

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7415453号
(P7415453)

(45)発行日 令和6年1月17日(2024.1.17)

(24)登録日 令和6年1月9日(2024.1.9)

(51)国際特許分類

A 6 1 B 3/107(2006.01)

F I

A 6 1 B

3/107

請求項の数 2 (全17頁)

(21)出願番号 特願2019-201814(P2019-201814)
 (22)出願日 令和1年11月6日(2019.11.6)
 (65)公開番号 特開2021-74101(P2021-74101A)
 (43)公開日 令和3年5月20日(2021.5.20)
 審査請求日 令和4年9月30日(2022.9.30)

(73)特許権者	000135184 株式会社ニデック 愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14
(72)発明者	柴涼介 愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14 株式会社ニデック拾石工場内
(72)発明者	熊谷佳紀 愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14 株式会社ニデック拾石工場内
(72)発明者	坂下祐輔 愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14 株式会社ニデック拾石工場内
(72)発明者	植村努 愛知県蒲郡市拾石町前浜34番地14 株式会社ニデック拾石工場内

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】**

被検眼を測定する眼科測定装置であって、
 前記被検眼の前眼部に指標を投影する投影光学系と、
 前記指標が投影された前記前眼部を撮影することによって、前記被検眼の前眼部画像を取得する撮影手段と、
 前記前眼部画像において、前記指標によるブルキン工像に関する位置を検者が指定したときの指定位置情報を取得する位置情報取得手段と、
 前記指定位置情報に基づいて前記前眼部の形状情報を取得する演算手段と、を備え、

前記投影光学系は、前記前眼部に複数の指標を投影し、

前記演算手段は、前記前眼部画像から検出された前記複数のブルキン工像の検出位置に対してフィッティング処理を行うことで取得されたフィッティング結果の図形を、前記ブルキン工像に関する位置を修正するために表示手段に表示された修正画面に表示させることを特徴とする眼科測定装置。

【請求項2】

前記演算手段は、前記前眼部画像において、前記ブルキン工像である可能性のある候補点を表示手段に表示させることを特徴とする請求項1の眼科測定装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本開示は、被検眼を測定する眼科測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

眼科測定装置として、例えば、複数の指標を前眼部に投影するとともに、前眼部を正面方向から撮影し、取得された前眼部画像（前眼部正面画像）に写った前眼部での指標の反射像を解析することで、被検眼の前眼部形状を測定する装置が知られている。このような装置では、例えば、角膜後面による指標の反射像（第2プルキンエ像）等を解析することによって、角膜後面形状（例えば、角膜後面曲率など）の測定を行うことができる。例えば、角膜後面曲率などは、眼内レンズの度数計算に用いられる。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2015-104554号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来の装置において、プルキンエ像の反射光量が小さかった場合、前眼部画像から検出できなかったり、ノイズ光の影響で別の輝点と誤検出したりすることがあった。このため、被検眼の形状情報を取得することが困難な場合があった。

【0005】

20

本開示は、従来の問題点に鑑みてなされたものであり、被検眼の形状情報を容易に取得することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本開示は以下のよう構成を備えることを特徴とする。

【0007】

(1) 被検眼を測定する眼科測定装置であって、前記被検眼の前眼部に指標を投影する投影光学系と、前記指標が投影された前記前眼部を撮影することによって、前記被検眼の前眼部画像を取得する撮影手段と、前記前眼部画像において、前記指標によるプルキンエ像に関する位置を検者が指定したときの指定位置情報を取得する位置情報取得手段と、前記指定位置情報に基づいて前記前眼部の形状情報を取得する演算手段と、を備え、前記投影光学系は、前記前眼部に複数の指標を投影し、前記演算手段は、前記前眼部画像から検出された前記複数のプルキンエ像の検出位置に対してフィッティング処理を行うことで取得されたフィッティング結果の図形を、前記プルキンエ像に関する位置を修正するために表示手段に表示された修正画面に表示させることを特徴とする。

30

【発明の効果】

【0008】

本開示によれば、被検眼の形状情報を容易に取得できる。

【図面の簡単な説明】

40

【0009】

【図1】実施例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、角膜形状測定用の投影光学系を示した図である。

【図3】第1測定指標および第2測定指標が投影されて撮影された前眼部画像を示した図である。

【図4】実施例における装置の動作を示すフローチャートである。

【図5】修正画面の一例を示す図である。

【図6】修正画面の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

<実施形態>

50

以下、本開示に係る実施形態について説明する。本実施形態の眼科測定装置（例えば、眼科測定装置1）は、例えば、被検眼の前眼部形状を測定する。眼科測定装置は、投影光学系（例えば、投影光学系30）と、撮影部（例えば、撮影光学系20）と、位置情報取得部（例えば、制御部100）と、演算部（例えば、制御部100）を備える。投影光学系は、例えば、被検眼の前眼部に指標を投影する。撮影部は、例えば、指標の投影された前眼部を正面方向（ただし、真正面でなくてもよい）から撮影することによって、被検眼の前眼部画像を取得する。位置情報取得部は、前眼部画像において、指標によるプルキン工像に関する位置を検者が指定したときの指定位置情報を取得する。指定位置情報は、例えば、前眼部画像においてプルキン工像が存在する位置を検者が指定したときの位置情報であってもよいし、前眼部画像においてプルキン工像が存在しない位置を検者が指定したときの位置情報であってもよい。なお、プルキン工像は、前眼部画像上に輝点として現れる。演算部は、例えば、指定位置情報に基づいて前眼部の形状情報を取得する。

【0011】

眼科測定装置は、上記構成を備えることによって、前眼部画像からプルキン工像を自動で検出することができない場合であっても、検者が指定したプルキン工像に関する位置に基づいて被検眼の形状情報を（角膜曲率など）を取得することができる。このため、前眼部画像を撮り直す手間などを省くことができ、被検眼の形状情報を容易に取得できる。

【0012】

なお、位置情報取得部は、例えば、検者の操作に応じて操作部（例えば、操作部80）から出力された操作信号を受け付けてもよい。例えば、検者は、表示部（例えば、モニタ70）に表示された前眼部画像を確認しながら操作部を操作することでプルキン工像に関する位置を指定し、位置情報取得部は、このときの操作信号に基づいて指定位置情報を取得してもよい。

【0013】

なお、演算部は、指定位置情報に基づいて前眼部画像からプルキン工像を検出し、プルキン工像の検出位置に基づいて形状情報を取得してもよい。眼科測定装置は、上記構成を備えることによって、例えば、前眼部画像の全体からプルキン工像を検出することが困難な場合であっても、検者が指定した指定位置情報を用いて一部の領域で画像解析を行うことによって、プルキン工像を検出できる可能性が高まる。例えば、演算部は、検者が指定した位置の周辺領域で画像解析を行うことでプルキン工像を検出してもよいし、検者に指定された領域内で画像解析を行うことでプルキン工像の検出を行ってもよい。また、プルキン工像の存在しない位置を検者が指定した場合、演算部は、検者が指定した位置以外で画像解析を行うことでプルキン工像の検出を行ってもよい。

【0014】

なお、投影光学系は、複数の指標を被検眼に投影してもよい。この場合、前眼部画像上のそれぞれ異なる位置に複数のプルキン工像が写り込む。位置情報取得部は、複数の指標のうち、いずれかに対応するプルキン工像の1つに関する位置を検者が指定したときの指定位置情報を取得してもよいし、複数の指標の各々に対応するプルキン工像に関する位置を検者が指定したときの複数の指定位置情報を取得してもよい。演算部は、複数の指定位置情報に基づいて被検眼の形状情報を取得してもよいし、前眼部画像から自動で検出したプルキン工像の検出位置と、指定位置情報との両方に基づいて被検眼の形状情報を取得してもよい。

【0015】

なお、プルキン工像は、第2プルキン工像であってもよい。例えば、第2プルキン工像は、投影光学系によって投影された指標光束が角膜後面で反射して前眼部画像に写り込んだものである。この場合、演算部は、指定位置情報および第2プルキン工像の少なくともいずれかに基づいて、角膜後面に関する形状情報を取得してもよい。第2プルキン工像は、反射光量が小さいため、前眼部画像から検出しづらい。また、第2プルキン工像は、他の指標による第4プルキン工像（水晶体後面反射像）と誤検出される可能性がある。したがって、本装置のように、検者によって指定された指定位置情報を用いることによって、

第2 プルキン工像を正確に検出できる可能性が高まる。

【0016】

なお、演算部は、プルキン工像の視認性を向上させる画像処理を前眼部画像に施してもよい。例えば、制御部は、局所的にコントラストを強調させる画像処理（例えば、C L A H Eなど）を行ってもよいし、Hessian行列の固有値に基づいて構造により強調する画像処理（例えば、プロブネスフィルタ）を行ってもよい。これによって、検者によるプルキン工像に関する位置の指定が容易となる。

【0017】

なお、投影光学系によって前眼部に複数の指標が投影される場合、演算部は、前眼部画像から検出された複数のプルキン工像の検出位置に対してフィッティング処理を行うことで取得されたフィッティング結果およびフィッティング誤差の少なくともいずれかを表示部（例えば、モニタ70）に表示させてもよい。これによって、検者は、自動検出された点がどの程度確からしいか確認できるため、プルキン工像に関する位置の指定または修正が行い易くなる。なお、フィッティング処理は、例えば、プルキン工像の検出位置に対して橢円、またはその他の図形を合わせ込む処理である。なお、フィッティングする図形は、被検眼に投影される指標の配置に基づいて設定されてもよい。フィッティング結果は、例えば、フィッティングされた図形である。橢円フィッティングの場合、例えば、演算部は、現在検出しているプルキン工像（輝点）の位置と、フィッティングさせた橢円を前眼部画像に重畠させて表示させる。また、フィッティング誤差は、例えば、検出したプルキン工像とフィッティングさせた図形（の輪郭）との距離に基づく数値であってもよい。

10

【0018】

なお、演算部は、フィッティング結果を表示部に複数表示させてもよいし、フィッティング誤差の小さい（評価値の高い）フィッティング結果を表示部に表示させてよい。

【0019】

なお、演算部は、プルキン工像が所定数以上検出された場合にフィッティング処理を行ってもよい。例えば、第2 プルキン工像が6点以上検出できた場合、フィッティング処理を行ってもよい。もちろん、第2 プルキン工像が5点以下しか検出できなかつた場合でも、第2 プルキン工像が所定配置に対して偏りなく検出されていれば、フィッティング処理を行ってもよい。例えば、検出された複数の第2 プルキン工像間の間隔に大きな偏りがなければ、フィッティング処理を行ってもよい。

20

【0020】

なお、演算部は、前眼部画像において、プルキン工像である可能性のある候補点を表示部に表示させてもよい。これによって、検者は、候補点の中からプルキン工像らしい点を指定するだけでよくなり、一からプルキン工像を探す手間が省ける。

【0021】

なお、演算部は、検者に指定された検出位置または候補点を除外して形状情報を取得してもよい。これによって、プルキン工像ではない他の輝点等の検出位置に基づいて角膜形状が算出されてしまうことを防止できる。

【0022】

なお、演算部は、プルキン工像の自動検出が成功したか否かを判定し、そのときの判定結果を報知部によって検者に報知してもよい。これによって、検者は、プルキン工像に関する位置指定または検出位置の修正が必要であることを容易に把握することができる。なお、演算部は、自動検出が失敗した場合にのみ検者に報知し、プルキン工像に関する位置指定または検出位置の修正を促してもよい。なお、報知部は、例えば、表示部、音声出力部などであってもよい。表示部は、ディスプレイや表示灯であってもよい。音声出力部は、例えば、スピーカーなどであってもよい。

40

【0023】

なお、演算部は、例えば、検出されたプルキン工像に対してフィッティング処理を行ったときのフィッティング誤差に基づいて、自動検出の成否を判定してもよい。例えば、演算部は、フィッティング誤差が小さい場合にプルキン工像の自動検出が成功したと判定し

50

、フィッティング誤差が大きい場合に自動検出が失敗したと判定してもよい。なお、被検眼に投影する指標の配置からフィッティングした図形の形状がある程度推測できるため、演算部は、フィッティングした図形の形状に基づいて自動検出の成否を判定してもよい。例えば、橢円フィッティングを行う場合、演算部は、長軸／短軸の比が大きいときに自動検出が失敗したと判定してもよい。

【0024】

また、演算部は、例えば、検出されたプルキン工像が、フィッティングした図形の周辺領域に含まれるか否かに応じて成否判定を行ってもよい。例えば、演算部は、フィッティングした橢円に対して長径と短径の比が同じで、大きさの小さい小橢円と、大きさの大きい大橢円の2つの同心橢円の間にプルキン工像があるか否かで成否判定を行ってもよい。つまり、小橢円の外側かつ大橢円の内側の領域にプルキン工像の検出位置があるか否かで成否判定を行ってもよい。

【0025】

また、演算部は、例えば、検出されたプルキン工像の数によって自動検出の成否を判定してもよい。例えば、投影した指標の数の半数以上のプルキン工像が検出された場合は自動検出が成功したと判定し、検出されなかった場合は自動検出が失敗したと判定してもよい。また、フィッティングに必要な最小数以上のプルキン工像が検出された場合は自動検出が成功したと判定し、検出されたかった場合は自動検出が失敗したと判定してもよい。

【0026】

なお、演算部は、自動検出が失敗した場合に、フィッティング結果とフィッティング誤差を表示部に表示させることで、自動検出が失敗した可能性のあることを検者に報知してもよい。

【0027】

<実施例>

以下、図面を参照しつつ、本開示の例示的な実施例を説明する。

<装置の概略構成>

実施形態に係る眼科測定装置1の概略構成を、図1および図2を参照して説明する。なお、以下では、「眼科測定装置1」を、「本装置1」と省略する。

【0028】

本装置1は、被検眼Eの角膜に関する測定を行う。少なくとも、正面方向から撮影された前眼部画像（前眼部正面画像）が取得され、その画像に含まれる（描画される）第2プルキン工像に基づいて、被検眼Eの角膜後面に関する情報が取得される。

【0029】

図1に示すように、本装置1は、少なくとも、投影光学系30、撮影光学系（「受光光学系」と称する場合がある）20、および、制御部100を、有する。更に、本装置1は、トポ投影光学系10（「第2投光光学系」の一例）、測定光学系40、および、固視光学系50を備えていてもよい。上記した光学系は、図示無き筐体に内蔵されている。その筐体は、周知のアライメント移動機構60の駆動によって、被検者眼に対して3次元的に移動される。例えば、操作部材（例えば、ジョイスティック）の操作に基づいて、筐体は移動されてもよい。

【0030】

<撮影光学系>

撮影光学系20は、被検眼Eの前眼部画像を撮影するための撮像素子27を有する。撮影光学系20では、前眼部からの反射光が撮像素子27で受光される。そして、撮像素子27からの受光信号に基づいて、前眼部画像が生成される。この場合において、反射光を生じさせるために前眼部へ照射される照明光の光源は、光源11、および、図示無き観察用光源の中から、適宜選択されてもよい。

【0031】

図1では、撮影光学系20の撮影光軸を、光軸L1として図示する。便宜上、以下では、前眼部画像の画像中心と、光軸L1とは一致するものとして説明を行う。また、便宜上

10

20

30

40

50

、光軸 L 1 は、後述の角膜に関する測定をする際の測定光軸と共に用される。

【 0 0 3 2 】

実施例として図 1 に示す撮影光学系 2 0 は、撮像素子 2 7 の他に、ダイクロイックミラー 2 3 、対物レンズ 2 4 、ミラー 2 5 、および、撮像レンズ 2 6 を含む。撮像素子 2 7 は、例えば、被検眼の前眼部と共に位置に配置されてもよい。なお、ダイクロイックミラー（ビームスプリッタ）2 3 は、撮影光学系 2 0 の光路を測定光学系 4 0 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、光軸 L 1 （撮影光軸）は、固視灯 5 1 の投影光軸と兼用されている。

【 0 0 3 3 】

< トポ投影光学系 >

トポ投影光学系 1 0 は、角膜前面形状を測定するために利用される。本実施形態において、トポ投影光学系 1 0 は、角膜前面のトポグラフィー検査において、多重リング像（プラチドリング像または多重マイヤーリング像）を測定指標（本実施形態における「第 3 の測定指標」）として、角膜に投影する。

10

【 0 0 3 4 】

実施例において、トポ投影光学系 1 0 は、光源 1 1 と、プラチド板 1 2（図 2 参照）と、を有する。プラチド板 1 2 は、被検眼 E と光源 1 1 との間に配置される。プラチド板 1 2 に形成された同心円状の発光部から、光源 1 1 からの光が、リング状に角膜に投影される。光源 1 1 が発する光は、可視光であってもよいし、赤外光であってもよい。

【 0 0 3 5 】

トポ投影光学系 1 0 によって投影された多重リング像は、撮影光学系 2 0 によって撮影される。そして、撮影された多重リング像が解析され、角膜トポグラフィーが演算される。角膜トポグラフィーのより詳細な導出方法については、例えば、本出願人による「特開平 1 0 - 1 0 8 8 3 7 号公報」等を参照されたい。

20

【 0 0 3 6 】

なお、トポ投影光学系 1 0 によって投影される測定指標（第 3 の測定指標）の形状は、必ずしも多重リング像に限定されるものではない。測定指標は、線、又は、複数の点によって形成された、他の 2 次元的なパターンであってもよい。具体的な例としては、上記例示したリング状のパターンの他、点指標が格子状に配列されたドットマトリクスからなるパターン等が挙げられる。勿論、これら以外のパターンであってもよい。

30

【 0 0 3 7 】

なお、リング状のパターンは、途切れなく連続的なリングを形成するものであってもよいし、間欠的なリングパターンを形成するものであってもよい。間欠的なリングパターンは、破線状のリングを角膜へ投影してもよいし、円周上に配置される複数の点指標を角膜へ投影してもよいし、これらを組み合わせによるものであってもよい。

【 0 0 3 8 】

また、プラチド板による測定方式に代えて、コーン方式が適用されてもよい。コーン方式では、プラチド板 1 2 の代わりに、コーンによって第 3 の測定指標におけるパターンが形成される。

【 0 0 3 9 】

< 投影光学系 >

投影光学系 3 0 は、角膜後面に関する情報を測定するための指標（以下、便宜上「測定指標」と称する）を、角膜に投影する。測定指標は、光軸 L 1 （撮影光軸）に対して斜め方向から投影される。本実施形態において、測定指標は、主に、適正アライメント状態において、角膜中心部の近傍領域に投影される。適正アライメント状態は、例えば、被検眼の光軸（視軸）が光軸 L 1 と略一致した状態であってもよい。

40

【 0 0 4 0 】

角膜後面に関する情報としては、例えば、角膜後面そのものの形状を示す情報であってもよい。角膜後面そのものの形状を示す情報としては、例えば、角膜後面の形状（トポグラフィまたはエベレーション等）、曲率（ケラトメトリ）、位置等が挙げられる。また、

50

角膜後面に関する情報としては、例えば、角膜の前後面の両方によって特定される情報であってもよい。前後面の両方により特定される情報としては、例えば、角膜厚、屈折力、および、角膜における乱視軸角度等が挙げられる。

【0041】

本実施形態において、投影光学系30が被検眼の角膜に向けて投影する測定指標は、第1測定指標と、第2測定指標と、に分けられる。第1測定指標は、光軸L1に対して、第2測定指標と対称に投影される。換言すれば、第1測定指標の投影光軸と、第2測定指標の投影光軸と、は、光軸L1に対し、対称に設けられている。

【0042】

第1測定指標および第2測定指標が角膜に投影された状態で得られる前眼部画像には、測定指標の第1プルキンエ像（角膜前面による反射像）、第2プルキンエ像（角膜後面による反射像）、第3プルキンエ像（水晶体前面による反射像）、および、第4プルキンエ像（水晶体後面による反射像）が生じ得る。この中で、第1プルキンエ像が最も明るく、光軸L1に対して最も離れた位置に形成される。第2プルキンエ像は、第1プルキンエ像と光軸L1との間に形成される。第3プルキンエ像は、各プルキンエ像の中で、光軸L1に対して最も近くに形成され、この点で他のプルキンエ像から容易に区別可能である。第4プルキンエ像は、第2プルキンエ像と、同程度の明るさで形成される。第4プルキンエ像は、倒立像であり、光軸L1を挟んで、第2プルキンエ像と略対称な位置に形成される。

10

【0043】

ここで、第1測定指標と、第2測定指標とは、光軸L1に対して対称に投影されるので、第1測定指標の第4プルキンエ像（水晶体後面による反射像）が、前眼部画像において、第2測定指標の第2プルキンエ像（角膜後面による反射像）の近傍に形成され、第2測定指標の第4プルキンエ像が、前眼部画像において、第1測定指標の第2プルキンエ像の近傍に形成される。なお、ここでいう近傍には、2つの輝点像が重なり合う場合も含まれる。

20

【0044】

投影光学系30は、光源31を有する。光源31が発する光は、赤外光であってもよいし、可視光であってもよい。投影光学系30は、光源31から出射される光を、測定指標として角膜に投影する構成であればよい。測定指標は、線、又は、複数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。パターンのより具体的な例としては、リング状のパターン、点指標が格子状に配列されたドットマトリクスからなるパターン等が挙げられる。測定指標を点とすることで、輝度が小さい第2プルキンエ像なども検出し易くなる。勿論、これら以外のパターンで、測定指標が投影されてもよい。なお、リング状のパターンは、一つのリングを形成するパターンに限らず、多重リング（同心円状の複数のリング）を形成するパターンであってもよい。また、リング状のパターンとしては、途切れなく連続的なリングを形成するものであってもよいし、間欠的なリングパターンを形成するものであってもよい。間欠的なリングパターンは、破線状のリングを角膜へ投影してもよいし、円周上に配置される複数の点指標を角膜へ投影してもよいし、これらを組み合わせによるものであってもよい。

30

【0045】

実施例において、投影光学系30は、8点の測定指標による間欠的なリングパターンを、角膜に投影する。投影光学系30には、8つの点光源31a～31hと、プラチド板12に形成された開口13a～13hと、によって、形成されるリング状光源を有する（図2参照）。

40

【0046】

図2では、被検眼Eから見て、プラチド板12の背面に、点光源31a～31hが配置されている。例えば、プラチド板12には、光軸L1を中心とする円周上に、8点の開口（13a～13h）が形成されており、各々の点光源31a～31hからの光は、開口13a～13hを介して投影される。各々の開口13a～13hは、円周を等分する経線上に形成される。図2では、円周を8等分する4本の経線上に、開口13a～13hが1つ

50

ずつ形成されている。図2の実施例では、点光源31a～31hが、プラチド板12の背面に設けられている場合を説明するが、これに限らず、例えば、プラチド板12の前面に、点光源31a～31hが配置されていてもよい。つまり、リング状光源は、リング状に形成された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せた構成であってもよい。

【0047】

実施例では、一例として、点光源31a～31dから投影される指標が、第1測定指標として利用され、点光源31e～31hから投影される指標が、第2測定指標として利用されるものとして、以下説明する。

10

【0048】

図3は、前眼部画像において、各点光源31a～31hの点灯に基づいて形成される第1ブルキン工像、第2ブルキン工像、および、第4ブルキン工像を示している（図3において、第3ブルキン工像は省略する）。

【0049】

図3では、点光源31aの点灯に基づいて形成される第1ブルキン工像、第2ブルキン工像、第4ブルキン工像に、Ia1、Ia2、Ia4の符号を付してそれぞれ示す。また、点光源31bの点灯に基づいて形成される第1ブルキン工像、第2ブルキン工像、第4ブルキン工像に、 Ib1、 Ib2、 Ib4の符号を付し、同様に、・・・点光源31hの点灯に基づいて形成される第1ブルキン工像、第2ブルキン工像、第4ブルキン工像に、 Ih1、 Ih2、 Ih4の符号を付してそれぞれ示す。

20

【0050】

<アライメント光学系>

投影光学系30から角膜に投影される指標は、アライメント指標として利用されてもよい。この場合、投影光学系30からの指標は、上下方向（Y方向）および左右方向（X方向）のアライメントに利用される。また、この場合、投影光学系30から角膜に投影可能な指標のうち一部が、アライメントに利用されてもよい。例えば、31b、31c、31f、31gの4つの点光源から出射される指標が、アライメント指標として利用されてもよい。この場合、投影光学系30および撮影光学系20が、X、Y方向に関するアライメント光学系を兼ねる。なお、本装置1は、前後方向（Z方向）のアライメントを行うために、更に、角膜に平行光（無限遠指標）を投影する光学系（図示せず）を有してもよい。平行光と投影光学系30による有限光との組合せによって、前後方向（Z方向）のアライメントが行われるようにしてよい（詳細は、詳しくは、特開平6-46999号等を参照されたい）。この場合、投影光学系30および撮影光学系20が、Z方向に関するアライメント光学系に含まれる。

30

【0051】

勿論、各方向のアライメントにおいて利用されるアライメント光学系は、上記例示したものに必ずしも限定されるものではない。例えば、投影光学系30とは別に、アライメント指標の投影光学系が設けられていてもよい。

40

【0052】

<固視光学系>

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。本実施形態において、固視光学系50は、少なくとも被検眼Eの視線方向（視軸）を、光軸L1に沿う方向に誘導する。

【0053】

固視光学系50は、可視光源（固視灯）51、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。本実施例では、固視灯51が内部固視標として利用される。固視灯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

50

れた後、ダイクロイックミラー 4 3 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。

【 0 0 5 4 】

< 測定光学系 >

測定光学系 4 0 は、被検眼の角膜に関する情報とは異なる被検眼の眼特性を測定するために利用される。測定光学系 4 0 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。

【 0 0 5 5 】

図 1において、測定光学系 4 0 は、ダイクロイックミラー 2 3 の透過方向に設けられている。測定光学系 4 0 は、少なくとも測定光学ユニット 4 1 を含む。図 1においては、更に、測定光学系 4 0 は、ダイクロイックミラー 4 3 を有している。また、図 1に示す測定光学系 4 0 は、ダイクロイックミラー 2 3 を、撮影光学系 2 0 と共に用いる。測定光学ユニット 4 1 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。測定光学ユニット 4 1 は、測定光を出射する光源 4 2 を有してもよい。

10

【 0 0 5 6 】

< 制御系 >

次に、本装置 1 の制御系について説明する。

【 0 0 5 7 】

本装置 1 は、制御部（プロセッサ）1 0 0 を備える。制御部 1 0 0 によって、装置全体の制御処理および各種演算処理が実行される。

20

【 0 0 5 8 】

制御部 1 0 0 は、C P U、R O M、R A M 等を含んでいてもよい。R A M には、例えば、撮影および測定に用いる一時データが格納される。

【 0 0 5 9 】

制御部 1 0 0 は、例えば、バス等を介して、光源 1 1 , 3 1 , 5 1 、撮像素子 2 7 、測定光学ユニット 4 1 、アライメント移動機構 6 0 、モニタ 7 0 、操作部 8 0 、記憶装置 1 0 5 等と接続される。

【 0 0 6 0 】

記憶装置 1 0 5 は、書き換え可能な不揮発性の記憶装置である。図 1 では、ハードディスクを記憶装置 1 0 5 として例示するが、必ずしもこれに限られるものではなく、フラッシュメモリ、U S B メモリ等の他の記憶装置が適用されてもよい。記憶装置 1 0 5 には、例えば、各種の撮影処理、測定処理等を制御部 1 0 0 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 1 0 5 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。

30

【 0 0 6 1 】

モニタ 7 0 には、本装置 1 によって撮影された各種画像、および、本装置 1 によって測定された各種測定結果等が表示される。

【 0 0 6 2 】

操作部 8 0 は、本装置 1 における入力インターフェイスである。操作部 8 0 が検者によって操作されることによって、操作に応じた指示が、制御部 1 0 0 に入力される。操作部 8 0 としては、例えば、マウス、および、タッチパネル等のポインティングデバイスであってもよいし、キーボードであってもよいし、本装置 1 の筐体に設置された各種ボタンであってもよい。また、アライメントのために操作されるジョイスティックが操作部 8 0 の 1 つとして利用されてもよい。

40

【 0 0 6 3 】

< 動作 >

次に、図 4 に示すフローチャートを参照し、本装置 1 が角膜後面に関する情報を取得する際の測定動作を説明する。

【 0 0 6 4 】

50

まず、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）との組み合わせにより行われてもよい。

【0065】

アライメントに際して、制御部100は、固視灯51aと、投影光学系30の光源31b, 31c, 31f, 31gと、を点灯させる。また、制御部100は、光源31b, 31c, 31f, 31gの点灯に伴って撮像素子27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70に表示させる。また、制御部100は、アライメント基準位置（ここでは、光軸L1の位置）を示すレクチルを、モニタ70上に電子的に表示させてもよい。このとき、検者は、被検者に、固視標を固視するよう促す。

10

【0066】

その後、制御部100は、光源31b, 31c, 31f, 31gによる指標を、撮像素子27からの撮像信号に基づいて検出する。制御部100は、アライメント移動機構60を、検出結果に基づいて駆動させることによって、4つの指標像Ib1, Ic1, If1, Ig1の中心が、アライメント基準位置（ここでは、光軸L1の位置）に配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100は、作動距離検出用の指標（図示せず）を投影すると共に、撮像素子27からの撮像信号に基づいてアライメント移動機構60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。本実施例において、制御部100は、アライメント完了後に、光源31を消灯する。

20

【0067】

次に、制御部100は、角膜前面形状を測定する（S2）。本実施形態における角膜前面形状の測定は、投影光学系30とは別に設けられたトポ投影光学系10から、角膜前面形状測定用の測定指標が角膜へ投影されることによって行われる。ここでは、多重リングによる測定指標がトポ投影光学系10から角膜へ投影される。そして、測定指標の角膜前面反射像である多重リング像、を含む前眼部画像が撮影光学系20を介して撮影される。前眼部画像に含まれる多重リング像に基づいて、制御部100は、角膜前面形状を示す情報を取得する。撮影または測定完了後、トポ投影光学系10の光源11は消灯される。

30

【0068】

次に、S3～S7の処理が制御部100によって実行され、これにより、本装置1によって角膜後面に関する測定が行われる。

【0069】

まず、制御部100は、投影光学系30から被検眼Eの角膜に対し、第1測定指標と第2測定指標とを投影し、その状態で、前眼部画像を撮影する（S3）。例えば、投影光学系30の光源31a～光源31hが一斉に点灯される。そして、この状態において、撮影光学系20を介して、前眼部画像が撮影される。このようにして撮影された前眼部画像には、図3に示すように、第1測定指標および第2測定指標のそれぞれについての第1ブルキン工像Ia1～Ih1、第2ブルキン工像Ia2～Ih2、および第4ブルキン工像Ia4～Ih4のそれぞれが含まれる。

40

【0070】

次に、制御部100は、前眼部画像における、第1ブルキン工像Ia1～Ih1、および、第2ブルキン工像Ia2～Ih2の位置を特定する（S4）。

【0071】

第1ブルキン工像Ia1～Ih1は他のブルキン工像に対し、光軸L1からより離れた位置に形成されること、および、より明るく形成されること（但し、明るい箇所ほど暗く表現される画像では、より暗い像として形成される）、等の特性の違いを利用して、前眼部画像から第1ブルキン工像Ia1～Ih1は検出され、その位置が特定されてもよい。なお、本実施例では、検出されたブルキン工像の中心位置、又は、重心位置が、そのブル

50

キン工像の位置として特定されてもよい。また、検出されたプルキン工像における輝度値のピーク位置が、そのプルキン工像の位置として特定されてもよい。

【0072】

前眼部画像における第2プルキン工像 I a 2 ~ I h 2 は、光軸 L 1 と第1プルキン工像 I a 1 ~ I h 1との間に形成される。従って、制御部 100 は、前眼部画像において、例えば、光軸 L 1 と第1プルキン工像 I a 1 ~ I h 1との間で、輝度値が閾値よりも大きな（明るい箇所ほど暗く表現される画像では、閾値よりも小さな）領域を第2プルキン工像として検出できる。

【0073】

続いて、制御部 100 は、図 5 に示すようにモニタ 70 に修正画面 200 を表示させる（S5）。修正画面 200 は、制御部 100 では検出できなかったプルキン工像の位置を指定したり、制御部 100 によって検出されたプルキン工像の位置を修正したりするための画面である。例えば、修正画面 200 には、前眼部画像と、前眼部画像上に重畠されるポインタ P が表示される（図 5 (a)）。ポインタ P の形状は、例えば、範囲内にプルキン工像があることを示すための閉曲線（円または四角形など）であってもよいし、一点を指定する矢印などであってもよい。もちろん、ポインタ P の形状または大きさは変更してもよい。検者は、操作部 80 の操作（マウスのクリック、画面タッチまたはキーボード入力など）によりポインタ P の位置を移動させ、前眼部画像上のプルキン工像の位置を指定する（図 5 (b)）。検者は、複数のプルキン工像の位置を指定してもよい。制御部 100 は、ポインタ P によって指定された点または領域の位置情報（指定位置情報と称する）を取得し、メモリなどに記憶させる。

10

20

30

【0074】

なお、S4において、制御部 100 は、図 6 に示すように、自動検出された輝点の検出位置 201 と、その位置に対するフィッティング結果 202 を修正画面 200 に表示してもよい。プルキン工像は輝点でしかないため、輝点単体では涙液による反射、または他のプルキン工像（例えば、第2プルキン工像と第4プルキン工像）との区別が困難である。不正乱視でない限り第1、第2プルキン工像は橙円フィッティング可能であるため、制御部 100 は、現在検出している輝点がどれくらい橙円にフィットするかをリアルタイムで表示してもよい。これによって、検者は、フィッティングされた橙円を確認することで、検出位置 201 の修正などを好適に行うことができる。プルキン工像の検出位置 201 を修正する場合、例えば、検者は、モニタ 70 に表示されたプルキン工像の検出位置の一つを選択した状態で、前眼部画像上の他の位置をポインタ P などによって指定する。

30

【0075】

なお、制御部 100 は、修正画面 200 に橙円のパラメータ（長径、短径、中心座標、回転角など）、フィッティング誤差などを表示してもよい。フィッティング誤差は、例えば、輝点と橙円との距離に基づくパラメータであってもよい。フィッティングする図形は、角膜の形状に合っていれば橙円でなくてもよい。

【0076】

次いで、制御部 100 は、得られた指定位置情報に基づいて、プルキン工像の検出を行う（S6）。例えば、制御部 100 は、ポインタ P によって指定された点の周辺、または指定された領域内において、プルキン工像の検出を行う。このように、ポインタ P によってプルキン工像の位置がある程度求められることによって、制御部 100 によるプルキン工像の検出確率が高まる。また、検者が用いる操作部（入力デバイス等）によって位置指定の精度が限られるため、指定位置情報に基づいてさらに検出処理を行うことによって、より正確なプルキン工像の位置を取得できる。

40

【0077】

制御部 100 は、プルキン工像を検出すると、例えば、特定された第2プルキン工像の検出位置に少なくとも基づいて、角膜後面に関する情報を取得する（S7）。

【0078】

角膜後面に関する情報を求める場合、第2プルキン工像に少なくとも基づいた光線追跡

50

法（光線追跡シミュレーション）が利用されてもよい。この場合、所定の経線毎（なお、経線は、測定指標と光軸 L 1 を含む面上の線）に角膜後面の曲率が求められる。

【 0 0 7 9 】

光線追跡法では、まず、角膜前面モデルを想定する。角膜前面モデルは、角膜前面における中心近傍の領域を球面近似したモデルであってもよい。この角膜前面モデルの形状は、例えば、S 2 の処理によって取得された、角膜前面形状を示す情報に基づく曲率または形状にて形成されてもよい。これに代えて、撮像面上における第 1 プルキン工像の位置から、撮影光学系 2 0 の光路を逆に辿って角膜前面へ投影され、角膜前面で反射されることによって、光源 3 1 a ~ 3 1 h に到る光線を満足するような角膜前面の形状の条件（ここでは、角膜前面の曲率）を求めてよい。

10

【 0 0 8 0 】

次に、角膜前面モデルの形状と、第 2 プルキン工像の位置情報とに基づいて、角膜後面の形状が導出される。例えば、第 2 プルキン工像に基づく光線追跡シミュレーションによって、角膜後面の形状を求めてよい。この場合、予め形状を求めた角膜前面モデルと、角膜後面における中心近傍の領域を球面近似した角膜後面モデルと、を想定する。角膜後面モデルは、角膜前面モデルに対し、角膜の基準位置（光軸 L 1 が通過する位置、例えば、角膜頂点）において、角膜厚の分だけ眼底側に配置される。角膜厚には、例えば、超音波測定方式等のパキ測定等によって予め求めた値が適用されてもよい。なお、測定光学系 4 0 によって角膜厚が測定される場合、その測定結果が、角膜前面モデルと角膜後面モデルとの角膜厚として適用されてもよい。

20

【 0 0 8 1 】

そして、角膜後面モデルの曲率を変数とし、撮像面上における第 2 プルキン工像の位置から、撮影光学系 2 0 の光路を逆に辿って角膜前面（より詳細には、第 1 プルキン工像を生じさせる位置）を介して角膜後面で反射され、光源 1 1 に到る光線を満足するような角膜後面の形状の条件（ここでは、角膜後面の曲率）を求める。角膜の屈折率には、例えば、人眼の平均値等の既定値（n = 1.33 等）が使用されてもよい。このようにして、角膜後面モデルの曲率を求ることで、被検眼における角膜後面の曲率を得ることができる。このとき、角膜後面の形状、および、位置についても得ることができる。

【 0 0 8 2 】

なお、第 2 プルキン工像に少なくとも基づいて角膜の形状に関する情報を取得する手法は、上記の光線追跡法に限定されるものではなく、例えば、第 2 プルキン工像の位置情報に基づく演算等の他の手法によって求められてもよい。

30

【 0 0 8 3 】

このようにして得た、角膜前面の形状と、角膜後面の形状とに基づいて、制御部 1 0 0 は、角膜厚の分布、角膜屈折力およびその分布、角膜における乱視軸、等の各種の角膜後面に関する情報を、求めることができる。これらの導出手法については、例えば、本出願人による「特開 2 0 1 5 - 1 0 4 5 5 4 号公報」等を参照されたい。

【 0 0 8 4 】

以上のように、本装置 1 は、上記構成を備えることによって、前眼部画像からプルキン工像を自動で検出することができない場合であっても、検者が指定した位置に基づいて被検眼の形状情報を取得することができるため、前眼部画像の撮り直しを省略できる。例えば、第 2 プルキン工像と第 4 プルキン工像が近傍に形成される場合、または睫の反射などによる輝点が発生した場合であっても、より好適に第 2 プルキン工像を検出できる。

40

【 0 0 8 5 】

なお、制御部 1 0 0 は、修正画面 2 0 0 上の前眼部画像において、検者がプルキン工像の位置を指定し易いように、輝点の視認性が向上するような画像処理を行ってもよい。例えば、制御部 1 0 0 は、局所的にコントラストを強調させる画像処理（例えば、C L A H E など）を行ってもよいし、Hessian行列の固有値に基づいて構造により強調する画像処理（例えば、プロブネスフィルタの適用）を行ってもよい。

【 0 0 8 6 】

50

なお、制御部 100 は、S4において、プルキン工像の検出に成功したか否かを判定してもよい。制御部 100 は、例えば、現在検出できている輝点に対して橢円フィッティングし、そのときのフィッティング誤差に基づいて検出の成否を判定してもよい。例えば、自動検出された各輝点に対して第2プルキン工像らしさ（位置、輝度、形状、大きさなど）のスコアを行い、そのスコアの値に基づいて検出の成否を判定してもよい。例えば、スコアの値が所定値以上であれば第2プルキン工像の検出に成功したと判定し、スコアの値が所定値未満であれば第2プルキン工像の検出に失敗したと判定してもよい。例えば、制御部 100 は、検出成否の判定結果をモニタ70に表示させてもよい。これによって、制御部 100 は、プルキン工像の位置指定または修正を検者に促すことができる。なお、制御部 100 は、プルキン工像の検出に失敗したと判定したときにのみ、検出に失敗したことをモニタ70に表示するようにしてよい。

【0087】

なお、制御部 100 は、図 6 に示すように、自動検出された輝点の位置の他に、プルキン工像である可能性のある候補点 203 を修正画面 200 の前眼部画像上に表示させてよい。これによって、検者は、主にプルキン工像の候補点 203 を確認するだけでよくなり、プルキン工像を探す手間が少なくて済む。例えば、検者は、いくつかの候補点 203 の中から最もプルキン工像らしい候補点 203 を指定することによって、プルキン工像の位置を指定してもよい。

【0088】

なお、制御部 100 は、自動検出された輝点の検出位置 201 またはプルキン工像の候補点 203 のうち、検者に指定されたものについて、形状情報の解析処理から除外するようにしてよい。これによって、プルキン工像ではない他の輝点等の検出位置 201 に基づいて角膜形状が算出されてしまうことを防止できる。例えば、検者は、前眼部画像上に表示されたプルキン工像の検出位置 201 または候補点 203 のうち、明らかにプルキン工像ではない輝点、または第 1 ~ 4 プルキン工像のいずれであるか判別できない輝点などを、操作部 80 の操作によって角膜形状の解析に使用しないように指定する。この場合、制御部 100 は、指定された検出位置 201 または候補点 203 を除く位置に基づいて被検眼の形状情報を取得してもよい。

【0089】

なお、前眼部画像上にポインタ P 等を重畠表示させる場合、ポインタ P によってプルキン工像が隠れて位置が分からなくなる可能性がある。このような場合、制御部 100 は、前眼部画像上でポインタ P を点滅表示させてもよい。これによって、前眼部画像上のプルキン工像の位置を見失うことなく、ポインタ P によってプルキン工像の位置を指定することができる。また、確認用の前眼部画像と、操作用の前眼部画像をモニタ70に両方表示させ、確認用の前眼部画像でプルキン工像の位置を確認しながら操作用の前眼部画像に表示されたポインタ P を移動させてプルキン工像の位置を指定するようにしてよい。

【0090】

なお、S6において、検者の指定による指定位置情報に基づいてプルキン工像を検出するものとしたが、これに限らない。例えば、S6の処理は行わず、S7において、指定位置情報そのものを用いて角膜形状に関する情報を取得してもよい。

【0091】

なお、以上の実施例において、第2プルキン工像を検出して角膜後面に関する角膜形状情報を取得することを主に説明したが、制御部 100 は、他の像に基づいて角膜形状情報を取得してもよい。例えば、角膜前面の反射光による輝点である第1プルキン工像、水晶体前面の反射光による輝点である第3プルキン工像、水晶体後面の反射光による輝点である第4プルキン工像などの位置を検出し、角膜前面、水晶体前面、水晶体後面などの形状情報を取得してもよい。

【0092】

上記実施例では、角膜前面形状を測定するために、投影光学系 30 とは別にトポ投影光学系 10 が設けられているが、必ずしもこれに限られるものではない。例えば、投影光学

系 3 0 から角膜後面に関する情報を得るために投影される測定指標が、角膜前面形状を測定するための測定指標として、兼用されてもよい。この場合、投影光学系 3 0 からの測定指標による第 1 プルキンエ像に基づいて、制御部 1 0 0 は角膜前面形状を算出する。より詳細には、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。なお、上記実施例では、投影光学系 3 0 が 1 重のリング指標を投影するのに対し、トポ投影光学系 1 0 は、多重リングを（「第 3 測定指標」として）投影する。つまり、投影光学系 3 0 からの測定指標と比べて、少なくとも経線方向に関する測定ポイントが、トポ投影光学系 1 0 から投影される指標のほうが多いので、詳細に角膜前面形状を測定することができる。また、トポ投影光学系 1 0 が、投影光学系 3 0 を兼用してもよい。

【 0 0 9 3 】

10

以上、実施例に基づいて本開示を説明したが、本開示は、上記実施例に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。また、本開示は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア（プログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ（または C P U や M P U 等）がプログラムを読み出して実行する処理である。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 4 】

1	眼科測定装置	
3 1 a ~ 3 1 d	第 1 測定指標	
3 1 e ~ 3 1 h	第 2 測定指標	
1 0	トポ投影光学系	
2 0	撮影光学系	
2 7	撮像素子	
3 0	投影光学系	
5 0	固視光学系	

20

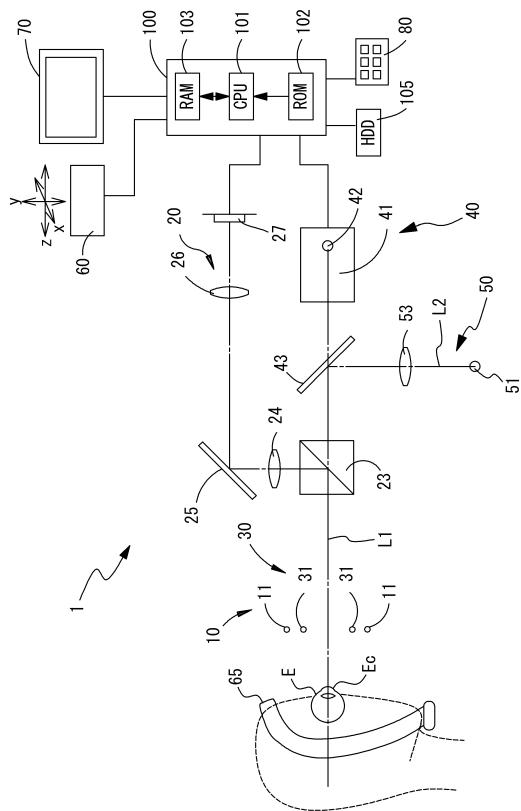
30

40

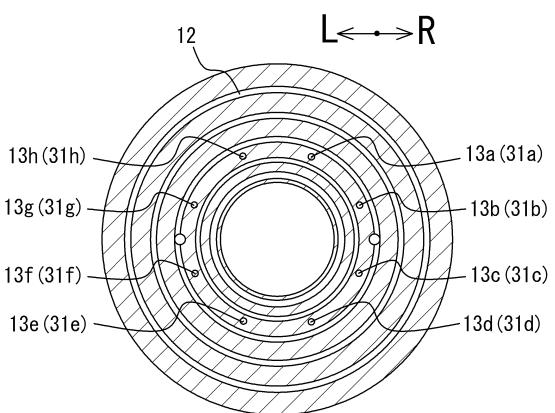
50

【四面】

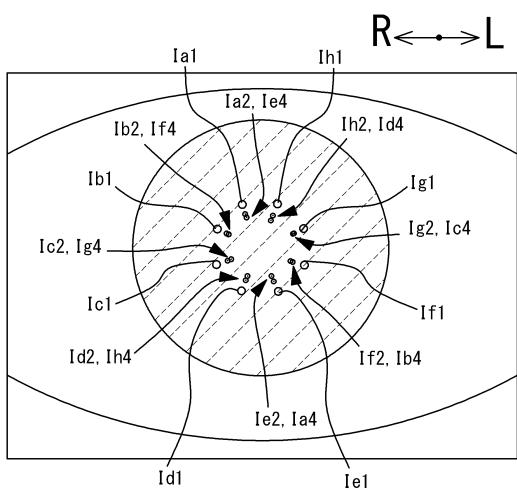
【 図 1 】



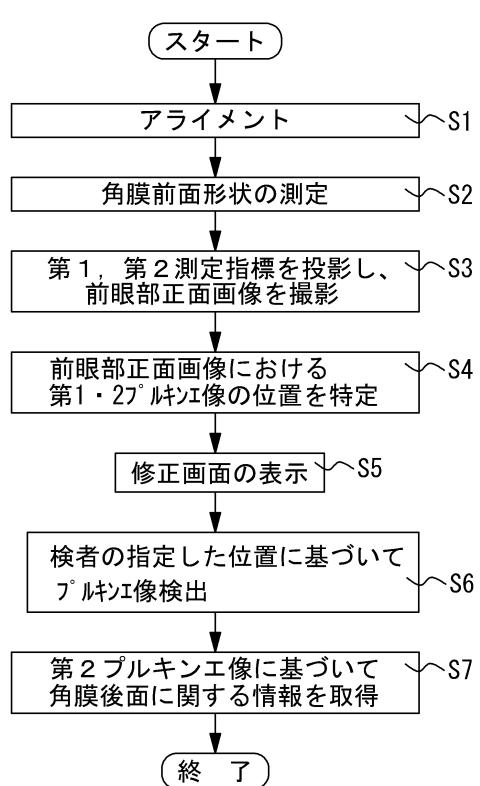
【 叉 2 】



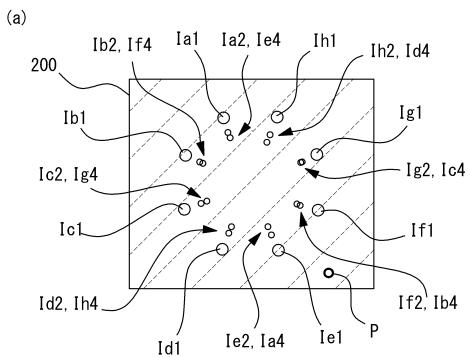
(3)



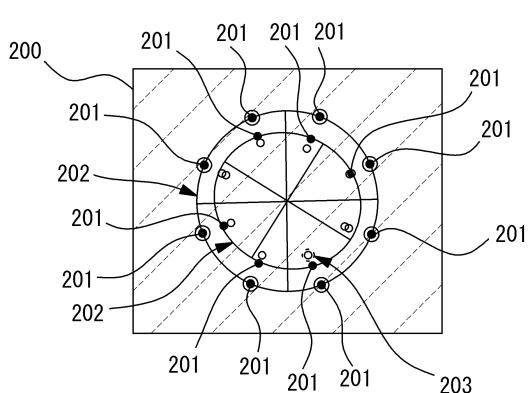
(4)



【図5】



【図6】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 高松 大

- (56)参考文献
- 特開2015-104554 (JP, A)
 - 特開2018-029864 (JP, A)
 - 特開2018-089082 (JP, A)
 - 特開2015-085081 (JP, A)
 - 特開平03-060629 (JP, A)
 - 特開昭59-118131 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

A 61B 3 / 107