

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4231273号
(P4231273)

(45) 発行日 平成21年2月25日(2009.2.25)

(24) 登録日 平成20年12月12日(2008.12.12)

(51) Int.Cl.

F 1

A 6 1 B 3/10 (2006.01)

A 6 1 B 3/10

M

A 6 1 B 3/10

Z

請求項の数 15 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2002-327200 (P2002-327200)
 (22) 出願日 平成14年11月11日(2002.11.11)
 (65) 公開番号 特開2004-159779 (P2004-159779A)
 (43) 公開日 平成16年6月10日(2004.6.10)
 審査請求日 平成17年10月28日(2005.10.28)

(73) 特許権者 000220343
 株式会社トプコン
 東京都板橋区蓮沼町75番1号
 (74) 代理人 100107010
 弁理士 橋爪 健
 (72) 発明者 広原 陽子
 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社
 トプコン内
 (72) 発明者 山口 達夫
 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社
 トプコン内
 審査官 後藤 順也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 眼特性測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1波長の光束を発する第1光源部と、

上記第1光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を照明するための第1照明光学系と、

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の光学特性に基づき与えられる補償量に従って、透過又は反射する光束の収差を補償する補償光学部と、
 被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に17本のビームに変換する第1変換部材を介して受光するための第1受光光学系と、

上記第1受光光学系の受光光束を受光する第1受光部と、

第2波長の光束で上記補償光学部を照明するための第2光源部と、

上記第2光源部からの光束を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に17本のビームに変換する第2変換部材を介して受光するための第2受光光学系と、

上記第2受光光学系の受光光束を受光する第2受光部と、

上記第1受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求め、該光学特性に従い補償量を求めて上記補償光学部に出力する補償量演算部と、

上記第2受光部の出力に基づく上記補償光学部で補償された光学特性、及び、上記補償光学部による補償後の上記第1受光部の出力に基づく光学特性を測定し、測定されたこれら光学特性に基づき被検眼の光学特性を求める測定演算部と

を備えた眼特性測定装置。

【請求項 2】

第 1 波長の光束を発する第 1 光源部と、
上記第 1 光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を照明するための第 1 照明光学系と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の光学特性に基づき与えられる補償量に従って、透過又は反射する光束の収差を補償する補償光学部と、
第 2 波長の光束で上記補償光学部を照明するための第 2 光源部と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部及び上記第 2 光源部からの光束を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する第 1 変換部材を介して受光するための第 1 受光光学系と、
上記第 1 受光光学系の受光光束を受光する第 1 受光部と、
上記第 1 受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求め、該光学特性に従い補償量を求めて上記補償光学部に出力する補償量演算部と、
上記第 2 光源部からの光束による上記第 1 受光部の出力に基づき、上記補償光学部で補償された光学特性を測定し、一方、上記第 1 光源部からの光束による上記第 1 受光部の出力に基づき、上記補償光学部で補償後の光学特性を測定し、測定されたこれら光学特性に基づき被検眼の光学特性を求める測定演算部と
を備える眼特性測定装置。

10

【請求項 3】

第 1 波長の光束を発する第 1 光源部と、
上記第 1 光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を照明するための第 1 照明光学系と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の光学特性に基づき与えられる補償量に従って、透過又は反射する光束の収差を補償する補償光学部と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する長焦点又は高感度の第 1 変換部材を介して受光するための第 1 受光光学系と、
上記第 1 受光光学系の受光光束を受光する第 1 受光部と、
第 2 波長の光束で上記補償光学部を照明するための第 2 光源部と、
上記第 2 光源部からの光束を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する第 2 変換部材を介して受光するための第 2 受光光学系と、
上記第 2 受光光学系の受光光束を受光する第 2 受光部と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する短焦点又は低感度のレンズ部を有する第 3 変換部材を介して受光するための第 3 受光光学系と、
上記第 3 受光光学系の受光光束を受光する第 3 受光部と、
上記第 3 受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求め、該光学特性に従い補償量を求めて上記補償光学部に出力する補償量演算部と、
上記第 2 受光部の出力に基づく上記補償光学部で補償された光学特性、及び、上記補償光学部による補償後の上記第 1 受光部の出力に基づく光学特性を測定し、測定されたこれら光学特性に基づき被検眼の光学特性を求める測定演算部と
を備えた眼特性測定装置。

20

30

40

【請求項 4】

第 1 波長の光束を発する第 1 光源部と、
上記第 1 光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を照明するための第 1 照明光学系と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の光学特性に基づき与えられる補償量に従って、透過又は反射する光束の収差を補償する補償光学部と、
第 2 波長の光束で上記補償光学部を照明するための第 2 光源部と、

50

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部及び上記第 2 光源部からの光束を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する長焦点又は高感度の第 1 変換部材を介して受光するための第 1 受光光学系と、
上記第 1 受光光学系の受光光束を受光する第 1 受光部と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する短焦点又は低感度のレンズ部を有する第 3 変換部材を介して受光するための第 3 受光光学系と、
上記第 3 受光光学系の受光光束を受光する第 3 受光部と、
上記第 3 受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求め、該光学特性に従い補償量を求めて上記補償光学部に出力する補償量演算部と、
上記第 2 光源部からの光束による上記第 1 受光部の出力に基づき、上記補償光学部で補償された光学特性を測定し、一方、上記第 1 光源部からの光束による上記第 1 受光部の出力に基づき、上記補償光学部で補償後の光学特性を測定し、測定されたこれら光学特性に基づき被検眼の光学特性を求める測定演算部と
を備える眼特性測定装置。

10

【請求項 5】

上記第 2 光源部の第 2 波長は、上記第 1 光源部の第 1 波長と相違しており、
上記測定演算部は、上記第 2 受光部の出力に基づく上記補償光学部で補償された光学特性の測定と、上記補償光学部による補償後の上記第 1 受光部の出力に基づく光学特性の測定を並行して行うように構成されている請求項 1 又は 3 に記載の眼特性測定装置。

20

【請求項 6】

上記測定演算部は、上記第 1 及び第 2 光源部を点灯及び消灯させることにより、又は、上記第 1 及び第 2 光源部からの光路に光束遮断手段を挿入することにより、上記第 1 受光光学系へ入射する光束を切り替える又は選択することを特徴とする請求項 2 又は 4 に記載の眼特性測定装置。

【請求項 7】

上記第 3 受光光学系は、測定可能範囲にわたる上記第 3 変換部材により変換されたビームの変化が、該第 3 変換部材の変換ピッチよりも小さく設定されており、その結果、信号処理が容易かつ高速化が図れるように構成されている請求項 3 又は 4 に記載の眼特性測定装置。

30

【請求項 8】

上記補償量演算部は、求めた被検眼の光学特性を完全に打ち消さないように補償量を求めるように構成されている請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項 9】

上記補償光学部は、被検眼の光学特性の少なくとも高次成分を含む補償を行うように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項 10】

上記補償量演算部は、求めた光学特性のうち、3 次以上の高次収差が所定以上でない場合に、上記第 1 受光光学系を移動させる及び / 又は該第 1 受光光学系の一部のエレメントの状態を変化させることにより、低次収差である球面度数成分及び / 又は乱視成分を補償することができるように構成されている請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の眼特性測定装置。

40

【請求項 11】

上記補償量演算部は、上記第 1 受光光学系を移動させる及び / 又は該第 1 受光光学系の一部のエレメントの状態を変化させることにより、低次収差である球面度数成分及び / 又は乱視成分を補償し、かつ、上記補償光学部により、それ以外の光学特性の少なくとも高次成分を含む補償を行うように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項 12】

上記補償光学部による補償後に、被検眼の光学特性が表示部に表示され、入力部からの指

50

示に従い、上記補償量演算部及び上記補償光学部により収差をさらに補償することを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項 13】

上記補償光学部は、液晶空間光変調器及び可変鏡の少なくともいずれか一つで構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項 14】

上記第 1 照明光学系は、上記第 1 光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を、細いビームにより照明するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項 15】

上記第 1 照明光学系は、上記第 1 光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を、被検眼角膜を通過の際には幅広いビームにより照明するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、眼特性測定装置に係り、特に、被検眼の光学特性を波面センサを用いて精密に測定する眼特性測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、医学用に用いられる光学機器は、特に、眼科では、眼の屈折、調節等の眼機能、眼球内部の検査を行う光学特性測定装置として普及している。例えば、被検眼の屈折力と角膜形状とを求めるフォトレフラクトメータという装置が存在する。

【0003】

また、変形可能な鏡のような補正用光学部材を変形することにより、波動収差を補正し、幅は半分であるが波動収差と同一の形状とする網膜画像解像改善装置が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。この装置では、眼の網膜から反射されたレーザ光は、変形可能な鏡を介してハルトマンシャック波面センサに波面が形成される。形成された波面は、デジタルプロセッサによりカメラを介してデジタル化され、波動収差が測定される。デジタルデータプロセッサは、測定された波動収差を基に変形可能な鏡へフィードバックする矯正信号を発信する。変形可能な鏡は、眼の波動収差を補正するために変形し、波動収差の幅は半分であるが同一の形状を得ている。

【特許文献 1】

特表 2001-507258 号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、収差を有する被検眼の光学特性を測定する装置において、収差量が多い場合に正確な測定が困難な場合があった。

【0005】

本発明は、以上の点に鑑み、被検眼の光学特性を測定する場合に、測定光の収差を打ち消すような補正をし、さらに補正されていない小さな収差量を測定し、精密な測定を行う眼特性測定装置を提供することを目的とする。また、本発明は、収差を打ち消すための入力値と、実際に補正されている収差にずれがある場合を考慮し、より正確な測定を行うことを目的とする。本発明は、低感度と高感度の光学系を用いて、精密かつ高速な測定を行うことを目的とする。さらに、本発明は、測定光の収差を打ち消すことにより、収差量が多い場合においても測定が可能な測定レンジの広い眼特性測定装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明の第 1 の解決手段によると、

10

20

30

40

50

第 1 波長の光束を発する第 1 光源部と、
上記第 1 光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を照明するための第 1 照明光学系と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の光学特性に基づき与えられる補償量に従って、透過又は反射する光束の収差を補償する補償光学部と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する第 1 変換部材を介して受光するための第 1 受光光学系と、
上記第 1 受光光学系の受光光束を受光する第 1 受光部と、
第 2 波長の光束で上記補償光学部を照明するための第 2 光源部と、
上記第 2 光源部からの光束を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する第 2 変換部材を介して受光するための第 2 受光光学系と、
上記第 2 受光光学系の受光光束を受光する第 2 受光部と、
上記第 1 受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求め、該光学特性に従い補償量を求めて上記補償光学部に出力する補償量演算部と、
上記第 2 受光部の出力に基づく上記補償光学部で補償された光学特性、及び、上記補償光学部による補償後の上記第 1 受光部の出力に基づく光学特性を測定し、測定されたこれら光学特性に基づき被検眼の光学特性を求める測定演算部と
を備えた眼特性測定装置が提供される。

【 0 0 0 7 】

本発明の第 2 の解決手段によると、
第 1 波長の光束を発する第 1 光源部と、
上記第 1 光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を照明するための第 1 照明光学系と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の光学特性に基づき与えられる補償量に従って、透過又は反射する光束の収差を補償する補償光学部と、
第 2 波長の光束で上記補償光学部を照明するための第 2 光源部と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部及び上記第 2 光源部からの光束を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する第 1 変換部材を介して受光するための第 1 受光光学系と、
上記第 1 受光光学系の受光光束を受光する第 1 受光部と、
上記第 1 受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求め、該光学特性に従い補償量を求めて上記補償光学部に出力する補償量演算部と、
上記第 2 光源部からの光束による上記第 1 受光部の出力に基づき、上記補償光学部で補償された光学特性を測定し、一方、上記第 1 光源部からの光束による上記第 1 受光部の出力に基づき、上記補償光学部で補償後の光学特性を測定し、測定されたこれら光学特性に基づき被検眼の光学特性を求める測定演算部と
を備える眼特性測定装置が提供される。

【 0 0 0 8 】

本発明の第 3 の解決手段によると、
第 1 波長の光束を発する第 1 光源部と、
上記第 1 光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を照明するための第 1 照明光学系と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の光学特性に基づき与えられる補償量に従って、透過又は反射する光束の収差を補償する補償光学部と、
被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する長焦点又は高感度の第 1 変換部材を介して受光するための第 1 受光光学系と、
上記第 1 受光光学系の受光光束を受光する第 1 受光部と、
第 2 波長の光束で上記補償光学部を照明するための第 2 光源部と、

上記第 2 光源部からの光束を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する第 2 変換部材を介して受光するための第 2 受光光学系と、
 上記第 2 受光光学系の受光光束を受光する第 2 受光部と、
 被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する短焦点又は低感度のレンズ部を有する第 3 変換部材を介して受光するための第 3 受光光学系と、
 上記第 3 受光光学系の受光光束を受光する第 3 受光部と、
 上記第 3 受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求め、該光学特性に従い補償量を求めて上記補償光学部に出力する補償量演算部と、
 上記第 2 受光部の出力に基づく上記補償光学部で補償された光学特性、及び、上記補償光学部による補償後の上記第 1 受光部の出力に基づく光学特性を測定し、測定されたこれら光学特性に基づき被検眼の光学特性を求める測定演算部と
 を備えた眼特性測定装置が提供される。

10

【0009】

本発明の第 4 の解決手段によると、
 第 1 波長の光束を発する第 1 光源部と、
 上記第 1 光源部からの光束で被検眼網膜上の微小な領域を照明するための第 1 照明光学系と、
 被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の光学特性に基づき与えられる補償量に従って、透過又は反射する光束の収差を補償する補償光学部と、
 第 2 波長の光束で上記補償光学部を照明するための第 2 光源部と、
 被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部及び上記第 2 光源部からの光束を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する長焦点又は高感度の第 1 変換部材を介して受光するための第 1 受光光学系と、
 上記第 1 受光光学系の受光光束を受光する第 1 受光部と、
 被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、上記補償光学部及び少なくとも実質的に 17 本のビームに変換する短焦点又は低感度のレンズ部を有する第 3 変換部材を介して受光するための第 3 受光光学系と、
 上記第 3 受光光学系の受光光束を受光する第 3 受光部と、
 上記第 3 受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求め、該光学特性に従い補償量を求めて上記補償光学部に出力する補償量演算部と、
 上記第 2 光源部からの光束による上記第 1 受光部の出力に基づき、上記補償光学部で補償された光学特性を測定し、一方、上記第 1 光源部からの光束による上記第 1 受光部の出力に基づき、上記補償光学部で補償後の光学特性を測定し、測定されたこれら光学特性に基づき被検眼の光学特性を求める測定演算部と
 を備える眼特性測定装置が提供される。

20

30

【0010】

【発明の実施の形態】

1. 光学系構成

(第 1 の実施の形態における光学系)

40

図 1 に、眼特性測定装置の光学系の第 1 の構成図を示す。

眼特性測定装置は、第 1 照明光学系 10 と、第 1 光源部 11 と、第 2 光源部 16 と、第 1 測定部 25A と、第 2 測定部 25B と、前眼部照明部 30 と、前眼部観察部 40 と、第 1 調整光学部 50 と、補償光学部 60 と、第 2 調整光学部 70 と、視標光学部 90 を備える。また、第 1 測定部 25A は、第 1 受光光学系 20A と、第 1 受光部 21A を有する。第 2 測定部 25B は、第 2 受光光学系 20B と、第 2 受光部 21B を有する。なお、被検眼 100 については、網膜（眼底）、角膜（前眼部）が示されている。

【0011】

以下、各部について詳細に説明する。

第 1 照明光学系 10 は、第 1 光源部 11 からの光束で被検眼 100 の眼底上で微小な領域

50

を照明するためのものである。第1照明光学系10は、例えば、集光レンズと、正負一組のシリンダーレンズ13a（いわゆるバリアブルクロスシリンダー）と、リレーレンズとを備える。なお、このバリアブルクロスシリンダー13aはなくてもよい。

【0012】

第1光源部11は、第1波長の光束を発する。第1光源部11は、空間コヒーレンスが高く、時間コヒーレンスは高いものが望ましい。ここでは、一例として、第1光源部11には、SLD（スーパーluminescenceダイオード）が採用されており、輝度が高い点光源を得ることができる。なお、第1光源部11は、SLDに限られるものではなく、レーザの様に空間、時間ともコヒーレンスが高いものでも、回転拡散板などを挿入することにより、適度に時間コヒーレンスを下げることで利用できる。そして、LEDの様に、空間、時間ともコヒーレンスが高くないものでも、光量さえ充分であれば、ピンホール等を光路の光源の位置に挿入することで、使用可能になる。また、照明用の第1光源部11の波長は、例えば、赤外域の波長（例、780nm）を使用することができる。

10

【0013】

第1受光光学系20Aは、例えば、被検眼100の網膜から反射して戻ってきた光束を受光し第1受光部21Aに導くためのものである。第1受光光学系20Aは、例えば、第1変換部材22A（例、ハルトマン板）と、アフォーカルレンズと、バリアブルクロスシリンダー13bと、リレーレンズを備える。第1変換部材22Aは、反射光束を少なくとも17本の複数のビームに変換するためのレンズ部を有する波面変換部材である。なお、第1変換部材22Aは、長焦点又は高感度のレンズ部を有する波面変換部材であっても良い。第1変換部材22Aには、光軸と直交する面内に配置された複数のマイクロフレネルレンズを用いることができる。眼底からの反射光は、第1変換部材22Aを介して第1受光部21A上に集光する。第1受光部21Aは、第1変換部材22Aを通過した第1受光光学系20Aからの光を受光し、第1信号を生成するためのものである。また、アフォーカルレンズ42の前側焦点は、被検眼100の瞳孔と略一致している。

20

【0014】

第2光源部16は、第2波長の光束を発する。第2光源部16から発せられる光束は、補償光学部60で実際に補償されている収差（補償収差）を測定するために用いられる。第2光源部16からの光束は、レンズを介してビームスプリッタ17で反射し、補償光学部60を照射する。補償光学部60で反射することによって収差を有した光束は、ビームスプリッタ18で反射し、第2受光光学系20Bで受光され、その収差が測定される。ビームスプリッタ17及び18は、例えば第1光源部11から発せられる第1波長の光束を通過し、第2光源部16から発せられる第2波長の光束を反射するダイクロイックミラーを用いることができる。この場合、第2光源部16から発せられる第2波長は、第1光源部11から発せられる第1波長と異なる波長を用いる。また、第2光源部16から発せられる光束は、被検眼100からの反射光束の偏光方向と逆の偏光光を使用してもよい。これは、ビームスプリッタ17を、被検眼100の網膜からの反射光束の偏光方向を透過し、逆の偏光方向を反射するような偏光ビームスプリッタを用いることで実現できる。また、ビームスプリッタ18は、例えば、偏光ビームスプリッタを用いることで被検眼100からの反射光束と第2光源部16からの光束を分割できる。なお、ビームスプリッタ17は、ハーフミラーを用いることもできる。

30

40

【0015】

第2受光光学系20Bは、第2光源部16から発し、補償光学部60で反射された光束を受光して第2受光部21Bに導くためのものである。第2受光光学系20Bは、例えば、第2変換部材22B（例えば、ハルトマン板）と、第1受光光学系20Aと共用されるアフォーカルレンズ及びバリアブルクロスシリンダー13b及びリレーレンズを備える。第2変換部材22Bは、補償光学部60で反射した光束を少なくとも17本の複数のビームに変換するためのレンズ部を有する波面変換部材である。第2変換部材22Bには、光軸と直交する面内に配置された複数のマイクロフレネルレンズを用いることができる。第2光源部16からの光束は、補償光学部60及び第2変換部材22Bを介して第2受光部2

50

1 B 上に集光する。第 2 受光部 2 1 B は、第 2 変換部材 2 2 B を通過した第 2 受光光学系 2 0 B からの光を受光し、第 2 信号を生成するためのものである。第 1 受光光学系 2 0 A と第 2 受光光学系 2 0 B の光束は、例えば、ビームスプリッタ 1 8 により分けられる。本実施の形態では、被検眼 1 0 0 の網膜からの反射光束を透過し、第 1 受光部 2 1 A に導き、第 2 光源部 1 6 からの光束を反射し、第 2 受光部 2 1 B に導くようになっているが、反射と透過の関係を逆にし、受光部を入れ替えて測定を行ってもよい。

【 0 0 1 6 】

移動部 1 5 は、第 1 照明光学系 1 0 と第 1 受光光学系 2 0 A と第 2 受光光学系 2 0 B を含む図 1 の点線で囲まれた部分を一体に移動させる。例えば、第 1 光源部 1 1 からの光束が集光する点で反射されたとして、その反射光による第 1 受光部 2 1 A での信号ピークが最大となる関係を維持して、第 1 受光部 2 1 A での信号ピークが強くなる方向に移動し、強度が最大となる位置で停止することができる。また、第 1 照明光学系 1 0 と第 1 受光光学系 2 0 A は別々に移動させ、例えば、第 1 光源部 1 1 からの光束が集光する点で反射されたとして、その反射光による第 1 受光部 2 1 A での信号ピークが最大となる関係を維持して、第 1 受光部 2 1 A での信号ピークが強くなる方向に移動し、強度が最大となる位置で停止することもできる。

【 0 0 1 7 】

第 1 光源部 1 1 から被検眼 1 0 0 への入射光は、絞り 1 2 を偏心させることで光束の入射位置を光軸に直交する方向に変更し、レンズや角膜の頂点反射を防いでノイズを押さえられる。絞り 1 2 は、径がハルトマン板 2 2 A の有効範囲より小さく、受光側だけに眼の収差が影響する、いわゆるシングルパスの収差計測が成り立つことができる様になっている。

【 0 0 1 8 】

なお、第 1 光源部 1 1 から出た入射光線は、眼底から拡散反射された測定光線と共通光路になった後は、近軸的には、眼底から拡散反射された測定光線と同じ進み方をする。但し、シングルパス測定の場合は、それぞれの光線の径は違い、入射光線のビーム径は、測定光線に比べ、かなり細く設定される。具体的には、入射光線のビーム径は、例えば、被検眼 1 0 0 の瞳位置で 1 mm 程度、測定光線のビーム径は、7 mm 程度になることもある。なお、光学系を適宜配置することで、ダブルパス測定を行うこともできる。

【 0 0 1 9 】

前眼部照明部 3 0 は、第 3 波長の光束を発する第 3 光源部 3 1 を備え、第 3 光源部 3 1 からの光束で、例えば、プラチドリング又はケラトリング等を用いて前眼部を所定パターンで照射する。ケラトリングの場合、ケラト像により角膜の曲率中心付近だけのパターンを得ることができる。なお、第 3 光源部 3 1 から発せられる光束の第 3 波長は、例えば、第 1 波長（ここでは、780 nm）と異なると共に、長い波長を選択できる（例えば、940 nm）。

【 0 0 2 0 】

前眼部観察部 4 0 は、例えば、リレーレンズ、テレセン絞りと CCD で構成される前眼部像受光部 4 1 を備え、例えば、プラチドリング、ケラトリング等の前眼部照明部 3 0 のパターンが、被検眼 1 0 0 の前眼部から反射して戻ってくる光束を観察する。なお、テレセン絞りは、前眼部像がぼけないようにするための絞りである。前眼部像受光部 4 1 からの信号は、例えば、角膜形状、角膜波面収差、アライメント調整等の演算に使用される。

【 0 0 2 1 】

第 1 調整光学部 5 0 は、例えば、作動距離調整を主に行うものであって、光源部と、集光レンズと、受光部とを備える。ここで、作動距離調整は、例えば、光源部から射出された光軸付近の平行な光束を、被検眼 1 0 0 に向けて照射すると共に、この被検眼 1 0 0 から反射された光を、集光レンズを介して受光部で受光することにより行われる。また、被検眼 1 0 0 が適正な作動距離にある場合、受光部の光軸上に、光源部からのスポット像が形成される。一方、被検眼 1 0 0 が適正な作動距離から前後に外れた場合、光源部からのスポット像は、受光部の光軸より上又は下に形成される。なお、受光部は、光源部、光軸、

10

20

30

40

50

受光部を含む面内での光束位置の変化を検出できればいいので、例えば、この面内に配された１次元ＣＣＤ、ポジションセンシングデバイス（ＰＳＤ）等を適用できる。

【００２２】

補償光学部６０は、変形することで測定光の収差を補償する適応光学系（アダプティブオプティクス）であり、第１受光光学系２０Ａ及び第２受光光学系２０Ｂ中に配置される。補償光学部６０としては、例えば、可変鏡や液晶空間光変調器を用いることができる。なお、その他、測定光の収差を補償可能な適宜の光学系を用いてもよい。可変鏡は、鏡の内部に備えられたアクチュエータによって鏡を変形させることで、光束の反射方向を変化する。また、静電容量によって変形させる方法や、ピエゾを用いて変形させる方法等もあるが、これ以外にも適宜の方法を用いることができる。液晶空間光変調器は、液晶の配光性を利用して位相を変調させるもので、鏡と同様に反射させて使用する。光路の途中で偏光子が必要であるが、本実施の形態では、ビームスプリッタ６３がその役割を果たす。ビームスプリッタ６３は、第１光源部１１からの光束を反射し、被検眼１００の網膜で反射して戻ってくる光束を透過するミラー（例えば、偏光ビームスプリッタ）で構成されている。補償光学系６０は、反射させて使用するもの以外に、透過型の光学系を用いてもよい。なお、これら補償光学部６０には、それに限られるわけではないが、平行光束を入射させるようにしたほうがよい。例えば、被検眼１００が無収差の場合、補償光学部６０には被検眼１００の網膜からの反射光束が平行光として入射する。また、例えば、第２光源部１６からの光束は常に平行光として入射するようになっている。

【００２３】

ビームスプリッタ６１は、例えば、第１波長の光束を反射し、第３波長の光束を透過するダイクロイックミラーで構成されている。また、眼底からの反射むら等による光を均一化するためのロータリープリズム６２が配置されている。

【００２４】

第２調整光学部７０は、例えば、ＸＹ方向のアライメント調整を行うものであって、角膜頂点に輝点を作るために、アライメント用光源部と、レンズと、ビームスプリッタとを備える。

【００２５】

視標光学部９０は、例えば、被検眼１００の風景チャート、固視や雲霧をさせる為の視標を投影する光路を含むものであって、光源部（例えば、ランプ）、固視標９２、リレーレンズを備える。光源部からの光束で固視標９２を眼底に照射することができ、被検眼１００にその像を観察させる。

【００２６】

（共役関係）

被検眼１００の眼底、視標光学部９０の固視標９２、第１光源部１１、第２光源部１６、第１受光部２１Ａが共役である。また、被検眼１００の目の瞳（虹彩）、ロータリープリズム６２、第１変換部材（ハルトマン板）２２Ａ、第１照明光学系１０の測定光入射側の絞り１２、可変鏡等の補償光学部６０が共役である。

【００２７】

上述の実施の形態は、主に、入射光線が細いシングルパスとして説明したが、本発明は、入射光線が太いダブルパスとしての眼特定測定装置に適用することも可能である。その際、光学系がダブルパス用構成で配置されるが、演算部による測定・計算処理は同様である。

【００２８】

（第２の実施の形態における光学系）

図２は、眼特性測定装置の光学系の第２の構成図である。図２には、図１の点線枠にあたる部分のみを示しているが、その他の部分については図１と同様である。図２における眼特性測定装置は、さらに、短焦点又は低感度の第３測定部２５Ｃ、ハーフミラー２４を備える。また、図２の光学系において、第１変換部材２２Ａは、長焦点又は高感度のレンズ部を有する波面変換部材である。

【 0 0 2 9 】

第3測定部25Cは、第3受光光学系20Cと、第3受光部21Cを有する。第3受光光学系20Cは、第1受光光学系20Aと同様に、被検眼100の網膜から反射して戻ってきた光束を受光し第3受光部21Cに導くためのものである。第3受光光学系20Cは、例えば、第3変換部材22C（例えば、ハルトマン板）と、第1受光光学系20Aと共用されるアフォーカルレンズ及びバリアブルクロスシリンダー13b及びリレーレンズを備える。第3変換部材22Cは、反射光束を少なくとも17本の複数のビームに変換するための短焦点又は低感度のレンズ部を有する波面変換部材である。なお、このバリアブルクロスシリンダー13bはなくてもよい。また、第3変換部材22Cは、被検眼100の瞳（虹彩）等と共役である。第3変換部材22Cには、光軸と直交する面内に配置された複数のマイクロフレネルレンズを用いることができる。眼底からの反射光は、第3変換部材22Cを介して第3受光部21C上に集光する。第3受光部21Cは、第3変換部材22Cを通過した第3受光光学系20Cからの光を受光し、第3信号を生成するためのものである。また、第3受光部21Cは、被検眼100の眼底等と共役である。第1測定部25Aと第3測定部25Cの光束は、ハーフミラー24により分けられる。もしくは、ハーフミラー24の代わりにミラー部を用いて、このミラー部が動いて光路に挿板されることにより第1又は第3測定部25A又は25Cに切り替えることもできる。

10

【 0 0 3 0 】

本実施の形態における短焦点及び低感度とは、測定可能範囲にわたる第3変換部材22Cにより変換されたビームの変化が、第3変換部材22Cの変換ピッチよりも小さく設定されているものである。その結果、第3受光部21Cで得られる各スポットと格子点との対応付けがしやすく、信号処理が容易かつ高速化が図れる。一方、長焦点又は高感度による測定では、スポット位置のずれが大きくハルトマンの格子の範囲外にもスポットが存在することもある。したがって、収差量が大きい等の理由により、あまりにスポット位置がずれてしまうと、各スポットと格子点との対応付けが難しい場合があり、信号処理に時間がかかることもある。そこで、本実施の形態の一つとして、短焦点又は低感度の第3測定部25Cの信号に基づいて補償光学部60の補償量を決定し、補償された光束を長焦点又は高感度で測定することで、高速かつ正確な測定を可能としている。

20

【 0 0 3 1 】

（第3の実施の形態における光学系）

30

図3は、眼特性測定装置の光学系の第3の構成図である。図3には、図1の点線枠にあたる部分のみを示しているが、その他の部分については図1と同様である。図3の光学系は、補償光学部60が第1及び第2及び第3受光光学系20A及び20B及び20Cに共通して挿入されている。被検眼100の網膜から反射して戻ってきた光束は、補償光学部60を介してビームスプリッタ18を通過し、ハーフミラー24で分けられ、第1及び第3測定部25A及び25Cに導かれる。もしくは、ハーフミラー24の代わりにミラー部を用いて、このミラー部が動いて光路に挿板されることにより第1又は第3測定部25A又は25Cに切り替えることもできる。また、第2光源部16からの光束は、補償光学部60を介してビームスプリッタ18で反射し、第2測定部25Bに導かれる。補償光学部60を介した光束を第3測定部25Cに導くことにより、補償後の収差及び補償収差を第3測定部25Cでも測定可能となる。また、第3測定部25Cからの出力により測定された収差が予め定められた許容値以下になるまで、補償光学部60を変形することも可能である。また、図2、図3に示す光学系は、主に、入射光線が細いシングルパスとして説明したが、ダブルパス測定用に適宜変更することもできる。

40

【 0 0 3 2 】

2. 電気系構成

図4は、眼特性測定装置の電気系の構成図である。

眼特性測定装置の電気系の構成は、演算部600と、制御部610と、入力部650と、表示部700と、メモリ800と、第1駆動部910と、第3駆動部911と、第2駆動部912と、第3駆動部913と、第5駆動部914を備える。演算部600は、例えば

50

、補償量演算部 601 と、各種眼特性測定を行う測定演算部 602 とを有する。さらに、入力部 650 は、表示部 700 に表示された適宜のボタン、アイコン、位置、領域等を指示するためポインティングデバイス、各種データを入力するためのキーボード等を備える。

【0033】

また、演算部 600 には、第 1 受光部 21A からの第 1 信号 ▲4▼ と、第 3 受光部 21C からの第 3 信号 (14) と、前眼部観察部 40 からの信号 ▲7▼ と、第 1 調整光学部 50 からの信号 (10) と、第 2 受光部 21B からの第 2 信号 (17) が入力される。

【0034】

測定演算部 602 は、第 1 受光部 21A からの第 1 信号 ▲4▼、第 3 受光部 21C からの第 3 信号 (14)、第 2 受光部 21B からの第 2 信号 (17) を入力し、例えば、光束の傾き角に基づき被検眼 100 の光学特性を求める。また、補償量演算部 601 は、例えば、第 1 測定部 25A 又は第 3 測定部 25C の出力から求めた光学特性に基づき、補償光学部 60 での補償量を求める。また、補償量演算部 601 は、前眼部像受光部 41 に基づく角膜形状から算出される角膜収差に基づいて補償を行い、収差測定が可能となるようにしてもよい。演算部 600 は、これら演算結果に応じた信号又は他の信号・データを、電気駆動系の制御を行う制御部 610 と、表示部 700 と、メモリ 800 とにそれぞれ適宜出力する。

【0035】

制御部 610 は、演算部 600 からの制御信号に基づいて、第 1 光源部 11 及び第 2 光源部 16 の点灯、消灯を制御したり、第 1 駆動部 910 ~ 第 5 駆動部 914 を制御するためのものである。制御部 610 は、例えば、演算部 600 での演算結果に応じた信号に基づいて、第 1 光源部 11 に対して信号 ▲1▼ を出力し、第 2 調整光学部 70 に対して信号 ▲5▼ を出力し、前眼部照明部 30 に対して信号 ▲6▼ を出力し、第 1 調整光学部 50 に対して信号 ▲8▼ 及び ▲9▼ を出力し、視標光学部 90 に対して信号 (11) を出力し、第 2 光源部 16 に対して信号 (16) を出力し、さらに、第 1 駆動部 910 ~ 第 5 駆動部 914 に対して信号を出力する。

【0036】

第 1 駆動部 910 は、演算部 600 に入力された第 1 又は第 3 受光部 21A 又は 21C からの信号 ▲4▼ 又は (14) に基づいて、信号 ▲2▼ を出力して、第 1 照明光学系 10 のバリエブルクロスシリンダー 13a と、第 1 受光光学系 20A (又は第 3 受光光学系 20C) のバリエブルクロスシリンダー 13b とを、適宜のレンズ移動手段を駆動させて回動させて、被検眼 100 の乱視成分を補正するためのものである。なお、この補正は行わなくてもよい。

【0037】

第 2 駆動部 911 は、例えば、演算部 600 に入力された第 1 及び / 又は第 3 受光部 21A 及び / 又は 21C からの受光信号 ▲4▼ 及び / 又は (14) に基づいて、第 1 照明光学系 10 及び第 1 並びに第 3 受光光学系 20A 並びに 20C を光軸方向に移動させるものであり、移動部 15 に対して信号 ▲3▼ を出力すると共に、移動部 15 のレンズ移動手段を駆動する。これら第 1 並びに第 3 受光光学系 20A 並びに 20C を光軸方向に移動させることにより、低次収差の球面度数成分の補償を行うことができる。

【0038】

第 3 駆動部 912 は、例えば、視標光学部 90 を移動させるものであり、図示しない適宜の移動手段に対して信号 (12) を出力すると共に、この移動手段を駆動する。第 3 駆動部 913 は、ロータリープリズム 62 を回動させるものであり、図示しない適宜のレンズ移動手段に対して信号 (13) を出力すると共に、このレンズ移動手段を駆動する。第 5 駆動部 914 は、補償光学部 60 を駆動させるものであり、補償光学部 60 の変形手段に対して補償量演算部 602 で求めた補償量に基づいて信号 (15) を出力すると共に、この変形手段を駆動する。

【0039】

10

20

30

40

50

3. 動作

(第1の実施の形態の光学系のフローチャート)

図5及び図6は、第1の実施の形態の光学系における収差測定のフローチャートである。図5及び図6のフローチャートにおける収差測定は、図1に示す光学系を用いる形態である。演算部600は、収差測定1における第1測定部25Aからの出力に基づき、補償量を決定して補償光学部60をゆがませ、さらに、第1受光部21Aで受光された第1信号に基づく補償後の収差と、第2受光部21Bで受光された第2信号に基づく補償光学部60で補償した収差(補償収差)から被検眼100の光学特性を求める。

【0040】

まず、演算部600は、収差測定1として、第1受光部21Aからの第1信号に基づき被検眼100の収差を求める(S101)。演算部600は、第1測定部25Aの第1受光部21Aから、ハルトマン像の第1信号を入力する。次に、演算部600は、入力した第1信号から、ハルトマン像の点像移動量 x 、 y を求め、点像移動量に基づいてゼルニケ係数を算出し、被検眼100の収差を求める。さらに、演算部600は、前眼部観察部40の前眼部像受光部41からの信号に基づき角膜形状、角膜収差等を求めてもよい。また、演算部600は、これら計算結果をメモリ800に記憶する。

【0041】

以下に、収差演算について説明する。演算部600は、第1測定部25Aの画像から各点像の移動量 x 、 y を求める。この移動量と波面収差 W は、以下の偏微分方程式によって関係付けられる。

【0042】

【数1】

$$\frac{\partial W(X,Y)}{\partial X} = \frac{\Delta x}{f},$$

$$\frac{\partial W(X,Y)}{\partial Y} = \frac{\Delta y}{f}$$

(f : 第1測定部25Aのハルトマン板とCCDとの距離)

【0043】

ここで、波面収差 W をゼルニケ多項式 Z_i^{2j-i} を使った展開であらわすと、

【0044】

【数2】

$$W(X,Y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i c_i^{2j-i} Z_i^{2j-i}(X,Y)$$

【0045】

上の2つの式と、測定で求められた x 、 y (よって、 X 、 Y も含む) に関する測定値を使って、ゼルニケ係数 c_i^{2j-i} の各値を求めることができる。また、角膜収差を求める場合、前眼部観察部40の前眼部像受光部41からの信号に基づき、角膜の傾き及び角膜の高さを計算し、角膜を光学レンズと同様に扱うことにより光学特性が計算される。なお、図18、図19に、ゼルニケ多項式についての説明図(1)及び(2)を示す。

【0046】

次に、演算部600は、測定結果が得られたか判断する(S103)。演算部600は、例えば、収差測定1において取得したハルトマン像の各点像の重心位置が所定の数以上(例えば3分の1以上)取れない、又は各点像のぼけが大きいとき(例えば、無収差時の2

10

20

30

40

50

0 倍以上など)、又は隣接するスポット像と分離できずに検出できない点が所定の数以上ある等の予め定められたひとつ又は複数の適宜の条件に従い判断することができる。ここで、演算部 600 は、測定結果が得られた場合 (S103)、ステップ S105 の処理へ移り、一方、測定結果が得られなかった場合 (S103)、図 6 に示すステップ S151 の処理へ進む。

【0047】

ステップ S105 では、演算部 600 は、求められた収差を打ち消すような補償光学部 60 における補償量 M を求め、制御部 610 及び第 5 駆動部 914 を介して、補償量 M に応じた信号 (15) を出力し、可変鏡等の補償光学部 60 をゆがませる (S105)。また、補償光学部 60 は、信号 (15) に従い適宜の変形手段により変形する。なお、補償光学部 60 は、可変鏡以外に、液晶空間光変調器を用いても良い。以下、収差を打ち消すために必要な補償光学部 60 における補償量 M の算出について説明する。

10

【0048】

図 7 は、可変鏡上の座標 (X_m 、 Y_m) と光学系の座標 (X 、 Y) の関係の説明図である。補償する収差を W_c とし、解析された収差の式が、

【0049】

【数 3】

$$W_c = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i c_i^{2j-i} Z_i^{2j-i}(X, Y)$$

20

【0050】

であるとき、可変鏡上の座標 (X_m 、 Y_m) と光学系の座標 (X 、 Y) の関係は、可変鏡への入射角 θ を考慮して、

【0051】

【数 4】

$$\begin{cases} X_m = X \\ Y_m = Y / \cos \theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} X = X_m \\ Y = Y_m \cos \theta \end{cases}$$

30

【0052】

となる。可変鏡の補償量 M は、反射であることから 2 倍効くことと、目の瞳孔と可変鏡での倍率を考慮する。可変鏡の瞳孔に対する倍率を k とすると、補償量 M は、

【0053】

【数 5】

$$M = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i \left(-\frac{1}{2} c_i^{2j-i} \right) Z_i^{2j-i}(X_m, Y_m \cos \theta)$$

40

【0054】

となる。ここで求められた補償量 M は、収差の高次成分を含むことができる。補償光学部 60 は、演算部 600 から出力された補償量 M に基づいて変形する。なお、倍率 k 及び無補償状態での入射角 θ は予め設定された値であり、予めメモリ 800 に記憶されている。

50

なお、低次成分の球面度数成分は、移動部 15 によって第 1 受光光学系 20 A を移動させることにより補償することにもできる。また、低次成分の乱視成分は、バリアブルクロスシリンドラ 13 b を回転することにより補償することにもできる。例えば、求められた収差のうち、3 次以上の高次収差が所定以上でない場合に、演算部 600 は、求められた収差に従い第 1 受光光学系 20 A を移動及び／又はバリアブルクロスシリンドラ 13 b を回転させることができる。この場合、例えば演算部 600 は、求められた収差のうち球面度数成分 c_2^0 に従い第 2 受光光学系 20 A を移動させ、及び／又は、乱視成分 c_2^{-2} 並びに c_2^2 に従いバリアブルクロスシリンドラ 13 b を回転させる。さらに、演算部 600 は、 c_2^0 及び／又は c_2^{-2} 並びに c_2^2 以外の収差に従い補償量 M を求め、補償量 M に基づいて補償光学部 60 を変形させる。このとき、補償量 M は、 $c_2^0 = 0$ 及び／又は $c_2^{-2} = 0$ 並びに $c_2^2 = 0$ として算出すればよい。なお、補償量 M は、球面度数成分及び／又は乱視成分の補償後に再度収差を測定し、この収差に基づき算出してもよい。

10

【0055】

ゆがませた可変鏡をさらにゆがませる場合、補償後に測定された収差に対して上記の解析と同様に補償量 M を求め、補償後の可変鏡にさらにその分を付加すればよい。また、補償光学部 60 により完全に収差をなくすのではなく、若干ハルトマン板への入射光を発散方向にする又は傾けるようにしてもよい。これにより第 1 測定部 25 A において、補償後の収差を高い感度で測定することができる。演算部 600 は、収差測定 1 の測定結果が得られなかった場合 (S103)、図 6 の収差補償の処理へ移る。

【0056】

20

図 6 は、ハルトマン像から被検眼 100 の光学特性が求められない場合の収差測定のフローチャートである。以下、図 6 に示す処理について説明する。

【0057】

まず、演算部 600 は、おおよその収差量が分かる、もしくは適当に収差補正を試みするか判断する (S151)。例えば、角膜収差、過去の収差データ等を参考に測定を続けるかどうか判断する。判断方法としては、演算部 600 は、自動的に表示したダイアログボックス、もしくはメニューから立ち上げた入力部 650 等から測定を続ける又は終了する信号を入力しても良い。また、演算部 600 は、メモリ 800 に角膜収差データ又は過去の収差データがあるかを検索し、データの有無によって測定を続けるか終了するかを判断しても良い。

30

【0058】

演算部 600 は、測定を続けない場合、表示部 700 に解析不可能通知表示を行い (S153)、測定を終了する。一方、演算部 600 は、測定を続ける場合、角膜収差データ、過去の収差データ等のゼルニケ係数、収差データ等を、装置内のメモリ 800、もしくは入力部 650 から入力し、可変鏡等の補償光学部 60 の補償量 M を求め、制御部 610 及び第 5 駆動部 914 を介して可変鏡をゆがませる (S155)。また、演算部 600 は、前眼部観察部 40 の前眼部像受光部 41 からの信号を入力して角膜波面収差を求め、求めた収差に基づいて補償量 M を算出してもよい。補償量 M の算出についてはステップ S105 と同様である。演算部 600 は、制御部 610 及び第 5 駆動部 914 を介して、補償量 M に応じた信号 (15) を出力し、補償光学部 60 をゆがませる。

40

【0059】

次に、演算部 600 は、補償後に光学特性の測定が可能か判断する (S157)。演算部 600 は、例えば、第 1 受光部 21 A からハルトマン像を入力し、入力したハルトマン像の重心位置が所定の数以上 (例えば 3 分の 1) 取れない、もしくは各点像のぼけが大きい (例えば、無収差時の 20 倍以上など)、もしくは隣接するスポット像と分離できずに検出できない点が所定の数以上ある等の予め定められたひとつ又は複数の適宜の条件に従い判断することができる。演算部 600 は、測定不可能な場合、さらに補償するか判断する (S159)。例えば、演算部 600 は、自動的に表示したダイアログボックス、もしくはメニューから立ち上げた入力部 650 等から測定を続ける又は終了する信号を入力しても良い。また、演算部 600 は、メモリ 800 に別の収差データがあるかを検索しても良

50

い。演算部 600 は、補償する場合はステップ S 155 へ戻り、一方、補償しない場合は、表示部 700 に解析不可能通知を表示し (S 161)、測定を終了する。

【0060】

一方、演算部 600 は、測定可能な場合 (S 157)、図 5 のステップ S 106 へ進む。図 5 に戻り、演算部 600 は、第 2 受光部 21B から第 2 信号を取得し、補償光学部 60 で補償されている収差 (補償収差) を測定する (S 106)。第 2 受光部 21B で受光される光束は、第 2 光源部 16 から発した無収差の光束が補償光学部 60 で反射することで、補償光学部 60 での補償収差を有した光束である。この光束を受光し、収差を測定することで、補償光学部 60 での補償収差を正確に得ることができる。例えば、補償光学部 60 による収差を打ち消すための入力値と、実際に打ち消している収差にずれがある場合、このずれにより生ずる測定誤差を除去することができる。

10

【0061】

次に、演算部 600 は、収差測定 2 として、第 1 受光部 21A から第 1 信号を取得し、収差を求める (S 107)。ここで求められる収差は、補償後の収差であり、第 1 測定部 25A によって、微小な収差を高精度に測定可能である。また、ステップ S 106 及び S 107 の処理は、逆の順序で行っても良いし、並行して行うこともできる。

【0062】

演算部 600 は、ステップ S 107 で得られた収差が、予め定められた許容値以下であるか判断する (S 109)。例えば、演算部 600 は、高次収差の RMS 値が 0.1 以下であるかを判断しても良い。収差の RMS 値は、ゼルニケ係数 c_i^{2j-i} を用いて次式で算出される。

20

【0063】

【数 6】

$$RMS_i^{2j-i} = \sqrt{\frac{\varepsilon_i^{2j-i}}{2(i+1)}} c_i^{2j-i}$$

$$(\varepsilon_i^{2j-i} = 2 (2j = i), \varepsilon_i^{2j-i} = 1 (2j \neq i))$$

30

【0064】

演算部 600 は、これら収差の RMS 値の予め定められた一つ又は複数が許容値以下であるか判断する。

【0065】

演算部 600 は、収差が許容値より大きい場合 (S 109)、ステップ S 105 へ戻り、さらに補償光学部 60 をゆがませる。一方、演算部 600 は、許容値より小さい場合 (S 109)、ステップ S 107 で測定された収差 W2 に、ステップ S 106 で測定された補償収差 W1 を加えて、実際の被検眼 100 の収差 W (ゼルニケ係数 c_i^{2j-i} を含む) を求める (S 111)。また、演算部 600 は、求められたゼルニケ係数 c_i^{2j-i} と光学系の配置 (例、移動位置が初期条件でどこにきているかなどの情報) により、既知の方法をつかって、球面度数 S、乱視度数 C、乱視軸 A、高次球面収差等の光学特性を得ることができる。演算部 600 は、次式のようにゼルニケ係数の 2 次項から球面度数 S、乱視度数 C、乱視軸 A を求めることができる。

40

【0066】

【数 7】

$$SE = S_{move} - 4 \cdot \frac{c_2^0}{r^2}$$

$$S = SE - \frac{1}{2} \cdot C$$

$$C = -4 \cdot \frac{\sqrt{(c_2^{-2})^2 + (c_2^2)^2}}{r^2}$$

$$A = \tan^{-1}\left(\frac{c_2^{-2}}{c_2^2}\right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{180}{\pi} + 90$$

10

(ここに、SE：等価球面度数、S_{move}：固視移動分の球面度数、r：瞳径)

【0067】

次に、演算部600は、求められた収差マップ、収差係数、ハルトマン像等の測定結果を表示部700に表示し、メモリ800に記憶する(S113)。また、演算部600は、メモリ800から角膜形状データ等を読み出し、表示部700にさらに表示しても良い。

【0068】

20

さらに、演算部600は、測定を終了するか判断し(S115)、測定を続ける場合はステップS101に戻り、終了の場合は測定を終了する。測定終了の判断は、例えば、演算部600は、自動的に表示したダイアログボックス、もしくはメニューから立ち上げた入力部650等から測定を続ける又は終了する信号を入力しても良い。

【0069】

図8は、第1の実施の形態の光学系における収差測定のプロフローチャートの第1の変形例である。本変形例は、補償収差の測定と補償後の収差測定を並行して行う例である。各処理の詳細については、図5と同様であるので、同じ符号を付し説明を省略する。

【0070】

図9は、第1の実施の形態の光学系における収差測定のプロフローチャートの第2の変形例である。本変形例は、補償後の収差測定毎に、被検眼100の収差演算及び演算結果の出力を行う例である。

30

【0071】

まず、演算部600は、ステップS101～S107及びステップS111の処理を実行する。処理の詳細については上述と同様であるので省略する。

【0072】

演算部600は、求められた波面収差マップ、収差係数、ハルトマン像等の測定結果を表示部700に表示し、メモリ800に記憶する(S201)。なお、表示部700への表示は必ずしも毎回行う必要はない。例えば、表示部700への表示処理に時間がかかる等、測定に影響を及ぼす場合、一定の測定回数毎に結果を表示するようにしても良い。

40

【0073】

演算部600は、ステップS111で得られた収差2が、予め定められた許容値以下であるか判断する(S109)。判断基準は、上述と同様とすることができる。演算部600は、収差が許容値より大きい場合、ステップS105へ戻り、許容値より小さい場合、求められた波面収差マップ、収差係数等の測定結果を表示部700に表示し、メモリ800に記憶する(S203)。なお、ステップS201において、既に当該測定結果の表示、記憶を行っている場合は、ステップS203の処理を省略しても良い。なお、演算部600は、収差が許容値以下であるかを判断する代わりに、さらに補償光学部60をゆがませるかの入力を指示する表示を表示部700に出力し、入力部650から信号を入力するようにしてもよい。次に、演算部600は、ステップS115の処理を実行する。処理の詳細

50

細は上述と同様である。

【 0 0 7 4 】

(第 2 の実施の形態の光学系のフローチャート)

図 1 0 は、第 2 の実施の形態の光学系における収差測定のフローチャートである。図 1 0 は、図 2 又は図 3 に示すような長焦点又は高感度の第 1 測定部 2 5 A と、短焦点または低感度の第 3 測定部 2 5 C を備える光学系を用いた形態におけるフローチャートである。演算部 6 0 0 は、短焦点または低感度の第 3 測定部 2 5 C の信号に基づき補償光学部 6 0 の補償量 M を高速に求め、補償光学部 6 0 をゆがませる。また、演算部 6 0 0 は、第 2 受光部 2 1 B で受光された第 2 信号に基づく補償光学部 6 0 での補償収差と、長焦点又は高感度の第 1 測定部 2 5 A の信号に基づく補償後の収差から被検眼 1 0 0 の光学特性を求め

10

【 0 0 7 5 】

まず、演算部 6 0 0 は、短焦点又は低感度の第 3 測定部 2 5 C での信号に基づいて収差測定 1 を行う (S 2 5 1)。演算部 6 0 0 は、第 3 測定部 2 5 C の第 3 受光部 2 1 C からハルトマン像を取得し、取得した画像に基づき、スポット像の重心点を検出する。無収差での重心点を中心とする矩形エリア内でそのスポットと対応する重心位置を探すことで高速可能となるように対応付けする。演算部 6 0 0 は、得られたスポット像の重心点に基づいて、被検眼 1 0 0 の粗い収差を求める。

次に、演算部 6 0 0 は、ステップ S 1 0 3、S 1 0 5、1 0 6 の処理を実行する。処理の詳細は上述と同様であるので省略する。

20

【 0 0 7 6 】

演算部 6 0 0 は、長焦点又は高感度の第 1 測定部 2 5 A からの信号に基づいて収差測定 2 を行う (S 2 5 7)。演算部 6 0 0 は、第 1 測定部 2 5 A の第 1 受光部 2 1 A から、ハルトマン像の第 1 信号を入力する。次に、演算部 6 0 0 は、入力した第 1 信号から、ハルトマン像の点像移動量を求め、点像移動量に基づき被検眼 1 0 0 の光学特性を求める。従来の長焦点又は高感度の測定部を用いる収差測定では、スポット像のずれが大きくなることがあり、スポット像の対応付けに時間がかかる、又は、対応が取れず測定ができない場合がある。本実施の形態では、入力したハルトマン像の第 1 信号は、被検眼 1 0 0 の収差がある程度打ち消されているハルトマン像であるため、長焦点又は高感度であってもスポットの位置ずれは小さくなっており、精密かつ高速な収差演算が可能である。また、ステッ

30

【 0 0 7 7 】

次に、演算部 6 0 0 は、ステップ S 1 0 9 ~ S 1 1 5 の処理を実行する。処理の詳細は上述と同様であるので省略する。なお、第 2 の実施の形態において、図 9 に示す変形例のように、補償後の収差測定毎に、被検眼 1 0 0 の収差演算及び演算結果の出力を行う変形も可能である。

【 0 0 7 8 】

(第 3 の実施の形態の光学系のフローチャート)

第 3 の実施の形態の光学系におけるフローチャートは、図 1 0 に示すフローチャートを用いることができる。なお、図 3 に示す光学系を用いた場合、ステップ S 1 0 6 における補償収差の測定は、第 2 受光光学系 2 0 B を用いる代わりに、第 3 受光光学系 2 0 C を用いることも可能である。また、演算部 6 0 0 は、ステップ S 2 5 7 の第 1 測定部 2 5 A での収差測定 2 よりも前に、第 3 受光部 2 1 C の出力に基づく収差が、予め定められた許容値以下となるように補償光学部 6 0 を変形させても良い。

40

【 0 0 7 9 】

図 1 1 は、第 3 の実施の形態の光学系における収差測定の変形例である。本変形例は、図 3 に示す光学系を用いて収差が補償された光束を第 3 受光部 2 1 C で受光し、第 3 受光部 2 1 C からの信号に基づき求められる収差が、予め定められた許容値以下になるように補償を行う例である。

【 0 0 8 0 】

50

まず、演算部 600 は、ステップ S 251、S 103、S 105 の各処理を実行する。処理の詳細については上述と同様であるので省略する。次に、演算部 600 は、第 3 測定部 25C での信号に基づいて、補償後の収差の測定を行う (S 253)。処理の詳細は、上述のステップ S 251 と同様であるので省略する。演算部 600 は、ステップ S 253 で求められた収差が、予め定められた第 1 許容値以下であるか判断する (S 255)。例えば、演算部 600 は、高次収差の RMS 値が 0.1 以下であるかを判断しても良い。演算部 600 は、収差が第 1 許容値より大きい場合、ステップ S 105 へ戻り、さらに補償光学部 60 をゆがませる。一方、演算部 600 は、収差が第 1 許容値より小さい場合、ステップ S 106 の処理へ移る。

【0081】

また、演算部 600 は、収差が第 1 許容値以下であるかを判断する代わりに、第 1 受光部 21A から第 1 信号を入力し、第 1 信号に基づく測定が可能かを判断しても良い。演算部 600 は、例えば、入力した第 1 信号に基づく各点像の重心位置が所定の数以上 (例えば 3 分の 1 以上) 取れない、又は各点像のぼけが大きい (例えば、無収差時の 20 倍以上など)、又は隣接するスポット像と分離できずに検出できない点が所定の数以上ある等の予め定められたひとつ又は複数の条件により、第 1 信号に基づく測定が不可能と判断することができる。また、判断条件は、適宜の条件を用いてよい。ここで、演算部 600 は、測定不可能と判断した場合、ステップ S 105 の処理へ移り、一方、測定可能と判断した場合ステップ S 106 の処理へ移る。

【0082】

演算部 600 は、ステップ S 106、S 257 の処理を実行する。処理の詳細については上述と同様であるので省略する。次に、演算部 600 は、ステップ S 257 で求められた収差 2 が、予め定められた第 2 許容値以下であるか判断する (S 259)。例えば、演算部 600 は、高次収差の RMS 値が 0.1 以下であるかを判断しても良い。また、第 1 許容値と第 2 許容値は、異なる値を取ることができる。例えば、測定の感度を考慮して、第 1 許容値 第 2 許容値としてもよい。演算部 600 は、収差 2 が第 2 許容値より大きい場合 (S 259)、収差 2 に従い、補償光学部 60 をさらにゆがませ (S 261)、ステップ S 257 へ戻る。補償光学部 60 をゆがませる処理の詳細は、ステップ S 105 と同様である。一方、演算部 600 は、収差 2 が第 2 許容値より小さい場合、ステップ S 111 の処理へ移る。

次に、演算部 600 は、ステップ S 111 ~ S 115 の処理を実行する。処理の詳細は上述と同様であるので省略する。

【0083】

4. 変形例

(第 1 の実施の形態の変形例)

図 12 は、眼特性測定装置の光学系の第 4 の構成図である。図 12 は、図 1 における収差測定用の第 1 測定部 25A と、補償収差測定用の第 2 測定部 25B を共用する変形例である。例えば、第 1 光源部 11 と第 2 光源部 16 を交互に点灯することで、第 1 受光光学系 20A には、被検眼 100 から反射して戻ってくる光束と、第 2 光源部 16 から発した光束が切り替えられて入射する。また、第 1 光源部 11 と第 2 光源部 16 の前にチョッパーを設け、第 1 受光光学系 20A に入射する光束を制御するようにしてもよい。なお、チョッパー以外にも、光束を遮断する適宜の手段を用いてもよい。その他各部の詳細な説明については、図 1 と同様であるので同じ符号を付し省略する。また、図 12 には、図 1 の点線枠にあたる部分のみを示しているが、それ以外の部分については図 1 と同様である。

【0084】

図 13 は、第 1 の実施の形態の変形例における第 1 のフローチャートである。図 13 は、図 12 に示す測定部を共用した光学系を用いて、1 つの測定部を切り替えることにより、補償収差の測定と、補償後の収差の測定を行うフローチャートである。

【0085】

まず、演算部 600 は、第 1 測定部 25A からの出力に基づく被検眼 100 の収差測定 1

10

20

30

40

50

を行う（Ｓ３０１）。演算部６００は、例えば、第１光源部１１を点灯、第２光源部１６を消灯することで、被検眼１００で反射した光束が第１受光光学系２０Ａに入射するようにし、第１受光部２１Ａから第１信号を入力する。次に、演算部６００は、入力した第１信号に基づき被検眼１００の収差を求める。収差の演算については、上述と同様である。さらに、演算部６００は、前眼部観察部４０の前眼部像受光部４１からの信号に基づき角膜形状、角膜収差等を求めてもよい。また、演算部６００は、これら計算結果をメモリ８００に記憶する。

演算部６００は、ステップＳ１０３、Ｓ１０５の処理を実行する。処理の詳細は上述と同様であるので省略する。

【００８６】

演算部６００は、第１測定部２５Ａからの信号に基づき、補償収差を測定する（Ｓ３０６）。演算部６００は、例えば、第１光源部１１を消灯、第２光源部１６を点灯することで、第２光源部１６から発し、補償光学部６０で反射した光束が第１受光光学系２０Ａに入射するようにする。さらに、演算部６００は、第１受光部２１Ａから第１信号を入力し、入力した第１信号に基づいて、補償光学部６０での補償収差を測定する。収差の演算については、上述と同様である。また、演算部６００は、求めた収差をメモリ８００に記憶する。

【００８７】

次に、演算部６００は、第１測定部２５Ａからの出力に基づく被検眼１００の収差測定２を行う（Ｓ３０７）。処理の詳細は、ステップＳ３０１と同様である。

【００８８】

なお、上述の処理では、演算部６００は、第１受光光学系２０Ａへ入射する光束を、第１及び第２光源部１１及び１６の点灯・消灯によって切り替えているが、第１及び第２光源部１１及び１６の前にチョッパー等の光束を遮断する手段を設け、これを制御することにより第１受光光学系２０Ａへ入射する光束を切り替えるようにしてもよい。また、ステップＳ３０６とＳ３０７の処理は、順序を逆にしてもよい。

演算部６００は、ステップＳ１０９～Ｓ１１５の処理を実行する。処理の詳細については上述と同様であるので省略する。

【００８９】

図１４は、第１の実施の形態の変形例における第２のフローチャートである。図１４は、補償後の収差測定毎に、被検眼１００の収差演算及び演算結果の出力を行う変形例である。各処理の詳細については図９及び図１３と同様であるので、同じ符号を付しその説明は省略する。

【００９０】

（第２の実施の形態の変形例）

図１５は、眼特性測定装置の光学系の第５の構成図である。図１５は、図２における収差測定用の第１測定部２５Ａと、補償収差測定用の第２測定部２５Ｂを共用する変形例である。例えば、第１光源部１１と第２光源部１６を交互に点灯することで、第１受光部２１Ａは、被検眼１００から反射して戻ってくる光束と、第２光源部１６から発した光束を切り替えて受光する。また、第１光源部１１と第２光源部１６の前にチョッパー等の適宜の光束遮断手段を設け、第１受光光学系２０Ａ及び第３受光光学系２０Ｃに入射する光束を制御するようにしてもよい。その他各部の詳細な説明については、図２と同様であるので同じ符号を付し省略する。図１５には、図１の点線枠にあたる部分のみを示しているが、それ以外の部分については図１と同様である。

【００９１】

図１６は、第２の実施の形態の変形例におけるフローチャートである。図１６は、図１５に示す短焦点又は低感度の第３受光光学系２０Ｃを備える光学系に対するフローチャートである。この例では、１つの測定部を切り替えることにより、補償収差の測定と、眼特性測定用の測定を行う。各処理の詳細については図１０、図１３と同様であるので、同じ符号を付しその説明は省略する。また、図１１に示す変形例と同様に、第３測定部２５Ｃが

10

20

30

40

50

らの出力により測定された収差が予め定められた許容値以下になるまで、補償光学部 60 を変形することも可能である。

【0092】

(第3の実施の形態の変形例)

図17は、眼特性測定装置の光学系の第6の構成図である。図17は、図3における収差測定用の第1測定部25Aと、補償収差測定用の第2測定部25Bを共用する変形例である。第1の実施の形態の変形例と同様に、第1受光光学20Aに入射する光束を切り替えて測定する。また、その他各部の詳細な説明については、図3と同様であるので同じ符号を付し省略する。図17には、図1の点線枠にあたる部分のみを示しているが、それ以外の部分については図1と同様である。

10

また、第3の実施の形態の変形例におけるフローチャートは、図16に示すフローチャートを用いることができる。

【0093】

【発明の効果】

本発明によると、被検眼100の光学特性を測定する場合に、測定光の収差を打ち消すような補正をし、さらに補正されていない小さな収差量を測定し、精密な測定を行う眼特性測定装置が提供できる。また、本発明によると、収差を打ち消すための入力値と、実際に補償されている収差にずれの影響を除去し、より正確な測定を行うことができる。本発明によると、低感度と高感度の光学系の特性を生かし、精密かつ高速な測定ができる。さらに、本発明によると、測定光の収差を打ち消すことにより、収差量が多い場合においても測定が可能な測定レンジの広い眼特性測定装置が提供できる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】眼特性測定装置の光学系の第1の構成図。

【図2】眼特性測定装置の光学系の第2の構成図。

【図3】眼特性測定装置の光学系の第3の構成図。

【図4】眼特性測定装置の電気系の構成図。

【図5】第1の実施の形態の光学系における収差測定のフローチャート。

【図6】ハルトマン像から被検眼の光学特性が求められない場合の収差測定のフローチャート。

【図7】可変鏡上の座標と光学系の座標の関係の説明図。

30

【図8】第1の実施の形態の光学系における収差測定のフローチャートの第1の変形例。

【図9】第1の実施の形態の光学系における収差測定のフローチャートの第2の変形例。

【図10】第2の実施の形態の光学系における収差測定のフローチャート。

【図11】第3の実施の形態の光学系における収差測定のフローチャートの変形例。

【図12】眼特性測定装置の光学系の第4の構成図。

【図13】第1の実施の形態の変形例における第1のフローチャート。

【図14】第1の実施の形態の変形例における第2のフローチャート。

【図15】眼特性測定装置の光学系の第5の構成図。

【図16】第2の実施の形態の変形例におけるフローチャート。

【図17】眼特性測定装置の光学系の第6の構成図。

40

【図18】ゼルニケ多項式(1)。

【図19】ゼルニケ多項式(2)。

【符号の説明】

10 第1照明光学系

11 第1光源部

16 第2光源部

20A 第1受光光学系

21A 第1受光部

25A 第1測定部

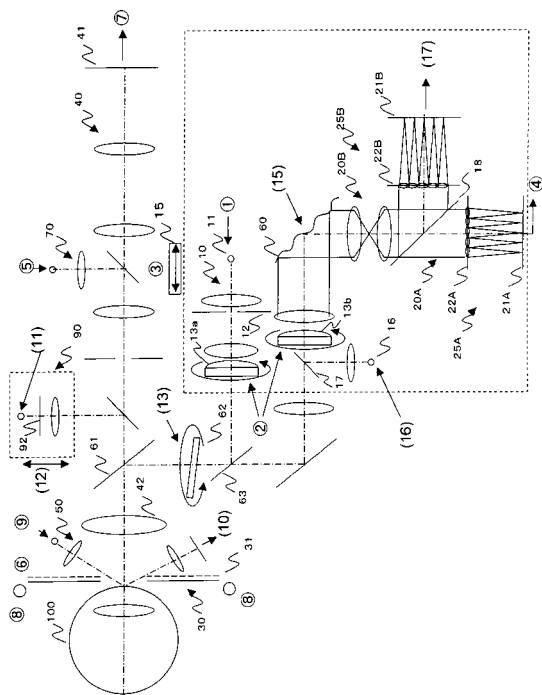
20C 第3受光光学系

50

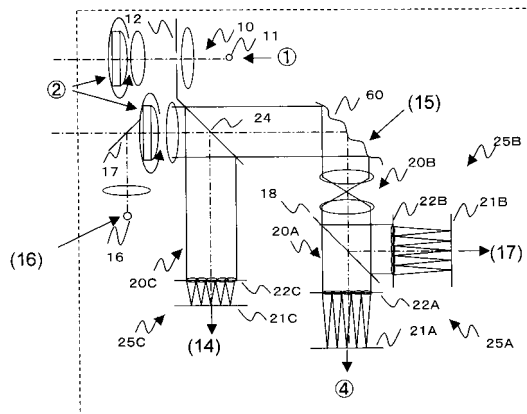
2 1 C 第 3 受光部
 2 5 C 第 3 測定部
 2 0 B 第 2 受光光学系
 2 1 B 第 2 受光部
 2 5 B 第 2 測定部
 3 0 前眼部観察部
 4 0 前眼部照明部
 5 0 第 1 調整光学部
 6 0 補償光学部
 7 0 第 2 調整光学部
 9 0 視標光学部
 6 0 0 演算部
 6 1 0 制御部
 6 5 0 入力部
 7 0 0 表示部
 8 0 0 メモリ

10

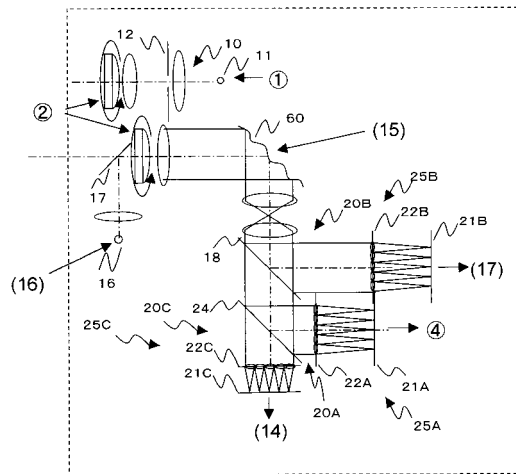
【図 1】



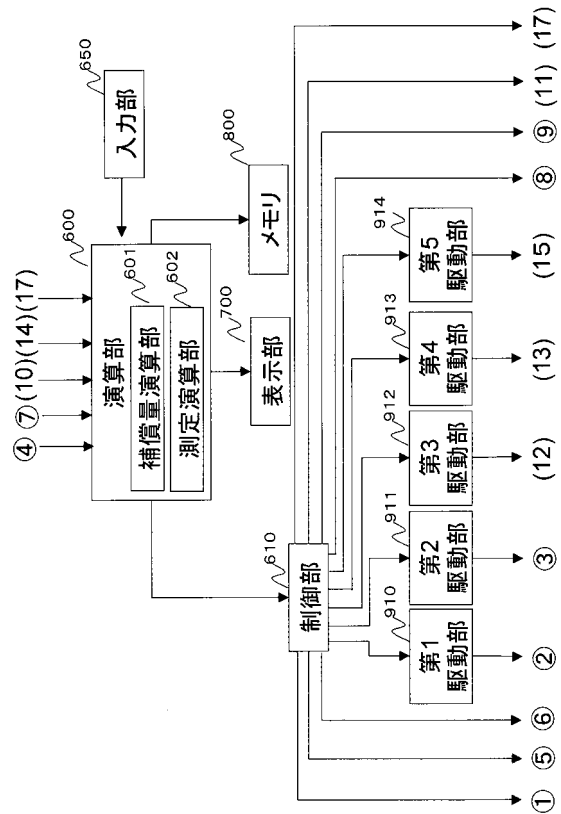
【図 2】



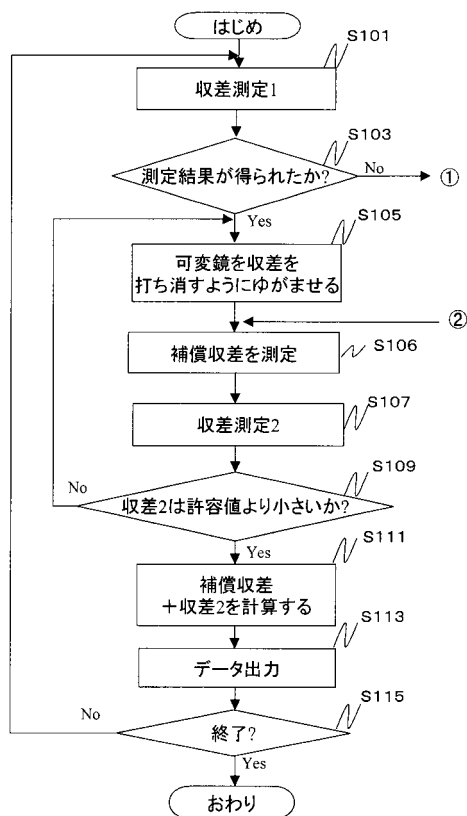
【図 3】



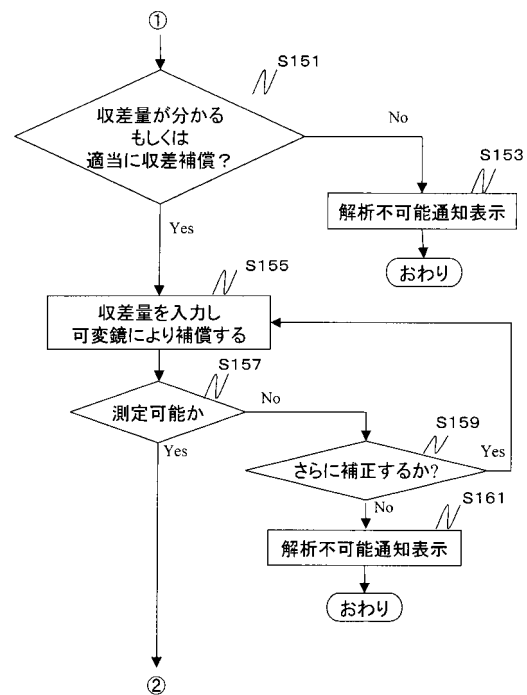
【図 4】



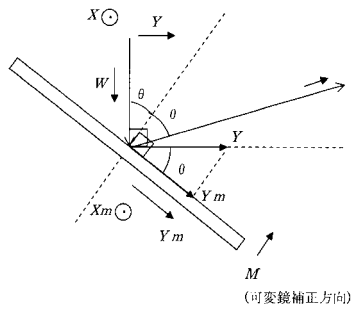
【図 5】



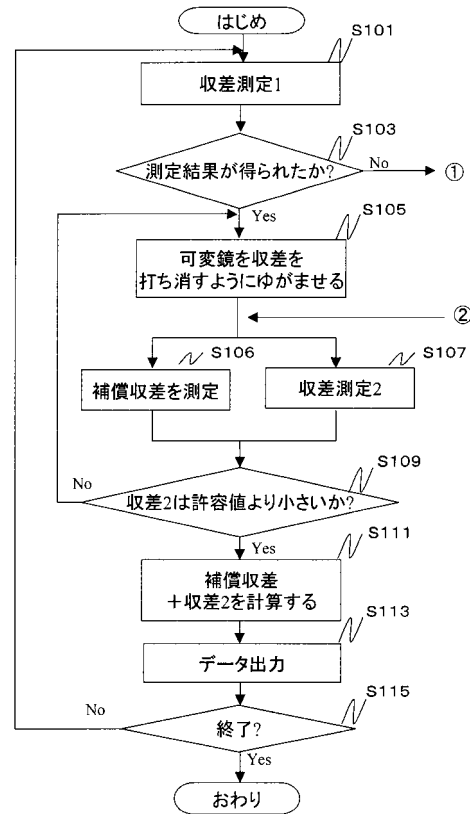
【図 6】



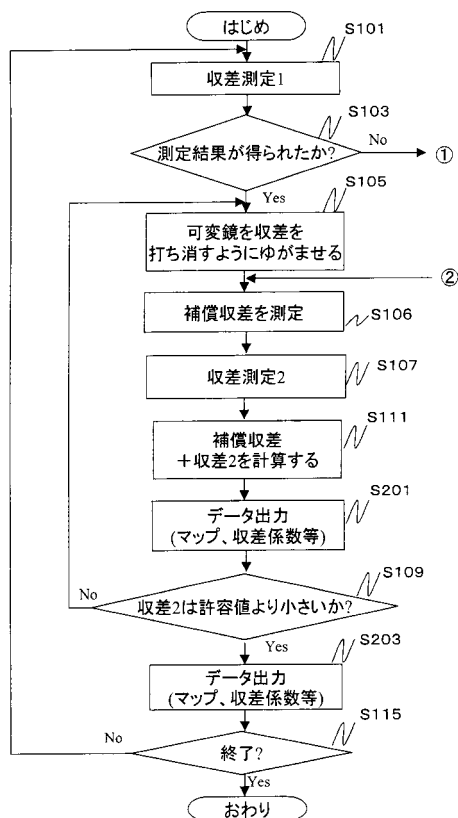
【図 7】



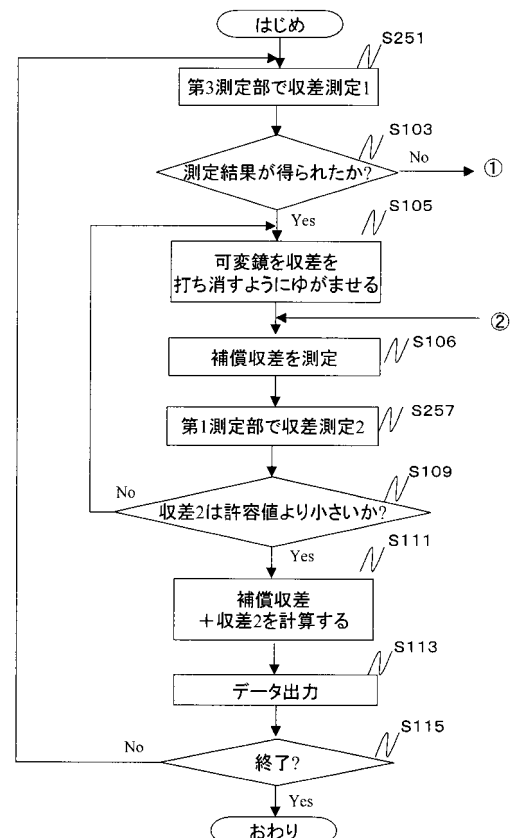
【図 8】



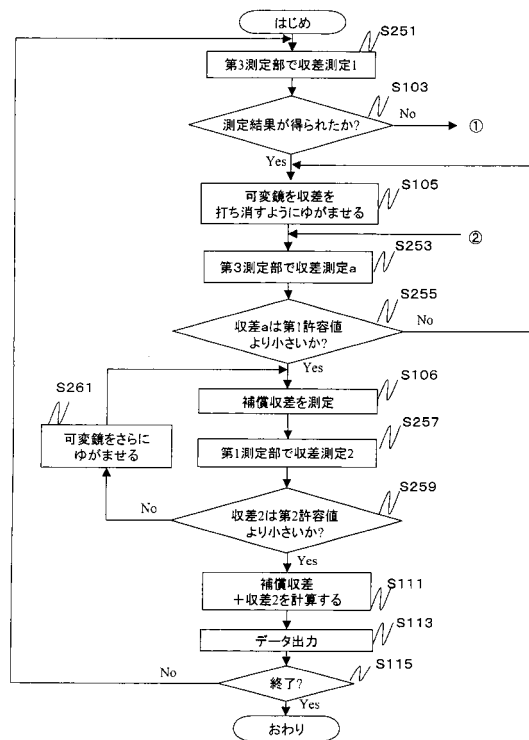
【図 9】



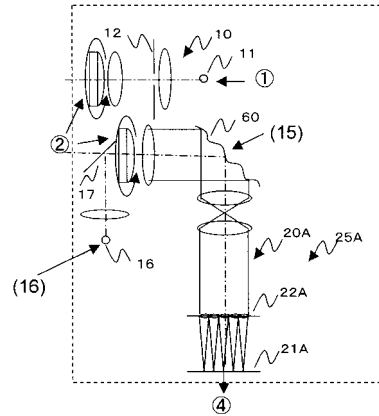
【図 10】



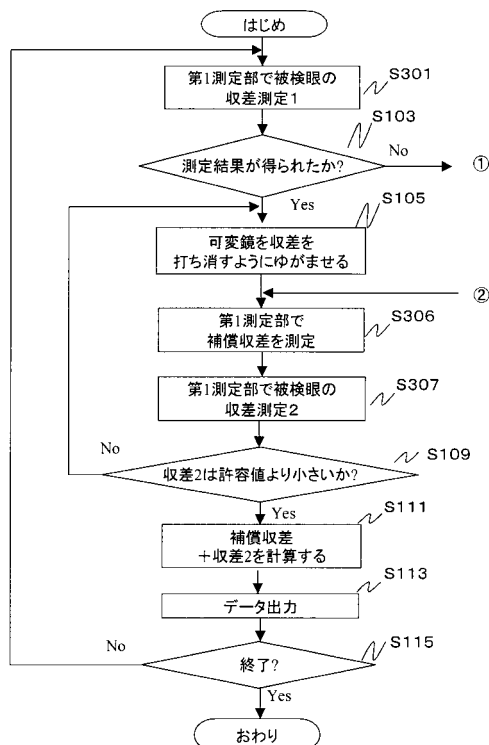
【図 1 1】



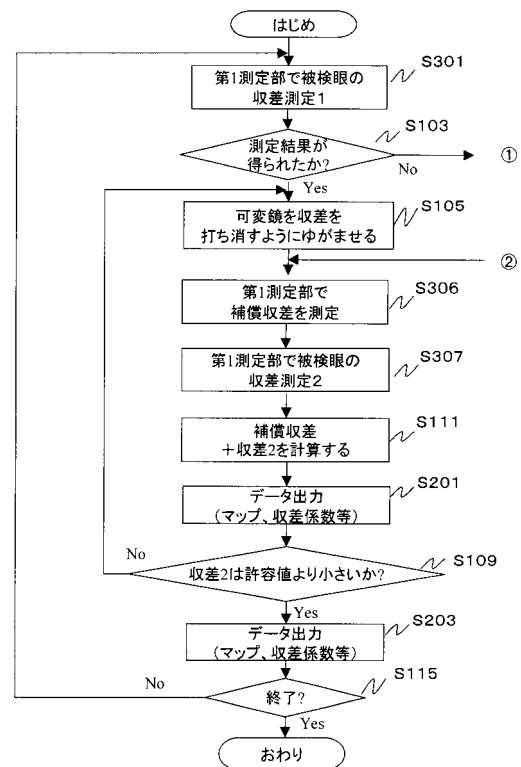
【図 1 2】



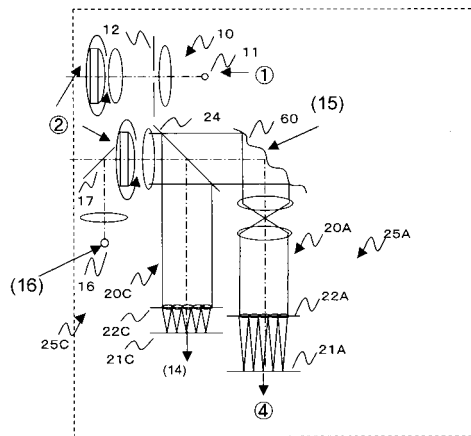
【図 1 3】



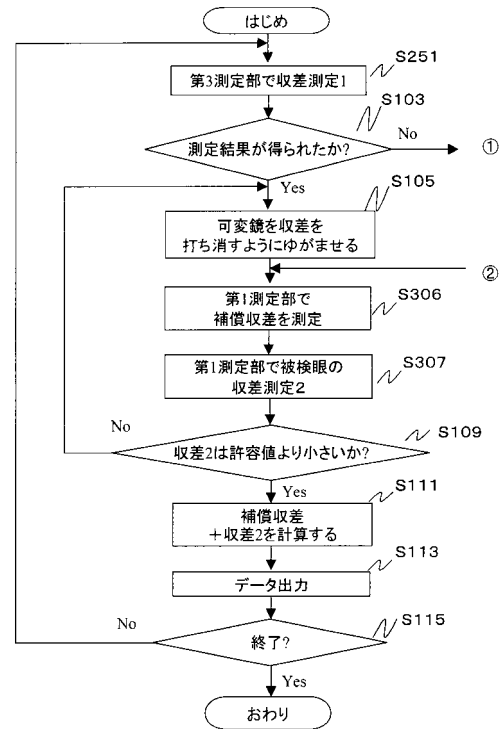
【図 1 4】



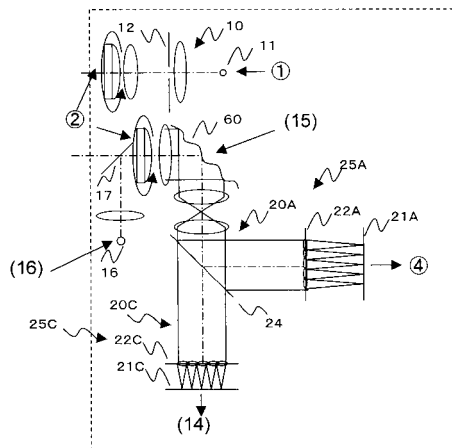
【図15】



【図16】



【図17】



【図18】

i	$2j-i$	
0	0	1
1	-1	y
1	1	x
2	-2	$2yx$
2	0	$2x^2 + 2y^2 - 1$
2	2	$x^2 - y^2$
3	-3	$3yx^2 - y^3$
3	-1	$3yx^2 + 3y^3 - 2y$
3	1	$3x^3 + 3xy^2 - 2x$
3	3	$x^3 - 3xy^2$
4	-4	$4yx^3 - 4y^3x$
4	-2	$8yx^3 + 8y^3x - 6yx$
4	0	$6x^4 + 12x^2y^2 + 6y^4 - 6x^2 - 6y^2 + 1$
4	2	$4x^4 - 4y^4 - 3x^2 + 3y^2$
4	4	$x^4 - 6x^2y^2 + y^4$
5	-5	$5yx^4 - 10y^3x^2 + y^5$
5	-3	$15yx^4 + 10y^3x^2 - 5y^5 - 12yx^2 + 4y^3$
5	-1	$10yx^4 + 20y^3x^2 + 10y^5 - 12yx^2 - 12y^3 + 3y$
5	1	$10x^5 + 20x^3y^2 + 10xy^4 - 12x^3 - 12xy^2 + 3x$
5	3	$5x^5 - 10x^3y^2 - 15xy^4 - 4x^3 + 12xy^2$
5	5	$x^5 - 10x^3y^2 + 5xy^4$
6	-6	$6yx^5 - 20y^3x^3 + 6y^5x$
6	-4	$24yx^5 - 24y^5x - 20yx^3 + 20y^3x$
6	-2	$30yx^5 + 60y^3x^3 + 30y^5x - 40yx^3 - 40y^3x + 12yx$
6	0	$20x^6 + 60x^4y^2 + 60x^2y^4 + 20y^6 - 30x^4 - 60x^2y^2 - 30y^4 + 12x^2 + 12y^2 - 1$
6	2	$15x^6 + 15x^4y^2 - 15x^2y^4 - 15y^6 - 20x^4 + 20y^4 + 6x^2 - 6y^2$
6	4	$6x^6 - 30x^4y^2 - 30x^2y^4 + 6y^6 - 5x^4 + 30x^2y^2 - 5y^4$
6	6	$x^6 - 15x^4y^2 + 15x^2y^4 - y^6$

【図 19】

$i \ 2j-i$		
0	0	1
1	-1	$r \sin(t)$
1	1	$\cos(t) r$
2	-2	$r^2 \sin(2t)$
2	0	$2r^2 - 1$
2	2	$r^2 \cos(2t)$
3	-3	$r^3 \sin(3t)$
3	-1	$(3r^3 - 2r) \sin(t)$
3	1	$(3r^3 - 2r) \cos(t)$
3	3	$r^3 \cos(3t)$
4	-4	$r^4 \sin(4t)$
4	-2	$(4r^4 - 3r^2) \sin(2t)$
4	0	$6r^4 - 6r^2 + 1$
4	2	$(4r^4 - 3r^2) \cos(2t)$
4	4	$r^4 \cos(4t)$
5	-5	$r^5 \sin(5t)$
5	-3	$(5r^5 - 4r^3) \sin(3t)$
5	-1	$(10r^5 - 12r^3 + 3r) \sin(t)$
5	1	$(10r^5 - 12r^3 + 3r) \cos(t)$
5	3	$(5r^5 - 4r^3) \cos(3t)$
5	5	$r^5 \cos(5t)$
6	-6	$r^6 \sin(6t)$
6	-4	$(6r^6 - 5r^4) \sin(4t)$
6	-2	$(15r^6 - 20r^4 + 6r^2) \sin(2t)$
6	0	$20r^6 - 30r^4 + 12r^2 - 1$
6	2	$(15r^6 - 20r^4 + 6r^2) \cos(2t)$
6	4	$(6r^6 - 5r^4) \cos(4t)$
6	6	$r^6 \cos(6t)$

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 8 1 7 2 5 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 2 0 4 7 8 4 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 1 2 5 9 3 1 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 3 2 1 3 4 0 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 7 5 9 7 2 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 1 2 5 9 3 2 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 1 6 0 9 2 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
A61B 3/00-3/18