

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6638526号
(P6638526)

(45) 発行日 令和2年1月29日(2020.1.29)

(24) 登録日 令和2年1月7日(2020.1.7)

(51) Int.Cl.

F 1

G O 1 N 15/02 (2006.01)

G O 1 N 15/02

B

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2016-74165 (P2016-74165)	(73) 特許権者	000183303
(22) 出願日	平成28年4月1日(2016.4.1)		住友金属鉱山株式会社
(65) 公開番号	特開2017-187303 (P2017-187303A)		東京都港区新橋5丁目11番3号
(43) 公開日	平成29年10月12日(2017.10.12)	(74) 代理人	100107766
審査請求日	平成30年7月17日(2018.7.17)		弁理士 伊東 忠重
		(74) 代理人	100070150
			弁理士 伊東 忠彦
		(72) 発明者	新田 希
			東京都港区新橋5-11-3 住友金属鉱山株式会社内
		審査官	萩田 裕介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粒度分布測定装置及び粒度分布測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料粒子を含む流体が流れる容器に光を照射する光源と、
 前記容器に関して前記光源の反対側に前記光源に対向するように配置され且つ前記容器内を流れる前記流体を撮影する撮影装置と、
 前記撮影装置の合焦面の位置を変化させる機構と、
複数の試料粒子に関して、各試料粒子毎に、前記撮影装置が撮影した複数の画像を解析して各試料粒子の粒子径を算出することで粒度分布を導き出す制御装置と、を備え、
前記撮影装置は、前記流体に含まれる1つの試料粒子が前記撮影装置の撮影範囲を横切る間に前記複数の画像を撮影するように構成され、
前記複数の画像のうちの1つが撮影されたときの合焦面の位置は、前記複数の画像のうちの別の1つが撮影されたときの合焦面の位置とは異なる、
 粒度分布測定装置。

【請求項 2】

前記機構は、前記撮影装置及び前記容器の少なくとも一方を変位させて前記撮影装置と前記容器との距離を変化させる、
 請求項 1 に記載の粒度分布測定装置。

【請求項 3】

前記機構は、前記撮影装置の光軸方向に前記撮影装置を変位させる、
 請求項 2 に記載の粒度分布測定装置。

【請求項 4】

前記撮影装置はテレセントリックレンズを備える、
請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の粒度分布測定装置。

【請求項 5】

前記光源は、青色光又は青色光より短い波長の光を放つ発光ダイオードである、
請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の粒度分布測定装置。

【請求項 6】

試料粒子を含む流体が流れる容器に光を照射する光源と、前記容器に関して前記光源の反対側に前記光源に対向するように配置され且つ前記容器内を流れる前記流体を撮影する撮影装置と、前記撮影装置の合焦面の位置を変化させる機構と、前記撮影装置が撮影した
10 画像を解析して試料粒子の粒度分布を導き出す制御装置と、を備える粒度分布測定装置を用いた粒度分布測定方法であって、

試料粒子の粒度分布を導き出す導出ステップを有し、

前記導出ステップは、

複数の試料粒子に関して、合焦面の位置を異ならせて複数の画像を撮影するステップと、

各試料粒子毎に、最も合焦度の高い画像を前記複数の画像から選択するステップと、
各試料粒子毎に、前記最も合焦度の高い画像を解析して粒子径を算出するステップと

、
各試料粒子毎の粒子径に基づいて試料粒子の粒度分布を導き出すステップと、を有す
る、

粒度分布測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、試料粒子の粒度分布を測定する粒度分布測定装置及び粒度分布測定方法に関し、特に、流体中を移動する試料粒子を撮影して得られた画像に基づいて試料粒子の粒度分布を測定する粒度分布測定装置及び粒度分布測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

粉体製品の開発又は製造の際にその粉体製品の性状及び品質を確認するために粒度分析計によって粉体の粒度分布を測定する方法が知られている（例えば、特許文献 1 参照。）
。工業的な粒度分布測定方法としては、主に、レーザ回折・散乱方式及び画像解析方式が知られている。レーザ回折・散乱方式は、粉体にレーザ光等の平行光線を照射し、粉体によって回折され或いは散乱された光のパターンを測定し且つ解析することによって粒度分布を算出する方式である。画像解析方式は、CCDカメラ等の画像センサによって撮影された粉体群の画像を解析することによって粒度分布を算出する方式である。画像解析方式は、実際に撮影された保存可能な画像を解析するため、保存された画像を任意のタイミングで解析して粒度分布を算出できるという利点がある。

【0003】

特許文献 1 に記載の粒度分布測定装置は画像解析方式に基づく。具体的には、落下する粉体群を画像センサで撮影して得られた画像に画像解析処理及び統計的処理を施して粒度分布測定を行う。このような画像解析方式に基づく粒度分布測定装置は、コンピュータの高速化、画像センサの高解像度化等により、精度の高い測定が可能となってきた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開平 11 - 258141 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

従来の画像解析方式の粒度分布測定装置は、画像センサと各試料粒子との距離が試料粒子毎に異なるため、全ての試料粒子に焦点を合わせることができない。そのため、少なくとも一部の試料粒子に関しては画像の合焦点が低くなり、粒子径が数十 μm 以上の大きさの粒子でなければその粒度を測定できない。そして、近年需要が高まってきている数 μm の試料粒子の粒度分布の正確な測定を実現できない。その結果、数 μm の粒子の粒度分布の測定では、レーザ回折・散乱方式の粒度分布測定装置が採用されている。

【 0 0 0 6 】

しかしながら、レーザ回折・散乱方式の粒度分布測定装置は、構造が複雑で且つ高価なため、開発・分析用装置としてオフライン測定で用いられることはあっても、組み込み装置としてインライン測定で用いられるには不向きであった。

10

【 0 0 0 7 】

上述の点に鑑み、本発明は、粒度分布の測定精度を向上させた画像解析方式の粒度分布測定装置及び粒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】

【 0 0 0 8 】

上述の目的を達成するために、本発明の実施例に係る粒度分布測定装置は、試料粒子を含む流体が流れる容器に光を照射する光源と、前記容器に関して前記光源の反対側に前記光源に対向するように配置され且つ前記容器内を流れる前記流体を撮影する撮影装置と、前記撮影装置の合焦点の位置を変化させる機構と、複数の試料粒子に関して、各試料粒子毎に、前記撮影装置が撮影した複数の画像を解析して各試料粒子の粒子径を算出することで粒度分布を導き出す制御装置と、を備え、前記撮影装置は、前記流体に含まれる1つの試料粒子が前記撮影装置の撮影範囲を横切る間に前記複数の画像を撮影するように構成され、前記複数の画像のうちの1つが撮影されたときの合焦点の位置は、前記複数の画像のうちの別の1つが撮影されたときの合焦点の位置とは異なる。

20

【 0 0 0 9 】

また、本発明の実施例に係る粒度分布測定方法は、上述のような粒度分布測定装置を用いた粒度分布測定方法であって、試料粒子の粒度分布を導き出す導出ステップを有し、前記導出ステップは、複数の試料粒子に関して、合焦点の位置を異ならせて複数の画像を撮影するステップと、各試料粒子毎に、最も合焦点の高い画像を前記複数の画像から選択するステップと、各試料粒子毎に、前記最も合焦点の高い画像を解析して粒子径を算出するステップと、各試料粒子毎の粒子径に基づいて試料粒子の粒度分布を導き出すステップと、を有する。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

上述の手段により、本発明は、より高い測定精度を実現可能な画像解析方式の粒度分布測定装置及び粒度分布測定方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

40

【図1】本発明の実施例に係る粒度分布測定装置の構成例を示す図である。

【図2】試料粒子を含む流体が流れる容器の概略図である。

【図3】粒度分布導出処理のフローチャートである。

【図4】撮影装置が撮影した撮影画像の一例を示す図である。

【図5】4枚の撮影画像のそれぞれにおける試料粒子の粒子画像を示す図である。

【図6】粒子画像の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 2 】

図1は、本発明の実施例に係る粒度分布測定装置100の構成例を示す図である。本実施例において、粒度分布測定装置100は、主に、制御装置1、撮影装置2、変位機構3

50

、流体供給装置 4、光源 5、容器 6、及び照明用レンズ 7 を含む。

【 0 0 1 3 】

制御装置 1 は、粒度分布測定装置 1 0 0 を制御する装置である。図 1 の例では、制御装置 1 は、C P U、揮発性記憶装置、不揮発性記憶装置、入出力インタフェース等を備えたコンピュータである。また、制御装置 1 には L A N、U S B、B l u e t o o t h（登録商標）等を介して入力装置 1 a 及び出力装置 1 b が接続されている。

【 0 0 1 4 】

入力装置 1 a は、制御装置 1 に各種情報を入力するための装置である。入力装置 1 a は、例えば、キーボード、マウス、タッチパネル、トラックボール等である。

【 0 0 1 5 】

出力装置 1 b は、測定データ、粒度分布情報等の各種情報を外部に出力するための装置である。出力装置 1 b は、例えば、C R T、液晶ディスプレイ、E L ディスプレイ等の表示装置、スピーカ、ブザー等の音声出力装置、プリンタ等である。

【 0 0 1 6 】

容器 6 は、試料粒子を含む流体が流れる光学セルであり、支持台 8 の上に置かれている。図 1 の例では、撮影装置 2 に対向する面（- X 側の面）及び光源 5 に対向する面（+ X 側の面）が光学的に透明となるように構成されている。

【 0 0 1 7 】

試料粒子を含む流体は、管路 C 1、流体供給装置 4、管路 C 2 を通じて容器 6 内に進入する。容器 6 を出た流体は、管路 C 3 を通じて排出される。

【 0 0 1 8 】

流体供給装置 4 は、試料粒子を含む流体を容器 6 に供給する装置である。図 1 の例では、流体供給装置 4 は、管路 C 1 から受け入れた流体を容器 6 に向けて吐出する送液ポンプである。流体供給装置 4 は、例えば、制御装置 1 からの指令に応じて作動し、管路 C 1 から受け入れた流体を容器 6 に向けて連続的に吐出する。

【 0 0 1 9 】

撮影装置 2 は容器 6 内を流れる流体に含まれる試料粒子を撮影して撮影画像を出力する装置である。図 1 の例では、撮影装置 2 は、容器 6 に関して光源 5 の反対側に光源 5 に対向するように配置されている。具体的には、撮影装置 2 は、容器 6 の - X 側の面に対向するように配置されている。また、撮影装置 2 は、C C D、C M O S 等の撮影素子を含む画像センサ 2 a と撮影用レンズ 2 b とを有する。撮影用レンズ 2 b は、例えば、テレセントリックレンズである。テレセントリックレンズは、撮影装置 2 の光軸 2 X の方向（X 軸方向）における撮影対象の試料粒子と撮影用レンズ 2 b との距離が変化しても撮影画像中の試料粒子の画像（以下、「粒子画像」とする。）の大きさが変化しないという効果をもたらす。このように、テレセントリックレンズは、粒子画像の大きさが試料粒子と撮影用レンズ 2 b との距離に依存しないようにすることで試料粒子の大きさが高精度に測定されるようにする。

【 0 0 2 0 】

光源 5 は、容器 6 を照射する装置であり、支持台 8 の上に置かれている。図 1 の例では、光源 5 は、容器 6 に関して撮影装置 2 の反対側に撮影装置 2 に対向するように配置されている。具体的には、光源 5 は、容器 6 の + X 側の面に対向するように配置されている。

【 0 0 2 1 】

光源 5 としては、例えば、青色光又は青色光より短い波長の光を放つ発光ダイオードが採用される。具体的には、青色領域から紫外領域の波長を有する光を発する面発光タイプの発光ダイオードが採用される。望ましくは、350 ~ 400 nm の波長を有する光を発する面発光タイプの発光ダイオードが採用される。波長が短いほど解析精度が向上するためである。但し、撮影対象の試料粒子の粒子径によっては、赤色領域等のより長い波長を有する光を発する光源が採用されてもよい。

【 0 0 2 2 】

光源 5 の光は、撮影領域の全体をカバーする均一な光であることが望ましい。また、光

10

20

30

40

50

源 5 の光が平行光に近いほど画像精度が高くなり、テレセントリック光学系としての特性がより完全なものに近づく。図 1 の例では、光源 5 と容器 6 との間に照明用レンズ 7 が配置され、光源 5 からの光がほぼ平行光として容器 6 に入射する様子が示されている。なお、図 1 の破線で示す範囲 6 R は光源 5 の光が及ぶ範囲を表し、破線で示す範囲 7 R は照明用レンズ 7 を出た光が及ぶ範囲を表す。

【 0 0 2 3 】

また、光源 5 は、例えば、制御装置 1 により発光タイミングが制御されてもよく、或いは、定常的に発光してもよい。図 1 の例では、制御装置 1 は、撮影装置 2 の撮影タイミングに同期させて光源 5 をストロボ発光させる。撮影装置 2 は、容器 6 を透過した光を受光することで容器 6 内の流体中にある試料粒子の粒子画像を撮影素子に投影された投影像として撮影できる。

10

【 0 0 2 4 】

変位機構 3 は、撮影装置 2 の合焦面の位置を変化させる機構である。変位機構 3 は、例えば、撮影装置 2 及び容器 6 の少なくとも一方を変位させて撮影装置 2 と容器 6 との距離を変化させる。図 1 の例では、変位機構 3 は piezo 素子を含む機構であり、制御装置 1 からの指令に応じて作動し、撮影装置 2 の光軸 2 X の方向（X 軸方向）に沿って撮影装置 2 を往復動させる。具体的には、制御装置 1 は、例えば、変位機構 3 の piezo 素子に電圧を印加して piezo 素子を伸張させることで支持台 8 に対して変位機構 3 を + X 方向に変位させる。その後、piezo 素子に対する電圧の印加を中止して piezo 素子を収縮させることで支持台 8 に対して変位機構 3 を - X 方向に変位させる。このように、piezo 素子に対する電圧のオン・オフを繰り返すことで、制御装置 1 は、変位機構 3 に固定されている撮影装置 2 を光軸 2 X の方向（X 軸方向）に沿って往復動させることができる。制御装置 1 は、例えば、撮影装置 2 を 1 秒間に 1 往復させる。このようにして、制御装置 1 は、撮影装置 2 と容器 6 との距離を制御でき、撮影装置 2 の合焦面の位置を制御できる。なお、制御装置 1 は、piezo 素子に印加する電圧を段階的に変化させて撮影装置 2 を段階的に変位させてもよい。

20

【 0 0 2 5 】

図 2 は、試料粒子を含む流体が流れる容器 6 の概略図であり、図 2 (A) が - X 側から見た正面図を示し、図 2 (B) が + Z 側から見た上面図を示す。図 2 (A) の破線で囲まれた範囲は、撮影装置 2 の撮影範囲 R を表す。また、図 2 (B) の一点鎖線は合焦面 F P の位置を表す。点線 L 1 と点線 L 2 とで挟まれた幅 W 1 は、合焦面 F P が移動可能な範囲を表す。幅 W 1 は、例えば、100 ~ 150 μm である。また、撮影範囲は、例えば、縦 1 mm $\times$ 横 1 mm $\times$ 奥行き 2 mm である。

30

【 0 0 2 6 】

制御装置 1 は、往復動する撮影装置 2 が所定の時間間隔で撮影した複数の撮影画像を取得できる。それら複数の撮影画像は、合焦面 F P の位置がそれぞれ異なるときに撮影された撮影画像である。所定の時間間隔は、等間隔であってもよく、不等間隔であってもよい。

【 0 0 2 7 】

このように、粒度分布測定装置 100 は、合焦面 F P の位置を変えながら複数の撮影画像を連続的に取得する。そのため、撮影対象の試料粒子が + Y 側から - Y 側に移動する際に撮影装置 2 の光軸 2 X の方向（X 軸方向）にその試料粒子が揺れ動く場合であっても、粒度分布測定装置 100 は、焦点が合った粒子画像を取得し易くなる。

40

【 0 0 2 8 】

次に、制御装置 1 が有する各種機能要素について説明する。制御装置 1 は、駆動制御部 10、画像解析部 11 等の機能要素を含む。制御装置 1 は、例えば、不揮発性記憶装置に記憶されたプログラムを揮発性記憶装置に読み込んで CPU に実行させることで各機能要素に対応する機能を実現する。

【 0 0 2 9 】

駆動制御部 10 は、粒度分布測定装置 100 における各構成要素の動きを制御する機能

50

要素である。例えば、駆動制御部 10 は、撮影装置 2、変位機構 3、流体供給装置 4、及び光源 5 のそれぞれに指令を出力し、撮影装置 2、変位機構 3、流体供給装置 4、及び光源 5 の作動を開始させる。

【0030】

具体的には、駆動制御部 10 は、流体供給装置 4 を作動させることで、試料粒子を含む流体を所定の流量で容器 6 内に流入させる。図 2 (A) に示すように、流体中の試料粒子が撮影装置 2 の撮影範囲 R を所定の速度で右側 (+Y 側) から左側 (-Y 側) に移動できるようにするためである。なお、流体供給装置 4 は、試料粒子が撮影範囲 R を左側 (-Y 側) から右側 (+Y 側) に、或いは、上側 (+Z 側) から下側 (-Z 側) に、或いは、下側 (-Z 側) から上側 (+Z 側) に移動できるように流体を容器 6 内に流入させてもよい。

10

【0031】

また、駆動制御部 10 は、撮影装置 2 と光源 5 とを同期させることで、光源 5 の発光タイミングに合わせて撮影装置 2 に撮影範囲 R を撮影させることができる。

【0032】

また、駆動制御部 10 は、撮影装置 2 と変位機構 3 とを同期させることで、撮影装置 2 を光軸 2X に沿って往復動させることができ、合焦面 F P の位置がそれぞれ異なるときに撮影された複数の撮影画像を取得できる。

【0033】

画像解析部 11 は、撮影装置 2 が撮影した撮影画像を解析する機能要素である。図 1 の例では、画像解析部 11 は、撮影装置 2 が所定の時間間隔で撮影した複数の撮影画像のそれぞれから粒子画像を抽出する。例えば、画像解析部 11 は、ラベリング処理アルゴリズムを利用して各撮影画像から複数の粒子画像を抽出する。図 1 の例では、画像解析部 11 は、1 つの撮影画像から数十個の粒子画像を抽出する。画像解析部 11 は、他の画像処理アルゴリズムを利用して各撮影画像から複数の粒子画像を抽出してもよい。

20

【0034】

その後、画像解析部 11 は、同じ粒子の粒子画像を関連付ける。関連付けは、各撮影画像における粒子画像の位置座標に基づいて行われる。例えば、画像解析部 11 は、時刻 t1 で撮影された第 1 撮影画像で抽出された特定の粒子に関する粒子画像と、時刻 t2 で撮影された第 2 撮影画像で抽出されたその特定の粒子に関する粒子画像とを関連付ける。第 2 撮影画像における粒子画像の存在範囲は、第 1 撮影画像における粒子画像の位置座標に基づいて決定される。時刻 t3、t4、・・・で撮影された第 3 撮影画像、第 4 撮影画像、・・・についても同様である。

30

【0035】

その後、画像解析部 11 は、関連付けられた所定数の粒子画像のうち、最も合焦度の高い粒子画像を選び出す。合焦度は、焦点が合っている度合いを意味し、例えば、粒子画像を構成する画素群の輝度分散に基づいて導き出される。粒子画像を構成する画素群は、例えば、画素分解能 $0.5 \mu\text{m}$ / 画素で直径 $10 \mu\text{m}$ の粒子の場合、中心画素及びその右側に並ぶ 9 画素、中心画素及びその左側に並ぶ 9 画素、中心画素及びその上側に並ぶ 9 画素、並びに、中心画素及びその下側に並ぶ 9 画素の合計 37 画素である。中心画素は、例え

40

【0036】

画像解析部 11 は、中心画素及びその右側に並ぶ 9 画素の合計 10 画素に関し、以下の式を用いて評価分散値 V_r を導き出す。なお、 A_V は 10 画素の輝度の平均値を表し、 D_{T1} 、 D_{T2} 、・・・、 D_{T9} 、 D_{T10} は各画素の輝度を表す。

【0037】

【数 1】

$$Vr = \{(AV - DT1)^2 + (AV - DT2)^2 + \dots + (AV - DT9)^2 + (AV - DT10)^2\}$$

画像解析部 11 は、中心画素及びその左側に並ぶ 9 画素、中心画素及びその上側に並ぶ 9 画素、並びに、中心画素及びその下側に並ぶ 9 画素についても同様に評価分散値 V_l 、 V_u 、 V_d を導き出す。そして、4 つの評価分散値 V_r 、 V_l 、 V_u 、 V_d の平均値を最終的な評価分散値 V として導き出す。焦点が合っているほど、粒子画像の境界部分の明暗がはっきりして隣接する画素の輝度差が大きいため、評価分散値 V は大きくなる。そのため、評価分散値 V が最も大きい粒子画像を、最も合焦度の高い粒子画像として選択する。

10

【0038】

その後、画像解析部 11 は、最も合焦度の高い粒子画像に基づいて粒子径を導き出す。例えば、画像解析部 11 は、ラベリング処理アルゴリズムを利用して抽出した粒子画像を構成する画素の数に基づいて粒子画像の面積 A を導き出す。そして、面積 A と半径 r の円の面積 A_c の公式 ($A_c = \pi r^2$) とに基づき、粒子画像の輪郭を円形としたときの面積円相当径として粒子径 D ($D = 2r$) を導き出す。画像解析部 11 は、同じ方法で他の試料粒子の粒子径を導き出す。なお、粒子径は、定義及び用途により、周長相当径等であってもよい。

20

【0039】

その後、画像解析部 11 は、所定数の試料粒子の粒子径に基づいて試料粒子の粒度分布を導き出す。

【0040】

次に図 3 を参照し、制御装置 1 が試料粒子の粒度分布を導き出す処理（以下、「粒度分布導出処理」とする。）について説明する。図 3 は、粒度分布導出処理のフローチャートである。

30

【0041】

最初に、制御装置 1 は、所定数の撮影画像を取得する（ステップ $ST1$ ）。この例では、制御装置 1 の駆動制御部 10 は、流体供給装置 4 に指令を出力して送液ポンプを作動させ、試料粒子を含む流体を容器 6 に流入させる。また、駆動制御部 10 は、変位機構 3 に指令を出力して撮影装置 2 を X 軸方向で往復動させる。その上で、駆動制御部 10 は、撮影装置 2 及び光源 5 に指令を出力して光源 5 を所定の時間間隔でストロボ発光させて撮影画像を取得する。例えば、制御装置 1 は、1 秒間で 4 つの撮影画像を取得する。そのため、制御装置 1 は、合焦面の位置がそれぞれ異なる状態で 4 つの撮影画像を取得できる。また、試料粒子が撮影範囲 R を 1 秒間で横切るように送液ポンプの回転数を制御する。そのため、制御装置 1 は、同じ試料粒子の撮影範囲 R 内における位置がそれぞれ異なる状態で 4 つの撮影画像を取得できる。

40

【0042】

図 4 は、撮影装置 2 が撮影した撮影画像の一例であり、流体中に数十個の試料粒子が存在する様子を示す。図 4 に示すように、試料粒子を含む流体は、撮影画像中で粒子画像が重ならないように所定の倍率で希釈されている。

【0043】

制御装置 1 の画像解析部 11 は、図 4 に示すような撮影画像に二値化処理を施した上でラベリング処理アルゴリズムを利用して数十個の試料粒子のそれぞれの粒子画像を抽出する。

50

【 0 0 4 4 】

その後、制御装置 1 は、取得した所定数の撮影画像のそれぞれにおける同じ試料粒子に関する粒子画像を関連付ける（ステップ S T 2 ）。

【 0 0 4 5 】

図 5 は、試料粒子が右から左に流れる場合の同じ撮影範囲 R を異なるタイミングで撮影した 4 つの撮影画像のそれぞれにおける試料粒子 P の粒子画像を示す。具体的には、図 5（ A ）は時刻 t_1 で撮影された撮影画像 G 1 における試料粒子 P の粒子画像 P 1 を示し、図 5（ B ）は時刻 t_2 で撮影された撮影画像 G 2 における試料粒子 P の粒子画像 P 2 を示す。また、図 5（ C ）は時刻 t_3 で撮影された撮影画像 G 3 における試料粒子 P の粒子画像 P 3 を示し、図 5（ D ）は時刻 t_4 で撮影された撮影画像 G 4 における試料粒子 P の粒子画像 P 4 を示す。また、図 5（ E ）は、撮影画像 G 1 から撮影画像 G 4 を重ね合わせた重複画像 G 5 を示す。なお、図 5（ A ）～図 5（ E ）では、明瞭化のため、試料粒子 P の粒子画像のみを表示し、他の試料粒子の粒子画像の図示を省略している。

10

【 0 0 4 6 】

画像解析部 1 1 は、例えば、撮影画像 G 1 における粒子画像 P 1 の位置座標と流体の流速と撮影間隔とに基づいて撮影画像 G 2 で試料粒子 P の粒子画像が存在し得る画像範囲を決定する。そして、その画像範囲に粒子画像が存在する場合にその粒子画像を撮影画像 G 2 における試料粒子 P の粒子画像 P 2 として粒子画像 P 1 に関連付ける。同様に、画像解析部 1 1 は、撮影画像 G 2 における粒子画像 P 2 の位置座標と流体の流速と撮影間隔とに基づいて撮影画像 G 3 で試料粒子 P の粒子画像が存在し得る画像範囲を決定する。そして、その画像範囲に粒子画像が存在する場合にその粒子画像を撮影画像 G 3 における試料粒子 P の粒子画像 P 3 として粒子画像 P 1 及び粒子画像 P 2 に関連付ける。粒子画像 P 4 についても同様である。

20

【 0 0 4 7 】

その後、制御装置 1 は、各粒子画像の合焦度を算出する（ステップ S T 3 ）。図 5 の例では、画像解析部 1 1 は、粒子画像 P 1 ～ P 4 のそれぞれの合焦度を算出する。具体的には、粒子画像 P 1 を構成する画素群の輝度分散に基づいて粒子画像 P 1 の合焦度を算出する。粒子画像 P 2 ～ P 4 の合焦度についても同様である。

【 0 0 4 8 】

図 6 は粒子画像の例を示す。例えば、図 6（ A ）は、図 5 における 4 つの粒子画像 P 1 ～ P 4 のうちで最も合焦度の高い粒子画像 P 3 を示し、図 6（ B ）は 4 つの粒子画像 P 1 ～ P 4 のうちで最も合焦度の低い粒子画像 P 1 を示す。合焦度の高い粒子画像 P 3 のほうが、合焦度の低い粒子画像 P 1 よりも境界部分の明暗がはっきりしているのが分かる。

30

【 0 0 4 9 】

その後、制御装置 1 は、最も合焦度の高い粒子画像を選出する（ステップ S T 4 ）。図 5 の例では、画像解析部 1 1 は、4 つの粒子画像 P 1 ～ P 4 のうちで最も合焦度の高い粒子画像 P 3 を解析対象の粒子画像として選択する。測定精度を上げるため、予め設定されていた合焦度を超えない粒子画像を選択しないようにしてもよい。また、所定数（図 5 の例では 4 つ）の粒子画像が得られなかった場合にはその試料粒子 P の粒子画像を選択しないようにしてもよい。

40

【 0 0 5 0 】

その後、制御装置 1 は、選出した粒子画像に基づいて粒子径を算出する（ステップ S T 5 ）。図 5 の例では、画像解析部 1 1 は、粒子画像 P 3 に基づいて試料粒子 P の粒子径を算出する。

【 0 0 5 1 】

その後、制御装置 1 は、所定数の試料粒子の粒子径を算出したかを判定する（ステップ S T 6 ）。そして、所定数の試料粒子の粒子径を未だ算出していないと判定した場合（ステップ S T 6 の N O ）、制御装置 1 は、別の試料粒子についてステップ S T 2 以降の処理を実行する。或いは、制御装置 1 は、所定数の撮影画像を取得し直した上で別の試料粒子についてステップ S T 2 以降の処理を実行してもよい。

50

【 0 0 5 2 】

所定数の試料粒子の粒子径を算出したと判定した場合（ステップ S T 6 の Y E S ）、制御装置 1 は粒度分布を導き出す（ステップ S T 7 ）。具体的には、制御装置 1 は、試料粒子群の中にどのような粒子径の試料粒子がどのような割合で含まれているかの指標を導き出す。制御装置 1 は、粒子径の平均値、最大値、最小値、中間値等の統計値、フェレ径、円形度等を導き出してもよい。そして、制御装置 1 は、出力装置 1 b を通じ、導出した粒度分布情報を外部に出力する。例えば、制御装置 1 は、横軸に粒子径を配し縦軸に度数を配した粒度グラフ、粒子径の統計値等を表示装置に表示する。或いは、制御装置 1 は、粒度グラフ、粒子径の統計値等をプリントアウトしてもよい。

【 0 0 5 3 】

10

このように、粒度分布測定装置 1 0 0 は、撮影装置 2 を X 軸方向に往復動させながら撮影画像を取得するため、合焦度の高い粒子画像を取得することができる。そのため、粒度分布の測定精度を向上させることができる。例えば、数 μm のレベルの試料粒子の粒度分布をより正確に測定できる。

【 0 0 5 4 】

また、粒度分布測定装置 1 0 0 は、合焦面の位置を連続的に変化させて複数の撮影画像を取得し、取得した複数の撮影画像から最も合焦度が高い粒子画像を選択して解析する。そのため、撮影画像の取得の際に試料粒子のそれぞれに焦点を合わせる必要がない。その結果、粒度分布を導き出すために必要な時間を短縮できる。また、連続的な測定が可能であるため、生産ラインへ組み込まれてもよい。その場合、粒度分布をオンラインで測定できる。また、容器 6 内で所定の流速以上で試料粒子を移動させるため、粒径の大きな粒子が重力による沈降によって撮影範囲から外れるのを防止できる。そのため、粒度分布の測定精度が低下するという問題を回避できる。

20

【 0 0 5 5 】

また、粒度分布測定装置 1 0 0 は、短波長の光を発する光源 5 を用いることで粒子画像の境界部分の明暗を際立たせることができる。また、光源 5 が発する光の平行度を高めることで撮影装置 2 と容器 6 との距離にかかわらず投影像の大きさを略一定に維持できる。そのため、粒度分布の測定精度を更に向上させることができる。

【 0 0 5 6 】

また、粒度分布測定装置 1 0 0 では、容易に入手可能な汎用の画像センサ（例えば C C D カメラ又は C M O S カメラ）が撮影装置 2 として採用され得る。そのため、安価に且つ容易に製造され得る。

30

【 0 0 5 7 】

また、粒度分布測定装置 1 0 0 は、連続的に流れる流体に含まれる試料粒子の粒度分布を適時に測定できる。そのため、組み込み装置としてインライン測定で使用され得る。また、粒度分布測定装置 1 0 0 は、試料粒子の粒子径、粒度分布、形状等の評価を連続的に且つ適時に行うことができる。

【 0 0 5 8 】

以上、本発明の好ましい実施例について詳説したが、本発明は、上述した実施例に制限されることはなく、本発明の範囲を逸脱することなしに上述した実施例に種々の変形及び置換を加えることができる。

40

【 0 0 5 9 】

例えば、上述の実施例では、粒度分布測定装置 1 0 0 は、1 台の撮影装置 2 が撮影した複数の撮影画像に基づいて試料粒子の粒度分布を測定する。しかしながら、本発明は、この構成に限定されるものではない。例えば、粒度分布測定装置 1 0 0 は、容器 6 からの距離がそれぞれ異なる複数台の撮影装置 2 が撮影した複数の撮影画像に基づいて試料粒子の粒度分布を測定してもよい。

【 符号の説明 】

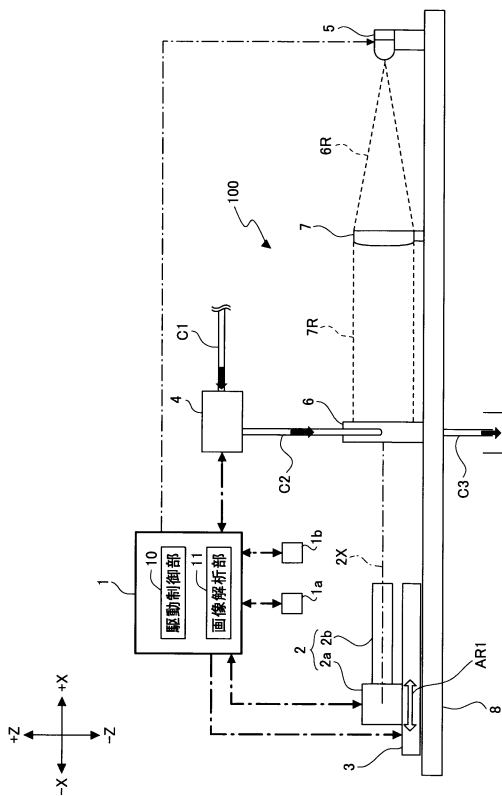
【 0 0 6 0 】

1 . . . 制御装置 2 . . . 撮影装置 2 a . . . 画像センサ 2 b . . . 撮影用レン

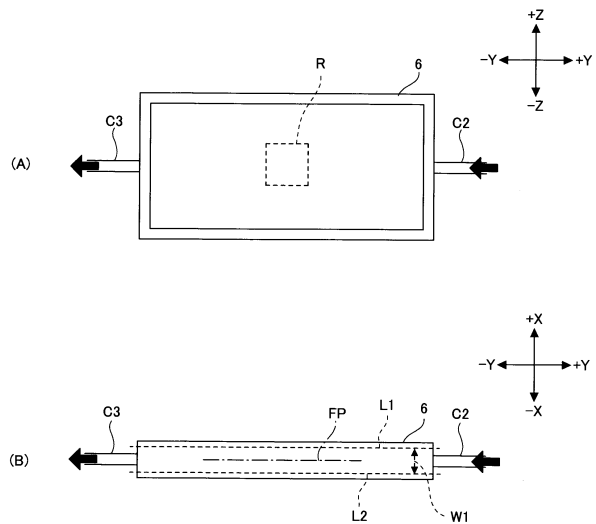
50

ズ 2 X・・・光軸 3・・・変位機構 4・・・流体供給装置 5・・・光源 6・・・容器 7・・・照明用レンズ 8・・・支持台 10・・・駆動制御部 11・・・画像解析部 100・・・粒度分布測定装置 C1～C3・・・管路 FP・・・合焦面 G1～G4・・・撮影画像 G5・・・重複画像 P1～P4・・・粒子画像 R・・・撮影範囲

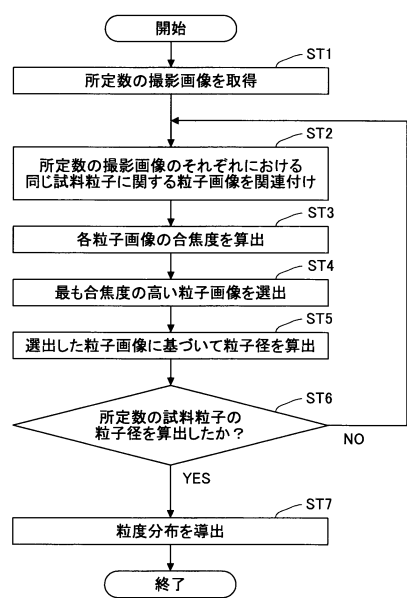
【図1】



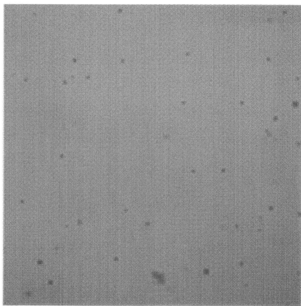
【図2】



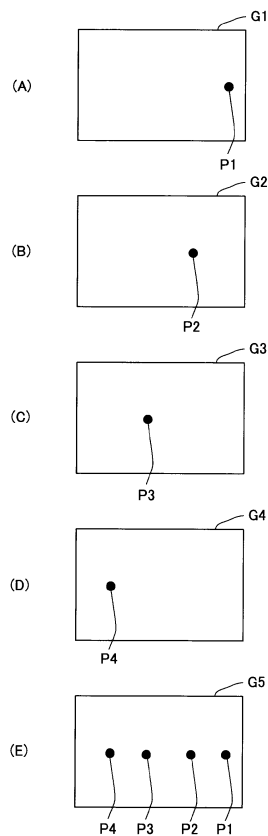
【図 3】



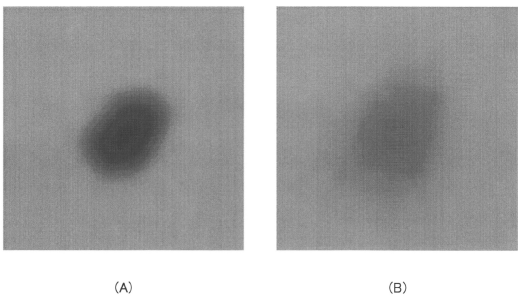
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 1 1 - 3 3 7 4 7 0 (J P , A)
特開平 0 7 - 2 1 8 4 1 7 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 0 1 8 8 1 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 3 0 4 0 5 9 (J P , A)
特開平 0 2 - 1 7 6 5 6 2 (J P , A)
米国特許第 5 5 6 1 5 1 5 (U S , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 1 N 1 5 / 0 0 - 1 5 / 1 4