

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6765057号
(P6765057)

(45) 発行日 令和2年10月7日(2020.10.7)

(24) 登録日 令和2年9月17日(2020.9.17)

(51) Int.Cl.	F I
C 1 2 M 1/34 (2006.01)	C 1 2 M 1/34 D
C 1 2 Q 1/04 (2006.01)	C 1 2 M 1/34 B
H O 4 N 5/232 (2006.01)	C 1 2 Q 1/04
H O 4 N 5/238 (2006.01)	H O 4 N 5/232
G O 6 T 1/00 (2006.01)	H O 4 N 5/238

請求項の数 21 (全 52 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-23557 (P2017-23557)	(73) 特許権者	314012076
(22) 出願日	平成29年2月10日 (2017.2.10)		パナソニックIPマネジメント株式会社
(65) 公開番号	特開2018-78880 (P2018-78880A)		大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
(43) 公開日	平成30年5月24日 (2018.5.24)	(74) 代理人	100109210
審査請求日	令和1年8月26日 (2019.8.26)		弁理士 新居 広守
(31) 優先権主張番号	特願2016-56249 (P2016-56249)	(74) 代理人	100137235
(32) 優先日	平成28年3月18日 (2016.3.18)		弁理士 寺谷 英作
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74) 代理人	100131417
			弁理士 道坂 伸一
(31) 優先権主張番号	特願2016-216720 (P2016-216720)	(72) 発明者	加藤 弓子
(32) 優先日	平成28年11月4日 (2016.11.4)		大阪府門真市大字門真1006番地 パナ
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72) 発明者	佐藤 太一
			大阪府門真市大字門真1006番地 パナ
			ソニック株式会社内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像生成装置、画像生成方法およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の照明器と、
対象物が載置される表面を有するイメージセンサと、
前記複数の照明器と前記イメージセンサとの間に位置する仮想的な焦点面における前記対象物の合焦画像を生成する制御回路とを備え、
前記制御回路は、
(a) 前記複数の照明器が前記対象物を順番に照明するごとに行われる前記イメージセンサによる撮影によって得られた前記対象物の複数の撮影画像を用いて、予め定められた複数の焦点面のそれぞれにおける前記対象物の合焦画像を生成し、
(b) 生成された複数の前記合焦画像に映っている前記対象物の少なくとも1つの断面の輪郭を抽出し、
(c) 前記少なくとも1つの断面の輪郭に基づいて、少なくとも1つの円周を生成し、
(d) 生成された前記少なくとも1つの円周のそれぞれを有する少なくとも1つの球の立体画像である球画像を生成し、
(e) 前記少なくとも1つの球の断面が現れるように前記球画像を加工することによって合成画像を生成して、前記合成画像をディスプレイに表示させる
画像生成装置。

【請求項2】

前記制御回路は、

前記 (b) では、
生成された複数の前記合焦画像のそれぞれに映っている前記対象物の断面の輪郭から、
複数の前記合焦画像のそれぞれにおいて同一の位置にあって同一のサイズおよび形状の複数の輪郭を抽出し、

前記 (c) では、
抽出された前記複数の輪郭のうちの最大のエッジ強度を有する輪郭に基づいて円周を生成する

請求項 1 に記載の画像生成装置。

【請求項 3】

前記制御回路は、

前記 (c) では、

前記最大のエッジ強度を有する輪郭に内接または外接する円周を生成する

請求項 2 に記載の画像生成装置。

【請求項 4】

前記制御回路は、

前記 (d) では、

生成された前記円周と同一の中心および半径を有する球の立体画像を含む前記球画像を生成する

請求項 3 に記載の画像生成装置。

【請求項 5】

前記制御回路は、

前記 (d) では、球面が互いに交わらない複数の球の立体画像を、前記球画像として生成する

請求項 1 ~ 4 の何れか 1 項に記載の画像生成装置。

【請求項 6】

前記対象物は胚であり、

前記少なくとも 1 つの球は、胚の外形を表す外球と、前記外球に内包され、それぞれ細胞の外形を表す少なくとも 1 つの内球とからなる

請求項 1 ~ 5 の何れか 1 項に記載の画像生成装置。

【請求項 7】

前記制御回路は、さらに、

(f) ユーザによる操作に応じて、表示されている前記合成画像における前記断面の位置を前記ディスプレイに変更させ、

(g) ユーザからの要求に応じて、ディスプレイに表示されている前記断面に対応する焦点面における前記対象物の合焦画像を、前記複数の撮影画像を用いて生成して、ディスプレイに表示させる

請求項 1 ~ 6 の何れか 1 項に記載の画像生成装置。

【請求項 8】

複数の照明器と、対象物が載置されるイメージセンサとの間に位置する仮想的な焦点面における前記対象物の合焦画像を生成する画像生成方法であって、

(a) 前記複数の照明器が前記対象物を順番に照明するごとに行われる前記イメージセンサによる撮影によって得られた前記対象物の複数の撮影画像を用いて、予め定められた複数の焦点面のそれぞれにおける前記対象物の合焦画像を生成し、

(b) 生成された複数の前記合焦画像に映っている前記対象物の少なくとも 1 つの断面の輪郭を抽出し、

(c) 前記少なくとも 1 つの断面の輪郭に基づいて、少なくとも 1 つの円周を生成し、

(d) 生成された前記少なくとも 1 つの円周のそれぞれを有する少なくとも 1 つの球の立体画像である球画像を生成し、

(e) 前記少なくとも 1 つの球の断面が現れるように前記球画像を加工することによって合成画像を生成して、前記合成画像をディスプレイに表示させる

10

20

30

40

50

画像生成方法。

【請求項 9】

前記 (b) では、

生成された複数の前記合焦画像のそれぞれに映っている前記対象物の断面の輪郭から、複数の前記合焦画像のそれぞれにおいて同一の位置にあって同一のサイズおよび形状の複数の輪郭を抽出し、

前記 (c) では、

抽出された前記複数の輪郭のうちの最大のエッジ強度を有する輪郭に基づいて円周を生成する

請求項 8 に記載の画像生成方法。

10

【請求項 10】

前記 (c) では、

前記最大のエッジ強度を有する輪郭に内接または外接する円周を生成する

請求項 9 に記載の画像生成方法。

【請求項 11】

前記 (d) では、

生成された前記円周と同一の中心および半径を有する球の立体画像を含む前記球画像を生成する

請求項 10 に記載の画像生成方法。

20

【請求項 12】

前記 (d) では、球面が互いに交わらない複数の球の立体画像を、前記球画像として生成する

請求項 8 ~ 11 の何れか 1 項に記載の画像生成方法。

【請求項 13】

前記対象物は胚であり、

前記少なくとも 1 つの球は、胚の外形を表す外球と、前記外球に内包され、それぞれ細胞の外形を表す少なくとも 1 つの内球とからなる

請求項 8 ~ 12 の何れか 1 項に記載の画像生成方法。

【請求項 14】

前記画像生成方法は、さらに、

(f) ユーザによる操作に応じて、表示されている前記合成画像における前記断面の位置を前記ディスプレイに変更させ、

(g) ユーザからの要求に応じて、ディスプレイに表示されている前記断面に対応する焦点面における前記対象物の合焦画像を、前記複数の撮影画像を用いて生成して、ディスプレイに表示させる

請求項 8 ~ 13 の何れか 1 項に記載の画像生成方法。

30

【請求項 15】

複数の照明器と、対象物が載置されるイメージセンサとの間に位置する仮想的な焦点面における前記対象物の合焦画像を生成するためのプログラムであって、

前記プログラムは、

(a) 前記複数の照明器が前記対象物を順番に照明することに行われる前記イメージセンサによる撮影によって得られた前記対象物の複数の撮影画像を用いて、予め定められた複数の焦点面のそれぞれにおける前記対象物の合焦画像を生成し、

(b) 生成された複数の前記合焦画像に映っている前記対象物の少なくとも 1 つの断面の輪郭を抽出し、

(c) 前記少なくとも 1 つの断面の輪郭に基づいて、少なくとも 1 つの円周を生成し、

(d) 生成された前記少なくとも 1 つの円周のそれぞれを有する少なくとも 1 つの球の立体画像である球画像を生成し、

(e) 前記少なくとも 1 つの球の断面が現れるように前記球画像を加工することによって合成画像を生成して、前記合成画像をディスプレイに表示させる

40

50

ことをコンピュータに実行させるプログラム。

【請求項 16】

前記 (b) では、

生成された複数の前記合焦画像のそれぞれに映っている前記対象物の断面の輪郭から、複数の前記合焦画像のそれぞれにおいて同一の位置にあって同一のサイズおよび形状の複数の輪郭を抽出し、

前記 (c) では、

抽出された前記複数の輪郭のうちの最大のエッジ強度を有する輪郭に基づいて円周を生成する

請求項 15 に記載のプログラム。

10

【請求項 17】

前記 (c) では、

前記最大のエッジ強度を有する輪郭に内接または外接する円周を生成する

請求項 16 に記載のプログラム。

【請求項 18】

前記 (d) では、

生成された前記円周と同一の中心および半径を有する球の立体画像を含む前記球画像を生成する

請求項 17 に記載のプログラム。

【請求項 19】

20

前記 (d) では、球面が互いに交わらない複数の球の立体画像を、前記球画像として生成する

請求項 15 ~ 18 の何れか 1 項に記載のプログラム。

【請求項 20】

前記対象物は胚であり、

前記少なくとも 1 つの球は、胚の外形を表す外球と、前記外球に内包され、それぞれ細胞の外形を表す少なくとも 1 つの内球とからなる

請求項 15 ~ 19 の何れか 1 項に記載のプログラム。

【請求項 21】

前記プログラムは、さらに、

30

(f) ユーザによる操作に応じて、表示されている前記合成画像における前記断面の位置を前記ディスプレイに変更させ、

(g) ユーザからの要求に応じて、ディスプレイに表示されている前記断面に対応する焦点面における前記対象物の合焦画像を、前記複数の撮影画像を用いて生成して、ディスプレイに表示させる

ことを前記コンピュータに実行させる

請求項 15 ~ 20 の何れか 1 項に記載のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

40

本開示は、レンズレス顕微鏡における、複数の光源による複数の撮影画像に基づいて仮想的な合焦面における対象物の画像を生成する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

培養細胞を染色することなく連続的に観察したいという要求は、治療用の細胞の産生、薬効の試験等、培養細胞を医療、産業に用いる多くの分野にある。しかしながら、細胞の多くは、ほとんど無色透明であるため、透過光による光学顕微鏡での撮影では、培養細胞の立体構造がわかりにくい。

【0003】

特許文献 1 では、細胞の断面形状を評価するために、対物レンズに平行であって、対象

50

物に対して焦点の高さ位置が異なる多数の画像（すなわちピントを対象物の高さ方向にずらしながら撮影した多数の画像）から、対物レンズと平行でない面の合焦画像（擬似断面画像）を生成する方法を示している。

【 0 0 0 4 】

ところで、培養細胞の連続的観察は、細胞を培養するための多湿な環境を維持するためのインキュベータという限られた空間内で行われる。このような多湿な限られた空間内での観察のために、特許文献2は、レンズを用いずに微小な細胞を観察することのできるレンズレス顕微鏡を開示している。複数の異なる位置から照射する照明によって撮影された複数の画像を重ね合わせて（Ptychography）、解像度を高める方法を開示している。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献1】特開2013-101512号公報

【特許文献2】米国特許出願公開第2014/0133702号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

しかしながら、特許文献1の方法では、ユーザが対象物の構成を容易に把握することが難しいという問題がある。

20

【 0 0 0 7 】

そこで、本開示の非限定的で例示的な一態様は、ユーザが対象物の構成を容易に把握することができる画像生成装置等を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本開示の一態様に係る画像生成装置は、複数の照明器と、対象物が載置される表面を有するイメージセンサと、前記複数の照明器と前記イメージセンサとの間に位置する仮想的な焦点面における前記対象物の合焦画像を生成する制御回路とを備え、前記制御回路は、（a）前記複数の照明器が前記対象物を順番に照明することに行われる前記イメージセンサによる撮影によって得られた前記対象物の複数の撮影画像を用いて、予め定められた複数の焦点面のそれぞれにおける前記対象物の合焦画像を生成し、（b）生成された複数の前記合焦画像に映っている前記対象物の少なくとも1つの断面の輪郭を抽出し、（c）前記少なくとも1つの断面の輪郭に基づいて、少なくとも1つの円周を生成し、（d）生成された前記少なくとも1つの円周のそれぞれを有する少なくとも1つの球の立体画像である球画像を生成し、（e）前記少なくとも1つの球の断面が現れるように前記球画像を加工することによって合成画像を生成して、前記合成画像をディスプレイに表示させる。

30

【 0 0 0 9 】

なお、この包括的または具体的な態様は、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能な記録媒体で実現されてもよく、装置、システム、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよびコンピュータ読み取り可能な記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えばCD-ROM（Compact Disc-Read Only Memory）などの不揮発性の記録媒体を含む。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本開示によれば、ユーザが対象物の構成を容易に把握することができる。本開示の一態様の付加的な恩恵及び有利な点は本明細書及び図面から明らかとなる。この恩恵及び／又は有利な点は、本明細書及び図面に開示した様々な態様及び特徴により個別に提供され得るものであり、その1以上を得るために全てが必要ではない。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 1 】

【図 1】実施の形態 1 に係る画像生成システムの機能的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 2】実施の形態 1 に係る照明器の構造の一例を模式的に示す図である。

【図 3】実施の形態 1 に係る照明器の構造の一例を模式的に示す図である。

【図 4】実施の形態 1 に係る照明器の構造の一例を模式的に示す図である。

【図 5】実施の形態 1 に係る照明器に含まれるピンホールが満たすべき大きさ条件を説明する模式図である。

【図 6】実施の形態 1 に係る記憶部が記憶する内容の一例を示す図である。

【図 7】実施の形態 1 に係る画像生成システムの動作の一例を示すフローチャートである 10

【図 8】座標と焦点面との関係の一例を示す模式図である。

【図 9】実施の形態 1 に係る撮像装置の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 10】実施の形態 1 に係るリフォーカス処理部の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 11】実施の形態 1 に係るリフォーカス処理の具体例を説明する模式図である。

【図 12】実施の形態 1 に係るリフォーカス処理の具体例を説明する模式図である。

【図 13】実施の形態 1 に係るリフォーカス処理の具体例を説明する模式図である。

【図 14】実施の形態 1 に係るリフォーカス処理の具体例を説明する模式図である。

【図 15】実施の形態 1 に係るリフォーカス処理の具体例を説明する模式図である。 20

【図 16】実施の形態 1 の変形例 1 に係るリフォーカス処理部の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 17】実施の形態 1 の変形例 2 に係るリフォーカス処理部の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 18】実施の形態 1 の変形例 2 に係るリフォーカス処理の具体例を説明する模式図である。

【図 19】実施の形態 1 の変形例 2 に係るリフォーカス処理の具体例を説明する模式図である。

【図 20】実施の形態 1 の変形例 2 に係るリフォーカス処理の具体例を説明する模式図である。 30

【図 21】実施の形態 1 の変形例 2 に係るリフォーカス処理の具体例を説明する模式図である。

【図 22】実施の形態 2 に係る画像生成システムの機能的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 23】実施の形態 2 における照明位置の範囲の一例を模式的に示す図である。

【図 24】レンズの焦点距離及び被写界深度の関係と、リフォーカシングする際の点光源の配置及び被写界深度の関係を対応付けて示した模式図である。

【図 25】実施の形態 2 に係る画像生成システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【図 26】実施の形態 2 の変形例に係る画像生成システムの機能的な構成の一例を示すブロック図である。 40

【図 27】実施の形態 2 の変形例に係る画像生成システムの動作の一例を示すフローチャートである。

【図 28】実施の形態 3 に係る画像生成システムの機能的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 29】実施の形態 3 に係る胚情報テーブルの一例を示す図である。

【図 30】実施の形態 3 に係る焦点面決定部の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 31】実施の形態 3 の変形例に係る画像生成システムの機能的な構成の一例を示すブロック図である。

【図 32】実施の形態 3 の変形例に係る細胞位置判定部の詳細な機能構成の一例を示すブ 50

ロック図である。

【図 3 3】実施の形態 3 の変形例に係る焦点面決定部の動作の一例を示すフローチャートである。

【図 3 4】実施の形態 3 の変形例に係る焦点面決定部による細胞配置の決定に関する処理を示すフローチャートである。

【図 3 5 A】4 細胞期の胚の 3 次元モデルの側面図である。

【図 3 5 B】4 細胞期の胚の 3 次元モデルの側面図である。

【図 3 5 C】4 細胞期の胚の 3 次元モデルの平面図である。

【図 3 5 D】4 細胞期の胚の 3 次元モデルの斜視図である。

【図 3 6 A】4 細胞期の胚の 3 次元モデルの断面図である。

10

【図 3 6 B】4 細胞期の胚の 3 次元モデルの断面図である。

【図 3 7】4 細胞期の胚の 3 次元モデルの斜視図である。

【図 3 8】4 細胞期の胚の 3 次元モデルの断面図である。

【図 3 9】実施の形態 4 における画像生成システムの機能ブロック図である。

【図 4 0】実施の形態 4 における合成画像生成部によって表示される合成画像の一例を示す図である。

【図 4 1】実施の形態 4 における球画像生成部の詳細な機能構成を示すブロック図である。

。

【図 4 2】実施の形態 4 における球画像生成部の具体的な処理の一例を示す図である。

【図 4 3】実施の形態 4 におけるディスプレイに表示される画面の一例を示す図である。

20

【図 4 4】実施の形態 4 における画像生成装置の動作の一例を示すフローチャートである。

。

【図 4 5】図 4 4 のステップ S 1 1 0 における球画像の生成の詳細な処理を示すフローチャートである。

【図 4 6 A】実施の形態 4 における画像生成装置のハードウェア構成の一例を示す図である。

【図 4 6 B】実施の形態 4 における画像生成装置に備えられている制御回路の動作の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

30

本開示の一態様に係る画像生成装置は、複数の照明器と、対象物が載置される表面を有するイメージセンサと、前記複数の照明器と前記イメージセンサとの間に位置する仮想的な焦点面における前記対象物の合焦画像を生成する制御回路とを備え、前記制御回路は、(a) 前記複数の照明器が前記対象物を順番に照明するごとに行われる前記イメージセンサによる撮影によって得られた前記対象物の複数の撮影画像を用いて、予め定められた複数の焦点面のそれぞれにおける前記対象物の合焦画像を生成し、(b) 生成された複数の前記合焦画像に映っている前記対象物の少なくとも 1 つの断面の輪郭を抽出し、(c) 前記少なくとも 1 つの断面の輪郭に基づいて、少なくとも 1 つの円周を生成し、(d) 生成された前記少なくとも 1 つの円周のそれぞれを有する少なくとも 1 つの球の立体画像である球画像を生成し、(e) 前記少なくとも 1 つの球の断面が現れるように前記球画像を加工することによって合成画像を生成して前記合成画像をディスプレイに表示させる。

40

【0013】

これにより、対象物は球画像にモデル化されて、例えば球画像とその断面とを含む合成画像がディスプレイに表示される。その結果、ユーザは、その合成画像を見ることによって、対象物の構成を容易に把握することができる。

【0014】

また、前記制御回路は、前記 (b) では、生成された複数の前記合焦画像のそれぞれに映っている前記対象物の断面の輪郭から、複数の前記合焦画像のそれぞれにおいて同一の位置にあって同一のサイズおよび形状の複数の輪郭を抽出し、前記 (c) では、抽出された前記複数の輪郭のうちの最大のエッジ強度を有する輪郭に基づいて円周を生成してもよ

50

い。例えば、前記制御回路は、前記(c)では、前記最大のエッジ強度を有する輪郭に内接または外接する円周を生成する。

【0015】

これにより、対象物の輪郭を適切に抽出して円周にあてはめることができ、その円周を対象物のモデル化に利用することができる。

【0016】

また、前記制御回路は、前記(d)では、生成された前記円周と同一の中心および半径を有する球の立体画像を含む前記球画像を生成してもよい。

【0017】

これにより、対象物に対して適切な球の立体画像を生成することができる。

10

【0018】

また、前記制御回路は、前記(d)では、球面が互いに交わらない複数の球の立体画像を、前記球画像として生成してもよい。

【0019】

これにより、例えば胚の構造などを球画像としてモデル化することができる。

【0020】

また、前記対象物は胚であり、前記少なくとも1つの球は、胚の外形を表す外球と、前記外球に内包され、それぞれ細胞の外形を表す少なくとも1つの内球とからなっているてもよい。

【0021】

これにより、ユーザは胚の構成を容易に把握することができる。

20

【0022】

また、前記制御回路は、さらに、(f)ユーザによる操作に応じて、表示されている前記合成画像における前記断面の位置を前記ディスプレイに変更させ、(g)ユーザからの要求に応じて、ディスプレイに表示されている前記断面に対応する焦点面における前記対象物の合焦画像を、前記複数の撮影画像を用いて生成してディスプレイに表示させてもよい。

【0023】

これにより、ユーザは、その合成画像の断面を所望の位置に変更することができ、その位置における合焦画像を表示させることができる。したがって、本態様によれば、対象物におけるユーザが所望する断面での合焦画像を容易に表示することができる。

30

【0024】

また、本開示の一態様に係る画像生成システムは、複数の照明器と、対象物が載置されるイメージセンサと、制御回路とを備え、前記複数の照明器及び前記イメージセンサの間に位置する仮想的な焦点面における前記対象物の合焦画像を生成する画像生成システムであって、前記複数の照明器は、前記対象物を順番に照明し、前記イメージセンサは、前記複数の照明器が前記対象物を照明する毎に、前記対象物の撮影画像を取得し、前記制御回路は、(a)前記複数の照明器及び前記イメージセンサの間に位置する前記焦点面の情報を取得し、(b)前記合焦画像を構成する複数の画素の各々について、以下の(c)~(f)を実行し、(c)前記複数の照明器の位置の各々について、以下の(d)~(f)を実行し、(d)前記焦点面上における前記画素の位置及び前記照明器の位置を結ぶ直線と前記イメージセンサの受光面との交点である対象点の位置を計算し、(e)前記イメージセンサの受光面上の前記対象点の位置に基づいて、前記照明器の位置から前記対象物が照明されているときに取得された撮影画像における前記対象点の輝度値を計算し、(f)前記対象点の輝度値を前記画素の輝度値に適用し、(g)前記複数の画素の各々における輝度値の適用結果を用いて、前記焦点面における前記対象物の合焦画像を生成し、(h)前記生成した前記対象物の合焦画像を出力する。

40

【0025】

本態様によれば、焦点面上における画素の位置及び照明器の位置を結ぶ直線とイメージセンサの受光面との交点である対象点の輝度値を、当該画素の輝度値に適用することがで

50

きる。したがって、仮想的な焦点面における合焦画像の各画素に、当該画素に対応する複数の撮影画像の輝度値を反映することができ、対象物の高画質な合焦画像を生成することができる。

【0026】

本開示の一態様に係る画像生成システムは、複数の照明器と、対象物が載置されるイメージセンサと、制御回路とを備え、前記複数の照明器及び前記イメージセンサの間に位置する仮想的な焦点面における前記対象物の合焦画像を生成する画像生成システムであって、前記複数の照明器は、前記対象物を順番に照明し、前記イメージセンサは、前記複数の照明器が前記対象物を照明する毎に、前記対象物の撮影画像を取得し、前記制御回路は、
(a) 前記複数の照明器及び前記イメージセンサの間に位置する前記焦点面の情報を取得し、
(b) 複数の前記撮影画像の各々について、以下の(c)～(f)を実行し、
(c) 前記撮影画像に対応する照明器の位置情報を取得し、
(d) 前記撮影画像に含まれる複数の第1画素の各々について、以下の(e)～(f)を実行し、
(e) 前記イメージセンサの受光面上における前記第1画素の位置及び前記照明器の位置を結ぶ直線と前記焦点面との交点の位置を計算し、
(f) 前記合焦画像を構成する複数の第2画素に含まれる、前記焦点面上の交点の位置に対応する1以上の第2画素の輝度値に、前記第1画素の輝度値を適用し、
(g) 前記複数の第2画素の輝度値の適用結果を用いて、前記焦点面における前記対象物の合焦画像を生成し、
(h) 前記生成した前記対象物の合焦画像を出力する。

10

【0027】

本態様によれば、イメージセンサの受光面上における第1画素の位置及び照明器の位置を結ぶ直線と焦点面との交点の位置に対応する合焦画像の1以上の第2画素の輝度値に、撮影画像の第1画素の輝度値を適用することができる。したがって、撮影画像の各画素の輝度値を合焦画像の画素の輝度値に反映することができ、対象物の高画質な合焦画像を生成することができる。

20

【0028】

例えば、前記複数の照明器の各々は、光源と、前記光源と前記対象物との間に位置し、ピンホールを有する遮光板とを備え、前記光源により、前記ピンホールを介して、拡散光を前記対象物に照射してもよい。

【0029】

本態様によれば、光源により、ピンホールを介して、拡散光を対象物に照射することができる。したがって、照明器から照射される光を表す複数の光線が交錯することを防ぐことができ、対象物の撮影画像の画質を向上させることができ、合焦画像の画質も向上させることができる。

30

【0030】

例えば、前記画像生成システムは、さらに、ディスプレイを備え、前記ディスプレイは、前記制御回路により出力された前記合焦画像を表示してもよい。

【0031】

本態様によれば、合焦画像を表示することができる。

【0032】

例えば、さらに、前記焦点面の情報に基づいて、照明位置の範囲を決定し、前記複数の照明器のうち、前記照明位置の範囲に対応する照明器が、前記対象物に順番に照明してもよい。

40

【0033】

本態様によれば、焦点面の情報に基づいて照明位置の範囲を決定し、決定された照明位置の範囲に対応する照明器によって対象物を順番に照明することができる。したがって、焦点面における合焦画像の生成に適した照明器を用いて対象物を撮影することができ、撮影時間を短縮することができる。

【0034】

なお、これらの全般的又は具体的な態様は、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラム又はコンピュータ読取可能なCD-ROMなどの記録媒体で実現されてもよく、装

50

置、方法、集積回路、コンピュータプログラム又は記録媒体の任意な組み合わせで実現されてもよい。

【 0 0 3 5 】

以下、本開示の一態様に係る画像生成システムについて、図面を参照しながら具体的に説明する。

【 0 0 3 6 】

なお、以下で説明する実施の形態は、いずれも包括的又は具体的な例を示すものである。以下の実施の形態で示される数値、形状、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、請求の範囲を限定する主旨ではない。また、以下の実施の形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

10

【 0 0 3 7 】

(実施の形態 1)

実施の形態 1 では、イメージセンサ上に位置する対象物に複数の照明器が順に照明し、照明する毎に対象物を撮影することで得られた複数の撮影画像を用いて、複数の照明器とイメージセンサとの間に位置する仮想的な焦点面における対象物の画像を生成する。以下において、この複数の撮影画像を用いて生成された画像を合焦画像ともいう。

【 0 0 3 8 】

[画像生成システムの構成]

図 1 は、実施の形態 1 に係る画像生成システムの機能ブロック図である。図 1 に示される画像生成システム 10 は、撮影装置 100 A と、画像生成装置 100 B と、記憶部 120 と、表示部 150 とを備える。画像生成システム 10 は、さらに、予め定められた焦点面の情報を記憶している第 1 記録部 111 と、リフォーカス処理済みの画素の情報を記録する第 2 記録部 121 と、焦点面を指定する指定情報の入力を受け付ける入力部 112 とを備えてもよい。

20

【 0 0 3 9 】

[撮影装置の構成]

まず、撮影装置 100 A の構成について説明する。撮影装置 100 A は、複数の照明器 101 と、イメージセンサ 102 と、撮影制御部 103 とを備える。撮影装置 100 A は、対象物の撮影画像 (photographic image) を取得する。ここでは、撮影部 100 は、フォーカスレンズを有さない。

30

【 0 0 4 0 】

対象物は、例えばイメージセンサ 102 上に配置される複数の半透明の物質である。複数の物質は 3 次元的に重なって位置する。物質の具体例は、細胞である。

【 0 0 4 1 】

複数の照明器 101 の各々は、平行光を出力する照明器、又は拡散光を出力する照明器である。複数の照明器 101 は、第 1 の照明器及び第 2 の照明器を含む。第 1 の照明器及び第 2 の照明器のそれぞれは、交錯しない光を照射する。すなわち、第 1 の照明器から照射された第 1 の光を表す複数の第 1 の光線は、互いに交わらない。また、第 2 の照明器から照射された第 2 の光を表す複数の第 2 の光線も、互いに交わらない。したがって、第 1 の照明器及び第 2 の照明器のどちらか一方から光を照射した場合に、第 1 の照明器及び第 2 の照明器の当該一方からの光は、イメージセンサ 102 に含まれる 1 つの画素に単一方向から到達する。つまり、1 つの画素に対して 2 以上の方向から光が到達しない。

40

【 0 0 4 2 】

以下において、このような照明を非交錯照明と呼ぶ。非交錯照明は、例えば平行光、または、点光源からの拡散光によって実現できる。複数の照明器 101 は、順に、光を照射する。複数の照明器 101 は、互いに異なる位置に配置され、互いに異なる方向から対象物に光を照射する。

【 0 0 4 3 】

イメージセンサ 102 は、複数の画素を有する。イメージセンサ 102 の各画素は、受

50

光面に配置され、複数の照明器 101 から照射された光の強度を取得する。イメージセンサ 102 は、各画素により取得された光の強度に基づいて、撮影画像を取得する。

【0044】

イメージセンサ 102 の例は、CMOS (Complementary Metal - Oxide Semiconductor) イメージセンサ又は CCD (Complementary Metal - Oxide Semiconductor) イメージセンサである。

【0045】

撮影制御部 103 は、複数の照明器 101 による光の照射及びイメージセンサ 102 による撮像を制御する。具体的には、撮影制御部 103 は、複数の照明器 101 が光を照射する順番、複数の照明器 101 が光を照射する時間間隔を制御する。撮影制御部 103 は、CPU (Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read - Only Memory) などからなるコンピュータシステム (図示せず) により構成される。撮影制御部 103 の構成要素の一部又は全部の機能は、CPU が RAM を作業用のメモリとして用いて ROM に記録されたプログラムを実行することによって達成されてもよい。また、撮影制御部 103 の構成要素の一部又は全部の機能は、専用のハードウェア回路によって達成されてもよい。

【0046】

イメージセンサ 102 の受光面に対して互いに異なる位置に配置された複数の照明器 101 から照射される光は、受光面に対して異なる入射角で入射する。複数の照明器 101 が平行光を照射する場合は、複数の照明器 101 は、イメージセンサ 102 の受光面に対する入射角が互いに異なる平行光を照射する。平行光は、例えば図 2 に示すように、遮光板 101 B に形成されたピンホール 101 C を介して LED 光源 101 A から射出された光をコリメートレンズ 101 D により屈折させることにより得られる。

【0047】

図 3 は、複数の照明器 101 の構造の一例を説明する模式図である。図 3 の複数の照明器 101 の例では、平行光を照射する複数の光源 101 E がイメージセンサ 102 の受光面に対して異なる角度で固定されている。図 3 の例では複数の光源 101 E は、イメージセンサ 102 を覆う半球 101 F の内面に配置されている。複数の光源 101 E からイメージセンサ 102 の受光面に到達する光の受光面への入射角は互いに異なる。

【0048】

図 4 は、複数の照明器 101 の構造の別の一例を説明する模式図である。図 4 の複数の照明器 101 の例では、複数の擬似点光源 101 G は、イメージセンサ 102 の受光面と平行な平面 101 H 上の異なる位置に、イメージセンサ 102 側に向けて配置されている。複数の擬似点光源 101 G からの光は、イメージセンサ 102 の受光面の各画素に対して、異なる方向から入射する。複数の擬似点光源 101 G の各々は、例えば、LED 光源 101 A の近傍にピンホール 101 C を有する遮光板 101 B を置くことで実現される。ピンホール 101 C の大きさは、イメージセンサ 102 の画素ピッチと、イメージセンサ 102 とピンホール 101 C との距離、合焦画像を生成する点のイメージセンサ 102 からの距離とによって制限される。

【0049】

図 5 は、ピンホールが満たすべき大きさの条件を説明する模式図である。ここで、 d_1 は、ピンホール 101 C の直径を表す。 h_1 は、イメージセンサ 102 の受光面からピンホール 101 C までの距離を表す。 h_2 は、イメージセンサ 102 の受光面から合焦点 101 J (すなわち合焦画像中の任意の画素の焦点面上の位置にある点) までの距離を表す。 d_2 は、ピンホール 101 C から合焦点を透過してイメージセンサ 102 の受光面に到達する光の広がり直径を表す。 p は、イメージセンサ 102 の画素ピッチを表す。

【0050】

このとき、ピンホール 101 C から射出された光は、合焦点 101 J を通過してイメージセンサ 102 の受光面の 1 点に到達することが理想である。すなわち、ピンホール 10

10

20

30

40

50

1 C から射出された光は、合焦点 1 0 1 J を通過してイメージセンサ 1 0 2 の 1 画素にのみ到達することが望ましい。したがって、 d_2 がイメージセンサの画素ピッチ p を超えない大きさであることが望ましい。つまり、以下の式 1 に示すように $d_2 < p$ が非交錯照明を実現するための条件である。

【 0 0 5 1 】

【 数 1 】

$$d_2 = \frac{d_1 \cdot h_2}{h_1 - h_2} < p \quad \text{式 1}$$

【 0 0 5 2 】

d_1 が満たすべき条件は、この式 1 を変形することにより以下の式 2 のように表すことができる。

【 0 0 5 3 】

【 数 2 】

$$d_1 < \frac{p(h_1 - h_2)}{h_2} \quad \text{式 2}$$

【 0 0 5 4 】

例えば、画素ピッチ p が 0 . 0 0 1 mm であり、イメージセンサ 1 0 2 の受光面からピンホール 1 0 1 C までの距離 h_1 が 2 mm、イメージセンサ 1 0 2 から合焦点 1 0 1 J までの距離 h_2 が 0 . 1 mm である場合、ピンホールの直径 d_1 は 0 . 1 9 mm 未満であってもよい。

【 0 0 5 5 】

[画像生成装置の構成]

次に、画像生成装置 1 0 0 B の構成について説明する。画像生成装置 1 0 0 B は、制御回路によって実現される。図 1 に示すように、画像生成装置 1 0 0 B は、焦点面決定部 1 1 0 と、リフォーカス処理部 1 3 0 と、画像生成部 1 4 0 とを備える。

【 0 0 5 6 】

焦点面決定部 1 1 0 は、例えば制御回路又はプロセッサによって実現され、複数の照明器 1 0 1 及びイメージセンサ 1 0 2 の間に位置する仮想的な焦点面を決定する。具体的には、焦点面決定部 1 1 0 は、例えば、第 1 記録部 1 1 1 に記録された予め定められた焦点面の情報に基づいて焦点面を決定する。また例えば、焦点面決定部 1 1 0 は、入力部 1 1 2 を介して外部から入力された情報に従って焦点面を決定してもよい。

【 0 0 5 7 】

記憶部 1 2 0 は、例えば半導体メモリ又はハードディスクドライブ等によって実現され、イメージセンサ 1 0 2 で撮影された画像を、当該撮影に用いられた照明器の位置情報とともに記憶する。

【 0 0 5 8 】

図 6 は、記憶部 1 2 0 が記憶する内容の一例を示す。撮影部 1 0 0 によって撮影された画像ファイルごとに、当該画像ファイルの取得時に用いられた照明器の位置情報が記憶されている。図 6 の例では、照明器の位置情報は、イメージセンサ 1 0 2 に対する相対的な位置を示す。以下において、この照明器の位置情報を照明位置情報とも呼ぶ。照明位置情報は、画像ファイルのファイル ID とともに記憶されており、画像データとファイル ID を介して結合されている。なお、照明位置情報は、画像ファイルの一部（例えばヘッダ情報）に記録されてもよい。

【 0 0 5 9 】

リフォーカス処理部 1 3 0 は、例えば制御回路又はプロセッサによって実現され、複数の画像と、複数の照明器 1 0 1 の位置情報と、仮想的な焦点面の情報とから、当該焦点面における合焦画像を構成する画素ごとの光の強度を計算する。このリフォーカス処理の詳細は後述する。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

画像生成部 1 4 0 は、例えば制御回路又はプロセッサによって実現され、リフォーカス処理部 1 3 0 で計算された画素ごとの輝度値から焦点面における合焦画像を生成する。

【 0 0 6 1 】

表示部 1 5 0 は、ディスプレイによって実現され、画像生成部 1 4 0 で生成された合焦画像を表示する。

【 0 0 6 2 】

〔 画像生成システムの動作 〕

次に、以上のように構成された画像生成システム 1 0 の動作について説明する。図 7 は、実施の形態 1 に係る画像生成システム 1 0 の動作の一例を示すフローチャートである。

10

図 8 は、座標と焦点面との関係の一例を示す模式図である。

【 0 0 6 3 】

(ステップ S 1 1 0 0)

まず、撮影部 1 0 0 は、複数の照明器 1 0 1 を順に用いて対象物を照明し、当該対象物の複数の画像を撮影する。具体的には、撮影部 1 0 0 は、複数の照明器 1 0 1 のそれぞれが対象物を照明するたびに、イメージセンサ 1 0 2 の受光面に到達した光の強度を記録することにより、対象物の画像を取得する。取得された画像は、撮影時に対象物を照明していた照明器の位置情報とともに記憶部 1 2 0 で記憶される。ここでは、複数の照明器 1 0 1 の位置は、イメージセンサ 1 0 2 に対して固定されており、複数の照明器 1 0 1 の各々の位置情報は予め定められている。撮影処理の詳細は後述する。

20

【 0 0 6 4 】

(ステップ S 1 2 0 0)

焦点面決定部 1 1 0 は、焦点面を決定する。具体的には、焦点面決定部 1 1 0 は、イメージセンサ 1 0 2 に対する焦点面の位置及び傾き（角度）を決定する。例えば、焦点面決定部 1 1 0 は、第 1 記録部 1 1 1 に記憶される予め定められた焦点面の情報に基づいて焦点面を決定してもよい。または、焦点面決定部 1 1 0 は、入力部 1 1 2 によりユーザから受け付けられた、焦点面を指定する指定情報に基づいて、焦点面を決定してもよい。

【 0 0 6 5 】

焦点面は、合焦画像が生成される仮想的な面に相当する。つまり、焦点面における対象物の合焦画像に含まれる複数の画素は、焦点面上の複数の点に一対一で対応する。

30

【 0 0 6 6 】

例えば、焦点面決定部 1 1 0 は、焦点面の角度及び位置を用いて焦点面を決定する。焦点面の角度及び位置は、例えば図 8 に示す $x y z$ 空間によって定義される。

【 0 0 6 7 】

図 8 において、 $x y$ 平面は、イメージセンサ 1 0 2 の受光面と一致する。 z 軸は、イメージセンサ 1 0 2 の受光面に直交する。このとき、焦点面の角度は、イメージセンサ 1 0 2 の受光面の中心を原点とする $x y z$ 空間において x 軸及び y 軸に対する角度で定義される。焦点面の位置は、焦点面の中心点の座標で定義される。

【 0 0 6 8 】

(ステップ S 1 3 0 0)

リフォーカス処理部 1 3 0 は、複数の撮像画像と、複数の照明器 1 0 1 の位置情報と、焦点面の情報とに基づいて、リフォーカス処理を行い、焦点面上の各点の輝度を求める。リフォーカス処理の詳細は後述する。

40

【 0 0 6 9 】

(ステップ S 1 4 0 0)

画像生成部 1 4 0 は、ステップ S 1 3 0 0 で行われたリフォーカス処理の結果に基づきディスプレイ等へ出力可能な画像データを生成する。画像生成部 1 4 0 は、生成された画像データを表示部 1 5 0 へ出力する。

【 0 0 7 0 】

(ステップ S 1 5 0 0)

50

表示部 150 は、ステップ S 1400 で生成された画像を表示する。

【0071】

[撮影処理]

ここでステップ S 1100 の撮影部 100 の動作の詳細を説明する。図 9 は、撮影装置 100A の動作の一例を示すフローチャートである。

【0072】

(ステップ S 1110)

撮影制御部 103 は、予め定められた複数の照明位置、または図示しない外部入力によって指定された複数の照明位置のリスト（以下、照明位置リストという）を参照して、各照明位置から照明された対象物の撮影が終了したか否かを判定する。複数の照明器 101 と照明位置リストに含まれる複数の照明位置は 1 対 1 に対応する。

10

【0073】

ここで、照明位置リストに含まれるすべての照明位置からの照明による撮影が終了している場合（ステップ S 1110 において y e s ）、ステップ S 1200 へ進む。一方、照明位置リスト内のいずれかの照明位置からの照明による撮影が終了していない場合（ステップ S 1110 において n o ）、ステップ S 1120 へ進む。

【0074】

(ステップ S 1120)

撮影制御部 103 は、照明位置リストに含まれる複数の照明位置の中から、まだ照明が行われていない照明位置を選択し、複数の照明器 101 へ制御信号を出力する。なお、撮影制御部 103 は、まだ照明が行われていない照明位置が複数存在する場合は、一つの照明位置を選択する。照明位置リストにおいて、各照明位置は、例えば、照明位置ごとに割り当てられた番号によって示される。あるいは、各照明位置は、例えば、図 8 に示す x y z 空間における座標値によって示される。照明位置の選択は、例えば、リストの昇順に行われる。

20

【0075】

(ステップ S 1130)

複数の照明器 101 は、ステップ S 1120 で撮影制御部 103 より出力された制御信号に従って、対象物への照明を開始する。つまり、ステップ S 1120 で選択された照明位置にある照明器が光の照射を開始する。

30

【0076】

(ステップ S 1140)

照明器によって対象物が照明されている間に、イメージセンサ 102 は、当該照明器から対象物を透過した光によって形成される画像を取得する。

【0077】

(ステップ S 1150)

その後、撮影制御部 103 は、複数の照明器 101 へ制御信号を出力して、対象物への照明を停止する。なお、照明の停止は、撮影制御部 103 からの制御信号に従って行われなくてもよい。例えば、複数の照明器 101 は、照明を開始してから時間長を計時して、計時した時間長が予め定められた時間長を超えたら照明を能動的に停止してもよい。あるいはステップ S 1140 でイメージセンサ 102 が画像の取得を終了した後に、イメージセンサ 102 は、照明を停止するための制御信号を複数の照明器 101 に出力してもよい。

40

【0078】

(ステップ S 1160)

次いで、撮影制御部 103 は、ステップ S 1140 で取得された画像と、ステップ S 1130 で用いられた照明器の位置情報を記憶部 120 へ出力する。そして、記憶部 120 は、画像データと照明位置の情報とを対応付けて記憶する。ステップ S 1160 の後、ステップ S 1110 へ戻る。

【0079】

50

ステップS 1 1 1 0からステップS 1 1 6 0までの処理が繰り返されることで、照明位置リストに含まれるすべての照明位置の照明器から順次対象物に光が照射され、対象物に光が照射されるたびに画像を取得する。

【0080】

[リフォーカス処理]

さらに、ステップS 1 3 0 0のリフォーカス処理部130の動作の詳細を説明する。図10は、実施の形態1に係るリフォーカス処理部130の動作の一例を示すフローチャートである。図11～図15は、リフォーカス処理の計算方法の具体例を説明する模式図である。

【0081】

以下に、図11～図15を参照しながら、図10の各ステップについて説明する。

【0082】

(ステップS 1 3 1 0)

リフォーカス処理部130は、ステップS 1 2 0 0で決定された焦点面の情報を焦点面決定部110から取得する。

【0083】

焦点面の情報は、例えば、焦点面の中心の座標値と、焦点面の傾きを示す値とを含む。焦点面の傾きは、例えば、焦点面及びx z平面の交線とx軸とが成す角度によって表される。また例えば、焦点面の傾きは、焦点面及びy z平面の交線とy軸とが成す角度によって表される。焦点面の中心の座標値は、合焦画像の中心の画素に対応する焦点面上の点の座標値である。

【0084】

図11は、撮影部100及び対象物1000の、x z平面における断面図の一例を示す。対象物1000は、照明器101a、101b及びイメージセンサ102の間に位置し、かつイメージセンサ102上に位置する。リフォーカス処理部130は、焦点面1100の情報を取得する。

【0085】

(ステップS 1 3 2 0)

リフォーカス処理部130は、合焦画像に含まれる全画素についてリフォーカス処理が終了したか否かを判定する。ここでは、リフォーカス処理とは、ステップS 1 3 2 0からステップS 1 3 9 0までの処理を意味する。

【0086】

合焦画像に含まれる全画素についてリフォーカス処理が終了している場合(ステップS 1 3 2 0においてyes)、リフォーカス処理部130は、リフォーカス処理を終了する(ステップS 1 4 0 0へ進む)。

【0087】

合焦画像に含まれるいずれかの画素についてリフォーカス処理が終了していない場合(ステップS 1 3 2 0においてno)、リフォーカス処理部130は、リフォーカス処理を続行する(ステップS 1 3 3 0へ進む)。

【0088】

合焦画像は、複数の画素を含む。合焦画像に含まれる複数の画素は、焦点面上の複数の点に一对一に対応する。図12は、合焦画像に含まれる複数の画素に対応する、焦点面1100上の複数の点1102a～1102eを示す。なお、図12に示す焦点面1100上の複数の点1102a～1102eは、対象物1000上の点であったが、対象物1000上ではない点が合焦画像の画素に対応してもよい。

【0089】

(ステップS 1 3 3 0)

リフォーカス処理部130は、合焦画像に含まれる複数の画素の中から1つの画素を選択する。ここで選択される1つの画素は、合焦画像に含まれる複数の画素のうち、リフォーカス処理がまだ実行されていない画素である。なお、合焦画像の画素値の初期値は0で

10

20

30

40

50

ある。

【 0 0 9 0 】

例えば、図 1 に示した第 2 記録部 1 2 1 に、合焦画像のうちすでにリフォーカス処理が実行された画素の情報が記憶されている。後述するステップ S 1 3 9 0 の処理の後、リフォーカス処理部 1 3 0 は、第 2 記録部 1 2 1 にリフォーカス処理した画素の情報を記録する。リフォーカス処理部 1 3 0 は、第 2 記録部 1 2 1 に記録された画素の情報を参照して、リフォーカス処理がまだ実行されていない画素を選択する。以下、図 1 3 に示すように、点 1 1 0 2 a に対応する画素が選択された場合について説明する。また、点 1 1 0 2 a に対応する画素を選択画素とも表記する。

【 0 0 9 1 】

(ステップ S 1 3 4 0)

リフォーカス処理部 1 3 0 は、すべての照明位置に対する加算処理が終了しているか否かを判定する。

【 0 0 9 2 】

ここで、すべての照明位置に対する加算処理が終了している場合 (ステップ S 1 3 4 0 において y e s)、リフォーカス処理部 1 3 0 の処理は、ステップ S 1 3 2 0 に戻る。

【 0 0 9 3 】

一方、いずれかの照明位置に対する加算処理が終了していない場合 (ステップ S 1 3 4 0 において n o)、リフォーカス処理部 1 3 0 は加算処理を続行する (ステップ S 1 3 5 0 に進む)。ここで、加算処理とは、ステップ S 1 3 4 0 からステップ S 1 3 9 0 までの処理を意味する。

【 0 0 9 4 】

(ステップ S 1 3 5 0)

リフォーカス処理部 1 3 0 は、撮影に用いたすべての照明位置の中からまだ加算処理が終了していない照明位置を選択する。

【 0 0 9 5 】

(ステップ S 1 3 6 0)

リフォーカス処理部 1 3 0 は、選択された照明位置と焦点面における選択画素の位置とを通る直線が、イメージセンサ 1 0 2 の受光面と交差する点の位置を計算する。

【 0 0 9 6 】

図 1 4 は、照明器 1 0 1 a の位置と選択画素に対応する点 1 1 0 2 a とを通る直線 1 2 0 0 と、イメージセンサ 1 0 2 の受光面との交点 1 1 0 3 a を示す。以下において、交点 1 1 0 3 a を、加算処理を行う対象の点である対象点とも表記する。

【 0 0 9 7 】

イメージセンサ 1 0 2 の受光面上の対象点は、例えば、図 8 に示す x y 平面上の座標値で表される。

【 0 0 9 8 】

(ステップ S 1 3 7 0)

リフォーカス処理部 1 3 0 は、選択された照明位置に対応する画像を記憶部 1 2 0 から取得する。つまり、リフォーカス処理部 1 3 0 は、選択された照明位置にある照明器を用いて撮影された画像を記憶部 1 2 0 から取得する。具体的には、リフォーカス処理部 1 3 0 は、図 6 に示した照明位置情報と画像との対応関係に従って、記憶部 1 2 0 に記憶された画像を取得する。例えば、リフォーカス処理部 1 3 0 は、図 1 3 に示す照明器 1 0 1 a の位置に対応する画像を取得する。

【 0 0 9 9 】

(ステップ S 1 3 8 0)

リフォーカス処理部 1 3 0 は、ステップ S 1 3 6 0 で計算されたイメージセンサ 1 0 2 上の対象点の撮影画像中の位置を決定する。具体的には、リフォーカス処理部 1 3 0 は、撮影画像の画素の配列を基準に撮影画像における対象点の位置を決定する。

【 0 1 0 0 】

撮影画像における対象点の位置が複数の画素の中間位置である場合、リフォーカス処理部 130 は、対象点の位置に隣接する複数の画素の輝度値を用いて補間処理を行うことにより、撮影画像における対象点の輝度値を計算する。具体的には、リフォーカス処理部 130 は、例えば、対象点に隣接する複数の画素（例えば 4 画素）のそれぞれの画素と対象点との距離を求め、対象点と各画素との距離の比を各画素の輝度値に乗じて加算することで、撮影画像における対象点の輝度値を求める。

【0101】

図 15 は、ステップ S 1380 における対象点の輝度値の計算を説明するための模式図である。図 15 において、対象点に隣接する 4 つの画素 A ~ 画素 D と対象点との距離は、それぞれ、a、b、c、及び d と表されている。この場合、対象点の輝度値 L_t は、以下の式 3 で求められる。

【0102】

【数 3】

$$L_t = \left(\frac{L_a}{a} + \frac{L_b}{b} + \frac{L_c}{c} + \frac{L_d}{d} \right) \times (a + b + c + d) \quad \text{式 3}$$

【0103】

ここで、 L_a 、 L_b 、 L_c 及び L_d は、それぞれ、画素 A、画素 B、画素 C 及び画素 D の輝度値を表す。

【0104】

（ステップ S 1390）

リフォーカス処理部 130 は、合焦画像上の選択画素の輝度値にステップ S 1390 で計算した対象点の輝度値を加算する。

【0105】

ステップ S 1340 からステップ S 1390 までの処理を繰り返すことにより、全ての照明位置について、撮影された画像中の対象点の輝度値が選択画素の輝度値に加算された結果が、選択画素の輝度値として計算される。

【0106】

このような加算処理によって、焦点面上の各点について、当該点を透過した複数の方向からの光によって形成された複数の画像が合焦画像の 1 つの画素に重ねられる。

【0107】

図 14 において、照明器 101a から照射された光は、選択画素に対応する焦点面 1100 上の点 1102a を透過してイメージセンサ 102 の受光面上の対象点（交点 1103a）に到達する。したがって、照明器 101a によって撮影された画像中の対象点（交点 1103a）の位置には、焦点面 1100 上の点 1102a における画像が含まれている。

【0108】

また、図 14 において、照明器 101b から照射された光は、選択画素に対応する焦点面 1100 上の点 1102a を透過してイメージセンサ 102 の受光面上の対象点（交点 1103b）に到達する。したがって、照明器 101b によって撮影された画像中の対象点（交点 1103b）の位置には、焦点面 1100 上の点 1102a における画像が含まれている。

【0109】

このような対象点（交点 1103a）における画像（輝度値）及び対象点（交点 1103b）における画像（輝度値）が加算されることにより、複数の方向からの光によって形成された複数の画像が合焦画像の選択画素に重ねられる。

【0110】

〔効果〕

以上のように、本実施の形態に係る画像生成システムによれば、焦点面上における画素の位置及び照明器の位置を結ぶ直線とイメージセンサ 102 の受光面との交点である対象

10

20

30

40

50

点の輝度値を、当該画素の輝度値に適用することができる。したがって、仮想的な焦点面における合焦画像の各画素に、当該画素に対応する複数の撮影画像の輝度値を反映することができ、対象物の高画質な合焦画像を生成することができる。

【0111】

(実施の形態1の変形例1)

次に、実施の形態1の変形例1について説明する。上記実施の形態1では、図10のステップS1350で照明位置が選択されたが、本変形例では、撮影画像が選択される。以下に、実施の形態1の変形例1について、実施の形態1と異なる点を中心に説明する。

【0112】

図16は、実施の形態1の変形例1に係るリフォーカス処理部の動作の一例を示すフローチャートである。図16では、図10におけるステップS1340～ステップS1390の代わりに、ステップS1341～ステップS1390が実行される。なお、図16において、図10と実質的に同一のステップについては同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0113】

図16において、撮影画像のすべてが加算処理に使用された場合(ステップS1341においてyes)は、ステップS1320へ戻る。一方、撮影画像のいずれかが加算処理に使用されていない場合(ステップS1341においてno)は、ステップS1351へ進む。リフォーカス処理部130は、記憶部120に記憶された撮影画像のうち1つを選択する(ステップS1351)。ここでは、加算処理にまだ使用されていない撮影画像が

【0114】

リフォーカス処理部130は、ステップS1351で選択された撮影画像に対応する照明位置情報を記憶部120から取得する(ステップS1359)。その後は、ステップS1370で画像を取得する動作がない以外は図9に示した動作と同様である。

【0115】

以上のように、本変形例に係る画像生成システムによれば、照明位置の選択を撮影画像の選択に代えても、実施の形態1と同様に、合焦画像の各画素に、当該画素に対応する複数の撮影画像の輝度値を適用することができ、対象物の高画質な合焦画像を生成することができる。

【0116】

(実施の形態1の変形例2)

次に、実施の形態1の変形例2について説明する。上記実施の形態1では、図10のステップS1320及びステップS1330で、合焦画像内の画素が順に選択されたが、本変形例では、撮影画像内の画素が順に選択される。つまり、本変形例では、先に撮影画像内の画素が選択され、その選択された画素に対応する焦点面上の点が後で決定される点が上記実施の形態1と異なる。このように決定された焦点面上の点に対応する合焦画像内の画素に、撮影画像内の選択された画素の輝度値が反映される。以下に、実施の形態1の変形例2について、実施の形態1と異なる点を中心に説明する。

【0117】

図17は、実施の形態1の変形例2に係るリフォーカス処理部の動作の一例を示すフローチャートである。図17において、図10と実質的に同一のステップについては、同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0118】

(ステップS1322)

リフォーカス処理部130は、ステップS1100で撮影した画像のすべてについてリフォーカス処理が終了したかどうかを判定する。リフォーカス処理とは、ステップS1322からステップS1392までの処理を意味する。すべての画像についてすでにリフォーカス処理が終了している場合(ステップS1322においてyes)は、リフォーカス処理部130は、ステップS1400へ進む。ステップS1100で撮影した画像のい

れかについてリフォーカス処理が終了していない場合（ステップS 1 3 2 2においてn o）は、ステップS 1 3 3 2へ進む。

【0 1 1 9】

（ステップS 1 3 3 2）

リフォーカス処理部1 3 0は、記憶部1 2 0に記憶されている、ステップS 1 1 0 0で撮影された画像の中から、1つの撮影画像を選択する（ステップS 1 3 3 2）。ここで選択される1つの撮影画像は、リフォーカス処理がまだ行われていない画像である。以下において、ステップS 1 3 3 2で選択された1つの画像を選択画像という。

【0 1 2 0】

（ステップS 1 3 3 3）

リフォーカス処理部1 3 0は、選択画像に対応する照明位置情報を取得する。例えば、リフォーカス処理部1 3 0は、図6に示した画像と照明位置情報との対応関係を参照して照明位置情報を取得する。ここでは、照明器1 0 1 aの位置情報が取得された場合について説明する。

【0 1 2 1】

（ステップS 1 3 4 2）

リフォーカス処理部1 3 0は、選択画像の全画素に対して、加算処理が終了したかを判定する（ステップS 1 3 4 2）。ここで、選択画像の全画素について加算処理が終了している場合（ステップS 1 3 4 2においてy e s）は、加算処理を終了してステップS 1 3 2 2へ戻る。一方、選択画像のいずれかの画素について加算処理が終了していない場合（ステップS 1 3 4 2においてn o）は、ステップS 3 1 5 2へ進む。加算処理とは、ステップS 1 3 4 2からステップS 1 3 9 2までの処理を意味する。

【0 1 2 2】

（ステップS 1 3 5 2）

リフォーカス処理部1 3 0は、選択画像中の1つの画素を選択する。ここで選択される1つの画素は、加算処理がまだ行われていない画素である。

【0 1 2 3】

図1 8に、選択画像に含まれる複数の画素に対応する受光面上の複数の点1 3 0 2 a ~ 1 3 0 2 eを示す。ここでは、図1 9に示すように、受光面上の点1 3 0 2 aに対応する画素を選択画像から選択した場合について説明する。なお、以後、ステップS 1 3 5 2で選択された画素を加算画素とも表記する。

【0 1 2 4】

（ステップS 1 3 7 2）

リフォーカス処理部1 3 0は、図1 9に示すように、受光面上の点1 3 0 2 aと照明器1 0 1 aの位置とを結ぶ直線と焦点面1 1 0 0とが交差する交点1 3 0 3 aの位置を計算する。以下において、交点1 3 0 3 aを加算点とも表記する。

【0 1 2 5】

（ステップS 1 3 8 2）

リフォーカス処理部1 3 0は、受光面上の点1 3 0 2 aに対応する選択画像内の加算画素の輝度値を、焦点面上の加算点（交点1 3 0 3 a）に対応する合焦画像内の1以上の画素の輝度値に加算する。

【0 1 2 6】

例えば、合焦画像において、交点1 3 0 3 aの位置がどの画素（整数画素）の位置とも一致しない場合、リフォーカス処理部1 3 0は、合焦画像において交点1 3 0 3 aに隣接する複数の画素に加算するための輝度値をそれぞれ計算する。具体的には、リフォーカス処理部1 3 0は、合焦画像の画素の配列を基準に、ステップS 1 3 7 2で計算された焦点面上の加算点（交点1 3 0 3 a）に対応する合焦画像内の位置を決定する。

【0 1 2 7】

例えば、図2 0のように、合焦画像において4つの画素（画素A ~ 画素D）に囲まれた位置が加算点の位置として決定される。この場合、リフォーカス処理部1 3 0は、合焦画

10

20

30

40

50

像において加算点に隣接する各画素（画素 A ～ 画素 D）と加算点との距離を計算する。リフォーカス処理部 130 は、計算された距離と加算画素の輝度値とを用いて、加算点に隣接する各画素に加算するための輝度値を計算する。例えば、リフォーカス処理部 130 は、合焦画像内において加算点に隣接する画素と加算点との距離が相対的に大きい画素ほど輝度値が相対的に大きくなるように、各画素に加算するための輝度値を計算する。具体的には、リフォーカス処理部 130 は、例えば画素 A に加算するための輝度値 L_a を、以下の式 4 に従って計算する。

【0128】

【数 4】

$$L_a = \frac{a+b+c+d}{a} \times L \quad \text{式 4}$$

10

【0129】

ここで、 a は、合焦画像における画素 A と加算点との間の距離である。 b は、合焦画像における画素 B と加算点との間の距離である。 c は、合焦画像における画素 C と加算点との間の距離である。 d は、画素 D と加算点との間の距離である。 L は、撮影画像に含まれる加算画素の輝度値である。

【0130】

（ステップ S1392）

リフォーカス処理部 130 は、合焦画像中の 1 以上の画素の輝度値に、ステップ S1382 で計算された輝度値を加算する。

20

【0131】

ステップ S1342 からステップ S3192 までの処理を繰り返すことで、選択画像中のすべての画素の輝度値を合焦画像の画素の輝度値に反映させることができる。

【0132】

さらに、ステップ S1322 からステップ S1392 を繰り返すことですべての撮影画像中のすべての画素について加算処理が行われ、焦点面における合焦画像を生成することができる。

【0133】

図 17 のフローチャートについて各ステップの具体例を図 21 を参照しながら説明する。ここでは、イメージセンサ 102 及び焦点面等が以下の条件を満たす場合について説明する。イメージセンサ 102 の受光面の長辺（すなわち x 軸と平行な辺）の長さが 6 mm であり、受光面の短辺（すなわち y 軸と平行な辺）の長さが 4 mm である。焦点面の x 軸に対する傾きが 30 度である。焦点面の y 軸に対する傾きが 0 度である。焦点面の面積は、イメージセンサ 102 の受光面の面積と同じである。すなわち、焦点面は、6 mm × 4 mm の矩形の平面である。焦点面の一方の短辺は、図 18 のように yz 平面上にあり、 y 軸に平行に延びている。焦点面の他方の短辺は、 xy 平面上にあり、 x 座標が約 5.2 mm の位置で y 軸と平行に延びている。焦点面の中心の座標（ x, y, z ）は、（2.6, 2, 1.5）である。

30

【0134】

ここで、ステップ S1332 で画像が選択され、ステップ S1333 で画像に対応する照明位置（7.5, 2, 10）が取得され、ステップ S1352 で加算画素（1.7, 2, 0）が選択されたとする。この場合、ステップ S1372 において、加算画素（1.7, 2, 0）と照明位置（7.5, 2.0, 10）とを通る直線と焦点面との交点である加算点の座標（2.6, 2, 1.5）が計算される。そして、ステップ S1382 において、合焦画像における加算点の近傍の画素の輝度値に、加算画素の輝度値が分配されて加算される。

40

【0135】

以上のように、本変形例に係る画像生成システムによれば、イメージセンサ 102 の受光面上における第 1 画素の位置及び照明器の位置を結ぶ直線と焦点面との交点の位置に

50

応する合焦画像の１以上の第２画素の輝度値に、撮影画像の第１画素の輝度値を適用することができる。したがって、撮影画像の各画素の輝度値を合焦画像の画素の輝度値に反映することができる、対象物の高画質な合焦画像を生成することができる。

【０１３６】

（実施の形態２）

次に、実施の形態２について説明する。実施の形態２では、決定された焦点面に応じて適応的に照明位置を決定し、決定された照明位置にある照明器を用いて対象物を撮影する点の実施の形態１と異なる。以下に、実施の形態２について、実施の形態１と異なる点を中心に説明する。

【０１３７】

〔画像生成システムの構成〕

図２２は、実施の形態２に係る画像生成システム２０の機能的な構成を示すブロック図である。図２２において、図１と実質的に同一の構成要素については、同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【０１３８】

画像生成システム２０は、撮影装置２００Ａと、画像生成装置２００Ｂと、記憶部１２０と、表示部１５０とを備える。

【０１３９】

〔撮像装置の構成〕

撮影装置２００Ａは、複数の照明器１０１と、画素ごとに光の強度を記録するイメージセンサ１０２と、撮影制御部２０３とを備える。

【０１４０】

撮影制御部２０３は、後述する照明範囲決定部２１１から取得した照明範囲情報に従って、複数の照明器１０１及びイメージセンサ１０２の動作を制御する。具体的には、撮影制御部２０３は、異なる位置にある複数の照明器１０１から光を順に照射させる。そして、複数の照明器１０１のいずれかから光が照射されるたびに、イメージセンサ１０２に対象物の画像を撮影させる。

【０１４１】

撮影制御部２０３は、実施の形態１の撮影制御部１０３と同様に、例えば、ＣＰＵ、ＲＡＭ、ＲＯＭなどからなるコンピュータシステム（図示せず）により構成されてもよい。撮影制御部２０３の構成要素の一部又は全部の機能は、ＣＰＵがＲＡＭを作業用のメモリとして用いてＲＯＭに記録されたプログラムを実行することによって達成されてもよい。また、撮影制御部２０３の構成要素の一部又は全部の機能は、専用のハードウェア回路によって達成されてもよい。

【０１４２】

〔画像生成装置の構成〕

画像生成装置２００Ｂは、焦点面決定部２１０と、照明範囲決定部２１１と、リフォーカス処理部１３０と、画像生成部１４０とを備える。

【０１４３】

焦点面決定部２１０は、例えば制御回路又はプロセッサによって実現され、複数の照明器１０１及びイメージセンサ１０２の間に位置する仮想的な焦点面を決定する。具体的には、焦点面決定部２１０は、予め定められた焦点面の情報に基づいて焦点面を決定する。また例えば、焦点面決定部２１０は、外部から入力された情報に従って焦点面を決定してもよい。

【０１４４】

照明範囲決定部２１１は、焦点面決定部２１０によって決定された焦点面に対応する照明位置を決定する。ここで、図２３及び図２４を参照しながら照明位置の決定の具体例を説明する。

【０１４５】

図２３は、実施の形態２における照明位置の決定方法を模式的に示した説明図である。

10

20

30

40

50

図 2 4 は、レンズの焦点距離及び被写界深度の関係と、リフォーカシングする際の点光源の配置及び被写界深度の関係を対応付けて示した模式図である。図 2 4 の (a) は、レンズの焦点距離及び被写界深度の関係を示し、図 2 4 の (b) は、リフォーカシングする際の点光源の配置及び被写界深度の関係を示す。

【 0 1 4 6 】

図 2 4 において、 f は、レンズの焦点距離を示す。 s は、被写体距離を示す。 t は、レンズから結像面までの距離を示す。 F は、 F 値を示す。 Δ は、焦点深度の $1 / 2$ を示す。

ϕ は、許容錯乱円直径を示す。 s_n は、近点距離を示す。 s_f は、遠点距離を示す。 D_n は、前方被写界深度を示す。 D_f は、後方被写界深度を示す。

【 0 1 4 7 】

リフォーカシングによる被写界深度は照明位置の分布範囲の広さによって決定される。図 2 4 の (b) において、点線で示す照明位置の分布範囲は、図 2 4 の (a) のレンズ径に対応する。図 2 4 の (a) に示したレンズの場合には、被写体 (Subject) 表面で反射された光はレンズを通過して焦点面 (Focal Plane) で結像する。被写界深度 (Depth of Field) は、前方被写界深度 D_n と後方被写界深度 D_f の和である。本開示では、透過光の撮影でのリフォーカシングであるため、図 2 4 の (a) の被写体の位置に相当するのが焦点面である。図 2 4 の (b) において、イメージセンサは焦点面よりも左側に位置する。本実施の形態では、点光源の配列より図中右側には実際には何も無いが、許容錯乱円として、イメージセンサの画素ピッチを設定することで、被写界深度を計算しうる。

【 0 1 4 8 】

例えば、図 2 3 に示した、焦点面の合焦画像を生成するために必要な照明位置の範囲は、図 2 4 に示すように、焦点面に平行に設置されたレンズの大きさに対応する。レンズを用いると、焦点位置に置かれた被写体を観測するために、被写体から 5 mm の距離に置かれた直径 10 mm のレンズ径が必要な場合の照明位置の範囲は、次のような円で表される。つまり、照明位置の範囲は、図 2 3 のように焦点面に平行で、焦点面からの距離が 5 mm 、焦点面の中心を通る焦点面の法線と焦点面に平行な平面との交点を中心とした直径 10 mm の円で表される。実際の点光源の配置平面あるいは曲面 (例えば、図 3 に示した曲面や、図 4 に示した平面) に、この照明位置の範囲を写像した領域内に配置された照明器の位置が、焦点面決定部 210 によって決定された焦点面に適した照明位置となる。

【 0 1 4 9 】

[画像生成システムの動作]

次に、上述のように構成される画像生成システム 20 の動作について説明する。

【 0 1 5 0 】

図 2 5 は、実施の形態 2 に係る画像生成システム 20 の動作の一例を示すフローチャートである。図 2 5 において、図 7 と実質的に同一のステップについては、同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【 0 1 5 1 】

図 2 5 に示されるように、まず、焦点面決定部 210 は、焦点面を決定する (ステップ S1200)。

【 0 1 5 2 】

照明範囲決定部 211 は、ステップ S1200 で決定された焦点面に対応する照明位置の範囲を決定する (ステップ S2200)。

【 0 1 5 3 】

撮影装置 200A は、複数の照明器 101 のうち、ステップ S2200 で決定された照明位置の範囲に対応する照明器を順に用いて、対象物を照明する。そして、撮影装置 200A は、照明器が対象物を照明するたびに、イメージセンサ 102 の受光面に到達した光の強度を記録することにより、対象物の画像を取得する。取得された画像は、撮影時に対象物を照明していた照明器の位置情報とともに記憶部 120 で記憶される (ステップ S2300)。具体的には、撮影装置 200A の撮影制御部 203 は、ステップ S2200 で決定された照明位置の範囲に基づいて、複数の照明器 101 の中から、決定された照明位

10

20

30

40

50

置の範囲に含まれる２以上の照明器を選択する。そして、撮影制御部２０３は、予め定められた順番で、選択された２以上の照明器に光を照射させ、イメージセンサ１０２に撮影させる。撮影装置２００Ａが、対象物に対する照明と、対象物の撮影とを繰り返すことにより、決定された照明位置の範囲内の照明器を用いて、対象物の画像を取得する。これ以降の動作は、基本的に実施の形態１の図７と同様であるので説明を省略する。

【０１５４】

[効果]

以上のように、本実施の形態に係る画像生成システムによれば、焦点面の情報に基づいて照明位置の範囲を決定し、決定された照明位置の範囲に対応する照明器によって対象物を順番に照明することができる。したがって、焦点面における合焦画像の生成に適した照明器を用いて対象物を撮影することができ、撮影時間を短縮することができる。

10

【０１５５】

(実施の形態２の変形例)

次に、実施の形態２の変形例について説明する。本変形例では、予め取得されたパイロット画像を用いて対象領域を決定し、当該対象領域に基づいて照明位置の範囲を決定する点が実施の形態２と異なる。以下に、実施の形態２の変形例について、実施の形態２と異なる点を中心に説明する。

【０１５６】

[画像生成システムの構成]

図２６は、実施の形態２の変形例に係る画像生成システム３０の機能的な構成を示すブロック図である。図２６において、図２２と実質的に同一の構成要素については、同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

20

【０１５７】

画像生成システム３０は、撮影装置２００Ａと、画像生成装置３００Ｂと、記憶部３２０と、表示部１５０とを備える。

【０１５８】

撮影装置２００Ａは、複数の照明器１０１と、イメージセンサ１０２と、撮影制御部２０３とを備える。本変形例では、撮影装置２００Ａは、決定された照明位置の範囲に対応する照明器を順に用いて対象物を撮影する前に、予め定められた照明器を用いて対象物を撮影することによりパイロット画像を取得する。パイロット画像は、記憶部３２０に記憶され、表示部１５０に表示される。

30

【０１５９】

画像生成装置３００Ｂは、焦点面決定部２１０と、照明範囲決定部３１１と、対象領域決定部３１２と、処理範囲切り出し部３１３と、リフォーカス処理部２３０と、画像生成部１４０とを備える。

【０１６０】

対象領域決定部３１２は、外部入力によって指定された領域又は予め定められた方法で指定された領域に基づいて、パイロット画像内の対象領域を決定する。

【０１６１】

照明範囲決定部３１１は、焦点面決定部２１０によって決定された焦点面及び対象領域決定部３１２によって決定された対象領域に基づいて、照明位置の範囲を決定する。

40

【０１６２】

記憶部３２０は、イメージセンサ１０２で撮影された画像を、当該画像の撮影に用いられた照明器の位置情報とともに記憶する。さらに、記憶部３２０は、予め定められた照明器で照明された際に撮影された画像をパイロット画像として記憶する。このパイロット画像は、対象領域決定部２１２に出力される。

【０１６３】

処理範囲切り出し部３１３は、対象領域決定部３１２によって決定された対象領域に対応する領域を、記憶部３２０に記憶された複数の画像からそれぞれ切り出す。そして、処理範囲切り出し部３１３は、切り出した画像を照明位置情報とともにリフォーカス処理部

50

230へ出力する。

【0164】

〔画像生成システムの動作〕

次に、上述のように構成される画像生成システム30の動作について説明する。

【0165】

図27は、画像生成システム30の動作の一例を示すフローチャートである。図27に示されるように、まず、撮影部200の撮影制御部203は、予め定められた照明器（例えば、座標（0，0）の位置にある照明器を用いて対象物を照明し、イメージセンサ102の受光面に到達した光の強度を検知することによりパイロット画像を取得する。パイロット画像は、記憶部320に記憶される（ステップS2010）。記憶部320は、ステップS2010で撮影されたパイロット画像を表示部150に出力し、表示部150はパイロット画像を表示する（ステップS2020）。

10

【0166】

ユーザは、ステップS2020で表示されたパイロット画像に対して、合焦画像を生成したい領域を指定する。対象領域決定部212は、ユーザから指定された領域に基づいて、対象領域を決定する（ステップS2030）。

【0167】

なお、本変形例では、パイロット画像を表示し、ユーザからパイロット画像に対する領域の指定入力を受けたが、これに限定されない。例えば、対象領域決定部312は、パイロット画像において対象物の認識処理を行い、認識結果に基づいて対象領域が決定されてもよい。対象物の認識処理は、例えば、予め定められた色や輪郭などの特徴に基づいて行われる。対象物の認識処理によって複数の領域が抽出された場合には、対象領域決定部312は、例えば画像中の領域の位置に基づいて、抽出された複数の領域の中から少なくとも1つの領域が対象領域として選択されてもよいし、抽出された複数の領域のすべてを対象領域として決定してもよい。

20

【0168】

焦点面決定部210は、焦点面を決定する（ステップS2100）。照明範囲決定部311は、ステップS2030で決定された対象領域と、ステップS2100で決定された焦点面とに基づいて、照明位置の範囲を決定する（ステップS2210）。具体的には、照明範囲決定部211は、図23における焦点面の中心の代わりに対象領域の中心を用いて、照明位置の範囲を決定する。以降のステップは、図18と実質的に同一であるので説明を省略する。

30

【0169】

〔効果〕

以上のように、本変形例に係る画像生成システム30によれば、焦点面に加えて対象領域に基づいて照明位置の範囲を決定することができ、さらに撮影時間を短縮することができる。

【0170】

（実施の形態3）

次に、実施の形態3について説明する。実施の形態3は、対象物の状態に基づいて焦点面を決定する点の実施の形態1と異なる。例えば、本実施の形態では、受精卵や初期胚のように、対象物の状態が培養時間に応じて変化する場合に、培養時間に対応する対象物の状態に基づいて、焦点面の数及び角度を決定する。以下に、実施の形態3について、実施の形態1と異なる点を中心に説明する。

40

【0171】

〔画像生成システムの構成〕

図28は、実施の形態3に係る画像生成システム40の機能的な構成を示すブロック図である。図28において、図1と実質的に同一の構成要素については、同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0172】

50

画像生成システム 40 は、撮影装置 100A と、画像生成装置 400B と、記憶部 120 と、表示部 150 とを備える。画像生成装置 400B は、焦点面決定部 410 と、胚情報テーブル 420 と、計時部 430 と、リフォーカス処理部 130 と、画像生成部 140 とを備える。

【0173】

胚情報テーブル 420 には、培養時間と、当該培養時間に対応する胚の状態及び焦点面の情報とが記録されている。図 29 は胚情報テーブル 420 の一例を示す。図 29 の例では、胚情報テーブル 420 には、培養時間ごとに胚の状態と焦点面の数とが記録されている。

【0174】

計時部 430 は、対象物の培養を開始した時刻からの経過時間（つまり培養時間）を計測する。

【0175】

焦点面決定部 410 は、計時部 430 により計測された培養時間に対応する焦点面の数を胚情報テーブル 420 から取得する。そして、焦点面決定部 410 は、イメージセンサ 102 と複数の照明器 101 との間に、取得した数と同数の焦点面を決定する。具体的には、焦点面決定部 410 は、外部入力された角度、あるいは予め定められた角度で傾いた焦点面を、胚情報テーブル 420 から得られた数だけ決定する。対象物が初期胚の場合、例えば、互いに平行な複数の焦点面が決定される。初期胚の大きさは、約 $100\mu\text{m}$ であるので、 $100\mu\text{m}$ の高さを胚情報テーブル 420 から得られた数と同数の焦点面で等分するように焦点面の間の距離が決定される。例えば、焦点面の数が 2 である場合、2 つの焦点面の間の距離は $33\mu\text{m}$ と決定される。

【0176】

[画像生成システムの動作]

次に、上述のように構成される画像生成システム 40 の動作について説明する。

【0177】

画像生成システム 40 の動作は、実施の形態 1 の図 7 と、ステップ S1200 の焦点面を決定する動作を除いて実質的に同一であるので、ステップ S1200 の詳細のみを説明し、他の動作については説明を省略する。

【0178】

図 30 は、実施の形態 3 に係る焦点面決定部 410 の動作の一例を示すフローチャートである。

【0179】

まず、焦点面決定部 410 は、計時部 430 から培養時間を取得する（ステップ S1210）。次いで、焦点面決定部 410 は、胚情報テーブル 420 を参照して、ステップ S1210 で取得した培養時間に対応する焦点面の数を取得する（ステップ S1220）。焦点面決定部 410 は、ステップ S1220 で取得した焦点面の数に基づいて、各焦点面の中心の高さ（すなわち図 8 のように定義された $x-y-z$ 空間における z 座標値）を決定する（ステップ S1230）。本実施の形態では、複数の焦点面の各々における合焦画像を生成する際には、ユーザのわかり易さを考慮して、すべての焦点面は平行に配置される。なお、複数の焦点面の角度、配置はこの限りではない。

【0180】

さらに、焦点面決定部 410 は、図示しない入力手段を介して入力された焦点面の傾きの情報、または予め定められた焦点面の傾きの情報に基づいて、焦点面の x 軸に対する角度と y 軸に対する角度とを決定する（ステップ S1240）。ステップ S1230 で決定された焦点面の中心位置を回転中心として、ステップ S1240 で決定された角度で各焦点面を傾けて仮想的に配置することにより、焦点面を決定する（ステップ S1250）。

【0181】

[効果]

以上のように、本実施の形態に係る画像生成システム 40 によれば、対象物の状態に応

10

20

30

40

50

じて焦点面の数を決定することができ、対象物の観察に適した合焦画像を生成することが可能となる。

【0182】

(実施の形態3の変形例)

実施の形態3の変形例では、まず、イメージセンサの受光面に平行な焦点面において合焦画像を生成し、生成された合焦画像における対象物(例えば細胞)の立体的配置に応じて、他の焦点面を自動的に決定する点が上記実施の形態3と異なる。以下に、実施の形態3の変形例について、実施の形態3と異なる点を中心に説明する。

【0183】

図31は、実施の形態3の変形例に係る画像生成システム50の機能的な構成を示すブロック図である。なお、図31では、撮影装置100Aは、図28と同じであるので、その記載を省略している。また、図31において、図28と実質的に同一の構成要素については、同一の符号を付し、適宜説明を省略する。

【0184】

画像生成装置500Bは、焦点面決定部510と、胚情報テーブル420と、計時部430と、リフォーカス処理部530と、画像生成部540とを備える。焦点面決定部510は、水平面決定部511と、細胞位置判定部513と、位置傾き決定部514とを備える。

【0185】

水平面決定部511は、胚情報テーブル420を参照して、計時部430から取得した培養時間に対応する焦点面の数を決定する。水平面決定部511は、決定された焦点面の数を元に、焦点面の位置と傾きとを決定するために用いる、イメージセンサ102の受光面に平行な水平面の数と当該水平面のz軸上の位置とを決定する。

【0186】

細胞位置判定部513は、画像生成部540が生成した受光面に平行な水平面における合焦画像と、3次元モデルから生成される断面画像とを比較し、比較結果から3次元座標上での細胞の配置を判定する。

【0187】

ここで、細胞位置判定部513の詳細な構成について図32を参照しながら説明する。

【0188】

図32は、細胞位置判定部513の詳細な機能構成を示すブロック図である。細胞位置判定部513は、3Dモデルデータベース(DB)521と、回転処理部522と、2D化処理部523と、比較部524と、記憶部525とを備える。

【0189】

3Dモデルデータベース521は、対象物の状態(ここでは初期胚の各細胞期における3次元モデル)を保持している。初期胚の3次元モデルは、球状の胚膜中に、細胞期に対応する数の略球状の細胞が内包されている状態を示す。

【0190】

回転処理部522は、3Dモデルデータベース521に保持された3次元モデルを予め定められた角度で回転する。

【0191】

2D化処理部523は、回転処理部522が回転した3次元モデルを用いて、水平面決定部511で決定された水平面における断面画像を生成する。

【0192】

比較部524は、画像生成部540が生成した水平面における合焦画像と、2D化処理部523が3次元モデルから生成した断面画像とを比較する。この比較は、回転処理部522における回転角度を変えながら繰り返される。その結果、合焦画像と断面画像との差異を示す値が予め定められた閾値よりも小さくなる回転角度が求められる。

【0193】

記憶部525は、比較部524が比較した2つの画像の差異を示す値が閾値よりも小

10

20

30

40

50

くなる、回転処理部 5 2 2 での回転角度を記憶する。

【 0 1 9 4 】

位置傾き決定部 5 1 4 は、細胞位置判定部 5 1 3 が判定した、3 次元座標上での細胞の配置と、水平面決定部 5 1 1 が決定した焦点面の数とに基づいて、各焦点面の中心点の z 軸上での位置と、各焦点面の x 軸及び y 軸に対する傾きの値を決定する。

【 0 1 9 5 】

リフォーカス処理部 5 3 0 は、撮影部 1 0 0 によって撮影された複数の画像より、水平面決定部 5 1 1 によって決定された平面または位置傾き決定部 5 1 4 によって決定された焦点面に対するリフォーカシング処理を行う。

【 0 1 9 6 】

画像生成部 5 4 0 は、リフォーカス処理部 5 3 0 が生成した各画素の輝度値を用いて合焦画像を生成する。

【 0 1 9 7 】

[画像生成システムの動作]

次に、上述のように構成される画像生成システム 5 0 の動作について説明する。

【 0 1 9 8 】

画像生成システム 5 0 の動作は、実施の形態 1 の図 7 と、ステップ S 1 2 0 0 を除いて実質的に同一であるので、ステップ S 1 2 0 0 の詳細のみを説明し、他の動作については説明を省略する。

【 0 1 9 9 】

図 3 3 は、実施の形態 3 の変形例に係る焦点面決定部 5 1 0 の動作の一例を示すフローチャートである。

【 0 2 0 0 】

まず、焦点面決定部 5 1 0 の水平面決定部 5 1 1 は、計時部 4 3 0 から培養時間を取得する（ステップ S 1 2 1 0）。次いで、水平面決定部 5 1 1 は、胚情報テーブル 4 2 0 を参照して、ステップ S 1 2 1 0 で取得した培養時間に対応する焦点面の数を取得する（ステップ S 1 2 2 0）。水平面決定部 5 1 1 は、ステップ S 1 2 2 0 で取得した焦点面の数と同数の水平面の各々の z 軸位置を決定する（ステップ S 1 2 3 1）。本変形例では、3 次元モデルから生成される複数の断面画像を、複数の水平面における合焦画像と比較することで、画像生成システム 5 0 が出力する合焦画像のための焦点面の角度が決定される。図 2 9 に示した胚情報テーブルでは、焦点面の数として、前核期胚及び 2 細胞期胚については、1 が記録されている。そこで、ステップ S 1 2 3 1 では、胚情報テーブル 4 2 0 を参照して得られた焦点面の数と同数の水平面の z 軸位置を決定する。

【 0 2 0 1 】

なお、水平面の数は、焦点面の数と一致しなくてもよい。この場合、胚情報テーブル 4 2 0 には、焦点面の数に加えて、細胞の配置を判定するための水平面の数が記録されればよい。また、実施の形態 2 の変形例のように、パイロット画像を取得し、パイロット画像の状態に基づいて水平面の数を決定してもよい。

【 0 2 0 2 】

水平面の z 軸位置は、例えば、初期胚の大きさが直径約 1 0 0 μm であるので、1 0 0 μm の高さが胚情報テーブル 4 2 0 から得られた数と同数の水平面で等分されるように決定される。胚は培養液中に沈んでおり、イメージセンサ 1 0 2 の受光面上に接触している。したがって、例えば水平面の数が 2 つである場合、2 つの水平面の z 軸位置は、3 3 μm 及び 6 6 μm である。

【 0 2 0 3 】

リフォーカス処理部 5 3 0 は、ステップ S 1 2 3 1 で決定された z 軸位置における水平面に対してリフォーカス処理を行う。画像生成部 5 4 0 は、リフォーカス処理部 5 3 0 が計算した各画素の輝度値を用いて合焦画像を生成する（ステップ S 1 2 3 2）。

【 0 2 0 4 】

細胞位置判定部 5 1 3 は、ステップ S 1 2 3 2 で生成された合焦画像を、初期胚の 3 次

10

20

30

40

50

元モデルから生成された断面画像と比較することで、細胞の配置と初期胚の観察に適した細胞の配置（以下、基準位置という）からの初期胚の回転角度とを決定する（ステップS1241）。ステップS1241の詳細は後述する。

【0205】

位置傾き決定部514は、ステップS1241で決定された細胞の配置と回転角度とに基づいて、焦点面が基準位置での水平面に合致するように、焦点面の角度を決定する（ステップS1242）。例えば、ステップS1241で判定された回転角度の逆向きの回転角度で、撮影時の座標での水平面を回転して得られる平面の角度を焦点面の角度として決定する。

【0206】

続いて、位置傾き決定部514は、ステップS1220で水平面決定部511が取得した数と同数の焦点面のz軸上の位置を決定する。z軸位置は、例えば、対象物全体のz軸方向の大きさを等分するように決定される。

【0207】

位置傾き決定部514は、ステップS1242で決定された角度とz軸位置とを用いてすべての焦点面を決定する（ステップS1250）。

【0208】

本変形例では、すべての焦点面は、互いに平行であるものとして説明したが、異なる角度で配置されてもよい。例えば、複数の焦点面は、ある座標点を中心に点対称に配置されてもよい。イメージセンサ直上からの撮影結果から、イメージセンサの受光面上の胚の中心点を決定し、胚の直径が約100μmであるため、イメージセンサの受光面上の胚の中心点からz軸方向に50μmの高さの位置を回転中心として用いて焦点面が配置されてもよい。

【0209】

次に、図33のステップS1241の詳細について、図34を参照しながら説明する。図34は、実施の形態3の変形例に係る焦点面決定部510による細胞配置の決定に関する処理を示すフローチャートである。

【0210】

細胞位置判定部513の回転処理部522は、水平面決定部511より初期胚の状態、水平面の数、水平面のz軸位置の情報を取得する（ステップS12411）。回転処理部522は、3Dモデルデータベース521に保持されるモデルのうち、ステップS12411で取得した胚の状態の情報に対応する3次元モデルのすべてに対して、比較処理を行ったか否かを判定する（ステップS12412）。比較処理は、ステップS12413からステップS12418までの一連の処理を指す。

【0211】

ここで、胚の状態の情報に対応する3次元モデルのすべてに対して比較処理が行われた場合（ステップS12412においてyes）、ステップS1242に進む。一方、胚の状態の情報に対応する3次元モデルのいずれかに対してまだ比較処理が行われていない場合（ステップS12412においてno）、ステップS12413に進む。

【0212】

ステップS12411で取得した胚の状態の情報に対応する3次元モデルのうちの1つが選択される（ステップS12413）。ここで選択される3次元モデルは、まだ比較処理が行われていないものである。

【0213】

3次元モデルは、胚の状態ごとに、胚の中の細胞の配置を3次元で表現する。3次元モデルは、回転可能な状態で保持され、回転していない基準位置は、xy平面すなわち受光面に平行な平面における細胞の断面が細胞の観察に最も適した断面になるように、設定されている。図35A～図35Dは、4細胞期の胚の3次元モデルの一例を示す。図35A～図35Dの3次元モデルでは、z軸方向における低い位置で2つの細胞（第1細胞3501及び第2細胞3502）が並び、高い位置で2つの細胞（第3細胞3503及び第4

10

20

30

40

50

細胞 3 5 0 4) が並ぶ。第 1 細胞 3 5 0 1 及び第 2 細胞 3 5 0 2 の中心点をつなぐ直線と第 3 細胞 3 5 0 3 及び第 4 細胞 3 5 0 4 の中心点をつなぐ直線とは、 $x y$ 平面上に写像した場合に直交する。3 次元モデルを俯瞰すると図 3 5 D のようになる。

【 0 2 1 4 】

図 3 6 A 及び図 3 6 B は、図 3 5 A の断面線 XXVIII および図 3 5 B の断面線 XXIX における 3 次元モデルの断面図である。 $x y$ 平面と平行な面上に並ぶ 2 つの細胞のペアが z 軸方向に 2 層になっている。この例では、第 1 細胞 3 5 0 1 及び第 2 細胞 3 5 0 2 の中心点を通る直線と、第 3 細胞 3 5 0 3 及び第 4 細胞 3 5 0 4 の中心点を通る直線とは、ねじれの位置にある。図 3 5 A ~ 図 3 6 B は、基準位置における 3 次元モデルを示している。つまり、第 1 細胞 3 5 0 1 及び第 2 細胞 3 5 0 2 が $x y$ 平面と平行な平面上に並び、第 3 細胞 3 5 0 3 及び第 4 細胞 3 5 0 4 が $x y$ 平面と平行な平面上に並ぶ位置を基準位置としている。

10

【 0 2 1 5 】

次に、回転処理部 5 2 2 は、予め定められた回転角度のすべてに対して、ステップ S 1 2 4 1 3 で選択した 3 次元モデルの断面画像とステップ S 1 2 3 2 で生成された水平面における合焦画像とを比較したか否かを判定する (ステップ S 1 2 4 1 4)。ここで、回転角度のすべてに対して比較が行われた場合 (ステップ S 1 2 4 1 4 において *yes*) は、ステップ S 1 2 4 1 2 へ戻る。一方、予め定められた回転角度のいずれかに対して比較が行われていない場合 (ステップ S 1 2 4 1 4 において *no*) は、ステップ S 1 2 4 1 5 に進む。

20

【 0 2 1 6 】

回転処理部 5 2 2 は、予め定められた回転角度のうち、比較処理が行われていない回転角度で、ステップ S 1 2 4 1 3 で選択した 3 次元モデルを回転する (ステップ S 1 2 4 1 5)。

【 0 2 1 7 】

2 D 化処理部 5 2 3 は、ステップ S 1 2 4 1 5 で回転された 3 次元モデルをステップ S 1 2 3 1 で決定された 1 つ以上の平面における断面画像を生成する (ステップ S 1 2 4 1 6)。図 3 7 は、図 3 5 D に示した基準位置における 3 次元モデルを、 x 軸に平行で胚の中心を通る軸を回転中心に回転させた結果を示す 3 次元モデルの斜視図である。図中に破線で示す平面において断面画像が生成される。図 3 8 に示すように、断面画像では、左下の細胞の輪郭は明瞭であり、 z 軸上で最も高い位置にある細胞は写らず、中間の 2 つの細胞の輪郭はボケている。2 D 化処理部 5 2 3 は、回転された 3 次元モデルに対して、指定された平面と被写界深度とに基づき、断面画像を生成する。ここで用いられる被写界深度は、画像生成システム 5 0 の被写界深度と等しい。

30

【 0 2 1 8 】

比較部 5 2 4 は、ステップ S 1 2 3 2 で生成された水平面における合焦画像とステップ S 1 2 4 1 6 で生成された断面画像とを比較し、その差異を示す値が、記憶部 5 2 5 に記憶されている値より小さいか否かを判定する (ステップ S 1 2 4 1 7)。ここで、差異を示す値が記憶部 5 2 5 に記憶されている値以上である場合 (ステップ S 1 2 4 1 7 において *no*)、ステップ S 1 2 4 1 4 に戻る。一方、差異を示す値が記憶部 5 2 5 に記憶されている値未満である場合 (ステップ S 1 2 4 1 7 において *yes*)、ステップ S 1 2 4 1 8 に進む。なお、記憶部 5 2 5 には、初期値として、例えば差異を示す値の上限値が予め記憶されている。

40

【 0 2 1 9 】

記憶部 5 2 5 は、合焦画像と断面画像との差異を示す値と、ステップ S 1 2 4 1 5 における 3 次元モデルの回転に用いた回転角度とを記憶する (ステップ S 1 2 4 1 8)。つまり、記憶部 5 2 5 に記憶されている値は、ステップ S 1 2 3 2 で生成された水平面における合焦画像とステップ S 1 2 4 1 6 で生成された断面画像との差異を示す値に更新される。その後、ステップ S 1 2 4 1 4 へ戻る。

【 0 2 2 0 】

50

ステップS 1 2 4 1 4からステップS 1 2 4 1 8までの比較処理を繰り返すことで、ステップS 1 2 3 2で生成された合焦画像（すなわち撮影画像から生成された水平面における合焦画像）が、基準位置からどれだけ回転された3次元モデルの断面画像に近いかを求めることができる。

【0221】

〔効果〕

以上のように、本変形例に係る画像生成システム50によれば、対象物である初期胚における細胞の配置に応じて、焦点面の位置及び角度を決定することができる。したがって、初期胚の観察に適した合焦画像を生成することができる。

【0222】

10

（実施の形態4）

実施の形態4における画像生成装置は、表示される合焦画像の焦点面をユーザに選ばせるためのガイドとなる合成画像を表示する。なお、実施の形態4における画像生成装置は、上記実施の形態1～3およびそれらの変形例における画像生成装置100B、200B、300B、400Bおよび500Bと同様にリフォーカス処理を行う。

【0223】

〔画像生成システム〕

図39は、実施の形態4における画像生成システムの機能ブロック図である。

【0224】

実施の形態4における画像生成システムは、画像生成装置600Bと、画像取得部710と、初期胚モデル720と、焦点面入力部730と、操作部740と、ディスプレイ760とを備える。

20

【0225】

画像取得部710は、実施の形態1～3およびそれらの変形例における撮影装置および記憶部からなる。つまり、画像取得部710は、複数の照明器101が対象物を順番に照明することに行われるイメージセンサ102による撮影によって、対象物の複数の撮影画像を取得して記憶部に格納する。

【0226】

初期胚モデル720は、モデルデータを保持する記録媒体である。このモデルデータは、初期胚の胚膜と、その胚膜に内包される培養時間に応じた数の細胞とのそれぞれは球としてモデル化されることを示す。さらに、モデルデータは、胚膜の球は、細胞の球よりも大きく、その細胞の球を包含することを示し、さらに、胚膜の球の面と細胞の球の面とは交わらないことを示す。実施の形態4では、対象物は胚（具体的には初期胚）であり、初期胚モデル720によって、この胚が少なくとも1つの球としてモデル化される。

30

【0227】

なお、撮影の対象物は、例えばイメージセンサ102上に配置される複数の半透明の物質である。対象物の具体例は、脊椎動物の受精卵の初期胚、つまり球状の胚である。対象物内において、複数の物質は3次的に重なって位置する場合がある。複数の物質の具体例は、球状の細胞である。以下、初期胚を用いて、実施の形態4を説明する。なお、撮影の対象物の形状は、球形状に限定されず、いかなる形状であってもよい。例えば、撮影の対象物の形状は、多面体であってもよい。複数の物質の形状は、球形状に限定されず、いかなる形状であってもよい。例えば、複数の物質の形状は、多面体であってもよい。撮影の対象物は、撮影されるときに、その内部の複数の物質も撮影されるように、例えば透明又は半透明に形成されることが望ましい。複数の物質は、照明器101の光が透過するように、例えば、透明又は半透明に形成されることが望ましいが、透明及び半透明以外の構成を有してもよい。また、対象物は、複数の物質を含んでいなくてもよく、1つの物質のみを含んでいてもよい。

40

【0228】

ディスプレイ760は、例えば液晶ディスプレイまたは有機EL（electroluminescence）ディスプレイなどからなり、合焦画像および上述のガイドとなる合成画像を表示する

50

。

【0229】

焦点面入力部730は、ユーザからのリフォーカス処理の要求、つまり、合焦画像の生成の要求を受け付ける。

【0230】

操作部740は、ユーザによるディスプレイ760の画面の操作を受け付ける。

【0231】

画像生成装置600Bは、上述のように、リフォーカス処理を行って合焦画像を生成するとともに、表示される合焦画像の焦点面をユーザに選ばせるためのガイドとなる合成画像を生成してディスプレイ760に表示させる。

10

【0232】

[画像生成装置]

画像生成装置600Bは、図39に示すように、リフォーカス処理部610と、球画像生成部620と、合成画像生成部630とを備える。なお、この画像生成装置600Bは、制御回路によって実現される。また、この画像生成装置600Bは、複数の照明器101と、対象物が載置される表面を有するイメージセンサ102とを備えていてもよい。

【0233】

リフォーカス処理部610は、画像生成装置100B、200B、300B、400Bおよび500Bのそれぞれと同様の機能を有し、リフォーカス処理を行って対象物の合成画像を生成する。つまり、リフォーカス処理部610は、複数の照明器101が対象物を順番に照明することに行われるイメージセンサ102による撮影によって得られた対象物の複数の撮影画像を用いて、予め定められた複数の焦点面のそれぞれにおける対象物の合焦画像を生成する。

20

【0234】

対象物の複数の撮影画像は、画像取得部710によって取得されて記憶部に格納されている。

【0235】

予め定められた複数の焦点面のそれぞれは、例えば、イメージセンサ102の受光面に対して平行な面であって、その受光面に対して垂直な方向（つまり上述のz軸の方向）に沿って等間隔離れて配置されている面である。具体的には、複数の焦点面のそれぞれは、1μmまたは2μmの間隔だけ離れて配置されている。なお、これらの予め定められた複数の焦点面を、以下、初期焦点面ともいう。

30

【0236】

球画像生成部620は、リフォーカス処理部610によって生成された複数の合焦画像に映っている対象物の少なくとも1つの断面の輪郭を抽出する。次に、球画像生成部620は、抽出された少なくとも1つの断面の輪郭に基づいて、少なくとも1つの円周を生成する。そして、球画像生成部620は、生成された少なくとも1つの円周のそれぞれを有する少なくとも1つの球の立体画像である球画像を生成する。ここで、球画像生成部620は、初期胚モデル720を参照することによって、その球画像を生成する。つまり、本実施の形態において、対象物は胚であり、上述の少なくとも1つの球は、胚の外形を表す外球と、その外球に内包され、それぞれ細胞の外形を表す少なくとも1つの内球とからなる。

40

【0237】

合成画像生成部630は、その少なくとも1つの球の断面が現れるように球画像を加工することによって合成画像を生成してディスプレイ760に表示させる。

【0238】

また、合成画像生成部630は、ユーザによる画面の操作が操作部740に受け付けられると、そのユーザによる操作に応じて、表示されている合成画像における断面の位置をディスプレイ760に変更させる。

【0239】

50

リフォーカス処理部 610 は、ユーザからの合焦画像の生成の要求が焦点面入力部 730 に受け付けられると、そのユーザからの要求に応じて対象物の合焦画像を生成する。つまり、リフォーカス処理部 610 は、ユーザからの要求に応じて、ディスプレイ 760 に表示されている断面に対応する焦点面における対象物の合焦画像を、複数の撮影画像を用いて生成してディスプレイ 760 に表示させる。なお、対象物の複数の撮影画像は、画像取得部 710 によって取得されて記憶部に格納されている。

【0240】

図 40 は、合成画像生成部 630 によって表示される合成画像の一例を示す。

【0241】

球画像生成部 620 は、例えば、2つの小さい球 A2、A3を含む球 A1を球画像 A0 として生成する。なお、この球画像 A0 は、内部が見えるように半透明に形成されている。例えば、球画像生成部 620 は、イメージセンサ 102 の受光面に平行な面を xy 平面とし、その xy 平面に対して垂直な方向を z 軸方向とする仮想空間上に上述の球画像 A0 を生成する。

【0242】

合成画像生成部 630 は、平面 B0 が球画像 A0 に交わるように球画像 A0 を加工することによって合成画像 M を合成する。つまり、合成画像生成部 630 は、少なくとも1つの球の断面 B1 が現れるように球画像 A0 を加工することによって合成画像 M を生成してディスプレイ 760 に表示させる。例えば、この加工に用いられる平面 B0 は、初期状態では、 xy 平面に平行であって、 z 座標 = $z1$ の位置にある。これにより、合成画像 M では、 xy 平面に平行であって、 z 座標 = $z1$ の位置にある断面 B1 が現れる。また、イメージセンサ 102 の受光面が z 座標 = 0 にある場合、 $z1$ は例えば $50 \mu m$ である。

【0243】

また、合成画像生成部 630 は、表示されている断面 B1 (すなわち平面 B0) の位置を変更するためのユーザによる操作が受け付けられると、その操作に応じて、断面 B1 の球画像 A0 に対する相対的な位置を変更する。

【0244】

このように、実施の形態 4 では、対象物である胚は、球画像 A0 にモデル化される。さらに、ユーザは、合成画像 M の断面 B1 の位置を変更することによって、胚の概略的な状態および断面を把握しながら、その胚における何れの断面でも容易に選択することができる。

【0245】

[球画像生成部]

図 41 は、球画像生成部 620 の詳細な機能構成を示すブロック図である。

【0246】

球画像生成部 620 は、輪郭抽出部 621 と、同一性判定部 622 と、高さ決定部 623 と、形状決定部 624 と、立体画像生成部 625 とを備える。

【0247】

輪郭抽出部 621 は、複数の初期焦点面のそれぞれにおける合焦画像に映っている対象物の断面の輪郭を抽出する。具体的には、輪郭抽出部 621 は、閾値以上のコントラストを有するエッジにより構成された輪郭を抽出する。例えば、対象物が胚の場合には、その胚は、胚膜を有し、培養時間に応じた数の細胞をその胚膜に内包している。この胚膜および細胞はそれぞれ球に近い形状をしている。そこで、輪郭抽出部 621 は、それぞれの合焦画像から円に近い形状の輪郭を抽出する。なお、1つの合焦画像からは、その輪郭が1つ抽出される場合、複数の輪郭が抽出される場合、輪郭が抽出されない場合がある。例えば、輪郭抽出部 621 は、複数の初期焦点面における合焦画像から、 Ka (Ka は 2 以上の整数) 個の輪郭を抽出する。

【0248】

輪郭抽出部 621 は、例えば、合焦画像からエッジ点の抽出を行い、抽出されたエッジ点に対して $Hough$ 変換を行う。なお、エッジ点は、画素と、その画素に隣接する画素

10

20

30

40

50

との輝度差が大きい点である。Hough変換では、焦点面に対応する直交座標平面上のエッジ点 (x, y) を通る円周を、中心座標 $(centerX, centerY)$ と半径 r による座標点 $(centerX, centerY, r)$ であらわす。次に、形状決定部624は、エッジ点を通る円周の候補を求める。つまり、 $r^2 = (x - centerX)^2 + (y - centerY)^2$ の数式によって、 $centerX$ と $centerY$ （中心位置）を定めると、半径 r が決まる。したがって、形状決定部624は、直交座標平面上のエッジ点 (x, y) を $(centerX, centerY, r)$ 3次元空間の面に変換する。複数のエッジ点の直交座標平面上の位置が $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ である場合、形状決定部624は、 $(centerX, centerY, r)$ 3次元空間において n 個の面を生成する。この n （ n は2以上の整数）個の面が共有する点は、元の直交座標平面上の単一の円周上にある。そこで、形状決定部624は、 $(centerX, centerY, r)$ 3次元空間で n 個の面が共有する点によって指定される元の直交座標平面上の円周を決定する。つまり、形状決定部624は、元の複数のエッジ点から、共有される頻度が多い点を採用することによって円周を決定する。

10

【0249】

同一性判定部622は、それらの抽出された Ka 個の輪郭のそれぞれが、対象物に含まれる同一の構成要素に対応する輪郭であるか否かを判定する。そして、同一性判定部622は、その Ka 個の輪郭の中から、同一の構成要素に対応する Kb （ Kb は2以上の整数）個の輪郭を選択する。対象物が複数の構成要素を含む場合には、同一性判定部622は、その複数の構成要素のそれぞれに対して、同一の構成要素に対応する複数の輪郭を選択する。対象物が胚である場合、構成要素は胚または細胞である。

20

【0250】

同一の構成要素に対応する輪郭であるか否かの判定は、輪郭（エッジ）の形状、サイズおよび位置に基づいて行われる。

【0251】

つまり、本実施の形態における輪郭抽出部621および同一性判定部622は、リフォーカス処理部610によって生成された複数の合焦画像のそれぞれに映っている対象物の断面の輪郭から、複数の合焦画像のそれぞれにおいて同一の位置にあって同一のサイズおよび形状の複数の輪郭を抽出する。この複数の合焦画像のそれぞれにおいて同一の位置にあって同一のサイズおよび形状の複数の輪郭は、同一の構成要素に対応する複数の輪郭である。

30

【0252】

高さ決定部623は、同一の構成要素に対応する Kb 個の輪郭のそれぞれを有する合焦画像の初期焦点面の z 座標を特定する。そして、高さ決定部623は、その z 座標が特定された Kb 個の初期焦点面の中から、それらの初期焦点面の z 座標の中心にある初期焦点面を見つけ出す。高さ決定部623は、その見つけ出した初期焦点面の z 座標を、上述の同一の構成要素の中心の高さとして決定する。対象物が複数の構成要素を含む場合には、高さ決定部623は、その複数の構成要素のそれぞれに対して、その構成要素の中心の高さを決定する。具体的には、胚膜の中心の高さ、または細胞の中心の高さが決定される。

40

【0253】

形状決定部624は、初期胚モデル720を用いて、対象物の構成要素の形状を決定する。具体的には、初期胚モデル720におけるモデルデータは、上述のように、胚膜および細胞は球としてモデル化されることなどを示す。したがって、形状決定部624は、対象物の構成要素を球にモデル化する。つまり、形状決定部624は、高さ決定部623によって決定された構成要素の中心の高さを、球の中心の z 座標に設定する。さらに、形状決定部624は、その決定された高さにあるその構成要素の輪郭に沿った形状の円周の半径を、球の半径に設定する。さらに、形状決定部624は、その円周の初期焦点面における中心位置を、球の中心の x 座標および y 座標に設定する。これにより、対象物の構成要素に対して、球の中心座標（ x 座標、 y 座標および z 座標）と半径とが設定される。対象物が複数の構成要素を含む場合には、形状決定部624は、その複数の構成要素のそれぞ

50

れに対して、球の中心座標と半径とを設定する。

【0254】

言い換えれば、形状決定部624は、同一性判定部622によって選択された複数の輪郭のうちの最大のエッジ強度を有する輪郭に基づいて円周を生成する。エッジ強度は例えばシャープネスとして比較する。シャープネスは、例えば、画像をフーリエ変換によって周波数に変換し、含まれる周波数成分で表す。高い周波数成分が大きいほどシャープネスが高い。あらかじめ定められた周波数以上の周波数成分が最も大きいものを最大のエッジ強度を有する輪郭とする。

【0255】

同一性判定部622によって選択された複数の輪郭は、輪郭抽出部621および同一性判定部622によって抽出された、同一の構成要素に対応する複数の輪郭である。つまり、上述の高さ決定部623は、最大のエッジ強度を有する輪郭が映し出されている合焦画像の初期焦点面のz座標を、同一の構成要素の中心の高さとして決定している。

【0256】

また、形状決定部624は、その最大のエッジ強度を有する輪郭に内接または外接する円周を生成する。

【0257】

立体画像生成部625は、形状決定部624によって対象物の構成に対して設定された中心座標と半径に応じた球の立体画像である球画像を生成する。対象物が複数の構成要素を含む場合には、立体画像生成部625は、その複数の構成要素のそれぞれに対応する球を有する立体画像を球画像として生成する。そして、立体画像生成部625は、その球画像を合成画像生成部630に出力する。

【0258】

つまり、本実施の形態における形状決定部624および立体画像生成部625は、生成された円周と同一の中心および半径を有する球の立体画像を含む球画像を生成する。このとき、立体画像生成部625は、複数の円周が選択または抽出されている場合、球面が互いに交わらない複数の球の立体画像を、上述の球画像として生成する。

【0259】

なお、同一の構成要素に対して、それぞれ最大のエッジ強度が映し出された複数の合焦画像が存在する場合がある。このような場合には、形状決定部624によって複数の円周が生成される。このとき、立体画像生成部625は、それらの複数の円周に基づいて球の立体画像を生成してもよい。つまり、立体画像生成部625は、それぞれ最大のエッジ強度が映し出された複数の合焦画像のそれぞれの初期焦点面のz座標を特定する。そして、立体画像生成部625は、それらのz座標の中心を球の中心として決定する。さらに、立体画像生成部625は、その球の中心から、複数の円周のうちの何れか一方までの距離を、球の半径として決定する。あるいは、立体画像生成部625は、複数の円周のうちの何れか一方の半径を、球の半径として決定する。これにより、球の中心および半径が決定されるため、立体画像生成部625は、その決定された中心および半径を有する球の立体画像を生成する。

【0260】

図42は、球画像生成部620の具体的な処理の一例を示す。

【0261】

例えば、対象物は直径約100μmの胚であって、胚は、胚膜と、胚膜に内包される2つの細胞（第1細胞と第2細胞）とをそれぞれ構成要素として有する。

【0262】

また、複数の初期焦点面のそれぞれは、イメージセンサ102の受光面からz軸の方向に沿って2μmごとと離れて配置されている。つまり、z軸の方向は、イメージセンサ102の受光面からの高さ方向であるため、例えば55個の初期焦点面のそれぞれが、高さ2μm、4μm、6μm、・・・、108μm、110μmの位置ある。

【0263】

リフォーカス処理部 610 は、55 個の初期焦点面のそれぞれに対して合成画像を生成する。これらの初期焦点面に生成される合焦画像は、例えば 260 ピクセル × 260 ピクセルからなる画像である。

【0264】

輪郭抽出部 621 は、55 個の初期焦点面のそれぞれの合焦画像から、閾値以上のコントラストを有するエッジにより構成された輪郭を抽出する。例えば、輪郭抽出部 621 は、合焦画像 P2、P3、P4、P5、および P6 から、輪郭 P21、P31、P41、P51、および P61 を抽出する。合焦画像に含まれる輪郭と判断された画素の輝度値平均を a、合焦画像に含まれる輪郭と判断された画素に隣接する画素の輝度平均を b とした場合、(合焦画像の輪郭コントラスト) = $|a - b|$ としてもよい。

10

【0265】

ここで、同一性判定部 622 は、抽出された輪郭 P21、P31、P41、P51、および P61 のそれぞれが、胚に含まれる同一の構成要素に対応する輪郭であるか否かを判定する。輪郭 P21、P31 および P41 のそれぞれのエッジの形状、サイズおよび位置は類似し、他の輪郭 P51 および P61 とは異なる。エッジの形状およびサイズの類似は輪郭 P21、P31、P41、P51、P61 の半径を比較することで可能である。例えば、半径の平均と標準偏差をもとめ、半径の値が平均に対して標準偏差の値以上に大きいあるいは小さいものは同一の構成要素に対応する輪郭ではないと判断する。輪郭が円ではない場合、例えば、輪郭 P21、P31、P41、P51、P61 の重心を揃え、2 つの輪郭の差を求め、輪郭の差によって分類するとしてもよい。輪郭の差は例えば輪郭 P21 と P31 の差を求める場合には、P21 上の点から最も近い P31 上の点までの距離を求める。あらかじめ定められた数の P21 上の点について最も近い P31 の点までの距離を求め、合計する。同様に他の 2 つの輪郭の間でも輪郭の差を求め、輪郭の差によってクラスタリングする。あるいは、重心から放射状に直線を引いた際に、P21 との交点と P31 との交点の距離をもとめ、その距離の分散が大きい場合に形状が異なると判断し、分散が小さい場合に計上が類似していると判断する。輪郭の位置については、例えば、輪郭 P21、P31、P41、P51、P61 の中心位置あるいは重心位置を比較することで判断する。例えば、中心同士の距離の平均と標準偏差を求め、他の中心との距離が、求めた中心間距離の平均に標準偏差を加えた値以上に大きい場合に、輪郭の位置が異なると判断する。したがって、同一性判定部 622 は、輪郭 P21、P31、P41、P51、および P61 の中から、第 1 細胞に対応する 3 個の輪郭 P21、P31 および P41 を選択する。

20

30

【0266】

次に、高さ決定部 623 は、第 1 細胞に対応する 3 個の輪郭 P21、P31 および P41 のそれぞれを有する合焦画像 P2、P3 および P4 の初期焦点面の z 座標、つまり高さ 72 μm、70 μm、68 μm を特定する。そして、高さ決定部 623 は、高さが特定された 3 つの初期焦点面の中から、中心の高さにある初期焦点面を見つけ出す。つまり、高さ決定部 623 は、高さ 70 μm の初期焦点面を見つけ出す。高さ決定部 623 は、その見つけ出した初期焦点面の高さ 70 μm を、第 1 細胞の中心の高さとして決定する。

【0267】

40

また、同一性判定部 622 は、輪郭抽出部 621 によって高さ 50 μm の前後にある初期焦点面の合成画像からも輪郭が抽出されている場合には、上述と同様に、それらの輪郭と輪郭 P51 とを、胚膜に対応する複数の輪郭として選択する。高さ決定部 623 は、それらの複数の輪郭のそれぞれを有する合焦画像の初期焦点面の高さを特定する。そして、高さ決定部 623 は、高さが特定された複数の初期焦点面の中から、中心の高さにある初期焦点面を見つけ出す。例えば、高さ決定部 623 は、高さ 50 μm の初期焦点面を見つけ出す。高さ決定部 623 は、その見つけ出した初期焦点面の高さ 50 μm を、胚膜の中心の高さとして決定する。

【0268】

同様に、同一性判定部 622 は、輪郭抽出部 621 によって高さ 20 μm の前後にある

50

初期焦点面の合成画像からも輪郭が抽出されている場合には、上述と同様に、それらの輪郭と輪郭 P 6 1 とを、第 2 細胞に対応する複数の輪郭として選択する。高さ決定部 6 2 3 は、それらの複数の輪郭のそれぞれを有する合焦画像の初期焦点面の高さを特定する。そして、高さ決定部 6 2 3 は、高さが特定された複数の初期焦点面の中から、中心の高さにある初期焦点面を見つけ出す。例えば、高さ決定部 6 2 3 は、高さ 20 μm の初期焦点面を見つけ出す。高さ決定部 6 2 3 は、その見つけ出した初期焦点面の高さ 20 μm を、第 1 細胞の中心の高さとして決定する。

【0269】

形状決定部 6 2 4 は、胚の各構成要素を球にモデル化する。つまり、形状決定部 6 2 4 は、高さ決定部 6 2 3 によって決定された第 1 細胞の中心の高さ (70 μm) を、球の中心の z 座標に設定する。さらに、形状決定部 6 2 4 は、その決定された第 1 細胞の中心の高さ (70 μm) にある初期焦点面に対して生成された合焦画像 P 3 に含まれる第 1 細胞の輪郭 P 3 1 に沿った形状の円周の半径を、球の半径に設定する。さらに、形状決定部 6 2 4 は、その円周の初期焦点面における中心位置を、球の中心の x 座標および y 座標に設定する。これにより、胚の第 1 細胞に対して、球の中心座標 (x 座標、y 座標および z 座標 = 70 μm) と半径とが設定される。同様に、形状決定部 6 2 4 は、胚膜および第 2 細胞に対しても、球の中心座標と半径とを設定する。

【0270】

その結果、立体画像生成部 6 2 5 は、図 40 に示すように、胚膜、第 1 細胞および第 2 細胞のそれぞれに対して上述のように設定された中心座標と半径とを有する 3 つの球 A 1 ~ A 3 を含む立体画像である球画像 A 0 を生成する。また、合成画像生成部 6 3 0 は、立体画像生成部 6 2 5 によって生成された球画像 A 0 と平面 B 0 とを合成することによって、断面 B 1 が現れた球画像 A 0 を合成画像 M として生成する。

【0271】

図 43 は、ディスプレイ 7 6 0 に表示される画面の一例を示す。

【0272】

図 40 に示す例では、合成画像生成部 6 3 0 は、球画像 A 0 の全体と断面 B 1 とを示す合成画像 M を生成した。しかし、合成画像生成部 6 3 0 は、断面 B 1 をより見え易くするために、図 43 に示すように、球画像 A 0 のうちの断面 B 1 によって分離される 2 つの部分のうちの一方のみと、断面 B 1 とを示す合成画像を生成してもよい。例えば、断面 B 1 には、上述の第 1 細胞がモデル化された球 A 3 (図 40 参照) の輪郭 B 2 が現れている。

【0273】

合成画像生成部 6 3 0 は、上述のような合成画像をディスプレイ 7 6 0 に表示させる。このとき、合成画像生成部 6 3 0 は、中心軸 C を表示してもよい。中心軸 C は、断面 B 1 に垂直であって、その断面 B 1 の中心を通る線分である。

【0274】

また、合成画像生成部 6 3 0 は、軸調整枠 D 1 と、断面調整枠 D 2 と、リフォーカスボタン D 3 とを表示する。

【0275】

例えば、操作部 7 4 0 は、ユーザによる操作によって軸調整枠 D 1 に入力される x 座標、y 座標および z 座標を受け付ける。合成画像生成部 6 3 0 は、受け付けられたそれらの座標に応じたベクトルの向きに沿うように中心軸 C の向きを変える。これにより、図 43 の (a) および (b) に示すように、ディスプレイ 7 6 0 において表示される球画像 A 0 を含む合成画像の全体の向きが変更される。または、合成画像生成部 6 3 0 は、断面 B 1 の向きだけを変えてもよい。つまり、合成画像生成部 6 3 0 は、中心軸 C の向きを、球画像 A 0 の中心軸の向きとして変更することなく、断面 B 1 の法線の向きとして変更する。これにより、ディスプレイ 7 6 0 に表示されている球画像 A 0 の向きを変えずに断面 B 1 の向きだけが変更される。

【0276】

また、操作部 7 4 0 は、ユーザによる操作によって、断面調整枠 D 2 に入力される x 座

10

20

30

40

50

標、 y 座標および z 座標を受け付ける。合成画像生成部630は、受け付けられたそれらの座標によって示される位置に、断面B1の中心Bcを移動させる。ここで、断面調整枠D2には、中心軸C上の位置を示す x 座標、 y 座標および z 座標のみが入力される。したがって、図43の(b)および(c)に示すように、合成画像生成部630は、断面調整枠D2への入力に応じて、ディスプレイ760に表示されている球画像A0における断面B1の位置を中心軸Cに沿って移動させる。

【0277】

また、焦点面入力部730は、ユーザによるリフォーカスボタンD3の選択操作によって、リフォーカス処理の要求を受け付ける。リフォーカス処理部610は、そのユーザからの要求に応じて、ディスプレイ760に表示されている断面B1に対応する焦点面における対象物の合焦画像を、複数の撮影画像を用いて生成してディスプレイ760に表示させる。なお、複数の撮影画像は、画像取得部710によって取得された撮影画像である。

10

【0278】

[画像生成装置の動作]

図44は、実施の形態4に係る画像生成装置600Bの動作の一例を示すフローチャートである。

【0279】

(ステップS100)

まず、リフォーカス処理部610は、画像取得部710によって取得された対象物の複数の撮影画像を用いて、複数の初期焦点面のそれぞれにおける対象物の合焦画像を生成する。

20

【0280】

(ステップS110)

次に、球画像生成部620は、生成された複数の合焦画像に映っている対象物の断面の輪郭を抽出して、抽出された輪郭に沿った形状の円周をそれぞれ有する少なくとも1つの球の立体画像である球画像を生成する。

【0281】

(ステップS120)

次に、合成画像生成部630は、その少なくとも1つの球の断面が現れるように球画像を加工することによって合成画像を生成してディスプレイ760に表示させる。

30

【0282】

(ステップS130)

次に、リフォーカス処理部610は、合焦画像の要求、つまりリフォーカス処理の要求が焦点面入力部730に受け付けられたか否かを判定する。

【0283】

(ステップS140)

リフォーカス処理部610は、ステップS130において、その要求が受け付けられたと判定すると(ステップS130のYes)、合焦画像を生成する。つまり、リフォーカス処理部610は、ユーザからの要求に応じて、ディスプレイ760に表示されている断面に対応する焦点面における対象物の合焦画像を、複数の撮影画像を用いて生成する。なお、複数の撮影画像は、画像取得部710によって取得された、対象物の複数の撮影画像である。

40

【0284】

(ステップS150)

リフォーカス処理部610は、その生成された合焦画像をディスプレイ760に表示させる。

【0285】

(ステップS160)

ステップS130において、合焦画像の要求が受け付けられていないとリフォーカス処理部610によって判定されると(ステップS130のNo)、合成画像生成部630は

50

、ユーザによる画面の操作が操作部 7 4 0 に受け付けられたか否かを判定する。ここで、画面の操作が受け付けられていないと合成画像生成部 6 3 0 によって判定されると(ステップ S 1 6 0 の No)、画像生成装置 6 0 0 B は処理を終了する。

【0286】

(ステップ S 1 7 0)

一方、合成画像生成部 6 3 0 は、画面の操作が受け付けられたと判定すると(ステップ S 1 6 0 の Yes)、表示されている合成画像をその操作にしたがって変更する。つまり、合成画像生成部 6 3 0 は、ユーザによる操作に応じて、表示されている合成画像における断面の位置を変更する。そして、画像生成装置 6 0 0 B は、ステップ S 1 3 0 からの処理を繰り返し実行する。

10

【0287】

図 4 5 は、図 4 4 のステップ S 1 1 0 における球画像の生成の詳細な処理を示すフローチャートである。

【0288】

(ステップ S 1 1 1)

まず、球画像生成部 6 2 0 の輪郭抽出部 6 2 1 は、複数の初期焦点面のそれぞれにおける合焦画像に映っている対象物の断面の輪郭を抽出する。

【0289】

(ステップ S 1 1 2)

同一性判定部 6 2 2 は、対象物に含まれる少なくとも 1 つの構成要素のそれぞれについて、同一の構成要素に対応する複数の輪郭を、ステップ S 1 1 1 で抽出された複数の輪郭の中から選択する。

20

【0290】

(ステップ S 1 1 3)

高さ決定部 6 2 3 は、対象物に含まれる少なくとも 1 つの構成要素のそれぞれについて、同一の構成要素に対応する複数の輪郭の高さ(z 座標)を特定する。そして、高さ決定部 6 2 3 は、特定された複数の輪郭の高さの中心を、構成要素の中心の高さとして決定する。

【0291】

(ステップ S 1 1 4)

形状決定部 6 2 4 は、対象物に含まれる少なくとも 1 つの構成要素のそれぞれについて、構成要素を球にモデル化する。つまり、形状決定部 6 2 4 は、初期胚モデル 7 2 0 と、構成要素の中心の高さと、その高さの合焦画像から抽出された輪郭とを用いて、構成要素を球にモデル化する。

30

【0292】

(ステップ S 1 1 5)

立体画像生成部 6 2 5 は、対象物に含まれる少なくとも 1 つの構成要素のそれぞれのモデル化によって得られる少なくとも 1 つの球からなる立体画像である球画像を生成する。

【0293】

[実施の形態 4 のまとめ]

40

上記実施の形態 4 における画像生成装置 6 0 0 B は、複数の照明器 1 0 1 と、制御回路とによって実現される。

【0294】

図 4 6 A は、実施の形態 4 における画像生成装置 6 0 0 B のハードウェア構成の一例を示す図である。

【0295】

実施の形態 4 における画像生成装置 6 0 0 B は、複数の照明器 1 0 1 と、対象物が載置される表面を有するイメージセンサ 1 0 2 と、複数の照明器 1 0 1 とイメージセンサ 1 0 2 との間に位置する仮想的な焦点面における対象物の合焦画像を生成する制御回路 6 0 とを備える。そして、その制御回路 6 0 は、上述のリフォーカス処理部 6 1 0 と、球画像生

50

成部 620 と、合成画像生成部 630 とのそれぞれの機能を実現する。なお、この制御回路 60 は、非一時的な記録媒体に記録されたプログラムまたは命令を実行することによって、それらの機能を実現してもよい。

【0296】

すなわち、制御回路 60 は、複数の照明器 101 が対象物を順番に照明することに行われるイメージセンサ 102 による撮影によって得られた対象物の複数の撮影画像を用いて、予め定められた複数の焦点面のそれぞれにおける対象物の合焦画像を生成する。次に、制御回路 60 は、生成された複数の合焦画像に映っている対象物の少なくとも 1 つの断面の輪郭を抽出する。次に、制御回路 60 は、その少なくとも 1 つの断面の輪郭に基づいて、少なくとも 1 つの円周を生成し、生成された少なくとも 1 つの円周のそれぞれを有する
10
少なくとも 1 つの球の立体画像である球画像 A0 を生成する。そして、制御回路 60 は、その少なくとも 1 つの球の断面 B1 が現れるように球画像 A0 を加工することによって合成画像 M を生成してディスプレイ 760 に表示させる。

【0297】

図 46B は、画像生成装置 600B に備えられている制御回路 60 の動作の一例を示すフローチャートである。

【0298】

(ステップ S61)

まず、制御回路 60 は、複数の照明器 101 が対象物を順番に照明することに行われるイメージセンサ 102 による撮影によって得られた対象物の複数の撮影画像を用いて、予
20
め定められた複数の焦点面のそれぞれにおける対象物の合焦画像を生成する。

【0299】

(ステップ S62)

次に、制御回路 60 は、生成された複数の合焦画像に映っている対象物の少なくとも 1 つの断面の輪郭を抽出する。

【0300】

(ステップ S63)

次に、制御回路 60 は、その少なくとも 1 つの断面の輪郭に基づいて、少なくとも 1 つの円周を生成する。

【0301】

(ステップ S64)

次に、制御回路 60 は、生成された少なくとも 1 つの円周のそれぞれを有する少なくとも 1 つの球の立体画像である球画像 A0 を生成する。

【0302】

(ステップ S65)

そして、制御回路 60 は、その少なくとも 1 つの球の断面 B1 が現れるように球画像 A0 を加工することによって合成画像 M を生成してディスプレイ 760 に表示させる。

【0303】

これにより、対象物は球画像 A0 にモデル化されて、例えば球画像 A0 とその断面 B1 とを含む合成画像 M がディスプレイ 760 に表示される。その結果、ユーザは、その合成
40
画像 M を見ることによって、対象物の構成を容易に把握することができる。

【0304】

また、制御回路 60 は、ユーザによる操作に応じて、表示されている合成画像 M における断面 B1 の位置を変更してもよい。この場合、制御回路 60 は、ユーザからの要求に応じて、ディスプレイ 760 に表示されている断面 B1 に対応する焦点面における対象物の合焦画像を、複数の撮影画像を用いて生成してディスプレイ 760 に表示させる。

【0305】

これにより、ユーザは、その合成画像 M の断面 B1 を所望の位置に変更することができ、その位置における合焦画像を表示させることができる。例えば、ユーザは、胚の内部の構成を確認しながら、見たい細胞の断面の位置を決定することができる。また、内部構成
50

を確認するため、断面の位置の選択を効率よく行うことができる。したがって、対象物におけるユーザが所望する断面での合焦画像を容易に表示することができる。

【0306】

なお、このような画像生成装置600Bを備えた画像生成システムは、ユーザによる入力によって細胞数を受け付ける細胞数入力部を備えていてもよい。この場合、球画像生成部620は、その細胞数入力部に受け付けられた細胞数に基づいて球画像A0を生成する。具体的には、球画像生成部620は、複数の初期焦点面における合成画像から抽出された輪郭に基づいて、 n 個の球の中心座標と半径とを設定する。しかし、細胞数入力部に受け付けられた細胞数が m ($m < n$) 個である場合、球画像生成部620は、 n 個の球のうちの $(n - m)$ 個の球をノイズとして扱う。このノイズとして扱われる $(n - m)$ 個の球は、例えば、 n 個の球のうちの残りの m 個の球よりも小さい球である。その結果、球画像生成部620は、 m 個の球からなる球画像を生成する。これにより、ノイズを排除した球画像を生成することができ、対象物のモデル化を適切に行うことができる。なお、細胞数入力部は、細胞数を受け付けることなく、培養時間を受け付けてもよい。この場合には、細胞数入力部は、実施の形態3の胚情報テーブル420を参照することによって、受け付けられた培養時間から細胞数を特定する。

【0307】

また、実施の形態4における形状決定部624は、構成要素の輪郭に沿った形状の円周の半径を、球の半径に設定するが、その円周は、輪郭に内接する円周でもよく、輪郭に外接する円周でもよい。

【0308】

また、実施の形態4における画像生成装置600Bは、図44に示すステップS130、S160およびS170の処理を行うが、これらの処理を行わなくてもよい。この場合には、画像生成装置600Bは、予め定められた位置の断面が現れた合成画像をディスプレイ760に表示させる。つまり、ユーザが所望する断面の位置が固定されている場合には、画像生成装置600Bは、ユーザによる画面操作を受け付けることなく、その固定されている位置の断面が現れた合成画像を表示する。そして、画像生成装置600Bは、その断面に対応する焦点面における合焦画像を生成して表示する。

【0309】

(他の実施の形態)

以上、1つ又は複数の態様に係る画像生成システムについて、実施の形態に基づいて説明したが、本開示は、この実施の形態に限定されるものではない。本開示の趣旨を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を本実施の形態に施したものや、異なる実施の形態における構成要素を組み合わせて構築される形態も、1つ又は複数の態様の範囲内に含まれてもよい。

【0310】

なお、上記実施の形態3およびその変形例では、計時部430は、培養開始からの経過時間を培養時間として計測していたが、受精後の経過時間を計測してもよい。この場合、胚情報テーブルは、培養時間ではなく、受精からの経過時間の情報を持てばよい。

【産業上の利用可能性】

【0311】

本開示は、培養中の細胞あるいは胚等の細胞塊の画像を生成する装置に広く利用可能であり、インキュベータ内で対象物を撮像する際に有用である。

【符号の説明】

【0312】

10、20、30、40、50 画像生成システム

100A、200A 撮影装置

100B、200B、300B、400B、500B 画像生成装置

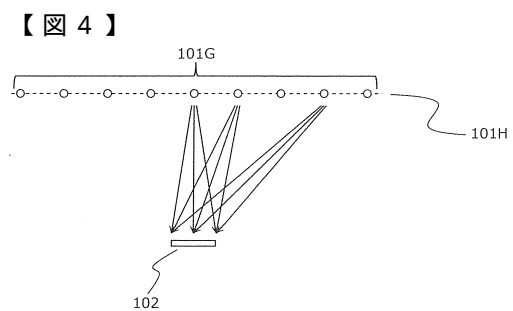
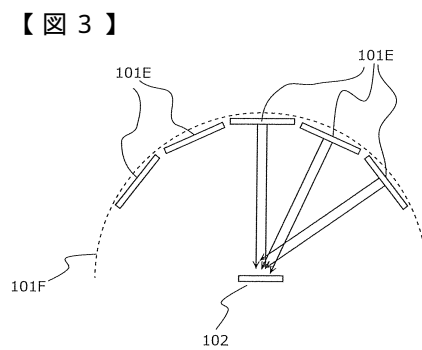
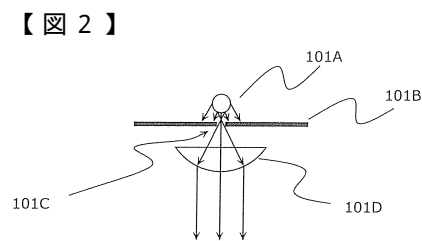
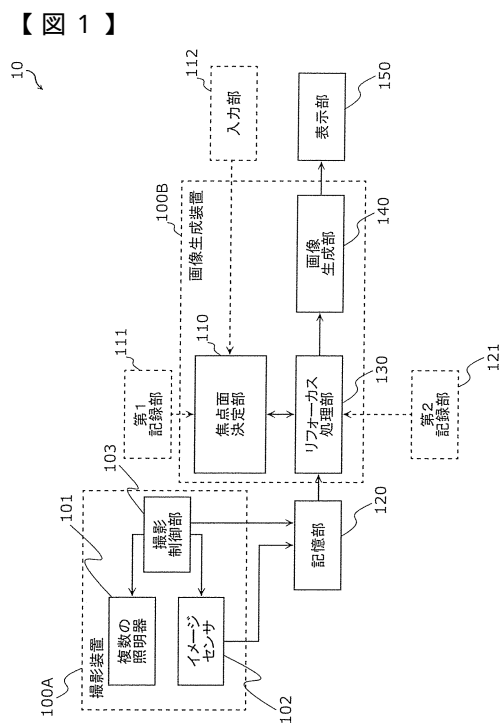
101 複数の照明器

101a、101b 照明器

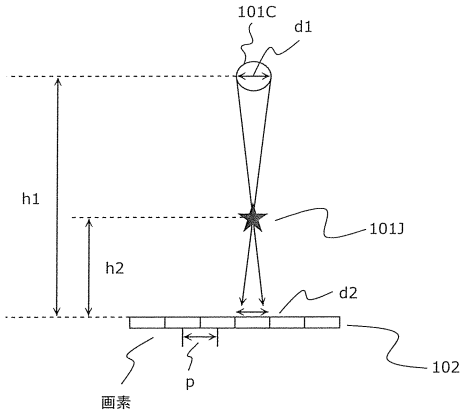
1 0 1 A	L E D 光源	
1 0 1 B	遮光板	
1 0 1 C	ピンホール	
1 0 1 D	コリメートレンズ	
1 0 1 E	光源	
1 0 1 F	半球	
1 0 1 G	擬似点光源	
1 0 1 H	平面	
1 0 1 J	合焦点	
1 0 2	イメージセンサ	10
1 0 3、2 0 3	撮影制御部	
1 1 0、2 1 0、4 1 0、5 1 0	焦点面決定部	
1 1 1	第1記録部	
1 1 2	入力部	
1 2 0、3 2 0、5 2 5	記憶部	
1 2 1	第2記録部	
1 3 0、2 3 0、5 3 0	リフォーカス処理部	
1 4 0、5 4 0	画像生成部	
1 5 0	表示部	
2 1 1、3 1 1	照明範囲決定部	20
2 1 2、3 1 2	対象領域決定部	
2 1 3、3 1 3	処理範囲切り出し部	
4 2 0	胚情報テーブル	
4 3 0	計時部	
5 1 1	水平面決定部	
5 1 3	細胞位置判定部	
5 1 4	位置傾き決定部	
5 2 1	3 D モデルデータベース	
5 2 2	回転処理部	
5 2 3	2 D 化処理部	30
5 2 4	比較部	
6 0 0 B	画像生成装置	
6 1 0	リフォーカス処理部	
6 2 0	球画像生成部	
6 2 1	輪郭抽出部	
6 2 2	同一性判定部	
6 2 3	高さ決定部	
6 2 4	形状決定部	
6 2 5	立体画像生成部	
6 3 0	合成画像生成部	40
7 1 0	画像取得部	
7 2 0	初期胚モデル	
7 3 0	焦点面入力部	
7 4 0	操作部	
7 6 0	ディスプレイ	
1 0 0 0	対象物	
1 1 0 0	焦点面	
1 1 0 2 a、1 1 0 2 b、1 1 0 2 c、1 1 0 2 d、1 1 0 2 e、1 3 0 2 a、1 3 0 2 b、1 3 0 2 c、1 3 0 2 d、1 3 0 2 e	点	
1 1 0 3 a、1 1 0 3 b	交点	50

1 3 0 3 a 交点

3 5 0 1、3 5 0 2、3 5 0 3、3 5 0 4 細胞



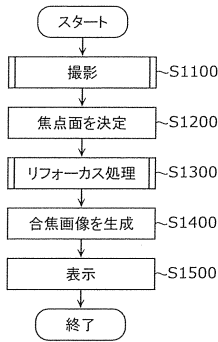
【図 5】



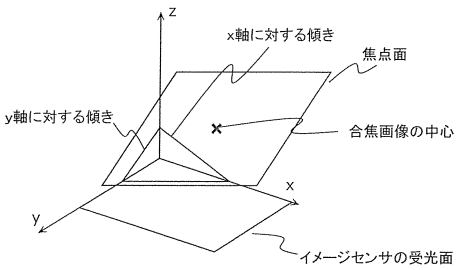
【図 6】

ファイルID	照明器の位置情報		
	x	y	z
...
0000101	0360	-1020	800
0000102	0420	-1020	800
0000103	0480	-1020	800
...

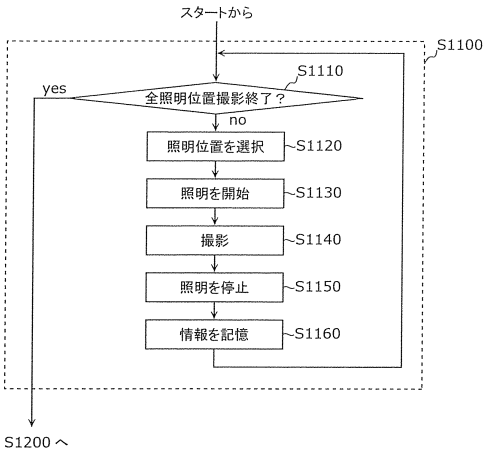
【図 7】



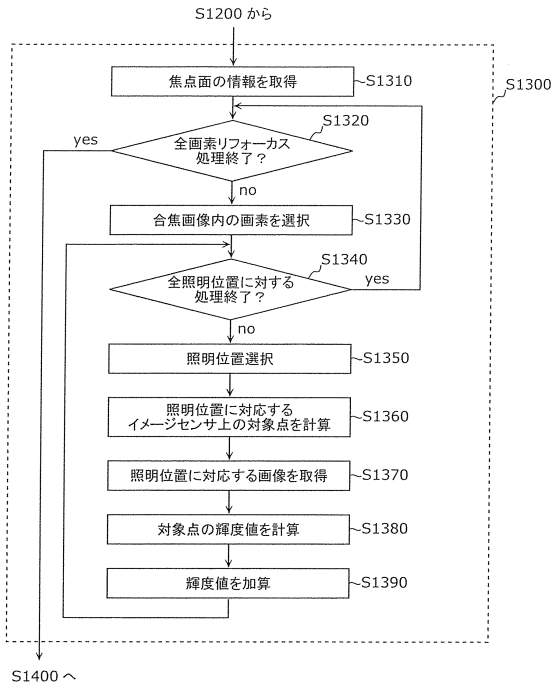
【図 8】



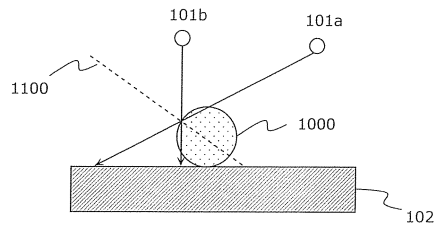
【図 9】



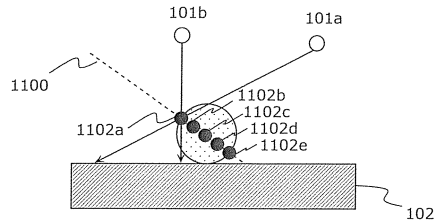
【図 10】



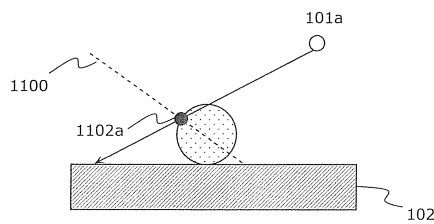
【図 1 1】



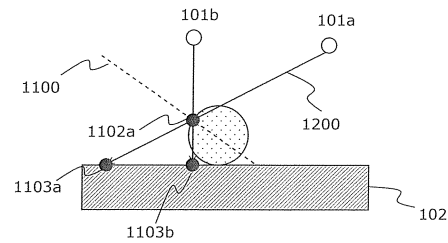
【図 1 2】



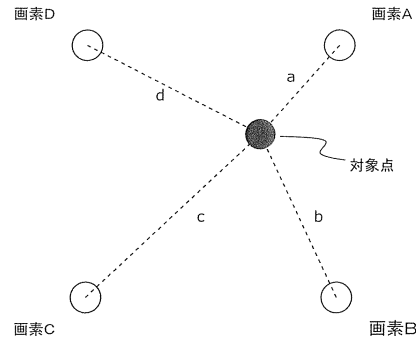
【図 1 3】



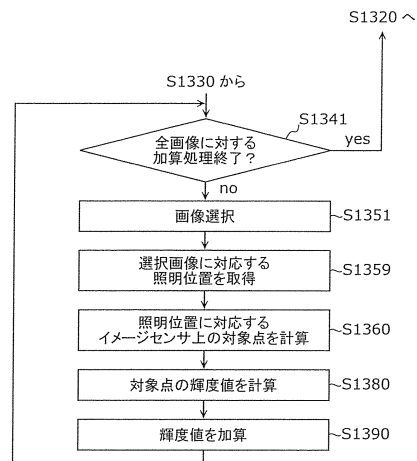
【図 1 4】



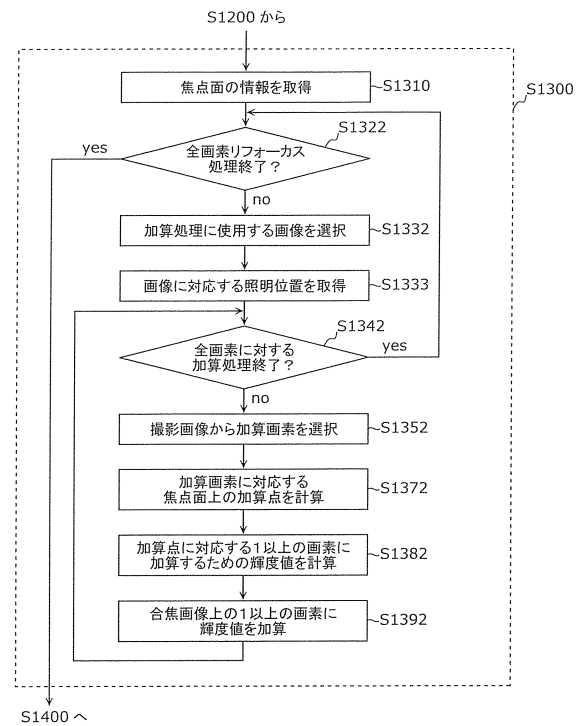
【図 1 5】



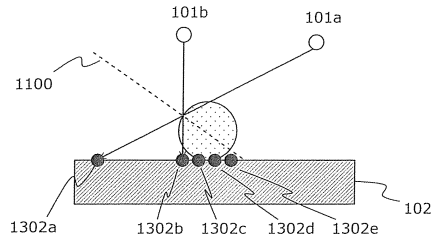
【図 1 6】



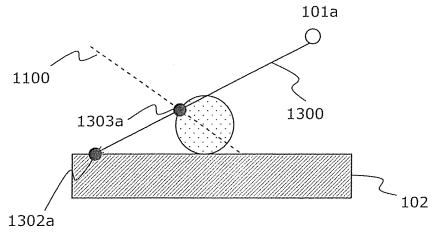
【図 1 7】



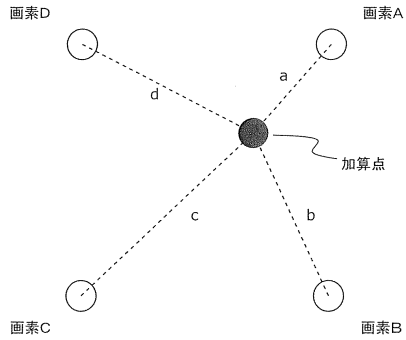
【図 18】



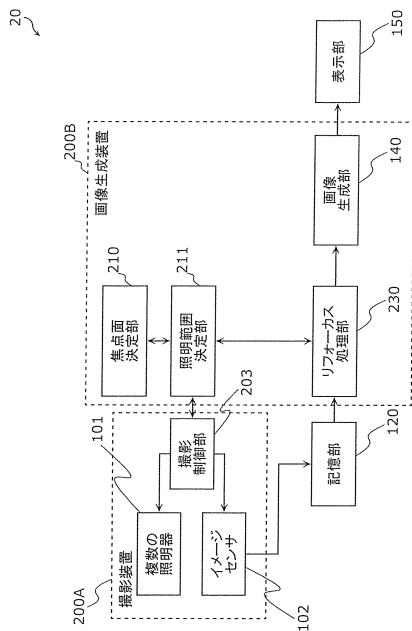
【図 19】



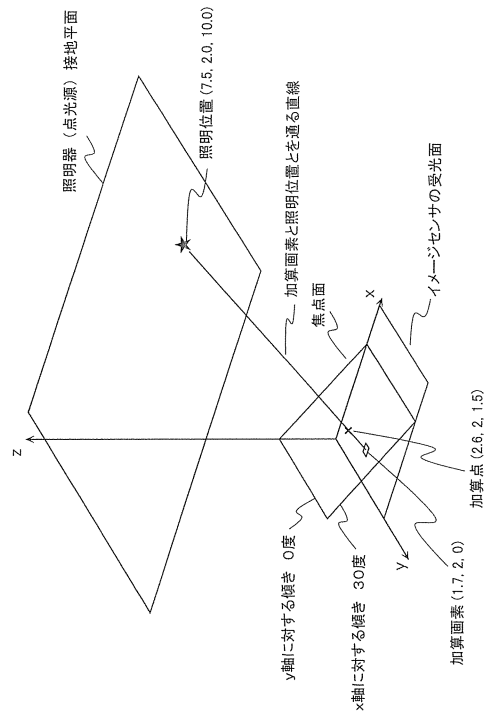
【図 20】



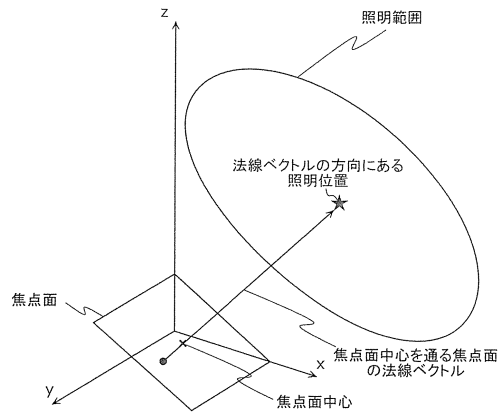
【図 22】



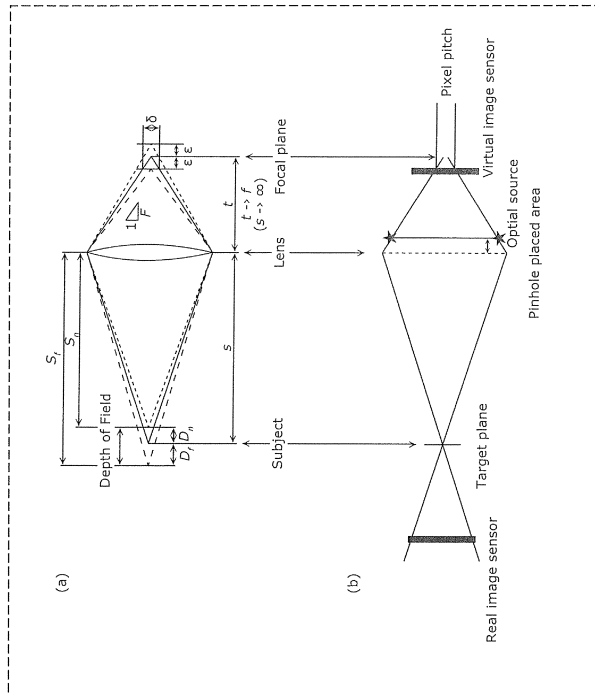
【図 21】



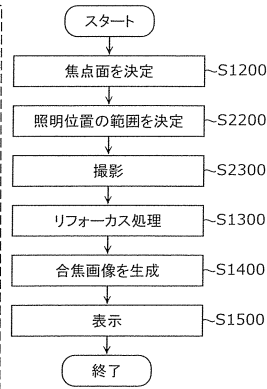
【図 23】



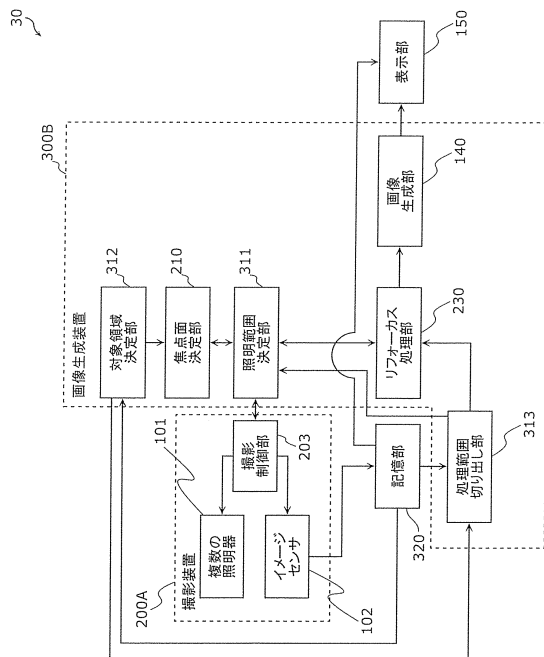
【図 24】



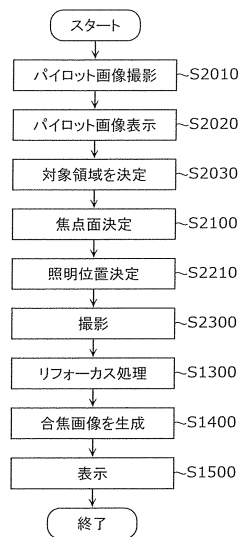
【図 25】



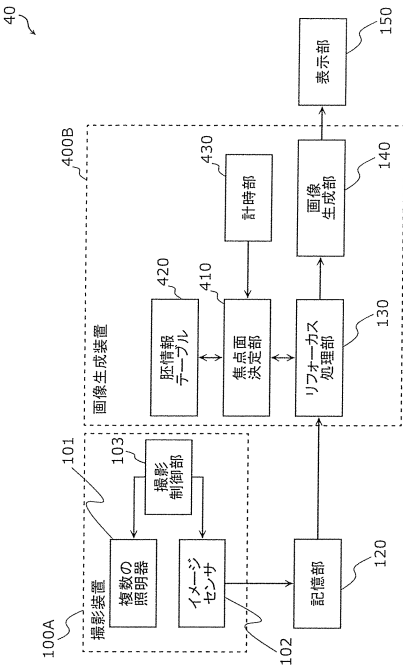
【図 26】



【図 27】



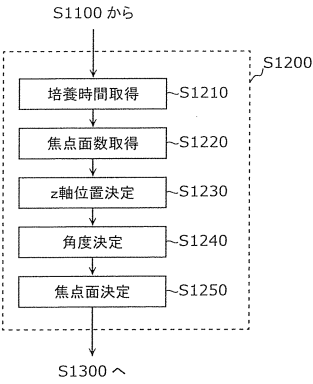
【図 28】



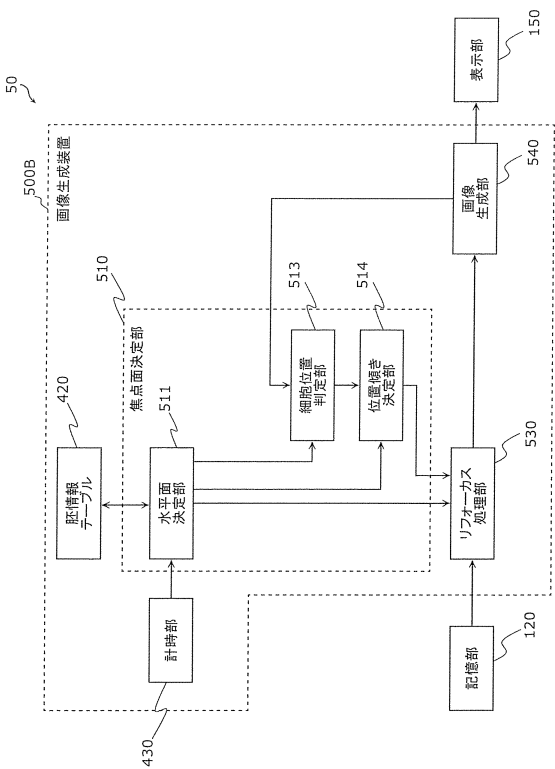
【図 29】

培養時間	胚状態	焦点面数
0h-10h	前核期	1
10h-24h	2細胞期	1
24h-48h	4細胞期	2
48h-72h	8細胞期	3
...

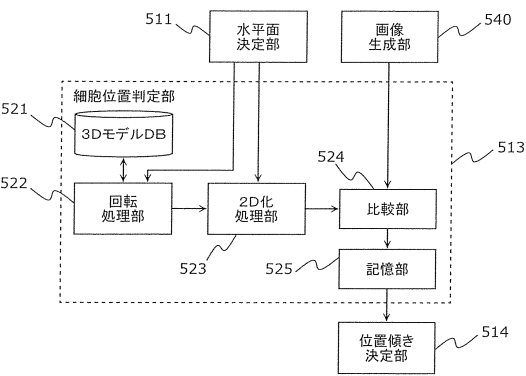
【図 30】



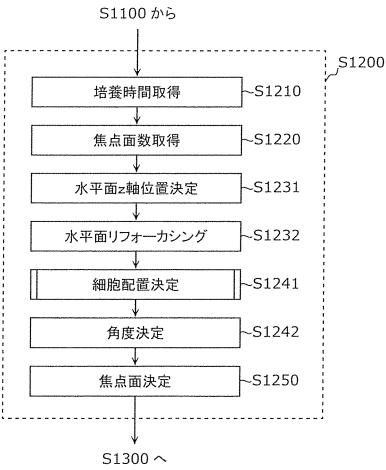
【図 31】



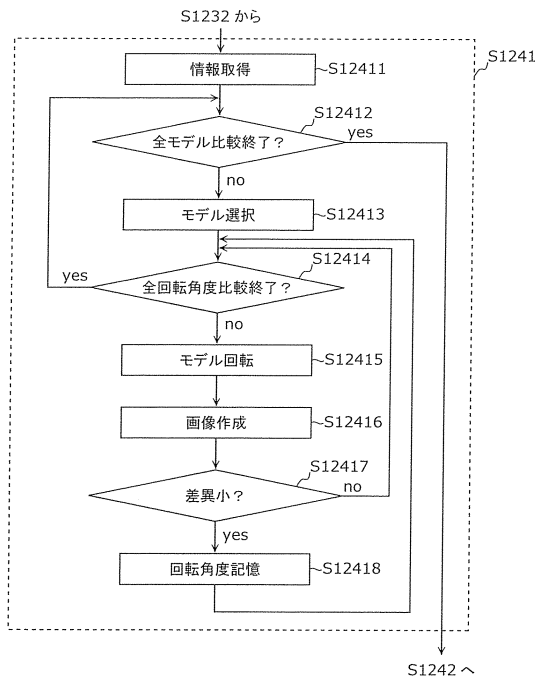
【図 32】



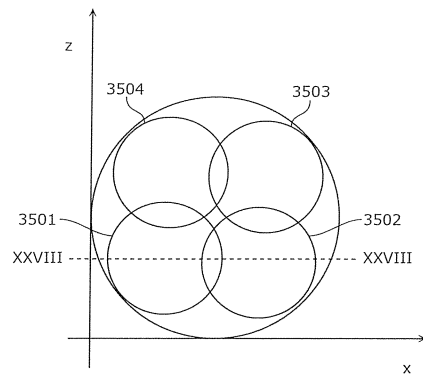
【図 33】



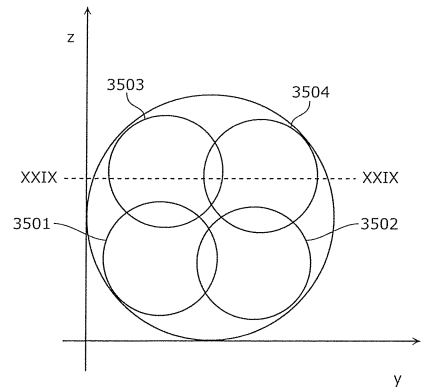
【図 3 4】



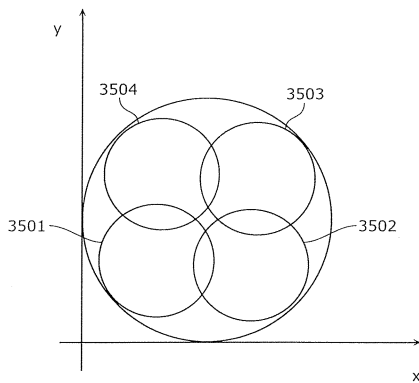
【図 3 5 A】



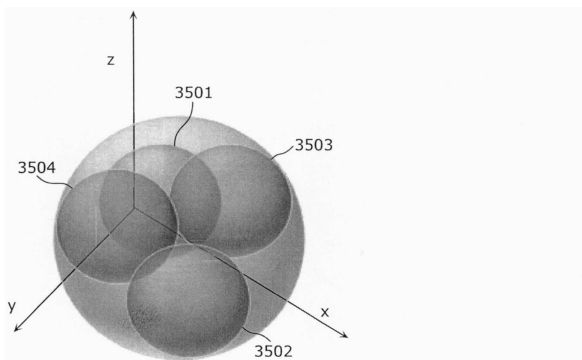
【図 3 5 B】



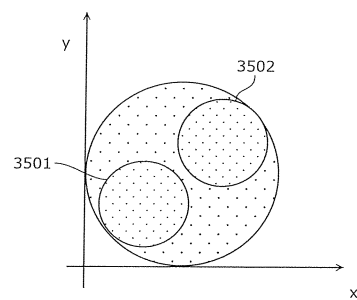
【図 3 5 C】



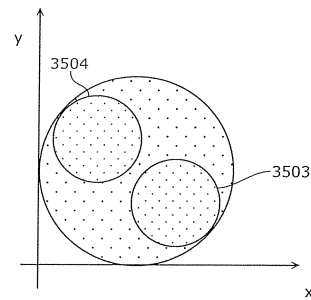
【図 3 5 D】



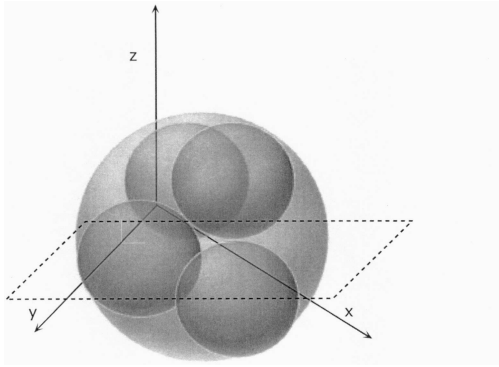
【図 3 6 A】



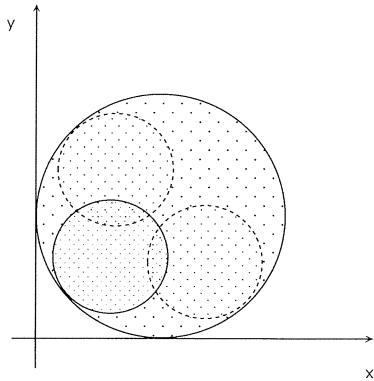
【図 3 6 B】



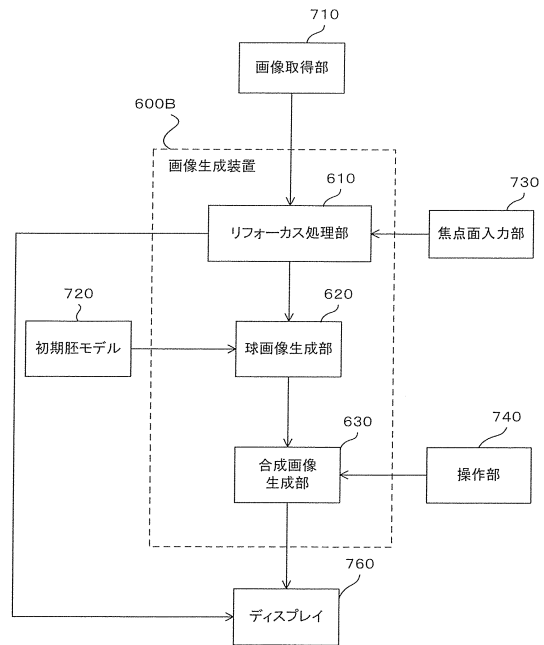
【図 37】



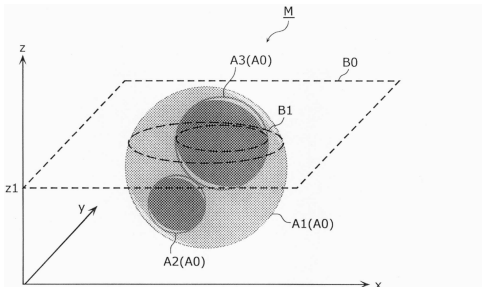
【図 38】



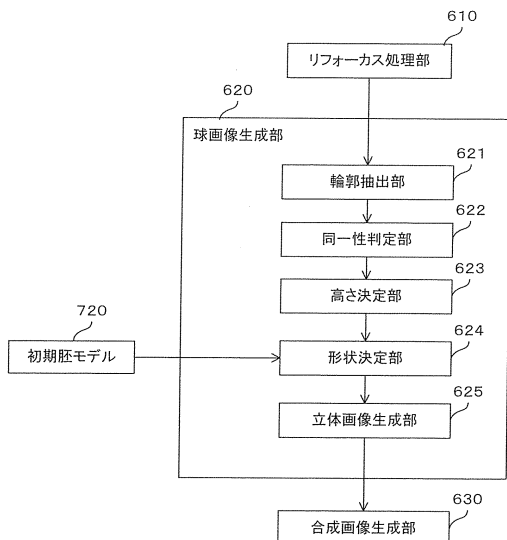
【図 39】



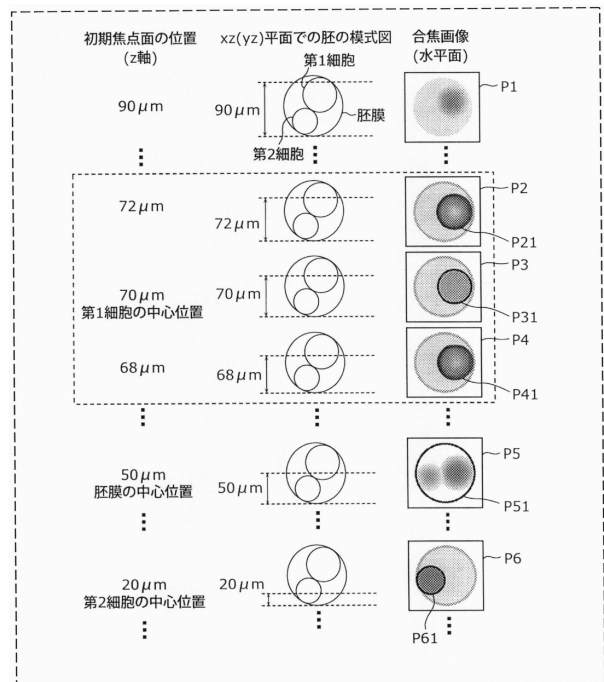
【図 40】



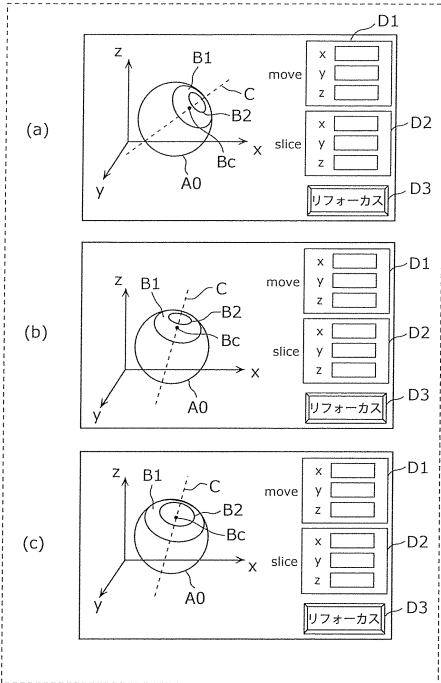
【図 41】



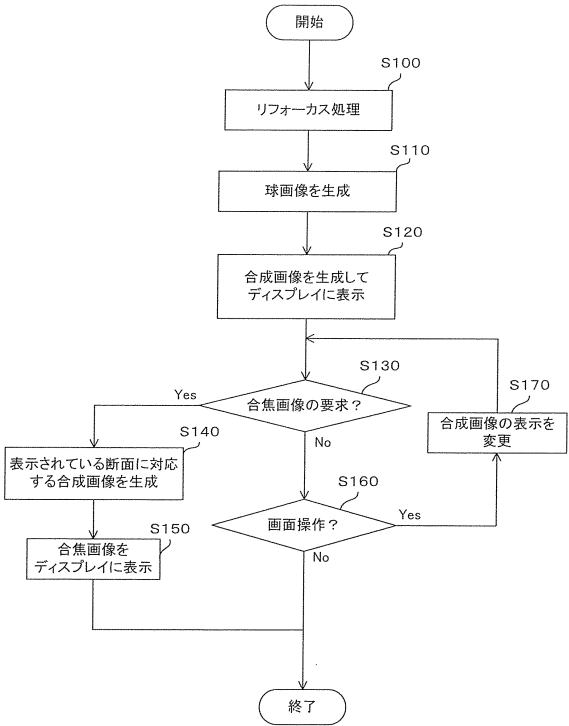
【図 42】



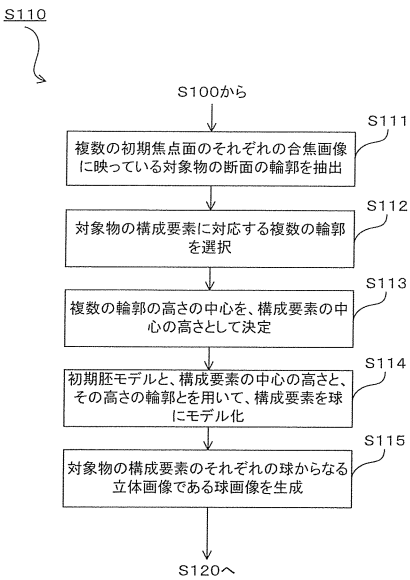
【図 4 3】



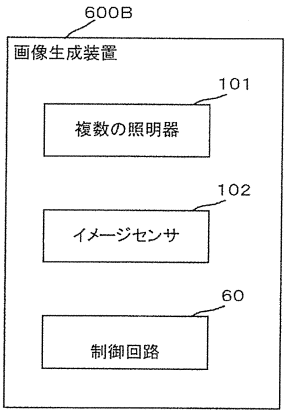
【図 4 4】



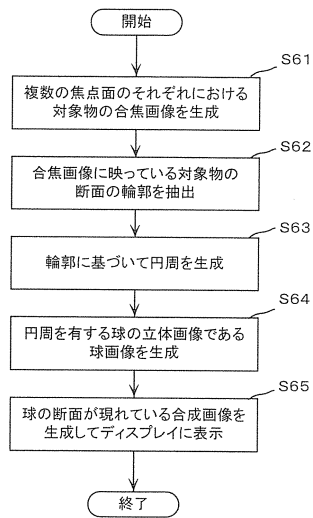
【図 4 5】



【図 4 6 A】



【図 46 B】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 6 T 1/00 2 9 5

(72)発明者 澤田 好秀
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニック株式会社内

審査官 福澤 洋光

(56)参考文献 特表 2 0 1 4 - 5 1 1 1 8 3 (J P , A)
特表 2 0 1 3 - 5 4 2 4 6 8 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 4 / 0 1 3 3 7 0 2 (U S , A 1)
特開 2 0 1 5 - 2 1 5 3 3 0 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 1 1 8 3 6 (J P , A)
電子情報通信学会 信学技法, 2 0 1 6 年 1 月, Vol.115, No.401, pp.135-139

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
C 1 2 M 1 / 0 0 - 3 / 1 0
C 1 2 Q 1 / 0 0 - 3 / 0 0
C A / M E D L I N E / B I O S I S / W P I D S (S T N)
J S T P l u s / J M E D P l u s / J S T 7 5 8 0 (J D r e a m I I I)
P u b M e d