

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6589378号
(P6589378)

(45) 発行日 令和1年10月16日(2019.10.16)

(24) 登録日 令和1年9月27日(2019.9.27)

(51) Int.Cl.

A 6 1 B 3/107 (2006.01)

F 1

A 6 1 B 3/107

請求項の数 2 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2015-109212 (P2015-109212)	(73) 特許権者	000135184
(22) 出願日	平成27年5月28日(2015.5.28)		株式会社ニデック
(65) 公開番号	特開2016-220860 (P2016-220860A)		愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4
(43) 公開日	平成28年12月28日(2016.12.28)	(72) 発明者	八谷 将典
審査請求日	平成30年5月8日(2018.5.8)		愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株
			式会社ニデック拾石工場内
		(72) 発明者	滝井 通浩
			愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株
			式会社ニデック拾石工場内
		審査官	牧尾 尚能

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 眼科測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検眼の角膜に向けて指標を投影するための投影光学系と、

前記投影光学系によって角膜に投影された指標による第 1 プルキンエ像と第 2 プルキンエ像とを撮像素子で撮像する撮像光学系と、

装置本体内に設けられた内部固視標を備え、前記被検眼の視線方向を撮像光軸に対して傾斜した方向に誘導可能な固視光学系であって、前記第 1 プルキンエ像と前記第 2 プルキンエ像とを分離し、分離された前記第 2 プルキンエ像に基づく角膜後面に関する情報を得るために用いられる固視光学系と、

前記撮像素子によって撮像された前記第 2 プルキンエ像であって前記固視光学系によって傾斜された前記被検眼の前記第 2 プルキンエ像、前記角膜の前面形状に関する情報、および、前記固視光学系によって傾斜された前記被検眼の前記撮像光軸に対する傾斜量に関する情報、に少なくとも基づいて、被検眼の角膜後面に関する情報を取得する演算手段と、を備える眼科測定装置。

【請求項 2】

被検眼の角膜に向けて指標を投影するための投影光学系と、

前記投影光学系によって角膜に投影された指標による第 1 プルキンエ像と第 2 プルキンエ像とを撮像素子で撮像する撮像光学系と、

被検眼による前記第 1 プルキンエ像と前記第 2 プルキンエ像とを分離するため、前記撮像光学系の撮像光軸に対して前記被検眼の視線方向を傾斜させる視線傾斜手段と、

10

20

前記視線傾斜手段によって傾斜された被検眼の前記第2プルキンエ像を前記撮像素子により撮像し、前記第2プルキンエ像、前記角膜の前面形状に関する情報、および、前記視線傾斜手段によって傾斜された前記被検眼の前記撮像光軸に対する傾斜量に関する情報、に少なくとも基づいて、被検眼の角膜後面に関する情報を取得する制御手段と、を備える眼科測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、被検眼に関する測定を行う眼科測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

被検眼の眼特性の一つとして、角膜後面曲率、角面後面形状等の角膜後面に関する情報が測定される場合がある。角膜後面曲率は、例えば、角膜屈折力の算出に用いられ、その算出結果は、眼内レンズの度数計算に用いられる。従来、角膜後面に関する情報は、シャインブルークカメラ、及び前眼部OCT装置等で撮像される角膜の断面像の解析によって取得されていた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2012-055337号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記例示した従来技術の場合、角膜の断面像が必要となる。よって、ユーザーは、必ず、角膜の断面像を撮像する装置を用意しなければならなかった。

【0005】

なお、シャインブルークカメラにおいて角膜上の複数の経線方向に関して測定する場合、異なる角度での断面像を得るために光学系を回転させる必要があり、装置構成の複雑化を招く。また、前眼部OCTの場合は、干渉光学系及び光スキャナ等を必要とするので、比較的高価である。

【0006】

本開示は、従来技術の問題点に鑑み、簡単な構成で被検眼の角膜後面に関する情報を取得することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示の第1態様に係る眼科測定装置は、被検眼の角膜に向けて指標を投影するための投影光学系と、前記投影光学系によって角膜に投影された指標による第1プルキンエ像と第2プルキンエ像とを撮像素子で撮像する撮像光学系と、装置本体内に設けられた内部固視標を備え、前記被検眼の視線方向を撮像光軸に対して傾斜した方向に誘導可能な固視光学系であって、前記第1プルキンエ像と前記第2プルキンエ像とを分離し、分離された前記第2プルキンエ像に基づく角膜後面に関する情報を得るために用いられる固視光学系と、前記撮像素子によって撮像された前記第2プルキンエ像であって前記固視光学系によって傾斜された前記被検眼の前記第2プルキンエ像、前記角膜の前面形状に関する情報、および、前記固視光学系によって傾斜された前記被検眼の前記撮像光軸に対する傾斜量に関する情報、に少なくとも基づいて、被検眼の角膜後面に関する情報を取得する演算手段と、を備える。

【0008】

本開示の第2態様に係る眼科測定装置は、被検眼の角膜に向けて指標を投影するための投影光学系と、前記投影光学系によって角膜に投影された指標による第1プルキンエ像と第2プルキンエ像とを撮像素子で撮像する撮像光学系と、被検眼による前記第1プルキン

10

20

30

40

50

工像と前記第2プルキン工像とを分離するため、前記撮像光学系の撮像光軸に対して前記被検眼の視線方向を傾斜させる視線傾斜手段と、前記視線傾斜手段によって傾斜された被検眼の前記第2プルキン工像を前記撮像素子により撮像し、前記第2プルキン工像、前記角膜の前面形状に関する情報、および、前記視線傾斜手段によって傾斜された前記被検眼の前記撮像光軸に対する傾斜量に関する情報、に少なくとも基づいて、被検眼の角膜後面に関する情報を取得する制御手段と、を備える。

【発明の効果】

【0009】

本開示によれば、被検眼の角膜後面に関する情報を良好に取得できる。

【図面の簡単な説明】

10

【0010】

【図1】本実施形態における眼科測定装置の概略構成図である。

【図2】被検眼の側から見た、固視灯の配置を示した図である。

【図3】(a)は、中心固視灯によって視線方向が誘導された被検眼を示し、(b)は、その被検眼の角膜へ入射される光線を示した図である。

【図4】(a)は、近傍固視灯によって光軸に対して傾斜する方向に視線方向が誘導された被検眼を示し、(b)は、その被検眼の角膜へ入射される光線を示した図である。

【図5】眼科測定装置で撮像される前眼部画像の模式図である。

【図6】眼科測定装置の測定動作を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

20

【0011】

以下、図面を参照しつつ本開示の典型的な実施形態を説明する。

<装置の概略構成>

まず、図1を参照して、本実施形態における眼科測定装置1の概略構成について説明する。図1に示す眼科測定装置1は、被検眼Eの角膜前面Ec1、および角膜後面Ec2(図3、図4参照)に関する測定を行う。図1に示すように、眼科測定装置1は、ケラト投影光学系10と、撮像光学系(受光光学系)20と、固視光学系50と、制御部100と、を主に有する。また、本実施形態の眼科測定装置1は、アライメント投影光学系30と、第2測定光学系40と、を有する。なお、これらの光学系は、図示無き筐体に内蔵されている。また、筐体は、周知のアライメント移動機構60の駆動によって、被検眼Eに対して3次元的に移動される。筐体の移動は、例えば、操作部材(例えば、ジョイスティック)に対する検者の操作に応じて行われてもよい。

30

【0012】

固視光学系50は、測定時に、被検眼Eの視線方向を誘導し、被検眼Eを固視させるために用いられる。本実施形態において、固視光学系50は、装置本体内に設けられた内部固視標を有する。つまり、固視光学系50は、装置本体内(換言すれば、筐体内)から、固視標を投影する。また、本実施形態の固視光学系50は、被検眼Eに対して呈示する固視標の位置を切換えることで、被検眼Eの視線方向を、複数の方向に誘導する。なお、固視光学系50の内部固視標は、固視光学系50の光軸L2から離れた位置に設けられていてもよい。

40

【0013】

固視光学系50は、可視光源(固視灯)51(51a~51i)、投光レンズ53、可視反射・赤外透過のダイクロイックミラー43、を有する。本実施形態では、内部固視標として、光源(固視灯)51が利用される。光源51から発せられる可視光は、投光レンズ53により平行光束に変換された後、ダイクロイックミラー43により反射され、被検眼Eの眼底に固視標として投影される。ダイクロイックミラー43は、固視光学系50の光軸L2を、撮像光学系20の光軸L1と同軸にする。

【0014】

また、本実施形態において、固視光学系50は、複数の光源51a~51iを固視灯として有する。各光源51a~51iは、光軸L1(光軸L2)に対して交差(例えば、直

50

交)する方向に関して互いに異なる位置に配置される。光源51a~51iのうち、制御部100によって選択されたいずれかが一つが点灯される。つまり、本実施形態において、固視光学系50は、点灯する固視灯を切換えることで、被検眼Eの視線方向を切換える。

【0015】

例えば、光源51aは、光軸L1(光軸L2)近傍に配置された中心固視灯である。固視灯51aが点灯されることによって、固視光学系50は、被検眼Eの視線方向を、光軸L1(つまり、撮像光軸)に沿う方向に誘導する(図3(a)参照)。

【0016】

また、複数の光源51b~51iは、それぞれ、近傍固視灯である。光源51b~51iのいずれかが点灯されることによって、固視光学系50は、被検眼Eの視線方向を、光軸L1(撮像光軸)に対して傾斜した方向に誘導する(図4(a)参照)。本実施形態において、近傍固視灯によって誘導される被検眼の視線方向における、光軸L1に対する傾斜量、および傾斜の方向は、角膜中心部の近傍領域が光軸L1上(撮像光軸上)に配置される範囲で設定されていてもよい。

【0017】

例えば、複数の光源51b~51iは、光軸L1(光軸L2)を中心とする同一円周上に配置されていてもよい。より詳細には、光源51b~51iは、被検者から見て、所定角度毎に配置されている。例えば、図2では、光源51b~51iは、0度、45度、90度、135度、180度、225度、270度、315度の各位置に45度ずつ配置されている。また、複数の光源51b~51iは、それぞれ、中心固視灯(光源51)に対して(換言すれば、光軸L1に対して)被検眼Eの視軸(視線方向)が所定角度傾斜した関係となる所定位置に配置されている。好ましくは、光軸L1に対して視線方向が5°以上26°以下の角度で傾斜する範囲に、複数の光源51b~51iが配置されていてもよい。例えば、本実施形態では、それぞれの光源51b~51iは光軸L1に対して視線方向が13°となる位置に配置されていてもよい。本実施形態においては、この範囲において、後述する第1プルキンエ像Raと第2プルキンエ像Rpとの分離が良好に行われ得る。

【0018】

ケラト投影光学系10は、角膜Ecに向けてパターン指標(測定指標)を投影(投光)してもよい。図1に示すように、ケラト投影光学系10は、パターン指標を、光軸L1に対して斜め方向から投影してもよい。この場合において、パターン指標が投影される角膜Ecの領域は、中心固視灯51aによって被検眼Eの視線方向が光軸L1に沿う方向へ誘導される場合と、近傍固視灯51b~51iによって被検眼Eの視線方向が光軸L1に対して傾斜した方向へ誘導される場合と、のいずれの場合においても、角膜中心部の近傍領域となるように、ケラト投影光学系10によるパターン指標の投影位置が定められていてもよい。

【0019】

ケラト投影光学系10からのパターン指標は、角膜前面Ec1,および、角膜後面Ec2(角膜裏面)に関する測定に用いられる。例えば、角膜前面Ec1の形状、曲率半径、および屈折力等が角膜前面Ec1に関して測定されてもよい。また、角膜後面Ec2の形状、曲率半径、および屈折力等が、角膜後面Ec2に関して測定されてもよい。更に、角膜前面Ec1に関する測定結果と、角膜後面Ec2に関する測定結果とから、例えば、角膜全体の屈折、角膜厚の分布、角膜における乱視軸角度、収差等が測定されてもよい。

【0020】

ケラト投影光学系10は、光源11を有する。光源11が発する光は、例えば、赤外光または可視光であってもよい。ケラト投影光学系10は、光源11から出射される光を、パターン指標として角膜Ecに投影する構成であればよい。なお、パターン指標は、線、又は、複数(3つ以上)の点によって形成された2次元的なパターンであることが好ましい。例えば、連続的、又は、間欠的なリングパターン、同心円状に配置される3つ以上の点指標からなるパターン、点指標が格子状に配列されたドットマトリクス指標、等であっ

10

20

30

40

50

てもよい。

【0021】

具体例として、図1におけるケラト投影光学系10は、リング光源を光源11として備え、リング状のパターン指標を角膜Ecに投影する。リング光源は、例えば、リング状に形成される光源であってもよいし、リング状に並べられた複数の点光源と、点光源の前に配置されるリング状のパターン開口とを組み合わせた構成であってもよい。

【0022】

図3(b)、図4(b)に示すように、光源11aが投光する光のうち、角膜前面Ec1で反射(および散乱)された光によって、リング状の第1プルキンエ像Raが形成され得る。また、リング光源11が投光する光のうち、角膜後面Ec2で反射(および散乱)された光によって、リング状の第2プルキンエ像Rpが形成され得る。一般に、第2プルキンエ像Rpは、第1プルキンエ像Raに対し、低い輝度となる。

10

【0023】

本実施形態では、光源11は、1つのリング光源を備えるものであるが、互いの半径が異なる2つ以上のリング光源を備えるものであってもよい。この場合、例えば、それぞれのリング光源が、光軸L1を中心とする同心円状に配置されており、また、それぞれのリング光源が、角膜Ecの異なる領域に対してパターン指標を投影してもよい。なお、それぞれのリング光源は、同時に点灯されてもよいし、1つずつ(或いは、一部ずつ)点灯されてもよい。但し、複数のリング光源が同時に点灯される場合は、角膜Ecにおいて指標像の投影位置が、同時に点灯されるリング光源同士で重ならないことが好ましい。

20

【0024】

アライメント投影光学系30は、角膜Ecにアライメント視標を投影する。アライメント投影光学系30は、光源31を有する。本実施形態において、光源31は、ケラト投影光学系10の光源11の内側に配置される。光源31は、赤外光を発する投影光源であり、角膜Ecにアライメント指標を投影するために用いられる。角膜Ecに投影されたアライメント指標は、被検眼Eに対する装置の位置合わせ(例えば、自動アライメント、アライメント検出、手動アライメント、等)に用いられる。図2に示すように、本実施形態において、アライメント投影光学系30は、アライメント指標としてリング指標R3を投影する。なお、リング指標像R3は、マイヤーリングを兼用してもよい。また、アライメント投影光学系30の光源31は、前眼部を斜め方向から照明する前眼部照明を兼用する。なお、投影光学系30において、さらに、角膜Ecに平行光を投影する光学系を設け、アライメント投影光学系30による有限光との組合せにより前後のアライメントを行うようにしてもよい。

30

【0025】

撮像光学系20は、撮像素子27を有し、ケラト投影光学系10によって角膜Ecに投影された指標による第1プルキンエ像Raと第2プルキンエ像Rpとを撮像素子27で撮像する。また、図1における撮像光学系20は、撮像素子27の他に、ダイクロイックミラー(ビームスプリッタ)23、対物レンズ24、ミラー25、および、撮像レンズ26を含む。撮像素子27は、例えば、被検眼の前眼部と共役な位置に配置されてもよい。なお、ビームスプリッタ23は、撮像光学系20の光路を第2測定光学系40の光路と分岐させるための光路分岐部材である(詳しくは、後述する)。また、図1の例では、撮像光学系20の光軸L1(撮像光軸)は、中心固視灯51aの投影光軸L2と兼用されている。

40

【0026】

図1の例において、撮像光学系20は、光軸L1(撮像光軸)に沿う方向から被検眼Eを撮像し、各プルキンエ像Ra、Rpを得る。つまり、中心固視灯51aによって被検眼Eの視線方向が光軸L1に沿う方向へ誘導される場合と、近傍固視灯51b~51iによって被検眼Eの視線方向が光軸L1に対して傾斜した方向へ誘導される場合と、のいずれにおいても、撮像光学系20は、光軸L1(撮像光軸)に沿う方向から、被検眼Eが撮像される。撮像光学系20は、前眼部正面像を観察するための観察光学系を兼用してもよい

50

。このとき、各プルキンエ像 R_a , R_p は、前眼部正面像（以下、前眼部像 A と称す）に含まれる像として、撮像されてもよい。例えば、ケラト投影光学系 10 による指標の投影と共に、前眼部照明が角膜に照明される場合には、前眼部像 A として、各プルキンエ像 R_a , R_p を含む画像が取得される（図 5 参照）。

【0027】

また、撮像光学系 20 は、アライメント投影光学系 30 からの光が照射された被検眼 E を撮像することにより、角膜 E_c 上に形成されたリング指標像 R_3 を撮像できる（図 5 参照）。

【0028】

撮像光学系 20 に関し、ビームスプリッタ 23 の透過方向には、第 2 測定光学系 40 が形成されている。第 2 測定光学系 40 は、第 2 測定光学ユニット 41 と、ダイクロイックミラー 43 と、を含む。また、第 2 測定光学系 40 は、ビームスプリッタ 23 を、撮像光学系 20 と共用する。第 2 測定ユニット 41 は、被検者眼に第 2 の測定光を投光し、その反射光を受光する構成を備える。第 2 測定ユニット 41 は、第 2 の測定光を出射する光源 42 を有する。

【0029】

なお、第 2 測定光学系 40 としては、例えば、測定光と参照光による干渉光を受光して眼軸長を測定する眼軸長測定光学系、被検者眼眼底に投影された反射光を受光して眼屈折力を測定する眼屈折力測定光学系等であってもよい。

【0030】

次に、制御系について説明する。本実施形態において、眼科測定装置 1 は、装置全体の制御処理と、各種演算等を行う、演算制御部 100（以下、制御部と省略する）を有する。制御部 100 は、CPU 101 と、ROM 102 と、RAM 103 と、を含んでもよい。CPU 101 は、眼科測定装置 1 に関する各種の処理を実行するための処理装置（プロセッサ）である。ROM 102 は、制御プログラムおよび固定データ等が格納された、不揮発性の記憶装置である。RAM 103 は、書き換え可能な揮発性の記憶装置である。RAM 103 には、例えば、眼科測定装置 1 による被検眼 E の撮像および測定に用いる一時データが格納される。

【0031】

また、本実施形態において、制御部 100 は、光源 11、撮像素子 27、光源 31、第 2 測定光学ユニット 41、光源 51、アライメント移動機構 60、モニタ 70、操作部 80、記憶装置 105 等に接続される。

【0032】

記憶装置 105 は、書き換え可能な不揮発性の記憶装置である。本実施形態において、記憶装置 105 には、各種の撮像処理、測定処理等を制御部 100 に実行させるためのプログラムが、少なくとも格納されていてもよい。また、記憶装置 105 には、眼科測定装置 1 によって撮像される前眼部画像が保存されてもよい。

【0033】

撮像素子 27 から出力される受光信号（撮像信号）は、制御部 100 によって処理され、モニタ 70 に表示される。また、本実施形態において、制御部 100 は、撮像素子 27 から出力される受光信号に基づいて被検眼 E に対するアライメント状態を検出する。

【0034】

< 測定動作 >

以上のような構成を備える装置 1 の動作を説明する。本実施形態では、前眼部の測定に関する装置の動作の一例を、図 6 のフローチャートを参照して示す。

【0035】

はじめに、被検眼に対する光学系のアライメントが行われる（S1）。ここでは、制御部 100 が装置の各部を制御することによって、アライメントが自動的に行われる場合を示す。但し、アライメントは、手動で行われてもよい。また、手動によるアライメント（粗調整）と、自動的なアライメント（微調整）とが組み合わせて行われてもよい。

【 0 0 3 6 】

アライメントに際して、制御部 1 0 0 は、中心固視灯 5 1 a と、アライメント投影光学系 3 0 の光源 3 1 と、を点灯させる。また、制御部 1 0 0 は、光源 3 1 の点灯に伴って撮像素子 2 7 から出力される撮像信号に基づいて、被検眼 E の前眼部像のライブ画像（観察画像）をモニター 7 0 に表示させる。また、制御部 1 0 0 は、レクチル L T（図 5 参照）を、モニター 7 0 上に電子的に表示させてもよい。ここで、検者は、被検者に、固視標を固視するよう促す。

【 0 0 3 7 】

その後、制御部 1 0 0 は、光源 3 1 によるリング指標 R 3 を、撮像素子 2 7 からの撮像信号に基づいて検出する。制御部 1 0 0 は、アライメント移動機構 6 0 を、検出結果に基づいて駆動させることによって、リング指標 R 3 の中心にレクチル L T が位置されるように眼科測定装置 1 の光学系を移動させる。また、制御部 1 0 0 は、撮像素子 2 7 からの撮像信号に基づいてアライメント移動機構 6 0 を制御することで、装置から角膜頂点までの距離（つまり、作動距離）が、所定の距離となるように、前後方向のアライメントを行う。本実施形態において、制御部 1 0 0 は、アライメント完了後に、光源 3 1 を消灯する。

【 0 0 3 8 】

次に、制御部 1 0 0 は、パターン指標の投影を開始する（S 2）。制御部 1 0 0 は、ケラト投影光学系 1 0 が持つ光源 1 1 を点灯させる。これによって、角膜 E c には、リング状のパターン指標が投影される。

【 0 0 3 9 】

次に、第 1 撮像処理（S 3）が制御部 1 0 0 によって実行される。第 1 撮像処理（S 3）において、制御部 1 0 0 は、固視光学系 5 0 によって視線方向が光軸 L 1 に沿う方向に誘導された状態の被検眼 E を、撮像素子 2 7 で撮像する。すなわち、視線方向が光軸 L 1 に沿う方向に誘導された状態の被検眼 E における第 1 ブルキンエ像 R a および第 2 ブルキンエ像 R p を含む画像（例えば、前眼部像 A）が、撮像素子 2 7 から出力される撮像信号に基づいて取得される。取得された各ブルキンエ像 R a , R p を含む画像は、例えば、記憶装置 1 0 5 等に保存されてもよい。

【 0 0 4 0 】

第 1 撮像処理（S 3）では、視線方向が光軸 L 1 に沿う方向に誘導された状態での撮像が、1 回以上行われる。ここでは、説明の便宜上、第 1 撮像処理（S 3）において、1 回だけ撮像が行われるものとする（つまり、各ブルキンエ像 R a , R p を含む画像が 1 枚だけ取得される）。なお、2 回以上の撮像が行われる場合については、変容例の項目において後述する。

【 0 0 4 1 】

また、本実施形態において、被検眼 E の視線方向を光軸 L 1 に沿う方向に誘導するため、制御部 1 0 0 は、中心固視灯である光源 5 1 a を予め点灯しておく。例えば、アライメントの段階から引き続き光源 5 1 a が点灯されていてもよい。

【 0 0 4 2 】

次に、制御部 1 0 0 は、第 1 指標像検出処理を実行する（S 4）。S 4 の処理において、制御部 1 0 0 は、第 1 撮像処理（S 3）での撮像結果から、第 1 ブルキンエ像 R a 、および第 2 ブルキンエ像 R p をそれぞれ検出する。検出処理の結果としては、例えば、第 1 ブルキンエ像 R a , 第 2 ブルキンエ像 R p の指標位置情報が取得されてもよい。指標位置情報は、例えば、それぞれの指標像の二次元的な位置情報であってもよい。

【 0 0 4 3 】

ここで、S 4 の検出処理としては、種々の検出処理が採用され得る。例えば、各ブルキンエ像 R a , R p は、画像における輝度情報に基づいて検出されてもよい。例えば、画面上で閾値以上の輝度値を持つ領域を、指標像が形成される領域として検出してもよい。なお、第 1 ブルキンエ像 R a , および第 2 ブルキンエ像 R p は、いずれも経線方向に幅を持っている。そこで、角膜 E c の各経線において各指標像が形成される領域のうち、輝度のピーク（最大値または極大値）の位置、中央の位置等が、各経線上における指標像の位置

10

20

30

40

50

を示す検出結果として、取得されてもよい。

【0044】

また、制御部100は、例えば、第1プルキンエ像R_aと第2プルキンエ像R_pとの特性を利用することで、第1プルキンエ像R_aと第2プルキンエ像R_pとを区別して検出し得る。例えば、第2プルキンエ像R_pに対し、第1プルキンエ像R_aは、より明るい像（高い輝度値を持つ）であるという特性を利用し得る。例えば、値の異なる2種類の閾値（第1閾値、第2閾値）を使用し、第1プルキンエ像R_aと第2プルキンエ像R_pとを区別するようにしてもよい。また、第2プルキンエ像R_pに対し、第1プルキンエ像R_aは、概して光軸L₁のより外側に形成されるという特性を利用し得る。例えば、制御部100は、より外側の輝線を、第1プルキンエ像R_aとして検出し、その内側に形成される輝線を、第2プルキンエ像R_pとして検出するようにしてもよい。勿論、各プルキンエ像R_a、R_pの検出方法は、必ずしもこれに限られるものではない。制御部100は、例えば、RAM102、および記憶装置105等のいずれかに検出結果を記憶する。

10

【0045】

但し、上記のような検出手法を用いたとしても、第2プルキンエ像R_pの検出ができない場合がある。例えば、第2プルキンエ像R_pと第1プルキンエ像R_aとが画像上で重なっている場合には、第2プルキンエ像R_pの検出は困難である。ここで、被検眼Eの角膜形状が、検出を難しくする要因となりうる。

【0046】

例えば、一般に、角膜前面E_{c1}の頂点と、角膜後面E_{c2}の頂点とは、視軸と交差する方向に関してズレて形成されている傾向がある。これにより、被検眼の視線方向を光軸L₁に沿う方向に誘導した状態での撮像結果において、第1プルキンエ像R_aに対し、第2プルキンエ像R_pが一方向に偏って形成されてしまい、第1プルキンエ像R_aと第2プルキンエ像R_pとが部分的に重なってしまう場合がありうる。なお、ここでは、光軸L₁に視線方向が誘導された被検眼Eの角膜前面E_{c1}、角膜後面E_{c2}のそれぞれにおいて、法線が光軸L₁に沿う方向を向く位置を、頂点と称している。

20

【0047】

また、例えば、LASIK手術によって角膜の中心部が削られた眼において、角膜前面E_{c1}の曲率と、角膜後面E_{c2}の曲率とが近い値となることがありうる。このような眼においては、第1プルキンエ像R_aと第2プルキンエ像R_pとの少なくとも一部が、重なってしまう場合があり得る。

30

【0048】

その他に、例えば、角膜形状の個人差、角膜形状異常等によっても、第2プルキンエ像R_pの検出ができない場合が考えられる。第2プルキンエ像R_pが適正に検出できない場合、制御部100は、例えば、検出エラーを示す情報を、第2プルキンエ像R_pの検出結果として記憶してもよい。なお、少なくとも、第1プルキンエ像R_aに関しては、第1指標像検出処理（S4）によって検出可能である。そこで、第2プルキンエ像R_pが検出できない場合でも、第1プルキンエ像R_aの検出結果については、記憶装置105等に記憶させるようにしてもよい。

【0049】

次に、制御部100は、第2プルキンエ像R_pが、第1指標像検出処理（S4）によって検出できるか否かを判定する（S5）。第2プルキンエ像R_pが検出できないと判定される場合は（S5：No）、第2撮像処理（S6）が実行される。一方、第2プルキンエ像R_pが検出できると判定される場合は（S5：Yes）、第2撮像処理（S6）をスキップして、前眼部情報取得処理（S10）を実行する。

40

【0050】

第2撮像処理（S6）において、制御部100は、固視光学系50によって視線方向が光軸L₁に沿う方向に誘導された状態の被検眼Eを、撮像素子27で撮像する。すなわち、視線方向が光軸L₁に対して傾斜した被検眼Eにおける各プルキンエ像R_a、R_pを含む画像（例えば、前眼部像A）が、撮像素子27から出力される撮像信号に基づいて取得

50

される。第2撮像処理(S6)において取得された画像は、例えば、記憶装置105等に保存されてもよい。また、制御部100は、画像とともに、光軸L1に対する視線方向の傾斜量、および傾斜方向に関する傾斜量情報を、記憶装置105に記憶してもよい。傾斜量情報としては、近傍固視灯51b~51iによって誘導された視線方向の傾斜量を特定するための情報であればよく、撮像時に点灯されていた固視灯を特定する情報であってもよいし、固視灯の位置に基づいて所期される傾斜量、および傾斜方向の設計値等であってもよい。また、被検眼Eにおける実際の傾斜量、および傾斜方向が測定され、その測定値が利用されてもよい。

【0051】

本実施形態では、第2撮像処理(S6)による撮像に際して、被検眼による前記第1プルキンエ像と前記第2プルキンエ像とを分離するため、制御部100が固視光学系50を制御し、光軸L1に対して被検眼Eの視線方向を傾斜させる。より詳細には、制御部100は、第1撮像処理(S3)の段階で少なくとも点灯されていた中心固視灯51aを消灯し、近傍固視灯51b~51iのいずれか1つを点灯させる。

【0052】

第2撮像処理(S6)では、光軸L1に対して視線方向が傾斜した状態での各プルキンエ像Ra, Rpの撮像が、1回以上行われる。ここでは、説明の便宜上、第2撮像処理(S6)において、1回だけ撮像が行われるものとする(つまり、各プルキンエ像Ra, Rpを含む画像が1枚だけ取得される)。なお、2回以上の撮像が行われる場合については、変容例の項目において後述する。

【0053】

ある方向(例えば、光軸L1に沿う方向)に誘導された状態では、第2プルキンエ像Rpが他の指標像(主に、第1プルキンエ像Ra)と画像上で重なってしまい、第2プルキンエ像Rpの検出ができない場合がある。この場合であっても、視線方向を別方向に誘導することによって、第2プルキンエ像Rpを他の指標像から分離できる場合がある。例えば、上述したように、角膜前面Ec1の曲率と、角膜後面Ec2の曲率とが、近い値である場合には、視線方向が光軸L1に沿う方向に誘導された状態では、第2プルキンエ像Rpが第1プルキンエ像Raと、重なってしまう。しかし、視線方向が光軸L1に対して傾斜することによって、角膜前面Ec1におけるパターン指標像の投影位置と、角膜後面Ec2におけるパターン指標像の投影位置とが、それぞれ異なる変位量にて変位する。その結果、撮像光学系20で撮像される第2プルキンエ像Rpと第1プルキンエ像Raとが分離され得る。結果、第2プルキンエ像Rpが検出されやすい画像が得られる。

【0054】

次に、制御部100は、第2指標像検出処理を実行する(S7)。S7の処理において、制御部100は、第2撮像処理(S6)での撮像結果から、第1プルキンエ像Ra、および第2プルキンエ像Rpをそれぞれ検出する。プルキンエ像の検出方法は、例えば、第1指標像検出処理(S3)と同様の処理であってもよく、詳細な説明は省略する。

【0055】

次に、制御部100は、第2プルキンエ像Rpが、第2指標像検出処理(S7)によって検出できるか否かを判定する(S8)。第2プルキンエ像Rpが検出できないと判定される場合は(S8:No)、たとえば、更に、点灯する固視灯を、別の近傍固視灯51b~51iに切り替え(S9)、第2撮像処理(S6)、第2指標像検出処理(S7)を、繰り返し実行してもよい。また、全ての近傍固視灯51b~51iに関して第2指標像検出処理を実行したものの、いずれにおいても第2プルキンエ像Rpが検出されない場合には、測定エラー等を示す情報をモニタ70に表示させて、フローチャートの処理を終了してもよい(図示せず)。一方、第2プルキンエ像Rpが検出できると判定される場合は、前眼部情報取得処理(S10)を実行する。

【0056】

本実施形態の前眼部情報取得処理(S10)では、第2プルキンエ像Rpの検出結果に基づく角膜後面Ec2に関する情報が、少なくとも取得される。更に、本実施形態では、

角膜前面 E c 1 に関する情報についても取得される。

【 0 0 5 7 】

ここで、前眼部情報取得処理 (S 1 0) の一例について説明する。本実施形態では、まず、制御部 1 0 0 は、角膜前面 E c 1 の形状を求める。角膜前面 E c 1 の形状は、例えば、第 1 指標像検出処理 (S 4) , または、第 2 指標像検出処理 (S 7) で得られた第 1 プルキンエ像 R a の指標位置情報に基づいて導出できる。例えば、第 1 プルキンエ像 R a に基づく光線追跡シミュレーションによって、角膜前面形状を求めてもよい。この場合、例えば、作動距離の近傍位置に置かれる角膜前面 E c 1 のモデルを想定する。本実施形態において、角膜前面 E c 1 のモデルは、球面近似したモデルである。但し、角膜また、非球面 (例えば、楕円球面、放物面等) で近似したモデルであってもよい。この角膜前面 E c 1 のモデルの曲率を変化させることで、撮像面上における第 1 プルキンエ像 R a の指標位置から、撮像光学系 2 0 の光路を逆に辿って角膜前面 E c 1 へ投影され、角膜前面 E c 1 で反射されることによって、光源 1 1 に到る光線を満足するような角膜前面 E c 1 の形状の条件 (ここでは、曲率半径) を求める。例えば、光源 1 1 から、第 1 プルキンエ像 R a までの光線を示す光線行列を用いて、上記シミュレーションが行われてもよい。この光線行列では、光線行列における入口又は出口の面の一方における光線高さに、第 1 プルキンエ像 R a の像高さが代入され、他方における光線高さ、および光線の傾きに、光源 1 1 に基づく既定値が代入される。このようにして、角膜前面 E c 1 の曲率半径を得ることができる。

【 0 0 5 8 】

ここで、上記のシミュレーションで想定される角膜前面 E c 1 のモデルの位置には、第 1 プルキンエ像 R a の撮像時における視線方向の傾斜量、および傾斜方向が考慮される。つまり、第 1 指標像検出処理 (S 4) によって検出された第 1 プルキンエ像 R a から角膜前面 E c 1 の形状を得る場合、視線方向が正面方向を向く (つまり、光軸 L 1 に沿う) 角膜前面 E c 1 のモデルを想定して、上記の光線追跡シミュレーションが行われる (図 3 (b) 参照)。一方、第 2 指標像検出処理 (S 7) によって検出された第 1 プルキンエ像 R a から角膜前面 E c 1 の形状を得る場合、撮像時における視線方向の傾斜量および傾斜方向で視軸が傾いた角膜前面 E c 1 のモデルを想定して、上記の光線追跡シミュレーションが行われる (図 4 (b) 参照)。角膜前面 E c 1 のモデルの位置は、例えば、眼の旋回中心から角膜 E c における基準点 (例えば、角膜頂点) までの長さ、視線方向の傾斜量、および傾斜方向とによって、規定し得る。ここで、旋回中心から角膜 E c における基準点までの長さは、例えば、人眼の平均値等の既定値が使用されてもよいし、被検眼 E における実際の眼寸法の測定値に基づく値であってもよい。また、傾斜量および傾斜方向には、第 2 撮像処理 (S 6) において各プルキンエ像 R a , R p と共に記憶された傾斜量情報によって示される値が使用されてもよい。

また、例えば、角膜前面 E c 1 の曲率半径は、第 1 指標像検出処理 (S 4) , または第 2 指標像検出処理 (S 7) によって検出された第 1 プルキンエ像 R a の指標位置情報に基づいて、計算によって求めてもよい。具体的には、角膜曲率半径 r_1 を第 1 プルキンエ像 R a の像高さ (例えば、光軸 L 1 が角膜の中心部を通過する条件下では、画像上の光軸 L 1 の位置 (例えば、画像中心) から第 1 プルキンエ像 R a までの距離) に基づいて求める手法がある。具体的な手法については、例えば、本出願人による特開 2 0 0 3 1 1 1 7 2 7 号公報を参考にされたい。

また、例えば、角膜前面 E c 1 の曲率半径は、第 1 指標像検出処理 (S 4) , または第 2 指標像検出処理 (S 7) によって検出された第 1 プルキンエ像 R a の指標位置情報に基づいて、計算によって求めてもよい。具体的には、角膜曲率半径 r_1 を第 1 プルキンエ像 R a の像高さ (例えば、光軸 L 1 が角膜の中心部を通過する条件下では、画像上の光軸 L 1 の位置 (例えば、画像中心) から第 1 プルキンエ像 R a までの距離) に基づいて求める手法がある。具体的な手法については、例えば、本出願人による特開 2 0 0 3 1 1 1 7 2 7 号公報を参考にされたい。

【 0 0 5 9 】

次に、先に求めた角膜前面 $E_c 1$ の形状と、第2プルキンエ像 R_p の指標位置情報とに基づいて、角膜後面 $E_c 2$ の形状を導出する。例えば、第2プルキンエ像 R_p に基づく光線追跡シミュレーションによって、角膜後面 $E_c 2$ の形状を求めてもよい。この場合、先に求めた曲率半径による角膜前面 $E_c 1$ のモデルと、角膜後面 $E_c 2$ のモデルと、を想定する。本実施形態において、角膜前面 $E_c 2$ のモデルは、例えば、球面近似したモデルである。但し、非球面（例えば、楕円球面、放物面等）で近似したモデルであってもよい。

【0060】

角膜後面 $E_c 2$ のモデルは、角膜前面 $E_c 1$ のモデルに対し、角膜 E_c の基準位置（本実施形態では、角膜中心）において角膜厚 d 分だけ眼の旋回中心側に配置される。角膜厚 d は、人眼の平均値等の既定値が用いられてもよいし、実際の被検眼 E の角膜厚が用いられてもよい。例えば、超音波測定方式等の公知のパキ測定によって得られた値を用いてもよい。なお、第2測定光学系として角膜厚測定光学系を設け、その測定結果が角膜厚 d として利用されてもよい。

10

【0061】

また、角膜後面 $E_c 2$ のモデルは、その頂点位置が、角膜前面 $E_c 1$ のモデルの頂点位置に対して視軸と交差する方向に関してずれて配置されてもよい。例えば、所定角度だけずれて配置されてもよい。

【0062】

制御部100は、角膜後面 $E_c 2$ のモデルの曲率を変化させることで、撮像面上における第2プルキンエ像 R_p の指標位置から、撮像光学系20の光路を逆に辿って角膜前面 $E_c 1$ を介して角膜後面 $E_c 2$ で反射され、光源11に到る光線を満足するような角膜後面 $E_c 2$ の形状の条件（ここでは、角膜後面 $E_c 2$ の曲率半径）を求める。勿論、制御部100は、角膜前面 $E_c 1$ を光線が通過する際の屈折を考慮して、条件を求める。角膜 E_c の屈折率には、例えば、人眼の平均値等の既定値（ $n = 1.376$ 等）が使用されてもよい。このシミュレーションの結果として、角膜後面 $E_c 2$ の曲率半径を得ることができる。

20

【0063】

なお、上記のシミュレーションにて想定される角膜前面 $E_c 1$ のモデル、および角膜後面 $E_c 2$ のモデルの位置には、各プルキンエ像 R_a 、 R_p の撮像時における視線方向の傾斜量、および傾斜方向が考慮される。例えば、第2指標像検出処理（S7）で検出された第2プルキンエ像 R_p に基づいて角膜後面 $E_c 2$ の形状を得る場合、撮像時における視線方向の傾斜量、および傾斜方向に応じて、眼の旋回中心を中心として傾いた角膜前面 $E_c 1$ のモデル、および角膜後面 $E_c 2$ のモデルを想定して、上記の光線追跡シミュレーションが行われる（図4（b）参照）。また、例えば、角膜後面 $E_c 2$ の曲率半径は、第1指標像検出処理（S4）、または第2指標像検出処理（S7）によって検出された第2プルキンエ像 R_p の指標位置情報に基づいて、計算によって求めてもよい。なお、本実施形態では、角膜前面 $E_c 1$ に関する情報と角膜後面 $E_c 2$ に関する情報とを求める手法として、まず角膜前面 $E_c 1$ に関する情報が取得され、取得された情報を用いて角膜後面 $E_c 2$ の形状を求める手法が利用された。しかし、必ずしもこれに限られるものではない。例えば、光線追跡シミュレーション等によって、角膜前面 $E_c 1$ に関する情報と角膜後面 $E_c 2$ とを同時に取得することも可能である。

30

40

【0064】

このようにして得た、角膜前面 $E_c 1$ の形状と、角膜後面 $E_c 2$ の形状とに基づいて、制御部100は、角膜厚情報、角膜 E_c の屈折力情報等を、求めることができる。

【0065】

例えば、制御部100は、角膜厚情報の一例として、特定の経線方向における角膜 E_c の厚み分布を示す情報を取得しても良い。1つの経線方向における角膜 E_c の厚み分布は、例えば、1つの経線方向における角膜前面 $E_c 1$ の曲率半径、および角膜後面 $E_c 2$ の曲率半径 r_1 と、基準の角膜厚 d の値と、を用いて求めることができる。また、制御部100は、複数の経線方向における角膜全体の厚み分布に基づいて、角膜全体の厚み分布を

50

示す情報を取得してもよい。

【0066】

また、角膜E cの屈折力情報等として、例えば、角膜全体の屈折力を求めることができる。この場合、例えば、角膜前面E c 1のパワー情報（例えば、パワー及び/又は、S, C, Aの各値）と、角膜後面E c 2のパワー情報（例えば、パワー及び/又は、S, C, Aの各値）とを、プルキンエ像から求めることができる。本実施形態において、S, C, Aの各値は、例えば、角膜E cに形成されるリング像を楕円近似したときの強主経線方向及び弱主経線方向における角膜曲率の値、および、強主経線および弱主経線の軸角度等から求めることができる。そして、パワーベクトル法を用いて、角膜前面E c 1のパワーと、角膜後面E c 2のパワーとの合成値から、角膜全体の屈折力を得ることができる。なお、角膜全体の屈折力の導出は、上記の手法に限られるものではない。例えば、光線追跡的に屈折力が求められてもよい。

10

【0067】

以上説明したように、本実施形態の眼科測定装置1は、固視光学系50によって視線方向が光軸L1に対して傾斜した被検眼Eを撮像素子27で撮像する。その結果、光軸L1に沿う方向へ視線方向を誘導した場合には、第2プルキンエ像R pを特定（例えば、画像検出）しにくい被検眼Eであっても、第2プルキンエ像R pを、他の指標像（例えば、第1プルキンエ像R a等）と分離できる。結果、第2プルキンエ像に基づいて角膜後面E c 2に関する情報を取得する可能性を高めることができる。

【0068】

20

また、本実施形態では、制御部100が固視光学系50を制御することで、光軸L1に対する傾斜量がそれぞれ異なる複数の方向に、被検眼Eの視線方向が誘導され、それぞれの視線方向で、第2プルキンエ像R pを含む画像が撮像される。複数の視線方向における撮像が行われることで、他の指標像から分離された第2プルキンエ像R pを得る可能性が高まる。結果、角膜後面E c 2に関する情報を取得できる可能性が、一層改善される。

【0069】

なお、角膜後面E c 2の曲率を求める場合、被検眼Eの角膜厚を用いた算出が好ましい。そこで、第2測定光学系として角膜厚測定光学系を設けることで、必ずしも他の装置を用いる必要がなくなる。角膜厚測定光学系は、例えば、特開2012-143492号に記載の構成が用いられる。

30

【0070】

この場合であっても、角膜厚測定光学系は、角膜上の少なくとも1点の角膜厚が測定できればよく、回転機構を持つシャインブルーフカメラや、二次元スキャンを要する前眼部OCT等の複雑の光学系を設ける必要は必ずしもなくなる。

【0071】

また、上記実施形態では、角膜後面E cに関する情報として、角膜E cの合成パワーが得られる。ここで、シャインブルーフカメラや、前眼部OCT等で撮像される断面画像に基づいて角膜全体のパワーを演算することもできる。しかし、本実施形態のように、第2プルキンエ像R pに基づいて演算した場合の方が、正確なパワーを取得しやすい。従って、眼科測定装置1で得られたパワーは、例えば、被検眼に対し適正なパワーのIOLを選定する場合等に役立つ。

40

【0072】

なお、一般に、被検眼Eへ投光された光束が前眼部で反射されることによって形成されるプルキンエ像としては、第1プルキンエ像R aと第2プルキンエ像R pの他に、水晶体の前面反射による第3プルキンエ像、および水晶体の後面反射による第4プルキンエ像が知られている。上記説明した通り、眼科測定装置1が、固視標によって被検眼Eの視線方向を光軸L1に対して傾斜させることは、第1プルキンエ像R aと第2プルキンエ像R pとを分離するうえで有用であるが、更に、第3プルキンエ像および第4プルキンエ像の少なくともいずれかと、第2プルキンエ像R pとを分離するうえでも有用である。つまり、本実施形態の眼科測定装置1は、第3プルキンエ像および第4プルキンエ像とも良好に分

50

離された第2プルキンエ像R_pを取得することができ、その結果から、角膜後面に関する情報を良好に取得できる。

<変形例>

以上、実施形態に基づき説明したが、本開示は、上記実施形態に限定されることなく、様々な変形が可能である。

【0073】

例えば、第2プルキンエ像が正立像であるのに対し、第4プルキンエ像は倒立像である。光軸L₁に対し対称なパターン指標を投影した場合、第2プルキンエ像の近くに第4プルキンエ像が形成される場合がある。その結果、第2プルキンエ像を、第4プルキンエ像と区別して特定することが重要となる。

10

【0074】

これに対し、例えば、角膜E_cの経線に対して非対称な指標パターンが投影されるように、ケラト投影光学系10（投光光学系の一例）が構成されてもよい。そのうえで、指標光束の正立反射像から第2プルキンエ像が検出されるように、第2プルキンエ像検出処理（例えば、S₉の処理）が構成されてもよい。角膜E_cの経線に対して非対称な投影される構成としては、例えば、各々のリング光源11a、11bが、部分的に（または、間欠的に）点灯される態様であってもよい。また、リング光源11a、11bが、角膜E_cの経線に対して非対称に配置される複数の点光源等によって代替される態様であってもよい。この場合、第2プルキンエ像を正立像とした場合、第4プルキンエ像は、倒立像として得られる。よって、制御部100は、光軸L₁と各像との位置関係に基づいて、第2プルキンエ像と、第4プルキンエ像とを、区別して検出する。

20

【0075】

また、上記実施形態では、角膜E_cの基準位置での角膜厚として、角膜中心部での角膜厚が用いられる場合を説明したが、必ずしもこれに限定されるものではなく、基準位置での角膜厚は、角膜中心から離れた領域での角膜厚が用いられてもよい。

【0076】

上記実施形態では、第1撮像処理（S₂）、第2撮像処理（S₆）の各処理において、制御部100が、各プルキンエ像R_a、R_pを含む画像（例えば、前眼部像A）を被検眼の視線方向毎に1枚ずつ撮像するものとして説明した。しかし、必ずしもこれに限られるものではなく、視線方向毎に複数枚ずつ撮像をおこなってもよい。

30

【0077】

1つの視線方向に関して2回以上の撮像を行う場合、撮像毎に、異なる撮像条件が設定されてもよい。ここでいう撮像条件は、主に、角膜E_cに形成される指標像の明るさに関する条件であってもよい。このような条件は、例えば、光源11から出力される光束の光量、および、撮像素子27におけるゲイン等であってもよい。一般に、第2プルキンエ像R_pは、第1プルキンエ像R_aに比べて低い輝度で形成される。このため、例えば、第1プルキンエ像R_aと、第2プルキンエ像R_pと、の両方を、一枚の画像からは検出することが難しい場合があり得る。これに対し、いくつかの撮像条件で撮像を行うことで、第1プルキンエ像R_a検出用の画像と、第2プルキンエ像R_p検出用の画像とを、別々の画像として取得してもよい。

40

【0078】

また、例えば、パターン指標を投影する光源を複数備える構成にあっては、1つの視線方向に関して2回以上の撮像を行う場合に、撮像毎に点灯する光源を切り換えるようにしてもよい。この場合、角膜E_cに形成される指標像同士が重なり合ってしまうことが、各画像において抑制される。つまり、第1プルキンエ像と第2プルキンエ像との重なり合い、第1プルキンエ像同士の重なり合い、第2プルキンエ像同士の重なり合いが、それぞれ抑制される。結果、各画像からの指標像の検出が容易になる。

【0079】

また、上記実施形態において、固視光学系50によって誘導する被検眼Eの視線方向は、制御部100によって自動的に設定された。しかし、例えば、固視光学系50によって

50

誘導する被検眼 E の視線方向を、検者が手動で設定してもよい。このとき、例えば、撮像光学系 20 で撮像される第 1 プルキンエ像 R a および第 2 プルキンエ像 R p をモニタ 50 に表示してもよい。検者は、モニタ 50 に表示される各プルキンエ像 R a , R p の分離の程度を確認しながら、操作部 80 を介して、視線方向の変更を装置に指示する。制御部 100 は、操作部 80 から入力される信号に基づいて固視光学系 50 を制御して、固視光学系 50 によって誘導する被検眼 E の視線方向を変更する。更に、制御部 100 は調整後の視線方向に基づいて、角膜前面 E c 1 に関する情報、および角膜後面 E c 2 に関する情報を取得する。

【0080】

また、上記実施形態において、固視光学系 50 は、光軸 L 1 (光軸 L 2) と交差する方向に複数の固視灯 51 a ~ 51 i を備え、点灯する固視灯 51 a ~ 51 i が制御部 100 によって切換えられることで、被検眼 E の視線方向を誘導する方向を変更する。しかし、固視光学系 50 は、必ずしもこれに限られるものではない。例えば、固視光学系 50 は、複数の固視灯 51 a ~ 51 i に替えて、固視標 (固視灯) と、固視標と被検眼との相対位置を光軸 L 1 と交差する方向に変位させる駆動機構と、を、備えてもよい。この場合、駆動機構は、装置本体 (筐体内) で、固視標を移動させる駆動機構であってもよい。また、固視標を装置本体で移動させずに、装置本体 (筐体) と、被検眼 E との相対位置を変更するための機構であってもよい。例えば、装置本体を、X Y 方向 (上下左右方向) に移動させる駆動機構 (例えば、図 1 のアライメント移動機構 60) であってもよいし、被検者の顔を支持する顎台 65 (図 1 参照) を X Y 方向に移動させる駆動機構であってもよい。また、例えば、眼科測定装置 1 は、固視灯 51 a ~ 51 i に替えて、ディスプレイを有してもよい。制御部 100 によって、ディスプレイ上の固視目標 (例えば、図形、文字等) が移動されることで、被検眼 E の視線方向を誘導してもよい。

【0081】

また、上記実施形態において、固視光学系 50 によって被検眼の視線方向を光軸 L 1 に対して傾斜した状態に誘導する場合において、眼科測定装置 1 は、視線方向の傾斜量を調整できる構成を備えていてもよい。例えば、固視光学系 50 によって、光軸 L 1 (光軸 L 2) を中心とする各半径方向の異なる位置で、固視標が呈示されてもよい。この場合において、固視光学系 50 は、近傍固視灯 51 b ~ 51 i とは半径の異なる第 2 の近傍固視灯を、更に備える構成であってもよいし、固視標と被検眼との相対位置を光軸 L 1 (光軸 L 2) と交差する方向に変位させる駆動機構を備えた構成であってもよいし、固視灯 51 を上記のディスプレイに置き換えた構成であってもよい。例えば、制御部 100 が、固視光学系 50 を制御し、固視標の呈示位置を光軸 L 1 (光軸 L 2) から離れた位置にて、光軸 L 1 (光軸 L 2) を中心とする半径方向に切り替えることで、被検眼 E の視線方向の傾斜量が調整される。これにより、第 2 プルキンエ像 R p を、他の指標像とより好適に分離できる可能性が高まる。このような視線方向の傾斜量調整は、例えば、検者の操作に基づいて実行されてもよい。このとき、例えば、撮像光学系 20 で撮像される第 1 プルキンエ像 R a および第 2 プルキンエ像 R p をモニタ 50 に表示してもよい。検者は、モニタ 50 に表示される各プルキンエ像 R a , R p の分離の程度を確認しながら、操作部 80 を介して、傾斜量の変更を装置に指示する。制御部 100 は、操作部 80 から入力される信号に基づいて、被検眼 E における視線方向の傾斜量を調整し、更に、調整後の傾斜量に基づいて、角膜前面 E c 1 に関する情報、および角膜後面 E c 2 に関する情報を取得する。

【0082】

また、上記実施形態では、第 2 プルキンエ像の検出が、撮像素子 27 によって撮像される画像そのものから行われる場合について説明した。しかし、撮像素子 27 によって撮像された画像を、更に加工等した画像から、第 2 プルキンエ像 R p が検出されてもよい。例えば、複数枚の画像を撮像したうえで、これらの画像の加算画像を生成し、加算画像に対して第 2 プルキンエ像 R p の検出処理が行われるようにしても良い。複数枚の画像が加算されることで、明確な第 2 プルキンエ像を含む加算画像が得られるので、第 2 プルキンエ像 R p の検出が良好に行われやすくなる。なお、第 1 プルキンエ像 R a についても、加算

画像から検出されてもよい。

【 0 0 8 3 】

また、第 2 ブルキンエ像 R p を検出するための画像の撮像時には、ケラト投影光学系 1 0 以外の光学系（例えば、アライメント投影光学系 3 0、第 2 測定光学系 4 2）等によって被検眼 E に照射される光を抑制することが好ましい。なお、このとき、第 2 ブルキンエ像が撮像されればよく、前眼部の各部位については、画像内で確認できないものであってもよい。つまり、第 2 ブルキンエ像 R p を検出するための画像は、必ずしも前眼部像に限られるものではない。

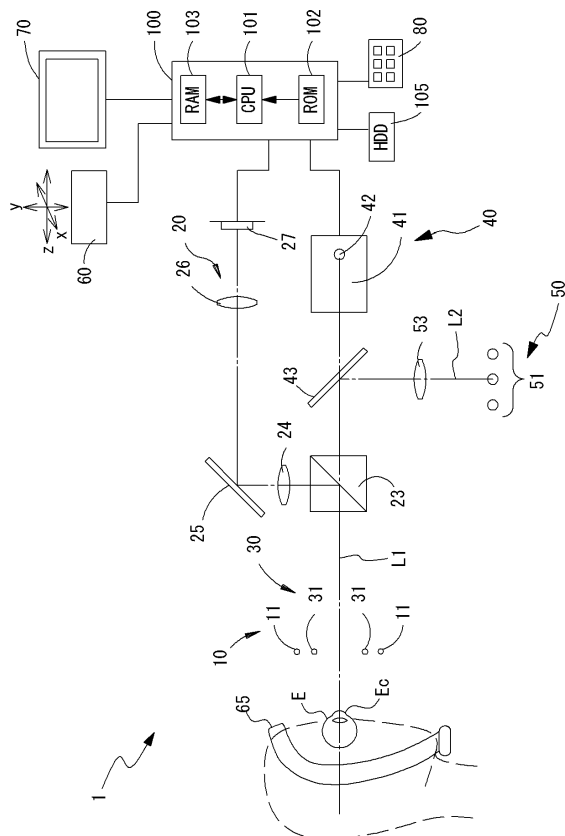
【符号の説明】

【 0 0 8 4 】

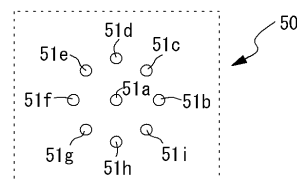
1 0	ケラト投影光学系
2 0	撮像光学系
2 7	撮像素子
3 0	アライメント投影光学系
5 0	固視光学系
1 0 0	制御部
R a	第 1 ブルキンエ像
R p	第 2 ブルキンエ像

10

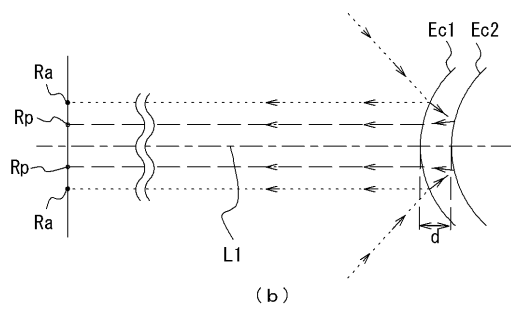
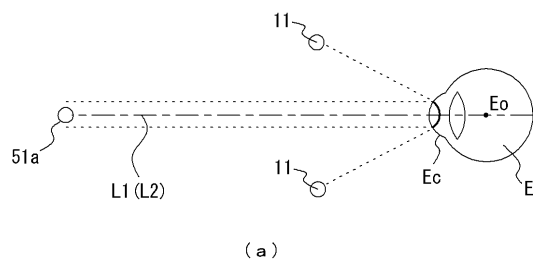
【 図 1 】



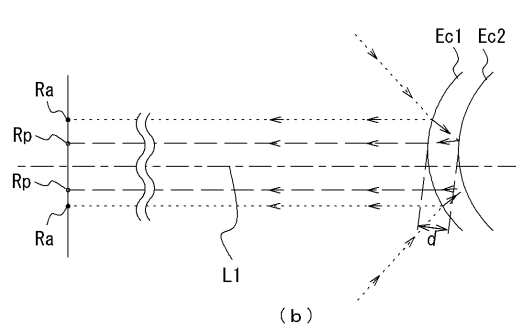
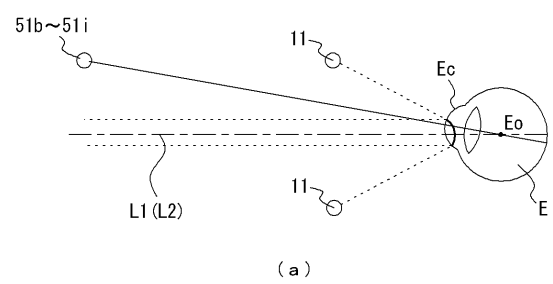
【 図 2 】



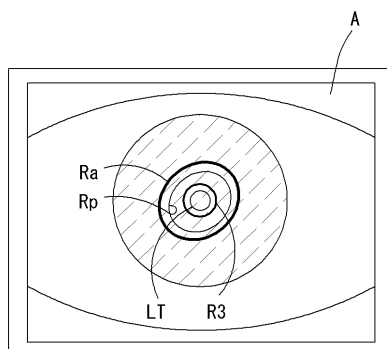
【 図 3 】



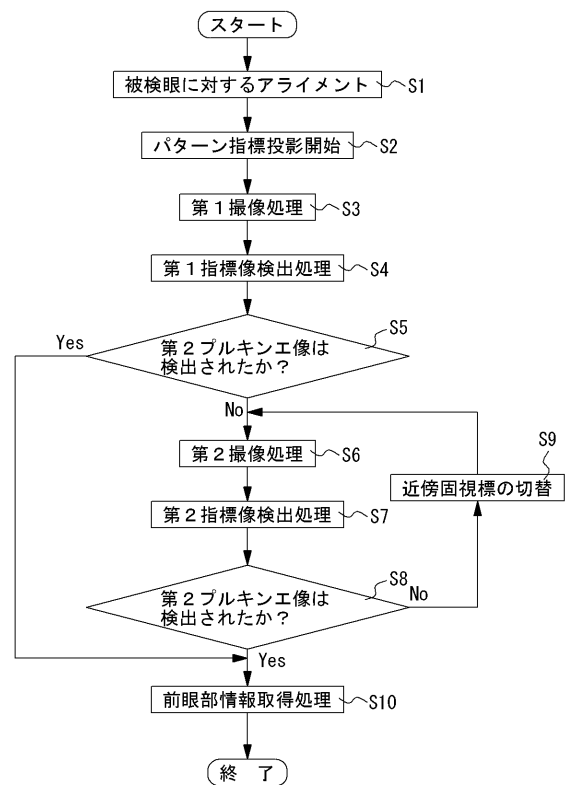
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-245546(JP,A)
特表平10-500033(JP,A)
米国特許第05475452(US,A)
特開2002-200045(JP,A)
米国特許出願公開第2011/0105943(US,A1)
米国特許出願公開第2011/0273669(US,A1)
特表2014-533149(JP,A)
特開平07-128579(JP,A)
特開2014-79494(JP,A)
特開2011-156059(JP,A)
特開2007-215956(JP,A)
特開昭62-57534(JP,A)
特開昭59-28945(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 3/00 - 3/18