

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6463047号
(P6463047)

(45) 発行日 平成31年1月30日(2019.1.30)

(24) 登録日 平成31年1月11日(2019.1.11)

(51) Int.Cl.

A 61 B 3/10 (2006.01)

F 1

A 61 B 3/10

R

請求項の数 22 (全 32 頁)

(21) 出願番号 特願2014-181341 (P2014-181341)
 (22) 出願日 平成26年9月5日 (2014.9.5)
 (65) 公開番号 特開2016-54786 (P2016-54786A)
 (43) 公開日 平成28年4月21日 (2016.4.21)
 審査請求日 平成29年7月21日 (2017.7.21)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 今村 裕之
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内
 審査官 富永 昌彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 眼科装置及び眼科装置の作動方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像の特性の連續性を示す情報が所定の条件を満たすように、前記眼部の少なくとも1つの位置で再撮影する撮影条件を決定する決定手段と、

前記決定された撮影条件に基づいて、前記眼部の少なくとも1つの位置で再撮影されるように、前記眼部を撮影するための眼科装置を制御する制御手段と、

前記複数の高倍率画像の少なくとも1つと前記再撮影して得た少なくとも1つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する画像生成手段と、

を備えることを特徴とする眼科装置。

10

【請求項 2】

前記決定手段は、前記複数の高倍率画像の相対位置と輝度特性と画像特徴とのうち少なくとも一つの連續性を示す情報が所定の条件を満たすように、前記少なくとも1つの位置で再撮影する撮影条件を決定することを特徴とする請求項1に記載の眼科装置。

【請求項 3】

前記決定手段は、前記複数の高倍率画像の端部と重なり領域とのうち少なくとも一つにおける前記複数の高倍率画像の特性の連續性を示す情報が所定の条件を満たすように、前記少なくとも1つの位置で再撮影する撮影条件を決定することを特徴とする請求項1または2に記載の眼科装置。

【請求項 4】

20

前記決定手段は、前記複数の高倍率画像を張り合わせて得た張り合わせ画像の面積と前記張り合わせ画像における無血管領域境界の長さとのうち少なくとも一つを、前記連續性を示す情報として決定することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の眼科装置。

【請求項 5】

前記複数の高倍率画像を張り合わせて得た張り合わせ画像と前記複数の高倍率画像それぞれの画像よりも広い画角である広画角画像とを比較する比較手段を更に備え、

前記決定手段は、前記比較手段による比較結果に基づいて、前記連續性を示す情報を決定することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の眼科装置。

【請求項 6】

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像の画像群としての適合度を示す情報に基づいて、前記眼部を撮影するための眼科装置が再撮影する撮影条件を決定する決定手段と、

前記決定された撮影条件に基づいて、前記眼部の少なくとも 1 つの位置で再撮影されるように、前記眼科装置を制御する制御手段と、

前記複数の高倍率画像の少なくとも 1 つと前記再撮影して得た少なくとも 1 つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する画像生成手段と、

を備えることを特徴とする眼科装置。

【請求項 7】

前記決定手段は、同一検査または異なる検査の画像間の相対位置、輝度特性の連續性、画質の類似度、前記複数の高倍率画像の画像特徴の少なくとも一つに基づいて前記適合度を示す情報を決定することを特徴とする請求項 6 に記載の眼科装置。

【請求項 8】

前記決定手段は、前記画像群として異なる倍率の画像の画像群が得られている場合または前記画像群として取得位置の異なる複数の画像群が得られている場合に、各倍率の画像群の適合度を判定した上で、画像群間の相対位置、輝度特性の連續性、画質の類似度、の少なくとも一つに基づいて異なる倍率の画像群間の適合度を示す情報または取得位置の異なる画像群間の適合度を示す情報を決定することを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の眼科装置。

【請求項 9】

前記複数の高倍率画像の少なくとも 1 つと前記再撮影して得た少なくとも 1 つの高倍率画像とを張り合わせて得た前記広範囲の画像と前記決定された撮影条件とを表示手段に表示させる表示制御手段を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の眼科装置。

【請求項 10】

前記決定された撮影条件に基づいて再撮影して得た少なくとも 1 つの高倍率画像における血球の移動速度を計測する計測手段を更に備えることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の眼科装置。

【請求項 11】

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像を張り合わせて得た張り合わせ画像に含まれる画像欠け領域を決定する決定手段と、

前記眼部における前記決定された画像欠け領域を含む少なくとも 1 つの領域を再撮影するように、前記眼部を撮影するための眼科装置を制御する制御手段と、

前記複数の高倍率画像の少なくとも 1 つと前記再撮影して得た少なくとも 1 つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する画像生成手段と、

を備えることを特徴とする眼科装置。

【請求項 12】

前記複数の位置に対応する複数の領域は互いに重複する領域であり、

前記決定手段は、前記複数の領域から前記画像欠け領域を含む少なくとも 1 つの領域を決定することを特徴とする請求項 11 に記載の眼科装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 3】

前記眼部において測定光を走査する走査光学系を更に有し、

前記制御手段は、前記眼部における前記少なくとも 1 つの領域で前記測定光を走査するよう、前記走査光学系を制御することを特徴とする請求項 1 1 または 1 2 に記載の眼科装置。

【請求項 1 4】

前記眼部において測定光を走査する走査光学系を更に有し、

前記制御手段は、前記眼部における前記少なくとも 1 つの領域で前記測定光が走査されるよう、前記眼部を固視するための固視標の位置を制御することを特徴とする請求項 1 1 または 1 2 に記載の眼科装置。

10

【請求項 1 5】

測定光と前記測定光を照射した前記眼部からの戻り光とのうち少なくとも一つの光の波面を補正する波面補正デバイスを更に有し、

前記波面が補正された光を用いて前記複数の高倍率画像が取得されることを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 のいずれか 1 項に記載の眼科装置。

【請求項 1 6】

前記高倍率画像は、前記眼部の広画角画像よりも狭く且つ高倍率である画像であり、

前記広範囲の画像は、前記複数の高倍率画像のうち 1 つの画像の撮影範囲よりも広い範囲の画像であることを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の眼科装置。

20

【請求項 1 7】

前記高倍率画像は、OCT 断層画像であることを特徴とする請求項 1 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の眼科装置。

【請求項 1 8】

前記再撮影の要否を判断する判断手段を更に有し、

前記制御手段は、前記再撮影が必要であると判断された場合には前記再撮影を行い、前記再撮影が不要であると判断された場合には前記再撮影を行わないことを特徴とする請求項 1 乃至 1 7 のいずれか 1 項に記載の眼科装置。

【請求項 1 9】

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像の特性の連続性を示す情報が所定の条件を満たすように、前記眼部の少なくとも 1 つの位置で再撮影する撮影条件を決定する工程と、

30

前記決定された撮影条件に基づいて、前記眼部の少なくとも 1 つの位置で再撮影されるよう、前記眼部を撮影するための眼科装置を制御する工程と、

前記複数の高倍率画像の少なくとも 1 つと前記再撮影して得た少なくとも 1 つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する工程と、

を有することを特徴とする眼科装置の作動方法。

【請求項 2 0】

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像の画像群としての適合度を示す情報に基づいて、前記眼部を撮影するための眼科装置が再撮影する撮影条件を決定する工程と、

40

前記決定された撮影条件に基づいて、前記眼部の少なくとも 1 つの位置で再撮影されるよう、前記眼科装置を制御する工程と、

前記複数の高倍率画像の少なくとも 1 つと前記再撮影して得た少なくとも 1 つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する工程と、

を有することを特徴とする眼科装置の作動方法。

【請求項 2 1】

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像を張り合わせて得た張り合わせ画像に含まれる画像欠け領域を決定する工程と、

前記眼部における前記決定された画像欠け領域を含む少なくとも 1 つの領域を再撮影するよう、前記眼部を撮影するための眼科装置を制御する工程と、

50

前記複数の高倍率画像の少なくとも1つと前記再撮影して得た少なくとも1つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する工程と、
を有することを特徴とする眼科装置の作動方法。

【請求項 22】

請求項 19 乃至 21 のいずれか1項に記載の眼科装置の作動方法の各工程をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は眼科診療に用いられる眼科装置及び眼科装置の作動方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

生活習慣病や失明原因の上位を占める疾病的早期診療を目的として、眼部の検査が広く行われている。共焦点レーザー顕微鏡の原理を利用した眼科装置である走査型レーザー検眼鏡 (SLO; Scanning Laser Ophthalmoscope) は、測定光であるレーザーを眼底に対してラスター走査し、その戻り光の強度から平面画像を高分解能かつ高速に得る装置である。以下、このような平面画像を撮像する装置を SLO 装置、該平面画像を SLO 画像と記す。

【0003】

近年、SLO 装置において測定光のビーム径を大きくすることにより、横分解能を向上させた網膜の SLO 画像を取得することが可能になってきた。しかし、測定光のビーム径の大径化に伴い、網膜の SLO 画像の取得において、被検眼の収差による SLO 画像の S/N 比及び分解能の低下が問題になってきた。それを解決するために、被検眼の収差を波面センサでリアルタイムに測定し、被検眼にて発生する測定光やその戻り光の収差を波面補正デバイスで補正する補償光学系を有する補償光学 SLO 装置が開発され、高横分解能な SLO 画像（高倍率画像）の取得を可能にしている。

20

【0004】

このような高倍率画像は、動画像として取得することができ、血流動態を非侵襲に観察する目的等に利用される。このとき、各フレームから網膜血管を抽出した上で毛細血管における血球の移動速度等が計測される。また、高倍率画像を用いて視機能との関連を評価するために視細胞 P を検出した上で視細胞 P の密度分布や配列の計測が行われている。図 6 (b) に高倍率画像の例を示す。視細胞 P や毛細血管の位置に対応した低輝度領域 Q、白血球の位置に対応した高輝度領域 W が観察できる。

30

【0005】

ここで、高倍率画像を用いて視細胞 P を観察する場合や視細胞 P の分布を計測する場合には、フォーカス位置を網膜外層（図 6 (a) の B5）付近に設定し、図 6 (b) のような高倍率画像を撮影する。一方、網膜内層（図 6 (a) の B2 から B4）には網膜血管や分岐した毛細血管が走行している。このとき、患眼を撮影する場合には、その撮像対象領域が高倍率画像の画角よりも大きい場合がしばしば見られる。これは、広範な視細胞欠損領域を撮像する場合や、初期の毛細血管病変の好発部位である傍中心窓領域を撮像する場合等である。そこで、異なる撮影位置で撮影して得た複数の高倍率画像を貼り合わせて表示する技術が、特許文献 1 に開示されている。

40

【0006】

また、ある撮影位置の高倍率の動画像における固視微動等の影響が大きな例外フレームを判定し、高倍率の動画像における判定された例外フレーム以外のフレームを表示する技術が、特許文献 2 に開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献 1】特開 2012 - 213513 号公報

50

【特許文献2】特開2013-169309号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ここで、異なる撮影位置で撮影して得た複数の高倍率の動画像それぞれの動画像から、代表画像を取得して張り合わせて表示する場合を考える。このとき、一般的には、複数の高倍率の動画像それぞれから代表画像を取得し、取得された代表画像を張り合わせることによって、広範囲の画像が生成される。この場合、取得された代表画像のうち隣接する撮影位置の代表画像同士を比較した場合、撮影位置や輝度特性、画像特徴等に関して、代表画像同士の連続性が良くないことがあった。このような広範囲の画像を用いて広範囲に分布する細胞群や組織、及びそれらの病変（視細胞欠損や毛細血管瘤）の分布を計測すると、解析不能な領域が発生する場合や解析対象が抽出できない場合等があった。

10

【0009】

本発明の目的の一つは、異なる撮影位置で撮影して得た複数の高倍率画像の連続性が良くなるような撮影条件に基づいて眼部を撮影することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明に係る眼科装置の一つは、

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像の特性の連続性を示す情報が所定の条件を満たすように、前記眼部の少なくとも1つの位置で再撮影する撮影条件を決定する決定手段と、

20

前記決定された撮影条件に基づいて、前記眼部の少なくとも1つの位置で再撮影されるように、前記眼部を撮影するための眼科装置を制御する制御手段と、

前記複数の高倍率画像の少なくとも1つと前記再撮影して得た少なくとも1つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する画像生成手段と、を備える。

【0011】

また、本発明に係る眼科装置の一つは、

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像の画像群としての適合度を示す情報に基づいて、前記眼部を撮影するための眼科装置が再撮影する撮影条件を決定する決定手段と、

30

前記決定された撮影条件に基づいて、前記眼部の少なくとも1つの位置で再撮影されるように、前記眼科装置を制御する制御手段と、

前記複数の高倍率画像の少なくとも1つと前記再撮影して得た少なくとも1つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する画像生成手段と、を備える。

【0012】

また、本発明に係る眼科装置の作動方法の一つは、

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像の特性の連続性を示す情報が所定の条件を満たすように、前記眼部の少なくとも1つの位置で再撮影する撮影条件を決定する工程と、

前記決定された撮影条件に基づいて、前記眼部の少なくとも1つの位置で再撮影されるように、前記眼部を撮影するための眼科装置を制御する工程と、

40

前記複数の高倍率画像の少なくとも1つと前記再撮影して得た少なくとも1つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する工程と、を有する。

【0013】

また、本発明に係る眼科装置の作動方法の一つは、

異なる時間に眼部の異なる位置で撮影して得た複数の高倍率画像の画像群としての適合度を示す情報に基づいて、前記眼部を撮影するための眼科装置が再撮影する撮影条件を決定する工程と、

前記決定された撮影条件に基づいて、前記眼部の少なくとも1つの位置で再撮影されるように、前記眼科装置を制御する工程と、

50

前記複数の高倍率画像の少なくとも1つと前記再撮影して得た少なくとも1つの高倍率画像とを用いて、広範囲の画像を生成する工程と、を有する。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、異なる撮影位置で撮影して得た複数の高倍率画像の連続性が良くなるような撮影条件に基づいて眼部を撮影することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の第一の実施形態に係る眼科装置10の機能構成例を示すブロック図である。

10

【図2】本発明の実施形態に係る眼科装置10を含むシステムの構成例を示すブロック図である。

【図3】本発明の実施形態に係るSLO像撮像装置20の全体の構成について説明する図である。

【図4】記憶部120、画像処理部130に相当するハードウェアを有し、且つその他の各部をソフトウェアとして保持し、実行するコンピュータのハードウェア構成例を示すブロック図である。

【図5】本発明の実施形態に係る眼科装置10が実行する処理のフローチャートである。

【図6】本発明の第一の実施形態での画像処理内容を説明する図である。

【図7】本発明の第二の実施形態に係る眼科装置10の機能構成例を示すブロック図である。

20

【図8】本発明の第二の実施形態での画像処理内容を説明する図である。

【図9】本発明の第三の実施形態に係る眼科装置10の機能構成例を示すブロック図である。

【図10】本発明の第三の実施形態に係る眼科装置10が実行する処理のフローチャートである。

【図11】本発明の第三の実施形態での画像処理内容を説明する図である。

【図12】本発明の第四の実施形態に係る断層像撮像装置60の全体の構成について説明する図である。

【図13】本発明の第四の実施形態での画像処理内容を説明する図である。

30

【図14】本発明の第五の実施形態に係る眼科装置10の機能構成例を示すブロック図である。

【図15】本発明のその他の実施形態での画像処理内容を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

本実施形態に係る眼科装置は、眼部の異なる位置で撮影された複数の画像（画像群）の特性の連続性に基づいて、眼部の異なる位置で撮影する撮影条件を決定する決定手段（例えば、図1の指示部134）を備える。これにより、異なる撮影位置で撮影して得た複数の高倍率画像の連続性が良くなるような撮影条件に基づいて眼部を撮影することができる。

40

【0017】

ここで、複数の画像（画像群）の特性とは、例えば、複数の画像の相対位置と輝度特性と画像特徴とのうち少なくとも一つのことである。また、撮影条件は、例えば、撮影位置（走査位置）、撮影画角（走査範囲）、光源の発光量、光検出器のゲイン、フレームレート等である。また、複数の画像（画像群）のそれぞれの画像は、動画像から取得される代表画像であり、動画像から選択された1枚の画像でも良いし、ノイズやアーチファクト等が比較的少ない複数枚の画像が選択され、選択された画像が重ね合わされた画像でも良い。

【0018】

また、連続性を示す値を判定する判定手段を更に備えることが好ましく、これにより、

50

判定された値が所定の条件を満たすように撮影条件を決定することができる。なお、判定された値が所定の条件を満たす場合とは、例えば、判定された値が閾値を超える場合や最大となる場合である。例えば、輝度特性を用いて連續性を判定する場合には、複数の画像の輝度値の差分が閾値以下になるような画像が取得されるように、撮影条件を決定することが好ましい。また、連續性を示す値は、複数の画像が張り合わせられた張り合わせ画像を用いて判定されることが好ましい。例えば、張り合わせ画像の数と面積と無血管領域境界の長さとのうち少なくとも一つに基づいて判定されるが、これらについては各実施形態で詳述する。以下、添付図面に従って本発明に係る眼科装置及びその作動方法の好ましい実施形態について詳説する。ただし本発明はこれに限定されるものではない。

【0019】

10

[第1の実施形態：異なる位置の複数の画像の相対位置や輝度特性の連續性]

本実施形態に係る眼科装置は、異なる位置の複数の画像（画像群）の相対位置と輝度特性とのうち少なくとも一つの連續性に基づいて、画像群の適合度を判定する。該適合度が所定の値に満たない場合には適合しない画像について再撮像を指示することで、撮影範囲を略同一条件で観察できるように構成したものである。

【0020】

具体的には、図6(g)に示すような合計9枚の高倍率画像で画像群が構成され、画像群を構成する画像数に対する観察不能領域が属する画像の数を用いて画像群としての適合度を判定する場合について説明する。

【0021】

20

（全体構成）

図2(a)は本実施形態に係る眼科装置10を含むシステムの構成図である。図2(a)に示すように眼科装置10は、SLO像撮像装置20やデータサーバ40と、光ファイバ、USBやIEEE1394等で構成されるローカル・エリア・ネットワーク(LAN)30を介して接続されている。なおこれらの機器との接続は、インターネット等の外部ネットワークを介して接続される構成であってもよいし、あるいは眼科装置10がSLO像撮像装置20に直接接続されている構成であってもよい。

【0022】

まず、SLO像撮像装置20は眼部の広画角画像D1や高倍率画像Dhを撮像する装置であり、前記広画角画像D1や前記高倍率画像Dh、及びその撮影時に用いた固視標位置F1、Fhの情報を眼科装置10及びデータサーバ40へ送信する。なお、各倍率の画像を異なる撮影位置で取得する場合にはD1i, Dhjのように表す。すなわちi, jは各々撮影位置番号を示す変数であり、i = 1, 2, . . ., imax, j = 1, 2, . . ., jmaxとする。また、高倍率画像を異なる倍率で取得する場合には、最も倍率の高い画像から順にD1j, D2k, . . .のように表記し、D1jのことを高倍率画像、D2k, . . .を中間倍率画像と表記する。

【0023】

30

また、データサーバ40は、被検眼の広画角画像D1や高倍率画像Dh、及びその撮影時に用いた固視標位置F1、Fhのような撮像条件データ、眼部の画像特徴、眼部の画像特徴の分布に関する正常値などを保持する。眼部の画像特徴として、本発明では視細胞Pや毛細血管Q、血球W、網膜血管や網膜層境界に関する画像特徴を扱う。SLO像撮像装置20が出力する前記広画角画像D1、前記高倍率画像Dh、撮影時に用いた固視標位置F1、Fh、眼科装置10が出力する眼部の画像特徴を該サーバに保存する。また眼科装置10からの要求に応じ、広画角画像D1、高倍率画像Dh、眼部の画像特徴及び該画像特徴の正常値データを眼科装置10に送信する。

【0024】

40

次に、図1を用いて本実施形態に係る眼科装置10の機能構成を説明する。図1は、眼科装置10の機能構成を示すブロック図であり、眼科装置10はデータ取得部110、記憶部120、画像処理部130、指示取得部140を有する。また、データ取得部110は、画像取得部111を備える。画像処理部130は位置合わせ部131、個別画像判定

50

部 132、画像群判定部 133、指示部 134、表示制御部 135 を備える。さらに、指示部 134 は再撮像要否指示部 1341 を有する。

【0025】

(補償光学系を備えた SLO 像撮像装置)

次に、図 3 を用いて補償光学系を備えた SLO 像撮像装置 20 の構成を説明する。まず、201 は光源であり、SLD 光源 (Super Luminescent Diode) を用いた。本実施例では眼底撮像と波面測定のための光源を共用しているが、それぞれを別光源とし、途中で合波する構成としても良い。光源 201 から照射された光は、単一モード光ファイバー 202 を通って、コリメータ 203 により、平行な測定光 205 として照射される。照射された測定光 205 はビームスプリッタからなる光分割部 204 を透過し、補償光学の光学系に導光される。

10

【0026】

補償光学系は、光分割部 206、波面センサー 215、波面補正デバイス 208 および、それらに導光するための反射ミラー 207-1~4 から構成される。ここで、反射ミラー 207-1~4 は、少なくとも眼の瞳と波面センサー 215、波面補正デバイス 208 とが光学的に共役関係になるように設置されている。また、光分割部 206 として、本実施例ではビームスプリッタを用いる。また、本実施例では波面補正デバイス 208 として液晶素子を用いた空間位相変調器を用いる。なお、波面補正デバイスとして可変形状ミラーを用いる構成としてもよい。補償光学系を通過した光は、走査光学系 209 によって、1 次元もしくは 2 次元に走査される。走査光学系 209 として、本実施形態では主走査用 (眼底水平方向) と副走査用 (眼底垂直方向) に 2 つのガルバノスキャナーを用いた。より高速な撮影のために、走査光学系 209 の主走査側に共振スキャナーを用いてもよい。走査光学系 209 で走査された測定光 205 は、接眼レンズ 210-1 および 210-2 を通して眼 211 に照射される。眼 211 に照射された測定光 205 は眼底で反射もしくは散乱される。接眼レンズ 210-1 および 210-2 の位置を調整することによって、眼 211 の視度にあわせて最適な照射を行うことが可能となる。ここでは、接眼部にレンズを用いたが、球面ミラー等で構成しても良い。

20

【0027】

眼 211 の網膜から反射もしくは散乱された反射散乱光 (戻り光) は、入射した時と同様の経路を逆向きに進行し、光分割部 206 によって一部は波面センサー 215 に反射され、光線の波面を測定するために用いられる。波面センサー 215 は、補償光学制御部 216 に接続され、受光した波面を補償光学制御部 216 に伝える。波面補正デバイス 208 も補償光学制御部 216 に接続されており、補償光学制御部 216 から指示された変調を行う。補償光学制御部 216 は波面センサー 215 の測定結果による取得された波面を基に収差のない波面へと補正するような変調量 (補正量) を計算し、波面補正デバイス 208 にそのように変調するように指令する。なお、波面の測定と波面補正デバイス 308 への指示は繰り返し処理され、常に最適な波面となるようにフィードバック制御が行われる。

30

【0028】

光分割部 206 を透過した反射散乱光は光分割部 204 によって一部が反射され、コリメータ 212、光ファイバー 213 を通して光強度センサー 214 に導光される。光強度センサー 214 で光は電気信号に変換され、制御部 217 によって眼部画像として画像に構成されて、ディスプレイ 218 に表示される。なお、図 3 の構成で走査光学系の振り角を大きくし、補償光学制御部 216 が収差補正を行わないよう指示することによって SLO 像撮像装置 20 は通常の SLO 装置としても動作し、広画角な SLO 画像 (広画角画像 D1) を撮像できる。

40

【0029】

(眼科装置 10 のハードウェア構成及び実行手順)

次に、図 4 を用いて眼科装置 10 のハードウェア構成について説明する。図 4 において、301 は中央演算処理装置 (CPU)、302 はメモリ (RAM)、303 は制御メモ

50

リ(ROM)、304は外部記憶装置、305はモニタ、306はキーボード、307はマウス、308はインターフェースである。本実施形態に係る画像処理機能を実現するための制御プログラムや、当該制御プログラムが実行される際に用いられるデータは、外部記憶装置304に記憶されている。これらの制御プログラムやデータは、CPU301による制御のもと、バス309を通じて適宜RAM302に取り込まれ、CPU301によって実行され、以下に説明する各部として機能する。眼科装置10を構成する各ブロックの機能については、図5のフローチャートに示す眼科装置10の具体的な実行手順と関連付けて説明する。

【0030】

<ステップ510：画像取得パターン選択>

10

眼科装置10は指示取得部140を通じて、ユーザが選択した所定の画像取得パターン(撮影位置や画角等)に関する情報を取得する。本実施形態では、黄斑部の中心窓に固視標位置F1及びFhを設定して広画角画像D1と図6(h)に示すような高倍率画像Dhjを取得する。なお撮影位置の設定方法はこれに限定されず、任意の位置に設定してよい。

【0031】

<ステップ520：画像取得>

画像取得部111はSLO像撮像装置20に対して、広画角画像D1、高倍率画像Dhjおよび対応する固視標位置F1、Fhの取得を要求する。SLO像撮像装置20は該取得要求に応じて広画角画像D1と高倍率画像Dhj、対応する固視標位置F1、Fhを取得し送信する。画像取得部111はSLO像撮像装置20からLAN30を介して当該広画角画像D1、高倍率画像Dhj及び固視標位置F1、Fhを受信し、記憶部120に格納する。なお、本実施形態では前記広画角画像D1及び高倍率画像Dhjはフレーム間位置合わせ済みの動画像とする。

20

【0032】

<ステップ530：位置合わせ>

位置合わせ部131は、広画角画像D1と高倍率画像Dhjとの位置合わせを行い、広画角画像D1上の高倍率画像Dhjの相対位置を求める。高倍率画像Dhj間で重なり領域がある場合には、該重なり領域に関しても画像間類似度を算出し、最も画像間類似度が最大となる位置に高倍率画像Dhj同士の位置を合わせる。

30

【0033】

次に、S520において異なる倍率の画像が取得されている場合には、より低倍率な画像から順に位置合わせを行う。例えば高倍率画像D1jと中間倍率画像D2kが取得されている場合にはまず広画角画像D1と中間倍率画像D2kとの間で位置合わせを行い、次いで中間倍率画像D2kと高倍率画像D1jとの間で位置合わせを行う。高倍率画像のみの場合には、広画角画像D1と高倍率画像Dhjとの位置合わせのみ行うことは言うまでもない。なお、位置合わせ部131は記憶部120から高倍率画像Dhjの撮影時に用いた固指標位置Fhを取得し、広画角画像D1と高倍率画像Dhjとの位置合わせにおける位置合わせパラメータの探索初期点の設定に用いる。また、画像間類似度や座標変換手法としては任意の公知の手法を用いることができ、本実施形態では画像間類似度として相關係数、座標変換手法としてAffine変換を用いて位置合わせを行う。

40

【0034】

<ステップ540：異なる位置の画像毎に適合度を判定する処理>

個別画像判定部132がフレームの輝度値やフレーム間の移動量に基づいて適合度の判定処理を行う。まず、個別画像判定部132は、指示取得部140を通じて取得された適合度判定基準を取得する。判定基準としては以下の項目a)～d)が挙げられる。

【0035】

- a) 画像の輝度値が適正範囲であること
- b) 画質(S/N比もしくは重ね合わせ枚数)の適正值の範囲
- c) 参照フレームに対する移動量が適正範囲であること

50

d) フォーカス位置が適正範囲にあること

本実施形態では、a) およびb) を適合度として取得する。具体的には、瞬目等の要因で発生する低輝度フレームを除外した場合に得られる重ね合わせ可能なフレームの枚数とする。個別画像判定部132は、高倍率SLO画像Dhjに対して上記適合度を判定する。さらに、該適合度が所定の基準を満たしている場合には画像処理部130が重ね合わせ処理により個別画像を形成する。ここで、個別画像は、動画像の各フレームを全て重ね合わせられた画像でも良いし、選択された1枚のフレームでも良い。また、ノイズ等が比較的少ない複数の画像が選択され、選択された画像が重ね合わせられた画像でも良い。本実施形態では高倍率画像は、図6(c)に示すように視細胞を撮影した動画像とし、a) を満たす全てのフレームにおいて画素値が正である領域のみを用いて重ね合わせ画像を形成するものとする。従って例えば個別高倍率動画像の各フレームの位置が図6(c)のように対応づけられる(Nf:フレーム番号)場合、重ね合わせ結果は図6(d)になる。この例では先頭フレームを参照フレームとする。なおこの図では重ね合わせに用いない領域(画像欠け)をわかりやすくするために黒色で示した。

10

【0036】

<ステップ545:再撮影の要否を指示>

再撮像要否指示部1341は、S540で判定された個別画像の適合度に基づき高倍率画像Dhjの再撮像の要否を画像取得部111に対して指示する。具体的には、該個別画像の適合度が所定の基準に満たない場合、すなわち重ね合わせ枚数が閾値Tfに満たない場合に再撮像が必要であると判断して画像取得部111に対して再撮像を指示し、S520に処理を戻す。該個別画像の適合度が所定の基準を満たしている場合にはS550に処理を進める。なお、指示部134は、複数の画像の特性の連続性に基づいて、眼部の異なる位置で撮影する撮影条件を決定する決定手段としても機能する。

20

【0037】

<ステップ550:画像群が全て得られたか否かを判定>

眼科装置10は、S510で取得された画像取得パターンの画像群が全て得られたか否かを判定し、全て得られた場合はS560に処理を進める。まだ得られていない画像がある場合にはS520に処理を戻す。

【0038】

<ステップ560:画像群として適合度を判定する処理>

30

画像群判定部133は、S540で形成された画像群(異なる位置の隣接する複数の画像)をS530で実行された位置合わせパラメータに基づいて貼り合わせし、該画像群の相対位置及び輝度の連続性に基づいて適合度を判定する。なお、画像群の相対位置と輝度特性との両方を条件とする必要はなく、いずれか一つを条件とすれば良い。該画像群の適合度が所定の基準を満たさない場合に指示部134が画像取得部111に対して再撮像を指示する。なお、本実施形態では画像群は図6(g)に示すような9つの重ね合わせ画像で構成され、左上からラスター走査(ジグザグ走査)の順で画像番号jが増加するものとする。

【0039】

貼り合わせ画像(画像群)の適合度に関する判定方針、すなわち貼り合わせ画像内を同一条件で観察可能にするための画像群としての適合度は以下のようになる。

40

1. 貼り合わせ画像内に画像欠け領域を生じない(輝度が不連続に変化しない)
2. 画質が撮影位置によってばらつかない

ここで、画像群としての適合度を判定せず、個別画像の適合度のみで再撮像の要否を判定すると、例えば画像単位で撮像すべき領域が取得されたか厳密に判定しないといけないので、再撮像を指示されるケースが多くなる。あるいは、再撮像と判定されるケースが多くならないように重なり領域を広く設定する(撮像位置数を増やす)必要が出てくる。そこで、隣接する画像の端部や重なり領域におけるデータの連続性もしくは補完性を考慮した適合度判定を行うことで、条件1と2を満たす高倍率画像群をより効率的に取得できる。具体的には、本実施形態では図6(f)の灰色領域に示すような隣接する2画像間での

50

重複領域と、図6(f)の黒色領域に示すような隣接する4画像間での重複領域が存在する。単独の画像では画像欠けが生じている場合でも、隣接する画像の該重複領域においてデータが得られている場合には画像群としては画像欠けと判定されない。従って、以下の手順で画像群の適合度を判定する。

【0040】

(1) S540で生成した個別画像を、S530で求めた位置合わせパラメータで貼り合わせる。

(2)もし画像欠けがなければそのまま貼り合わせ画像を形成して終了。

(3)画像欠けがある場合は画像欠け領域の位置を求め、画像欠け領域が属する画像の番号リストを求める。

10

例えば図6(g)では貼り合わせの結果画像6と画像9に画像欠けが生じており、画像欠け領域を持つ画像の番号リストを求める。

【0041】

(4)画像群の適合度として

(貼り合わせ画像数 - 画像欠け領域を持つ画像数) / (貼り合わせ画像数) を算出する。

【0042】

<ステップ565：再撮影の要否を指示>

再撮像要否指示部1341は、判定された画像群の適合度が1未満の場合に画像取得部111に対して画像欠け領域が属する画像の再撮像を指示し、処理をS520に戻す。画像群の適合度が1を満たす場合は、S570に処理を進める。

20

【0043】

<ステップ570：表示>

画像群の適合度が1を満たしたら画像処理部130が画像群の形成処理を行い、表示制御部135は、形成された画像群(貼り合わせ画像)をモニタ305上に表示する。具体的には、以下の手順で画像処理部130が画像群の形成処理を行う。

【0044】

(5)個別画像の形成処理で得られた重ね合わせ画像群のうち、最も重ね合わせ枚数の少ない重ね合わせ画像の重ね合わせ枚数ANminを貼り合わせ画像の重ね合わせ枚数とし、各撮影位置での重ね合わせ枚数をANminに変更して重ね合わせ画像を生成する。ここでは先頭フレームから順にS540の輝度値の基準(a)を満たす画像をANmin枚選択して重ね合わせ画像を生成する。フレームの選択法はこれに限定されず、任意の選択手法を用いてよい。

30

【0045】

(6)(5)で生成した重ね合わせ画像を用いて貼り合わせ画像を生成する。

(再撮像の結果図6(h)のように画像欠けがなくなり、重ね合わせ枚数が同一の貼り合わせ画像が形成される)

表示制御部135は、形成された画像群をモニタ305上に表示する。ここで、表示制御部135は、複数の高倍率画像Dhjが取得されている場合に高倍率画像間の濃度差を補正して表示してもよい。任意の公知の輝度補正法を適用でき、本実施形態では各高倍率画像DhjにおいてヒストグラムHjを生成し、ヒストグラムHjの平均と分散が高倍率画像Dhj間で共通した値になるように各高倍率画像Dhjの輝度値を線形変換することにより濃度差を補正する。なお、高倍率画像間の輝度補正法はこれに限らず、任意の公知の輝度補正法を用いてよい。さらに、表示倍率については、指示取得部140を通じて操作者が指定した高倍率画像を拡大してモニタ305に表示する。

40

【0046】

なお、本実施形態では高倍率画像のモニタ305への表示は全画像の取得後としたが、本発明はこれに限定されない。例えば個別画像の取得後に個別画像を表示させたり、該個別画像の適合度判定後に表示制御部135が該判定結果や形成された画像をモニタ305に表示させることで、撮像結果を順次確認できるように構成してもよい。この場合、適合

50

度が低く再撮像が必要と判定された画像に対しては任意の識別可能な表示（例えば撮像領域もしくはその枠に対して色をつける）を行う。

【0047】

＜ステップ575：結果を保存するか否かの指示＞

指示取得部140は、広画角画像D1、高倍率画像Dhj、固視標位置F1、Fh、S530において取得された位置合わせパラメータ値、S570で形成された貼り合わせ画像をデータサーバ40へ保存するか否かの指示を外部から取得する。この指示は例えばキーボード306やマウス307を介して操作者により入力される。保存が指示された場合はS580へ、保存が指示されなかった場合はS585へと処理を進める。

【0048】

10

＜ステップ580：結果の保存＞

画像処理部130は、検査日時、披検眼を同定する情報、広画角画像D1、高倍率画像Dhjと固視標位置F1、Fh、位置合わせパラメータ値、貼り合わせ画像を関連付けてデータサーバ40へ送信する。

【0049】

＜ステップ585：処理を終了するか否かの指示＞

指示取得部140は眼科装置10による広画角画像D1と高倍率画像Dhjに関する処理を終了するか否かの指示を外部から取得する。この指示はキーボード306やマウス307を介して操作者により入力される。処理終了の指示を取得した場合は処理を終了する。一方、処理継続の指示を取得した場合にはS510に処理を戻し、次の披検眼に対する処理（または同一披検眼に対する再処理）を行う。なお、本実施形態では画像群としての適合度の判定に基づいて形成される。貼り合わせ画像は静止画像（重ね合わせ画像）としたが、本発明はこれに限定されない。例えば、隣接する動画像の端部や重なり領域におけるデータの補完性を考慮した適合度判定を行った上で、図6(j)に示すように動画像を貼り合わせ表示してもよい。動画像の貼り合わせ表示の場合も基本的な処理の流れは静止画像の貼り合わせ表示の場合と同様であるが、以下の点が異なる。すなわち、

(i) 眼科装置10に対して図2(b)に示すような時相データ取得装置50を接続し、動画像と同時に時相データを取得しておく。時相データとは、例えば脈波計により取得された生体信号データである。時相データを参照することで各動画像の再生周期が得られる。動画像のフレーム補間処理によって該再生周期を動画像間で同一に揃えておく。

20

【0050】

30

(ii)撮影位置単位での適合度判定処理において、輝度異常のフレームを除いた最長の連続したフレーム区間に属するフレーム数を求める。該フレーム数が所定の枚数に満たない場合に指示部134が画像取得部111に対して再撮像を指示する。

【0051】

(iii)画像群としての適合度判定処理において、以下の方針で適合度判定を行う。

1. 貼り合わせ画像内に画像欠け領域を生じない
2. 再生フレーム数が撮影位置によってばらつかない

【0052】

(iv)画像群の形成処理の(5)において選択されるフレームは、連続したフレーム区間とする。

40

【0053】

これにより、動画像の貼り合わせ表示において画像欠けがなくなり、再生フレーム数が同一の連続したフレームの貼り合わせ動画像が形成される。なお、もし時相データが取得されていない場合には再生時刻や再生周期を調整せずに貼り合わせ表示してもよい。

【0054】

以上述べた構成によれば、眼科装置10は異なる撮影位置の補償光学SLO動画像群を撮像後、貼り合わせた画像を撮影対象領域と比較して観察不能領域が生じていないか画像特徴量に基づき判定することで画像群としての適合度を判定する。該適合度が所定の値に満たない場合には適合しない画像について再撮像を指示する。これにより、観察対象の細

50

胞や組織、及びそれらの病変が複数の高倍率画像の取得位置にまたがっている場合に、略同一の条件で観察可能な画像群を撮像できる。

【0055】

[第2の実施形態：異なる位置の複数の画像の画像特徴の連続性]

本実施形態に係る眼科装置は、第1実施形態のように画像群の適合度を撮像対象領域に対する撮像漏れの有無（画像群の相対位置や輝度特性の連続性）に基づき判定するのではなく、隣接する高倍率画像から抽出された画像特徴の連続性に基づき判定するよう構成したものである。具体的には、高倍率SLO画像から抽出された傍中心窩の毛細血管領域の連続性に基づいて画像群の適合性を判定する。

【0056】

10

本実施形態に係る眼科装置10と接続される機器の構成は第1実施形態の場合と同様である。なお、データサーバ40は被検眼の広画角画像D1、高倍率画像Dh、及びその取得時に用いた固視標位置F1、Fhのような取得条件データ以外に、眼部の画像特徴や眼部の画像特徴の分布に関する正常値も保持する。眼部の画像特徴としては任意のものを保持できるが、本実施形態では網膜血管、毛細血管Q、血球Wを扱う。眼科装置10が输出する眼部の画像特徴は該データサーバ40に保存される。また眼科装置10からの要求に応じて眼部の画像特徴や眼部の画像特徴の分布に関する正常値データが眼科装置10に送信される。

【0057】

20

次に、本実施形態に係る眼科装置10の機能ブロックを図7に示す。個別画像判定部130に画像特徴取得部1321を備える点が実施形態1の場合と異なっている。また、本実施形態での画像処理フローは図5と同様であり、S510、S520、S530、S550、S575、S580、S585は実施形態1の場合と同様である。そこで、本実施形態ではS540、S545、S560、S565、S570の処理のみ説明する。

【0058】

<ステップ540：異なる位置の画像毎に適合度を判定する処理>

個別画像判定部132が個別画像の適合度の判定処理を行う。個別画像の適合度は、第1実施形態のS540におけるa)~d)に加えて、下記のe)も判定基準に加えることができる。

【0059】

30

e) 画像特徴取得部1321が取得する画像特徴

この画像特徴は、例えば、画像特徴の画素数や該画素数の画像の面積に対する割合や、また、多値データの場合にはコントラストである。なお、本実施形態では画像特徴は画像群としての適合度の判定においてのみ利用するものとする。すなわち、第1実施形態と同様に輝度異常でないフレームの数を個別画像の適合度として用いる。また、本実施形態では高倍率画像は毛細血管を撮影した動画像とし、該動画像から毛細血管領域を抽出した画像（以下、毛細血管画像と表記）を形成する。さらに、該個別画像の適合度が所定の基準を満たしている場合には画像特徴取得部1321が輝度異常フレーム以外の全てのフレームにおいて画素値が正である領域のみを用いて毛細血管領域を抽出する。具体的には、毛細血管領域を高倍率画像Dhjから以下の手順で血球成分の移動範囲として特定する。

40

【0060】

(a) フレーム間位置合わせ済み高倍率画像Dhjの隣接フレーム間で差分処理を行う（差分動画像を生成する）。

【0061】

(b) (a)で生成した差分動画像の各x-y位置においてフレーム方向に関する輝度統計量（分散）を算出する。

【0062】

(c) 前記差分動画像の各x-y位置において輝度分散が閾値Tv以上の領域を血球が移動した領域、すなわち毛細血管領域として特定する。

【0063】

50

なお、毛細血管の検出処理はこの方法に限定されるものではなく、任意の公知の方法を用いて良い。例えば、高倍率画像 D_{hj} の特定のフレームに対し線状構造を強調するフィルタを適用して血管を検出してもよい。

【0064】

次に、画像特徴取得部 1321 は得られた毛細血管領域から無血管領域の境界を検出する。網膜の中心窓付近には血管の存在しない領域（無血管領域）が存在する（例えば図 6 (i) の D_{h5} ）。網膜血管の初期病変は無血管領域境界周囲に生じやすく、また糖尿病網膜症等の疾病の進行に伴って無血管領域が拡大していく。従って無血管領域境界は観察及び解析の対象として重要である。本実施形態では、高倍率画像群の中心に位置する高倍率画像 D_{h5} に円形の可変形状モデルを配置し、該形状モデルを無血管領域境界に一致するよう変形させることで無血管領域を特定する。変形が完了した該可変形状モデルの位置を無血管領域境界の候補位置とする。なお、無血管領域境界の特定方法はこれに限らず任意の公知の手法を用いてよい。

【0065】

＜ステップ 545：再撮像の要否を指示＞

再撮像要否指示部 1341 は、S540 で判定された個別画像の適合度に基づき高倍率画像 D_{hj} の再撮像の要否を画像取得部 111 に対して指示する。具体的には、該個別画像の適合度が所定の基準に満たない場合、すなわち輝度異常でないフレームの数が閾値 T_f に満たない場合に再撮像が必要であると判断して画像取得部 111 に対して再撮像を指示し、S520 に処理を戻す。該個別画像の適合度が所定の基準を満たしている場合には S550 に処理を進める。

【0066】

＜ステップ 560：画像群として適合度を判定する処理＞

画像群判定部 133 は、画像特徴取得部 1321 が取得した画像特徴に基づいて生成される画像群（毛細血管画像群）を S530 で実行された位置合わせパラメータに基づいて貼り合わせし、画像特徴（毛細血管領域）の連続性に基づいて適合度を判定する。該画像群の適合度が所定の基準を満たさない場合に指示部 134 が画像取得部 111 に対して再撮像を指示する。なお、本実施形態では毛細血管画像群は図 8 (a) に示すような 9 つの毛細血管画像で構成され、左上からラスター走査（ジグザグ走査）の順で画像番号 j が増加するものとする。

(1') S540 で生成した毛細血管画像を、S530 で求めた位置合わせパラメータで貼り合わせる。

(2') もし画像特徴欠けがなければそのまま貼り合わせ画像を形成して終了

(3') 画像特徴欠けがある場合は画像特徴欠け領域の位置を求め、画像特徴欠け領域が属する画像の番号リストを求める。

例えば図 8 (a) では貼り合わせの結果画像 6 に画像特徴欠けが生じてあり、画像特徴欠け領域を持つ画像の番号リストを求める。

(4') 画像群判定部 133 は、高倍率画像 D_{hj} から取得された画像特徴（毛細血管領域）に関して以下の指標を算出し、該指標値に基づいて画像群としての適合度を判定する。

【0067】

（実際に取得された無血管領域境界の長さの総和）

/ (S540 にて設定した無血管領域境界候補点列の長さの総和)

指示部 134 は、判定された画像群としての適合度が所定の値（本実施形態では 1）未満の場合に画像取得部 111 に対して画像特徴欠け領域が属する画像の再撮像を指示し、処理を S520 に戻す。画像群の適合度が該所定の値を満たす場合は、S570 に処理を進める。

【0068】

＜ステップ 570：表示＞

画像群の適合度が所定の値を満たしたら画像処理部 130 が画像群の形成処理を行い、

10

20

30

40

50

表示制御部 135 は、形成された画像群（貼り合わせ画像）をモニタ 305 上に表示する。具体的には、以下の手順で画像処理部 130 が画像群の形成処理を行う。

（5'）個別画像の形成処理で得られた毛細血管画像群のうち、最も毛細血管抽出に用いられたフレーム数の少ない毛細血管画像生成に用いられたフレーム数 $ANmin'$ を各毛細血管画像で使用されるフレーム数とする。各撮影位置での毛細血管抽出に用いられるフレーム数を $ANmin'$ に変更して再び毛細血管画像を生成する。

ここでは先頭フレームから順に S540 の輝度値の基準（a））を満たす画像を $ANmin$ 枚選択し、該選択されたフレームを用いて毛細血管画像を生成する。フレームの選択法はこれに限定されず、任意の選択手法を用いてよい。

（6'）（5'）で生成した毛細血管画像を用いて貼り合わせ画像を生成する。（再撮像の結果図 8（b）のように画像特徴欠けがなくなり、毛細血管抽出に使用されるフレーム数が同一の貼り合わせ画像が形成される）

表示制御部 135 は、S530 において得られた位置合わせパラメータ値を用いて毛細血管画像の貼り合わせ画像を表示する。本実施形態では、図 8（b）のような毛細血管を抽出した画像の貼り合わせ表示を行う。なお、本実施形態では高倍率画像や特徴抽出済みの画像（毛細血管画像）のモニタ 305 への表示は全画像の取得後としたが、本発明はこれに限定されない。例えば個別画像の取得後に個別画像を表示させたり、該個別画像の適合度判定後に該判定結果や形成された個別画像をモニタ 305 に表示させることで、撮像結果を順次確認できるように構成してもよい。この場合、適合度が低く再撮像が必要と判定された画像に対しては任意の識別可能な表示（例えば撮像領域もしくはその枠に対して色をつける）を行う。また、画像群としての適合度を算出するために用いられる画像特徴は毛細血管領域や無血管領域境界に限定されず、任意の画像特徴を利用してよい。例えば、図 8（c）に示すように視神経乳頭部を撮影した 4 枚の高倍率画像の画像群としての適合度を判定する場合には、閾値処理により陥凹部を検出し該陥凹部の境界位置の連続性に基づいて画像群としての適合度を判定できる。具体的には、

（陥凹部境界に属するエッジ画素のうち、連結成分（隣接するエッジ画素）数が 2 であるエッジ画素の和） / （陥凹部境界に属するエッジ画素の総和）

を画像群としての適合度として用いる。もちろん画像群としての適合度はこれに限らず、例えば閾値処理により検出された陥凹領域の面積でもよい。画像群としての適合度が 1 未満の場合には、指示部 134 が画像特徴欠けが生じている画像（連結成分数が 1 であるエッジ画素を持つ画像、すなわち Dh3）について再撮像を指示し、再撮像が行われる。このような画像群としての適合度判定及び再撮像処理により、図 8（d）の右下の高倍率画像 Dh3 のように画像特徴の不連続部が存在した貼り合わせ画像は、図 8（e）のように該不連続部分が解消され解析対象の組織を略同一の条件で解析できるようになる。あるいは、図 8（f）に示すように視細胞を撮影した画像群の適合度を判定する場合には、高倍率画像中の画素値のピーク値として視細胞を検出し、画像もしくは画像のサブブロックごとに計測された視細胞数もしくは視細胞密度に基づき画像群の適合度を判定してもよい。

【0069】

以上述べた構成によれば、眼科装置 10 は、隣接する高倍率画像から抽出された画像特徴の連続性に基づき画像群の適合度を判定する。これにより、解析対象の細胞や組織、及びそれらの病変が複数の高倍率画像の取得位置にまたがっている場合に、略同一の条件で解析可能な画像群を撮像できる。なお、画像群の適合度を判定する際の条件として、画像特徴の他に、例えば、第 1 の実施形態の条件である画像群の相対位置と輝度特性とのうち少なくとも一つを条件に加えても良い。

【0070】

【第 3 の実施形態：異なる位置の画像の取得毎に画像群として適合度を判定】

本実施形態に係る眼科装置は、第 1 実施形態のように 1 固視位置分の画像群を全て取得した後に画像群としての適合度を判定するのではなく、個別画像を取得する度に画像群としての適合度を判定する。該画像群としての適合度の判定結果に基づき、該適合度が高くなりやすいように次画像の撮像条件を指示するよう構成したものである。具体的には、図

10

20

30

40

50

11 (b) に示すように合計 9 の高倍率画像で構成される画像群を取得する場合に、既に撮影された 3 つの画像の取得領域に基づいて画像欠けが生じにくくなるように次画像 (4 番目の画像) の取得位置を指示する場合について説明する。ここで、本実施形態に係る眼科装置 10 と接続される機器の構成は実施形態 1 の場合と同様であるので省略する。次に、本実施形態に係る眼科装置 10 の機能ブロックを図 9 に示す。画像指示部 134 に撮像条件指示部 1342 を備える点が実施形態 1 の場合と異なっている。また、本実施形態での画像処理フローを図 10 に示す。なお、S1010、S1020、S1030、S1040、S1045、S1075、S1080、S1085 は、実施形態 1 における S510、S520、S530、S540、S545、S575、S580、S585 と同様である。そこで、本実施形態では、S1050、S1060、S1065、S1070 について説明する。なお、S1020 及び S1030 では、全高倍率画像について画像取得及び画像位置合わせがされるのではなく、各々画像単位での画像取得、これまで取得された画像についての画像位置合わせが行われる。

【0071】

<ステップ 1050：表示>

表示制御部 135 は、これまでに形成された個別画像群を S1030 で実行された位置合わせパラメータに基づいて貼り合わせし、モニタ 305 上に表示する。これにより撮像結果を順次確認できる。

【0072】

<ステップ 1060：画像群として適合度を判定する処理>

画像群判定部 133 は、撮影対象領域に対してこれまで取得された高倍率画像群の相対位置及び輝度の連続性に基づき適合度を判定する。なお、本実施形態では、画像群は図 11 (a) に示すように既に 3 つの高倍率画像 Dh_j ($Dh_1 \sim Dh_3$) が取得されており、左上からラスター走査 (ジグザグ走査) の順で画像番号 j が増加するものとする。図 11 (a) の場合には、 $Dh_1 \sim Dh_3$ の撮影対象領域 (灰色) と比較した場合に、 Dh_3 に関して撮像漏れ (画像欠け) が生じている。そこで、画像群の適合度として

(これまで取得された画像数 画像欠けが生じている画像数)

/ (これまで取得された画像数)

を算出し、画像欠けが生じている画像番号を記憶部 120 に記憶する。なお、画像群の適合度はこれに限定されず、画像群としての適合性を判定できるものであれば任意の指標を設定してよい。ここで、表示制御部 135 は画像群判定部 133 によって判定された画像欠け領域が生じている画像に対して任意の識別可能な表示 (例えば画像領域に色枠をつける) を行ってもよい。

【0073】

<ステップ 1065：画像群が全て得られたか否かを判定>

眼科装置 10 は、S510 で取得された画像取得パターンの画像群が全て得られたか否かを判定し、全て得られた場合は S1075 に処理を進める。まだ得られていない画像がある場合には S1070 に処理を進める。

【0074】

<ステップ 1070：次に取得する画像の撮像条件を指示>

撮像条件指示部 1342 は、判定された画像群としての適合度が最も高くなるように (すなわち 1 になるように) 画像取得部 111 に対して次に取得する高倍率画像 (Dh_4) の撮像条件を指示し、S1020 に処理を進める。例えば、図 11 (b) のように高倍率画像 $Dh_1 \sim Dh_3$ までが取得済みで Dh_3 の下端に画像欠けが生じている場合には、指示部 134 は次画像 Dh_4 の撮像条件のうち撮影中心を以下のように変更するよう指示する。

(i) 画像欠け領域が解消される範囲で最も移動距離が少なくなるよう画像の撮像中心を上方に移動させる

なお、撮像条件の設定 (変更) 方法はこれに限らず、撮像条件を任意に変更してよい。例えば

10

20

30

40

50

(i i) 画像欠け領域が解消される範囲で最も画角の変更量が少なくなるよう画角を広げる

でもよい。あるいは両者の変更を組み合わせて指示してもよい。なお、本実施形態では撮像対象が視細胞で画像欠けが生じる場合について説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば他の撮像対象として毛細血管を撮像する場合でも同様に次画像の撮像条件を設定できる(図11(c))。なお、本実施形態では画像群の適合度を撮像対象領域に対する撮像漏れの有無(輝度特性の連続性)に基づき判定したが、本発明はこれに限定されない。実施形態2の場合と同様に、個別画像判定部132に画像特徴取得部1321を備え、隣接する高倍率画像から抽出された画像特徴の連続性に基づき画像群の適合度を判定し、次画像の撮像条件を指示するよう構成してもよい(図11(d)及び(e))。

10

【0075】

以上述べた構成によれば、眼科装置10は、各画像を取得後に画像群として適合度を判定し、画像群としての適合度の基準を満たしやすいように次画像の撮像条件を指示する。これにより、観察もしくは解析対象の細胞や組織、及びそれらの病変が複数の高倍率画像の取得位置にまたがっている場合に、略同一の条件で観察もしくは解析可能な画像群を撮像できる。

【0076】

[第4の実施形態：補償光学系を備えた断層像撮像装置]

本実施形態に係る眼科装置は、異なる撮影位置の高倍率な補償光学OCT断層画像を貼り合わせ表示する際に、撮影(解析)対象領域と比較した場合の観察(解析)不能領域の少なさに基づいて画像群としての適合度を判定する。具体的には、中心窓付近で複数(3×3×3=27)の高倍率画像を直方体状に取得し、位置合わせ処理によって貼り合わせる際に撮影(解析)対象領域と比較した場合の観察(解析)不能領域の少なさを画像群の適合度として判定する場合について説明する。

20

【0077】

本実施形態に係る眼科装置10と接続される機器の構成を図2(c)に示す。本実施形態では補償光学系を備えた断層像撮像装置60と接続される点が第1実施形態と異なっている。断層像撮像装置60は眼部の断層像を撮像する装置であり、例えばスペクトラルドメイン方式のOCT(SD-OCT; Spectral Domain Optical Coherence Tomography)として構成される。眼部断層像撮像装置60は不図示の操作者による操作に応じ、被検眼の断層像を3次元的に撮像する。撮像した断層像は眼科装置10へと送信される。ここで、本実施形態に係る眼科装置10の機能プロックは実施形態1の場合と同様であるので省略する。また、データサーバ40は眼部の画像特徴や眼部の画像特徴の分布に関する正常値データを保持しており、本実施形態では網膜層境界やその形状・厚みに関する正常値データを保持している。

30

【0078】

次に、図12を用いて補償光学系を備えた断層像撮像装置60の構成を説明する。図12において、201は光源であり、本実施例では波長840nmのSLD光源を用いる。光源201は低干渉性のものであれば良く、波長幅30nm以上のSLD光源が好適に用いられる。また、チタンサファイアレーザなどの超短パルスレーザなどを光源に用いることもできる。光源201から照射された光は、単一モード光ファイバー202を通って、ファイバーカラー520まで導光される。ファイバーカラー520によって、測定光経路521と参照光経路522に分岐される。ファイバーカラーは10:90の分岐比のものを使用し、投入光量の10%が測定光経路521に行くように構成する。測定光経路521を通った光は、コリメータ203により、平行な測定光として照射される。コリメータ203以降の構成は実施形態1と同様であり、補償光学系や走査光学系を通して眼211に照射し、眼211からの反射散乱光は再度同様の経路をたどって光ファイバー521に導光されてファイバーカラー520に到達する。一方、参照光経路522を通った参照光はコリメータ523で出射され、光路長可変部524で反射して再度ファイバーカラー520に戻る。ファイバーカラー520に到達した測定光と参照光は合波され

40

50

、光ファイバー 525 を通して分光器 526 に導光される。分光器 526 によって分光された干渉光情報をもとに、制御部 217 によって眼部の断層像が構成される。制御部 217 は光路長可変部 524 を制御し、所望の深さ位置の画像を取得できる。なお、図 12 の構成で走査光学系の振り角を大きくし、補償光学制御部 216 が収差補正を行わないよう指示することによって断層像撮像装置 60 は通常の断層像撮像装置としても動作し、広画角な断層像（広画角画像 D1）を撮像できる。

【0079】

また、本実施形態では補償光学系を備えた断層像撮像装置 60 は S D - O C T として構成しているが、S D - O C T であることが必須の要件ではない。例えば、タイムドメイン OCT もしくは S S - O C T (Swept Source Optical Coherence Tomography) として構成してもよい。S S - O C T の場合には異なる波長の光を異なる時間で発生させる光源を用い、スペクトル情報を取得するための分光素子は不要となる。また、S S - O C T では、網膜だけでなく脈絡膜も画像に含まれる高深達な画像を取得できる。本実施形態に係る眼科装置 10 の画像処理フローを図 5 に示す。なお、S550、S565、S575、S580、S585 については第 1 実施形態の場合と同様であるので説明を省略する。

【0080】

<ステップ 510：画像取得パターン選択>

眼科装置 10 は指示取得部 140 を通じて、ユーザが選択した所定の画像取得パターン（撮影位置や画角等）に関する情報を取得する。本実施形態では、黄斑部の中心窩に固視標位置 F1 及び Fh を設定して広画角画像 D1 と図 13 (a) に示すような高倍率画像 D_{hj} を取得する。すなわち、中心窩付近で複数 ($3 \times 3 \times 3 = 27$) の高倍率画像を直方体状に取得する。ここでは撮影位置をわかりやすくするために高倍率画像間の重なりは省略して表示している。実際には図 13 (b) のように高倍率画像間に重なり領域が生じるような間隔で撮影位置や画角、スライス数が設定されている図 13 (b) において、灰色が隣接 2 画像間で重なりがある領域、黒色が隣接 4 画像間で重なりがある領域、図 13 (c) の白色格子点が隣接 8 画像間で重なりがある領域を示している。なお撮影位置の設定方法はこれに限定されず、任意の位置に設定してよい。

【0081】

<ステップ 520：画像取得>

画像取得部 111 は、S510 で指定された画像取得パターンの情報に基づき、断層像撮像装置 60 に対して広画角画像 D1 と高倍率画像 D_{hj}、及び対応する固視標位置 F1、Fh の取得を要求する。本実施形態では、黄斑部の中心窩に固視標位置 F1 及び Fh を設定して広画角画像 D1 及び高倍率画像 D_{hj} を取得する。なお撮影位置の設定方法はこれに限定されず、任意の位置に設定してよい。

【0082】

断層像撮像装置 60 は、該取得要求に応じて広画角画像 D1 と高倍率画像 D_{hj}、対応する固視標位置 F1、Fh を取得し送信する。画像取得部 111 は断層像撮像装置 60 から LAN30 を介して当該広画角画像 D1 と高倍率画像 D_{hj}、及び対応する固視標位置 F1 と Fh を受信し、記憶部 120 に格納する。なお、本実施形態では前記広画角画像 D1 及び高倍率画像 D_{hj} はスライス間位置合わせ済みの 3 次元画像とする。

【0083】

<ステップ 530：位置合わせ>

位置合わせ部 131 は、広画角画像 D1 と高倍率画像 D_{hj} との位置合わせを行い、広画角画像 D1 上の高倍率画像 D_{hj} の位置を決定する。まず、位置合わせ部 131 は記憶部 120 から高倍率画像 D_{hj} の撮影時に用いた固視標位置 Fh を取得し、該固視標位置からの相対距離に基づいて広画角画像 D1 と高倍率画像 D_{hj} との位置合わせにおける位置合わせパラメータの探索初期点を設定する。高倍率画像 D_{hj} 間で重なり領域がある場合には、該重なり領域に関して画像間類似度を算出し、画像間類似度が最大となる位置に高倍率画像 D_{hj} 同士の位置を合わせる。

10

20

30

40

50

【0084】

次に、S530において異なる倍率の画像が取得されている場合には、より低倍率な画像から順に位置合わせを行う。本実施形態では高倍率画像のみであるので、広画角画像D1と高倍率画像Dhjとの位置合わせのみ行う。なお、画像間類似度や座標変換手法としては任意の公知の手法を用いることができ、本実施形態では画像間類似度として（3次元の）相関係数、座標変換手法として3次元のAffine変換を用いて位置合わせを行う。

【0085】

＜ステップ540：異なる位置の画像毎に適合度を判定する処理＞

個別画像判定部132が各スライスの輝度値やスライス間の移動量に基づいて適合度の判定処理を行う。ここで、判定基準の取得と適合度判定法は基本的に第1実施形態（のS540）と同様である。本実施形態においては、（c）はスライス間の移動量が適正範囲であること、（d）はコヒーレンスゲートが適正範囲にあることと規定できる。ここでは瞬目等の要因で発生する低輝度スライスを除外した場合に得られるスライスの総数を適合度として判定する。さらに、該適合度が所定の基準を満たしている場合には画像処理部130が個別画像を形成する。本実施形態では高倍率画像は視細胞を撮影した3次元画像とし、a）を満たさなかったスライスの画素値は前後のスライスの画素値を補間処理して算出する。さらに、各画素位置において画素値が所定値未満（例えば0）であるスライスが含まれる画素、すなわち画像端部は画素値を0に設定する。従って、固視ずれの大きい（スライス間の移動量が大きい）画像の場合には画素値が0の画像端領域が大きくなる。

10

【0086】

＜ステップ545：再撮像の要否を指示＞

再撮像要否指示部1341は、S540で判定された個別画像の適合度に基づき高倍率画像Dhjの再撮像の要否を画像取得部111に対して指示する。具体的には、該個別画像の適合度が所定の基準に満たない場合、観察可能なスライス数が閾値Tfに満たない場合に再撮像が必要であると判断して画像取得部111に対して再撮像を指示し、S520に処理を戻す。該個別画像の適合度が所定の基準を満たしている場合にはS550に処理を進める。

20

【0087】

＜ステップ560：画像群として適合度を判定する処理＞

30

S540で形成された画像をS530で実行された位置合わせパラメータに基づいて貼り合わせし、該画像群の相対位置及び輝度の連続性に基づいて適合度を判定する。該画像群の適合度が所定の基準を満たさない場合に指示部134が画像取得部111に対して再撮像を指示する。なお、本実施形態では画像群の左上からラスター走査（ジグザグ走査）の順で画像番号jが増加するものとする。貼り合わせ画像（画像群）の適合度に関する判定方針、すなわち貼り合わせ画像内を同一条件で観察可能にするための画像群としての適合度は以下のようないいものが挙げられる。

1. 貼り合わせ画像内に画像欠け領域を生じない

（輝度が不連続に変化しない）

2. 画質が撮影位置によってばらつかない

40

ここで画像群としての適合度を判定せず、個別画像の適合度のみで再撮像の要否を判定すると、例えば画像単位で撮像すべき領域が取得されたか厳密に判定しないといけないので、再撮像を指示されるケースが多くなる。あるいは、再撮像と判定されるケースが多くならないように重なり領域を広く設定する（撮像位置数を増やす、あるいは画角を広げる）必要が出てくる。

【0088】

そこで本実施形態では、隣接する画像の端部や重なり領域におけるデータの連続性もしくは補完性を考慮した適合度判定を行うことで、条件1を満たす高倍率画像群を効率的に取得するものとする。具体的には、本実施形態では図13（b）の灰色領域に示すような隣接する2画像間での重複領域と、図13（b）の黒色領域に示すような隣接する4画像

50

間での重複領域、及び図13(c)の白色格子点で示すような隣接する8画像間での重複領域が存在する。単独の画像では画像欠けが生じている場合でも、隣接する画像の該重複領域においてデータが得られている場合には画像群としては画像欠けと判定されない。従って、以下の手順で画像群の適合度を判定する。

(1) S540で生成した個別画像を、S530で求めた位置合わせパラメータで貼り合わせる。

(2) もし画像欠けがなければそのまま貼り合わせ画像を形成して終了

(3) 画像欠けがある場合は画像欠け領域の位置を求め、画像欠け領域が属する画像の番号リストを求める。

例えば図13(d)では貼り合わせの結果高倍率画像Dh3とDh7に画像欠けが生じており、画像欠け領域を持つ画像の番号リストを求める。 10

(4) 画像群の適合度として

(貼り合わせ画像数 - 画像欠け領域を持つ画像数) / (貼り合わせ画像数)
を算出する。

【0089】

なお画像群の適合度はこれに限らず、例えば

(撮影対象領域のOR(論理和)領域の体積(画素数) - 画像欠け領域の体積(画素数))

/ (撮影対象領域のOR領域の体積(画素数))

を用いて判定してもよい。あるいは、個別画像の投影像を広画角画像の投影像上にS520で求めた位置合わせパラメータに基づいて貼り合わせた上で 20

(撮影対象領域のOR領域の面積 - 画像欠け領域の面積)

/ (撮影対象領域のOR領域の面積)

を用いて判定してもよい。なお、画像群の適合度の判定方針は上記に限定されるものではなく、任意の適合度を設定してよい。例えば、画素数や面積等の他に、画像特徴の一例である無血管領域境界の長さを適合度の条件に加えても良い。

【0090】

<ステップ570:表示>

表示制御部135は、S560で形成された貼り合わせ画像をモニタ305に表示する。本実施形態において広画角画像D1及び高倍率画像Dhjはともに3次元断層像であるため、以下の2種類の表示を行う。 30

【0091】

i) z軸方向に沿って広画角画像D1と高倍率画像Dhjの投影像を生成し、広画角画像D1の投影像上に高倍率画像Dhjの投影像を貼り合わせ表示する。

【0092】

i) 広画角3次元断層像D1のみ取得された位置では広画角画像3次元断層像D1の画素値で、広画角3次元断層像D1と高倍率3次元断層像Dhjとともに取得された位置では該高倍率3次元断層像Dhjの画素値で表示した広画角3次元断層像D1"を生成する。さらに、広画角3次元断層像D1"上の特定の走査位置をi)の重畳画像上に矢印で表示し、該矢印の位置で切り出した広画角3次元断層像D1"の2次元断層像を、i)のような重畳画像と並べて表示させる。本表示では、広画角3次元断層像D1の2次元断層像だけでなく、高倍率3次元断層像Dhjの2次元断層像も重畳表示される。さらに、i)の表示では操作者が指示取得部140を通じて広画角断層像D1"の表示位置を示す矢印を(上下もしくは左右に)動かせるので、該操作に連動して切り出される(表示される)広画角画像D1及び高倍率画像Dhjの表示スライスも変化する。 40

【0093】

また、本実施形態のように撮影位置の異なる高倍率画像Dhjが複数取得されている場合には、高倍率画像Dhj間で表示階調変換処理を行う。さらに、高倍率画像Dhj同士の撮影位置が近く重なりがある場合(撮影位置が同一である場合も含む)には、重なっている領域の表示法を以下のいずれかに設定する。すなわち、画像の画質指標値を算出して 50

おき、最も評価値が高い画像を表示させるか、各高倍率画像 D_{hj} の輝度を（前述の画質指標値に基づいて透明度を重みづけして）ブレンディングする。ここで画質指標値は任意の公知の指標を用いることができ、本実施形態では画像ヒストグラムの平均輝度値を用いる。なお、上記投影画像を生成する方法としては平均値投影に限らず、任意の投影法を用いてよい。また、高倍率画像 D_{hj} は静止画に限定されるものではなく、動画像でもよい。

【0094】

なお、本実施形態では高倍率画像のモニタ305への表示は全画像の取得後としたが、本発明はこれに限定されない。例えば個別画像の適合度判定後に表示制御部135が該判定結果もしくは形成された画像をモニタ305に表示させることで、撮像結果を順次確認できるように構成してもよい。この場合、適合度が低く再撮像が必要と判定された画像に對しては任意の識別可能な表示（例えば撮像領域もしくはその枠に対して色をつける）を行う。また、本実施形態では撮影対象領域に対する観察不能領域の少なさに基づいて断層画像群としての適合度を判定したが、本発明はこれに限定されない。実施形態2の場合と同様に、個別画像判定部132に画像特徴取得部1321を備え、各高倍率画像から抽出された画像特徴の隣接画像間の連続性に基づき断層画像群の適合度を判定してもよい。例えば、以下の手順で画像特徴取得部1321が画像特徴として層境界（内境界膜B1、神経線維層境界B2、内網状層境界B4、視細胞内節外節境界B5、網膜色素上皮境界B6）を抽出し、各層境界位置の連続性に基づいて断層画像群の適合度を判定してもよい。

【0095】

ここで、広画角画像 D_1 に対する特徴抽出手順を具体的に説明する。はじめに、層の境界を抽出するための抽出手順について説明する。なお、ここでは処理対象である3次元断層像を2次元断層像（Bスキャン像）の集合と考え、各2次元断層像に対して以下の処理を行う。まず、着目する2次元断層像に平滑化処理を行い、ノイズ成分を除去する。次に2次元断層像からエッジ成分を検出し、その連結性に基づいて何本かの線分を層境界の候補として抽出する。そして、該抽出した候補から1番上の線分を内境界膜B1、上から2番目の線分を神経線維層境界B2、3番目の線分を内網状層境界B4として抽出する。また、内境界膜B1よりも外層側（図6（a）において、z座標が大きい側）にあるコントラスト最大の線分を視細胞内節外節境界B5として抽出する。さらに、該層境界候補群のうち一番下の線分を網膜色素上皮境界B6として抽出する。なお、これらの線分を初期値としてSnakeやレベルセット法等の可変形状モデルを適用し、更に精密抽出を行うように構成してもよい。また、グラフカット法により層の境界を抽出するように構成してもよい。なお、可変形状モデルやグラフカットを用いた境界抽出は、3次元断層像に対し3次元的に実行してもよいし、各々の2次元断層像に対し2次元的に実行してもよい。また、層の境界を抽出する方法は、眼部の断層像から層の境界を抽出可能な方法であれば、いずれの方法を用いてもよいことはいうまでもない。また、各高倍率画像 D_{hj} からの層境界抽出は、広画角画像 D_1 と各高倍率画像 D_{hj} の相対位置と、広画角画像 D_1 から検出された層境界位置に基づいて実行できる。すなわち、各高倍率画像 D_{hj} に対応づけられた広画角画像 D_1 から検出された各層の境界位置付近で高倍率画像 D_{hj} 上の対応する層の境界検出を行えばよい。

【0096】

以上述べた構成によれば、眼科装置10は、異なる撮影位置の高倍率な補償光学OCT断層画像を貼り合わせ表示する際に撮影（解析）対象領域と比較して貼り合わせ画像内の観察（解析）不能領域の少なさを画像群としての適合度として判定する。これにより、観察もしくは解析対象の細胞や組織、及びそれらの病変が複数の高倍率画像の取得位置にまたがっている場合に、略同一の条件で観察もしくは解析可能な画像群を撮像できる。

【0097】

[第5の実施形態：張り合わせ画像と異なる検査で撮影（解析）された領域とを比較]

本実施形態に係る眼科装置は、異なる撮影位置の高倍率な補償光学SLO画像を貼り合わせ表示する際に異なる検査で撮影（解析）された領域と比較した場合の観察（解析）不

10

20

30

40

50

能領域の少なさに基づいて画像群としての適合度を判定する。具体的には、過去の検査日時に撮影された画像群 $D_{h,j,f}$ ($f = 1, 2, \dots, n-1$) と比較した場合の、貼り合わせ画像における観察(解析)不能領域の少なさに基づいて画像群としての適合度を判定する場合について説明する。

【0098】

本実施形態に係る眼科装置10と接続される機器の構成は第1実施形態の場合と同様である。次に、本実施形態に係る眼科装置10の機能ブロックを図14に示す。画像群判定部133に経時比較部1331を備える点が実施形態1の場合と異なっている。また、本実施形態での画像処理フローは図5と同様であり、S510、S520、S530、S560、S570以外は実施形態1の場合と同様である。そこで、本実施形態ではS510、S520、S530、S560、S570の処理のみ説明する。なお、SLO画像や固視標を異なる倍率、異なる撮影位置、異なる検査日時で取得する場合には各々 $D_{s,j,f}$ 、 $F_{s,f}$ のように表す。すなわち s は倍率、 j は撮影位置番号、 f は検査日時を示す変数であり、 $s = 1, 2, \dots, s_{max}$ 、 $j = 1, 2, \dots, j_{max}$ 、 $f = 1, 2, \dots, f_{max}$ と表記する。ここで、 s が小さいほど撮影倍率は大きくなる(画角が狭くなる)。また、 f が小さいほど検査日時が古いことを表す。本実施形態では、最も低倍率な画像(広画角画像)の撮影位置は1つとし、簡単のため撮影位置番号は省略する。

【0099】

<ステップ510：画像取得パターン選択>

眼科装置10は指示取得部140を通じて、ユーザが選択した所定の画像取得パターン(撮影位置や画角等)に関する情報を取得する。本実施形態では、黄斑部の中心窩に固視標位置 F_2 及び F_1 を設定して広画角画像 D_2 と図6(h)に示すような高倍率画像 $D_{1,j}$ を取得する。なお撮影位置の設定方法はこれに限定されず、任意の位置に設定してよい。

【0100】

<ステップ520：画像取得>

画像取得部111はデータサーバ40に対し $S510$ で指定された画像取得パターンで撮影された同一被検眼の過去 SLO 画像 $D_{s,j,f}$ ($f = 1, 2, \dots, n-1$)、固視標位置 $F_{s,f}$ 、 SLO 画像 $D_{s,j,f}$ に対応する位置合わせパラメータ値の転送を要求する。データサーバ40は、該要求に対応するデータを眼科装置10に転送し、記憶部120に保存する。本実施形態では、 $n = 4$ とする。

次に、画像取得部111は SLO 像撮像装置20に対して最新の検査画像及び固視標位置、すなわち SLO 画像 $D_{s,j,n}$ および固視標位置 $F_{s,n}$ の取得を要求する。

【0101】

<ステップ530：位置合わせ>

位置合わせ部131は、広画角画像 $D_{2,f}$ ($f = 1, 2, \dots, n$) と高倍率画像 $D_{1,j,f}$ との位置合わせを行い、広画角画像 $D_{2,f}$ 上の高倍率画像 $D_{1,j,f}$ の相対位置を求めて画像 $D_{1,j,f}$ の貼り合わせ画像が生成される。同一検査日の高倍率画像 $D_{1,j,f}$ 間で重なり領域がある場合には、該重なり領域に関して画像間類似度を算出し、最も画像間類似度が最大となる位置に高倍率画像 $D_{1,j,f}$ 同士の位置を合わせる。なお、もし3種類以上の異なる倍率の画像が取得されている場合には、より低倍率な画像から順に位置合わせを行う。例えば画像 $D_{3,f}$ と画像 $D_{2,k,f}$ 、画像 $D_{1,j,f}$ が取得されている場合にはまず画像 $D_{3,f}$ と画像 $D_{2,k,f}$ との間で位置合わせを行い、次いで画像 $D_{2,k,f}$ と画像 $D_{1,j,f}$ との間で位置合わせを行う。さらに、位置合わせ部131は記憶部120から画像 $D_{1,j,f}$ の撮影時に用いた固視標位置 $F_{1,f}$ を取得し、該位置からの相対距離を用いて画像 $D_{2,f}$ と画像 $D_{1,j,f}$ との位置合わせにおける位置合わせパラメータの探索初期点を設定する。なお、画像間類似度や座標変換手法としては任意の公知の手法を用いることができ、本実施形態では画像間類似度として相関係数、座標変換手法として $Affine$ 変換を用いて位置合わせを行う。

【0102】

10

20

30

40

50

次に、最新の検査における広画角画像 D_{2n} と過去の検査における広画角画像 D_{2f} ($f = 1, 2, \dots, n-1$) との位置合わせを行う。さらに高倍率画像 D_{1jn} に対する広画角画像 D_{2n} の相対位置、 D_{2n} に対する広画角画像 D_{2f} の相対位置と、 D_{2f} に対する高倍率画像 D_{1jf} の相対位置を用いて、最新検査の高倍率画像 D_{1jn} に対する過去検査の高倍率画像 D_{1jf} の相対位置を求める。なお、最新検査の高倍率画像群 D_{1jn} と過去検査の高倍率画像群 D_{1jf} との位置合わせを直接行ってもよい。ここで、位置合わせ部 131 は記憶部 120 から各画像の固視標位置を取得する。位置合わせ部 131 はこれらの固視標位置からの相対位置を用いて最新検査の高倍率画像 D_{1jn} と最新検査の広画角画像 D_{2n} 、 D_{2n} と過去検査の広画角画像 D_{2f} 、 D_{2f} と過去検査の高倍率画像 D_{1jf} との位置合わせにおける探索初期点を設定する。

10

【0103】

位置合わせ手法としては任意の公知の手法を用いることができ、本実施形態ではまず概略の位置合わせとして、Affine 変換を用いて位置合わせを行う。次に、詳細な位置合わせとして非剛体位置合わせ手法の一つである FFDF (Free Form Deformation) 法を行って位置合わせを行う。いずれの位置合わせにおいても、画像間類似度としては相関係数を用いる。もちろんこれに限らず、任意の公知の画像間類似度を用いてよい。以上より、最新の検査画像（広画角画像 D_{2n} もしくは高倍率画像 D_{1jn} ）の画素と、過去の検査画像（広画角画像 D_{2f} もしくは高倍率画像 D_{1jf} ）の画素とが対応づけられる。なお、本発明は画素値の類似度に基づく位置合わせに限定されるものではない。例えば実施形態 2 の場合と同様に個別画像判定部 132 に画像特徴取得部 1321 を備え、画像特徴取得部 1321 が毛細血管領域を特定した上で、該特定された血管領域を用いて特徴ベースの位置合わせを行ってよい。

20

【0104】

<ステップ 560：画像群として適合度を判定する処理>

画像群判定部 133 が異なる検査で撮影（解析）された領域と比較した場合の観察（解析）不能領域の少なさに基づいて画像群としての適合度を判定する。該画像群の適合度が所定の基準を満たさない場合に指示部 134 が画像取得部 111 に対して再撮像を指示する。なお、本実施形態では画像群は図 6 (g) に示すような 9 つの重ね合わせ画像で構成され、左上からラスター走査（ジグザグ走査）の順で画像番号 j が増加するものとする。貼り合わせ画像（画像群）の適合度に関する判定方針、すなわち貼り合わせ画像内を同一条件で観察可能にするための画像群としての適合度は以下となる。

30

貼り合わせ画像内に画像欠け領域を生じない

（輝度が不連続に変化しない）

画質が撮影位置によってばらつかない

ここで、画像群としての適合度を判定せず、個別画像の適合度のみで再撮像の要否を判定すると、例えば画像単位で撮像すべき領域が取得されたか厳密に判定しないといけないので、再撮像を指示されるケースが多くなる。あるいは、再撮像と判定されるケースが多くならないように重なり領域を広く設定する（撮像位置数を増やす、あるいは画角を広げる）必要が出てくる。そこで、隣接する画像の端部や重なり領域におけるデータの連続性もしくは補完性を考慮した適合度判定を行うことで、条件 1 と 2 を満たす高倍率画像群をより効率的に取得できる。具体的には、本実施形態では図 6 (f) の灰色領域に示すような隣接する 2 画像間での重複領域と、図 6 (f) の黒色領域に示すような隣接する 4 画像間での重複領域が存在する。単独の画像では画像欠けが生じている場合でも、隣接する画像の該重複領域においてデータが得られている場合には画像群としては画像欠けと判定されない。従って、以下の手順で画像群の適合度を判定する。

40

【0105】

S540 で生成した個別画像を、S530 で求めた位置合わせパラメータで貼り合わせる。

【0106】

経時画像比較部 1331 は、(1) で生成した貼り合わせ画像を過去の検査で生成した

50

貼り合わせ画像と比較した場合の画像欠け領域の有無を調べる。

【0107】

具体的には、過去検査の画像群 $D_{1j}f$ の貼り合わせ、つまり $D_{1j}f$ の論理和領域 ($\cup_{j=1}^n D_{1j}f$) に対する論理積 ($\cap_{j=1}^n (D_{1j}f)$) を経時比較対象領域とする。本実施形態では経時比較対象（異なる検査）の画像群が3つあるので、各検査の画像群 $D_{1j}f$ の貼り合わせ、つまり $\cup_{j=1}^n D_{1j}f$ に対する論理積 ($\cap_{j=1}^n (D_{1j}f)$) ($\cap_{j=1}^n D_{1j}2$) ($\cap_{j=1}^n D_{1j}3$) を経時比較対象領域とした場合の画像欠け領域の有無を調べる。なお、比較対象領域の設定法はこれに限定されず、任意の設定法を用いてよい。

【0108】

(3) もし画像欠けがなければそのまま貼り合わせ画像を形成して終了
 (4) 画像欠けがある場合は画像欠け領域の位置を求め、画像欠け領域が属する画像の番号リストを求める。

【0109】

例えば図6(g)では、過去検査の貼り合わせ画像の論理積領域 ($\cap_{j=1}^n (D_{1j}f)$ ($\cap_{j=1}^n D_{1j}2$) ($\cap_{j=1}^n D_{1j}3$)) である図6(h)と比較して高倍率画像 D_{h6} と高倍率画像 D_{h9} に画像欠けが生じている。従って画像欠け領域を持つ画像の番号リスト(6と9)を求める。

【0110】

(5) 画像群の適合度として
 (貼り合わせ画像数 - 画像欠け領域を持つ画像数) / (貼り合わせ画像数) を算出する。

【0111】

なお画像群の適合度はこれに限定されず、画像群としての適合性を判定できるものであれば任意の指標を用いてよい。例えば

((1) で生成した貼り合わせ画像の面積 - 画像欠けの面積)
 / ((1) で生成した貼り合わせ画像の面積)
 を算出してもよい。

【0112】

また、本実施形態では画像群（静止画像群及び動画像群）の適合度として上記の条件1～2を用いたが、本発明はこれに限定されない。例えば、貼り合わせ画像の画質を画像群の適合度とし、最新検査の貼り合せ画像の画質が過去検査の貼り合せ画像の画質の最低値以上の場合に画像群としての適合度基準を満たすと判定しても良い。

【0113】

＜ステップ570：表示＞

画像処理部130が画像群の形成処理を行い、表示制御部135は、形成された画像群（貼り合わせ画像）をモニタ305上に表示する。

【0114】

具体的には、以下の手順で画像処理部130が画像群の形成処理を行う。

【0115】

(6) 個別画像の形成処理で得られた重ね合わせ画像群のうち、最も重ね合わせ枚数の少ない重ね合わせ画像の重ね合わせ枚数 AN_{min} を貼り合わせ画像の重ね合わせ枚数とし、各撮影位置での重ね合わせ枚数を AN_{min} に変更して重ね合わせ画像を生成する。ここでは先頭フレームから順に $S540$ の輝度値の基準 (a) を満たす画像を AN_{min} 枚選択して重ね合わせ画像を生成する。フレームの選択法はこれに限定されず、任意の選択手法を用いてよい。

【0116】

(7) (6) で生成した重ね合わせ画像を用いて貼り合わせ画像を生成する。

【0117】

(再撮像の結果図6(h)のように画像欠けがなくなり、重ね合わせ枚数が同一の貼り合わせ画像が形成される)

10

20

30

40

50

なお、本実施形態では高倍率画像のモニタ305への表示は全画像の取得後としたが、本発明はこれに限定されない。例えば個別画像の適合度判定後に表示制御部135が該判定結果もしくは形成された画像をモニタ305に表示させることで、撮像結果を順次確認できるように構成してもよい。この場合、適合度が低く再撮像が必要と判定された画像に對しては任意の識別可能な表示（例えば撮像領域もしくはその枠に對して色をつける）を行う。

【0118】

また、本実施形態では画像群としての適合度の判定に基づいて形成される貼り合わせ画像は静止画像（重ね合わせ画像）としたが、本発明はこれに限定されない。例えば、隣接する動画像の端部や重なり領域におけるデータの補完性を考慮した適合度判定を行った上で、図6（j）に示すように動画像を貼り合わせ表示してもよい。

10

【0119】

動画像の貼り合わせ表示の場合も基本的な処理の流れは静止画像の貼り合わせ表示の場合と同様であるが、以下の点が異なる。すなわち、

（i）眼科装置10に対して図2（b）に示すような時相データ取得装置50を接続し、動画像と同時に時相データを取得しておく。時相データとは、例えば脈波計により取得された生体信号データである。時相データを参照することで各動画像の心周期、すなわち再生すべき周期が得られる。動画像のフレーム補間処理によって該再生周期を動画像間（撮影位置間もしくは検査間、もしくはその両方）で同一に揃えておく。

【0120】

20

（ii）撮影位置単位での画像形成処理において、輝度異常のフレームを除いた最長の連続したフレーム区間を選択する。

【0121】

（iii）画像群としての適合度判定処理において、以下の方針で適合度判定を行う。

1. 貼り合わせ画像内に画像欠け領域を生じない
2. 再生フレーム数（拍動周期）が撮影位置によって略同一である
3. 再生フレーム数（拍動周期）が検査間で略同一である

【0122】

（iv）画像群としての画像形成処理の（6）において選択されるフレームは、連続したフレーム区間とする。

30

【0123】

これにより、動画像の貼り合わせ表示において画像欠けがなくなり、再生フレーム数が同一の連続したフレームの貼り合わせ動画像が形成される。なお、もし時相データが取得されていない場合には再生時刻を調整せずに動画像として貼り合わせ表示してもよい。

【0124】

以上述べた構成によれば、眼科装置10は、異なる撮影位置の高倍率な補償光学SLO画像を貼り合わせ表示する際に異なる検査で撮影（解析）された領域と比較した場合の観察（解析）不能領域の少なさに基づいて画像群としての適合度を判定する。これにより、観察もしくは解析対象の細胞や組織、及びそれらの病変が複数の高倍率画像の取得位置にまたがっている場合に、略同一の条件で観察もしくは解析可能な画像群を撮像できる。

40

【0125】

【その他の実施形態】

上述の実施形態では画像群の適合度に基づいて再撮像の要否や次画像の撮像条件を自動で指示する場合について説明したが、本発明の実施形態はこれに限定されない。

【0126】

例えばユーザが、指示取得部140を通じて再撮像の必要な画像を指定することで、再撮像要否指示部1341から画像取得部111に対し再撮像を指示するよう構成してもよい。あるいは、ユーザが次の撮影対象画像の位置を指示取得部140を通じて指定することで、撮像条件指示部1342から画像取得部111に対し次画像の撮像条件を指示するよう構成してもよい。この場合、再撮像が必要な画像には識別可能なマーク（例えば色枠

50

) がつけられ、モニタ 305 上に表示される。また、被検眼の特性（中間透光体の混濁等）によって明らかにデータが取得できない撮影位置がある場合には、ユーザが手動で再撮像もしくは撮像しない位置を指定し、画像群としての適合度の判定や、再撮像要否判定もしくは次画像撮像条件設定対象から除外できるよう構成してもよい。

【0127】

上述の実施形態では画像群を 1 つ撮影して適合度を判定する場合について述べたが、本発明の実施形態はこれに限定されない。すなわち、図 15 (a) (b) に示すように 1 回の検査で複数の画像群を撮像する場合には、各画像群で上述の実施形態と同様にして画像群としての適合度を判定して再撮像の要否もしくは次画像の撮像条件を指示する。その後、画像群間の適合度を判定して該画像群間の適合度に基づいて再撮像の要否もしくは次画像の撮像条件を指示してもよい。

10

【0128】

例えば、図 15 (a) のように各撮影位置で異なる倍率の補償光学 SLO 画像を取得して貼り合わせ画像を生成する場合には、まず倍率ごとに画像群としての適合度を判定して再撮像の要否を指示する。それから異なる倍率間での適合度（例えば低倍率画像 D2k 群の撮像領域外にはみ出でていない高倍率画像 D1j 群の論理和領域の面積 / 高倍率画像 D1j 群全体の論理和領域の面積）を判定し、該画像群間の適合度に基づいて再撮像の要否を指示してもよい。

【0129】

また、図 15 (b) に示すように複数の画像群 $M_n D_h j$ を持つ場合（多配置型）には、まず上述の実施形態と同様に各画像群内で適合度を判定して再撮像の要否もしくは次画像の撮像条件を指示する。それから画像群間（例えば隣合う画像群間）の適合度を判定し、該画像群間の適合度に基づいて再撮像の要否もしくは次画像の撮像条件を指示してもよい。画像群間の適合度としては、例えば画像群内の平均輝度の類似度や S / N 比の類似度が挙げられる。なお、多配置型では各画像群は離れていてもよいし、隣接していても良いし、重なりがあっても良い。また、画像群の大きさ（例えば画像群を構成する画像の取得位置数）が画像群間で異なっている場合も本発明に含まれる。

20

【0130】

なお、図 15 (c) に示すように多配置型の画像群が複数倍率で取得された場合には、異なる倍率の画像群間の適合度と異なる取得位置の画像群間の適合度のいずれを先に判定する場合も本発明に含まれる。

30

【0131】

また、上述の実施形態では位置合わせ対象画像を SLO 画像や眼部断層像として実現したが、本発明の実施形態はこれに限定されない。例えば、広画角画像 D1 を眼底カメラ画像、高倍率画像 D h を補償光学眼底カメラ画像として実現してもよい。また、広画角画像 D1 を広画角 SLO 画像、高倍率画像 D h を補償光学断層像の投影像、あるいは広画角画像 D1 を補償光学断層像、高倍率画像を補償光学 SLO 画像のようにモダリティの異なる画像として実現してもよい。また、補償光学 SLO 像撮像装置 20 と断層像撮像装置 60 との複合機と、眼科装置 10 が直接接続された構成として実現してもよい。

【0132】

40

さらに、上述の実施形態では本発明を眼科装置として実現したが、本発明の実施形態は眼科装置のみに限定されない。例えばコンピュータの CPU により実行されるソフトウェアとして実現しても良い。本ソフトウェアを記憶した記憶媒体も本発明を構成することは言うまでもない。

【0133】

ここで、撮影条件を決定する際には、複数の画像の端部と重なり領域とのうち少なくとも一つを利用する事が好ましい。また、張り合わせ画像と複数の画像それぞれの画像よりも広い画角である広画角画像とを比較する比較手段（例えば、図 1 の画像群判定部 133）を更に備える事が好ましい。これにより、判定手段は、比較手段による比較結果に基づいて連続性を示す値を判定することができる。また、決定された撮影条件に基づいて

50

眼部の異なる位置で撮影された複数の画像が張り合わせられた張り合わせ画像や決定された撮影条件を表示手段に表示させる表示制御手段（例えば、図1の表示制御部135）を更に備えることが好ましい。また、貼り合わせ画像から血管を自動的に（あるいはユーザの手動による指示や半自動で）抽出し、抽出された血管における血球の移動速度等が計測されることが好ましい。なお、複数の画像については張り合わせずに、複数の画像それぞれの画像を並べて表示手段に表示させても良いし、1枚ずつ切り替えて表示手段に表示させても良い。

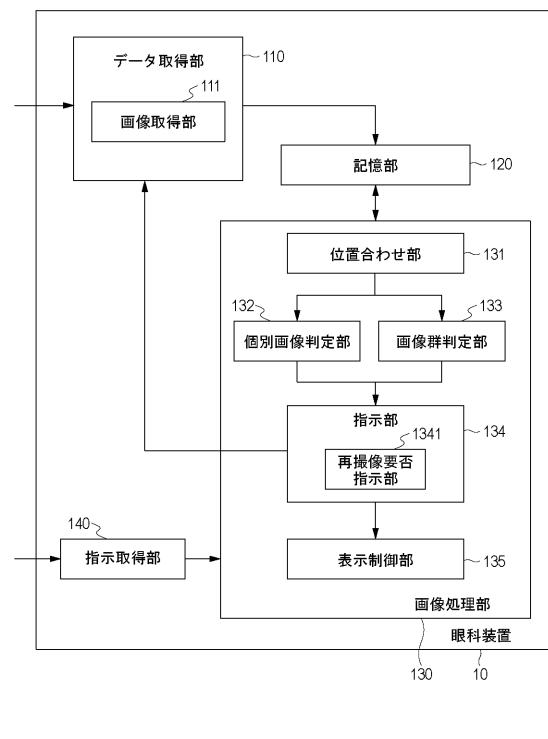
【0134】

[その他の実施形態]

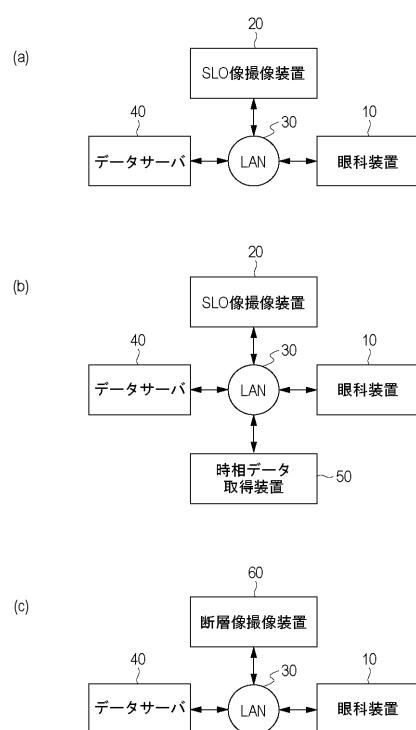
また、本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア（プログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ（またはCPUやMPU等）がプログラムを読み出して実行する処理である。

10

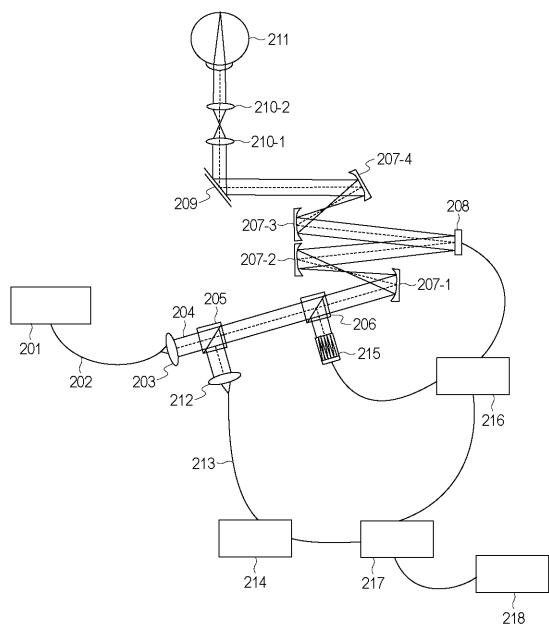
【図1】



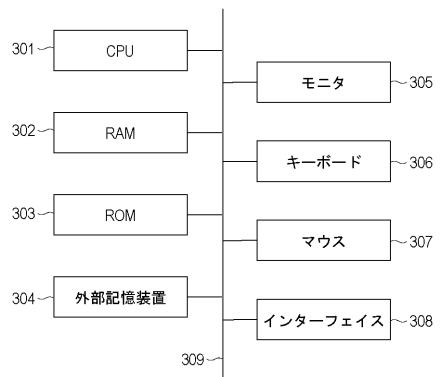
【図2】



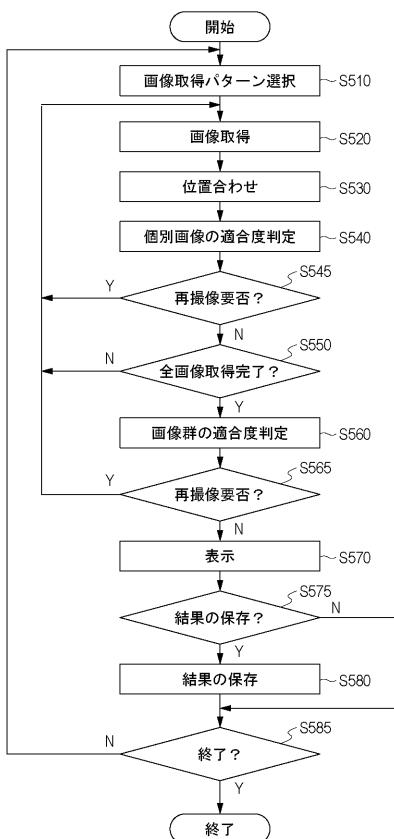
【図3】



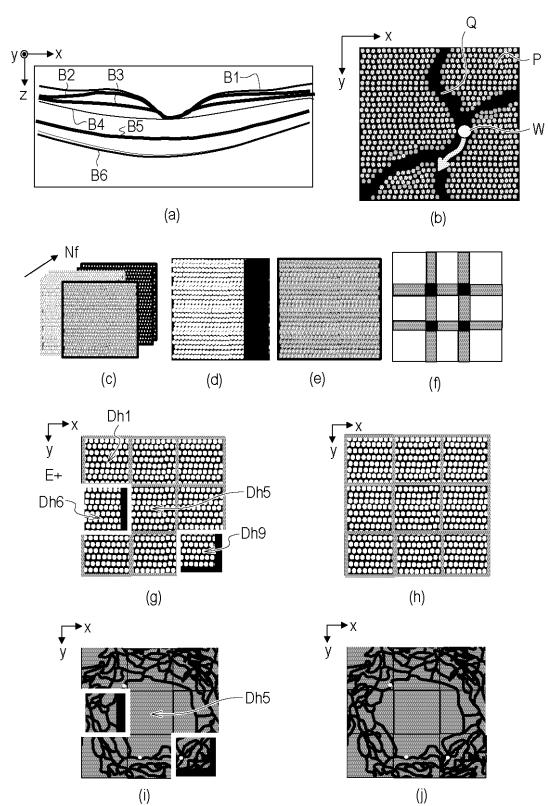
【図4】



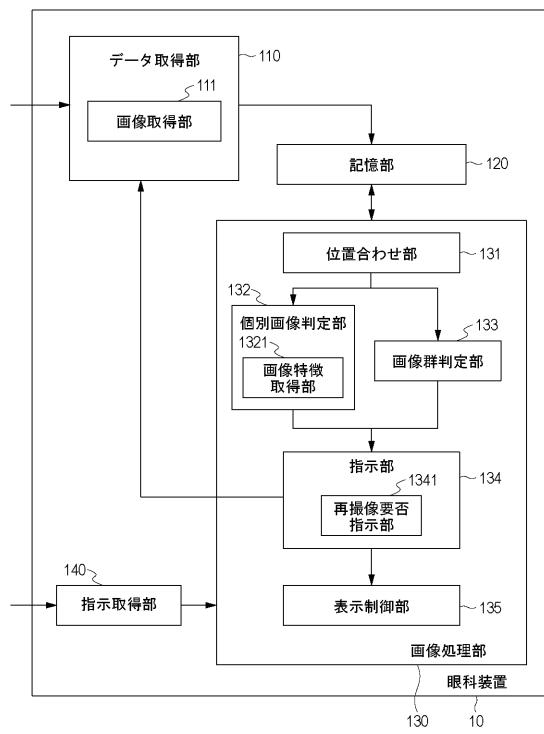
【図5】



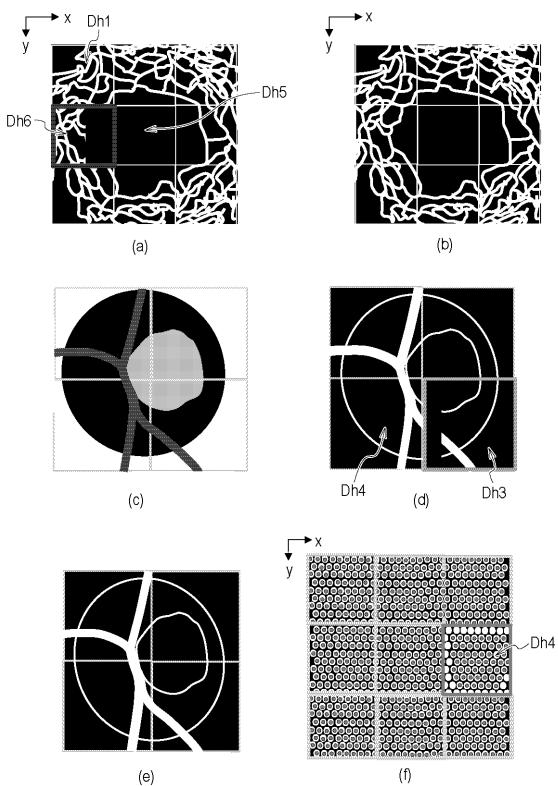
【図6】



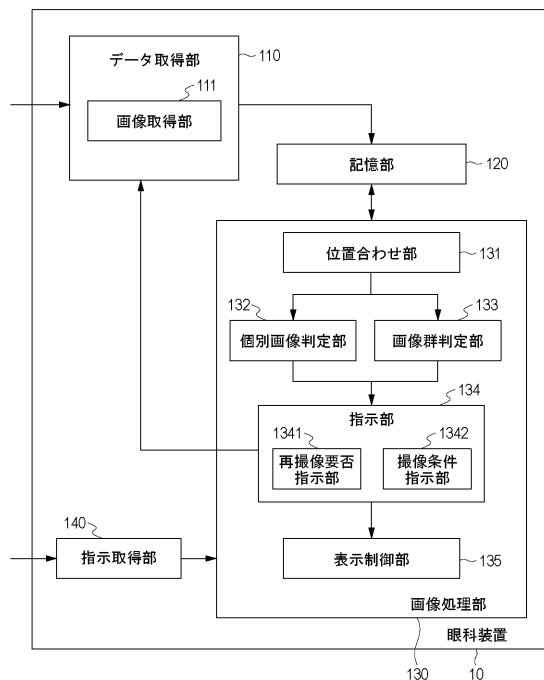
【図7】



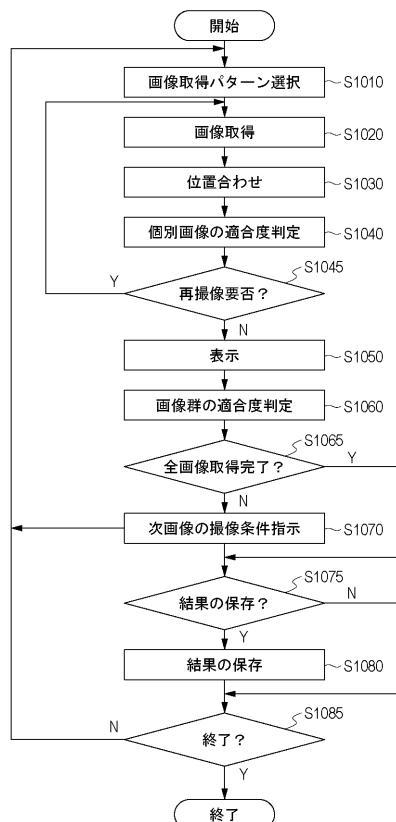
【図8】



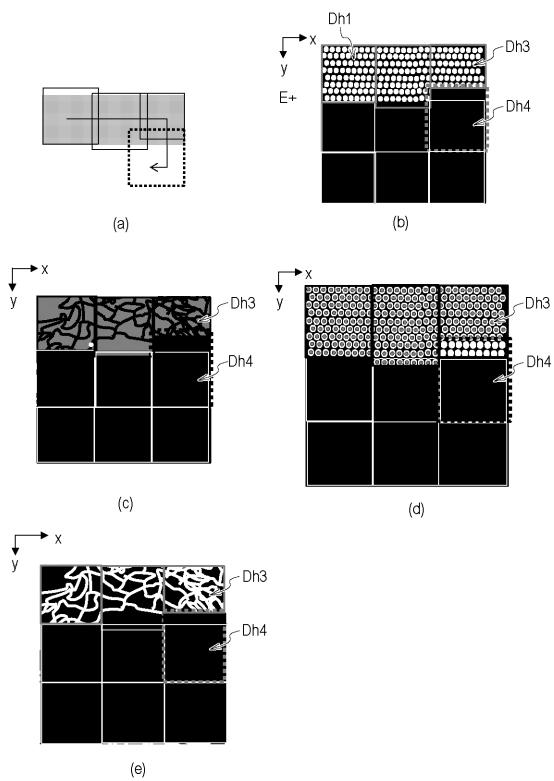
【図9】



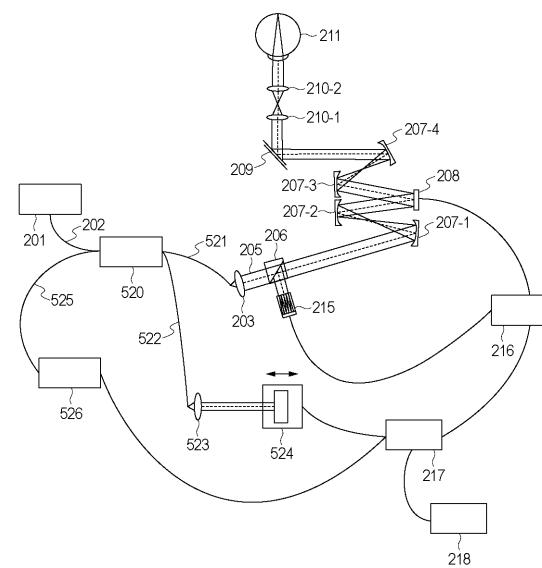
【図10】



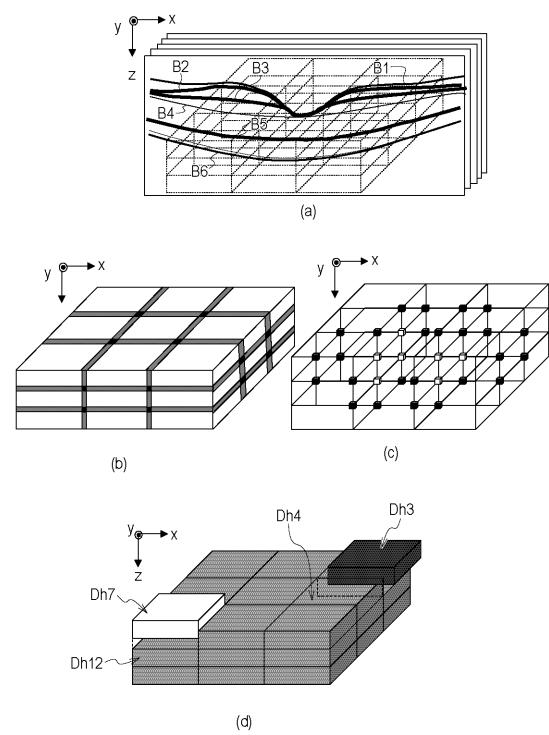
【図11】



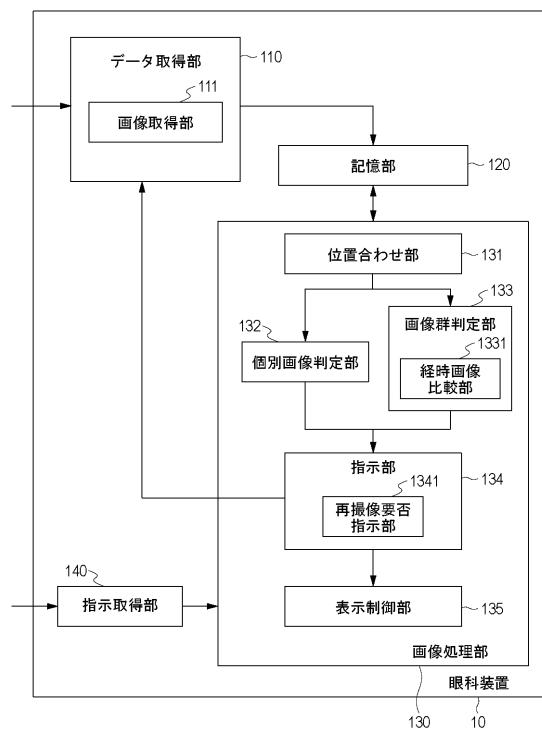
【図12】



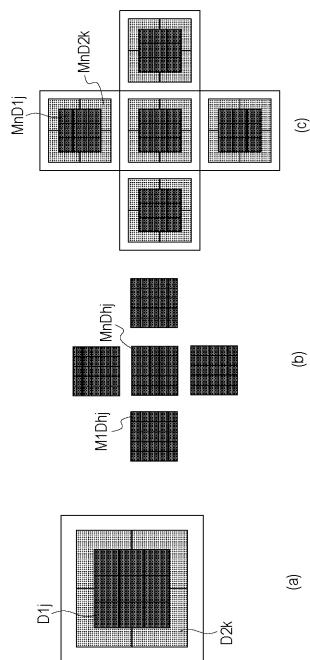
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2012-213513(JP, A)
欧州特許出願公開第02505128(EP, A1)
特開2012-115578(JP, A)
米国特許出願公開第2012/0140172(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 61 B 3 / 00 - 3 / 18