

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-157041
(P2020-157041A)

(43) 公開日 令和2年10月1日(2020.10.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 3/135 (2006.01)	A 6 1 B 3/135	2 H 0 5 2
G 0 2 B 21/00 (2006.01)	G 0 2 B 21/00	4 C 3 1 6

審査請求 未請求 請求項の数 32 O L (全 49 頁)

(21) 出願番号 特願2019-234916 (P2019-234916)
 (22) 出願日 令和1年12月25日 (2019.12.25)
 (31) 優先権主張番号 特願2019-51361 (P2019-51361)
 (32) 優先日 平成31年3月19日 (2019.3.19)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国 (JP)

(71) 出願人 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 100124626
 弁理士 榎並 智和
 (72) 発明者 清水 仁
 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 大森 和宏
 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内
 Fターム(参考) 2H052 AC04 AC16 AD02 AF02 AF14
 4C316 AA01 AA03 AA08 AA24 AA25
 AB16 AB19 FA14 FB21 FY01
 FY02 FY04 FZ01

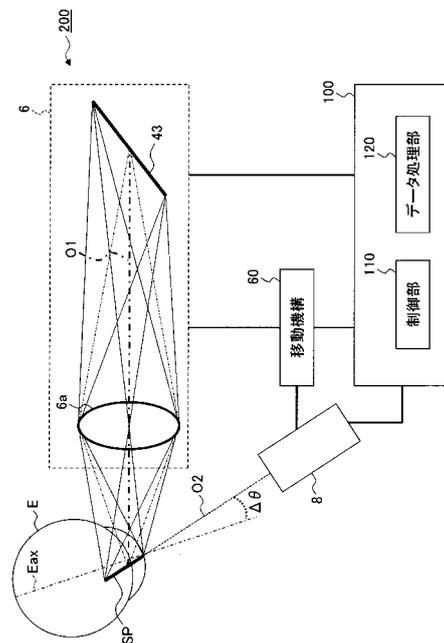
(54) 【発明の名称】 スリットランプ顕微鏡

(57) 【要約】

【課題】被検眼内外の屈折率の違いに起因するシャインプルーフ型スリットランプ顕微鏡の問題を解決する。

【解決手段】例示的態様のスリットランプ顕微鏡は、照明系と、撮影系とを含む。照明系は、被検眼の前眼部にスリット光を投射する。撮影系は、スリット光が投射されている前眼部からの光を導く光学系と、この光学系により導かれた光を撮像面で受光する撮像素子とを含む。前眼部の組織の屈折率により変位した照明系の焦点を含む物面と、光学系の主面と、撮像面とが、シャインプルーフの条件を満足するように配置されている。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検眼の前眼部にスリット光を投射する照明系と、
前記スリット光が投射されている前記前眼部からの光を導く光学系と、前記光学系により導かれた前記光を撮像面で受光する撮像素子とを含む撮影系と
を含み、
前記前眼部の組織の屈折率により変位した前記照明系の焦点を含む物面と、前記光学系の主面と、前記撮像面とが、シャインブルーの条件を満足するように配置されている、
スリットランプ顕微鏡。

【請求項 2】

前記照明系及び前記撮影系を移動する移動機構を更に含み、
前記撮影系は、前記移動機構による前記照明系及び前記撮影系の移動と並行して繰り返し撮影を行うことにより前記前眼部の複数の画像を取得する、
請求項 1 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 3】

前記複数の画像に基づいて 3 次元画像を構築する 3 次元画像構築部を更に含み、
請求項 2 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 4】

前記 3 次元画像をレンダリングしてレンダリング画像を構築するレンダリング部を更に含み、
請求項 3 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 5】

前記複数の画像の少なくとも 1 つ又はそれを処理して得られた画像に所定の解析処理を適用する解析部を含む、
請求項 2 ~ 4 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 6】

前記屈折率による前記物面の偏向角は、3 ~ 13 度の範囲に含まれる、
請求項 1 ~ 5 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 7】

前記屈折率による前記物面の偏向角は、6 ~ 10 度の範囲に含まれる、
請求項 6 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 8】

前記屈折率による前記物面の偏向角は、所定の模型眼における角膜曲率半径の値及び眼の屈折率の値に少なくとも基づいて決定される、
請求項 1 ~ 7 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 9】

前記屈折率による前記物面の偏向角は、前記照明系の光軸と前記撮影系の光軸とのなす角度に少なくとも基づいて決定される、
請求項 1 ~ 5 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 10】

前記角度は、0 度よりも大きく且つ 60 度以下の範囲内の値に設定される、
請求項 9 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 11】

前記屈折率による前記物面の偏向角は、前記角度及び角膜曲率半径に少なくとも基づいて決定される、
請求項 9 又は 10 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 12】

前記角膜曲率半径の値は、所定の模型眼に基づき設定される、
請求項 11 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 13】

10

20

30

40

50

前記角膜曲率半径の値は、グルストランド模型眼に基づいて、 $7.7\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ の範囲内の値に設定される、

請求項 12 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 14】

前記屈折率による前記物面の偏向角は、前記角度及び眼球屈折率に少なくとも基づいて決定される、

請求項 9 又は 10 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 15】

前記眼球屈折率の値は、所定の模型眼に基づき設定される、

請求項 14 のスリットランプ顕微鏡。

10

【請求項 16】

前記眼球屈折率の値は、グルストランド模型眼に基づいて、 1.336 ± 0.001 の範囲内の値に設定される、

請求項 15 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 17】

前記屈折率による前記物面の偏向角は、前記角度、角膜曲率半径及び眼球屈折率に少なくとも基づいて決定される、

請求項 9 又は 10 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 18】

前記角膜曲率半径の値及び前記眼球屈折率の値のそれぞれは、所定の模型眼に基づき設定される、

請求項 17 のスリットランプ顕微鏡。

20

【請求項 19】

グルストランド模型眼に基づいて、前記角膜曲率半径の値は、 $7.7\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ の範囲内の値に設定され、且つ、前記眼球屈折率の値は、 1.336 ± 0.001 の範囲内の値に設定される、

請求項 18 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 20】

前記偏向角は、0度よりも大きく且つ 11.09 度以下の範囲内の値に設定される、

請求項 19 のスリットランプ顕微鏡。

30

【請求項 21】

前記撮影系の光軸の向きを変更する第 1 偏向機構を更に備える、

請求項 1 ~ 20 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 22】

前記第 1 偏向機構は、実質的に前記物面と前記撮影系の光軸との交点を中心に前記撮影系の光軸を回動させる、

請求項 21 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 23】

前記撮影系により取得された前記被検眼の画像を解析して画質を評価する画質評価部と

40

前記画質評価部による評価の結果に少なくとも基づいて前記第 1 偏向機構の制御を行う第 1 偏向制御部と

を更に含む、

請求項 21 又は 22 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 24】

前記撮影系により取得された前記被検眼の画像を解析して角膜曲率半径を計測する計測部と、

前記計測部による計測の結果に少なくとも基づいて前記撮影系の光軸の目標向きを決定する第 1 決定部と、

を更に含む、

50

前記第 1 偏向機構は、前記撮影系の光軸の向きを前記目標向きに変更する、
請求項 2 1 ~ 2 3 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 2 5】

予め取得された前記被検眼の角膜曲率半径の測定データを受け付けるデータ受付部と、
前記測定データに少なくとも基づいて前記撮影系の光軸の目標向きを決定する第 2 決定部と、

を更に含み、

前記第 1 偏向機構は、前記撮影系の光軸の向きを前記目標向きに変更する、
請求項 2 1 ~ 2 3 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 2 6】

前記撮影系は、前記第 1 偏向機構が前記撮影系の光軸の向きを変更したことに対応して
前記前眼部の撮影を開始する、

請求項 2 1 ~ 2 5 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 2 7】

前記照明系の光軸の向きを変更する第 2 偏向機構を更に備える、

請求項 1 ~ 2 0 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 2 8】

前記第 2 偏向機構は、前記被検眼の角膜と前記照明系の光軸との交点を中心に前記照明
系の光軸を回動させる、

請求項 27 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 2 9】

前記撮影系により取得された前記被検眼の画像を解析して画質を評価する画質評価部と
、

前記画質評価部による評価の結果に少なくとも基づいて前記第 2 偏向機構の制御を行う
第 2 偏向制御部と

を更に含む、

請求項 2 7 又は 2 8 のスリットランプ顕微鏡。

【請求項 3 0】

前記撮影系により取得された前記被検眼の画像を解析して角膜曲率半径を計測する計測
部と、

前記計測部による計測の結果に少なくとも基づいて前記照明系の光軸の目標向きを決定
する第 3 決定部と

を更に含み、

前記第 2 偏向機構は、前記照明系の光軸の向きを前記目標向きに変更する、

請求項 2 7 ~ 2 9 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 3 1】

予め取得された前記被検眼の角膜曲率半径の測定データを受け付けるデータ受付部と、
前記測定データに少なくとも基づいて前記照明系の光軸の目標向きを決定する第 4 決定
部と

を更に含み、

前記第 2 偏向機構は、前記照明系の光軸の向きを前記目標向きに変更する、

請求項 2 7 ~ 2 9 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【請求項 3 2】

前記撮影系は、前記第 2 偏向機構が前記照明系の光軸の向きを変更したことに対応して
前記前眼部の撮影を開始する、

請求項 2 7 ~ 3 1 のいずれかのスリットランプ顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、スリットランプ顕微鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

眼科分野において画像診断は重要な位置を占める。画像診断では、各種の眼科撮影装置が用いられる。眼科撮影装置には、スリットランプ顕微鏡、眼底カメラ、走査型レーザー検眼鏡（SLO）、光干渉断層計（OCT）などがある。また、レフラクトメータ、ケラトメータ、眼圧計、スペキュラーマイクロスコープ、ウェーブフロントアナライザ、マイクロペリメータなどの各種の検査装置や測定装置にも、前眼部や眼底を撮影する機能が搭載されている。

10

【0003】

これら様々な眼科装置のうち最も広く且つ頻繁に使用される装置の一つがスリットランプ顕微鏡である。スリットランプ顕微鏡は、スリット光で被検眼を照明し、照明された断面を側方から顕微鏡で観察したり撮影したりするための眼科装置である。

【0004】

例えば、特許文献1には、照明系及び撮影系の移動とそれらの焦点の移動とを組み合わせることで実行しつつ前眼部撮影を行うことが可能なスリットランプ顕微鏡が開示されている。これによれば、前眼部の広い範囲にわたってピントが合った3次元画像を取得できる一方、光学系の光軸方向のスキャン（焦点の移動）とこれに直交する方向のスキャン（光学系の移動）とを行うために撮影には時間や手間が掛かる。

20

【0005】

これに対し、特許文献2及び3には、シャインブルーフの原理を利用して前眼部撮影を行う技術が開示されている。シャインブルーフの原理は、レンズ面が像面と平行でない場合における光学系の焦点面の向きについての幾何学的規則であり、レンズ（光学系）の主面と撮像素子の撮像面とが或る1つの直線で交わるとき、ピントが合う物面も同じ直線にて交わることを主張する。

【0006】

この原理によれば、照明系の光軸を通る面（物面を含む）と撮影系の主面と撮像素子の撮像面とが同一の直線にて交差するようにスリットランプ顕微鏡を構成すれば、物面全体にわたってピントが合った画像を得ることができる。

30

【0007】

このような従来のシャインブルーフ型スリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の光軸に対して傾斜した方向から前眼部を観察・撮影しようとする、被検眼内部の屈折率と外部の屈折率との相違により光線が屈折し、シャインブルーフの原理を意図した配置が崩れてしまう。また、被検眼の組織の形状や特性には個人差があるため、この配置の崩れにも個人差が生じる。例えば、角膜の形状（曲率）や前眼部組織の屈折率の個人差の影響が考えられる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

40

【特許文献1】特開2016-159073号公報

【特許文献2】特開2000-197607号公報

【特許文献3】特表2015-533322号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明の目的は、被検眼内外の屈折率の違いに起因するシャインブルーフ型スリットランプ顕微鏡の問題を解決することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

50

例示的な第1の態様は、被検眼の前眼部にスリット光を投射する照明系と、前記スリット光が投射されている前記前眼部からの光を導く光学系と、前記光学系により導かれた前記光を撮像面で受光する撮像素子とを含む撮影系とを含み、前記前眼部の組織の屈折率により変位した前記照明系の焦点を含む物面と、前記光学系の主面と、前記撮像面とが、シヤインブルーフの条件を満足するように配置されている、スリットランプ顕微鏡である。

【0011】

例示的な第2の態様は、第1の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記照明系及び前記撮影系を移動する移動機構を更に含み、前記撮影系は、前記移動機構による前記照明系及び前記撮影系の移動と並行して繰り返し撮影を行うことにより前記前眼部の複数の画像を取得する。

10

【0012】

例示的な第3の態様は、第2の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記複数の画像に基づいて3次元画像を構築する3次元画像構築部を更に含む。

【0013】

例示的な第4の態様は、第3の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記3次元画像をレンダリングしてレンダリング画像を構築するレンダリング部を更に含む。

【0014】

例示的な第5の態様は、第2～第4の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡であって、前記複数の画像の少なくとも1つ又はそれを処理して得られた画像に所定の解析処理を適用する解析部を含む。

20

【0015】

例示的な第6の態様は、第1～第5の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡であって、前記屈折率による前記物面の偏向角は、3～13度の範囲に含まれる。

【0016】

例示的な第7の態様は、第6の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記屈折率による前記物面の偏向角は、6～10度の範囲に含まれる。

【0017】

例示的な第8の態様は、第1～第7の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡であって、前記屈折率による前記物面の偏向角は、所定の模型眼における角膜曲率半径の値及び眼の屈折率の値に少なくとも基づいて決定される。

30

【0018】

例示的な第9の態様は、第1～第5の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡であって、前記屈折率による前記物面の偏向角は、前記照明系の光軸と前記撮影系の光軸とのなす角度に少なくとも基づいて決定される。

【0019】

例示的な第10の態様は、第9の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記角度は、0度よりも大きく且つ60度以下の範囲内の値に設定される。

【0020】

例示的な第11の態様は、第9又は第10の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記屈折率による前記物面の偏向角は、前記角度及び角膜曲率半径に少なくとも基づいて決定される。

40

【0021】

例示的な第12の態様は、第11の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記角膜曲率半径の値は、所定の模型眼に基づき設定される。

【0022】

例示的な第13の態様は、第12の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記角膜曲率半径の値は、グルストランド模型眼に基づいて、7.7ミリメートル(mm)±0.5mmの範囲内の値に設定される。

【0023】

例示的な第14の態様は、第9又は第10の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前

50

記屈折率による前記物面の偏向角は、前記角度及び眼球屈折率に少なくとも基づいて決定される。

【0024】

例示的な第15の態様は、第14の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記眼球屈折率の値は、所定の模型眼に基づき設定される。

【0025】

例示的な第16の態様は、第15の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記眼球屈折率の値は、グルストランド模型眼に基づいて、 1.336 ± 0.001 の範囲内の値に設定される。

【0026】

例示的な第17の態様は、第9又は第10の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記屈折率による前記物面の偏向角は、前記角度、角膜曲率半径及び眼球屈折率に少なくとも基づいて決定される。

【0027】

例示的な第18の態様は、第17の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記角膜曲率半径の値及び前記眼球屈折率の値のそれぞれは、所定の模型眼に基づき設定される。

【0028】

例示的な第19の態様は、第18の態様のスリットランプ顕微鏡であって、グルストランド模型眼に基づいて、前記角膜曲率半径の値は、 $7.7 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ の範囲内の値に設定され、且つ、前記眼球屈折率の値は、 1.336 ± 0.001 の範囲内の値に設定される。

【0029】

例示的な第20の態様は、第19の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記偏向角は、0度よりも大きく且つ 11.09 度以下の範囲内の値に設定される。

【0030】

例示的な第21の態様は、第1～第20の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡であって、前記撮影系の光軸の向きを変更する第1偏向機構を更に備える。

【0031】

例示的な第22の態様は、第21の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記第1偏向機構は、実質的に前記物面と前記撮影系の光軸との交点を中心に前記撮影系の光軸を回動させる。

【0032】

例示的な第23の態様は、第21又は第22の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記撮影系により取得された前記被検眼の画像を解析して画質を評価する画質評価部と、前記画質評価部による評価の結果に少なくとも基づいて前記第1偏向機構の制御を行う第1偏向制御部とを更に含む。

【0033】

例示的な第24の態様は、第21～第23の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡であって、前記撮影系により取得された前記被検眼の画像を解析して角膜曲率半径を計測する計測部と、前記計測部による計測の結果に少なくとも基づいて前記撮影系の光軸の目標向きを決定する第1決定部と、を更に含み、前記第1偏向機構は、前記撮影系の光軸の向きを前記目標向きに変更する。

【0034】

例示的な第25の態様は、第21～第23の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡であって、予め取得された前記被検眼の角膜曲率半径の測定データを受け付けるデータ受付部と、前記測定データに少なくとも基づいて前記撮影系の光軸の目標向きを決定する第2決定部と、を更に含み、前記第1偏向機構は、前記撮影系の光軸の向きを前記目標向きに変更する。

【0035】

例示的な第26の態様は、第21～第25の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡で

10

20

30

40

50

あって、前記撮影系は、前記第 1 偏向機構が前記撮影系の光軸の向きを変更したことに
 対応して前記前眼部の撮影を開始する。

【0036】

例示的な第 27 の態様は、第 1 ~ 第 20 の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡であ
 って、前記照明系の光軸の向きを変更する第 2 偏向機構を更に備える。

【0037】

例示的な第 28 の態様は、第 27 の態様のスリットランプ顕微鏡であって、前記第 2 偏
 向機構は、前記被検眼の角膜と前記照明系の光軸との交点を中心に前記照明系の光軸を回
 動させる。

【0038】

例示的な第 29 の態様は、第 27 又は第 28 の態様のスリットランプ顕微鏡であって、
 前記撮影系により取得された前記被検眼の画像を解析して画質を評価する画質評価部と、
 前記画質評価部による評価の結果に少なくとも基づいて前記第 2 偏向機構の制御を行う第
 2 偏向制御部とを更に含む。

【0039】

例示的な第 30 の態様は、第 27 ~ 第 29 の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡で
 あって、前記撮影系により取得された前記被検眼の画像を解析して角膜曲率半径を計測す
 る計測部と、前記計測部による計測の結果に少なくとも基づいて前記照明系の光軸の目標
 向きを決定する第 3 決定部と、を更に含み、前記第 2 偏向機構は、前記照明系の光軸の向
 きを前記目標向きに変更する。

【0040】

例示的な第 31 の態様は、第 27 ~ 第 29 の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡で
 あって、予め取得された前記被検眼の角膜曲率半径の測定データを受け付けるデータ受付
 部と、前記測定データに少なくとも基づいて前記照明系の光軸の目標向きを決定する第 4
 決定部とを更に含み、前記第 2 偏向機構は、前記照明系の光軸の向きを前記目標向きに
 変更する。

【0041】

例示的な第 32 の態様は、第 27 ~ 第 31 の態様のいずれかのスリットランプ顕微鏡で
 あって、前記撮影系は、前記第 2 偏向機構が前記照明系の光軸の向きを変更したことに
 対応して前記前眼部の撮影を開始する。

【発明の効果】

【0042】

例示的な実施形態によれば、被検眼内外の屈折率の違いに起因するシャインブルーフ条
 件からの逸脱を回避することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図 1 A】例示的な実施形態の背景を説明するための概略図である。

【図 1 B】例示的な実施形態の背景を説明するための概略図である。

【図 1 C】例示的な実施形態の背景を説明するための概略図である。

【図 1 D】例示的な実施形態の背景を説明するための概略図である。

【図 1 E】例示的な実施形態の背景を説明するための概略図である。

【図 2】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 3】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 4】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 5】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 6】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 7】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 8】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の動作を表すフローチャートである。

【図 9】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 10】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

10

20

30

40

50

【図 1 1】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の動作を表すフローチャートである。

【図 1 2】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 1 3】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 1 4】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の動作を表すフローチャートである。

【図 1 5】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 1 6】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成を表す概略図である。

【図 1 7】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡の動作を表すフローチャートである。

【図 1 8】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡を説明するための概略図である。

【図 1 9】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡を説明するための概略図である。

【図 2 0】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡を説明するための概略図である。

【図 2 1】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡を説明するための概略図である。

【図 2 2】例示的な態様に係るスリットランプ顕微鏡を説明するための概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0044】

例示的な実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本明細書にて引用した文献の開示事項や他の公知技術を実施形態に組み合わせることができる。以下、実施形態の背景及び概要についてまず簡単に説明した後に、幾つかの例示的な態様を説明する。

【0045】

< 背景及び概要 >

図 1 A に示すように、レンズ L N が焦点を結ぶ物面 (S u b j e c t P l a n e) S P は、レンズ L N までの位置とレンズ L N の焦点距離により算出された位置に、像面 (I m a g e P l a n e) I P として結像されることが知られている (ニュートンの結像公式) 。更に、図 1 B に示すように、物面 S P が或る方向に距離 だけ変位すると、光学系の横倍率 の 2 乗 (すなわち縦倍率) を距離 に積算した距離 (\times^2) だけ像面 I P も同じ方向に変位することが知られている。

【0046】

物面の変位を考慮した場合のニュートンの結像公式に基づき、レンズ L N の光軸に対して物面 S P が傾いている場合を考慮すると、シャインプルーフの原理は、図 1 C に示すように、物面 S P を含む平面 P L 1 と、レンズ L N の主面 P L 2 (主平面) と、像面 I P を含む平面 P L 3 とが、同じ直線 C L にて交わることを主張する。

【0047】

したがって、図 1 C に示す条件が満足されている場合には、図 1 D に示すように、理論上は、被検眼 E の眼球光軸 E a x と物面 S P とを一致させることにより、つまり、主面 P L 2 及び平面 P L 3 のそれぞれと同じ直線 C L で交わる平面 P L 1 に沿ってスリット光 S L を被検眼 E に入射することにより、物面 S P の全体にピントを合わせて撮影を行えるスリットランプ顕微鏡が実現される。

【0048】

しかしながら、被検眼 E の内外における屈折率の相違 (空気の屈折率と角膜の屈折率との相違、眼球組織境界における屈折率の相違など) によってスリット光 S L が屈折するため、スリット光 S L の屈折を無視した場合の物面 S P は正確ではなく、シャインプルーフの条件からの逸脱が生じる。

【0049】

例えば、図 1 E に示すように、眼球光軸 E a x に一致したスリット光 S L の入射方向 (同じく符号 S L で示す) に対して撮影角度 だけ傾けて撮影を行う場合において、角膜前面における屈折を考慮すると、角膜頂点に位置するレンズ L N の焦点位置 F P 1 は変位しないが、被検眼 E の内部に位置する (例示的な) 焦点位置 F P 2 及び F P 3 はそれぞれ符

10

20

30

40

50

号 F P 2 ' 及び F P 3 ' で示す位置に移動する。したがって、シャインブルーの条件を満足する物面としては、眼球光軸 E a x に一致する元の物面 S P ではなく、屈折を考慮した複数の焦点位置 F P 1、F P 2 ' 及び F P 3 ' を通る平面上に位置する物面 S P ' が採用される。

【 0 0 5 0 】

更に、物面 S P ' を実現するためには、物面 S P ' と物面 S P (眼球光軸 E a x) との間の角度と、少なくとも角膜前面での屈折とを考慮すると、元の入射方向 S L から角度だけ傾斜した方向 S L ' からスリット光を入射させればよいことが分かる。一例として、被検眼を球と仮定し、撮影角度 = 3 0 度とし、G u l l s t r a n d (グルストランド) 模型眼の角膜曲率半径 = 7 . 7 m m 及び眼球屈折率 = 1 . 3 3 6 を用いて計算を行うと、物面 S P に対する物面 S P ' の傾斜角度は約 6 度となり、入射方向 S L に対する入射方向 S L ' の角度は約 8 度となる。

10

【 0 0 5 1 】

なお、これらパラメータの個人差の幅や、参照される模型眼の種類などを考慮すると、被検眼 E の屈折率に起因する物面の偏向角 は、3 ~ 1 3 度の範囲に含まれていてよく、更に 6 ~ 1 0 度の範囲に含まれていてよい。なお、偏向角 の決定のために参照可能な模型眼の種類は任意であり、例えば、特開 2 0 1 2 - 9 3 5 2 2 号公報や特表 2 0 1 7 - 5 2 6 5 1 7 号公報に開示された、G u l l s t r a n d 模型眼、N a v a r r o 模型眼、L i o u - B r e n n a n 模型眼、B a d a l 模型眼、A r i z o n a 模型眼、I n d i a n a 模型眼、任意の規格化模型眼、及び、これらのいずれかと同等の模型眼のいずれかであってよい。

20

【 0 0 5 2 】

また、上記の例では、所定の模型眼における角膜曲率半径の値及び眼の屈折率の値に少なくとも基づき偏向角 が決定されているが、偏向角 の決定方法はこれに限定されない。例えば、角膜曲率半径に加えて又はその代わりに、他のパラメータの値を用いて偏向角 を決定することが可能である。或いは、模型眼以外の情報を利用することも可能である。例えば、被検眼 E の測定データを用いて偏向角 を決定することが可能である。その幾つかの例については後述する。

【 0 0 5 3 】

< スリットランプ顕微鏡について >

一般に、スリットランプ顕微鏡は、各種の医療施設において広く用いられている。実施形態に係るスリットランプ顕微鏡の設置場所は医療施設に限定されず、同装置に関する専門技術保持者が側にいない状況や環境、又は、専門技術保持者が遠隔地から監視、指示、操作をすることができる状況や環境で使用されてもよい。また、実施形態に係るスリットランプ顕微鏡は可搬型であってもよい。実施形態に係るスリットランプ顕微鏡が設置される施設の例としては、医療施設の他、眼鏡店、オプトメトリスト、健康診断会場、検診会場、患者の自宅、福祉施設、公共施設、検診車などがある。

30

【 0 0 5 4 】

実施形態に係るスリットランプ顕微鏡は、スリット光を用いた観察・撮影機能 (スリットランプ顕微鏡機能) を少なくとも有する眼科撮影装置 (又は、より一般に、医療装置) であり、他の撮影機能 (モダリティ) を更に備えていてもよい。他のモダリティの例として、眼底カメラ、S L O、O C T などがある。

40

【 0 0 5 5 】

実施形態に係るスリットランプ顕微鏡は、被検眼の特性を測定する機能を更に備えていてもよい。測定機能の例として、視力測定、屈折測定、眼圧測定、角膜内皮細胞測定、収差測定、視野測定などがある。

【 0 0 5 6 】

実施形態に係るスリットランプ顕微鏡は、撮影画像や測定データを解析するためのアプリケーションを更に備えていてもよい。また、実施形態に係るスリットランプ顕微鏡は、治療や手術のための機能を更に備えていてもよい。その例として光凝固治療や光線力学的

50

療法がある。

【0057】

以下、実施形態の幾つかの例示的態様について説明する。これら例示的態様のうちのいずれか2つ又はそれ以上を組み合わせることが可能である。また、これら例示的態様のそれぞれ又は2以上の組み合わせに対し、任意の公知技術を組み合わせることや任意の公知技術に基づく変形（付加、置換等）を施すことが可能である。

【0058】

以下に例示する実施形態において、「プロセッサ」は、例えば、CPU (Central Processing Unit)、GPU (Graphics Processing Unit)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、プログラマブル論理デバイス（例えば、SPLD (Simple Programmable Logic Device)、CPLD (Complex Programmable Logic Device)、FPGA (Field Programmable Gate Array)）等の回路を意味する。プロセッサは、例えば、記憶回路や記憶装置に格納されているプログラムやデータを読み出し実行することで、その実施形態に係る機能を実現する。

10

【0059】

例示的態様に係るスリットランプ顕微鏡の構成について説明する。まず、次のように方向を定義する。スリットランプ顕微鏡の光学系が被検眼の正面（ニュートラル位置）に配置されているときに、光学系における最も被検眼側に位置するレンズ（対物レンズ）から被検眼に向かう方向を前方向（又は、深さ方向、奥行き方向、Z方向）とし、その逆方向を後方向（-Z方向）とする。また、Z方向に直交する水平方向を左右方向（又は、横方向、±X方向）とする。更に、Z方向とX方向の双方に直交する方向を上下方向（又は、縦方向、±Y方向）とする。XYZ座標系は、例えば右手系（又は、左手系）として定義された3次元直交座標系である。

20

【0060】

また、スリットランプ顕微鏡の観察撮影系は少なくとも水平方向に回動可能であり、観察撮影系の光軸（観察撮影光軸）に沿う方向である動径方向を r_1 方向とし、回転方向を θ_1 方向とする。同様に、スリットランプ顕微鏡の照明系は回動可能であり、照明系の光軸（照明光軸）に沿う方向である動径方向を r_2 方向とし、回転方向を θ_2 方向とする。例えば、動径方向の正方向は、対物レンズから被検眼に向かう方向であり、回転方向の正方向は、上方から見たときの反時計回り方向である。回転方向は、例えば、Z方向を基準として定義される（つまり、Z方向が回転角度0度として定義される）。観察撮影系がニュートラル位置に配置されているとき（つまり、 $\theta_1 = 0$ 度のとき）、 r_1 方向はZ方向に一致する。同様に、照明系がニュートラル位置に配置されているとき（つまり、 $\theta_2 = 0$ 度のとき）、 r_2 方向はZ方向に一致する。照明系及び観察撮影系の少なくとも一方は、上下方向に回動可能であってもよい。この場合においても動径方向や回転方向が同様に定義される。

30

【0061】

例示的態様に係るスリットランプ顕微鏡の外観構成を図2に示す。スリットランプ顕微鏡1にはコンピュータ100が接続されている。コンピュータ100は、各種の情報処理（制御処理、演算処理等）を行う。コンピュータ100は、通信回線を介してスリットランプ顕微鏡1に接続されていてよく、例えばネットワーク上のサーバ等であってもよい。或いは、コンピュータ100は、スリットランプ顕微鏡1の部分であってもよい。

40

【0062】

スリットランプ顕微鏡1はテーブル2上に載置される。基台4は、例えば、移動機構部3を介して3次的に移動可能に構成されている。基台4は、操作ハンドル5を傾倒操作することにより移動される。或いは、移動機構部3は、アクチュエータを含む。

【0063】

基台4の上面上には、観察撮影系6及び照明系8を支持する支持部15が設けられている

50

。支持部 15 には、観察撮影系 6 を支持する支持アーム 16 が左右方向に回動可能に取り付けられている。支持アーム 16 の上部には、照明系 8 を支持する支持アーム 17 が左右方向に回動可能に取り付けられている。支持アーム 16 及び 17 は、それぞれ独立に且つ互いに同軸で回動可能とされている。

【0064】

観察撮影系 6 は、支持アーム 16 を回動させることで移動される。照明系 8 は、支持アーム 17 を回動させることで移動される。支持アーム 16 及び 17 のそれぞれは、電気的な機構によって回動される。移動機構部 3 には、支持アーム 16 を回動させるための機構と、支持アーム 17 を回動させるための機構とが設けられている。なお、支持アーム 16 を手動で回動させることによって観察撮影系 6 を移動することもできる。同様に、支持アーム 17 を手動で回動させることによって照明系 8 を移動することもできる。

10

【0065】

照明系 8 は、被検眼 E に照明光を照射する。前述のように、照明系 8 を左右方向に回動することができる。更に、照明系 8 を上下方向に回動できるように構成されてもよい。つまり、照明系 8 の仰角や俯角を変更できるように構成されていてもよい。このような照明系 8 のスイング動作により、被検眼 E に対する照明光の投射方向が変更される。

【0066】

観察撮影系 6 は、被検眼 E に投射された照明光の戻り光を案内する左右一对の光学系を有する。この光学系は鏡筒本体 9 内に収納されている。鏡筒本体 9 の終端は接眼部 9 a である。検者は接眼部 9 a をのぞき込むことで被検眼 E を観察する。前述のように、支持アーム 16 を回動させることにより鏡筒本体 9 を左右方向に回動させることができる。更に、観察撮影系 6 を上下方向に回動できるように構成されてもよい。つまり、観察撮影系 6 の仰角や俯角を変更できるように構成されていてもよい。このような観察撮影系 6 のスイング動作により、被検眼 E を観察する方向や撮影する方向を変更することができる。

20

【0067】

鏡筒本体 9 に対峙する位置には顎受け台 10 が配置されている。顎受け台 10 には、被検者の顔を安定配置させるための顎受部 10 a と顎当て 10 b が設けられている。

【0068】

鏡筒本体 9 の側面には、倍率を変更するための倍率操作ノブ 11 が配置されている。更に、鏡筒本体 9 には、被検眼 E を撮影するための撮像装置 13 が接続されている。撮像装置 13 は撮像素子を含む。撮像素子は、光を検出して画像信号（電気信号）を出力する光電変換素子である。画像信号はコンピュータ 100 に入力される。撮像素子としては、例えば、CCD イメージセンサ又は CMOS イメージセンサ等が用いられる。

30

【0069】

照明系 8 の下方位置には、照明系 8 から出力される照明光束を被検眼 E に向けて反射するミラー 12 が配置されている。

【0070】

スリットランプ顕微鏡 1 の光学系の構成例を図 3 に示す。前述したように、スリットランプ顕微鏡 1 は、観察撮影系 6 と照明系 8 とを備えている。

【0071】

観察撮影系 6 は左右一对の光学系を備えている。左右の光学系の構成はほぼ同様であり、被検眼 E の双眼での観察を可能としている。なお、図 3 は、観察撮影系 6 の左右の光学系の一方のみを示している。観察撮影系 6 は、双目光学系には限定されず、単目光学系であってもよい。符号 O1 は、観察撮影系 6 の光軸を示す。

40

【0072】

観察撮影系 6 の左右の光学系のそれぞれは、対物レンズ 31、変倍光学系 32、ビームスプリッタ 34、結像レンズ 35、プリズム 36、及び接眼レンズ 37 を含む。ここで、ビームスプリッタ 34 は、左右の光学系の一方又は双方に設けられる。接眼レンズ 37 は、接眼部 9 a 内に設けられている。符号 P は、接眼レンズ 37 に導かれる光の結像位置を示す。符号 E c は被検眼 E の角膜を示す。符号 E o は検者眼を示す。

50

【0073】

変倍光学系32は、複数（例えば3枚）の変倍レンズ32a、32b、32cを含む。本実施形態では、観察撮影系6の光路に対して選択的に挿入可能な複数の変倍レンズ群が設けられている。これら変倍レンズ群は、それぞれ異なる倍率に対応する。観察撮影系6の光路に配置された変倍レンズ群が変倍光学系32として用いられる。このような変倍レンズ群の選択的な挿入により、被検眼Eの観察像や撮影画像の倍率（画角）を変更することができる。倍率の変更、つまり観察撮影系6の光路に配置される変倍レンズ群の切り替えは、倍率操作ノブ11を操作することにより行われる。また、図示しないスイッチ等を用いて電動で倍率を変更することもできる。

【0074】

ビームスプリッタ34は、光軸O1に沿って進む光の光路を、光軸O1の延長上に位置する光路と、光軸O1に対して直交する光路とに分割する。光軸O1の延長上に位置する光路に入射した光は、結像レンズ35、プリズム36及び接眼レンズ37を介して検者眼Eoに導かれる。プリズム36は、光の進行方向を上方に平行移動させる。

【0075】

一方、光軸O1に対して直交する光路に入射した光は、集光レンズ41及びミラー42を介して、撮像装置13の撮像素子43に導かれる。すなわち、観察撮影系6は、被検眼Eからの戻り光を撮像装置13に導く。撮像素子43は、この戻り光を検出して画像信号GSを生成する。撮像装置13は、左右の光学系の一方又は双方に設けられる。

【0076】

観察撮影系6は、そのフォーカス位置（焦点）を変更するための合焦機構40を含む。合焦機構40は、対物レンズ31を光軸O1に沿って移動させる。対物レンズ31の移動は、自動及び/又は手動で行われる。自動で対物レンズ31を移動する場合、例えば、コンピュータ100は、公知のフォーカス調整手法（例えば、位相差検出方式、コントラスト検出方式など）を用いて、被検眼Eからの戻り光に基づきフォーカス位置を求めることができる。更に、コンピュータ100は、求められたフォーカス位置まで対物レンズ31を光軸O1に沿って移動するようにアクチュエータを制御することができる。一方、手動で対物レンズ31を移動する場合、ユーザーによる操作に応じてアクチュエータが対物レンズ31を光軸O1に沿って移動させる。

【0077】

なお、観察撮影系6は、対物レンズ31と撮像素子43との間の光軸O1上の位置に配置された第1合焦レンズを含んでもよい。この場合、合焦機構40は、第1合焦レンズを光軸O1に沿って移動させることによって観察撮影系6のフォーカス位置を変更する。また、観察撮影系6の全体（又は一部）が光軸O1に沿って移動可能に構成されていてもよい。この場合、合焦機構40は、観察撮影系6の全体を光軸O1に沿って移動させることによって、観察撮影系6のフォーカス位置を変更する。対物レンズ31を移動させる場合と同様に、合焦機構40による第1合焦レンズ又は観察撮影系6の移動は、自動又は手動で行われる。

【0078】

この例示的態様では、接眼レンズを介した観察と撮像素子による撮影との双方が可能な観察撮影系6が採用されている。しかし、幾つかの例示的態様に係るスリットランプ顕微鏡は、撮像素子による撮影のみが可能な撮影系を備えていてもよい。

【0079】

照明系8は、照明光源51、集光レンズ52、スリット形成部53、及び対物レンズ54を含む。符号O2は、照明系8の光軸を示す。

【0080】

照明光源51は照明光を出力する。照明系8に複数の光源を設けてもよい。例えば、定常光を出力する光源（例えば、ハロゲンランプ、発光ダイオード（LED）等）と、フラッシュ光を出力する光源（例えば、キセノンランプ、LED等）の双方を照明光源51として設けることができる。また、前眼部観察用の光源と後眼部観察用の光源とを別々に設

10

20

30

40

50

けてもよい。例えば、照明光源 5 1 は、可視光を出力する可視光源を含む。照明光源 5 1 は、赤外光（例えば、中心波長が 8 0 0 n m ~ 1 0 0 0 n m の光）を出力する赤外光源を含んでもよい。

【 0 0 8 1 】

スリット形成部 5 3 は、スリット光を生成するために用いられる。スリット形成部 5 3 は、一对のスリット刃を有する。これらスリット刃の間隔（スリット幅）を変更することにより、生成されるスリット光の幅を変更することができる。また、一对のスリット刃の一体的な回動によりスリット光の向きを変更することができる。スリット形成部 5 3 の構成は、一对のスリット刃を含む態様に限定されず、他の任意の態様であってもよい。

【 0 0 8 2 】

照明系 8 は、そのフォーカス位置（焦点）を変更するための合焦機構 5 0 を含む。合焦機構 5 0 は、対物レンズ 5 4 を光軸 O 2 に沿って移動させる。対物レンズ 5 4 の移動は、自動及び / 又は手動で行われる。自動で対物レンズ 5 4 を移動する場合、例えば、コンピュータ 1 0 0 は、被検眼 E からの戻り光に基づく像が描出された画像を解析することによってフォーカス位置を求めることができる。更に、コンピュータ 1 0 0 は、求められたフォーカス位置まで対物レンズ 5 4 を光軸 O 2 に沿って移動するようにアクチュエータを制御することができる。一方、手動で対物レンズ 5 4 を移動する場合には、ユーザーによる操作に応じてアクチュエータが対物レンズ 5 4 を光軸 O 2 に沿って移動させる。

【 0 0 8 3 】

なお、照明系 8 は、対物レンズ 5 4 とスリット形成部 5 3 との間の光軸 O 2 上の位置に配置された第 2 合焦レンズを含んでもよい。この場合、合焦機構 5 0 は、第 2 合焦レンズを光軸 O 2 に沿って移動させることによって、スリット光のフォーカス位置を変更する。また、照明系 8 の全体（又は一部）が光軸 O 2 に沿って移動可能に構成されていてもよい。この場合、合焦機構 5 0 は、照明系 8 の全体を光軸 O 2 に沿って移動させることによって、スリット光のフォーカス位置を変更する。対物レンズ 5 4 を移動させる場合と同様に、合焦機構 5 0 による第 2 合焦レンズ又は照明系 8 の移動は、自動又は手動で行われる。

【 0 0 8 4 】

図 3 では図示が省略されているが、照明系 8 から出力される照明光束を被検眼 E に向けて反射するミラー 1 2 が光軸 O 2 上に配置されている。典型的には、照明系 8 とミラー 1 2 とが一体的に回動するように構成されている。

【 0 0 8 5 】

以下に説明する幾つかの例示的態様では、特に言及しない限り、スリットランプ顕微鏡 1 を参照して説明を行う。ただし、これら例示的態様又は他の態様に適用可能なスリットランプ顕微鏡はこれに限定されない。

【 0 0 8 6 】

< 第 1 の態様 >

第 1 の態様に係るスリットランプ顕微鏡について説明する。本態様に係るスリットランプ顕微鏡 2 0 0 の構成例を図 4 及び図 5 に示す。

【 0 0 8 7 】

図 4 に示すように、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 は、それぞれスリットランプ顕微鏡 1 と同様の撮影系（観察撮影系）6、照明系 8 及びコンピュータ 1 0 0 に加え、移動機構 6 0 を含む。コンピュータ 1 0 0 は、制御部 1 1 0 と、データ処理部 1 2 0 とを含む。図 5 に示すデータ処理部 1 2 0 A は、データ処理部 1 2 0 の一例を示す。データ処理部 1 2 0 （1 2 0 A）は、3次元画像構築部 1 2 1 と、レンダリング部 1 2 2 と、解析部 1 2 3 とを含む。

【 0 0 8 8 】

スリットランプ顕微鏡 2 0 0 は、単一の装置であってもよいし、2以上の装置を含むシステムであってもよい。例えば、幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 は、照明系 8、撮影系 6、及び移動機構 6 0 を含む本体装置と、コンピュータ 1 0 0 と、本体装置とコンピュータ 1 0 0 との間の通信を担う通信デバイスとを含む。また、幾つかの

10

20

30

40

50

態様において、スリットランプ顕微鏡 200 は、同様の本体装置（及びコンピュータ 100）に加え、通信回線を介して本体装置（又はコンピュータ 100）にアクセス可能な遠隔操作用コンピュータを含む。

【0089】

照明系 8 は、被検眼 E の前眼部にスリット光を照射する。符号 O 2 は、照明系 8 の光軸（照明光軸）を示す。照明系 8 は、例えば、スリット光の幅、長さ及び向きを変更可能である。スリット光の長さとは、スリット幅に対応するスリット光の断面幅方向に直交する方向におけるスリット光の断面寸法である。スリット幅やスリット長は、典型的には、スリット光の前眼部への投影像の寸法として、又は、スリット形成部 53 が形成するスリットの寸法として、表現される。

10

【0090】

撮影系 6 は、照明系 8 からのスリット光が照射されている前眼部を撮影する。符号 O 1 は、撮影系 6 の光軸（撮影光軸）を示す。撮影系 6 は、光学系 6 a と、撮像素子 43 とを含む。

【0091】

光学系 6 a は、スリット光が照射されている被検眼 E の前眼部からの光を撮像素子 43 に導く。撮像素子 43 は、光学系 6 a により導かれた光を撮像面にて受光する。

【0092】

光学系 6 a により導かれる光（つまり、被検眼 E の前眼部からの光）は、前眼部に照射されているスリット光の戻り光を含み、他の光を更に含んでよい。戻り光の例として、反射光、散乱光、蛍光がある。他の光の例として、スリットランプ顕微鏡 200 の設置環境からの光（室内光、太陽光など）がある。

20

【0093】

本態様に係る照明系 8 及び撮影系 6 は、シャインブルーフカメラとして機能する。すなわち、照明系 8 に基づき決まる物面 S P と、光学系 6 a の主面と、撮像素子 43 の撮像面とが、いわゆるシャインブルーフの条件を満足するように、照明系 8 及び撮影系 6 の構成及び配置が決定される。

【0094】

より具体的には、図 1 E に示すように、前眼部の組織の屈折率により変位した照明系 8 の焦点を含む物面 S P と、光学系 6 a の主面と、撮像素子 43 の撮像面とが、同一の直線上にて交差するように、照明系 8 及び撮影系 6 の構成及び配置が決定される。これにより、物面 S P の全体にピントを合わせて撮影を行うことができる。なお、前述したように、従来のシャインブルーフ型スリットランプ顕微鏡では、前眼部の組織の屈折率による照明系の焦点の変位を考慮していないため、物面 S P の全体にピントを合わせて撮影を行うことはできない。

30

【0095】

物面 S P の範囲は、例えば、角膜前面から水晶体（典型的にはその後面）までの範囲よりも広く設定される。ただし、物面 S P の範囲はこれに限定されない。また、被検眼 E の所定の撮影対象範囲（例えば、角膜前面から水晶体後面までの範囲を含む）に対して物面 S P の位置合わせを行うことができる。この位置合わせのための動作は、例えば、公知のアライメント動作を含んでよい。

40

【0096】

シャインブルーフの条件を満足させるために、典型的には、照明系 8 に含まれる要素の構成及び配置と、撮影系 6 に含まれる要素の構成及び配置と、照明系 8 と撮影系 6 との相対位置とに関する設計、調整、処理等がなされる。

【0097】

照明系 8 と撮影系 6 との相対位置を示すパラメータとして、例えば、照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とがなす角度（撮影角度）がある。なお、従来のシャインブルーフ型スリットランプ顕微鏡では、照明光軸 O 2 と眼球光軸 E a x とが一致しているが、本態様に係るスリットランプ顕微鏡 200 では、眼球光軸 E a x と照明光軸 O 2 とが角度（偏向角）

50

をなしている。

【0098】

偏向角 は、少なくとも、前眼部の屈折率に基づき決定される。この屈折率は、被検眼Eの屈折率の測定値であってもよいし、標準的な値であってもよい。標準的な値の例として、前述した模型眼の値がある。

【0099】

偏向角 は、他の眼球パラメータに更に基づき決定されてもよい。例えば、角膜曲率半径、角膜厚、前房深度、水晶体前面の曲率半径、水晶体厚、水晶体後面の曲率半径などがある。また、偏向角 は、照明光軸O2と撮影光軸O1とがなす撮影角度に依存してもよい。

10

【0100】

このように、眼球パラメータの個人差や、参照される模型眼の種類や、撮影角度などに応じて、偏向角 は、3～13度の範囲内の値に設定されてよく、更に6～10度の範囲内の値に設定されてよい。なお、偏向角 の値はこれらに限定されるものではない。

【0101】

移動機構60は、照明系8及び撮影系6を移動する。本態様において、移動機構60は、照明系8及び撮影系6を一体的に左右方向に移動可能である。照明系8及び撮影系6が一体的に左右方向に移動されるとき、典型的には、スリット光の長手方向は上下方向に沿っている。つまり、典型的な制御例において、スリット光の向き（長手方向）と、照明系8及び撮影系6の移動方向とは、互いに直交している。これにより、被検眼Eをスリット光でスキャンすることができる。

20

【0102】

また、移動機構60は、照明系8と撮影系6とを互いに独立に移動可能である。例えば、移動機構60は、照明系8の水平方向の回転移動と、撮影系6の水平方向の回転移動とを、互いに独立に行うことが可能である。これにより、照明光軸O2と撮影光軸O1とがなす撮影角度を変更することができる。

【0103】

図2に例示する構成が採用される場合、移動機構60は、撮影系（観察撮影系）6を支持する支持アーム16を左右方向に回動させるアクチュエータと、照明系8を支持する支持アーム17を左右方向に回動させるアクチュエータとを含む。これにより、照明系8と撮影系6とが互いに独立に且つ互いに同軸で回動可能となる。

30

【0104】

移動機構60による照明系8の移動態様は上記の例に限定されず、撮影系6の移動態様も上記の例に限定されない。例えば、移動機構60は、照明系8及び撮影系6を一体的に任意の方向に移動可能に構成されていてよい。また、移動機構60は、照明系8と撮影系6との間の相対位置を任意に変更可能に構成されていてよい。

【0105】

コンピュータ100に設けられた制御部110は、スリットランプ顕微鏡200の各部を制御する。例えば、制御部110は、照明系8の要素、撮影系6の要素、移動機構60、データ処理部120などを制御する。

40

【0106】

制御部110は、1以上のプロセッサ、1以上の主記憶装置、1以上の補助記憶装置などを含む。補助記憶装置には、制御プログラム等が記憶されている。制御プログラム等は、スリットランプ顕微鏡200がアクセス可能なコンピュータや記憶装置に記憶されていてもよい。制御部110の機能は、制御プログラム等のソフトウェアと、プロセッサ等のハードウェアとの協働によって実現される。

【0107】

制御部110は、被検眼Eの3次元領域をスリット光でスキャンするために、照明系8、撮影系6及び移動機構60に対して次のような制御を適用することができる。

【0108】

50

まず、制御部 110 は、照明系 8 及び撮影系 6 を所定のスキャン開始位置に配置させるための移動機構 60 の制御を実行する（アライメント制御）。スキャン開始位置は、例えば、左右方向における被検眼 E の角膜の端部（第 1 端部）に相当する位置、又は、それよりも眼球光軸 E a x から離れた位置である。以下、アライメント制御の幾つかの例示的態様を説明するが、アライメント制御はこれらに限定されるものではない。

【0109】

アライメント制御は、例えば、被検眼 E の眼球光軸 E a x に対する照明光軸 O 2 の角度が所定の偏向角（ ）に等しくなるように照明系 8 を配置させる制御と、このように配置された照明系 8 の照明光軸 O 2 に対する撮影光軸 O 1 の角度が所定の撮影角度（ - ）に等しくなるように撮影系 6 を配置させる制御と、このように配置された照明系 8 及び撮影系 6 を所定のスキャン開始位置に一体的に移動する制御とを含む。

10

【0110】

他の例において、アライメント制御は、照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とがなす角度が所定の撮影角度（ - ）に等しくなるように照明系 8 及び撮影系 6 を配置させる制御と、撮影系 6 に対してこのような相対位置に配置された照明系 8 の照明光軸 O 2 が被検眼 E の眼球光軸 E a x に対して所定の偏向角 をなすように照明系 8 を配置させる制御と、このように配置された照明系 8 及び撮影系 6 を所定のスキャン開始位置に一体的に移動する制御とを含む。

【0111】

更に他の例において、アライメント制御は、照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とがなす角度が所定の撮影角度（ ）に等しくなるように照明系 8 及び撮影系 6 を配置させる制御と、このように配置された照明系 8 及び撮影系 6 を照明光軸 O 2 が被検眼 E の眼球光軸 E a x に一致するように所定のスキャン開始位置に一体的に移動する制御と、眼球光軸 E a x に一致するように配置された照明光軸 O 2 を所定の偏向角 だけ回転させるように照明系 8 を移動する制御とを含む。

20

【0112】

照明系 8 及び撮影系 6 がスキャン開始位置に配置された後、制御部 110 は、照明系 8 を制御して、被検眼 E に対するスリット光の照射を開始させる（スリット光照射制御）。なお、アライメント制御の実行前に、又は、アライメント制御の実行中に、スリット光照射制御を行ってもよい。照明系 8 は、典型的には連続光をスリット光として照射するが、断続光（パルス光）をスリット光として照射してもよい。また、照明系 8 は、典型的には可視光をスリット光として照射するが、赤外光をスリット光として照射してもよい。

30

【0113】

スリット光の照射開始と同時に又はその前若しくは後の任意のタイミングで、制御部 110 は、撮影系 6 を制御して、被検眼 E の動画撮影を開始させる（撮影制御）。すなわち、撮影系 6 は、移動機構 60 による照明系 8 及び撮影系 6 の移動と並行して繰り返し撮影を行うことにより、被検眼 E の前眼部の複数の画像を取得する。動画撮影は、所定の繰り返しレートで行われる。

【0114】

アライメント制御、スリット光照射制御、及び撮影制御の実行後、制御部 110 は、移動機構 60 を制御して、照明系 8 及び撮影系 6 の移動を開始する（移動制御）。移動制御により、照明系 8 及び撮影系 6 が一体的に移動される。つまり、照明系 8 と撮影系 6 との相対位置（例えば、撮影角度 - ）を維持しつつ照明系 8 及び撮影系 6 が移動される。照明系 8 及び撮影系 6 の移動は、前述したスキャン開始位置から所定のスキャン終了位置まで行われる。スキャン終了位置は、例えば、スキャン開始位置と同様に、左右方向において第 1 端部の反対側の角膜の端部（第 2 端部）に相当する位置、又は、それよりも眼球光軸 E a x から離れた位置である。スキャン開始位置からスキャン終了位置までの範囲がスキャン範囲となる。

40

【0115】

スリット光によるスキャンの例示的態様は、水平方向を幅方向とし且つ上下方向を長手

50

方向とするスリット光を被検眼 E に照射しつつ、且つ、照明系 8 及び撮影系 6 を水平方向に移動しつつ、撮影系 6 による動画撮影を実行する。

【0116】

ここで、スリット光の長さ（つまり、上下方向におけるスリット光の寸法）は、例えば、角膜の径以上に設定される。すなわち、スリット光の長さは角膜径以上に設定される。また、前述のように、照明系 8 及び撮影系 6 の移動距離（つまり、スキャン範囲）は、左右方向における角膜径以上に設定される。これにより、少なくとも被検眼 E の角膜全体をスリット光でスキャンすることができる。なお、強膜のスキャンを行う場合、虹彩のスキャンを行う場合、隅角のスキャンを行う場合などにおいては、より広いスキャン範囲を適用することができる。スキャン範囲はこれらの例示的態様に限定されず、撮影対象部位などに応じて任意に設定可能である。

10

【0117】

このようなスキャンにより、スリット光の照射位置が異なる複数の断面画像が得られる。換言すると、スリット光の照射位置が水平方向に移動する様子が描写された動画画像が得られる。各断面画像が示す断面は、図 4 に示す物面 S P を含む。撮影系 6 のピントは、物面 S P 全体に合っている。物面 S P は、例えば、角膜前面から水晶体後面までの範囲を含む。この場合、角膜前面から水晶体後面にわたる 3 次元領域の明瞭な（ピントが合った、高品質の、精細な）画像が得られる。

【0118】

データ処理部 120 は、各種のデータ処理を実行する。処理されるデータは、スリットランプ顕微鏡 200 により取得されたデータ、及び、外部から入力されたデータのいずれでもよい。例えば、データ処理部 120 は、照明系 8 及び撮影系 6 によって取得された画像を処理することができる。

20

【0119】

データ処理部 120 は、1 以上のプロセッサ、1 以上の主記憶装置、1 以上の補助記憶装置などを含む。補助記憶装置には、データ処理プログラム等が記憶されている。データ処理プログラム等は、スリットランプ顕微鏡 200 がアクセス可能なコンピュータや記憶装置に記憶されていてもよい。データ処理部 120 の機能は、データ処理プログラム等のソフトウェアと、プロセッサ等のハードウェアとの協働によって実現される。

【0120】

前述したように、データ処理部 120 の例示的態様であるデータ処理部 120 A は、3 次元画像構築部 121 と、レンダリング部 122 と、解析部 123 とを含む（図 5 を参照）。

30

【0121】

3 次元画像構築部 121 は、照明系 8 及び撮影系 6 を用いて取得された被検眼 E の複数の画像に基づいて 3 次元画像を構築する。本態様では、3 次元画像構築部 121 は、被検眼 E をスリット光でスキャンして収集された複数の断面画像に基づいて 3 次元画像を構築することができる。

【0122】

3 次元画像は、3 次元座標系によって画素の位置が定義された画像（画像データ）である。3 次元画像の例として、スタックデータやボリュームデータがある。スタックデータは、複数の 2 次元画像（例えば、複数の断面画像）をそれらの位置関係にしたがって単一の 3 次元座標系に埋め込むことによって構築される。ボリュームデータは、ボクセルデータとも呼ばれ、例えば、スタックデータにボクセル化処理を適用することによって構築される。

40

【0123】

3 次元画像を構築する処理の例を説明する。3 次元画像構築部 121 は、複数の画像のそれぞれから部分画像を抽出し、抽出された複数の部分画像から 3 次元画像を構築することができる。ここで、部分画像は、例えば、物面 S P に相当する画像（物面画像）、又は、物面画像の少なくとも一部を含む画像である。本例によれば、例えば、角膜前面から水

50

晶体後面にわたる明瞭な（ピントが合った、高品質の、精細な）3次元画像を構築することが可能となる。

【0124】

レンダリング部122は、3次元画像構築部121により構築された3次元画像をレンダリングすることで新たな画像（レンダリング画像）を構築する。

【0125】

レンダリングは任意の処理であってよく、例えば3次元コンピュータグラフィクスを含む。3次元コンピュータグラフィクスは、3次元座標系により定義された3次元空間内の仮想的な立体物（スタックデータ、ボリュームデータなどの3次元画像）を2次元情報に変換することにより立体感のある画像を作成する演算手法である。

10

【0126】

レンダリングの例として、ボリュームレンダリング、最大値投影（MIP）、最小値投影（MinIP）、サーフェスレンダリング、多断面再構成（MPR）、プロジェクション画像構築、シャドウグラム構築、スリットランプ顕微鏡で得られた断面画像の再現などがある。また、レンダリング部122は、このようなレンダリングとともに任意の処理を実行可能であってもよい。

【0127】

レンダリング部122は、被検眼Eの所定部位に相当する3次元画像中の領域を特定することができる。例えば、レンダリング部122は、角膜に相当する領域、角膜前面に相当する領域、角膜後面に相当する領域、水晶体に相当する領域、水晶体前面に相当する領域、水晶体後面に相当する領域、虹彩に相当する領域、隅角に相当する領域などを特定することができる。このような画像領域特定には、例えば、セグメンテーション、エッジ検出、閾値処理、フィルタリング、ラベリングなど、公知の画像処理が適用される。また、畳み込みニューラルネットワークを用いた機械学習などを利用して画像領域特定を行ってもよい。

20

【0128】

3次元画像は、典型的にはスタックデータ又はボリュームデータである。3次元画像に対する断面の指定は、手動又は自動で行われる。断面の自動指定には、例えば、前述の画像領域特定が適用される。

【0129】

一方、3次元画像の断面を手動で指定する場合、レンダリング部122は、3次元画像をレンダリングして、手動断面指定のための表示画像を構築する。表示画像は、典型的には観察対象となる部位の全体を表す画像であり、例えば、角膜前面から水晶体後面までの部位を表す。表示画像を構築するためのレンダリングは、典型的には、ボリュームレンダリング又はサーフェスレンダリングである。

30

【0130】

制御部110は、レンダリング部122により構築された表示画像を、図示しない表示デバイスに表示させる。ユーザーは、ポインティングデバイスなどの操作デバイスを用いて、表示画像に対して所望の断面を指定する。表示画像に指定された断面の位置情報がレンダリング部122に入力される。

40

【0131】

表示画像は3次元画像のレンダリング画像であるから、表示画像と3次元画像との間には自明な位置対応関係がある。この位置対応関係に基づき、レンダリング部122は、表示画像に指定された断面の位置に対応する、3次元画像における断面の位置を特定する。つまり、レンダリング部122は、3次元画像に対して断面を指定する。

【0132】

更に、レンダリング部122は、3次元画像を当該断面で切断して3次元部分画像を構築することができる。レンダリング部122は、この3次元部分画像をレンダリングして表示用の画像を構築することができる。

【0133】

50

解析部 1 2 3 は、被検眼 E の画像に解析処理を適用する。解析処理が適用される画像は、例えば、スリット光のスキャンで収集された複数の画像のうち少なくとも 1 つの画像、又は、それを処理して得られた画像であってよい。後者の例として、3次元画像構築部 1 2 1 により構築された 3次元画像、レンダリング部 1 2 2 により構築されたレンダリング画像、他の処理画像などがある。

【0134】

解析処理は、例えば、所定のパラメータに関する計測を含む。計測は、例えば、組織の形態を示すパラメータ（厚み、径、面積、体積、角度、形状など）に関する計測データを求める処理、及び、組織間の関係を示すパラメータ（距離、方向など）に関するデータを求める処理のいずれかであってよい。計測パラメータの例として、角膜前面曲率、角膜前面曲率半径、角膜後面曲率、角膜後面曲率半径、角膜径、角膜厚、角膜トポグラフィ、前房深度、隅角、水晶体前面曲率、水晶体前面曲率半径、水晶体後面曲率、水晶体後面曲率半径、水晶体厚などがある。計測データは、計測パラメータの分布データであってもよい。

10

【0135】

解析処理は、計測データの評価を更に含んでもよい。評価は、例えば、標準データ（基準データ）との比較を含む。標準データは、例えば、正常眼データ（正常眼データベース）であってもよいし、所定疾患に関する病眼データ（病眼データベース）であってもよい。評価の例として、角膜形状（曲率半径、曲率半径分布、トポグラフィ等）の評価、角膜厚（分布）の評価、前房深度の評価、隅角（分布）の評価、水晶体形状（曲率半径、曲率半径分布、トポグラフィ等）の評価、水晶体厚（分布）の評価、白内障（混濁）の評価などがある。

20

【0136】

スリットランプ顕微鏡 2 0 0 は、他の装置との間におけるデータ通信を行う通信部を含んでもよい。通信部は、他の装置へのデータの送信と、他の装置から送信されたデータの受信とを行う。通信部が実行するデータ通信の方式は任意である。例えば、通信部は、インターネットに準拠した通信インターフェイス、専用線に準拠した通信インターフェイス、LANに準拠した通信インターフェイス、近距離通信に準拠した通信インターフェイスなど、各種の通信インターフェイスのうち 1 以上を含む。データ通信は有線通信でも無線通信でもよい。通信部により送信されるデータ及び/又は受信されるデータは暗号化されていてよい。その場合、例えば、制御部 1 1 0 及び/又はデータ処理部 1 2 0 は、通信部により送信されるデータを暗号化する暗号化処理部、及び/又は、通信部 9 により受信されたデータを復号化する復号化処理部を含む。

30

【0137】

スリットランプ顕微鏡 2 0 0 は、表示デバイスや操作デバイスを備えていてよい。或いは、表示デバイスや操作デバイスは、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 の周辺機器であってもよい。表示デバイスは、制御部 1 1 0 の制御を受けて各種の情報を表示する。表示デバイスは、液晶ディスプレイ（LCD）などのフラットパネルディスプレイを含んでいてよい。操作デバイスは、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 を操作するためのデバイスや、情報を入力するためのデバイスを含む。操作デバイスは、例えば、ボタン、スイッチ、レバー、ダイヤル、ハンドル、ノブ、マウス、キーボード、トラックボール、操作パネルなどを含む。タッチスクリーンのように、表示デバイスと操作デバイスとが一体化したデバイスを用いてもよい。

40

【0138】

< 第 2 の態様 >

第 2 の態様に係るスリットランプ顕微鏡について説明する。本態様に係るスリットランプ顕微鏡 2 0 0 A の構成例を図 6 及び図 7 に示す。

【0139】

図 6 に示すように、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 A は、第 1 の態様に係るスリットランプ顕微鏡 2 0 0 と同様に、撮影系 6、照明系 8、移動機構 6 0 及びコンピュータ 1 0 0 を

50

備える。本態様に係る移動機構 60 は、第 1 偏向機構 70 として機能する。

【0140】

コンピュータ 100 は、制御部 110 と、データ処理部 120 とを含む。図 7 に示す制御部 110B 及びデータ処理部 120B は、それぞれ、本態様の制御部 110 の一例及び本態様のデータ処理部 120 の一例である。制御部 110B は、第 1 偏向制御部 111 を含む。データ処理部 120B は、画質評価部 124 と、計測部 125 と、第 1 決定部 126 とを含む。本態様のデータ処理部 120 (120B) は、3次元画像構築部 121、レンダリング部 122 及び解析部 123 のいずれかを更に含んでいてもよい。

【0141】

第 1 偏向機構 70 は、撮影系 6 の光軸 (撮影光軸 O1) の向きを変更するものである。つまり、第 1 偏向機構 70 は、撮影系 6 の向きを変更するものであり、換言すると、撮影系 6 を回動させるものである。例えば、第 1 偏向機構 70 は、前述したアライメントがなされた状態において、実質的に物面 SP と撮影光軸 O1 との交点を中心に撮影系 6 を回動させる。図 6 の符号 Spa は、実質的に物面 SP と撮影光軸 O1 との交点に位置する、撮影系 6 の仮想的な回動軸を示す。第 1 偏向機構 70 は第 1 偏向制御部 111 の制御の下に動作する。第 1 偏向機構 70 は、例えば、回転駆動力を発生するアクチュエータ、又は、直線駆動力を発生するアクチュエータとこの直線駆動力を回転駆動力に変換する機構を含む。

10

【0142】

画質評価部 124 は、撮影系 6 により取得された被検眼 E の画像を解析してその画質を評価する。画質評価パラメータは、例えば、エッジの強度 (勾配の大きさ、微分値の大きさ) であるが、他のパラメータであってもよい。画質評価部 124 は、被検眼 E の画像を解析して画質評価パラメータの値を算出し、算出されたパラメータ値を既定の閾値と比較することで画質評価を行う。

20

【0143】

第 1 偏向制御部 111 は、画質評価部 124 による評価の結果に基づいて第 1 偏向機構 70 の制御を行うことができる。例えば、画質評価部 124 によりパラメータ値が閾値未満であると判定されたとき、第 1 偏向制御部 111 は、撮影系 6 の向きを変更するために第 1 偏向機構 70 の制御を行うことができる。

【0144】

計測部 125 及び第 1 決定部 126 は、撮影系 6 の向きを現在の向きから好適な向き (目標向き) に変更するための情報を生成する。計測部 125 及び第 1 決定部 126 による情報生成と、画質評価部 124 による画質評価とを組み合わせてもよいし、これらの一方のみを行うようにしてもよい。

30

【0145】

計測部 125 は、撮影系 6 により取得された被検眼 E の画像を解析して角膜曲率半径を計測する。計測部 125 により解析される画像は、例えば、スリット光により取得された 1 又は 2 以上の断面画像であってもよいし、スリット光のスキャンに基づき構築された 3次元画像であってもよい。計測部 125 は、第 1 の態様の解析部 123 又はその一部として構成されていてもよい。

40

【0146】

例えば、計測部 125 は、撮影系 6 により取得された被検眼 E の画像を解析して角膜前面に相当する画像領域を特定する。この画像領域特定は、例えば、セグメンテーション、エッジ検出、閾値処理、フィルタリング、ラベリング、及び、畳み込みニューラルネットワークを用いた機械学習のうちのいずれかを含んでよい。

【0147】

計測部 125 は、角膜曲率半径以外のパラメータに関する計測を行ってもよい。この計測パラメータは、撮影系 6 の向きを変更するために用いることが可能な任意のパラメータであってもよい。

【0148】

50

第1決定部126は、計測部125による計測の結果に少なくとも基づいて、撮影系6（撮影光軸O1）の目標向きを決定する。この目標向きは、既定の物面SP（例えば、眼球光軸Eaxに一致された物面SP）と、光学系6aの既定の主面と、撮像素子43の撮像面（像面）とが、シャインプールの条件を満足するような、撮影系6の向き（主面の向き及び像面の向き）である。

【0149】

目標向きを決定するための演算に利用可能なパラメータは、例えば、照明系8と撮影系6との間の相対位置（例えば、撮影角度など）、被検眼Eに対する照明系8の相対位置（例えば、眼球光軸Eaxに対する照明光軸O2の偏向角など）、被検眼Eに対する撮影系6の相対位置、照明系6の要素の設定（例えば、スリット幅、スリット長など）、撮影系6の要素の設定（例えば、焦点距離、絞り値など）など、スリットランプ顕微鏡200Aに関する任意のパラメータを含んでよい。また、目標向きを決定するための演算に利用可能なパラメータは、角膜曲率半径以外にも、角膜の屈折率、房水の屈折率、水晶体の屈折率、角膜厚、前房深度、水晶体前面の曲率半径、水晶体厚、水晶体後面の曲率半径など、眼に関する任意のパラメータを含んでよい。眼に関するパラメータの値は、標準的な値でもよいし、被検眼Eについての測定値でもよい。

10

【0150】

目標向きを決定するための演算は、例えば、これらパラメータのいずれかを含む既定の演算式、及び/又は、これらパラメータのいずれかに関するグラフや表に基づき実行されてよい。また、目標向きを決定するための演算は、例えば、光線追跡、機械学習などを利用した処理を含んでもよい。

20

【0151】

第1偏向制御部111は、第1決定部126により決定された目標向きに撮影系6（撮影光軸O1）の向きを変更するように、第1偏向機構70を制御することができる。

【0152】

計測部125及び第1決定部126による情報生成と、画質評価部124による画質評価とを組み合わせる場合、例えば、画質評価部124によって画質が不十分であると判定された場合に計測部125及び第1決定部126により目標向きを決定し、この目標向きに基づき撮影系6（撮影光軸O1）の向きを変更することができる。

30

【0153】

本態様に係るスリットランプ顕微鏡200Aの動作例を説明する。スリットランプ顕微鏡200Aの動作の一例を図8に示す。なお、アライメント等の準備的な処理は既に行われたものとする。

【0154】

（S1：前眼部を撮影）

まず、スリットランプ顕微鏡200Aは、被検眼Eの前眼部を撮影する。この前眼部撮影はスリット光を用いて行われ、例えば、1回以上の撮影からなる。

【0155】

（S2：画質を評価）

画質評価部124は、ステップS1で取得された前眼部の画像を解析してその画質を評価する。例えば、画質評価部124は、前眼部の画像のエッジ強度を算出し、算出されたエッジ強度を閾値と比較する。エッジ強度が閾値以上であることは画質が十分にすることに相当し、エッジ強度が閾値未満であることは画質が不十分であることに相当する。

40

【0156】

（S3：画質OK？）

ステップS2において画質が十分に判定された場合（S3：Yes）、処理はステップS7に移行する。他方、ステップS2において画質が十分にないと判定された場合（S3：No）、処理はステップS4に移行する。

【0157】

（S4：角膜曲率半径を算出）

50

ステップ S 1 で取得された前眼部画像の画質が十分でないとは判定された場合 (S 3 : N o)、計測部 1 2 5 は、被検眼 E の画像を解析して角膜曲率半径を計測する。この被検眼 E の画像は、ステップ S 1 で取得された前眼部画像であってもよいし、他の画像であってもよい。

【 0 1 5 8 】

ステップ S 1 で取得された前眼部画像以外の画像から角膜曲率半径を算出する場合に行われる処理の例を説明する。ステップ S 1 で取得された前眼部画像の画質が十分でないとは判定された場合 (S 3 : N o)、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 A は、被検眼 E の前眼部の撮影を再度行う。この前眼部撮影は、少なくとも角膜前面を撮影対象とする。計測部 1 2 5 は、この前眼部撮影で取得された画像を解析することで角膜曲率半径を求める。

10

【 0 1 5 9 】

(S 5 : 撮影光軸の目標向きを決定)

第 1 決定部 1 2 6 は、ステップ S 4 で算出された角膜曲率半径に少なくとも基づいて、撮影系 6 (撮影光軸 O 1) の目標向きを決定する。

【 0 1 6 0 】

(S 6 : 撮影系の向きを変更)

第 1 偏向制御部 1 1 1 は、ステップ S 5 で決定された目標向きに撮影系 6 (撮影光軸 O 1) の向きを一致させるように、第 1 偏向機構 7 0 の制御を行う。

【 0 1 6 1 】

(S 7 : 前眼部をスリット光でスキャン)

ステップ S 6 の撮影系 6 の偏向が完了したことに対応し、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 A は、被検眼 E の前眼部に対してスリット光によるスキャンを適用する。これにより、例えば、角膜前面から水晶体後面にわたる明瞭な画像群が得られる。

20

【 0 1 6 2 】

データ処理部 1 2 0 B (3 次元画像構築部 1 2 1) は、この画像群に基づき 3 次元画像を構築することができる。これにより、例えば、角膜前面から水晶体後面にわたる 3 次元領域を高精細に表現した 3 次元画像が得られる。

【 0 1 6 3 】

データ処理部 1 2 0 B (レンダリング部 1 2 2) は、この 3 次元画像から任意のレンダリング画像を構築することができる。これにより、ユーザは、被検眼 E の所望の部位の高品質な画像を観察することが可能である。

30

【 0 1 6 4 】

データ処理部 1 2 0 B (解析部 1 2 3) は、ステップ S 7 で取得された複数の画像の少なくとも 1 つ又はそれを処理して得られた画像に所定の解析処理を適用することができる。これにより、被検眼 E に関する任意の解析データを求めることが可能である。

【 0 1 6 5 】

本例では、撮影系 6 の偏向 (S 6) の完了が、スリット光によるスキャン (S 7) のトリガーとなっているが、スリット光によるスキャンのトリガーはこれに限定されない。例えば、ユーザの指示に対応してスリット光によるスキャンを開始するようにしてもよい。また、撮影系 6 の偏向 (S 6) が完了したことに対応してステップ S 1 に戻り、前眼部の撮影、画質の評価、角膜曲率半径の測定、目標向きの決定、撮影系 6 の向きの変更などを再度実行するようにしてもよい。

40

【 0 1 6 6 】

< 第 3 の態様 >

第 3 の態様に係るスリットランプ顕微鏡について説明する。本態様に係るスリットランプ顕微鏡 2 0 0 B の構成例を図 9 及び図 1 0 に示す。

【 0 1 6 7 】

図 9 に示すように、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 B は、第 2 の態様に係るスリットランプ顕微鏡 2 0 0 A と同様に、撮影系 6 と、照明系 8 と、第 1 偏向機構 7 0 として機能する移動機構 6 0 と、コンピュータ 1 0 0 とを備える。

50

【0168】

コンピュータ100は、制御部110と、データ処理部120と、データ受付部130とを含む。図10に示す制御部110B及びデータ処理部120Cは、それぞれ、本態様の制御部110の一例及び本態様のデータ処理部120の一例である。制御部110Bは、第2の態様と同様の第1偏向制御部111を含む。データ処理部120Cは、第2の態様と同様の画質評価部124に加え、第2決定部127を含む。本態様のデータ処理部120(120C)は、3次元画像構築部121、レンダリング部122、解析部123、計測部125、及び第1決定部126のいずれかを更に含んでもよい。これら任意的な要素については、第1の態様及び/又は第2の態様に記載された事項を適用することができる。

10

【0169】

第2の態様と同様に、第1偏向制御部111は、画質評価部124による評価の結果に基づいて第1偏向機構70の制御を行うことができる。

【0170】

データ受付部130は、予め取得された被検眼Eの角膜曲率半径の測定データを受け付ける。一の態様に係るデータ受付部130は、例えば、前述した通信部の少なくとも一部を含んでもよい。この場合、データ受付部130は、例えば電子カルテシステム等のファイリングシステムから被検眼Eの角膜曲率半径の測定データを受信する。他の態様に係るデータ受付部130は、記録媒体に記録されたデータを取得する装置(ドライブ装置、データリーダー、データスキャナなど)を含む。この場合、データ受付部130(ドライブ装置など)は、例えば、コンピュータ可読な非一時的記録媒体(磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、半導体メモリなど)に記録された被検眼Eの角膜曲率半径の測定データを読み出す。或いは、データ受付部130(データスキャナなど)は、紙葉類に印刷された被検眼Eの角膜曲率半径の測定データを読み取る。

20

【0171】

第2決定部127は、データ受付部130により取得された被検眼Eの角膜曲率半径の測定データに少なくとも基づいて、撮影系6(撮影光軸O1)の目標向きを決定する。目標向き及びその決定方法(演算方法など)は、第2の態様に係る第1決定部126に関するそれと同様であってよい。

【0172】

第2決定部127による情報生成と、画質評価部124による画質評価とを組み合わせる場合、例えば、画質評価部124によって画質が不十分であると判定された場合に第2決定部127により目標向きを決定し、この目標向きに基づき撮影系6の向きを変更することができる。

30

【0173】

本態様に係るスリットランプ顕微鏡200Bの動作例を説明する。スリットランプ顕微鏡200Bの動作の一例を図11に示す。なお、アライメント等の準備的な処理は既に行われたものとする。

【0174】

(S11:前眼部を撮影)

まず、例えば第2の態様のステップS1と同じ要領で、スリットランプ顕微鏡200Bは、被検眼Eの前眼部を撮影する。

40

【0175】

(S12:画質を評価)

例えば第2の態様のステップS2と同じ要領で、画質評価部124は、ステップS11において取得された前眼部の画像を解析してその画質を評価する。

【0176】

(S13:画質OK?)

ステップS12において画質が十分であると判定された場合(S13:Yes)、処理はステップS17に移行する。他方、ステップS12において画質が十分でない判定さ

50

れた場合 (S 1 3 : N o)、処理はステップ S 1 4 に移行する。

【 0 1 7 7 】

(S 1 4 : 角膜曲率半径の測定データを取得)

ステップ S 1 1 で取得された前眼部画像の画質が十分でないとは判定された場合 (S 1 3 : N o)、データ受付部 1 3 0 は、予め取得された被検眼 E の角膜曲率半径の測定データを受け付ける。

【 0 1 7 8 】

(S 1 5 : 撮影光軸の目標向きを決定)

第 2 決定部 1 2 7 は、ステップ S 1 4 で取得された角膜曲率半径の測定データに少なくとも基づいて、撮影系 6 (撮影光軸 O 1) の目標向きを決定する。この演算は、例えば第 2 の態様のステップ S 5 と同じ要領で実行される。

【 0 1 7 9 】

(S 1 6 : 撮影系の向きを変更)

例えば第 2 の態様のステップ S 6 と同じ要領で、第 1 偏向制御部 1 1 1 は、ステップ S 1 5 で決定された目標向きに撮影系 6 (撮影光軸 O 1) の向きを一致させるように、第 1 偏向機構 7 0 の制御を行う。

【 0 1 8 0 】

(S 1 7 : 前眼部をスリット光でスキャン)

ステップ S 1 6 の撮影系 6 の偏向が完了したことに対応し、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 B は、例えば第 2 の態様のステップ S 7 と同じ要領で、被検眼 E の前眼部に対してスリット光によるスキャンを適用する。これにより、例えば、角膜前面から水晶体後面にわたる明瞭な画像群が得られる。

【 0 1 8 1 】

データ処理部 1 2 0 C (3 次元画像構築部 1 2 1) は、この画像群に基づき 3 次元画像を構築することができる。これにより、例えば、角膜前面から水晶体後面にわたる 3 次元領域を高精細に表現した 3 次元画像が得られる。

【 0 1 8 2 】

データ処理部 1 2 0 C (レンダリング部 1 2 2) は、この 3 次元画像から任意のレンダリング画像を構築することができる。これにより、ユーザは、被検眼 E の所望の部位の高品質な画像を観察することが可能である。

【 0 1 8 3 】

データ処理部 1 2 0 C (解析部 1 2 3) は、ステップ S 1 7 で取得された複数の画像の少なくとも 1 つ又はそれを処理して得られた画像に所定の解析処理を適用することができる。これにより、被検眼 E に関する任意の解析データを求めることが可能である。

【 0 1 8 4 】

例えば、ステップ S 1 7 で取得された被検眼 E の画像の画質が不十分である場合などにおいて、データ処理部 1 2 0 C (計測部 1 2 5) は、ステップ S 1 7 で取得された複数の画像の少なくとも 1 つ若しくはそれを処理して得られた画像を解析することで、又は、ステップ S 1 7 の後に行われた新たな撮影で取得された画像若しくはそれを処理して得られた画像を解析することで、被検眼 E の角膜曲率半径の計測を行うことができる。これにより取得された角膜曲率半径の計測データに少なくとも基づいて、データ処理部 1 2 0 C (第 1 決定部 1 2 6) は、撮影系 6 (撮影光軸 O 1) の新たな目標向きを決定することができる。更に、第 1 偏向制御部 1 1 1 は、撮影系 6 (撮影光軸 O 1) の向きをこの新たな目標向きに変更するように第 1 偏向機構 7 0 の制御を行うことができる。この一連の処理は、例えば、過去に取得された角膜曲率半径の測定データと現在の角膜曲率半径との間に実質的な相違が存在する場合などに有効である。

【 0 1 8 5 】

本例では、撮影系 6 の偏向 (S 1 6) の完了が、スリット光によるスキャン (S 1 7) のトリガーとなっているが、スリット光によるスキャンのトリガーはこれに限定されない。例えば、ユーザの指示に対応してスリット光によるスキャンを開始するようにしてもよ

10

20

30

40

50

い。また、撮影系 6 の偏向 (S 1 6) が完了したことに対応してステップ S 1 1 に戻るようにしてもよい。このとき、前眼部の撮影、画質の評価、撮影系 6 の向きの変更などを再度実行するようにしてもよい。或いは、第 2 の態様と同様に、前眼部の撮影、画質の評価、角膜曲率半径の測定、目標向きの決定、撮影系 6 の向きの変更などを実行するようにしてもよい。

【 0 1 8 6 】

< 第 4 の態様 >

第 4 の態様に係るスリットランプ顕微鏡について説明する。本態様に係るスリットランプ顕微鏡 2 0 0 C の構成例を図 1 2 及び図 1 3 に示す。

【 0 1 8 7 】

図 1 2 に示すように、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 C は、第 1 の態様に係るスリットランプ顕微鏡 2 0 0 と同様に、撮影系 6、照明系 8 及びコンピュータ 1 0 0 を備える。更に、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 C は、第 2 偏向機構 6 1 を含む移動機構 6 0 A を更に備える。

【 0 1 8 8 】

コンピュータ 1 0 0 は、制御部 1 1 0 と、データ処理部 1 2 0 とを含む。図 1 3 に示す制御部 1 1 0 C 及びデータ処理部 1 2 0 D は、それぞれ、本態様の制御部 1 1 0 の一例及び本態様のデータ処理部 1 2 0 の一例である。制御部 1 1 0 C は、第 2 偏向制御部 1 1 2 を含む。データ処理部 1 2 0 D は、画質評価部 1 2 4 と、計測部 1 2 5 と、第 3 決定部 1 2 8 とを含む。本態様のデータ処理部 1 2 0 (1 2 0 D) は、3 次元画像構築部 1 2 1、レンダリング部 1 2 2、解析部 1 2 3、第 1 決定部 1 2 6、及び第 2 決定部 1 2 7 のいずれかを更に含んでいてもよい。また、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 C は、第 1 偏向機構 7 0 を含んでいてよく、更に第 1 偏向制御部 1 1 1 を含んでいてもよい。

【 0 1 8 9 】

第 2 偏向機構 6 1 は、照明系 8 の光軸 (照明光軸 O 2) の向きを変更するものである。つまり、第 2 偏向機構 6 1 は、照明系 8 の向きを変更するものであり、換言すると、照明系 8 を回動させるものである。例えば、第 2 偏向機構 6 1 は、前述したアライメントがなされた状態において、被検眼 E の角膜と照明光軸 O 2 との交点を中心に照明光軸 O 2 を回動させる (図 1 2 を参照)。第 2 偏向機構 6 1 は第 2 偏向制御部 1 1 2 の制御の下に動作する。第 2 偏向機構 6 1 は、例えば、回転駆動力を発生するアクチュエータ、又は、直線駆動力を発生するアクチュエータとこの直線駆動力を回転駆動力に変換する機構を含む。

【 0 1 9 0 】

本態様では、第 2 偏向機構 6 1 は移動機構 6 0 A に含まれている。移動機構 6 0 A は、第 1 の態様の移動機構 6 0 と同様の要素であり、少なくとも照明光軸 O 2 を回動させる機構 (第 2 偏向機構 6 1) を含む。

【 0 1 9 1 】

第 2 の態様と同様に、画質評価部 1 2 4 は、撮影系 6 により取得された被検眼 E の画像を解析してその画質を評価する。第 2 偏向制御部 1 1 2 は、画質評価部 1 2 4 による評価の結果に基づいて第 2 偏向機構 6 1 の制御を行うことができる。例えば、画質評価部 1 2 4 によりパラメータ値が閾値未満であると判定されたとき、第 2 偏向制御部 1 1 2 は、照明光軸 O 2 の向きを変更するために第 2 偏向機構 6 1 の制御を行うことができる。

【 0 1 9 2 】

計測部 1 2 5 及び第 3 決定部 1 2 8 は、照明光軸 O 2 の向きを現在の向きから好適な向き (目標向き) に変更するための情報を生成する。計測部 1 2 5 及び第 3 決定部 1 2 8 による情報生成と、画質評価部 1 2 4 による画質評価とを組み合わせてもよいし、これらの一方のみを行うようにしてもよい。

【 0 1 9 3 】

第 2 の態様と同様に、計測部 1 2 5 は、撮影系 6 により取得された被検眼 E の画像を解析して角膜曲率半径を計測する。計測部 1 2 5 は、角膜曲率半径以外のパラメータに関する計測を行ってもよい。この計測パラメータは、照明光軸 O 2 の向きを変更するために用

10

20

30

40

50

いることが可能な任意のパラメータであってよい。

【0194】

第3決定部128は、計測部125による計測の結果に少なくとも基づいて、照明光軸O2の目標向きを決定する。この目標向きは、物面SPと、光学系6aの既定の主面と、撮像素子43の撮像面（既定の像面）とが、シャインブルーの条件を満足するような、照明光軸O2の向き（物面SPの向き）である。

【0195】

目標向きを決定するための演算に利用可能なパラメータは、例えば、照明系8と撮影系6との間の相対位置（例えば、撮影角度など）、被検眼Eに対する照明系8の相対位置（例えば、眼球光軸Eaxに対する照明光軸O2の偏向角など）、被検眼Eに対する撮影系6の相対位置、照明系6の要素の設定（例えば、スリット幅、スリット長など）、撮影系6の要素の設定（例えば、焦点距離、絞り値など）など、スリットランプ顕微鏡200Cに関する任意のパラメータを含んでいてよい。また、目標向きを決定するための演算に利用可能なパラメータは、角膜曲率半径以外にも、角膜の屈折率、房水の屈折率、水晶体の屈折率、角膜厚、前房深度、水晶体前面の曲率半径、水晶体厚、水晶体後面の曲率半径など、眼に関する任意のパラメータを含んでいてよい。眼に関するパラメータの値は、標準的な値でもよいし、被検眼Eについての測定値でもよい。

10

【0196】

目標向きを決定するための演算は、例えば、これらパラメータのいずれかを含む既定の演算式、及び/又は、これらパラメータのいずれかに関するグラフや表に基づき実行されてよい。また、目標向きを決定するための演算は、例えば、光線追跡、機械学習などを利用した処理を含んでもよい。

20

【0197】

第2偏向制御部112は、第3決定部128により決定された目標向きに照明光軸O2の向きを変更するように、第2偏向機構61を制御することができる（図12に示す、照明光軸O2の角度の回転）。これにより、光学系6aの主面と撮像素子43の撮像面（像面）との関係においてシャインブルーの条件を満足するような物面SPを実現することができる。

【0198】

計測部125及び第3決定部128による情報生成と、画質評価部124による画質評価とを組み合わせる場合、例えば、画質評価部124によって画質が不十分であると判定された場合に計測部125及び第3決定部128により目標向きを決定し、この目標向きに基づき照明光軸O2の向きを変更することができる。

30

【0199】

本態様に係るスリットランプ顕微鏡200Cの動作例を説明する。スリットランプ顕微鏡200Cの動作の一例を図14に示す。なお、アライメント等の準備的な処理は既に行われたものとする。

【0200】

（S21：前眼部を撮影）

まず、例えば第2の態様のステップS1と同じ要領で、スリットランプ顕微鏡200Cは、被検眼Eの前眼部を撮影する。

40

【0201】

（S22：画質を評価）

画質評価部124は、例えば第2の態様のステップS2と同じ要領で、ステップS21で取得された前眼部の画像を解析してその画質を評価する。

【0202】

（S23：画質OK？）

ステップS22において画質が十分であると判定された場合（S23：Yes）、処理はステップS27に移行する。他方、ステップS22において画質が十分でないとして判定された場合（S23：No）、処理はステップS24に移行する。

50

【0203】

(S24：角膜曲率半径を算出)

ステップS21で取得された前眼部画像の画質が十分でないとは判定された場合(S23：No)、計測部125は、例えば第2の態様のステップS4と同じ要領で、被検眼Eの画像を解析して角膜曲率半径を計測する。

【0204】

(S25：照明光軸の目標向きを決定)

第3決定部128は、ステップS24で算出された角膜曲率半径に少なくとも基づいて、照明光軸O2の目標向きを決定する。

【0205】

(S26：照明系の向きを変更)

第2偏向制御部112は、ステップS25で決定された目標向きに照明光軸O2の向きを一致させるように、第2偏向機構61の制御して照明系8の向きを変更する。

【0206】

(S27：前眼部をスリット光でスキャン)

ステップS26の照明系8の偏向が完了したことに対応し、スリットランプ顕微鏡200Cは、被検眼Eの前眼部に対してスリット光によるスキャンを適用する。これにより、例えば、角膜前面から水晶体後面にわたる明瞭な画像群が得られる。

【0207】

データ処理部120D(3次元画像構築部121)は、この画像群に基づき3次元画像を構築することができる。これにより、例えば、角膜前面から水晶体後面にわたる3次元領域を高精細に表現した3次元画像が得られる。

【0208】

データ処理部120D(レンダリング部122)は、この3次元画像から任意のレンダリング画像を構築することができる。これにより、ユーザは、被検眼Eの所望の部位の高品質な画像を観察することが可能である。

【0209】

データ処理部120D(解析部123)は、ステップS27で取得された複数の画像の少なくとも1つ又はそれを処理して得られた画像に所定の解析処理を適用することができる。これにより、被検眼Eに関する任意の解析データを求めることが可能である。

【0210】

本例では、照明系8の偏向(S26)の完了が、スリット光によるスキャン(S27)のトリガーとなっているが、スリット光によるスキャンのトリガーはこれに限定されない。例えば、ユーザの指示に対応してスリット光によるスキャンを開始するようにしてもよい。また、照明系8の偏向(S26)が完了したことに対応してステップS21に戻り、前眼部の撮影、画質の評価、角膜曲率半径の測定、目標向きの決定、照明系8の向きの変更などを再度実行するようにしてもよい。

【0211】

<第5の態様>

第5の態様に係るスリットランプ顕微鏡について説明する。本態様に係るスリットランプ顕微鏡200Dの構成例を図15及び図16に示す。

【0212】

図15に示すように、スリットランプ顕微鏡200Dは、第4の態様に係るスリットランプ顕微鏡200Cと同様に、撮影系6と、照明系8と、第2偏向機構61を含む移動機構60Aと、コンピュータ100とを備える。

【0213】

コンピュータ100は、制御部110と、データ処理部120と、データ受付部130とを含む。図16に示す制御部110C及びデータ処理部120Eは、それぞれ、本態様の制御部110の一例及び本態様のデータ処理部120の一例である。制御部110Cは、第4の態様と同様の第2偏向制御部112を含む。データ処理部120Eは、第2の態

10

20

30

40

50

様と同様の画質評価部 1 2 4 に加え、第 4 決定部 1 2 9 を含む。本態様のデータ処理部 1 2 0 (1 2 0 E) は、3 次元画像構築部 1 2 1、レンダリング部 1 2 2、解析部 1 2 3、計測部 1 2 5、第 1 決定部 1 2 6、第 2 決定部 1 2 7、及び第 3 決定部 1 2 8 のいずれかを更に含んでいてもよい。また、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 D は、第 1 偏向機構 7 0 を含んでいてよく、更に第 1 偏向制御部 1 1 1 を含んでいてもよい。データ受付部 1 3 0 は、第 3 の態様と同様に、予め取得された被検眼 E の角膜曲率半径の測定データを受け付ける。

【 0 2 1 4 】

第 4 決定部 1 2 9 は、データ受付部 1 3 0 により取得された被検眼 E の角膜曲率半径の測定データに少なくとも基づいて、照明光軸 O 2 の目標向きを決定する。目標向き及びその決定方法（演算方法など）は、第 4 の態様に係る第 3 決定部 1 2 8 に関するそれと同様であってよい。

10

【 0 2 1 5 】

第 4 決定部 1 2 9 による情報生成と、画質評価部 1 2 4 による画質評価とを組み合わせる場合、例えば、画質評価部 1 2 4 によって画質が不十分であると判定された場合に第 4 決定部 1 2 9 により目標向きを決定し、この目標向きに基づき照明系 8 の向きを変更することができる。

【 0 2 1 6 】

本態様に係るスリットランプ顕微鏡 2 0 0 D の動作例を説明する。スリットランプ顕微鏡 2 0 0 D の動作の一例を図 1 7 に示す。なお、アライメント等の準備的な処理は既に行われたものとする。

20

【 0 2 1 7 】

(S 3 1 : 前眼部を撮影)

まず、例えば第 2 の態様のステップ S 1 と同じ要領で、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 D は、被検眼 E の前眼部を撮影する。

【 0 2 1 8 】

(S 3 2 : 画質を評価)

例えば第 2 の態様のステップ S 2 と同じ要領で、画質評価部 1 2 4 は、ステップ S 3 1 において取得された前眼部の画像を解析してその画質を評価する。

30

【 0 2 1 9 】

(S 3 3 : 画質 O K ?)

ステップ S 3 2 において画質が十分であると判定された場合 (S 3 3 : Y e s)、処理はステップ S 3 7 に移行する。他方、ステップ S 3 2 において画質が十分でない判定された場合 (S 3 3 : N o)、処理はステップ S 3 4 に移行する。

【 0 2 2 0 】

(S 3 4 : 角膜曲率半径の測定データを取得)

ステップ S 3 1 で取得された前眼部画像の画質が十分でない判定された場合 (S 3 3 : N o)、データ受付部 1 3 0 は、予め取得された被検眼 E の角膜曲率半径の測定データを受け付ける。

40

【 0 2 2 1 】

(S 3 5 : 照明光軸の目標向きを決定)

第 4 決定部 1 2 9 は、ステップ S 3 4 で取得された角膜曲率半径の測定データに少なくとも基づいて、照明光軸 O 2 の目標向きを決定する。この演算は、例えば第 4 の態様のステップ S 2 5 と同じ要領で実行される。

【 0 2 2 2 】

(S 3 6 : 照明系の向きを変更)

例えば第 4 の態様のステップ S 2 6 と同じ要領で、第 2 偏向制御部 1 1 2 は、ステップ S 3 5 で決定された目標向きに照明光軸 O 2 の向きを一致させるように、第 2 偏向機構 6 1 の制御して照明系 8 の向きを変更する。

50

【 0 2 2 3 】

(S 3 7 : 前眼部をスリット光でスキャン)

ステップ S 3 6 の照明系 8 の偏向が完了したことに対応し、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 D は、例えば第 2 の態様のステップ S 7 と同じ要領で、被検眼 E の前眼部に対してスリット光によるスキャンを適用する。これにより、例えば、角膜前面から水晶体後面にわたる明瞭な画像群が得られる。

【 0 2 2 4 】

データ処理部 1 2 0 E (3 次元画像構築部 1 2 1) は、この画像群に基づき 3 次元画像を構築することができる。これにより、例えば、角膜前面から水晶体後面にわたる 3 次元領域を高精細に表現した 3 次元画像が得られる。

【 0 2 2 5 】

データ処理部 1 2 0 E (レンダリング部 1 2 2) は、この 3 次元画像から任意のレンダリング画像を構築することができる。これにより、ユーザは、被検眼 E の所望の部位の高品質な画像を観察することが可能である。

【 0 2 2 6 】

データ処理部 1 2 0 E (解析部 1 2 3) は、ステップ S 3 7 で取得された複数の画像の少なくとも 1 つ又はそれを処理して得られた画像に所定の解析処理を適用することができる。これにより、被検眼 E に関する任意の解析データを求めることが可能である。

【 0 2 2 7 】

例えば、ステップ S 3 7 で取得された被検眼 E の画像の画質が不十分である場合などにおいて、データ処理部 1 2 0 E (計測部 1 2 5) は、ステップ S 3 7 で取得された複数の画像の少なくとも 1 つ若しくはそれを処理して得られた画像を解析することで、又は、ステップ S 3 7 の後に行われた新たな撮影で取得された画像若しくはそれを処理して得られた画像を解析することで、被検眼 E の角膜曲率半径の計測を行うことができる。これにより取得された角膜曲率半径の計測データに少なくとも基づいて、データ処理部 1 2 0 E (第 3 決定部 1 2 8) は、照明光軸 O 2 の新たな目標向きを決定することができる。更に、第 2 偏向制御部 1 1 2 は、照明光軸 O 2 の向きをこの新たな目標向きに変更するように第 2 偏向機構 6 1 の制御をして照明系 8 を偏向することができる。この一連の処理は、例えば、過去に取得された角膜曲率半径の測定データと現在の角膜曲率半径との間に実質的な相違が存在する場合などに有効である。

【 0 2 2 8 】

本例では、照明系 8 の偏向 (S 3 6) の完了が、スリット光によるスキャン (S 3 7) のトリガーとなっているが、スリット光によるスキャンのトリガーはこれに限定されない。例えば、ユーザの指示に対応してスリット光によるスキャンを開始するようにしてもよい。また、照明系 8 の偏向 (S 3 6) が完了したことに対応してステップ S 3 1 に戻るようにしてもよい。このとき、前眼部の撮影、画質の評価、照明系 8 の向きの変更などを再度実行するようにしてもよい。或いは、第 4 の態様と同様に、前眼部の撮影、画質の評価、角膜曲率半径の測定、目標向き決定、照明系 8 の向きの変更などを実行するようにしてもよい。

【 0 2 2 9 】

< 効果 >

実施形態に係るスリットランプ顕微鏡の効果について説明する。

【 0 2 3 0 】

幾つかの態様に係るスリットランプ顕微鏡は、照明系と、撮影系とを含む。照明系は、被検眼の前眼部にスリット光を投射する。撮影系は、スリット光が投射されている前眼部からの光を導く光学系と、光学系により導かれた光を撮像面で受光する撮像素子とを含む。更に、前眼部の組織の屈折率により変位した照明系の焦点を含む物面と、光学系の主面と、撮像面とが、シャインブルーの条件を満足するように配置されている。

【 0 2 3 1 】

例えば、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 は、照明系 8 と、撮影系 6 とを含む。照明系 8 は、被検眼 E の前眼部にスリット光を投射する。撮影系 6 は、スリット光が投射されている

10

20

30

40

50

前眼部からの光を導く光学系 6 a と、光学系 6 a により導かれた光を撮像面で受光する撮像素子 4 3 とを含む。更に、前眼部の組織の屈折率により変位した照明系 8 の焦点を含む物面 S P と、光学系 6 a の主面と、撮像素子 4 3 の撮像面とが、シャインプルーフの条件を満足するように配置されている。

【 0 2 3 2 】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、前眼部の組織の屈折率による照明系の焦点の変位を考慮した上で、物面と光学系的主面と撮像面とがシャインプルーフの条件を満足するように構成されているので、物面に相当する被検眼の領域についてピントの合った画像を取得することができる。

【 0 2 3 3 】

なお、幾つかの態様において、前眼部の組織の屈折率による物面の偏向角は、3 ~ 13 度の範囲に含まれていてよく、更に 6 ~ 10 度の範囲に含まれていてもよい。また、幾つかの態様において、前眼部の組織の屈折率による物面の偏向角は、所定の模型眼における角膜曲率半径の値及び眼の屈折率の値に少なくとも基づいて決定されてよい。

【 0 2 3 4 】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、照明系及び撮影系を移動する移動機構を更に含んでいてよい。更に、撮影系は、移動機構による照明系及び撮影系の移動と並行して繰り返し撮影を行うことにより前眼部の複数の画像を取得するように構成されていてよい。

【 0 2 3 5 】

例えば、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 は、照明系 8 及び撮影系 6 を移動する移動機構 6 0 を含む。撮影系 6 は、移動機構 6 0 による照明系 8 及び撮影系 6 の移動と並行して繰り返し撮影を行うことにより前眼部の複数の画像を取得することができる。照明系 8 及び撮影系 6 の移動と繰り返し撮影を並行して実行する態様は任意である。一例において、照明系 8 及び撮影系 6 の連続的移動と並行して繰り返し撮影を行うことができる。他の例において、照明系 8 及び撮影系 6 の移動と撮影とを交互に行うことができる。

【 0 2 3 6 】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、物面の移動と並行して繰り返し撮影を行うことができるので、物面の移動範囲に相当する被検眼の領域についてピントの合った画像を取得することが可能である。

【 0 2 3 7 】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、照明系及び撮影系の移動と並行した繰り返し撮影により取得された前眼部の複数の画像に基づいて 3 次元画像を構築する 3 次元画像構築部を更に含んでいてよい。

【 0 2 3 8 】

例えば、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 は、3 次元画像構築部 1 2 1 により、照明系 8 及び撮影系 6 の移動と並行した繰り返し撮影により取得された前眼部の複数の画像に基づき 3 次元画像を構築することができる。

【 0 2 3 9 】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、物面の移動範囲に相当する被検眼の 3 次元領域についてピントの合った 3 次元画像を取得することが可能である。

【 0 2 4 0 】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、3 次元画像構築部により構築された 3 次元画像をレンダリングしてレンダリング画像を構築するレンダリング部を更に含んでいてよい。

【 0 2 4 1 】

例えば、スリットランプ顕微鏡 2 0 0 は、レンダリング部 1 2 2 により、3 次元画像構築部 1 2 1 により構築された 3 次元画像をレンダリングしてレンダリング画像を構築することができる。

【 0 2 4 2 】

10

20

30

40

50

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の3次元領域についてピントの合った3次元画像から所望のレンダリング画像を構築し観察することが可能である。

【0243】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、照明系及び撮影系の移動と並行した繰り返し撮影により取得された前眼部の複数の画像の少なくとも1つ又はそれを処理して得られた画像(3次元画像、レンダリング画像、他の処理画像など)に所定の解析処理を適用する解析部を含んでいてよい。

【0244】

例えば、スリットランプ顕微鏡200は、解析部123により、照明系及び撮影系の移動と並行した繰り返し撮影により取得された前眼部の複数の画像の少なくとも1つ又はそれを処理して得られた画像に所定の解析処理を適用することができる。

10

【0245】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、物面にピントが合った高品質の画像を解析することができるので、高確度、高精度の解析データを取得することが可能である。

【0246】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、撮影系の光軸の向きを変更する第1偏向機構を更に備えていてよい。

【0247】

例えば、スリットランプ顕微鏡200A(又は200B)は、撮影系6の光軸(撮影光軸)O1の向きを変更する第1偏向機構70を備えている。

20

【0248】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の組織形状や特性の個人差に応じて、物面と光学系の主面と撮像素子の撮像面とがシャインプルーフの条件を満足するように撮影系6の光軸の向きを調整することが可能である。

【0249】

幾つかの態様において、第1偏向機構は、実質的に物面と撮影系の光軸との交点を中心に撮影系を回動させるように構成されていてよい。

【0250】

例えば、スリットランプ顕微鏡200A(又は200B)の第1偏向機構70は、実質的に物面SPと撮影系6の光軸(撮影光軸)O1との交点に位置する仮想的な回動軸SPaを中心に撮影系6を回動させるように構成されている。

30

【0251】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の角膜に対する照明系の位置を変化させることなく、シャインプルーフの条件を満足させるための撮影系の向きの調整を行うことが可能である。

【0252】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、撮影系により取得された被検眼の画像を解析して画質を評価する画質評価部と、画質評価部による評価の結果に少なくとも基づいて第1偏向機構の制御を行う第1偏向制御部とを更に含んでいてよい。

【0253】

例えば、スリットランプ顕微鏡200A(又は200B)は、撮影系6により取得された被検眼Eの画像を解析して画質を評価する画質評価部124と、画質評価部124による評価の結果に少なくとも基づいて第1偏向機構70の制御を行う第1偏向制御部111とを更に備えている。

40

【0254】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、シャインプルーフの条件を満足させるための撮影系の向きの調整を、実際に取得された画像の画質に応じて行うことができる。例えば、シャインプルーフの条件が満足されていない状態では低品質の画像が得られる。このような場合、本態様によれば、撮影系の向きの調整を自動で実施することが可能である。

【0255】

50

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、撮影系により取得された被検眼の画像を解析して角膜曲率半径を計測する計測部と、計測部による計測の結果に少なくとも基づいて撮影系の光軸の目標向きを決定する第1決定部とを更に含んでいてよい。更に、本態様のスリットランプ顕微鏡は、第1偏向機構により、撮影系の向きをこの目標向きに変更するように構成されていてよい。

【0256】

例えば、スリットランプ顕微鏡200Aは、撮影系6により取得された被検眼Eの画像を解析して角膜曲率半径を計測する計測部125と、計測部125による計測の結果に少なくとも基づいて撮影系6の光軸（撮影光軸）O1の目標向きを決定する第1決定部126とを更に備えている。スリットランプ顕微鏡200Aは、第1偏向機構70により、撮影系6の向きを第1決定部126により決定された目標向きに変更することができる。

10

【0257】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の角膜曲率半径を実際に計測し、得られたデータから撮影系の光軸の目標向きを決定し、シャインプルーフの条件を満足させるための撮影系の向きの調整を行うことができる。これにより、撮影系の向きの調整を高確度、高精度で行うことが可能となる。

【0258】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、予め取得された被検眼の角膜曲率半径の測定データを受け付けるデータ受付部と、この測定データに少なくとも基づいて撮影系の光軸の目標向きを決定する第2決定部とを更に備えていてよい。更に、本態様のスリットランプ顕微鏡は、第1偏向機構によって撮影系の光軸の向きをこの目標向きに変更するように構成されていてよい。

20

【0259】

例えば、スリットランプ顕微鏡200Bは、予め取得された被検眼Eの角膜曲率半径の測定データを受け付けるデータ受付部130と、この測定データに少なくとも基づいて撮影系6の光軸（撮影光軸）O1の目標向きを決定する第2決定部127とを更に備えている。スリットランプ顕微鏡200Bは、第1偏向機構70により、撮影系6の光軸（撮影光軸）O1の向きを第2決定部127により決定された目標向きに変更することができる。

【0260】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の角膜曲率半径の実際の測定データから撮影系の光軸の目標向きを決定し、シャインプルーフの条件を満足させるための撮影系の向きの調整を行うことができる。これにより、撮影系の向きの調整を高確度、高精度で行うことが可能となる。

30

【0261】

幾つかの態様において、撮影系は、撮影系の光軸の向きを第1偏向機構が変更したことに対応して前眼部の撮影を開始するように構成されていてよい。

【0262】

例えば、スリットランプ顕微鏡200A（又は200B）は、撮影系6の光軸（撮影光軸）O1の向きを第1偏向機構70が変更したことに対応して照明系8及び撮影系6による前眼部の撮影を開始することができる。

40

【0263】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、撮影系の向きが調整された後に自動で前眼部撮影を行うことができるので、シャインプルーフの条件が満足されていない状態で前眼部撮影が実施される事態の回避を図ることが可能となる。

【0264】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、照明系の光軸の向きを変更する第2偏向機構を更に備えていてよい。

【0265】

例えば、スリットランプ顕微鏡200C（又は200D）は、照明系8の光軸（照明光

50

軸) O 2 の向きを変更する第 2 偏向機構 6 1 を更に備えている。

【0266】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の組織形状や特性の個人差に応じて、物面と光学系の主面と撮像素子の撮像面とがシャインプルーフの条件を満足するように照明系の向きを調整することが可能である。

【0267】

幾つかの態様において、第 2 偏向機構は、被検眼の角膜と照明光軸との交点を中心に照明光軸を回動させるように構成されてよい。

【0268】

例えば、スリットランプ顕微鏡 200C (又は 200D) の第 2 偏向機構 6 1 は、被検眼 E の角膜と照明光軸 O 2 との交点を中心に照明光軸 O 2 (照明系 8) を回動させるように構成されている。

10

【0269】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の角膜に対する撮影系の位置を変化させることなく、シャインプルーフの条件を満足させるための照明系の向きの調整を行うことが可能である。

【0270】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、撮影系により取得された被検眼の画像を解析して画質を評価する画質評価部と、画質評価部による評価の結果に少なくとも基づいて第 2 偏向機構の制御を行う第 2 偏向制御部とを更に含んでよい。

20

【0271】

例えば、スリットランプ顕微鏡 200C (又は 200D) は、撮影系 6 により取得された被検眼 E の画像を解析して画質を評価する画質評価部 124 と、画質評価部 124 による評価の結果に少なくとも基づいて第 2 偏向機構 6 1 の制御を行う第 2 偏向制御部 112 とを更に備えている。

【0272】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、シャインプルーフの条件を満足させるための照明系の向きの調整を、実際に取得された画像の画質に応じて行うことができる。例えば、シャインプルーフの条件が満足されていない状態では低品質の画像が得られる。このような場合、本態様によれば、照明系の向きの調整を自動で実施することが可能である。

30

【0273】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、撮影系により取得された被検眼の画像を解析して角膜曲率半径を計測する計測部と、計測部による計測の結果に少なくとも基づいて照明系の光軸の目標向きを決定する第 3 決定部とを更に含んでよい。更に、本態様のスリットランプ顕微鏡は、第 2 偏向機構により、照明光軸の向きをこの目標向きに変更するように構成されてよい。

【0274】

例えば、スリットランプ顕微鏡 200C は、撮影系 6 により取得された被検眼 E の画像を解析して角膜曲率半径を計測する計測部 125 と、計測部 125 による計測の結果に少なくとも基づいて照明光軸 O 2 の目標向きを決定する第 3 決定部 128 とを更に備えている。スリットランプ顕微鏡 200C は、第 2 偏向機構 6 1 により、照明光軸 O 2 の向きをこの目標向きに変更することができる。

40

【0275】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の角膜曲率半径を実際に計測し、得られたデータから照明光軸の目標向きを決定し、シャインプルーフの条件を満足させるための照明系の向きの調整を行うことができる。これにより、照明系の向きの調整を高確度、高精度で行うことが可能となる。

【0276】

幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡は、予め取得された被検眼の角膜曲率半径の測定データを受け付けるデータ受付部と、この測定データに少なくとも基づいて照明

50

光軸の目標向きを決定する第4決定部とを更に備えていてよい。更に、本態様のスリットランプ顕微鏡は、第2偏向機構によって、照明光軸の向きを目標向きに変更するように構成されていてよい。

【0277】

例えば、スリットランプ顕微鏡200Dは、予め取得された被検眼Eの角膜曲率半径の測定データを受け付けるデータ受付部130と、この測定データに少なくとも基づいて照明光軸O2の目標向きを決定する第4決定部129とを更に備えている。更に、スリットランプ顕微鏡200Dは、第2偏向機構61により、照明光軸O2の向きを目標向きに変更することができる。

【0278】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、被検眼の角膜曲率半径の実際の測定データから照明光軸の目標向きを決定し、シャインブルーフの条件を満足させるための照明系の向きの調整を行うことができる。これにより、照明系の調整を高確度、高精度で行うことが可能となる。

【0279】

幾つかの態様において、撮影系は、照明系の向きを第2偏向機構が変更したことに対応して前眼部の撮影を開始するように構成されていてよい。

【0280】

例えば、スリットランプ顕微鏡200C（又は200D）は、照明系の向きを第2偏向機構が変更したことに対応して照明系及び撮影系による前眼部の撮影を開始することができる。

【0281】

このようなスリットランプ顕微鏡によれば、照明系の向きが調整された後に自動で前眼部撮影を行うことができるので、シャインブルーフの条件が満足されていない状態で前眼部撮影が実施される事態の回避を図ることが可能となる。

【0282】

<第6の態様>

前述した第1～第5の態様では、撮像素子の撮像面に入射する全ての主光線の向き（入射角度）が等しいことが仮定されている。しかしながら、光学系の光軸に対して撮像面が偏心且つ傾斜していることを勘案すると、厳密には、撮像面の異なる位置にそれぞれ到達する主光線の入射角度は異なっている。本態様では、このような入射角度の違いが考慮された幾つかの例示的な光学系構成を提供する。

【0283】

まず、本発明者が実施した光学シミュレーションについて説明する。図18に示すように、例示として、撮像素子300の撮像面上の3つの位置300a、300b及び300cを考慮する。なお、符号301は、絞りの中心を通る光学系光軸を示す（或いは、この光学系光軸に沿って進行する主光線を示す）。撮像素子300により得られる画像の画角は、光学系光軸301を基準に定義される。位置300bは、画角の中心に相当する。位置300bにおける主光線入射角度を38.11度に設定した。このとき、位置300a（画角の下端位置）における主光線入射角度は40.09度となり、位置300c（画角の上端位置）における主光線入射角度は36.06度となった。このように、画角内における主光線入射角度の誤差は、最大で約4度にも及ぶことが分かった。

【0284】

第1～第5の態様では、典型的には、画角の中心に相当する位置300bにおける主光線入射角度38.11度が、画角全体に対して適用されている。これに対し、本態様では、画角内の異なる位置に対して異なる主光線入射角度を適用する。つまり、第1～第5の態様では主光線入射角度は一樣と仮定されているが、本態様では主光線入射角度の非一樣を考慮する。

【0285】

このようなシミュレーションの結果を示す。角膜頂点、水晶体前囊、水晶体核、及び水

10

20

30

40

50

晶体後囊にそれぞれ対応する撮像面上の位置を、角膜対応位置、前囊対応位置、核対応位置、及び後囊対応位置と呼ぶことにする。

【0286】

角膜対応位置と前囊対応位置との間の距離は2.55mmに設定され、角膜対応位置と核対応位置との間の距離は4.91mmに設定され、角膜対応位置と後囊対応位置との間の距離は7.14mmに設定される。

【0287】

また、角膜対応位置における主光線入射角度の設計値は39.11度に設定され、その補正值として39.11度が得られた。前囊対応位置における主光線入射角度の設計値は38.61度に設定され、その補正值として34.63度が得られた。核対応位置における主光線入射角度の設計値は38.11度に設定され、その補正值として31.64度が得られた。後囊対応位置における主光線入射角度の設計値は37.61度に設定され、その補正值として29.24度が得られた。

10

【0288】

これら補正值の平均は33.65度である。本態様では、撮像面に対する主光線入射角度が平均値33.65度となるように光学系を設計することができる。

【0289】

主光線入射角度の補正值を求めるための演算の例を以下に説明する。図19の符号400は眼球(眼球モデル)を示す。眼球400は、角膜頂点401がx-y座標系の原点に位置し且つ眼球光軸がy軸に一致するように配置されている。符号410は、空気換算した撮像素子の撮像面(空気換算像面)を示す。空気換算像面410は、角膜頂点401を通過する。符号420は主光線を示す。主光線420を含む光線の結像位置を符号421で示す。また、y軸に対して主光線420がなす角を θ_1 とし、y軸に対して空気換算像面410がなす各を θ_2 とすると、空気換算像面410に対する主光線420の入射角度は、 $\theta = \theta_1 + \theta_2$ と表される。

20

【0290】

図19に示すモデルにおいて眼球内換算した像面の光軸と眼球光軸(典型的には照明光軸)とが一致するための条件を求めることにより、主光線入射角度の補正值が得られる。図19から分かるように、眼球内換算した像面の光軸と眼球光軸とが一致することは、主光線420を含む光線の結像位置421がy軸上に配置されること、すなわちy軸に対する結像位置421のx方向の変位をゼロにすること(変位をゼロに近付けること;

30

0)と同義である。

【0291】

任意の主光線入射角度(撮像面上の任意の位置)($\theta = \theta_1 + \theta_2$)について、変位は、例えば次の4つの演算工程を介して求めることができる。

【0292】

(1) θ_1 及び θ_2 を設定する。なお、 θ_1 及び θ_2 の一方を設定すれば他方は一意的に定まる。例えば、 θ_2 は与えられているから、 θ_1 を設定すれば $\theta_2 = \theta - \theta_1$ となる。

【0293】

(2) 眼球400による屈折を考慮せずに、主光線420と空気換算像面410との交点を求める。つまり、結像位置421の設計位置を求める。

40

【0294】

(3) 主光線420が眼球400(角膜)に入射する位置を求める。換言すると、眼球400の表面と主光線420との交点を求める。更に、この交点における主光線420の入射角及び出射角を求める。すなわち、主光線420の屈折点及び屈折角を求める。

【0295】

(4) 眼球400(角膜)による屈折を考慮した、(眼球内)結像位置421と眼球光軸(y軸)との間のx方向の距離(上記の変位)を求める。

【0296】

変位の大きさ(変位の絶対値)が所定閾値未満になるまで、 θ_1 及び θ_2 を変更し

50

つつ上記の4つの演算工程(1)~(4)を繰り返す。ここで、閾値は、例えば0.0001に設定される。このような反復的演算により、変位が十分に小さいとき、つまり、像面光軸と眼球光軸(照明光軸)とが実質的に一致するときの、主光線入射角度の補正值が得られる。

【0297】

このような演算の例として、核対応位置についての演算を以下に説明する。なお、核対応位置では $\theta = 38.11107$ 度である。また、眼球400の角膜曲率半径を $r = 7.72$ mmに、眼球屈折率を $n = 1.337$ にそれぞれ設定する。

【0298】

(1)まず、 θ_1 及び θ_2 を設定する。仮定的に $\theta_2 = 5$ 度に設定する。このとき、 $\theta_1 = \theta - \theta_2 = 38.11107 - 5 = 33.11107$ 度となる。

10

【0299】

(2)次に、眼球400による屈折を無視して主光線420と空気換算像面410との交点を求める。そのために、まず、空気換算像面410を表す式と主光線420を表す式とを求める。空気換算像面410とx軸とのなす角は $90 - \theta_2$ 度であるから、空気換算像面410を表す式は、 $y = (\tan(90 - \theta_2))x = (\tan(90 - 5))x = 11.43005x$ となる。

【0300】

一方、主光線420とx軸とのなす角は $90 + \theta_1$ 度であるから、核対応位置についての主光線420の傾きは、 $\tan(90 + \theta_1) = \tan(90 + 33.11107) = -1.53335$ となる。

20

【0301】

主光線420のy切片($y = y_s$)の算出には光学系の設計データが参照される。xy座標系の原点(角膜頂点401)と、主光線420と空気換算像面410との交点との間の距離を I_m で表す。例えば、角膜対応位置についての距離 I_m は0.00000mmとなり、前囊対応位置についての距離 I_m は1.81661mmとなり、核対応位置についての距離 I_m は3.68280mmとなり、後囊対応位置についての距離 I_m は5.57288mmとなる。

【0302】

ここで図20を参照する。図20には、xy座標系の原点(角膜頂点401)と、主光線420と空気換算像面410との交点と、y切片($(x, y) = (0, y_s)$ の点)とを3つの頂点とする三角形が示されている。この三角形に正弦定理を適用すると、核対応位置についてのy切片の値 y_s は次のように算出される： $y_s = I_m \cdot \sin(180 - \theta) / \sin \theta_1 = 3.68280 \cdot \sin(180 - 38.11107) / \sin(38.11107) = 4.16096$ 。

30

【0303】

以上より、核対応位置についての主光線420を表す式は、次のように表される： $y = -1.53335x + 4.16096$ 。よって、核対応位置についての主光線420と空気換算像面410との交点の座標(x_i, y_i)は、主光線420を表す式 $y = -1.53335x + 4.16096$ と、空気換算像面410を表す式 $y = 11.43005x$ とからなる連立方程式を解くことにより得られる： $(x_i, y_i) = (0.32098, 3.66879)$ 。以上で、演算工程(2)は終了である。

40

【0304】

(3)次に、主光線420の屈折点及び屈折角を求める。眼球400の角膜は次式により表される： $x^2 + (y - r)^2 = r^2 = 7.72^2$ 。この角膜を表す式と主光線420を表す式とからなる連立方程式を解くことによって、角膜と主光線420との交点の座標(x_c, y_c)が求められる。核対応位置についての交点の座標(x_c, y_c)は次のようになる： $(x_c, y_c) = (2.45277, 0.40001)$ 。

【0305】

続いて、この交点(x_c, y_c)における主光線420の入射角と出射角とを求める。

50

そのために、まず、交点 (x_c, y_c) における眼球 400 (角膜) の接線 430 の傾きを求める。核対応位置について、接線 430 の傾きは、角膜を表す曲線 $x^2 + (y - r)^2 = 7.72^2$ の、交点 (x_c, y_c) における x 微分に相当する。角膜を表す曲線 $x^2 + (y - r)^2 = 7.72^2$ を x で微分すると次式が得られる： $y = x / (r^2 - x^2)^{1/2}$ 。この x 微分の式に交点 (x_c, y_c) の x 座標 x_c を代入することで接線 430 の傾き $\tan \theta_y = 0.33508$ が得られ、 $\theta_y = \arctan(0.33508) = 18.52486$ が得られる。

【0306】

更に、図 21 から分かるように、核対応位置について、交点 (x_c, y_c) における主光線 420 の入射角 θ_i は、 $\theta_i = \theta_1 - \theta_y = 33.11107 - 18.52486 = 14.58621$ となる。

10

【0307】

また、核対応位置について、交点 (x_c, y_c) における主光線 420 の出射角 θ_i は、スネルの法則を用いて得られる： $\theta_i = \arcsin((\sin \theta_i) / n) = \arcsin((\sin(14.58621)) / 1.337) = 10.85705$ 。以上で、演算工程 (3) は終了である。

【0308】

(4) 最後に、眼球 400 による屈折を加味した結像位置 421 と眼球光軸との間の x 方向の距離 (変位) を求める。そのために、まず、主光線 420 と x 軸との交点を求める。核対応位置について、主光線 420 を表す式 $y = -1.53335x + 4.16096$ において $y = 0$ と置くと、主光線 420 と x 軸との交点 (x_0, y_0) が次のように得られる： $(x_0, y_0) = (2.71364, 0)$ 。

20

【0309】

次に、眼球 400 による屈折を無視したときの入射光線の結像位置を求める。つまり、眼球 400 による屈折を無視したときの、 x 軸と空気換算像面 410 との間の距離を求める。主光線 420 と x 軸との交点と、主光線 420 と空気換算像面 410 との交点と、この交点から x 軸に下ろした垂線の足 (垂点) とを 3 つの頂点とする三角形を考慮する。この三角形に三平方の定理を適用することにより、 x 軸と空気換算像面 410 との間の距離 L は次のように求められる： $L = ((x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2)^{1/2} = ((2.71364 - 0.32098)^2 + (0 - 3.66879)^2)^{1/2} = 4.38005$ 。

30

【0310】

更に、図 22 を参照すると、主光線 420 が x 軸を通過してから眼球 400 に入射するまでに x 方向に進む距離 H_1 、つまり、主光線 420 が x 軸に交差する点と主光線 420 が眼球 400 と交差する点との間の距離の x 成分 H_1 は、次の演算によって得られる： $H_1 = |x_c - x_0| = |2.45277 - 2.71364| = 0.26087$ 。

【0311】

一方、主光線 420 が x 軸を通過してから眼球 400 に入射するまでに y 方向に進む距離 H_1 、つまり、主光線 420 が x 軸に交差する点と主光線 420 が眼球 400 と交差する点との間の距離の y 成分 H_1 は、 $H_1 = |y_c - y_0| = 0.40001$ である。

40

【0312】

したがって、主光線 420 が x 軸を通過してから眼球 400 に入射するまでに進む距離 L_1 、つまり、主光線 420 が x 軸に交差する点と主光線 420 が眼球 400 と交差する点との間の距離 L_1 は、次の演算によって得られる： $L_1 = (H_1^2 + H_1^2)^{1/2} = (0.26087^2 + 0.40001^2)^{1/2} = 0.47755$ 。

【0313】

以上より、屈折を無視したときの x 軸と空気換算像面 410 との間の距離 L と、主光線 420 が x 軸を通過してから眼球 400 に入射するまでに進む距離 L_1 との差に、眼球屈折率 n を乗算することによって、眼球 400 内における主光線 420 の長さ L_2 、つまり、主光線 420 が眼球 400 (角膜) に交差する点と結像位置 421 との間の距離 L_2 は

50

、次の演算によって得られる： $L_2 = (L - L_1) \cdot n = (4.38005 - 0.47755) \cdot 1.337 = 5.21764$ 。

【0314】

また、眼球400の光軸(y軸)に対して、眼球400内における主光線420がなす角度 θ_n は、次式により得られる： $\theta_n = \theta_y + \theta_i = 18.52486 + 10.85705 = 29.38191$ 。

【0315】

更に、眼球400内において主光線420がx方向に進む距離 L_2 は、次の演算により得られる： $L_2 \cdot \sin \theta_n = 5.21764 \cdot \sin(29.38191) = 2.55992$ 。

10

【0316】

これにより、眼球400(被検眼)による屈折を考慮した結像位置421と眼球光軸(y軸)との間のx方向の距離(目的の変位)は、次式によって求められる： $\Delta x = x_0 - x_1 - x_2 = 2.71364 - 0.26087 - 2.55992 = 0.10715$ 。

【0317】

このようにして求められた変位の大きさ(変位の絶対値)を所定閾値(例えば0.0001)と比較する。本例では、変位 $\Delta x = 0.10715 > 0.0001$ であるから、 θ_1 及び θ_2 を変更して4つの演算工程(1)~(4)を再び実行する。この反復的演算は、変位の大きさが閾値未満になるまで繰り返される。それにより、変位 Δx が十分に小さいとき、つまり、像面光軸と眼球光軸(照明光軸)とが実質的に一致するときの、主光線420の入射角の補正值が得られる。

20

【0318】

以上に説明した演算によって変位 $\Delta x < 0.0001$ を満足するように求められた、角膜対応位置、前囊対応位置、核対応位置、及び後囊対応位置についての各種パラメータの値を以下の表に示す。

【0319】

【表 1】

	角膜対応位置	前囊対応位置	核対応位置	後囊対応位置
θ_1	39.11025	34.62912	31.63867	29.23846
θ_2	0	3.98356	6.47240	8.36637
y_s	0	1.99496	4.33311	6.96216
x_i	0	0.12620	0.41514	0.81087
y_i	0	1.81222	3.65933	5.51357
x_c	0	1.30143	2.42834	3.44346
y_c	0	0.11049	0.39186	0.81052
θ_y	0	9.70517	18.33375	26.49017
θ_i	39.11025	24.92395	13.30492	2.74829
θ_i'	28.15208	18.37255	9.91149	2.05522
x_0	0	1.37773	2.66978	3.89716
L	0	2.20238	4.29815	6.31860
Δ_1	0	0.07630	0.24144	0.45370
L_1	0	0.13427	0.46027	0.92886
L_2	0	2.76505	5.13124	7.20608
θ_n	28.15208	28.07772	28.24524	28.54539
Δ_2	0	1.30143	2.42834	3.44346
Δ	0	0.00000002	0.00000035	0.00000054

【0320】

以上のシミュレーションによって得られた知見に基づき、被検眼 E の屈折率に起因する物面の偏向角を次のように設定することが可能である。

【0321】

まず、被検眼 E の屈折率による物面の偏向角は、照明系 8 の光軸（照明光軸 O 2）と撮影系 6 の光軸（撮影光軸 O 1）とのなす角度に少なくとも基づいて決定されてよい。

【0322】

ここで、照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とのなす角度は、0 度よりも大きく且つ 60 度以下の範囲内の値に設定されてよい。当該角度範囲が 0 度を含まないことは、シャインプルの原理から当然である。また、当該角度範囲の最大値である 60 度は、シャインプルの原理を利用した前眼部撮影について本発明者らが試験を行って得た知見であり、角

10

20

30

40

50

膜から水晶体までの範囲の画像を好適に取得可能な照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とのなす角度の限界値である。

【0323】

被検眼 E の屈折率による物面の偏向角は、照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とのなす角度に加え、角膜曲率半径に少なくとも基づいて決定されてもよい。

【0324】

ここで、角膜曲率半径の値は、所定の模型眼に基づき設定されてよい。この模型眼は、例えば、Gullstrand (グルストランド) 模型眼、Navarro 模型眼、Liou-Brennan 模型眼、Badal 模型眼、Arizona 模型眼、Indiana 模型眼、任意の規格化模型眼、及び、これらのいずれかと同等の模型眼のいずれかであってよい。

10

【0325】

典型的には、上記した演算例のように、角膜曲率半径の値は、グルストランド模型眼に基づいて、例えば $7.7 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ の範囲内の値に設定されてよい。

【0326】

被検眼 E の屈折率による物面の偏向角は、照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とのなす角度に加え、眼球屈折率に少なくとも基づいて決定されてよい。

【0327】

ここで、眼球屈折率の値は、所定の模型眼に基づき設定されてよい。この模型眼は、例えば、Gullstrand (グルストランド) 模型眼、Navarro 模型眼、Liou-Brennan 模型眼、Badal 模型眼、Arizona 模型眼、Indiana 模型眼、任意の規格化模型眼、及び、これらのいずれかと同等の模型眼のいずれかであってよい。

20

【0328】

典型的には、上記した演算例のように、眼球屈折率の値は、グルストランド模型眼に基づいて、例えば 1.336 ± 0.001 の範囲内の値に設定されてよい。

【0329】

被検眼 E の屈折率による物面の偏向角は、照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とのなす角度に加え、角膜曲率半径及び眼球屈折率に少なくとも基づいて決定されてもよい。

【0330】

ここで、角膜曲率半径の値及び眼球屈折率の値のそれぞれは、前述したように、所定の模型眼に基づき設定されてよい。典型的には、上記演算例のように、グルストランド模型眼に基づいて、角膜曲率半径の値を $7.7 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ の範囲内の値に設定し、且つ、眼球屈折率の値を 1.336 ± 0.001 の範囲内の値に設定することができる。

30

【0331】

角膜曲率半径の値が $7.7 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ の範囲内の値に設定され、且つ、眼球屈折率の値が 1.336 ± 0.001 の範囲内の値に設定され、更に、照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とのなす角度が 0 度よりも大きく且つ 60 度以下の範囲内の値に設定された場合において、被検眼 E の屈折率による物面の偏向角は、0 度よりも大きく且つ 11.09 度以下の範囲内の値に設定されてよい。ここで、物面の偏向角が 0 度よりも大きいことは、シャインプルーフの原理から自然に得られる事項である。また、偏向角の範囲の最大値 11.09 度は、演算工程 (1) ~ (4) において、角膜曲率半径 $r = 7.2 \text{ mm}$ 、眼球屈折率 $n = 1.337$ 、及び、照明光軸 O 2 と撮影光軸 O 1 とのなす角度 $= \theta_1 + \theta_2 = 60$ 度を適用し、変位 < 0.0001 となるように演算を行うことによって得られた値である。

40

【0332】

このような本態様によれば、被検眼内外の屈折率の違いに起因するシャインプルーフ条件からの逸脱を、第 1 ~ 第 5 の態様よりも高い精度及び高い確度で回避することが可能になる。

【0333】

50

本態様に、第1～第5の態様のうちのいずれか1つ又は2つ以上を組み合わせることが可能である。また、本態様の少なくとも一部を含む実施形態に対して、任意の公知技術を組み合わせることが可能であり、また、任意の公知技術に基づく変形（付加、置換等）を施すことも可能である。

【0334】

<その他の事項>

以上に説明した幾つかの態様は例示に過ぎない。よって、本発明の要旨の範囲内における任意の変形（省略、置換、付加等）を施すことが可能である。

【0335】

例えば、幾つかの態様において、スリットランプ顕微鏡の遠隔操作が可能であってよい。そのために、スリットランプ顕微鏡は、例えば、受信部と、制御部と、送信部とを含む。

10

【0336】

本態様のスリットランプ顕微鏡の受信部は、第1装置からの指示を通信回線を介して受信する。受信部は、前述の通信部の少なくとも一部を含む。第1装置は、例えば、スリットランプ顕微鏡を遠隔操作するための指示を入力するための操作デバイスと、入力された指示を受け付けるコンピュータと、受け付けた指示をスリットランプ顕微鏡に送信する送信デバイスとを含む。

【0337】

本態様のスリットランプ顕微鏡の制御部は、受信部により受信された指示にしたがって少なくとも照明系及び撮影系を制御する。これにより、被検眼の画像が得られる。制御部は、コンピュータ100の少なくとも一部を含む。

20

【0338】

本態様のスリットランプ顕微鏡の送信部は、指示に応じて取得された被検眼の画像又はそれを処理して得られたデータ（画像、解析データなど）を、通信回線を介して第2装置に送信する。送信部は、前述の通信部の少なくとも一部を含む。第2装置は、スリットランプ顕微鏡から送信された画像又はデータを受信する受信デバイスを少なくとも含み、例えば、受信された画像又はデータを記憶する記憶装置、受信された画像又はデータを処理するコンピュータなどを更に含む。

【0339】

スリットランプ顕微鏡200A及び200Bのように撮影系の光軸の向きを変更可能な構成の代わりに、ライトフィールドカメラを撮像装置として設けるとともに、この撮像装置により得られた画像に光学空間画像処理を施して少なくとも物面全体にわたりピントが合った画像を得るようにしてもよい。

30

【0340】

幾つかの態様のいずれか1つ又はいずれか2以上の組み合わせに係る処理をコンピュータに実行させるプログラムを構成することが可能である。また、幾つかの態様のいずれか1つ又はいずれか2以上の組み合わせに対して本発明の要旨の範囲内における変形を適用して実現される処理をコンピュータに実行させるプログラムを構成することが可能である。

40

【0341】

更に、このようなプログラムを記録したコンピュータ可読な非一時的記録媒体を作成することが可能である。この非一時的記録媒体は任意の形態であってよく、その例として、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、半導体メモリなどがある。

【0342】

本発明は、幾つかの態様のいずれか1つ又はいずれか2以上の組み合わせにより実現される方法を含む。また、幾つかの態様のいずれか1つ又はいずれか2以上の組み合わせに対して本発明の要旨の範囲内における任意の変形を適用することによって実現される方法も、本発明に含まれる。

【符号の説明】

50

【 0 3 4 3 】

2 0 0、2 0 0 A、2 0 0 B、2 0 0 C、2 0 0 D スリットランプ顕微鏡

6 撮影系

6 a 光学系

8 照明系

0 2 照明光軸

4 3 撮像素子

6 0 移動機構

6 1 第 2 偏向機構

7 0 第 1 偏向機構

1 0 0 コンピュータ

1 1 1 第 1 偏向制御部

1 1 2 第 2 偏向制御部

1 2 1 3 次元画像構築部

1 2 2 レンダリング部

1 2 3 解析部

1 2 4 画質評価部

1 2 5 計測部

1 2 6 第 1 決定部

1 2 7 第 2 決定部

1 2 8 第 3 決定部

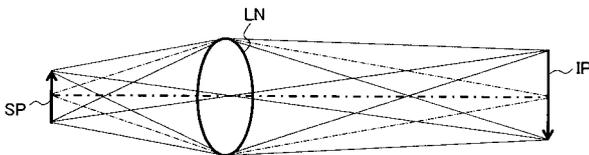
1 2 9 第 4 決定部

1 3 0 データ受付部

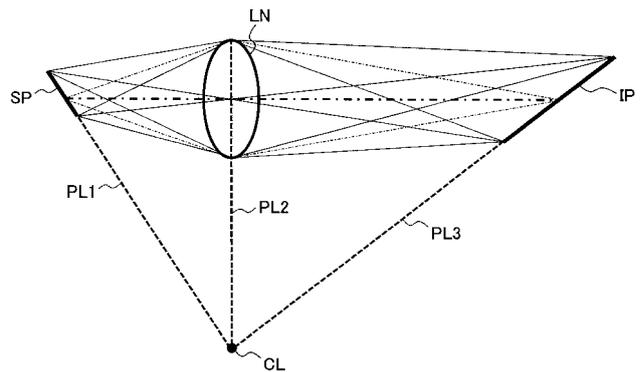
10

20

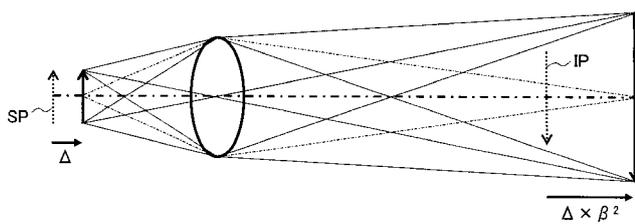
【 図 1 A 】



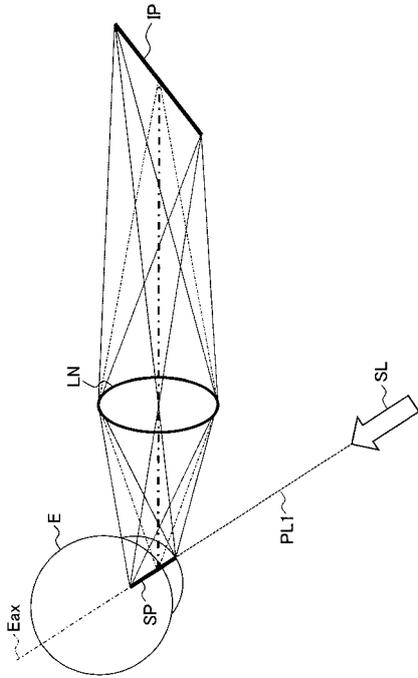
【 図 1 C 】



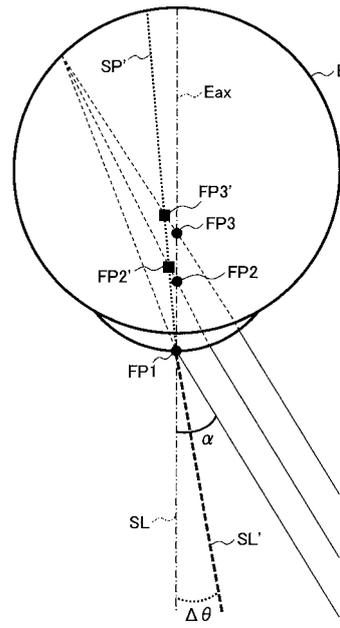
【 図 1 B 】



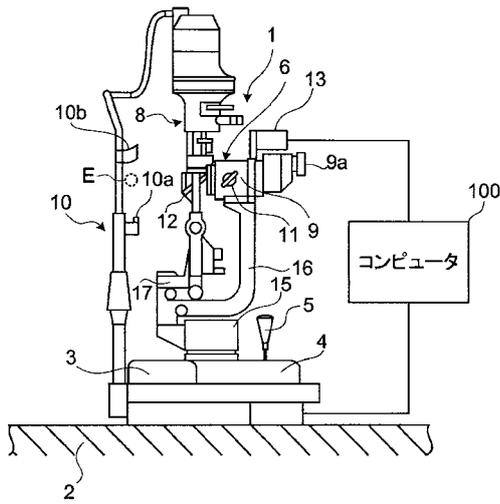
【図 1 D】



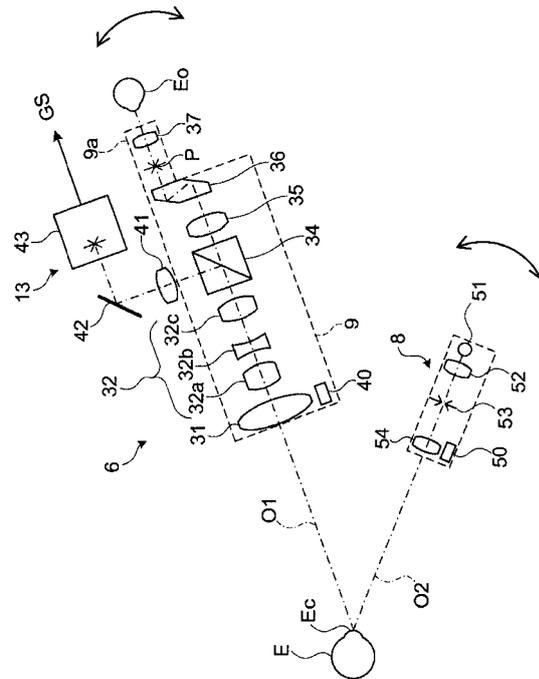
【図 1 E】



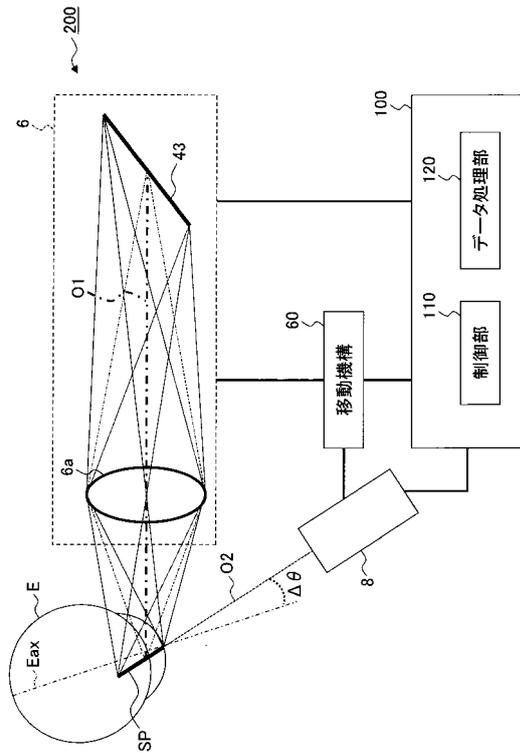
【図 2】



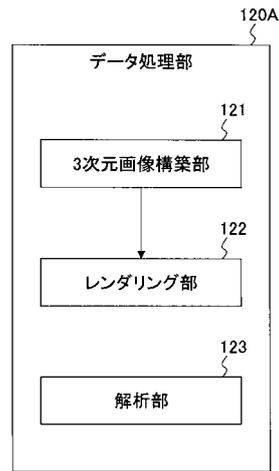
【図 3】



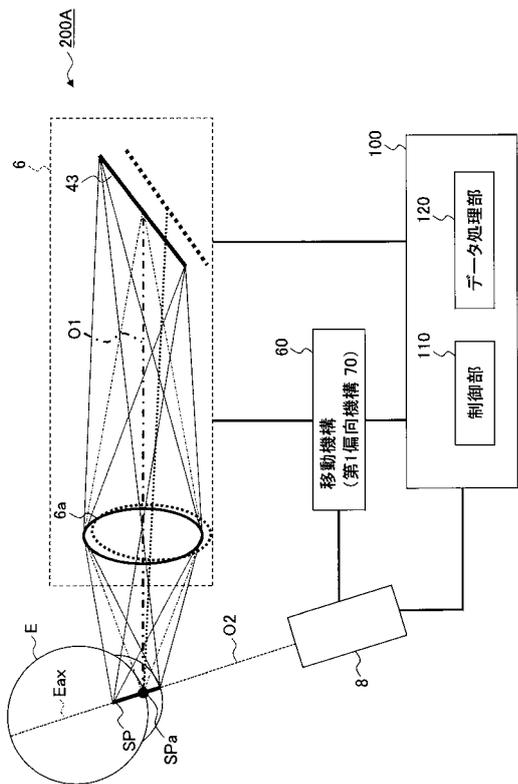
【図4】



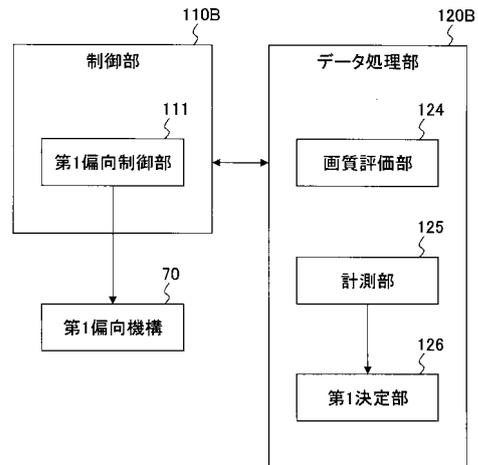
【図5】



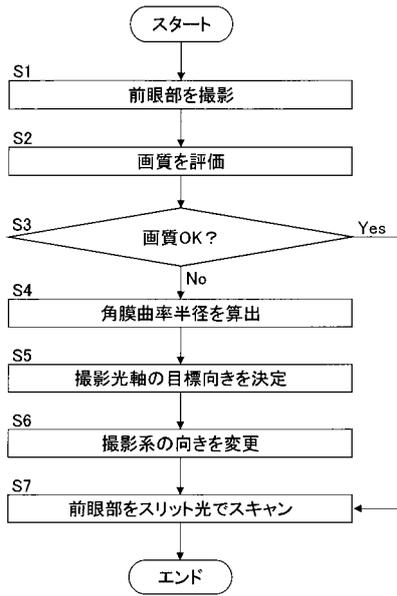
【図6】



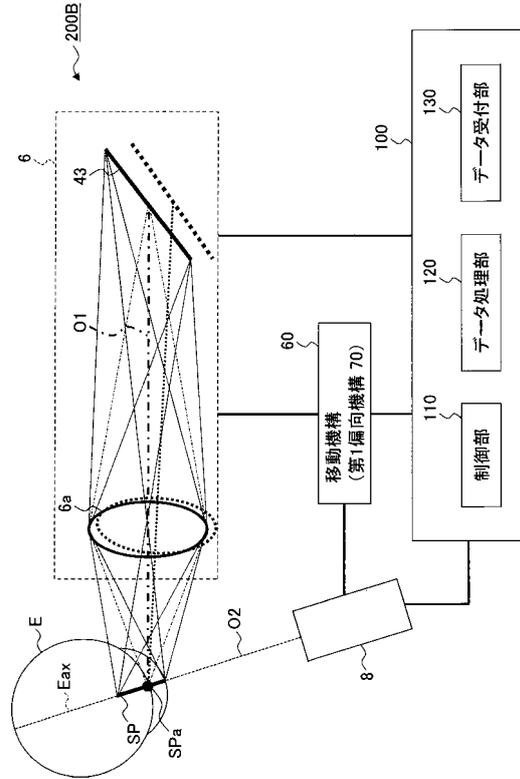
【図7】



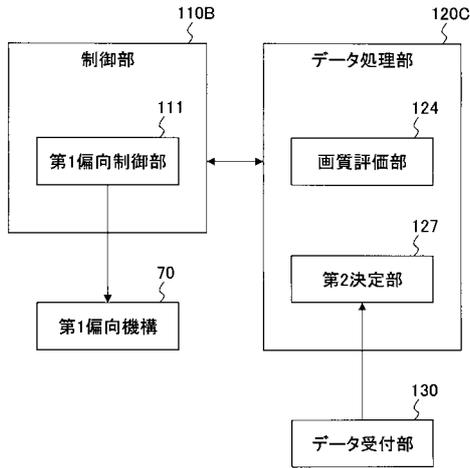
【 図 8 】



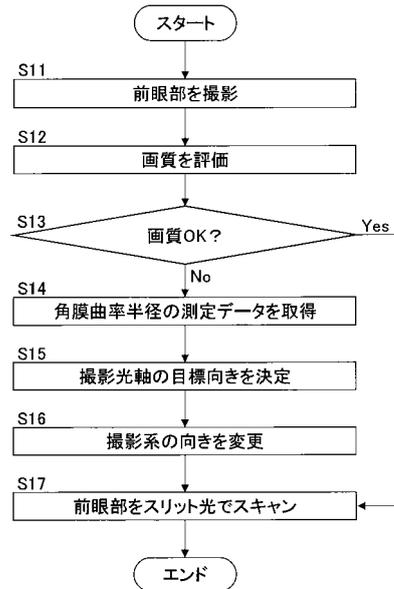
【 図 9 】



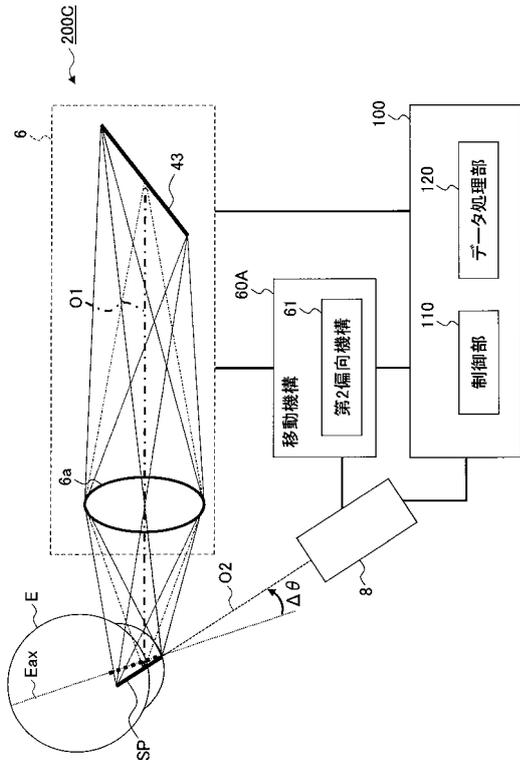
【 図 10 】



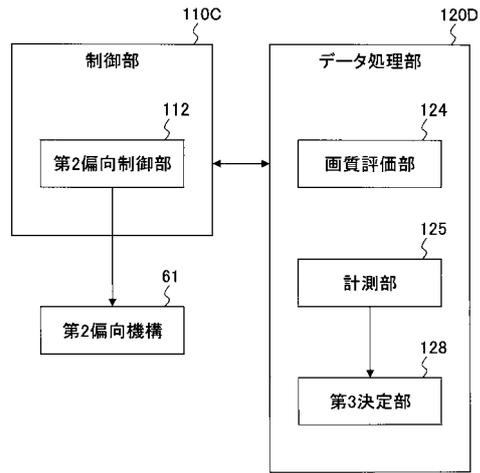
【 図 11 】



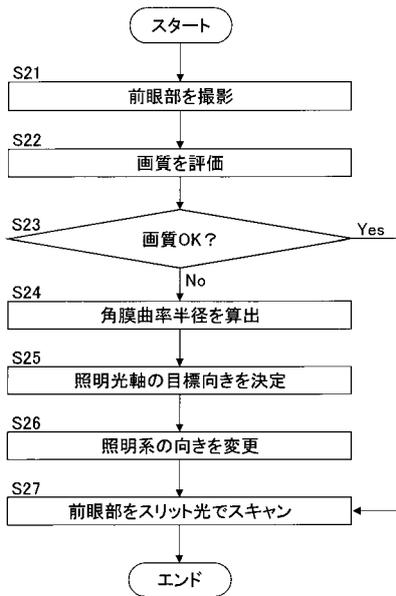
【図 1 2】



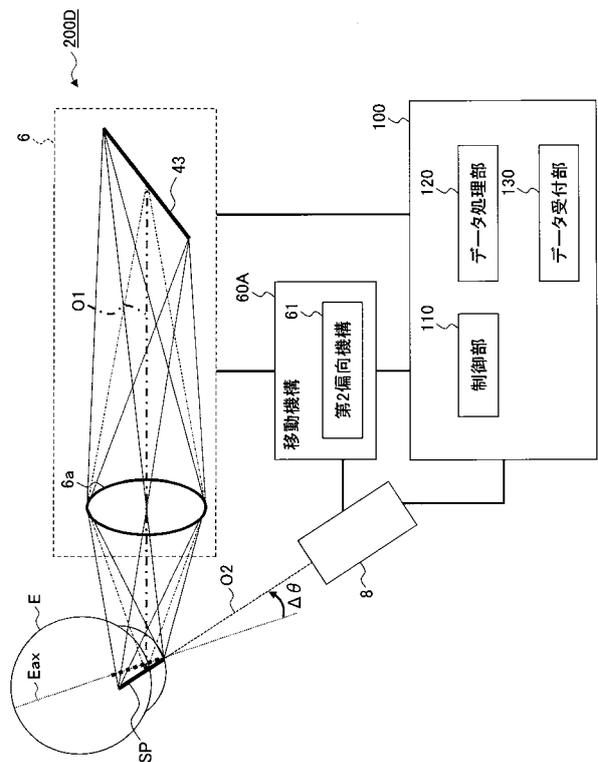
【図 1 3】



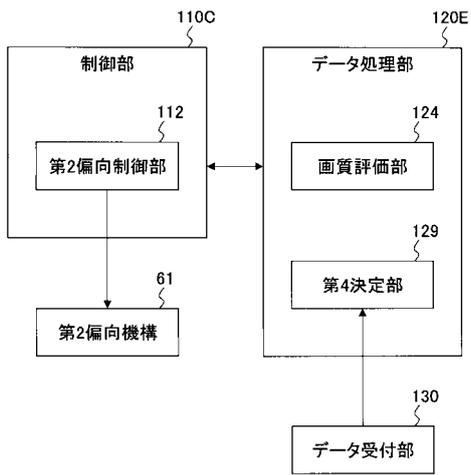
【図 1 4】



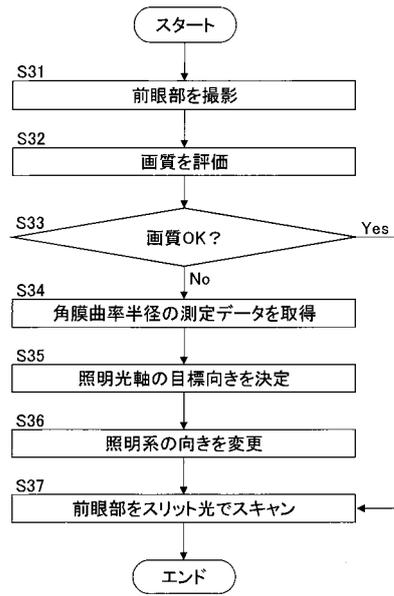
【図 1 5】



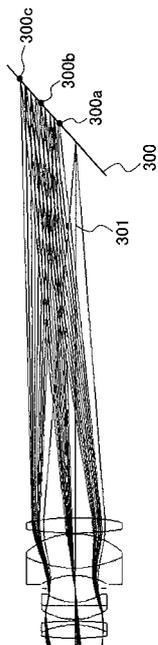
【図16】



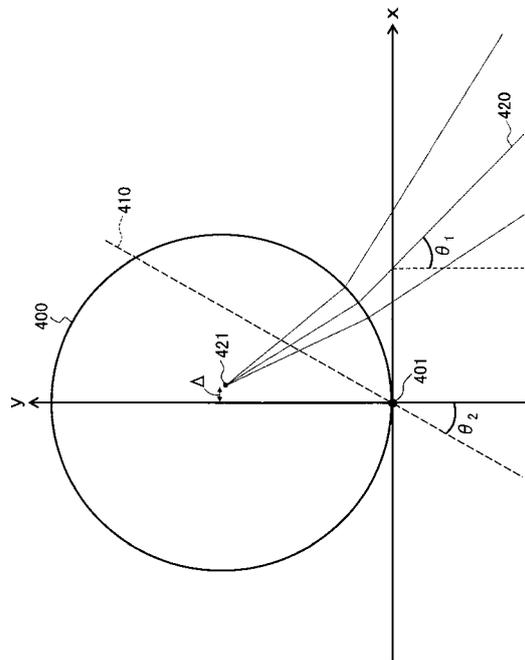
【図17】



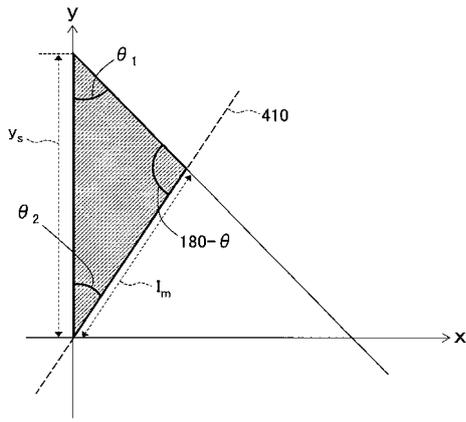
【図18】



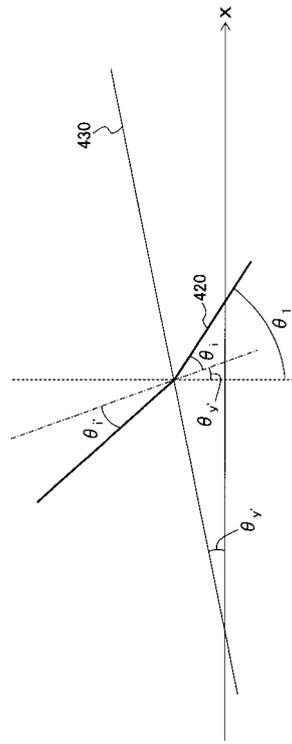
【図19】



【 図 2 0 】



【 図 2 1 】



【 図 2 2 】

