

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02013/024525

発行日 平成27年3月5日 (2015.3.5)

(43) 国際公開日 平成25年2月21日 (2013.2.21)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
 GO 1 K 11/12 (2006.01) GO 1 K 11/12 F 2 F 0 5 6
 GO 1 K 3/14 (2006.01) GO 1 K 3/14

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 19 頁)

出願番号	特願2013-528877 (P2013-528877)	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社
(21) 国際出願番号	PCT/JP2011/068503		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 国際出願日	平成23年8月15日 (2011.8.15)	(74) 代理人	100091672 弁理士 岡本 啓三
(11) 特許番号	特許第5673830号 (P5673830)	(72) 発明者	笠嶋 丈夫 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
(45) 特許公報発行日	平成27年2月18日 (2015.2.18)	(72) 発明者	宇野 和史 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
		(72) 発明者	石綱 稔 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

最終頁に続く

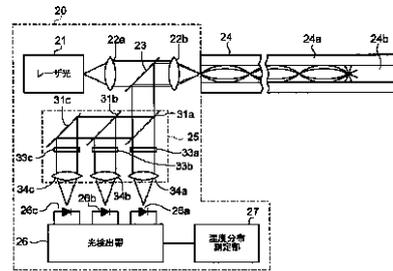
(54) 【発明の名称】 温度分布測定装置及び温度分布測定方法

(57) 【要約】

【課題】 光ファイバの全長の変化に応じて適切な伝達関数を容易に設定できる温度分布測定装置及び温度分布測定方法を提供する。

【解決手段】 温度分布測定装置 20 は、光ファイバ 24 に光学的に接続されるレーザ光源 21 と、光ファイバ 24 内で後方散乱した光を検出する光検出器 26 と、光検出器 26 の出力から得られる仮の測定温度分布に対し伝達関数を用いた補正計算を行って真の測定温度分布とする温度分布測定部 27 とを有する。また、温度分布測定部 27 は、光ファイバ 24 の全長毎及び長さ方向の位置毎に設定された伝達関数のデータを記憶している。そして、温度分布測定部 27 は、光ファイバ 24 の長さの変更されると、伝達関数のデータを用いて補正計算に使用する伝達関数を変更する。

【選択図】 図 1



21 Laser light
 26 Photodetector
 27 Temperature distribution measurement unit

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ファイバに光学的に接続されるレーザ光源と、
前記光ファイバ内で後方散乱した光を検出する光検出器と、
前記光検出器の出力から得られる仮の測定温度分布に対し伝達関数を用いた補正計算を行って真の測定温度分布とする温度分布測定部とを有し、

前記温度分布測定部は、前記光ファイバの全長毎及び長さ方向の位置毎に設定された伝達関数のデータを記憶していることを特徴とする温度分布測定装置。

【請求項 2】

前記温度分布測定部は、前記レーザ光源に接続される前記光ファイバの全長が変更されると、前記伝達関数のデータを用いて前記補正計算に使用する伝達関数を変更することを特徴とする請求項 1 に記載の温度分布測定装置。

10

【請求項 3】

前記補正計算に使用する伝達関数は、線形近似により算出することを特徴とする請求項 2 に記載の温度分布測定装置。

【請求項 4】

前記温度分布測定部は、前記仮の測定温度分布に対し前記伝達関数の逆関数を用いて前記真の測定温度分布を算出することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の温度分布測定装置。

【請求項 5】

レーザ光源から光ファイバにレーザ光を出力し、前記光ファイバ内で後方散乱した光を検出して前記光ファイバの長さ方向の仮の測定温度分布を取得し、前記仮の測定温度分布に対し伝達関数を用いた補正計算を行って真の測定温度分布とする温度分布測定装置の温度分布測定方法であって、

20

前記温度測定装置は、前記光ファイバの全長毎及び長さ方向の位置毎に設定された伝達関数のデータを記憶し、前記レーザ光源に光学的に接続された光ファイバの長さを変更されると前記伝達関数のデータを用いて前記補正計算に使用する伝達関数を変更することを特徴とする温度分布測定方法。

【請求項 6】

前記補正計算に使用する伝達関数は、線形近似により算出することを特徴とする請求項 5 に記載の温度分布測定方法。

30

【請求項 7】

前記レーザ光源に光学的に接続された光ファイバは、温度が一定に維持される場所に一定長さ以上巻回した巻回部を有することを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の温度分布測定方法。

【請求項 8】

前記レーザ光源に光学的に接続された光ファイバは、計算機が収納されたラック内に敷設されることを特徴とする請求項 5 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の温度分布測定方法。

【請求項 9】

前記温度分布測定装置は、入力された光ファイバの全長及び長さ方向の位置に応じて前記補正計算に使用する伝達関数を変更することを特徴とする請求項 5 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の温度分布測定方法。

40

【請求項 10】

前記温度分布測定装置は、前記レーザ光源から出射されたレーザ光が前記光ファイバの端部に到達するまでの時間又は前記後方散乱光が検出されなくなるまでの時間から前記光ファイバの全長を取得して前記補正計算に使用する伝達関数を変更することを特徴とする請求項 5 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の温度分布測定方法。

【請求項 11】

前記温度分布測定装置は、前記仮の測定温度分布に対し前記伝達関数の逆関数を用いて前記真の測定温度分布を算出することを特徴とする請求項 5 乃至 10 のいずれか 1 項に記

50

載の温度分布測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバを用いた温度分布測定装置及び温度分布測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、高度情報化社会の到来にともなって計算機で多量のデータが扱われるようになり、データセンター等の施設において多数の計算機を同一室内に設置して一括管理することが多くなっている。このような状況下では、計算機から多量の熱が発生して誤動作や故障の原因となるため、計算機を冷却する手段が必要となる。そのため、通常データセンターでは、計算機内で発生した熱をファン（送風機）により計算機の外に排出するとともに、空調機（エアコン）を使用して室内の温度を調整している。

10

【0003】

ところで、計算機の稼働状態によって計算機から発生する熱量は大幅に変動する。熱による計算機の誤動作や故障を確実に防止するために、例えば計算機から発生する熱の最大量に応じた冷却能力を有する空調機を使用し、その空調機を常に最大能力で稼働させることが考えられる。しかし、冷却能力が大きい空調機をその最大能力で常時稼働させることは、ランニングコストが高くなるというだけでなく、省エネルギー及びCO₂削減の観点からも好ましくない。従って、各ラックから発生する熱量に応じて空調設備を効率的に制御することが望まれる。

20

【0004】

空調設備を効率的に制御するためには、データセンター内に設置された各ラックの温度をリアルタイムで測定することが必要になる。従来から、データセンターのように複数の熱源を有するエリアの温度分布を測定する際に、温度センサとして光ファイバを用いることが提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

30

【特許文献1】特開2009-265077号公報

【特許文献2】特開2010-160081号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

光ファイバの全長の変化に応じて適切な伝達関数を容易に設定できる温度分布測定装置及び温度分布測定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

開示の技術の一観点によれば、光ファイバに光学的に接続されるレーザ光源と、前記光ファイバ内で後方散乱した光を検出する光検出器と、前記光検出器の出力から得られる仮の測定温度分布に対し伝達関数を用いた補正計算を行って真の測定温度分布とする温度分布測定部とを有し、前記温度分布測定部は、前記光ファイバの全長毎及び長さ方向の位置毎に設定された伝達関数のデータを記憶している温度分布測定装置が提供される。

40

【0008】

開示の技術の他の一観点によれば、レーザ光源から光ファイバにレーザ光を出力し、前記光ファイバ内で後方散乱した光を検出して前記光ファイバの長さ方向の仮の測定温度分布を取得し、前記仮の測定温度分布に対し伝達関数を用いた補正計算を行って真の測定温度分布とする温度分布測定装置の温度分布測定方法であって、前記温度測定装置は、前記光ファイバの全長毎及び長さ方向の位置毎に設定された伝達関数のデータを記憶し、前記

50

レーザ光源に光学的に接続された光ファイバの長さを変更されると前記伝達関数のデータを用いて前記補正計算に使用する伝達関数を変更する温度分布測定方法が提供される。

【発明の効果】

【0009】

上記一観点によれば、光ファイバの全長の変化に応じて適切な伝達関数を容易に設定できる。これにより、温度分布を高精度に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】図1は、実施形態に係る温度分布測定装置の構成を示す模式図である。

【図2】図2は、後方散乱光のスペクトルを示す図である。

【図3】図3は、ラマン散乱光の強度の時系列分布の一例を示す図である。

【図4】図4は、図3のラマン散乱光の強度の時系列分布を基に I_1 / I_2 比を時間毎に計算し、且つ図3の横軸（時間）を距離に換算し、縦軸（信号強度）を温度に換算した結果を示す図である。

【図5】図5は、最小加熱長を説明する図（その1）である。

【図6】図6は、最小加熱長を説明する図（その2）である。

【図7】図7は、伝達関数の一例を示す図である。

【図8】図8は、データセンターの計算機ルームを示す模式図である。

【図9】図9は、光ファイバの敷設例を示す図である。

【図10】図10は、実温度分布、測定温度分布及び補正後の温度分布の例を示す図である。

【図11】図11は、全長が7115mの光ファイバの各位置毎の伝達関数を例示した図（その1）である。

【図12】図12は、全長が7115mの光ファイバの各位置毎の伝達関数を例示した図（その2）である。

【図13】図13は、全長が2347mの光ファイバの各位置毎の伝達関数を例示した図（その1）である。

【図14】図14は、全長が2347mの光ファイバの各位置毎の伝達関数を例示した図（その2）である。

【図15】図15は、測定温度分布と、伝達関数を用いて補正した温度分布とを示す図である。

【図16】図16は、光ファイバの全長毎及び長さ方向の位置毎の伝達関数のデータ（データベース）の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、実施形態について説明する前に、実施形態の理解を容易にするための予備的事項について説明する。

【0012】

光ファイバを温度センサとして使用する場合、位置分解能が低いため、温度測定箇所（測定ポイント）が密に存在する場所では温度分布を精度よく且つ効率的に測定することは困難である。そこで、本願発明者らは、特許文献1（特開2009-265077号公報）及び特許文献2（特開2010-160081号公報）等において、温度分布測定装置により取得した光ファイバの長さ方向の温度分布を、伝達関数を用いて補正することを提案した。これにより、密に配置された測定ポイントの温度を精度よく且つ効率的に測定することが可能になる。

【0013】

ところで、伝達関数は、光源からの距離（光ファイバの長さ方向に沿った距離）や光ファイバの全長により変化する。一方、データセンターでは、需要に応じてサーバラックの増設や撤去が行われ、それにもなって光ファイバの敷設経路が変更されたり、光ファイバの全長が変化したりする。従って、それらの工事にともなって、新たに伝達関数を設定

10

20

30

40

50

することが重要になる。

【0014】

以下の実施形態では、光ファイバの全長の変化に応じて適切な伝達関数を容易に設定できる温度分布測定装置及び温度分布測定方法について説明する。

【0015】

(実施形態)

図1は、実施形態に係る温度分布測定装置の構成を示す模式図である。また、図2は後方散乱光のスペクトルを示す図である。

【0016】

図1のように、本実施形態に係る温度分布測定装置20は、レーザ光源21と、レンズ22a, 22bと、ビームスプリッタ23と、波長分離部25と、光検出器26と、温度分布測定部27とを有し、光ファイバ24に接続して使用する。

10

【0017】

レーザ光源21からは、所定のパルス幅のレーザ光が一定の周期で出力される。このレーザ光は、レンズ22a、ビームスプリッタ23及びレンズ22bを通して光ファイバ24の光源側端部から光ファイバ24内に進入する。なお、図1において、24aは光ファイバ24のクラッドを示し、24bは光ファイバ24のコアを示している。

【0018】

光ファイバ24内に進入した光の一部は、光ファイバ24を構成する分子により後方散乱される。後方散乱光には、図2のように、レイリー(Rayleigh)散乱光と、ブリルアン(Brillouin)散乱光と、ラマン(Raman)散乱光とが含まれる。レイリー散乱光は入射光と同一波長の光であり、ブリルアン散乱光及びラマン散乱光は入射波長からシフトした波長の光である。

20

【0019】

ラマン散乱光には、入射光よりも長波長側にシフトしたストークス光と、入射光よりも短波長側にシフトした反ストークス光とがある。ストークス光及び反ストークス光のシフト量はレーザ光の波長や光ファイバ24を構成する物質等に依存するが、通常50nm程度である。また、ストークス光及び反ストークス光の強度はいずれも温度により変化するが、ストークス光は温度による変化量が小さく、反ストークス光は温度による変化量が大い。すなわち、ストークス光は温度依存性が小さく、反ストークス光は温度依存性が大きいといえることができる。

30

【0020】

これらの後方散乱光は、図1のように、光ファイバ24を戻って光源側端部から出射する。そして、レンズ22bを透過し、ビームスプリッタ23により反射されて、波長分離部25に進入する。

【0021】

波長分離部25は、ビームスプリッタ31a, 31b, 31cと、光学フィルタ33a, 33b, 33cと、集光レンズ34a, 34b, 34cとを有する。ビームスプリッタ31a, 31b, 31cは、波長に応じて光を透過又は反射する。光学フィルタ33a, 33b, 33cは特定の波長の光のみを透過し、集光レンズ34a, 34b, 34cは光学フィルタ33a, 33b, 33cを透過した光をそれぞれ光検出器26の受光部26a, 26b, 26cに集光する。

40

【0022】

波長分離部25に入射した光は、ビームスプリッタ31a, 31b, 31c及び光学フィルタ33a, 33b, 33cによりレイリー散乱光、ストークス光及び反ストークス光に分離され、光検出器26の受光部26a, 26b, 26cに入力される。その結果、光検出器26からは、レイリー散乱光、ストークス光及び反ストークス光の強度に応じた信号が出力される。

【0023】

温度分布測定部27は、コンピュータを含んで構成される。この温度分布測定部27は

50

、光検出器 26 から出力される信号に基づいて、光ファイバ 24 の長さ方向の温度分布を取得する。また、温度分布測定部 27 は、後述するように光ファイバ 24 の全長と各領域（光ファイバ 24 の長さ方向に分割された領域）毎の伝達関数のデータベースを記憶しており、光ファイバ 24 の敷設状態が変更されたときに、伝達関数の補正計算を行う。

【0024】

図 3 は、横軸に時間を取り、縦軸に光検出器 26 の受光部 26 a , 26 b , 26 c から出力される信号強度をとって、ラマン散乱光の強度の時系列分布の一例を示す図である。光ファイバ 24 にレーザパルスを入射した直後から一定の間、光検出器 26 にはストークス光及び反ストークス光が検出される。光ファイバ 24 の全長にわたって温度が均一の場合、レーザパルスが光ファイバ 24 に入射した時点を基準とすると、信号強度は時間の経過とともに減少する。この場合、横軸の時間は光ファイバ 24 の光源側端部から後方散乱が発生した位置までの距離を示しており、信号強度の経時的な減少は光ファイバ 24 による光の減衰を示している。

10

【0025】

光ファイバ 24 の長さ方向にわたって温度が均一でない場合、例えば長さ方向に沿って高温部及び低温部が存在する場合は、ストークス光及び反ストークス光の信号強度は様に減衰するのではなく、図 3 のように信号強度の経時変化を示す曲線に山及び谷が現れる。図 3 において、ある時間 t における反ストークス光の強度を I_1 、ストークス光の強度を I_2 とする。

【0026】

図 4 は、図 3 のラマン散乱光の強度の時系列分布を基に I_1 / I_2 比を時間毎に計算し、且つ図 3 の横軸（時間）を距離に換算し、縦軸（信号強度）を温度に換算した結果を示す図である。この図 4 のように、反ストークス光とストークス光との強度比（ I_1 / I_2 ）を計算することにより、光ファイバ 24 の長さ方向における温度分布を測定することができる。

20

【0027】

なお、後方散乱が発生した位置におけるラマン散乱光（ストークス光及び反ストークス光）の強度は温度により変化するが、レイリー散乱光の強度は温度に依存しないと考えられる。従って、レイリー散乱光の強度から後方散乱が発生した位置を特定し、その位置に応じて光検出器 26 で検出したストークス光及び反ストークス光の強度を補正することが好ましい。

30

【0028】

以下、図 5 , 図 6 を参照して最小加熱長について説明する。

【0029】

レーザ光源 21 から出力されるレーザ光のパルス幅 t_0 を 10 nsec、真空中の光の速度 c を 3×10^8 m / sec、光ファイバ 24 のコア 24 b の屈折率 n を 1.5 とする。この場合、光ファイバ 24 内におけるレーザ光のパルス幅 W は、下記 (1) 式のように約 2 m となる。

【0030】

【数 1】

$$W = t_0 \cdot c / n = 10(\text{nsec}) \cdot 3 \times 10^8 (\text{m/sec}) / 1.5 \approx 2(\text{m}) \quad \dots(1)$$

40

【0031】

このパルス幅分のレーザ光の後方散乱光は光検出器 26 に 1 つの信号として取り込まれ、光検出器 26 はこのパルス幅分の信号の積算値から温度を検出する。そのため、光ファイバのうちパルス幅 W に相当する長さ均一に熱を加えないと正確な温度計測ができない。以下、正確な温度計測に必要な最小加熱長を L_{\min} という。

【0032】

図 5 (a) に示す実温度分布で光ファイバ 24 を加熱した場合、すなわち光ファイバ 2

50

4のうち長さLの部分のみを均一に加熱した場合、計測温度分布は図5(b)のようにガウシアン(正規分布)的な曲線を描く。以下、図5(a)のような温度分布を、ステップ型温度分布という。

【0033】

図6は、横軸に光ファイバの長さ方向の位置をとり、縦軸に温度をとって、温度が25の環境に光ファイバを配置し、光源から5mの位置を中心に80の熱をステップ型温度分布となるように印加した場合の計測温度分布を示す図である。ここで、加熱部の長さはそれぞれ40cm、1m、1.6m、2.2mとしている。この図6からわかるように、加熱部の長さが2m(最小加熱長Lmin)よりも短い場合は計測温度分布のピークは実温度よりも低く観測され、加熱部の長さが2m以上の場合は計測温度分布のピークと実温度とがほぼ一致する。

10

【0034】

図7は、横軸に加熱中心からの距離をとり、縦軸に相対強度をとって、図6の温度分布における伝達関数(温度計測系の伝達関数)を示す図である。図7の伝達関数を図6のステップ型温度分布に対し畳み込み(コンボリューション)することで、図6の計測温度分布となる。逆に、計測温度分布に対し伝達関数の逆関数(逆補正関数)を用いて補正(デコンボリューション)を行うと、実温度分布に近似の温度分布(補正後の計測温度分布)が得られる。なお、伝達関数は、温度計測系(温度分布測定装置+光ファイバ)のインパルス応答特性にほぼ等しいものとなる。

【0035】

20

温度計測系の伝達関数は、光ファイバ24が群遅延特性を有しているため、距離に応じて変化する。そのため、光ファイバ24の全長にわたって伝達関数を一義的に定義することはできない。しかし、短い距離範囲であれば、光信号の損失や遅延は一樣であるとみなして伝達関数を定義することができる。従って、予め光ファイバ24の長さ方向の一定の領域毎(例えば1000m毎)に、補正計算に使用する伝達関数を設定しておくことが重要である。

【0036】

一方、温度測定ポイント(以下、単に「測定ポイント」という)は最小加熱長と関係なく、測定装置のサンプリング周波数等を考慮して決定することができる。測定装置において平均化に要する時間等の実用的な計測時間を考慮すると、測定ポイントの間隔は10cm~50cm程度にすることが可能である。

30

【0037】

図8は、データセンターの計算機ルームを示す模式図である。この図8のように、計算機ルームの室内は、機器設置エリア10aと、フリーアクセスフロア10bとに分離されている。機器設置エリア10aには複数のラック(サーバラック)11が配置されており、各ラック11にはそれぞれ複数の計算機(ブレードサーバ等)が収納されている。また、機器設置エリア10aには、管理者が通行するための通路や計算機の管理に必要な管理スペースが設けられている。

【0038】

フリーアクセスフロア10bは、機器設置エリア10aの床下に設けられている。このフリーアクセスフロア10bには、各ラック11に接続される電力ケーブルや通信ケーブル等が配置されている。

40

【0039】

フリーアクセスフロア10bの温度は、空調機19から供給される冷風により一定に維持される。機器設置エリア10aの床には通風口(グリル)12が設けられており、この通風口12を介してフリーアクセスフロア10bからラック11の前面側(吸気面側)に冷風を送り、ラック11内の計算機を冷却する。

【0040】

図9は、光ファイバ24の敷設例を示す図である。この例では、各ラック11毎に、光ファイバ24を最小加熱長Lmin又はそれ以上の長さで巻回した第1の巻回部24x及び

50

第2の巻回部24yを設け、それらの第1の巻回部24x及び第2の巻回部24yをフリーアクセスフロア10bに配置している。そして、第1の巻回部24xと第2の巻回部24yとの間の光ファイバ24を、ラック11内を下から上に往復するように敷設している。

【0041】

このように各ラック11間のフリーアクセスフロア10bに最小加熱長 L_{min} の2倍以上の長さの光ファイバ24を配置した場合、温度分布測定装置20は、ラック11内の温度の影響を受けることなく、フリーアクセスフロア11の実温度を測定することができる。また、ラック11内の温度はフリーアクセスフロア10bの温度よりも低くなることはない。

10

【0042】

このような条件下では、フリーアクセスフロア10bの測定温度を基準とし、ラック11内の各測定ポイントの測定温度を補正することで、ラック11内の温度分布を精度よく取得することができる(特許文献1, 2参照)。

【0043】

図10に、実温度分布、仮の測定温度分布及び真の測定温度分布を示す。ここで、実温度分布は各測定ポイントにおける実温度であり、仮の測定温度分布はストークス光及び反ストークス光の比から得られる温度分布(補正前の温度分布)である。また、真の測定温度分布は、伝達関数を用いて仮の測定温度分布に対し補正計算を行った後の温度分布である。

20

【0044】

この図10から、真の測定温度分布は、実温度分布とほぼ一致していることがわかる。なお、図10において、縦軸の温度は基準温度(フリーアクセスフロア10bの温度)との差である。

【0045】

ところで、仮の測定温度分布を補正して真の測定温度分布を得るために伝達関数を使用するが、前述したように伝達関数は光ファイバの全長や長さ方向の位置により変化する。

【0046】

図11(a), (b)及び図12(a), (b)は、全長が7115mの光ファイバの各位置(106.75m, 4100.25m, 4873.75m, 6028.25m)における伝達関数を例示した図である。また、図13(a), (b)及び図14は、全長が2347mの光ファイバの各位置(105.75m, 1086.25m, 2241.75m)における伝達関数を例示した図である。これらの図11~図14から、光ファイバの全長や長さ方向の位置により、伝達関数変化することがわかる。

30

【0047】

図15は、横軸に光ファイバの長さ方向の位置をとり、縦軸に温度をとって、仮の測定温度分布と、伝達関数を用いて補正した温度分布とを示す図である。図中一点鎖線は適切な伝達関数を用いて補正した例を示し、破線は不適切な伝達関数を用いて補正した例を示している。ここで、光ファイバの全長は7115mであり、適切な伝達関数として図11(a)に示す伝達関数を使用した。また、不適切な伝達関数として、図12(b)に示す伝達関数を使用した。

40

【0048】

この図15から、不適切な伝達関数を用いると温度分布を精度よく測定できないことがわかる。この例では、不適切な伝達関数を用いて補正した温度分布は、適切な伝達関数を用いて補正した温度分布に対し、ピーク位置が最大50cm程度ずれている。

【0049】

そこで、本実施形態では、予め光ファイバの全長と長さ方向の位置とに対応させて伝達関数を求め、データベースとして温度分布測定部27に記憶しておく。例えば全長が相互に異なる複数の光ファイバを用意し、各光ファイバに対して1000m毎に伝達関数を実験的に求めておく。伝達関数は、前述したようにステップ型温度分布となるように光ファ

50

ファイバを加熱し、そのときに得られる測定温度分布から求めることができる。

【0050】

図16は、そのようにして得た伝達関数のデータベースの一例を示す図である。この図16において、例えば $H_{4000,3000}(p)$ は、全長 L が4000mの光ファイバの3000mの位置（光ファイバの光源側端部から長さ方向に3000m離れた位置）における伝達関数である。また、 (p) は、伝達関数を構成する要素（図11～図14中の点）を示している。なお、光ファイバの端部の伝達関数を実験的に求めることが困難な場合、端部から所定の距離（ ）だけ離れた位置の伝達関数を求めればよい。

【0051】

ここで、全長が L の光ファイバの位置 X における伝達関数を線形近似により求める場合について説明する。 10

【0052】

まず、図16（データベース）から、 L に最も近いデータベース中の値 L^+ 及び L^- 、並びに X^+ 及び X^- を決定する。例えば、変更後の光ファイバの全長 L が3700m、光ファイバの長さ方向の位置 X が2600mの場合、 L^+ は4000m、 L^- は3000m、 X^+ は3000m、 X^- は2000mとなる。

【0053】

次に、図16（データベース）中の伝達関数 $H_{L^+,X^+}(p)$ と伝達関数 $H_{L^+,X^-}(p)$ から、下記（2）式を用いて全長が L^+ の光ファイバの長さ方向の位置 X における伝達関数 $H'_{L^+,X}(p)$ を算出する。 20

【0054】

【数2】

$$H'_{L^+,X}(p) = \frac{X - X^-}{X^+ - X^-} H_{L^+,X^+}(p) + \frac{X^+ - X}{X^+ - X^-} H_{L^+,X^-}(p) \quad \dots(2)$$

【0055】

これと同様に、図16（データベース）中の伝達関数 $H_{L^-,X^+}(p)$ と伝達関数 $H_{L^-,X^-}(p)$ とから、下記（3）式を用いて全長が L^- の光ファイバの長さ方向の位置 X における伝達関数 $H'_{L^-,X}(p)$ を算出する。 30

【0056】

【数3】

$$H'_{L^-,X}(p) = \frac{X - X^-}{X^+ - X^-} H_{L^-,X^+}(p) + \frac{X^+ - X}{X^+ - X^-} H_{L^-,X^-}(p) \quad \dots(3)$$

【0057】

次いで、（2）式及び（3）式により求めた $H'_{L^+,X}(p)$ と $H'_{L^-,X}(p)$ とから、下記（4）式により全長が L の光ファイバの長さ方向の位置 X における伝達関数 $H'_{L,X}(p)$ を算出する。 40

【0058】

【数4】

$$H'_{L,X}(p) = \frac{L - L^-}{L^+ - L^-} H'_{L^+,X}(p) + \frac{L^+ - L}{L^+ - L^-} H'_{L^-,X}(p) \quad \dots(4)$$

【0059】

このようにして、任意の全長の光ファイバの任意の位置における伝達関数 $H'_{L,X}(p)$ を算出することができる。

【0060】

上述の伝達関数の計算は、ラック 1 1 の増設や撤去にともなう光ファイバ 2 4 の敷設変更工事が完了した後に、作業者の指示により行う。

【 0 0 6 1 】

例えば、作業者が、光ファイバ 2 4 の全長や変更すべき位置（光ファイバの長手方向の位置）等のデータを入力装置を介して温度分布測定装置 2 0 に入力する。これにより、温度分布測定装置 2 0 の温度分布測定部 2 7 は、その入力されたデータから所定の領域（例えば 1 0 0 0 m 毎）の伝達関数を計算し、その伝達関数を所定の領域の測定温度分布の補正に使用する伝達関数として設定する。

【 0 0 6 2 】

また、温度分布測定装置 2 0 は、例えばレーザ光が光ファイバの端部に到達するまでの時間や後方散乱光が検出されなくなるまでの時間により光ファイバの全長を知ることができる。従って、作業者により伝達関数の計算が指示されると、温度分布測定装置 2 0 が自動的に光ファイバの全長を取得し、所定の領域（例えば 1 0 0 0 m 毎）の伝達関数を計算して、所定の領域の温度分布の補正に使用する伝達関数を設定するようにしてもよい。

【 0 0 6 3 】

上述したように、本実施形態によれば、ラックの増設や撤去等にもなつて光ファイバの全長や測定ポイントが変化した場合に、適切な伝達関数を容易に設定することができる。これにより、精度が高い温度分布測定を継続して行うことができる。

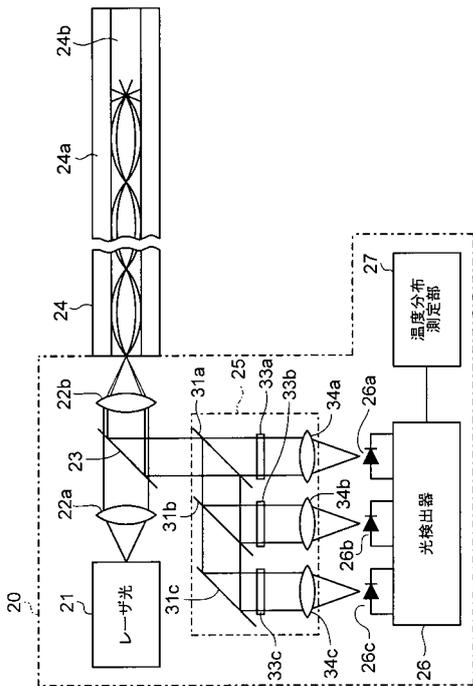
【 0 0 6 4 】

なお、本実施形態ではデータセンターの計算機ルームの温度分布測定について説明したが、開示の技術はオフィスビルや工場等の施設の温度分布測定に適用することもできる。

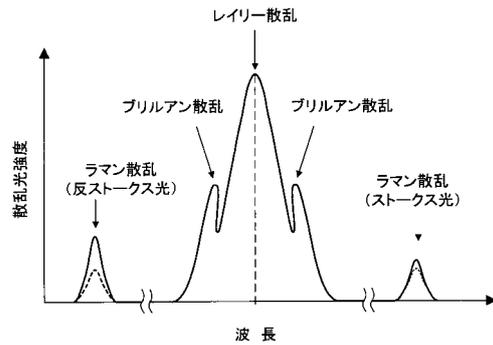
10

20

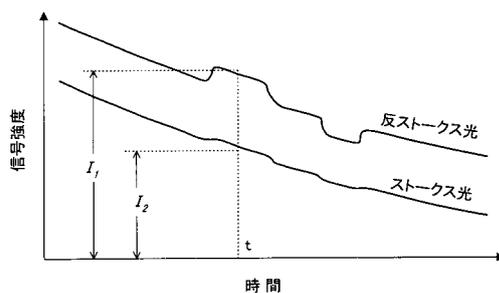
【 図 1 】



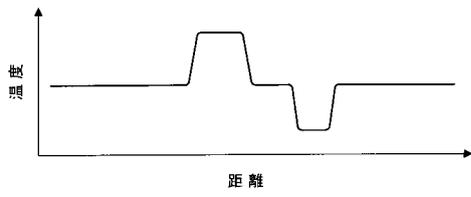
【 図 2 】



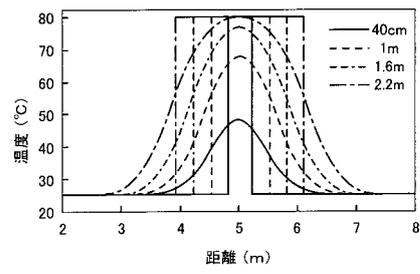
【 図 3 】



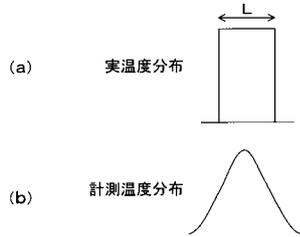
【 図 4 】



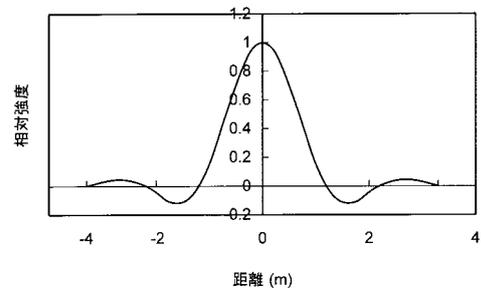
【 図 6 】



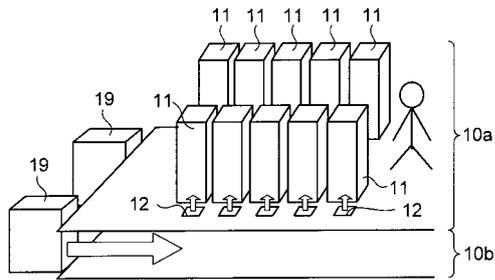
【 図 5 】



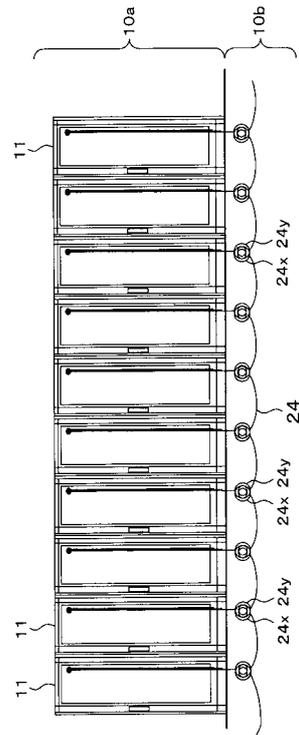
【 図 7 】



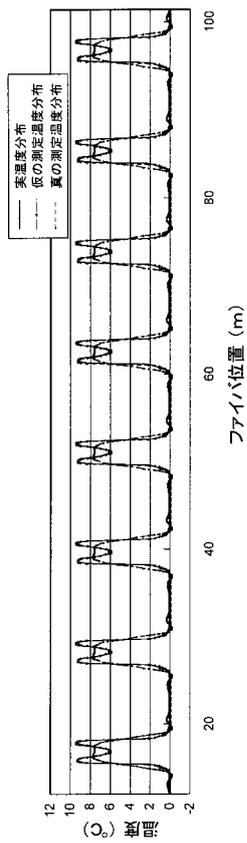
【 図 8 】



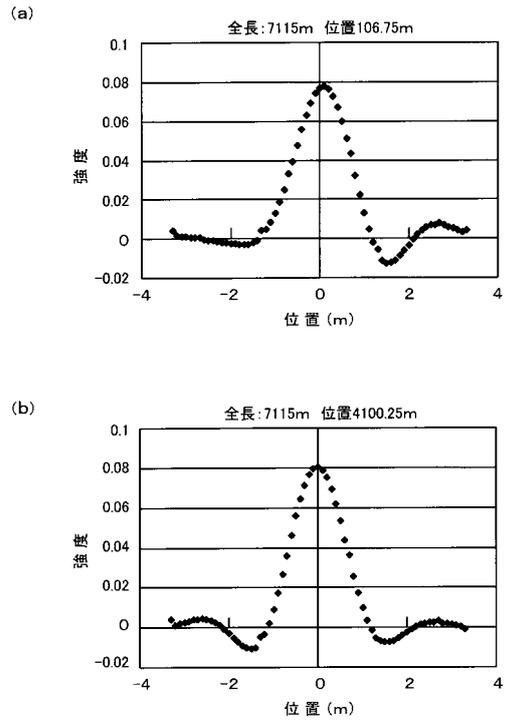
【 図 9 】



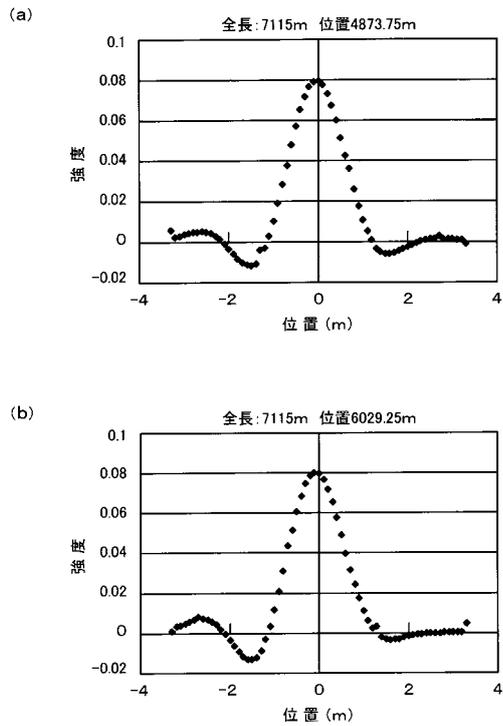
【 図 1 0 】



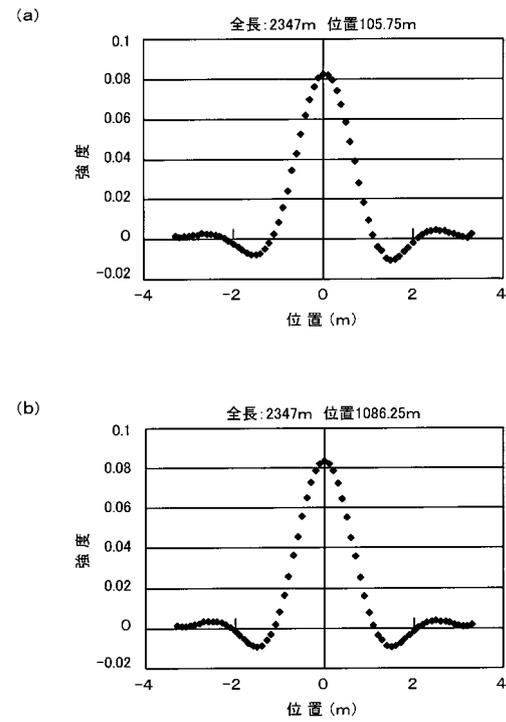
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



に対し伝達関数を用いた補正計算を行って真の測定温度分布とする温度分布測定装置の温度分布測定方法であって、

前記温度測定装置は、前記光ファイバの全長毎及び長さ方向の位置毎に設定された伝達関数のデータを記憶し、前記レーザ光源に光学的に接続された光ファイバの長さが変更されると前記伝達関数のデータを用いて前記補正計算に使用する伝達関数を変更することを特徴とする温度分布測定方法。

【請求項 5】

前記補正計算に使用する伝達関数は、線形近似により算出することを特徴とする請求項 4に記載の温度分布測定方法。

【請求項 6】

前記レーザ光源に光学的に接続された光ファイバは、温度が一定に維持される場所に一定長さ以上巻回した巻回部を有することを特徴とする請求項 4 又は 5に記載の温度分布測定方法。

【請求項 7】

前記レーザ光源に光学的に接続された光ファイバは、計算機が収納されたラック内に敷設されることを特徴とする請求項 4 乃至 6のいずれか 1 項に記載の温度分布測定方法。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2011/068503
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01K11/12(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) G01K11/12, G01D5/353 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 1996-2011 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011 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 2009-265077 A (Fujitsu Ltd.), 12 November 2009 (12.11.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	WO 2010/125712 A1 (Fujitsu Ltd.), 04 November 2010 (04.11.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 2010-107279 A (Fujitsu Ltd.), 13 May 2010 (13.05.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 27 September, 2011 (27.09.11)		Date of mailing of the international search report 11 October, 2011 (11.10.11)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer Telephone No.
Facsimile No.		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/068503

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 4-50624 A (Asahi Glass Co., Ltd.), 19 February 1992 (19.02.1992), entire text; all drawings (Family: none)	1-11
A	JP 3-135743 A (Toshiba Corp.), 10 June 1991 (10.06.1991), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2011/068503									
A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. G01K11/12(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. G01K11/12, 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>1971-2011年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2011年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2011年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2011年	日本国実用新案登録公報	1996-2011年	日本国登録実用新案公報	1994-2011年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2011年										
日本国実用新案登録公報	1996-2011年										
日本国登録実用新案公報	1994-2011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 2009-265077 A（富士通株式会社）2009.11.12, 全文、全図（ファミリーなし）	1-11									
A	WO 2010/125712 A1（富士通株式会社）2010.11.04, 全文、全図（ファミリーなし）	1-11									
A	JP 2010-107279 A（富士通株式会社）2010.05.13, 全文、全図（ファミリーなし）	1-11									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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		の日の後に公表された文献									
「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		「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									
「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		「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									
「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）		「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									
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」同一パテントファミリー文献									
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願											
国際調査を完了した日 27.09.2011		国際調査報告の発送日 11.10.2011									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/JP） 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） 関根 裕	2F 4631								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3216									

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2011/068503

C (続き) . 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 4-50624 A (旭硝子株式会社) 1992.02.19, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-11
A	JP 3-135743 A (株式会社東芝) 1991.06.10, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-11

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, 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

(72)発明者 只木 恭子

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

(72)発明者 武井 文雄

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

Fターム(参考) 2F056 VF02 VF11 VF17

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。