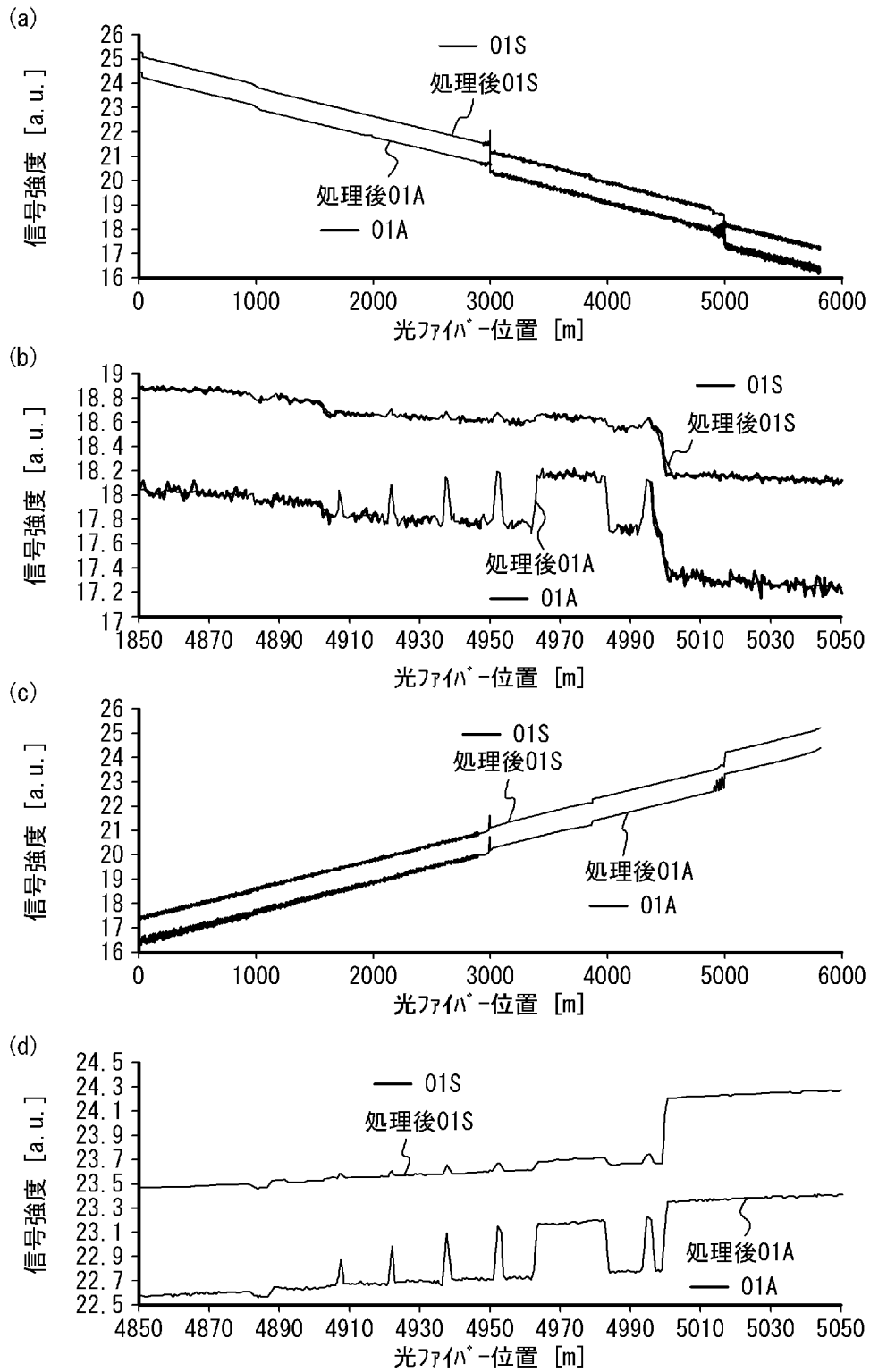
[図27]



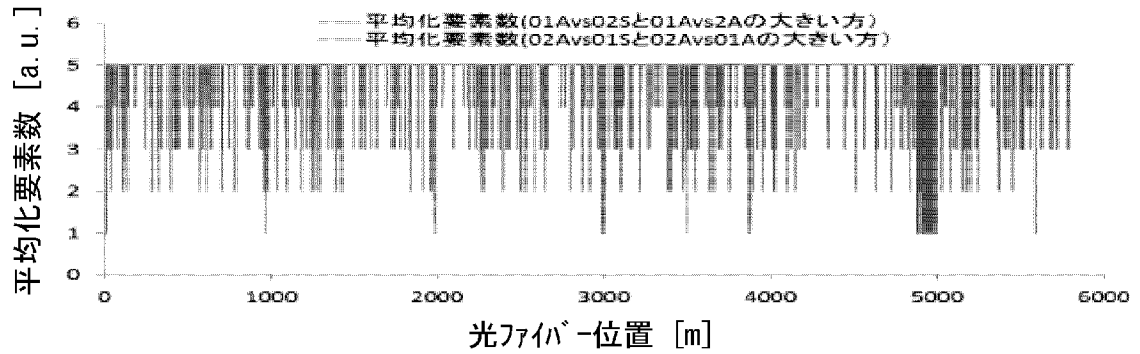
[図28]



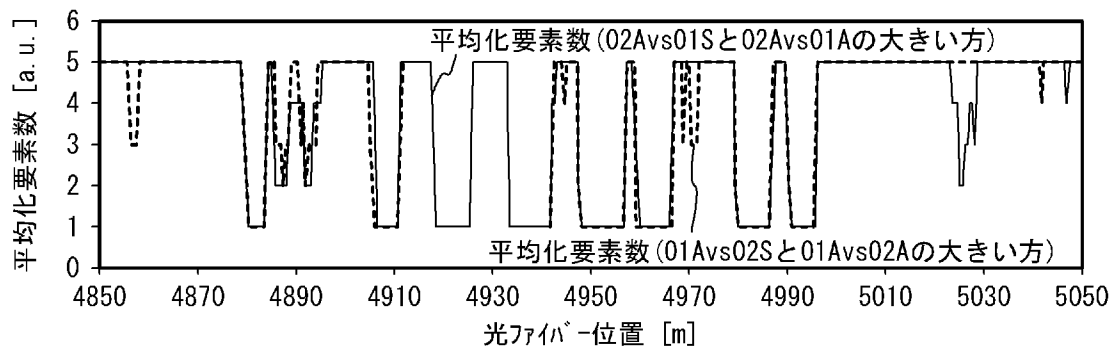
[図29]



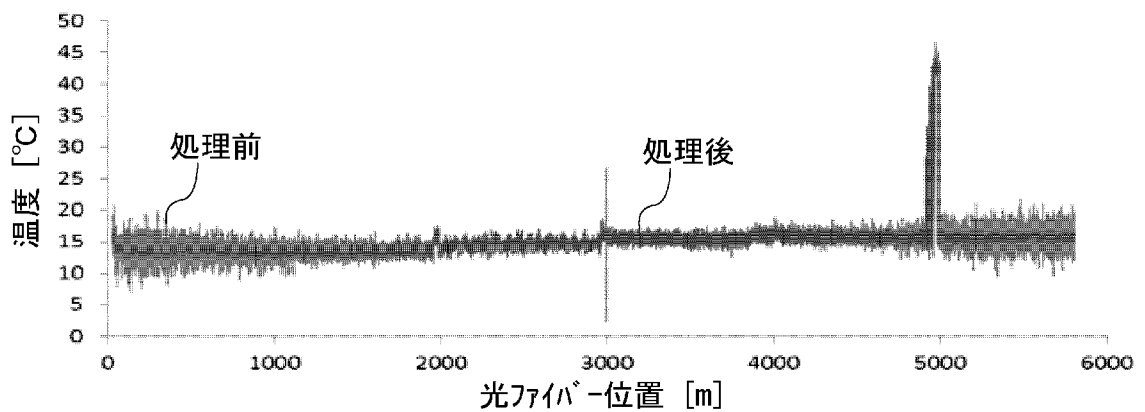
[図30]



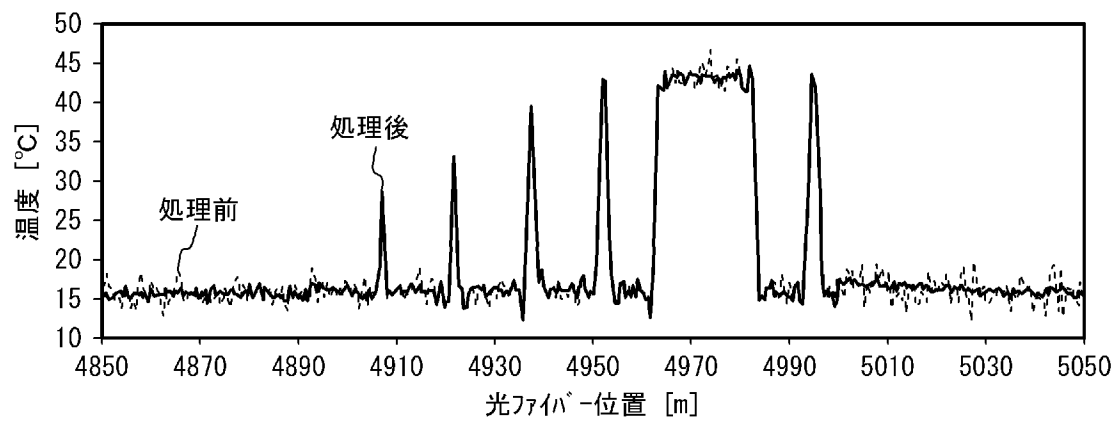
[図31]



[図32]



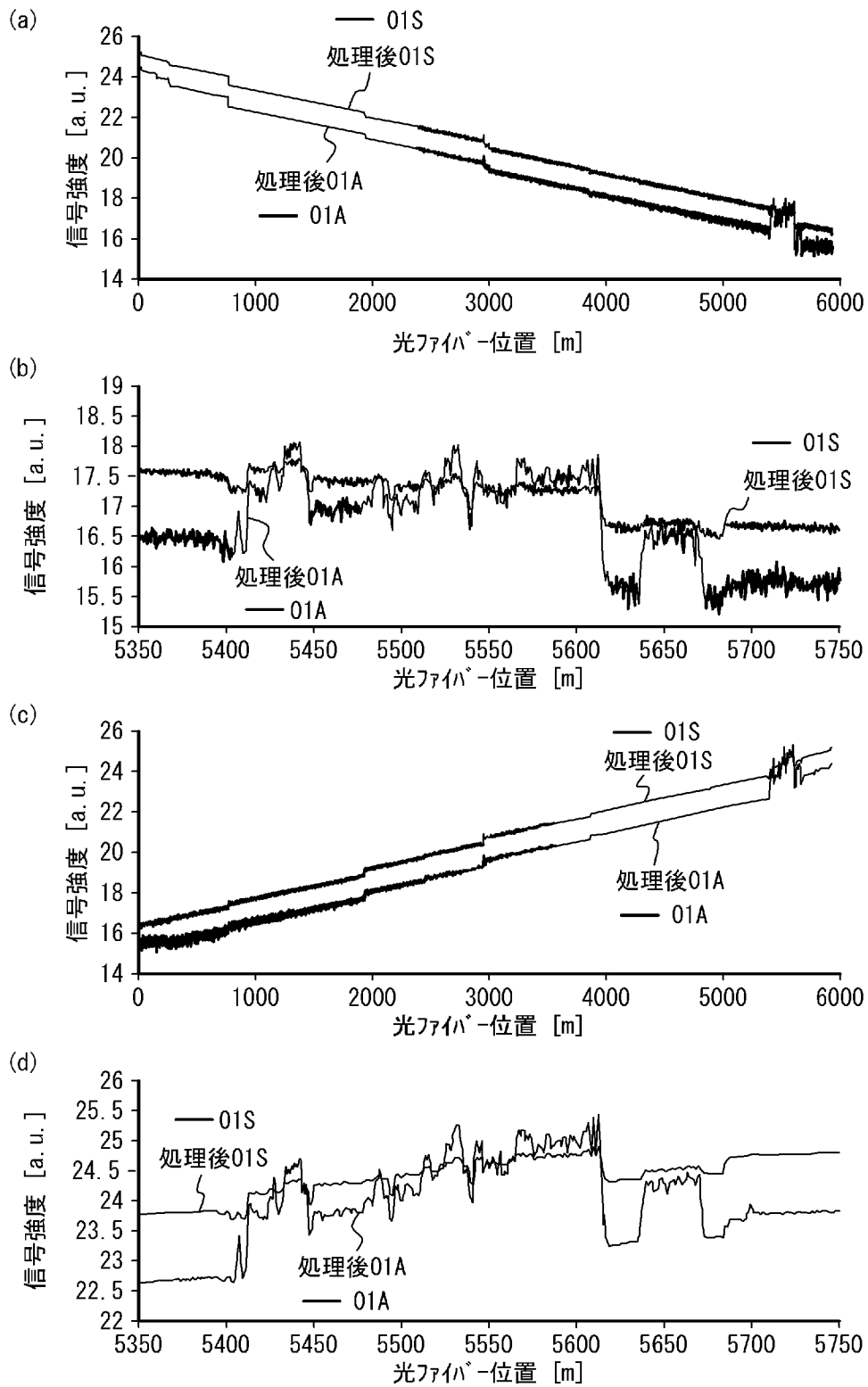
[図33]



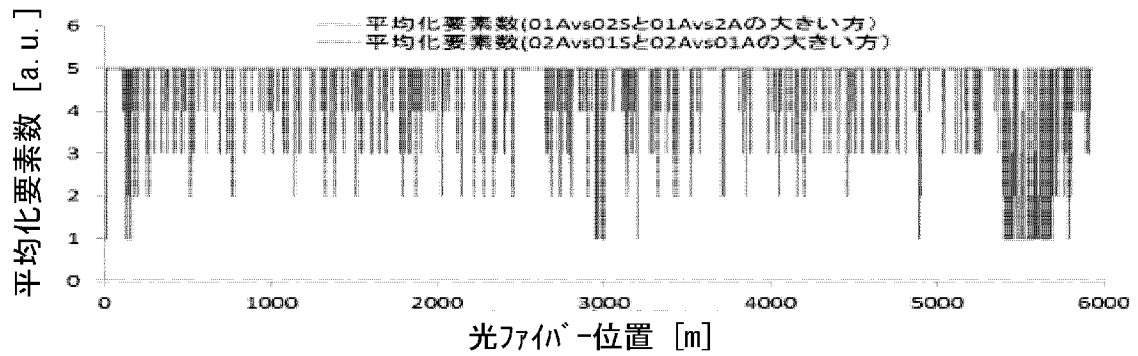
[図34]

	処理後	処理前
100～200m	±0.9 -85%	±6.0
2800～2900m	±1.9 -0%	±1.9
5600～5700m	±1.0 -83%	±5.7

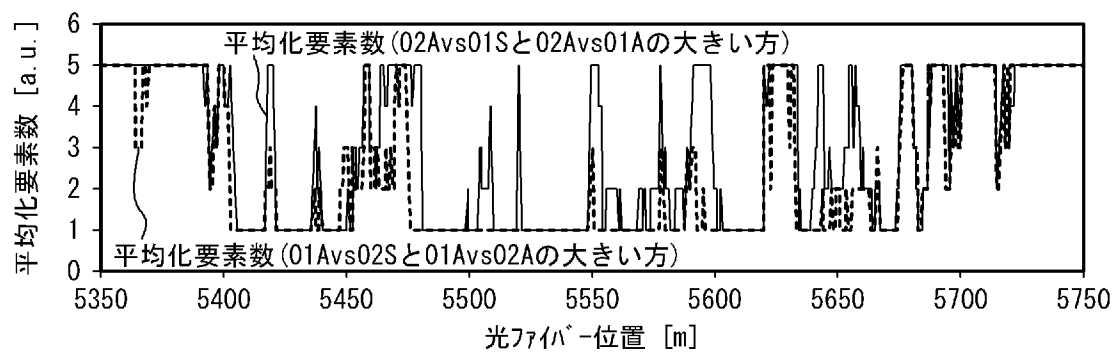
[図35]



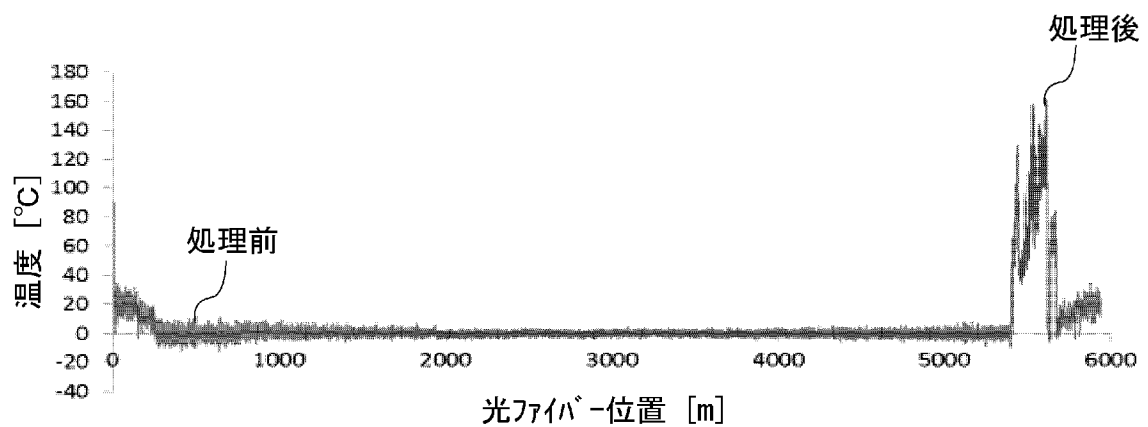
[図36]



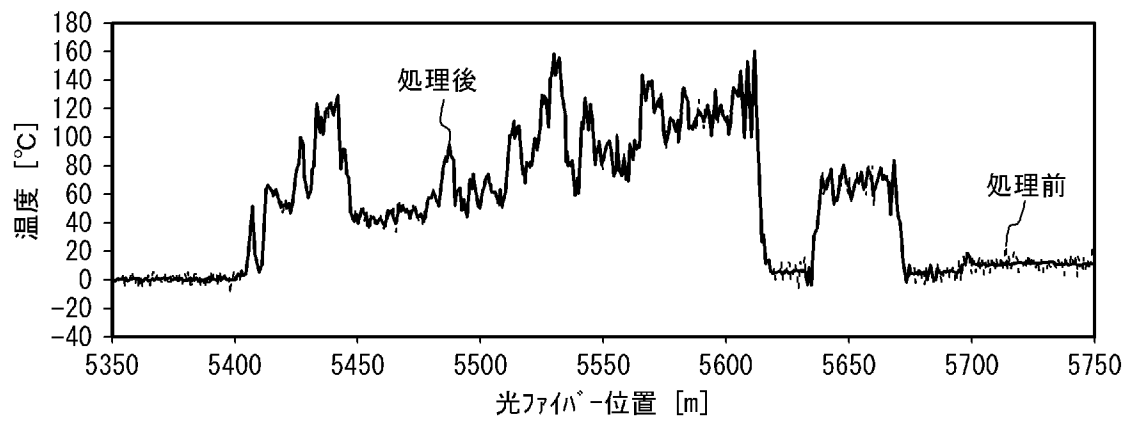
[図37]



[図38]



[図39]



[図40]

	処理後	処理前
00~400m	±1.6 -86%	±11.5
2800~2900m	±3.1 -5%	±3.3
5830~5920m	±2.0 -87%	±15.0

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/063838

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01K11/32(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)

G01K11/32

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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.
A	JP 2010-156549 A (Fujitsu Ltd.), 15 July 2010 (15.07.2010), paragraphs [0014] to [0042]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-12
A	JP 2014-173877 A (Yokogawa Electric Corp.), 22 September 2014 (22.09.2014), paragraphs [0052] to [0057]; fig. 1 to 8 & US 2014/0254629 A1 & EP 2775278 A2	1-12
A	JP 01-232228 A (The Tokyo Electric Power Co., Inc.), 18 September 1989 (18.09.1989), page 7, lower right column, line 12 to page 8, upper right column, line 16; fig. 7, 8 (Family: none)	1-12

☐ 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
17 July 2015 (17.07.15)

Date of mailing of the international search report
28 July 2015 (28.07.15)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01K11/32(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. G01K11/32

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	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015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）

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	JP 2010-156549 A（富士通株式会社）2010.07.15, 段落【0014】－【0042】、第1－7図（ファミリーなし）	1-12
A	JP 2014-173877 A（横河電機株式会社）2014.09.22, 段落【0052】－【0057】、第1－8図 & US 2014/0254629 A1 & EP 2775278 A2	1-12
A	JP 01-232228 A（東京電力株式会社）1989.09.18, 第7頁右下欄第 12行－第8頁右上欄第16行、第7, 8図（ファミリーなし）	1-12

☐ 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

17.07.2015

国際調査報告の発送日

28.07.2015

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）

藤田 憲二

2 F

3488

電話番号 03-3581-1101 内線 3216