

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-265083

(P2009-265083A)

(43) 公開日 平成21年11月12日(2009.11.12)

(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 3 5
GO 1 K	3/06 (2006.01)	GO 1 K 3/06	2 F 0 5 6
GO 1 F	1/68 (2006.01)	GO 1 F 1/68 Z	
GO 1 K	17/10 (2006.01)	GO 1 K 17/10	
GO 1 P	5/10 (2006.01)	GO 1 P 5/10 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2009-10641 (P2009-10641)
 (22) 出願日 平成21年1月21日 (2009.1.21)
 (31) 優先権主張番号 特願2008-96302 (P2008-96302)
 (32) 優先日 平成20年4月2日 (2008.4.2)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
 (74) 代理人 100091672
 弁理士 岡本 啓三
 (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 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
 (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

最終頁に続く

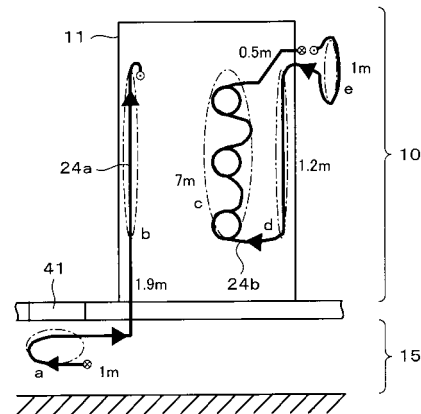
(54) 【発明の名称】 温度計測方法、温度制御システム、風量測定装置及び発熱量測定装置

(57) 【要約】

【課題】 計算機ルームの温度分布を効率的かつ精度よく測定できる光ファイバを用いた計算機ルームの温度計測方法、風量測定装置、並びに発熱量測定装置を提供する。

【解決手段】 ピーク温度が比較的低温のフリーアクセスフロア15のグリル近傍a、ラック11内の吸気口近傍bを通るように第1の光ファイバ24aを敷設し、ピーク温度が比較的高温のCPU近傍c、排気口近傍d及びラック外側の天井近傍eを通るように第2の光ファイバ24bを敷設する。このように敷設することにより、隣接する計測ポイントの温度差が少なくなり、良好な測定精度が得られる。

【選択図】 図14



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の計算機又はストレージを収納するラックを複数台設置した計算機ルームの温度計測方法において、

前記複数台のラックの内側及び外側の少なくとも一方に設定された複数の第 1 の温度計測ポイントを通るように第 1 の光ファイバを敷設し、

前記複数台のラックの内側及び外側の少なくとも一方に設定されて前記第 1 の温度計測ポイントよりもピーク温度が高い複数の第 2 の温度計測ポイントを通るように第 2 の光ファイバを敷設し、

前記第 1 の光ファイバ及び前記第 2 の光ファイバにそれぞれレーザ光を導入し、後方散乱光を検出して前記第 1 の光ファイバ及び前記第 2 の光ファイバの長さ方向に沿った温度分布を計測することを特徴とする計算機ルームの温度計測方法。 10

【請求項 2】

複数の計算機又はストレージを収納するラックを複数台設置した計算機ルームの温度制御システムにおいて、

前記計算機ルーム内に設定された計測ポイントの目標温度が設定される制御部と、

前記計算機ルーム内に敷設した光ファイバにより前記計測ポイントの温度を計測する光ファイバ検出器と、

前記計算機ルーム内に設置された空調冷却設備とを有し、

前記制御部が、前記光ファイバ検出器により計測した前記計測ポイントの温度が前記目標温度となるように前記空調冷却設備を制御することを特徴とする温度制御システム。 20

【請求項 3】

複数の計算機を収納するラックを複数台設置した計算機ルームの温度制御システムにおいて、

前記計算機ルーム内に設定された計測ポイントの目標温度が設定される制御部と、

前記計算機ルーム内に敷設した光ファイバにより前記計測ポイントの温度を計測する光ファイバ検出器と、

新規ジョブの計算量に応じて前記新規ジョブを処理する計算機を決定する負荷分散サーバと、

計算量と CPU (Central Processing Unit) 温度との関係を記憶したデータベースを備え、前記データベースを用いて前記新規ジョブの計算量に応じた信号を前記制御部に出力する状態変数保存部とを有し、 30

前記制御部が、前記目標温度と、前記光ファイバ検出器による温度計測結果と、前記状態変数保存部から出力される前記信号とに応じて前記計算機ルームに設けられた空調冷却設備を制御することを特徴とする温度制御システム。

【請求項 4】

前記制御部は、前記計算機が前記新規ジョブの処理を開始する前又は処理を開始すると同時に、前記信号に応じた前記空調冷却設備の制御を行うことを特徴とする請求項 3 に記載の温度制御システム。

【請求項 5】

前記光ファイバが、前記複数台のラックの内側及び外側の少なくとも一方に設定された複数の第 1 の温度計測ポイントを通るように敷設された第 1 の光ファイバと、前記複数台のラックの内側及び外側の少なくとも一方に設定されて前記第 1 の温度計測ポイントよりもピーク温度が高い複数の第 2 の温度計測ポイントを通るように敷設された第 2 の光ファイバとからなることを特徴とする請求項 3 に記載された温度制御システム。 40

【請求項 6】

吸気口及び排気口を備え内部に発熱体が収納される容器の前記吸気口及び排気口にそれぞれ敷設された光ファイバと、

前記光ファイバにレーザ光を導入し、後方散乱光を検出して前記吸気口及び排気口における平均温度を測定する光ファイバ検出器と、 50

前記光ファイバ検出器で検出した前記吸気口及び排気口の平均温度の差と前記発熱体の発熱量とから前記吸気口及び排気口を通流するエア-の量を算出する演算部とを有することを特徴とする風量測定装置。

【請求項7】

吸気口及び排気口を備え内部に発熱体が収納される容器の前記吸気口及び排気口にそれぞれ敷設された温度測定用光ファイバと、

前記容器の吸気口又は排気口に敷設されてエア-の平均流速を測定する風速測定用光ファイバと、

前記温度測定用光ファイバ及び前記風速測定用光ファイバにレーザ光を導入し、後方散乱光を検出して前記容器の吸気口及び排気口の平均温度を測定するとともに、前記容器の吸気口又は排気口におけるエア-の平均流速を測定する光検出器と、

前記光検出器で検出した前記吸気口及び排気口における平均温度の差と前記容器の吸気口又は排気口におけるエア-の平均流速とから前記発熱体の発熱量を算出する演算部とを有することを特徴とする発熱量測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の計算機が設置された計算機ルームの温度計測方法及び温度制御システム、風量測定装置、並びに発熱量測定装置に関する。

【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（コンピュータ装置）で多量のデータが取り扱われるようになり、データセンター等のように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。

【0003】

図1は、一般的な中・大規模計算機ルームの構造を示す模式図である。この図1に示すように、計算機ルームの室内は、機器設置エリア10と、フリーアクセスフロア15とに分離されている。機器設置エリア10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10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。

【0004】

フリーアクセスフロア15は、機器設置エリア10の床下に設けられている。このフリーアクセスフロア15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の各種ケーブル16がケーブルダクト17に収納されて配置されている。

【0005】

フリーアクセスフロア15には、空調機19から冷風が供給される。機器設置エリア10の床下には通風口（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15からラック11の吸気口近傍に冷風を供給し、ラック11内の計算機を冷却するようになっている。

【0006】

ところで、省エネルギー及び地球温暖化防止の観点から、データセンターで消費する電力の削減が要望されている。このため、データセンターにおいても、単に計算機を冷却するのではなく、計算機の使用状況に応じて空調設備等を適切に制御することが求められている。

【0007】

なお、長距離の温度計測を可能とするために光ファイバ式分布温度測定装置、コンピュータ及び光スイッチにより構成される装置を複数組用い、それらの装置間を光ファイバで接続して光ファイバ温度分布測定システムとする技術や、複数系統の照明設備毎に光ファ

10

20

30

40

50

イバ温度センサを設け、これら複数の光ファイバ温度センサと光ファイバ温度検出器との間に切替器（ラインセレクタ）を配置して照明設備を監視する技術や、道路の長さ方向に沿って複数の光ファイバを敷設して各光ファイバにより道路の温度分布を個別に計測し、それらの計測データを監視局に送信して監視局で一括管理する技術が知られている。また、光ファイバ式温度計を利用して風速を測定する技術が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開平7-159244号公報

【特許文献2】特開平7-135692号公報

【特許文献3】特開2001-296189号公報

【特許文献4】特開2002-267242号公報

【特許文献5】特開2008-27888号公報

【特許文献6】特開平5-107121号公報

【特許文献7】特開平6-174561号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

熱による計算機の誤動作や故障を回避しつつデータセンターで消費する電力を削減するためには、計算機ルームの温度分布を随時計測し、その計測結果に応じて空調設備等を適宜制御する必要がある。計算機ルームの温度分布を計測するためには、例えばフリーアクセスフロアやラック内に複数の温度センサ（温度センサIC又は熱電対等）を設置することが考えられる。しかし、計算機ルームには多数のラックが設置されているので、温度センサの数が膨大になり、温度センサの設置や保守管理に要する費用が高くなるという問題がある。また、温度センサの数が多くなると故障が発生する割合も高くなるため、信頼性が十分でないという問題もある。

【0010】

そこで、光ファイバを用いて計算機ルーム内（ラック内及びフリーアクセスフロアを含む）の温度分布を監視することが提案されている。しかしながら、現状では、計算機ルームの温度分布の計測に適した光ファイバの敷設方法や、温度計測結果をどのように空調設備等の運転に反映させるかなどの技術が確立されていない。

【0011】

以上から、計算機ルームの温度分布を効率的かつ精度よく測定できる光ファイバを用いた計算機ルームの温度計測方法を提供することを目的とする。また、光ファイバを用いた温度計測結果に基づいて空調設備等を適切に制御して計算機ルームの消費電力を抑制する計算機ルームの温度制御システムを提供することを目的とする。

【0012】

更に、ラック等の空間内を通るエアーの風量を良好な精度で測定できる風量測定装置を提供することを目的とする。

【0013】

更にまた、光ファイバを用いてラック等の空間内の発熱量を測定する発熱量測定装置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】

【0014】

一観点によれば、複数の計算機又はストレージを収納するラックを複数台設置した計算機ルームの温度計測方法において、前記複数台のラックの内側及び外側の少なくとも一方に設定された複数の第1の温度計測ポイントを通るように第1の光ファイバを敷設し、前記複数台のラックの内側及び外側の少なくとも一方に設定されて前記第1の温度計測ポイントよりもピーク温度が高い複数の第2の温度計測ポイントを通るように第2の光ファイバを敷設し、前記第1の光ファイバ及び前記第2の光ファイバにそれぞれレーザ光を導入

10

20

30

40

50

し、後方散乱光を検出して前記第 1 の光ファイバ及び前記第 2 の光ファイバの長さ方向に沿った温度分布を計測する計算機ルームの温度計測方法が提供される。

【 0 0 1 5 】

光ファイバによる温度計測では、計測ポイント間の距離が短くかつ温度差が大きい場合に、計測誤差が大きくなる。この場合、例えば計測ポイントに光ファイバを巻回して配置し、隣接する計測ポイント間の距離を実質的に大きくすることが考えられる。しかし、その場合はラック 1 台当たりの光ファイバの長さが長くなり、コストが増大するという欠点がある。

【 0 0 1 6 】

上記した一観点においては、比較的低温の計測ポイント（第 1 の計測ポイント）を通るように敷設された第 1 の光ファイバと、比較的高温の計測ポイント（第 2 の計測ポイント）を通るように敷設された第 2 の光ファイバとにより計算機ルーム内の温度分布を計測する。光ファイバを上記のように敷設することにより、隣接する計測ポイント間の温度差が小さくなり、計測誤差も小さくなる。

【 0 0 1 7 】

なお、第 1 の光ファイバ及び第 2 の光ファイバは個別の光ファイバでもよく、1 本の光ファイバの一部（往路）を第 1 の光ファイバとし、他の一部（復路）を第 2 の光ファイバとしてもよい。

【 0 0 1 8 】

他の観点によれば、複数の計算機又はストレージを収納するラックを複数台設置した計算機ルームの温度制御システムにおいて、前記計算機ルーム内に設定された計測ポイントの目標温度が設定される制御部と、前記計算機ルーム内に敷設した光ファイバにより前記計測ポイントの温度を計測する光ファイバ検出器と、前記計算機ルーム内に設置された空調冷却設備とを有し、前記制御部が、前記光ファイバ検出器により計測した前記計測ポイントの温度が前記目標温度となるように前記空調冷却設備を制御する温度制御システムが提供される。

【 0 0 1 9 】

上記観点においては、光ファイバ検出器により計算機ルーム内の温度分布を計測する。光ファイバ検出器を用いることにより、計算機ルーム内の温度分布をリアルタイムで計測することができる。制御部は、光ファイバ検出器による温度分布計測結果に基づいて、各計測ポイントの温度が目標値となるように空調冷却設備（空調機、冷却用ファン、冷水供給ポンプ及びグリル調整機構等）を制御する。その結果、計算機ルーム内の温度分布は変化するが、温度変化は光ファイバ検出器により検出されて制御部に伝達される。

【 0 0 2 0 】

このように、上記観点においては、光ファイバ検出器により計算機ルーム内の計測ポイントの温度がリアルタイムに計測され、その結果に基づいて制御部により空調冷却設備が制御される。これにより、熱だまりや過冷却等が適切に回避され、計算機ルームの消費電力を低減することができる。

【 0 0 2 1 】

更に他の観点によれば、複数の計算機を収納するラックを複数台設置した計算機ルームの温度制御システムにおいて、前記計算機ルーム内に設定された計測ポイントの目標温度が設定される制御部と、前記計算機ルーム内に敷設した光ファイバにより前記計測ポイントの温度を計測する光ファイバ検出器と、新規ジョブの計算量に応じて前記新規ジョブを処理する計算機を決定する負荷分散サーバと、計算量と CPU (Central Processing Unit) 温度との関係を記憶したデータベースを備え、前記データベースを用いて前記新規ジョブの計算量に応じた信号を前記制御部に出力する状態変数保存部とを有し、前記制御部が、前記目標温度と、前記光ファイバ検出器による温度計測結果と、前記状態変数保存部から出力される前記信号とに応じて前記計算機ルームに設けられた空調冷却設備を制御する温度制御システムが提供される。

【 0 0 2 2 】

上記観点に係る温度制御システムは、新規ジョブを処理する計算機を決定する負荷分散サーバと、計算量とCPU温度との関係を記憶したデータベースを備えた状態変数保存部とを有している。

【0023】

新規ジョブが投入されると、負荷分散サーバは新規ジョブを処理する計算機を決定するとともに、状態変数保存部に新規ジョブの計算量を示す情報を出力する。状態情報保存部は、データベースを参照し、新規ジョブの計算量に応じた信号を制御部に出力する。制御部は、目標温度と、光ファイバ検出器により計測された計測ポイントにおける温度と、状態保存部から出力された信号とに基づいて空調冷却設備（空調機、冷却用ファン、冷却水供給ポンプ及びグリル調整機構等）を制御する。

10

【0024】

上記観点においては、状態変数保存部のデータベースに計算量とCPU温度との関係が記憶されているので、制御部は、計算機がジョブの処理を開始する前又はジョブの処理を開始すると同時にその計算機に係る空調冷却設備を制御し、計算機の温度上昇を抑制することができる。

【0025】

一般的に、温度が高くなるほどCPU（トランジスタ）のリーク電流が多くなり、計算機の消費電力が多くなる。上記温度制御システムにおいては、計算機が新規ジョブの処理を開始する前又は開始すると同時に、計算機の温度上昇が抑制されるように空調冷却設備を制御するので、計算機ルームの消費電力をより一層低減することができる。

20

【0026】

更に他の一観点によれば、吸気口及び排気口を備え内部に発熱体が収納される容器の前記吸気口及び排気口にそれぞれ敷設された光ファイバと、前記光ファイバにレーザ光を導入し、後方散乱光を検出して前記吸気口及び排気口における平均温度を測定する光ファイバ検出器と、前記光ファイバ検出器で検出した前記吸気口及び排気口の平均温度の差と前記発熱体の発熱量とから前記吸気口及び排気口を通流するエアーの量を算出する演算部とを有する風量測定装置が提供される。

【0027】

発熱体が収納される容器（ラック及び電子機器の筐体等）を通流するエアーの量は、当該容器の吸気口及び排気口を通流するエアーの平均温度と、前記発熱体から発生する熱量により算出することができる。発熱体から発生する熱量は、例えば発熱体で消費される電力を測定することにより比較的正確に把握することができる。

30

【0028】

一方、容器の吸気口及び排気口を通流するエアーの平均温度は、例えば熱電対等の温度センサを多数配置し、それらの検出温度の平均値を算出することにより求めることが考えられる。しかし、その場合は温度センサの数が多くなり、設置や保守管理に要するコストが多くなるという問題がある。そこで、上記風量測定方法においては、温度センサとして光ファイバを用いる。温度センサとして光ファイバを用いた場合は、測定領域に配置された光ファイバ全体で温度を計測するため、広い範囲の平均温度を容易にかつ高い精度で検出することができる。これにより、容器内に通流するエアーの量（風量）を精度よく求めることができる。

40

【0029】

更に、他の一観点によれば、吸気口及び排気口を備え内部に発熱体が収納される容器の前記吸気口及び排気口にそれぞれ敷設された温度測定用光ファイバと、前記容器の吸気口又は排気口に敷設されてエアーの平均流速を測定する風速測定用光ファイバと、前記温度測定用光ファイバ及び前記風速測定用光ファイバにレーザ光を導入し、後方散乱光を検出して前記容器の吸気口及び排気口の平均温度を測定するとともに、前記容器の吸気口又は排気口におけるエアーの平均流速を測定する光検出器と、前記光検出器で検出した前記吸気口及び排気口における平均温度の差と前記容器の吸気口又は排気口におけるエアーの平均流速とから前記発熱体の発熱量を算出する演算部とを有する発熱量測定装置が提供され

50

る。

【0030】

光ファイバを用いて流体の流速を測定する技術が知られている。光ファイバを用いて容器の吸気口又は排気口を通流するエアの流速を測定するとともに、例えば光ファイバを用いて吸気口及び排気口における平均温度を測定することにより、容器内の発熱体で発生する熱量を求めることができる。光ファイバを用いることにより吸気口又は排気口を通流するエアの平均流量を精度よく測定することができ、その結果発熱量を精度よく求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【図1】図1は、一般的な中・大規模計算機ルームの構造を示す模式図である。

【図2】図2は、光ファイバを用いた温度分布測定装置の構成を示す模式図である。

【図3】図3は、後方散乱光のスペクトルを示す図である。

【図4】図4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5】図5は、図4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4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6】図6は、計算機ルームに配置されたラックを示す側面図である。

【図7】図7は、光ファイバの敷設の第1の例（比較例）を示す模式図（側面図）である。

。

【図8】図8は、光ファイバの敷設の第1の例（比較例）を示す模式図（上面図）である。

。

【図9】図9は、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。

【図10】図10は、図7，図8のように光ファイバを敷設したときの実温度分布と計測温度分布とを示す図である。

【図11】図11は、光ファイバの敷設の第2の例（比較例）を示す模式図（側面図）である。

【図12】図12は、光ファイバの敷設の第2の例（比較例）を示す模式図（上面図）である。

【図13】図13は、図11，図12に示すように光ファイバを敷設したときの実温度分布と計測温度分布とを示す図である。

【図14】図14は、光ファイバの敷設の第3の例（実施例）を示す模式図（側面図）である。

【図15】図15は、光ファイバの敷設の第3の例（実施例）を示す模式図（上面図）である。

【図16】図16は、図14，図15に示すように第2の光ファイバを敷設したときの実温度分布と計測温度分布とを示す図である。

【図17】図17は、図14，図15に示すように第1の光ファイバを敷設したときの実温度分布と計測温度分布とを示す図である。

【図18】図18は、光ファイバの敷設の第4の例（実施例）を示す模式図（側面図）である。

【図19】図19は、光ファイバの敷設の第4の例（実施例）を示す模式図（上面図）である。

【図20】図20は、図18，図19に示すように第2の光ファイバを敷設したときの実温度分布と計測温度分布とを示す図である。

【図21】図21は、1チャンネルのシングルエンド方式光ファイバ検出器を2台使用して温度計測を行う例を示す模式図である。

【図22】図22は、2チャンネルのシングルエンド方式光ファイバ検出器を使用して温

10

20

30

40

50

度計測を行う例を示す模式図である。

【図 2 3】図 2 3 は、2 チャンネルのループ方式光ファイバ検出器を用いて温度計測を行う例を示す模式図である。

【図 2 4】図 2 4 は 1 チャンネルのループ方式光ファイバ検出器を用いて温度計測を行う例を示す模式図である。

【図 2 5】図 2 5 は、実施形態に係る計算機ルームの温度制御システムの第 1 の構成例を示す模式図である。

【図 2 6】図 2 6 は、第 1 の構成例における温度制御方法の概念を示す概念図である。

【図 2 7】図 2 7 は、実施形態に係る計算機ルームの温度制御システムの第 2 の構成例を示す模式図である。

【図 2 8】図 2 8 は、第 2 の構成例における温度制御方法の概念を示す概念図である。

【図 2 9】図 2 9 は、水冷及び空冷を組み合わせたハイブリッド冷却方式に適用した実施形態の例を示す模式図である。

【図 3 0】図 3 0 は、実施形態に係る風量測定装置及び風量測定方法を示す模式図である。

【図 3 1】図 3 1 は、風量測定方法の実施例における光ファイバの敷設状態を示す模式図である。

【図 3 2】図 3 2 は、風量測定方法の比較例におけるポイント測定型温度センサ（熱電対）の敷設状態を示す模式図である。

【図 3 3】図 3 3 は、ポイント測定型温度センサ（熱電対）により計測した各計測ポイントの温度の例を示す図である。

【図 3 4】図 3 4 は、光ファイバ及び熱電対で計測した吸気側の計測温度分布をシミュレーションした結果を示す図である。

【図 3 5】図 3 5 は、光ファイバ及び熱電対で計測した排気側の計測温度分布をシミュレーションした結果を示す図である。

【図 3 6】図 3 6 は、実施例及び比較例における平均温度、風量及び風速の測定結果をまとめて示す図である。

【図 3 7】図 3 7 は、実施形態に係る発熱量測定装置及び発熱量測定方法を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0032】

（温度分布測定）

次に、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。

【0033】

図 2 は光ファイバを用いた温度分布測定装置の構成を示す模式図である。また、図 3 は後方散乱光のスペクトルを示す図である。

【0034】

図 2 に示すように、温度分布測定装置は、レーザ光源 2 1 と、レンズ 2 2 a , 2 2 b と、ビームスプリッタ 2 3 と、光ファイバ 2 4 と、波長分離部 2 5 と、光検出器 2 6 とにより構成されている。

【0035】

レーザ光源 2 1 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 2 2 a、ビームスプリッタ 2 3 及びレンズ 2 2 b を通って光ファイバ 2 4 の光源側端部から光ファイバ 2 4 内に進入する。なお、図 2 において、2 4 a は光ファイバ 2 4 のコアを示し、2 4 b は光ファイバ 2 4 のクラッドを示している。

【0036】

光ファイバ 2 4 内に侵入した光の一部は、光ファイバ 2 4 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 3 に示すように、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

10

20

30

40

50

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。

【 0 0 3 7 】

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 2 4 を構成する物質等に依存するが、通常 5 0 n m 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いといえることができる。

10

【 0 0 3 8 】

これらの後方散乱光は、図 2 に示すように、光ファイバ 2 4 を戻って光源側端部から出射する。そして、レンズ 2 2 b を透過し、ビームスプリッタ 2 3 により反射されて、波長分離部 2 5 に進入する。

【 0 0 3 9 】

波長分離部 2 5 は、波長に応じて光を透過又は反射するビームスプリッタ 3 1 a , 3 1 b , 3 1 c と、特定の波長の光のみを透過する光学フィルタ 3 3 a , 3 3 b , 3 3 c と、光学フィルタ 3 3 a , 3 3 b , 3 3 c を透過した光をそれぞれ光検出器 2 6 の受光部 2 6 a , 2 6 b , 2 6 c に集光する集光レンズ 3 4 a , 3 4 b , 3 4 c とにより構成されている。

20

【 0 0 4 0 】

波長分離部 2 5 に入射した光は、ビームスプリッタ 3 1 a , 3 1 b , 3 1 c 及び光学フィルタ 3 3 a , 3 3 b , 3 3 c 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 2 6 の受光部 2 6 a , 2 6 b , 2 6 c に入力される。その結果、受光部 2 6 a , 2 6 b , 2 6 c 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。

【 0 0 4 1 】

なお、光検出器 2 6 に入力される後方散乱光のパルス幅は光ファイバ 2 4 の長さに関係する。このため、レーザ光源 2 1 から出力されるレーザパルスの間隔は、各レーザパルスによる後方散乱光が重ならないように設定される。また、レーザ光のパワーが高すぎると誘導ラマン散乱状態になって正しい計測ができなくなる。このため、誘導ラマン散乱状態にならないようにレーザ光源 2 1 のパワーを制御することが重要である。

30

【 0 0 4 2 】

前述したように、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いので、両者の比により後方散乱が発生した位置の温度を評価することができる。ストークス光及び反ストークス光の強度比は、光ファイバ中のオプティカルフォノンの角周波数を ω_k 、入射光の角周波数を ω_0 、プランク定数を h 、ボルツマン定数を k 、温度を T としたときに、以下の (1) 式により表わされる。

【 0 0 4 3 】

【 数 1 】

$$\frac{I_s^{anti-Stokes}}{I_s^{Stokes}} = \left(\frac{\omega_0 + \omega_k}{\omega_0 - \omega_k} \right)^4 \exp\left(\frac{-h\omega_k}{2\pi kT} \right) \dots (1)$$

40

【 0 0 4 4 】

すなわち、ストークス光及び反ストークス光の強度比がわかれば、(1) 式から後方散乱が発生した位置の温度を算出することができる。

【 0 0 4 5 】

ところで、光ファイバ 2 4 内で発生した後方散乱光は、光ファイバ 2 4 を戻る間に減衰する。そのため、後方散乱が発生した位置における温度を正しく評価するためには、光の

50

減衰を考慮することが必要である。

【 0 0 4 6 】

図 4 は、横軸に時間を取り、縦軸に光検出器の受光部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。光ファイバにレーザパルスを入射した直後から一定の間、光検出器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による光の減衰を示している。

【 0 0 4 7 】

光ファイバ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一様に減衰するのではなく、図 4 に示す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 4 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。

【 0 0 4 8 】

図 5 は、図 4 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 4 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 5 に示すように、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、光ファイバの長さ方向における温度分布を測定することができる。

【 0 0 4 9 】

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の温度依存性は無視できるほど小さい。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。

【 0 0 5 0 】

図 6 は、計算機ルームに配置されたラックを示す側面図である。空調機からフリーアクセスフロア 15 に供給された冷風は、グリル（通風口）4 1 を通って機器設置エリア 10 に供給される。ラック 1 1 の背面側には吸気口が設けられており、この吸気口を介してラック 1 1 内に冷風が取り込まれる。そして、ラック 1 1 内に収納されている各計算機（ブレードサーバ等）の CPU 等を冷却した後、ラック 1 1 の前面側の排気口を介してラック 1 1 の外側に排出される。なお、本実施形態ではラック内に複数の計算機（ブレードサーバ等のコンピュータ）が収納されているものとしているが、複数のストレージ（記憶装置）が収納されているラックの内部又はそのラックの近傍の温度を計測する場合も、基本的な構成は同様である。

【 0 0 5 1 】

図 6 において、a ~ e は空調冷却設備の制御に必要な温度計測ポイントを示している。a はフリーアクセスフロア 15 のグリル近傍の温度計測ポイント、b はラック 1 1 内の吸気口近傍の温度計測ポイント、c はラック 1 1 内に収納された計算機の CPU 近傍の温度計測ポイント、d はラック 1 1 内の排気口近傍の温度計測ポイント、e はラック 1 1 の外側の排気口近傍の天井ゾーンの温度計測ポイントである。

【 0 0 5 2 】

図 7、図 8 は光ファイバの敷設の第 1 の例（比較例）を示す模式図である。図 7 はラックを側方から見たときの光ファイバの敷設状態を示し、図 8 はラックを上から見たときの光ファイバの敷設状態を示している。なお、図 8 において、太い実線は機器設置エリア（ラック内を含む）10 に配設された光ファイバを示し、太い破線はフリーアクセスフロア 15 に配設された光ファイバを示している。また、ここでは、ラック 1 1 内に 3 台の計算機が収納されているものとする。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

図 7 に示すように、第 1 の例では光ファイバ 2 4 を、フリーアクセスフロア 1 5 のグリル近傍 a - ラック 1 1 内の吸気口近傍 b - ラック 1 1 内の天板近傍 f - ラック 1 1 の外側（前面側）の天井近傍 e - ラック 1 1 内の排気口近傍 d - 各計算機の CPU 近傍 c - ラック 1 1 内の排気口近傍 d - フリーアクセスフロア 1 5 の順に通るように敷設している。図 7 , 図 8 には、各エリアにおける光ファイバ 2 4 の長さを併せて示している。ここで、ラック 1 1 から次のラック 1 1 までの光ファイバ 2 4 の長さを 1 . 4 m とすると、ラック 1 台当たりの光ファイバの長さは 1 6 m (= 1 + 2 . 1 + 0 . 8 + 1 + 1 . 2 + 7 + 1 . 5 + 1 . 4) となる。

【 0 0 5 4 】

図 9 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 2 5 の環境に光ファイバを配置し、光源から 5 m の位置を中心に 8 0 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 4 0 c m 、 1 m 、 1 . 6 m 、 2 . 2 m としている。この図 9 からわかるように、加熱部の長さが 2 m 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 2 m 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。

【 0 0 5 5 】

ラマン散乱を用いた光ファイバ温度計測は、図 9 のように低い空間周波数しかもたない計測方式である。このため、隣接する測定ポイントの温度分布が相互に重なり、実温度と計測温度との間に大きな差が発生することがある。図 7 に示す例では、各計算機の CPU 間の間隔が狭いため、各 CPU の近傍に光ファイバを巻回して配置し、各 CPU 近傍の温度検出精度を上げている。

【 0 0 5 6 】

図 1 0 は、図 7 , 図 8 のように光ファイバ 2 4 を敷設したときの実温度分布（設定値：実線）と計測温度分布（予想値：一点鎖線）とを示している。ここでは、実温度分布として図 1 0 中に実線で示すような温度分布を設定し、その実温度分布に対しシミュレーションを行って理想的な計測を行った場合の計測温度分布を求めている。

【 0 0 5 7 】

図 9 に示す応答特性から推測されるように、光ファイバを用いた温度計測では、急峻な温度分布の空間周波数特性を保持する部分（図 1 0 中に示すラック 1 1 内の天板近傍 f 及びラック 1 1 の外側の天井近傍 e ）でその変化に追従できず、実温度と計測温度との間に大きな差（約 4 ）を生じている。ラック 1 1 内の天板近傍 f の温度は空気（冷媒）のフローの監視に重要ではないため誤差が大きくても問題ないが、ラック 1 1 の外側の天井近傍 e の温度は空気のフローの監視に重要であり、実温度と計測温度との差が大きいと空調冷却設備を適切に制御することができなくなる。空調冷却設備を適切に制御するためには、図 6 に示す計測ポイント、すなわちフリーアクセスフロア 1 5 のグリル近傍 a 、ラック 1 1 内の吸気口近傍 b 、各計算機の CPU 近傍 c 、ラック 1 1 内の排気口近傍 d 及びラック 1 1 の外側（前面側）の天井近傍 e における実温度と計測温度との差は 2 未満であることが好ましい。

【 0 0 5 8 】

図 1 1 , 図 1 2 は、光ファイバの敷設の第 2 の例（比較例）を示す模式図である。図 1 1 はラックを側方から見たときの光ファイバの敷設状態を示し、図 1 2 はラックを上から見たときの光ファイバの敷設状態を示している。なお、図 1 2 において、太い実線は機器設置エリア（ラック内を含む） 1 0 に配設された光ファイバを示し、太い破線はフリーアクセスフロア 1 5 に配設された光ファイバを示している。また、図 1 1 , 図 1 2 には、各エリアにおける光ファイバの長さを併せて示している。

【 0 0 5 9 】

通常、計算機は、CPU の温度（CPU 接合温度）を検出するセンサを内蔵している。この第 2 の例では、CPU の温度は計算機に内蔵されたセンサにより測定するものとし、光ファイバでは CPU 近傍の温度の計測は行わないとしている。この図 1 1 , 図 1 2 のよ

10

20

30

40

50

うに光ファイバ24を敷設した場合は、ラック11から次のラック11までの間の光ファイバ24の長さを1.4mとすると、1台のラック当たりの光ファイバの長さは9.4m(=1+2.1+0.8+0.5+1+0.5+2.1+1.4)となる。

【0060】

図13は、図11, 図12に示すように光ファイバ24を敷設したときの実温度分布(設定値:実線)と計測温度分布(予想値:一点鎖線)とを示している。この図13からわかるように、図11, 図12のように光ファイバ24を敷設した場合も、ラック11内の天板近傍f、ラック11内の排気口近傍d及びラック11の外側の天井近傍eにおける実温度と計測温度との間には2以上の差が発生する。

【0061】

図14, 図15は、光ファイバの敷設の第3の例(実施例)を示す模式図である。図14はラックを側方から見たときの光ファイバの敷設状態を示し、図15はラックを上から見たときの光ファイバの敷設状態を示している。なお、図15において、太い実線は機器設置エリア(ラック内を含む)10に配設された光ファイバを示し、太い破線はフリーアクセスフロア15に配設された光ファイバを示している。また、図14, 図15には、各エリアにおける光ファイバの長さを併せて示している。

【0062】

この第3の例では、ピーク温度が比較的低い温度計測ポイント、すなわちフリーアクセスフロア15のグリル近傍a及びラック内11内の吸気口近傍bの温度を計測するための第1の光ファイバ24aと、ピーク温度が比較的高い温度計測ポイント、すなわちラック11内のCPU近傍c、排気口近傍d及びラック11の外側の天井近傍eの温度を計測するための第2の光ファイバ24bとの2本の光ファイバを敷設する。このように敷設した場合、第1の光ファイバ24aのラック1台当たりのファイバ長は3.6m(=1+0.9+0.7)、第2の光ファイバ24bのラック1台当たりのファイバ長は10.4m(=1+1.2+0.5+0.7)となり、ラック1台当たりの第1及び第2の光ファイバ24a, 24bの合計のファイバ長は14mとなる。

【0063】

図16は、図14, 図15に示すように第2の光ファイバ24bを敷設したときの実温度分布(設定値:実線)と計測温度分布(予想値:一点鎖線)とを示す図である。この図16からわかるように、第3の例では、ラック11内のCPU近傍c、排気口近傍d及びラック11の外側の天井近傍eのいずれにおいても、実温度と計測温度との差が2未満となっている。

【0064】

図17は、図14, 図15に示すように第1の光ファイバ24aを敷設したときの実温度分布(設定値:実線)と計測温度分布(予想値:一点鎖線)とを示す図である。この図17からわかるように、第3の例では、フリーアクセスフロア15のグリル近傍aの温度を精度よく計測できると共に、ラック11内の吸気口近傍bの温度分布も良好な精度で再現されている。

【0065】

すなわち、第3の例のように光ファイバを敷設することにより、計算機ルームの温度分布を比較的良好な精度で検出することができる。これは、前述したように光ファイバ温度計測は低い空間周波数しかもたないため、第1及び第2の例では隣り合う計測ポイントの温度差が比較的大きいところで誤差が大きくなるのに対し、第3の例では隣り合う計測ポイントの温度差が小さくなるようにしているためである。

【0066】

また、第3の例のように光ファイバを敷設することにより、第1の例(図7, 図8参照)のように光ファイバを敷設する場合に比べてラック1台当たりの光ファイバの長さが短くてすみ、同じ長さの光ファイバを用いてより多くのラックの温度分布を計測することができる。

【0067】

10

20

30

40

50

図 18, 図 19 は、光ファイバの敷設の第 4 の例（実施例）を示す模式図である。図 18 はラックを側方から見たときの光ファイバの敷設状態を示し、図 19 はラックを上から見たときの光ファイバの敷設状態を示している。図 18, 図 19 には、各エリアにおける光ファイバの長さを併せて示している。

【 0 0 6 8 】

第 4 の例では、第 1 の光ファイバ 2 4 a により、第 3 の例と同様にフリーアクセスフロア 1 5 のグリル近傍 a 及びラック 1 1 内の吸気口近傍 b の温度計測を行う。一方、第 2 の光ファイバ 2 4 b ではラック 1 1 の外側の天井近傍 e 及びラック 1 1 内の排気口近傍 d の温度計測を行い、CPU の温度は計算機に内蔵されたセンサにより測定する。

【 0 0 6 9 】

ラック 1 1 から次のラック 1 1 までの光ファイバ 2 4 a, 2 4 b の長さをいずれも 0.7 m とすると、ラック 1 台辺りの第 1 の光ファイバ 2 4 a の長さは $3.6 \text{ m} (= 1 + 1.9 + 0.7)$ となり、第 2 の光ファイバ 2 4 b の長さは $5.1 \text{ m} (= 1 + 0.5 + 2.4 + 0.5 + 0.7)$ となる。従って、第 4 の例では、ラック 1 台当たりの第 1 及び第 2 の光ファイバ 2 4 a, 2 4 b の合計の長さは 8.7 m となる。

【 0 0 7 0 】

図 20 は、図 18, 図 19 に示すように第 2 の光ファイバ 2 4 b を敷設したときの実温度分布（設定値：実線）と計測温度分布（予想値：1 点鎖線）とを示している。この図 20 からわかるように、図 18, 図 19 のように第 2 の光ファイバ 2 4 b を敷設した場合は、ラック 1 1 の内側の吸気口近傍 d 及びラック 1 1 の外側の天井近傍 e における実温度と計測温度との差がいずれも 2 未満となる。

【 0 0 7 1 】

なお、第 1 の光ファイバ 2 4 a の実温度分布及び計測温度分布は第 3 の例（図 1 7 参照）と同様であるので、ここではその説明を省略する。

【 0 0 7 2 】

この第 4 の例のように光ファイバを敷設することにより、第 2 の例（図 1 1, 図 1 2 参照）のように光ファイバを敷設する場合に比べてラック 1 台当たりの光ファイバの長さが短くてすみ、同じ長さの光ファイバを用いてより多くのラックの温度分布を計測することができる。

【 0 0 7 3 】

以下、本実施形態で用いる光ファイバ検出器（温度分布測定装置）の例について説明する。

【 0 0 7 4 】

図 21 は、1 チャンネルのシングルエンド方式光ファイバ検出器を 2 台使用して温度計測を行う例を示す模式図である。この例では、一方の光ファイバ検出器 5 1 a を各ラック 1 1 の低温部（フリーアクセスフロアのグリル近傍 a 及びラック内の吸気口近傍 b 等）を通る第 1 の光ファイバ 2 4 a に接続して低温側の温度計測を行い、他方の光ファイバ検出器 5 1 b を各ラック 1 1 の高温部（ラック内の CPU 近傍 c、排気口近傍 d 及びラック外側の天井近傍 e 等）を通る第 2 の光ファイバ 2 4 b に接続して高温側の温度計測を行う。

【 0 0 7 5 】

図 22 は、2 チャンネルのシングルエンド方式光ファイバ検出器を使用して温度計測を行う例を示す模式図である。この例では、検出器 5 2 と第 1 の光ファイバ 2 4 a 及び第 2 の光ファイバ 2 4 b との間に切替器 5 3 を設け、この切替器 5 3 により検出器 5 2 と第 1 の光ファイバ 2 4 a 及び第 2 の光ファイバ 2 4 b との間を一定の周期で切替えて、各ラック 1 1 の高温部及び低温部の温度計測を行う。

【 0 0 7 6 】

図 23 は、2 チャンネルのループ方式光ファイバ検出器を用いて温度計測を行う例を示す模式図である。この例では、第 1 の光ファイバ 2 4 a を各ラック 1 1 の低温部（フリーアクセスフロアのグリル近傍 a 及びラック内の吸気口近傍 b 等）を通るように敷設し、第 2 の光ファイバ 2 4 b を各ラック 1 1 の高温部（ラック内の CPU 近傍 c、排気口近傍 d

10

20

30

40

50

及びラック外側の天井近傍 e 等) を通るよう敷設する。また、光ファイバ検出器 5 4 と第 1 の光ファイバ 2 4 a 及び第 2 の光ファイバ 2 4 b との間に切替器 5 5 を配置する。そして、この切替器 5 5 により検出器 5 4 と第 1 の光ファイバ 2 4 a 及び第 2 の光ファイバ 2 4 b との間を一定の周期で切替えて、各ラック 1 1 の高温部及び低温部の温度計測を行う。

【 0 0 7 7 】

図 2 4 は 1 チャンネルのループ方式光ファイバ検出器を用いて温度計測を行う例を示す模式図である。この例では、各ラック 1 1 の低温部 (フリーアクセスフロアのグリル近傍 a 及びラック内の吸気口近傍 b 等) を通るよう光ファイバ 2 4 の往路を敷設し、各ラック 1 1 の高温部 (ラック内の CPU 近傍 c、排気口近傍 d 及びラック外側の天井近傍 e 等) を通るよう光ファイバ 2 4 の復路を敷設している。これにより、1 本の光ファイバ 2 4 で各ラック 1 1 の高温部及び低温部の温度計測を行う。なお、光ファイバ 2 4 の両端は切替器 5 7 に接続され、この切替器 5 7 によりレーザ光の入力及び出力が切り替えられる構成となっている。

10

【 0 0 7 8 】

(温度制御システム)

図 2 5 は、実施形態に係る計算機ルームの温度制御システムの第 1 の構成例を示す模式図である。計算機ルームの機器設置エリア 1 0 には、複数の計算機 (ブレードサーバ等) を収納した複数のサーバラック 1 1 と、各計算機の負荷を監視して各計算機の負荷が均一となるよう新規ジョブを振り分ける負荷分散サーバを収納した負荷分散サーバラック 6 1 とが配置されている。

20

【 0 0 7 9 】

これらのラック 1 1 , 6 1 には、例えば第 3 の例 (図 1 4 , 図 1 5 参照) 又は第 4 の例 (図 1 8 , 図 1 9 参照) のように光ファイバが敷設されている。光ファイバ検出器 7 3 はこれらの光ファイバに接続され、光ファイバ内にレーザ光を導入し、光ファイバ内で発生した後方散乱光を検出して、光ファイバの長さ方向に沿った温度分布をリアルタイムに計測する。光ファイバ検出器 7 3 による温度計測の結果は制御部 7 1 にリアルタイムに伝達される。

【 0 0 8 0 】

温度センサ 7 4 は、ラック 1 1 , 6 1 に収納されている各計算機に内蔵された CPU の温度 (CPU 接合温度) を検出するセンサを示している。これらの温度センサ 7 4 による温度検出結果も制御部 7 1 にリアルタイムに伝達される。

30

【 0 0 8 1 】

制御部 7 1 は、光ファイバ検出器 7 3 及び温度センサ 7 4 から入力される信号 (データ) に基づいて空調機 7 2 を制御したり、各サーバラック 1 1 , 6 1 に設けられている排気ファン 6 3 を制御したり、グリル 4 1 の開口幅を調整するグリル調整機構 (又はグリル 4 1 に設けられた冷却用ファン) を制御する。以下、空調機 7 2、排気ファン 6 3 及びグリル調整機構等をまとめて空調冷却設備という。

【 0 0 8 2 】

図 2 6 は、上述したシステムにおける温度制御方法の概念を示す概念図である。制御部 7 1 には、光ファイバ検出器 7 3 による温度計測結果と、温度センサ 7 4 による CPU 温度の計測結果が入力される。また、制御部 7 1 には、CPU の許容温度並びに計算機ルームのラック内、天井近傍及びフリーアクセスフロア等における目標温度が入力される。目標温度は、CPU 等の仕様に基づいて設定された温度以下の温度であって、空調冷却設備の消費電力と全ラックの消費電力との和が最も小さくなるように設定される。

40

【 0 0 8 3 】

制御部 7 1 は、光ファイバ検出器 7 3 により計測された計算機ルーム内の温度分布及び温度センサ 7 4 による CPU 温度の検出値と目標温度と比較して、計算機ルーム内の各種空調冷却設備、すなわち空調機 7 2、グリル調整機構及び各ラック 1 1 , 6 1 の排気ファン 6 3 を制御する。これにより、計算機ルーム内の温度分布が変化する。その変化は光フ

50

ファイバ検出器 7 3 によりリアルタイムに計測され、制御部 7 1 に伝達（フィードバック）される。また、計算機ルームの温度分布の変化により、ラック 1 1 , 6 1 内に収納された計算機の CPU 温度が変化する。この CPU 温度の変化も温度センサ 7 4 によりリアルタイムに検出され、制御部 7 1 に伝達（フィードバック）される。

【 0 0 8 4 】

このようにして、制御部 7 1 は計算機ルーム内の各部の温度が目標温度になるように、空調冷却設備（空調機 7 2、グリル調整機構及び各ラック 1 1 , 6 1 の排気ファン 6 3 等）を制御する。

【 0 0 8 5 】

本実施形態では、光ファイバ検出器 7 3 及び温度センサ 7 4 により計算機ルーム内の温度分布をリアルタイムに計測し、その結果に基づいて制御部 7 1 が空調機 7 2、グリル調整機構及び各ラック 1 1 , 6 1 の排気ファン 6 3 等の空調冷却設備を制御して熱だまりの発生を防止するとともに、必要以上に冷却されている箇所がないようにしている。これにより、計算機ルームの冷房に要する電力の消費を抑制することができる。

【 0 0 8 6 】

図 2 7 は、実施形態に係る計算機ルームの温度制御システムの第 2 の構成例を示す模式図である。なお、図 2 7 において、図 2 5 と同一物には同一符号を付して、その詳しい説明は省略する。

【 0 0 8 7 】

負荷分散サーバラック 6 1 内に収納された負荷分散サーバに新規ジョブが投入されると、負荷分散サーバは新規ジョブの計算量と各計算機の稼働状態とに応じて、新規ジョブを処理する計算機を決定する。また、負荷分散サーバは、新規ジョブの計算量を示す情報と新規ジョブを処理する計算機とを示す情報を状態変数保存部 7 5 に送信する。

【 0 0 8 8 】

状態変数保存部 7 5 には、過去に処理したジョブの計算量、そのジョブを処理した計算機の CPU 温度変化、及びそのジョブを処理した計算機の CPU 温度を目標値とするための空調冷却設備制御パラメータ（グリル開口部の開口度及び排気ファンの回転数等）などの情報がデータベースとして蓄積されている。

【 0 0 8 9 】

状態変数保存部 7 5 は、負荷分散サーバから送られてきた新規ジョブの計算量とデータベース内に蓄積されている過去の同等のジョブの計算量とを比較し、ジョブを処理する計算機の CPU 温度を目標値とするための空調冷却設備制御パラメータ等の情報をデータベースから抽出して制御部 7 1 に出力する。

【 0 0 9 0 】

制御部 7 1 は、目標温度と、状態変数保存部 7 5 から入力される情報と、光ファイバ検出器 7 3 から入力される情報と、温度センサ 7 4 から入力される情報とに基づいて、計算機ルーム内の各種空調冷却設備、すなわち空調機 7 2、グリル調整機構及び各ラック 1 1 , 6 1 の排気ファン 6 3 を制御する。

【 0 0 9 1 】

図 2 8 は、上述したシステムにおける温度制御方法の概念を示す概念図である。

【 0 0 9 2 】

制御部 7 1 及び状態変数保存部 7 5 には、CPU の許容温度並びに計算機ルームのラック内、天井近傍及びフリーアクセスフロア等における目標温度が入力される。また、制御部 7 1 及び状態変数保存部 7 5 には、光ファイバ検出器 7 3 により計測された温度分布がリアルタイムに入力され、更に温度センサ 7 4 により計測された各計算機の CPU 温度がリアルタイムに入力される。

【 0 0 9 3 】

状態変数保存部 7 5 には、負荷分散サーバラック 6 1 内の負荷分散サーバから新規ジョブに関する情報及び新規ジョブを処理する計算機の情報が入力される。これらの情報が入力されると、状態変数保存部 7 5 は、新規ジョブの計算量と蓄積されているデータベース

10

20

30

40

50

の情報とを比較し、新規ジョブを処理する計算機のCPU温度を目標値にするために必要な空調冷却設備の制御パラメータをデータベースから抽出して制御部71に出力する。

【0094】

制御部71は、状態変数保存部75から入力した制御パラメータ、光ファイバ検出器73による温度分布の計測結果、及び温度センサ74による各計算機のCPU温度の計測結果に基づいて、空調冷却設備を制御する。この場合、制御部71は、新規ジョブの処理に伴うCPUの発熱を抑えるように、新規ジョブを処理する計算機を収納したラックの排気ファン63やそのラックの近傍のグリル調整機構等を制御する。

【0095】

本実施形態では、計算機が実際に新規ジョブの処理を開始する前（又は開始すると同時に）に該当する計算機が収納されているラックの排気ファンやグリル調整機構等を制御するので、CPUの温度上昇を抑制することができる。一般的に、CPUが発熱すると、リーク電流が増加して消費電力が増大する。本実施形態においては、予め負荷分散サーバからの情報により発熱が予想されるCPUが特定され、更にCPUの発熱量が予測されるので、CPUの発熱を抑えるように空調冷却設備を制御することが可能である。すなわち、本実施形態では、いわゆるフィードフォワード制御により冷却制御を制御して新規ジョブを処理する計算機のCPUの発熱を抑え、それによりCPUの発熱にともなう電力消費の増大を回避する。これにより、計算機ルームで消費する電力が削減されるという効果を奏する。

【0096】

図29は、上述した技術を水冷及び空冷を組み合わせたハイブリッド冷却方式に適用した例を示す模式図である。ここでは、相互に隣接して配置された3台のラック11を1組とし、各組毎にフリーアクセスフロア10を介してチラー76から冷却水（冷却媒体）を供給する配管77a及び冷却水供給ポンプ78と、熱交換後の冷却水をフリーアクセスフロア15を介してチラー76に戻す配管77bとが設けられている。

【0097】

第2の光ファイバ24bは、各ラック11の高温部（ラック内のCPU近傍c、排気口近傍d及びラック外側の天井近傍e等：図6参照）を通るように敷設されている。一方、第1の光ファイバ24aは、各ラック11の低温部（フリーアクセスフロア15のグリル近傍a及びラック内の吸気口近傍b等：図6参照）を通るように敷設されている。但し、図29に示すように、第1の光ファイバ24aは、各組毎に、ラック11内に導入される前に配管77aに所定長さ分（例えば1～4m）だけ巻き付けられ、ラック11から導出された後に所定長さ分だけ配管77bに巻き付けられている。

【0098】

第1の光ファイバ検出器73aは第1の光ファイバ24aに接続されており、第2の光ファイバ検出器73bは第2の光ファイバ24bに接続されている。制御部71は、これらの光ファイバ検出器73a、73bにより検出された計算機ルーム内の温度分布に基づき、計算機ルーム内の各部の温度が目標温度となるように、空調機72、各ラック11の排気ファン61、冷却水供給ポンプ78及びグリル調整機構等（図25参照）を制御する。

【0099】

本実施形態では、第1の光ファイバ24aを冷却水が通る配管77a、77bに巻き付けている。冷却水が通る配管77a、77bは温度変化が比較的少なく、かつ光ファイバ24aを所定長さ分だけ巻き付けているので、この部分の温度を精度よく計測することができる。この部分の温度計測値を基準として他の部分の温度の計測値を補正することにより、他の部分の温度の計測精度をより一層向上させることができる。

【0100】

また、本実施形態では光ファイバによる温度分布計測系を2系統（第1の光ファイバ24aと第1の光ファイバ検出器73a、及び第2の光ファイバ24bと第2の光ファイバ検出器73b）有しているので、仮に一方の温度分布計測系が故障又はメンテナンスによ

10

20

30

40

50

り使用できなくても、マージンを広げる必要はあるが他方の温度分布計測系のみで温度分布を計測してシステムを運用することが可能である。これにより、システムの連続動作が可能である。

【0101】

更に、本実施形態では、第1の光ファイバ24aによりラック11に導入される前の冷却水の温度及びラック11から排出された冷却水の温度がわかるので、ラック11内で熱交換された熱量を把握することができる。また、制御部71により冷却水供給ポンプ78による冷却水供給量を制御することにより、計算機ルーム内の各部の温度をより詳細に調整することができる。

【0102】

(風量測定)

計算機ルーム内の空調機を適切に稼働させるためには、各ラックから排出されるエアの温度を計測するだけでなく、各ラックから排出されるエアの量を知ることが重要である。ファンの回転数からエアの排出量(又はラックに取り込まれるエアの量)を推定することが考えられるが、通常1台のラックには複数のファンが配置されているので、この方法ではラックから排出されるエアの量を精度よく求めることは困難である。

【0103】

そこで、例えばラックの吸気口又は排気口に風速計を配置して風速を測定し、風速と吸気口又は排気口の面積とから単位時間当たりの風量を演算して求めることが考えられる。この場合、吸気口又は排気口を通流するエアの流れをできるだけ乱さないようにする必要はある。

【0104】

超小型風速センサとしてサーマル式風速センサ、超音波式風速センサ及びベーンホイール式風速センサなどが市販されており、これらの風速センサを使用することにより、吸気口又は排気口を通流するエアの流れを殆ど乱すことなく風速を測定することができる。しかし、これらの風速センサはいずれもセンサが配置された場所(ポイント)の風速を測定するものであり、吸気口又は排気口を通流するエアの平均風速を測定するものではない。以下、上述したように設置された場所(ポイント)の風速を検出する超小型の風速センサを、ポイント測定型風速センサと呼ぶ。

【0105】

吸気口又は排気口を通流するエアの風速を測定してラックから排出される風量を求める方法では、風量の測定精度は吸気口又は排気口を通流するエアの平均風速の測定精度に依存する。従って、吸気口又は排気口に多数のポイント測定型風速センサを取り付け、それらのセンサで測定した風速の平均値を演算して平均風速の測定精度を向上させることが考えられる。しかし、その場合はセンサの数が多くなるほど平均風速の測定精度は向上するものの、センサの設置や保守管理に要するコストが高くなるという問題がある。

【0106】

図30は、本実施形態に係る風量測定装置及び風量測定方法を示す模式図である。本実施形態では、電子機器(計算機及びストレージ等)83を収納したラック11の吸気側及び排気側に光ファイバ81a, 81bを敷設し、それらの光ファイバ81a, 81bを光ファイバ検出器91に接続する。光ファイバ検出器91は、図2に示す温度分布測定装置と同様の構造を有し、光ファイバ81a, 81bが敷設されたラック11の吸気側及び排気側のエアの平均温度をほぼリアルタイムに測定して、演算部90に出力する。

【0107】

一方、電力検出部92は、ラック11内の電子機器83の総消費電力をほぼリアルタイムに検出し、演算部90に出力する。演算部90は、光ファイバ検出器91で検出したラック11の吸気側及び排気側のエアの平均温度と、電力検出部92で検出した消費電力とから、ラック11から排出されるエアの量(風量)を検出する。

【0108】

ラック11内の電子機器83が稼働している場合、ラック11の吸気口を通るエア(

10

20

30

40

50

以下、吸気側エアという)の平均温度よりもラック11の排気口を通るエア(以下、排気側エアという)の平均温度のほうが高くなる。吸気側エアの平均温度と排気側エアの平均温度との差は、ラック11内の電子機器83で発生する熱量とラック11内を通るエアの量とに関係する。

【0109】

ラック11内の電子機器83で発生する熱量を Q (kcal/min)とし、ラック11から排出されるエアの量(風量)を U (m^3/min)とし、吸気側エアの平均温度と排気側エアの平均温度との温度差を T ()とすると、それらの間には下記(2)式で示す関係がある。

【0110】

$$Q = U \times C \times T \dots (2)$$

ここで、 C は定数であり、空気の比熱 0.24 (kcal/kg/)を標準空気(温度が 20 、 1 気圧(760 mmHg)の空気)の比容積 0.83 (m^3/kg)で割り算(除算)した値、すなわち 0.29 (kcal/ m^3 /)を用いることができる。

【0111】

熱量 Q は、ラック11内に収納された電子機器83の総消費電力 P (kW)を測定し、下記(3)式により求めることができる。

【0112】

$$Q = P \times 60 / 4.19 \dots (3)$$

従って、ラック11から排出されるエアの量 U は、下記(4)式により求めることができる。

【0113】

$$U = P \times 60 / (T \times 4.19 \times 0.29) \dots (4)$$

すなわち、吸気側エアの平均温度と排気側エアの平均温度との差 T と、ラック11内に収納された電子機器83の総消費電力 P とがわかれば、ラック11から排出されるエアの量(風量)を計算により求めることができる。電子機器83の総消費電力 P を検出する電力検出部92としては、例えば市販の各種電力計を用いることができる。

【0114】

前述したように、本実施形態では、ラック11の吸気側及び排気側にそれぞれ光ファイバ81a, 81bを敷設し、それらの光ファイバ81a, 81bを光ファイバ検出器91に接続してラック11の吸気側及び排気側の温度分布を測定する。

【0115】

光ファイバによる温度分布測定はローパス特性を有しており、図9に示すように温度が急峻に変化する場合、すなわち実温度分布に高周波成分が含まれている場合は、計測温度分布のピークが低くなり、幅が広がる。しかし、計測温度分布の積分値と実温度分布の積分値とは比例関係を有しており、予め計測温度分布の積分値と実温度分布の積分値との関係を調べておけば、計測温度分布の積分値から吸気側エア及び排気側エアの平均温度を算出することができる。

【0116】

なお、吸気側エア及び排気側エアの平均温度を求めるために、例えばラックの吸気口及び排気口にそれぞれ複数のポイント測定型温度センサを取り付け、それらのポイント測定型温度センサにより測定される温度の平均を演算して平均温度とすることが考えられる。ここで、ポイント測定型温度センサとは、例えば熱電対のように設置された場所(ポイント)の温度を検出するセンサをいう。

【0117】

ポイント測定型温度センサで平均温度を検出する場合、平均温度の精度を高くしようとするとセンサの数が多くなり、センサの設置や保守管理に要するコストが上昇する。これに対し光ファイバによる温度分布測定では、測定領域に配置された光ファイバ全体で温度を検出するため、光ファイバの長さ方向に沿って無限個の温度センサが設置されていると考えることができる。

10

20

30

40

50

【0118】

すなわち、光ファイバ温度分布測定装置では、多数のポイント測定型温度センサを用いて測定したのと同様、又はそれ以上の精度で平均温度を測定することができる。その結果、ラックから排出されるエアーの量（風量）を良好な精度で測定することができ、その測定結果に基づいて計算機ルームの空調機の稼働状態を適切に制御することができる。また、ラックから排出されるエアーの量を吸気口又は排気口の面積で割り算（除算）することにより、吸気口又は排気口における風速を求めることができる。

【0119】

以下、本実施形態に係る風量測定方法（実施例）について、比較例と比較しながら更に詳細に説明する。

10

【0120】

実施例として、図3-1に示すように、電子機器（図示せず）が収納されたラック1-1の吸気側及び排気側に光ファイバ8-1を敷設して温度分布を測定する。この図3-1に示す例では、光ファイバ8-1を、フリーアクセスフロア1-5からラック1-1内に導入し、ラック1-1内の所定の計測ポイントを通してフリーアクセスフロア1-5に戻るよう敷設している。計測ポイントは、ラック1-1の高さ方向の温度分布だけでなく、幅方向の温度分布も測定できるように設定している。ここでは、相互に隣接する計測ポイントの間隔は0.25mとする。図3-1中の丸印は計測ポイントの位置を示しており、各計測ポイントには、光ファイバ8-1の長さ方向に沿って番号を付している。

20

【0121】

すなわち、ラック1-1内に導入される直前のフリーアクセスフロア1-5内の計測ポイントをNo.0、ラック1-1内に導入された光ファイバ8-1の最初の計測ポイントをNo.1、...、ラック1-1から導出される直前の計測ポイントをNo.2-1、ラック1-1からフリーアクセスフロアに導入された直後の計測ポイントをNo.2-2というように、各計測ポイントに番号を付している。ラック1-1内の計測ポイントはNo.1からNo.2-1までの2-1箇所である。

【0122】

なお、ラック1-1に導入前及びラック1-1から導出後の光ファイバ8-1（フリーアクセスフロア1-5内に配置された光ファイバ）にも0.25m毎に計測ポイントを設定している。また、フリーアクセスフロア1-5内の温度は20.5℃に維持されているものとする。

30

【0123】

一方、比較例として、図3-2に示すように電子機器（図示せず）が収納されたラック1-1の吸気側及び排気側の計測ポイントに熱電対（ポイント測定型温度センサ）8-5を設置し、吸気側及び排気側の温度分布を計測する。図3-3に、熱電対8-5により計測した各計測ポイントの温度の例を示す。

【0124】

図3-4は、横軸に光ファイバの長さ方向の位置をとり、縦軸に計測温度をとって、光ファイバ及び熱電対で計測した吸気側の計測温度分布をシミュレーションした結果を示す図である。また、図3-5は、横軸に光ファイバの長さ方向の位置をとり、縦軸に計測温度をとって、光ファイバ及び熱電対で計測した排気側の計測温度分布をシミュレーションした結果を示す図である。これらの図3-4、図3-5において、光ファイバ8-1の2.25mの位置が計測ポイントNo.0に対応し、2.5mの位置が計測ポイントNo.1に対応し、7.5mの位置が計測ポイントNo.2-1に対応している。また、図3-4、図3-5では、便宜上、熱電対8-5による温度分布の計測ポイントの位置を、光ファイバ8-1による温度分布の計測ポイントに対応させている。例えば図3-2のNo.1の計測ポイントに配置された熱電対8-5により計測された温度は、2.5m、3.5m及び7.5mの位置の温度に反映される。

40

【0125】

図3-4に示すように、計測ポイント間の温度差が小さい吸気側では、光ファイバで計測

50

した温度分布と熱電対により計測した温度分布とはほぼ一致している。これに対し、計測ポイント間の温度差が大きくなる排気側では、光ファイバで測定した温度分布は、図35に示すように計測ポイントNo. 1 (2 . 5 m) 及びNo. 2 1 (7 . 5 m) の外側まで大きく広がっている。ピーク温度に対し温度分布がどの程度広がるのかは光ファイバ温度計測装置 (光ファイバ 8 1 及び光ファイバ検出器 9 1) の特性に依存する。逆に、予め光ファイバ温度分布計測装置の特性を調べておけば、ピーク温度に対し温度分布がどの程度広がるのかを知ることができる。

【 0 1 2 6 】

ここでは、光ファイバにより計測した温度分布は、図35に示すようにマイナス側に 0 . 2 5 m の位置まで広がり、プラス側に 9 . 7 5 m の位置まで広がるものとする。すなわち、温度分布の積分値を演算する場合に、0 . 2 5 m の位置から 9 . 7 5 m の位置までを積分範囲とする。この間の計測ポイントの数は 3 9 である。平均温度を求める場合は、これら 3 9 の計測ポイントの計測値を積分し、ラック 1 1 内の計測ポイントの数 (すなわち 2 1) で割り算 (除算) する。

10

【 0 1 2 7 】

また、前述したように、計測温度分布の積分値と実温度分布の積分値とは比例することがわかっているが、比例定数は光ファイバ及び光ファイバ検出器光ファイバ温度分布計測装置の特性に依存する。従って、平均温度を算出するためには、予め比例定数を実験的に求めておくことも必要である。ここでは、比例定数の値を 1 . 0 3 とする。

20

【 0 1 2 8 】

熱電対 8 5 により計測した温度から平均温度を求める場合は、単純にラック 1 1 の吸気側 (又は排気側) に配置された各熱電対 8 5 による測定値を加算して計測ポイントの個数で割り算すればよい。例えば図32のNo. 1 からNo. 1 1 までの計測ポイントの温度を T_1 , T_2 , ... , T_{11} とすると、平均温度 T_{ave} は、 $T_{ave} = (T_1 + T_2 + \dots + T_{11}) / 11$ となる。また、ラック 1 1 の中心線 (図32に一点鎖線で示す) 上の 3 点の測定ポイント (No. 2 , No. 6 , No. 1 0) の測定値で平均温度 T_{ave} を計算する場合は、 $T_{ave} = (T_2 + T_6 + T_{10}) / 3$ となる。

【 0 1 2 9 】

一方、光ファイバにより計測した温度分布から平均温度 T_{ave} を求める場合は、0 . 2 5 m の位置から 9 . 7 5 m の位置までの 3 9 の計測ポイントの温度を T_1 , T_2 , ... , T_{39} とし、フリーアクセスフロアの温度 (基準温度) を T_c とすると、下記 (5) 式に示すようになる。

30

【 0 1 3 0 】

$$T_{ave} = ((T_1 - T_c) + (T_2 - T_c) + \dots + (T_{39} - T_c)) \times (1 / 1 . 0 3) \times (1 / 2 1) + T_c \quad \dots (5)$$

図36に、光ファイバ温度分布計測装置によって求めた平均温度、No. 2 , No. 6 , No. 1 0 の計測ポイントに配置された 3 個の熱電対 8 5 により求めた平均温度、No. 1 からNo. 1 1 までの計測ポイントに配置された 1 1 個の熱電対により求めた平均温度を示す。

【 0 1 3 1 】

また、ラック 1 1 内に収納された電子機器 8 3 の総消費電力を 3 . 8 k W とし、前述の (4) 式を用いて求めた風量と、その風量を用いて計算したラック 1 1 の吸気口及び排気口における風速とを図36に示す。なお、風速は、ラック 1 1 の吸気口及び排気口の面積を 0 . 4 0 m² として求めている。

40

【 0 1 3 2 】

この図36からわかるように、温度分布のばらつきが比較的小さい吸気側では、光ファイバを用いて測定した平均温度と、3 個の熱電対を用いて測定した平均温度と、1 1 個の熱電対を用いて測定した平均温度とはほぼ一致している。しかし、温度分布のばらつきが大きい排気側では、光ファイバを用いて測定した平均温度と 1 1 個の熱電対を用いて測定した平均温度とはほぼ一致しているが、3 個の熱電対を用いて測定した平均温度は他の方法により測定した平均温度との差が大きい。従って、それらの平均温度を用いて計算した

50

風量及び風速についても、光ファイバを用いて測定した場合と11個の光ファイバを用いて測定した場合とではほぼ一致し、3個の熱電対を用いて測定した場合の値は他の方法により測定した場合の値との差が大きい。

【0133】

以上から、光ファイバを用いる方法は、多数のポイント測定型温度センサを用いる方法に比べて同等、又はそれ以上の精度で風量及び風速を測定することができることが確認された。

【0134】

なお、上述した例ではラックから排出されるエアーの量（風量）及び吸気口又は排気口における風速を測定する場合について説明したが、開示した技術をラック以外から排出（又は吸気）されるエアーの量又は風速の測定に使用することができる。

10

【0135】

また、上述した例では吸気側及び排気側に同じように光ファイバを敷設しているが、吸気側と排気側とで光ファイバの敷設を変えてもよい。例えば、吸気側では計測ポイントの位置による温度差が小さいため、光ファイバの敷設を簡略化しても風量の測定精度は殆ど劣化しないと考えられる。

【0136】

（発熱量測定方法）

図37は、実施形態に係る発熱量測定装置及び発熱量測定方法を示す模式図である。なお、図37において図30と同一物には同一符号を付している。

20

【0137】

本実施形態では、電子機器（計算機及びストレージ等）83を収納したラック11の吸気側及び排気側に温度測定用光ファイバ101a, 101bを敷設し、これらの光ファイバ101a, 101bを光ファイバ検出器111に接続する。また、ラック11の吸気側又は排気側の少なくとも一方（図37では吸気側のみ）に風速（エアーの流速）測定用光ファイバ102を敷設し、この風速測定用光ファイバ102も光ファイバ検出器111に接続する。

【0138】

光ファイバ検出器111は、基本的に図2に示す温度分布測定装置と同様の構造を有しており、温度測定用光ファイバ101a, 101bにレーザパルスを供給する。そして、光ファイバ検出器111は、光ファイバ101a, 101b内で発生した後方散乱光を検出し、その検出結果に基づいてラック11の吸気側及び排気側の平均温度を算出し、演算部112に出力する。

30

【0139】

風速測定用光ファイバ102は、光ファイバとその近傍に配置された発熱体（電熱線）とにより形成される。例えば特許文献6, 7には、光ファイバの近傍に発熱体を配置して流体の速度を検出する装置が記載されている。本実施形態では、風速測定用光ファイバ102として、光ファイバの所定の部分の周囲に電熱線を巻いたものを使用する。パイプ状に形成された発熱体と、その発熱体を挿通する光ファイバとにより風速測定用光ファイバ102を形成してもよい。

40

【0140】

光ファイバ検出器111は、風速測定用光ファイバ102にもレーザパルスを供給し、光ファイバ内で発生した後方散乱光により発熱体近傍の温度を検出する。光ファイバ検出器111には予め実験等により得た風速と温度との関係が記憶されており、発熱体近傍の温度を風速に換算して演算部112に出力する。

【0141】

演算部112は、光ファイバ検出器111から取得したラック11の吸気側及び排気側の平均温度と、吸気側（又は排気側）におけるエアーの平均流速とから、ラック11内に収納された電子装置83等からの発熱量（総発熱量）を演算し、表示装置（図示せず）等

50

【 0 1 4 2 】

ラック 1 1 内の発熱量を Q (kcal/min) とし、吸気側の平均風速を F_{in} (m/min)、排気側の平均風速を F_{out} (m/min)、吸気側の平均温度を T_{in} ()、排気側の平均温度を T_{out} ()、吸気側の開口部の総面積を A_{in} (m²)、排気側の開口部の総面積を A_{out} (m²) とすると、下記 (6) 式が成り立つ。

【 0 1 4 3 】

$$Q = C (F_{out} \cdot A_{out}) \times (T_{out} - T_{in}) = C (F_{in} \cdot A_{in}) \times (T_{out} - T_{in}) \quad \dots (6)$$

但し、 C は定数。

【 0 1 4 4 】

本実施形態では、ラック 1 1 の吸気側及び排気側の平均温度と、ラック 1 1 の吸気側又は排気側の平均風速とにより、ラック 1 1 内で発生する熱量を精度よく、且つリアルタイムで測定することができる。

【 0 1 4 5 】

なお、風速測定用光ファイバ 1 0 2 に替えて、前述したポイント測定型風速センサを使用することが考えられる。しかし、その場合はセンサの数が少ないと測定精度が低くなり、センサの数が多いとセンサの設置や保守管理に要するコストが高くなるという問題がある。本実施形態のように光ファイバを用いて風速を測定することにより、ラック 1 1 の吸気側又は排気側における平均風速を精度よく測定することができ、その結果発熱量の測定精度も高くなる。

【 0 1 4 6 】

上述した例では電子機器 8 3 が収納されたラック 1 1 内の発熱量を測定する場合について説明したが、開示した技術をラック以外の容器 (吸気口及び排気口が設けられた容器) 内で発生する熱量の測定に使用してもよい。

【 符号の説明 】

【 0 1 4 7 】

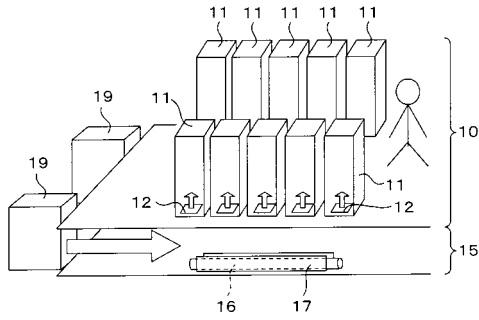
1 0 ... 機器設置エリア、1 1 , 6 1 ... ラック、1 2 , 4 1 , 6 2 ... グリル (通風口)、1 5 ... フリーアクセスフロア、1 6 ... ケーブル、1 7 ... ケーブルダクト、1 9 , 7 2 ... 空調機、2 1 ... レーザ光源、2 2 a , 2 2 b ... レンズ、2 3 , 3 1 a , 3 1 b , 3 1 c ... ビームスプリッタ、2 4 , 2 4 a , 2 4 b 8 1 , 8 1 a , 8 1 b ... 光ファイバ、2 5 ... 波長分離部、2 6 ... 光検出器、2 6 a , 2 2 6 b , 2 6 c ... 受光部、3 3 a , 3 3 b , 3 3 c ... 光学フィルタ、3 4 a , 3 4 b , 3 4 c ... 集光レンズ、5 1 a , 5 1 b , 5 2 , 5 4 , 5 6 , 7 3 , 9 1 ... 光ファイバ検出器、5 3 , 5 5 , 5 7 ... 切替器、6 3 ... 排気ファン、7 1 ... 制御部、7 4 ... 温度センサ、7 5 ... 状態変数保存部、8 5 ... 熱電対、9 0 ... 演算部、9 2 ... 電力検出部、1 0 1 a , 1 0 1 b ... 温度測定用光ファイバ、1 0 2 ... 風速測定用光ファイバ、1 1 1 ... 光ファイバ検出器、1 1 2 ... 演算部。

10

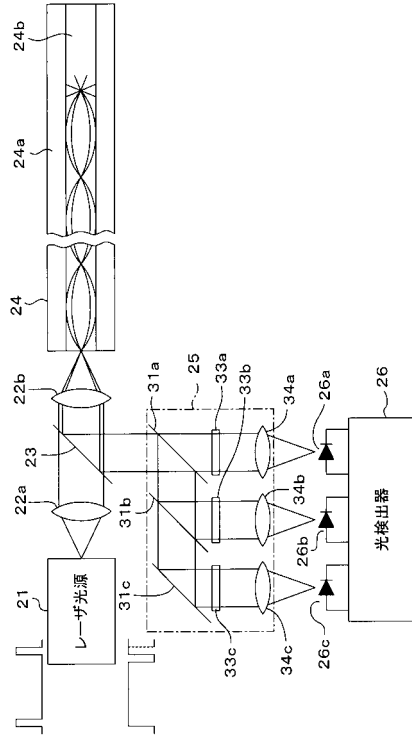
20

30

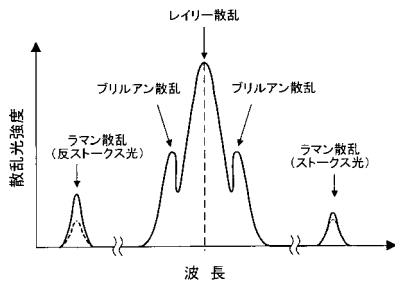
【 図 1 】



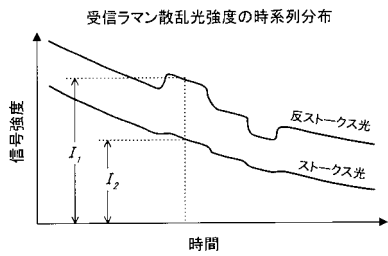
【 図 2 】



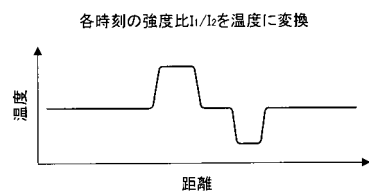
【 図 3 】



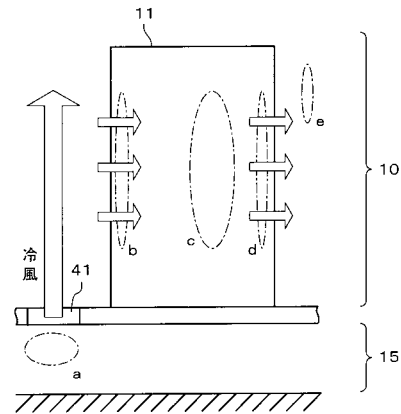
【 図 4 】



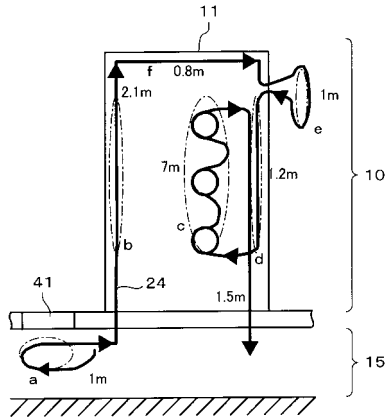
【 図 5 】



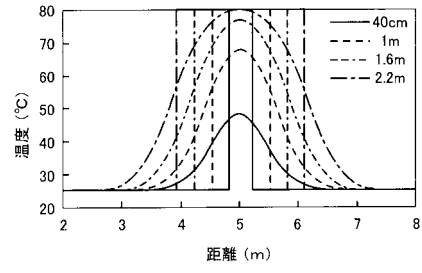
【 図 6 】



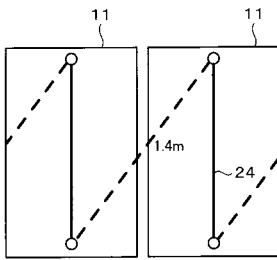
【 図 7 】



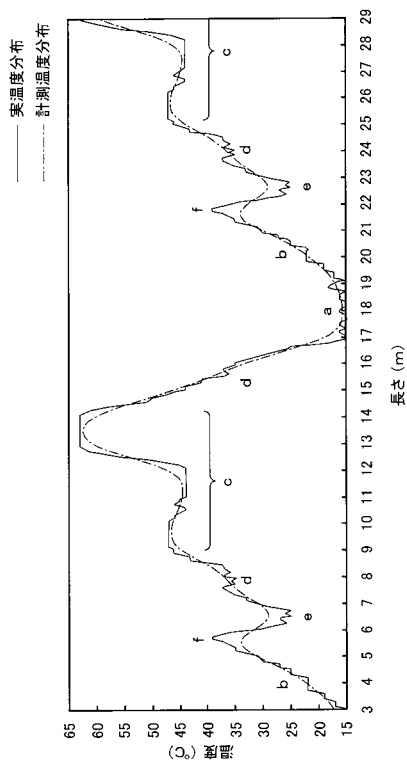
【 図 9 】



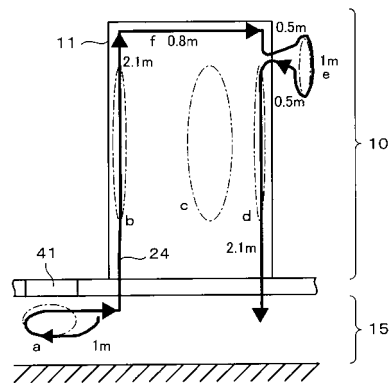
【 図 8 】



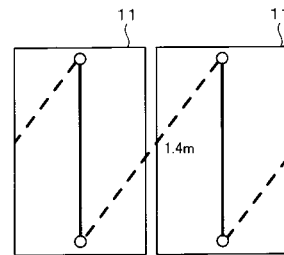
【 図 10 】



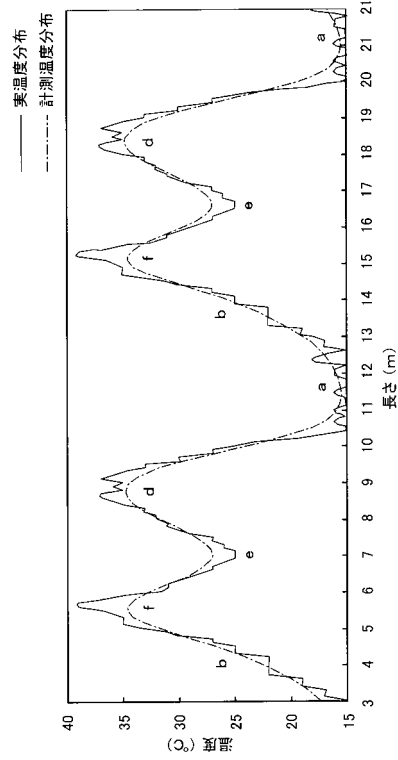
【 図 11 】



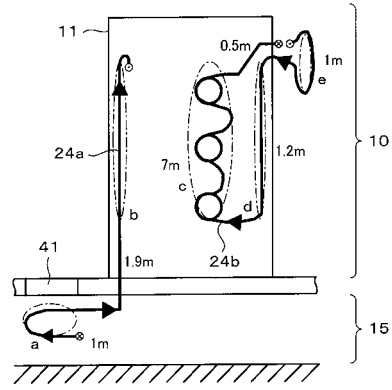
【 図 12 】



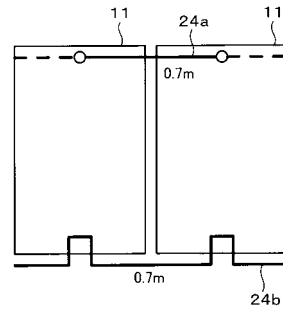
【 図 1 3 】



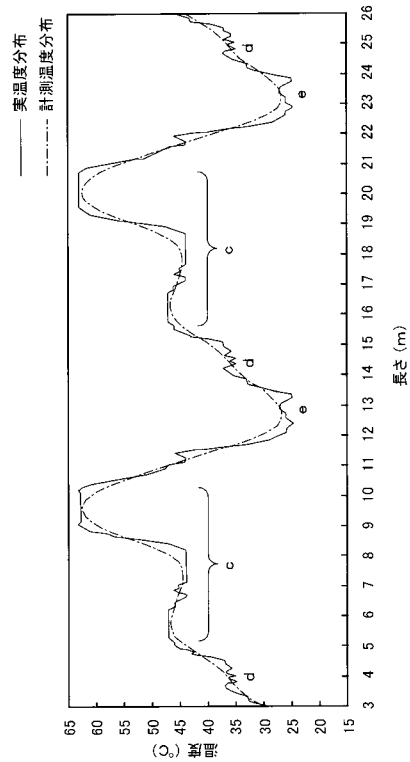
【 図 1 4 】



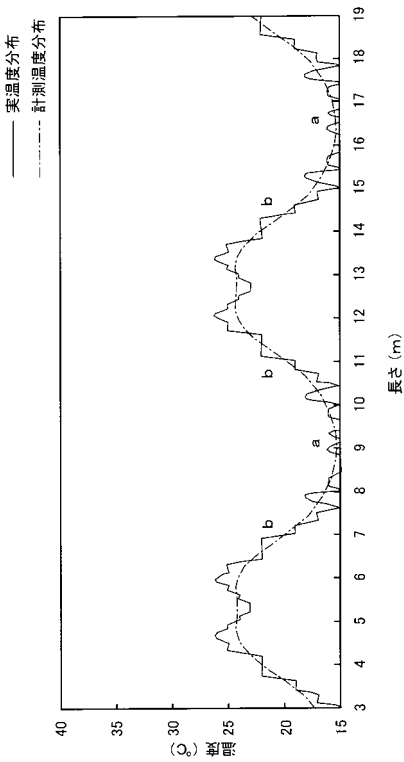
【 図 1 5 】



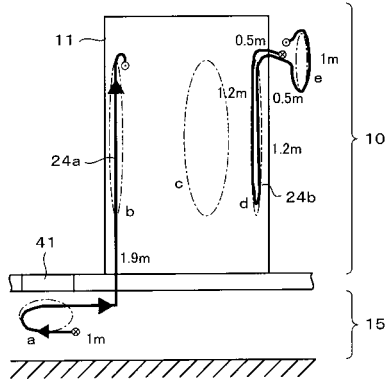
【 図 1 6 】



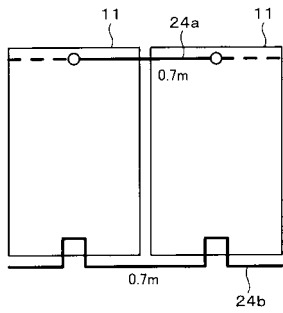
【 図 1 7 】



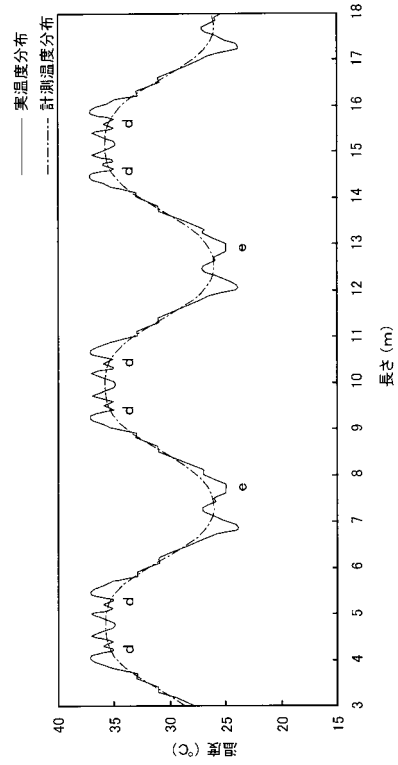
【図18】



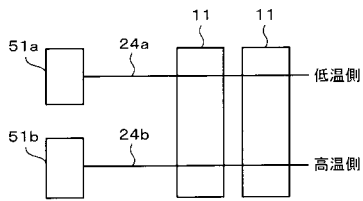
【図19】



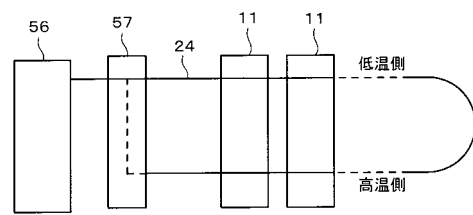
【図20】



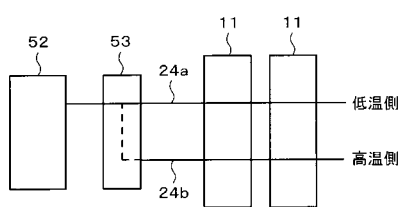
【図21】



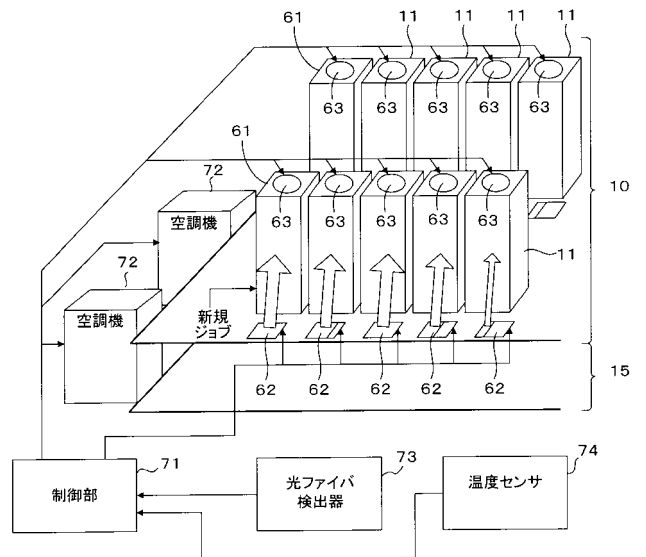
【図24】



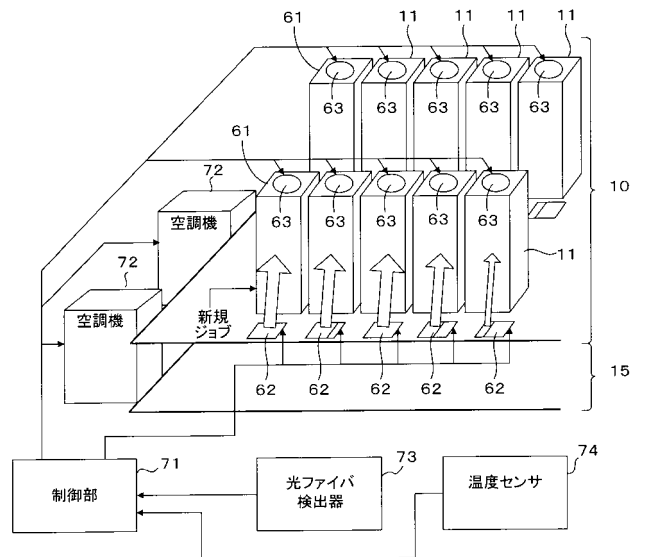
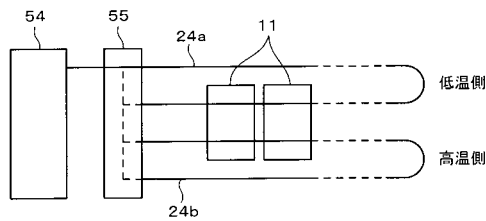
【図22】



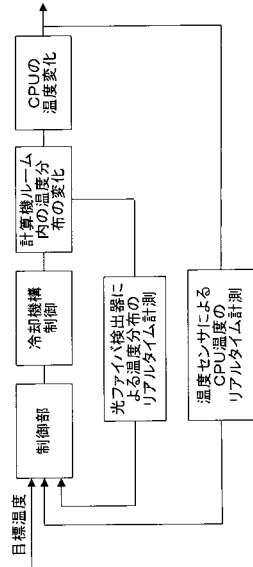
【図25】



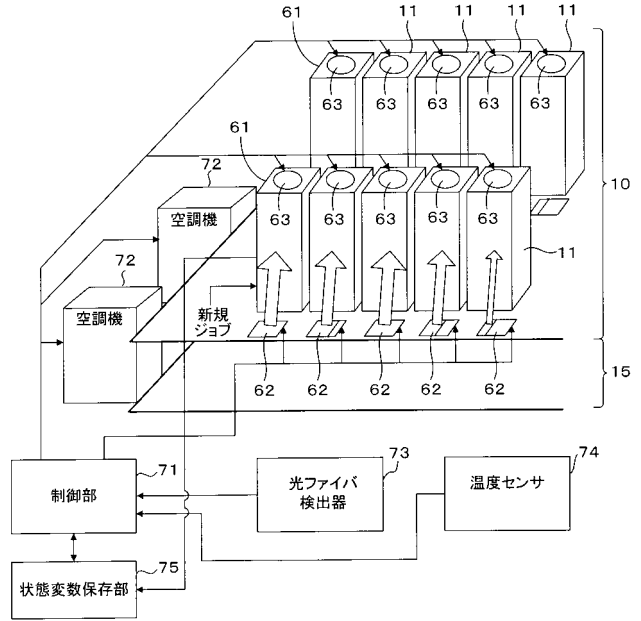
【図23】



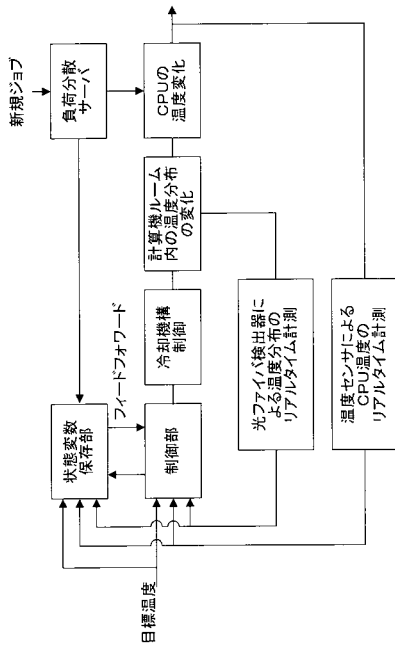
【図 26】



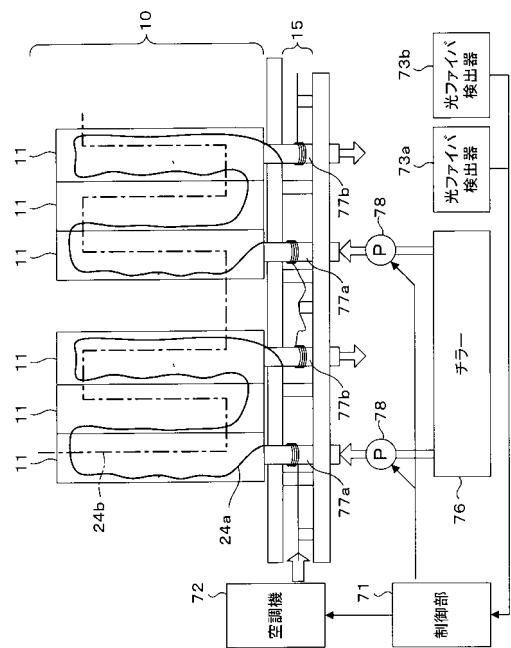
【図 27】



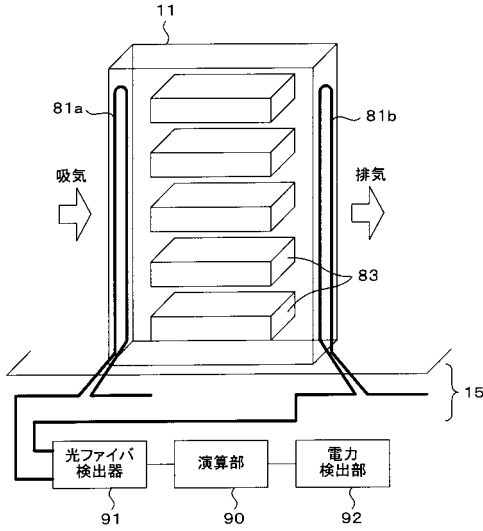
【図 28】



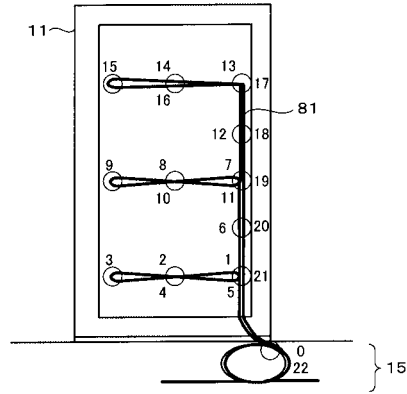
【図 29】



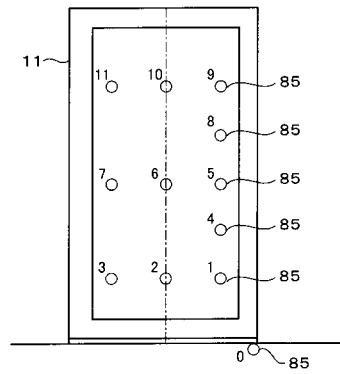
【図 3 0】



【図 3 1】



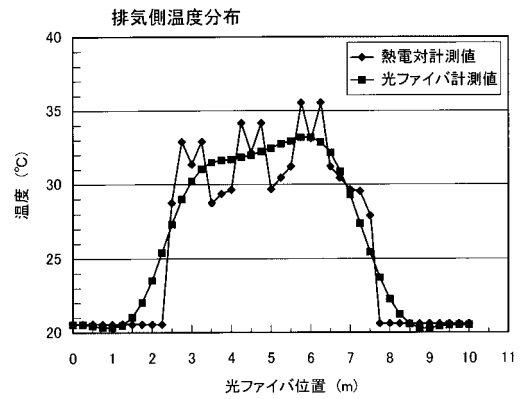
【図 3 2】



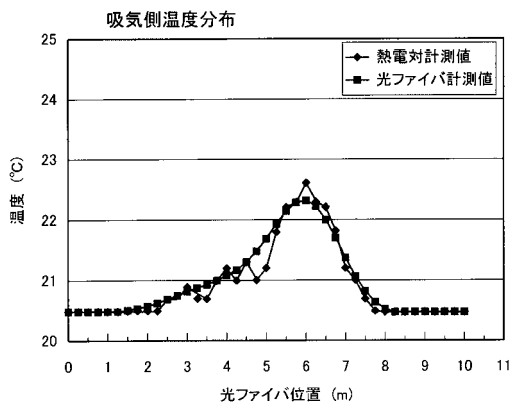
【図 3 3】

計測ポイント	吸気側温度(°C)	排気側温度(°C)
No.0	20.5	20.5
No.1	20.7	28.7
No.2	20.7	32.9
No.3	20.9	31.3
No.4	21.0	29.3
No.5	21.2	29.6
No.6	21.0	34.1
No.7	21.3	32.1
No.8	21.8	30.5
No.9	22.2	31.3
No.10	22.3	35.6
No.11	22.6	32.9

【図 3 5】



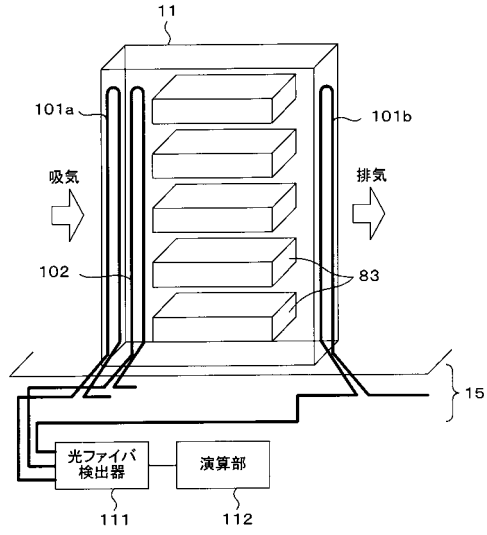
【図 3 4】



【図 3 6】

	光ファイバ計測	熱電対 (No.2,6,10)	熱電対 (No.1~11)
吸気側平均温度	21.4°C	21.3°C	21.4°C
排気側平均温度	21.4°C	34.2°C	31.4°C
風量 (m³/min)	19.0	14.5	18.8
風速 (m/s)	0.79	0.60	0.78

【図 37】



フロントページの続き

(72)発明者 吉田 宏章

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) 2F035 EA05

2F056 EM00 VF02 VF17