

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】第 1 部門第 2 区分
 【発行日】平成 17 年 11 月 10 日 (2005.11.10)

【公開番号】特開 2003-102689 (P2003-102689A)
 【公開日】平成 15 年 4 月 8 日 (2003.4.8)
 【出願番号】特願 2002-278047 (P2002-278047)
 【国際特許分類第 7 版】

A 6 1 B 3/10

【F I】

A 6 1 B 3/10 Z

A 6 1 B 3/10 M

【手続補正書】

【提出日】平成 17 年 9 月 22 日 (2005.9.22)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】眼の光学収差を測定するための方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 眼の光学収差を求めるための収差測定装置において、
 当該測定装置は、
 放射のプローブビームを出力するプローブビームプロジェクタと、
 放射のプローブビームを眼内に入力結合するカプラと、
 瞳面から射出するビームの波面を 1 つの面へリレーする光学リレーと、
 ハルトマン - シャックスポットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン - シャ
 ックセンサと、
 ハルトマン - シャックスポットパターンに応答する検出器を有し、
 前記収差測定装置はさらに瞳面に対して共役 (c o n j u g a t e) の面に又はその付
 近に配置されたオブスキュレーション部材を有する、ことを特徴とする収差測定装置。

【請求項 2】 前記オブスキュレーション部材は透明陽画上に印刷されている、請求
 項 1 記載の収差測定装置。

【請求項 3】 前記ハルトマン - シャックセンサはレンズレットアレイを有し、前記
 オブスキュレーション部材は前記レンズレットアレイの不透明エリヤを含む、請求項 1 記
 載の収差測定装置。

【請求項 4】 前記不透明エリヤは不透明なレンズレットアレイを有する、請求項 3
 記載の収差測定装置。

【請求項 5】 眼の光学収差を求めるための収差測定装置において、
 当該測定装置は、
 放射のプローブビームを出力するプローブビームプロジェクタと、
 放射のプローブビームを眼内に入力結合するカプラと、
 瞳面から射出するビームの波面を 1 つの面へリレーする光学リレーと、
 ハルトマン - シャックスポットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン - シャ
 ックセンサと、
 ハルトマン - シャックスポットパターンに応答する検出器とを有し、
 前記ハルトマン - シャックセンサはレンズレットアレイを有し、該レンズレットアレイ
 は、その所定のエリヤが眼の角膜から反射された放射のイメージ及び眼の眼内エレメン

トにより散乱された放射のイメージと実質的にオーバーラップするように配置されており、さらに、収差測定装置はオブスキュレーション部材を有する、ことを特徴とする収差測定装置。

【請求項 6】 前記オブスキュレーション部材は、そのイメージが所定のエリアと実質的にオーバーラップするように配置されている、請求項 5 記載の収差測定装置。

【請求項 7】 前記オブスキュレーション部材は所定のエリアの位置で放射を阻止する、請求項 5 記載の収差測定装置。

【請求項 8】 眼の光学収差を求めるための収差測定装置において、
当該測定装置は、
放射のプローブビームを出力するプローブビームプロジェクタと、
放射のプローブビームを眼内に入力結合するカプラと、
瞳面から射出するビームの波面を 1 つの面へリレーする光学リレーと、
ハルトマン - シャックスポットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン - シャックセンサと、
ハルトマン - シャックスポットパターンに応答する検出器を有し、
前記光学リレーは、ほぼ網膜の共役面 (conjugate plane) に配置されたダイナミック曇り止めを含む、ことを特徴とする収差測定装置。

【請求項 9】 眼の収差を求める方法において、
視力計から光を眼内に照射するステップと、
眼内に放射のプローブビームを照射するステップと、
瞳面から射出するビームの波面ハルトマン - シャックセンサへリレーするステップと、
ハルトマン - シャックスポットパターンを検出するステップと、
ハルトマン - シャックスポットパターンを分析して、焦点外れ誤差及び乱視を含めた眼の光学収差を求めるステップと、
焦点外れ誤差及び乱視に応答して視力計を調節するステップを有する、ことを特徴とする眼の収差を求める方法。

【請求項 10】 測定された焦点外れ誤差及び乱視が所定の範囲内に安定化されるまで、眼の収差を求め、視力計を調節するステップを有する請求項 9 記載の収差測定装置。

【請求項 11】 眼の光学収差を求めるための収差測定装置において、
当該測定装置は、
放射のプローブビームを出力するプローブビームプロジェクタと、
放射のプローブビームを眼内に入力結合するカプラと、
瞳面から射出するビームの波面を 1 つの面へリレーする光学リレーと、
ハルトマン - シャック (Hartmann - Shack) スポットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン - シャックセンサと、
ハルトマン - シャックスポットパターンに応答する検出器とを有し、
前記プローブビームプロジェクタは振動レンズを有する、ことを特徴とする収差測定装置。

【請求項 12】 前記振動レンズはボイスコイルにより駆動される、請求項 11 記載の収差測定装置。

【請求項 13】 前記ボイスコイルはほぼ 20 ~ 100 Hz の振動周波数で駆動される、請求項 12 記載の収差測定装置。

【請求項 14】 前記プローブビームプロジェクタはレーザ放射源を含む、請求項 10 記載の収差測定装置。

【請求項 15】 前記プローブビームプロジェクタはスーパーluminescenceダイオード放射源を含む、請求項 10 記載の収差測定装置。

【請求項 16】 眼の光学収差を求めるための収差測定装置において、
当該測定装置は、
放射のプローブビームを出力するプローブビームプロジェクタと、
放射のプローブビームを眼内に入力結合するカプラと、

瞳面から射出するビームの波面を1つの面へリレーする光学リレーと、
ハルトマン - シャックスポットパターンを生じさせる、面に配置されたハルトマン - シャックスンサと、
ハルトマン - シャックスポットパターンに応答する検出器を有し、
前記収差測定装置はさらに眼に結合された視力計モジュールを含む、ことを特徴とする収差測定装置。

【請求項 17】 前記視力計モジュールは眼の焦点外れ誤差を補償する可動レンズを有する、請求項 16 記載の収差測定装置。

【請求項 18】 前記視力計モジュールは眼の乱視を補償する1対のストークスレンズを有する、請求項 16 記載の収差測定装置。

【請求項 19】 眼の収差を求める方法において、
眼内に放射のプローブビームを照射するステップと、
瞳面から射出するビームの波面をハルトマン - シャックスンサへリレーするステップと、

ハルトマン - シャックスポットパターンを検出するステップと、
ハルトマン - シャックスポットパターンを分析して、焦点外れ誤差及び乱視を含めた眼の光学収差を求めるステップと、

眼の網膜に対して共役 (conjugate) の面の大体の位置を求めるステップと、
曇り止めをその位置へ移動させるステップと、を有することを特徴とする眼の収差を求めるための方法。

【請求項 20】 前記光学リレーは1より大の倍率を有する、請求項 11 記載の収差測定装置。

【請求項 21】 前記検出器は倍率 < 1 を有する第2の光学リレーを含む、請求項 20 記載の収差測定装置。

【請求項 22】 前記光学リレーは1より大の倍率を有する、請求項 16 記載の収差測定装置。

【請求項 23】 前記光学リレーは1より大の倍率を有する、請求項 19 記載の収差測定装置。

【請求項 24】 前記光学リレーは1より大の倍率を有する、請求項 13 記載の収差測定装置。

【請求項 25】 前記光学リレーは1より大の倍率を有する、請求項 8 記載の収差測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、眼の光学収差を求めるための収差測定装置及び眼の収差を求める方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

人間の眼は種々の光学収差を受ける。そのような光学収差の正確で完全な測定は、カスタマイズされたレーザ屈折矯正手術による正確な矯正、カスタマイズされたコンタクトレンズの使用による、又はカスタマイズされた眼内レンズの使用による正確な矯正をするために必須である。

【0003】

波面測定は、眼の光学収差を求めるために通常使用される方法である。波面測定の従来技術による方法の1つは、ハルトマン - シャックスンサを利用する。この方法によれば、レーザ又はスーパーluminescenceダイオードからの放射出力の狭いビームが眼の光学系を通して眼の網膜上に照射される。ついで、網膜から散乱した放射が光学系を通り、瞳から射出する（周知のように、射出ビームの波面が眼の光学系の収差異常についての情報を担う）。それから眼の射出瞳面から射出するビームの波面が（光学リレーにより）ハルトマ

ン - シャックセンサ上へリレーされ、そして、ハルトマン - シャックセンサからの出力が、射出ビームの波面を測定するため使用される。周知のように、正視眼の場合、すなわち、収差の異常のない眼の場合、射出ビームの波面は、平面であり、これに対して、収差の異常を生じさせる眼に対しては、射出ビームの波面は、平面から外れて歪曲する。

【 0 0 0 4 】

ハルトマン - シャックセンサは、通常、レンズレットアレイ及び CCD カメラから成り、この CCD カメラは、通常レンズレットアレイの焦点面におかれている。

【 0 0 0 5 】

測定すべきビームがハルトマン - シャックセンサ上に照射されるといつもレンズレットアレイは、ビームをサブアパーチャ内に分解結合し、焦点スポットのパターンを形成する。CCD カメラはこの焦点スポットのパターンを記録し、コンピュータはビームの波面を測定するための焦点スポットのパターンを分析する。

【 0 0 0 6 】

眼の収差異常を測定する際にハルトマン - シャックセンサを早期に使用する技術が開示されている（非特許文献 1 及び 2 参照）。

【 0 0 0 7 】

さらに、D . R . W i l l i a m s 氏及び J . L i a n g 氏は、ハルトマン - シャックセンサを使用した計器の構成を開示した（特許文献 1 及び 2 参照）。さらに、J . B i l l e 氏他は眼の屈折特性を測定するため使用されるハルトマン - シャックを使用した計器を開示した（特許文献 3 参照）。さらに D . R . W i l l i a m s 氏他は、眼の波面収差の測定のためハルトマン - シャックセンサを使用した計器を開示した（特許文献 4 参照）。

【 0 0 0 8 】

それらの従来技術にも拘わらず、ハルトマン - シャックセンサを使用する計器に係わる解決を要する幾つかの問題が残っている。ハルトマン - シャックセンサを使用する計器に係わる 1 つの問題は、ハルトマン - シャックイメージスポットにおけるスペックルを低減又は最小化することに関係している。スペックルは、網膜からの不均一な散乱と組合せ結合したプローブビームのコヒーレントな性質から生じる。その結果生じるスペックルによりハルトマン - シャックイメージスポットが不正なものとなり、スポットの重心検出が一層より不正確になる。短いコヒーレント長を有するプローブビームを使用することにより（例えば、スーパーluminescenceダイオード源を使用して生成されるプローブビームを使用することにより）、そして、動く散乱体にわたり時間平均を取ることにより、スペックルを低減できることは当業界に周知であるが、そのようなアプローチは、問題点としてのスペックルを除去する上で成功を収めていない。

【 0 0 0 9 】

ハルトマン - シャックセンサを使用する計器に係わる解決を要する他の問題は、人間の眼の焦点外れ誤差を補償するのに十分な大きさの測定レンジを提供することに関係している。例えば、人間の眼の焦点外れ誤差は、通常、 $-15\text{ D} \sim +10\text{ D}$ の範囲にわたる。屈折矯正手術により、通常瞳孔の中心附近の矯正ゾーンにおいて、例えば、 $3 \sim 6\text{ mm}$ の直径を有する矯正ゾーンにおいて焦点外れ誤差を矯正できる。しかし、その矯正ゾーン外では、術後の眼は、術前の眼の焦点外れ誤差と同じか、又は一層より大きな焦点外れ誤差さえも有する。従って、矯正ゾーンの内外双方で眼の収差の異常を測定する計器はレーザ屈折矯正手術が矯正できるのと同じ大きさのジオプトリー測定レンジ、即ち、 10 D 以上のジオプトリー測定レンジを有するべきものである。さらにそのようなジオプトリー測定レンジは、任意の所定の測定セッティングのため達成されるべきである。その問題を解消するため使用される 1 つの従来技術のアプローチは、計器の測定レンジを拡大するため 1 セットの補償レンズを用いることを含んでいる。但し、その従来技術のアプローチは、眼の相異なるゾーンにわたって（レンズ屈折力の変化により測定されるような）大きな焦点外れ誤差を有する眼を測定するためには使用できない。特許文献 4 の明細書において開示された他の従来技術のアプローチは、1 つの光学リレーステージの焦点合わせパワーを調節

することを含む。しかし、この従来技術のアプローチは、第1の従来技術のアプローチと同じ制約を有する。

【0010】

ハルトマン - シャックセンサを使用する計器に係わる解決を要する他の問題は、被検眼を非調節性状態に移すことに関係している。即ち、被検眼をリラックスした仕方で「無限」の遠距離のターゲットに焦点合わせすることに係わる。このことは、殊に、被検眼が強い乱視を有するときはいつも問題解決を要する。特許文献4によれば、臨床的研究により、調節が眼の収差の異常に影響を及ぼすことが明らかにされている。その結果被検眼を制御可能及び再現可能な仕方で準備調整することが、正確かつ精密な収差の異常測定を達成する上で重要である。

【0011】

ハルトマン - シャックセンサを使用する測定器に係わる解決を要する他の問題は、(a)角膜の表面からのプローブビームの反射及び(b)眼の眼内エレメントからの散乱を低減又は最小化することに係わる。この反射及び散乱が問題になる理由は、それらがハルトマン - シャックイメージ上に明るいスポットを生じさせ、その結果波面測定の品質を低下させるからである。その問題を解消するための1つの従来技術のアプローチは、D. R. Williams氏他により開示されている(特許文献5参照)。この従来技術のアプローチは、反射された放射がハルトマン - シャックセンサにより検出されるのを防止するためプローブビームを軸外しさせて照射することを含んでいる。しかしこの従来技術のアプローチは、2つの理由で問題がある。第一に、この従来技術のアプローチは、波面内にチルト角度を導入し、チルト角度は、眼の焦点外れ誤差に依存する。第二に、その従来技術のアプローチは、眼内エレメントからの散乱を低減しない。

【0012】

ハルトマン - シャックセンサを使用する測定器に係わる解決を要する別の問題は、眼の内部部分から多重散乱した放射の効果を低減又は最小化することに係わる。そのような多重散乱した放射は、瞳から射出する追跡光線として現れ、すべての方向に伝播する。このことが問題となる理由は、そのような追跡光線はハルトマン - シャックスポットの周りにぼやけたバックグラウンドを生じさせ、これはハルトマン - シャックイメージの品質を劣化させるからである。

【0013】

【非特許文献1】

Liang et al. "Objective measurement of wave aberration of human eye with the use of Hartmann - Shack wave-front sensor", J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 11, No. 7, 1994年7月, pp. 1949 - 1957

【非特許文献2】

Liang et al. "Abberations and retinal image quality of the normal human eye", J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 14, No. 11, 1997年, pp. 2873 - 2883

【特許文献1】

U. S. Patent Nos. 5, 777, 719

【特許文献2】

U. S. Patent Nos. 5, 949, 521

【特許文献3】

U. S. Patent Nos. 6, 050, 687

【特許文献4】

U. S. Patent Nos. 6, 199, 986

【特許文献5】

U . S . P a t e n t N o s . 6 , 2 6 4 , 3 2 8

【特許文献6】

U . S . P a t e n t N o s . 5 , 7 7 7 , 7 1 9

【特許文献7】

R . W . F r e y e t a l . W O 9 9 / 2 7 3 3 4 , “ O b j e c t i v e M e a s u r e m e n t a n d C o r r e c t i o n o f O p t i c a l S y s t e m s U s i n g W a v e f o n t A n a l y s i s ” , 1 9 9 9 年 6 月 3 日

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の課題は、ハルトマン - シャックイメージスポットにおけるスペックルを低減又は最小化すること、人間の眼の焦点外れ誤差を補償するのに十分な大きさの測定レンジを提供すること、被験眼を非調節性状態に移すこと、ならびに角膜の表面からのプローブビームの反射及び眼の眼内エレメントからの散乱を低減又は最小化することのうちの1つ又は複数の問題を解決する方法及び装置を提供することである。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記課題は、本発明により、放射のプローブビームを出力するプローブビームプロジェクタと、放射のプローブビームを眼内に入力結合するカプラと、瞳面から射出するビームの波面を1つの面へリレーする光学リレーと、ハルトマン - シャック (H a r t m a n n - S h a c k) スポットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン - シャックセンサと、ハルトマン - シャックスロットパターンに応答する検出器とを有し、前記プローブビームプロジェクタは振動レンズを有するように構成された装置により解決される。

【0016】

同様に上記課題は、本発明により、眼の収差を求める方法において、視力計から光を眼内に照射し、眼内に放射のプローブビームを照射し、瞳面から射出するビームの波面ハルトマン - シャックセンサへリレーし、ハルトマン - シャックスロットパターンを検出し、ハルトマン - シャックスロットパターンを分析して、焦点外れ誤差及び乱視を含めた眼の光学収差を求め、焦点外れ誤差及び乱視に応答して視力計を調節するようにすることで解決される。

【0017】

【発明の実施の形態】

本発明の1つ又は複数の実施形態は、ハルトマン - シャックスロットによりスペックルを低減させて測定を可能にする収差測定装置を提供する。詳しくは、本発明の1つの実施形態は、以下の (a) ~ (e) を有する収差測定装置である。(a) 放射のプローブビームを出力するプローブビームプロジェクタと、(b) 放射のプローブビームを眼内に入力結合するカプラと、(c) 瞳面から射出するビームの波面を1つの面へリレーする光学リレーと、(d) ハルトマン - シャックスロットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン - シャックセンサと、(e) ハルトマン - シャックスロットパターンに応答する検出器とを有し、ここでプローブビームプロジェクタは振動レンズを含むものである。

【0018】

本発明の1つ又は複数の実施形態は、眼の相異なるゾーンにわたり、大きな屈折力ジオプトリー変化を有する眼の測定を可能にする収差測定装置を提供する。詳しくは、本発明の1つの実施形態は、以下の (a) ~ (e) を有する収差測定装置である。(a) 放射のプローブビームを出力するプローブビームプロジェクタと、(b) 放射のプローブビームを眼内に入力結合するカプラと、(c) 瞳面から射出するビームの波面を1つの面へリレーする光学リレーと、(d) ハルトマン - シャックスロットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン - シャックセンサと、(e) ハルトマン - シャックスロットパターンに応答する検出器を有し、ここで光学リレーは、1より大の倍率を有する。

【0019】

本発明の1つ又は複数の実施形態は、調節コントロールで測定を可能にする収差測定装

置を提供する。詳しくは、本発明の１実施形態は、以下の（ａ）～（ｅ）を有する収差測定装置である。（ａ）放射のプロープビームを出力するプロープビームプロジェクタと、（ｂ）放射のプロープビームを眼内に入力結合するカプラと、（ｃ）瞳面から射出するビームの波面を１つの面へリレーする光学リレーと、（ｄ）ハルトマン・シャックスポットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン・シャックスンサと、（ｅ）ハルトマン・シャックスポットパターンに応答する検出器を有し、ここで、さらに収差測定装置は眼に結合された視力計を有する。

【００２０】

本発明の１つ又は複数の実施形態は、角膜で反射される放射及び眼内エレメントで散乱した放射が阻止されるようにした収差測定装置を提供する。詳しくは、本発明の１実施例は以下の（ａ）～（ｅ）を有する収差測定装置である。（ａ）放射のプロープビームを出力するプロープビームプロジェクタと、（ｂ）放射のプロープビームを眼内に入力結合するカプラと、（ｃ）瞳面から射出するビームの波面を１つの面へリレーする光学リレーと、（ｄ）ハルトマン・シャックスポットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン・シャックスンサと、（ｅ）ハルトマン・シャックスポットパターンに応答する検出器を有し、ここで、さらに、収差測定装置は、瞳面に対して共役の面に、又は、その附近に配置されたオブスキュレーション部材（*obscuration member*）を有する。

【００２１】

本発明の１つ又は複数の実施形態は、眼内で多重散乱される放射により生じる曇りのあるぼんやりとしたバックグラウンドが低減されるようにした収差測定装置を提供する。詳しくは、本発明の１実施形態は、以下の（ａ）～（ｅ）を有する収差測定装置である。（ａ）放射のプロープビームを出力するプロープビームプロジェクタと、（ｂ）放射のプロープビームを眼内に入力結合するカプラと、（ｃ）瞳面から射出するビームの波面を１つの面へリレーする光学リレーと、（ｄ）ハルトマン・シャックスポットパターンを生じさせる面に配置されたハルトマン・シャックスンサと、（ｅ）ハルトマン・シャックスポットパターンに応答する検出器を有し、ここで光学リレーは、ほぼ網膜の共役面に配置されたダイナミックな曇り止めを含む。

【００２２】

【実施例】

図１は、本発明により作製される収差測定装置２００の概略図である。図１に示すようにプロープビームプロジェクタ１０５０は、プロープビーム１０６０を出力し、このプロープビーム１０６０はカプラ１０００に当たる。プロープビーム１０６０は、通常患者により検出されない放射から成り、この放射は、例えば限定的ではないが、赤外又は近赤外放射のようなものである。こうして、プロープビームプロジェクタ１０５０に対する放射源として近赤外スペクトルレンジにおいて出力するスーパーluminescentダイオードを利用できる。しかし、他の放射源も、また、例えば、限定的でなく、レーザ又は発光ダイオードを使用することもできる。カプラ１０００から出力されたプロープビーム３３は、角膜及び水晶体１３を含めた眼１０の光学系を通して眼１０の網膜１１上に向けられる。網膜１１は、プロープビームプロジェクタ３３からの入射放射を散乱する。網膜１１により散乱された放射は、水晶体１３及び角膜を含めた光学系を通り、射出ビーム３４として、射出瞳面ＰＰにおいて眼１０から射出する。周知のように、眼１０の射出瞳面ＰＰから射出する射出ビーム３４の波面が、眼の光学系の光学的品質に関する収差情報を担う。例えば、収差の異常のない完全な正視眼の場合、射出瞳面ＰＰからの射出ビーム３４の波面は平面である。しかし、近視又は遠視の眼の場合、射出瞳面ＰＰからの射出ビーム３４の波面は、球面の形状を有する。高次の収差のある眼の場合、射出瞳面ＰＰからの射出ビーム３４の波面は不規則なひずみを受ける。収差測定装置２００は、眼内の光学系の収差又は屈折率異常を求めるため、射出瞳面ＰＰからの射出ビーム３４の波面の波面プロファイルを測定する。

【００２３】

射出瞳面 P P からの射出ビーム 3 4 の波面は、カブラ 1 0 0 0 を通過し、光学リレーモジュール 1 0 1 0 によりリレーされる。本発明の 1 実施形態において、カブラ 1 0 0 0 は、偏光ビームスプリッタから成る。その実施形態において、偏光ビームスプリッタは、実質的に直線偏光されるプローブビーム 1 0 6 0 を反射し、眼 1 0 に当たるプローブビーム 3 3 を生じさせる。そのような偏光ビームスプリッタは、通常の当業者によく知られている任意の方法により作製でき、そのような偏光ビームスプリッタは市販されているものである。散乱は射出ビーム 3 4 を偏光解消する。こうして、カブラ 1 0 0 0 が偏光ビームスプリッタを有する場合射出ビーム 3 4 がカブラ 1 0 0 0 を通過するので、偏光解消された射出ビームの一部のみが光学リレーモジュール 1 0 1 0 に渡される（即ち、有利には、偏光ビームスプリッタは、とり分け、水晶体 1 3、角膜、網膜 1 1 から初期偏光の反射を阻止する）。光学リレーモジュール 1 0 1 0 は、眼 1 0 の射出瞳面 P P からの射出ビーム 3 4 の波面を、ハルトマン - シャックセンサ 1 0 2 0 における共役面 PP^H へリレーする。殊にハルトマン - シャックセンサ 1 0 2 0 は、レンズレットアレイから成り、このレンズレットアレイは、共役面 PP^H に配置され、この共役面 PP^H は、射出瞳面 P P に対して共役である。周知のように、レンズレットアレイは、散乱された放射ビームをレンズレットアレイサブアパーチャ内に分解結合し、レンズレットアレイの焦点面において、ハルトマン - シャックスポットパターンを形成する。本収差測定装置に使用されるべき適当なレンズレットアレイは市販されており、例えば、マサチューセッツ州ケンブリッジの Adaptive Optics Associates から入手可能である。周知のように、ハルトマン - シャックスポットパターンは、射出ビーム 3 4 の波面の収差情報を担っている。

【 0 0 2 4 】

次に、図 1 に示すように、検出器 1 0 3 0 は、ハルトマン - シャックスポットパターンを検出する。例えば、1 つの実施形態において、検出器 1 0 3 0 はハルトマン - シャックスポットパターンを記録する CCD カメラであり、この CCD カメラは、デジタル信号を出力し、このデジタル信号はアナライザ 1 0 4 0 に入力される。1 つの実施形態において、アナライザ 1 0 4 0 は、コンピュータとして、例えばパーソナルコンピュータとして具現化される。本発明の 1 つの実施形態によれば、アナライザ 1 0 4 0 は、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、複数焦点面の重心の座標（例えば X, Y, Z 位置）を求める。ついで、アナライザ 1 0 4 0 は、重心の座標を使用して各ビームセグメントのスロープを求め、レンズレットアレイの複数エレメントを通過するビームの 1 つのビーム部分のスロープを求める。次にアナライザ 1 0 4 0 は、通常の当業者によく知られている任意の方法を使用し、この方法は、平面 PP^H において、ビーム 3 3 の波面を再構成するためビームセグメントのスロープを使用する。例えば、そのような 1 つの実施形態において、アナライザ 1 0 4 0 は、非特許文献 1 及び非特許文献 2（以下 Liang 氏論文という）に含まれている論旨に従って、平面 PP^H において、ビーム 3 3 の波面を再構成するためビームセグメントを、ゼルニケ多項式の 1 セットに適合させる。前記 Liang 氏論文は、ここに参照されている。その際射出ビーム 3 4 の波面 3 4 は、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、光学リレーモジュールにより求められるスケールファクタを使用して射出瞳面 P において再構成される。ハルトマン - シャック波面センサ再構成のレビューが特許文献 6 に見出される。さらに、眼 1 0 の収差、即ち屈折性異常が、再構成された波面を用いて通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、アナライザ 1 0 4 0 により計算される。例えば、そのような方法が刊行物に開示されており（特許文献 7 参照）、ここにおいては、波面のひずみが収差の推定値としてとられている。前記の刊行物は、ここに参照されている（Liang 氏論文も参照のこと）。アナライザ 1 0 4 0 において使用するためのアルゴリズム、例えばコンピュータアルゴリズムは、市販されており、例えば、マサチューセッツ州ケンブリッジの Adaptive Optics Associates 社から入手可能である。

【 0 0 2 5 】

I . スペックル低減：図 2 は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態により収差測定装置を

作製するため使用されるプローブビームプロジェクタの概略図である。図 2 に示すように、放射源 3 1 は、放射のプローブビームを出力し、この放射のプローブビームは、レンズシステム 3 2 により集束される（レンズシステム 3 2 は、1 つのレンズから成るものとして示されているが、レンズシステムは、1 つ又は複数のレンズから成っていてよいことは当業者には明らかである）。回転ミラー 2 1 により向きを変えた後、放射のプローブビームは、カプラ 2 0 に当たる。当業者が容易に理解するように、回転ミラー 2 1 は、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って作製される。さらに、1 つの実施形態において、カプラ 2 0 は、偏光ビームスプリッタとして具現化される。カプラ 2 0 からの放射出力は、プローブビーム 3 3 として眼 1 8 に加えられる。

【0026】

本発明のそれらの実施形態によれば、可動メカニズム（図示せず）により振動されるレンズ系を有するときはいつも、生じるハルトマン - シャックイメージにおけるスペックルが低減される。可動メカニズムは、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、例えば、限定的でなくボイスコイルの使用により作製することができる。さらに可動メカニズムは、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、例えば限定的でなく、アナライザ 1 0 4 0 からの信号に応答して動作できる。さらに、振動レンズ系が低コヒーレンス放射源 3 1 と連携して、例えばスーパーluminescentダイオードと連携して使用されるときはいつも、生じるハルトマン - シャックイメージにおけるスペックルが最小化される。その結果波面測定、従って、収差測定の厳密性が改善される。

【0027】

図 2 に示すレンズ系 3 2 がその光軸に沿って所定の位置におかれている場合、プローブビーム 3 3 は、所定のスポットサイズを有するスポットで網膜 1 1 上に当たる（どの所定のスポットサイズが、とり分けレンズ系 3 2 及び眼 1 0 の光学系により、定められるか当業者は容易に理解する）。本発明の 1 つの実施形態によれば、源 3 1 からの放射出力が、振動レンズ系 2 の光軸と実質的に共線である方向に伝播するように、そして、実質的にレンズ系 3 2 の中心を通過するようにアラインメントされる。その結果、レンズ系 3 2 は光軸に沿って所定の位置のまわりで振動するので、静止状態にとどまる方向にプローブビーム 3 3 は伝播走行する。レンズ系 3 2 は光軸に沿って所定の位置のまわりで迅速に振動するので、そこで、プローブビーム 3 3 が網膜 1 1 上に当たるスポットのサイズは、迅速に所定の範囲内で振動し、（例えば、実質的に円形のスポットの場合、スポットのサイズは所定の直径により規定される円形エリア内で迅速に振動する）、一方、スポットの重心は実質的に一定にとどまる。さらに網膜上のスポットのサイズは、変化するので、プローブビーム 3 3 の相対位相はスポットを横切る任意の 2 つの点で変化する。従って、網膜 1 1 により散乱される放射の相対位相は、迅速に変化し（即ち、網膜 1 1 により散乱した放射の相対位相の空間コヒーレンスがランダマイズされる）、その結果ハルトマン - シャックスロットにおけるスペックルが低減される。

【0028】

レーザ及びスーパーluminescentダイオードは、輝度及びビーム品質要求に基づき、ハルトマン - シャックセンサを使用した収差測定装置を作製するため使用される通常の源である。しかし、コヒーレントビーム、例えば、レーザにより生じたビームが非一様散乱体により散乱するといつもスペックルが生じることは当業者には周知である。このことに基づき、そのような計器においてプローブビームを生じさせるためレーザを使用したならばハルトマン - シャックにおけるスペックルが著しいものとなり、その正確な測定が困難になる。また、スーパーluminescentダイオードから発射されるような低コヒーレンスビームがレーザにより生じたビームよりわずかなスペックルを生じさせることも当業者には周知である。しかし、スーパーluminescentダイオードにより生じるビームを使用して引き起こされるスペックルは、なお相当なものである、それというのは、ビームに沿ってその空間コヒーレンスがレーザビームのそれよりはるかにわずかなとしても、スーパーluminescentダイオードにより生成されるビームは、ビームを横切る方向で良好な空間コヒーレンスを有するからである。こうして本発明のさらなる実施形態によれば、ハルト

マン・シャックスポットのスペckルを、振動レンズ系32及びプローブビーム源31を含む実施形態により最小化でき、この実施形態では、プローブビーム源31がわずかな時間コヒーレンスを有する明るい光源、例えば、限定的ではないがスーパーluminescenceダイオードのような明るい光源を有する。

【0029】

そのような実施形態の1つの事例においてスーパーluminescenceダイオードは、ほぼ820nmを中心とする波長を有し、ほぼ25nmのスペクトル帯域幅を有する。さらに、眼10内に照射されるプローブビーム33のパワーは、ほぼ50～ほぼ100μwの範囲内にある。なおさらに、網膜11上のスポットの直径はほぼ100～ほぼ200μmの範囲内で振動する。又、さらにレンズ系32は、ほぼ10mmの焦点距離を有し、ほぼ0.5mmの直線距離にわたって振動するレンズである。なお、またレンズ系32をほぼ20～ほぼ100Hzの共振周波数で振動させるため、ボイスコイルを、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、可動メカニズムとして使用できる。

【0030】

II. 拡大された測定レンジ：図3は、拡大された測定レンジを有する本発明の1つ又は複数の実施形態に従って、収差測定装置を作製するため使用される光学的構成の概略図である。即ち、図3は、眼の種々のゾーンにわたって大きな屈折力ジオプトリー変化を有する眼の測定を可能にする光学的構成を有する実施形態を示す。図3に示す光学的構成は、図1の光学リレーモジュール1010を具現化し、これが第1の光学リレーモジュール40及び第2の光学リレーモジュール50を有するように具現化することにより、そして、オブショナルな光学的イメージモジュール70を、ハルトマン・シャックスensa1020と検出器1030との間に挿入することにより、図1に示す光学的構成から得られる。図3に示すように、第1の光学リレーモジュール40は、レンズ系41, 42を有する(レンズ系41, 42は、それぞれ1つのレンズからなるものとして示されているが、当業者は、レンズ系41, 42はそれぞれ1つ又は複数のレンズからなっていてよいことを容易に理解する) - 第1の光学リレーモジュール40を、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って作製できる。光学リレーモジュール40は、射出ビーム34の波面を眼10の射出瞳面PPから第1の共役面PP'へリレーする。それから、波面は、第2光学リレーモジュール50によりリレーされて、回転ミラー23に当たるようになる。図3に示すように、第2光学リレーモジュール50は、レンズ系51, 52を有する(レンズ系51, 52は1つのレンズから成るものとして示されているが、当業者は、それぞれ1つ又は複数のレンズから成ることを容易に理解する)。第2の光学リレーモジュール50は通常の当業者によく知られている任意の方法に従って作製できる。通常の当業者が容易に理解するように、回転ミラー23は計器をよりコンパクトにするための好都合な手段として使用されるが動作には必要でない。回転ミラー23は、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って作製できる。レンズレットアレイ60(図1のハルトマン・シャックスensa1020の1つの実施形態)は、第2の共役面PP'に配置され、この第2の共役面PP'は、第1の共役面PP'及び射出瞳面PPに対して共役である。図3に示すように、オブショナルな光学的イメージモジュール70は、ハルトマン・シャックスポットパターン61をリレーし、集束し、このハルトマン・シャックスポットパターン61はレンズレットアレイ60の焦点面でCCDカメラ80のセンシング表面上に形成される(図1の検出器1030の1つの実施形態)。図3に示すように、オブショナルな光学的イメージモジュール70はレンズ系71, 72を有する(レンズ系71, 72はそれぞれ1つのレンズからなるものとして示されているが、当業者は、レンズ系71, 72はそれぞれ1つ又は複数のレンズからなることを容易に理解する) - 光学的イメージモジュール70を、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って作製できる。

【0031】

前記の実施形態によれば、第1の光学リレーモジュール40及び第2の光学リレーモジュール50は、共に合わせれば、1より大の倍率を有する。この倍率に基づき、レンズレットアレイ60における射出ビーム34の波面のアパーチャ(即ち瞳孔レンズ)が拡大さ

れるが、射出ビーム 34 の波面の屈折力ジオプトリーが低減される。それから、光学的イメージモジュール 70 は、1 より小の倍率を有し、そして、レンズレットアレイ焦点面におけるハルトマン - シャックスポットパターン 61 を CCD カメラ 80 へ伝達する。上述の倍率拡大及び縮小倍率を利用することにより、限られたセンシングエリアのチップを有する従来の CCD カメラを使用しながら収差測定装置は、大きな瞳孔に対してより大きなジオメトリ測定レンジを有することができる。

【0032】

本発明のそのような 1 つの実施形態によれば、第 1 の光学リレーモジュール 40 は、2 つの実質的に同一のレンズ系 41, 42 を有し、それらのレンズ系 41, 42 は 1 つのユニトリレーを形成するよう共焦点構成内にインストールされる。さらに、本発明のそのような実施形態によれば、第 2 の光学リレーモジュール 50 は、1 より大の倍率を有するリレーを形成するよう、相異なる焦点距離を有する 2 つのレンズ系 51, 52 から成る。上述の結果、第 1 共役面 PP' における波面は、射出瞳面 PP における波面と同じであるが、第 2 共役面 PP における波面は、射出瞳面 PP におけるものより大のオーバーチャ及び M^2 倍小さいスロープ変化を有する。こうして、(第 2 共役面 PP に配置された) レンズレットアレイ 60 は射出ビーム 35 を受け取るので、レンズレットアレイ焦点面におけるハルトマン - シャックスポットパターン 61 は、第 2 の光学リレーモジュール 50 を使用しなければ生じることとなるものに比して拡大される。図 3 に示す実施形態が、共に合わせると倍率 > 1 を有する 2 つの光学リレーモジュールを使用する場合を示しているが、本発明の実施形態は、それにより限定されない。こうして、本発明の実施形態を、倍率 $M > 1$ を有する単一の光学リレーモジュールを使用して作製できる。

【0033】

図 3 に示すハルトマン - シャックスポットパターン 61 が利用可能な CCD カメラのセンシングエリアより大である場合、CCD カメラ 80 のセンシングエリア上へフィットするようハルトマン - シャックスポットパターン 61 のサイズを減少させるためオプションな光学的イメージモジュール 70 を使用できる。例えばこのことを行うため、種々の焦点距離を有するレンズ系 71, 72 を有し、縮小倍率 M' を有する倍率縮小ステージを形成することができる。さらに、光学的イメージモジュール 70 の設計により、レンズレットアレイ焦点面から CCD カメラ 80 までのセンサ表面までのフィールドひずみを最小化すべきである。

【0034】

そのような実施形態の 1 事例において、第 1 の光学リレーモジュール 40 の倍率 M は 1 であり、第 2 の光学リレーモジュール 50 の倍率 M は 1.4 であり、光学的イメージモジュール 70 の縮小倍率 M' は 0.3 である。それらのモジュールを用いて、収差測定装置の測定を、2 (即ち 1.4^2) 倍だけ拡大でき、一方 6.4×4.8 mm のセンシングエリアを有する $1/2$ CCD カメラチップは、8 mm の瞳孔サイズを有する眼からの射出ビーム 34 を受け取るため CCD カメラ 80 において使用できる。さらに、レンズレットアレイ 60 は、ほぼ 1 mm のサブオーバーチャ及び 10 mm の大きさのオーダの焦点距離を有する。そのようなレンズレットアレイは、市販されており、例えばマサチューセッツ州ケンブリッジの Adaptive Optics Associates から入手可能である。

【0035】

III. 視力計の統合：図 4 は、調節コントロールを与えるため、本発明の 1 つ又は複数の実施形態により、収差測定装置を作製するため使用される視力計モジュール 90 を示す概略図である。それらの実施形態によれば、視力計モジュール 90 は、眼 10 の焦点外れ誤差及び乱視を光学的に補償し、眼 10 を、遠距離 (「無限」) に現れるターゲット上に焦点合わせするようにガイドする。図 4 に示すように、視力計モジュール 90 は、第 1 のストークスのレンズ系 91、第 2 のストークスのレンズ系 92、第 1 の焦点レンズ系 93、可動レンズ 94、第 2 の焦点レンズ系 95、固視ターゲット 96 を有する (第 1 のストークスのレンズ系 91、第 2 のストークスのレンズ系 92、第 1 の焦点レンズ系 93、

可動レンズ 94、第 2 の焦点レンズ系 95、は、それぞれ 1 つのレンズから成るものとして示されているが、当業者は、レンズ系 91 ~ 95 がそれぞれ 1 つ又は複数のレンズから成ることを容易に理解する)。視力計モジュールを作製するための多くの方法が、通常の当業者に周知である。固視ターゲット 96 が通常の当業者によく知られている任意の方法に従って作製され、そして、固視ターゲット 96 は、図 1 の光学リレーモジュール 1010 (図 1 の光学リレーモジュールは、光学リレーモジュール 40 として具現化される) 及び視力計レンズ系 91 ~ 95 を通して眼 10 内に結像される。図 4 に示すように、視力計モジュール 90 からの放射出力がビームスプリッタ 22 を使用して収差測定装置内に入力結合される。ビームスプリッタ 22 は通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、射出ビーム 34 の放射 (例えば図 2 の源 31 から発射された放射) を透過し、そして、視力計モジュール 90 において発射された放射 (例えば白色光) を反射するように設計されている。図 4 には、視力計モジュール 90 からの放射出力が光学リレーモジュール 40 の後、収差測定装置内へ入力結合されることが示されているが、通常の当業者には、本発明の実施形態はそれに限定されるものでないことが明らかである。特に、視力計モジュール 90 からの放射出力を相異なる位置で収差測定装置内に入力結合できる。例えば視力計モジュール 90 からの放射出力を、図 1 に示すカプラ 1000 の前又は後に結合できる実施形態がある。

【0036】

眼 10 の焦点外れ誤差を補償するため、例えば図 1 のアナライザ 1040 からの信号に応答して、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、移動可能なレンズ系 94 の、その光軸に沿っての位置を変化させることができる。例えば移動可能なレンズ系 94 を、モータにより駆動される並進ステージのような可動メカニズム上に取り付けることができる。さらに、眼 10 の乱視を補償するため、例えば、図 1 の 1040、アナライザ 1040 からの信号に応答して、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、ストークスのレンズ系 91, 92 を独立的に電子的に回転できる。例えば、ストークスのレンズ系 91, 92 をモータにより駆動される回転ステージ上に取り付けることができる。1 つの実施形態において、第 1 及び第 2 のストークスのレンズ系 91, 95 は、円柱レンズである。

【0037】

動作中患者は、固視ターゲット 96 上に固視をするように要請される。収差測定装置は、初期的測定をし、眼 10 内の焦点外れ誤差及び乱視の初期的推定を行う。それに応じて、アナライザ 1040 は、眼 10 が測定された焦点外れ誤差及び乱視を補償するため視力計モジュール 90 の初期的セッティングをドライブできる (即ち適当に調節された視力計モジュール 90 を通して見ると、眼 10 は、遠い距離に現れるシャープな固視ターゲット 96 を見る)。例えば、1 つの実施形態において、アナライザ 1040 は、移動可能なレンズ系 94 に対する可動メカニズム (図示せず) に信号を送信し、これは、焦点外れ誤差を補償するよう移動可能なレンズ系 94 を移動させ、そして、アナライザ 1040 は、眼 10 の乱視を補償するためストークスのレンズ系 91, 92 を回転させるため、ストークスのレンズ系 91, 92 に対する回転メカニズム (図示せず) へ別の信号を送信する。このステップは、眼 10 の測定された焦点外れ誤差及び乱視が所定の範囲内で安定化されるまで複数回実行される。このような情勢下で、眼 10 の調節を安定化すべきであり、眼 10 は遠距離に現れるシャープなイメージとして固視ターゲット 96 を固視する。さらに眼 10 の調節を安定化するためかぶり (fogging) を使用することもできる。かぶりとは、小さいが特別な大きさの焦点はずれのパワー (~0.5 ジオプトリ) が光路内に付加されて、被検眼を無限 " を越えて " 焦点合わせするようにガイドする技術であり、前記のかぶりは当業者には周知である。さらなる実施形態において、可動のレンズ系 94 及びストークスのレンズ系 91, 92 の調節をオペレータにより行うことができる。

【0038】

さらに、収差測定装置を使用して眼 10 を測定するステップが、眼 10 の光学収差を求めるため実行される。

【 0 0 3 9 】

そのような実施形態の 1 事例において、可動レンズ系 9 4 を、- 1 5 ジオプトリー ~ + 1 5 ジオプトリーの焦点はずれの異常を調節適合するため調節できる。さらに、ストークスのレンズ系 9 1 , 9 2 を、何れの配向においても 6 ジオプトリーまで乱視を調節適合するため調節できる。

【 0 0 4 0 】

I V . 網膜から反射された放射及び眼内エレメントにより散乱された放射を阻止すること : 図 5 は、角膜から反射された放射 (放射 3 6) 及び眼 1 0 の眼内エレメントにより散乱した放射 (放射 3 7) がどのようにハルトマン - シャックスポットパターン 6 1 を汚染するかを示す収差測定装置の一部分の概略図である。角膜から反射された放射及び眼内エレメントにより散乱した放射が網膜 1 1 により散乱する放射よりはるかに強い。図 1 のカブラ 1 0 0 0 を具現化するため偏光ビームスプリッタを使用して角膜から反射された放射を多く阻止できるが、残存する角膜反射 3 6 が厳密な波面測定にとって厄介なものにとどまる。さらに眼内エレメント (例えば水晶体 1 3 及び角膜) により散乱した放射は、網膜 1 1 での散乱により生じる偏光解消に類似した仕方で偏光解消される。こうして、眼内エレメントにより散乱した放射を、偏光ビームスプリッタ 2 0 により除去できない。さらに、角膜で反射した放射 3 6 及び眼内エレメントで反射した放射 3 7 が狭いプローブビーム 3 3 のビーム路から生じるので、それらの放射は、射出瞳面 P P の、第 1 の共役面 P P ' 又は第 2 の共役面 P P (例えばレンズレットアレイ 6 0 のレンズレット 6 2) の近くで小さなスポットに集束される。その結果そのような放射は、波面測定の精度を低下させる。

【 0 0 4 1 】

図 6 は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態に従って収差測定装置を作製するため使用されるオブスキュレーション部材 3 8 の概略図であり、前記オブスキュレーション部材 3 8 は、角膜から反射した放射 3 6 及び眼 1 0 の眼内エレメントから散乱する放射 3 7 を阻止する。図 6 に示すように、1 つの実施形態において、オブスキュレーション部材 3 8 は、射出ビーム 3 4 の光路内に挿入され、射出瞳面 P P の共役面 (例えば射出瞳面 P P の第 1 共役面 P P ') の近くに配置される。例えば放射 3 6 及び放射 3 7 を阻止するため、オブスキュレーション部材 3 8 を、放射 3 6 及び放射 3 7 の焦点像間に配置できる。

【 0 0 4 2 】

本発明の 1 実施形態によれば、レンズレットアレイ 6 0 は、その 1 つのレンズレット (所定のレンズレットアレイ) が放射 3 6 及び放射 3 7 の焦点像に交差するように位置決めされるようにアラインメントされている (即ち、1 つのレンズレット、例えば、レンズレット 6 2 が網膜から反射した放射及び、眼内エレメントで散乱する放射の像とオーバーラップするようにレンズレットアレイ 6 0 が位置決めされアラインメントされる) 。このことはレンズレットアレイ 6 0 上のプローブビームのイメージスポットサイズは、レンズレットアレイ 6 0 の 1 つのレンズレットのサブアパーチャより小であるように、当該イメージスポットサイズが与えられていれば常に可能である。この場合において、オブスキュレーション部材 3 8 は、そのイメージは陰影が所定のレンズレット例えば、レンズレット 6 2 と実質的にオーバーラップするように設計され横方向にアラインメントされている。そのような実施形態の 1 つの事例において、オブスキュレーション部材 3 8 は、印刷により、例えば、透明体例えば透明プラスチック片上に例えばブラックスポットを印刷することにより、そして例えば透明プラスチック片を X - Y - Z 可調節マウント (図示せず) に付けることにより形成できる。そのような可調節マウントを通常の当業者によく知られている任意の方法に従って作製できる。1 つの実施形態において、プローブビーム 3 3 のスポットサイズは角膜上でほぼ 2 5 0 μm であり、そして、そのイメージスポットサイズは、第 1 の共役面 P P ' においてほぼ 2 5 0 μm であり、第 2 の共役面 P P においてほぼ 3 5 0 μm である。レンズレットアレイ 6 0 のサブアパーチャサイズはほぼ 6 0 0 μm であり、オブスキュレーション部材 3 8 はブラックスポットを横切る方向でほぼ 4 3 0 μm の寸法を有する。

【 0 0 4 3 】

図 7 は、ハルトマン - シャックセンサの 1 つのレンズレットアレイが角膜から反射した放射、及び、眼内エレメントにより散乱した放射を阻止するようにした、本発明の 1 つ又は複数の実施形態により作製される収差測定装置の概略図である。この実施形態によればレンズレットアレイ 60 は、その 1 つのレンズレット例えば、レンズレット 62 が、放射 36 及び放射 37 の焦点像と交差するようにアラインメントされている（即ち、1 つのレンズレット、例えばレンズレット 62 が網膜から反射した放射、及び、眼内エレメントで散乱する放射の像とオーバーラップするようにレンズレットアレイ 60 がアラインメントされる）。レンズレット 62 は、そこで角膜により反射する放射、及び、眼内エレメントにより散乱する放射が、第 1 の共役面 PP' の近くに集束される位置に対して実質的に共役の位置に配置されている。その際レンズレット 62 は、オブスキュレーション部材として用いられるよう不透明にされる（例えば黒化される）。実施形態はレンズレットを不透明なものとして構成することが記載されているが、本発明の実施形態に包含されるさらなる実施形態では、さらに、オブスキュレーション部材がレンズレットアレイの 1 つのレンズレットにとって換わっている。

【 0 0 4 4 】

角膜から反射した放射及び眼内エレメントから散乱した放射の阻止を、2 つの光学リレーモジュール（即ち第 1 の光モジュール 40、及び、第 2 の光モジュール 50）から成る計器を示す図 5 ~ 図 7 に関連して説明したが、本発明の実施形態はそれに限定されない。殊に単一の光学リレーモジュール 1010 が利用される（図 1 参照）他の実施形態を形成できる。1 つのレンズレットアレイが角膜面に由来しないで眼内エレメントから散乱された放射の共役面（「新たな面」）におかれている他の実施形態を作製できる。そのような場合において、1 つのレンズレットアレイエレメントを上述のように不透明にできる。新たな面におけるレンズレットアレイの配置が、有効な測定データの最小損失を生じるように干渉障害的な信号を抑圧するため選ばれている。その波面の自由空間内伝播を求めるため、当業者に周知の数値的又は分析的方法に従って射出瞳面 PP に共役の面（又は他の任意の注目基準面）において波面測定を行わせるため、新たな面を使用して得られた波面測定データを処理できる。

【 0 0 4 5 】

V. 多重散乱放射により生じる曇りを減少させること：図 8 は、本発明の 1 つ又は複数の実施形態に従って収差測定装置を作製するため使用されるダイナミック曇り止めを示す概略図であり、前記ダイナミック曇り止めは、多重散乱放射 38 により生じる曇りを減少させる。多重散乱放射 38 は、眼 10 の内部から生じる追跡光線であり、そして、瞳孔 12 からあらゆる方向に射出する。多重散乱放射 38 は、ハルトマン - シャックイメージにおける曇りのあるバックグラウンドを生じ、それにより、波面測定の精度に悪影響を及ぼす。

【 0 0 4 6 】

本発明の実施形態によれば、ダイナミック曇り止め 53 が網膜 11 に対して共役の面の近くに配置され、ここで、射出ビーム 34 が集束され、追跡光線の大半から空間的に分離される。本発明のそのような実施形態によれば、ダイナミック曇り止め 53 は、例えば、図 1 のアナライザ 40 からの信号に応答して、モータ（図示せず）により駆動される並進ステージにより並進され、この並進ステージ及びモータは、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って作製される。

【 0 0 4 7 】

動作中、ダイナミック曇り止め 53 を初期的に公称位置に常駐させてもよく、又は、計器の光路外にはじき出してもよい。その際、収差測定装置は、眼 10 の焦点外れ誤差及び乱視誤差を推定するため初期的波面測定を行う。そして、図 1 のアナライザ 1040 は、通常の当業者によく知られている任意の方法に従って、網膜 11 に対して共役の 1 つの面の大体の位置を計算するため測定された波面データを使用する。さらに、アナライザ 1040 は、並進ステージによりダイナミック曇り止め 53 のサイズが、ビーム 34 が実質的

損失なしで、通過することを許容するのに十分大きな値を有し、そして、多重散乱された放射光 3 8 の実質的な量を除去するのに十分小さい値を有するように選ばれる。1 つの実施形態において、ダイナミック曇り止め 5 3 は、ほぼ 3 m m ~ ほぼ 5 m m の範囲の開口に対しての横断方向寸法のアパーチャを有する。

【 0 0 4 8 】

これまでの説明は、単に図解及び説明のためになされたことは当業者には明らかである。それだけで本発明を開示された形態に限定するものでなく、それに尽きるものでない。例えば、本発明の実施例は、上述の実施形態の 1 つ、又はそれより多くの組み合わせを含むことができる。さらに、本発明の 1 つ又は複数の実施形態によれば、図 1 に示すアナライザ 1 0 4 0 により生成される測定データをデジタルフォーマットで提示及び / 又はセーブできる。さらに、そのようなデータを、たとえば限定をすることなく、カスタマイズされた屈折矯正手術を行うため、カスタマイズされたコンタクトレンズを作るため、又は、カスタマイズされた眼内レンズを設計するため使用できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の 1 実施例により作製される収差測定装置の概略図である。

【図 2】

本発明の 1 つ又は複数の実施形態により収差測定装置を作製するため使用される振動レンズを有するプローブビームプロジェクタの概略図である。

【図 3】

本発明の 1 つ又は複数の実施形態により収差測定装置を作製するため使用される光学的コンフィギュレーションの概略図である。

【図 4】

本発明の 1 つ又は複数の実施形態により収差測定装置を作製するため使用される視力計モジュールを示す概略図である。

【図 5】

網膜から反射された放射及び眼内エレメントにより散乱するほうちアプリケーションが、ハルトマン - シャックイメージをどのように汚染するかを図解する収差測定装置の概略図である。

【図 6】

本発明の 1 つ又は複数の実施形態により収差測定装置を作製するため使用されるオブスキュレーション部材を示す概略図である。

【図 7】

ハルトマン - シャックセンサのレンズレットアレイと放射を阻止するように本発明の 1 つ又は複数の実施形態に従って作製される収差測定装置の概略図である。

【図 8】

本発明の 1 つ又は複数の実施形態により収差測定装置を作製するため使用されるダイナミック曇り止めの概略図である。

【符号の説明】

- 1 0 眼
- 1 1 網膜
- 1 3 水晶体
- 2 0 偏光ビームスプリッタ
- 2 1 回転ミラー
- 2 2 ビームスプリッタ
- 2 3 回転ミラー
- 3 1 プローブビーム源
- 3 2 プローブビーム
- 3 4 射出ビーム
- 3 5 測定ビーム

3 6 放射
3 7 放射
3 8 多重散乱放射光
3 9 オブスキュレーション部材
4 0 光学リレーモジュール
4 1 レンズ系
4 2 レンズ系
5 0 光学リレーモジュール
5 1 レンズ系
5 2 レンズ系
5 3 ダイナミック曇り止め
6 0 レンズレットアレイ
6 1 ハルトマン - シャックスポットパターン
6 2 レンズレットアレイ
7 0 光イメージモジュール
7 1 レンズ系
7 2 レンズ系
8 0 C C Dカメラ
9 0 注力計モジュール
9 1 レンズ系
9 2 レンズ系
9 3 焦点レンズ系
9 4 移動可動レンズ系
9 5 レンズ系
9 6 シャープな注視ターゲット
2 0 0 収差測定装置
1 0 0 0 カブラ
1 0 2 0 ハルトマン - シャックセンサ
1 0 1 0 検出器
1 0 4 0 アナライザ
1 0 5 0 プローブビームプロジェクタ
1 0 6 0 プローブビーム
P P 射出瞳面
P P ' 第 1 共役面
P P 第 2 共役面