

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

流路内を一個ずつ移送される粒子の粒子群全体としての状態を検出する検出装置であって、

前記流路の所定領域を時間的に連続して撮像するイメージセンサのセンサ値を取得する入力部と、

前記流路の幅方向における前記イメージセンサのセンサ値の分布の時間的变化に基づいて、移送された前記粒子群に含まれる前記粒子の粒子サイズの分布、又は前記粒子の個数を推定する演算部と、

を備える検出装置。

10

【請求項 2】

前記演算部は、前記流路の幅方向における前記イメージセンサのセンサ値の分布の時間的变化に係るデータを、粒子幅の時間的变化に係るデータに変換する

請求項 1 に記載の検出装置。

【請求項 3】

前記演算部は、前記粒子毎に、前記粒子の前端側から後端側までの間の前記粒子幅の積算値を算出することにより、移送された前記粒子群に含まれる前記粒子の粒子サイズの分布を推定する

請求項 2 に記載の検出装置。

【請求項 4】

20

前記演算部は、前記粒子の前端と後端の間に前記粒子幅の極小値が存在する場合、当該極小値の位置における前記粒子幅を前記粒子の前端を識別する際の所定値以下まで低下させる

請求項 2 又は 3 に記載の検出装置。

【請求項 5】

前記演算部は、前記極小値の存在の有無を判定する際、二以上の基準値を用いる

請求項 4 に記載の検出装置。

【請求項 6】

前記演算部は、前記粒子幅の時間的变化に係るデータに基づいて、各別の前記粒子のデータ領域を識別し、移送された前記粒子群に含まれる前記粒子の個数をカウントする

請求項 2 乃至 5 のいずれか一項に記載の検出装置。

30

【請求項 7】

前記粒子は、液滴状の粒子である

請求項 2 乃至 6 のいずれか一項に記載の検出装置。

【請求項 8】

前記演算部は、前記流路の幅方向における前記イメージセンサのセンサ値の分布が、前記粒子が存在しない領域、前記粒子の中央部分の領域、及び、前記粒子の端部領域のいずれに該当するかを識別して、前記流路の幅方向における前記イメージセンサのセンサ値の分布の時間的变化に係るデータを、粒子幅の時間的变化に係るデータに変換する

請求項 7 に記載の検出装置。

40

【請求項 9】

前記イメージセンサは、前記イメージセンサから見て前記流路の背部に配設された光源から発せられ、前記流路を透過した光の強度を検出する

請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の検出装置。

【請求項 10】

前記イメージセンサは、前記流路の幅方向における一端と他端との間の領域を含む二次元領域を撮像する

請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の検出装置。

【請求項 11】

前記演算部は、第 1 タイミングで前記イメージセンサに生成された第 1 センサ情報と、

50

前記第 1 タイミングに続く第 2 タイミングで前記イメージセンサに生成された第 2 センサ情報とを参照して、前記第 1 センサ情報と前記第 2 センサ情報との間における重複領域を重ね合わせるようにして、前記第 1 センサ情報と前記第 2 センサ情報とを連結する

請求項 10 に記載の検出装置。

【請求項 12】

前記イメージセンサは、前記流路の幅方向における一端と他端との間の領域を含む線状領域を撮像する

請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の検出装置。

【請求項 13】

前記粒子群は、貯留槽に貯留された粒子群である

10

請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の検出装置。

【請求項 14】

ドロップレット生成装置の性能試験に適用される

請求項 1 乃至 13 のいずれか一項に記載の検出装置。

【請求項 15】

流路内を一個ずつ移送される粒子の粒子群全体としての状態を検出する検出方法であって、

前記流路の所定領域を時間的に連続して撮像するイメージセンサのセンサ値を取得する工程と、

前記流路の幅方向における前記イメージセンサのセンサ値の分布の時間的变化に基づいて、移送された前記粒子群に含まれる前記粒子の粒子サイズの分布、又は前記粒子の個数を推定する工程と、

20

を備える検出方法。

【請求項 16】

流路内を一個ずつ移送される粒子の粒子群全体としての状態を検出する検出プログラムであって、

コンピュータに、

前記流路の所定領域を時間的に連続して撮像するイメージセンサのセンサ値を取得する処理と、

前記流路の幅方向における前記イメージセンサのセンサ値の分布の時間的变化に基づいて、移送された前記粒子群に含まれる前記粒子の粒子サイズの分布、又は前記粒子の個数を推定する処理と、

30

を実行させる検出プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、検出装置、検出方法、及び検出プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、流路中を通流する粒子を撮像して、画像情報に基づいて、当該粒子の粒子サイズ等を検出する検出装置が知られている。この種の検出装置は、例えば、ドロップレット（液滴）、細胞、マイクロカプセル、マイクロバブル、又はマイクロポリマー等の種々の微粒子の状態を検出する用途に適用される。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許出願公開第 2016 / 004815 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

50

ところで、この種の検出装置の応用として、観察対象の粒子群に含まれる粒子の粒子サイズの分布や、又は粒子の個数を検出する要請がある。

【0005】

一般に、この種の検出装置においては、粒子領域を検出する処理や、又はテンプレートマッチング処理等の画像解析アルゴリズムを用いて、画像情報から粒子の粒子サイズ等の検出を行っている。この点、かかる画像解析アルゴリズムは、一枚の画像のみに対して画像処理を行う上では有用であるが、処理対象の画像数が多い場合等においては、処理負荷及び処理速度の点で、実用的とは言えない。特に、かかる画像解析アルゴリズムを用いて、流路中を順次に通流する多数の粒子を撮像する場合には、処理対象の画像数も増大するため、かかる処理負荷及び処理速度が問題となる場合がある。

10

【0006】

本開示は、上記問題点に鑑みてなされたもので、簡易な手法で、且つ、高精度に、観察対象の粒子群に含まれる粒子の粒子サイズの分布や、又は粒子の個数を検出し得る検出装置、検出方法、及び検出プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

前述した課題を解決する主たる本開示は、

流路内を一個ずつ移送される粒子の粒子群全体としての状態を検出する検出装置であって、

前記流路の所定領域を時間的に連続して撮像するイメージセンサのセンサ値を取得する入力部と、

20

前記流路の幅方向における前記イメージセンサのセンサ値の分布の時間的変化に基づいて、移送された前記粒子群に含まれる前記粒子の粒子サイズの分布、又は前記粒子の個数を推定する演算部と、

を備える検出装置である。

【0008】

又、他の局面では、

流路内を一個ずつ移送される粒子の粒子群全体としての状態を検出する検出方法であって、

前記流路の所定領域を時間的に連続して撮像するイメージセンサのセンサ値を取得する工程と、

30

前記流路の幅方向における前記イメージセンサのセンサ値の分布の時間的変化に基づいて、移送された前記粒子群に含まれる前記粒子の粒子サイズの分布、又は前記粒子の個数を推定する工程と、

を備える検出方法である。

【0009】

又、他の局面では、

流路内を一個ずつ移送される粒子の粒子群全体としての状態を検出する検出プログラムであって、

コンピュータに、

40

前記流路の所定領域を時間的に連続して撮像するイメージセンサのセンサ値を取得する処理と、

前記流路の幅方向における前記イメージセンサのセンサ値の分布の時間的変化に基づいて、移送された前記粒子群に含まれる前記粒子の粒子サイズの分布、又は前記粒子の個数を推定する処理と、

を実行させる検出プログラムである。

【発明の効果】

【0010】

本開示に係る検出装置によれば、観察対象の粒子群に含まれる粒子の粒子サイズの分布や、又は粒子の個数を、簡易な手法で、且つ、高精度に、検出可能である。

50

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】第1の実施形態に係る検出システムの構成の一例を示す図

【図2】ドロップレット生成装置の構成の一例を示す図

【図3】第1の実施形態に係る検出装置の構成の一例を示す図

【図4】第1の実施形態に係る粒子幅算出部におけるDistance値の算出方法について、説明する図

【図5】第1の実施形態に係る粒子幅算出部におけるDistance値の算出方法の詳細について、説明する図

【図6】第1の実施形態に係る粒子幅算出部におけるDistance値の算出方法の詳細について、説明する図 10

【図7】第1の実施形態に係る一枚の画像のDistance値の配列情報を示す図

【図8】第1の実施形態に係るデータ連結部におけるDistance値の連結方法について、説明する図

【図9】第1の実施形態に係るデータ連結部におけるDistance値の連結方法について、説明する図

【図10】第1の実施形態に係る一の粒子と他の粒子が密着していない状態のDistance値の連結データの一例を示す図

【図11】第1の実施形態に係るデータ補正部における補正処理について、説明する図

【図12】第1の実施形態に係るデータ補正部における補正処理について、説明する図 20

【図13】第1の実施形態に係るデータ補正部における補正処理について、説明する図

【図14】第1の実施形態に係る粒子サイズ算出部によって算出された粒子の直径と、従来技術に係る手法によって算出された粒子の直径を比較した図

【図15】第1の実施形態に係る検出装置が行う画像解析処理のフローの一例を示す図

【図16】第2の実施形態に係る検出装置の構成の一例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下に添付図面を参照しながら、本開示の好適な実施形態について詳細に説明する。尚、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。 30

【0013】

(第1の実施形態)

以下、図1を参照して、本実施形態に係る検出装置が適用される検出システムの構成の一例について説明する。

【0014】

図1は、本実施形態に係る検出システム1の構成の一例を示す図である。

【0015】

検出システム1は、検出装置10、イメージセンサ20、光源30、及び、流路40を備えている。

【0016】 40

検出システム1は、貯留槽300内に存在する粒子群Aallの状態(典型的には、粒子群Aallに含まれる粒子の粒子サイズの分布、及び粒子の個数)を検出する装置である。本実施形態に係る検出システム1は、例えば、ドロップレット生成装置の性能試験の用途に適用され、ドロップレット生成装置において生成された液滴状の粒子(ドロップレットとも称される)の状態を検出する。

【0017】

図2は、ドロップレット生成装置100の構成の一例を示す図である。図2Aは、ドロップレット生成装置100を上方から見た平面図であり、図2Bは、ドロップレット生成装置100を上方から見た斜視図である。

【0018】 50

ドロップレット生成装置 100 は、基板 110 に形成された貫通孔（第 1 液体導入口 120、第 2 液体導入口 140、及びドロップレット取出口 200）、及び溝（第 1 流路 130、第 2 液体共通流路 150、第 2 流路 160、第 3 流路 170、ドロップレット生成部 180、及びドロップレットが移送されるドロップレット流路 190）によって構成されている。

【0019】

具体的には、基板 110 には、当該基板 110 を貫通するように、第 1 液体を導入する第 1 液体導入口 120、第 2 液体を導入する第 2 液体導入口 140、及び、生成されたドロップレットを取り出すドロップレット取出口 200 が形成されている。

【0020】

又、基板 110 の上面には、第 1 流路 130、第 2 液体共通流路 150、第 2 流路 160、第 3 流路 170、ドロップレット生成部 180、及びドロップレット流路 190 が形成されている。ここで、第 1 流路 130 は、第 1 液体導入口 120 から導入される第 1 液体（例えば、細胞等を含む液体）をドロップレット生成部 180 に供給する。一方、第 2 液体共通流路 150、第 2 流路 160 及び第 3 流路 170 は、第 2 液体導入口 140 から導入される第 2 液体（例えば、第 1 液体と相溶せず、かつ第 1 液体を変性させないオイル等）をドロップレット生成部 180 に供給する。

【0021】

ドロップレット生成部 180 は、第 1 流路 130 から供給される第 1 液体と、第 2 流路 160 及び第 3 流路 170 供給される第 2 液体とを合流する合流部である。ドロップレット生成部 180 には、第 1 流路 130 からの第 1 液体と、第 2 流路 160 及び第 3 流路 170 からの第 2 液体とが、同時に供給され、これによって、第 2 液体が第 1 液体の周囲を包み込むようにして、順次、ドロップレットが生成される。そして、生成されたドロップレットは、ドロップレット流路 190 を介して、ドロップレット取出口 200 に移送される。

【0022】

ドロップレット生成装置 100 に生成された粒子は、ドロップレット取出口 200 を介して、貯留槽 300 に貯留される。尚、図 1 では、ドロップレット生成装置 100 は、貯留槽 300 から取り外された状態を示している。

【0023】

ドロップレット生成装置 100 に生成された粒子は、例えば、直径が 0.1 ~ 1000 μm 程度の液滴状の粒子であって、細胞、核酸又はタンパク質等の被分析物を内包する水又は血液等の液滴である。そして、貯留槽 300 内には、例えば、当該粒子が、オイル（第 2 液体）中に、貯留されている。

【0024】

本実施形態に係る検出システム 1 は、このようにして生成された粒子群 A a l l の状態を検出することで、ドロップレット生成装置 100 が均一な粒径の粒子を生成することができるか、又は、所望の速度で粒子を生成することができるか等の性能試験を行う。

【0025】

図 1 に戻って、本実施形態に係る検出システム 1 の構成について、説明する。

【0026】

貯留槽 300 に貯留された粒子群 A a l l に含まれる粒子は、検出システム 1 による検出の際には、流路 40 内を一個ずつ順番に移送される。ここでは、流路 40 の一端が貯留槽 300 内に配設され、他端が吸引ポンプ（図示せず）に接続されることによって、貯留槽 300 内の粒子が、貯留槽 300 内の液体と共に、流路 40 内を一個ずつ移送されている。尚、図 1 の矢印は、粒子の通流方向を表している。

【0027】

流路 40 は、例えば、透過性の部材によって構成されたガラス管である。流路 40 は、例えば、短手断面が円形状を呈している。そして、流路 40 の直径は、流路 40 内に粒子が一個ずつ通流するように、例えば、ドロップレット生成装置 100 に生成される典型的

10

20

30

40

50

な粒子の粒子サイズにあわせて設定されている。

【0028】

イメージセンサ20は、例えば、CMOSセンサ又はCCDセンサであって、流路40の所定位置に設定した撮像対象領域R1から到来する光の光強度を電気信号に変換する。イメージセンサ20は、例えば、撮像対象領域R1を時間的に連続して撮像する。本実施形態に係るイメージセンサ20は、例えば、一枚あたり300画素×300画素を有する画像を、150fpsのフレームレートの動画像として生成する。

【0029】

イメージセンサ20の撮像対象領域R1は、少なくとも流路40の幅方向（流路40の径方向を表す。以下同じ）の一端から他端までが画像内に映るように、設定されている。又、本実施形態に係るイメージセンサ20は、二次元領域を撮像するエリアセンサである。尚、イメージセンサ20は、光学レンズを用いて、撮像対象領域R1を数倍に拡大して撮像している。

【0030】

光源30は、例えば、白色ランプである。光源30は、イメージセンサ20から見て、流路40の背面側に配設されている。光源30から発される光は、イメージセンサ20が流路40内を通流する粒子を撮像する際に、粒子と当該粒子の周囲との間のコントラストを高める。

【0031】

検出装置10は、例えば、CPU、ROM、RAM、入力ポート、及び、出力ポート等を含んで構成される一般的なコンピュータである。検出装置10は、イメージセンサ20からセンサ情報を取得し、撮像対象領域R1の流路40の幅方向におけるセンサ値の分布に基づいて、流路40の幅に対する粒子の占有幅（以下、「Distance値」又は「粒子幅」と称する）を算出する。そして、検出装置10は、Distance値の時間的変化に基づいて、粒子群Aa11の状態を推定する。

【0032】

尚、検出装置10が有する機能は、例えば、CPUがROMやRAMに格納された制御プログラムや各種データを参照することによって実現される。

【0033】

[画像解析処理について]

次に、図3～図15を参照して、本実施形態に係る検出装置10が行う画像解析処理について説明する。

【0034】

図3は、本実施形態に係る検出装置10の構成の一例を示す図である。

【0035】

本実施形態に係る検出装置10は、入力部10Xと演算部10Yとを備えている。入力部10Xは、センサ情報取得部11によって構成され、演算部10Yは、粒子幅算出部12、データ連結部13、データ補正部14、粒子個数算出部15、及び、粒子サイズ算出部16によって構成されている。

【0036】

<センサ情報取得部11について>

センサ情報取得部11は、イメージセンサ20から、当該イメージセンサ20が生成したセンサ情報を取得する。センサ情報取得部11は、例えば、イメージセンサ20から、貯留槽300内に貯留された粒子群Aa11から粒子の移送が開始されてから、貯留槽300内のすべての粒子群Aa11の移送が完了するまでの間の動画像の情報を取得する。

【0037】

尚、動画像は、連続的に生成された複数の静止画像（以下、単に「画像」と略称する）によって構成されている。

【0038】

本実施形態に係るセンサ情報取得部11は、イメージセンサ20から、光強度に係るセ

10

20

30

40

50

ンサ値が、256階調で表現された画素値に変換されたセンサ情報を取得している。但し、センサ情報取得部11は、イメージセンサ20が検出した光強度に係るセンサ値を、そのままの状態を取得してもよい。換言すると、後述する粒子幅算出部12、データ連結部13、データ補正部14、粒子サイズ算出部15、及び、粒子個数算出部15は、イメージセンサ20が検出した光強度に係るセンサ値をそのまま用いて演算処理を行ってもよい。

【0039】

< 粒子幅算出部12について >

粒子幅算出部12は、流路40の幅方向におけるイメージセンサ20のセンサ値の分布に基づいて、粒子のDistance値（流路40の幅に対する粒子幅）を算出する。

10

【0040】

図4は、本実施形態に係る粒子幅算出部12におけるDistance値の算出方法について、説明する図である。

【0041】

図4Aは、動画像中の一枚の画像を示している。図4AのプラスX方向が流路40の幅方向の一端側に相当し、プラスY方向が粒子の通流方向に相当する。即ち、ここでは、画像の行方向が、流路40の幅方向に相当する。尚、以下では、プラスY方向を粒子の前端側、マイナスY方向を粒子の後端側とも称する。

【0042】

尚、本実施形態では、イメージセンサ20が検出した光強度に係るセンサ値は、画像中の画素値[Gray Value]として256階調で表現されている。即ち、撮像対象領域R1から到来する光の光強度が強い領域（画像中の白色の領域）は「256」の画素値で表現され、撮像対象領域R1から到来する光の光強度が低い領域（画像中の黒色の領域）は「0」の画素値で表現されている。

20

【0043】

図4Aにおいて、リング状の物体A1は、図1の撮像対象領域R1に映る粒子A1である。又、図4A中の粒子A1の両側の±Y方向に沿って延在する黒色領域は、流路40（ここでは、ガラス管）の縁部である。ここでは、粒子A1は、液滴状であるため、当該粒子A1の中心部分は光源30からの光を透過して白色に撮像され、当該粒子A1の輪郭部分のみが光を透過させずに黒色に撮像されている。

30

【0044】

図4Bは、図4AのT1 - T1'の行における画素値の分布を示すグラフである。図4Cは、図4AのT2 - T2'の行における画素値の分布を示すグラフである。図4B及び図4Cにおいて、横軸は流路40の幅方向の位置を示し、縦軸は各画素の画素値を示している。尚、本実施形態では、画素値「100」を、粒子の存在の有無を判定するための閾値として設定している。

【0045】

図4B、図4Cのグラフにおいて、画素値が「100」よりも小さくなっているa - b間の領域及びc - d間の領域は、ガラス管の縁部である。

【0046】

又、図4Cのグラフにおいて、画素値が「100」よりも小さくなっているe - f間の領域及びg - h間の領域は、それぞれ、粒子A1の輪郭部分である。つまり、図4Cのグラフにおいては、e - h間の距離が、流路40の幅方向のうちの粒子A1の占有幅、即ちDistance値に相当する。

40

【0047】

粒子幅算出部12は、図4B、図4Cに示すような流路40の幅方向における画素値の分布情報から、Distance値を算出する。具体的には、粒子幅算出部12は、T2 - T2'の行（図4C）においては、Distance値を、e - h間の距離に相当する110画素と算出する。一方、粒子幅算出部12は、T1 - T1'の行（図4B）においては、粒子A1が存在する領域ではないため、Distance値を0画素と算出する。

50

【 0 0 4 8 】

つまり、本実施形態に係るDistance値は、画像内の各行において粒子A 1 が占有する画素数として算出される。

【 0 0 4 9 】

図5、図6は、粒子幅算出部12におけるDistance値の算出方法の詳細について、説明する図である。図5は、粒子A 1 の中心領域のDistance値の算出方法を示す図であり、図6は、粒子A 1 の前端部及び後端部のDistance値の算出方法を示す図である。

【 0 0 5 0 】

尚、図5 A、図6 Aは、いずれも、図4 Aと同一の画像である。又、図5 Bは、粒子A 1 の中心部分に相当するT 3 - T 3 'の行の画素値の分布を示す図であり、図6 Bは、粒子A 1 の前端部に相当するT 4 - T 4 'の行の画素値の分布を示す図である。

10

【 0 0 5 1 】

本実施形態に係る粒子A 1は、液滴状であり、図5 Bと図6 Bを比較すると分かるように、粒子A 1の前端部及び後端部の流路40の幅方向における画素値の分布は、粒子A 1の中心部分とは異なる分布特性を示す。

【 0 0 5 2 】

そこで、本実施形態に係る粒子幅算出部12は、各行における画素値の分布のパターンに基づいて、粒子A 1が存在しない領域、粒子A 1の中心部分の領域R 2、及び、粒子A 1の前端部又は後端部の領域R 3の3種類に分類して、Distance値を算出している。

【 0 0 5 3 】

20

具体的には、粒子幅算出部12は、一行の画素値の分布の中で、画素値が「1 0 0」である位置が4箇所の場合には粒子A 1が存在しないと識別する（図4 Bを参照）。又、粒子幅算出部12は、一行の画素値の分布の中で、画素値が「1 0 0」である位置が8箇所の場合には、粒子A 1の中心部分の領域R 2と識別し（図5 Bを参照）、e - h間の距離（即ち、画素値が「1 0 0」である位置のうちのマイナスX方向側から3つ目の位置と6つ目の位置の間の距離）をDistance値として算出する。一方、粒子幅算出部12は、一行の画素値の分布の中で、画素値が「1 0 0」である位置が6箇所の場合には、粒子A 1の前端部又は後端部の領域R 3と識別し（図6 Bを参照）、i - j間の距離（即ち、画素値が「1 0 0」である位置のうちのマイナスX方向側から3つ目の位置と4つ目の位置の間）をDistance値として算出する。

30

【 0 0 5 4 】

これによって、粒子A 1の端部領域におけるDistance値の算出精度を高めている。

【 0 0 5 5 】

粒子幅算出部12は、このような手法によって、一枚の画像の各行の画素値の分布から、各行のDistance値を算出する。尚、本実施形態では、一枚の画像は、300画素×300画素によって構成されているため、粒子幅算出部12は、一枚の画像から、300行分のDistance値を生成する。

【 0 0 5 6 】

図7は、一枚の画像のDistance値の配列情報を示す図である。図7 Aは、図4 Aと同一の画像である。図7 Bは、図7 Aの画像におけるDistance値の配列情報をグラフ化した図である。

40

【 0 0 5 7 】

一個の粒子は、図7 Bに示すように、山なり状のカーブを描くDistance値の配列情報として表出する。そのため、山なり状のカーブを描くDistance値の配列を、積算することにより、一個の粒子の粒子サイズを求めることができる（詳細は後述）。

【 0 0 5 8 】

粒子幅算出部12は、同様の手法により、動画像の各画像について、300行分のDistance値を生成する。これによって、動画像の各画像データは、Distance値の配列情報に変換されることになる。

【 0 0 5 9 】

50

< データ連結部 13 について >

データ連結部 13 は、各画像において算出された Distance 値の配列情報を連結する。

【 0060 】

図 8、図 9 は、データ連結部 13 における Distance 値の連結方法について、説明する図である。図 8 A は、あるタイミングで撮像された画像（以下、「第 1 の画像」又は「第 1 センサ情報」と称する）と、当該第 1 の画像の各ラインにおける Distance 値を表している。図 8 B は、第 1 の画像に続いて撮像された画像（以下、「第 2 の画像」又は「第 2 センサ情報」と称する）と、当該第 2 の画像の各ラインにおける Distance 値を表している。

【 0061 】

図 9 は、第 1 の画像の各ラインにおける Distance 値と第 2 の画像の各ラインにおける Distance 値を連結したデータ（図 9 の右側のグラフ）を表している。尚、図 9 の左側の画像は、当該連結データに対応する第 1 の画像と第 2 の画像の合成画像である。図 9 において、点線領域 R a は第 1 の画像の領域、一点鎖線領域 R b は第 2 の画像の領域を表している。但し、図 9 の合成画像は、データ連結部 13 の処理を説明するために示すものであり、実際には、生成されないデータである。

10

【 0062 】

一般に、動画画像におけるフレームレートは、粒子が通流する速度よりも早いため、連続して生成される画像間には、重複して撮像される領域が発生する。そこで、データ連結部 13 は、重複して撮像された領域同士を重ね合わせるようにして、第 1 の画像の Distance 値と第 2 の画像の Distance 値を連結する。

20

【 0063 】

データ連結部 13 は、例えば、第 1 の画像の Distance 値の配列情報と、第 2 の画像の Distance 値の配列情報を比較することにより、第 1 の画像と第 2 の画像との間における重複領域を特定する。そして、データ連結部 13 は、当該重複領域同士を重ね合わせるようにして、第 1 の画像の Distance 値と、第 2 の画像の Distance 値とを連結する。データ連結部 13 は、例えば、第 1 の画像の Distance 値と第 2 の画像の Distance 値との差分を 1 ピクセルずつ算出し、Distance 値の差分の合計値（絶対値）が最小となるよう連結するしてもよい。

【 0064 】

データ連結部 13 は、このような処理を、動画画像中の全画像の Distance 値の配列情報について実行し、全画像の Distance 値を連結したデータを生成する（以下、「Distance 値の連結データ」と称する）。

30

【 0065 】

< データ補正部 14 について >

データ補正部 14 は、Distance 値の連結データから複数の粒子が密着した領域を抽出し、当該領域の Distance 値を補正する。

【 0066 】

流路 40 中を通流する粒子は、必ずしも、互いに離間した状態となっておらず、他の粒子と密着するようにして通流する場合がある（図 13 を参照）。このような場合、Distance 値の連結データは、粒子 2 個分の Distance 値が分離されてない状態となっており、粒子サイズの算出精度の悪化、及び、粒子の個数の算出精度の悪化を引き起こす要因となる。データ補正部 14 は、かかる観点から、Distance 値の連結データを補正する。

40

【 0067 】

まず、検出装置 10 が、Distance 値の連結データから各粒子のデータ領域を特定する方法について、説明する。

【 0068 】

図 10 は、粒子同士が密着していない状態の Distance 値の連結データの一例を示す図である。尚、図 10 において、領域 L1 が一の粒子のデータ領域に相当し、領域 L2 が一の粒子に続いて通流する他の粒子のデータ領域に相当する。又、Distance 値が 0 付近まで低下した領域 Lt が一の粒子と他の粒子の境界のデータ領域に相当する。

50

【 0 0 6 9 】

流路 4 0 内において粒子は、一個ずつ順番に通流するため、一の粒子と他の粒子が密着していない場合、Distance値の連結データには、図 1 0 に示すように、一の粒子と他の粒子の間に、Distance値が「 0 」まで低下する境界領域 L t が表出する。

【 0 0 7 0 】

検出装置 1 0 は、Distance値の連結データの当該データ特性を考慮して、粒子の通流する前方向（プラス Y 方向）から後方向（マイナス Y 方向）に向かってDistance値を順番に探索し、Distance値が「 0 」まで低下している領域から、Distance値が所定の閾値（ここでは、「 1 0 」）よりも大きくなった位置を一の粒子の領域の開始位置と特定する。そして、検出装置 1 0 は、粒子の領域の開始位置から、Distance値が所定の閾値（ここでは、「 1 0 」）よりも小さくなる位置までの間を当該粒子の領域と特定する。

10

【 0 0 7 1 】

但し、一の粒子と他の粒子が密着するようにして通流している場合、一の粒子と他の粒子の間の境界領域においても、Distance値は、所定の閾値（ここでは、「 1 0 」）以下とされない。そこで、データ補正部 1 4 は、一の粒子に係るDistance値の配列情報と他の粒子に係るDistance値の配列情報を互いに分離するべく、当該境界領域におけるDistance値を粒子の前端を識別する際の所定の閾値（ここでは、「 1 0 」）以下まで低下させる。

【 0 0 7 2 】

図 1 1、図 1 2 及び図 1 3 は、データ補正部 1 4 における補正処理について、説明する図である。尚、図 1 1、図 1 2 及び図 1 3 は、同一領域のDistance値の配列情報を示している。

20

【 0 0 7 3 】

データ補正部 1 4 は、一個の粒子の前端と後端の間にDistance値の極小値が存在するかどうかを判定し、当該極小値によって、一の粒子と他の粒子が密着している状態及び密着している位置を特定する。

【 0 0 7 4 】

具体的には、データ補正部 1 4 は、まず、Distance値の連結データから、Distance値が「 1 0 0 」の位置を特定する（図 1 1 A を参照）。次に、データ補正部 1 4 は、Distance値の時間的変化のデータのうち、Distance値が「 1 0 0 」以下の位置のDistance値を「 0 」にする（図 1 1 B を参照）。次に、データ補正部 1 4 は、Distance値の微分値（即ち、隣接する画素間におけるDistance値の差）を算出する（図 1 1 C を参照）。尚、図 1 1 C では、粒子の通流方向の前方側から後方側（即ち、プラス Y 方向からマイナス Y 方向）に向かって、Distance値の微分値を算出している。これによって、表出したDistance値の微分値が「 - 1 0 0 」となる位置が、粒子の後端側の位置に該当する。

30

【 0 0 7 5 】

次に、データ補正部 1 4 は、図 1 1 C のDistance値の微分値に基づいて、粒子の後端側の位置を特定し、当該粒子の後端側の位置を基準として、粒子の通流方向の前方側から後方側（即ち、プラス Y 方向からマイナス Y 方向）に向かって 3 0 画素分のDistance値を探索する（図 1 2）。この際、データ補正部 1 4 は、当該粒子の後方側 3 0 画素分の領域において、Distance値の極小値が存在するか（即ち、プラス Y 方向からマイナス Y 方向に向かって、Distance値が減少した後に再び増加しているデータ特性となっているか）否かを判定し、Distance値の極小値が存在する場合、当該極小値の位置（図 1 2 の X 点）を特定する。これにより、データ補正部 1 4 は、一の粒子と他の粒子が密着した状態を抽出すると共に、Distance値が極小値となる X 点を、隣接する一の粒子と他の粒子の境界位置と特定する。

40

【 0 0 7 6 】

尚、データ補正部 1 4 は、この際、粒子の後方側 3 0 画素分のDistance値が、単調的に減少している場合には、複数の粒子が密着した状態ではないと判断して、特に、処理を行わない。

【 0 0 7 7 】

50

次に、データ補正部 14 は、Distance 値の連結データのうち、図 12 で特定した X 点の位置における Distance 値を「0」に補正する（図 13 を参照）。図 13 の左グラフは、補正処理を行う前の Distance 値の連結データを示す図である。図 13 の右グラフは、補正処理を行った後の Distance 値の連結データを示す図である。

【0078】

つまり、補正後の Distance 値の連結データは、一の粒子と他の粒子が密着する位置においても、Distance 値がゼロまで低下した後に再び増加するようなカーブを描くようなデータとなる（図 13 の右グラフを参照）。これによって、検出装置 10（粒子個数算出部 15 及び粒子サイズ算出部 16）は、当該 Distance 値の連結データに基づいて、密着する一の粒子と他の粒子とを分離して、粒子サイズ及び粒子個数の算出を行うことが可能となる。

10

【0079】

尚、上記では、粒子サイズがおおよそ直径 100 μm である粒子の場合のデータ補正方法を示した。データ補正部 14 は、一の粒子と他の粒子が密着する位置を抽出する際に、Distance 値「100」を基準値とした。しかしながら、個々の粒子の粒子サイズ、又は一の粒子と他の粒子が密着する密着度合いは、種々に変化し得る。かかる観点から、データ補正部 14 は、より好適には、上記したような Distance 値「100」を基準値とした密着位置特定処理に加えて、Distance 値「90」を基準値とした密着位置特定処理、及び、Distance 値「80」を基準値とした密着位置特定処理を実行する。これによって、より確実に、一の粒子と他の粒子とを分離可能にした Distance 値の連結データに補正することが可能である。

20

【0080】

尚、目的とする粒子サイズが異なる場合には、データ補正部 14 における Distance 値の基準値は、適宜変更しうる。

【0081】

< 粒子個数算出部 15 について >

粒子個数算出部 15 は、データ補正部 14 で補正した Distance 値の連結データに基づいて、粒子群 A a 1 1 に含まれる粒子の個数を算出する。

【0082】

粒子個数算出部 15 は、Distance 値の連結データから各粒子のデータ領域を特定し、これによって、粒子群 A a 1 1 に含まれる粒子の個数を算出する。具体的には、粒子個数算出部 15 は、図 10 を参照して説明したように、まず、補正後の Distance 値の連結データを粒子の通流する前方向から後方向に向かって Distance 値を順番に探索し、Distance 値が 0 まで低下している領域から Distance 値が所定の閾値（ここでは、「10」）よりも大きくなった位置を一の粒子の領域の開始位置と特定する。そして、粒子個数算出部 15 は、当該粒子の領域の開始位置から、Distance 値が所定の閾値（ここでは、「10」）よりも小さくなる位置までの間を当該粒子のデータ領域と特定する。

30

【0083】

そして、粒子個数算出部 15 は、Distance 値の連結データ中における粒子のデータ領域の個数をカウントすることによって、粒子群 A a 1 1 に含まれる全粒子の個数を算出する。

40

【0084】

< 粒子サイズ算出部 16 について >

粒子サイズ算出部 16 は、データ補正部 14 で補正した Distance 値の連結データに基づいて、粒子群 A a 1 1 に含まれる粒子の粒子サイズ（面積又は直径等）の分布を算出する。

【0085】

具体的には、まず、粒子サイズ算出部 16 は、図 10 を参照して説明したように、補正後の Distance 値の連結データを、粒子の通流する前方向から後方向に向かって Distance 値を順番に探索し、補正後の Distance 値の連結データ中における各粒子のデータ領域を特定

50

する。

【0086】

次に、粒子サイズ算出部16は、一個の粒子の粒子サイズを算出する際には、当該粒子のデータ領域におけるDistance値を、当該粒子の前端側から後端側まで積算する（図7を参照）。そして、粒子サイズ算出部16は、各粒子のデータ領域に対して同様の処理を実行し、これによって、粒子群A a l lに含まれる各粒子の粒子サイズを算出する。

【0087】

このように、粒子サイズ算出部16は、データ補正部14で補正したDistance値の連結データに基づいて、粒子群A a l lに含まれる全粒子の粒子サイズの分布を算出する。尚、このようにして算出された粒子の粒子サイズは、画像内における粒子の面積に相当する。

10

【0088】

尚、粒子サイズ算出部16は、各粒子を完全球体と仮定して、 $S = \pi \times r^2$ （但し、 S は面積、 r は粒子の半直径）の公式から、各粒子の直径（即ち、 $2 \times r$ ）を算出し、粒子群A a l lに含まれる全粒子の直径の分布を算出してもよい。又、粒子サイズ算出部16は、粒子の粒子サイズの単位を、画素数基準の単位から、SI単位系（例えば、 μm 単位）に変換してもよい。

【0089】

図14は、粒子サイズ算出部16によって算出された粒子の直径と、従来技術に係る手法によって算出された粒子の直径を比較した図である。

20

【0090】

図14A、図14B、図14C、及び図14Dにおいては、それぞれ、画像内に映る粒子の直径が算出されている。

【0091】

従来技術に係る手法としては、公知の画像解析ソフトImage Jを用いている。当該手法は、画像内における粒子の領域を手作業で設定させ、当該粒子の領域から当該粒子の直径を算出するものである。尚、当該手法は、高精度に粒子の粒子サイズを算出可能であるものの、手作業を含むため画像処理に長時間を要する。

【0092】

図14A、図14B、図14C、及び図14Dから分かるように、粒子サイズ算出部16によって算出された粒子のサイズと、従来手法によって算出された粒子のサイズとは、略同一の値となっている。つまり、本実施形態に係る粒子サイズ算出部16によれば、簡易な手法で、高精度に画像内における粒子を特定することが可能であることが分かる。

30

【0093】

尚、図14では、一個の粒子の粒子サイズのみを示しているが、粒子サイズ算出部16は、粒子群A a l lに含まれる全粒子の粒子サイズを算出する。

【0094】

< 画像解析処理のフローについて >

図15は、本実施形態に係る検出装置10が行う画像解析処理のフローの一例を示す図である。

40

【0095】

検出装置10（センサ情報取得部11）は、まず、イメージセンサ20を用いて、貯留槽300内に貯留された粒子群A a l lの移送が開始されてから、貯留槽300内の粒子群A a l lのすべての粒子の移送が完了するまでの間の動画像を取得する（ステップS1）。次に、検出装置10（粒子幅算出部12）は、イメージセンサ20のセンサ値の流路40の幅方向における分布に基づいて、動画像中の画像それぞれについて、画像の各行のdistance値を算出する（ステップS2）。次に、検出装置10（データ連結部13）は、各画像において算出されたdistance値を連結する（ステップS3）。次に、検出装置10は（データ補正部14）、ステップS3で生成したdistance値の連結データを、密着する一の粒子と他の粒子とを分離することが可能になるように、補正する（ステップS4）。

50

次に、検出装置 10 (粒子個数算出部 15) は、ステップ S 4 で補正した distance 値の連結データに基づいて、粒子群に含まれる粒子の個数を算出する (ステップ S 5)。次に、検出装置 10 (粒子サイズ算出部 16) は、ステップ S 4 で補正した distance 値の連結データに基づいて、粒子群に含まれる粒子の粒子サイズの分布を算出する (ステップ S 6)。

【 0096 】

尚、ステップ S 1 ~ ステップ S 6 の各工程の詳細は、上記した通りである。

【 0097 】

このようにして、検出装置 10 は、粒子群 A a l l に含まれる粒子の粒子サイズの分布、及び粒子群 A a l l に含まれる粒子の個数を推定する。

10

【 0098 】

[効果]

以上のように、本実施形態に係る検出装置 10 は、流路 40 の所定領域 R 1 を時間的に連続して撮像するイメージセンサ 20 のセンサ値を取得する入力部 10 X と、流路 40 の幅方向におけるイメージセンサ 20 のセンサ値の分布の時間的变化に基づいて、移送された粒子の粒子サイズの分布、又は移送された粒子の個数を推定する演算部 10 Y と、を備えている。

【 0099 】

従って、本実施形態に係る検出装置 10 によれば、簡易な手法で、且つ、高精度に、観察対象の粒子群 A a l l に含まれる粒子の粒子サイズの分布、又は粒子の個数を検出することができる。特に、本実施形態に係る検出装置 10 によれば、パターン認識等を用いて画像に映る粒子を識別する手法 (例えば、粒子領域を検出する処理や、又はテンプレートマッチング処理) と比較すると、処理負荷が小さく、処理速度の向上を図ることができる点で、有用である。

20

【 0100 】

又、特に、本実施形態に係る検出装置 10 は、光源 30 から発せられ、流路 40 を透過した透過光に基づいて、粒子の粒子サイズ等を推定する。従って、本実施形態に係る検出装置 10 によれば、蛍光剤を含有させて粒子を発光させて粒子の粒子サイズ等を推定する従来公知の手法と比較しても、高精度な推定が可能である。

【 0101 】

30

(第 2 の実施形態)

次に、図 16 を参照して、第 2 の実施形態に係る検出システム 1 について説明する。本実施形態に係る検出システム 1 は、イメージセンサ 20 が線状領域のみを撮像するように構成されている (ラインセンサとも称される) 点で、第 1 の実施形態と相違する。尚、第 1 の実施形態と共通する構成については、説明を省略する。

【 0102 】

図 16 は、第 2 の実施形態に係る検出システム 1 の構成の一例を示す図である。尚、図 16 では、光源 30 及び貯留槽 300 の図示を省略している。

【 0103 】

40

本実施形態に係るイメージセンサ 20 は、図 16 に示すように、流路 40 の幅方向における一端と他端との間の領域を含む線状領域のみを撮像対象領域 R 1 とする。従って、イメージセンサ 20 によって検出された線状領域のセンサ値の分布は、第 1 の実施形態で説明した図 4 B、図 4 C 等と同様に表出する。

【 0104 】

本実施形態に係る検出装置 10 (粒子幅算出部 12) は、第 1 の実施形態で説明した手法と同様の手法によって、イメージセンサ 20 が検出したセンサ情報から、粒子の Distance 値 (即ち、流路 40 の幅に対する粒子の占有幅) を算出する。但し、本実施形態においては、イメージセンサ 20 が検出したセンサ情報の時間的变化の中には、重複領域は存在しないため、検出装置 10 は、異なるタイミングで撮像された撮像対象領域 R 1 のセンサ情報を重ね合わせる処理 (上記したデータ連結部 13 の処理) を行う必要はない。換言す

50

ると、当該イメージセンサ 20 に生成されたセンサ情報は、直接、Distance値の連結データに変換することができる。

【0105】

以上のように、本実施形態に係る検出装置 10 によれば、イメージセンサ 20 が線状領域のみを撮像するように構成されているため、より一層の処理負荷の軽減及び処理速度の向上を図ることができる。

【0106】

(その他の実施形態)

本発明は、上記実施形態に限らず、種々に変形態様が考えられる。

【0107】

上記実施形態では、検出システム 1 による観察対象の一例として、貯留槽 300 に貯留された粒子群 A a 1 1 を示した。しかしながら、本発明に係る検出システム 1 による観察対象としては、一定時間内に流路 40 内を移送された粒子であってもよい。例えば、検出システム 1 は、ドロップレット生成装置 100 から生成される粒子を、ドロップレット流路 190 において検出してもよい。

【0108】

又、上記実施形態では、検出システム 1 による観察対象の一例として、液滴状の粒子を示した。しかしながら、本発明に係る検出システム 1 による観察対象としては、固体状の粒子であってもよい。

【0109】

又、上記実施形態では、検出システム 1 の適用対象の一例として、ドロップレット生成装置 100 の性能試験に適用する態様を示した。しかしながら、本発明に係る検出システム 1 の適用対象は、任意であり、例えば、流路 40 内を移送される粒子の品質管理等の用途にも適用し得る。

【0110】

又、上記実施形態では、流路 40 の一例として、ガラス管を示した。しかしながら、流路 40 としては、チューブ、又は、ガラス基板上に形成された溝等が用いられてもよい。

【0111】

又、上記実施形態では、光源 30 の一例として、白色ランプを示した。しかしながら、光源 30 としては、レーザ、発光ダイオード、白熱光源、又は、蛍光光源等が用いられてもよい。

【0112】

以上、本発明の具体例を詳細に説明したが、これらは例示にすぎず、請求の範囲を限定するものではない。請求の範囲に記載の技術には、以上に例示した具体例を様々に変形、変更したものが含まれる。

【産業上の利用可能性】

【0113】

本開示に係る検出装置によれば、観察対象の粒子群に含まれる粒子の粒子サイズの分布や、又は粒子の個数を、簡易な手法で、且つ、高精度に、検出可能である。

【符号の説明】

【0114】

- 1 検出システム
- 10 検出装置
- 10X 入力部
- 10Y 演算部
- 11 センサ情報取得部
- 12 粒子幅算出部
- 13 データ連結部
- 14 データ補正部
- 15 粒子個数算出部

10

20

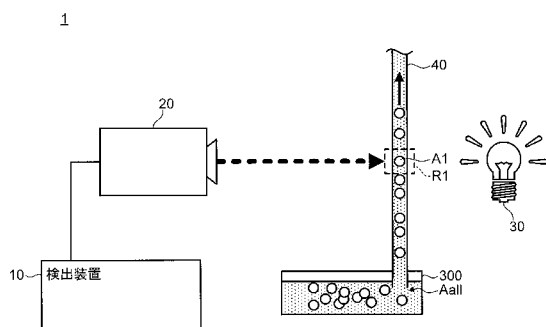
30

40

50

1 6 粒子サイズ算出部
 2 0 イメージセンサ
 3 0 光源
 4 0 流路
 1 0 0 ドロップレット生成装置
 3 0 0 貯留槽
 A a l l 粒子群

【図 1】



【図 2】

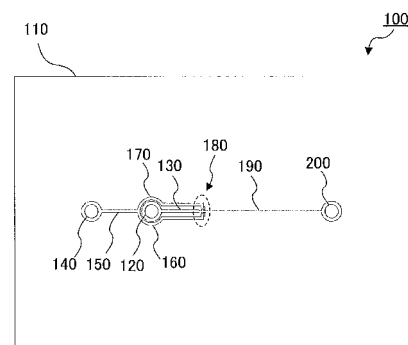


図2A

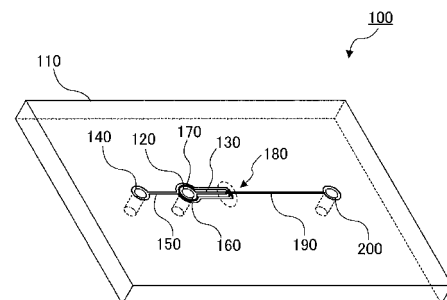
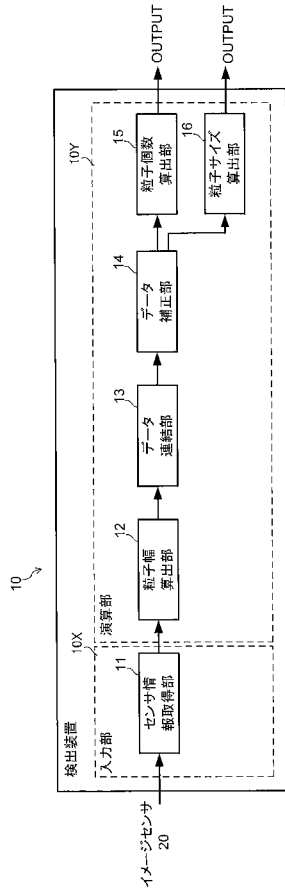


図2B

【図 3】



【図 4】

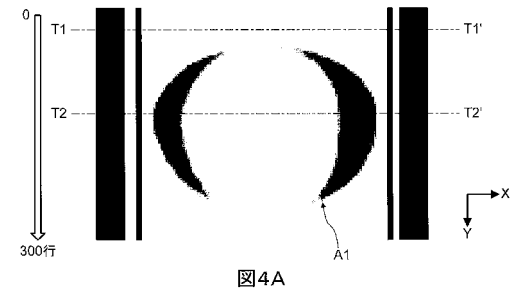


図4A

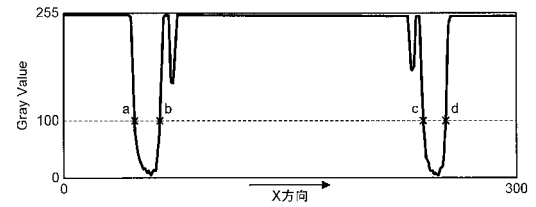


図4B

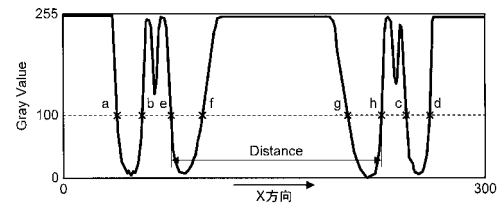


図4C

【図 5】

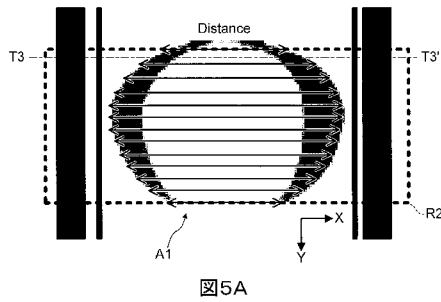


図5A

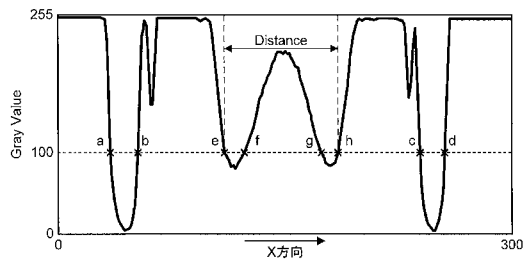


図5B

【図 6】

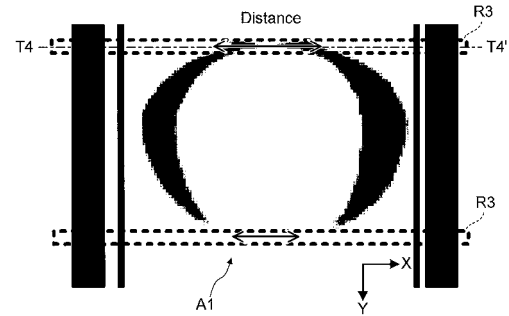


図6A

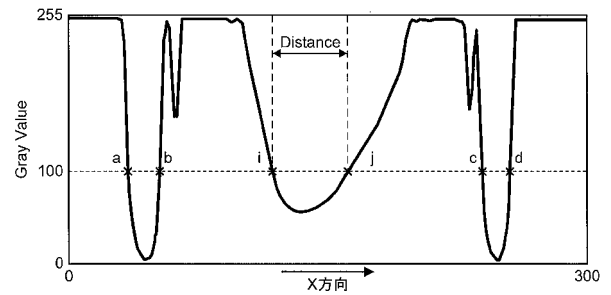
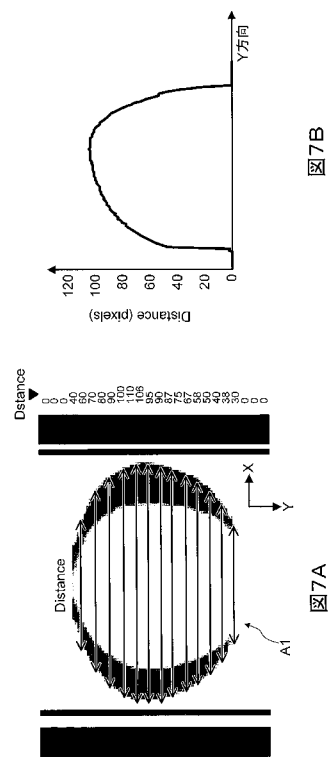
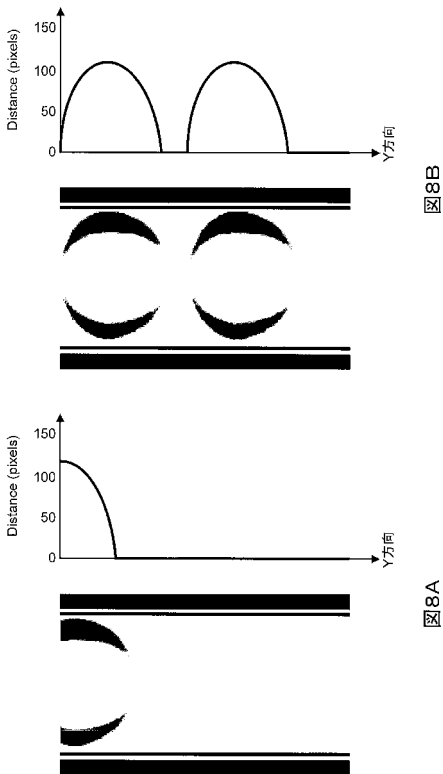


図6B

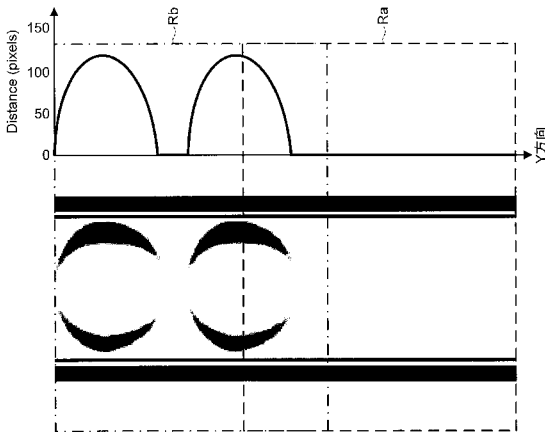
【 図 7 】



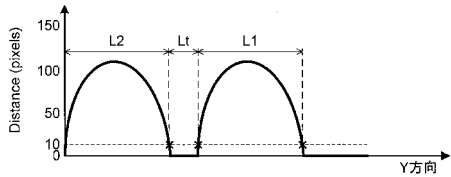
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



【図 1 1】

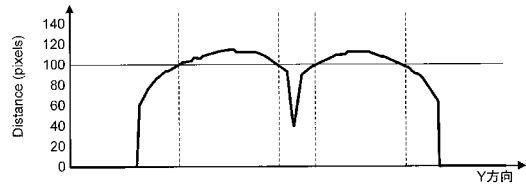


図11A

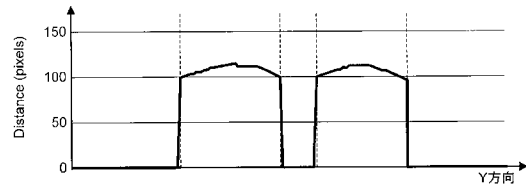


図11B

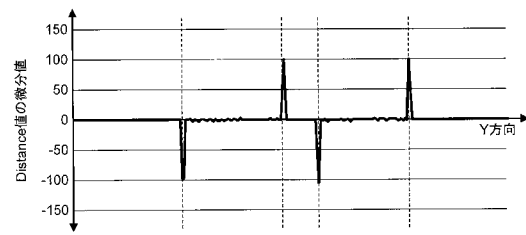
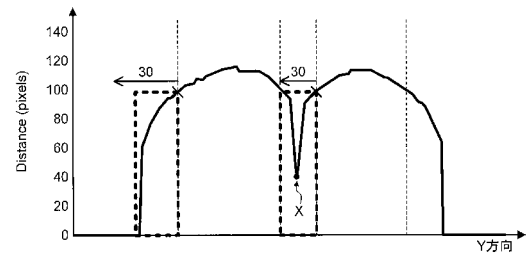
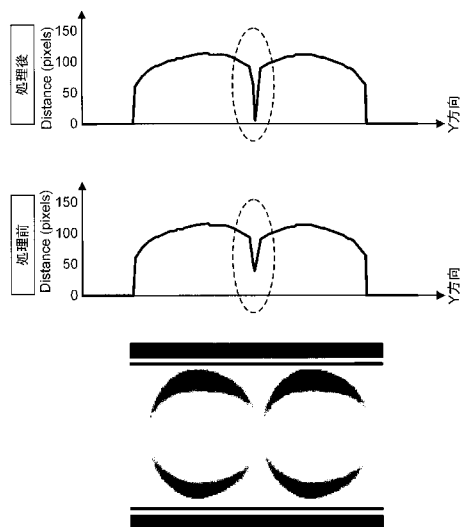


図11C

【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】

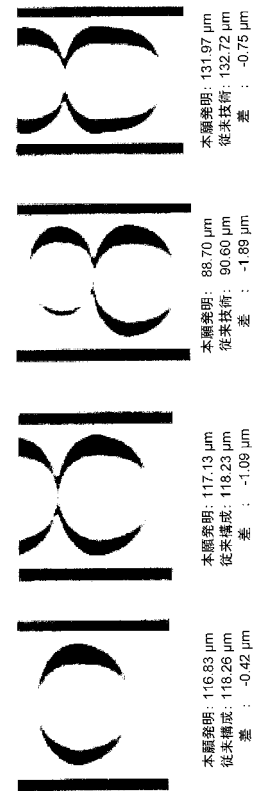


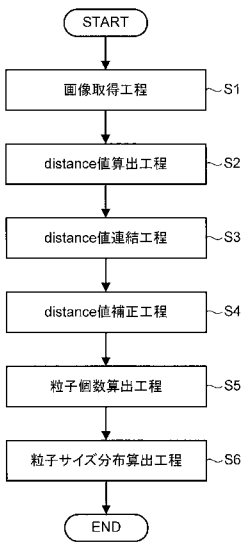
図14D

図14C

図14B

図14A

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

