

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7608944号  
(P7608944)

(45)発行日 令和7年1月7日(2025.1.7)

(24)登録日 令和6年12月23日(2024.12.23)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 B 3/103(2006.01) A 6 1 B 3/103

A 6 1 B 3/135(2006.01) A 6 1 B 3/135

請求項の数 5 (全28頁)

(21)出願番号	特願2021-61515(P2021-61515)	(73)特許権者	000135184
(22)出願日	令和3年3月31日(2021.3.31)		株式会社ニデック
(65)公開番号	特開2022-157348(P2022-157348 A)		愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4
(43)公開日	令和4年10月14日(2022.10.14)	(72)発明者	滝井 通浩
審査請求日	令和6年2月27日(2024.2.27)		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	片岡 暁
			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	廣藤 諒佑
			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	廣崎 拓登

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 眼科装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検眼の眼屈折力を取得するための眼屈折力測定光学系と、  
前記被検眼の前眼部に向けて測定光を投光し、前記測定光の投光光軸に対して、前記測定光の戻り光を斜め方向から検出することで、前記被検眼の前眼部断面画像を取得するための断面画像撮影光学系と、  
前記前眼部断面画像を解析し、前記前眼部の形状に関する形状情報であって、複数のパラメータを含む形状情報を取得する形状情報取得手段と、  
前記眼屈折力測定光学系と、前記断面画像撮影光学系と、を制御し、前記眼屈折力と前記複数のパラメータとに基づいて、前記被検眼の眼軸長を取得する眼軸長取得手段と、  
を備え、  
前記眼軸長取得手段は、前記複数のパラメータの測定値を使用して導出される第 1 眼軸長と、前記複数のパラメータの一部の測定値を置き換えた仮定値を使用して導出される第 2 眼軸長と、を取得することを特徴とする眼科装置。

【請求項 2】

請求項 1 の眼科装置において、  
前記複数のパラメータの少なくとも 1 つの良否を判定する判定手段と、  
前記判定手段の判定結果に基づいて、前記第 1 眼軸長と前記第 2 眼軸長の少なくともいずれかの導出を選択する選択手段と、  
を備えることを特徴とする眼科装置。

**【請求項 3】**

請求項 2 の眼科装置において、

前記判定手段は、前記複数のパラメータの信頼性を評価するための評価情報に基づいて、前記複数のパラメータの良否を判定することを特徴とする眼科装置。

**【請求項 4】**

請求項 2 の眼科装置において、

前記眼軸長取得手段は、複数の前記前眼部断面画像を取得し、

前記判定手段は、前記前眼部断面画像毎に、対応する複数のパラメータの良否を判定し、

前記選択手段は、前記複数の前眼部断面画像に対応する前記複数のパラメータの良否に基づいて、前記第 1 眼軸長と前記第 2 眼軸長の導出を選択することを特徴とする眼科装置。

10

**【請求項 5】**

請求項 2 ～ 4 のいずれかの眼科装置において、

前記眼軸長取得手段は、前記判定手段の判定結果に基づいて、前記断面画像撮影光学系における前記測定光の光量を調整し、

前記形状情報取得手段は、前記眼軸長取得手段による前記光量の調整後に取得された前眼部断面画像を解析し、調整後の複数のパラメータを取得し、

前記判定手段は、前記調整後の複数のパラメータの良否を判定することを特徴とする眼科装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】**

20

**【0001】**

本開示は、被検眼の眼軸長を取得する眼科装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

被検眼における前眼部の透光体を光切断する形で照明し、前眼部断面画像を撮影する眼科装置が知られている。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0003】**

【文献】特開 2019 - 134907 号公報

30

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

上述の眼科装置では、被検眼の前眼部断面画像が適切に撮影されないことがある。例えば、被検者の瞼や睫毛が映り込んだ場合は、これらの影が前眼部断面画像に現れることがある。また、睫毛に照明光が反射した反射像が前眼部断面画像に現れることがある。例えば、被検眼の瞳孔状態が適切でなかった場合は、照明光の戻り光がけられてしまうために、前眼部の深さ方向の撮影範囲が変化することがある。

**【0005】**

一方で、近年は若年層を中心とする近視有病率の増加が顕著であり、眼軸長に基づく近視進行の評価が注目されている。発明者らは、被検眼の眼屈折力と前眼部断面画像を共に取得し、これらに基づいて眼軸長を取得する装置構成を検討した。しかし、このような装置構成においても、前眼部断面画像が適切に撮影されなければ、眼軸長の取得は難しい。

40

**【0006】**

本開示は、上記の事情に鑑みてなされたものであり、前眼部断面画像を適切に取得し、眼軸長を精度よく取得できる眼科装置を提供することを技術課題とする。

**【課題を解決するための手段】****【0007】**

本開示の眼科装置は、被検眼の眼屈折力を取得するための眼屈折力測定光学系と、前記被検眼の前眼部に向けて測定光を投光し、前記測定光の投光光軸に対して、前記測定光の

50

戻り光を斜め方向から検出することで、前記被検眼の前眼部断面画像を取得するための断面画像撮影光学系と、前記前眼部断面画像を解析し、前記前眼部の形状に関する形状情報であって、複数のパラメータを含む形状情報を取得する形状情報取得手段と、前記眼屈折力測定光学系と、前記断面画像撮影光学系と、を制御し、前記眼屈折力と前記複数のパラメータとに基づいて、前記被検眼の眼軸長を取得する眼軸長取得手段と、を備え、前記眼軸長取得手段は、前記複数のパラメータの測定値を使用して導出される第1眼軸長と、前記複数のパラメータの一部の測定値を置き換えた仮定値を使用して導出される第2眼軸長と、を取得することを特徴とする。

【図面の簡単な説明】

【0008】

10

【図1】眼科装置の外観図である。

【図2】眼科装置の光学系を示す概略図である。

【図3】被検眼の視感度と波長の関係を表す模式図である。

【図4】撮像素子の受光感度と波長の関係を表す模式図である。

【図5】固視標呈示光学系を簡略化した模式図である。

【図6】視標投影光学系を簡略化した模式図である。

【図7】眼科装置の制御動作を示すフローチャートである。

【図8】被検眼が縮瞳していない状態で撮影された適切な断面画像である。

【図9】被検眼が縮瞳した状態で撮影された適切でない断面画像である。

【図10】適切な断面画像に対応する輝度値の変化である。

20

【図11】適切でない断面画像に対応する輝度値の変化である。

【図12】眼軸長の導出手法を説明するための模式図である。

【図13】眼軸長の経時変化を表す一例である。

【図14】経線方向の屈折度数を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

「概要」

本開示の実施形態に係る眼科装置の概要について説明する。以下の<>にて分類された項目は、独立又は関連して利用されうる。なお、本実施形態において、「共役」とは、必ずしも完全な共役関係に限定されるものではなく、「略共役」を含むものとする。すなわち、本実施形態の「共役」には、各部の技術意義との関係で許容される範囲で、完全な共役位置からずれて配置される場合についても含まれる。

30

【0010】

本実施形態の眼科装置は、被検眼の眼軸長を取得することが可能な装置である。例えば、眼科装置は、眼軸長の測定に利用される光学系、形状情報取得手段、眼軸長取得手段、等を有してもよい。また、例えば、眼科装置は、判定手段、選択手段、等を有してもよい。

【0011】

<眼屈折力測定光学系>

本実施形態の眼科装置は、眼屈折力測定光学系（例えば、測定光学系100）を有してもよい。眼屈折力測定光学系は、被検眼の眼屈折力を取得するための光学系である。例えば、被検眼の眼底に対して測定光（第1測定光）を投光し、眼底にて測定光が反射された反射光に基づいて、眼屈折力を取得するための構成を備えてもよい。なお、第1測定光は、可視光であってもよいし、赤外光であってもよい。

40

【0012】

眼屈折力測定光学系は、他覚式眼屈折力測定装置（オートレフラクトメータ及び波面センサ等）にて用いられる測定光学系であってもよい。眼屈折力測定光学系における第1測定光の投光光軸は、後述の断面画像撮影光学系にて形成される光切断面の面上に配置されてもよい。このために、眼屈折力測定光学系を用いて、前眼部の光切断面上での眼屈折力（面上眼屈折力）が取得される。もちろん、眼屈折力測定光学系は、他の面上での眼屈折力を取得することが可能であってもよい。

50

## 【 0 0 1 3 】

## &lt; 断面画像撮影光学系 &gt;

本実施形態の眼科装置は、断面画像撮影光学系（例えば、断面撮影光学系）を有してもよい。断面画像撮影光学系は、被検眼の前眼部断面画像を取得するための光学系である。例えば、被検眼の前眼部に向けて測定光を投光し、測定光の投光光軸に対して、測定光の散乱による戻り光（散乱光）を斜め方向から検出することで、前眼部断面画像を取得するための構成を備えてもよい。また、例えば、被検眼の前眼部に対して測定光（第2測定光）を投光し、前眼部に眼屈折力測定光学系の光軸を通る光切断面を形成させると共に、第2測定光の光切断面からの散乱光に基づいて、前眼部断面画像を取得するための構成を備えてもよい。なお、測定光（第2測定光）は、可視光であってもよいし、赤外光であってもよい。

10

## 【 0 0 1 4 】

断面画像撮影光学系は、シャインブルーフの原理に基づく光学系であってもよい。この場合、眼屈折力測定光学系における第1測定光の投光光軸と、断面画像撮影光学系における第2測定光の投光光軸と、が同軸に配置されてもよい。また、この場合、断面画像撮影光学系において、第2測定光はスリット光として投光されてもよい。例えば、スリット光の照射領域が、前眼部の光切断面として設定される。また、この場合、断面画像撮影光学系は、前眼部に形成された光切断面とシャインブルーフの関係で配置されたレンズ系および光検出器を有してもよい。第2測定光の受光光軸は、光切断面に対して傾斜するように配置される。

20

## 【 0 0 1 5 】

なお、断面画像撮影光学系による前眼部断面画像の撮影範囲には、被検眼の角膜前面から少なくとも水晶体前面までが含まれていることが好ましい。いうまでも無く、角膜前面から水晶体後面までが含まれていれば、更に好ましい。この場合は、角膜厚、角膜前面曲率半径、角膜後面曲率半径、前房深度、水晶体厚、水晶体前面曲率半径、および、水晶体後面曲率半径を、漏れなく取得できるため、眼軸長をより適正に求めることができる。

## 【 0 0 1 6 】

## &lt; 形状情報取得手段 &gt;

本実施形態の眼科装置は、形状情報取得手段（例えば、制御部50）を備えてもよい。形状情報取得手段は、前眼部断面画像を解析することによって、前眼部の形状に関する形状情報であって、複数のパラメータを含む形状情報を取得する。例えば、形状情報は、前眼部に含まれる透光体の形状を特定することが可能な情報であればよい。一例として、各々の透光体が位置する座標、各々の透光体の形状を表す方程式及び方程式から求められる値（例えば、曲率、厚み、深度、等）、等であってもよい。

30

## 【 0 0 1 7 】

形状情報に含まれる複数のパラメータは、角膜の形状に関するパラメータを含んでもよい。例えば、角膜前面の曲率半径、角膜後面の曲率半径、角膜厚、等が挙げられる。また、複数のパラメータは、水晶体の形状に関するパラメータを含んでもよい。例えば、水晶体前面の曲率半径、水晶体後面の曲率半径、水晶体厚、等が挙げられる。また、複数のパラメータは、前眼部の深度に関するパラメータを含んでもよい。例えば、前房深度等が挙げられる。

40

## 【 0 0 1 8 】

なお、形状情報取得手段が解析した前眼部断面画像からは、透光体におけるより多くのパラメータ（言い換えると、測定値）が取得されることが望ましいが、解析結果としてパラメータが得られない場合、パラメータが正確でない場合、等もある。これは、例えば、被検者の瞼や睫毛の映り込みによって起こり得る。また、例えば、被検眼の前眼部の状態（一例として、瞳孔状態等）によって変化し得る。これらの影響により、前眼部断面画像を適切に取得できていない際には、有効なパラメータと有効でないパラメータが混在し得る。しかし、本実施例では、後述の眼軸長取得手段が、有効なパラメータの測定値と、有効でないパラメータの測定値を置き換えた仮定値と、を使用した眼軸長（第2眼軸長）を

50

導出することによって、眼軸長を適切に取得することができる。もちろん、形状情報取得手段がすべてのパラメータの測定値を有効に得た場合は、各々の測定値のみを使用した眼軸長（第1眼軸長）を導出することもできる。

【0019】

<眼軸長取得手段>

本実施形態の眼科装置は、眼軸長取得手段（例えば、制御部50）を備えてもよい。例えば、眼軸長取得手段は、画像処理部、眼軸長取得部、及び演算制御部、等を兼ねてもよい。

【0020】

眼軸長取得手段は、眼屈折力測定光学系を用いた眼屈折力の取得を制御することによって、被検眼の眼屈折力を取得してもよい。より詳細には、眼屈折力測定光学系における第1測定光の投光と、第1測定光の眼底反射光の光検出器による検出と、を制御することによって、被検眼の眼屈折力を取得してもよい。

10

【0021】

また、眼軸長取得手段は、断面画像撮影光学系を用いた前眼部断面画像の取得を制御することによって、被検眼の前眼部断面画像を取得してもよい。より詳細には、断面画像撮影光学系における第2測定光の投光と、第2測定光の戻り光（散乱光）の光検出器による検出と、を制御することによって、被検眼の前眼部断面画像を取得してもよい。

【0022】

なお、眼軸長取得手段は、断面画像撮影光学系において、第2測定光を連続的に投光し、複数枚の前眼部断面画像を取得してもよい。この場合、眼軸長取得手段は、第2測定光の投光とその戻り光の検出をリアルタイムに実行し、前眼部断面画像を動画像として撮像することで、複数枚の前眼部断面画像を取得してもよい。また、この場合、測定手段は、第2測定光の投光とその戻り光の検出を所定の時間間隔毎（一例として、1秒間隔毎、等）に実行し、前眼部断面画像を静止画像として撮像することで、複数枚の前眼部断面画像を取得してもよい。

20

【0023】

眼軸長取得手段は、眼屈折力と、形状情報取得手段が前眼部断面画像を解析することで取得した形状情報に含まれる複数のパラメータと、に基づいて被検眼の眼軸長を取得してもよい。眼軸長取得手段が取得する眼軸長には、複数のパラメータとして、各々の測定値を使用して導出される第1眼軸長が含まれてもよい。つまり、各々の測定値を置き換えた仮定値を使用せずに導出される第1眼軸長が含まれてもよい。また、眼軸長には、複数のパラメータとして、一部に仮定値を使用して導出される第2眼軸長が含まれてもよい。つまり、測定値及び仮定値を使用して導出される第2眼軸長が含まれてもよい。なお、眼軸長取得手段は、検者による操作手段（例えば、モニタ16）の操作によって入力される操作信号に基づいて、第1眼軸長と第2眼軸長の一方又は双方を導出するかを選択してもよい。また、後述する選択手段の選択結果に基づいて、第1眼軸長と第2眼軸長の一方又は双方を導出するかを選択してもよい。

30

【0024】

例えば、眼軸長取得手段は、形状情報取得手段が取得した形状情報における複数のパラメータのうち、一部の有効でないパラメータを、測定値から仮定値に変更してもよい。例えば、仮定値は、所定の眼光学モデル（一例として、グルストランド模型眼等）にて採用される標準値であってもよい。また、眼に関する統計データ等に基づいた平均値であってもよい。また、有効なパラメータの測定値と、眼内における角膜前後面や水晶体前後面の一般的な比率と、を考慮して求めることが可能な推定値であってもよい。また、眼科装置及び眼科装置とは異なる装置の少なくともいずれかによって過去に取得された被検眼の測定値であってもよい。標準値や平均値は、年齢、性別、地域、等のうちの少なくともいずれか毎に複数用意されていてもよく、眼軸長をどの値に基づいて求めるかを、検者が選択可能としてもよい。

40

【0025】

50

例えば、眼軸長取得手段は、眼屈折力及び複数のパラメータに基づいて、眼軸長を取得してもよい。例えば、眼屈折力及び複数のパラメータに基づき、光線追跡演算によって、眼軸長を導出してもよい。光線追跡演算では、遠点から前眼部の所定位置に入射する光線が透光体によって屈折された後に光軸上に交わるときの、交点と角膜頂点との間隔が、眼軸長として導出される。このとき、眼科分野において遠点を特定するとき一般的に用いられている等価球面度数ではなく、光切断面での眼屈折力（面上眼屈折力）が利用されてもよい。これにより、切断面上を通過する光線における遠点の位置が、より適正に特定される。結果として、眼軸長をより適正に求めることができる。このとき、複数の光線のそれぞれについて光線追跡演算を行い、各光線の光線追跡演算の結果として、眼軸長を求めてもよい。例えば、それぞれの光線追跡演算で得られた眼軸長の平均値（加重平均でも良い）が、被検眼の眼軸長として求められてもよい。

10

#### 【0026】

なお、光線追跡演算では、各透光体の境界面に対する光線の入射位置および境界面での角度変化が、前眼部情報から特定される切断面での透光体の形状を考慮して決定されてもよい。また、光線追跡演算では、前眼部の透光体の偏心が考慮されてもよい。偏心は、前眼部情報に基づいて特定される。切断面内の透光体の偏心が考慮される結果として、眼軸長をより適正に求めることができる。この場合において、例えば、第1の光線と第2の光線とを少なくとも含む複数の光線のそれぞれについて光線追跡演算を行い光線毎に眼軸長を求め、複数の眼軸長に基づいて、最終的な測定値を求めてもよい。第1の光線と第2の光線とは、切断面上において、眼軸を挟んで配置される光線である。

20

#### 【0027】

本実施形態において、眼軸長取得手段は、前眼部断面画像に基づいて、断面画像撮影光学系における第2測定光の光量を調整してもよい。より詳細には、被検眼に対する前眼部断面画像（第1前眼部断面画像）を取得し、この前眼部断面画像が解析に不適切とされた場合に、第2測定光の光量を調整して、再び前眼部断面画像（第2前眼部断面画像）を取得してもよい。また、本実施形態において、眼軸長取得手段は、前眼部断面画像に基づいて、断面画像撮影光学系における光検出器の検出条件を調整してもよい。より詳細には、第1前眼部断面画像を取得し、第1前眼部断面画像が解析に不適切とされた場合に、光検出器の検出条件を調整して、第2前眼部断面画像を取得してもよい。これによって、前眼部断面画像に基づく複数のパラメータとして適切な値を取得できる可能性が高くなり、結果として眼軸長の精度が向上される。

30

#### 【0028】

例えば、眼軸長取得手段は、第2前眼部断面画像から検出される各透光体の輝度情報が、飽和状態とならない所定の範囲内で、第2測定光の光量を調整してもよい。この場合、眼軸長取得手段は、光源における出力の設定値を増加又は減少させてもよいし、光源から投光される第2測定光の光路内にて光学部材を挿抜させてもよい。なお、一例として、所定の範囲は、光検出器の検出感度やゲイン等に基づいて、予め設定されていてもよい。また、例えば、眼軸長取得手段は、第2前眼部断面画像から検出される各透光体の輝度情報が、飽和状態とならない所定の範囲内で、光検出器の検出条件を調整してもよい。この場合、眼軸長取得手段は、光検出器の露光時間、ゲイン、等の少なくともいずれかを変更してもよい。

40

#### 【0029】

眼軸長取得手段は、眼屈折力の取得と前眼部断面画像の取得を並行して実行してもよい。この場合、取得手段は、被検眼に対して双方の光学系から測定光を投光した状態で、眼屈折力測定光学系が有する光検出器の検出タイミングと、断面画像撮影光学系が有する光検出器の検出タイミングと、を同一タイミング（並行）としてもよい。なお、ここでいう同一とは、それぞれの検出タイミングが完全に同時であることは、必ずしも要求されない。例えば、それぞれの検出タイミングの間に、被検眼の状態（瞳孔状態や調節状態）に有意な差が生じない程度の時間差が存在してもよい。

#### 【0030】

50

本実施形態において、眼軸長取得手段は、眼屈折力測定光学系と断面画像撮影光学系を制御し、被検眼に雲霧を付加した状態で、眼屈折力および断面画像を取得してもよい。また、被検眼に雲霧が付加された状態で取得された前眼部断面画像に基づいて、第1眼軸長及び第2眼軸長を取得してもよい。これによって、被検眼の前眼部を適切な状態（つまり、雲霧掛けで調節が解除された状態）にして得た前眼部断面画像から、各々のパラメータを取得することができる。更に、測定値として有効でないパラメータが存在する場合には、これを仮定値に置き換えることで、良好に眼軸長を導出できる。

#### 【0031】

##### <判定手段>

本実施形態の眼科装置は、判定手段（例えば、制御部50）を備えてもよい。判定手段は、前眼部断面画像に基づく複数のパラメータの少なくとも1つの良否を判定してもよい。例えば、判定手段は、前眼部断面画像が解析に適しているか否かを判定することによって、パラメータの良否を判定してもよい。つまり、前眼部断面画像が不適切であれば、測定値を得ることなくパラメータを良好でないとし、みなしてもよい。また、例えば、判定手段は、前眼部断面画像に基づく複数のパラメータの測定値が適切か否かを判定することによって、パラメータの良否を判定してもよい。これによって、複数のパラメータの測定値が得られない場合や、測定値が正確でない場合であっても、適切な値が取得されやすくなる。

#### 【0032】

例えば、判定手段は、前眼部断面画像における被検者の瞼や睫毛の映り込みの有無に基づいて、複数のパラメータの少なくとも1つの良否を判定してもよい。また、例えば、判定手段は、前眼部断面画像における各透光体の水平方向の検出幅に基づいて、複数のパラメータの少なくとも1つの良否を判定してもよい。また、例えば、判定手段は、被検眼の瞳孔情報に基づいて、複数のパラメータの少なくとも1つの良否を判定してもよい。もちろん、これらの組み合わせから、複数のパラメータの少なくとも1つの良否を判定してもよい。

#### 【0033】

なお、被検眼の瞳孔状態とは、縮瞳及び散瞳の有無を把握することが可能な情報であればよい。例えば、瞳孔径、或いは、瞳孔径に基づいて縮瞳又は散瞳の有無を判定した判定結果、等が用いられてもよい。この場合、複数のパラメータの測定値を有効とみなせるか否かが、瞳孔情報に対応付けられていてもよい。一例として、複数のパラメータのうち、測定値として有効な値が、縮瞳や散瞳の有無に応じて選択されてもよい。また、一例として、複数のパラメータのうち、測定値として有効な値が、縮瞳や散瞳の程度に応じて選択されてもよい。

#### 【0034】

本実施形態において、判定手段は、前眼部断面画像の輝度情報に基づいて、前眼部の形状情報に含まれる複数のパラメータの少なくとも1つの良否を判定してもよい。例えば、前眼部断面画像における輝度情報の変化を利用して、複数のパラメータの良否を判定してもよい。なお、輝度情報は、輝度、諧調、濃淡、等の少なくともいずれかで表される情報であってもよい。これによって、パラメータの測定値が有効か否かが、被検眼の瞬きの有無、縮瞳の有無や程度、等を考慮して、容易に把握される。

#### 【0035】

また、本実施形態において、判定手段は、前眼部の形状情報に含まれる複数のパラメータの信頼性を評価するための評価情報に基づいて、複数のパラメータの少なくとも1つの良否を判定してもよい。複数のパラメータの信頼性は、各透光体におけるパラメータとしての測定値が、適切に取得されたか否かを表すことが可能なものであればよい。

#### 【0036】

例えば、このような信頼性は、前眼部断面画像の輝度情報に基づいて取得されてもよい。この場合、一例としては、瞼や睫毛の映り込みの有無、瞳孔状態、前眼部断面画像における各透光体の水平方向の検出幅、等の少なくともいずれかを、信頼性を表す情報として取得してもよい。また、例えば、このような信頼性は、前眼部断面画像の輝度情報とは異

10

20

30

40

50

なる情報に基づいて取得されてもよい。この場合、一例としては、被検眼と断面画像撮影光学系のアライメント関係を、信頼性を表す情報として取得してもよい。

【0037】

なお、信頼性の評価のための評価情報は、評価記号、評価値、等として取得されてもよい。評価情報は、信頼性の有無で二極化された情報であってもよいし、信頼性の程度に応じた段階的な情報であってもよい。

【0038】

例えば、判定手段は、各透光体にて取得される評価情報と、パラメータの良否と、を対応付けた対応表を利用することによって、評価情報を取得してもよい。また、例えば、判定手段は、各透光体にて取得される評価情報と、パラメータの良否と、を対応付けた演算式を利用することによって、評価情報を取得してもよい。対応表や演算式の係数は、実験やシミュレーション等から予め設定されていてもよい。

【0039】

本実施形態において、判定手段は、前眼部断面画像毎に複数の形状情報が存在する場合に、各パラメータの良否を判定してもよい。判定手段は、透光体毎に得られたパラメータのそれぞれの良否を判定してもよいし、透光体毎に得られたパラメータを平均化してその良否を判定してもよい。なお、この場合、判定手段は、複数の前眼部断面画像から外れ値をもつ画像を除外し、残りの前眼部断面画像に対して、パラメータの良否を判定してもよい。例えば、外れ値をもつ前眼部断面画像は、前眼部の形状情報に含まれる複数のパラメータを取得できない画像であってもよい。一例としては、被検眼の瞬きや縮瞳によって透光体の一部が欠けた画像、透光体の水平方向の検出幅が短い画像、全体の輝度情報が不足した暗い画像、等の少なくともいずれかであってもよい。例えば、これらの前眼部断面画像は、統計学的な処理によって除外されてもよい。これによって、眼軸長の精度がより向上される。

【0040】

< 選択手段 >

本実施形態の眼科装置は、選択手段（例えば、制御部50）を備えてもよい。選択手段は、判定手段の判定結果に基づいて、第1眼軸長と第2眼軸長の少なくともいずれかの導出を選択してもよい。例えば、選択手段は、1つの前眼部断面画像に対応する複数のパラメータの良否に基づいて、第1眼軸長と第2眼軸長の導出を選択してもよい。また、例えば、複数の前眼部断面画像の各々に対応する複数のパラメータの良否に基づいて、第1眼軸長と第2眼軸長の導出を選択してもよい。このために、被検眼の瞬きや縮瞳が影響して適切な前眼部断面画像が得られなかった場合であっても、正確な眼軸長を取得しやすくなる。

【0041】

< 出力手段 >

本実施形態の眼科装置は、出力手段（例えば、制御部50）を備えてもよい。出力手段は、眼内の寸法情報を出力してもよい。もちろん、出力手段は、眼内の寸法情報と共に、眼屈折力、前眼部断面画像、評価情報、等を合わせて出力してもよい。

【0042】

例えば、出力手段は、表示制御手段として機能し、眼内の寸法情報を表示手段（例えば、モニタ16）へ表示させてもよい。また、例えば、出力手段は、印刷制御手段として機能し、眼内の寸法情報を印刷手段（例えば、プリンタ）に印刷させてもよい。また、例えば、出力手段は、通信手段として機能し、眼内の寸法情報を記憶手段（例えば、メモリやサーバ）に記憶させてもよい。出力手段は、これらの少なくともいずれかの出力形態で、眼内の寸法情報を出力してもよい。

【0043】

例えば、眼内の寸法情報は、眼軸長であってもよい。また、例えば、眼内の寸法情報は、前眼部の形状情報（つまり、角膜前後面の曲率半径、角膜厚、水晶体前後面の曲率半径、水晶体厚、前房深度、等の少なくともいずれか）であってもよい。なお、出力手段が出

10

20

30

40

50



力する眼内の寸法情報には、前眼部の形状情報におけるパラメータの測定値に基づいて取得された第1寸法情報が含まれてもよい。例えば、これには、第1眼軸長が含まれる。また、眼内の寸法情報には、前眼部の形状情報におけるパラメータの測定値及び仮定値に基づいて取得された第2寸法情報が含まれてもよい。例えば、これには、第2眼軸長が含まれる。

#### 【0044】

出力手段は、眼内の寸法情報として、第1寸法情報と第2寸法情報を区別可能に出力してもよい。より詳細には、複数のパラメータにおける測定値のみに基づいて導出された第1寸法情報と、複数のパラメータにおける測定値及び仮定値に基づいて導出された第2寸法情報と、区別可能に出力してもよい。

10

#### 【0045】

出力手段は、被検眼に対して過去に取得された眼内の寸法情報が存在する場合、眼内の寸法情報（第1寸法情報と第2寸法情報の少なくともいずれか）の経時変化を出力してもよい。すなわち、取得日が異なる2つ以上の寸法情報を用いて、その経時変化を出力してもよい。眼内の寸法情報の経時変化は、時系列毎に寸法情報をまとめた情報として出力されてもよい。一例としては、表やグラフで出力されてもよい。これによって、経時変化にともなう傾向を把握しやすくなり、経過観察が効率的に行われる共に、眼軸長に基づく近視進行を評価しやすくなる。

#### 【0046】

##### 「実施例」

20

本実施形態における眼科装置の一実施例について説明する。

#### 【0047】

##### <全体構成>

図1は、眼科装置10の外観図である。眼科装置10は、他覚式眼屈折力測定装置（特に、本実施例では、オートレフラクトメータ）と、シャインブルーフカメラと、の複合機である。本実施例において、眼科装置10は、据え置き型の検査装置であるが、必ずしもこれに限られるものではなく、手持ち型であってもよい。

#### 【0048】

眼科装置10は、測定ユニット11、基台12、アライメント駆動部13、顔支持ユニット15、モニタ16、及び、演算制御部50、を少なくとも有している。

30

#### 【0049】

測定ユニット11は、被検眼の検査に利用される測定系及び撮影系等を備える。本実施例では、図2に示す光学系が配置されている。

#### 【0050】

アライメント駆動部13は、測定ユニット11を基台12に対して3次元的に移動可能であってもよい。

#### 【0051】

顔支持ユニット15は、測定ユニット11の正面において被検者の顔を固定するために利用される。顔支持ユニット15は、基台12に対して固定されており、被検者の顔を支持する。

40

#### 【0052】

モニタ16は、操作部を兼ねたタッチパネルとして機能する。また、モニタ16は、被検眼Eの眼屈折力、前眼部断面画像、眼軸長、等を画面に表示する。

#### 【0053】

演算制御部50（プロセッサともいう。以下、単に、制御部50と称する。）は、眼科装置10の全体の制御を司る。また、測定ユニット11を介して取得された各種の検査結果を処理する。

#### 【0054】

##### <光学系>

図2は、眼科装置10の光学系を示す概略図である。一例として、眼科装置10は、測

50

定光学系 100、固視標呈示光学系 150、正面撮影光学系 200、断面撮影光学系（照射光学系 300a 及び受光光学系 300b、指標投影光学系 400、及び、アライメント指標投影光学系を備える。また、各光学系の光路を分岐及び結合するハーフミラー 501、502、503、対物レンズ 505、等を有する。なお、各々の光学系においては、光源側を上流、被検眼側を下流とする。

【0055】

<測定光学系>

測定光学系 100 は、被検眼 E の眼屈折力を他覚的に測定するために利用される。例えば、SPH：球面度数、CYL：柱面度数、AXIS：乱視軸角度、の各値が、眼屈折力の測定結果として取得されてもよい。

【0056】

測定光学系 100 は、投影光学系 100a、及び、受光光学系 100b を有する。

【0057】

投影光学系 100a は、少なくとも測定光源 111 を有し、被検眼 E における瞳孔の中心部又は角膜頂点を介して、被検眼 E の眼底にスポット状の測定光を投影する。測定光源 111 は、SLD 光源であってもよいし、LED 光源であってもよいし、その他の光源であってもよい。本実施例では、測定光として赤外光が利用される。例えば、800nm～900nm の間にピーク波長をもつ近赤外光が利用されてもよい。一例としては、870nm をピーク波長とする近赤外光が利用されてもよい。

【0058】

本実施例では、投影光学系 100a 及び受光光学系 100b の共通経路上にプリズム 115 が配置される。プリズム 115 が光軸周りに回転されることによって、瞳上での投影光束が高速に偏心回転される。一例として、本実施例では、瞳上の 2mm～4mm の領域で、投影光束が偏心回転される。この領域が、本実施例における眼屈折力の測定領域となる。

【0059】

受光光学系 100b は、少なくともリングレンズ 124 と、撮像素子 125 と、を有する。受光光学系 100b は、眼底から反射された測定光束の反射光束を、瞳孔の周辺部を介してリング状に取り出す。リングレンズ 124 は、瞳孔共役位置に配置されており、撮像素子 125 は、眼底共役位置に配置されている。リングレンズ 124 を介して撮像素子 125 上に形成されるリング像を解析することによって、眼屈折力が導出される。

【0060】

前述の通り、本実施例では、瞳上で測定光が高速に偏心回転されているので、回転周期に対して十分長い時間の露光に基づく撮像素子 125 からの出力画像、或いは、撮像素子 125 から逐次出力される画像データの加算画像、に対して解析処理が行われ、眼屈折力が導出される。本実施例では、SPH：球面度数、CYL：柱面度数、AXIS：乱視軸角度の値が、解析処理の結果として少なくとも取得される。

【0061】

なお、測定光学系 100 は、測定光源 111、プリズム 115、リングレンズ 124、及び撮像素子 125 の他にも、レンズや絞り等の光学素子を有していてもよい。測定光源 111 からの測定光束は、ホールミラー 113 のホール部とプリズム 115 を通過し、ハーフミラー 502 及びハーフミラー 501 にそれぞれ反射されることで、光軸 L1 と同軸となり、更に対物レンズ 505 を介して、眼底に到達する。測定光束が眼底にて反射された反射光束は、測定光束が通過した光路を経由し、ホールミラー 123 のミラー部に反射され、リングレンズ 124 を介して撮像素子 125 に到達する。

【0062】

<固視標呈示光学系>

固視標呈示光学系 150 は、被検眼 E に対して固視標を呈示する。固視標は、測定光学系 100 の光軸上に呈示される。固視標呈示光学系 150 は、被検眼 E を固視させるために利用される。また、被検眼に雲霧及び調節負荷を与えるために利用される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 3 】

例えば、固視標呈示光学系 1 5 0 は、光源 1 5 1、及び、固視標板 1 5 5 を少なくとも備える。固視標板 1 5 5 は、眼底共役位置に配置されてもよい。光源 1 5 1 からの固視光束は、光軸 L 2 上の固視標板 1 5 5 とレンズ 1 5 6 を通過した後、ハーフミラー 5 0 3 を透過する。また、レンズ 5 0 4 を通過し、ハーフミラー 5 0 2 を透過し、ハーフミラー 5 0 1 に反射されることで、光軸 L 1 と同軸となる。固視光束は、更に対物レンズ 5 0 5 を介することで、眼底に到達する。

## 【 0 0 6 4 】

なお、測定光学系 1 0 0 における測定光源 1 1 1、リングレンズ 1 2 4、及び撮像素子 1 2 5 と、固視標呈示光学系 1 5 0 における光源 1 5 1 及び固視標板 1 5 5 は、駆動ユニット 1 6 0 として、駆動部 1 6 1 により光軸に沿って一体的に移動可能である。例えば、測定光学系 1 0 0 における駆動ユニット 1 6 0 内の焦点距離と、固視標呈示光学系 1 5 0 における駆動ユニット 1 6 0 内の焦点距離は、所定の関係とされる。例えば、被検眼 E の眼屈折力に応じて駆動ユニットを移動させることで、被検眼 E に対する固視標板 1 5 5 の呈示距離（すなわち、固視標の呈示位置）を変更でき、さらに、測定光源 1 1 1 及び撮像素子 1 2 5 が光学的に眼底共役となる。このとき、駆動ユニットの移動に関わらず、ホールミラー 1 1 3 とリングレンズ 1 2 4 は一定の倍率で瞳共役となる。

## 【 0 0 6 5 】

## &lt; 正面撮影光学系 &gt;

正面撮影光学系 2 0 0 は、被検眼 E の前眼部の正面画像を撮像するために利用される。例えば、正面撮影光学系 2 0 0 は、撮像素子 2 0 5 等を備える。撮像素子 2 0 5 は、瞳共役位置に配置されてもよい。正面画像としては、前眼部の観察画像が取得されてもよい。観察画像は、アライメント等に利用される。また、指標投影光学系 4 0 0 から角膜に投影される指標像（点像）、及び、アライメント指標投影光学系 6 0 0 から角膜に投影される指標像（マイヤーリング像）が、正面撮影光学系 2 0 0 によって撮影される。

## 【 0 0 6 6 】

## &lt; 断面撮影光学系 &gt;

断面撮影光学系は、前眼部の断面画像を撮影するために利用される。断面撮影光学系は、照射光学系 3 0 0 a と受光光学系 3 0 0 b と、を備える。

## 【 0 0 6 7 】

照射光学系 3 0 0 a は、測定光学系 1 0 0 における測定光の投光光軸（光軸 L 1 ）と同軸であり、前眼部に対してスリット光（照明光）を照射する。照射光学系 3 0 0 a は、光源 3 1 1 及びスリット 3 1 2 等を有する。光源 3 1 1 は、S L D 光源であってもよいし、L E D 光源であってもよいし、その他の光源であってもよい。本実施例では、照明光として赤色可視光又は近赤外光が利用される。例えば、6 5 0 n m ~ 8 0 0 n m の間にピーク波長をもつ赤色可視光又は近赤外光が利用されてもよい。一例としては、7 3 0 n m をピーク波長とする赤色可視光が利用されてもよい。もちろん、所定の波長をピーク波長とする近赤外光が利用されてもよい。スリット 3 1 2 は、瞳共役位置に配置されてもよい。

## 【 0 0 6 8 】

照射光学系 3 0 0 a の光源 3 1 1 について、詳細に説明する。図 3 は、被検眼の視感度と波長の関係を表す模式図である。被検眼は可視域に視感度をもつが、一般的に緑色可視光である 5 5 0 n m 付近で最大となり、波長が長くなるにつれて（赤外域に近づくほど）徐々に低下する。つまり、被検眼は、緑色可視光に眩しさを感じやすく、赤色可視光には眩しさを感じにくい。なお、赤外光には眩しさを感じないとされている。

## 【 0 0 6 9 】

従来は、前眼部の断面画像をシャインブルーの原理に基づいて取得する際に、青色可視光、緑色可視光、白色可視光、等が照明光として用いられてきた。これは、被検眼の透過率の影響で、白内障等が断面画像に現れやすいためであるが、被検者には照明光が眩しく負担となっていた。一方で、近年の若年層を中心とした近視有病率の増加にともない、若年層に対する眼軸長の測定は重要視されているが、若年層は白内障の可能性が低いため

10

20

30

40

50

、上記とは異なる光を照明光として用いることも可能である。

【0070】

そこで、本実施例では、被検眼が眩しさを感じにくい赤色可視光～近赤外光の光を、照明光として使用する。例えば、緑色可視光である550nm付近の視感度に対し、赤色可視光である650nm付近の視感度は約10分の1に低下し、700nm付近の視感度は約200分の1に低下する。このため、被検者の負担は大きく軽減される。特に、小児を含む若年層が対象の場合は、負担の軽減とともに、測定の効率化につながる。

【0071】

本実施例では、前眼部におけるスリット光の通過断面を「切断面」と称する。切断面は、断面撮影光学系の物面となる。図2において、スリット312の開口は、水平方向（紙面奥行き方向）を長手方向とする。よって、本実施例では、光軸L1を含む水平面（XZ断面）が切断面として設定される。本実施例では、少なくとも、角膜前面から水晶体後面までの間に切断面が形成される。

10

【0072】

受光光学系300bは、レンズ系322及び撮像素子321等を有する。受光光学系300bにおいて、レンズ系322及び撮像素子321は、前眼部に設定される切断面とシャインプルーフの関係に配置される。すなわち、切断面とレンズ系322の主平面と、撮像素子321の撮像面と、の各延長面が、1本の交線（一軸）で交わるような光学配置となっている。撮像素子321からの信号に基づいて、前眼部の断面画像が取得される。撮像素子321は、単元素としてのシリコンを材料とした半導体の基板で構成されてもよい。

20

【0073】

受光光学系300bの撮像素子321について、詳細に説明する。図4は、撮像素子321の受光感度と波長の関係を表す模式図である。例えば、単元素としてシリコンを材料に用いた撮像素子は、紫外域、可視域、及び赤外域の波長を含む300nm～1000nm付近の波長に感度をもつが、緑色可視光を含む550nm～650nm付近で最大となり、赤外域に近づくほど徐々に低下する。しかし、照射光学系300aで使用される赤色可視光～近赤外光の光を含む650nm以上の感度は、前眼部の断面画像の取得には十分な感度である。

【0074】

なお、例えば、撮像素子には、その感度が赤外域で最大となるものが存在するが、高価である。装置が病院や学校等の多くの施設で普及されることが望まれる一方で、装置の高額化は装置の普及の妨げとなり得る。シリコンを材料とした撮像素子を用いれば、装置を安価に抑えることができる。

30

【0075】

このような断面撮影光学系において、光源311からの照明光束は、光軸L3上のスリット312を介してスリット光束となり、レンズ313を通過した後、ハーフミラー503に反射されることで、光軸L2と同軸となる。また、レンズ504を通過し、ハーフミラー502を透過し、ハーフミラー501に反射されることで、光軸L1と同軸となる。照明光束は、更に対物レンズ505を介すことで、前眼部に到達する。前眼部に形成された切断面からの戻り光は、レンズ322を介して撮像素子321に到達する。

40

【0076】

<指標投影光学系>

指標投影光学系400は、角膜形状を測定するために利用される。指標投影光学系400は、被検眼と対向する正面から前眼部へ、角膜形状を測定するための指標を投影する。

【0077】

指標投影光学系400は、複数の点光源401を備える。点光源401は、角膜に平行光を照射することで、無限遠指標を投影する。点光源401は、赤外光を発する。但し、可視光であってもよい。点光源401は、光軸L1を中心として、上下対称及び左右対称に配置される。例えば、本実施例では、点光源が左右に2つずつ設けられる。これによって、角膜に対して4つの点像指標が投影される。なお、指標の形状はこれに限られたもの

50

では無く、線状等の指標が含まれてもよい。また、指標の数はこれに限られたものでは無く、3つ以上の点像指標によって構成されてもよい。

#### 【0078】

本実施例では、これらの4つの点像が投影された円周領域が、指標投影光学系400及び正面撮影光学系200による角膜形状の測定領域となる。一例として、所定の曲率半径をもつ角膜模型眼が、所定の作動距離に置かれたときに、角膜模型眼の3mmの円周領域に対して各々の点像が投影される。

#### 【0079】

##### <アライメント指標投影光学系>

アライメント指標投影光学系は、被検眼Eに対して測定ユニット11をアライメント（位置合わせ）するために利用される。本実施例では、アライメント用光源601と、指標投影光学系400と、によって、アライメント指標投影光学系が形成される。例えば、アライメント用光源601によるブルキンエ像と、指標投影光学系400によるブルキンエ像と、が所定の比率で撮影されるように、測定ユニット11を前後方向に移動させることで、作動距離調整が行われてもよい。

10

#### 【0080】

アライメント用光源601は、角膜に拡散光を照射することで、有限遠指標を投影する。アライメント用光源601は、赤外光を発する。但し、可視光であってもよい。アライメント用光源601は、光軸L1を中心として、リング状に配置される。これによって、本実施例では、角膜に対してリング指標（いわゆるマイヤーリング）が、投影される。

20

#### 【0081】

##### <固視標呈示光学系と断面撮影光学系の共通光路化>

本実施例では、固視標呈示光学系150と、視標投影光学系300aと、において、共に可視光が照射される。固視標呈示光学系150の光軸L2と、視標投影光学系300aの光軸L3とは、ハーフミラー503によって同軸とされる。固視標呈示光学系150がハーフミラー503の透過側に配置され、視標投影光学系300aがハーフミラー503の反射側に配置されることで、各々の光路が共通化される。例えば、ハーフミラー503は平面型であり、ハーフミラー503の透過側は非点収差が発生しやすい。視標投影光学系300aは、前眼部に切断面を形成して明瞭な断面画像70を得るために、一定の結像性能を必要とする。このような理由から、視標投影光学系300aは、非点収差の影響が

30

#### 【0082】

また、本実施例では、固視標呈示光学系150の光軸上に、レンズ504aが配置される。レンズ504aは、固視標呈示光学系150の全体の長さを短くするための全長短縮用レンズとして機能する。また、レンズ504aは、レンズ504aの上流に位置するレンズ156の径を小さくするための役割をもつ。

#### 【0083】

図5は、固視標呈示光学系150を簡略化した模式図である。図5(a)は、レンズ504aを配置しない場合を示す。図5(b)は、レンズ504aを配置する場合を示す。ここでは、被検眼Eから固視標板155までの光路を直線とし、一部の光学部材を省略している。固視標板155の中心部と周辺部からの眼底結像光線を、それぞれ実線と点線で表す。

40

#### 【0084】

被検眼Eから対物レンズまでを所定の作動距離とした際、図5(a)では、固視標呈示光学系150の距離（特に、固視標板155からレンズ156までの距離）が長くなる。固視標板155の中心部及び周辺部からの光線は、共に大きな径でレンズ156に到達する。一方、図5(b)のように、固視標呈示光学系150にレンズ504aを配置すると、固視標呈示光学系150の距離を短くすることができる。固視標板155からの各々の光線は、共に小さな径でレンズ156に到達する。

#### 【0085】

50

なお、例えば、固視標呈示光学系 150 は視標側テレセントリックな光学系であり、レンズ 504 a は瞳共役位置に配置されてもよい。このとき、固視標板 155 の中心部及び周辺部からの光線（主光線）は、レンズ 504 a の中心を通過することになるため、固視標呈示光学系 150 の全体の焦点距離（合成焦点距離）が変化しない。従って、固視標呈示光学系 150 と測定光学系 100 の駆動ユニット 160 内における焦点距離の関係性が維持される。

【0086】

このように、固視標呈示光学系 150 にレンズ 504 a を配置すれば、小さな径でレンズ 156 を設計することができる。また、被検眼 E の所定の作動距離と固視標呈示光学系 150 の合成焦点距離を保ちながらも、固視標呈示光学系 150 の全体の長さを短縮できる。結果として、眼科装置 10 の小型化に繋がる。

10

【0087】

また、本実施例では、視標投影光学系 300 a の光軸上に、レンズ 504 b が配置される。レンズ 504 b は、レンズ 504 b の下流に位置する対物レンズ 505 の径を小さくするための役割をもつ。

【0088】

図 6 は、視標投影光学系 300 a を簡略化した模式図である。図 6 (a) は、レンズ 504 b を配置しない場合を示す。図 6 (b) は、レンズ 504 b を配置する場合を示す。ここでは、被検眼 E からスリット 312 までの光路を直線とし、一部の光学部材を省略している。スリット 312 の中心部と周辺部からの瞳結像光線を、それぞれ実線と点線で表す。

20

【0089】

図 6 (a) と図 6 (b) では、スリット 312 の中心部からの光線（主光線）が、レンズ 504 b の有無に関わらず、対物レンズ 505 の中心を通過する。しかし、図 6 (a) において、スリット 312 の周辺部からの光線は、対物レンズ 505 の中心からより離れた位置にて屈折される。被検眼 E にこのような光線を到達させるためには、大きな径の対物レンズ 505 が必要になる。一方、図 6 (b) では、スリット 312 の周辺部からの光線（主光線）が、対物レンズ 505 の中心の位置にて屈折される。被検眼 E にこのような光線を到達させるために、小さな径の対物レンズ 505 を使用することができる。

【0090】

30

このように、視標投影光学系 300 a にレンズ 504 b を配置すれば、小さな径で対物レンズ 155 を設計することができる。なお、スリット 312 の中心部及び周辺部からの光線は、対物レンズ 505 の中心から離れた領域で屈折されるほど、大きな収差が発生し得る。このため、眼科装置 10 を小型化しつつ、収差の発生を抑えるような、適切な径の対物レンズ 155 が用いられてもよい。

【0091】

なお、本実施例では、固視標呈示光学系 150 及び視標投影光学系 300 a において、上述した役割が異なるレンズ 504 a 及びレンズ 504 b を共有化したレンズ 504 が配置される。例えば、固視標呈示光学系 150 の光軸 L2 と視標投影光学系 300 a の光軸 L3 が結合するハーフミラー 503 の下流に、レンズ 504 が配置される。これによって、光学系の内部は、より省スペース化される。

40

【0092】

<制御動作>

眼科装置 10 の制御動作を、図 7 に示すフローチャートを参照しつつ説明する。本実施例では、眼科装置 10 によって、角膜曲率測定、眼屈折力測定、及び、前眼部断面画像の撮影、が順番に実行され、測定及び撮影の結果に基づいて、眼軸長が取得される。

【0093】

<アライメント (S1)>

まず、被検眼 E に対する測定ユニット 11 のアライメントが行われる。検者は、被検者に、顔を顔支持ユニット 15 へ載せるように指示する。制御部 50 は、固視標の呈示及び

50

前眼部観察画像の取得を開始する。

【 0 0 9 4 】

例えば、制御部 5 0 は、正面撮影光学系 2 0 0 を介して取得される前眼部の観察画像に少なくとも基づいて、被検眼 E と眼科装置 1 0 とを、所定の位置関係へと調整する。より詳細には、被検眼 E の角膜頂点に光軸 L 1 が一致するように、X Y 方向に関するアライメントを行う。また、被検眼 E と眼科装置 1 0 との間隔が所定の作動距離となるように、Z 方向に関するアライメントを行う。このとき、角膜にアライメント指標を投影し、観察画像にて検出されるアライメント指標に基づいて、アライメントを調整してもよい。

【 0 0 9 5 】

< 角膜形状測定 ( S 2 ) >

次に、被検眼 E の角膜形状が測定される。制御部 5 0 は、指標投影光学系 4 0 0 から点像指標を投影し、点像指標の角膜プルキンエ像を、正面撮影光学系 2 0 0 によって撮影する。また、制御部 5 0 は、角膜プルキンエ像に基づいて、角膜形状情報を取得する。例えば、角膜プルキンエ像の像高に基づいて、角膜形状情報を導出する。本実施例では、角膜形状情報として、角膜曲率、乱視度数、及び乱視軸角度、の各値が少なくとも取得される。

【 0 0 9 6 】

< 眼屈折力測定 ( S 3 ) >

次に、被検眼 E の眼屈折力が測定される。被検眼 E には測定光として赤外光が投光されるため、被検眼 E の瞳孔径は縮瞳（例えば、2 mm 以下）が抑制された所定の大きさとなる。一例としては、被検眼 E の測定領域（瞳上の 2 mm ~ 4 mm の領域）に含まれるいずれかの径となる。例えば、眼屈折力の測定では、先に予備測定が実施され、後に本測定が実施されてもよい。

【 0 0 9 7 】

予備測定では、固視標が所定の呈示距離に配置された状態で、被検眼 E の眼屈折力が測定される。測定時において、被検眼 E に対して光学的に十分な遠方の距離であり、0 D 眼の遠点に相当する初期位置に、固視標板 1 5 5 が配置されてもよい。この状態で照射された測定光に基づいて撮像素子 1 2 5 により撮像されるリング像が、制御部 5 0 によって画像解析される。解析結果として、各経線方向の屈折力の値が求められる。各経線方向の屈折力に所定の処理を施すことによって、少なくとも、予備測定における球面度数を取得する。

【 0 0 9 8 】

続いて、制御部 5 0 は、被検眼 E の予備測定の球面度数に応じて、被検眼 E の焦点が合う雲霧開始位置に、固視標板 1 5 5 を移動させる。これによって、被検眼 E には固視標がはっきりと観察されるようになる。その後、制御部 5 0 は、雲霧開始位置から固視標を移動させることで、被検眼 E に対して雲霧を付加する。これによって、被検眼 E の調節を解除させる。なお、被検眼に調節が働いた状態では同時に縮瞳が起こるが、雲霧による調節の解除にともない、縮瞳していない状態となる。

【 0 0 9 9 】

被検眼 E に雲霧を付加した状態で、本測定が行われる。雲霧が付加された被検眼 E について撮像されたリング像に対し、所定の解析処理が行われることで、被検眼 E の S P H : 球面度数、C Y L : 柱面度数、A X I S : 乱視軸角度の他覚値が取得される。

【 0 1 0 0 】

< 前眼部断面画像の撮影 ( S 4 ) >

次に、被検眼 E の前眼部における断面画像（シャインブルーフ画像）が撮影される。制御部 5 0 は、眼屈折力の本測定の完了後、直ちに前眼部の断面画像の撮影を実行する。例えば、眼屈折力の本測定の完了をトリガとして、断面画像の撮影動作が実行されてもよい。つまり、本測定の完了後、直ちに、照射光学系 3 0 0 a から照明光を照射すると共に、撮像素子 3 2 1 に結像される前眼部の断面画像を取得する。これによって、眼屈折力の測定時と断面画像の撮影時との間で、アライメントずれが軽減される。

【 0 1 0 1 】

10

20

30

40

50

なお、前眼部の断面画像は、被検眼 E の前眼部の状態によって、適切に取得されないことがある。例えば、被検者の瞼や睫毛が映り込んだ状態や、被検眼 E の瞳孔が縮瞳した状態（瞳孔径 P D M が短い状態）等である。以下では、被検眼 E の縮瞳を例に挙げる。

【 0 1 0 2 】

図 8 と図 9 は、前眼部の断面画像 7 0 の一例である。図 8 は、被検眼 E が縮瞳していない状態で撮影された適切な断面画像 7 0 である。図 9 は、被検眼 E が縮瞳した状態で撮影された適切でない断面画像 7 0 である。

【 0 1 0 3 】

例えば、被検眼 E の瞳孔が縮瞳していない状態の瞳孔径 P D M 1 に対し、瞳孔が縮瞳した状態の瞳孔径 P D M 2 は短くなる。この状態では、被検眼の前眼部を照明した戻り光が虹彩にけられやすく、前眼部の深さ方向（Z 方向）に対する撮影範囲が不足する可能性がある。特に、このような戻り光のけられは、前眼部のより深い位置に対する影響が大きく、水晶体後面まで撮影されない場合や、水晶体後面は撮影されるが後述の輝度情報を用いた検出には不適切な場合もある。

【 0 1 0 4 】

< 前眼部断面画像の解析（S 5）>

制御部 5 0 は、被検眼 E の前眼部の断面画像 7 0 に基づき、前眼部の形状に関する前眼部形状情報を取得する。例えば、前眼部形状情報としては、角膜前面の曲率半径（R a）、角膜後面の曲率半径（R p）、角膜厚（C T）、前房深度（A C D）、水晶体前面の曲率半径（r a）、水晶体後面の曲率半径（r p）、水晶体厚（L T）、等の測定値である複数のパラメータ情報が取得される。なお、ステップ S 2 の角膜形状情報を用いて、角膜前後面の曲率半径や角膜厚を取得することも可能である。

【 0 1 0 5 】

制御部 5 0 は、断面画像 7 0 を画像処理することによって、各透光体（一例として、角膜、房水、水晶体、等）を検出し、前眼部形状情報を取得する。例えば、断面画像 7 0 の輝度情報を利用して、組織の境界（角膜前後面、水晶体前後面、虹彩、等）に相当する画素位置を検出し、曲率半径等の情報を取得してもよい。また、例えば、組織の境界に相当する画素位置の距離を求め、組織の厚みや深度等の情報を取得してもよい。

【 0 1 0 6 】

< パラメータ情報の良否判定（S 6）>

しかしながら、前述のように、被検眼 E が縮瞳しているときは、前眼部形状情報における複数のパラメータ情報の一部を正しく取得することができない。このため、制御部 5 0 は、複数のパラメータ情報の良否を判定する。例えば、断面画像 7 0 の輝度情報に基づき、複数のパラメータ情報の各々について、その良否を判定してもよい。

【 0 1 0 7 】

図 1 0 と図 1 1 は、断面画像 7 0 における輝度値の変化を表す模式図である。図 1 0 は、図 8 に示す適切な断面画像 7 0 に対応する輝度値の変化である。図 1 1 は、図 9 に示す適切でない断面画像 7 0 に対応する輝度値の変化である。

【 0 1 0 8 】

制御部 5 0 は、断面画像 7 0 の左右中央（すなわち、光軸 L 1 上）において、被検眼の深さ方向に輝度の立ち上がりとしち下がりを検出する。例えば、図 8 及び図 1 0 のように、被検眼 E の瞳孔が縮瞳していない状態では、角膜前後面及び水晶体前後面の境界が鮮明に写り、輝度値の立ち上がり及び立ち下がりの勾配が急になる。一方で、例えば、図 9 及び図 1 1 のように、被検眼 E の瞳孔が縮瞳した状態では、角膜前後面及び水晶体前面の境界は鮮明に写るが、水晶体後面の境界は鮮明に写らないことがあり、輝度値の水晶体後面における立ち下がりとは異なる位置にて検出される。

【 0 1 0 9 】

制御部 5 0 は、断面画像 7 0 における組織の輝度値の立ち上がりとしち下がりから、角膜前後面及び水晶体前後面が良好に撮影されたか否かを判定する。例えば、各組織の輝度

10

20

30

40

50



値の勾配には、予め実験やシミュレーションに基づいた基準となる角度が設けられていてもよい。ある組織の輝度値の勾配が、所定の角度以上であれば良好に撮影されたと判定し、所定の角度未満であれば良好に撮影されていないと判定してもよい。なお、各組織に対応する輝度値の立ち上がり立ち下がり、角度に限らず傾きとして表されてもよい。また、各組織に対応する輝度値の最大値から最小値までの深さ方向の幅を、このような判定の基準として用いることも可能である。

#### 【0110】

更に、制御部50は、断面画像70における各組織が良好に撮影されたか否かの判定結果に基づき、前眼部形状情報に含まれる複数のパラメータ情報の良否を判定する。例えば、良好に撮影されていない組織の画素位置に基づくパラメータ情報に対しては、その解析結果を良好でないと判定してもよい。また、例えば、良好に撮影された組織の画素位置に基づくパラメータ情報に対しては、その解析結果を良好と判定してもよい。一例として、水晶体後面が良好に撮影されていない場合は、水晶体後面の曲率半径及び水晶体厚を有効でない測定値とし、角膜前後面の曲率半径、角膜厚、前房深度、及び水晶体前面の曲率半径を有効な測定値としてもよい。

#### 【0111】

なお、本実施例では、前眼部形状情報における複数のパラメータ情報の信頼性を評価するための評価値を取得し、この評価値に基づいて、各パラメータ情報の良否を判定してもよい。この場合、制御部50は、断面画像70における各組織の輝度値の勾配の程度に応じて、各組織の撮影が良好か否かを表す評価値を決定してもよい。

#### 【0112】

例えば、制御部50は、各組織の輝度値の勾配に対して設けられた基準となる角度と、実際の勾配の角度と、の差を5段階の数値で表してもよい。例えば、輝度値の実際の勾配の角度が基準の角度に近いほど、5段階の数値が高く設定され、基準の角度に遠いほど、5段階の数値が低く設定される。すなわち、例えば、実際の勾配の角度と基準の角度とにおいて、その差が小さいほど数値が高く設定され、その差が大きいほど数値が低く設定される。なお、このような角度の差の許容範囲と数値の対応関係は、記憶部に記憶されていてもよい。制御部50は、ある組織の評価値が所定の数値を下回る場合には、その組織が良好に撮影されていないと判定し、関連するパラメータ情報の解析結果（すなわち、測定値）を有効でないとしてもよい。

#### 【0113】

##### <眼軸長演算（S7）>

次に、被検眼Eの眼軸長が演算される。制御部50は、被検眼Eの眼屈折力と、被検眼Eの前眼部形状情報における複数のパラメータ情報に基づいて、眼軸長を演算する。例えば、複数のパラメータ情報のうち、有効な測定値と有効でない測定値を共に使用した眼軸長が演算されてもよい。また、例えば、複数のパラメータ情報のうち、有効な測定値と、有効でない測定値を置き換えた仮定値と、を共に使用した眼軸長が演算されてもよい。

#### 【0114】

本実施例では、前眼部形状情報における複数のパラメータ情報として、測定値のみ、或いは、測定値と仮定値、を使用した眼軸長がどちらも演算される。なお、仮定値には、一般的な角膜形状や水晶体形状の比率を考慮して求めることが可能な推定値が適用される。例えば、角膜前面の曲率半径（測定値）に、所定の比の値を乗算することで、角膜後面の曲率半径（推定値）を求めることができる。同様に、水晶体前面の曲率半径（測定値）に、所定の比の値を乗算することで、水晶体後面の曲率半径（推定値）を求めることができる。制御部50は、パラメータ情報の有効な測定値に、このような比の値を乗算し、有効でない測定値に代わる推定値を求めてもよい。

#### 【0115】

まず、制御部50は、被検眼Eの眼屈折力の測定結果に基づいて、角膜頂点Cに対する遠点FP（図12参照）の位置を求める。例えば、被検眼Eに乱視が無く、 $SPH = -5D$ であり、 $VD = 12mm$ であれば、 $12 + 1000 / 5 = 212mm$ が、角膜頂点Cか

10

20

30

40

50

ら遠点 F P までの距離となる。遠点 F P からの光線が、眼底に結像すると考えられる。なお、 $VD = 12\text{ mm}$  は、眼鏡レンズの装用を前提とした角膜頂点間距離を示す一定値である。VD は、装置によって異なり得る。

【0116】

図 12 は、眼軸長の導出手法を説明するための模式図である。本実施例では、前眼部の切断面上での光線追跡演算に基づいて、眼軸長が導出されてもよい。例えば、制御部 50 は、遠点 F P の位置と、各透光体の屈折率と、前眼部形状情報におけるパラメータ情報（測定値又は仮定値）と、に基づいて、光線追跡演算を行う。

【0117】

制御部 50 は、被検眼 E に向かって遠点 F P から入射する光線（例えば、図 12 の光線 Lx）を追跡し、被検眼 E の各透光体によって光線が屈折され、光線が光軸と交わる交点の位置を求める。なお、光線追跡演算についての詳細は、後述する。例えば、このような光線追跡演算によって、眼底 E f の位置が求められる。制御部 50 は、角膜頂点 C と眼底 E f との距離を、眼軸長 AL として導出する。

【0118】

<表示出力 (S8)>

最後に、眼軸長 AL がモニタ 16 に表示される。本実施例では、被検眼 E の角膜形状情報及び眼屈折力 (SPH、CYL、AXIS) のうち、少なくとも一方と共に、眼軸長 AL が表示される。また、本実施例では、複数のパラメータ情報として測定値のみを使用した眼軸長と、測定値と仮定値を使用した眼軸長と、を区別できるように表示される。

【0119】

図 13 は、眼軸長の経時変化を表す一例である。被検眼 E に対する過去の眼軸長の測定結果が存在する場合は、過去の眼軸長と共に今回の眼軸長が表示されてもよい。なお、過去及び現在のそれぞれの眼軸長において、測定値のみを使用した眼軸長（第 1 眼軸長 AL1）と、測定値と仮定値を使用した眼軸長（第 2 眼軸長 AL2）と、が区別できるように表示されてもよい。例えば、ここでは、検査日（年齢）毎の眼軸長を時系列で並べたグラフが表示される。もちろん、表示態様は限定されるものではない。

【0120】

なお、複数の時系列が異なる測定結果が存在する場合は、これらの眼軸長を用いて将来の眼軸長を予測することも可能である。この場合には、過去及び現在の眼軸長と、予測した眼軸長と、を区別できるように表示してもよい。また、眼軸長に限らず、前眼部形状情報に含まれるパラメータ情報毎に、経時変化を表示してもよい。例えば、角膜厚、水晶体厚、前房深度、等の経時変化を表示してもよい。

【0121】

<光線追跡演算>

眼軸長を導出するための光線追跡演算について説明する。本実施例では、説明の便宜上、被検眼 E の各透光体における屈折率が一定であり、それぞれの内部での屈折変化が無いものとする。但し、必ずしもこれに限られるものではなく、透光体の内部での屈折率の変化（例えば、水晶体の内側 - 外側間の屈折率の変化）を考慮して、眼軸長が導出されてもよい。

【0122】

ところで、広く利用されている SPH、CYL、AXIS による眼屈折力の表現形式では、SPH は、強主経線（又は弱主経線）に関する屈折力を示しているので、前眼部の切断面上での光線追跡において、必ずしも適切な値とはならない。例えば、 $SPH = -5\text{ D}$ 、 $CYL = -2\text{ D}$ 、 $AXIS = 30^\circ$  であった場合を考える。この場合、上記光学系の例で水平断面を取得したとすると、この断面での屈折力は  $-5\text{ D}$  でも無いし、CYL を付加した  $-7\text{ D}$  でも無い。

【0123】

これに対し、本実施例では、切断面上での眼屈折力である面上眼屈折力を求めて、面上屈折力に基づいて、遠点 F P の位置が設定される。ここで、任意の面での屈折度数 P は、

10

20

30

40

50

次の式によって表現される。但し、 $\theta$  は、水平面に対する角度であって、水平方向を  $0^\circ$  とする。

【0124】

$$P(\theta) = SPH + CYL \times [\sin^2(\theta - A)]$$

【0125】

図12は、被検眼Eが  $SPH = -5D$ 、 $CYL = -2D$ 、 $AXIS = 30^\circ$  である場合における各経線方向の屈折度数を示す図である。例えば、本実施例の切断面は、水平面 ( $\theta = 0^\circ$ ) である。このため、被検眼Eが  $SPH = -5D$ 、 $CYL = -2D$ 、 $AXIS = 30^\circ$  であれば、 $P(0^\circ) = -5.5D$  と算出される。この場合、切断面における角膜頂点Cから遠点FPまでの距離は、 $VD = 12mm$  であれば、 $12 + 1000 / 5.5 = 194mm$  となる。

10

【0126】

制御部50は、このように設定された遠点FPからの光線を追跡する。例えば、遠点FPから一定位置（一例として、被検眼の瞳（角膜の奥3mm程度）の位置で6mmの位置）に向かう光線（例えば、図12の光線Lx）を導く。なお、一定位置を被検眼の瞳の位置で6mmとすることは、一例に過ぎず、適宜変更可能である。

【0127】

この光線は、まず、角膜前面で最初の屈折が生じる。光線と角膜前面の交点が、角膜前面の曲率半径Raと、遠点FPの位置及び遠点FPでの光線角度に基づいて、算出される。また、更に、該交点での光線の入射角が算出される。角膜前面に到達した光線は、スネルの法則に基づいて、入射角に対して決まった屈折角で、向きを変化させる。このようにして、それぞれの透光体境界面での光線が、逐次追跡される。その際、角膜形状情報及び断面画像70（シャインプルフ画像）に基づいて取得される前眼部形状情報（Ra, Rp, CT, ACD, ra, rp, LT）が、各境界面と光線との交点とを与えるために適宜利用される。本実施例では、最終的に、水晶体後面を出た後に、眼の軸（ここでは、視軸）と交わる交点（すなわち、眼底Efの位置）を求める。交点から角膜頂点C（ここでは、原点）までの距離が、眼軸長ALとして利用される。

20

【0128】

なお、光線追跡演算において、上記の前眼部形状情報（Ra, Rp, CT, ACD, ra, rp, LT）を利用する場合、本実施例では、少なくとも角膜前面の曲率半径Raについては、点像指標の角膜プルキンエ像に基づく値が利用され、残りの値については、断面画像70（シャインプルフ画像）に基づく値が利用される。一般に、角膜前面形状については、角膜プルキンエ像に基づく測定精度のほうが、シャインプルフ画像に基づく測定精度よりも、高いからである。なお、前述の通り、本実施例では、角膜形状情報として、角膜曲率、乱視度数、及び、乱視軸角度の各値が少なくとも取得される。切断面に関して屈折度数を求めた手法と同様の手法を用いて、これらの値から、切断面における角膜曲率（角膜前面の曲率）を求めることができる。求めた値の逆数が、Raとして利用されてもよい。

30

【0129】

被検眼Eの眼軸長ALは、このような一定位置に向かう光線の追跡によって、求めることができる。但し、光線追跡の手法は、上記手法に限定されない。例えば、近軸計算によって遠点FPから結像する点が求められても良い。また、被検眼Eに入射する位置が互いに異なる複数の光線を考慮して、遠点FPから結像する点が求められてもよい。例えば、近軸光線と近軸とは異なる一定位置に向かう光線とのそれぞれの光線に対する光線追跡を組み合わせてもよい。複数本の光線の光線追跡が行われる場合、眼軸長の最終的な測定値（演算値）は、それぞれの光線追跡による眼軸長の平均値であってもよい（加重平均値であってもよい）。

40

【0130】

また、測定光学系100による測定領域（瞳上の2mm～4mm）に向かう光線を追跡することで、眼軸長ALを求めてもよい。例えば、瞳上の2mm～4mmの領域

50

に向かう複数本の光線のそれぞれで、光線追跡を実施し、各々の光線追跡によって求められる眼軸長の平均値を、演算結果として取得してもよい。より適切な条件で光線追跡が行われるため、眼軸長がより精度よく取得されやすくなる。

【 0 1 3 1 】

なお、本実施例において得られる眼軸長値には、所定のオフセット値が加えられていてもよい。オフセット値により、演算値と実測値との誤差が補正される。

【 0 1 3 2 】

また、遠点 F P から出射し、角膜形状測定用の点像指標が投影される円周領域を通過する光線を追跡することで、光線追跡が行われてもよい。これにより、光線追跡の条件が一層適正になるため、眼軸長がより精度よく取得されやすくなる。

10

【 0 1 3 3 】

以上、説明したように、例えば、本実施例の眼科装置は、被検眼の眼屈折力と、被検眼の前眼部断面画像に基づく複数のパラメータを含む形状情報と、を取得して、眼屈折力と複数のパラメータの測定値とに基づく眼軸長（第 1 眼軸長）を導出する。また、眼屈折力と、複数のパラメータの一部の測定値を置き換えた仮定値と、に基づく眼軸長（第 2 眼軸長）、を導出する。眼軸長の導出では、前眼部におけるより多くの透光体の形状情報がパラメータとして取得されることが望ましいが、測定値が得られない場合や、測定値が正確でない場合もある。第 1 眼軸長と第 2 眼軸長の少なくともいずれかを導出することで、眼軸長を精度よく取得できる。

【 0 1 3 4 】

20

また、例えば、本実施例の眼科装置は、前眼部の形状情報における複数のパラメータの少なくとも 1 つの良否を判定し、その判定結果に基づいて、第 1 眼軸長と第 2 眼軸長の少なくともいずれかの導出を選択する。このために、被検眼の瞬きや縮瞳が影響して適切な前眼部断面画像が得られなかった場合や、パラメータの測定値として不適切なものが存在する場合であっても、正確な眼軸長を取得しやすくなる。

【 0 1 3 5 】

また、例えば、本実施例の眼科装置は、前眼部の形状情報における複数のパラメータの良否を、前眼部断面画像の輝度情報に基づいて判定する。或いは、前眼部の形状情報における複数のパラメータの良否を、信頼性を評価するための評価情報に基づいて判定する。これによって、被検眼における瞬きの有無、縮瞳の有無や程度、等を容易に把握することができる。

30

【 0 1 3 6 】

また、例えば、本実施例の眼科装置は、前眼部の形状情報における複数のパラメータの測定値に基づいて取得された第 1 寸法情報と、複数のパラメータの一部の測定値を置き換えた仮定値に基づいて取得された第 2 寸法情報と、を区別可能に出力する。これによって、検者は、被検眼の眼軸長として採用する値を、各々の値の比較から、容易に決定することができる。

【 0 1 3 7 】

また、例えば、本実施例の眼科装置は、眼内の寸法情報（第 1 寸法情報及び第 2 寸法情報）における経時変化を出力する。これによって、検者は、眼軸長に基づく近視進行を評価しやすくなる。

40

【 0 1 3 8 】

< 変容例 >

本実施例では、断面撮影光学系において、照明光に赤色可視光又は赤外光を使用する構成を例に挙げて説明したが、これに限定されない。断面撮影光学系は、照明光として赤色とは異なる可視光を使用する構成であってもよい。被検眼 E に可視光（特に、視感度の高い光）を照射すると縮瞳するため、可視光の照射の直前か、あるいは照射と同時に、断面画像 70 を撮影するとよい。

【 0 1 3 9 】

本実施例では、断面画像 70 に基づく前眼部形状情報の良否の判定に、各組織における

50

輝度値の立ち上がり及び立ち下がりを用いる構成を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、前眼部形状情報の良否の判定に、被検眼の瞳孔状態を用いる構成であってもよい。この場合、制御部50は、断面画像70の輝度情報に基づいて虹彩に相当する画素位置を検出することで、瞳孔状態として瞳孔径を取得してもよい。また、この瞳孔径に基づいて、角膜前後面及び水晶体前後面が良好に撮影されたか否かを判定してもよい。なお、制御部50は、正面撮影光学系200にて撮影される観察画像を用いて、瞳孔状態情報（瞳孔径）を取得することも可能である。

#### 【0140】

例えば、被検眼Eの瞳孔径が小さい場合、水晶体前後面の水平方向（X方向）の検出幅が狭くなる。言い換えると、水晶体前後面において、スリット光の長手方向の画素数が少なくなる。また、被検眼Eの瞳孔径が小さい場合、水晶体後面の境界が鮮明に写らないことがある。このため、制御部50は、被検眼Eの瞳孔径に応じて、良好に撮影されたとみなす組織を変更してもよい。一例として、瞳孔径が2mm以下であれば、角膜前後面は良好に撮影されたとみなし、水晶体前後面は良好に撮影されていないとみなしてもよい。また、制御部50は、前眼部形状情報に含まれる複数のパラメータ情報の良否を、各組織が良好に撮影されたか否かの判定結果に基づいて、判定してもよい。一例として、角膜前後面の曲率半径、角膜厚及び前房深度を有効な測定値とし、水晶体前後面の曲率半径及び水晶体厚を有効でない測定値としてもよい。

#### 【0141】

なお、各組織の水平方向の検出幅が狭いと、曲率半径の算出における誤差が生じやすい。例えば、少なくとも3点の画素位置を用いた円のフィッティングにおいて、広域の3点を用いる場合よりも、狭域の3点を用いる場合では、1画素のずれが曲率半径の誤差として現れやすい。瞳孔径の変化にともなう検出幅の変化を考慮し、瞳孔径に各組織の撮影の良否を対応付けておくことによって、パラメータ情報の有効性を精度よく判定できる。

#### 【0142】

本実施例では、断面画像撮影光学系を用いた断面画像70の撮影において、1枚の断面画像が撮影される構成を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、断面画像70の撮影では、複数枚の断面画像が撮影される構成であってもよい。この場合、制御部50は、所定の時間が経過する毎に（例えば、1秒毎に）、照明光の戻り光を撮像素子321で撮像させてもよい。なお、光源311からの照明光は、撮像素子321の撮影タイミングと合わせて所定の時間間隔で投光されてもよいし、常に投光されてもよい。例えば、被検眼の複数枚の断面画像を連続的に取得することで、瞼や睫毛の映り込みがない画像、被検眼が縮瞳していない画像、等の適切な断面画像が含まれやすくなる。制御部50は、複数枚の断面画像における輝度情報や評価情報を利用して、各々に対応するパラメータ情報の良否を判定するようにしてもよい。

#### 【0143】

制御部50は、複数の前眼部断面画像を取得することで、各々に対応する複数のパラメータの良否に基づき、第1眼軸長AL1と第2眼軸長AL2の少なくともいずれかを取得することができる。例えば、各組織についてのパラメータが良好な値を平均化し、これに基づいて、それぞれの眼軸長を取得することが可能である。なお、このような平均は、後述の外れ値を除く平均でもよい。また、例えば、各組織についてのパラメータがもっとも良好な値を使用して、それぞれの眼軸長を取得することが可能である。これによって、眼軸長が精度よく取得される。

#### 【0144】

なお、断面画像撮影光学系を用いて複数枚の断面画像を連続的に取得する場合は、断面画像の外れ値、又は、断面画像に基づく前眼部形状情報の外れ値、等を予め除外してもよい。例えば、制御部50は、統計学的な処理によって、これらの外れ値を特定し除外してもよい。一例としては、複数枚の断面画像から得られる輝度情報や評価情報が許容範囲から大きく外れるものを除外してもよい。複数の前眼部断面画像を取得し、更に外れ値を除くことによって、眼軸長の精度をより向上させることができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 4 5 】

本実施例では、断面画像撮影光学系を用いた断面画像 7 0 の撮影を、図 7 に示すフローチャートにおいて 1 度実施する構成を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、断面画像 7 0 の撮影を、パラメータ情報の良否に基づいて、再度、実施する構成であってもよい。つまり、断面画像 7 0 の撮影を 2 度実施する構成であってもよい。

## 【 0 1 4 6 】

例えば、制御部 5 0 は、断面撮影光学系を用いて取得された断面画像 7 0 を画像処理し、これによって検出された輝度情報に基づいて、照射光学系 3 0 0 a からの照明光の光量を調整してもよい。一例として、所定の組織の境界を検出できない場合、或いは、所定の組織の境界が鮮明でない場合には、光源 3 1 1 の光量を増加させてもよいし、光路内にてフィルタ等の光学部材を挿抜してもよい。また、例えば、制御部 5 0 は、照射光学系 3 0 0 a からの照明光の光量を調整した後に、再び、断面画像 7 0 を撮影してもよい。これにより、1 度目の断面画像に対して、各組織の撮影状態が改善された、2 度目の断面画像を取得することができる。つまり、複数のパラメータの少なくとも一部が良好に得られないことで、測定値が得られない場合や、測定値が正確でない場合であっても、適切な値を取得できる可能性が高くなる。結果として、前眼部形状情報に含まれる複数のパラメータ情報の各々を良好に取得でき、眼軸長が精度よく取得される。

10

## 【 0 1 4 7 】

なお、このような、照射光学系 3 0 0 a における光量の調整では、光源 3 1 1 から赤外光が照射されることが好ましい。例えば、赤外光であれば、被検者は光量が増加しても眩しさを感じにくく、被検眼の縮瞳を抑制できる。

20

## 【 0 1 4 8 】

本実施例では、断面画像 7 0 における断面画像情報の解析結果に基づいて、前眼部形状情報に含まれる複数のパラメータの一部が、測定値から仮定値へと自動で変更される構成を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、検者が操作部（モニタ 1 6）を操作することによって、複数のパラメータの一部に測定値を使用するか、又は仮定値を使用するか、を手動で変更する構成としてもよい。この場合、制御部 5 0 は、前眼部形状情報におけるパラメータ情報の良否に基づき、検者の判断を補助するためのガイド情報を、モニタ 1 6 へ表示させてもよい。

## 【 0 1 4 9 】

本実施例では、前眼部形状情報に含まれる複数のパラメータの一部が、仮定値のひとつである推定値へと置き換えられる構成を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、検者が操作部を操作し、仮定値として用いる値を選択することが可能な構成としてもよい。一例として、模型眼に基づく標準値、統計データ等に基づく平均値、被検眼の過去の測定値、及び推定値、等の少なくともいずれかを選択することが可能な構成としてもよい。

30

## 【 0 1 5 0 】

本実施例では、被検眼の眼屈折力を測定した後に、被検眼の断面画像 7 0 を取得する構成を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、被検眼の眼屈折力と、被検眼の断面画像 7 0 と、を並行して（同一タイミングにて）取得する構成であってもよい。この場合、制御部 5 0 は、投影光学系 1 0 0 a における測定光源 1 1 1 からの測定光と、照射光学系 3 0 0 a における光源 3 1 1 からの照明光と、を共に制御して、双方の光を被検眼に向けて投光させる。なお、投光の開始は、必ずしも同時である必要はない。また、制御部 5 0 は、受光光学系 1 0 0 b における撮像素子 1 2 5 と、受光光学系 3 0 0 b の撮像素子 3 2 1 と、を共に制御して、リング像と断面画像 7 0 を同一タイミングで撮像する。例えば、これによって、被検眼に雲霧が付加された状態で、眼屈折力と断面画像 7 0 が取得される。

40

## 【 0 1 5 1 】

被検眼の状態は各々の取得タイミングで異なる場合があり、眼屈折力と、断面画像 7 0 に基づく前眼部形状情報と、において縮瞳や調節の影響を避けることは困難である。例え

50

ば、被検眼の眼屈折力の測定においては、縮瞳が抑制されると共に調節が解除されるが、続いて前眼部の断面画像を取得する際には、縮瞳したり再び調節が働いたりする可能性もある。しかし、眼屈折力の測定（リング像の取得）と断面画像の取得を同時に実施すれば、被検眼の瞳孔状態や調節状態を容易に合わせることができ、被検眼に雲霧が付加され、前眼部が適切な状態（すなわち、被検眼の調節が解除され、水晶体厚が薄い状態）で、断面画像が取得される。このため、制御部 50 は、眼軸長の算出に適したパラメータの測定値を取得し、眼軸長を精度よく求めることができる。更に、パラメータの測定値が有効でなければ、これを仮定値に置き換えることで、眼軸長を精度よく求めることができる。

【0152】

本実施例では、被検眼 E の各透光体における屈折率を一定とする場合を例に挙げて説明したが、これに限定されない。例えば、前眼部の断面画像 70 とは別に、透光体の屈折率に関する屈折率情報を取得し、眼軸長 AL の導出に屈折率情報を利用してもよい。つまり、眼軸長 AL を取得する上で、屈折率情報に基づく透光体の屈折率を、更に考慮してもよい。一例として、屈折率情報は、水晶体の屈折率を含んでもよい。水晶体の屈折率は、加齢にともなう変化があることが知られている。そこで、眼科装置 10 の記憶部は、水晶体の屈折率が年齢毎に対応付けられた計算式やルックアップテーブルを有していてもよい。この場合、被検者の年齢が入力されることで、年齢に応じた屈折率を取得することができる。制御部 50 は、このような水晶体の屈折率を用いて、光線追跡演算を行ってもよい。

【符号の説明】

【0153】

- 10      眼科装置
- 50      制御部
- 100     測定光学系
- 150     固視標呈示光学系
- 200     正面撮影光学系
- 300 a   照射光学系
- 300 b   受光光学系
- 400     指標投影光学系

10

20

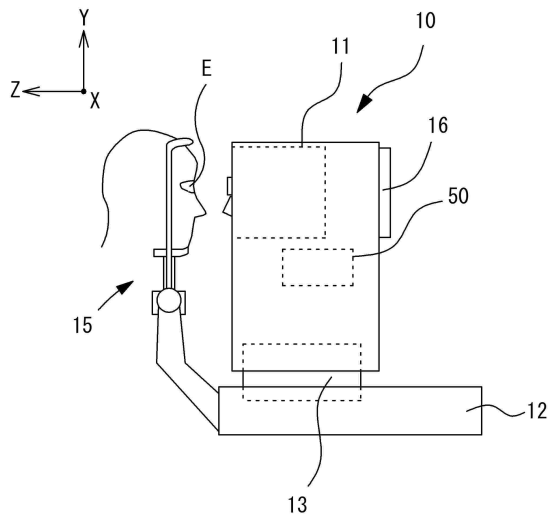
30

40

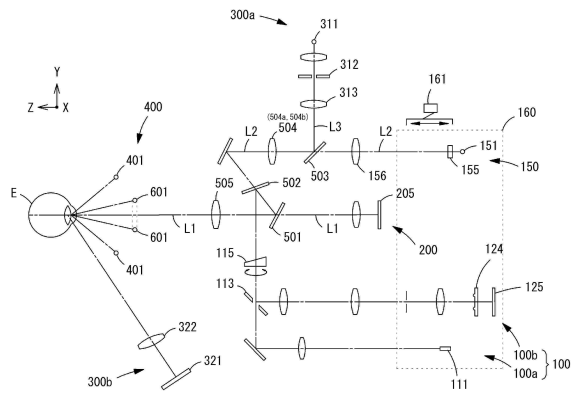
50

【図面】

【図 1】

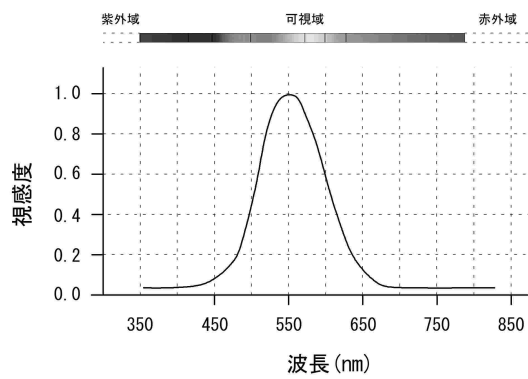


【図 2】

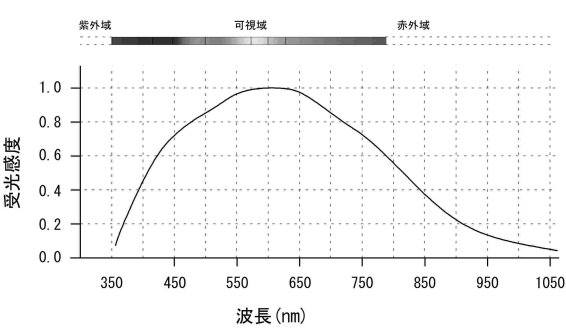


10

【図 3】



【図 4】



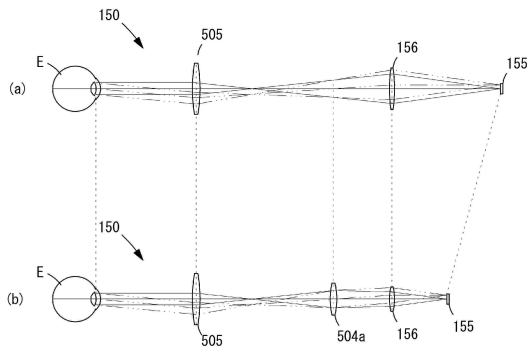
30

40

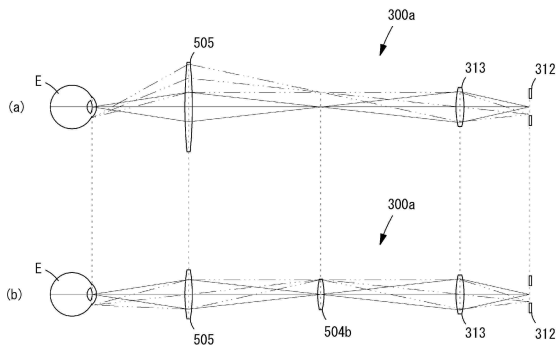
50



【図 5】

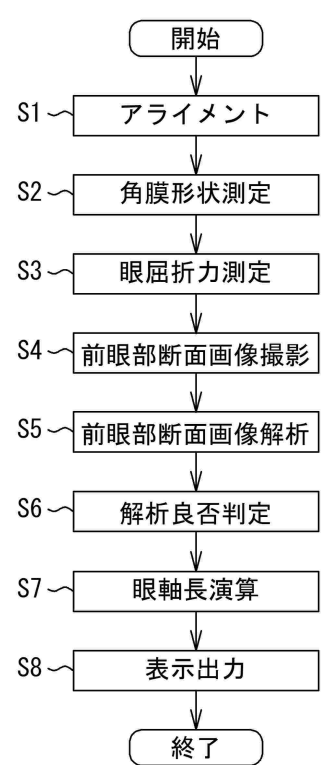


【図 6】

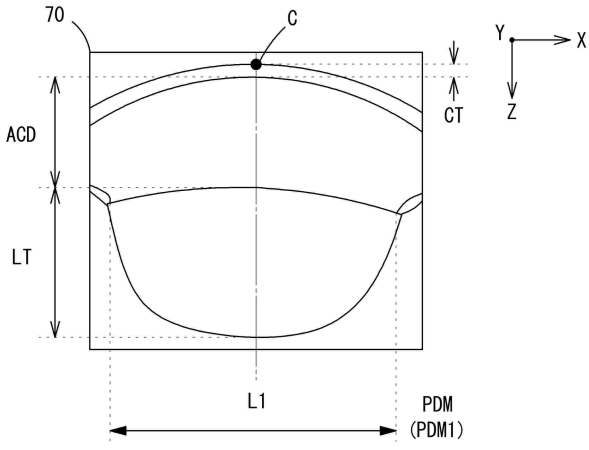


10

【図 7】



【図 8】



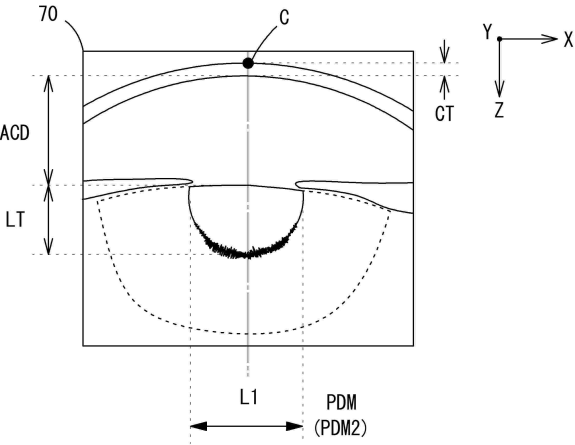
20

30

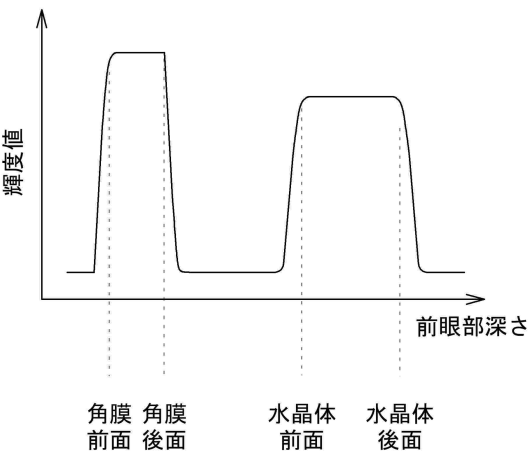
40

50

【図 9】

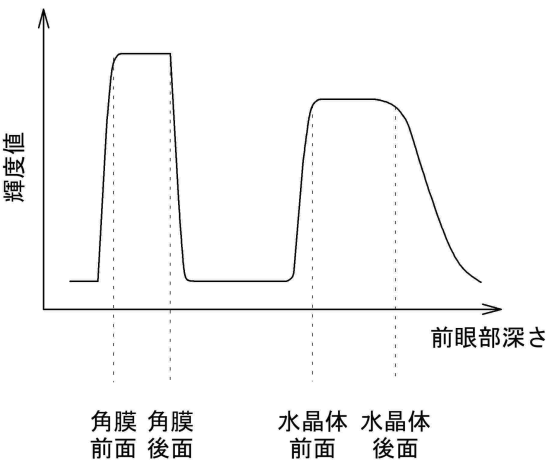


【図 10】

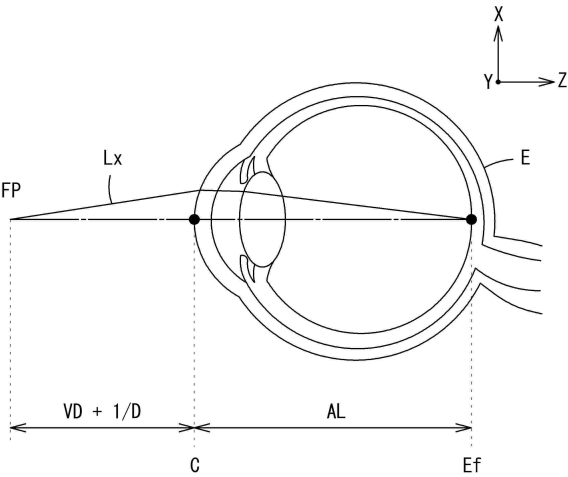


10

【図 11】



【図 12】



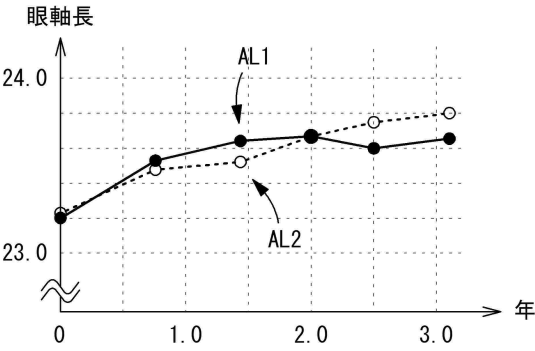
20

30

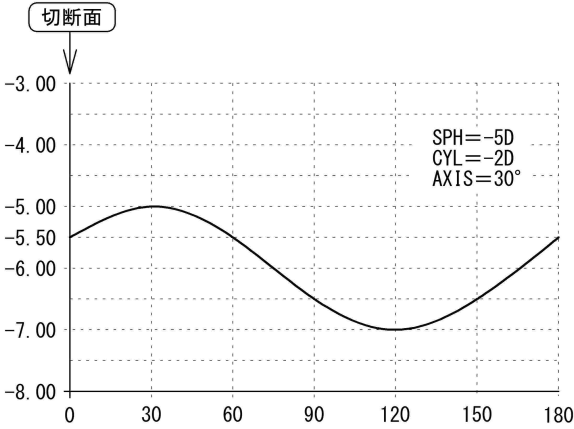
40

50

【図 1 3】



【図 1 4】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 0 0 8 7 6 8 ( J P , A )  
特開昭 6 3 - 1 9 7 4 3 2 ( J P , A )  
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)  
A 6 1 B 3 / 0 0 - 3 / 1 8