

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6422629号
(P6422629)

(45) 発行日 平成30年11月14日 (2018.11.14)

(24) 登録日 平成30年10月26日 (2018.10.26)

(51) Int. Cl.	F I
A 6 1 B 3/10 (2006.01)	A 6 1 B 3/10 R
A 6 1 B 3/14 (2006.01)	A 6 1 B 3/14 M

請求項の数 3 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-244956 (P2012-244956)	(73) 特許権者	000135184
(22) 出願日	平成24年11月7日 (2012.11.7)		株式会社ニデック
(65) 公開番号	特開2014-110825 (P2014-110825A)		愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4
(43) 公開日	平成26年6月19日 (2014.6.19)	(72) 発明者	羽根渕 昌明
審査請求日	平成27年11月6日 (2015.11.6)		愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株
審査番号	不服2017-10708 (P2017-10708/J1)		式会社ニデック拾石工場内
審査請求日	平成29年7月18日 (2017.7.18)	(72) 発明者	佐々木 譲治
(31) 優先権主張番号	特願2012-244922 (P2012-244922)		愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株
(32) 優先日	平成24年11月6日 (2012.11.6)		式会社ニデック拾石工場内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	柴田 尚久
			愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株
			式会社ニデック拾石工場内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 眼底撮影装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源から出射された光によって被検眼の眼底上の局所領域を走査するための光スキャナと、前記局所領域における各走査位置に関して前記眼底からの光を検出するための検出器と、を有し、前記局所領域を撮像するための眼底撮像光学系と、

前記眼底撮像光学系の光路中に配置され前記光源からの光を偏向する光偏向手段を有し、前記眼底撮像光学系によって撮像される前記局所領域の位置を、前記局所領域の画角よりも広い範囲で前記光偏向手段を駆動制御することにより、上下左右に変更する撮像位置変更手段と、

前記撮像位置変更手段によって設定される前記局所領域を撮影範囲とする眼底画像を、前記検出器からの受光信号を処理して取得する画像処理手段と、を備え、

前記画像処理手段は、前記撮像位置変更手段によって設定された前記局所領域の位置情報を取得し、前記眼底画像の歪みであって前記局所領域の位置毎に異なる歪みを、前記撮像位置変更手段によって設定された前記局所領域の位置情報に基づいて補正することを特徴とする眼底撮影装置。

【請求項 2】

前記画像処理手段は、

前記眼底画像の歪みを補正する際、

前記眼底画像における各画素の座標を変位させることにより前記眼底画像の歪みを補正する画像処理手段であって、

10

20

前記各画素の座標の変位量は、

前記眼底撮像光学系に配置された少なくとも1つの光学部材による歪が生じていないと仮定した場合の前記眼底画像の座標位置と、実際に取得された前記眼底画像の座標位置との変位量に基づいて、前記撮像位置変更手段によって設定される前記局所領域における前記光スキャナの各走査位置に関してそれぞれ設定されている請求項1の眼底撮影装置。

【請求項3】

前記画像処理手段は、

前記眼底撮像光学系の光軸から、前記撮像位置変更手段によって設定される前記局所領域までの距離に応じて、前記眼底画像の歪みを補正する請求項1又は2の眼底撮影装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

被検眼を撮影する走査型の眼底撮影装置に関する。

【背景技術】

【0002】

走査型の眼底撮影装置において、広画角の撮影画像上で局所的な撮像位置を指定して、被検眼の詳細な撮影情報を取得するものがある。この種の眼底撮影装置は、照明光を眼に入射させるための凹面鏡等の光学部材を持ち、走査部材で走査された照明光は、光学部材で反射されて眼に入射する。眼からの反射光は受光素子で受光され、画素として撮影画像の形成や各種演算に用いられる（特許文献1参照）。詳細な撮影情報を広い画角で取得するためには、光学部材を複数配置する又は光学部材を大型化して、眼の周辺部に照明光が照射されるようにする必要がある（特許文献2参照）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2010-259669号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Ferguson, RD, Zhong, Z, Hammer, DX, Mujat, M, Patel, AH, Deng, C, Zou, W, Burns, SA, "Adaptive optics SLO with integrated wide-field retinal imaging and tracking" "J. Opt. Soc. Am. A 27, A265-A277 (2010)"

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、局所領域で取得された眼底画像には、光学系に配置された少なくとも1つの光学部材（例えば、凹面鏡、レンズ）の反射又は屈折による歪みが含まれる場合がある。この歪みは、局所的な眼底上の撮像位置によって異なる。つまり、眼底上の撮像位置の違いによって、その光学部材への光の入射角度が異なるため、各撮像位置での眼底画像の歪み特性は異なる。このような眼底画像の歪みの特性を考慮せずに、診断や解析に適した良好な眼底画像を得ることは困難である場合がある。

40

なお、構築された光学系によっては、光学系に配置された少なくとも1つの光学部材（例えば、凹面鏡、レンズ）における光軸から離れた周辺部分を用いて局所領域での眼底画像を得る場合、特に、眼底画像全体に歪が大きくなる場合がありうる。

【0006】

本発明は上記従来技術の問題点に鑑み、眼の撮影情報を精度良く取得できる走査型の眼底撮影装置を提供することを技術課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明は以下のような構成を備えることを特徴とする。

【0008】

50

(1) 光源から出射された光によって被検眼の眼底上の局所領域を走査するための光スキャナと、前記局所領域における各走査位置に関して前記眼底からの光を検出するための検出器と、を有し、前記局所領域を撮像するための眼底撮像光学系と、

前記眼底撮像光学系の光路中に配置され前記光源からの光を偏向する光偏向手段を有し、前記眼底撮像光学系によって撮像される前記局所領域の位置を、前記局所領域の画角よりも広い範囲で前記光偏向手段を駆動制御することにより、上下左右に変更する撮像位置変更手段と、前記撮像位置変更手段によって設定される前記局所領域を撮影範囲とする眼底画像を、前記検出器からの受光信号を処理して取得する画像処理手段と、を備え、前記画像処理手段は、前記撮像位置変更手段によって設定された前記局所領域の位置情報を取得し、前記眼底画像の歪みであって前記局所領域の位置毎に異なる歪みを、前記撮像位置変更手段によって設定された前記局所領域の位置情報に基づいて補正することを特徴とする眼底撮影装置。

10

(2) 前記画像処理手段は、前記眼底画像の歪みを補正する際、前記眼底画像における各画素の座標を変位させることにより前記眼底画像の歪みを補正する画像処理手段であって、前記各画素の座標の変位量は、前記眼底撮像光学系に配置された少なくとも1つの光学部材による歪が生じていないと仮定した場合の前記眼底画像の座標位置と、実際に取得された前記眼底画像の座標位置との変位量に基づいて、前記撮像位置変更手段によって設定される前記局所領域における前記光スキャナの各走査位置に関してそれぞれ設定されている(1)の眼底撮影装置。

(3) 前記画像処理手段は、前記眼底撮像光学系の光軸から、前記撮像位置変更手段によって設定される前記局所領域までの距離に応じて、前記眼底画像の歪みを補正する(1)又は(2)の眼底撮影装置。

20

【発明の効果】

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、眼の撮影情報を精度良く取得できる。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

本発明の実施形態を説明する。図1は眼底撮影装置500の外観図である。図2は眼底撮影装置500の光学系の説明図である。図3は眼底撮影装置500の制御ブロック図である。図4はモニタ70の表示画面の例である。

30

【 0 0 1 1 】

眼底撮影装置500は、基台502、撮影部503、顔支持ユニット504を備える。基台502上に取り付けられた撮影部503の内部には後述する光学系が収納される。顔支持ユニット504は顎台505を備え、顎台505は駆動手段(図示を略す)の駆動で顔支持ユニット4の基部に対して三次元方向に移動する。

【 0 0 1 2 】

光学系は第1撮影ユニット100と第2撮影ユニット200を持つ。第1撮影ユニット100は、共焦点光学系を用いた走査型レーザー検眼鏡で構成され、被検眼Eを撮影して細胞レベルの解像度の撮影画像(第1眼底画像70a)を得る。第2撮影ユニット200は、第1眼底画像70aの撮像位置を指定するために、第1撮影ユニット100より広い画角の撮影画像(第2眼底画像70b)を得る。

40

【 0 0 1 3 】

第1撮影ユニット100は、第1照明光学系100a、第1撮影光学系100b、波面補償ユニット110を持つ。第1照明光学系100aは、照明光束の走査で眼(眼底)Eを2次元で照明する。第1撮影光学系100bは、眼底からの反射光(反射光束)を受光して第1眼底画像70aを得る。波面補償ユニット110は、眼Eの波面収差を検出して低次収差及び高次収差を取り除く。

【 0 0 1 4 】

(第1撮影ユニット)

50

第1照明光学系100aは、光路（光軸）L1上に、光源1（第1光源）と、レンズ2、偏光ビームスプリッタ4、ビームスプリッタ71、ミラー6、凹面鏡7、平面ミラー8、波面補償デバイス72、ビームスプリッタ75、凹面鏡11、凹面鏡12、レゾナントスキャナー15、凹面鏡16、凹面鏡17、平面ミラー21、レンズ22、平面ミラー23、視度補正部10、平面ミラー25、凹面鏡26、ガルバノスキャナー40、ダイクロイックミラー90、平面ミラー32、平面ミラー33、凹面鏡31、35が配置されている。

【0015】

光源1は、近赤外から赤外域で眼底を照明する周知の赤外光源であり、例えば、波長840nmのSLD（Super Luminescent Diode）光源や、収束性の高いスポット光を出射する半導体レーザー等が用いられる。偏光ビームスプリッタ4は、光源1からの照射光のうちS偏光成分の光束を通過しその他（P偏向成分など）の光束を遮光する。ビームスプリッタ71は、光源1の波長の光を透過し、後述する収差検出用光源76の波長の光を反射する特性を持つ。

【0016】

波面補償デバイス72は、波面センサー73（後述する）で検出された眼底反射光に含まれる収差を除去する。例えば波面補償デバイス72には、反射型のLCOS（Liquid Crystal On Silicon）が用いられる。これ以外にもMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）の反射型の波面補償デバイスの他、眼底からの反射光を透過して波面収差を補償する透過型の波面補償デバイス等を用いることができる。

【0017】

波面補償デバイス72は入射光のS偏光成分を変調するために、光源1からの照明光（S偏光光）、照明光の眼底での反射光（S偏光光）、波面収差検出用光の反射光（S偏光成分）等の所定の直線偏光（S偏光）に対する収差を補償することが可能な向きに配置される。

【0018】

視度補正部10は、眼Eの視度補正のために光路長を変えるために用いられる。視度補正部10は、例えば2枚の平面ミラーと2つのレンズ（図番号を略す）、駆動部10aで構成される。駆動部10aの駆動で平面ミラー及びびレンズが矢印A方向に移動され、光路長が変わることで視度が補正される。なお視度補正部10は光軸方向に移動可能なプリズムで構成しても良い。

【0019】

レゾナントスキャナー15は、ミラー15aと駆動部15bを持つ。駆動部15bの駆動でミラー15aは所要の振れ角（画角）で主走査方向（X方向）に振動する。ガルバノスキャナー40は、ガルバノミラー41a、ガルバノミラー41bと、駆動部42を持つ。ガルバノミラー41aは駆動部42で主走査方向（X方向）に傾斜する。ガルバノミラー41bは駆動部42で副走査方向（Y方向）に傾斜する。レゾナントスキャナー15とガルバノミラー41aの走査の組み合わせで眼底が二次元で照明される。

【0020】

またガルバノミラー41a、41bの傾斜（偏向）によって、光源1の照明光の照射位置が、第2眼底画像70b上で指定された第1眼底画像70aの撮像位置に移動される。眼底からの反射光は、検出器である受光素子56で受光されて光電変換される。受光素子56から出力された信号は、制御部80（後述する）で量子化されて、二次元眼底画像の形成や、各種演算に用いられる。

【0021】

なお、上記のガルバノミラー41bのように、局所領域をY方向に走査して第1眼底画像70aを得るための光スキャナが、第1眼底画像70aのY方向に関する撮像位置を変更するための光偏向部材を兼用してもよい。もちろん、局所領域をX方向に走査して第1眼底画像70aを得るための光スキャナが、第1眼底画像70aのX方向に関する撮像位置を変更するための光偏向部材を兼用してもよい。もちろん、第1眼底画像70aを得る

10

20

30

40

50

ための光スキャナと、撮像位置を変更するための光偏向部材とが、X方向、Y方向に関してそれぞれ別の構成であってもよい。

【0022】

ダイクロイックミラー90は、第2撮影ユニット200からの光束を透過させ、光源1及び後述する光源76からの光束を反射する特性を有し、第2撮影ユニット200等と第1照明光学系100aの光路を略同軸にする。

【0023】

以上のような構成により、光源1から出射された光束は、レンズ2で平行光とされた後、偏光ビームスプリッタ4を経て、ビームスプリッタ71、凹面鏡6から平面ミラー8で反射され、波面補償デバイス72に入射する。波面補償デバイス72で反射された光束は、ビームスプリッタ75を介し、凹面鏡11、12で反射されてレゾナントスキャナー15に入射する。

【0024】

レゾナントスキャナー15で反射された光束は、凹面鏡16から平面ミラー21で反射され、レンズ22に集光された後、平面ミラー23で反射され、更に視度補正部10を介して、平面ミラー25、凹面鏡26で反射されて、ガルバノスキャナー40に入射する。ガルバノスキャナー40で反射された光束は、ダイクロイックミラー90から凹面鏡35で反射されて、眼底に集光する。

【0025】

第1撮影光学系100bは、第1照明光学系100aのダイクロイックミラー90からビームスプリッタ71までの光路を共有し、ビームスプリッタ71の反射光路上の平面ミラー51、偏光ビームスプリッタ52、レンズ53、ピンホール板54、レンズ55、受光素子56を持つ。偏光ビームスプリッタ52は、S偏光成分の光束のみを通過してP偏向成分など(その他)の光束を遮光する。ピンホール板54は、眼底と共役位置に置かれる。受光素子56には、APD(アバランシェフォトダイオード)や、光電子倍增管等が用いられる。

【0026】

眼底からの反射光は、第1照明光学系100aを逆に辿り、ビームスプリッタ71、平面ミラー51で反射される。そして偏光ビームスプリッタ52でS偏光成分の光束のみ透過する。偏光ビームスプリッタ52を透過したS偏向成分の光束は、レンズ53を介してピンホール板54のピンホールに焦点を結び、レンズ55を経て受光素子56で受光される。

【0027】

なお角膜からの反射光はピンホール板54で大部分が除去されるので、受光素子56には眼底からの反射光が好適に受光される。波面補償部110は、第1照明光学系100aの光路に置かれるビームスプリッタ71から凹面鏡35までの光学部材を共用すると共に、光源76、レンズ77、偏光ビームスプリッタ78、ビームスプリッタ75、71、ダイクロイックミラー86、偏光ビームスプリッタ85、レンズ84、平面ミラー83、レンズ82、波面センサー73を持つ。光源76は、光源1と異なる赤外域の光束を発するレーザダイオード等が使用される。光源1と収差検出用の光源76は併用されても良い。

【0028】

偏光ビームスプリッタ(第1偏光手段)78は、光源76から照射された光束を、偏光ビームスプリッタ4でS偏光された光源1からの光束に直交するP偏光の光束に偏光する。ビームスプリッタ75は、波面補償部110の光束を第1照明光学系の光路に導く。ビームスプリッタ71は、光源1の波長の光(840nm)を透過し、収差検出用の光源76の波長光(780nm)を反射する。これにより波面センサー73は、照射されたレーザー光による眼底からの散乱光のうちS偏光成分を持つ光を検出する。ダイクロイックミラー86は、光源1の波長の光(840nm)を透過し、収差検出用の光源76の波長光(780nm)を反射する。偏光ビームスプリッタ(第2偏光手段)85は、光源76から眼Eに照射された偏光方向の光束(P偏光光)を遮断し、この偏光方向に直交する偏光方

10

20

30

40

50

向の光束（S偏光光）を透過する。

【0029】

波面センサー73には、被検眼の反射光に含まれる低次収差及び高次収差を検知するものが用いられる。例えばマイクロレンズアレイと、マイクロレンズアレイを透過した光束を受光する二次元撮像素子73a（二次元受光素子）から構成される。収差検出用の光源76（第3光源）は、光源1とは異なる赤外帯域の光束を照射するものが選択される。例えば波長780nmのレーザー光を出射するレーザダイオード等が用いられる。光源76の出射端は眼底と略共役とする。波面センサー73には、ハルトマンシャック検出器や光強度の変化を検出する波面曲率センサー等が用いられる。なおレゾナントスキャナー15、波面補償デバイス72の反射面は被検眼の瞳と共役とする。波面センサー73の受光面（二次元撮像素子76a）は眼Eの眼底と略共役とする。なお本実施形態では、波面センサー73からの検出結果に基づいて波面補償デバイス72を制御しているが、これに限定されない。例えば、制御部80は、受光素子56からの受光信号に基づいて取得される眼底画像を用いて波面補償デバイス72を制御してもよい。このような構成により、波面センサーを設けなくても、波面補償デバイス72を用いて眼底からの反射光の波面を補償できる。波面センサーを用いない場合、例えば、制御部80は、その眼底画像のフォーカス状態を画像処理により判定し、フォーカス状態が適正な眼底画像が得られるように波面補償デバイス72を制御してもよい。

10

【0030】

光源76から出射されたレーザー光は、レンズ77で平行光とされた後、偏光ビームスプリッタ78で光源1からの光束と直交する偏光方向（P偏光）とされ、ビームスプリッタ75で第1照明光学系100aの光路に導かれる。ビームスプリッタ75で反射したレーザー光は、第1照明光学系100aの光路を経て眼底に集光する。眼底からの反射光は、第1照明光学系100aの各光学部材を経て波面補償デバイス72で反射し、ビームスプリッタ71で第1照明光学系100aの光路から外され、ダイクロイックミラー86で反射した後、偏光ビームスプリッタ85、レンズ84、平面ミラー83、レンズ82を経て波面センサー73へと導かれる。波面センサー73では眼底からの散乱光のうちS偏光成分を持つ光が検出され、角膜や光学素子で反射した光束が、波面センサー73で検出されることが抑えられる。

20

【0031】

波面補償部（補償光学系）110によって、波面センサー73で検出された光源76の眼底反射光の波面収差に基づいて、波面補償デバイス72が制御され、光源76の反射光のS偏光成分と共に、光源1から出射される光束とその反射光の波面収差が取り除かれて、眼Eの波面収差が取り除かれた（波面補償がされた）高解像度の第1眼底画像70aが得られる。

30

【0032】

（第2撮影ユニット）

第2撮影ユニットは、第1撮影ユニットの画角よりも広画角の眼底画像（第2眼底画像70b）を得る。第2眼底画像70bは第1眼底画像70aの撮像位置指定、撮像位置の確認用に用いられる。第2眼底画像70bを取得する第2撮影ユニット200は、眼Eの眼底画像を観察用として広画角（例えば20度～60度程度）でリアルタイムに取得できればよく、既存の眼底カメラの観察・撮影光学系や走査型レーザー検眼鏡（Scanning Laser Ophthalmoscope：SLO）の光学系及び制御系等が用いられる。ここでは説明の簡便のため第2撮影ユニット200の構成をブロック図で示している。

40

【0033】

第2撮影ユニット200は、第2照明光学系と第2撮影光学系を持つ。第2照明光学系は、眼底を赤外光で照明する第2光源210、光束を眼底上で2次元的に走査する走査部220等を備え、眼底を2次元で照明する。第2光源210は、例えば910nmの波長のレーザー光を出射するレーザダイオードが用いられる。走査部220は、X及びY方向の二次元方向にレーザー光を偏向（反射）するミラーを備える。走査部220の振れ角は

50

、第2撮影ユニット200の撮影画角が第1撮影ユニット100の撮影画角よりも大きくなるように決定される。例えば、黄斑部や乳頭等の眼底の特徴部を同時に撮影できるようにする場合、画角は20～60度程度となる。第2撮影ユニット200は眼底からの反射光を受光して第2眼底画像70bを取得する為に、眼底からの反射光を受光する受光素子251等を持つ。

【0034】

第2撮影ユニット200の光路は、ダイクロイックミラー90によって第1撮影ユニット100と略同軸とされ、第2光源210からの光束は、ダイクロイックミラー90、凹面鏡31、35、平面ミラー33を経て眼底に集光する。眼底に投影された光束は走査部220の駆動で眼底の広い範囲を2次元的に走査する。眼底の反射光は平面ミラー33からダイクロイックミラー90までの光路を逆に経て、受光素子251で受光され、第1撮影ユニット100の撮影の位置指定などに用いられる第2眼底画像70bが取得される。

【0035】

なお第1撮影ユニット100と第2撮影ユニット200に配置される凹面鏡31、35は、眼底の周辺部まで（広い画角で）照明光を入射させることができるように広い反射面（面積）を持つものが用いられることが好ましい。凹面鏡31、35を介して眼底を照明できる範囲（画角）が上げられることで、より広画角の第2眼底画像70bを取得できるようになる。また光軸L1から離れた眼底の周辺部での第1眼底画像70aの撮影も可能になる。

【0036】

一方、第1撮影ユニット100の撮影で取得された局所領域の眼底画像には、光学系に配置された少なくとも1つの光学部材（例えば、凹面鏡、レンズ）の反射又は屈折による歪みが含まれる。この歪みは、局所的な眼底上の撮像位置によって異なる。つまり、眼底上の撮像位置の違いによって、その光学部材への光の入射角度が異なるため、各撮像位置での眼底画像の歪み特性は異なる。このような眼底画像の歪みの特性を考慮せずに、診断や解析に適した良好な眼底画像を得ることは困難である場合がある。

なお、構築された光学系によっては、光学系に配置された少なくとも1つの光学部材（例えば、凹面鏡、レンズ）における光軸から離れた周辺部分を用いて局所領域での眼底画像を得る場合、特に、眼底画像全体に歪が大きくなる場合がありうる。

【0037】

図10は撮像位置ごとの歪の発生状態についての説明図であり、図10(a)は、第2眼底画像70b（眼底）に対する第1眼底画像70aの撮像位置B1～B9、図10(b)は各撮像位置B1～B9で取得された第1眼底画像70a1～70a9である。ここでは、第1撮影ユニット100で等間隔に並べられたドットを撮影したときの第1眼底画像70aに発生する収差の違いが示されている。つまり光軸L1を含む撮像位置B1では、凹面鏡31、35の中心部に照明光が入射するので発生する歪は小さく、第1眼底画像70a1は比較的精度良く表示されている。一方、光軸L1から偏心した撮像位置B2～B9では、凹面鏡31、35の周辺部に照明光が入射するので、撮像位置B1に比べて歪が発生しやすい状態にある。つまり第1眼底画像70a1と比べると、第1眼底画像70a2～70a9の収差がより顕著に現れていることが分かる。このように凹面鏡31、35への照明光の入射位置の違いによって、像歪が変化するので、各撮像位置で撮影された第1撮影画像の収差を、共通する歪補正パターン（ルックアップテーブル）を用いて補正することは困難である。

【0038】

なお歪を含む画像（画素）を用いて視細胞密度又は面積の計算等の各種演算を行おうとすると、演算結果の信頼性の低下につながるおそれがある。また視細胞の配列や視神経遷移束の走行等を確認する場合にも収差の影響で正しく認識することが妨げられてしまう。更には眼底の異なる位置で撮影された複数の第1眼底画像70aを繋ぎ合わせて、広画角の第1眼底画像70aを形成する場合には、各画像に個別に含まれる収差のために、隣合う画像同士を精度良く繋ぎ合わせることが出来なくなるおそれがある。

そこで本実施形態では、眼底に対する第1眼底画像70aの撮像位置毎に、凹面鏡31, 35の反射で生じる歪を補正する。歪補正の詳細な説明は後述する。

【0039】

制御部80は、眼底撮影装置500全体の動作制御をする。例えば、装置のアライメント動作、撮影動作、波面補償動作、トラッキング等の動作制御をする。また制御部80は、受光素子56から出力された信号を量子化すると共に、信号に含まれる歪を補正して撮影画像の情報として記憶部81に記憶させる画像取得手段となる。なお制御部80には、記憶部81、コントロール部92、モニター70等も接続される。

【0040】

記憶部81には、第1眼底画像70aの撮影画角の情報が記憶される。また凹面鏡31, 35の反射で生じる歪を画素毎に補正するために、走査位置毎のテーブル、走査位置に対応する演算式(歪補正プログラム)の少なくとも一方が記憶されている。また第2撮影画像上で指定された第1眼底画像70aの撮像位置の情報が記憶される。例えば、第1眼底画像70aの撮像位置Bは、第2眼底画像70bの基準位置Aに対する第1眼底画像70aのXY方向の偏位量(オフセット量)として記憶される(図4参照)。また記憶部81には、各種プログラムの他、コントロール部92による入力情報、取得された撮影情報(第1眼底画像70a及び第2眼底画像70b)など各種情報が記憶される。

【0041】

コントロール部92は、各種入力操作に用いられる。例えば、検者の操作によって、第1眼底画像70aの撮像位置(局所領域の撮像位置)を、第2眼底画像70b上で選択指示する入力手段として用いられる。コントロール部92には、モニター70に設置されるタッチパネル、マウス等、スイッチ等の周知の入力部材が用いられる。

【0042】

モニター70には、制御部80による受光素子56、251の受光信号に基づき、画角の異なる眼底画像(つまり第1眼底画像70a及び第2眼底画像70b)が形成される。例えばモニター70には所定のフレームレート(例えば10~100Hz程度)で更新される。眼底画像(第1眼底画像70a、及び第2眼底画像70b)が動画表示される他、記憶部81に記憶された眼底画像又は受光素子56、251から直接取得された眼底画像が静止画表示される。なお眼底撮影装置500とモニター70は別筐体の他、眼底撮影装置500にモニター70が組み込まれていても良い。

【0043】

<動作説明>

次に、以上の構成を備える眼底撮影装置500の動作を説明する。

固視灯(図示を略す)を点灯して被検眼Eを固視させ、コントロール部92の操作で視度補正部10を駆動して眼Eの視度が補正される。図4(a)のように、第2撮影ユニット200で撮影された第2眼底画像70bがモニター70に表示されると、被検眼Eと撮影部503のアライメントが行われる。

【0044】

アライメントが完了すると、検者はコントロール部92を用いて、第2眼底画像70b上で第1眼底画像70aの撮像位置Bを指定する。制御部80は入力信号に基づき、図4(b)に示されるように、第2眼底画像70b上で第1眼底画像70aの撮像位置Bに対応する位置に画像処理でマークMを形成する。また制御部80は、第2眼底画像70bの基準位置Aに対する撮像位置BのX方向の偏位量(オフセット) Xと、Y方向の偏位量(オフセット) Yを求めて、記憶部81に記憶する。なおここでの基準位置Aは撮影画像70aの中心座標であるとする。

【0045】

制御部80は、駆動部42の制御で、ガルバノミラー41aの傾斜角度を偏位量 Xに基づき調節する。またガルバノミラー41bの傾斜角度を偏位量 Yに基づき調節する。ガルバノミラー41a、41bの傾斜角度が変わると、凹面鏡31、35に対する照明光の入射角度が変わる。一方、上述したように凹面鏡31, 35への光束の入射角度が変わ

10

20

30

40

50

ると、凹面鏡 31, 35 で反射される照明光に含まれる歪の状態が変化する。

【0046】

また制御部 80 は波面補償ユニット 110 による被検眼 E の波面収差の検出及び補正を開始する。制御部 80 は、波面センサー 73 で検出された光学分布（受光信号）に基づき、眼底からの反射光の回折像の拡がり具合が最小となるように、波面補償光学系 110 を制御する。

【0047】

眼底に集光された照明光の反射光は、レゾナントスキャナー 15 を介して光路を逆に辿り、波面補償デバイス 72 の変調を受け、ビームスプリッタ 71 で反射（偏向）されて第 1 撮影光学系 100b に導かれる。反射光は、偏光ビームスプリッタ 52 を介し、レンズ 53 でピンホール板 54 のピンホールに集光され、レンズ 55 を介して受光素子 56 に入射される。

10

【0048】

ガルバノスキャナー 40 の各ミラー 41a、41b の偏向によって、照明光の照射位置が撮像位置 B に合わせられた状態において、制御部 80 は、レゾナントスキャナー 15 とガルバノスキャナー 40 の走査で、撮像位置 B を中心とする眼底の局所領域を所定画角で走査し、指定された局所領域における眼底画像を得る。つまり、制御部 80 は、第 1 眼底画像 70a を構成する画素毎の受光信号を取得する。

【0049】

< 撮影画像の位置補正 >

20

ここで歪補正プログラムによる歪補正について説明する。図 5 は歪補正プログラムの動作説明のフローチャートである。制御部 80 は、上記のようにして第 1 眼底画像 70a を構成する各画素を取得すると共に、以下の歪補正プログラムを用いて 1 画素当りの歪の補正量を求める。

【0050】

なお、上記プログラムは、例えば、撮影画像の取得中に実行されることによって歪補正量を取得する構成であってもよいし、また、撮影画像の取得前に実行されることによって補正量を予め取得する構成であってもよい。もちろん、撮影画像の取得後に実行されることによって歪補正量を眼底画像の取得後に取得する構成であってもよい。

【0051】

30

まずステップ S1 で、第 2 眼底画像 70b 上で第 1 眼底画像 70a の撮像位置 B が指定された場合、基準位置 A に対する撮像位置 B のオフセット量に基づき、ガルバノスキャナー 40 の傾斜角度が設定される。

【0052】

次にステップ S2 で、ガルバノミラー 41a で反射される光線ベクトル R_g が求められる。図 6 はステップ S2 の処理の説明図である。ガルバノミラー 41a の法線ベクトル N_g は式 (1) で示される。

【0053】

【数 1】

40

$$N_g = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + 45) \\ -\sin(\theta_1 + 45) \\ 0 \end{bmatrix} \cdots (1)$$

なお式 (1) において、角度 θ_1 はガルバノミラー 41a の振れ角であり、角度 45 度は、ガルバノミラー 41a の振れ角の中心角度である。ガルバノミラー 41a で反射する光線ベクトル R_g は式 (2) で示される。

【0054】

【数 2】

$$Rg = Lg - 2(Lg \cdot Ng) \cdot Ng \cdots (2)$$

式(2)において、ガルバノミラー41aに入射する光線ベクトル Lg 、ガルバノミラー41aで反射する光線ベクトル Rg である。なおY方向に走査されるガルバノミラー42bについても上記の式(1)、(2)で同様に光線ベクトル Rg が求められるので、ここでの詳細な説明は省略する。

【0055】

10

次にステップS3で三次元光線追跡が計算される。図7はX方向の入射角度の角度差の演算の説明図であり図2の光学系の枠線Dの拡大図が示されている。図8はY方向の入射角度の角度差の演算の説明図であり、図2の光学系の枠線Dを矢印C方向から見た状態が示されている。なお図7、8では説明の便宜上平面ミラー32、平面ミラー33の図示を省略している。

凹面鏡31で反射した光線ベクトル R は、式(3)で求められる。

【0056】

【数 3】

$$R = L - 2(L \cdot N) \cdot N \cdots (3)$$

20

式(3)において、凹面鏡31の反射光線ベクトル R 、入射光線ベクトル L (ここで、ガルバノミラー40で反射した光線ベクトル Rg を L と表記する)、法線ベクトル N である。つまり入射光線ベクトル L と法線ベクトル N から反射ベクトル R が求められる。なお、同様な計算は凹面鏡35でも行われる。

【0057】

次にステップS4で、凹面鏡31による歪が含まれているときの眼E(瞳)への照明光の入射角度を求める。入射角度は眼E(瞳)に入射する光線ベクトル Rp (凹面鏡35で反射した光線ベクトル R を Rp と表記する)から求められる。式(4)にX方向の入射角度 $\theta 1'$ 、式(5)にY方向の入射角度 $\theta 2'$ を示す。

30

【0058】

【数 4】

$$\theta 1' = \tan^{-1} \left(\frac{Rp_y}{Rp_x} \right) \cdots (4)$$

【0059】

【数 5】

40

$$\theta 2' = \tan^{-1} \left(\frac{Rp_y}{Rp_z} \right) \cdots (5)$$

式(4)、(5)において、瞳に入射する光線ベクトル Rp 、光線ベクトル Rp のX成分 Rp_x 、Y成分 Rp_y 、Z成分 Rp_z とする。

【0060】

次にステップS5で、凹面鏡31による歪が含まれているときの眼E(瞳)への照明光の入射角度と、歪が含まれていないとしたときの眼E(瞳)への照明光の入射角度の角度差を求める。式(6)でX方向の入射角度の角度差、式(7)でY方向の入射角度の角度差が求められる。

50

【 0 0 6 1 】

【 数 6 】

$$t\theta_1 - \theta_1' = \Delta\theta_1 \cdot \cdot \cdot (6)$$

【 0 0 6 2 】

【 数 7 】

$$t\theta_2 - \theta_2' = \Delta\theta_2 \cdot \cdot \cdot (7)$$

10

なお式(6)において、 t 1は、歪が無い場合のX方向への光線入射角度、 t 2は、歪が無い場合のY方向への光線入射角度である。また t は、ガルバノスキャナ40から被検眼E(瞳)への倍率関係を考慮して定まる係数である。

【 0 0 6 3 】

次にステップS6で、XY方向の入射角度の角度差を画素単位で求め、撮像位置Bで取得される画像(各画素)に対する歪補正パターン(補正量)を得る。式(8)は画素単位のX方向の補正量 $\Delta pixel(x)$ を求める計算式である。式(9)は画素単位のY方向の補正量 $\Delta pixel(y)$ を求める計算式である。

【 0 0 6 4 】

20

【 数 8 】

$$\Delta pixel(x) = \frac{\Delta\theta_1}{\theta_{pixel}} \cdot \cdot \cdot (8)$$

【 0 0 6 5 】

【 数 9 】

$$\Delta pixel(y) = \frac{\Delta\theta_2}{\theta_{pixel}} \cdot \cdot \cdot (9)$$

なお式(8)、(9)で θ_{pixel} は歪が無いときの1画素(ピクセル)当りの角度である。式(8)、(9)によって、1画素当りの歪の補正量が得られる。そして制御部80は、ガルバノミラー40及びレゾナントスキャナ15による各走査位置に対応する画素に関して、ステップS2~S6の処理によって、1画素当り(1画素毎)の歪の補正量をそれぞれ求める。つまり、制御部80は、ステップS2~S6の処理において、角度 1、2に、第1眼底画像70aの各画素に対応する値を与えることで、1画素当りの歪の補正量を求める。

30

そして第1眼底画像70aを構成する画素全体に対する歪の補正量を求めることで、撮像位置Bに対する歪の補正パターンが得られる。

【 0 0 6 6 】

そしてステップS7で、制御部80は撮像位置Bで取得される画像に対して歪補正パターンに基づき、各画素の座標を変位させて第1眼底画像70aの歪を補正する。制御部80は、第1眼底画像70aを構成する各画素を、上述のように画素毎に取得された補正量に基づき、X方向に補正量 $\Delta pixel(x)$ 、Y方向に補正量 $\Delta pixel(y)$ シフトさせる。

40

【 0 0 6 7 】

このように第1撮影光学系100bに配置された少なくとも一つの光学部材による歪が生じていないと仮定したときの第1眼底画像70aの座標位置と、実際に取得された前記第1眼底画像70aの座標位置との変位量に基づいて、撮像位置における走査部材(光スキャナ)の各走査位置に関して各画素の座標の変位量が設定される。

なお、以上の処理によれば、第1撮影光学系100bの光軸L1から撮像位置Bまでの距離が拡大すると、第1眼底画像70aにおける座標を補正する変位量が大きく設定される

50

。

【 0 0 6 8 】

なお上記の演算では、レゾナントスキャナー 1 5 (X 方向の走査) での走査をガルバノミラー 4 1 a で走査しているものと仮定した。よって、角度 1 にはステップ S 1 での傾斜角度と走査による傾斜角度が含まれている。(走査による傾斜角度の変化により角度 1 の値が変わり、画像全体の補正量を決めることができる。)

なお上記では第 1 眼底画像 7 0 a を構成する全画素の歪の補正量を逐次求めているが、第 1 眼底画像 7 0 a を構成する画素のうち、補正量を求める画素が所定のステップで選択されていても良い。この場合、歪補正の演算が行われない画素に対しては補完処理が行われることにより収差の影響が低減される。

10

【 0 0 6 9 】

また上記では撮像位置 B 毎に、第 1 眼底画像 7 0 a 全体に対応する歪補正パターンを求めた上で、歪補正を実行している。これ以外にも、歪補正パターンを求めずに、ステップ S 6 で 1 画素当りの補正量が求められる毎に、ステップ S 7 の補正処理が実行されても良い。以上のようにして、第 1 眼底画像 7 0 a がモニター 7 0 に表示される。図 9 に歪補正前後の撮影画像 7 0 a の例を示す。図 9 (a) は歪補正前の第 1 眼底画像 7 0 a であり、図 9 (b) は歪補正後の第 1 撮影画像 7 0 b である。以上のような歪補正プログラムの実行によって、モニター 7 0 には収差が取り除かれた第 1 眼底画像 7 0 a が精度良く表示されることが分かる。

【 0 0 7 0 】

20

ステップ S 8 では第 1 撮影画像 7 0 b の撮影完了の有無が判断される。撮影が終了していないと判断されると、再びステップ S 1 に戻り、第 2 眼底画像 7 0 b に対する撮像位置 B が切換えられる。なお撮像位置 B の指定は、コントロール部 9 2 の操作で手動にて行われてもよく、制御部 8 0 によって自動的に行われても良い。制御部 8 0 は、ステップ S 1 ~ S 8 の処理を繰り返し行い、撮像位置 B ごとに歪補正パターンを求め、歪補正の処理をする。そして、ステップ S 8 で撮影の終了が判断されると、一連の処理が終了する。

【 0 0 7 1 】

なお、複数の第 1 眼底画像 7 0 a が取得されると、制御部 8 0 は画像処理で隣り合う第 1 眼底画像 7 0 a を繋ぎ合わせて (コラージュとして) モニター 7 0 に表示する。本実施形態では、撮像位置 B ごとに求められた歪補正パターンによって、各第 1 眼底画像 7 0 a の収差が取り除かれているので、隣り合う第 1 眼底画像 7 0 a を精度良く繋ぎ合わせることができる。また歪が取り除かれた画像を用いて、視細胞密度解析 (視細胞密度や面積の計算) や、眼底の形態情報 (視細胞配列、視神経繊維束の走向) も精度良く確認できるようになる。

30

【 0 0 7 2 】

なお、上記では記憶部 8 1 に歪補正パターンを求める歪補正プログラム (演算式) を記憶する例を示した。これ以外にも、記憶部 8 1 には、撮像位置 B ごとに予め取得された歪補正パターン (又は 1 画素単位で取得された補正量) が記憶されても良い。この場合、撮像位置 B が指定されると、対応する歪補正パターン (又は対応する画素の補正量) が記憶部 8 1 から呼び出されて、歪補正の処理が実行される。

40

【 0 0 7 3 】

また上記では、撮像位置 B ごとに歪補正パターンを算出しているが、基準位置 A からの偏位量 (オフセット量) に応じて歪補正パターンが段階的に決定されても良い。例えば、基準位置 A からの距離に応じて特定の歪補正パターンが選択される。又は基準位置 A からの方向に応じて特定の歪補正パターンが選択されるようにしても良い。

【 0 0 7 4 】

又は、撮像位置 B ごとの歪の発生状態に応じて、歪補正の実行の有無が切換えられても良い。例えば、凹面鏡 3 1 , 3 5 の光軸 L 1 付近に入射される照明光は歪が少ない場合 (例えば、基準位置 A を含む所定範囲) では歪補正を無効とし、光軸 L 1 から所定離れた周辺部で (基準位置 A から所定距離離れた撮像位置 B での撮影が行われる場合) に歪補正が

50

実行されるように設定することもできる。または、これらの複数の処理を検者が選択出来るようにしても良い。

【0075】

更には、レゾナントスキャナー15の走査で生じる歪が別途考慮されても良い。レゾナントスキャナー15のような共振型スキャナーは、モータの駆動に連動して正弦波状に振動するため、振れ角に応じて走査角度が変化し撮影画像の解像度にばらつきを生じさせる原因となる。そこで予めレゾナントスキャナー15の歪をドットマトリクスのような補正画像の撮影で取得する。そして歪補正プログラムで求められた歪補正パターンとレゾナントスキャナー15の歪情報とを組合せて、第1眼底画像70aを形成しても良い。

【0076】

更に、上記では被検眼に照明光を入射させるために凹面鏡を用いる例を示した。これ以外も各種レンズやミラーを用いて被検眼に照明光を入射させる場合に、本発明の構成を適用可能である。

【0077】

また上記では、凹面鏡31, 35への照明光の入射角度を求めるために、第2眼底画像70bの基準位置Aに対する第1眼底画像70aの撮像位置Bの偏位量(オフセット)を用いているが、ガルバノスキャナー40(ガルバノミラー41a、41b)の傾斜角度を検知する角度検出部(センサー)を設け、ガルバノミラー41a、41bの傾斜角度の検知結果に基づき照明光の入射角度が求められても良い。

【0078】

また、細胞密度解析(視細胞密度や面積計算等の各種演算)を行う場合には、モニター70に第1眼底画像70a及び第2眼底画像70bを表示させなくとも良い。例えばコントロール部92の操作で各種演算を実行するための信号が入力されると、制御部80はガルバノスキャナー40の傾斜角度を自動的に調節し、ガルバノスキャナー40の傾斜角度に応じて、上記の歪補正プログラムによる歪補正を実行させて、受光素子56で受光された信号含まれる歪補正を行う。

【0079】

なお、局所領域を撮像するための眼底撮像光学系の撮像画角としては、5度以下であることが好ましい。より好ましくは3度以下であるとする。もちろん、これに限定されず、通常の眼底カメラやSLOでは画像化されないような局所領域を撮影できる程度の撮影画角であればよい。

【0080】

局所領域を撮像するために設定された撮影画角は、眼底全体を撮像する撮像光学系の撮影画角(30°~50°が一般的)の1/5よりも相対的に小さい撮影画角であり、眼底の局所領域に関して拡大化された眼底画像を得るのに適している。なお、局所領域を撮像するため、好ましくは、眼底からの光に含まれる被検眼の波面収差を補償する波面補償デバイスが、撮像光学系の光路中に配置される。

【0081】

また、本発明は様々な種類の走査型の眼底撮影装置に応用できる。例えば患者眼の角膜内皮細胞を観察する眼底撮影装置、光源から出射された出射光によって被検眼眼底上の局所領域を横断方向に走査して断層画像を得る眼底撮影装置、例えば光コヒーレンストモグラフィ(OCCT)に適用可能である。

【0082】

なお、他の例として、本発明は、広画角の撮影画像の歪み補正に適用できる。例えば上記の第2撮影ユニット200で撮影された広画角の撮影画像の収差を、上述のような歪補正プログラム(歪補正パターン)に基づき補正しても良い。特に画像周辺部に有用である。

【0083】

すなわち、(1)光源と、光源から出射された出射光によって被検眼眼底全体をX及びY方向の少なくとも1方向に走査するための光スキャナと、各走査位置に関して眼底から

10

20

30

40

50

の光を検出するための検出器と、を有し、被検眼眼底全体を撮像するための眼底撮像光学系と、を備える眼底撮影装置において、各走査位置における検出器からの受光信号を処理して眼底画像を取得する画像処理手段を備え、画像処理手段は、各走査位置に応じて眼底画像の歪みを補正する。

【 0 0 8 4 】

(2) 画像処理手段は、第 1 眼底画像の歪みを補正する際、眼底画像における各画素の座標を変位させることにより眼底画像の歪みを補正する画像処理手段であって、各画素の座標の変位量は、前記眼底撮像光学系に配置された少なくとも 1 つの光学部材による歪が生じていないと仮定した場合の眼底画像の座標位置と、実際に取得された第 1 眼底画像の座標位置との変位量に基づいて、光スキャナの各走査位置に関してそれぞれ設定されている。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 5 】

【図 1】眼底撮影装置の外観図である。

【図 2】眼底撮影装置の光学系の説明図である。

【図 3】眼底撮影装置の制御ブロック図である。

【図 4】モニタの表示画面の例である。

【図 5】歪補正の動作制御のフローチャートである。

【図 6】ガルバノミラーの光線ベクトルの説明図である。

【図 7】X 方向の入射角度の角度差の演算の説明図である。

20

【図 8】Y 方向の入射角度の角度差の演算の説明図である。

【図 9】歪補正前後の第 1 撮影画像の例である。

【図 10】撮影位置毎に変化する歪の発生状態の例である。

【符号の説明】

【 0 0 8 6 】

1 光源

1 5 レゾナントスキャナー

4 0 ガルバノスキャナー

4 1 a、4 1 b ガルバノミラー

3 1、3 5 凹面鏡

30

7 0 モニタ

7 0 a 第 1 眼底画像

7 0 b 第 2 眼底画像

8 0 制御部

8 1 記憶部

9 2 コントロール部

1 0 0 第 1 撮影ユニット

1 0 0 a 第 1 照明光学系

1 0 0 b 第 1 撮影光学系

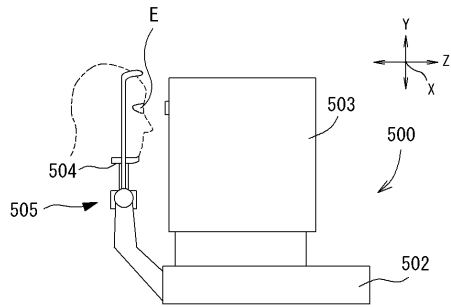
1 1 0 波面補償ユニット

40

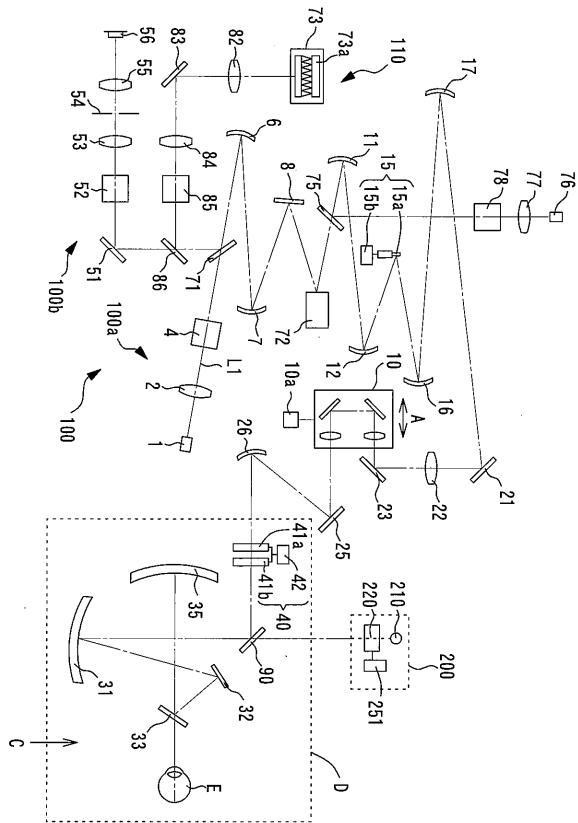
2 0 0 第 2 撮影ユニット

5 0 0 眼底撮影装置

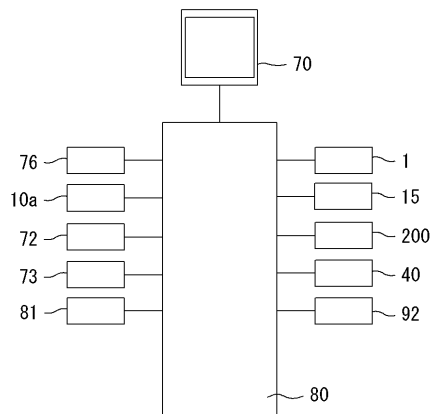
【 図 1 】



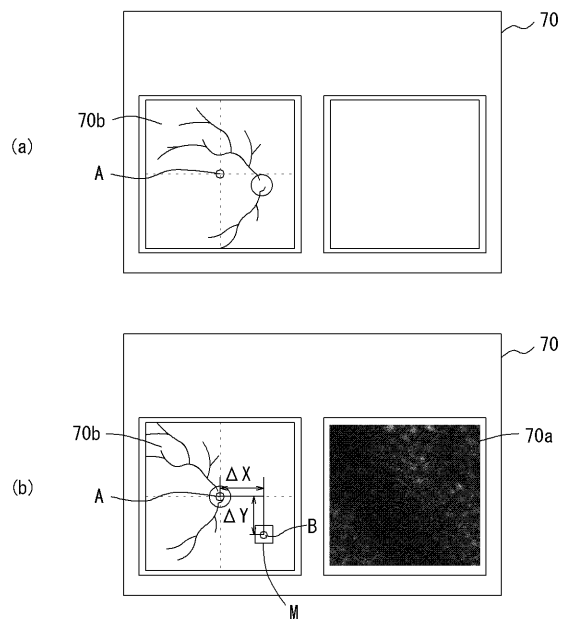
【 図 2 】



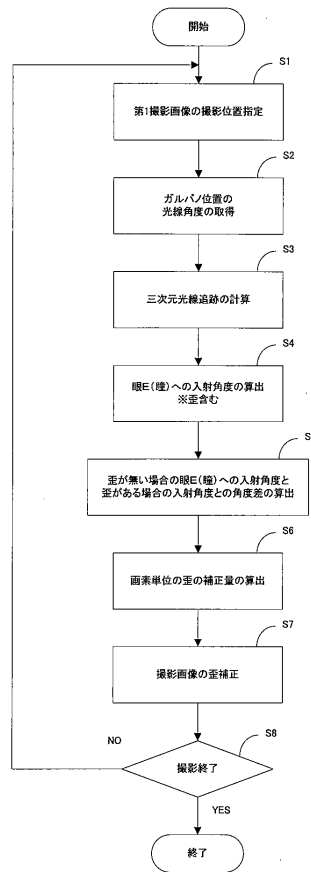
【圖 3】



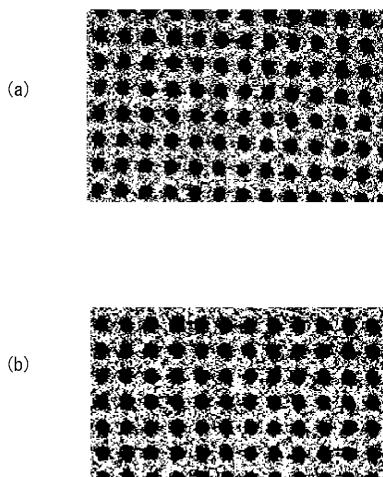
【 図 4 】



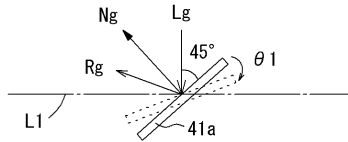
【図 5】



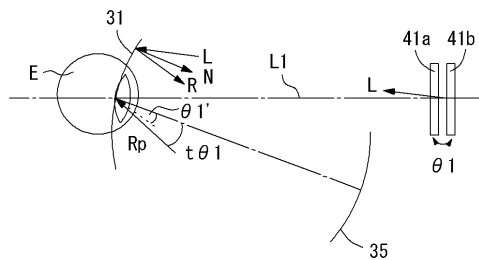
【図 9】



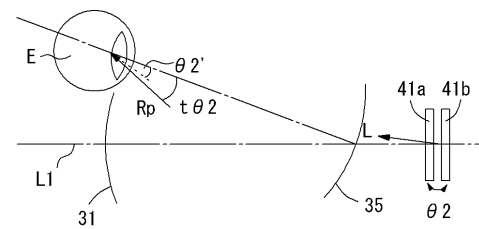
【図 6】



【図 7】

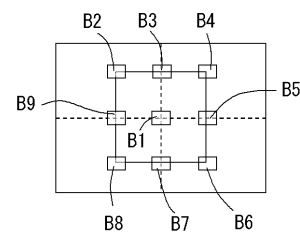


【図 8】

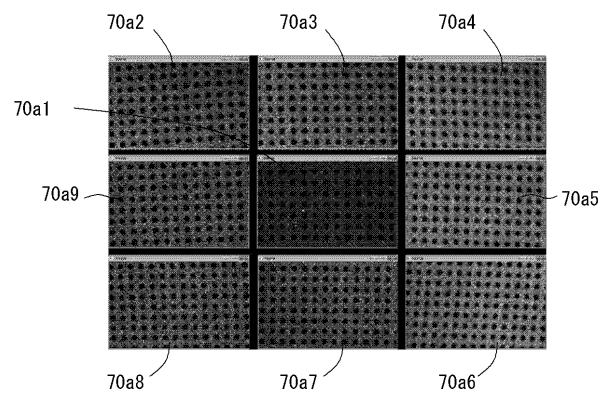


【図 10】

(a)



(b)



フロントページの続き

合議体

審判長 伊藤 昌哉

審判官 東松 修太郎

審判官 渡戸 正義

- (56)参考文献 特開 2 0 1 0 - 2 5 9 5 4 3 (J P , A)
特開平 1 - 3 0 2 4 7 4 (J P , A)
特開平 3 - 8 1 8 7 9 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 1 3 1 6 4 0 (J P , A)
特開 2 0 1 1 - 1 9 1 4 5 4 (J P , A)
特開平 6 - 2 6 1 8 6 2 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
A61B 3/00- 3/18