

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7123403号

(P7123403)

(45)発行日 令和4年8月23日(2022.8.23)

(24)登録日 令和4年8月15日(2022.8.15)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 M 11/00 (2006.01)

G 0 1 M 11/00

T

G 0 2 B 13/00 (2006.01)

G 0 2 B 13/00

G 0 2 B 27/02 (2006.01)

G 0 2 B 27/02

Z

請求項の数 10 (全20頁)

(21)出願番号 特願2019-72259(P2019-72259)
 (22)出願日 平成31年4月4日(2019.4.4)
 (65)公開番号 特開2020-170118(P2020-170118
 A)
 (43)公開日 令和2年10月15日(2020.10.15)
 審査請求日 令和3年6月9日(2021.6.9)

(73)特許権者 506423051
 株式会社Q Dレーザ
 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1番1号
 (74)代理人 100087480
 弁理士 片山 修平
 (74)代理人 100137615
 弁理士 横山 照夫
 (72)発明者 鈴木 誠
 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1番1号
 株式会社Q Dレーザ内
 (72)発明者 齋藤 一孝
 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1番1号
 株式会社Q Dレーザ内
 (72)発明者 金子 千鶴
 神奈川県川崎市川崎区南渡田町1番1号
 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画像検査装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ユーザの網膜に画像を直接投影する画像投影装置が搭載される搭載部と、
 平面形状の撮像面を有し、前記搭載部に搭載された前記画像投影装置から前記撮像面に
 投影される画像を撮像する撮像素子と、
 前記画像投影装置によって異なる時間に出射される複数の第1光線が収束する位置に設
 けられ、前記画像投影装置から前記撮像面に照射される前記複数の第1光線各々を前記撮
 像面又は前記撮像面の近傍に合焦させる光学系と、
 前記撮像素子で撮像された画像を検査する検査部と、を備え、
 前記撮像面の前記搭載部方向に前記網膜があると仮想したときに、前記画像投影装置に
 よって異なる時間に出射されて前記網膜に照射される光線を複数の第2光線とし、
 前記複数の第1光線各々及び前記複数の第2光線各々は、赤色光、緑色光、及び青色光を
 含み、
 前記光学系は、前記撮像素子で撮像される画像の中央部におけるストレール比を端部にお
 けるストレール比よりも高くさせ、前記緑色光からなる前記複数の第1光線が前記撮像面
 に照射されるときにストレール比と前記緑色光からなる前記複数の第2光線が前記網膜に
 照射されるときにストレール比との相違を、前記赤色光からなる前記複数の第1光線が前
 記撮像面に照射されるときにストレール比と前記赤色光からなる前記複数の第2光線が前
 記網膜に照射されるときにストレール比との相違、及び、前記青色光からなる前記複数の
 第1光線が前記撮像面に照射されるときにストレール比と前記青色光からなる前記複数の

10

20

第 2 光線が前記網膜に照射されるときとのストレール比との相違よりも小さくさせる、画像検査装置。

【請求項 2】

前記複数の第 2 光線のうちの前記画像の端近傍における第 3 光線を前記撮像面に垂直に投影したときの位置を第 1 位置とし、前記網膜を平面展開して前記網膜の表面を前記撮像面に一致させたときの前記撮像面における前記第 3 光線の位置を第 2 位置とした場合に、前記光学系は、前記複数の第 1 光線のうちの前記第 3 光線に対応する第 4 光線が前記撮像面に照射される第 3 位置を前記第 1 位置よりも前記第 2 位置に近づける、請求項 1 記載の画像検査装置。

【請求項 3】

前記光学系は、前記第 3 位置を前記第 2 位置に略一致させる、請求項 2 記載の画像検査装置。

【請求項 4】

前記光学系は、前記複数の第 1 光線が前記撮像面に照射される複数の位置の全てを、前記網膜を平面展開して前記網膜の表面を前記撮像面に一致させたときの前記撮像面における前記複数の第 2 光線の複数の位置のうちの対応する位置に略一致させる、請求項 2 または 3 記載の画像検査装置。

【請求項 5】

前記光学系は、前記複数の第 1 光線が前記撮像面に照射されるときの前記緑色光に対する前記赤色光及び前記青色光の位置ずれ方向を、前記複数の第 2 光線が前記網膜に照射されるときの前記緑色光に対する前記赤色光及び前記青色光の位置ずれ方向と同じにさせる、請求項 1 から 4 のいずれか一項記載の画像検査装置。

【請求項 6】

前記光学系は、前記複数の第 1 光線が入射する側から順に並んだ第 1 凸レンズ、凹レンズ、及び第 2 凸レンズを含む、請求項 1 から 5 のいずれか一項記載の画像検査装置。

【請求項 7】

前記撮像素子の解像度は、前記画像投影装置によって前記撮像面に投影される画像の解像度以上である、請求項 1 から 6 のいずれか一項記載の画像検査装置。

【請求項 8】

前記撮像素子の撮像領域は、前記画像投影装置によって前記撮像面に投影される画像の投影領域よりも大きい、請求項 1 から 7 のいずれか一項記載の画像検査装置。

【請求項 9】

前記撮像素子が前記画像投影装置によって前記撮像面に投影される画像を撮像する 1 回の露光時間は、前記画像投影装置によって前記撮像面に投影される画像のフレームレートの逆数よりも長い、請求項 1 から 8 のいずれか一項記載の画像検査装置。

【請求項 10】

前記光学系及び前記撮像素子は、前記複数の第 1 光線が収束する位置を中心に前記画像投影装置に対して回動可能である、請求項 1 から 9 のいずれか一項記載の画像検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像検査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

二次元方向に走査された走査光をユーザの網膜表面に照射して画像を網膜に直接投影する画像投影装置が知られている（例えば、特許文献 1）。また、撮像用レンズの特性値を検査するために、撮像用レンズを介して射出される画像光を撮像素子で検出して画像処理を行うことで撮像用レンズの特性値を算出することが知られている（例えば、特許文献 2）。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2015-111231号公報

特開2003-279446号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

画像投影装置により網膜に直接投影される画像を検査する方法として、ユーザが網膜に投影された画像を見ることによって画像を検査する方法が考えられる。しかしながら、この方法では、ユーザの個人差によるばらつき及びユーザの疲労度などによるばらつきなどによって、評価がばらついてしまう。

10

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、網膜に画像を直接投影する画像投影装置により投影される画像を良好に検査することが可能な画像検査装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、ユーザの網膜に画像を直接投影する画像投影装置が搭載される搭載部と、平面形状の撮像面を有し、前記搭載部に搭載された前記画像投影装置から前記撮像面に投影される画像を撮像する撮像素子と、前記画像投影装置によって異なる時間に出射される複数の第1光線が収束する位置に設けられ、前記画像投影装置から前記撮像面に照射される前記複数の第1光線各々を前記撮像面又は前記撮像面の近傍に合焦させる光学系と、前記撮像素子で撮像された画像を検査する検査部と、を備え、前記撮像面の前記搭載部方向に前記網膜があると仮想したときに、前記画像投影装置によって異なる時間に出射されて前記網膜に照射される光線を複数の第2光線とし、前記複数の第1光線各々及び前記複数の第2光線各々は、赤色光、緑色光、及び青色光を含み、前記光学系は、前記撮像素子で撮像される画像の中央部におけるストレール比を端部におけるストレール比よりも高くさせ、前記緑色光からなる前記複数の第1光線が前記撮像面に照射されるときのストレール比と前記緑色光からなる前記複数の第2光線が前記網膜に照射されるときのストレール比との相違を、前記赤色光からなる前記複数の第1光線が前記撮像面に照射されるときのストレール比と前記赤色光からなる前記複数の第2光線が前記網膜に照射されるときのストレール比との相違、及び、前記青色光からなる前記複数の第1光線が前記撮像面に照射されるときのストレール比と前記青色光からなる前記複数の第2光線が前記網膜に照射されるときのストレール比との相違よりも小さくさせる、画像検査装置である。

20

30

【0007】

上記構成において、前記複数の第2光線のうちの前記画像の端近傍における第3光線を前記撮像面に垂直に投影したときの位置を第1位置とし、前記網膜を平面展開して前記網膜の表面を前記撮像面に一致させたときの前記撮像面における前記第3光線の位置を第2位置とした場合に、前記光学系は、前記複数の第1光線のうちの前記第3光線に対応する第4光線が前記撮像面に照射される第3位置を前記第1位置よりも前記第2位置に近づける構成とすることができる。

40

【0008】

上記構成において、前記光学系は、前記第3位置を前記第2位置に略一致させる構成とすることができる。

【0009】

上記構成において、前記光学系は、前記複数の第1光線が前記撮像面に照射される複数の位置の全てを、前記網膜を平面展開して前記網膜の表面を前記撮像面に一致させたときの前記撮像面における前記複数の第2光線の複数の位置のうちの対応する位置に略一致させる構成とすることができる。

【0011】

50

上記構成において、前記光学系は、前記複数の第 1 光線が前記撮像面に照射されるときの前記緑色光に対する前記赤色光及び前記青色光の位置ずれ方向を、前記複数の第 2 光線が前記網膜に照射されるときの前記緑色光に対する前記赤色光及び前記青色光の位置ずれ方向と同じにさせる構成とすることができる。

【0012】

上記構成において、前記光学系は、前記複数の第 1 光線が入射する側から順に並んだ第 1 凸レンズ、凹レンズ、及び第 2 凸レンズを含む構成とすることができる。

【0013】

上記構成において、前記撮像素子の解像度は、前記画像投影装置によって前記撮像面に投影される画像の解像度以上である構成とすることができる。

10

【0014】

上記構成において、前記撮像素子の撮像領域は、前記画像投影装置によって前記撮像面に投影される画像の投影領域よりも大きい構成とすることができる。

【0015】

上記構成において、前記撮像素子が前記画像投影装置によって前記撮像面に投影される画像を撮像する 1 回の露光時間は、前記画像投影装置によって前記撮像面に投影される画像のフレームレートの逆数よりも長い構成とすることができる。

【0016】

上記構成において、前記光学系及び前記撮像素子は、前記複数の第 1 光線が収束する位置を中心に前記画像投影装置に対して回動可能である構成とすることができる。

20

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、網膜に画像を直接投影する画像投影装置により投影される画像を良好に検査することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図 1】図 1 は、実施例 1 に係る画像検査装置を示す図である。

【図 2】図 2 は、画像投影装置の上視図である。

【図 3】図 3 は、画像投影装置から撮像素子に照射される光線について説明する図である。

【図 4】図 4 は、比較例に係る画像検査装置を示す図である。

30

【図 5】図 5 (a) 及び図 5 (b) は、比較例に係る画像検査装置で生じる課題を説明する図である。

【図 6】図 6 (a) 及び図 6 (b) は、実施例 1 に係る画像検査装置の効果を説明する図である。

【図 7】図 7 は、撮像素子の撮像面に照射される光線の位置と、網膜を平面展開したときの撮像面における光線の位置と、の計算結果を示す図である。

【図 8】図 8 (a) は、緑色レーザ光からなる光線が画像投影装置からユーザの網膜に照射されるときストレーリング比の計算結果を示す図、図 8 (b) は、光学系を介して撮像素子の撮像面に照射されるときストレーリング比の計算結果を示す図、図 8 (c) は、図 8 (a) 及び図 8 (b) の点線でのストレーリング比である。

40

【図 9】図 9 (a) から図 9 (c) は、赤色、緑色、又は青色レーザ光からなる光線が画像投影装置からユーザの網膜に照射されるときストレーリング比の計算結果を示す図、図 9 (d) から図 9 (f) は、光学系を介して撮像素子の撮像面に照射されるときストレーリング比の計算結果を示す図である。

【図 10】図 10 (a) から図 10 (c) は、赤色、緑色、又は青色レーザ光からなる光線が画像投影装置からユーザの網膜に照射されるとき R M S 波面収差の計算結果を示す図、図 10 (d) から図 10 (f) は、光学系を介して撮像素子の撮像面に照射されるとき R M S 波面収差の計算結果を示す図である。

【図 11】図 11 (a) は、ユーザの網膜を平面展開したときの光線の色ずれの計算結果を示す図、図 11 (b) は、光学系を介して撮像素子の撮像面に照射される光線の色ずれ

50

の計算結果を示す図である。

【図 1 2】図 1 2 は、図 1 1 (a) 及び図 1 1 (b) の X 軸上での緑色レーザ光と青色レーザ光との位置ずれ量を示す図である。

【図 1 3】図 1 3 (a) から図 1 3 (d) は、撮像素子の解像度が画像投影装置で投影される画像の解像度以上であることが好ましい理由を説明する図である。

【図 1 4】図 1 4 は、画像投影装置の画像投影領域と撮像素子の撮像領域とを説明する図である。

【図 1 5】図 1 5 は、撮像素子の 1 回の露光時間が画像投影装置によって投影される画像のフレームレートの逆数よりも長いことが好ましい理由を説明する図である。

【図 1 6】図 1 6 は、画像投影装置に対する光学系及び撮像部の回動を説明する図である。

10

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 9 】

以下、図面を参照しつつ、本発明の実施例について説明する。

【実施例 1】

【 0 0 2 0 】

図 1 は、実施例 1 に係る画像検査装置 1 0 0 を示す図である。図 1 のように、画像検査装置 1 0 0 は、搭載部 1、光学系 1 0、撮像部（撮像カメラ）2 0、及び制御部 3 0 を備える。撮像部 2 0 は、筐体 2 2 内に設けられた撮像素子 2 4 を有する。撮像素子 2 4 は、例えば C M O S (Complementary Metal Oxide Semiconductor) イメージセンサであるが、C C D (Charge Coupled Device) イメージセンサなど、その他の場合でもよい。光学系 1 0 は、凸レンズ 1 2、凹レンズ 1 4、及び凸レンズ 1 6 を含む。凸レンズ 1 2、凹レンズ 1 4、及び凸レンズ 1 6 はホルダ 1 8 で保持されている。ホルダ 1 8 は固定部材 4 0 によって撮像部 2 0 に固定されている。

20

【 0 0 2 1 】

搭載部 1 は、画像検査装置 1 0 0 の検査対象である画像投影装置 5 0 を着脱可能に搭載する。画像投影装置 5 0 は、ユーザの眼球の網膜に画像を直接投影する画像投影装置であり、出射する光線 7 0 が光学系 1 0 に入射されるように搭載部 1 に設置される。光学系 1 0 は、画像投影装置 5 0 から照射される光線 7 0 を撮像素子 2 4 の平面形状をした撮像面 2 4 a 又は撮像面 2 4 a 近傍に合焦させる。制御部 3 0 は、例えば C P U (Central Processing Unit) などのプロセッサである。制御部 3 0 は、専用に設計された回路でもよい。制御部 3 0 は、C P U などのプロセッサがプログラムと協働することで、撮像部 2 0 で撮像された画像データを処理して画像の歪、解像度、輝度、パターン形状、ガンマ特性、コントラスト比、アスペクト比、及び色合いなどの画像検査を行う検査部 3 2 として機能する。これらの検査は、一般的に知られている方法を用いることができる。また、制御部 3 0 は、撮像部 2 0 で撮像された画像データ及び / 又は検査部 3 2 で検査された検査データを不図示の表示部（例えば液晶ディスプレイ）に表示させてもよい。

30

【 0 0 2 2 】

ここで、図 2 を用いて、画像投影装置 5 0 の一例を説明する。図 2 は、画像投影装置 5 0 の上視図である。画像投影装置 5 0 は、ユーザに画像を視認させるための光線がユーザの網膜に直接照射されるマクスウェル視を利用した網膜投影型ヘッドマウントディスプレイである。マクスウェル視では、画像を形成する光線が二次元方向に走査された走査光を瞳孔近傍で収束させて網膜に画像を投影する。

40

【 0 0 2 3 】

図 2 のように、画像投影装置 5 0 は、光源 5 2、ミラー 5 4、ミラー 5 6、走査部（スキャナー）5 8、ミラー 6 0、投射部 6 2、制御部 6 4、及び画像入力部 6 6 を備える。光源 5 2 及び走査部 5 8 は、例えばメガネ型フレームのツル 4 2 に配置されている。投射部 6 2 は、例えばメガネ型フレームのレンズ 4 4 に配置されている。制御部 6 4 及び画像入力部 6 6 は、メガネ型フレームのツル 4 2 に設けられていてもよいし、メガネ型フレームに設けられずに外部装置（例えば携帯端末）に設けられていてもよい。

【 0 0 2 4 】

50

画像入力部 66 は、図示しないカメラ、録画機器、及び／又は画像検査装置 100 などから画像データが入力される。制御部 64 は、入力された画像データに基づいて、光源 52 からの光線 70 の出射を制御するとともに、走査部 58 の走査を制御する。光源 52 は、制御部 64 の制御の下、単一又は複数の波長の光線 70 を出射する。光源 52 は、例えば赤色レーザ光（波長：610 nm～660 nm 程度）、緑色レーザ光（波長：515 nm～540 nm 程度）、及び青色レーザ光（波長：440 nm～480 nm 程度）の可視光線を出射する。赤色、緑色、及び青色レーザ光を出射する光源 52 として、例えば RGB（赤・緑・青）それぞれのレーザダイオードチップと 3 色合成デバイスとが集積された光源が挙げられる。

【0025】

制御部 64 は、例えば CPU（Central Processing Unit）などのプロセッサである。カメラをユーザの視線方向に向けて画像投影装置 50 の適切な位置に設置すれば、このカメラで撮像した視線方向の画像をユーザの眼球 80 の網膜 82 に投影させることができる。また、録画機器などから入力された画像を投影させたり、カメラ画像と録画機器などからの画像とを制御部 64 でスーパーインポーズさせたりして、いわゆる仮想現実（AR：Augmented Reality）画像を投影させることもできる。

【0026】

走査部 58 は、光源 52 から異なる時間に出射された光線 70 を水平方向及び垂直方向の二次元方向に走査する。走査部 58 は、例えば MEMS（Micro Electro Mechanical System）ミラーであるが、電気化学材料であるタンタル酸ニオブ酸リチウム（KTN）結晶など、その他の部品であってもよい。光源 52 から出射された光線 70 は、ミラー 54 及び 56 で反射して走査部 58 に入射する。

【0027】

走査部 58 で走査された光線 70 からなる走査光 72 は、ミラー 60 によってメガネ型フレームのレンズ 44 に向かって反射する。投射部 62 がメガネ型フレームのレンズ 44 の眼球 80 側の面に配置されている。このため、走査光 72 は投射部 62 に入射する。投射部 62 は、自由曲面又は自由曲面と回折面の合成構造をしたハーフミラーである。投射部 62 で反射した走査光 72 は、眼球 80 の瞳孔 86 近傍で収束した後に網膜 82 の表面に照射される。ユーザは、網膜 82 に照射された走査光 72 の残像効果によって画像を認識することができると共に、外界像をシースルーで視認することができる。

【0028】

図 3 は、画像投影装置 50 から撮像素子 24 に照射される光線 70 について説明する図である。なお、図 3 では、光線 70 の有限の光束径を図示し、その中心部分を破線で図示している。図 3 のように、走査光 72 に含まれ、異なる時間に出射される複数の光線 70 は、凸レンズ 12、凹レンズ 14、及び凸レンズ 16 を含む光学系 10 を経由して撮像素子 24 の撮像面 24a に照射される。複数の光線 70 は、光学系 10 によって撮像素子 24 の平面形状をした撮像面 24a 又は撮像面 24a の近傍に合焦する。例えば、光線 70 は、凸レンズ 12 で略平行光から集束光に変換され、凹レンズ 14 で集束光から拡散光に変換され、凸レンズ 16 で拡散光から集束光に再度変換されて、撮像面 24a 又は撮像面 24a の近傍に合焦する。

【0029】

凸レンズ 12 は、例えば光線 70（走査光 72）が入射する側の面が凸面で、出射する側の面が平面である、平凸レンズである。凹レンズ 14 は、例えば光線 70 が入射する側及び出射する側の両面が凹面である、両凹レンズである。凸レンズ 16 は、例えば光線 70 が入射する側の面が平面で、出射する側の面が凸面である、平凸レンズである。凸レンズ 12 と凹レンズ 14 は例えば接して配置されている。凹レンズ 14 と凸レンズ 16 は例えば離れて配置されている。なお、凸レンズ 12 と凹レンズ 14 は、凹レンズ 14 と凸レンズ 16 との間隔よりも狭い間隔で離れて配置されていてもよい。走査光 72 は、凸レンズ 12 の光線 70 が入射する凸面の中心部で収束する。凸レンズ 12 の凸面に入射する際の光線 70 の直径は、例えば 0.5 mm～1 mm 程度である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 0 】

凸レンズ 1 2 の凸面から撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a までの長さ寸法 L は、人の眼球の水晶体の表面から網膜 8 2 の表面までの長さ寸法を眼球の屈折率を勘案して補正した距離に相当し、例えば 1 6 mm ~ 1 7 mm 程度である。なお、凸レンズ 1 2、1 6 は、光線 7 0 が入射する側及び出射する側の両面が凸面である、両凸レンズの場合でもよい。凹レンズ 1 4 は、光線 7 0 が入射する側及び出射する側の一方の面が凹面で、他方の面が平面である、平凹レンズの場合でもよい。

【 0 0 3 1 】

ここで、比較例に係る画像検査装置 5 0 0 について説明する。図 4 は、比較例に係る画像検査装置 5 0 0 を示す図である。図 4 のように、比較例の画像検査装置 5 0 0 は、集光レンズ 9 0 と、被投影部 9 2 と、撮像部（撮像カメラ）9 4 と、を備える。集光レンズ 9 0 は、画像投影装置 5 0 の投射部 6 2 で反射した光線 7 0 が通過する光路上であって、走査光 7 2 が収束する位置に設けられている。被投影部 9 2 は、集光レンズ 9 0 による光線 7 0 の合焦位置近傍に配置されている。被投影部 9 2 は、集光レンズ 9 0 側が開口した半球面の形状をしていて、光線 7 0 に対して半透明な材料で形成されている。被投影部 9 2 は、光線 7 0 に対して半透明であるため、走査光 7 2 によって投影される画像を表示するとともに、画像を透過させる。

10

【 0 0 3 2 】

このような構成により、光線 7 0 を集光する集光レンズ 9 0 は、眼球の水晶体とみなすことができる。半球面状の被投影部 9 2 は、眼球の網膜とみなすことができる。すなわち、水晶体に相当する集光レンズ 9 0 と網膜に相当する被投影部 9 2 とで疑似的な眼（ダミーアイ）が構成されている。したがって、被投影部 9 2 の直径は、眼球の一般的な大きさ（例えば 2 4 mm 程度）になっている。

20

【 0 0 3 3 】

撮像部 9 4 は、撮像素子 9 6 を有する。撮像素子 9 6 は、例えば CMOS イメージセンサである。撮像部 9 4 は、被投影部 9 2 に対して集光レンズ 9 0 とは反対側に設けられている。撮像部 9 4 は、被投影部 9 2 に投影された画像を撮像する。

【 0 0 3 4 】

図 5 (a) 及び図 5 (b) は、比較例に係る画像検査装置 5 0 0 で生じる課題を説明する図である。図 5 (b) では、画像投影装置 5 0 によって投影される画像の中心を原点とする位置座標で表している。座標を示す数値の単位は mm である。図 5 (a) のように、撮像部 9 4 で被投影部 9 2 に投影された画像を撮像する場合、撮像部 9 4 は、被投影部 9 2 に照射された光線 7 0 を、光線 7 0 の照射位置から撮像素子 9 6 の撮像面 9 6 a に垂直に投影した位置である垂直投影位置 9 7 で検出する。しかしながら、人は略球面状の網膜表面を平面に展開して網膜に投影された画像を認識している。このため、被投影部 9 2 に照射された光線 7 0 を撮像素子 9 6 の撮像面 9 6 a に垂直に投影した垂直投影位置 9 7 で検出する場合では、画像投影装置 5 0 により投影される画像を良好に検査することが難しい。言い換えると、被投影部 9 2 を平面に展開したときの光線 7 0 の位置である平面展開位置 9 8 で光線 7 0 を検出しないと画像投影装置 5 0 により投影される画像を良好に検査することは難しい。

30

40

【 0 0 3 5 】

網膜に対応する被投影部 9 2 は半球面状であるため、図 5 (b) のように、被投影部 9 2 を平面に展開したときの光線 7 0 の位置である平面展開座標（丸印）は、被投影部 9 2 に照射された光線 7 0 を撮像素子 9 6 の撮像面 9 6 a に垂直に投影した位置である垂直投影座標（三角印）に比べて外側に広がる。例えば、左右方向の視野角が全角で 4 0 ° 以上となる画像 7 6 が画像投影装置 5 0 によって投影される場合で、画像 7 6 の左右方向の端近傍において、平面展開座標と垂直投影座標との差が大きくなる。なお、上下方向の視野角が大きい画像では、画像の上下方向の端近傍において、平面展開座標と垂直投影座標との差が大きくなる。このように、比較例の画像検査装置 5 0 0 では、画像投影装置 5 0 によってユーザの網膜に投影される画像を良好に検査することが難しい。

50

【 0 0 3 6 】

図 6 (a) 及び図 6 (b) は、実施例 1 に係る画像検査装置 1 0 0 の効果を説明する図である。図 6 (a) のように、撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a の搭載部 1 方向 (言い換えると、撮像面 2 4 a の前方) に網膜 8 2 があると仮想したときに、画像投影装置 5 0 によって異なる時間に出射されて網膜 8 2 に照射される光線を光線 7 1 とする。複数の光線 7 1 のうちの画像 7 6 の端近傍における光線の 1 つを光線 7 1 a とし、画像 7 6 の中心に対して光線 7 1 a と対称な光線を光線 7 1 b とする。網膜 8 2 に照射された光線 7 1 a を撮像面 2 4 a に垂直に投影した位置を垂直投影位置 7 3 a とし、網膜 8 2 に照射された光線 7 1 b を撮像面 2 4 a に垂直に投影した位置を垂直投影位置 7 5 a とする。網膜 8 2 を平面展開して網膜 8 2 の表面を撮像面 2 4 a に一致させたときの撮像面 2 4 a における光線 7 1 a の位置を平面展開位置 7 3 b とし、光線 7 1 b の位置を平面展開位置 7 5 b とする。

10

【 0 0 3 7 】

図 6 (b) のように、光学系 1 0 を介して撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a に照射される複数の光線 7 0 のうちの図 6 (a) の光線 7 1 a に対応する光線 7 0 a の撮像面 2 4 a における位置を照射位置 7 8 a とし、光線 7 1 b に対応する光線 7 0 b の撮像面 2 4 a における位置を照射位置 7 8 b とする。このときに、光学系 1 0 を構成する各レンズの曲率などの光学特性及び各レンズ間の距離などを適切に設計することで、照射位置 7 8 a が垂直投影位置 7 3 a よりも平面展開位置 7 3 b に近づき、照射位置 7 8 b が垂直投影位置 7 5 a よりも平面展開位置 7 5 b に近づくようにする。

20

【 0 0 3 8 】

このように、実施例 1 では、光学系 1 0 は、複数の光線 7 0 のうち光線 7 1 a に対応する光線 7 0 a が撮像面 2 4 a に照射される照射位置 7 8 a を、光線 7 1 a を網膜 8 2 から撮像面 2 4 a に垂直に投影した垂直投影位置 7 3 a よりも網膜 8 2 を平面展開したときの平面展開位置 7 3 b に近づける光学特性を持つ。これにより、画像投影装置 5 0 によって投影される画像を良好に検査することができる。

【 0 0 3 9 】

また、光学系 1 0 は、照射位置 7 8 a を垂直投影位置 7 3 a よりも平面展開位置 7 3 b に近づけ、且つ、複数の光線 7 0 のうちの光線 7 1 b に対応する光線 7 0 b が撮像面 2 4 a に照射される照射位置 7 8 b を、光線 7 1 b を網膜 8 2 から撮像面 2 4 a に垂直に投影した垂直投影位置 7 5 a よりも網膜 8 2 を平面展開したときの平面展開位置 7 5 b に近づける光学特性を持つ。これにより、画像投影装置 5 0 によって投影される画像を良好に検査することができる。

30

【 0 0 4 0 】

図 6 (b) では、照射位置 7 8 a が垂直投影位置 7 3 a と平面展開位置 7 3 b の間に位置する場合を例に示し、照射位置 7 8 b が垂直投影位置 7 5 a と平面展開位置 7 5 b の間に位置する場合を例に示したが、この場合に限られない。照射位置 7 8 a は平面展開位置 7 3 b に対して垂直投影位置 7 3 a とは反対側に位置してもよいし、照射位置 7 8 b は平面展開位置 7 5 b に対して垂直投影位置 7 5 a とは反対側に位置してもよい。

【 0 0 4 1 】

画像を良好に検査する点から、照射位置 7 8 a と平面展開位置 7 3 b の中心間隔は、垂直投影位置 7 3 a と平面展開位置 7 3 b の中心間隔の $1 / 2$ 以下が好ましく、 $1 / 3$ 以下がより好ましく、 $1 / 4$ 以下が更に好ましい。同様に、照射位置 7 8 b と平面展開位置 7 5 b の中心間隔は、垂直投影位置 7 5 a と平面展開位置 7 5 b の中心間隔の $1 / 2$ 以下が好ましく、 $1 / 3$ 以下がより好ましく、 $1 / 4$ 以下が更に好ましい。

40

【 0 0 4 2 】

図 7 は、撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a に照射される光線 7 0 の位置と、網膜 8 2 を平面展開したときの撮像面 2 4 a における光線 7 1 の位置と、の計算結果を示す図である。図 7 では、画像投影装置 5 0 によって投影される画像の中心を原点とする位置座標で表している。座標を示す数値の単位は mm である。また、図 7 は、凸レンズ 1 2、凹レンズ 1 4、及び凸レンズ 1 6 として表 1 の仕様のもを用いた場合の計算結果である (なお、以下

50

で示す図 8 ～ 図 12 においても同じ仕様のレンズを用いた計算結果である)。

【表 1】

	入射面 曲率半径 (mm)	入射面 曲率半径 (mm)	中心厚 (mm)	硝材	屈折率 Nd	アッベ数 ν_d
凸レンズ 12	7.73	∞	1.6	S-LAL8	1.713	53.87
凹レンズ 14	-12.08	11.21	1.0	S-TIH10	1.728	28.46
凸レンズ 16	∞	-8.43	1.4	S-LAM61	1.720	46.02

10

表 1 のように、凸レンズ 12 は、入射面の曲率半径を 7.73 mm、出射面の曲率半径を無限大、中心の厚みを 1.6 mm、硝材をオハラ社製の S-LAL8、屈折率を 1.713、アッベ数を 53.87 とした。凹レンズ 14 は、入射面の曲率半径を -12.08 mm、出射面の曲率半径を 11.21 mm、中心の厚みを 1.0 mm、硝材をオハラ社製の S-TIH10、屈折率を 1.728、アッベ数を 28.46 とした。凸レンズ 16 は、入射面の曲率半径を無限大、出射面の曲率半径を -8.43 mm、中心の厚みを 1.4 mm、硝材をオハラ社製の S-LAM61、屈折率を 1.720、アッベ数を 46.02 とした。また、凸レンズ 12 と凹レンズ 14 の中心での間隔を 0.39 mm とし、凹レンズ 14 と凸レンズ 16 の中心での間隔を 2.76 mm とし、凸レンズ 16 の中心と撮像面 24a の間隔を 14.79 mm とした。

20

【0043】

図 7 のように、光学系 10 を構成する各レンズの曲率などの光学特性及び各レンズ間の距離を適切に設計することで、画像投影装置 50 によって投影される画像 76 の全体にわたって、光線 70 が撮像面 24a に照射される位置である照射位置座標（菱形印）と、網膜 82 を平面展開したときの撮像面 24a における光線 71 の位置である平面展開座標（丸印）と、が略一致している。なお、略一致とは、光線 70 の撮像面 24a でのスポット領域のうちの 50% 以上の領域が、網膜 82 を平面展開したときの撮像面 24a における光線 71 のスポット領域と重なっている場合である。

【0044】

30

このように、光学系 10 は、光線 70a が撮像面 24a に照射される照射位置 78a が網膜 82 を平面展開して網膜 82 の表面を撮像面 24a に一致させたときの撮像面 24a における光線 71a の平面展開位置 73b に略一致させる光学特性を持つことが好ましい。また、光学系 10 は、光線 70b が撮像面 24a に照射される照射位置 78b が網膜 82 を平面展開して網膜 82 の表面を撮像面 24a に一致させたときの撮像面 24a における光線 71b の平面展開位置 75b に略一致させる光学特性を持つことが好ましい。これにより、画像投影装置 50 によって投影される画像をより良好に検査することができる。

【0045】

また、光学系 10 は、複数の光線 70 が撮像面 24a に照射される複数の照射位置の全てを、網膜 82 を平面展開して網膜 82 の表面を撮像面 24a に一致させたときの撮像面 24a における複数の光線 71 の複数の平面展開位置のうち対応する平面展開位置に略一致させる光学特性を持つことが好ましい。これにより、画像投影装置 50 によって投影される画像を更に良好に検査することができる。なお、複数の光線 70 が撮像面 24a に照射される複数の照射位置の 80% 以上が、網膜 82 を平面展開したときの撮像面 24a における複数の光線 71 の複数の平面展開位置のうちの対応する平面展開位置に略一致している場合でもよい。複数の光線 70 が撮像面 24a に照射される複数の照射位置の 90% 以上が、網膜 82 を平面展開したときの撮像面 24a における複数の光線 71 の複数の平面展開位置のうちの対応する平面展開位置に略一致している場合でもよい。

40

【0046】

画像を良好に検査する点から、複数の光線 70 の撮像面 24a のスポット領域のうちの

50

70%以上の領域が、網膜82を平面展開したときの撮像素子24aにおける光線71のスポット領域と重なることが好ましく、80%以上の領域が重なることがより好ましく、90%以上の領域が重なることが更に好ましい。

【0047】

また、画像検査装置100では、光学系10を構成する各レンズの曲率などの光学特性及び各レンズ間の距離を適切に設計して、画像投影装置50によって撮像素子24の撮像素子24aに投影される画像の収差を、画像投影装置50によってユーザの網膜82に投影される画像の収差に近づけるようにしている。このことについて説明する。図8(a)は、緑色レーザ光からなる光線71が画像投影装置50からユーザの網膜82に照射されるとき、ストレール比の計算結果を示す図である。図8(b)は、緑色レーザ光からなる光線70が画像投影装置50から光学系10を介して撮像素子24の撮像素子24aに照射されるとき、ストレール比の計算結果を示す図である。ここで、ストレール比とは、照射されたレーザの強度分布の最大強度比のことであり、ストレール比を S 、波長を λ 、波面収差のRMS(二乗平均平方根)値を W とすると、 $S = 1 - (2\lambda / W)^2 \times W^2$ で算出される。図8(c)は、図8(a)及び図8(b)の点線でのストレール比である。図8(a)及び図8(b)では、画像投影装置50によって投影される画像の中心を原点とした走査部の走査角度で表している。座標軸は走査角の角度(°)である。

10

【0048】

図8(a)から図8(c)のように、光学系10を構成する各レンズの曲率などの光学特性及び各レンズ間の距離を適切に設計して、緑色レーザ光(波長: 520nm)が撮像素子24の撮像素子24aに照射されるとき、ストレール比を、緑色レーザ光が網膜82に照射されるとき、ストレール比に略一致させている。すなわち、画像の中央部におけるストレール比は高く、周辺部におけるストレール比は低い傾向を、光学系10を適切に設計することで、撮像素子24の撮像素子24aで再現している。

20

【0049】

図9(a)から図9(c)は、赤色、緑色、又は青色レーザ光からなる光線71が画像投影装置50からユーザの網膜82に照射されるとき、ストレール比の計算結果を示す図である。図9(d)から図9(f)は、赤色、緑色、又は青色レーザ光からなる光線70が画像投影装置50から光学系10を介して撮像素子24の撮像素子24aに照射されるとき、ストレール比の計算結果を示す図である。図9(a)から図9(f)では、画像投影装置50によって投影される画像の中心を原点とした走査部の走査角度で表している。座標軸は走査角の角度(°)である。

30

【0050】

図9(b)及び図9(e)のように、光学系10を構成する各レンズの曲率などの光学特性及び各レンズ間の距離を適切に設計して、緑色レーザ光が撮像素子24の撮像素子24aに照射されるとき、ストレール比を、緑色レーザ光が網膜82に照射されるとき、ストレール比に略一致させている。

【0051】

緑色レーザ光におけるストレール比を撮像素子24aと網膜82で略一致させることで、図9(a)及び図9(d)のように、青色レーザ光(波長: 450nm)が撮像素子24aに照射されるとき、ストレール比は、青色レーザ光が網膜82に照射されるとき、ストレール比と同じ傾向を示している。すなわち、画像の中央部におけるストレール比は高く、周辺部におけるストレール比は低い傾向が、撮像素子24aで再現されている。同様に、図9(c)及び図9(f)のように、赤色レーザ光(波長: 640nm)が撮像素子24aに照射されるとき、ストレール比は、赤色レーザ光が網膜82に照射されるとき、ストレール比と同じ傾向を示している。すなわち、画像の中央部におけるストレール比は高く、周辺部におけるストレール比は低い傾向が、撮像素子24aで再現されている。

40

【0052】

図9(d)から図9(f)のように、光学系10は、撮像素子24で撮像される画像の中央部におけるストレール比を端部におけるストレール比よりも高くさせる光学特性を持

50

つことが好ましい。これにより、画像投影装置 50 によって投影される画像を良好に検査することができる。

【0053】

また、光学系 10 は、緑色レーザ光が撮像面 24a に照射されるときストレーン比と緑色レーザ光が網膜 82 に照射されるときストレーン比との相違を、青色レーザ光が撮像面 24a に照射されるときストレーン比と青色レーザ光が網膜 82 に照射されるときストレーン比との相違よりも小さくさせる光学特性を持つことが好ましい。また、光学系 10 は、緑色レーザ光が撮像面 24a に照射されるときストレーン比と緑色レーザ光が網膜 82 に照射されるときストレーン比との相違を、赤色レーザ光が撮像面 24a に照射されるときストレーン比と赤色レーザ光が網膜 82 に照射されるときストレーン比との相違よりも小さくさせる光学特性を持つことが好ましい。緑色レーザ光の波長帯域は、青色レーザ光の波長帯域と赤色レーザ光の波長帯域の間に位置する。したがって、緑色レーザ光での撮像面 24a におけるストレーン比と網膜 82 におけるストレーン比との相違を小さくすることで、青色及び赤色レーザ光での撮像面 24a におけるストレーン比と網膜 82 におけるストレーン比との相違を小さくすることができる。よって、画像投影装置 50 によって投影される画像を良好に検査することができる。

10

【0054】

図 10(a) から図 10(c) は、赤色、緑色、又は青色レーザ光からなる光線 71 が画像投影装置 50 からユーザの網膜 82 に照射されるとき RMS 波面収差の計算結果を示す図である。図 10(d) から図 10(f) は、赤色、緑色、又は青色レーザ光からなる光線 70 が画像投影装置 50 から光学系 10 を介して撮像素子 24 の撮像面 24a に照射されるとき RMS 波面収差の計算結果を示す図である。図 10(a) から図 10(f) では、画像投影装置 50 によって投影される画像の中心を原点とした走査部の走査角度で表している。座標軸は走査角の角度 (°) である。

20

【0055】

図 10(b) 及び図 10(e) のように、光学系 10 を構成する各レンズの曲率などの光学特性及び各レンズ間の距離を適切に設計することで、緑色レーザ光 (波長: 520 nm) が撮像素子 24 の撮像面 24a に照射されるとき RMS 波面収差を、緑色レーザ光が網膜 82 に照射されるとき RMS 波面収差に略一致させている。すなわち、画像の中央部における RMS 値は小さく、周辺部における RMS 値は大きい傾向を、撮像素子 24 の撮像面 24a で再現している。

30

【0056】

緑色レーザ光での RMS 波面収差を撮像面 24a と網膜 82 で略一致させることで、図 10(a) 及び図 10(d) のように、青色レーザ光 (波長: 450 nm) が撮像面 24a に照射されるとき RMS 値は、青色レーザ光が網膜 82 に照射されるとき RMS 値と同じ傾向を示している。すなわち、画像の中央部における RMS 値は小さく、周辺部における RMS 値は大きい傾向が、撮像面 24a で再現されている。同様に、図 10(c) 及び図 10(f) のように、赤色レーザ光 (波長: 640 nm) が撮像面 24a に照射されるとき RMS 値は、赤色レーザ光が網膜 82 に照射されるとき RMS 値と同じ傾向を示している。すなわち、画像の中央部における RMS 値は小さく、周辺部における RMS 値は大きい傾向が、撮像面 24a で再現されている。

40

【0057】

図 10(d) から図 10(f) のように、光学系 10 は、撮像素子 24 で撮像される画像の中央部における RMS 波面収差を端部における RMS 波面収差よりも小さくさせる光学特性を有してもよい。

【0058】

次に、画像投影装置 50 によって撮像素子 24 の撮像面 24a に照射される複数の光線 70 それぞれの色ずれについて説明する。図 11(a) は、ユーザの網膜 82 を平面展開したときの光線 71 の色ずれの計算結果を示す図、図 11(b) は、光学系 10 を介して撮像素子 24 の撮像面 24a に照射される光線 70 の色ずれの計算結果を示す図である。

50

図 1 1 (a) 及び図 1 1 (b) では、画像投影装置 5 0 により投影される画像の中心を原点とした走査部の走査角度で表している。座標軸は走査角の角度 (°) である。

【 0 0 5 9 】

図 1 1 (a) 及び図 1 1 (b) のように、光学系 1 0 を構成する各レンズの曲率などの光学特性及び各レンズ間の距離を適切に設計することで、画像投影装置 5 0 から網膜 8 2 に照射される複数の光線 7 1 と画像投影装置 5 0 から撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a に照射される複数の光線 7 0 とで、対応する光線の赤色レーザ光 R、緑色レーザ光 G、及び青色レーザ光 B の位置ずれの傾向を一致させている。すなわち、網膜 8 2 に照射される複数の光線 7 1 は、原点から離れるに連れて、赤色レーザ光 R は緑色レーザ光 G に対して外側に位置がずれ、青色レーザ光 B は緑色レーザ光 G に対して内側に位置がずれているが、この傾向が撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a で再現されている。

10

【 0 0 6 0 】

図 1 2 は、図 1 1 (a) 及び図 1 1 (b) の X 軸上での緑色レーザ光と青色レーザ光との位置ずれ量を示す図である。図 1 2 において、撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a に照射される緑色レーザ光 G と青色レーザ光 B の位置ずれ量を太線で、網膜 8 2 に照射される緑色レーザ光 G と青色レーザ光 B の位置ずれ量を細線で示している。また、それぞれの位置ずれ量の差を破線で示している。なお、緑色レーザ光 G と青色レーザ光 B の位置ずれ量とは、緑色レーザ光 G の中心位置と青色レーザ光 B の中心位置との差である。

【 0 0 6 1 】

図 1 2 のように、原点から離れるに従って、撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a での緑色レーザ光と青色レーザ光の位置ずれ量と網膜 8 2 での緑色レーザ光と青色レーザ光の位置ずれ量との差が大きくなっている。走査角度が 1 0 ° の位置では、撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a での緑色レーザ光と青色レーザ光の位置ずれ量と網膜 8 2 での緑色レーザ光と青色レーザ光の位置ずれ量との差は 6 μ m 程度となっている。

20

【 0 0 6 2 】

表 2 は、図 1 1 (a) 及び図 1 1 (b) の点 A から点 E での、撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a に照射される緑色レーザ光と青色レーザ光の位置ずれ量と網膜 8 2 に照射される緑色レーザ光と青色レーザ光の位置ずれ量との差を示している。また、表 2 は、図 1 1 (a) 及び図 1 1 (b) の点 A から点 E での、撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a に照射される赤色レーザ光と緑色レーザ光の位置ずれ量と網膜 8 2 に照射される赤色レーザ光と緑色レーザ光の位置ずれ量との差を示している。

30

【 表 2 】

位置	緑色レーザ光と青色レーザ光の 位置ずれ量の差 [μ m]	赤色レーザ光と緑色レーザ光の 位置ずれ量の差 [μ m]
A	0	0
B	-5.15	-7.89
C	6.24	8.35
D	6.12	6.12
E	12.32	12.32

40

【 0 0 6 3 】

表 2 のように、撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a での緑色レーザ光と青色レーザ光の位置ずれ量と網膜 8 2 での緑色レーザ光と青色レーザ光の位置ずれ量との差は 1 2 . 3 2 μ m 以下で、概ね 1 3 μ m 以下になっている。同様に、撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a での赤色レーザ光と緑色レーザ光の位置ずれ量と網膜 8 2 での赤色レーザ光と緑色レーザ光の位置ずれ量との差は 1 2 . 3 2 μ m 以下で、概ね 1 3 μ m 以下になっている。例えば、画像投影装置 5 0 からユーザの眼球 8 0 の角膜に入射するときの光線の直径が 0 . 5 mm 程度であ

50

る場合、網膜 8 2 でのスポット径は 40 μm 程度となる。このため、投影画像の周辺での位置ずれ量の差が 13 μm 程度あったとしても、画像投影装置 5 0 によって投影される画像の品質を検査する上での影響は小さい。

【 0 0 6 4 】

図 1 1 (a) 及び図 1 1 (b) のように、光学系 1 0 は、複数の光線 7 0 が撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a に照射されるとき、緑色レーザ光に対する赤色レーザ光及び青色レーザ光の位置ずれ方向が、複数の光線 7 1 がユーザの網膜 8 2 に照射されるとき、緑色レーザ光に対する赤色レーザ光及び青色レーザ光の位置ずれ方向と同じになるようにする光学特性を持つことが好ましい。これにより、画像投影装置 5 0 によって投影される画像を良好に検査することができる。

10

【 0 0 6 5 】

図 3 のように、光学系 1 0 は、走査光 7 2 が入射される側から順に並んだ凸レンズ 1 2、凹レンズ 1 4、及び凸レンズ 1 6 を含む場合を例に示したが、その他の場合でもよい。光学系 1 0 が凸レンズ 1 2、凹レンズ 1 4、及び凸レンズ 1 6 の 3 つのレンズからなる場合、光学系 1 0 の構成を簡素化することができる。走査光 7 2 は、凸レンズ 1 2 の凸面で集束する場合を例に示したが、その他の場合でもよい。光学系 1 0 が走査光 7 2 の収束位置に設けられていればよい。

【 0 0 6 6 】

撮像素子 2 4 の解像度は、画像投影装置 5 0 により投影される画像の解像度以上であることが好ましい。図 1 3 (a) から図 1 3 (d) は、撮像素子 2 4 の解像度が画像投影装置 5 0 により投影される画像の解像度以上であることが好ましい理由を説明する図である。図 1 3 (a) は、画像投影装置 5 0 によって撮像素子 2 4 の撮像面 2 4 a に投影される画像を示す図、図 1 3 (b) から図 1 3 (d) は、撮像素子 2 4 で撮像される画像を示す図である。なお、図 1 3 (a) から図 1 3 (d) では、画像投影装置 5 0 により投影される白黒画像の彩度（濃淡）をハッチングの濃さで表している。

20

【 0 0 6 7 】

図 1 3 (a) のように、画像投影装置 5 0 による画像投影領域 6 8 内に黒パターン 4 6 の画像が投影されている。黒パターン 4 6 の間は画像投影装置 5 0 から光線 7 0 が照射されずにパターンが投影されていない領域である。図 1 3 (b) のように、撮像素子 2 4 の解像度が画像投影装置 5 0 によって投影される画像の解像度よりも低い場合、黒パターン 4 6 の一部が周期的に撮像されないこと及び黒パターン 4 6 の彩度（濃淡）が正確に反映されていない黒パターン 4 6 a が撮像されてしまうことが生じる。図 1 3 (c) のように、撮像素子 2 4 の解像度が画像投影装置 5 0 によって投影される画像の解像度と同等である場合、黒パターン 4 6 の一部が撮像されないことが抑制される。図 1 3 (d) のように、撮像素子 2 4 の解像度が画像投影装置 5 0 によって投影される画像の解像度の 2 倍である場合、黒パターン 4 6 の彩度（濃淡）をより正確に反映して撮像することができる。

30

【 0 0 6 8 】

このように、撮像素子 2 4 の解像度を画像投影装置 5 0 によって投影される画像の解像度以上とすることで、画像投影装置 5 0 によって投影される画像の一部を撮像素子 2 4 で撮像できないことを抑制できる。画像投影装置 5 0 によって投影される画像の濃淡をより正確に反映させて撮像する点から、撮像素子 2 4 の解像度は画像投影装置 5 0 によって投影される画像の解像度の 2 倍以上であることが好ましく、3 倍以上であることがより好ましく、4 倍以上であることが更に好ましい。

40

【 0 0 6 9 】

図 1 4 は、画像投影装置 5 0 の画像投影領域 6 8 と撮像素子 2 4 の撮像領域 2 6 とを説明する図である。図 1 4 のように、画像投影装置 5 0 によって投影される画像を撮像素子 2 4 で撮像するために、撮像素子 2 4 の撮像領域 2 6 は、画像投影装置 5 0 の画像投影領域 6 8 よりも大きいことが好ましい。例えば、撮像領域 2 6 の縦辺の長さは画像投影領域 6 8 の縦辺の長さの 1 . 2 倍以上が好ましく、1 . 5 倍以上がより好ましく、1 . 8 倍以上が更に好ましい。同様に、撮像領域 2 6 の横辺の長さは画像投影領域 6 8 の横辺の長さ

50

の 1.2 倍以上が好ましく、1.5 倍以上がより好ましく、1.8 倍以上が更に好ましい。

【0070】

撮像素子 24 は、画像投影装置 50 によって投影される画像を 1 又は複数回の連続した露光時間で撮像し、1 回の連続した露光時間が画像投影装置 50 によって投影される画像のフレームレートの逆数よりも長いことが好ましい。例えば、撮像素子 24 の 1 回の連続した露光時間は、画像投影装置 50 によって投影される画像のフレームレートが 60 fps である場合は 1/60 秒より長く、画像のフレームレートが 30 fps である場合は 1/30 秒より長い場合が好ましい。

【0071】

図 15 は、撮像素子 24 の 1 回の露光時間が画像投影装置 50 によって投影される画像のフレームレートの逆数よりも長いことが好ましい理由を説明する図である。図 15 のように、撮像素子 24 の 1 回の露光時間 A が画像投影装置 50 で投影される画像のフレームレートの逆数よりも短い場合、画像全体を撮像できないことが生じる。一方、撮像素子 24 の 1 回の露光時間 B を画像投影装置 50 で投影される画像のフレームレートの逆数よりも長くすることで、投影される画像の途中から撮像を開始して途中で撮像が終わって画像全体が撮像されないことを抑制できる。画像投影装置 50 で投影される画像全体を撮像する点から、撮像素子 24 の 1 回の露光時間は、画像投影装置 50 で投影される画像のフレームレートの逆数の 2 倍以上である場合が好ましく、可能な限り長い場合がより好ましい。

10

【0072】

なお、画像投影装置 50 と、画像検査装置 100 の制御部 30 と、を有線や無線での通信手段などで接続することによって、画像投影装置 50 による画像の投影タイミングと撮像素子 24 による撮像タイミング（水平同期、垂直同期など）とを同期させることで、画像投影装置 50 で投影される画像を撮像素子 24 で撮像してもよい。この場合、画像投影タイミングと撮像タイミングを同期させているため、撮像素子 24 によって 1 フレーム分、または複数フレームの画像を撮像することができる。

20

【0073】

図 16 は、画像投影装置 50 に対する光学系 10 及び撮像部 20 の回動を説明する図である。図 16 のように、画像投影装置 50 の投射部 62 から投射される走査光 72 の収束点 74（実施例 1 では凸レンズ 12 の光線 70 が入射する凸面の部分）を中心に、光学系 10 及び撮像部 20 が画像投影装置 50 に対して回動可能となってもよい。光学系 10 及び撮像部 20 の画像投影装置 50 に対する回動は、左右方向の回動、上下方向の回動、又は上下左右方向の回動であってもよい。ユーザは、画像投影装置 50 によって網膜に投影される画像の周辺部分を見る場合、視線を移動して画像の周辺部分を見る。したがって、ユーザの視線が移動したときの画像を良好に検査するために、光学系 10 及び撮像部 20 は、画像投影装置 50 から照射される走査光 72 が収束する位置を中心に画像投影装置 50 に対して回動可能であることが好ましい。

30

【0074】

光学系 10 及び撮像部 20 の画像投影装置 50 に対する相対的な回動は、光学系 10 及び撮像部 20 をステージ 48 上に載せ、このステージ 48 を回転させることで行われてもよいし、その他の方法で行われてもよい。光学系 10 及び撮像部 20 の回動は、検査者がステージ 48 を手で動かすことで行ってもよいし、検査者が制御部 30 に指示を与えて制御部 30 がステージ 48 を動かすことで行ってもよい。

40

【0075】

以上、本発明の実施例について詳述したが、本発明はかかる特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された本発明の要旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

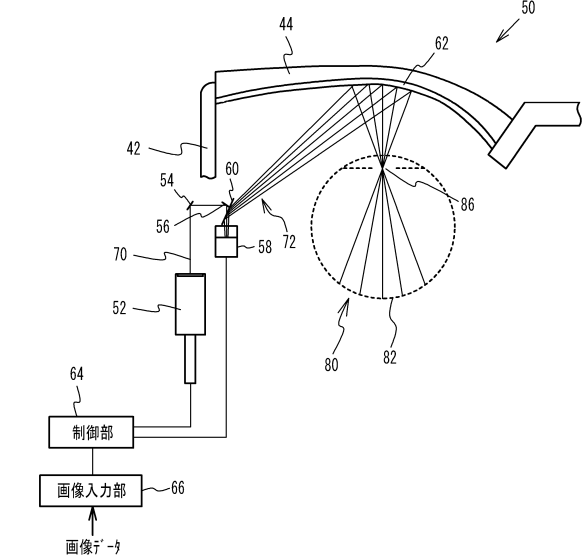
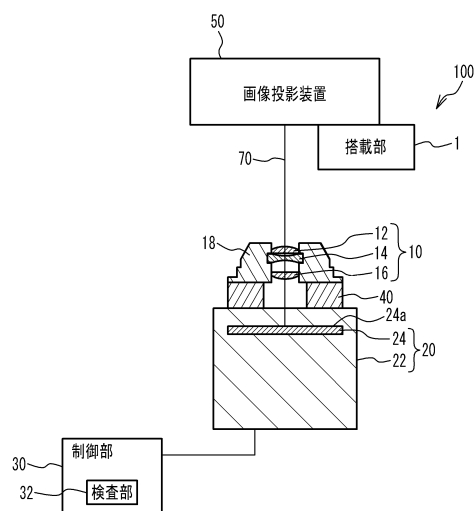
【符号の説明】

【0076】

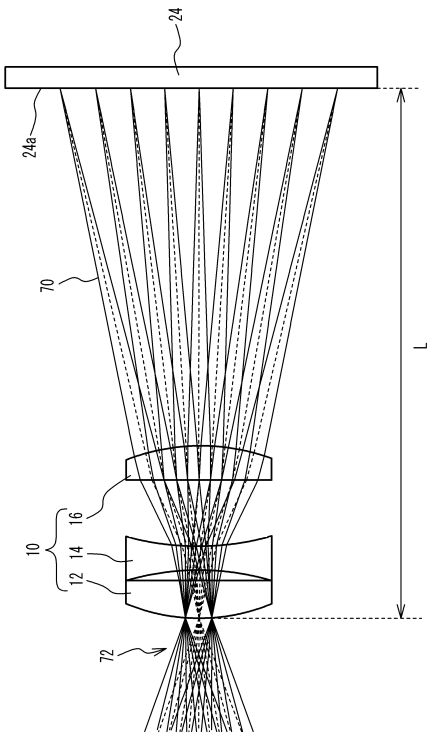
- 1 搭載部
- 10 光学系

50

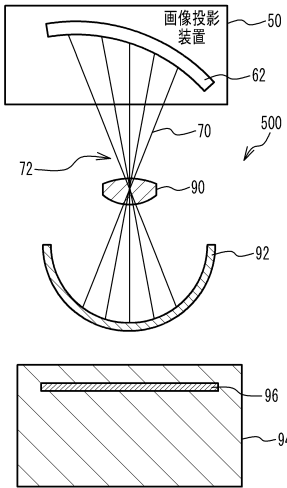
12、16	凸レンズ	
14	凹レンズ	
20	撮像部	
22	筐体	
24	撮像素子	
24a	撮像面	
26	撮像領域	
30	制御部	
32	検査部	
46、46a	黒パターン	10
48	ステージ	
50	画像投影装置	
52	光源	
58	走査部	
62	投射部	
64	制御部	
66	画像入力部	
68	画像投影領域	
70、70a、70b、71、71a、71b	光線	20
72	走査光	
73a、75a	垂直投影位置	
74	収束点	
73b、75b	平面展開位置	
76	画像	
78a、78b	照射位置	
80	眼球	
82	網膜	
86	瞳孔	
100	画像検査装置	
【図面】		30
【図1】		
【図2】		



【図 3】



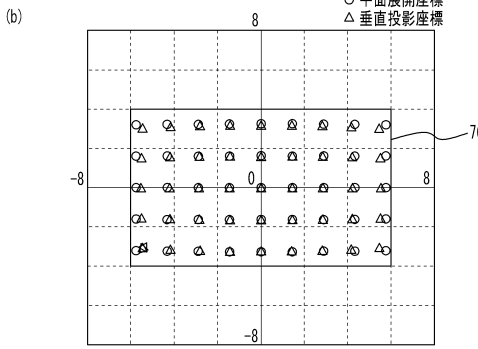
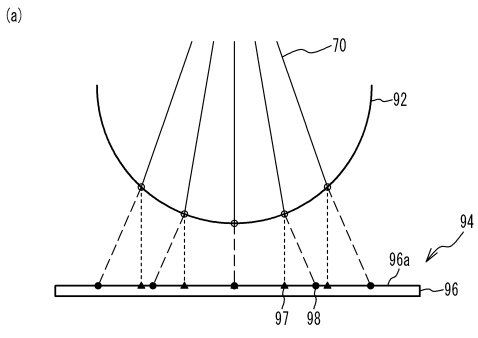
【図 4】



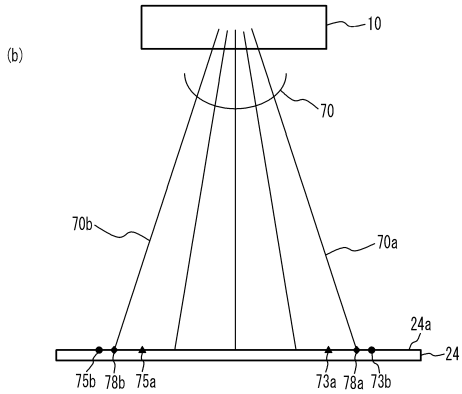
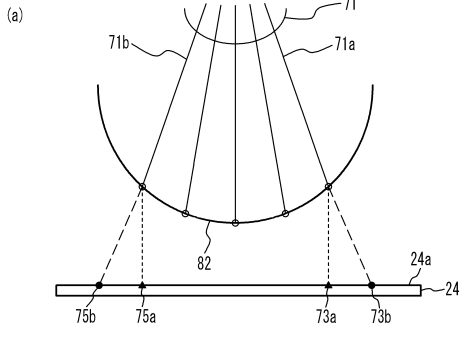
10

20

【図 5】



【図 6】

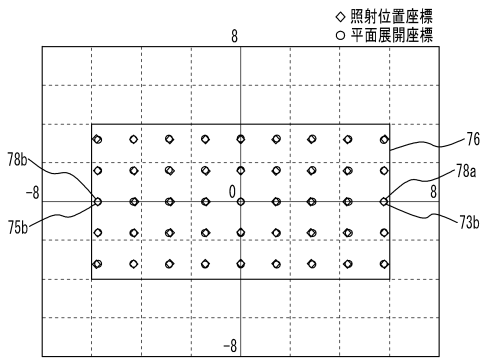


30

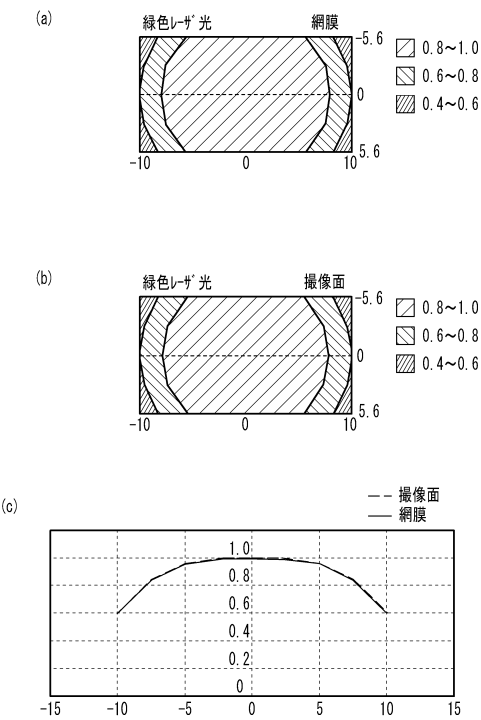
40

50

【図 7】



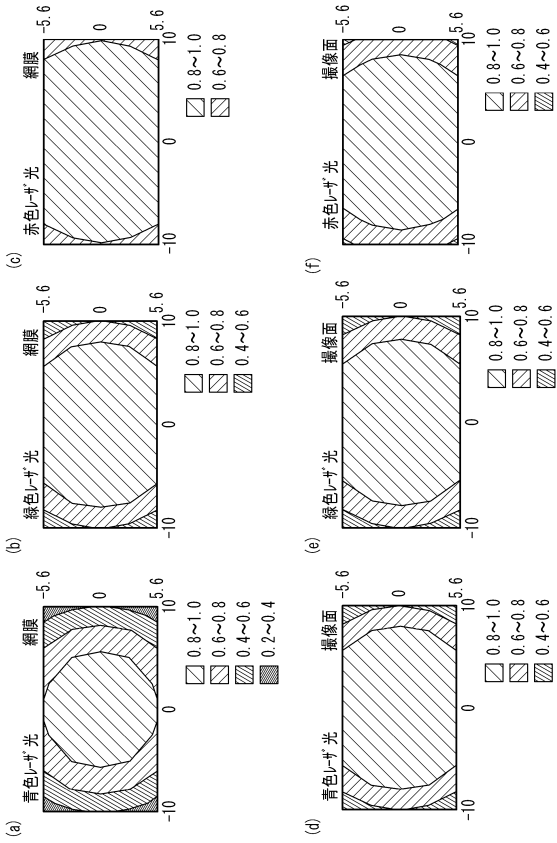
【図 8】



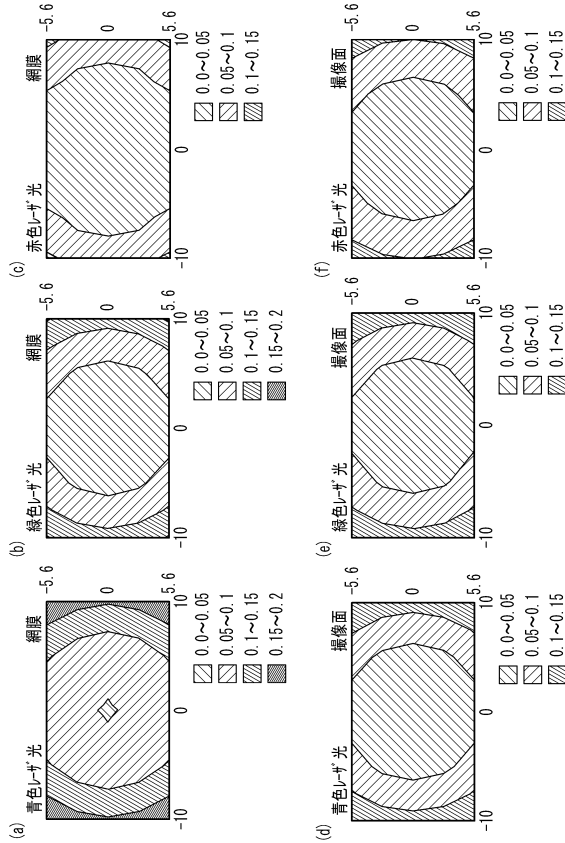
10

20

【図 9】



【図 10】

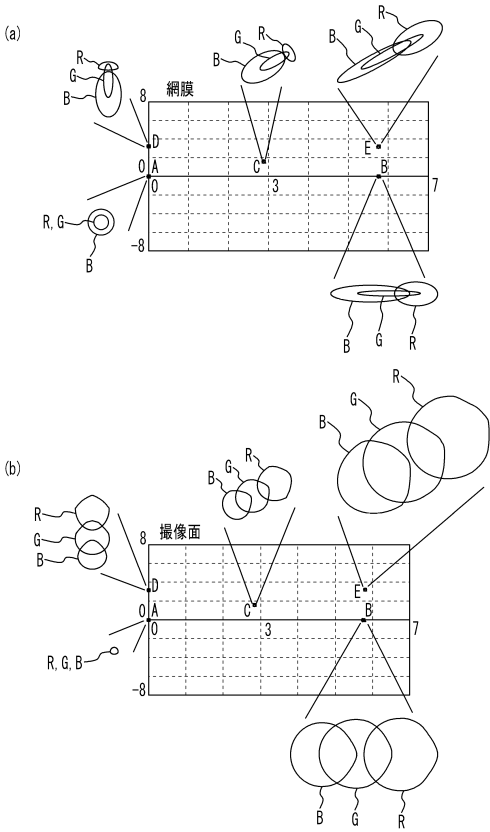


30

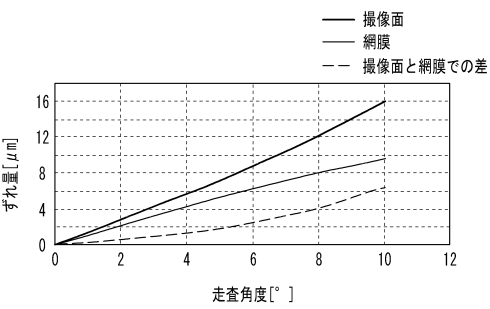
40

50

【図 1 1】



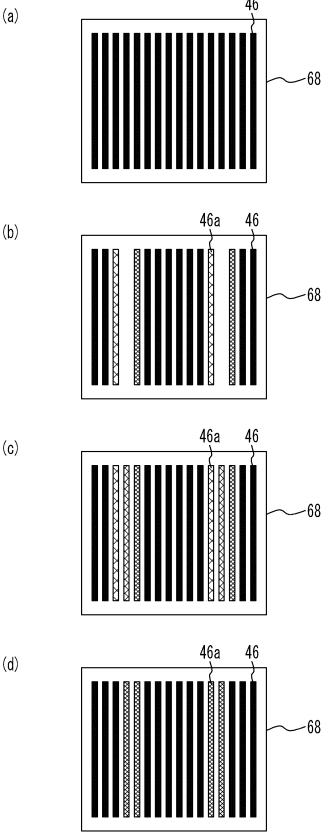
【図 1 2】



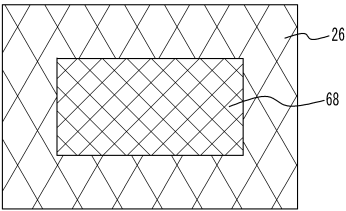
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

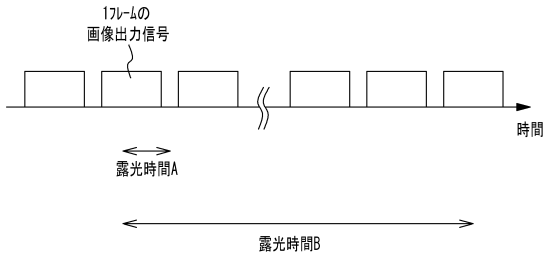


30

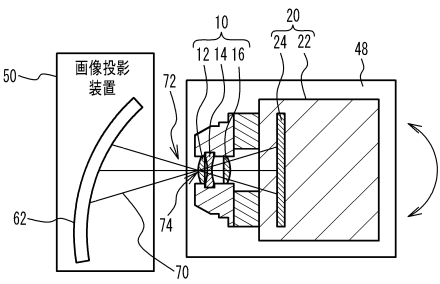
40

50

【図 15】



【図 16】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

株式会社ＱＤレーザ内

(72)発明者 足利 英昭

神奈川県川崎市川崎区南渡田町１番１号 株式会社ＱＤレーザ内

審査官 田中 洋介

(56)参考文献 国際公開第２０１８／０３４１８１（ＷＯ，Ａ１）

特開平１１－２４９０８６（ＪＰ，Ａ）

特開平１０－１０８８３５（ＪＰ，Ａ）

特開平１１－２４９０８５（ＪＰ，Ａ）

中国特許出願公開第１０６３４３９５０（ＣＮ，Ａ）

特表２０１２－５１９５５３（ＪＰ，Ａ）

特表２００８－５３９８２４（ＪＰ，Ａ）

米国特許出願公開第２０１７／０１９６６８２（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)

Ｇ０１Ｍ １１／００－１１／０８

Ｇ０２Ｂ １３／００－１３／２６

Ｇ０２Ｂ ２７／００－２７／６４

Ａ６１Ｂ ３／００－３／１８

Ｇ０２Ｃ １３／００

ＪＳＴＰｌｕｓ／ＪＳＴ７５８０（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）