(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6776777号
(P6776777)
(45)発行日　令和2年10月28日(2020.10.28)　(24)登録日　令和2年10月12日(2020.10.12)

(51)Int.Cl.　F I
A61B 3/10 (2006.01)　Ａ６１Ｂ　3/10　３００

請求項の数 9　(全 20 頁)

(21)出願番号　特願2016-194514(P2016-194514)
(22)出願日　平成28年9月30日(2016.9.30)
(65)公開番号　特開2017-64407(P2017-64407A)
(43)公開日　平成29年4月6日(2017.4.6)
審査請求日　令和1年8月10日(2019.8.10)
(31)優先権主張番号　特願2015-195448(P2015-195448)
(32)優先日　平成27年9月30日(2015.9.30)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

(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　佐々木　譲治
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
(72)発明者　羽根渕　昌明
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　増渕　俊仁

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】
光源からの光を被検眼の眼底上で走査するために前記光の進行方向を変える光スキャナを有する走査光学系と、
前記光スキャナと前記被検眼との間に配置され、前記光スキャナからの前記光を前記眼底に導くための対物光学系と、を有し、前記光の眼底反射光に基づいて前記眼底の画像を形成する眼底撮影装置であって、
前記対物光学系は、
前記光スキャナからの前記光を反射することによって、前記光スキャナの動作に伴って前記光が旋回される第１旋回点を形成する第１ミラーと、
前記第１ミラーによって反射された前記光を更に反射することによって、前記被検眼に出射される前記光が旋回される第２旋回点を形成する第２ミラーと、を有し、
前記第２旋回点における前記光の振り角に対し、前記第１ミラーに入射される光の振り角が小さいことを特徴とする眼底撮影装置。
【請求項２】
前記第１ミラーは、前記走査光学系から前記第１ミラーへ入射するときの前記光の振り角に対して大きな振り角で、前記第1旋回点から前記第２ミラーへ入射する前記光を前記第1旋回点において旋回させる請求項１記載の眼底撮影装置。
【請求項３】
前記第１ミラーは、前記第１旋回点を前記第１ミラーの焦点に形成し、

前記第２ミラーは、２つの焦点を持ち、一方の焦点に前記第１旋回点が位置されることによって、他方の焦点に前記第２旋回点が形成される請求項１又は２記載の眼底撮影装置。

【請求項４】

前記第１ミラーは、鏡面が二次曲面で形成された非球面鏡である請求項１から３のいずれかに記載の眼底撮影装置。

【請求項５】

前記第１ミラーは、凸面を反射面とし、

前記第２ミラーは、凹面を反射面とする請求項１から４のいずれかに記載の眼底撮影装置。

【請求項６】

前記眼底反射光が前記第１ミラーと前記第２ミラーとによって反射されることによって生じる像面の傾きを補正する光学部材を有する請求項１から５のいずれかに記載の眼底撮影装置。

【請求項７】

前記第１ミラーは、前記第２ミラーによって生じる非対称な像面歪曲を補正する請求項１から６のいずれかに記載の眼底撮影装置。

【請求項８】

前記走査光学系は、

第１光源からの光を走査する第１光スキャナを有し，前記第１光源からの光による前記眼底の正面画像を得るためのＳＬＯ光学系と、

第２光源からの測定光を走査する第２光スキャナを有し，光干渉の原理を用いて前記被検眼の断層画像を得るためのＯＣＴ光学系と、

前記第１光スキャナと前記第１ミラーとの間であり、且つ、前記第２光スキャナと前記第１ミラーとの間において、前記ＳＬＯ光学系の光路と前記ＯＣＴ光学系の光路とを結合させる光路結合部材と、を有する請求項１から７のいずれかに記載の眼底撮影装置。

【請求項９】

前記ＳＬＯ光学系、および前記ＯＣＴ光学系は、物体側にテレセントリックであることを特徴とする請求項８記載の眼底撮影装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、眼底撮影装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

従来より、眼底撮影装置として、被検眼の眼底に対し、光スキャナを用いて光を走査することによって、眼底の画像を得る装置が知られている。例えば、走査型レーザー検眼鏡（ＳＬＯ：Ｓｃａｎｎｉｎｇ　ｌａｓｅｒ　ｏｐｈｔｈａｌｍｏｓｃｏｐｅ）は、眼底上での走査の結果として、眼底の正面画像を得る。

【０００３】

このような眼底撮影装置においては、眼底の広範囲を撮影することが試みられている（例えば、特許文献１参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】特開２０１４－１３８９０４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、走査によって眼底の広範囲を撮影する装置の光学系には、改善の余地がある。

例えば、走査位置毎の収差の違いが画像に影響を与えやすい。また、特許文献１のように、走査範囲を広角化するための対物光学系が、レンズ系で構成されていると、レンズの面からの反射が、画像に影響してしまう場合が考えられる。
【０００６】
本開示は、従来技術の問題点の少なくとも一つに鑑み、眼底の広範囲を良好に撮影できる新たな光学系を備え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】
本開示の第１態様に係る眼底撮影装置は、光源からの光を被検眼の眼底上で走査するために前記光の進行方向を変える光スキャナを有する走査光学系と、前記光スキャナと前記被検眼との間に配置され、前記光スキャナからの前記光を前記眼底に導くための対物光学系と、を有し、前記光の眼底反射光に基づいて前記眼底の画像を形成する眼底撮影装置であって、前記対物光学系は、前記光スキャナからの前記光を反射することによって、前記光スキャナの動作に伴って前記光が旋回される第１旋回点を形成する第１ミラーと、前記第１ミラーによって反射された前記光を更に反射することによって、前記被検眼に出射される前記光が旋回される第２旋回点を形成する第２ミラーと、を有し、前記第２旋回点における前記光の振り角に対し、前記第１ミラーに入射される光の振り角が小さいことを特徴とする。
【発明の効果】
【０００８】
本開示によれば、眼底の広範囲を良好に撮影できる。
【図面の簡単な説明】
【０００９】
【図１】本実施形態の眼底撮影装置における光学系の概略構成を示す図である。
【図２】第１実施例に係る対物光学系を示した図である。
【図３】第１実施例に係る眼底撮影装置の電気的構成を示したブロック図である。
【図４】第２実施例に係る対物光学系を示した図である。
【図５】第３実施例に係る対物光学系を示した図である。
【発明を実施するための形態】
【００１０】
以下、本開示における典型的な実施形態を、図面を参照しつつ説明する。
【００１１】
まず、図１および図２を参照して、本開示に係る眼底撮影装置（以下、「撮影装置」と省略する）の概要を説明する。撮影装置１００は、被検眼Ｅの眼底上で光を走査することによって、眼底の画像を得る。眼底の画像は、正面画像であってもよいし、断層画像であってもよい。本開示の撮影装置１００では、眼底における光の走査範囲が広範囲であってもよい。例えば、全角１００°以上の範囲で光が走査され、その走査範囲内の画像が得られてもよい。
【００１２】
図１に示すように、撮影装置１００は、走査光学系１と、対物光学系２と、を有する。また、撮影装置１００は、受光光学系１０ａ，２０ａを有する。走査光学系１は、光源からの光を眼底Ｅｒ上で走査するために、光の進行方向を変える光スキャナ１５，２７を有する。また、対物光学系２は、走査光学系１（より詳細には、光スキャナ１５，２７）と被検眼Ｅとの間に配置される。対物光学系２は、光スキャナ１５，２７からの光を眼底Ｅｒに導くために利用される。対物光学系２によって眼底Ｅｒに導かれた光は、眼底Ｅｒで反射・散乱されることによって、瞳孔から出射される。瞳孔から出射された光は、受光光学系１０ａ，２０ａが有する検出器１８，３１によって受光される。その結果として、検出器１８，３１から出力される受光信号に基づいて、眼底の画像が形成される。なお、検出器１８，３１は、例えば、走査光学系１に設けられていてもよい。
【００１３】

走査光学系１は、ＳＬＯ光学系１０、ＯＣＴ光学系２０と、の１つを有してもよい。また、図１に示すように、両方を有してもよい。ＳＬＯ光学系１０は、光スキャナ１５を有し、眼底Ｅｒの正面画像を得るために利用される。ＳＬＯ光学系１０は、ライン状の光束を、光スキャナ１５で少なくとも１方向に走査することによって眼底Ｅｒを走査するラインスキャンＳＬＯ光学系であってもよいし、点状の光束を、光スキャナ１５で二次元的に走査するポイントスキャンＳＬＯ光学系であってもよい。また、ＯＣＴ光学系２０は、光スキャナ２７を有し、光スキャナ２７を用いて測定光を眼底Ｅｒ上で走査することによって、眼底Ｅｒの断層画像を光干渉の技術を用いて非侵襲で得る。本実施形態において、光スキャナ１５，２７は、対物光学系２に関して被検眼Ｅの前眼部と共役な位置関係である。なお、本開示において、「共役」は、必ずしも完全な共役関係に限定されるものではない。本開示において、「共役」な関係は、完全な共役関係のほか、許容される精度の範囲で完全な共役関係からずれた位置関係であってもよい。

【００１４】

図１に示すように、走査光学系１にＳＬＯ光学系１０と、ＯＣＴ光学系２０との両方を含む構成においては、走査光学系１は、ＳＬＯ光学系１０の光路と、ＯＣＴ光学系２０の光路とを結合する光路結合部材４０を有してもよい。ＳＬＯ光学系１０の光源１１から出射される光の波長と、ＯＣＴ光学系２０の光源２１から出射される光の波長とが、互いに異なり、かつ、光路結合部材４０としては、波長選択的に光路を結合するダイクロイックミラーが用いられることが、好ましい。但し必ずしもこれに限られるものではなく、ハーフミラー等の他の光路結合部材であってもよい。図１において、光路結合部材４０は、ＳＬＯ光学系１０とＯＣＴ光学系２０との光路を、それぞれの光学系が持つ光スキャナと、対物光学系２との間において結合する。このように、本実施形態では、ＳＬＯ光学系１０とＯＣＴ光学系２０とに個別に光スキャナが設けられている。その結果、例えば、正面画像の取得と並行して、任意の位置の断層画像を得ることが容易となる。

なお、受光光学系１０ａは、ＳＬＯ光学系１０から照射される光の眼底反射光が、検出器１８によって受光される。また、受光光学系２０ａは、ＯＣＴ光学系２０によって照射される光（測定光）の眼底反射光が、参照光と合成されたうえで、検出器３１に受光される。

【００１５】

対物光学系２は、被検眼Ｅの前眼部（例えば、瞳孔領域）に、光スキャナ１５，２７の動作に伴って、光スキャナ１５，２７を介した光が旋回される旋回点（本実施形態における第２旋回点）を形成する。図２に示すように、対物光学系２は、レンズ要素を含まないミラー系であってもよい。この場合、眼底の画像に対する、対物光学系２によるノイズ（例えば、正面画像におけるフレア）等の影響を抑制できる。

【００１６】

対物光学系２は、少なくとも、第１ミラー５０と、第２ミラー６０と、を含む。図２に示すように、本実施形態における対物光学系２は、第１ミラー５０および第２ミラー６０の他にもミラー等の光学部材を有していてもよい。

【００１７】

本実施形態において、第１ミラー５０は、走査光学系１と第２ミラー６０との間に配置される。第１ミラー５０は、光スキャナ１５，２７からの光が入射され、入射された光を第２ミラー６０に中継する。

【００１８】

本実施形態において、第１ミラー５０は、光スキャナ１５，２７からの光を反射することによって、光スキャナ１５，２７の動作に伴って光（詳細には、第１ミラーによる反射光）が旋回される第１旋回点（図２において符号ｒ１で示す）を形成する。

【００１９】

本実施形態において、第１ミラー５０は、焦点を有するミラーであり、プラス又はマイナスのパワーを持っている。第１ミラー５０は、第１旋回点を、第１ミラー５０の焦点に形成する。

【００２０】
このような第１ミラー５０は、鏡面が２次曲面で形成される非球面鏡であることが好ましい。２次曲面は、２次曲線（円錐曲線ともいう）を対称軸周りに回転させた軌跡からなる。２次曲面からなる第１ミラー５０としては、例えば、非球面鏡は、例えば、放物面鏡、双面鏡、楕円面鏡の少なくとも何れかであってもよい。但し、第１ミラー５０は、鏡面が２次曲面の非球面鏡以外の形状であってもよい。例えば、球面ミラーであってもよいし、これ以外の形状も考えられる。また、本実施形態における第１ミラー５０は、１枚のミラーであるが、複数枚のミラーの組合せで置き換えられてもよい。

【００２１】
第２ミラー６０は、正のパワーを持つ。第２ミラー６０は、第１ミラー５０によって反射された光を更に反射することによって、対物光学系２から被検眼Ｅに出射される光が旋回される第２旋回点を形成する。

【００２２】
本実施形態において、第２ミラー６０は、２つの焦点ｒ１，ｒ２を有する被検眼Ｅは、このうち一方の焦点ｒ２に配置される。より詳細には、前眼部（例えば、瞳孔位置）が、焦点ｒ２に位置するように配置される。また、第２ミラー６０の他方の焦点ｒ１に、第１ミラー５０によって形成される第１旋回点が一致するようにして、第１ミラー５０と第２ミラー６０とが配置されている。本実施形態では、その結果として、焦点ｒ２に、対物光学系２から眼底Ｅｒに向かう光が旋回される第２旋回点ｒ２が形成される。

【００２３】
図２に示す第２ミラー６０は、回転楕円鏡（楕円面鏡）である。この場合、焦点ｒ１を経由して回転楕円鏡の鏡面で反射される光が、焦点ｒ２を必ず通過する。これにより、焦点ｒ２に配置される被検眼Ｅへ照射される光が、瞳孔においてケラレにくくなる。また、ケラレが抑制されることに伴って、広画角での眼底撮影が可能となる。

【００２４】
なお、第２ミラー６０として、回転楕円鏡以外の曲面鏡が適用されてもよい。曲面鏡は、例えば、回転楕円鏡と同様、二次曲面の鏡面を持つ非球面鏡であってもよい（具体例としては、放物面鏡、一対の双面鏡、等）。また、これ以外の形状を持つ非球面鏡であってもよい。また、本実施形態における第２ミラー６０は、１枚のミラーであるが、複数枚のミラーの組合せで置き換えられてもよい。第２ミラー６０の形状、大きさは、撮影する画角に応じて適宜設定される。例えば、本実施形態では、全角１２０°程度の撮影が可能な形状および大きさで形成されてもよい。

【００２５】
このようなミラー構成により、本実施形態の対物光学系２は、第２旋回点ｒ２における振り角に対し、光スキャナ１５，２２を経て第１ミラー５０に入射される光の振り角を小さくする。

【００２６】
ここで、本実施形態では、第１ミラー５０と、第２ミラー６０との一方または両方によって、撮影範囲が所期する画角となるように広角化される。図２の例のように、少なくとも第１ミラー５０が、第１旋回点ｒ１から第２ミラー６０へ向かう光の振り角を、光スキャナ１５，２２を経て第１ミラー５０に入射される光の振り角（より好ましくは、対物光学系２へ入射するときの光の振り角）に対して増大させ、これにより画角が広角化されてもよい。このような第２ミラー６０の形状および配置は、例えば、光線追跡法によるシミュレーション等によって求めることができる。

【００２７】
ところで、仮に、第１ミラー５０が無く、第２ミラー６０の一方の焦点ｒ１に、ＳＬＯ光学系１０とＯＣＴ光学系２０とのうち一方の光スキャナ１５，２７が配置され、その光スキャナから、第２ミラー６０へ直接光を導く構成であったとした場合、次のような問題が生じる。すなわち、光スキャナと第２ミラー６０との間のスペースを十分確保することは難しい。また、眼底上の広範囲において光を走査するためには、光スキャナの振り角を

大きくする必要があり、この場合、光スキャナと第２ミラー６０との間のスペースに対し、光路結合部材４０を適正に配置することがいっそう難しくなる。また、光路結合部材４０には、入射角依存性を持つものがある。例えば、光路結合部材４０の一例であるダイクロイックミラーは、設計値からの誤差が大きい入射角で入射される光に対しては、適正に透過又は反射することができない場合がある。このため、仮に、第２ミラー６０と、焦点ｒ１の位置に配置される光スキャナとの間に、ダイクロイックミラーのような光路結合部材を配置できたとしても、この場合は、眼底画像の一部の画角（広角側）において画質が悪くなる。このため、ＳＬＯ光学系とＯＣＴ光学系の一方または両方において、眼底の広範囲を撮影することが実質的に難しくなってしまう。

【００２８】

これに対し、本実施形態では、各光スキャナ１５，２７から第２ミラー６０までの間に、第１ミラー５０が挟まれている。そして、第１ミラー５０が設けられた結果として、対物光学系２は、走査光学系１から対物光学系２へ入射するときの光の振り角に対して大きな振り角で、第１旋回点ｒ１において光を旋回する。換言すれば、第１旋回点ｒ１における振り角に対し、光スキャナ１５，２２を経て第１ミラー５０に入射される光の振り角を小さくできる。換言すれば、第２ミラー５０よりも光源側の位置において、第２ミラー５０へ入射する光の振り角よりも、光の振り角が小さな領域を形成できる。結果、第２ミラー５０へ入射する光の振り角よりも、光の振り角が小さな領域に、光路結合部材４０を配置するスペースを容易に確保できる。また、光結合部材４０がこの領域に配置されることで、光路結合部材４０の入射角依存性の問題を軽減できる。例えば、図１に示すように、ＳＬＯ光学系１０の光スキャナ１５と第１ミラー５０との間であり、且つ、ＯＣＴ光学系２０の光スキャナ２７と第１ミラー５０との間に光路結合部材４０を配置することで、ＳＬＯ光学系１０の光路とＯＣＴ光学系２０の光路とを、良好に結合できる。その結果として、正面画像と、断層画像とのそれぞれを、良好に取得することが可能となる。

【００２９】

なお、ＳＬＯ光学系１０と、ＯＣＴ光学系２０とのそれぞれは、図１に示すように、物体側テレセントリックであってもよい。この場合、光路結合部材４０への入射角度が、走査位置によらず一定であるので、光路結合による光量損失を良好に抑制でき、良好な眼底の画像を得ることができる。

【００３０】

また、図２に示すように、第２ミラー６０として、回転楕円鏡が用いられる場合は、第２ミラー６０によって、非対称な像面歪曲（例えば、台形歪み）が生じてしまう。なお、第２ミラー６０に、回転楕円鏡以外の形状が採用される場合にも、このような像面歪曲が生じる場合があると考えられる。

【００３１】

第２ミラー６０によって生じる像面歪曲は、第１ミラー５０によって補正されてもよい。例えば、第１ミラー５０が第２ミラー６０に対して傾斜して配置されることによって、上記の像面歪曲が補正されてもよい。ここでいう傾斜とは、例えば、第１ミラー５０と、第２ミラー６０との間における光路の中心を通過する光線（主に、被検眼Ｅの眼軸を通過する光線）に対し、第１ミラー５０が、その軸（例えば、非球面鏡の鏡面を形成する２次曲線における対称軸）を傾斜させて配置されることをいう。傾斜量は、少なくとも像面歪曲の非対称成分が打ち消される程度であることが望ましい。つまり、残存する像面歪曲が軸対称となるような傾斜量が、採用されてもよい。

【００３２】

また、図２の例では、第２ミラー６０に回転楕円鏡を用いる結果として、眼底反射光による中間像Ｉｃ２等の中間像の像面が、光学系の光軸に対して斜めに傾いてしまうことが考えられる。なお、第２ミラー６０に、回転楕円鏡以外の形状が採用される場合にも、このような像面の傾きが生じる場合があると考えられる。

【００３３】

これに対し、本実施形態の撮影装置１００には、眼底反射光が第１ミラー５０と第２ミ

ラー６０とによって反射されることによって生じる像面の傾きを補正する光学部材が設けられていてもよい。

【００３４】

例えば、像面の傾きを補正する光学部材は、光源１１，２１からの光が、被検眼Ｅに導かれるまでの投光光路と，眼底反射光が、検出器１８，３１に導かれるまでの受光光路と、の共通光路に配置されていてもよい。また、投光光路および受光光路のそれぞれにおける独立光路に、それぞれ配置されてもよい。

【００３５】

共通光路に配置される場合の具体例として、眼底反射光における像面の傾きを補正する補正ミラー系７１，７２が、光学部材として、対物光学系２に設けられていてもよい。補正ミラー系７１，７２は、第１ミラー５０および第２ミラー６０による像面の傾きを相殺するように、像面を更に傾ける。結果、図２に示すように、補正ミラー系７１，７２を経て形成される眼底反射光の中間像（例えば、図２の中間像Ｉｃ１）において、像面の傾きが軽減される。

【００３６】

別の具体例として、共通光路中に、光軸に対して傾けられたレンズが配置されることによって、像面の傾きが補正されてもよい。例えば、図１の例では、スキャンレンズ１６，２９が傾斜配置されてもよい。

【００３７】

また、光学部材が、投光光路および受光光路のそれぞれの独立光路に配置される場合において、少なくともＳＬＯ光学系１０の検出器１８が、光学部材の１つとして利用されてもよい。例えば、ＳＬＯ光学系１０がラインスキャンＳＬＯ光学系である場合は、検出器１８としてラインセンサ又はエリアセンサが用いられる。この場合は、検出器１８を受光光学系１０ａの光軸に対して傾けることによって、像面の傾きを補正できる。検出器１８の傾斜量は、眼底Ｅｒおよび対物光学系２と、シャインプルーフの関係となるように調整されることが望ましい。また、併せて、ＳＬＯ光学系１０における投光光学系１０ａの独立光路に、光軸に対して傾斜配置されるレンズ等の光学部材を有してもよい。

【００３８】

なお、ＳＬＯ光学系１０が、ポイントスキャンＳＬＯ光学系である場合には、検出器から被検眼Ｅまでの受光光路上に、検出器とは別体に光学部材（例えば、傾斜配置されたレンズ、補正ミラー系等）が設けられることが望ましい。これにより、像面の傾きを抑制することで、光スキャナ１５による走査位置の変化に応じて眼底Ｅｒの共焦点位置が動いてしまうことが抑制される。結果、光学部材と検出器１８との間に、静止した眼底共役点を形成できる。このため、有害光を除去するためのアパーチャを、静止した共焦点位置に配置することができ、良好な正面画像を得ることができる。

【００３９】

＜実施例＞

図１を参照して、第１実施例における撮影装置１００を説明する。第１実施例における撮影装置１００は、図１に示す走査光学系１と、図２に示す対物光学系２と、を有する。走査光学系１は、ＳＬＯ光学系１０と、ＯＣＴ光学系２０と、ダイクロイックミラー４０（第１実施例における光路結合部材）と、を含む。

【００４０】

＜ＳＬＯ光学系＞

まず、ＳＬＯ光学系１０について説明する。ＳＬＯ光学系１０は、主に、光源から発せられた光（照明光）を眼底上で二次元的に走査する光スキャナ１５と、検出器１８を含み，眼底Ｅｒの共焦点を通過する（照明光の）眼底反射光を検出器に受光させる受光光学系１０ａと、を持つ。また、第１実施例において、ＳＬＯ光学系１０は、ラインスキャンタイプであり、検出器１８にはラインセンサが利用される。この場合、ＳＬＯ光学系１０は、光スキャナ１５と検出器１８と、の他に、光源１１と、コリメートレンズ１２と、円柱レンズ１３と、穴開きミラー１４と、スキャンレンズ１６と、集光レンズ１７と、を有し

てもよい。このうち、光スキャナ１５と、スキャンレンズ１６と、集光レンズ１７と、ラインセンサ（検出器）１８とは、第１実施例におけるＳＬＯ光学系１０の受光光学系１０ａを構成する。

【００４１】

第１実施例において、光源１１は、例えば、赤外域の波長の光（例えば、レーザー光）を発する。光源１１としては、例えば、ＬＥＤ光源、およびＳＬＤ光源、等が用いられてもよい。光源１１からの光は、コリメートレンズ１２でコリメートされた後、円柱レンズ１３によって集光される。その後、穴開きミラー１４の開口を通過して光スキャナ１５に導かれる。なお、光源１１から出射される光は、必ずしも赤外光に限られるものではない。例えば、白色光であってもよいし、２色以上の光（例えば、赤、青、緑）などの光が合成された、合成光であってもよい。

【００４２】

第１実施例において、光スキャナ１５には、ガルバノミラーが用いられてもよい。但し、必ずしもこれに限られるものではなく、反射ミラーを動作させる他の光スキャナ（例えば、レゾナントミラー，ポリゴンミラー等）、および、音響光学素子等のいずれかに置き換えられてもよい。光スキャナ１５は、被検眼Ｅの瞳孔と共役な位置に配置される。

【００４３】

光スキャナ１５を経た光は、スキャンレンズ１６によって、走査光学系１の光軸Ｌ１に対して、平行な光線（つまり、テレセントリックな光線）にされる。つまり、第１実施例において、スキャンレンズ１６は、その焦点が光スキャナ１５（光スキャナ１５の旋回点ｒ３）と一致するようにして配置されている。これにより、第１実施例におけるＳＬＯ光学系１０は、物体側テレセントリックとなる。スキャンレンズ１６を通過した光は、ダイクロイックミラー４０を更に通過して、対物光学系２へ入射される。なお、第１実施例においてダイクロイックミラー４０は、ＳＬＯ光学系１０からの光を透過し、ＯＣＴ光学系２０からの光を反射する分光特性を持つ。なお、物体側テレセントリックは、光源１１，２２側から見て、被検眼Ｅ側にテレセントリックな状態を意味する。

【００４４】

ＳＬＯ光学系１０からの光は、対物光学系２によって眼底Ｅｒに導かれることによって、眼底Ｅｒで散乱・反射される。その結果として、眼底反射光として、瞳孔から出射され、投光時と逆の光路を辿る。そして、眼底反射光は、対物光学系２から走査光学系１へ向けて出射されることによって、ダイクロイックミラー４０を通過して、ＳＬＯ光学系１０の受光光学系１０ａへ入射する。受光光学系１０ａにおいて、眼底反射光は、スキャンレンズ１６を通過し、光スキャナ１５で反射されて、穴開きミラー１４へ向かう。その後、穴開きミラー１４で反射された眼底反射光が、集光レンズ１７で集光されて、検出器１８に受光される。本実施形態では、光スキャナ１５による１フレーム分の光走査に基づいて検出器１８から出力される信号に基づいて、眼底の正面画像が形成される。

【００４５】

＜ＯＣＴ光学系＞

次に、ＯＣＴ光学系２０について説明する。ＯＣＴ光学系２０は、例えば、光源２１と、光分割部（図１の例では、カップラ）２３と、光スキャナ２７と、検出器３１と、を有してもよい。ＯＣＴ光学系２０は、更に、スキャンレンズ２９と、参照光学系２５と、を有してもよい。

【００４６】

このようなＯＣＴ光学系２０としては、ＳＳ－ＯＣＴ（Swept Source-OCT）方式、ＳＤ－ＯＣＴ（Spectral domain-OCT）方式等のフーリエドメイン方式が用いられてもよい。ここでは、一例として、ＳＳ－ＯＣＴ（Swept Source-OCT）方式が用いられるものとして説明する。

【００４７】

光源２１は、出射波長を時間的に高速で変化させる波長可変光源（波長走査型光源）である。光源２１は、出射光の波長を変化させる。検出器３１は、例えば、受光素子からな

る平衡検出器であってもよい。

【００４８】

ＯＣＴ光学系２０は、光源２１から出射された光をカップラ（スプリッタ）２３によって測定光と参照光に分割する。

【００４９】

ＯＣＴ光学系２０は、測定光を、光スキャナ２７を介して、対物光学系２へ導く。また、参照光を参照光学系２５に導く。光スキャナ２７は、眼底Ｅｒ上でＸＹ方向（横断方向）に測定光を走査させる。光スキャナ２７は、例えば、２つのガルバノミラーであり、その反射角度が図示無き駆動機構によって任意に調整されてもよい。また、ガルバノミラーに代えて、反射ミラーを動作させる他の光スキャナ（例えば、レゾナントミラー，ポリゴンミラー等）、および、音響光学素子等が用いられてもよい。

【００５０】

光スキャナ２７を経た光は、スキャンレンズ２９によって、走査光学系１の光軸に対して、平行な光線（つまり、テレセントリックな光線）にされる。つまり、第１実施例において、スキャンレンズ２９は、その焦点が光スキャナ２７（例えば、Ｘ走査用の光スキャナとＹ走査用の光スキャナとの中間点ｒ４）と一致するようにして配置されている。これにより、本実施形態におけるＯＣＴ光学系２０は、物体側テレセントリックとなる。スキャンレンズ２９を通過した光は、ダイクロイックミラー４０によって反射されることにより、対物光学系２へ入射される。

【００５１】

ＳＬＯ光学系１０からの光と同様、ＯＣＴ光学系２０からの光は、対物光学系２によって眼底Ｅｒに導かれることによって、眼底で散乱・反射される。その結果として、測定光の眼底反射光が、対物光学系２を投光時とは逆に辿って、走査光学系１へ向けて出射される。その結果、測定光の眼底反射光は、ダイクロイックミラー４０で反射されて、ＯＣＴ光学系２０の検出光学系２０ａ（ＯＣＴ光学系２０の受光光学系）へ入射する。即ち、眼底反射光は、スキャンレンズ２９を通過し、光スキャナ２７を経て、カップラ（スプリッタ）２３へ入射される。その後、測定光の反射光は、光結合部（カップラ）２３によって参照光と合波されて干渉する。

【００５２】

参照光学系２５は、眼底Ｅｒでの測定光の反射によって取得される反射光と合成される参照光を生成する。参照光学系２５は、例えば、マイケルソンタイプであってもよいし、マッハツェンダタイプであっても良い。図１において、参照光学系２５は、例えば、反射光学系（例えば、参照ミラー）によって形成され、カップラ２３からの光を反射光学系により反射することにより、参照光を検出器３１へ導く。他の例としては、参照光学系２５は、透過光学系（例えば、光ファイバー）によって形成され、カップラ２３からの光を戻さず透過させることにより検出光学系３１へと導いてもよい。

【００５３】

撮影装置１００は、測定光と参照光との光路長差を調整するためにＯＣＴ光学系２０に配置された光学部材の少なくとも一部を光軸方向に移動させる。例えば、参照光学系２５は、参照光路中の光学部材（例えば、図示無き参照ミラー）を移動させることにより、測定光と参照光との光路長差を調整する構成を有する。例えば、駆動機構２５ａの駆動によって参照ミラーが光軸方向に移動される。光路長差を変更するための構成は、測定光の光路中に配置されてもよい。つまり、測定光の光路長を変更することによって、測定光と参照光との光路長差が調整されてもよい。

【００５４】

測定光と参照光とが合成された干渉信号光は、検出器３１によって受光される。検出器３１は、干渉信号光を検出する。ここで、光源２１により出射波長が変化されると、これに対応する干渉信号光が検出器３１によって受光され、結果的に、スペクトル干渉信号光として検出器３１に受光される。検出器３１から出力されたスペクトル干渉信号に基づいて、眼底上の一点における深さプロファイル（Ａスキャン，または，ＯＣＴデータともい

う）が形成される。深さプロファイルは、眼底の深さ方向に関する測定光の反射強度分布である。この深さプロファイル（ＯＣＴデータ）が、並べられることによって、二次元ＯＣＴデータ（例えば、眼底の断層画像、およびＯＣＴアンジオグラフィー等）が形成される。

【００５５】

＜対物光学系＞

次に、図２を参照して、第１実施形態における対物光学系２を説明する。図２の例では、第２ミラー６０は、１枚の回転楕円鏡である。第２ミラー６０は、２つの焦点ｒ１，ｒ２を有する。被検眼Ｅは、このうち一方の焦点ｒ２に配置される。

【００５６】

第１実施例において、第１ミラー５０は、放物面鏡である。第１実施例において、放物面鏡である第１ミラー５０の焦点と、回転楕円鏡である第２ミラー６０の２つの焦点のうち１つ（焦点ｒ１）と、が一致するように、第１ミラー５０および第２ミラー６０は配置される。また、第２ミラー６０の２つの焦点のうち残り１つ（焦点ｒ２）が被検眼Ｅの前眼部に配置される。なお、この場合、第１ミラー５０の凸面，および，第２ミラー６０の凹面が、それぞれの反射面として用いられる。ここで、放物面鏡は、対称軸Ｚ２に対して平行に入射される光を、みかけ上、焦点ｒ１から発せられる光に変換する。また、第１ミラー５０は、更に、一方の焦点ｒ１から発せられた光を、もう１つの焦点ｒ２に集光させる。このため、第１実施例では、物体側テレセントリックなＳＬＯ光学系１０，ＯＣＴ光学系２０からの光が、第１ミラー５０の対称軸に対する平行光として第１ミラー５０へ入射されることで、ＳＬＯ光学系１０からの光、および、ＯＣＴ光学系２０からの光を、被検眼Ｅの前眼部に位置する焦点ｒ２を旋回点として旋回させることができる。このように、対物光学系２における第１ミラー５０と第２対物ミラー６０とが上記の形状、配置で設けられることによって、光スキャナ１５，２２を経て第１ミラー５０へ入射される光の振り角を抑制しつつ、眼底の広範囲を走査することが可能となる。

【００５７】

なお、第１ミラー５０が放物面鏡である場合について説明したが、第１ミラー５０は、撮影画角を広角化するための非球面鏡についての具体例の一つであって、放物面鏡以外の非球面鏡が第１ミラー５０として適用されてもよい。

【００５８】

また、第１実施例では、第１ミラー５０と、第２ミラー６０との他に、補正ミラー系７１，７２が対物光学系２に設けられている。第１実施例において、補正ミラー系７１，７２は、放物面鏡７１と平面鏡７２とによって構成される。第１ミラー５０である放物面鏡と第２ミラー６０である回転楕円鏡とによって眼底反射光が反射されることによって生じる像面の傾きが、補正ミラー系７１，７２によって補正される。また、第１実施例では、物体側テレセントリックなＳＬＯ光学系１０，ＯＣＴ光学系２０からの光を、対称軸Ｚ２に対して平行な光として、第１ミラー５０へ入射させる。

【００５９】

第１実施例において、放物面鏡７１は、対称軸ｚ１を挟んで対称に形成された凹面を持つ。走査光学系１からの光は、対称軸ｚ１に対して平行に入射される。また、平面鏡７２は、放物面鏡７１の焦点位置ｒ５において、放物面鏡７１と正対して配置されている。このような補正ミラー系７１，７２に対し、走査光学系１からの光が入射すると、放物面鏡７１→平面鏡７２（つまり、放物面鏡の焦点ｒ５）→放物面鏡７１の順で反射され、対称軸ｚ１と平行に出射される。このため、補正ミラー系７１，７２の両側で、光束はテレセントリックになる。また、補正ミラー系７１，７２での反射によって、像面が傾斜される（図２の中間像Ｉｃ２を参照）。この傾斜は、第１ミラー５０と第２ミラー６０とによって生じる像面の傾斜を、打ち消す方向に行われる。なお、図２に示すように、第１ミラー５０と第２ミラー６０とによって生じる傾斜が、非線形なものである場合、補正ミラー系７１，７２は、少なくともこの傾斜の非線形成分を打ち消すことが望ましい。

【００６０】

第１実施例における第１ミラー５０は、放物面鏡７１、および第２ミラー６０に対して凸面を向ける凸面鏡である。つまり、第１ミラー５０は、マイナスのパワーを持つ。第１ミラー５０は、放物面鏡７１に対して偏心して（軸外しで）配置されている。つまり、第１ミラー５０の鏡面の対称軸（つまり、放物面の対象軸）である対称軸ｚ２は、放物面鏡７１の対称軸ｚ１に対し、間隔を開けて平行となっている。このため、第１ミラー５０には、対称軸ｚ２と平行な光線が、放物面鏡７１から照射される。また、第１ミラー５０は、回転楕円鏡である第２ミラー６０が有する２つの焦点ｒ１，ｒ２うち、一方の焦点ｒ１に、第１ミラー５０の焦点を一致させて配置されている。このため、放物面鏡７１から第１ミラー５０のある位置に光が照射された場合、その照射位置と、焦点ｒ１とを結ぶ直線上に光は反射される。つまり、第１ミラー５０から第２ミラー６０へ向かう光は、光スキャナ１５（或いは、光スキャナ２７）の駆動に伴って、第２ミラーである回転楕円鏡の焦点ｒ１を中心にして旋回する。換言すれば、第１ミラー５０によって、光スキャナ１５（或いは、光スキャナ２７）を経て第２ミラー６０に向かう光の旋回点が、焦点ｒ１に形成される。第１実施例では、第１ミラー５０の鏡面で光が反射されることによって、第１旋回点ｒ１から第２ミラーへ向かう光の振り角が、走査光学系１から第１ミラー５０に入射する光の振り角に対し、増大される。このため、第１実施例では、第１ミラー５０に対して入射する光の振り角が、第２ミラー６０へ入射する光の振り角よりも抑制される。一例として、図１に示すように、テレセントリックな光を入射することもできる。この場合の振り角＝０として考えるものとする。

【００６１】

また、第２ミラー６０である回転楕円鏡の一般的な特性により、焦点ｒ１を通過し、且つ、回転楕円鏡の鏡面で反射された光は、他方の焦点ｒ２に導かれる。このため、他方の焦点ｒ２（つまり、被検眼Ｅの前眼部の位置）に、第２ミラー６０で反射された光の旋回点（第２旋回点）が形成される。この旋回点（焦点ｒ２）における光の振り角は、焦点ｒ１での振り角と、第２ミラー６０における鏡面の形状と、によって定められる。第２ミラー６０は、焦点ｒ２での振り角を、焦点ｒ１での振り角に対して大きくさせる形状であってもよい。但し、必ずしもこれに限られるものではない。

【００６２】

このように、第１実施例では、走査光学系１から対物光学系２（より詳細には、放物面鏡７１）に対して、テレセントリック（振り角＝０）で光を入射させて、眼底Ｅｒの広範囲を撮影することが可能となる。第１実施例では、ＳＬＯ光学系１０とＯＣＴ光学系２０との光路を結合するための光結合部材４０（ダイクロイックミラー４０）が、ＳＬＯ光学系１０とＯＣＴ光学系２０とのそれぞれがテレセントリックとなっている箇所に配置されるので、広画角の正面画像と断層画像とを、良好に得ることができる。

【００６３】

ここで、第２ミラー６０は、回転楕円鏡であるので、眼底反射光に非対称な像面歪曲（例えば、台形歪み）を生じさせてしまう。これに対し、本実施例では、第１ミラー５０を第２ミラー６０に対して傾けて配置することによって、像面歪曲が抑制される。即ち、第１ミラー５０と第２ミラー６０との間における光路の中心を通過する光線に対して傾斜して第１ミラー５０が配置される。第１ミラー５０の傾斜量に応じて、像面歪曲の補正量が変化する。第１ミラー５０の傾斜量は、例えば、残存する像面歪曲が軸対称となるように設定されてもよい。

【００６４】

＜制御系＞

次に、図３を参照して、撮影装置１００の制御系について説明する。制御部７０は、撮影装置１００の装置全体の制御を行うプロセッサ（例えば、ＣＰＵ）である。

【００６５】

第１実施例において、制御部７０には、メモリ７２、モニタ７５、等が電気的に接続される。また、制御部７０には、光源１１，２１，光スキャナ１５，２７，検出器１８，３１，駆動機構２５ａ等が電気的に接続される。

【００６６】
メモリ７２は、各種の制御プログラムおよび固定データを格納する。また、メモリ７２には、撮影装置１００によって撮影された画像、一時データ等が記憶されてもよい。
【００６７】
本実施形態では、制御部７０が画像処理部を兼用する。例えば、検出器１８および検出器３１からの受光信号は、それぞれ制御部７０に入力される。制御部７０は、検出器１８からの信号に基づいて眼底Ｅｒの正面画像を形成する。また、制御部７０は、検出器３１からの信号に基づいて、眼底Ｅｒの断層画像を形成する。このとき、制御部７０は、光源１１からの光と光源２１からの光とを、光スキャナ１５と光スキャナ２７とを同時に、且つ、独立して駆動することにより、正面画像と、断層画像とを、並行して取得してもよい。同時に得た正面画像と断層画像とを、モニタ７５に対して、同時に動画として表示させてもよい。第１実施例では、ＳＬＯ光学系１０の光スキャナ１５と、ＯＣＴ光学系２０の光スキャナ２７とが独立に設けられているので、制御部７０は、正面画像と、断層画像とを、互いに異なるフレームレートで取得してもよい。
【００６８】
＜第２実施例＞
次に、図４を参照して、第２実施例を説明する。第２実施例において、第１実施例と同様の構成については、第１実施例と同一の符号を付して、詳細な説明を省略する。
【００６９】
第２実施例は、走査光学系１および対物光学系２の一部が、第１実施例に対して相違している。例えば、第１実施例において、ＳＬＯ光学系１０およびＯＣＴ光学系２０のそれぞれは、物体側にテレセントリックであったが、第２実施例では、走査光学系１（より詳細には、ＳＬＯ光学系１０およびＯＣＴ光学系２０）から、対物光学系２へ入射する光が、対物光学系２から有限遠の旋回点を中心として、旋回されている。第２実施例では、説明の便宜上、対物光学系２へ入射するときのＳＬＯ光学系１０からの光は、旋回点ｒ３を中心として旋回されており、対物光学系２へ入射するときのＯＣＴ光学系２０からの光は、旋回点ｒ４を中心として旋回されているものとする。
【００７０】
第２実施例の対物光学系２は、第１ミラー５０と光スキャナ１５，２７との間に、放物面鏡１７１を有する。放物面鏡１７１は、その焦点が、旋回点ｒ３，ｒ４と一致するように配置された凹面鏡である。このため、放物面鏡１７１の物体側では、光束はテレセントリックになる。さらに、第２実施例では、放物面鏡１７１における鏡面の対象軸（つまり、放物面の対称軸、図示せず）が、第１ミラー５０における鏡面の対称軸ｚ２と平行になるように配置されている。このため、第１実施例と同様、第１ミラー５０には、対称軸ｚ２と平行な光線が、光スキャナ１５，２７側から（つまり、放物面鏡１７１）から照射される。結果、第１ミラー５０の焦点と第２ミラー６０との焦点とが重なる位置である第１旋回点ｒ１を中心として、第１ミラー５０から第２ミラー６０へ向かう光が旋回される。そして、更に、第２ミラー６０で光が反射されることによって、その光が、回転楕円鏡のもう１つの焦点ｒ２を旋回点として旋回される。このようにして、第２実施例においても、走査光学系１から対物光学系２（より詳細には、放物面鏡１７１）に対して入射する光の振り角を抑制しつつ、眼底Ｅｒの広範囲において、光を良好に走査することが可能となる。結果、光結合部材４０（ダイクロイックミラー４０）の入射角依存性によって、眼底の画像の画質が部分的に悪くなってしまうことが抑制される。
【００７１】
所期する画角で眼底画像を撮影する場合に、放物面鏡１７１における焦点距離が長いほど、光スキャナ１５，２７における光の振り角を抑制できる。このため、許容される装置サイズとなる範囲で、より長い焦点距離を持つ放物面鏡１７１が適用されることが好ましい。これにより、光路結合部材４０の入射角依存性の問題をより効果的に軽減できると考えられる。
【００７２】

なお、本件の発明者によれば、第１実施例の光学系と、第２実施例の光学系とを、それぞれある条件で設計した場合において、第２実施例のほうが、より高い結像性能を奏することが確認された。

【００７３】

ところで、第１実施例の補正光学系７１，７２の代わりに設けられている放物面鏡１７１は、像面の傾斜を補正しない。これに対し、第２実施例では、少なくともＳＬＯ光学系１０における像面の傾斜を抑制するために、少なくとも、受光光学系１０ａの光軸に対して傾斜配置される検出器１８が設けられていてもよい。なお、併せて、ＳＬＯ光学系１０におけるレンズ１２又はレンズ１３のいずれかが光軸に対して傾斜配置されていてもよい。このような第２実施例において、検出器１８の傾斜量は、眼底Ｅｒおよび対物光学系２と、シャインプルーフの関係となるように調整される。結果、像面の傾きによって（つまり、フォーカスが、走査位置によって異なることによって）画質が悪くなってしまうことが抑制される。

【００７４】

＜第３実施例＞

次に、図５を参照して、第３実施例を説明する。第３実施例において、第１実施例と同様の構成については、第１実施例と同一の符号を付して、詳細な説明を省略する。第３実施例は、主に、第１ミラー５０の形状が、第１実施例および第２実施例と相違する。また、第３実施例では、第１ミラー５０と、走査光学系１との間に、ミラー系を含まない。第３実施例において、走査光学系１および対物光学系２の一部が、第１実施例に対して相違している。例えば、第１実施例において、ＳＬＯ光学系１０およびＯＣＴ光学系２０のそれぞれは、物体側にテレセントリックであったが、第３実施例では、第２実施例と同様、走査光学系１（より詳細には、ＳＬＯ光学系１０およびＯＣＴ光学系２０）から対物光学系２へ入射する光が、対物光学系２から有限遠の旋回点を中心として、旋回される。

【００７５】

第３実施例において、第１ミラー５０は、１つの双曲面鏡（１対の双曲面の一方）である。双曲面鏡は、第３実施例において、広角化に寄与する非球面鏡である。第２ミラー６０は、第１実施例と同様に、回転楕円鏡であってもよい。第１ミラー５０である双曲面鏡は、虚像側の焦点（凸面側にある焦点）が旋回点ｒ３，ｒ４と一致するように配置される。また、第１ミラー５０は、実像側の焦点（凹面側にある焦点）が、第２ミラー６０の一方の焦点と一致するように配置される。つまり、第１ミラー５０には、虚像側（第１ミラー５０と対になる双曲面側）の焦点から出射される光が照射される。その結果、双曲面鏡の一般的な特性により、第１ミラー５０で反射された反射光は、光スキャナ１５（或いは、光スキャナ２７）の駆動に伴って、第１ミラー５０の実像側の焦点ｒ１を中心として旋回する。ここで、焦点ｒ１は、回転楕円鏡である第２ミラー６０の焦点でもあるので、第１ミラー５０の配置によって、第１ミラー５０で反射される光の旋回点が、回転楕円鏡の焦点ｒ１に形成される。第３実施例では、第１ミラー５０の鏡面で光が反射されることによって、第１旋回点ｒ１から第２ミラー６０へ向かう光の振り角は、走査光学系１から第１ミラー５０に入射する光の振り角に対し、増大される。そして、第２ミラー６０で反射された光が、第２ミラー６０が持つもう１つの焦点ｒ２を旋回点として旋回される。このようにして、第３実施例においても、走査光学系１から対物光学系２（より詳細には、第１ミラー５０）に対して入射する光の振り角を抑制しつつ、眼底Ｅｒの広範囲において、光を良好に走査することが可能となる。

【００７６】

なお、第３実施例における第１ミラー５０は、双曲面鏡（離心率＞１）であり、双曲面の離心率が１に近づくほど、つまり、ミラー形状が第１実施例で示した放物面形状に近づく。このため、双曲面の離心率が１に近づくほど、虚像側の焦点（凸面側にある焦点）がミラー面から遠くなり、無限大に近づく。このため、所期する画角で眼底画像を撮影する場合に、第１ミラー５０における離心率が１に近いほど、光スキャナ１５，２７における光の振り角を抑制できる。このため、許容される装置サイズとなる範囲で、より１に近い

離心率を持つ双曲面鏡が、第１ミラー５０に適用されることが好ましい。これにより、光路結合部材４０の入射角依存性の問題をより効果的に軽減できると考えられる。

【００７７】

なお、図５に示すように、第１ミラー５０は、第２ミラー６０に対して傾斜して配置されてもよい。この場合に生じる像面の傾きを補正するために、例えば、ＳＬＯ光学系１０の検出器１８等が、光軸に対して傾けて配置されてもよい。

【００７８】

＜断層画像取得時における装置の動作＞

上記各実施例の対物光学系２は、被検眼Ｅと光スキャナ２７との間に配置されるミラー系（例えば、第１ミラー５０および第２ミラー６０等）を介して、被検眼Ｅの前眼部（例えば、瞳孔位置）に光スキャナ２７の動作に伴って旋回される旋回点（上記各実施例においては、旋回点ｒ２）を形成する対物ミラー系である。対物光学系２は、例えば、上記各実施例では、被検眼Ｅの直前の第２ミラー６０は、回転楕円鏡であり、この回転楕円鏡が持つ２つの焦点ｒ１，ｒ２のうち１つに、旋回点ｒ２は形成される。回転楕円鏡における２つの焦点のうち、一方から鏡面に向けて入射して、他方の焦点に導かれる光は、２つの焦点の間における光路長が常に一定となる。しかし、上記各実施例では、光スキャナ２７と第２ミラー６０との間に、第１ミラー５０等のミラーが配置されていることによって、光スキャナ２７から第２旋回点ｒ２までの測定光の距離が、光スキャナ２７の走査位置に応じて異なりうる。

【００７９】

また、上記各実施例において、第２旋回点ｒ２（瞳孔位置）から眼底Ｅｒの表面までの測定光の光路長も走査位置毎に異なっている。つまり、眼底の湾曲によって、第２旋回点ｒ２から眼底Ｅｒまでの測定光の距離が、光スキャナ２７の走査位　置に応じて異なりうる。

【００８０】

このように、光スキャナ２７から被検眼Ｅまでの測定光の距離が、光スキャナ２７の各走査位置で異なることが考えられる。つまり、前記光スキャナ２７の各走査位置での光スキャナ２７から被検眼Ｅまでの測定光の距離による測定光と参照光との光路長差に変化が生じることが考えられる。

【００８１】

この状態で、検出器３１からの信号に基づいて深さプロファイル（ＯＣＴデータ）を得る場合、被検眼Ｅにおいて深さプロファイル（ＯＣＴデータ）が取得される領域の深さ位置が、光スキャナ２７の走査位置毎に異なってしまうことが考えられる。また、走査位置によっては、光路長差が大きいことによって、検出器３１の感度が高い範囲と、測定光と参照光との干渉が生じる範囲とが、比較的大きくずれてしまう場合が考えられる。

【００８２】

これに対し、制御部７０は、光スキャナ２７の各走査位置での光スキャナ２７から被検眼Ｅまでの測定光の距離による測定光と参照光との光路長差の変化を補正する。

【００８３】

ここで、測定光と参照光との光路長差の変化は、データ上（ＯＣＴデータの処理によって）で補正されてもよい。例えば、制御部３０は、検出器３１からの信号に基づいて制御部３０がＯＣＴデータを取得する際に、そのＯＣＴデータの深さ方向の位置情報を補正してもよい。

【００８４】

また、制御部３０は、複数のＯＣＴデータを並べて二次元ＯＣＴデータを形成する際に，各走査位置のＯＣＴデータ間における相対的な深さ位置を補正してもよい。

【００８５】

このような処理が行われた結果として、ＯＣＴデータ（或いは、二次元ＯＣＴデータ）を良好に得ることができる。

【００８６】

　また、参照光と測定光との光路長差の変化は、光学的に補正されてもよい。例えば、補正は、光スキャナ２７の走査位置に応じて光路長調整機構２５ａ（駆動機構）を駆動制御することによって行われてもよい。駆動機構２５ａは、前述したように、参照光の光路（又は、測定光の光路）上に配置された光学部材（例えば、ミラー）を変位させることによって、測定光と参照光との光路長差を調整してもよい。例えば、本実施例では、光スキャナ２７の動作に伴う測定光の光路長の変化に合わせて、参照光の光路長が駆動機構２５ａによって変化される。その結果、検出器３１の感度が高い範囲において測定光と参照光との干渉に基づく信号が検出されやすくなり、ＯＣＴデータ（或いは、二次元ＯＣＴデータ）を良好に得ることができる。なお、この場合、走査位置によらずに、測定光と参照光との干渉に基づく信号が検出器３１の感度が比較的高い範囲において検出されるように、光路長差が変化する範囲を抑制できればよく、必ずしも、測定光と参照光との光路長差が各走査位置において一定（例えば、ゼロ）となるように駆動機構２５ａが駆動制御される必要はない。
【００８７】
　ここで、制御部７０は、少なくとも光スキャナ２７から第２旋回点ｒ２までの測定光の距離(光路長)の変化を考慮して、測定光と参照光との光路長差の変化を補正する。また、制御部７０は、眼底の湾曲による各走査位置での測定光の光路長の変化（つまり、第２旋回点ｒ２から眼底Ｅｒまでの測定光の光路長の変化）を更に考慮して、補正を行ってもよい。ここで、光スキャナ２７から第２旋回点ｒ２までの測定光の光路長と、光スキャナ２７の各走査位置と、の対応関係は、光学系の設計によって定まっている。また、第２旋回点から眼底Ｅｒまで，の測定光の光路長と、光スキャナ２７の各走査位置と、の対応関係も光学系の設計（主に第２旋回点での振り角）によっておおよそ定まる。
【００８８】
　そこで、例えば、光路長差の変化を補正するための補正量（例えば、光路長の変化量，或いは，ＯＣＴデータにおける深さ方向の位置情報の補正量）が光スキャナ２７の各走査位置と対応づけられた補正テーブルが、メモリ７２に予め用意されていてもよい。そして、制御部７０は、この補正テーブルを用いて、光路長差の変化の補正処理を行ってもよい。このようなテーブルにおける補正量は、少なくとも光スキャナ２７から第２旋回点ｒ２まで，の測定光の光路長の変化が考慮された値である。さらに、第２旋回点ｒ２から眼底Ｅ２までの光路長の変化が考慮された値であってもよい。このような光路長差と補正量との対応関係（換言すれば、走査位置と補正量との対応関係）は、例えば、シミュレーションおよびキャリブレーション等によって予め求められてもよい。
【００８９】
　なお、上記実施例では、光スキャナ２７は、２つの光スキャナを含んでいる。つまり、測定光の主走査を行う第１光スキャナ（例えば、Ｘガルバノスキャナ）と、主走査の方向とは交差する方向に測定光の副走査を行う第２光スキャナ（例えば、）と、が含まれている。主走査が、各図の紙面奥行き方向に行われ、副走査が、紙面奥行き方向に対し、交差する方向に行われる場合、副走査の位置のみに応じて、測定光における光路長の変化（より詳細には、光スキャナ２７から第２旋回点ｒ２までの光路長の変化）が生じるような、対物光学系２を採用することが可能である。例えば、本実施形態のように、回転楕円鏡および回転放物面鏡等の回転曲面から形成される凹面鏡および凸面鏡を用いることで、上記のような対物光学系２を実現し得る。
【００９０】
　このような対物光学系２に対し、制御部３０は、測定光をラスタースキャンすることで、複数のスキャンラインにおける二次元ＯＣＴデータを取得してもよい。つまり、制御部３０は、光スキャナ２７を駆動制御することで、主走査によって取得される二次元ＯＣＴデータを，副走査の方向の異なるスキャンラインにおいて複数取得する。そして、第２スキャナの走査位置に応じて駆動機構２５ａを駆動制御してもよい。つまり、第２スキャナの走査位置に応じて駆動機構２を駆動することで、参照光と測定光との光路長差の変化を補正してもよい。

【００９１】
この場合において、副走査に伴って、測定光と参照光との光路長差に変化が生じ得るが、主走査と比べて、副走査のスピードは遅い。このため、光路長差の時間的な変化を抑制できる。よって、参照光と測定光との光路長差の変化がより確実に補正されるように、駆動機構２５ａを駆動させることができる。結果、複数の二次元ＯＣＴデータを良好に取得することができる。
【００９２】
以上、実施形態に基づいて説明を行ったが、本開示は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変更が行われてもよい。
【００９３】
例えば、第１実施例ないし第３実施例では、対物光学系２における第２ミラー６０は回転楕円鏡であり、これと組み合わせて用いる第１ミラー５０は、放物面鏡または双曲面鏡であった。換言すれば、第１実施例ないし第３実施例において、第１ミラー５０は、離心率≧１となる２次曲線を対称軸周りに回転させた軌跡によって形成される曲面であった。しかし、前述したように、第１ミラー５０、および、第２ミラー６０の曲面形状は、それぞれ種々の二次曲面、或いは非球面から適宜選択されてもよい。
【００９４】
例えば、上記実施形態において、走査光学系１は、それぞれに光スキャナを持つ，２つの撮影光学系（上記実施形態では、ＳＬＯ光学系１０と、ＯＣＴ光学系２０）の光路が、光路結合部４０によって結合される場合を説明した。しかし、かならずしもこれに限られるものではなく、走査光学系１は、撮影光学系と、治療用または刺激用の光を発する照射光学系と、の光路が、光路結合部４０によって結合されてもよい。ここでいう、撮影光学系は、撮影用の第１光源からの光を第１光スキャナを駆動することで、眼底上で走査させると共に、第１光源からの光の眼底反射光を受光する検出器と、を備えていてもよい。この場合、例えば、上記実施形態におけるＳＬＯ光学系１０およびＯＣＴ光学系２０のいずれかが撮影光学系として利用されてもよい。一方、照射光学系によって、被検眼Ｅに対して照射される光は、例えば、眼底で光凝固を行うための治療用レーザであってもよい。また、視野検査用の刺激光であってもよい。勿論、治療用または刺激用の光としては、これに限定されるものではない。このような照射光学系は、治療用又は刺激用の光を出射する第２光源からの光を偏向することで、眼底上における前記光の照射位置を定める第２光スキャナを少なくとも有してもよい。このような照射光学系は、上記実施形態におけるＳＬＯ光学系１０およびＯＣＴ光学系２０のいずれと置き換えられてよく、第２光スキャナは、上記実施形態における何れかの光スキャナ１５，２７に置き換えられて、配置されてもよい。
【００９５】
本開示には、ラインスキャンＳＬＯで広角撮影を行う際に生じる種々の問題点への解決手段として、以下のような眼底撮影装置が、更に、開示されている。
【００９６】
（第１の眼底撮影装置）
光源から導かれたライン状の光を走査する光スキャナと、眼底反射光を受光するためのラインセンサ又はエリアセンサと、を持つラインスキャンＳＬＯ光学系と、前記光スキャナと前記被検眼との間に配置される対物光学系であって、被検眼が焦点に置かれる曲面鏡と、前記曲面鏡に前記光スキャナからの光を導くと共に、前記曲面鏡に起因する像面歪曲を打ち消す歪曲補正光学系と、を有する対物光学系と、を持つ眼底撮影装置。
【００９７】
上記実施形態では、第２ミラー６０（「曲面鏡」の一例）によって生じる像面歪曲が、第２ミラー６０と光スキャナ１５，２７との間に配置されるミラー（第１ミラー５０と補正ミラー系７１，７２との組み合わせ，または、第１ミラー５０と補正ミラー１７１との組み合わせ）によって打ち消された（換言すれば、軽減された）。但し、歪曲補正光学系は、必ずしもミラーのような反射要素のみで形成される必要はない。例えば、一部または

全部に、レンズのような屈折要素が含まれていてもよい。屈折要素は、「曲面鏡」で生じる像面歪曲を軽減するものであればよい。具体的には、光軸に対して偏心配置されたレンズであってもよいし、非球面レンズであってもよいし、その他の構成であってもよい。

【００９８】

（第２の眼底撮影装置）

第１の眼底撮影装置において、前記曲面鏡は、第１の焦点および第２の焦点を持ち、前記第１の焦点の共役位置に前記光スキャナが、前記第２の焦点に被検眼が、それぞれ配置される楕円鏡であり、前記歪曲補正光学系は、前記光スキャナと第１の焦点との間、又は、前記第１の焦点と前記第２の焦点との間に配置される。

【００９９】

第２の眼底撮影装置において、光スキャナと第１の焦点との間に、歪曲補正光学系が配置される場合は、光スキャナが第１の焦点に配置されていてもよい。

【０１００】

（第３の眼底撮影装置）

第１または第２の眼底撮影装置において、眼底および対物光学系とシャインプルーフの関係となるようにラインセンサ又はエリアセンサが傾斜配置される、又は、眼底反射光が前記対物光学系を経由することによって生じる像面の傾きを補正する光学部材を有する。

【０１０１】

（第４の眼底撮影装置）

光源から導かれたライン状の光を走査する光スキャナと、眼底反射光を受光するためのラインセンサ又はエリアセンサと、を持つラインスキャンＳＬＯ光学系と、前記光スキャナと前記被検眼との間に配置される対物光学系であって、少なくとも１つの曲面鏡を持ち、光スキャナから導かれる光源からの光を、曲面鏡で反射することによって、前記曲面鏡の焦点に形成される前記光の旋回点を経由させて前記光を眼底に導く対物光学系と、を持ち、更に、眼底および対物光学系とシャインプルーフの関係となるようにラインセンサ又はエリアセンサが傾斜配置される、又は、眼底反射光が前記曲面鏡によって反射されることによって生じる像面の傾きを補正する光学部材を有する、眼底撮影装置。

【０１０２】

（第５の眼底撮影装置）

第４の眼底撮影装置において、前記曲面鏡は、第１の焦点および第２の焦点を持ち、前記第１の焦点の共役位置に前記光スキャナが、前記第２の焦点に被検眼が、それぞれ配置される楕円鏡である。

【０１０３】

（第６の眼底撮影装置）

第５の眼底撮影装置において、前記対物光学系は、更に、前記曲面鏡に前記光スキャナからの光を導くと共に、前記曲面鏡に起因する像面歪曲を打ち消す歪曲補正光学系を持つ。

【０１０４】

（第７の眼底撮影装置）

第６の眼底撮影装置において、前記歪曲補正光学系は、前記光スキャナと第１の焦点との間、又は、前記第１の焦点と前記第２の焦点との間に配置される。

【０１０５】

（第８の眼底撮影装置）

第３または第４の眼底撮影装置において、ラインスキャンＳＬＯ光学系における光スキャナとラインセンサ又はエリアセンサとの間の眼底反射光の受光光路上であって、光源からの光の投光光路とは独立した光路上に、光学部材は配置される。

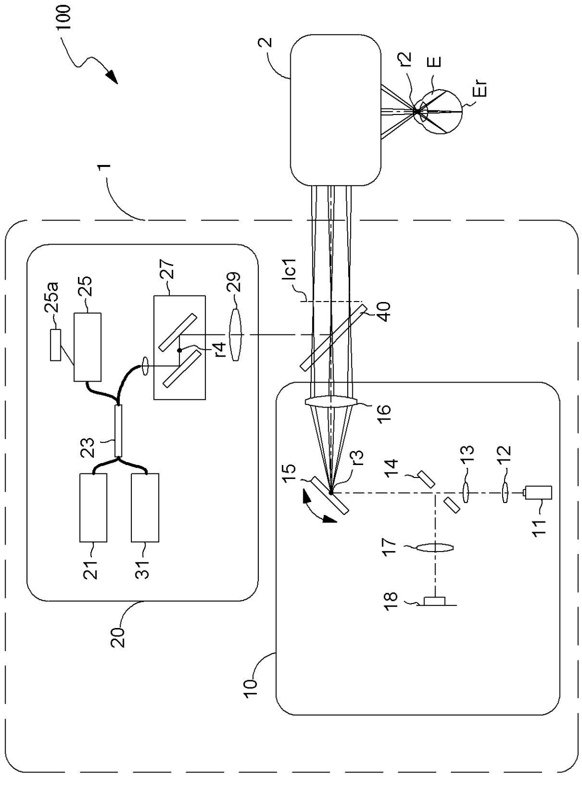
【符号の説明】

【０１０６】

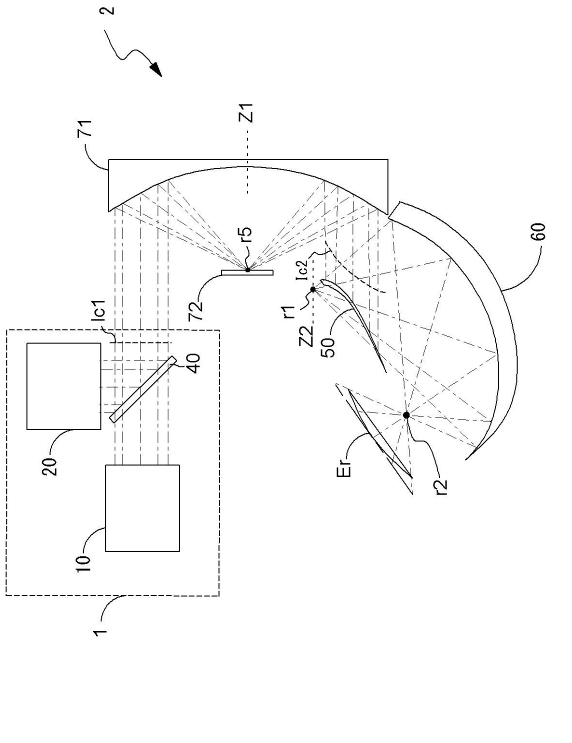
１　　　走査光学系
２　　　対物光学系
１０　　ＳＬＯ光学系

２０　　ＯＣＴ光学系
１１，２１　　光源
１５，２７　　光スキャナ
１８　　検出器
４０　　光路結合部材
５０　　第１ミラー
６０　　第２ミラー
７１，７２　補正ミラー系
１００　眼底撮影装置
ｒ１　　第１旋回点
ｒ２　　第２旋回点
Ｅ　　被検眼
Ｅｒ　　眼底

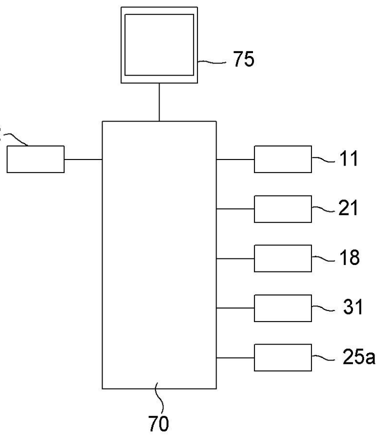
【図１】



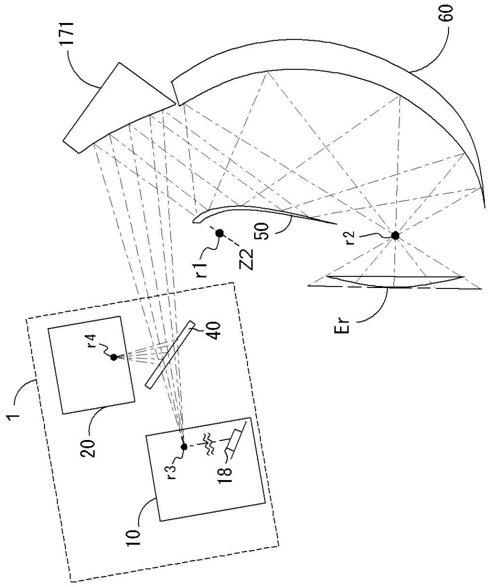
【図２】



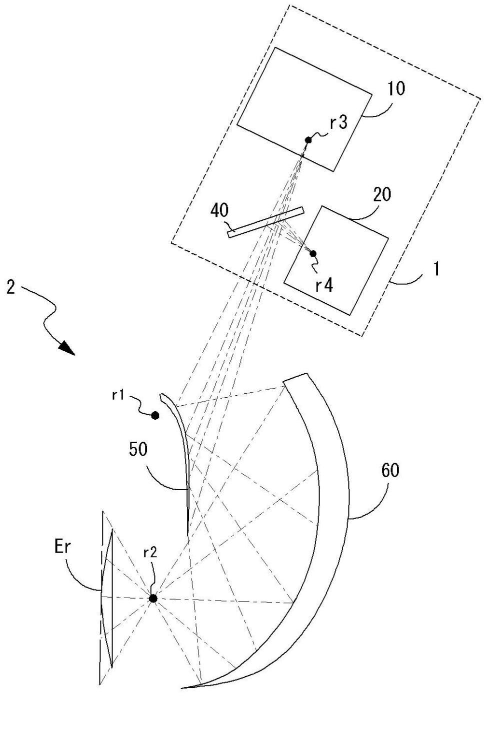
【図３】


75
72
11
21
18
31
25a
70

【図４】


171
60
50
r1
Z2
r2
Er
40
r4
1
20
r3
18
10

【図５】


10
r3
20
40
r4
1
2
r1
50
60
Er
r2

フロントページの続き

(56)参考文献　特表２００９－５４３５８５（ＪＰ，Ａ）
特表平０３－５００１３７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１５－０３３４２３（ＪＰ，Ａ）
特表２０１３－５２４９７８（ＪＰ，Ａ）
特開２０１４－２１７７５６（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－１２６１３３（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１４／０５３８２４（ＷＯ，Ａ１）
米国特許出願公開第２００７／００３０４４９（ＵＳ，Ａ１）

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