

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G01N 15/02

F 1

G01N 15/02

テーマコード (参考)

A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2003-294227 (P2003-294227)  
(22) 出願日 平成15年8月18日 (2003. 8. 18)

(71) 出願人 000004097  
日本原子力研究所  
千葉県柏市未広町14番1号  
(74) 代理人 100089705  
弁理士 社本 一夫  
(74) 代理人 100076691  
弁理士 増井 忠式  
(74) 代理人 100075270  
弁理士 小林 泰  
(74) 代理人 100080137  
弁理士 千葉 昭男  
(74) 代理人 100096013  
弁理士 富田 博行  
(74) 代理人 100092015  
弁理士 桜井 周矩

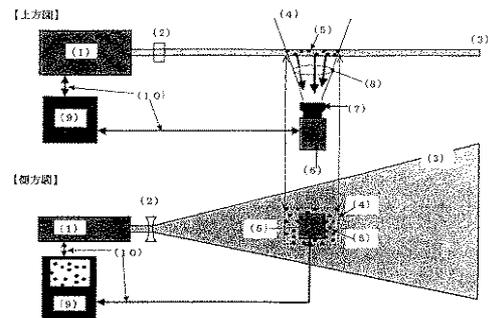
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 側方散乱光を用いた遠隔レーザーレーダー微粒子計数装置

(57) 【要約】

【課題】 従来のレーザーレーダー方式では、大気中遠方の限られた空間にある微粒子にレーザー光を照射して、微粒子個々からの散乱光を一つずつ検出しなければならないという問題点がある。

【解決手段】 レーザー光をシート状に大気中に出射し、そのシート面内の微粒子個々から側方散乱光を発生させ、レーザー光のシート面の垂直方向に備え付けられた高感度2次元光検出器で微粒子個々からの側方散乱光を計測することにより気中の個々の微粒子を斑点状の画像として計測し、この画像中の斑点の数、及び斑点の輝度を解析することにより、遠方の限られた空間に存在する微粒子の数、密度、粒径分布及び空間分布等を同時に算出する、側方散乱光を用いた遠隔レーザーレーダー微粒子計数装置。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

レーザーレーダー装置において、レーザー出射地点より遠方にある大気または室内中に浮遊する微粒子(エアロゾル)群に向けてレーザー光をシート状に拡大して照射し、レーザー光との相互作用によって微粒子個々から生じる側方散乱光を画像として検出することにより、大気中に浮遊する微粒子等の数、密度、粒径分布等を遠隔で同時に計測することを可能とする、側方散乱光を用いた遠隔レーザーレーダー微粒子計数装置。

## 【請求項2】

前記装置は、レーザー装置、レーザー拡大出射光学系、側方散乱光の集光光学系(望遠レンズ等)、側方散乱光を検出する高感度2次元光検出器(CCDカメラ等)及び計測制御システムから構成され、レーザーの出射方向に対して横方向、かつレーザー光のシート面の主に垂直方向からレーザー照射領域によって微粒子個々から発する側方散乱光を画像として計測することが可能であることを特徴とする請求項1記載の装置。

## 【請求項3】

集光光学系の観測視野を出射拡大されたレーザー光シート面内に設置し、かつ高感度2次元光検出器のシャッター機能を用いてシャッター時間内にその観測視野内をレーザー光が通過するように設定することにより、この視野内のレーザー光シート面から発する微粒子個々の側方散乱光を高感度2次元光検出器で画像として検出し、側方散乱光の数及び強度から微粒子の数、粒径を同時に測定することが可能な請求項1記載の装置。

## 【請求項4】

高感度2次元光検出器で計測される大気中の微粒子個々からの側方散乱光画像は、斑点状の小さな点が集合したものである。この斑点をカウントし、かつ斑点の輝度を計測することにより、シート状のレーザー照射領域内の限られた空間の微粒子の数、密度、かつその斑点の輝度により微粒子の粒径分布を計測することを可能とする請求項1記載の装置。

## 【請求項5】

レーザー光の出射方向、または計測するレーザー光のシート面からの側方散乱光の計測位置を変化させることにより、大気中の微粒子の数量、粒径分布等の空間3次元分布情報を同時に得ることができる請求項1記載の装置。

## 【請求項6】

高感度2次元光検出器のシャッター時間を変化させることにより計測される画像内の気中微粒子の画面内での空間及び時間的な変化を捕捉し、これを解析することにより、微粒子の運動速度、大気及び室内の風速、風向情報等を同時に得ることを可能とする請求項1記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、レーザー光をシート状に大気中に出射し、そのシート面内の微粒子個々から側方散乱光を発生させ、レーザー光のシート面の垂直方向に備え付けられた高感度2次元光検出器で微粒子個々からの側方散乱光を計測することにより気中の個々の微粒子を斑点状の画像として計測し、この画像中の斑点の数、及び斑点の輝度を解析することにより、遠方の限られた空間に存在する微粒子の数、密度、粒径分布及び空間分布等を同時に算出する、側方散乱光を用いた遠隔レーザーレーダー微粒子計数装置に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来の技術では、地上及び室内においてレーザー光散乱方式のパーティクルカウンター装置またはインパクト装置等を用いて大気中の微粒子を空気を吸引することによって装置内に取り込み、微粒子の数、密度及びその粒径分布を求めものである。しかし、これら装置では地上または観測地点から数m、数十m或いは数百m離れた気中の空気を吸引することによって浮遊する微粒子の数及びその粒径分布を直接計測することは不可能である。

## 【0003】

従来のレーザーレーダー方式なら遠方大気中の微粒子の濃淡等の相対的なデータ、情報を後方散乱光から得ることは可能であるが、微粒子個数、密度或いは粒径分布を直接且つ同時に計測することは不可能である。

## 【0004】

又、その他の従来技術として、下記の特許文献

(1)、(2)及び(3)に公開されたものがある。

(1)真空装置の排気管内の排気流とともに流れる一つの微粒子に着目し、パーティクルの速度、粒子の大きさを、レーザー光を照射して微粒子から発生する散乱光をCCD受光素子で撮像受光して測定する方法である(特許文献1)。この発明は、基本的に配管等のある流体の中をCCD受光素子で捕らえた連続的な微粒子の画像の動きから微粒子の速度、粒径を求める方法である。しかし、この方法は、本発明のように空気中を対象とした気中の粒子数、粒径分布を同時に計測することを可能とする方法とは異なる。

## 【0005】

(2)バックグラウンドとして流体の散乱の影響を取り除き、S/N比を高く、且つ精度良く微粒子(粒子径乃至粒子数)を検出できる微粒子計測装置である(特許文献2)。この特許文献2の特徴は、微粒子を取り巻く流体中からのバックグラウンド光を微粒子の散乱光と分離する手法である。微粒子を計測する手段は、本発明と異なり、微粒子からの散乱光を画像としてではなく、一つ一つフォトダイオードで個別にカウントする従来の方式を採用している。

## 【0006】

(3) 検出対象領域に光を照射し、その検出対象領域に微粒子が存在する際に生じる散乱光を撮像管カメラで撮影し、微粒子を可視化する手法であり、そのカメラによる散乱光撮影画像に基づいて散乱光数から微粒子の粒子数を自動計数する方法(特許文献3)である。この特許文献3の発明では、微粒子の可視化より粒子数を求めることはできるが、本発明とは異なり微粒子の粒子数と粒径分布を同時に求めることは不可能である。

【特許文献1】特開平5-206235号公報

【特許文献2】特開平6-123694号公報

【特許文献3】特開2000-19112号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

従来技術の卓上型パーティクルカウンターでは、装置内に連続的に吸い込んだ大気中の空気にレーザー光等を照射して空気中に含まれる微粒子からの散乱光を一つずつ計測することによって単位体積中の微粒子の数、粒径分布等を計測することが可能である。しかしながら、空気を吸引することなしに非接触で遠方の微粒子の直接計測は不可能である。レーザーレーダー方式でこれを実現するには、大気中遠方の限られた空間にある微粒子にレーザー光を照射して、微粒子個々からの散乱光を一つずつ検出しなければならないという問題点がある。

【課題を解決するための手段】

## 【0008】

本発明では、レーザーレーダー方式を用いて、まずレーザー光をシート状に大気中に出射し、大気中をシート状または扇状に拡がりながら伝播するレーザー光の照射によって伝播領域にあるシート面内の微粒子個々から側方散乱光を発生させる。次に、レーザー光のシート面の垂直方向に備え付けられたシャッター機能付のCCDカメラ素子等の高感度2次元光検出器で微粒子個々からの側方散乱光を計測することにより、気中の個々の微粒子を

斑点状の画像として計測する。最後に、この画像中の斑点の数、及び斑点の輝度を解析することにより、遠方の限られた空間に存在する微粒子の数、密度、粒径分布及び空間分布等を同時に算出する。

## 【0009】

即ち、本発明においては、レーザー光をまず測定対象となる大気中または室内のある空間に向かって扇状またはシート状に広げて大気中に照射する。このときレーザー光の照射領域に存在する微粒子個々から側方散乱光がレーザー光のシート面からレーザーの伝播方向と垂直方向である側方に発せられる。レーザー光と微粒子の相互作用において微粒子によって散乱されるレーザー光の強度 $I_s$ は、下の(1)式\*によって決まり、側方散乱光は(1)式の $I_s$ が約90度付近の場合に相当する散乱光強度を有する。

## 【0010】

この側方散乱光をレーザー光のシート面の垂直方向から望遠鏡レンズ等の集光光学系を通してシャッター機能を有するCCDカメラ等の高感度2次元光検出器で観測する。このとき、カメラの観測視野は、このレーザー光のシート面内に設置することにより観測領域がレーザー光通過シート領域内に限定される。よって、この2次元光検出器の観測視野にある微粒子個々から発せられた多数の側方散乱光が、2次元光検出器において斑点状の画像として検出される。

## 【0011】

この画像で観測される斑点状の点一つ一つは、レーザー照射領域でありかつ2次元光検出器の観測視野内の限られた空間にある微粒子個々からの側方散乱光である。これら斑点の数を計測することによりその空間に存在する微粒子の数、密度または濃度の計測が可能となる。また(1)式で表されているように側方散乱光の輝度は微粒子の粒径 $D_p$ を得ることができる。

## 【0012】

【数1】

$$I_s = \int_{\omega_c} I_i \cdot F(\theta, \phi, \alpha, m) / (k r)^2 d\omega \quad \text{--- (1)}$$

$$\alpha = \pi D_p / \lambda, \quad k = 2\pi / \lambda$$

(粒径が完全球形の場合)

$I_s$  : 微粒子によるレーザー散乱光強度

$I_i$  : 照射レーザー光強度

$\lambda$  : レーザー波長

$D_p$  : 微粒子の粒径

$m$  : 空気と微粒子の相対屈折率

$\omega_c$  : 集光立体角

$r$  : 微粒子から観測点までの距離

$F$  : 微粒子の散乱関数

$\theta$  : 散乱光方向軸とレーザー伝播方向軸の水平角度差

$\phi$  : 散乱光方向軸とレーザー伝播方向軸の垂直角度差

(\* 須田匡、塚田一也: 「レーザーによる微細粒子計測技術」、センサー技術、7、2、(1987) )

#### 【発明の効果】

##### 【0013】

本発明により、従来方法では不可能とされる非接触かつ遠隔での空中に浮遊する微粒子、エアロゾルの数量及び粒径分布の直接且つ同時に測定が可能となるため、これまで測定が困難であった場所でも微粒子の計測が容易となる。また、同時にそれらの空間分布を精度良くかつ瞬時に短時間で測定することができる。

##### 【0014】

本発明を用いれば、エアロゾルの計測能力が大幅に向上することから、今まで複数台の高価な微粒子測定器を必要とした広範囲の場所での計測時の測定器の台数削減、及び微粒子計測に費やす費用と時間を大幅に削減することができる。さらに、特に厳密な微粒子数量及びその時間変化の計測が求められている大規模なクリーンルーム内の微粒子計測に大きな効果を発揮すると考えられる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

##### 【0015】

本発明を図面に基づいて説明する。図1に本発明を用いた遠隔レーザーレーダー微粒子計数装置の概略図を示す。装置は、主に(1)パルス発振のレーザー装置、レーザー光をシート状または扇状に広げて照射するための(2)出射光学系、側方散乱光を高感度2次元光検出器に集光する望遠レンズ等の(7)集光光学系、(6)高感度2次元光検出器、及びレーザー装置を制御しかつ検出器で得られたデータを解析する(9)計測制御システムから構成される。図1に示す上方図はレーザーレーダー微粒子計数装置を上方から見たものである。それに対して側方図

は、上方図の下側から見た場合の装置一式の側面図である。

##### 【0016】

まずレーザー光をシンドリカルレンズ等の出射光学系を用いてレーザー光をシート状に広げて空中に照射する。上方図に示すように(3)レーザー光のシートの厚みは、レーザー径と同等の長さである。一方、扇状に広がる方向の角度は出射光学系のレンズの焦点距離によって決まり、レーザー光は伝播距離とともに照射領域が広がる。このレーザー光が通過するシート状の空間領域からそこに浮遊する(5)微粒子個々から図のように(8)側方散乱光が発生する。

##### 【0017】

このレーザー光のシート面から発せられる微粒子個々からの側方散乱光は、シート面に対して垂直方向から(7)集光光学系である望遠レンズ等の集光器により、レーザーパルス光と同期をとった(6)高感度2次元光検出器に斑点状の画像として(9)計測制御システムで観測される。ここで得られる(8)側方散乱光の画像は、(4)望遠レンズの視野内にあり、かつ(3)レーザー光のシート領域内にある(5)微粒子からのものである。(3)レーザー光が(6)高感度2次元光検出器のシャッター時間内にシート領域内の(4)望遠レンズの視野内を通過したときに個々の微粒子から発せられた(8)側方散乱光が画面に多数の斑点となって検出される。

##### 【0018】

図2は、本発明を実施した微粒子計数装置において取得された側方散乱光画像であり、図2には、図1の微粒子計数装置において直径約0.5cmのYAGレーザー光(波

長532nm、パルス幅1 ns及びパルスエネルギー60m J ) を出射光学系であるシリンドリカルレンズで全角約 15 ° の角度で扇型のシート状に広げて室内の気中に照射し、高感度2次元光検出器であるイメージインテンシファイアー付きCCDカメラの測定視野(縦約23 cm、横30cmのフレーム)をそのレーザーシート面内に合わせて計測した側方散乱光の画像データである。

【0019】

このときのCCDカメラはシート面より5 mほど離れたところに設置され、CCDカメラのシャッター時間は約5 nsである。この画像内にある白い斑点状の一つ一つは、シャッター時間内にパルスレーザーがCCDカメラの視野内(出射光学系から約2.7m付近)を通過したときにレーザー光通過領域のシート内にある微粒子個々から発生した側方散乱光を捕らえたものである。

【0020】

図3は、本発明実施例で得られた室内気中の微粒子粒径分布(ヒストグラム)である。図2の画像にある微粒子個々からの側方散乱光である斑点状の斑点の数を計測し、かつ斑点の輝度を計測することにより得られた微粒子の粒径分布グラフである。横軸は、側方散乱光強度で表されているが、これを粒径に変換すれば粒径分布が得られる。このときに計測された微粒子の数量は、容積約350ccあたり約18,000個であった。

【実施例】

【0021】

図1に本発明を用いたレーザーレーダー方式による微粒子計数装置の概略図を示す。装置は、パルス発振のレーザー装置、レーザー光をシート状または扇状に広げて照射するための出射光学系、側方散乱光を高感度2次元光検出器に集光する望遠レンズ等の集光光学系、高感度2次元光検出器、及びレーザー装置を制御し、かつ検出器で得られたデータを解析する計測制御システムから構成される。

【0022】

図1に示す上方図はレーザーレーダー微粒子計数装置を上から見たものである。それに対して側方図は、上方図の下側から見た場合の側面図である。上方図及び側方図に示すように、レーザー光をシリンドリカルレンズ等の出射光学系を用いてレーザー光の進行方向に対して垂直な一方にのみ拡げ、結果としてレーザー光をシート状のように広げて観測対象の領域に向けて照射する。上方図からわかるようにレーザー光のシートの厚みは、レーザーの空間伝播中レーザー光固有の広がりによって広がるが、ほぼレーザー装置より出射されたレーザー径と同等の長さである。一方、その反対方向は出射光学系のレンズ系の焦点距離によって決まる広がり角で広がり、レーザー光は伝播距離とともに照射領域が広がる。

【0023】

このレーザー光が通過するシート状の空間領域におい

ては、そこに浮遊する微粒子個々から図のように側方散乱光が発生する。このレーザーの伝播方向と垂直方向であるシート面から発せられる微粒子個々からの側方散乱光は、シート面に対して垂直方向から集光光学系である望遠レンズ等の集光器により、レーザーパルス光と同期をとった高感度2次元光検出器に斑点状の画像として検出される。ここで得られる側方散乱光の画像は、望遠レンズの視野内にあり、かつシート領域内にある微粒子からのものである。レーザー光が高感度2次元光検出器のシャッター時間内にシート領域内の望遠レンズの視野内を通過したときに個々の微粒子から発せられた側方散乱光が検出器に斑点状の画像として観測される。

【0024】

図2には、上述の微粒子計数装置において直径約0.5 cmのYAGレーザー光(波長532nm、パルス幅1 ns及びパルスエネルギー60m J ) を出射光学系であるシリンドリカルレンズで全角約 15 ° の角度で扇型にシート状に広げて室内の気中に照射し、高感度2次元光検出器であるイメージインテンシファイアー付きCCDカメラの測定視野(縦約23 cm、横30cmのフレーム)をそのレーザーシート面内に合わせて計測した画像データである。このときのCCDカメラはシート面より5 mほど離れたところに設置され、CCDカメラのシャッター時間は約5 nsである。この画像内にある白い斑点状の一つ一つは、このシャッター時間内にパルスレーザーがCCDカメラの視野内(出射光学系から約2.7m付近)を通過したときにレーザー光のシート内にある微粒子個々から発生した側方散乱光を捕らえたものである。この白い斑点の数を計測することにより微粒子の数を計測することができる。さらに、斑点の強度は側方散乱光の輝度を表すので、式(1)により微粒子の粒径を推定することができる。これによって図3に示す微粒子の粒径分布グラフを得ることが可能となる。このようにして気中にある微粒子の数、密度及び粒径分布を同時に求めることができる。

【0025】

計測の結果、カメラの測定視野内であつレーザーシート内の容積(約350cc)にある微粒子数は約18,000個であり、1リットル当たりの粒子数は従来型のパーティクルカウンター装置から得られた結果とほぼ同等の値が得られた。またこのときの検出可能な最小粒子径は、従来型のパーティクルカウンター装置と同等の0.3µm程度であることがわかった。レーザー強度及び高感度2次元光検出器の感度をより向上させれば、さらに小さな微粒子からの側方散乱光をも検出することが可能となる。

【産業上の利用可能性】

【0026】

本発明は、計測機器等を用いて大気中または室内の微粒子の計測を必要としている分野、特に大気中の空気汚染の原因となるエアロゾル、微粒子等を同時に観測または検出する大気環境分析産業で利用できる。また、クリ

ーム等の室内の微粒子、エアロゾル等の発生を管理し、厳格な空気洗浄管理を必要とする空気清浄産業、学術分野で利用できる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

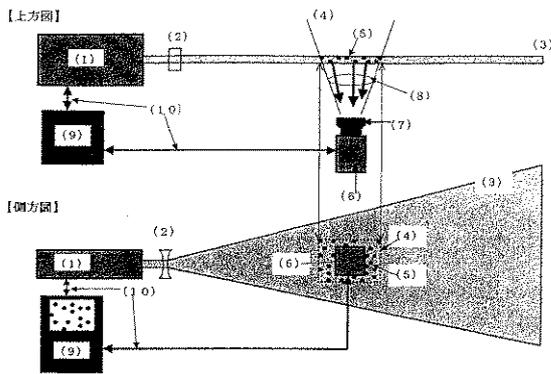
【図1】本発明方式を実施した遠隔レーザーレーダー微粒子計数装置概略図を示す図である。

【0028】

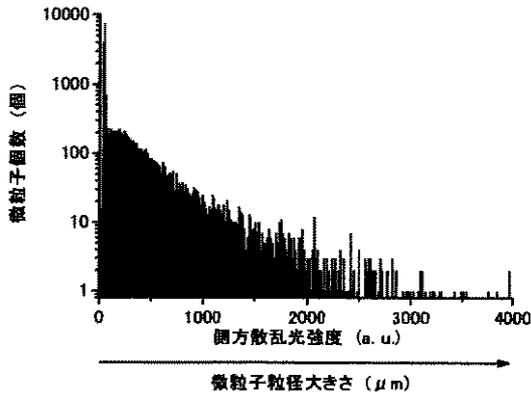
(符号の説明)

(1) パルスレーザー発生装置、(2) レーザー拡大出射光学系(シリンドリカルレンズ)、(3)シート状に拡大出

【図1】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 大図 章

茨城県那珂郡東海村白方字白根2番地の4 日本原子力研究所 東海研究所内

射されるレーザー光、(4) 高感度2次元光検出器カメラ視野、(5) 伝播するレーザー光シート領域かつカメラ視野内に存在する気中の微粒子、(6) 高感度2次元光検出器(CCDカメラ)、(7) 側方散乱光集光学系(望遠鏡レンズ)、(8)微粒子から発生する側方散乱光、(9)計測制御システム、(10) 計測制御システムとレーザー装置及び高感度2次元光検出器間の信号ケーブル

【図2】本発明を実施した微粒子計数装置において取得された側方散乱光画像を示す図である。

10

【図3】本発明実施例で得られた室内気中の微粒子粒径分布(ヒストグラム)を示す図である。

【図2】

