

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5474435号
(P5474435)

(45) 発行日 平成26年4月16日(2014.4.16)

(24) 登録日 平成26年2月14日(2014.2.14)

(51) Int.Cl.

A61B 3/14 (2006.01)
A61B 3/10 (2006.01)

F 1

A 6 1 B 3/14
A 6 1 B 3/10M
R

請求項の数 25 (全 35 頁)

(21) 出願番号 特願2009-177420 (P2009-177420)
 (22) 出願日 平成21年7月30日 (2009.7.30)
 (65) 公開番号 特開2011-30626 (P2011-30626A)
 (43) 公開日 平成23年2月17日 (2011.2.17)
 審査請求日 平成24年5月28日 (2012.5.28)

(73) 特許権者 000220343
 株式会社トプコン
 東京都板橋区蓮沼町75番1号
 (74) 代理人 110000866
 特許業務法人三澤特許事務所
 (72) 発明者 藤村 隆
 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社
 トプコン内
 (72) 発明者 青木 弘幸
 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社
 トプコン内
 審査官 宮川 哲伸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】眼底解析装置及び眼底解析プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

眼底の層構造をそれぞれ描写する複数の断層像を記憶する記憶手段と、
 前記記憶された各断層像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する当該断層像中の層領域を特定する層領域特定手段と、
 前記特定された層領域の形状に基づいて、前記眼底の奥行方向に凸な曲線を求める曲線演算手段と、
 前記特定された層領域と前記求められた曲線とにに基づいて、前記奥行方向の逆方向に向かって前記層領域が突出する突出領域を特定する突出領域特定手段と、

該特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成する形態情報生成手段と、
 を備えることを特徴とする眼底解析装置。 10

【請求項2】

前記曲線演算手段は、前記層領域特定手段により特定された層領域の形状に基づいて、前記層領域中の複数の特徴部位を特定する特徴部位特定手段を含み、該特定された複数の特徴部位に基づいて前記曲線を求める、

ことを特徴とする請求項1に記載の眼底解析装置。

【請求項3】

前記特徴部位特定手段は、前記層領域の形状に基づいて前記奥行方向における前記層領域中の最深部位を特定して前記特徴部位とし、前記最深部位を通過しつつ前記層領域に接する直線を求める、前記層領域と前記直線との接点を前記特徴部位とする、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の眼底解析装置。

【請求項 4】

前記特徴部位特定手段は、前記最深部位を通過する直線を前記最深部位を中心として回転させていくことにより前記接点を順次に特定する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の眼底解析装置。

【請求項 5】

前記特徴部位特定手段は、前記最深部位を通過する直線を前記最深部位を中心として回転させて接点を特定し、該特定された接点を通過する直線を当該接点を中心として回転させて更なる接点を特定する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の眼底解析装置。

10

【請求項 6】

前記曲線演算手段は、前記特定された複数の特徴部位に基づく二次曲線を前記曲線として求める、

ことを特徴とする請求項 2 ~ 請求項 5 のいずれか一項に記載の眼底解析装置。

【請求項 7】

前記曲線演算手段は、前記複数の特徴部位を結んだ折れ線との差が最小になる二次曲線を最小二乗法によって求める、

ことを特徴とする請求項 6 に記載の眼底解析装置。

【請求項 8】

前記曲線演算手段は、予め前記断層像に設定された座標系における前記複数の特徴部位のそれぞれの座標値を二次曲線の方程式に代入して演算することで前記方程式の係数を求める、

20

ことを特徴とする請求項 6 に記載の眼底解析装置。

【請求項 9】

前記突出領域特定手段は、前記層領域と前記曲線との間の前記奥行方向における距離が所定閾値以上となる画像領域を前記突出領域として特定する、

ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか一項に記載の眼底解析装置。

【請求項 10】

前記突出領域特定手段は、前記曲線上の各点と前記層領域との間の前記奥行方向における距離を算出し、該算出された距離が前記所定閾値以上であるか判断し、前記所定閾値以上であると判断された前記曲線上の点の集合と前記層領域とに挟まれた画像領域を特定して前記突出領域とする、

30

ことを特徴とする請求項 9 に記載の眼底解析装置。

【請求項 11】

前記形態情報生成手段は、前記突出領域特定手段により前記各断層像について特定された突出領域に基づいて、前記奥行方向に直交する平面における突出領域の分布状態を表す分布画像を形成する分布画像形成手段と、該形成された分布画像の画素の画素値に基づいて当該分布画像における突出領域の連結成分を特定する連結成分特定手段とを含み、

該特定された連結成分に基づいて前記形態情報を生成する、

ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 10 のいずれか一項に記載の眼底解析装置。

40

【請求項 12】

前記形態情報生成手段は、前記連結成分特定手段により特定された連結成分の個数をカウントするカウント手段を含み、前記カウントにより得られた個数に基づいて前記形態情報を生成する、

ことを特徴とする請求項 11 に記載の眼底解析装置。

【請求項 13】

前記形態情報生成手段は、前記連結成分特定手段により特定された各連結成分のサイズを算出するサイズ算出手段を含み、該算出されたサイズの分布を表すサイズ分布情報を生成して前記形態情報を生成する、

ことを特徴とする請求項 11 に記載の眼底解析装置。

50

【請求項 14】

前記サイズ算出手段は、前記サイズとして前記各連結成分の面積を算出する、ことを特徴とする請求項 13 に記載の眼底解析装置。

【請求項 15】

前記サイズ算出手段は、前記サイズとして前記各連結成分の径を算出する、ことを特徴とする請求項 13 に記載の眼底解析装置。

【請求項 16】

前記サイズ算出手段は、前記各連結成分の面積を算出し、該算出された面積を有する円の径を求めて当該連結成分の径とする、

ことを特徴とする請求項 15 に記載の眼底解析装置。

10

【請求項 17】

前記サイズ算出手段は、前記サイズとして前記各連結成分の体積を算出する、ことを特徴とする請求項 13 に記載の眼底解析装置。

【請求項 18】

前記サイズ算出手段は、前記層領域と前記曲線との間の前記奥行方向における距離を、前記各連結成分にわたって積分することにより当該連結成分の体積を算出する、

ことを特徴とする請求項 17 に記載の眼底解析装置。

【請求項 19】

前記記憶手段は、前記眼底の撮影画像を更に記憶し、

前記形態情報生成手段は、前記撮影画像と前記分布画像との合成画像を形成して前記形態情報とする、

20

ことを特徴とする請求項 11 に記載の眼底解析装置。

【請求項 20】

光源からの光を信号光と参照光とに分割し、被検眼の眼底を経由した前記信号光と参照光路を経由した前記参照光とを重畠させて干渉光を生成して検出する光学系と、

前記干渉光の検出結果に基づいて前記眼底の複数の断層像を形成する画像形成手段と、を更に備え、

前記記憶手段は、前記画像形成手段により形成された複数の断層像を記憶する、ことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 19 のいずれか一項に記載の眼底解析装置。

【請求項 21】

30

眼底の層構造を描写する 3 次元画像を記憶する記憶手段と、

前記記憶された 3 次元画像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する前記 3 次元画像中の層領域を特定する層領域特定手段と、

前記特定された層領域の形状に基づいて、前記眼底の奥行方向に凸な曲面を求める曲面演算手段と、

前記特定された層領域と前記求められた曲面とにに基づいて、前記奥行方向の逆方向に向かって前記層領域が突出する突出領域を特定する突出領域特定手段と、

該特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成する形態情報生成手段と、を備えることを特徴とする眼底解析装置。

【請求項 22】

40

光源からの光を信号光と参照光とに分割し、被検眼の眼底を経由した前記信号光と参照光路を経由した前記参照光とを重畠させて干渉光を生成して検出する光学系と、

前記干渉光の検出結果に基づいて前記眼底の複数の断層像を形成する画像形成手段と、該形成された前記複数の断層像に基づいて 3 次元画像を形成する 3 次元画像形成手段と、

を更に備え、

前記記憶手段は、前記 3 次元画像形成手段により形成された 3 次元画像を記憶する、ことを特徴とする請求項 21 に記載の眼底解析装置。

【請求項 23】

前記光学系は、前記眼底に対する前記信号光の照射位置を複数の走査線に沿って順次に

50

走査する走査手段を含み、

前記画像形成手段は、前記光学系による前記干渉光の検出結果に基づいて、前記複数の走査線のそれぞれに沿った断層像を形成する、

ことを特徴とする請求項 20 又は請求項 22 に記載の眼底解析装置。

【請求項 24】

眼底の層構造をそれぞれ描写する複数の断層像を記憶する記憶手段を有するコンピュータに、

前記記憶された各断層像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する当該断層像中の層領域を特定させ、

前記特定された層領域の形状に基づいて、前記眼底の奥行方向に凸な曲線を求めさせ、

前記特定された層領域と前記求められた曲線とにに基づいて、前記奥行方向の逆方向に向かって前記層領域が突出する突出領域を特定させ、

該特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成させる、

ことを特徴とする眼底解析プログラム。

【請求項 25】

眼底の層構造を描写する 3 次元画像を記憶する記憶手段を有するコンピュータに、

前記記憶された 3 次元画像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する前記 3 次元画像中の層領域を特定させ、

前記特定された層領域の形状に基づいて、前記眼底の奥行方向に凸な曲面を求めさせ、

前記特定された層領域と前記求められた曲面とにに基づいて、前記奥行方向の逆方向に向かって前記層領域が突出する突出領域を特定させ、

該特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成させる、

ことを特徴とする眼底解析プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、光コヒーレンストモグラフィ (Optical Coherence Tomography : OCT) を用いて形成された眼底の画像を解析する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、レーザ光源等からの光ビームを用いて被測定物体の表面形態や内部形態を表す画像を形成する OCT が注目を集めている。OCT は、X 線 CT のような人体に対する侵襲性を持たないことから、特に医療分野や生物学分野における応用の展開が期待されている。たとえば眼科分野においては、眼底や角膜等の画像を形成する装置が実用化段階に入っている。

【0003】

特許文献 1 には OCT を適用した装置が開示されている。この装置は、測定腕が回転式転向鏡 (ガルバノミラー) により物体を走査し、参照腕に参照ミラーが設置されており、その出口に計測腕及び参照腕からの光束の干渉光の強度を分光器で分析する干渉器が設けられている。更に、参照腕は、参照光光束位相を不連続な値で段階的に変えるように構成されている。

【0004】

特許文献 1 の装置は、いわゆる「フーリエドメイン OCT (Fourier Domain OCT)」の手法を用いるものである。すなわち、被測定物体に対して低コヒーレンス光のビームを照射し、その反射光と参照光とを重ね合わせて干渉光を生成し、この干渉光のスペクトル強度分布を取得してフーリエ変換を施すことにより被測定物体の深度方向 (z 方向) の形態を画像化するものである。なお、このタイプの手法は、特にスペクトラルドメイン (Spectral Domain) とも呼ばれる。

【0005】

更に、特許文献 1 に記載の装置は、光ビーム (信号光) を走査するガルバノミラーを備

10

20

30

40

50

え、それにより被測定物体の所望の測定対象領域の画像を形成するようになっている。この装置においては、 z 方向に直交する 1 方向 (x 方向) にのみ光ビームを走査するよう構成されているので、この装置により形成される画像は、光ビームの走査方向 (x 方向) に沿った深度方向 (z 方向) の 2 次元断層像となる。

【0006】

特許文献 2 には、信号光を水平方向 (x 方向) 及び垂直方向 (y 方向) に走査 (スキャン) することにより水平方向の 2 次元断層像を複数形成し、これら複数の断層像に基づいて測定範囲の 3 次元の断層情報を取得して画像化する技術が開示されている。この 3 次元画像化としては、たとえば、複数の断層像を垂直方向に並べて表示させる方法や (スタックデータなどと呼ばれる)、複数の断層像にレンダリング処理を施して 3 次元画像を形成する方法などが考えられる。10

【0007】

特許文献 3、4 には、他のタイプの OCT 装置が開示されている。特許文献 3 には、被測定物体に照射される光の波長を走査し、各波長の光の反射光と参照光とを重ね合わせて得られる干渉光に基づいてスペクトル強度分布を取得し、それに対してフーリエ変換を施すことにより被測定物体の形態を画像化する OCT 装置が記載されている。このような OCT 装置は、スウェプトソース (Swept Source) タイプなどと呼ばれる。スウェプトソースタイプはフーリエドメインタイプの一種である。

【0008】

また、特許文献 4 には、所定のビーム径を有する光を被測定物体に照射し、その反射光と参照光とを重ね合わせて得られる干渉光の成分を解析することにより、光の進行方向に直交する断面における被測定物体の画像を形成する OCT 装置が記載されている。このような OCT 装置は、フルフィールド (full-field) タイプ、或いはインフェース (en-face) タイプなどと呼ばれる。20

【0009】

特許文献 5 には、OCT を眼科分野に適用した構成が開示されている。この文献に記載された装置は、眼底を撮影して眼底像を形成する機能と、OCT を用いて眼底を計測して断層像や 3 次元画像 (まとめて OCT 画像と呼ぶことがある) を形成する機能とを備える。更に、この装置は、断層像を解析して、眼底を構成する層組織に相当する画像領域を特定する。特定対象の層組織としては、内境界膜、神経纖維層、神経節細胞層、内網状層、内顆粒層、外網状層、外顆粒層、外境界膜、視細胞層、網膜色素上皮層などがある。なお、眼底は複数の層組織が重なって構成されるので、層組織に相当する画像領域を求めるごとに、隣接する層組織の境界位置に相当する画像領域を求めるることは同義である。なお、OCT が応用される以前から、眼底を観察するための装置としては眼底カメラが広く使用されている (たとえば特許文献 6 を参照)。30

【0010】

OCT を用いた装置は、高精細の画像を取得できる点、更には断層像や 3 次元画像を取得できる点などにおいて、眼底カメラ等に対して優位性を持つ。

【0011】

ところで近年、加齢黄斑変性症と呼ばれる眼疾患が注目を集めている。加齢黄斑変性症は、網膜の黄斑部の機能が老化によって低下するために起こる疾患であり、視界がゆがむ、視力が低下する、視野が部分的に見えにくくなる、周囲は正常に見えるが見ようとするものが見えない、などといった症状を引き起こす。40

【0012】

加齢黄斑変性症 (滲出型) は次のようなメカニズムで発症すると考えられている。正常な網膜細胞は新陳代謝を繰り返している。新陳代謝で生じる老廃物は正常であれば網膜色素上皮内で消化されて消えてしまう。しかし加齢により網膜色素上皮の働きが低下すると、未消化の老廃物がブルラッフ膜と網膜色素上皮層との間に溜まる。この状態の眼底を撮影すると、老廃物はドルーゼンと呼ばれる白い塊として認識される。老廃物が蓄積すると弱い炎症反応が起こる。そうすると特定の化学物質 (ケミカルメディエータ) が産出されて50

炎症の治癒を促す。しかし、ケミカルメディエータには血管の発生を促す因子が存在し、それにより脈絡膜から新たな血管（新生血管）が生えてくる。新生血管がブルッフ膜を突き破って網膜色素上皮層の下または上まで侵入して増殖すると、血液や血液成分の滲出が激しくなって黄斑の機能低下が顕著になる。

【0013】

加齢黄斑変性症の診断ではドルーゼンの存在や分布が重要となる。従来、ドルーゼンの状態を把握するためには主として眼底像（眼底カメラによる撮影画像）が用いられていた（たとえば特許文献7を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

【0014】

【特許文献1】特開平11-325849号公報

【特許文献2】特開2002-139421号公報

【特許文献3】特開2007-24677号公報

【特許文献4】特開2006-153838号公報

【特許文献5】特開2008-73099号公報

【特許文献6】特開平9-276232号公報

【特許文献7】特開2008-295804号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0015】

前述のようにドルーゼンは白い塊として眼底像に描写される。比較的大きなドルーゼンについては目視観察や画像解析により眼底像中から見つけることは可能であるが、比較的小さなドルーゼンについては周囲の正常部位との色や明るさの差が小さいために、これを発見することは困難であった。

【0016】

加齢黄斑変性症では早期治療が重要であるが、小さなドルーゼンを発見できないことは発症の早期発見の障害となる。また、小さなドルーゼンを発見できないと、実際にドルーゼンがどのように分布しているか正確に把握することができない。

【0017】

30

また、眼底にレーザ治療の跡や網膜剥離などが存在すると、眼底像ではこれらとドルーゼンとの区別が難しい場合があった。

【0018】

この発明は、以上のような問題を解決するためになされたもので、その目的は、ドルーゼンを効果的に検出することが可能な眼底解析装置及び眼底解析プログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0019】

上記目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、眼底の層構造をそれぞれ描写する複数の断層像を記憶する記憶手段と、前記記憶された各断層像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する当該断層像中の層領域を特定する層領域特定手段と、前記特定された層領域の形状に基づいて、前記眼底の奥行方向に凸な曲線を求める曲線演算手段と、前記特定された層領域と前記求められた曲線とにに基づいて、前記奥行方向の逆方向に向かって前記層領域が突出する突出領域を特定する突出領域特定手段と、該特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成する形態情報生成手段と、を備えることを特徴とする眼底解析装置である。

40

また、請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の眼底解析装置であって、前記曲線演算手段は、前記層領域特定手段により特定された層領域の形状に基づいて、前記層領域中の複数の特徴部位を特定する特徴部位特定手段を含み、該特定された複数の特徴部位に基づいて前記曲線を求める、ことを特徴とする。

50

また、請求項 3 に記載の発明は、請求項 2 に記載の眼底解析装置であって、前記特徴部位特定手段は、前記層領域の形状に基づいて前記奥行方向における前記層領域中の最深部位を特定して前記特徴部位とし、前記最深部位を通過しつつ前記層領域に接する直線を求める、前記層領域と前記直線との接点を前記特徴部位とする、ことを特徴とする。

また、請求項 4 に記載の発明は、請求項 3 に記載の眼底解析装置であって、前記特徴部位特定手段は、前記最深部位を通過する直線を前記最深部位を中心として回転させていくことにより前記接点を順次に特定する、ことを特徴とする。

また、請求項 5 に記載の発明は、請求項 3 に記載の眼底解析装置であって、前記特徴部位特定手段は、前記最深部位を通過する直線を前記最深部位を中心として回転させて接点を特定し、該特定された接点を通過する直線を当該接点を中心として回転させて更なる接点を特定する、ことを特徴とする。
10

また、請求項 6 に記載の発明は、請求項 2 ~ 請求項 5 のいずれか一項に記載の眼底解析装置であって、前記曲線演算手段は、前記特定された複数の特徴部位に基づく二次曲線を前記曲線として求める、ことを特徴とする。

また、請求項 7 に記載の発明は、請求項 6 に記載の眼底解析装置であって、前記曲線演算手段は、前記複数の特徴部位を結んだ折れ線との差が最小になる二次曲線を最小二乗法によって求める、ことを特徴とする。

また、請求項 8 に記載の発明は、請求項 6 に記載の眼底解析装置であって、前記曲線演算手段は、予め前記断層像に設定された座標系における前記複数の特徴部位のそれぞれの座標値を二次曲線の方程式に代入して演算することで前記方程式の係数を求める、ことを特徴とする。
20

また、請求項 9 に記載の発明は、請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれか一項に記載の眼底解析装置であって、前記突出領域特定手段は、前記層領域と前記曲線との間の前記奥行方向における距離が所定閾値以上となる画像領域を前記突出領域として特定する、ことを特徴とする。

また、請求項 10 に記載の発明は、請求項 9 に記載の眼底解析装置であって、前記突出領域特定手段は、前記曲線上の各点と前記層領域との間の前記奥行方向における距離を算出し、該算出された距離が前記所定閾値以上であるか判断し、前記所定閾値以上であると判断された前記曲線上の点の集合と前記層領域とに挟まれた画像領域を特定して前記突出領域とする、ことを特徴とする。
30

また、請求項 11 に記載の発明は、請求項 1 ~ 請求項 10 のいずれか一項に記載の眼底解析装置であって、前記形態情報生成手段は、前記突出領域特定手段により前記各断層像について特定された突出領域に基づいて、前記奥行方向に直交する平面における突出領域の分布状態を表す分布画像を形成する分布画像形成手段と、該形成された分布画像の画素の画素値に基づいて当該分布画像における突出領域の連結成分を特定する連結成分特定手段とを含み、該特定された連結成分に基づいて前記形態情報を生成する、ことを特徴とする。

また、請求項 12 に記載の発明は、請求項 11 に記載の眼底解析装置であって、前記形態情報生成手段は、前記連結成分特定手段により特定された連結成分の個数をカウントするカウント手段を含み、前記カウントにより得られた個数に基づいて前記形態情報を生成する、ことを特徴とする。
40

また、請求項 13 に記載の発明は、請求項 11 に記載の眼底解析装置であって、前記形態情報生成手段は、前記連結成分特定手段により特定された各連結成分のサイズを算出するサイズ算出手段を含み、該算出されたサイズの分布を表すサイズ分布情報を生成して前記形態情報をとする、ことを特徴とする。

また、請求項 14 に記載の発明は、請求項 13 に記載の眼底解析装置であって、前記サイズ算出手段は、前記サイズとして前記各連結成分の面積を算出する、ことを特徴とする。

また、請求項 15 に記載の発明は、請求項 13 に記載の眼底解析装置であって、前記サイズ算出手段は、前記サイズとして前記各連結成分の径を算出する、ことを特徴とする。
50

また、請求項 16 に記載の発明は、請求項 15 に記載の眼底解析装置であって、前記サイズ算出手段は、前記各連結成分の面積を算出し、該算出された面積を有する円の径を求めて当該連結成分の径とする、ことを特徴とする。

また、請求項 17 に記載の発明は、請求項 13 に記載の眼底解析装置であって、前記サイズ算出手段は、前記サイズとして前記各連結成分の体積を算出する、ことを特徴とする。

また、請求項 18 に記載の発明は、請求項 17 に記載の眼底解析装置であって、前記サイズ算出手段は、前記層領域と前記曲線との間の前記奥行方向における距離を、前記各連結成分にわたって積分することにより当該連結成分の体積を算出する、ことを特徴とする。

また、請求項 19 に記載の発明は、請求項 11 に記載の眼底解析装置であって、前記記憶手段は、前記眼底の撮影画像を更に記憶し、前記形態情報生成手段は、前記撮影画像と前記分布画像との合成画像を形成して前記形態情報とする、ことを特徴とする。

また、請求項 20 に記載の発明は、請求項 1 ~ 請求項 19 のいずれか一項に記載の眼底解析装置であって、光源からの光を信号光と参照光とに分割し、被検眼の眼底を経由した前記信号光と参照光路を経由した前記参照光とを重畳させて干渉光を生成して検出する光学系と、前記干渉光の検出結果に基づいて前記眼底の複数の断層像を形成する画像形成手段と、を更に備え、前記記憶手段は、前記画像形成手段により形成された複数の断層像を記憶する、ことを特徴とする。

また、請求項 21 に記載の発明は、眼底の層構造を描写する 3 次元画像を記憶する記憶手段と、前記記憶された 3 次元画像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する前記 3 次元画像中の層領域を特定する層領域特定手段と、前記特定された層領域の形状に基づいて、前記眼底の奥行方向に凸な曲面を求める曲面演算手段と、前記特定された層領域と前記求められた曲面とにに基づいて、前記奥行方向の逆方向に向かって前記層領域が突出する突出領域を特定する突出領域特定手段と、該特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成する形態情報生成手段と、を備えることを特徴とする眼底解析装置である。

また、請求項 22 に記載の発明は、請求項 21 に記載の眼底解析装置であって、光源からの光を信号光と参照光とに分割し、被検眼の眼底を経由した前記信号光と参照光路を経由した前記参照光とを重畳させて干渉光を生成して検出する光学系と、前記干渉光の検出結果に基づいて前記眼底の複数の断層像を形成する画像形成手段と、該形成された前記複数の断層像に基づいて 3 次元画像を形成する 3 次元画像形成手段と、を更に備え、前記記憶手段は、前記 3 次元画像形成手段により形成された 3 次元画像を記憶する、ことを特徴とする。

また、請求項 23 に記載の発明は、請求項 20 又は請求項 22 に記載の眼底解析装置であって、前記光学系は、前記眼底に対する前記信号光の照射位置を複数の走査線に沿って順次に走査する走査手段を含み、前記画像形成手段は、前記光学系による前記干渉光の検出結果に基づいて、前記複数の走査線のそれぞれに沿った断層像を形成する、ことを特徴とする。

また、請求項 24 に記載の発明は、眼底の層構造をそれぞれ描写する複数の断層像を記憶する記憶手段を有するコンピュータに、前記記憶された各断層像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する当該断層像中の層領域を特定させ、前記特定された層領域の形状に基づいて、前記眼底の奥行方向に凸な曲線を求めさせ、前記特定された層領域と前記求められた曲線とにに基づいて、前記奥行方向の逆方向に向かって前記層領域が突出する突出領域を特定させ、該特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成させる、ことを特徴とする眼底解析プログラムである。

また、請求項 25 に記載の発明は、眼底の層構造を描写する 3 次元画像を記憶する記憶手段を有するコンピュータに、前記記憶された 3 次元画像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する前記 3 次元画像中の層領域を特定させ、前記特定された層領域の形状に基づいて、前記眼底の奥行方向に凸な曲面を求めさせ、前記特定された層領域と前記求められた曲面とにに基づいて、前記奥行方向の逆方向に向かって前記層領域が突出する

10

20

30

40

50

突出領域を特定させ、該特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成させる、ことを特徴とする眼底解析プログラムである。

【発明の効果】

【0020】

この発明に係る眼底解析装置及び眼底解析プログラムの第1の態様によれば、眼底の層構造をそれぞれ描写する複数の断層像のそれぞれについて、その断層像の画素の画素値に基づいて網膜色素上皮層に相当する層領域を特定し、この層領域の形状に基づいて眼底の奥行方向に凸な曲線を求め、この層領域とこの曲線とに基づいてこの層領域の突出領域を特定し、この突出領域の形態を表す形態情報を生成するように構成されているので、ドルーゼンの可能性がある網膜色素上皮層の突出部分をそれぞれ個別に把握することができ、それにより小さなドルーゼンであっても検出することが可能となる。また、断層像に基づいてドルーゼンに特徴的な突出領域を特定するように構成されているので、ドルーゼンを効果的に検出することが可能である。

10

【0021】

この発明に係る眼底解析装置及び眼底解析プログラムの第2の態様によれば、眼底の層構造を描写する3次元画像の画素の画素値に基づいて網膜色素上皮層に相当する層領域を特定し、この層領域の形状に基づいて眼底の奥行方向に凸な曲面を求め、この層領域とこの曲面とに基づいてこの層領域の突出領域を特定し、この突出領域の形態を表す形態情報を生成するように構成されているので、ドルーゼンの可能性がある網膜色素上皮層の突出部分をそれぞれ個別に把握することができ、それにより小さなドルーゼンであっても検出することが可能となる。また、3次元画像に基づいてドルーゼンに特徴的な突出領域を特定するように構成されているので、ドルーゼンを効果的に検出することが可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】この発明に係る眼底解析装置の実施形態の構成の一例を表す概略図である。

【図2】この発明に係る眼底解析装置の実施形態の構成の一例を表す概略図である。

【図3】この発明に係る眼底解析装置の実施形態の構成の一例を表す概略ブロック図である。

【図4】この発明に係る眼底解析装置の実施形態の構成の一例を表す概略ブロック図である。

30

【図5】この発明に係る眼底解析装置の実施形態が実行する処理の一例を説明するための概略図である。

【図6】この発明に係る眼底解析装置の実施形態が実行する処理の一例を説明するための概略図である。

【図7】この発明に係る眼底解析装置の実施形態が実行する処理の一例を説明するための概略図である。

【図8】この発明に係る眼底解析装置の実施形態が実行する処理の一例を説明するための概略図である。

【図9】この発明に係る眼底解析装置の実施形態が実行する処理の一例を説明するための概略図である。

40

【図10】この発明に係る眼底解析装置の実施形態の動作の一例を表すフローチャートである。

【図11】この発明に係る眼底解析装置の実施形態が表示する解析結果表示画面の一例を表す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

この発明に係る眼底解析装置及び眼底解析プログラムの実施形態の一例について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0024】

この発明に係る眼底解析装置は、眼底のOCT画像（断層像、3次元画像）を解析する

50

コンピュータであってもよいし、光コヒーレンストモグラフィを用いて眼底の断層像を形成することが可能なOCT装置であってもよい。後者のOCT装置には前者のコンピュータが含まれる。よって、以下においては後者のOCT装置について特に詳しく説明する。

【0025】

OCT装置としての眼底解析装置は、被検眼の眼底のOCT画像を形成できるものであればどのようなタイプであってもよい。以下の実施形態では、フーリエドメインタイプについて特に詳しく説明する。なお、この発明の特徴の中心は眼底のOCT画像を解析する処理にあるので、スウェットソースタイプやインファスタイルなどの他のタイプのOCT装置であっても同様に構成することが可能である。OCT画像を形成するための計測動作をOCT計測と呼ぶことがある。

10

【0026】

以下に説明する眼底解析装置は、特許文献5に開示された装置と同様に、眼底のOCT画像及び眼底像の双方を取得可能とされる。

【0027】

【構成】

図1及び図2に示すように、眼底解析装置1は、眼底カメラユニット2、OCTユニット100及び演算制御ユニット200を含んで構成される。眼底カメラユニット2は、従来の眼底カメラとほぼ同様の光学系を有する。OCTユニット100には、眼底のOCT画像を取得するための光学系が設けられている。演算制御ユニット200は、各種の演算処理や制御処理等を実行するコンピュータを具備している。

20

【0028】

【眼底カメラユニット】

図1に示す眼底カメラユニット2には、被検眼Eの眼底Efの表面形態を表す2次元画像(眼底像)を形成するための光学系が設けられている。眼底像には、観察画像や撮影画像などが含まれる。観察画像は、たとえば、近赤外光を用いて所定のフレームレートで形成されるモノクロの動画像である。撮影画像は、たとえば、可視光をフラッシュ発光して得られるカラー画像である。なお、眼底カメラユニット2は、これら以外の画像、たとえばフルオレセイン蛍光画像やインドシアニングリーン蛍光画像や自発蛍光画像などを取得可能に構成されていてもよい。

30

【0029】

眼底カメラユニット2には、従来の眼底カメラと同様に、被検者の顔が動かないように支えるための顎受けや額当てが設けられている。更に、眼底カメラユニット2には、従来の眼底カメラと同様に照明光学系10と撮影光学系30が設けられている。照明光学系10は眼底Efに照明光を照射する。撮影光学系30は、この照明光の眼底反射光を撮像装置(CCDイメージセンサ35、38)に導く。また、撮影光学系30は、OCTユニット100からの信号光を眼底Efに導くとともに、眼底Efを経由した信号光をOCTユニット100に導く。

【0030】

照明光学系10の観察光源11は、たとえばハロゲンランプにより構成される。観察光源11から出力された光(観察照明光)は、曲面状の反射面を有する反射ミラー12により反射され、集光レンズ13を経由し、可視カットフィルタ14を透過して近赤外光となる。更に、観察照明光は、撮影光源15の近傍にて一旦集束し、ミラー16により反射され、リレーレンズ17、18、絞り19及びリレーレンズ20を経由する。そして、観察照明光は、孔開きミラー21の周辺部(孔部の周囲の領域)にて反射され、対物レンズ22を経由して眼底Efを照明する。

40

【0031】

観察照明光の眼底反射光は、対物レンズ22により屈折され、孔開きミラー21の中心領域に形成された孔部を通過し、ダイクロイックミラー55を透過し、合焦レンズ31を経由し、ダイクロイックミラー32により反射される。更に、この眼底反射光は、ハーフミラー40を透過し、ダイクロイックミラー33により反射され、集光レンズ34により

50

CCDイメージセンサ35の受光面に結像される。CCDイメージセンサ35は、たとえば所定のフレームレートで眼底反射光を検出する。表示装置3には、CCDイメージセンサ35により検出された眼底反射光に基づく画像(観察画像)Kが表示される。

【0032】

撮影光源15は、たとえばキセノンランプにより構成される。撮影光源15から出力された光(撮影照明光)は、観察照明光と同様の経路を通って眼底Efに照射される。撮影照明光の眼底反射光は、観察照明光のそれと同様の経路を通ってダイクロイックミラー33まで導かれ、ダイクロイックミラー33を透過し、ミラー36により反射され、集光レンズ37によりCCDイメージセンサ38の受光面に結像される。表示装置3には、CCDイメージセンサ38により検出された眼底反射光に基づく画像(撮影画像)Hが表示される。なお、観察画像Kを表示する表示装置3と撮影画像Hを表示する表示装置3は、同一のものであってもよいし、異なるものであってもよい。

【0033】

LCD(Liquid Crystal Display)39は、固視標や視力測定用視標を表示する。固視標は被検眼Eを固視させるための視標であり、眼底撮影時やOTC計測時などに使用される。

【0034】

LCD39から出力された光は、その一部がハーフミラー40にて反射され、ダイクロイックミラー32に反射され、合焦レンズ31及びダイクロイックミラー55を経由し、孔開きミラー21の孔部を通過し、対物レンズ22により屈折されて眼底Efに投影される。

【0035】

LCD39の画面上における固視標の表示位置を変更することにより、被検眼Eの固視位置を変更できる。被検眼Eの固視位置としては、たとえば従来の眼底カメラと同様に、眼底Efの黄斑部を中心とする画像を取得するための位置や、視神経乳頭を中心とする画像を取得するための位置や、黄斑部と視神経乳頭との間の眼底中心を中心とする画像を取得するための位置などがある。

【0036】

更に、眼底カメラユニット2には、従来の眼底カメラと同様にアライメント光学系50とフォーカス光学系60が設けられている。アライメント光学系50は、被検眼Eに対する装置光学系の位置合わせ(アライメント)を行うための視標(アライメント視標)を生成する。フォーカス光学系60は、眼底Efに対してフォーカス(ピント)を合わせるための視標(スプリット視標)を生成する。

【0037】

アライメント光学系50のLED(Light Emission Diode)51から出力された光(アライメント光)は、絞り52、53及びリレーレンズ54を経由してダイクロイックミラー55により反射され、孔開きミラー21の孔部を通過し、対物レンズ22により被検眼Eの角膜に投影される。

【0038】

アライメント光の角膜反射光は、対物レンズ22及び上記孔部を経由し、その一部がダイクロイックミラー55を透過し、合焦レンズ31を通過し、ダイクロイックミラー32により反射され、ハーフミラー40を透過し、ダイクロイックミラー33に反射され、集光レンズ34によりCCDイメージセンサ35の受光面に投影される。CCDイメージセンサ35による受光像(アライメント視標)は、観察画像Kとともに表示装置3に表示される。ユーザは、従来の眼底カメラと同様の操作を行ってアライメントを実施する。また、演算制御ユニット200がアライメント視標の位置を解析して光学系を移動させることによりアライメントを行ってもよい。

【0039】

フォーカス調整を行う際には、照明光学系10の光路上に反射棒67の反射面が斜設される。フォーカス光学系60のLED61から出力された光(フォーカス光)は、リレー

10

20

30

40

50

レンズ 6 2 を通過し、スプリット視標板 6 3 により二つの光束に分離され、二孔絞り 6 4 を通過し、ミラー 6 5 に反射され、集光レンズ 6 6 により反射棒 6 7 の反射面に一旦結像されて反射される。更に、フォーカス光は、リレーレンズ 2 0 を経由し、孔開きミラー 2 1 に反射され、対物レンズ 2 2 により眼底 E f に結像される。

【0040】

フォーカス光の眼底反射光は、アライメント光の角膜反射光と同様の経路を通って C C D イメージセンサ 3 5 により検出される。C C D イメージセンサ 3 5 による受光像（スプリット視標）は、観察画像とともに表示装置 3 に表示される。演算制御ユニット 2 0 0 は、従来と同様に、スプリット視標の位置を解析して合焦レンズ 3 1 及びフォーカス光学系 6 0 を移動させてピント合わせを行う。また、スプリット視標を視認しつつ手動でピント合わせを行ってもよい。 10

【0041】

ダイクロイックミラー 3 2 の後方には、ミラー 4 1、コリメータレンズ 4 2、及びガルバノミラー 4 3、4 4 を含む光路が設けられている。この光路は OCT ユニット 1 0 0 に導かれている。

【0042】

ガルバノミラー 4 4 は、OCT ユニット 1 0 0 からの信号光 L S を x 方向に走査する。ガルバノミラー 4 3 は、信号光 L S を y 方向に走査する。これら二つのガルバノミラー 4 3、4 4 により、信号光 L S を x y 平面上の任意の方向に走査することができる。 20

【0043】

【OCT ユニット】

OCT ユニット 1 0 0 には、眼底 E f の断層像を取得するための光学系が設けられている（図 2 を参照）。この光学系は、従来のフーリエドメインタイプの OCT 装置と同様の構成を有する。すなわち、この光学系は、低コヒーレンス光を参照光と信号光に分割し、眼底 E f を経由した信号光と参照光路を経由した参照光とを干渉させて干渉光を生成し、この干渉光のスペクトル成分を検出するように構成されている。この検出結果（検出信号）は演算制御ユニット 2 0 0 に送られる。 20

【0044】

光源ユニット 1 0 1 は広帯域の低コヒーレンス光 L 0 を出力する。低コヒーレンス光 L 0 は、たとえば、近赤外領域の波長帯（約 800 nm ~ 900 nm 程度）を含み、数十マイクロメートル程度の時間的コヒーレンス長を有する。なお、人眼では視認できない波長帯、たとえば 1050 ~ 1060 nm 程度の中心波長を有する近赤外光を低コヒーレンス光 L 0 として用いてもよい。 30

【0045】

光源ユニット 1 0 1 は、スーパールミネセントダイオード（Super Luminescent Diode : SLD）や、LED や、SOA（Semiconductor Optical Amplifier）等の光出力デバイスを含んで構成される。

【0046】

光源ユニット 1 0 1 から出力された低コヒーレンス光 L 0 は、光ファイバ 1 0 2 によりファイバカプラ 1 0 3 に導かれて信号光 L S と参照光 L R に分割される。なお、ファイバカプラ 1 0 3 は、光を分割する手段（スプリッタ； splitter）、及び、光を合成する手段（カプラ； coupler）の双方の作用を有するが、ここでは慣用的に「ファイバカプラ」と称する。 40

【0047】

信号光 L S は、光ファイバ 1 0 4 により導光され、コリメータレンズユニット 1 0 5 により平行光束となる。更に、信号光 L S は、各ガルバノミラー 4 4、4 3 により反射され、コリメータレンズ 4 2 により集光され、ミラー 4 1 により反射され、ダイクロイックミラー 3 2 を透過し、LCD 3 9 からの光と同じ経路を通って眼底 E f に照射される。信号光 L S は、眼底 E f において散乱、反射される。この散乱光及び反射光をまとめて信号光 L S の眼底反射光と称することがある。信号光 L S の眼底反射光は、同じ経路を逆向きに 50

進行してファイバカプラ 103 に導かれる。眼底 E_f に対する信号光 L_S の照射方向 (+ z 方向) は、眼底 E_f の表面 (網膜表面) から深部に向かう方向であるから、これを奥行方向と呼ぶことにする。また、 z 軸に沿う方向を深度方向と呼ぶことにする。

【0048】

参照光 L_R は、光ファイバ 106 により導光され、コリメータレンズユニット 107 により平行光束となる。更に、参照光 L_R は、ミラー 108、109、110 により反射され、 ND (Neutral Density) フィルタ 111 により減光され、ミラー 112 に反射され、コリメータレンズ 113 により参照ミラー 114 の反射面に結像される。参照ミラー 114 に反射された参照光 L_R は、同じ経路を逆向きに進行してファイバカプラ 103 に導かれる。なお、分散補償用の光学素子 (ペアプリズム等) や、偏光補正用の光学素子 (波長板等) を参照光 L_R の光路 (参照光路) に設けてもよい。10

【0049】

ファイバカプラ 103 は、信号光 L_S の眼底反射光と、参照ミラー 114 に反射された参照光 L_R とを合波する。これにより生成された干渉光 L_C は、光ファイバ 115 により導光されて出射端 116 から出射される。更に、干渉光 L_C は、コリメータレンズ 117 により平行光束とされ、回折格子 118 により分光 (スペクトル分解) され、集光レンズ 119 により集光されて CCD イメージセンサ 120 の受光面に投影される。図 2 に示す回折格子 118 は透過型であるが、反射型の回折格子を用いてもよい。

【0050】

CCD イメージセンサ 120 は、たとえばラインセンサであり、分光された干渉光 L_C の各スペクトル成分を検出して電荷に変換する。CCD イメージセンサ 120 は、この電荷を蓄積して検出信号を生成する。更に、CCD イメージセンサ 120 は、この検出信号を演算制御ユニット 200 に送る。20

【0051】

この実施形態ではマイケルソン型の干渉計を採用しているが、たとえばマッハツエンダー型など任意のタイプの干渉計を適宜に採用することが可能である。また、CCD イメージセンサに代えて、他の形態のイメージセンサ、たとえば CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサなどを用いることが可能である。

【0052】

〔演算制御ユニット〕

演算制御ユニット 200 の構成について説明する。演算制御ユニット 200 は、CCD イメージセンサ 120 から入力される検出信号を解析して眼底 E_f の OCT 画像を形成する。そのための演算処理は、従来のフーリエドメインタイプの OCT 装置と同様である。更に、演算制御ユニット 200 は、眼底 E_f の OCT 画像に対して後述の解析処理を施す。この解析処理がこの実施形態の特徴である。30

【0053】

また、演算制御ユニット 200 は、眼底カメラユニット 2、表示装置 3 及び OCT ユニット 100 の各部を制御する。たとえば演算制御ユニット 200 は、眼底 E_f の断層像 G (図 2 を参照) 等の OCT 画像を表示装置 3 に表示させる。40

【0054】

また、眼底カメラユニット 2 の制御として、演算制御ユニット 200 は、観察光源 11、撮影光源 15 及び LED 51、61 の動作制御、LCD 39 の動作制御、合焦レンズ 31 の移動制御、反射棒 67 の移動制御、フォーカス光学系 60 の移動制御、各ガルバノミラー 43、44 の動作制御などを行う。

【0055】

また、OCT ユニット 100 の制御として、演算制御ユニット 200 は、光源ユニット 101 の動作制御、参照ミラー 114 及びコリメータレンズ 113 の移動制御、CCD イメージセンサ 120 の動作制御などを行う。

【0056】

10

20

30

40

50

演算制御ユニット 200 は、たとえば、従来のコンピュータと同様に、マイクロプロセッサ、RAM、ROM、ハードディスクドライブ、通信インターフェイスなどを含んで構成される。ハードディスクドライブ等の記憶装置には、眼底解析装置 1 を制御するためのコンピュータプログラムが記憶されている。演算制御ユニット 200 は、CCDイメージセンサ 120 からの検出信号に基づいて OCT 画像を形成する専用の回路基板を備えていてもよい。また、演算制御ユニット 200 は、キーボードやマウス等の操作デバイス（入力デバイス）や、LCD 等の表示デバイスを備えていてもよい。

【0057】

眼底カメラユニット 2、表示装置 3、OCT ユニット 100 及び演算制御ユニット 200 は、一体的に（つまり单一の筐体内に）構成されていてもよいし、それぞれ別体として構成されていてもよい。

【0058】

〔制御系〕

眼底解析装置 1 の制御系の構成について図 3 及び図 4 を参照しつつ説明する。

【0059】

〔制御部〕

眼底解析装置 1 の制御系は、演算制御ユニット 200 の制御部 210 を中心に構成される。制御部 210 は、たとえば、前述のマイクロプロセッサ、RAM、ROM、ハードディスクドライブ、通信インターフェイス等を含んで構成される。

【0060】

制御部 210 には、主制御部 211 と記憶部 212 が設けられている。主制御部 211 は、前述の各種制御を行う。特に、主制御部 211 は、眼底カメラユニット 2 の走査駆動部 70 及び合焦駆動部 80、更に OCT ユニット 100 の光源ユニット 101 及び参照駆動部 130 を制御する。

【0061】

走査駆動部 70 は、たとえばサーボモータを含んで構成され、ガルバノミラー 43、44 の向きを各々独立に変更する。走査駆動部 70 は、ガルバノミラー 43、44 とともに、この発明の「走査手段」の一例を構成する。

【0062】

合焦駆動部 80 は、たとえばパルスモータを含んで構成され、合焦レンズ 31 を光軸方向に移動させる。それにより、眼底 Ef に向かう光の合焦位置が変更される。

【0063】

参照駆動部 130 は、たとえばパルスモータを含んで構成され、参照光 LR の進行方向に沿って、コリメータレンズ 113 及び参照ミラー 114 を一体的に移動させる。

【0064】

また、主制御部 211 は、記憶部 212 にデータを書き込む処理や、記憶部 212 からデータを読み出す処理を行う。

【0065】

記憶部 212 は、各種のデータを記憶する。記憶部 212 に記憶されるデータとしては、たとえば、OCT 画像の画像データ、眼底像（観察画像 K、撮影画像 H）の画像データ、被検眼情報などがある。被検眼情報は、患者 ID や氏名などの被検者に関する情報や、左眼 / 右眼の識別情報などの被検眼に関する情報を含む。記憶部 212 は、この発明の「記憶手段」の一例である。

【0066】

〔画像形成部〕

画像形成部 220 は、CCD イメージセンサ 120 からの検出信号に基づいて、眼底 Ef の断層像の画像データを形成する。この処理には、従来のフーリエドメインタイプの光コヒーレンストモグラフィと同様に、ノイズ除去（ノイズ低減）、フィルタ処理、FFT（Fast Fourier Transform）などの処理が含まれている。

【0067】

10

20

30

40

50

画像形成部 220 は、たとえば、前述の回路基板や通信インターフェイス等を含んで構成される。なお、この明細書では、「画像データ」と、それに基づいて呈示される「画像」と同一視することがある。画像形成部 220 は、この発明の「画像形成手段」の一例である。

【0068】

(画像処理部)

画像処理部 230 は、画像形成部 220 により形成された画像に対して各種の画像処理や解析処理を施す。たとえば、画像処理部 230 は、画像の輝度補正や分散補正等の各種補正処理を実行する。画像処理部 230 は、たとえば、前述のマイクロプロセッサ、RAM、ROM、ハードディスクドライブ、回路基板等を含んで構成される。画像処理部 230 には 3 次元画像形成部 231 と解析処理部 232 が設けられている。 10

【0069】

(3 次元画像形成部)

3 次元画像形成部 231 は、画像形成部 220 により形成された断層像の間の画素を補間する補間処理等の公知の画像処理を実行して、眼底 E f の 3 次元画像の画像データを形成する。3 次元画像形成部 231 は、この発明の「3 次元画像形成手段」の一例である。

【0070】

なお、3 次元画像の画像データとは、3 次元座標系により画素の位置が定義された画像データを意味する。3 次元画像の画像データとしては、3 次元的に配列されたボクセルからなる画像データがある。この画像データは、ボリュームデータ或いはボクセルデータなどと呼ばれる。ボリュームデータに基づく画像を表示させる場合、画像処理部 230 は、このボリュームデータに対してレンダリング処理（ボリュームレンダリングや MIP（Maximum Intensity Projection：最大値投影）など）を施して、特定の視線方向から見たときの擬似的な 3 次元画像の画像データを形成する。表示部 240 等の表示デバイスには、この擬似的な 3 次元画像が表示される。 20

【0071】

また、3 次元画像の画像データとして、複数の断層像のスタックデータを形成することも可能である。スタックデータは、複数の走査線に沿って得られた複数の断層像を、走査線の位置関係に基づいて 3 次元的に配列させることで得られる画像データである。すなわち、スタックデータは、元々個別の 2 次元座標系により定義されていた複数の断層像を、一つの 3 次元座標系により表現する（つまり一つの 3 次元空間に埋め込む）ことにより得られる画像データである。 30

【0072】

画像処理部 230 は、3 次元画像の画像データに基づいて、任意の断面における断層像を形成することができる。この処理は、たとえば、手動又は自動で指定された断面に対し、この断面上に位置する画素（ボクセル等）を特定し、特定された画素を 2 次元的に配列させて当該断面における眼底 E f の形態を表す画像データを形成することにより実行される。このような処理により、元の断層像の断面（信号光 L S の走査線の位置）だけでなく、所望の断面における断層像を取得することが可能となる。

【0073】

(解析処理部)

解析処理部 232 は、眼底 E f の OCT 画像に基づいて、眼底 E f の形態や機能状態を把握するための各種の解析処理を実行する。解析対象となる OCT 画像としては、眼底 E f の断層像や 3 次元画像がある。この実施形態では、特に眼底 E f の黄斑及びその周辺部位の OCT 画像が解析対象となる。解析処理部 232 の構成の一例を図 4 に示す。解析処理部 232 には、層領域特定部 233、曲線演算部 234、突出領域特定部 235 及び形態情報生成部 236 が設けられている。 40

【0074】

(層領域特定部)

層領域特定部 233 は、解析対象の OCT 画像の画素の画素値に基づいて、眼底 E f の 50

網膜色素上皮層に相当する当該OCT画像中の画像領域（層領域）を特定する。

【0075】

層領域特定部233は、たとえば特許文献5と同様の処理を実行して層領域を特定する。この処理について簡単に説明する。層領域特定部233は、まず、階調変換処理、画像強調処理、しきい値処理、コントラスト変換処理、二値化処理、エッジ検出処理、画像平均化処理、画像平滑化処理、フィルタ処理などの前処理をOCT画像に施して、当該OCT画像における層領域を明瞭化する。

【0076】

次に、層領域特定部233は、前処理が施されたOCT画像を構成する画素の画素値（たとえば輝度値）を、眼底Efの深度方向（z軸方向）に沿って一列ずつ解析し、隣接する層の境界位置に相当する画素を特定する。このとき、深度方向にのみ広がりを有するフィルタ（たとえば微分フィルタ）を用いて層の境界位置に相当する画素を特定することができる。なお、深度方向及びそれに直交する方向の二方向に広がるエリアフィルタを用いて画素のエッジ検出を行うようにしてもよい。

10

【0077】

層領域特定部233は、このような処理により眼底Efの幾つかの層に相当する画像領域を特定する。更に、層領域特定部233は、特定された幾つかの画像領域のうちから網膜色素上皮層に相当するものを特定する。この処理について説明する。OCT画像中において、網膜表面側から数えて幾つ目の明るい層が網膜色素上皮層に相当しているかは、臨床的に取得された多数の眼底のOCT画像から既知である。よって、解析対象のOCT画像について、網膜表面をまず特定し、この網膜表面の側から明るい層の数をカウントし、所定のカウント値に相当する層が目的の層領域となる。

20

【0078】

層領域の別の特定方法として、網膜表面から奥行方向に向かって網膜色素上皮層までの標準的な距離に基づいて、解析対象のOCT画像中の層領域を特定してもよい。また、OCT画像中において、眼底Efの各層の明るさには差異があるので、当該差異を考慮して層領域を特定することができる。たとえば、明るく描写される層のうち網膜色素上皮層がN番目に明るく描写される場合、解析対象のOCT画像中に特定された層に相当する画像領域のうちN番目に明るいものを特定して層領域とすることができます。なお、層領域の特定方法はここに例示したものには限定されず、目的の層領域を特定可能であればその手法は問わない。

30

【0079】

なお、解析対象のOCT画像は断層像や3次元画像である。断層像を解析する場合、層領域は、（層領域の厚みを無視すると）略曲線状の画像領域として特定される。一方、3次元画像を解析する場合、層領域は、（層領域の厚みを無視すると）略曲面状の画像料記として特定される。ここでは、断層像を解析する場合について詳しく説明する。3次元画像を解析する場合については変形例として後述する。

【0080】

層領域特定部233は、特定された層領域の情報、たとえばOCT画像中における層領域の位置情報（座標値）を生成する。なお、OCT画像から層領域を抽出するようにしてもよい。また、特定された層領域の形状を表す画像情報（たとえばワイヤモデル等）を生成してもよい。いずれにしても、層領域特定部233は、少なくとも、OCT画像中における網膜色素上皮層に相当する層領域を特定するものであればよい。

40

【0081】

（曲線演算部）

眼底Efの断層像における層領域（略曲線状の画像領域）の特定結果は曲線演算部234に入力される。曲線演算部234は、この層領域の形状に基づいて、眼底Efの奥行方向に凸な曲線（基準曲線と呼ぶ）を求める。この基準曲線は、層領域の形状に基づいて推定される、当該断面にドルーゼンが存在しないと仮定した場合の網膜色素上皮層の形状を表す。曲線演算部234は、この発明の「曲線演算手段」の一例である。

50

【0082】

当該断面にドルーゼンが存在しない場合、層領域は奥行方向に凸な曲線として断層像宙に描写される。もし当該断面にドルーゼンが存在する場合、特定される層領域にはドルーゼンに相当する凹凸が描写される。基準曲線は、このような凹凸を無視した層領域の大局部的な形状を表すものである。このような基準曲線を求めるために、曲線演算部234には特徴部位特定部234aと曲線決定部234bが設けられている。特徴部位特定部234aは、この発明の「特徴部位特定手段」の一例である。

【0083】

(特徴部位特定部)

特徴部位特定部234aは、特定された層領域中の画素の画素値に基づいて、この層領域の形状に基づく複数の特徴部位を特定する。この処理の例を図5に示す。なお、図5は断層像から特定された層領域の一部を表している。

10

【0084】

まず、図5(A)に示すように、特徴部位特定部234aは、層領域300の形状に基づいて、奥行方向(+z方向)における層領域300中の最深部位P0を特定する。この処理は、たとえば、層領域300中の各画素の座標値を参照し、z座標値が最大の画素を特定して最深部位P0に設定することで実行できる。異なる手法として、解析対象の断層像において、奥行方向に直交する直線を+z方向から-z方向に移動させていき、この直線に最初に接する層領域中の位置を最深部位に設定するようにしてもよい。このようにして特定された最深部位P0は層領域300の特徴部位とされる。

20

【0085】

次に、特徴部位特定部234aは、最深部位P0を通過しつつ層領域300に接する直線を求め、この直線と層領域300との接点を特徴部位とする。この処理の具体例を説明する。図5(B)に示すように、最深部位P0を通過する直線Lを最深部位P0を中心として回転させていく。図5(B)は、直線Lを時計回りに回転させる場合を示している。

【0086】

このように直線Lを回転させていくと、図5(C)に示すように、或る段階で直線Lが層領域300に接する。このときの直線Lが、上記「最深部位P0を通過しつつ層領域300に接する直線」に相当する。この接点P1は層領域300の特徴部位とされる。なお、他の特徴部位は全て最深部位P0よりも-z側に位置するので、たとえば最深部位P0を通過しz座標軸に直交する位置から直線Lを回転させれば十分である。また、直線Lを逆方向(反時計回り)に回転させていくことにより、最深部位P0に対して特徴部位P1と反対側に位置する特徴部位を特定することができる。

30

【0087】

このような処理を繰り返すことにより層領域300の複数の特徴部位Pj(j=0, 1, 2, ..., J)が特定される。なお、上記処理の反復方法としては、たとえば次の2つが考えられる。なお、他の方法で複数の特徴部位Pjを特定することも勿論可能である。

【0088】

第1の反復方法として、常に最深部位P0を通過する直線Lを考慮し、直線Lと層領域300との接点を順次に特定していくことができる。その場合、直線Lの回転に伴う第1番目の接点、第2番目の接点、第3番目の接点、...というように順次に接点(特徴部位)が特定されていく。

40

【0089】

第2の反復方法として、直線Lの回転中心を順次に変更していくことができる。つまり、最初は最深部位P0を中心として直線Lを回転させて第1の接点を特定する。次に、この第1の接点を中心として同様に直線Lを回転させて第2の接点を特定する。続いて、この第2の接点を中心として同様に直線Lを回転させて第3の接点を特定する。このようにして複数の接点(特徴部位)が順次に特定されていく。

【0090】

50

上記のようにして特定される特徴部位の個数は任意であるが、その個数が多いほど下記の処理の精度は向上する。一方、特徴部位の特定個数が増加するほど、処理に必要なリソースが増大する。

【0091】

(曲線決定部)

曲線決定部234bは、特徴部位特定部234aにより特定された複数の特徴部位Pjに基づいて基準曲線を決定する。曲線決定部234bが実行する処理の一例を図6に示す。

【0092】

まず、曲線決定部234bは、複数の特徴部位Pjの隣接するもの同士を連結して、図6(A)に示すような折れ線310を形成する。次に、曲線決定部234bは、この折れ線310との差が最小になる二次曲線を最小二乗法を用いて求める。この「差」は、たとえば、折れ線310と二次曲線とにより挟まれる領域の面積である。それにより、図6(B)に示すような、折れ線310を近似する二次曲線320が得られる。図6(C)は、この二次曲線320と層領域300との位置関係を表している。この二次曲線320が基準曲線である。前述のように解析対象のOCT画像(断層像)は黄斑及びその周辺部位を計測して得られたものであるので、基準曲線は奥行方向に凸になる。

【0093】

基準曲線を決定する方法の他の例として、二次曲線の係数パラメータを変更して曲線族を形成し、この曲線族に含まれる二次曲線のうち折れ線310の形状に最も適合するものをパターンマッチング等によって求めることもできる。

【0094】

更なる例として、折れ線310を考慮せずに、特徴部位Pjの座標値に基づく方法を説明する。まず、複数の特徴部位Pjの座標値を二次曲線の方程式に代入して連立方程式を形成し、この連立方程式を解いて未定係数を算出することによって目的の二次曲線を求める。この例を適用する場合、少なくとも、二次曲線の未定係数の個数に応じた個数(たとえば6個)の特徴部位が必要となる。なお、基準曲線の特徴(たとえば下に凸であることやパリティなど)を考慮して未定係数を減らして特徴部位の必要数を減少させてもよい。

【0095】

(突出領域特定部)

突出領域特定部235は、層領域特定部233により特定された層領域と、曲線演算部234により求められた基準曲線とに基づいて、奥行方向の逆方向(-z方向)に向かって層領域が突出する画像領域(突出領域)を特定する。突出領域特定部235は、この発明の「突出領域特定手段」の一例である。

【0096】

なお、基準曲線に対して-z方向に突出する画像領域全体を突出領域として特定することができるが、この実施形態では、網膜色素上皮層の自然な凹凸やノイズ等を回避するために、基準曲線から所定距離以上突出している部分のみを検出することにより、突出領域の特定精度の向上を図る。そのために、距離算出部235a、距離判断部235b及び画像領域特定部235cが突出領域特定部235に設けられる。

【0097】

(距離算出部)

距離算出部235aは、基準曲線上の各点と層領域との間の奥行方向における距離を算出する。この処理は、基準曲線上の全ての点(画素)について実行する必要はなく、所定の画素間隔毎(たとえば5ピクセル毎)に行うようにしてもよい。距離の算出処理は、たとえば、基準曲線上の点(画素)と層領域上の対応点(画素)との間の画素数をカウントし、隣接する画素の間隔を単位距離と当該カウント結果とに基づいて行うことができる。また、画像の計測倍率と距離計測対象の画素間の画像中における距離とに基づいて求めてもよい。なお、距離算出部235aにより演算される距離は、画像中の距離(xyz座標系で定義される距離や、画素の間隔)を実空間の距離に換算したものであってもよいし、

10

20

30

40

50

画像中の距離をそのまま使用してもよい。

【0098】

(距離判断部)

距離判断部235bは、距離算出部235aにより算出された各距離が所定閾値以上であるか判断する。この閾値は、たとえば多数の臨床例に基づいて事前に設定される。また、装置の計測精度などを考慮して閾値を設定することもできる。

【0099】

距離判断部235bは、距離が所定閾値以上と判断された基準曲線上の点(画素)に識別情報(たとえばフラグやタグ)を付与する。

【0100】

(画像領域特定部)

画像領域特定部235cは、距離判断部235bにより識別情報が付与された基準曲線上の画素の集合、つまり距離が所定閾値以上と判断された基準曲線上の点の集合と、層領域とに挟まれた画像領域を特定して目的の突出領域とする。

【0101】

このようにして特定される突出領域の例を図7に示す。突出領域330、340は、それぞれ、層領域300と基準曲線320とに挟まれた画像領域であって、層領域300と基準曲線320との距離が所定閾値以上であるその部分領域である。図7に示すように、基準曲線320に対して-z方向に突出する層領域300のうち裾野の部分(距離が所定閾値未満である部分)は突出領域330、340には含まれない。

【0102】

(形態情報生成部)

形態情報生成部236は、特定された突出領域の形態を表す情報(形態情報)を生成する。突出領域の形態としては、個数、サイズ、分布状態などがある。形態情報生成部236は、この発明の「形態情報生成手段」の一例である。形態情報生成部236には、分布画像形成部236a、連結成分特定部236b、カウント部236c及びサイズ算出部236dが設けられている。

【0103】

(分布画像形成部)

分布画像形成部236aは、突出領域特定部235により複数の断層像のそれぞれについて突出領域が特定された場合に、奥行方向に直交するx y平面における突出領域の分布状態を表す分布画像を形成する。分布画像形成部236aは、この発明の「分布画像形成手段」の一例である。以下、分布画像形成部236aが実行する処理内容を説明する。

【0104】

複数の断層像は、たとえば後述の3次元スキャンを実行して得られる。3次元スキャンは、たとえばx方向に沿った、かつy方向に配列された複数の直線状の走査線に沿って信号光LSの照射位置を走査するスキャン形態である。3次元スキャンにより、各走査線に沿った断面における断層像が複数枚得られる。

【0105】

分布画像形成部236aは、これら断層像のそれぞれについて特定された突出領域に基づいて、x y平面における突出領域の分布画像を形成する。各断層像において、各突出領域はx方向(走査線方向)に延びる画像領域である。また、複数の断層像はy方向に配列されている。複数の断層像をy方向に配列させると、各断層像中の突出領域が組み合わされて突出領域の2次元分布(x y平面における分布)が得られる。

【0106】

このとき、隣接する断層像における突出領域がy方向に隣接している場合には、これら突出領域間の画素を突出領域に設定してもよい。この処理は、特に、隣接する断層像の間隔(走査線の間隔)が十分狭い場合に有効である。

【0107】

分布画像形成部236aは、たとえば、突出領域に相当する画素とそれ以外の画素との

10

20

30

40

50

画素値を相違させて表現することにより分布画像を形成する。一例として、突出領域とそれ以外の領域とを二値で区別して表現して二値画像を形成し、これを分布画像とする。

【0108】

このようにして形成される分布画像の例を図8に示す。この分布画像400は、信号光LSの入射方向(-z方向)から眼底Efをみたときの突出領域Tの分布状態を表している。分布画像400は、複数の走査線Ri(i=1~m)を断面とする複数の断層像に基づいて形成される。

【0109】

(連結成分特定部)

連結成分特定部236bは、分布画像の画素の画素値に基づいて、この分布画像における突出領域の各連結成分を特定する。各連結成分は一つひとつの突出領域に相当する。連結成分特定部236bは、この発明の「連結成分特定手段」の一例である。

【0110】

連結成分特定部236bが実行する処理の例を図9を参照しつつ説明する。解析対象の分布画像は二値画像とし、突出領域以外の領域(背景領域)は画素値(輝度値)0で表現されているものとする。図9に示す各正方形は一つの画素を表している。

【0111】

画素「1」(丸文字の1)を基準にすると、図9(A)に示すように、画素「1」の上下左右の位置(つまり画素「1」の+x側、-x側、+y側、-y側)に隣接し、かつ画素「1」と同じ画素値を有する画素「2」、「3」、「4」、「5」は、それぞれ画素「1」に対して連結であると判断される。

【0112】

これ以外の画素、つまり画素「1」の上下左右の位置に隣接していない画素や画素「1」と異なる画素値を有する画素は、画素「1」に対して連結ではないと判断される。たとえば図9(B)に示すように、画素「1」に対して斜めの位置に隣接する画素「6」、「7」は、たとえ画素「1」と同じ画素値を有するとしても非連結であると判断される。

【0113】

この要領で画素の連結状態を判断すると、図9(C)に示す9個の画素は連結となる。これら9個の画素のそれぞれに対して連結な画素が存在しない場合、この9個の画素の集合は一つの連結成分を形成する。

【0114】

連結成分特定部236bは、このような連結性の判断基準に基づいて分布画像における突出領域の各連結成分を求める。たとえば、連結成分特定部236bは、図8に示す分布画像400に基づいて、突出領域Tの各連結成分Tk(k=1~K)が特定される。

【0115】

なお、連結成分を特定する処理は二値画像以外の多値画像に対しても実行できる。たとえば、所定の閾値を設け、その閾値に対する大小比較によって突出領域の画素であるか背景領域の画素であるかを判別することにより各連結成分を特定できる。また、上記のように隣接画素に基づいて連結成分を特定する代わりに、たとえばエッジ検出処理を分布画像に施して突出領域のエッジを検出することにより各連結成分を特定することも可能である。

【0116】

(カウント部)

カウント部236cは、連結成分特定部236bにより特定された連結成分の個数をカウントする。この処理は、複数の連結成分(画素の集合)に対して所定の順序(たとえば分布画像の左上から右下に向かう順序)で番号1、2、...を順次に付与し、付与された最大の番号を連結成分の個数とすることにより実行される。カウント部236cは、この発明の「カウント手段」の一例である。なお、分布画像に対してラベリング処理を施すなどして、連結成分の特定処理とカウント処理とを同時に行うようにしてもよい。

【0117】

10

20

30

40

50

(サイズ算出部)

サイズ算出部 236d は、連結成分特定部 236b により特定された各連結成分のサイズを算出する。連結成分のサイズを表す指標としては、面積、径（直径、半径等）、体積などがある。なお、体積は、当該連結成分に含まれる突出領域の体積を意味する。サイズ算出部 236d は、この発明の「サイズ算出手段」の一例である。以下、連結成分のサイズ算出処理の例を説明する。

【 0118 】

まず、連結成分の面積を求める処理例を説明する。各連結成分は、連結と判断された複数の画素の集合である。各画素には予め面積（単位面積）が設定されている。この単位面積は、分布画像や OCT 画像に対して任意に設定されたものであってよい。たとえば、計測倍率を考慮して、一つの画素に相当する実空間における面積を単位面積として設定することができる。サイズ算出部 236d は、各連結成分に含まれる画素数と単位面積との積を演算して当該連結成分の面積とする。

【 0119 】

次に、連結成分の径を求める処理例を説明する。サイズ算出部 236d は、まず上記のように面積を算出する。そして、サイズ算出部 236d は、この面積を有する円の直径（又は半径）を当該連結成分の径とする。なお、連結成分に含まれる最長の線分を探索し、この線分の長さを当該連結成分の径として採用することも可能である。これら以外にも、連結成分を特徴づけることが可能な任意の距離を径として採用することができる。

【 0120 】

次に、連結成分の体積を求める処理例を説明する。前述のように、基準曲線上の各点と層領域との間の奥行方向における距離は、距離算出部 235a により既に算出されている。サイズ算出部 236d は、各連結成分にわたって当該距離を積分することにより、この連結成分（に含まれる突出領域）の体積を算出する。

【 0121 】

なお、サイズの算出方法は上記のものに限定されるものではない。また、サイズを表す指標（次元）も上記のものに限定されるものではない。

【 0122 】

(表示部、操作部)

表示部 240 は、前述した演算制御ユニット 200 の表示デバイスを含んで構成される。操作部 250 は、前述した演算制御ユニット 200 の操作デバイスを含んで構成される。また、操作部 250 には、眼底解析装置 1 の筐体や外部に設けられた各種のボタンやキーが含まれていてもよい。たとえば眼底カメラユニット 2 が従来の眼底カメラと同様の筐体を有する場合、操作部 250 は、この筐体に設けられたジョイスティックや操作パネル等を含んでいてもよい。また、表示部 240 は、眼底カメラユニット 2 の筐体に設けられたタッチパネルモニタなどの各種表示デバイスを含んでいてもよい。

【 0123 】

なお、表示部 240 と操作部 250 は、それぞれ個別のデバイスとして構成される必要はない。たとえばタッチパネルモニタのように、表示機能と操作機能とが一体化されたデバイスを用いることも可能である。

【 0124 】

(信号光の走査及び OCT 画像)

ここで、信号光 LS の走査及び OCT 画像について説明しておく。

【 0125 】

眼底解析装置 1 による信号光 LS の走査態様としては、たとえば、水平スキャン、垂直スキャン、十字スキャン、放射スキャン、円スキャン、同心円スキャン、螺旋（渦巻）スキャンなどがある。これらの走査態様は、眼底の観察部位、解析対象（網膜厚など）、走査に要する時間、走査の精密さなどを考慮して適宜に選択的に使用される。

【 0126 】

水平スキャンは、信号光 LS を水平方向（X 方向）に走査させるものである。水平ス坎

10

20

30

40

50

ヤンには、垂直方向 (y 方向) に配列された複数の水平方向に延びる走査線に沿って信号光 LS を走査させる態様も含まれる。この態様においては、走査線の間隔を任意に設定することが可能である。また、隣接する走査線の間隔を十分に狭くすることにより、前述の 3 次元画像を形成することができる (3 次元スキャン)。垂直スキャンについても同様である。

【0127】

十字スキャンは、互いに直交する 2 本の直線状の軌跡 (直線軌跡) からなる十字型の軌跡に沿って信号光 LS を走査するものである。放射スキャンは、所定の角度を介して配列された複数の直線軌跡からなる放射状の軌跡に沿って信号光 LS を走査するものである。なお、十字スキャンは放射スキャンの一例である。

10

【0128】

円スキャンは、円形状の軌跡に沿って信号光 LS を走査させるものである。同心円スキャンは、所定の中心位置の周りに同心円状に配列された複数の円形状の軌跡に沿って信号光 LS を走査させるものである。円スキャンは同心円スキャンの一例である。螺旋スキャンは、回転半径を次第に小さく (又は大きく) させながら螺旋状 (渦巻状) の軌跡に沿って信号光 LS を走査するものである。

【0129】

ガルバノミラー 43、44 は互いに直交する方向に信号光 LS を走査するように構成されているので、信号光 LS を x 方向及び y 方向にそれぞれ独立に走査できる。更に、ガルバノミラー 43、44 の向きを同時に制御することにより、x y 面上の任意の軌跡に沿って信号光 LS を走査することが可能である。それにより、上記のような各種の走査態様を実現できる。

20

【0130】

上記のような態様で信号光 LS を走査することにより、走査線 (走査軌跡) に沿った深度方向の断面 (x z 断面) の断層像を形成することができる。また、特に走査線の間隔が狭く設定される場合などには、前述の 3 次元画像を形成することができる。

【0131】

上記のような信号光 LS の走査対象となる眼底 Ef 上の領域、つまり OCT 計測の対象となる眼底 Ef 上の領域を走査領域と呼ぶ。3 次元スキャンにおける走査領域は、複数の水平スキャンが配列された矩形の領域である。この走査領域は、図 8 に示す分布画像 400 の画像領域に相当する。また、同心円スキャンにおける走査領域は、最大径の円スキャンの軌跡により囲まれる円盤状の領域である。また、放射スキャンにおける走査領域は、各スキャンラインの両端位置を結んだ円盤状 (或いは多角形状) の領域である。

30

【0132】

[動作]

眼底解析装置 1 の動作について説明する。眼底解析装置 1 の動作例を図 10 に示す。

【0133】

まず、従来と同様に被検眼 E に対するアライメント及びピント合わせを行う (S1)。次に、主制御部 211 は、LCD 39 を制御して黄斑計測用の固視標を被検眼 E に呈示させる (S2)。この固視状態で、たとえば 3 次元スキャンを用いた OCT 計測を実行し、眼底 Ef の黄斑及びその周辺の複数の断層像を形成する (S3)。主制御部 211 は、これら断層像を記憶部 212 に記憶させる。

40

【0134】

たとえば解析処理の開始要求がなされたことに対応し、主制御部 211 は、記憶部 212 から複数の断層像を読み出して解析処理部 232 に送る。

【0135】

層領域特定部 233 は、各断層像について、その画素の画素値に基づいて眼底 Ef の網膜色素上皮層に相当する層領域を特定する (S4)。この特定結果は曲線演算部 234 に送られる。

【0136】

50

曲線演算部 234 の特徴部位特定部 234a は、各断層像について、ステップ4で特定された層領域中の画素の画素値に基づいて、この層領域の形状に基づく複数の特徴部位を特定する(S5)。この特定結果は曲線決定部 234b に送られる。

【0137】

曲線決定部 234b は、各断層像について、ステップ5で特定された複数の特徴部位に基づいて、その層領域に対する基準曲線を決定する(S6)。決定された基準曲線の情報は突出領域特定部 235 に送られる。

【0138】

突出領域特定部 235 の距離算出部 235a は、各断層像について、その基準曲線上の各点とその層領域との間の奥行方向における距離を算出する(S7)。この算出結果は距離判断部 235b に送られる。

10

【0139】

距離判断部 235b は、各断層像について、ステップ7で算出された当該距離の各演算結果が所定閾値以上であるか判断する(S8)。この判断結果は画像領域特定部 235c に送られる。

【0140】

画像領域特定部 235c は、各断層像について、ステップ8で距離が所定閾値以上と判断された基準曲線上の点の集合と層領域とに挟まれた画像領域を特定して突出領域を求める(S9)。求められた突出領域の情報は形態情報生成部 236 に送られる。

20

【0141】

形態情報生成部 236 の分布画像形成部 236a は、ステップ9で特定された複数の断層像の突出領域に基づいて、眼底Ef の奥行方向に直交するx y 平面における突出領域の分布状態を表す分布画像を形成する(S10)。形成された分布画像は連結成分特定部 236b に送られる。

【0142】

連結成分特定部 236b は、ステップ10で形成された分布画像の画素の画素値に基づいて、この分布画像における突出領域の連結成分を特定する(S11)。この特定結果はカウント部 236c とサイズ算出部 236d にそれぞれ送られる。

【0143】

カウント部 236c は、ステップ11で特定された連結成分の個数をカウントする(S12)。

30

【0144】

一方、サイズ算出部 236d は、ステップ11で特定された各連結成分のサイズを算出する(S13)。この動作例では、連結成分のサイズとして、径、面積及び体積を算出するものとする。

【0145】

解析処理部 232 は、ステップ12、13で得られた形態情報を含む、上記動作例で得られた各種情報に基づいて、解析結果を表示するための情報(解析結果表示情報)を生成する(S14)。

【0146】

40

主制御部 211 は、この解析結果表示情報に基づいて表示部 240 に解析結果を表示させる(S15)。この解析結果は、眼底Ef におけるドルーゼンの存在の有無、更には眼底Ef に存在するドルーゼンのサイズや分布等を表すものである。なお、解析結果表示情報に基づいて解析レポートを印刷出力することも可能である。また、解析結果表示情報や上記処理により得られた情報、更には患者や被検眼に関する情報などを外部装置に送信したり、記録媒体に記録させたりすることもできる。以上で、この動作例に係る処理は終了となる。

【0147】

ステップ15で表示される画面の例を図11に示す。解析結果表示画面 500 の断層像表示部 510 には、ステップ3で形成された複数の断層像のうちの一枚(代表断層像) G

50

が表示される。代表断層像 G は、たとえば 3 次元スキャンの走査領域の中央位置を通過する走査線に基づく断層像である。なお、断層像表示部 510 に表示される断層像はこれに限定されるものではない。

【 0148 】

代表断層像 G 上に基準曲線（図 11 では破線で示してある）を表示することもできる。また、眼底表面に相当する画像領域や、網膜色素上皮層に相当する層領域など、代表断層像 G 中の所定の画像領域を明示するようにしてもよい。また、代表断層像 G 中の突出領域を明示することも可能である。このような明示化は、たとえば、輝度を変更したり、所定の表示色で表示させたり、所定の塗りつぶしパターンで表示させたりするものである。

【 0149 】

分布画像表示部 520 には、ステップ 10 で形成された分布画像 400 が表示される。分布画像 400 は、眼底 E f の黄斑近傍におけるドルーゼンの分布状態を視覚的に描写している。

【 0150 】

なお、眼底 E f の眼底像（撮影画像 H ）を取得した場合、分布画像 400 と撮影画像 H との合成画像を表示させることができる。この合成画像は、たとえば、撮影画像 H に分布画像 400 を重ねて表示させたものである。また、合成画像は、撮影画像 H と分布画像 400 を合成して得られる单一の画像でもよい。このときの画像位置合わせ処理は、相互の画像中の特徴部位（黄斑、血管の分岐部、病変部など）を一致させるようにして行うことができる。また、各断層像の画素の画素値を z 方向に積算して 2 次元画像を形成し、この 2 次元画像と撮影画像 H との位置合わせを行い、その位置合わせ結果に基づいて分布画像と撮影画像 H との位置合わせを行うことも可能である。

【 0151 】

解析結果表示部 530 には、ドルーゼンの可能性がある突出領域の解析結果が表示される。この表示例では、個数分布グラフ 531、面積分布グラフ 532 及び体積分布グラフ 533 が表示される。これら各分布は、特定された連結成分をサイズ（直径が 64 μm 以下、64 μm 超かつ 125 μm 以下、125 μm 超かつ 250 μm 以下、250 μm 超の 4 つの範囲）で分類して得られたものである。この分類処理は解析処理部 232 が実行する。

【 0152 】

個数分布グラフ 531 は、ステップ 12 でカウントされた突出領域の連結成分の個数の分布を表す。個数分布グラフ 531 の下方には、連結成分の個数（カウント数）が表示される。連結成分の個数や個数分布は、眼底 E f の黄斑近傍に存在するドルーゼンの個数や個数分布に相当する。

【 0153 】

面積分布グラフ 532 は、ステップ 13 で算出された連結成分の面積の分布を表す。面積分布グラフ 532 の下方には、連結成分の面積の平均値が表示される。連結成分の面積や面積分布は、眼底 E f の黄斑近傍に存在するドルーゼンの面積や面積分布に相当する。なお、この面積は、-z 方向から +z 方向を見たときの x y 平面上における面積を表している。

【 0154 】

体積分布グラフ 533 は、ステップ 13 で算出された連結成分の体積の分布を表す。体積分布グラフ 533 の下方には、連結成分の体積の平均値が表示される。連結成分の体積や体積分布は、眼底 E f の黄斑近傍に存在するドルーゼンの体積や体積分布に相当する。

【 0155 】

【 作用・効果 】

以上のような眼底解析装置 1 の作用及び効果について説明する。

【 0156 】

眼底解析装置 1 は、眼底 E f の層構造をそれぞれ描写する複数の断層像のそれぞれについて、その断層像の画素の画素値に基づいて網膜色素上皮層に相当する層領域を特定し、

10

20

30

40

50

この層領域の形状に基づいて基準曲線を求め、この層領域と基準曲線とにに基づいて層領域の突出領域を特定し、この突出領域の形態を表す形態情報を生成するように作用する。

【0157】

形態情報は、個々のドルーゼンに対応する突出領域の連結成分を特定してその個数やサイズを求めるにより形成される。また、形態情報は、連結成分（ドルーゼン）の個数やサイズの分布を表す情報（たとえば図11の円グラフ531～533）を含んでいてもよい。更に、形態情報は、層領域の突出形態や突出領域を描写した断層像や、突出領域の分布を表す分布画像や、眼底の撮影画像と分布画像との合成画像などの画像情報を含んでいてもよい。

【0158】

このような解析処理を断層像に施すことで、ドルーゼンの可能性がある網膜色素上皮層の突出部分をそれぞれ個別に把握することができる。それにより、小さなドルーゼンであっても検出することが可能となる。また、断層像に基づいてドルーゼンに特徴的な突出領域を特定するように構成されているので、ドルーゼンを効果的に検出することが可能である。

【0159】

なお、この発明に係る眼底解析装置は、OCT計測機能を有する眼底解析装置1全体であってもよいし、上記解析処理を実行する演算制御ユニット200のみであってもよい。すなわち、この発明に係る眼底解析装置は、上記解析処理を実行可能なOCT装置であってもよいし、上記解析処理を実行可能なコンピュータであってもよい。このOCT装置は、OCT計測を行って眼底の断層像を形成し、この断層像に対して上記解析処理を施す。なお、外部装置から取得した断層像に対して上記解析処理を施すことも可能である。一方、このコンピュータは、OCT装置、データベース等の外部装置や記憶媒体から断層像を取得して記憶し、更に、この断層像に対して上記解析処理を施す。

【0160】

[変形例]

以上に説明した構成は、この発明を好適に実施するための一例に過ぎない。よって、この発明の要旨の範囲内における任意の変形を適宜に施すことが可能である。

【0161】

上記実施形態では、眼底の断層像（2次元画像）に対して解析処理を施す場合について説明したが、3次元画像に対して同様の解析処理を施して同様の形態情報を生成することも可能である。このような眼底解析装置は、上記実施形態と同様の構成を有する。以下、この変形例に係る眼底解析装置について上記実施形態（特に図3、図4）を参照しつつ説明する。

【0162】

この変形例に係る眼底解析装置の記憶部212（記憶手段）は、眼底Efの層構造を描写する3次元画像を記憶する。この3次元画像は、3次元画像形成部231（3次元画像形成手段）により形成されたものでもよいし、外部装置から取得されたものでもよい。

【0163】

解析処理部232の層領域特定部233（層領域特定手段）は、3次元画像の画素（ボクセル等）の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する3次元画像中の層領域を特定する。特定される層領域は曲面（いくつか特異点を含む可能性はある）である。

【0164】

この変形例では、上記実施形態の曲線演算部234の代わりに曲面演算部（曲面演算手段）が設けられる。曲面演算部は、層領域特定部233により特定された層領域の形状に基づいて、眼底Efの奥行方向（+z方向）に凸な曲面（基準曲面）を求める。この処理は、たとえば上記実施形態と同様に最小二乗法を用いたり、2次曲面の方程式に座標値を代入して係数を求めたり、2次曲面の係数パラメータを変更して適当な2次曲面を求めたりすることによって実行できる。

【0165】

10

20

30

40

50

次に、突出領域特定部 235（突出領域特定手段）は、層領域特定部 233 が特定した層領域と、曲面演算部が求めた曲面とに基づいて、眼底 E f の奥行方向の逆方向（-z 方向）に向かって層領域が突出する突出領域を特定する。

【0166】

続いて、形態情報生成部 236（形態情報生成手段）は、突出領域特定部 235 により特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成する。形態情報としては、上記実施形態と同様にドルーゼン（突出領域の連結成分）の個数、サイズ、分布、代表断層像、合成画像等を呈示できるとともに、3 次元画像をレンダリングして得られる擬似的な 3 次元画像を呈示することも可能である。

【0167】

このような変形例によれば、上記実施形態と同様に、ドルーゼンの可能性がある網膜色素上皮層の突出部分をそれぞれ個別に把握することができるので、小さなドルーゼンであっても検出することが可能となる。また、3 次元画像に基づいてドルーゼンに特徴的な突出領域を特定するように構成されているので、ドルーゼンを効果的に検出することが可能である。

【0168】

なお、この変形例では、3 次元画像処理を実行するので、2 次元画像処理を実行する上記実施形態と比較して処理に使用されるリソースが増大する。一方、この変形例ではドルーゼンの 3 次元的な形態をより高精度、高確度に把握できるというメリットがある。ただし、上記実施形態において走査線の間隔を小さくすることにより、ドルーゼン検出の精度や確度の向上を図ったり、ドルーゼンの形態を把握する精度や確度の向上を図ったりすることができる。

【0169】

他の変形例を説明する。上記の実施形態や変形例では、網膜色素上皮層に相当する層領域と基準曲線や基準曲面との間の距離に基づいてドルーゼン（と考えられる突出領域）を検出しているが、OCT 計測の感度を向上させるなどしてブルッフ膜に相当する画像領域（膜領域と呼ぶ）を検出し、層領域と膜領域との間の距離に基づいてドルーゼンを検出するように構成してもよい。ドルーゼンはブルッフ膜と網膜色素上皮層との間に発生するものであるから、この変形例に係る処理を実行することで、ドルーゼンの形態をより高精度、高確度で把握することが可能となる。

【0170】

なお、上記実施形態は、OCT 画像からの検出が困難なブルッフ膜の代わりに、ドルーゼン（突出）が無いと仮定した状態の網膜色素上皮層の形態を近似する基準曲線や基準曲面を用いるものである。

【0171】

更なる変形例として、OCT 画像から網膜色素上皮層に相当する層領域を特定するとともに、ブルッフ膜に相当する膜領域の特定を試みることができる。膜領域が特定された場合には、膜領域と層領域との間の距離に基づいて突出領域を特定して形態情報を生成する。一方、膜領域の特定に失敗した場合には、上記実施形態のように基準曲線（又は基準曲面）を求め、層領域と基準曲線（又は基準曲面）とに基づいて突出領域を特定して形態情報を生成する。

【0172】

この変形例によれば、膜領域が特定された場合には高精度、高確度でドルーゼンの形態を把握できるとともに、膜領域が特定されなかった場合には基準曲線（又は基準曲面）を利用してドルーゼンの形態を把握できる。

【0173】

上記の実施形態においては、参照ミラー 114 の位置を変更して信号光 LS の光路と参照光 LR の光路との光路長差を変更しているが、光路長差を変更する手法はこれに限定されるものではない。たとえば、被検眼 E に対して眼底カメラユニット 2 や OCT ユニット 100 を移動させて信号光 LS の光路長を変更することにより光路長差を変更することが

できる。また、特に被測定物体が生体部位でない場合などには、被測定物体を深度方向 (z 軸方向) に移動させることにより光路長差を変更することも有効である。

【 0 1 7 4 】

【 眼底解析プログラム 】

この発明に係る眼底解析プログラムについて説明する。この眼底解析プログラムは、眼底の層構造をそれぞれ描写する複数の断層像を記憶する記憶手段を有するコンピュータに後述の動作を実行させる。このコンピュータの例として、上記実施形態の演算制御ユニットがある。この眼底解析プログラムは、このコンピュータ自体に記憶されていてもよいし、このコンピュータと通信可能に接続されたサーバ等に記憶されていてもよい。

【 0 1 7 5 】

この眼底解析プログラムに基づいてコンピュータが実行する動作について説明する。まず、コンピュータは、記憶手段に記憶された各断層像を読み出し、上記実施形態の層領域特定部 233 と同様に、その断層像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する当該断層像中の層領域を特定する。次に、コンピュータは、上記実施形態の曲線演算部 234 と同様に、特定された層領域の形状に基づいて、眼底の奥行方向に凸な曲線 (基準曲線) を求める。続いて、コンピュータは、上記実施形態の突出領域特定部 235 と同様に、層領域と基準曲線とにに基づいて、眼底の奥行方向の逆方向に向かって層領域が突出する突出領域を特定する。そして、コンピュータは、上記実施形態の形態情報生成部 236 と同様に、特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成する。コンピュータは、生成された形態情報を表示出力或いは印刷出力する。

10

【 0 1 7 6 】

このような眼底解析プログラムによれば、上記実施形態と同様に、ドルーゼンの可能性がある網膜色素上皮層の突出部分をそれぞれ個別に把握することができるので、小さなドルーゼンであっても検出することが可能となる。また、断層像に基づいてドルーゼンに特徴的な突出領域を特定するように構成されているので、ドルーゼンを効果的に検出することが可能である。

20

【 0 1 7 7 】

この発明に係る他の眼底解析プログラムについて説明する。この眼底解析プログラムは、眼底の層構造を描写する 3 次元画像を記憶する記憶手段を有するコンピュータに後述の動作を実行させる。このコンピュータの例として、上記変形例の演算制御ユニットがある。

30

【 0 1 7 8 】

この眼底解析プログラムに基づいてコンピュータが実行する動作について説明する。まず、コンピュータは、記憶手段に記憶された 3 次元画像を読み出し、上記変形例の層領域特定部 233 と同様に、この 3 次元画像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する 3 次元画像中の層領域を特定する。次に、コンピュータは、上記変形例の曲面演算部と同様に、特定された層領域の形状に基づいて、眼底の奥行方向に凸な曲面 (基準曲面) を求める。続いて、コンピュータは、上記変形例の突出領域特定部 235 と同様に、層領域と基準曲面とにに基づいて、眼底の奥行方向の逆方向に向かって層領域が突出する突出領域を特定する。そして、コンピュータは、上記変形例の形態情報生成部 236 と同様に、特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成する。コンピュータは、生成された形態情報を表示出力或いは印刷出力する。

40

【 0 1 7 9 】

このような眼底解析プログラムによれば、上記変形例と同様に、ドルーゼンの可能性がある網膜色素上皮層の突出部分をそれぞれ個別に把握することができるので、小さなドルーゼンであっても検出することが可能となる。また、3 次元画像に基づいてドルーゼンに特徴的な突出領域を特定するように構成されているので、ドルーゼンを効果的に検出することが可能である。

【 0 1 8 0 】

この発明に係る眼底解析プログラムは、上記実施形態や変形例で説明した各種の処理を

50

更にコンピュータに実行させるように構成されていてもよい。

【0181】

この発明に係る眼底解析プログラムを、コンピュータによって読み取り可能な任意の記録媒体に記憶させることができる。この記録媒体としては、たとえば、光ディスク、光磁気ディスク（CD-ROM/DVD-RAM/DVD-ROM/MO等）、磁気記憶媒体（ハードディスク/フロッピー（登録商標）ディスク/ZIP等）などを用いることが可能である。また、ハードディスクドライブやメモリ等の記憶装置に記憶させることも可能である。

【0182】

また、インターネットやLAN等のネットワークを通じてこのプログラムを送受信することも可能である。 10

【0183】

[眼底解析方法]

この発明に係る眼底解析方法について説明する。この眼底解析方法は、眼底の層構造をそれぞれ描写する複数の断層像を解析するものであり、次のようなステップを含んで構成される。

【0184】

第1のステップとして、複数の断層像のそれぞれについて、その断層像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する当該断層像中の層領域を特定する。次に、第2のステップとして、特定された層領域の形状に基づいて、眼底の奥行方向に凸な曲線（基準曲線）を求める。続いて、第3のステップとして、層領域と基準曲線とにに基づいて、眼底の奥行方向の逆方向に向かって層領域が突出する突出領域を特定する。そして、第4のステップとして、特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成する。 20

【0185】

このような眼底解析方法によれば、上記実施形態と同様に、ドルーゼンの可能性がある網膜色素上皮層の突出部分をそれぞれ個別に把握することができるので、小さなドルーゼンであっても検出することが可能となる。また、断層像に基づいてドルーゼンに特徴的な突出領域を特定するように構成されているので、ドルーゼンを効果的に検出することが可能である。 30

【0186】

この発明に係る他の眼底解析方法について説明する。この眼底解析方法は、眼底の層構造を描写する3次元画像を解析するものであり、次のようなステップを含んで構成される。 30

【0187】

第1のステップとして、3次元画像の画素の画素値に基づいて、網膜色素上皮層に相当する3次元画像中の層領域を特定する。次に、第2のステップとして、特定された層領域の形状に基づいて、眼底の奥行方向に凸な曲面（基準曲面）を求める。続いて、第3のステップとして、層領域と基準曲面とにに基づいて、眼底の奥行方向の逆方向に向かって層領域が突出する突出領域を特定する。そして、第4のステップとして、特定された突出領域の形態を表す形態情報を生成する。 40

【0188】

このような眼底解析方法によれば、上記変形例と同様に、ドルーゼンの可能性がある網膜色素上皮層の突出部分をそれぞれ個別に把握することができるので、小さなドルーゼンであっても検出することが可能となる。また、3次元画像に基づいてドルーゼンに特徴的な突出領域を特定するように構成されているので、ドルーゼンを効果的に検出することが可能である。 40

【0189】

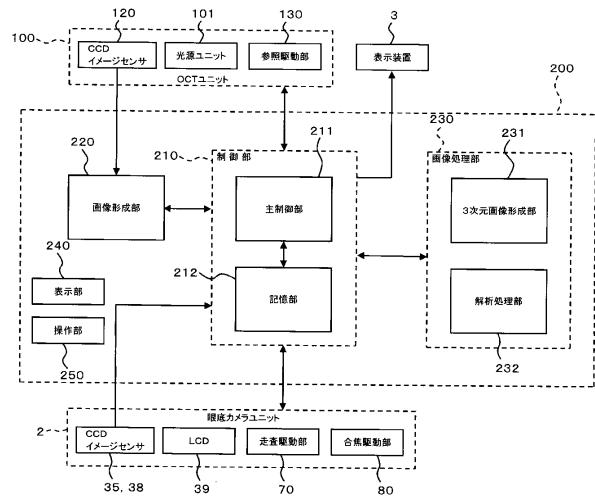
この発明に係る眼底解析方法は、上記実施形態や変形例で説明した各種の処理を実行するステップを更に含んでいてもよい。

【符号の説明】

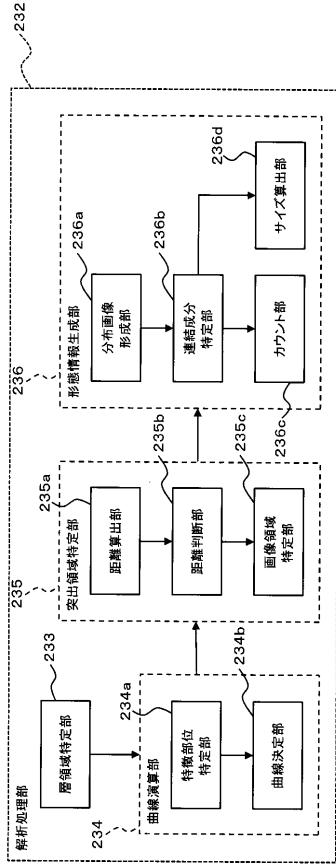
【0190】

1	眼底解析装置	
2	眼底カメラユニット	
1 0	照明光学系	
3 0	撮影光学系	
4 3、4 4	ガルバノミラー	
7 0	走査駆動部	
1 0 0	O C T ユニット	
1 0 1	光源ユニット	
1 1 4	参照ミラー	10
1 1 8	回折格子	
1 2 0	CCDイメージセンサ	
1 3 0	参照駆動部	
2 0 0	演算制御ユニット	
2 1 0	制御部	
2 1 1	主制御部	
2 1 2	記憶部	
2 2 0	画像形成部	
2 3 0	画像処理部	
2 3 1	3次元画像形成部	20
2 3 2	解析処理部	
2 3 3	層領域特定部	
2 3 4	曲線演算部	
2 3 5	突出領域特定部	
2 3 6	形態情報生成部	
2 4 0	表示部	
2 5 0	操作部	
3 0 0	層領域	
3 2 0	基準曲線(二次曲線)	
3 3 0、3 4 0、T	突出領域	30
4 0 0	分布画像	
5 0 0	解析結果表示画面	
E	被検眼	
E f	眼底	
G	断層像、代表断層像	
T k	連結成分	

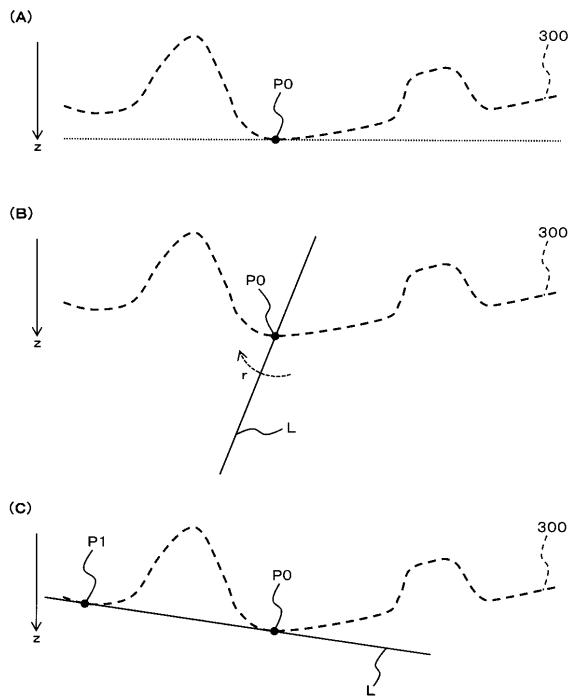
【 図 3 】



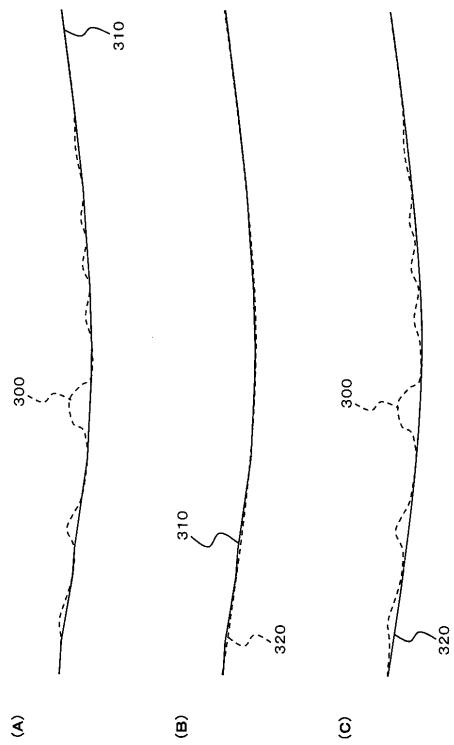
【 図 4 】



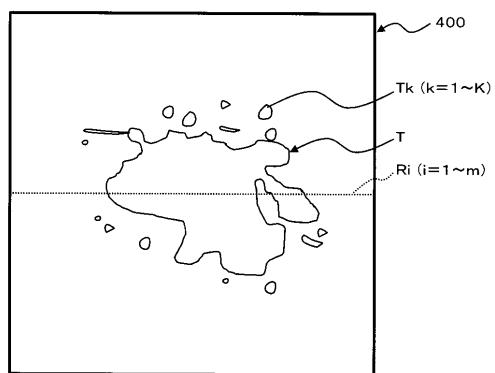
【 义 5 】



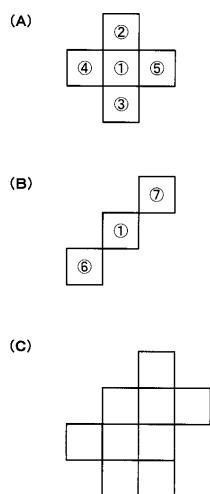
【 図 6 】



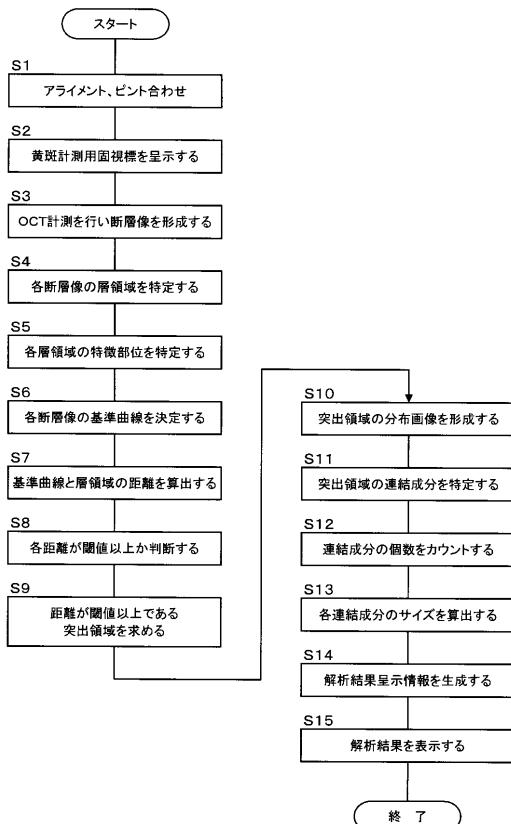
【図8】



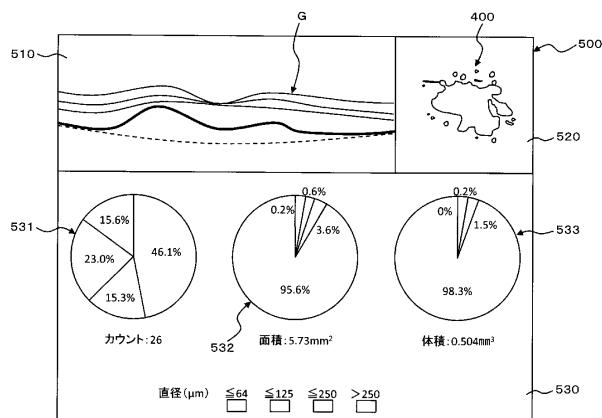
【図9】



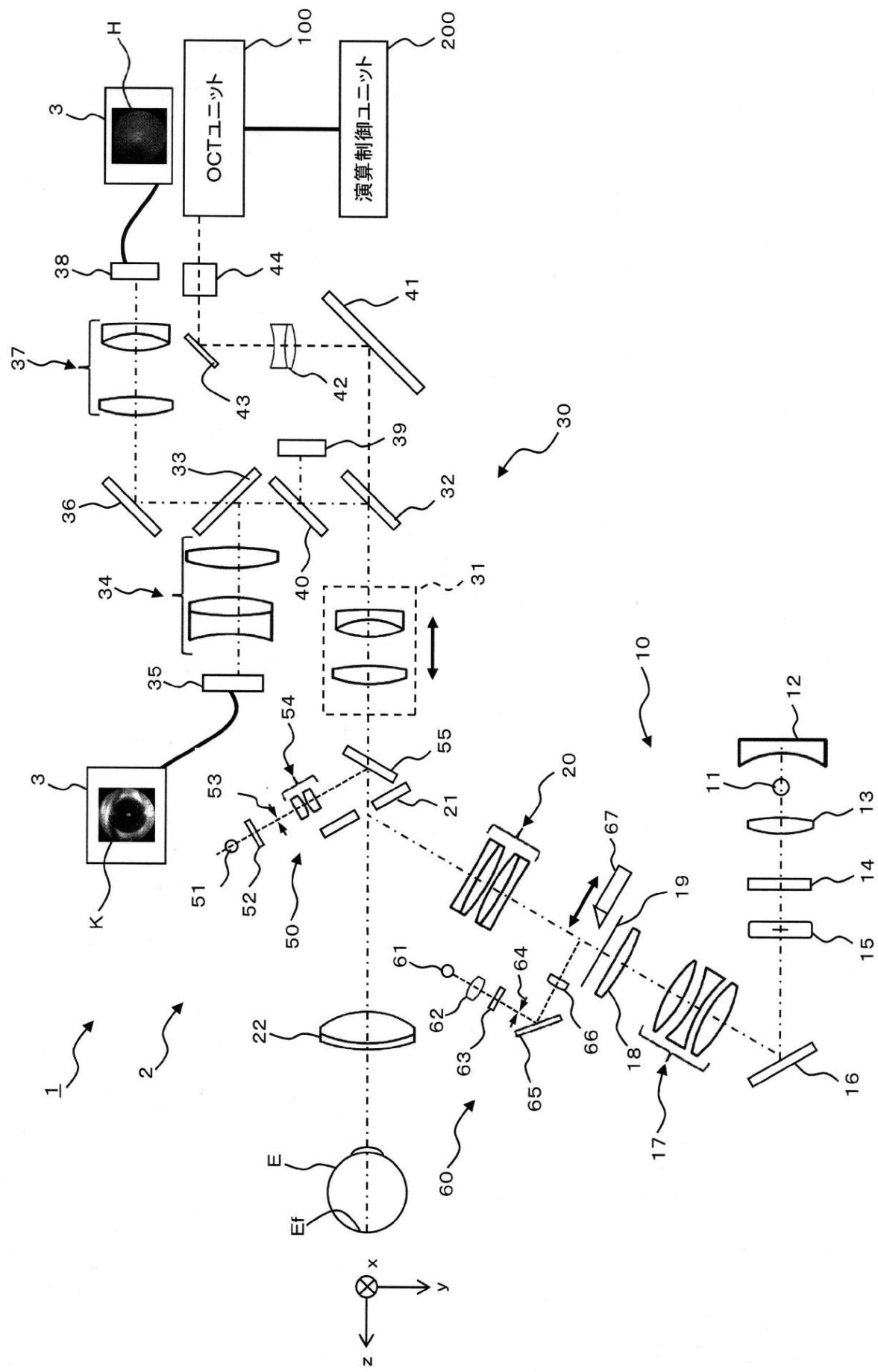
【図10】



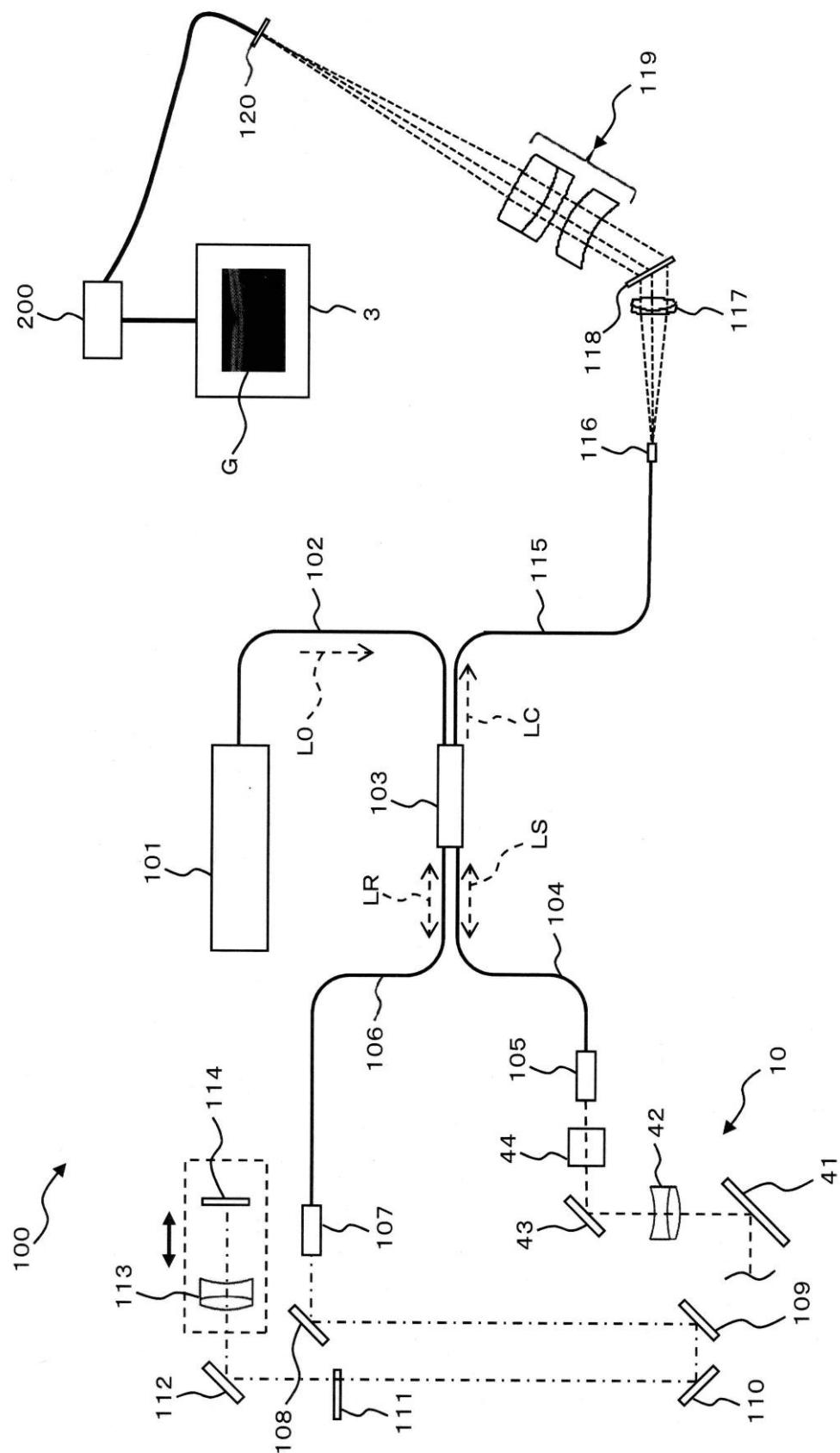
【図11】



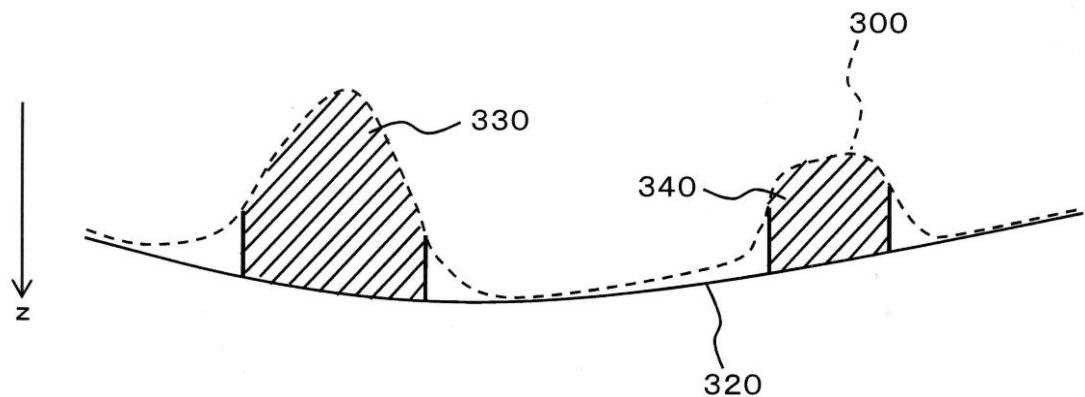
【図1】



【図2】



【図7】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2009-089792(JP,A)
特開2008-295804(JP,A)
特開2008-272256(JP,A)
特開2010-094381(JP,A)
特開2010-035607(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 61 B 3 / 00 - 3 / 18