

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5767026号
(P5767026)

(45) 発行日 平成27年8月19日 (2015. 8. 19)

(24) 登録日 平成27年6月26日 (2015. 6. 26)

(51) Int. Cl.

F 1

A 6 1 B 3/135 (2006. 01)

A 6 1 B 3/12 F

A 6 1 B 3/13 (2006. 01)

A 6 1 B 3/12 Z

A 6 1 B 3/107 (2006. 01)

A 6 1 B 3/10 H

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2011-123816 (P2011-123816)
 (22) 出願日 平成23年6月1日 (2011. 6. 1)
 (65) 公開番号 特開2012-249768 (P2012-249768A)
 (43) 公開日 平成24年12月20日 (2012. 12. 20)
 審査請求日 平成26年5月26日 (2014. 5. 26)

(73) 特許権者 000135184
 株式会社ニデック
 愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4
 (72) 発明者 鈴木 邦生
 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 河合 規二
 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 遠藤 雅和
 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 九鬼 一慶

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 前眼部測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源からの出射光を被検眼前眼部に向けて投光し、前眼部上に光切断面を形成させる投光光学系と、

前記光切断面の前眼部での散乱により取得される前眼部散乱光を受光する検出器を有する受光光学系と、

前記検出器からの検出信号に基づいて断面画像を形成し、該断面画像を処理して前眼部を測定する前眼部測定装置において、

実際に前記断面画像が取得された位置と所期する位置との前記光切断面と直交する方向における位置ずれを検出するずれ検出手段と、

前記断面画像を処理して前眼部の曲面部分に関する曲率半径を測定し、前記曲率半径と、前記ずれ検出手段の検出結果に基づいて、前眼部に対する測定結果を補正する補正手段と、を備えることを特徴とする前眼部測定装置。

【請求項 2】

前記補正手段は、前記曲率半径と、前記光切断面と直交する方向に関する位置ずれ量と、に基づいて所期する位置にて断面画像が取得された場合に導出される曲率半径を推定値として算出し、前記推定値に基づいて、前眼部に対する測定結果を補正することを特徴とする請求項 1 の前眼部測定装置。

【請求項 3】

前記ずれ検出手段は、前眼部正面像を取得するための観察光学系を有し、被検眼前眼部

に形成された指標像に基づいて被検眼の角膜頂点位置を検出し、前記断面画像が取得される際の位置と角膜頂点位置とのずれを検出する請求項 1 ~ 2 のいずれかの前眼部測定装置。

【請求項 4】

前記投光光学系は、光源からの出射光を被検眼前眼部にスリット光として投光する投光光学系であって、

前記受光光学系は、被検眼前眼部と略共役な位置に配置された撮像面を持つ撮像素子を有し、前記投光光学系の投光光軸に対して傾斜した撮像光軸を持ち、シャインプルークの原理に基づいて配置された撮影レンズと撮像素子を持つ請求項 1 ~ 3 のいずれかの前眼部測定装置。

10

【請求項 5】

前記補正手段は、前記光切断面と直交する方向に関する位置ずれ量に基づいて、受光光学系によって前眼部上に形成される撮影物体面と、前眼部上に形成されるスリット切断面と、のずれによって生じる測定結果のずれを補正するための補正情報を取得し、取得された補正情報に基づいて測定結果を補正する請求項 1 ~ 4 のいずれかの前眼部測定装置。

【請求項 6】

前記ずれ検出手段は、さらに、実際に前記断面画像が取得された位置と所期する位置との前記光切断面の深さ方向における位置ずれを検出し、

前記補正手段は、前記ずれ検出手段によって検出された深さ方向の位置ずれに基づいて、前眼部の測定結果を補正する請求項 1 ~ 5 のいずれかの前眼部測定装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検眼の前眼部を測定する前眼部測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

被検眼の前眼部を測定する方法として、被検眼の前眼部にスリット光を投影し、シャインプルーカカメラにより前眼部断面画像を得て、前眼部組織を測定する装置が知られている（特許文献 1 参照）。また、前眼部組織を測定する装置としては、前眼部光干渉断層計（前眼部 OCT（Optical coherence tomography））が知られている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 6 - 14885 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記のような装置において、前眼部断面画像を取得する場合に、前眼部に投影されたアライメント指標（例えば、マイヤーリング）を用いて、所望の位置にて、アライメントを行い、撮影が行われる。このとき、例えば、角膜頂点位置を基準位置として前眼部断面画像を取得する場合に、前眼部に投影されたアライメント指標（例えば、マイヤーリング）をアライメント基準位置（角膜頂点位置と撮影光軸が一致する位置）と位置合わせすることによって、アライメントを行い、撮影を行う。

40

【0005】

しかしながら、アライメントずれ、又は、眼の固視微動等によって、撮影位置がずれてしまい、ずれた撮影位置における前眼部断面画像を取得してしまう場合がある。このため、同一被検眼において同じ撮影位置の前眼部断面画像を撮影するようにアライメントを行ったとしても、測定値にばらつきが表れる。

【0006】

例えば、スリット光を投影する方式の場合、角膜頂点位置から撮影位置がずれることに

50

よって、前眼部断面画像を取得する際のスリット光の入射位置が角膜頂点位置からずれた位置となる。このため、被検眼に入射する際の入射角度が変化し、前眼部反射光（前眼部散乱光）が被検眼の屈折の影響を受ける。そして、取得される前眼部断面画像に屈折の影響が生じ、この前眼部断面画像より測定値を算出した場合、測定値にずれが生じる。

【 0 0 0 7 】

本発明は、上記問題点を鑑み、再現性の高い前眼部の測定を行える前眼部測定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】

【 0 0 0 8 】

上記課題を解決するために、本発明は以下のような構成を備えることを特徴とする。

10

【 0 0 0 9 】

（１） 光源からの出射光を被検眼前眼部に向けて投光し、前眼部上に光切断面を形成させる投光光学系と、前記光切断面の前眼部での散乱により取得される前眼部散乱光を受光する検出器を有する受光光学系と、前記検出器からの検出信号に基づいて断面画像を形成し、該断面画像を処理して前眼部を測定する前眼部測定装置において、実際に前記断面画像が取得された位置と所期する位置との前記光切断面と直交する方向における位置ずれを検出するずれ検出手段と、前記断面画像を処理して前眼部の曲面部分に関する曲率半径を測定し、前記曲率半径と、前記ずれ検出手段の検出結果に基づいて、前眼部に対する測定結果を補正する補正手段と、を備えることを特徴とする。

（２） 前記補正手段は、前記曲率半径と、前記光切断面と直交する方向に関する位置ずれ量と、に基づいて所期する位置にて断面画像が取得された場合に導出される曲率半径を推定値として算出し、前記推定値に基づいて、前眼部に対する測定結果を補正することを特徴とする（１）の前眼部測定装置。

20

（３） 前記ずれ検出手段は、前眼部正面像を取得するための観察光学系を有し、被検眼前眼部に形成された指標像に基づいて被検眼の角膜頂点位置を検出し、前記断面画像が取得される際の位置と角膜頂点位置とのずれを検出する請求項（１）～（２）のいずれかの前眼部測定装置。

（４） 前記投光光学系は、光源からの出射光を被検眼前眼部にスリット光として投光する投光光学系であって、前記受光光学系は、被検眼前眼部と略共役な位置に配置された撮像面を持つ撮像素子を有し、前記投光光学系の投光光軸に対して傾斜した撮像光軸を持ち、シャインブルークの原理に基づいて配置された撮影レンズと撮像素子を持つ（１）～（３）のいずれかの前眼部測定装置。

30

（５） 前記補正手段は、前記光切断面と直交する方向に関する位置ずれ量に基づいて、受光光学系によって前眼部上に形成される撮影物体面と、前眼部上に形成されるスリット切断面と、のずれによって生じる測定結果のずれを補正するための補正情報を取得し、取得された補正情報に基づいて測定結果を補正する（１）～（４）のいずれかの前眼部測定装置。

（６） 前記ずれ検出手段は、さらに、実際に前記断面画像が取得された位置と所期する位置との前記光切断面の深さ方向における位置ずれを検出し、前記補正手段は、前記ずれ検出手段によって検出された深さ方向の位置ずれに基づいて、前眼部の測定結果を補正する（１）～（５）のいずれかの前眼部測定装置。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本発明によれば、再現性の高い前眼部の測定を行うことができる。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

以下、本発明の実施形態について図面に基づいて説明する。図１は本実施形態に係る前眼部測定装置の光学系について示す概略構成図である。本光学系は、眼軸長測定光学系（測定ユニット）１０、ケラト投影光学系５０、アライメント投影光学系４０、前眼部正面

50

撮像光学系 30、前眼部断面像撮像光学系 90 に大別される。なお、以下の光学系は、図示無き筐体に内蔵されている。また、その筐体は、周知のアライメント移動機構の駆動により、操作部材（例えば、ジョイスティック）を介して被検者眼に対して 3 次元的に移動される。

【0012】

ケラト投影光学系 50 は、測定光軸 L1 を中心に配置されたリング状の光源 51 を有し、被検眼角膜にリング指標を投影して角膜形状（曲率、乱視軸角度、等）を測定するために用いられる。なお、光源 51 には、例えば、赤外光または可視光を発する LED が使用される。なお、投影光学系 50 について、光軸 L1 を中心とする同一円周上に少なくとも 3 つ以上の点光源が配置されていればよく、間欠的なリング光源であってもよい。さらに、複数のリング指標を投影するプラチド指標投影光学系であってもよい。

10

【0013】

アライメント投影光学系 40 は、光源 51 の内側に配置され、赤外光を発する投影光源 41（例えば、 $\lambda = 970 \text{ nm}$ ）を有し、被検眼角膜 E c にアライメント指標を投影するために用いられる。そして、角膜 E c に投影されたアライメント指標は、被検眼に対する位置合わせ（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。本実施形態において、投影光学系 50 は、被検者眼角膜 E c に対してリング指標を投影する光学系であって、リング指標は、マイヤーリングも兼用する。また、投影光学系 40 の光源 41 は、前眼部を斜め方向から赤外光にて照明する前眼部照明を兼用する。なお、投影光学系 40 において、さらに、角膜 E c に平行光を投影する光学系を設け、投影光学系 40 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。

20

【0014】

前眼部正面撮像光学系 30 は、前眼部正面像を撮像（取得）するために用いられる。前眼部正面撮像光学系 30 は、ダイクロイックミラー 33、対物レンズ 47、ダイクロイックミラー 62、フィルタ 34、撮像レンズ 37、二次元撮像素子 35、を含み、被検眼の前眼部正面像を撮像するために用いられる。二次元撮像素子 35 は、被検眼前眼部と略共役な位置に配置されている。

【0015】

前述の投影光学系 40、投影光学系 50 による前眼部反射光は、ダイクロイックミラー 33、対物レンズ 47、ダイクロイックミラー 62、フィルタ 34、及び撮像レンズ 37 を介して二次元撮像素子 35 に結像される。

30

【0016】

眼軸長測定光学系 10 は、投光光学系と受光光学系が備えられており、投光光学系には、低コヒーレント光を出射する測定光源 1 が備えられている。そして、光源 1 から出射された光を測定光と参照光に分割し、少なくとも測定光を被検眼に照射すると共に、被検眼からの反射光と参照光を合成させ、受光素子に入射させる。そして、受光素子から出力される受光信号に基づいて、受光素子によって干渉光が検出されたタイミングを元に、眼軸長が算出される。なお、本実施例では、眼軸長測定光学系 10 の測定光源は、固視灯を兼ねている。

40

【0017】

また、例えば、光源 1 から発せられた光の眼底での反射により取得される眼底反射光の大部分は、ダイクロイックミラー 33 を透過し、眼軸長測定光学系 10 の受光素子によって受光される。また、眼底反射光の一部は、ダイクロイックミラー 33 で反射され、前眼部正面撮像光学系 30 で結像される。

【0018】

前眼部断面像撮像光学系 90 は、投光光学系（投影光学系）90 a と、受光光学系（撮像光学系）90 b を有し、被検眼の前眼部断面像を撮像するために用いられる。

【0019】

投光光学系 90 a は、光源からの出射光を被検眼前眼部にスリット光として投光する。

50

投光光学系 90a は、光源 91 と、集光レンズ 92 と、スリット板 93 と、全反射ミラー 94 と、ダイクロイックミラー 62 と、対物レンズ 47 と、ダイクロイックミラー 33 を含む。

【0020】

受光光学系 90b は、検出器（二次元撮像素子）97 と、撮像レンズ 96 と、を含み、被検眼に対して斜め方向から前眼部断面像を撮像する構成となっている。二次元撮像素子 97 は、被検眼前眼部と略共役な位置に配置された撮像面を持っている。撮像レンズ 96 は、前眼部での散乱により取得される前眼部散乱光（前眼部反射光）を撮像素子 97 に導く。受光光学系 90b は、投光光学系 90a の投光光軸に対して傾斜した撮像光軸を持ち、シャインブルークの原理に基づいて配置された撮像レンズ 96 と撮像素子 97 を持っている。受光光学系 90b は、その光軸（撮像光軸）が投光光学系 90a の光軸と所定の角度で交わるように配置されており、例えば、投光光学系 90a による投影像の光断面と被検眼角膜 E c を含むレンズ系（角膜 E c 及び撮像レンズ 96）と撮像素子 97 の撮像面とがシャインブルークの関係にて配置されている。なお、レンズ 96 の手前（被検眼 E 側）には、光源 91 から出射され、前眼部断面像を撮像するために用いられる光（青色光）のみを透過するフィルタ 99 が配置されている。

10

【0021】

次に、制御系について説明する。制御部 80 は、装置全体の制御及び測定結果の算出を行う。制御部 80 は、眼軸長測定光学系 10 の各部材（光源 1 を含む）、光源 91、光源 51、光源 41、撮像素子 35、撮像素子 97、モニタ 70、メモリ 85 等と接続されている。

20

【0022】

また、本実施形態では、眼軸長測定する眼軸長測定モードと前眼部断面像より前眼部（例えば、角膜形状等）を測定する前眼部測定モードとが用意されている。各モードは、自動又は手動にて切り換えが行われる。

また、制御部 80 には、各種入力操作を行うための操作部 84 が接続されている。操作部 84 には、操作入力部として、マウス等の汎用インターフェースが用いられてもよいし、その他、タッチパネルが用いられてもよい。そして、操作部 84 には、例えば、眼軸長測定する眼軸長測定モードと前眼部断面像より前眼部（例えば、角膜形状等）を測定する前眼部測定モードを切り換えるためのモード切替スイッチ 84a が設けられている。

30

【0023】

なお、メモリ 85 には、各種制御プログラムの他、制御部 80 が眼軸長 / 角膜形状等を算出するためのソフトウェアプログラム、制御部 80 が瞳孔径を算出するためのソフトウェアプログラム等が記憶されている。

【0024】

< 前眼部測定モード >

以上のような構成を備える装置において、その動作について説明する。なお、以下の説明においては、前眼部測定モードについて説明する。検者は、モニタ 70 に表示される被検眼のアライメント状態を見ながら、図示なきジョイスティック等の操作手段を用いて、装置を上下左右及び前後方向に移動させ、装置を被検眼 E に対して所定の位置関係に置く。この場合、検者は、固視標を被検眼に固視させる。

40

【0025】

図 2 は撮像素子 35 によって撮像された前眼部像が表示された前眼部観察画面を示す図である。アライメントの際には、光源 41 及び光源 51 が点灯される。ここで、検者は、図 2 に示すように、電子的に表示されたレチクル L T と、光源 41 によるリング指標 R 1 と、が同心円状になるように上下左右のアライメントを行う。また、検者は、リング指標 R 1 のピントが合うように、前後のアライメントを行う。なお、リング指標 R 1 の外側には、光源 51 によるリング指標 R 2 が表示されている。

【0026】

アライメント完了後、所定のトリガ信号が自動又は手動にて出力されると、前眼部断面

50

像の撮影が行われる。眼 E に対するアライメントが行われ、トリガ信号が発せられると、制御部 80 は、光源 91 を点灯する。そして、光源 91 からの光は、集光レンズ 92 によって集光され、スリット 93 を通過してスリット光となる。そのスリット光は、全反射ミラー 94 で反射され、ダイクロイックミラー 62 を透過し、対物レンズ 47 を介して、ビームスプリッタ 33 で反射され、前眼部上で集光される。前眼部上に形成されたスリット断面像は、フィルタ 99 とレンズ 96 とを介して、撮像素子 97 によって撮像される。

【0027】

そして、制御部 80 は、撮像素子 97 によって取得された検出信号に基づいて前眼部断面画像を形成し、断面画像を処理（解析）して、前眼部（本実施形態においては、前房深度、角膜曲率半径、角膜厚）を測定する。なお、前房深度を算出する場合、角膜から水晶体前面までの距離が測定されればよく、角膜前面からの距離又は角膜後面からの距離のいずれであってもよい。また、角膜曲率半径は、曲率中心から被検眼角膜までの距離で表わされる。

【0028】

本実施形態においては、角膜頂点位置と装置の光軸（L1）が一致する位置がアライメント基準位置として設定され、アライメントが行われる。すなわち、前眼部断面画像を取得する際のスリット光の入射位置について、スリット光が角膜頂点位置を通るようにアライメントされる。この際、眼の固視微動等によって、実際の入射位置は、角膜頂点位置からずれた位置となる可能性がある。そのため、同一被検眼で、同様にして、角膜頂点位置をアライメントしていた場合においても、装置のアライメントのずれが生じる場合がある。

【0029】

前房深度、角膜曲率半径、角膜厚の測定値は、前眼部断面画像の解析によって算出されている。このため、前眼部断面画像を取得する際の入射位置にずれが生じることによって、スリット切断面の角度変化、撮影物体面（撮像素子 97 の撮像面と共役関係にある面）のずれ等が生じ、測定値にもずれが生じる。すなわち、スリット光の入射位置のずれは、投光光学系 90a 及び受光光学系 90b に影響し、それらによって各測定値にずれが生じる。

【0030】

図 3 は、装置のアライメントが上下方向にずれた場合のスリット光の角膜での屈折の影響による切断面のずれと物体面の関係を示す図である。S1 は、装置のアライメントがずれていない場合の撮影物体面（以下、物体面と記載する）を示している。P1 は、同じく装置のアライメントがずれていない場合のスリット光の切断面を示している（実線部）。また、S2 は、装置のアライメントが上下方向にずれた場合の物体面を示している。P2 は、同じく装置のアライメントが上下方向にずれた場合のスリット光の切断面を示している（点線部）。

【0031】

投光光学系 90a から出射されるスリット光は、スリット光の入射位置が変化することによって、眼に入射した際に、角膜前面以降のスリット切断面の角度が変化し、これによって、撮像される前眼部断面画像に影響が生じる。すなわち、スリット光は、眼球内部（前眼部透光体）及び角膜を通過しており、眼球内部及び角膜での屈折による影響を受ける。また、スリット光の入射位置が変化することによって、眼に入射してからスリット切断面の角度が変化するため、前眼部散乱光が予め設定していた物体面とずれが生じる。これにより、撮像される前眼部断面画像が変化し、前眼部断面画像の解析によって算出される各測定値にずれが生じるため、これを補正する必要がある。

【0032】

また、固視微動等によって、眼の角膜頂点を通過する位置とは異なる撮影位置にて、前眼部断面画像が取得されているため、角膜頂点を通過する位置にて算出される測定値とは異なった測定値が算出されている。そのため、前眼部断面画像より算出された測定値を撮影位置のずれを考慮して、角膜頂点位置を撮影位置とした場合の測定値に補正する必要が

10

20

30

40

50

ある。

【 0 0 3 3 】

そこで、装置のアライメント位置が上下方向のずれることによって生じる、眼の屈折の影響によるずれ（スリット切断面の角度ずれ）と撮影位置のずれの補正を行い、前眼部断面画像が角膜頂点位置にて取得された場合を想定した測定値に補正する。

【 0 0 3 4 】

以下、装置のアライメントのずれが発生した場合の前房深度、角膜曲率半径、角膜厚の測定値の補正方法について説明する。

【 0 0 3 5 】

< 前房深度、角膜曲率半径、角膜厚の測定値の算出 >

10

図 4 は撮像された前眼部断面画像を示す。初めに、制御部 8 0 は、撮像画像の各層の濃度値（輝度値）を基に、角膜前面に沿った 3 点（P 1 , P 2 , P 3 ）を検出し、角膜前面を円近似させ、その曲率中心 O を求める。そして、曲率中心 O から角膜までの距離から角膜曲率半径が算出される。

【 0 0 3 6 】

次いで、この断面画像から前房深度等の前眼部形状を計測するための測定軸 C を決定する。上記で算出した曲率中心 O を通る測定軸 C を引く。次に、制御部 8 0 は、撮影画像の各層の濃度値（輝度値）を基に、測定軸 C 上での角膜後面の交点 P 4 、水晶体前面の交点 P 5 、水晶体後面の交点 P 6 を検出する。そして、制御部 8 0 は、点 P 4 から点 P 5 の距離を算出し、角膜厚及び前房深度を測定する。

20

【 0 0 3 7 】

< 測定値の補正 >

次いで、上記で算出した前房深度、角膜曲率半径、角膜厚の測定値の補正を行う。以下、図 5 に示したフローチャートを用いて、ずれの補正方法について説明する。

【 0 0 3 8 】

初めに、実際に断面画像が取得された位置と所期する位置（本実施形態においては、角膜頂点位置）との光切断面と直交する方向における位置ずれを検出する。すなわち、光切断面に対して直交する方向におけるずれ量 Y の検出を行う。以下の説明では、スリット切断面が角膜頂点位置を通過して水平方向に形成された場合を基準として、上下方向（Y 軸方向）におけるずれ量 Y の検出を行う。

30

【 0 0 3 9 】

制御部 7 0 は、前眼部に形成された指標像に基づいて角膜頂点位置を検出し、断面画像が取得される際の位置と角膜頂点位置とのずれを検出する。例えば、予め、二次元撮像素子 3 5 上に設定された X Y 方向のアライメント基準位置（二次元撮像素子 3 5 の撮像面と撮像光軸 L 1 との交点）と角膜頂点位置との偏位量を求めることによってずれ量 Y を検出する。この場合、例えば、マイヤーリングの中心位置が角膜頂点位置としてみなされる。

【 0 0 4 0 】

位置ずれ検出後、制御部 7 0 は、検出結果に基づいて、前眼部に対する測定結果を補正する。

40

【 0 0 4 1 】

初めに、スリット切断面の角度ずれの補正を行う。制御部 7 0 は、光切断面と直交する方向に関する位置ずれ量に基づいて、受光光学系 9 0 b によって前眼部上に形成される撮影物体面と前眼部上に形成されるスリット切断面とのずれによって生じる測定結果のずれを補正するための補正情報を取得する。制御部 7 0 は、取得された補正情報に基づいて測定結果を補正する。

【 0 0 4 2 】

例えば、メモリ 7 5 には、装置のアライメントの上下方向のずれ量に応じたスリット切断面の角度ずれを補正するための前房深度、角膜曲率半径、角膜厚の各測定値の補正量が補正テーブルとして記憶されている。そして、制御部 7 0 は、上下方向のずれ量に応じた

50

、前房深度、角膜曲率半径、角膜厚の補正量をメモリ 75 から取得し、得られた補正量に基づいて、前房深度、角膜曲率半径、角膜厚の各測定値を補正する。

【0043】

なお、スリット切断面の角度ずれの補正テーブル（以下、角度補正テーブル）を作成する場合、例えば、模型眼に対して所定の前房深度、角膜曲率半径、角膜厚を測定しておき、前眼部断面像を撮影するための測定光を上下方向に所定のずれ量を変化させたときの前房深度、角膜曲率半径、角膜厚の測定値のずれ量を基に補正值を得る。そして、これを上下方向に異なるずれ量毎に対して行うことにより上下方向のずれ量毎の角度補正テーブルが作成される。

【0044】

10

そして、制御部 80 は、メモリ 75 に記憶された角度補正テーブルより、上下方向のずれ量 Y に対応した各測定値の補正量を取得し、前房深度、角膜曲率半径、角膜厚の測定値を補正する。

【0045】

以上のようにして、前眼部断面画像のスリット切断面の角度ずれによる測定値のずれを補正した後、角膜頂点を通る位置において前眼部断面画像を撮影した場合の測定値となるように、上下方向の撮影位置のずれを考慮して、測定値を補正する。

【0046】

初めに、角膜曲率半径の補正が行われる。制御部 70 は、断面画像を処理して測定される前眼部の曲面部分に関する曲率半径と、光切断面と直交する方向に関する位置ずれ量と、に基づいて角膜頂点位置にて断面画像が取得された場合に導出される曲率半径を推定値として算出する。図 6 は、角膜曲率半径を補正するための概念について説明するための図である。

20

【0047】

S1 は、装置のアライメントがずれていない（角膜頂点を通る）場合の物体面を示している（図 3 参照）。S2 は、装置のアライメントが上下方向にずれた（角膜頂点からずれた）場合の物体面を示している。Y は S1 と S2 との上下方向のずれ量を示している。O1 は、物体面が S1（角膜頂点位置を通る位置）であるときに取得された前眼部断面画像の角膜部分の曲率中心を示している。O2 は、物体面が S2 であるときに取得された前眼部断面画像の角膜部分によって導出される曲率中心を示している。

30

【0048】

なお、曲率中心 O は、上記記載のように、断面画像における角膜に沿った点を検出し、角膜を円近似させることによって求めることができる。R1 は物体面 S1 に対応する角膜前面の曲率半径を示しており、曲率中心 O1 から角膜前面 Ec1 までの距離を表わす。R2 は物体面 S2 に対応する角膜前面の曲率半径を示しており、曲率中心 O2 から角膜前面 Ec1 までの距離を表わす。R1a は、物体面 S1 での曲率中心 O1 から物体面 S2 での角膜前面 Ec1 までの距離であって、曲率中心 O1 から角膜前面 Ec1 までの距離（曲率半径）とされているため、R1 と同様の値となる。

【0049】

以上のようなパラメータを用いて、撮影位置が角膜頂点位置より、Y 分ずれた場合の角膜曲率半径の補正方法について説明する。角膜曲率半径は、ピタゴラスの定理を用いて、以下のように求められる。

40

【0050】

【数 1】

$$R1 = \sqrt{R2^2 + \Delta Y^2}$$

すなわち、上記に示されるように、R2 及び Y の値を用いて、R1 を算出することが可能となる。本装置によって、R2 及び Y の値は測定されるため、R1 を算出すること

50

ができる。これにより、撮影位置が角膜頂点位置である場合に算出される角膜曲率半径に補正をすることが可能となる。

【 0 0 5 1 】

次いで、角膜厚及び前房深度の補正が行われる。図 7 は、角膜厚を補正するための概念のついて説明するための図である。

【 0 0 5 2 】

D 1 は、物体面が S 1 である場合の角膜厚を示している。D 2 は、物体面が S 1 である場合の前房深度を示している。D 1 ' は物体面が S 2 である場合の角膜厚を示している。D 2 ' は、物体面が S 2 である場合の前房深度を示している。d 1 は、角膜前面 E c 1 における物体面が S 1 である場合の角膜曲率半径と物体面が S 2 である場合の角膜曲率半径のずれ量を示している。d 2 は、角膜後面 E c 2 における物体面が S 1 である場合の角膜曲率半径と物体面が S 2 である場合の角膜曲率半径のずれ量を示している。d 3 は、水晶体前面 C における物体面が S 1 である場合の水晶体前面の曲率半径と物体面が S 2 である場合の水晶体前面の曲率半径とのずれ量を示している。なお、物体面が S 1 である場合における角膜後面 E c 2 と水晶体前面 W の曲率半径は、角膜前面 E c 1 の角膜曲率半径の補正方法と同様にして、ピタゴラスの定理を用いて求めることができる。

【 0 0 5 3 】

以上のようなパラメータを用いて、撮影位置が角膜頂点位置より、Y ずれた場合の角膜厚及び前房深度の補正方法について説明する。物体面が S 1 である場合における角膜厚は、以下のようにしてを求めることができる。

【 0 0 5 4 】

【 数 2 】

$$D1 = D1' + d1 - d2$$

また、物体面が S 1 である場合における前房深度を求める場合、以下のようにして求める。

【 0 0 5 5 】

【 数 3 】

$$D2 = D2' + d2 - d3$$

すなわち、上記に示されるように、物体面が S 2 である場合の前房深度と角膜厚を用いて、物体面が S 1 である場合の前房深度と角膜厚を求めることができる。なお、物体面が S 2 である場合の前房深度と角膜厚は、上記記載のように、前眼部断面画像を解析することによって算出される。このようにして、撮影位置が角膜頂点位置である場合に算出される前房深度と角膜厚に補正をすることが可能となる。

【 0 0 5 6 】

以上のようにして、測定値を補正することによって、アライメントずれ、又は、眼の固視微動等によって、撮影位置が角膜頂点を通る撮影位置からずれが生じた場合においても、角膜頂点位置で撮影を行った場合の測定値を算出することが可能となる。

【 0 0 5 7 】

同一被検眼において同じ撮影位置の前眼部断面画像を撮影するようにアライメントを行った場合、アライメントが完了後、撮影位置にずれが生じても、再現性の高い測定値を算出することができる。すなわち、再現性の高い前眼部の測定を行うことが可能となる。

【 0 0 5 8 】

本実施形態においては、角膜頂点位置と装置の光軸が一致する位置がアライメント基準位置として設定され、アライメントが行われたがこれに限定されない。例えば、連続的に

10

20

30

40

50

撮影を行うような装置において、撮影時に、装置のアライメントが角膜頂点位置からずれた場合、第1の撮影（もちろん第2撮影以降でもよい）において角膜頂点が検出された位置をアライメント基準位置とし、その後の測定を行うようにしてもよい。この場合、第1の撮影での角膜頂点位置をアライメント基準位置とし、その後の測定では、第1の撮影での撮影位置に対応する測定値となるように測定値の補正が行われる。

【0059】

本実施形態においては、Y軸方向のずれ補正を行う構成としたがこれに限定されない。制御部70は、実際に断面画像が取得された位置と所期する位置との光切断面の深さ方向における位置ずれを検出し、検出された深さ方向の位置ずれに基づいて、前眼部の測定結果を補正する。これによって、より再現性の高い測定を行うことが可能となる。例えば、前後（深さ）方向（Z軸方向）のずれによる測定値の補正を行う場合には、初めに、撮影された前眼部断面画像より角膜前面の検出を行う。そして、予め、Z方向のずれが無い場合に角膜前面が検出される位置と撮影された前眼部断面画像より検出した角膜前面の位置との画素間のずれを比較して、前後方向におけるずれ量を検出する。その後、ずれ量分を算出された各測定値に反映させることによって補正を行う。

【0060】

また、左右方向（X軸方向）のずれに関しては、測定値にほとんど影響されないため、前眼部断面画像のモニター75上で画像の位置を補正する場合にずれ検出を行い、表示位置を補正する。これにより、モニター75上で、前眼部断面画像を良好に観察できるようになる。

【0061】

本発明は、検眼の前眼部にスリット光を投影し、シャインブルークカメラにより前眼部断面画像を得る装置において、シャインブルークカメラを回転させることにより前眼部の3次元形状画像を取得する装置にも適用可能である。この場合、所定の回転角度毎にずれ補正を行うことによって、精度よく前眼部の3次元形状画像を取得することが可能となり、3次元形状画像より取得される測定値の精度が良くなる。この場合、撮像面（スリット断面）に対して垂直な方向の位置ずれが検出され、その検出結果に基づいてずれ補正処理が行われる。

【0062】

なお、本実施形態においては、スリット投影式の前眼部断面画像撮像装置を例として挙げたが、これに限定されない。光源からの出射光を被検眼前眼部に向けて投光し、前眼部上に光切断面を形成させる投光光学系と、光切断面の前眼部での散乱により取得される前眼部散乱光を受光する検出器を有する受光光学系と、検出器からの検出信号に基づいて前眼部断面画像を形成し、断面画像を処理して前眼部を測定する前眼部測定装置であれば、適用可能である。例えば、被検眼で反射した測定光束と参照光束との合成により得られる干渉光を受光素子に受光させる干渉光学系を持ち、被検眼前眼部の断面像を撮影する前眼部断面像撮影装置（Optical Coherence Tomography：OCT）等にも適用可能である。

【0063】

前眼部OCTは、例えば、光スキャナによって測定ビームを前眼部上で走査する。この場合、断面像の撮像面（測定光の走査方向）に対して垂直な方向の位置ずれを検出するためのセンサ（例えば、前眼部の正面像を得るCCDカメラ、SLO（Scanning laser ophthalmoscope）、OCTの二次元走査によって得られるOCT正面像、など）が設けられ、センサからの出力信号に基づいてずれ補正処理が行われる。

【0064】

< 眼軸長測定 >

眼軸長測定モードについて説明する。検者は、モニター70に表示される被験者眼のアライメント状態を見ながら、図示なきジョイスティック等の操作手段を用いて、装置を上下左右及び前後方向に移動させ、装置を被検眼Eに対して所定の位置関係に置く。

【0065】

アライメント完了後、測定開始のトリガ信号が自動又は手動にて出力され、制御部80

10

20

30

40

50

によって測定光源 1 が点灯されると、眼軸長測定光学系 10 によって測定光が被検眼に照射されると共に、測定光による被検眼からの反射光が眼軸長測定光学系 10 の受光素子に入射される。そして、受光素子から出力される受光信号に基づいて、受光素子によって干渉光が検出されたタイミングを元に、眼軸長が算出される。

【図面の簡単な説明】

【0066】

【図1】本実施形態に係る前眼部測定装置の光学系について示す概略構成図である。

【図2】撮像された前眼部像が表示された前眼部観察画面を示す図である。

【図3】装置のアライメントが上下方向にずれた場合のスリット光の角膜での屈折の影響による切断面のずれと物体面の関係を示す図である。

10

【図4】撮像された前眼部断面画像を示す図である。

【図5】ずれの補正方法の流れについて説明するフローチャートである。

【図6】角膜曲率半径を補正するための概念について説明するための図である。

【図7】角膜厚を補正するための概念について説明するための図である。

【符号の説明】

【0067】

10 眼軸長測定光学系

30 前眼部正面撮像光学系

35 二次元撮像素子

40 アライメント投影光学系

20

50 ケラト投影光学系

70 モニタ

80 制御部

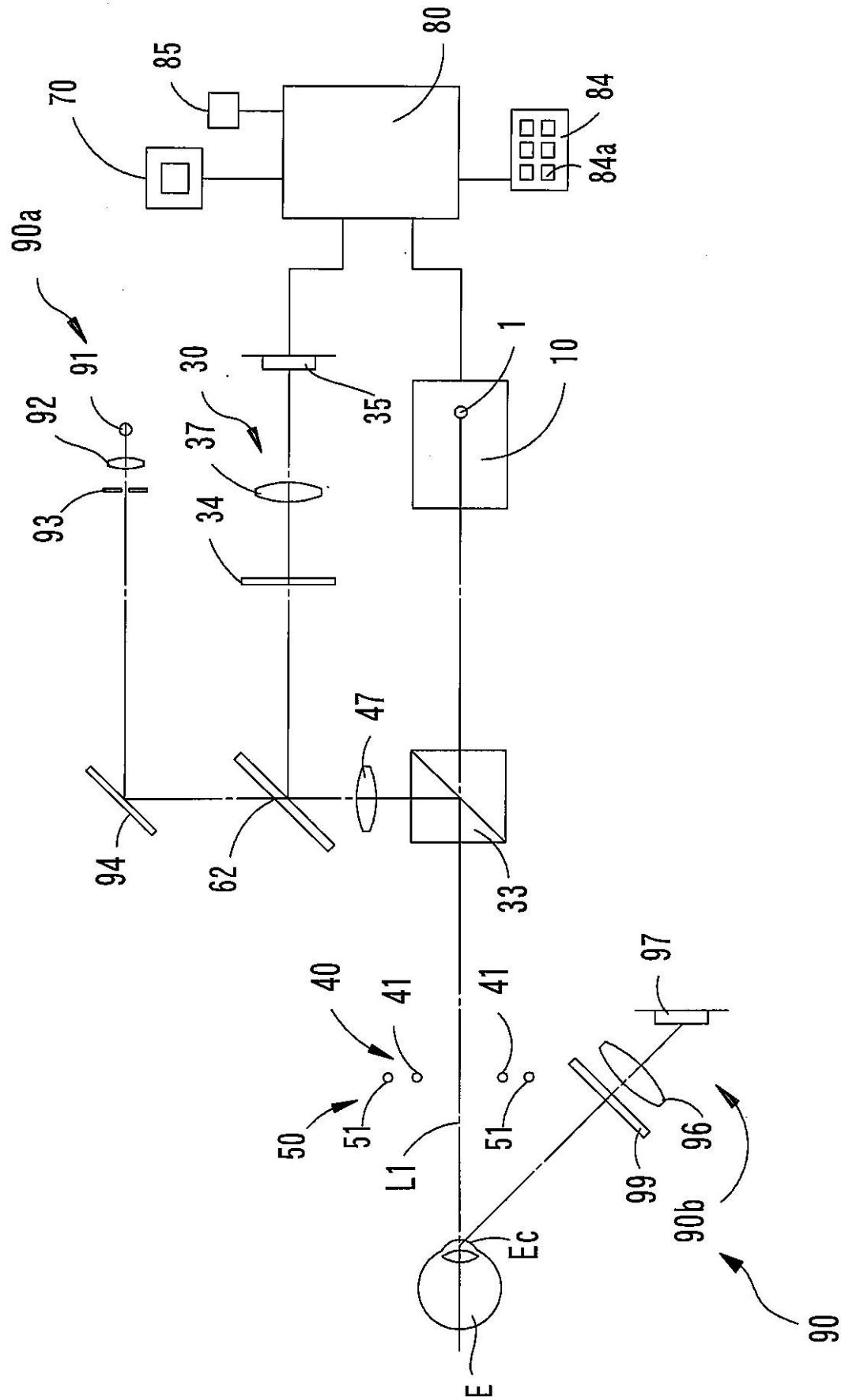
85 メモリ

84 操作部

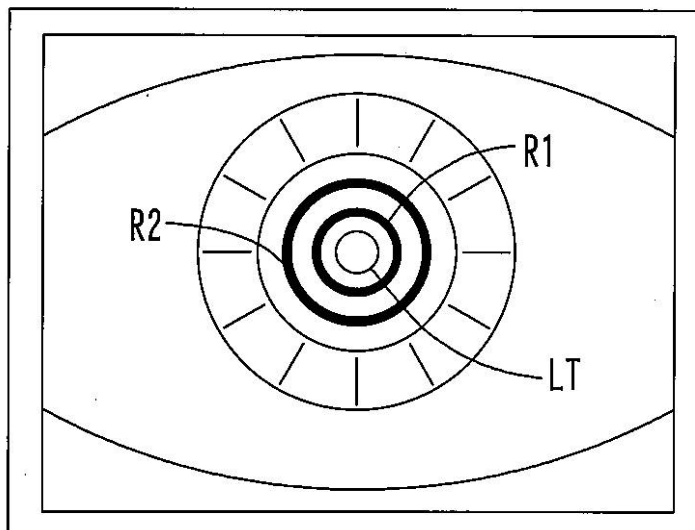
84a モード切換スイッチ

90 前眼部断面像撮像光学系

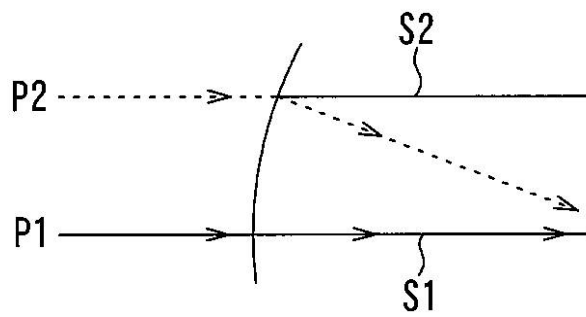
【図1】



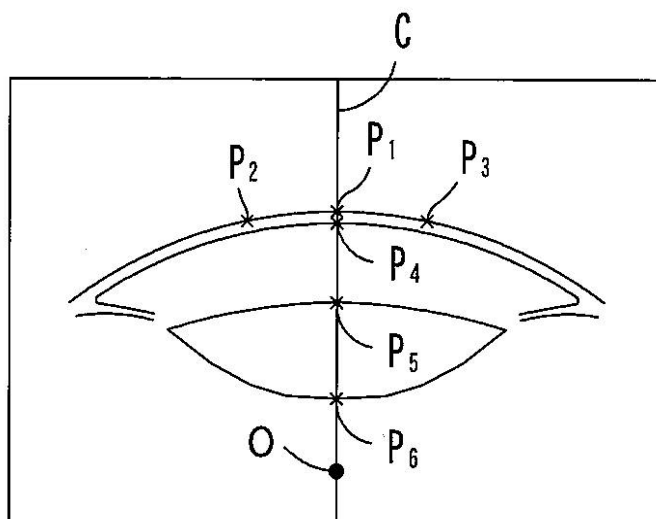
【図2】



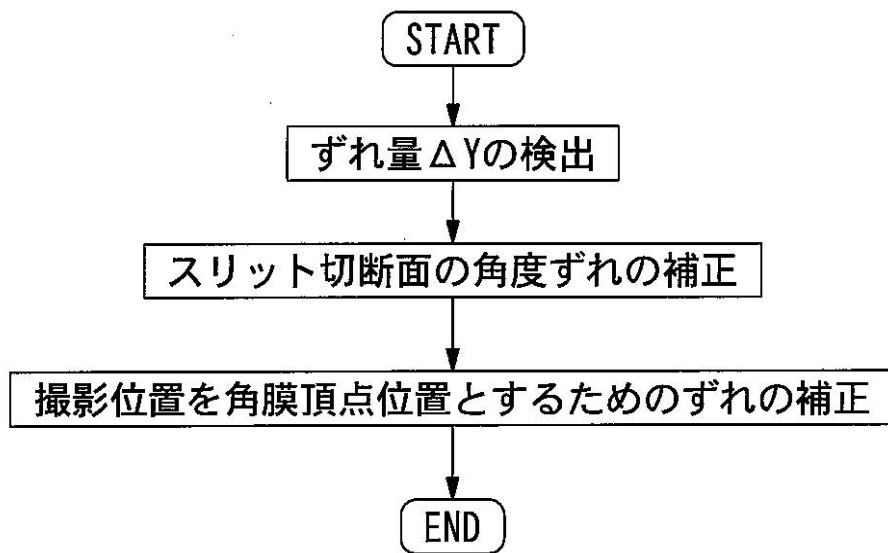
【図3】



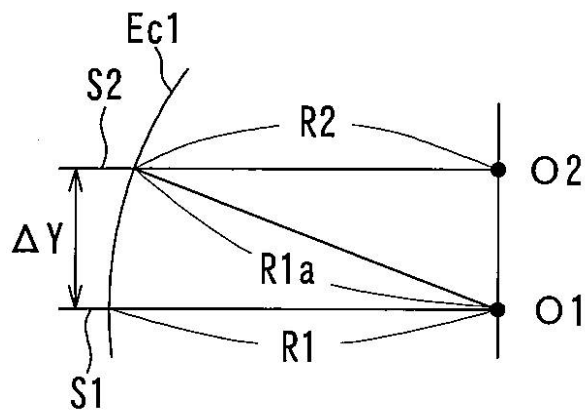
【図4】



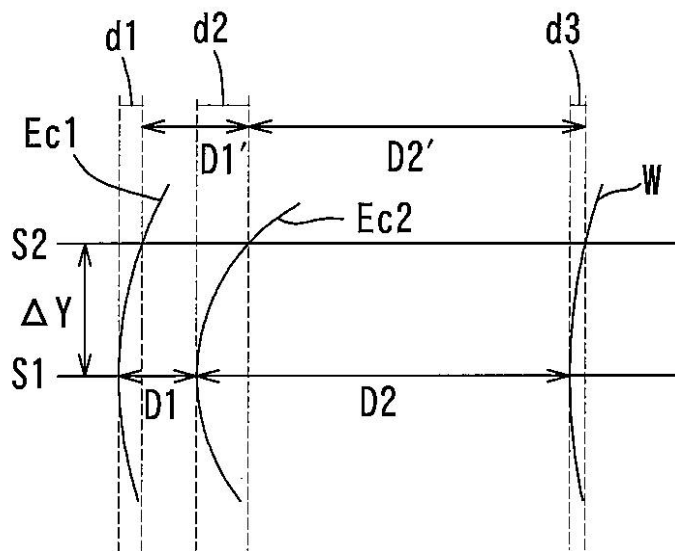
【図5】



【図6】



【図 7】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 09 - 108185 (JP, A)

特開 2010 - 131333 (JP, A)

根崎健吾, 角膜形状解析装置(オーブスキャン)を用いた角膜形状の解析, 北里医学, 日本, 2000年10月31日, Vol.30 No.5, Page.333-338

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 3/00 - 3/18