

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6007527号
(P6007527)

(45) 発行日 平成28年10月12日(2016.10.12)

(24) 登録日 平成28年9月23日(2016.9.23)

(51) Int.Cl.

F 1

A 6 1 B 3/10 (2006.01)
A 6 1 B 3/12 (2006.01)A 6 1 B 3/10
A 6 1 B 3/12R
E

請求項の数 4 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2012-56292 (P2012-56292)
 (22) 出願日 平成24年3月13日 (2012.3.13)
 (65) 公開番号 特開2013-188316 (P2013-188316A)
 (43) 公開日 平成25年9月26日 (2013.9.26)
 審査請求日 平成27年2月25日 (2015.2.25)

(73) 特許権者 000135184
 株式会社ニデック
 愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14
 (72) 発明者 樋口 幸弘
 愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14 株式会社ニデック拾石工場内
 審査官 九鬼 一慶

(56) 参考文献 特開2010-210268 (JP, A)
 特開2009-291252 (JP, A)

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束を測定光と参照光に分割し、測定光束を被検眼眼底に導き、参照光を参照光学系に導いた後、被検眼眼底から反射された測定光と参照光との干渉状態を検出器により検出する干渉光学系と、

を備え、前記検出器からの出力信号に基づいて被検眼眼底の断層画像を撮像する眼底撮影装置であって、

被検眼眼底に対する合焦位置を検出するためのフォーカス検出手段と、前記測定光の光路中に配置された第1光学部材を駆動させる第1駆動手段とを備え、前記フォーカス検出手段によって検出された合焦位置に前記第1光学部材を移動させるフォーカス調整手段と、

測定光と参照光との光路長差を調整するために測定光又は参照光の光路中に配置された第2光学部材を駆動させる第2駆動手段を有し、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第2光学部材を移動させる光路長調整手段と、

前記フォーカス検出手段によって被検眼眼底に対する合焦位置を検出し、検出された合焦位置に前記第1光学部材を移動させる前記フォーカス調整手段の作動中において、

前記検出器によって測定光と参照光との干渉状態を検出し、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第2光学部材を移動させる前記光路長調整手段の作動を並行して行うことを特徴とする眼底撮影装置。

【請求項 2】

請求項 1 の眼底撮影装置において、

前記フォーカス検出手段は、被検眼眼底に照明光を照射する照射光学系と、眼底反射光を受光素子により受光する受光光学系と、前記受光光学系に配置された第 3 光学部材を駆動させる第 3 駆動手段と、を有し、前記受光素子からの出力信号に基づいて被検眼眼底の正面眼底画像を得る眼底観察光学系を兼用し、前記第 3 駆動手段の駆動を制御して前記第 3 光学部材を移動させ、前記第 3 光学部材の各位置にて取得された正面眼底画像に基づいて被検眼眼底に対する前記合焦位置を検出することを特徴とする眼底撮影装置。

【請求項 3】

光源から出射された光束を測定光と参照光に分割し、測定光束を被検眼眼底に導き、参照光を参照光学系に導いた後、被検眼眼底から反射された測定光と参照光との干渉状態を検出器により検出する干渉光学系と、

を備え、前記検出器からの出力信号に基づいて被検眼眼底の断層画像を撮像する眼底撮影装置であって、

被検眼眼底に対する合焦位置を検出するためのフォーカス検出手段と、前記測定光の光路中に配置された第 1 光学部材を駆動させる第 1 駆動手段とを備え、前記フォーカス検出手段によって検出された合焦位置に前記第 1 光学部材を移動させるフォーカス調整手段と、

測定光と参照光との光路長差を調整するために測定光又は参照光の光路中に配置された第 2 光学部材を駆動させる第 2 駆動手段を有し、前記フォーカス検出手段の作動と並行して、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第 2 光学部材を移動させる光路長調整手段と、

を備え、

前記光路長調整手段は、前記フォーカス検出手段の作動と並行して、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第 2 光学部材を移動させ、前記フォーカス調整手段によって前記第 1 光学部材が前記合焦位置に移動された後、前記検出器から出力される出力信号に基づいて前記第 2 光学部材の位置を再調整することを特徴とする眼底撮影装置。

【請求項 4】

光源から出射された光束を測定光と参照光に分割し、測定光束を被検眼眼底に導き、参照光を参照光学系に導いた後、被検眼眼底から反射された測定光と参照光との干渉状態を検出器により検出する干渉光学系と、

を備え、前記検出器からの出力信号に基づいて被検眼眼底の断層画像を撮像する眼底撮影装置であって、

被検眼眼底に対する合焦位置を検出するためのフォーカス検出手段と、前記測定光の光路中に配置された第 1 光学部材を駆動させる第 1 駆動手段と、を備え、前記フォーカス検出手段によって検出された合焦位置に前記第 1 光学部材を移動させるフォーカス調整手段と、

測定光と参照光との光路長差を調整するために測定光又は参照光の光路中に配置された第 2 光学部材を駆動させる第 2 駆動手段を有し、前記フォーカス検出手段の作動と並行して、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第 2 光学部材を移動させる第 1 光路長調整手段と、

前記フォーカス調整手段によるフォーカス調整と、前記第 1 光路長調整手段による光路長調整と、の双方の調整が完了したことを検出する検出手段と、

前記検出手段によって、フォーカス調整及び光路長調整の双方の調整が完了したことを検出した場合に、前記検出器から出力される出力信号に基づいて前記第 2 光学部材の位置を再調整する第 2 光路長調整手段と、

を備えることを特徴とする眼底撮影装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、被検者眼眼底の断層像を撮影する眼底撮影装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

被検者眼の眼底の断層像を撮影する光断層像撮影装置として、低コヒーレント光を用いた光断層干渉計（Optical Coherence Tomography:OCT）が知られている（特許文献1参照）。

【0003】

このような装置において、検者は、SLO光学系もしくは眼底カメラ光学系によって取得される眼底正面画像のフォーカス状態を利用して、眼底断層画像のフォーカス合わせを行っている。また、フォーカス調整後に、光路長調整と偏光状態の調整（ポラライザの調整）を行い、測定の最適化を行っていた。

10

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】****【特許文献1】特開2009-291252号公報****【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

しかしながら、従来、最適化において、光路長調整を行うためには、フォーカス調整が完了するまで、待つ必要があり、多くの時間を費やしていた。そして、最適化の制御を行う時間が長いため、検者がストレスを感じることがあった。また、被検者にとって負担であった。

20

【0006】

本発明は、上記問題点を鑑み、撮影条件を好適に調整し、眼底断層像を取得する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】

30

(1) 本開示の第1態様に係る眼底撮影装置は、光源から出射された光束を測定光と参照光に分割し、測定光束を被検眼眼底に導き、参照光を参照光学系に導いた後、被検眼眼底から反射された測定光と参照光との干渉状態を検出器により検出する干渉光学系と、を備え、前記検出器からの出力信号に基づいて被検眼眼底の断層画像を撮像する眼底撮影装置であって、被検眼眼底に対する合焦位置を検出するためのフォーカス検出手段と、前記測定光の光路中に配置された第1光学部材を駆動させる第1駆動手段とを備え、前記フォーカス検出手段によって検出された合焦位置に前記第1光学部材を移動させるフォーカス調整手段と、測定光と参照光との光路長差を調整するために測定光又は参照光の光路中に配置された第2光学部材を駆動させる第2駆動手段とを有し、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第2光学部材を移動させる光路長調整手段と、前記フォーカス検出手段によって被検眼眼底に対する合焦位置を検出し、検出された合焦位置に前記第1光学部材を移動させる前記フォーカス調整手段の作動中において、前記検出器によって測定光と参照光との干渉状態を検出し、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第2光学部材を移動させる前記光路長調整手段の作動を並行して行うことを特徴とする。

40

(2) 本開示の第2態様に係る眼底撮影装置は、光源から出射された光束を測定光と参照光に分割し、測定光束を被検眼眼底に導き、参照光を参照光学系に導いた後、被検眼眼底から反射された測定光と参照光との干渉状態を検出器により検出する干渉光学系と、を備え、前記検出器からの出力信号に基づいて被検眼眼底の断層画像を撮像する眼底撮影装置であって、被検眼眼底に対する合焦位置を検出するためのフォーカス検出手段と、前記

50

測定光の光路中に配置された第1光学部材を駆動させる第1駆動手段とを備え、前記フォーカス検出手段によって検出された合焦位置に前記第1光学部材を移動させるフォーカス調整手段と、測定光と参照光との光路長差を調整するために測定光又は参照光の光路中に配置された第2光学部材を駆動させる第2駆動手段を有し、前記フォーカス検出手段の作動と並行して、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第2光学部材を移動させる光路長調整手段と、を備え、前記光路長調整手段は、前記フォーカス検出手段の作動と並行して、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第2光学部材を移動させ、前記フォーカス調整手段によって前記第1光学部材が前記合焦位置に移動された後、前記検出器から出力される出力信号に基づいて前記第2光学部材の位置を再調整することを特徴とする。

10

(3) 本開示の第3態様に係る眼底撮影装置は、光源から出射された光束を測定光と参照光に分割し、測定光束を被検眼眼底に導き、参照光を参照光学系に導いた後、被検眼眼底から反射された測定光と参照光との干渉状態を検出器により検出する干渉光学系と、を備え、前記検出器からの出力信号に基づいて被検眼眼底の断層画像を撮像する眼底撮影装置であって、被検眼眼底に対する合焦位置を検出するためのフォーカス検出手段と、前記測定光の光路中に配置された第1光学部材を駆動させる第1駆動手段と、を備え、前記フォーカス検出手段によって検出された合焦位置に前記第1光学部材を移動させるフォーカス調整手段と、測定光と参照光との光路長差を調整するために測定光又は参照光の光路中に配置された第2光学部材を駆動させる第2駆動手段を有し、前記フォーカス検出手段の作動と並行して、前記検出器から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に前記第2光学部材を移動させる第1光路長調整手段と、前記フォーカス調整手段によるフォーカス調整と、前記第1光路長調整手段による光路長調整と、の双方の調整が完了したことを検出する検出手段と、前記検出手段によって、フォーカス調整及び光路長調整の双方の調整が完了したことを検出した場合に、前記検出器から出力される出力信号に基づいて前記第2光学部材の位置を再調整する第2光路長調整手段と、を備えることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、撮影条件が好適に調整され、眼底断層像を取得できる。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0010】

以下、本発明に係る実施形態を図面に基づいて説明する。図1～図12は本実施形態に係る眼底撮影装置の構成について説明する図である。なお、本実施形態においては、被検者眼（眼E）の軸方向をZ方向、水平方向をX方向、鉛直方向をY方向として説明する。眼底の表面方向をXY方向として考えても良い。

【0011】

<概要>

本発明の実施形態に係る眼底撮影装置の概要について説明する。本実施形態に関わる眼底撮影装置（光コヒーレンストモグラフィーデバイス）1は、干渉光学系（OCT光学系）200、観察光学系300、制御部（CPU）70、を備える。

40

【0012】

OCT光学系200は、光スキャナ（走査部）23を備え、光源27から出射された光束を測定光と参照光に分割し、測定光束を被検眼眼底に導き、参照光を参照光学系200bに導いた後、被検眼眼底から反射された測定光と参照光との干渉状態を検出器83により検出する。そして、制御部70は、検出器83からの出力信号に基づいて、被検眼眼底の断層画像を撮像する。走査部23は、測定光の光路中に配置され、測定光を被検眼上で走査させる。

【0013】

例えば、OCT光学系200は、測定光と参照光との干渉状態として、被検眼眼底から反射された測定光と参照光とが合成された光のスペクトル情報を検出器83により検出する。

50

る。そして、検出器 83 によって検出されたスペクトル情報をフーリエ解析することにより被検眼眼底の断層画像を撮像する。

【0014】

観察光学系 300 は、被検眼眼底に照明光を照射する照射光学系と、眼底反射光を受光素子により受光する受光光学系と、を有し、受光素子からの出力信号に基づいて被検眼眼底の正面眼底画像を得る。例えば、SLO (スキャニングレーザオフサルモスコープ) や眼底カメラが挙げられる。

【0015】

例えば、観察光学系 300 に (スキャニングレーザオフサルモスコープ (SLO) 光学系) を用いる場合、SLO 光学系は、被検眼眼底に照明光を照射する照射光学系と、眼底反射光を受光素子 68 により受光する受光光学系と、受光光学系に配置された第 3 光学部材 (例えば、フォーカシングレンズ 63) を駆動させる第 3 駆動手段 (例えば、駆動機構 63a) と、を有する。そして、受光素子 68 からの出力信号に基づいて被検眼眼底の正面眼底画像が取得される。

【0016】

また、本装置は、フォーカス検出手段 (フォーカス検出部) と、フォーカス調整手段 (フォーカス調整部) と、光路長調整手段 (光路長調整部) と、を備える。

【0017】

フォーカス検出部は、被検眼眼底からの反射光を含む光を受光する受光素子を有し受光素子からの出力信号に基づいて被検眼眼底に対する合焦位置を検出する。

【0018】

例えば、フォーカス検出部は観察光学系 300 と兼用され、フォーカス検出部の動作の制御は、制御部 70 によって行われる。この場合、制御部 70 は、駆動機構 63a の駆動を制御してフォーカシングレンズ 63 を移動させ、フォーカシングレンズ 63 の各位置にて取得された正面眼底画像に基づいて被検眼眼底に対する合焦位置を検出する。

【0019】

フォーカス調整部は、被検者眼底に対する視度を補正するために測定光の光路中に配置された第 1 光学部材 (例えば、フォーカシングレンズ 24) を駆動させる第 1 駆動手段 (例えば、駆動機構 24a) を備える。例えば、フォーカス調整部の動作の制御は、制御部 70 によって行われる。この場合、制御部 70 は、フォーカス検出部によって検出された合焦位置にフォーカシングレンズ 24 を移動させる。

【0020】

光路長調整部は、測定光と参照光との光路長差を調整するために測定光又は前記参照光の光路中に配置された第 2 光学部材 (例えば、参照光の光路に配置される参照ミラー 31) を駆動させる第 2 駆動手段 (例えば、駆動機構 50) を有する。なお、測定光の光路長と参照光の光路長との光路長差を変更するための構成としては、測定光の光路中に配置された第 2 光学部材を移動させることにより、測定光の光路長を変化させて参照光との光路長を調整するような構成としてもよい。例えば、図 1 の光学系において、参照ミラー 31 を固定とし、リレーレンズ 24 とファイバー端部 39b とを一体的に移動されることにより参照光の光路長に対して測定光の光路長を変化させるような構成が考えられる。 例えば、光路長調整部の動作の制御は、制御部 70 によって行われる。この場合、制御部 70 は、フォーカス検出部の作動と並行して、検出器 83 から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に参照ミラー 31 を移動させる。そして、制御部 70 は、フォーカス調整部によってフォーカシングレンズ 24 が合焦位置に移動された後、検出器 83 から出力される出力信号に基づいて参照ミラー 31 の位置を再調整する。

【0021】

例えば、フォーカス検出部の作動と並行して参照ミラー 31 の移動を行う制御としては、フォーカス検出部の作動と同時に、検出器 83 から出力される出力信号に基づいて被検眼断層像が取得される位置に参照ミラー 31 を移動させることが挙げられる。

【0022】

10

20

30

40

50

被検眼断層像が取得される位置への参照ミラー31の移動について、例えば、制御部70は、駆動機構（駆動機構）50の駆動を制御して参照ミラー31を移動させ、参照ミラー31の各位置にて検出器83から出力される出力信号に基づいて行う。

【0023】

例えば、参照ミラー31の再調整について、例えば、制御部70は、フォーカス調整部によってフォーカシングレンズ24が合焦位置に移動された後、所定の画像領域で取得された眼底断層画像が実像か虚像かを判定し、その判定結果に応じて行う。。

【0024】

例えば、被検眼断層像が取得される位置への参照ミラー31の移動について、例えば、制御部70は、検出器83から出力される出力信号の信号強度に基づいて、断層画像中に眼底断層像が含まれるように、光路長をラフに調整する。また、参照ミラー31の再調整について、例えば、制御部70は、検出器83から出力される出力信号に基づいて深さ方向における眼底断層像の位置情報を取得し、取得された位置情報に基づいて、眼底断層像が所定の深さ位置にて取得されるように、光路長をシビアに調整する。本装置は、さらに、偏光調整手段（偏光調整部）を備える。偏光調整部は、偏光素子（例えば、ポラライザ33）と、偏光素子駆動手段（例えば、駆動機構34）を有する。

10

【0025】

例えば、偏光調整部の動作の制御は、制御部70によって行われる。この場合、制御部70は、測定光の光路又は参照光の光路に配置されるポラライザ33を駆動させることにより、測定光と参照光の偏光状態を略一致させる。そして、制御部70は、参照ミラー33の位置が再調整された後に検出器83から出力される出力信号に基づき、ポラライザ33を駆動させ、偏光状態の調整を行う。

20

【0026】

なお、本実施形態において、さらに、制御部70は、最適化の調整（例えば、光路長調整、フォーカス調整、偏光調整）が成功したか否かを判定するようにしてもよい。この場合、制御部70は、断層画像の輝度情報に基づいて、最適化の調整が成功したか否かを判定する。そして、制御部70は、判定結果に基づいて最適化の調整を停止させる構成が挙げられる。

【0027】

なお、制御部70は、フォーカス調整部によって参照ミラー31が合焦位置に移動された後、断層画像中における眼底断層像の有無を判定するようにしてもよい。この場合、制御部70は、眼底断層像が無しと判定された場合、参照ミラー31の駆動を制御して参照ミラー31を再度移動させる。そして、制御部70は、参照ミラー31の各位置にて検出器83から出力される出力信号に基づいて、被検眼断層像が取得される位置に参照ミラー31を移動させる。

30

【0028】

＜実施例＞

本実施例を図面に基づいて説明する。図1は、本実施例の眼科撮影装置の光学系及び制御系を示す図である。

【0029】

40

本装置は、光コヒーレンストモグラフィーデバイス（OCTデバイス）1である。図1において、OCTデバイス1は、干渉光学系（OCT光学系）200と、観察光学系（スキャニングレーザオフサルモスコープ（SLO）光学系）300、制御部（CPU）70と、を備える。

【0030】

OCT光学系200は、測定光学系200aと参照光学系200bを含む。また、OCT光学系200は、参照光と測定光による干渉光を周波数（波長）毎に分光し、分光された干渉光を受光手段（本実施形態においては、1次元受光素子）に受光させる分光光学系800を有する。

【0031】

50

ダイクロイックミラー40は、OCT光学系200に用いられる測定光源27から発せられる測定光（例えば、λ = 840 nm付近）を反射し、SLO光学系300に用いられるSLO光源61から発せられるレーザ光（OCT光源27とは異なる波長の光、例えば、λ = 780 nm付近）を透過する特性を有する。この場合、ダイクロイックミラー40は、OCT光学系200の測定光軸L1とSLO光学系300の測定光軸L2とを同軸にする。

【0032】

まず、ダイクロイックミラー40の反射側に設けられたOCT光学系200の構成について説明する。OCT光源27はOCT光学系200の測定光及び参照光として用いられる低コヒーレントな光を発するOCT光源であり、例えばSLD光源等が用いられる。OCT光源27には、例えば、中心波長840 nmで50 nmの帯域を持つ光源が用いられる。26は光分割部材と光結合部材としての役割を兼用するファイバーカップラー（スプリッタ）である。OCT光源27から発せられた光は、導光路としての光ファイバ38aを介して、ファイバーカップラー26によって参照光と測定光とに分割される。測定光は光ファイバ38bを介して被検眼Eへと向かい、参照光は光ファイバ38c（ポラライザ（偏光素子）33）を介して参照ミラー31へと向かう。

10

【0033】

測定光を被検眼Eへ向けて出射する光路には、測定光を出射する光ファイバ38bの端部39b、コリメータレンズ21、フォーカス用光学部材（フォーカシングレンズ）24、走査部（光スキャナ）23と、反射ミラー25、リレーレンズ22が配置されている。走査部23は、2つのガルバノミラーによって構成され、走査駆動機構51の駆動により、測定光源から発せられた光を眼底（被検物）上で二次元的（XY方向）に走査させるために用いられる。なお、走査部23は、例えば、AOM（音響光学素子）やレゾナントスキャナ等によって構成されていてもよい。

20

【0034】

ダイクロイックミラー40及び対物レンズ10は、OCT光学系200からのOCT測定光を被検眼眼底へと導光する導光光学系としての役割を有する。

【0035】

フォーカシングレンズ24は、駆動機構24aの駆動によって、光軸方向に移動可能となっており、被検者眼底に対する視度を補正するために用いられる。

30

【0036】

光ファイバ38bの端部39bから出射した測定光は、コリメータレンズ21によってコリメートされた後、フォーカシングレンズ24を介して、走査部23に達し、2つのガルバノミラーの駆動により反射方向が変えられる。そして、走査部23で反射された測定光は、反射ミラー25で反射される。その後、測定光は、リレーレンズ22を介して、ダイクロイックミラー40で反射された後、対物レンズ10を介して、被検眼眼底に集光される。

【0037】

そして、眼底で反射した測定光は、対物レンズ10を介して、ダイクロイックミラー40で反射し、OCT光学系200に向かい、リレーレンズ22、反射ミラー25、走査部23の2つのガルバノミラー、フォーカシングレンズ24及びコリメータレンズ21を介して、光ファイバ38bの端部39bに入射する。端部39bに入射した測定光は、光ファイバ38b、ファイバーカップラー26、光ファイバ38dを介して、光ファイバ38dの端部84aに達する。

40

【0038】

一方、参照光を参照ミラー31に向けて出射する光路には、光ファイバ38c、参照光を出射する光ファイバ38cの端部39c、コリメータレンズ29、参照ミラー31が配置されている。光ファイバ38cは、参照光の偏光方向を変化させるため、駆動機構34により回転移動される。すなわち、光ファイバ38c及び駆動機構34は、偏光方向を調整するためのポラライザ33として用いられる。

50

【0039】

なお、本実施形態のポラライザ33は、測定光と参照光の偏光方向を一致させるために、測定光と参照光の少なくともいずれかの偏光方向を調整する。ポラライザ33は、測定光路又は参照光路の少なくともいずれかに配置される。ポラライザ33としては、上記構成に限定されず、例えば、光軸を中心に1/2波長板又は1/4波長板の回転角を調整することによって光の偏光方向を変える構成、ファイバーに圧力を加えて変形させることによって光の偏光方向を変える構成、などが考えられる。

【0040】

また、参照ミラー駆動機構50は、参照光との光路長を調整するために参照光路中に配置された参照ミラー31を駆動させる。参照ミラー31は、本実施形態においては、参照光路中に配置され、参照光路長を変化させるべく、光軸方向に移動可能な構成となっている。

10

【0041】

光ファイバー38cの端部39cから出射した参照光は、コリメータレンズ29で平行光束とされ、参照ミラー31で反射された後、コリメータレンズ29により集光されて光ファイバ38cの端部39cに入射する。端部39cに入射した参照光は、光ファイバ38c、光ファイバ38c(ポラライザ33)を介して、ファイバーカップラー26に達する。

【0042】

そして、光源27から発せられた光によって前述のように生成される参照光と被検眼眼底に照射された測定光による眼底反射光は、ファイバーカップラー26にて合成され干渉光とされた後、光ファイバ38dを通じて端部84aから出射される。周波数毎の干渉信号を得るために干渉光を周波数成分に分光する分光光学系800(スペクトロメータ部)は、コリメータレンズ80、グレーティングミラー(回折格子)81、集光レンズ82、受光素子83を有する。受光素子83は、赤外域に感度を有する一次元素子(ラインセンサ)を用いている。

20

【0043】

ここで、端部84aから出射された干渉光は、コリメータレンズ80にて平行光とされた後、グレーティングミラー81にて周波数成分に分光される。そして、周波数成分に分光された干渉光は、集光レンズ82を介して、検出器(受光素子)83の受光面に集光する。これにより、受光素子83上で干渉縞のスペクトル情報が記録される。そして、受光素子83からの出力信号に基づいて眼の断層画像を撮像する。すなわち、そのスペクトル情報が制御部70へと入力され、フーリエ変換を用いて解析することで、被験者眼の深さ方向における情報が計測可能となる。ここで、制御部70は、走査部23により測定光を眼底上で所定の横断方向に走査することにより断層像を取得できる。例えば、X方向もしくはY方向に走査することにより、被検眼眼底のXZ面もしくはYZ面における断層像(眼底断層像)を取得できる(なお、本実施形態においては、このように測定光を眼底に対して一次元走査し、断層像を得る方式をBスキャンとする)。なお、取得された眼底断層像は、制御部70に接続されたメモリ72に記憶される。さらに、走査部23の駆動を制御して、測定光をXY方向に二次元的に走査することにより、受光素子83からの出力信号に基づき被検者眼眼底のXY方向に関する二次元動画像や被検眼眼底の三次元画像を取得することも可能である。

30

【0044】

参照ミラー31は、駆動機構50の駆動によって光軸方向に移動され、被検眼毎の眼軸長の違いに対応できるよう、その移動可能範囲が設定されている。図1において、参照ミラー31は、参照光の光路長が短くなる方向における移動限界位置K1から参照光の光路長が長くなる方向における移動限界位置K2までの範囲を移動可能である。

40

【0045】

自動光路長調整(第1自動光路長調整(詳しくは後述する))を開始する前の参照ミラー31の初期位置(移動開始位置)は、移動限界位置K1又は移動限界位置K2に設定さ

50

れる。もちろん、初期化開始以前の途中位置を初期位置としてもよい。また、初期位置を任意に変更できる設定としてもよい。

【0046】

フォーカシングレンズ24は、駆動機構24aの駆動によって光軸方向に移動され、その移動可能範囲が設定されている。フォーカシングレンズ24は、第1移動限界位置（例えば、屈折力が-12Dに対応する位置、すなわち、-12Dの屈折力でフォーカスが合う位置）から第2移動限界位置（例えば、屈折力が+12Dに対応する位置）までの範囲を移動可能である。

【0047】

フォーカシングレンズ24の初期位置は、被検眼の平均的な眼屈折力に対応する位置（例えば、0Dに対応する位置）としている。もちろん、初期位置に移動させる以前の位置を初期位置としてもよい。また、初期位置を任意に変更できる設定としてもよい。第1移動限界位置、第2移動限界位置のいずれかが初期位置であってもよい。

【0048】

光ファイバ38cは、駆動機構34の駆動によって回転移動され、その移動可能範囲が設定されている。光ファイバ38cは、第1移動限界位置（例えば、0°）から第2移動限界位置（例えば、180°）までの回転移動可能である。

【0049】

光ファイバ38cは、第1移動限界位置から第2移動限界位置までの間の途中位置に位置されており、第2自動光路長調整完了後までは移動されない。そのため、ポラライザ33においては、途中位置が初期位置となる。

【0050】

次に、ダイクロイックミラー40の透過方向に配置されたSLO光学系（共焦点光学系）300について説明する。SLO光学系300は、被検眼眼底の正面画像を取得するための観察光学系として用いられる。SLO光学系300は、被検眼眼底を照明する照明光学系と、該照明光学系によって照明された被検眼反射光を受光素子により受光する受光光学系とに大別され、受光素子から出力される受光信号に基づいて被検眼眼底の正面画像を得る。

【0051】

SLO光源61は、高コヒーレントな光を発する光源であり、例えば、 $\lambda = 780 \text{ nm}$ のレーザダイオード光源が用いられる。SLO光源61から発せられるレーザ光を被検眼Eに向けて出射する光路には、被検眼の屈折誤差に合わせて光軸方向に移動可能なフォーカシングレンズ63、走査駆動機構52の駆動により眼底上でXY方向に測定光を高速で走査させることができガルバノミラーとポリゴンミラーとの組み合せからなる走査部64、リレーレンズ65、対物レンズ10が配置されている。また、走査部64のガルバノミラー及びポリゴンミラーの反射面は、被検眼瞳孔と略共役な位置に配置される。

【0052】

また、SLO光源61とフォーカシングレンズ63との間には、ビームスプリッタ62が配置されている。そして、ビームスプリッタ62の反射方向には、共焦点光学系を構成するための集光レンズ66と、眼底に共役な位置に置かれる共焦点開口67と、SLO用受光素子68とが設けられている。

【0053】

ここで、SLO光源61から発せられたレーザ光（測定光）は、ビームスプリッタ62を透過した後、フォーカシングレンズ63を介して、走査部64に達し、ガルバノミラー及びポリゴンミラーの駆動により反射方向が変えられる。そして、走査部64で反射されたレーザ光は、リレーレンズ65を介して、ダイクロイックミラー40を透過した後、対物レンズ10を介して、被検眼眼底に集光される。

【0054】

そして、眼底で反射したレーザ光は、対物レンズ10、リレーレンズ65、走査部64のガルバノミラー及びポリゴンミラー、フォーカシングレンズ63を経て、ビームスプリ

10

20

30

40

50

ツタ 6 2 にて反射される。その後、集光レンズ 6 6 にて集光された後、共焦点開口 6 7 を介して、受光素子 6 8 によって検出される。そして、受光素子 6 8 にて検出された受光信号は制御部 7 0 へと入力される。制御部 7 0 は受光素子 6 8 にて得られた受光信号に基づいて被検眼眼底の正面画像を取得する。取得された正面画像はメモリ 7 2 に記憶される。なお、S L O 画像の取得は、走査部 6 4 に設けられたガルバノミラーによるレーザ光の縦方向の走査（副走査）とポリゴンミラーによるレーザ光の横方向の走査（主走査）によって行われる。

【 0 0 5 5 】

制御部 7 0 は、表示モニタ 7 5 に接続され、その表示画像を制御する。また、制御部 7 0 には、メモリ 7 2 、操作部 7 4 、参照ミラー駆動機構 5 0 、フォーカシングレンズ 6 3 を光軸方向に移動させるための駆動機構 6 3 a 、フォーカシングレンズ 2 4 を光軸方向に移動させるための駆動機構 2 4 a 、駆動機構 3 4 、等が接続されている。

【 0 0 5 6 】

図 2 は O C T 光学系 2 0 0 によって取得（形成）される断層画像の一例を示す図である。断層画像の画像データ G は、光路長一致位置より奥側に対応する第 1 の画像データ G 1 と、光路長一致位置より手前側に対応する第 2 画像データ G 2 からなり、測定光と参照光の光路長が一致する深度位置 S に関して互いに対称な画像となっている。

【 0 0 5 7 】

なお、上記構成において、測定光と参照光との光路長が一致する深度位置が網膜表面より前側に形成されるように参照ミラー 3 1 が配置されると、脈絡膜側部分よりも網膜表面側の感度が高い眼底断層像（正像）が取得される。この場合、第 1 の画像データ G 1 と第 2 画像データ G 2 における眼底断層像は、向かい合った状態となる。この場合、第 1 の画像データ G 1 において実像が取得され、第 2 画像データ G 2 において虚像（ミラーイメージ）が取得される。

【 0 0 5 8 】

一方、測定光と参照光との光路長が一致する深度位置が網膜表面より奥側に形成されるように参照ミラー 3 1 が配置されると、網膜表面側よりも脈絡膜側部分の感度が高い眼底断層像（逆像）が取得される。この場合、第 1 の画像データ G 1 と第 2 画像データ G 2 における眼底断層像は、互いに反対方向を向いた状態にある。この場合、第 2 の画像データ G 2 において実像が取得され、第 1 の画像データ G 1 において虚像（ミラーイメージ）が取得される。

【 0 0 5 9 】

制御部 7 0 は、例えば、断層画像の画像データ G のうち、第 1 の画像データ G 1 もしくは第 2 画像データ G 2 のいずれかの画像データを抽出し、モニタ 7 5 の画面上に表示する。なお、本実施形態では、第 1 の画像データ G 1 を抽出する設定となっている。

【 0 0 6 0 】

本実施形態において、制御部 7 0 は、受光素子 8 3 から出力されるスペクトルデータに対しソフトウェアによる分散補正処理を施す。そして、分散補正後のスペクトルデータに基づいて深さプロファイルを得る。このため、実像と虚像との間で画質において差異が生じる。

【 0 0 6 1 】

例えば、実像に対する分散の影響を補正するための分散補正值として第 1 の分散補正值（正像用）をメモリ 7 2 から取得し、受光素子 8 3 から出力されるスペクトルデータを第 1 の分散補正值を用いて補正し、補正されたスペクトル強度データをフーリエ変換して断層画像データを形成する。これにより、第 1 の画像データ G 1 において実像が取得されたとき、その実像は、高感度・高解像度の画像にて取得され、第 1 の画像データ G 1 において虚像が取得されたとき、その虚像は、分散補正值の違いにより低解像度のぼやけた像となる。

【 0 0 6 2 】

もちろん、これに限定されず、虚像に対するソフトウェアの分散補正が行われても良い

10

20

30

40

50

。また、第2の画像データG2を抽出する設定であってもよいし、もちろん第1の画像データG1と第2の画像データG2の両方を抽出する設定であってもよい。また、所定のスイッチにより任意に設定されてもよい。

【0063】

<制御動作>

以上のような構成を備える装置において、その制御動作について説明する。ここで、制御部70は、OCT光学系200及びSLO光学系300を駆動制御してOCT画像及びSLO画像の各画像を1フレーム毎に取得していき、モニタ75を表示制御してモニタ75に表示されるOCT画像及びSLO画像を随時更新する。なお、検者の設定によらない最初のOCT画像の取得位置として、SLO画像の中心位置を基準とした走査位置(例えば、X方向)が設定されている。10

【0064】

図3は、本装置における動作の流れを示すフローチャートである。検者は、図示無き固視標投影ユニットの固視標を注視するように被検者に指示した後、図示無き前眼部観察用カメラで撮影される前眼部観察像をモニタ75で見ながら、被検眼の瞳孔中心に測定光軸がくるように、図示無きジョイスティックを用いて、アライメント操作を行う。このようにして被検眼に対するアライメントが完了されると、SLO光学系300による被検眼眼底の正面画像(SLO眼底像)が取得されるようになり、モニタ75上にSLO眼底像が現れる。

【0065】

次いで、撮影条件の最適化を行うことによって、OCT光学系200によって、検者が所望する眼底部位が高感度・高解像度で観察できるようにする。なお、本実施形態において、OCT光学系200の最適化の制御は、光路長調整、フォーカス調整、偏光状態の調整(ポラライザ調整)、の制御である。20

【0066】

検者は、コントロール部74に配置された最適化開始スイッチ(Optimizeスイッチ)74aを押す。最適化開始スイッチ74aから操作信号が発せられると、制御部70は、最適化制御を開始するためのトリガ信号を発し、最適化を開始する。

【0067】

最適化の完了後、検者により、図示無き撮影スイッチが押されると、眼底断層像が撮影され、メモリ75に記憶される。30

【0068】

<最適化制御>

図4は、本実施例に係る最適化制御について説明する図である。概して、制御部70は、初期化の制御として、参照ミラー31とフォーカシングレンズ24の位置を初期位置に設定する。初期化完了後、制御部70は、設定した初期位置から参照ミラー31を一方向に所定ステップで移動させ、第1光路長調整を行う(第1自動光路長調整)。また、第1光路長調整と並行するように、制御部70は、受光素子68から出力される受光信号によって取得されるSLO眼底像に基づいて被検眼眼底に対する合焦位置情報を取得する。合焦位置情報が取得されると、制御部70は、フォーカスシングレンズ24を合焦位置に移動させ、オートフォーカス調整(フォーカス調整)を行う。なお、合焦位置とは、観察画像として許容できる断層画像のコントラストを取得できる位置であればよく、必ずしも、フォーカス状態の最適位置である必要はない。40

【0069】

そして、フォーカス調整完了後、制御部70は、再度、参照ミラー31を光軸方向に移動させ、光路長の再調整(光路長の微調整)をする第2光路長調整を行う。第2光路長調整完了後、制御部70は、参照光の偏光状態を調節するためのポラライザ33を駆動させ、測定光の偏光状態を調整する。

【0070】

以下に、最適化制御の一例について詳細に説明する。50

【0071】

<評価値>

本実施例において、第1自動光路長調整、ポラライザ調整は、断層画像の信号強度を検出することによって行われる。以下の説明では、信号強度を示す指標として所定の評価値Bが用いられる。

【0072】

評価値Bは、 $B = ((\text{画像の平均最大輝度値}) - (\text{画像の背景領域の平均輝度値})) / (\text{背景領域の輝度値の標準偏差})$ の式より求められる。制御部70は、受光素子83からの出力信号に基づいて取得される断層画像の輝度分布データを取得する。例えば、図5は、参照ミラー、フォーカシングレンズ、ポラライザがある所定の位置に配置されている場合のモニタ75の画面上に表示された画像を示す図である。

10

【0073】

制御部70は、初めに、深さ方向(Aスキャン方向)に走査する複数の走査線を設定し、各走査線上における輝度分布データを求める。図5においては、画像を10分割し、10本の分割線を走査線としている。図6は、画像の深さ方向における輝度分布の変化を示す図である。

【0074】

ここで、制御部70は、各走査線に対応する輝度分布から輝度値の最大値(以下、最大輝度値と省略する)を算出する。そして、制御部70は、眼底断層像における最大輝度値として、各走査線における最大輝度値の平均値を算出する。そして、制御部70は、眼底断層像における背景領域の平均輝度値として、各走査線における背景領域の輝度値の平均値を算出する。

20

【0075】

このようにして、算出された評価値Bは、第1自動光路長調整、ポラライザ調整において利用される。なお、この場合、画像データG1内の断層画像にて、評価値Bを算出することが好ましい。

【0076】

<初期化>

初めに、制御部70は、初期化の制御を行う。初期化の制御は、参照ミラー31とフォーカシングレンズ24の位置を初期位置(移動開始位置)に移動させる。

30

【0077】

そして、初期化の制御が開始されると、制御部70は、移動限界位置K1又は移動限界位置K2のどちらかの位置を参照ミラー31の初期位置として選択する。なお、初期位置の決定は、初期化の制御を開始する以前の参照ミラー31の位置から移動限界位置K1又は移動限界位置K2により近い側の位置が選択される。そして、制御部70は、移動限界位置K1又は移動限界位置K2の初期位置へ参照ミラー31を移動させる。もちろん、異なる基準に基づいて、初期位置に設定するための移動方向の決定を行ってもよい。

【0078】

また、制御部70は、フォーカシングレンズ24を初期位置(本実施形態においては、0Dに対応する位置)へ移動させる。

40

【0079】

制御部70は、参照ミラー31及びフォーカシングレンズ24を初期位置へ移動すると、第1光路長調整及びフォーカス調整を開始する。以下に、各調整の制御動作について説明する。

【0080】

<フォーカス調整>

初期化の制御が完了すると、制御部70は、フォーカス調整の制御を開始するためのトリガ信号を発し、OCT光学系200のフォーカス調整を開始する。本実施例において、OCT光学系200のフォーカス調整は、SLO光学系300のフォーカシングレンズ63の合焦位置情報に基づいて行われる。

50

【0081】

初めに、制御部70は、SLO眼底像に対するフォーカス調整を開始する。制御部70は、受光素子68から出力される受光信号によって取得されるSLO眼底像に基づいてSLO光学系300の合焦位置情報を取得し、SLO光学系300に配置されたフォーカシングレンズ63を合焦位置に移動させる(第1フォーカス調整)。

【0082】

より具体的には、まず、制御部70は、受光素子68から出力される受光信号に基づいて取得されるSLO眼底像の画像データを微分処理し、微分処理した結果に基づいて微分ヒストグラム情報を取得する。すなわち、制御部70は、SLO光学系300によって取得されたSLO眼底像の画像データにエッジ抽出用(例えば、ラプラシアン変換、Sobel等)のフィルタをかけて輪郭画像に変換した後、輪郭画像のヒストグラムを作成する。

【0083】

図7はSLO光学系300によって取得されるSLO眼底像の画像信号を微分処理した後の微分ヒストグラムの一例を示す図である。図7において、横軸は微分の絶対値(以下、微分値と省略する)d(d=1, 2, ..., 254)、縦軸は各微分値に対応する画素数H(d)を、画素数がピークを示した微分値における画素数H(dp)で正規化したものの((H(d)/H(dp))を百分率(%)で表記している。なお、図7のヒストグラムにおいては、端点(d=0, d=255)の2点のデータを除外している。ここで、微分値dは、輪郭画像における輝度値を255階調で表したものである。

【0084】

なお、微分ヒストグラムH(d)において、フォーカスが適正な場合、眼底の血管部位におけるエッジが先鋭化されるため、微分値の大きい方の画素数が増加し、フォーカスがずれるに従ってエッジが鈍くなるため、微分値の大きい方の画素数が低下する。

【0085】

ここで、制御部70は、前述のように取得されたヒストグラム情報において画像全体で所定の割合以上の画素数を持つ輝度値(微分値)の最大値を用いてSLO眼底像の結像状態(フォーカス状態)評価値を算出する。例えば、SLO眼底像の結像状態を評価するための結像状態評価値C1として、閾値S1(例えば、20%)以上での微分値の最大値Dmaxと最小値Dminの差を求める(C1=Dmax - Dmin)。なお、閾値S1は、ノイズによる影響を回避しつつ、SLO眼底像の結像状態の変化に対して評価値C1が敏感に変化するような値に設定される。なお、本実施形態において、閾値S1を20%程度に設定したのは、SLO画像全体に占める範囲の少ない眼底血管部位におけるエッジの先鋭度の変化を精度良く検出するためである。また、上記において、閾値S1以上での微分値の最大値Dmaxのみを結像状態評価値C1として設定するようにしてもよい。

【0086】

結像状態評価値C1は、フォーカシングレンズ63が合焦位置にあるとき(SLO眼底像のフォーカスが合っているとき)に高い値を示し、フォーカシングレンズ63が合焦位置からずれるに従って低くなっていくため、SLO眼底像のフォーカス状態(結像状態)の判定に用いることができる。

【0087】

ここで、制御部70は、SLO光学系300の受光光学系に配置されたフォーカシングレンズ63の位置を移動させながら結像状態評価値C1をサンプリングし、サンプリング結果により合焦状態を判定し、フォーカシングレンズ63を合焦位置に駆動させる。

【0088】

例えば、制御部70は、適正なフォーカス位置を探索するべく、駆動機構63aを駆動制御して、フォーカシングレンズ63の移動可能範囲において離散的に設定された複数の移動位置にフォーカシングレンズ63を移動させ、各移動位置でのSLO眼底像を取得する。そして、制御部70は、移動位置毎に取得されたSLO眼底像それぞれの微分ヒストグラムを作成し、結像状態評価値C1をそれぞれ算出する。この場合、制御部70は、フ

10

20

30

40

50

オーカシングレンズ 6 3 を連続的に移動させていき、連続的に結像状態評価値 C 1 を算出するようにしてもよい。

【 0 0 8 9 】

図 8 は結像状態評価値 C 1 とフォーカシングレンズ 6 3 の移動位置 Z 1 との関係を示すグラフの一例を示す図である。図 8 においては、- 1 2 D に対応する位置から順に、フォーカシングレンズ 6 3 を 2 D ずつプラス方向に移動させ、順次評価値 C 1 を算出していき、+ 1 2 D に対応する位置までフォーカシングレンズ 6 3 を移動させた場合のものである。

【 0 0 9 0 】

前述のようにして各フォーカス位置における評価値 C 1 が得られたら、離散的に取得されたフォーカシングレンズ 6 3 の移動位置 Z 1 と評価値 C 1 の特性に対して補間処理を施し、S L O 光学系 3 0 0 の合焦位置を検出する。例えば、フォーカシングレンズ 6 3 の移動範囲に極大値を持つような関数にて曲線近似し、この曲線において評価値 C 1 が最大となる移動位置 Z 1 p を S L O 光学系 3 0 0 の合焦位置情報として取得する。なお、上記のような補間処理によって S L O 光学系 3 0 0 の合焦位置を検出する手法としては、関数近似、重心、平均値の算出等を用いたものが考えられる。

【 0 0 9 1 】

制御部 7 0 は、駆動機構 6 3 a を駆動制御して、前述のように取得された合焦位置情報に対応する移動位置にフォーカシングレンズ 6 3 を移動させることにより S L O 眼底像に対するフォーカス調整を終了する。

10

20

【 0 0 9 2 】

次に、制御部 7 0 は、第 1 フォーカス調整の制御による S L O 光学系 3 0 0 の合焦位置情報に基づいて O C T 光学系 2 0 0 のフォーカシングレンズ 2 4 を移動させる（第 2 フォーカス調整）。

【 0 0 9 3 】

制御部 7 0 は、第 1 のオートフォーカス制御による S L O 光学系 3 0 0 の合焦位置情報に基づいて O C T 光学系 2 0 0 のフォーカス位置情報を取得し、フォーカシングレンズ 2 4 を合焦位置まで移動させる（O C T 画像に対するオートフォーカス）。ここで、制御部 7 0 は、第 1 フォーカス調整によるフォーカシングレンズ 6 3 の移動位置を O C T 光学系 2 0 0 のフォーカス位置情報として取得し、そのフォーカス位置情報に基づいて駆動機構 2 4 a を駆動制御してフォーカシングレンズ 2 4 を合焦位置まで移動させる。

30

【 0 0 9 4 】

例えば、S L O 光学系 3 0 0 の合焦位置が - 3 D に対応する位置であれば、O C T 光学系 2 0 0 のフォーカス位置も同様に - 3 D に対応する位置になるように制御する。この場合、O C T 光学系 2 0 0 のフォーカス位置を S L O 光学系 2 0 0 の合焦位置に対応するフォーカス位置に設定できるように、フォーカシングレンズ 6 3 の移動位置とフォーカシングレンズ 2 4 の移動位置との間でディオプター換算による対応づけがなされている。

【 0 0 9 5 】

このようにして O C T 光学系 2 0 0 のフォーカシングレンズ 2 4 が S L O 光学系 3 0 0 の合焦位置に対応する移動位置に移動されると、ファイバー端部 3 9 b に入射される眼底反射光が増加する。

40

【 0 0 9 6 】

< 第 1 自動光路長調整（粗調整）>

制御部 7 0 は、合焦位置の検出動作、及び検出された合焦位置へのフォーカシングレンズ 6 3 の移動動作と並行して、第 1 自動光路長調整（自動粗光路長調整）を行う。図 9 は、第 1 自動光路長調整の制御動作の流れを示すフローチャートである。

【 0 0 9 7 】

制御部 7 0 は、駆動機構 5 0 の駆動を制御して参照ミラー 3 1 を移動させると共に、参照ミラー 3 1 の各位置にて受光素子 8 3 から出力される出力信号に基づいて、眼底断層像が取得される位置に参照ミラー 3 1 を移動させる。

50

【0098】

具体的には、制御部70は、初期位置にて断層画像を取得した後、初期位置とは逆の移動限界位置に向けて参照ミラー31を移動させる。例えば、参照ミラー31の初期位置として限界位置K1が選択（設定）された場合、限界位置K2に向けて方向へ移動させる。

【0099】

ここで、制御部70は、参照ミラー31を所定のステップ（例えば、撮影範囲として2mmステップ）で移動させ、各移動位置における断層画像を順次取得していく、眼底断層像が取得される位置を探索していく。

【0100】

この場合、制御部70は、離散的に設定された参照ミラー31の移動位置において、参照ミラー31が停止される度に断層像を取得する。そして、制御部70は、各位置にて取得される断層画像を解析する。例えば、制御部70は、各位置にて取得される断層像の評価値Bを算出する。そして、制御部70は、参照ミラー31の位置と断層像の評価値Bとを対応付けてメモリ75に記憶する。

10

【0101】

図10は、参照ミラー31の位置ごとにおける評価値Bの算出結果の一例を示す図である。横軸は、参照ミラーの位置、縦軸は、参照ミラーの各位置における評価値Bを表記したものである。

【0102】

ここで、制御部70は、取得された参照ミラー31の位置ごとにおける評価値Bの算出結果から、評価値Bのピークを検出する。そして、制御部70は、ピークの検出位置に対応する参照ミラー31の位置をメモリ75に記憶させる。そして、制御部70は、評価値Bのピークに対応する位置へ参照ミラー31を移動させる。なお、一般的には、眼底の実像が断層画像中に現れるときの参照ミラー31の位置が、評価値Bのピークが検出される位置となる。ただし、フォーカスがあつてない場合においては、虚像が断層画像中に現れるときの参照ミラー31の位置が、評価値Bのピークが検出される位置となる場合もありえる。

20

【0103】

なお、本実施例において、第1自動光路長調整とフォーカス調整を並行して行っているため、第1自動光路長調整中にフォーカス調整が完了した場合、第1自動光路長に用いる断層画像のフォーカス状態が向上する。このため、第1自動光路長調整の前後で、評価値Bが変化し、ピークの検出位置が変化する場合がある。この場合においても、第1自動光路長調整では、モニタ72上のいずれかの位置に眼底断層像の少なくとも一部が表示された状態となればよいため、必ずしもピーク位置が適切に検出される必要はない。すなわち、ラフに光路長調整が行わればよいため、ピーク検出精度は、必ずしも高くなくてよい。

30

【0104】

以上のようにして光路長がラフに調整されると、モニタ72上のいずれかの位置に眼底断層像の少なくとも一部が表示された状態となる。

【0105】

なお、本実施形態においては、参照ミラー31を所定のステップで移動させる場合、評価値Bの上昇がなくなり、下降をはじめた位置で、参照ミラー31の駆動を停止するようにしてよい。また、制御部70は、参照ミラー31の位置ごとにおける評価値Bの算出結果からピークに対応する参照ミラーの位置を推測するようにしてよい。（例えば、評価値Bの変化を示す近似曲線を作成する）。

40

【0106】

<第2自動光路長調整（微調整）>

図11は、第2自動光路長調整の制御動作の流れを示すフローチャートである。

【0107】

制御部70は、フォーカシングレンズ63が合焦位置に移動されると、第2自動光路長調整を開始する。制御部70は、受光素子83から出力される出力信号に基づいて、第1

50

自動光路長調整によって調整された位置から参照ミラー31の位置を再調整する。

【0108】

具体的には、フォーカス調整が完了すると、制御部70は、フォーカス調整によって取得された断層画像に基づいて、参照ミラー31を移動させる第2自動光路長調整を行う。

【0109】

ここで、制御部70は、画像データG1において、フォーカス調整後に取得された眼底断層像が実像か虚像かを判定する。例えば、制御部70は、深さ方向での輝度分布におけるピークに対する半値幅が所定の許容幅より小さいとき、眼底断層像を実像と判定し、半値幅が所定の許容幅が大きいとき、眼底断層像を虚像と判定する。なお、断層像の実虚の判定については、実像と虚像との間の画質の差異が利用される手法であればよく、半値幅の他、例えば、断層像のコントラスト、断層像のエッジの立ち上がり度等が利用される。また、眼底断層像の形状が利用されてもよい。

10

【0110】

制御部70は、取得される眼底断層像が虚像と判定された場合、実像が取得される方向（参照光が短くなる方向）に向けて参照ミラー31を移動させる。例えば、制御部70は、光路長一致位置Sから像検出位置までの偏位量をゼロにする参照ミラー31の移動量を算出し、さらに算出された移動量の2倍分参照ミラー31を移動させる。これにより、実像のみが取得された状態となる。この場合、参照ミラー31が一定量移動されたときの偏位量を予め求めておけばよい。これにより、制御部70は、光路長断層像の深度位置から像検出位置までの偏位量が所定の偏位量となるように参照ミラー31を移動させることができることになり、眼底断層像を所定の表示位置に表示できる。

20

【0111】

なお、参照ミラー31を移動させる手段はこれに限定されるものではない。例えば、虚像と判定された場合に、予め、参照ミラー31を実像が取得される方向（参照光が短くなる方向）に向けて移動させる所定のオフセット量を設定しておく。そして、制御部70は、眼底断層像が虚像と判定された場合、参照ミラー31を所定のオフセット量分移動させる。

【0112】

また、取得される眼底断層像が実像と判定された場合、制御部70は、実像の位置を判定する。例えば、制御部70は、深さ方向における輝度分布のピークが検出された位置を像位置とみなし、予め設定された光路長調整位置と像位置との変位量を算出し、その変位量がなくなるように参照ミラー31を移動させる（特開2010-12111号公報参照）。

30

【0113】

制御部70は、上記のように画像データG1の断層像に対する実虚の判定を行うと共に、さらに、画像データG1において実像と虚像が並存するか否かを並行して判定するのが好ましい。例えば、制御部70は、前述のように算出される各走査線における最大輝度値の検出位置の平均位置を眼底断層像の像位置P1として検出する。そして、制御部70は、測定光と参照光の光路長が一致する深度位置S（第1の画像データの上端位置）から像検出位置P1までの偏位量を算出する。すなわち、制御部70は、測定光と参照光の光路長が一致する深度位置Sを基準に眼底断層像の像位置を検出する。

40

【0114】

そして、制御部70は、前述のように算出される眼底断層像の像位置P1が断層画像の上端付近（例えば、断層画像の上端から1/4に相当する領域）にある場合、眼底断層像の実像と虚像が並存している状態であると判定する。この場合、制御部70は、実像のみが取得される方向（参照光が短くなる方向）に向けて参照ミラー31を所定量移動させる。この場合、実像と虚像が並存している状態から実像のみが取得された状態となるまでの参照ミラー31の移動方向及び移動量を実験もしくはシミュレーションにより予め求めておき、メモリ72に記憶しておけばよい。

【0115】

50

<第1自動光路長調整とフォーカス調整のタイミング>

ここで、第2自動光路長調整の制御を開始する際に、第1自動光路長調整とフォーカス調整の完了のタイミングが異なる場合がある。例えば、第1自動光路長調整がフォーカス調整よりも早く完了する場合、第1自動光路長調整がフォーカス調整よりも遅く完了する場合、第1自動光路長調整とフォーカス調整が同時に完了する場合がある。

【0116】

第1自動光路長調整がフォーカス調整よりも早く完了する場合において、第1自動光路長調整後に、フォーカス調整をしている間に、眼が動いてしまう等の原因によって、断層画像が表示されなくなる場合がある。この状態で、第2自動光路長調整を開始すると、第2自動光路長調整が失敗してしまう。

10

【0117】

また、第1自動光路長調整がフォーカス調整よりも遅く完了する場合において、第1自動光路長調整が完了する前に、フォーカス調整が完了してしまい、第2自動光路長調整を開始してしまう可能性がある。この場合、モニタ72上のいずれかの位置に眼底断層像の少なくとも一部が表示される前に、第2自動光路長調整を開始してしまうため、第2自動光路長調整が失敗してしまう。

【0118】

このため、制御部70は、第1自動光路長調整完了のタイミングとフォーカス調整完了のタイミングを検出し、第1自動光路長調整とフォーカス調整が同時に完了する場合を除いて、以下のような制御を行う。

20

【0119】

図12は、第1自動光路長調整とフォーカス調整が同時に完了しなかった場合における第2自動光路長調整の制御動作の流れを示すフローチャートである。

【0120】

フォーカス調整が完了すると、制御部70は、第1自動光路長調整の適否を判定する。判定は、例えば、所定の閾値を設定しておき、検出値（例えば、評価値Bや輝度値等）が閾値を越えたか否かによって判定する。

【0121】

制御部70は、調整が成功したと判定した場合、フォーカス調整後に取得された眼底断層像が実像か虚像かを判定する。制御部70は、上記記載と同様にして、取得される眼底断層像が虚像と判定された場合、実像が取得される方向（参照光が短くなる方向）に向けて参照ミラー31を移動させる。取得される眼底断層像が実像と判定された場合、制御部70は、実像の位置を判定する。例えば、制御部70は、深さ方向における輝度分布のピーカが検出された位置を像位置とみなし、予め設定された光路長調整位置と像位置との変位量を算出し、その変位量がなくなるように参照ミラー31を移動させる。

30

【0122】

また、制御部70は、調整が失敗したと判定した場合、第1自動光路長調整の制御を再度行う。このとき、第1自動光路長調整が失敗するたびに最適化の制御を停止させてもよいし、数回第1自動光路長調整の制御が失敗した場合に、最適化の制御を停止させてもよい。また、第1自動光路長調整を再度行う際の参照ミラー31の初期位置（光路長調整用光学部材）は、移動限界位置K1又は移動限界位置K2に移動させてもよいし、先の第1自動光路長調整で行われた際の評価値Bの結果に基づいて設定してもよい。さらに、初期位置より参照ミラー31を移動させる際の移動方向においても、先の第1自動光路長調整で行われた際の評価値Bの結果に基づいて行われてもよい。

40

【0123】

また、制御部70は、第1自動光路長調整完了時の参照ミラー31（光路長調整用光学部材）の位置から眼底断層像を探索するようにしてもよい。これにより、参照ミラー31が移動限界位置K1又は移動限界位置K2までに移動される時間が短縮される。例えば、制御部70は、完了時の位置が移動限界位置K1又は移動限界位置K2のどちらに近いかを判定し、近いと判定された限界位置に向けて参照ミラー31を移動させていく、各位置

50

にて取得された断層画像に基づいて眼底断層像が取得される位置を探索する。なお、眼底断層像がなければ、他方の移動限界位置に向けて参照ミラー31を移動させていく、眼底断層像が取得される位置を探索する。

【0124】

また、最適化が失敗した際には、最適化が失敗した表示をモニタ75上に表示する等して、検者に再最適化を行うか否かを選択させる構成としてもよい。

【0125】

制御部70は、第1自動光路長調整を再度調整した後、第1自動光路長調整の調整が成功したと判定すると、取得された眼底断層像が実像か虚像かを判定する。その後、実像か虚像かの判定結果に応じて、上記と同様の制御を行う。

10

【0126】

なお、制御部70は、第1自動光路長調整の適否を判定し、調整が失敗したと判定した場合、第1自動光路長調整とともにフォーカス調整を再度行うようにしてもよい。

【0127】

なお、フォーカス調整後に取得された眼底断層像が実像か虚像の判定及び眼底断層像の有無の判定は、どちらを先に行ってもよいし、同時に行うようにしてもよい。もちろん、一方の判定結果より、再度調整を行うような構成としてもよい。

【0128】

以上のように、第1自動光路長調整とフォーカス調整を並行して行った後、第2自動光路長調整を行うという手順で最適化の制御を動作させる。このとき、SLO光学系300を用いて、フォーカス調整を行い、OCT光学系200を用いて第1自動光路長調整を行っているため、フォーカス調整と第1自動光路長調整を並行して行うことができる。

20

【0129】

また、フォーカス調整前の光路長調整では、画像から検出される輝度が弱いために、実像・虚像の判定は行うことが困難であるが、フォーカスが調整されていない状態でも、眼底断層画像より眼底断層像が取得される位置を検出することができる。すなわち、フォーカス調整が完了していない状態では、第2光路長調整は困難であるが、第1光路長調整は、行うことができる。これによって、フォーカス調整がするまで、第1光路長自動調整の開始を待つ必要がなくなり、短時間でスムーズに最適化の制御を行うことができる。すなわち、撮影条件を好適に調整することができる。

30

【0130】

<ポラライザ調整>

制御部70は、第2自動光路長調整後に受光素子83から出力される出力信号に基づき、ポラライザ33を駆動させ、偏光状態の調整を行う。

【0131】

具体的には、制御部70は、ポラライザ33の位置を初期位置より、移動開始位置に移動させる。なお、ポラライザ33の初期位置は、第1移動限界位置から第2移動限界位置までの間の途中の位置に配置されている。なお、ポラライザ調整の際の、ポラライザ33の移動開始位置は、第1移動限界位置又は第2移動限界位置の位置となる。

【0132】

制御部70は、ポラライザ33を途中位置から第1移動限界位置又は第2移動限界位置のどちらかの移動開始位置を選択し、移動させる。例えば、制御部70は、第1移動限界位置を移動開始位置として選択し、ポラライザ33を移動させる。そして、制御部70は、ポラライザ33を第1移動限界位置から第2移動限界位置方向へ移動させる。なお、移動開始位置が第2移動限界位置の場合には、第1移動限界位置方向へ移動させる。そして、各移動位置におけるモニタ75の画面上の画像を順次取得していく、干渉光が強く受光できる位置（測定光と参照光の偏光状態が合う位置）を探索していく。

40

【0133】

偏光状態が合う位置の探索は、離散的に設定されたポラライザ33の移動位置でポラライザ33が停止される度に、その配置位置にて取得される画像を解析し、評価値Bの算出

50

を行う。

【0134】

制御部70は、移動開始位置とは、逆の移動限界位置まで、5°ずつポラライザ33を移動させていく。なお、本実施形態では、5°ずつポラライザ33を移動させる構成としたが、これに限定されない。例えば、10°でもよいし、20°でもよく、任意に設定できる構成でもよい。

【0135】

ここで、制御部70は、取得されたポラライザ33の位置ごとにおける評価値Bの算出結果から、ピークとなる評価値B(ピーク値)を検出し、ピーク値が検出された位置に対応する位置へポラライザ33を移動させる。以上のようにして、ポラライザ調整が完了される。

10

【0136】

以上のようにして、最適化の制御が完了されることにより、検者が所望する眼底部位が高感度・高解像度で観察できるようになる。

【0137】

<変容例>

なお、本実施例においては、被検眼眼底の正面画像を取得するための観察光学系としてSLO光学系300を用い、SLO光学系300によって取得される正面画像に基づいてOCT光学系200の合焦位置を調整するものとしたが、これに限定されない。観察光学系としては、被検眼に赤外光を照射し、被検眼からの反射光を受光する受光素子を有し、受光素子からの受光信号に基づいて被検眼の正面画像を得るものが挙げられる。例えば、眼底カメラが挙げられる。この場合、眼底カメラによって撮像された赤外眼底像に基づいて眼底カメラ光学系の合焦位置情報を取得する(例えば、前述のSLO眼底像に基づく合焦位置検出手法の適用が考えられる)。

20

【0138】

なお、合焦位置情報の取得方法は、上記手法に限定されない。眼底反射光を受光する受光素子から出力される受光信号に基づいて合焦位置情報が取得されるものであればよい。例えば、被検眼眼底にフォーカス用の指標(例えば、スプリット指標)を投影する投影光学系を設け、その眼底反射光による指標像(眼底反射像)を受光素子により受光し、受光素子から出力される受光信号に基づいて合焦位置情報を取得するようにしてもよい。

30

【0139】

なお、本実施例において、OCT光学系200からの眼底反射光を用いて、フォーカス調整を行う構成としてもよい。例えば、OCT光学系200における測定光の眼底反射光の信号を一部抽出し、抽出結果を検出する検出器を設ける。そして、検出器より検出された信号強度より、フォーカス調整を行う。例えば、フォーカス調整は、検出器から検出される信号強度がピークとなるようにフォーカス調整を行う。

【0140】

なお、本実施例において、第1自動光路長調整では、評価値Bに基づいて、光路長調整を行う構成としたがこれに限定されない。例えば、第2自動光路長調整のように実像と虚像の判定を行い、光路長調整を行ってもよい。この場合、第1自動光路長調整とフォーカス調整が並行して行われているため、フォーカス調整が行われていくため、実像及び虚像の判定ができるようになる。なお、第1自動光路長調整では、フォーカス調整が完了していないため、光路長の微調整を行うことができない。すなわち、フォーカス調整後、第2自動光路長調整にて、眼底断層像の像位置を検出し、実像のみが取得される方向に向けて参照ミラー31を所定量移動させ、光路長の微調整を行う。

40

【0141】

また、第2自動光路長調整では、実虚判定に基づいて、光路長調整を行う構成としたがこれに限定されない。例えば、第1自動光路長調整のように評価値Bに基づいて、光路長調整を行ってもよい。この場合、第1自動光路長調整では、参照ミラーを移動する際の所定ステップを長く(例えば、5mm)とり、第2自動光路長調整では、参照ミラーを移動

50

する際の所定ステップを短く（例えば、2 mm）とするようにしてもよい。これによって、第1自動光路長調整では、短時間で調整を行い、第2自動光路長調整では、精度よく調整を行うことができる。もちろん、所定ステップの間隔を任意に変更可能な構成としてもよい。

【0142】

なお、本実施例において、SLO光学系300を用いて、フォーカス調整を完了させる構成としたがこれに限定されない。制御部70は、第1フォーカス調整の制御によるSLO光学系300の合焦位置情報に基づいてOCT光学系200のフォーカシングレンズ24を移動させる。その後、さらに、OCT光学系200によって取得される断層画像に基づいてOCT光学系200の合焦位置情報を取得し、フォーカシングレンズ24を合焦位置に移動させるようにしてもよい。これによって、フォーカス調整がより精度よく行える。10

【0143】

なお、以上の説明においては、最適化制御動作の際に、一部の最適化制御（第1光路長調整の適否の判定）を除いて、前の調整が完了後に次の調整に移行する構成としたがこれに限定されない。例えば、制御部70により、断層画像の輝度情報に基づいて、最適化の調整が成功したか否かを判定し、判定結果に基づいて最適化の調整を停止させるようにしてもよい。制御部70は、調整が失敗したと判定した場合、再び最適化の制御をやり直しさせる。このとき、最適化制御が失敗するたびに最適化の制御を停止させててもよいし、数回最適化制御が失敗した場合に、最適化の制御を停止させててもよい。また、最適化が失敗した際には、最適化が失敗した表示をモニタ75上に表示する等して、検者に再最適化を行うか否かを選択させる構成としてもよい。20

【0144】

なお、制御部70が失敗したと判定した場合、最適化の制御のやり直しを行わせる前に、例えば、偏光状態が変化するような所定角度（例えば、90°）だけポラライザ33を回転駆動させるようにしてもよい。これによって、眼底断層像の受光される状態が変化し、再最適化が行われた場合に、最適化の制御が可能となる場合がある。

【0145】

なお、以上の説明においては、最適化の制御動作として、光路長調整、フォーカス調整、ポラライザ調整を行ったがこれに限定されない。例えば、ポラライザ調整を除いてもよい。この場合、最適化にかかる時間が少なくなるが、眼底断層像の感度及び解像度は、低くなる。30

【0146】

なお、以上の説明においては、最適化の制御動作として、第1自動光路長調整、フォーカス調整、第2自動光路長調整、ポラライザ調整の順で行われるようにしたがこれに限定されない。例えば、第1自動光路長調整及びフォーカス調整完了後から第2自動光路長調整の間に、ポラライザ調整を行ってもよい。

【0147】

なお、本実施例において、第2光路長調整の前後でフォーカス調整を行ってもよい。この場合、制御部70は、第1フォーカス調整は、第2光路長調整による光路長の微調整が可能な程度に粗く調整を行い、第2光路長調整による光路長の微調整完了後、第2フォーカス調整にて、フォーカスを一致させるようにしてもよい。40

【0148】

なお、本実施例においては、フォーカス調整が完了するとともに、第2自動光路長調整が開始される構成としたがこれに限定されない。例えば、フォーカス調整及び第1自動光路長調整が完了するとともに、第2自動光路長調整が行われる構成としてもよい。

【0149】

なお、以上の説明においては、断層画像における輝度分布を利用して眼底断層像の実像／虚像の判定を行うものとしたが、眼底断層像の実像が取得されたときの断層画像の断面形状と眼底断層像の虚像が取得されたときの断層画像における断面形状とを比較し、その50

比較結果を考慮して実像 / 虚像の判定が可能な判定条件を設定するようにしてもよい。例えば、実像と虚像が深さ方向に対称な画像であることを利用する。より具体的には、眼底断層像の第 1 の画像データ G 1 から網膜色素上皮部分を画像処理（例えば、網膜色素上皮の輝度値に対応するような所定の閾値を超える輝度値のデータを抽出する）により抽出し、抽出された網膜色素上皮部分の曲線形状に基づいて実像 / 虚像を判定するようにしてもよい。なお、光学部材を用いて分散補正を行う構成のものに対しても適用可能である。もちろん、光学的な分散補正とソフトウェアによる分散補正を組み合わせたものに対しても適用可能である。

【 0 1 5 0 】

なお、以上の説明においては、フーリエ変換後の深さプロファイルに基づいて各撮像条件が調整されたが、これに限定されない。すなわち、検出器から出力される出力信号に基づいて各撮像条件が調整されればよい。例えば、フーリエ変換前のスペクトルデータが用いられてもよい。

【 0 1 5 1 】

なお、上記説明において、スペクトルメータを用いたスペクトルドメイン OCT を例にとって説明したが、これに限定されない。例えば、波長可変光源を備える S S - OCT (Swept source OCT) であってもよい。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 5 2 】

【 図 1 】本実施例の眼科撮影装置の光学系及び制御系を示す図である。

20

【 図 2 】OCT 光学系によって取得される断層画像の一例を示す図である。

【 図 3 】本装置における動作の流れを示すフローチャートである。

【 図 4 】本実施例に係る最適化制御について説明する図である。

【 図 5 】断層画像の輝度分布データを求めるために断層画像上を走査される走査線について説明する図である。

【 図 6 】画像の深さ方向における輝度分布の変化を示す図である。

【 図 7 】SLO 光学系によって取得される SLO 眼底像の画像信号を微分処理した後の微分ヒストグラムの一例を示す図である。

【 図 8 】結像状態評価値とフォーカシングレンズの移動位置との関係を示すグラフの一例を示す図である。

30

【 図 9 】第 1 自動光路長調整の制御動作の流れを示すフローチャートである。

【 図 1 0 】参照ミラー 3 1 の位置ごとにおける評価値 B の算出結果の一例を示す図である。

。

【 図 1 1 】第 2 自動光路長調整の制御動作の流れを示すフローチャートである。

【 図 1 2 】第 1 自動光路長調整とフォーカス調整が同時に完了しなかった場合における第 2 自動光路長調整の制御動作の流れを示すフローチャートである。

【 符号の説明 】

【 0 1 5 3 】

2 3 走査部

40

2 4 フォーカシングレンズ

2 4 a 駆動機構

3 1 参照ミラー

3 3 ポラライザ

3 4 駆動機構

5 0 駆動機構

6 3 フォーカシングレンズ

6 3 a 駆動機構

6 8 受光素子

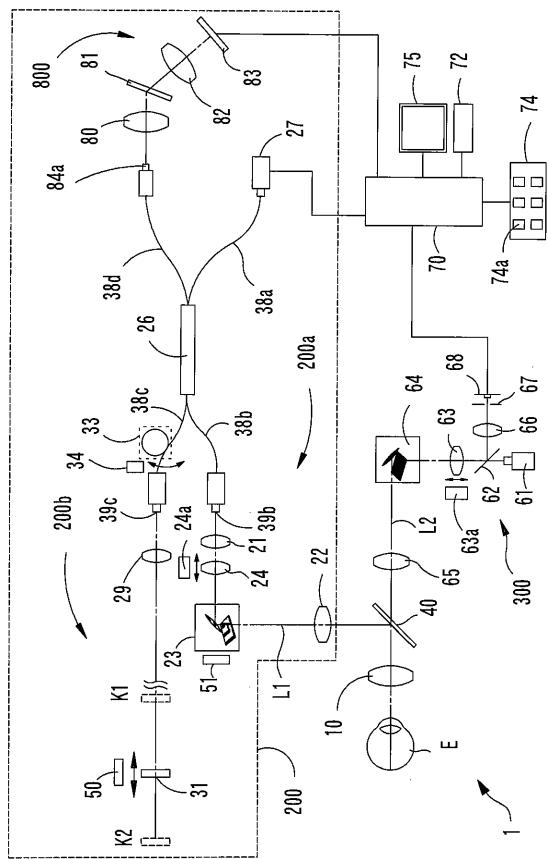
7 0 制御部

7 2 メモリ

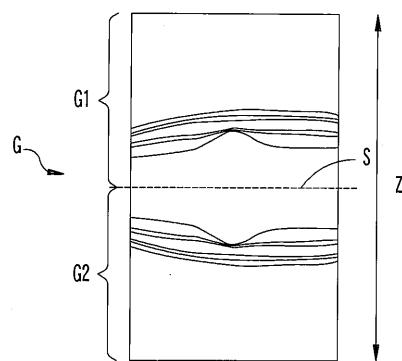
50

7 5 表示モニタ
 8 3 検出器
 2 0 0 干渉光学系
 3 0 0 観察光学系

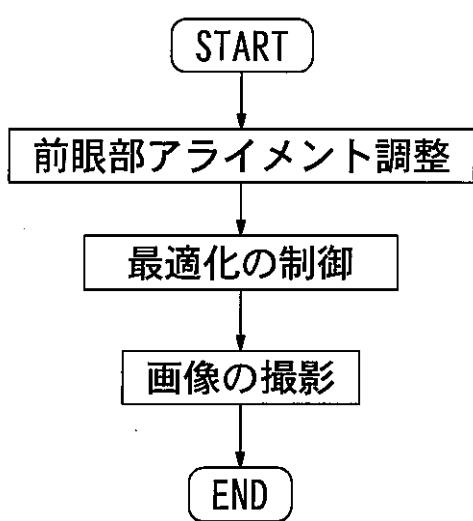
【図1】



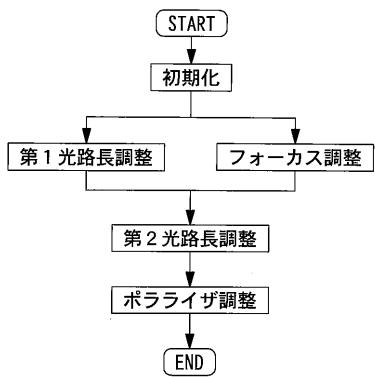
【図2】



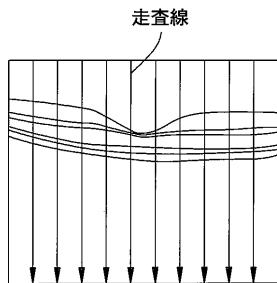
【図3】



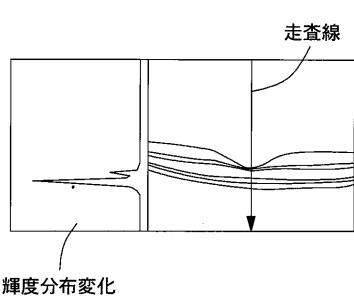
【図4】



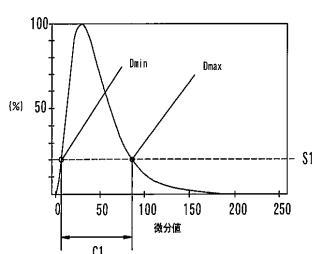
【図5】



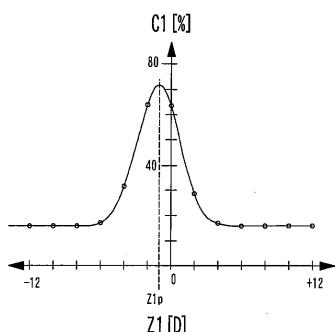
【図6】



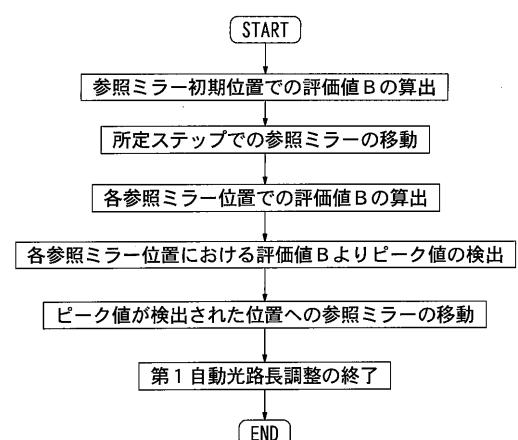
【図7】



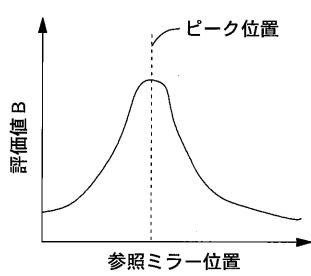
【図8】



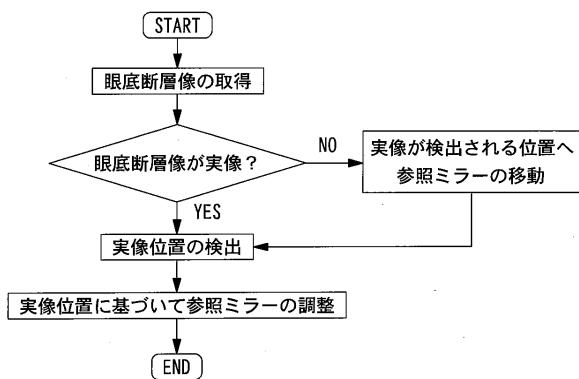
【図9】



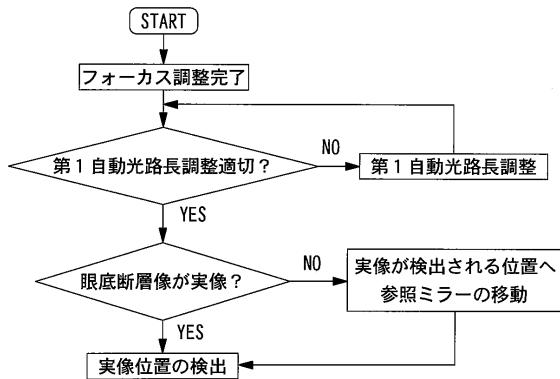
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

A 61 B 3 / 00 - 3 / 18