

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6900994号  
(P6900994)

(45) 発行日 令和3年7月14日(2021.7.14)

(24) 登録日 令和3年6月21日(2021.6.21)

(51) Int.Cl. F I  
G O 6 T 7 / 7 0 (2017.01) G O 6 T 7 / 7 0 B

請求項の数 6 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2019-226262 (P2019-226262)	(73) 特許権者	308036402
(22) 出願日	令和1年12月16日 (2019.12.16)		株式会社 J V C ケンウッド
(62) 分割の表示	特願2015-235181 (P2015-235181) の分割		神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地
原出願日	平成27年12月1日 (2015.12.1)	(72) 発明者	箱嶋 修二
(65) 公開番号	特開2020-38734 (P2020-38734A)		神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地
(43) 公開日	令和2年3月12日 (2020.3.12)		
審査請求日	令和1年12月16日 (2019.12.16)	審査官	佐藤 実

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 視線検出装置及び視線検出方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被験者の眼球に検出光を照射する光源と、  
前記検出光が照射された前記眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔の中心を示す瞳孔中心の位置と角膜反射の中心を示す角膜反射中心の位置とを検出する位置検出部と、  
前記光源の位置と前記角膜反射中心の位置とから、左右それぞれの眼球の角膜曲率半径と角膜曲率中心の位置の少なくとも一方を算出する曲率半径算出部と、  
前記瞳孔中心の位置と、前記角膜曲率半径又は前記角膜曲率中心の位置とから、左右それぞれの眼球の視点を検出する視点検出部と、  
前記眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔の大きさを示す瞳孔パラメータを抽出する抽出部と、  
左の眼球の視点と右の眼球の視点とを前記瞳孔パラメータに基づいて補正して合成視点を算出する補正部と、  
を備える視線検出装置。

【請求項2】

前記瞳孔パラメータは、前記眼球の画像において取得される左右それぞれの眼球の瞳孔の面積を含む、  
請求項1に記載の視線検出装置。

【請求項3】

前記補正部は、抽出された前記瞳孔パラメータに基づいて、左右の眼球の瞳孔のうち前

10

20

記瞳孔パラメータが大きい方の眼球の視点に付与する重みを、前記瞳孔パラメータが小さい方の眼球の視点に付与する重みよりも大きくする、

請求項 1 又は請求項 2 に記載の視線検出装置。

【請求項 4】

算出された前記合成視点を表示部に表示させる出力制御部を更に備える、  
請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の視線検出装置。

【請求項 5】

光源から射出された検出光を被験者の眼球に照射する処理と、  
前記検出光が照射された前記眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔の中心を示す瞳孔中心の位置と角膜反射の中心を示す角膜反射中心の位置とを検出する処理と、

前記光源の位置と前記角膜反射中心の位置とから、左右それぞれの眼球の角膜曲率半径と角膜曲率中心の位置の少なくとも一方を算出する処理と、

前記瞳孔中心の位置と、前記角膜曲率半径又は前記角膜曲率中心の位置とから、左右それぞれの眼球の視点を検出する処理と、

前記眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔の大きさを示す瞳孔パラメータを抽出する処理と、

右の眼球の視点と左の眼球の視点とを前記瞳孔パラメータに基づいて補正して合成視点を算出する処理と、

を含む視線検出方法。

【請求項 6】

コンピュータに、

光源から射出された検出光を被験者の眼球に照射するステップと、

前記検出光が照射された前記眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔の中心を示す瞳孔中心の位置と角膜反射の中心を示す角膜反射中心の位置とを検出するステップと、

前記光源の位置と前記角膜反射中心の位置とから、左右それぞれの眼球の角膜曲率半径と角膜曲率中心の位置の少なくとも一方を算出するステップと、

前記瞳孔中心の位置と、前記角膜曲率半径又は前記角膜曲率中心の位置とから、左右それぞれの眼球の視点を検出するステップと、

前記眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔の大きさを示す瞳孔パラメータを抽出するステップと、

右の眼球の視点と左の眼球の視点とを前記瞳孔パラメータに基づいて補正して合成視点を算出するステップと、

を実行させる視線検出プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、視線検出装置及び視線検出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

操作者又は被験者がモニタ画面などの観察面上で注視している位置を検出する、視線検出装置が提案されている。顔に装置を取り付けることなく被験者の視線方向を非接触で検出する方法として、被験者の眼球に検出光を照射し、検出光が照射された眼球の画像から瞳孔中心と角膜曲率中心とを算出し、角膜曲率中心から瞳孔中心へ向かうベクトルを被験者の視線方向として検出する方法がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 2739331 号公報

【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

瞳孔中心は、眼球の画像から算出される。瞳孔中心が正確に算出されないと、被験者の視点を正確に検出することが困難となる。

## 【0005】

本発明は、瞳孔中心を正確に算出して被験者の視点を正確に検出できる視線検出装置及び視線検出方法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、被験者の眼球に検出光を照射する光源と、前記検出光が照射された前記眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔の中心を示す瞳孔中心の位置と角膜反射の中心を示す角膜反射中心の位置とを検出する位置検出部と、前記光源の位置と前記角膜反射中心の位置とから、左右それぞれの眼球の角膜曲率半径を算出する曲率半径算出部と、前記瞳孔中心の位置と前記角膜曲率半径とから、左右それぞれの眼球の視点を検出する視点検出部と、前記眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔の大きさを示す瞳孔パラメータを抽出する抽出部と、左の眼球の視点と右の眼球の視点とを前記瞳孔パラメータに基づいて補正して合成視点を算出する補正部と、を備える。

10

## 【発明の効果】

## 【0007】

本発明に係る視線検出装置及び視線検出方法は、瞳孔中心を正確に算出して被験者の視点を正確に検出できるという効果を奏する。

20

## 【図面の簡単な説明】

## 【0008】

【図1】図1は、1つの光源を使用した場合の被験者の目の様子を示す図である。

【図2】図2は、2つの光源を使用した場合の被験者の目の様子を示す図である。

【図3】図3は、本実施形態の表示部、ステレオカメラ、赤外線光源及び被験者の配置の一例を示す図である。

【図4】図4は、本実施形態の表示部、ステレオカメラ、赤外線光源及び被験者の配置の一例を示す図である。

【図5】図5は、診断支援装置の機能の概要を示す図である。

30

【図6】図6は、図5に示す各部の詳細な機能の一例を示すブロック図である。

【図7】図7は、1つの光源を用いると仮定した場合の処理の概要を説明する図である。

【図8】図8は、本実施形態の診断支援装置により実行される処理の概要を説明する図である。

【図9】図9は、瞳孔中心位置と角膜曲率中心位置との距離を算出するキャリブレーション処理を説明するための図である。

【図10】図10は、本実施形態のキャリブレーション処理の一例を示すフローチャートである。

【図11】図11は、事前に求めた距離を使用して角膜曲率中心の位置を算出する方法を示した図である。

40

【図12】図12は、本実施形態の視線検出処理の一例を示すフローチャートである。

【図13】図13は、本実施形態のステレオカメラで撮影された被験者の目の一例を示す模式図である。

【図14】図14は、本実施形態の瞳孔の面積の算出方法を示す模式図である。

【図15】図15は、本実施形態の表示部の表示例を示す図である。

【図16】図16は、変形例の算出処理を説明するための図である。

【図17】図17は、変形例の算出処理の一例を示すフローチャートである。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0009】

以下、本発明に係る視線検出装置及び視線検出方法の実施形態について図面を参照しな

50

から詳細に説明する。なお、この実施形態により本発明が限定されるものではない。また、以下では、視線検出結果を用いて被験者の診断を支援する診断支援装置に視線検出装置を用いた例を説明する。適用可能な装置は診断支援装置に限られるものではない。

【0010】

本実施形態の視線検出装置は、2カ所に設置された照明部を用いて視線を検出する。また、本実施形態の視線検出装置は、視線検出前に被験者に1点を注視させて測定した結果を用いて、角膜曲率中心の位置及び角膜曲率半径を高精度に算出する。

【0011】

なお、照明部とは、光源を含み、被験者の眼球に光を照射可能な要素である。光源とは、例えばLED (Light Emitting Diode) などの光を発生する素子である。光源は、1個のLEDから構成されてもよいし、複数のLEDを組み合わせて1カ所に配置することにより構成されてもよい。以下では、このように照明部を表す用語として「光源」を用いる場合がある。

【0012】

視点検出を精度良く行うためには、瞳孔の位置を正しく検出できることが重要となっている。近赤外の光源を点灯させカメラで撮影した場合、カメラと光源との距離が一定以上離れていると、瞳孔は他の部分より暗くなることがわかっている。この特徴を用いて瞳孔位置が検出される。

【0013】

本実施形態では、2台のカメラに対して、光源をそれぞれのカメラの外側に2ヶ所配置する。そして、これらの2つの光源を相互に異なるタイミングで点灯させ、点灯している光源からの距離が長い方(遠い方)のカメラで撮影する。これにより、瞳孔をより暗く撮影し、瞳孔と他の部分とを、より高精度に区別することが可能となる。

【0014】

この場合、点灯させる光源が異なるため、通常のステレオ方式による三次元計測を単純に適用することができない。すなわち、視点を求める際の光源と角膜反射とを結ぶ直線を世界座標で算出することができない。そこで本実施形態では、2つのタイミングでの、撮像に用いるカメラ相互の位置関係、及び、点灯させる光源相互の位置関係を、仮想的な光源の位置を示す仮想光源位置に対してそれぞれ対称とする。そして、2つの光源それぞれの点灯時に得られる2つの座標値を、左カメラによる座標値及び右カメラによる座標値として世界座標に変換する。これにより、2つの光源それぞれの点灯時に得られる角膜反射の位置を用いて、仮想光源と角膜反射とを結ぶ直線を世界座標で算出すること、及び、この直線に基づき視点を算出することが可能となる。

【0015】

図1は、1つの光源を使用した場合の被験者の目11の様子を示す図である。図1に示すように、虹彩12と瞳孔13との暗さの差が十分ではなく、区別が困難となる。図2は、2つの光源を使用した場合の被験者の目21の様子を示す図である。図2に示すように、虹彩22と瞳孔23との暗さの差は、図1と比較して大きくなっている。

【0016】

図3及び図4は、本実施形態の表示部、ステレオカメラ、赤外線光源及び被験者の配置の一例を示す図である。

【0017】

図3に示すように、本実施形態の診断支援装置は、表示部101と、ステレオカメラを構成する右カメラ102a及び左カメラ102bと、LED光源103a, 103bと、を含む。右カメラ102a及び左カメラ102bは、表示部101の下に配置される。LED光源103a, 103bは、右カメラ102a及び左カメラ102bそれぞれの外側の位置に配置される。LED光源103a, 103bは、例えば波長850 [nm] の近赤外線照射する光源である。図3では、9個のLEDによりLED光源103a, 103bを構成する例が示されている。なお、右カメラ102a及び左カメラ102bは、波長850 [nm] の近赤外光を透過できるレンズを使用する。なお、LED光源103a

10

20

30

40

50

、103bと、右カメラ102a及び左カメラ102bとの位置を逆にして、LED光源103a、103bが、右カメラ102a及び左カメラ102bそれぞれの内側の位置に配置されていてもよい。

#### 【0018】

図4に示すように、LED光源103a、103bは、被験者の眼球111に向かって検出光である近赤外光を照射する。LED光源103aを照射したときに左カメラ102bで撮影を行い、LED光源103bを照射したときに右カメラ102aで撮影を行う。右カメラ102a及び左カメラ102bと、LED光源103a、103bとの位置関係を適切に設定することにより、撮影される画像では、瞳孔112が低輝度で反射して暗くなり、眼球111内に虚像として生じる角膜反射113が高輝度で反射して明るくなる。したがって、瞳孔112及び角膜反射113の画像上の位置を2台のカメラ（右カメラ102a及び左カメラ102b）それぞれで取得することができる。

10

#### 【0019】

さらに2台のカメラにより得られる瞳孔112及び角膜反射113の位置から、瞳孔112及び角膜反射113の位置の三次元世界座標値を算出する。本実施形態では、三次元世界座標として、表示部101の画面の中央位置を原点として、上下をY座標（上が+）、横をX座標（向かって右が+）、奥行きをZ座標（手前が+）としている。

#### 【0020】

図5は、診断支援装置100の機能の概要を示す図である。図5では、図3及び図4に示した構成の一部と、この構成の駆動などに用いられる構成を示している。図5に示すように、診断支援装置100は、右カメラ102aと、左カメラ102bと、左カメラ102b用のLED光源103aと、右カメラ102a用のLED光源103bと、スピーカ205と、駆動・IF（interface）部313と、制御部300と、記憶部150と、表示部101と、を含む。図5において、表示画面201は、右カメラ102a及び左カメラ102bとの位置関係を分かりやすく示しているが、表示画面201は表示部101において表示される画面である。なお、駆動部とIF部は一体でもよいし、別体でもよい。

20

#### 【0021】

スピーカ205は、キャリブレーション時などに、被験者に注意を促すための音声などを出力する音声出力部として機能する。

#### 【0022】

駆動・IF部313は、ステレオカメラに含まれる各部を駆動する。また、駆動・IF部313は、ステレオカメラに含まれる各部と、制御部300とのインタフェースとなる。

30

#### 【0023】

制御部300は、例えば、CPU（Central Processing Unit）などの制御装置と、ROM（Read Only Memory）やRAM（Random Access Memory）などの記憶装置と、ネットワークに接続して通信を行う通信IFと、各部を接続するバスを備えているコンピュータなどにより実現できる。

#### 【0024】

記憶部150は、制御プログラム、測定結果、診断支援結果など各種情報を記憶する。記憶部150は、例えば、表示部101に表示する画像等を記憶する。表示部101は、診断のための対象画像等、各種情報を表示する。

40

#### 【0025】

図6は、図5に示す各部の詳細な機能の一例を示すブロック図である。図6に示すように、制御部300には、表示部101と、駆動・IF部313が接続される。駆動・IF部313は、カメラIF314、315と、LED駆動制御部316と、スピーカ駆動部322と、を備える。

#### 【0026】

駆動・IF部313には、カメラIF314、315を介して、それぞれ、右カメラ102a及び左カメラ102bが接続される。駆動・IF部313がこれらのカメラを駆動

50

することにより、被験者を撮像する。右カメラ102aからはフレーム同期信号が出力される。フレーム同期信号は、左カメラ102bとLED駆動制御部316とに入力される。これにより、LED光源103a, 103bを発光させ、それに対応して左右カメラによる画像を取り込んでいる。

【0027】

スピーカ駆動部322は、スピーカ205を駆動する。なお、診断支援装置100が、印刷部としてのプリンタと接続するためのインタフェース(プリンタIF)を備えてもよい。また、プリンタを診断支援装置100の内部に備えるように構成してもよい。

【0028】

制御部300は、診断支援装置100全体を制御する。制御部300は、点灯制御部351と、位置検出部352と、曲率半径算出部353と、視線検出部354と、視点検出部355と、出力制御部356と、抽出部357と、補正部358と、を備えている。

【0029】

制御部300に含まれる各要素(点灯制御部351、位置検出部352、曲率半径算出部353、視線検出部354、視点検出部355、出力制御部356、抽出部357、及び、補正部358)は、ソフトウェア(プログラム)で実現してもよいし、ハードウェア回路で実現してもよいし、ソフトウェアとハードウェア回路とを併用して実現してもよい。

【0030】

プログラムで実現する場合、当該プログラムは、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルでCD-ROM(Compact Disk Read Only Memory)、フレキシブルディスク(FD)、CD-R(Compact Disk Recordable)、DVD(Digital Versatile Disk)等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録されてコンピュータプログラムプロダクトとして提供される。プログラムを、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供するように構成してもよい。また、プログラムをインターネット等のネットワーク経由で提供又は配布するように構成してもよい。また、プログラムを、ROM等に予め組み込んで提供するように構成してもよい。

【0031】

点灯制御部351は、LED駆動制御部316を用いて、LED光源103a, 103bの点灯を制御する。例えば点灯制御部351は、LED光源103a, 103bを、相互に異なるタイミングで点灯するように制御する。タイミングの差(時間)は、例えば、被験者の視線の移動等による視線検出結果への影響が生じない時間として予め定められた時間とすればよい。

【0032】

位置検出部352は、近赤外光が照射されステレオカメラにより撮像された被験者の左右の眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔を示す瞳孔領域、及び、左右それぞれの眼球の角膜反射を示す角膜反射領域を検出する。また位置検出部352は、瞳孔領域に基づき、左右それぞれの眼球の瞳孔の中心を示す瞳孔中心の位置を検出する。例えば位置検出部352は、瞳孔領域の輪郭上の複数の点を選択し、選択した複数の点を通る円の中心を、瞳孔中心の位置として算出する。同様に、位置検出部352は、角膜反射領域に基づき、左右それぞれの眼球の角膜反射の中心を示す角膜反射中心の位置を検出する。

【0033】

曲率半径算出部353は、仮想光源位置と角膜反射中心とを結ぶ第1直線から、角膜曲率中心の位置を算出する。また、曲率半径算出部353は、仮想光源位置と角膜反射中心の位置とから、被験者の左右それぞれの眼球の角膜表面と角膜曲率中心との距離である角膜曲率半径を算出する。

【0034】

曲率半径算出部353は、目標位置を被験者に注視させたときに算出された瞳孔中心及び角膜反射中心を用いて、瞳孔中心と目標位置とを結ぶ第2直線と、角膜反射中心と仮想

10

20

30

40

50

光源位置とを結ぶ第1直線と、の交点を算出する。算出された交点が、角膜曲率中心である。曲率半径算出部353は、瞳孔中心と角膜曲率中心との距離を算出し、記憶部150に記憶する。また、曲率半径算出部353は、角膜表面と角膜曲率中心との距離である角膜曲率半径を算出し、記憶部150に記憶する。

【0035】

目標位置は、予め定められ、三次元世界座標値が算出できる位置であればよい。例えば、表示画面201の中央位置(三次元世界座標の原点)を目標位置とすることができる。この場合、例えば出力制御部356が、表示画面201上の目標位置(中央位置)に、被験者に注視させる目標画像等を表示する。これにより、被験者に目標位置を注視させることができる。

10

【0036】

目標画像は、被験者を注目させることができる画像であればどのような画像であってもよい。例えば、輝度や色などの表示態様が変化する画像、及び、表示態様が他の領域と異なる画像などを目標画像として用いることができる。

【0037】

なお、目標位置は表示画面201の中央位置に限られるものではなく、任意の位置でよい。表示画面201の中央位置を目標位置とすれば、表示画面201の任意の端部との距離が最小になる。このため、例えば視線検出時の測定誤差をより小さくすることが可能となる。

【0038】

20

瞳孔中心と角膜曲率中心との距離の算出及び角膜曲率半径の算出までの処理は、例えば実際の視線検出を開始するまでに事前に実行しておく。視線検出時には、曲率半径算出部353は、仮想光源位置と角膜反射中心とを結ぶ第1直線上で、瞳孔中心からの距離が、事前に算出した距離となる位置を、角膜曲率中心として算出可能である。曲率半径算出部353は、仮想光源位置と、表示部上の目標画像を示す所定の位置と、瞳孔中心の位置と、角膜反射中心の位置と、から角膜曲率中心の位置を算出し、角膜曲率半径を算出する。

【0039】

視線検出部354は、瞳孔中心の位置と角膜曲率半径又は角膜曲率中心の位置とから、被験者の左右それぞれの眼球の視線方向を検出する。例えば視線検出部354は、角膜曲率中心から瞳孔中心へ向かう方向を被験者の視線方向として検出する。

30

【0040】

視点検出部355は、視線検出部354において瞳孔中心の位置と角膜曲率半径又は角膜曲率中心の位置とから検出された視線方向から、被験者の左右それぞれの眼球の視点を検出する。視点検出部355は、例えば、表示画面201で被験者が注視する点である視点(注視点)を検出する。視点検出部355は、例えば図4のような三次元世界座標系で表される視線ベクトルとXY平面との交点を、被験者の視点として検出する。

【0041】

抽出部357は、左右カメラにより撮像された被験者の左右の眼球の画像から、左右それぞれの眼球の瞳孔の大きさを示す瞳孔パラメータを抽出する。本実施形態において、瞳孔パラメータは、左右カメラにより撮像された画像において取得される左右それぞれの眼球の瞳孔の面積である。抽出部357は、被験者の左右の眼球の画像から、左の眼球の瞳孔の面積と、右の眼球の瞳孔の面積とを抽出する。

40

【0042】

補正部358は、視点検出部355で検出された右の眼球の視点と左の眼球の視点とを瞳孔パラメータに基づいて補正して、合成視点を算出する。

【0043】

出力制御部356は、表示部101及びスピーカ205などに対する各種情報の出力を制御する。本実施形態において、出力制御部356は、補正部358で算出された被験者の合成視点を表示部101に表示させる。また、出力制御部356は、表示部101上の目標位置に目標画像を出力させる。また、出力制御部356は、診断画像、及び、評価部

50

による評価結果などの表示部 101 に対する出力を制御する。

【0044】

図7は、1つの光源を用いると仮定した場合の処理の概要を説明する図である。図3から図6で説明した要素については同一の符号を付し説明を省略する。図7の例では、2つのLED光源103a, 103bの代わりに、1つのLED光源203が用いられる。

【0045】

瞳孔中心407及び角膜反射中心408は、それぞれ、1つのLED光源203を点灯させた際に検出される瞳孔中心、及び、角膜反射中心を表している。角膜反射中心408は、LED光源203と角膜曲率中心410とを結んだ直線上に存在し、その位置は角膜曲率中心410と角膜表面との中間点に現れる。角膜曲率半径409は、角膜表面から角膜曲率中心410までの距離を表す。LED光源203は、ここでは1個のLEDとしているが、数個の小さいLEDを組み合わせて1カ所に配置されたものであっても構わない。

10

【0046】

図8は、本実施形態の診断支援装置100により実行される処理の概要を説明する図である。図3から図6で説明した要素については同一の符号を付し説明を省略する。

【0047】

角膜反射点621は左カメラ102bで撮影したときの画像上の角膜反射点を表す。角膜反射点622は右カメラ102aで撮影したときの画像上の角膜反射点を表す。本実施形態では、右カメラ102aと右カメラ用のLED光源103b、及び、左カメラ102bと左カメラ用のLED光源103aは、例えば右カメラ102aと左カメラ102bの中間位置を通る直線に対して左右対称の位置関係にある。このため、右カメラ102aと左カメラ102bの中間位置(仮想光源位置)に仮想光源303があるとみなすことができる。角膜反射点624は、仮想光源303に対応する角膜反射点を表す。角膜反射点621の座標値と角膜反射点622の座標値を、左右カメラの座標値を三次元世界座標に変換する変換パラメータを用いて変換することにより、角膜反射点624の世界座標値が算出される。仮想光源303と角膜反射点624を結ぶ直線523上に角膜曲率中心505が存在する。角膜曲率中心505の位置及び角膜表面の位置が算出されることにより、角膜曲率半径509が算出される。このように、図7で表した光源が1カ所の視線検出方法と同等の方法で視点検出が可能である。

20

30

【0048】

なお右カメラ102aと左カメラ102bとの位置関係、及び、LED光源103aとLED光源103bとの位置関係は、上述の位置関係に限られるものではない。例えば同一の直線に対して、それぞれの位置関係が左右対称となる関係であってもよいし、右カメラ102aと左カメラ102bと、LED光源103aとLED光源103bとは同一直線上になくてもよい。

【0049】

図9は、視線検出又は視点検出を行う前に、角膜曲率中心615の位置、及び、瞳孔中心611の位置と角膜曲率中心615の位置との距離616を算出するキャリブレーション処理を説明するための図である。図3から図6で説明した要素については同一の符号を付し説明を省略する。

40

【0050】

目標位置605は、表示部101上の一点に目標画像等を出して、被験者に見つめさせるための位置である。本実施形態では表示部101の画面の中央位置としている。直線613は、仮想光源303と角膜反射中心612とを結ぶ直線である。直線614は、被験者が見つめる注視点である目標位置605と瞳孔中心611とを結ぶ直線である。角膜曲率中心615は、直線613と直線614との交点である。角膜曲率半径609は、角膜表面と角膜曲率中心615との距離である。曲率半径算出部353は、瞳孔中心611と角膜曲率中心615との距離616及び角膜曲率半径609を算出して記憶部150に記憶する。

50



## 【 0 0 5 1 】

図 10 は、本実施形態のキャリブレーション処理の一例を示すフローチャートである。出力制御部 356 は、表示部 101 の画面上の 1 点に目標画像を再生し（ステップ S101）、被験者にその 1 点を注視させる。次に、点灯制御部 351 は、LED 駆動制御部 316 を用いて LED 光源 103a, 103b のうち一方を被験者の眼に向けて点灯させる（ステップ 102）。制御部 300 は、左右カメラ（右カメラ 102a, 左カメラ 102b）のうち点灯した LED 光源からの距離が長い方のカメラで被験者の眼を撮像する（ステップ S103）。次に、点灯制御部 351 は、LED 光源 103a, 103b のうち他方を被験者の眼に向けて点灯させる（ステップ S104）。制御部 300 は、左右カメラのうち点灯した LED 光源からの距離が長い方のカメラで被験者の眼を撮像する（ステップ S105）。

10

## 【 0 0 5 2 】

なお、点灯した LED 光源からの距離が長いカメラ以外のカメラによる撮像を停止しなくてもよい。すなわち、少なくとも点灯した LED 光源からの距離が長い方のカメラで被験者の眼を撮像し、撮像した画像が座標算出等に利用可能となっていればよい。

## 【 0 0 5 3 】

ステップ S105 の後、左の眼球である左眼についての処理と、右の眼球である右眼についての処理とが別々に実施される。まず、左眼についてのキャリブレーション処理について説明する。

## 【 0 0 5 4 】

LED 光源 103a 又は LED 光源 103b の照射により、左眼の瞳孔領域は暗い部分（暗瞳孔）として検出される。また LED 照射の反射として、左眼の角膜反射の虚像が発生し、明るい部分として角膜反射点（角膜反射中心）が検出される。すなわち、位置検出部 352 は、撮像された画像から左眼の瞳孔領域を検出し、左眼の瞳孔中心の位置を示す座標を算出する。位置検出部 352 は、例えば左眼を含む一定領域の中で最も暗い部分を含む所定の明るさ以下の領域を瞳孔領域として検出し、最も明るい部分を含む所定の明るさ以上の領域を角膜反射として検出する。また、位置検出部 352 は、撮像された画像から左眼の角膜反射領域を検出し、角膜反射中心の位置を示す座標を算出する。なお、位置検出部 352 は、左右カメラで取得した 2 つの画像それぞれに対して、左眼の瞳孔中心の座標値及び角膜反射中心の座標値を算出する（ステップ S106L）。

20

30

## 【 0 0 5 5 】

なお、左右カメラは、三次元世界座標を取得するために、事前にステレオ較正法によるカメラ較正が行われており、変換パラメータが算出されている。ステレオ較正法は、Tsai のカメラキャリブレーション理論を用いた方法など従来から用いられているあらゆる方法を適用できる。

## 【 0 0 5 6 】

位置検出部 352 は、この変換パラメータを使用して、左右カメラの座標から、左眼の瞳孔中心と角膜反射中心を三次元世界座標に変換する（ステップ S107L）。例えば位置検出部 352 は、LED 光源 103a が点灯されたときに左カメラ 102b により撮像された画像から得られた座標を左カメラの座標とし、LED 光源 103b が点灯されたときに右カメラ 102a により撮像された画像から得られた座標を右カメラの座標として、変換パラメータを用いて三次元世界座標への変換を行う。この結果得られる世界座標値は、仮想光源 303 から光が照射されたときと仮定したときに左右カメラで撮像された画像から得られる世界座標値に対応する。曲率半径算出部 353 は、求めた角膜反射中心の世界座標と、仮想光源 303 の中心位置の世界座標とを結ぶ直線を求める（ステップ S108L）。次に、曲率半径算出部 353 は、表示部 101 の画面上の 1 点に表示される目標画像の中心の世界座標と、左眼の瞳孔中心の世界座標とを結ぶ直線を算出する（ステップ S109L）。曲率半径算出部 353 は、ステップ S108L で算出した直線とステップ S109L で算出した直線との交点を求め、この交点を左眼の角膜曲率中心とする（ステップ S110L）。曲率半径算出部 353 は、このときの瞳孔中心と角膜曲率中心との間の距

40

50

離を算出して記憶部 150 に記憶する (ステップ S 111 L)。記憶された距離は、その後の視点 (視線) 検出時に、角膜曲率中心を算出するために使用される。

【0057】

キャリブレーション処理で表示部 101 上の 1 点を見つめる際の瞳孔中心と角膜曲率中心との距離は、表示部 101 内の視点を検出する範囲で一定に保たれている。瞳孔中心と角膜曲率中心との距離は、目標画像を再生中に算出された値全体の平均から求めてもよいし、再生中に算出された値のうち何回かの値の平均から求めてもよい。

【0058】

曲率半径算出部 353 は、左眼の角膜曲率半径を算出する (ステップ S 112 L)。曲率半径算出部 353 は、算出した左眼の角膜曲率半径  $r_1$  を記憶部 150 に記憶する (ステップ S 113 L)。

10

【0059】

以上、左眼の角膜曲率半径の記憶までの手順について説明した。左眼についてのステップ S 106 L からステップ S 113 L と同様の手順が、右眼についても実施され (ステップ S 106 R からステップ S 113 R)、右眼の角膜曲率半径が算出され記憶される。右眼の角膜曲率半径の記憶までの手順についての説明は省略する。

【0060】

図 11 は、視点検出を行う際に、事前に求めた瞳孔中心と角膜曲率中心との距離を使用して、補正された角膜曲率中心の位置を算出する方法を示した図である。注視点 805 は、一般的な曲率半径値を用いて算出した角膜曲率中心から求めた注視点を表す。注視点 806 は、事前に求めた距離を用いて算出した角膜曲率中心から求めた注視点を表す。

20

【0061】

瞳孔中心 811 及び角膜反射中心 812 は、それぞれ、視点検出時に算出された瞳孔中心の位置、及び、角膜反射中心の位置を示す。直線 813 は、仮想光源 303 と角膜反射中心 812 とを結ぶ直線である。角膜曲率中心 814 は、一般的な曲率半径値から算出した角膜曲率中心の位置である。距離 815 は、事前のキャリブレーション処理により算出した瞳孔中心と角膜曲率中心との距離である。角膜曲率中心 816 は、事前に求めた距離を用いて算出した角膜曲率中心の位置である。角膜曲率中心 816 は、角膜曲率中心が直線 813 上に存在すること、及び、瞳孔中心と角膜曲率中心との距離が距離 815 であることから求められる。これにより一般的な曲率半径値を用いる場合に算出される視線 817 は、視線 818 に補正される。また、表示部 101 の画面上の注視点は、注視点 805 から注視点 806 に補正される。

30

【0062】

図 12 は、本実施形態の視線検出処理の一例を示すフローチャートである。まず、図 12 に示すステップ S 201 からステップ S 204 までの処理が実施される。ステップ S 201 からステップ S 204 は、図 10 のステップ S 102 からステップ S 105 と同様であるため説明を省略する。

【0063】

ステップ S 204 の後、左の眼球である左眼についての処理と、右の眼球である右眼についての処理とが別々に実施される。まず、左眼についての視線検出処理について説明する。なお、図 12 に示すステップ S 205 L からステップ S 207 L までの処理は、図 10 のステップ S 106 L からステップ S 108 L までの処理と同様であるため説明を省略する。

40

【0064】

視線検出部 354 は、被験者の左眼の瞳孔中心及び角膜反射中心の世界座標値を算出し、図 10 のステップ S 113 L で記憶部 150 に記憶した角膜曲率半径  $r_1$  に基づいて、被験者の左眼の角膜曲率中心を算出する (ステップ S 208 L)。曲率半径算出部 353 は、ステップ S 207 L で算出した直線上であって、図 10 のステップ S 113 L で記憶部 150 に記憶した角膜曲率半径  $r_1$  の角膜曲率中心と等しい位置を左眼の角膜曲率中心として算出する。

50

## 【 0 0 6 5 】

視線検出部 3 5 4 は、左眼の瞳孔中心と角膜曲率中心とを結ぶ視線ベクトルを求める（ステップ S 2 0 9 L）。この視線ベクトルが、被験者の左眼が見ている視線方向を示している。視点検出部 3 5 5 は、左眼の視線ベクトルと表示部 1 0 1 の画面との交点の三次元世界座標値を算出する（ステップ S 2 1 0 L）。この値が、被験者の左眼が注視する表示部 1 0 1 上の 1 点を世界座標で表した座標値である。視点検出部 3 5 5 は、求めた三次元世界座標値を、表示部 1 0 1 の二次元座標系で表される座標値（ $x_1$  ,  $y_1$ ）に変換する。これにより、被験者の左眼が見つめる表示部 1 0 1 上の視点の位置が算出される（ステップ S 2 1 1 L）。

## 【 0 0 6 6 】

抽出部 3 5 7 は、左眼の画像から、左眼の瞳孔の大きさを示す瞳孔パラメータとして、左眼の瞳孔の面積を算出する（ステップ S 2 1 2 L）。抽出部 3 5 7 は、左眼の視点の位置が算出されたときの、その左眼の瞳孔の面積を算出する。換言すれば、同じフレームで得られた画像から、左眼の視点の位置の検出と、左眼の瞳孔の面積の検出とが実施される。

## 【 0 0 6 7 】

ステレオカメラで撮影される左眼の画像は、撮影が実施されるタイミングによって異なる可能性が高い。例えば、被験者がまばたきしたり伏し目になったりした場合、図 1 3 の模式図に示すように、瞳孔 2 3 の一部又は全部が瞼 2 4 で隠れる。その場合、ステレオカメラで撮影される画像において、瞳孔 2 3 の面積は小さくなる。一方、被験者が眼を大きく見開いた場合、ステレオカメラで撮影される画像において、瞳孔 2 3 の面積は大きくなる。

## 【 0 0 6 8 】

図 1 4 は、撮影された画像において瞳孔 2 3 の面積を求める方法を模式的に示す図である。瞳孔 2 3 とその周囲の虹彩 2 2 又は瞼 2 4 とのコントラストは異なる。したがって、そのコントラストの違いから、画像において瞳孔 2 3 の外形又は輪郭が規定される。外形が規定された瞳孔 2 3 に配置される画素の数が導出されることにより、1 つの画素の面積と、その画素の数とに基づいて、瞳孔 2 3 の面積が算出される。

## 【 0 0 6 9 】

以上、左眼の視点の座標値（ $x_1$  ,  $y_1$ ）の算出（ステップ S 2 1 1 L）及び左眼の瞳孔の面積の算出（ステップ S 2 1 2 L）までの手順について説明した。左眼についてのステップ S 2 0 5 L からステップ S 2 1 2 L と同様の手順が、右眼についても実施される（ステップ S 2 0 5 R からステップ S 2 1 2 R）。ステップ S 2 1 1 R においては右眼の視点の座標値（ $x_2$  ,  $y_2$ ）が算出され、ステップ S 2 1 2 R においては右眼の瞳孔の面積が算出される。右眼の瞳孔の面積の算出までの手順についての説明は省略する。

## 【 0 0 7 0 】

左眼の視点の位置及びその視点のときの左眼の瞳孔の面積が算出され、右眼の視点の位置及びその視点のときの右眼の瞳孔の面積が算出された後、補正部 3 5 8 は、左眼の視点と右眼の視点とを瞳孔パラメータに基づいて補正して合成視点を算出する（ステップ S 2 1 3）。

## 【 0 0 7 1 】

補正部 3 5 8 は、左眼の視点の位置と右眼の視点の位置とを、ステップ S 2 1 2 L , S 2 1 2 R で算出された左眼の瞳孔の面積及び右眼の瞳孔の面積に基づいて補正する。左眼の視点の位置の座標値が（ $x_1$  ,  $y_1$ ）であり、右眼の視点の位置の座標値が（ $x_2$  ,  $y_2$ ）であり、左眼の瞳孔の面積が  $S_L$  であり、右眼の瞳孔の面積が  $S_R$  である場合、補正部 3 5 8 は、以下の（1）式の演算処理を実施して、合成視点（ $x_a$  ,  $y_a$ ）の位置を算出する。

## 【 0 0 7 2 】

$$(x_a, y_a) = (x_1, y_1) \times S_L / (S_R + S_L) + (x_2, y_2) \times S_R / (S_R + S_L)$$

10

20

30

40

50

... (1)

(1)式に示すように、補正部358による補正は、左右の瞳孔の面積 $S_L$ 、 $S_R$ を使って、左眼の視点の位置及び右眼の視点の位置に重みを付与することを含む。補正部358は、抽出された瞳孔パラメータに基づいて、左右の眼球の瞳孔のうち瞳孔パラメータ(瞳孔の面積)が大きい方の眼球の視点の位置に付与する重みを、瞳孔パラメータ(瞳孔の面積)が小さい方の眼球の視点の位置に付与する重みよりも大きくする。例えば、左眼の瞳孔の面積 $S_L$ が右眼の瞳孔の面積 $S_R$ よりも大きい場合、左眼の視点に付与される重みは、右眼の視点に付与される重みよりも大きい。

## 【0073】

瞳孔中心は、画像に現れている瞳孔領域の輪郭上の複数の点を選択され、選択された複数の点を通る円の中心として算出される。一般に、瞳孔の面積が大きいほど、瞳孔が瞼で隠れている割合が少なくなり、瞳孔中心を正確に求めることができる。そのため、左眼と右眼との合成視点を算出する場合、瞳孔の面積が大きい方の眼球の視点に付与する重みを、瞳孔の面積が小さい方の眼球の視点に付与する重みよりも大きくすることにより、合成視点の位置( $x_a$ ,  $y_a$ )を精度良く算出することができる。

## 【0074】

出力制御部356は、算出された座標値( $x_a$ ,  $y_a$ )を有する合成視点を表示部101に表示する(ステップS214)。

## 【0075】

図15は、ステップS214において出力制御部356により表示部101に表示される視点の一例を示す図である。図15に示すように、表示部101には、指標画像C1, C2, C3, C4, C5が表示される。被験者の眼球の動き方を評価するために、左右両方の眼球の視点が、指標画像C1, C2, C3, C4, C5の順番で移動するように、被験者に指示がなされる。

## 【0076】

左右両方の眼球の視点が合成された合成視点を示すプロット点Pが表示部101に表示される。視点の検出及び合成が実施された後、診断支援装置100に設けられた操作入力部が操作者又は被験者によって操作され、その操作によりプロット点Pが表示部101に表示される。視点の検出は、左右カメラから出力されるフレーム同期信号の周期(例えば50[msec]毎)に実施される。したがって、プロット点Pの間隔が大きいほど視点の動きが速いことを示す。

## 【0077】

以上説明したように、本実施形態によれば、左右それぞれの眼球の瞳孔の大きさを示す瞳孔パラメータが抽出され、その瞳孔パラメータに基づいて左の眼球の視点の位置と右の眼球の視点の位置とが補正されて合成視点が算出されるので、合成視点の位置を精度良く算出することができる。

## 【0078】

また、一般に、瞳孔の面積が大きいほど、瞳孔が瞼で隠れている割合が少なくなり、瞳孔中心を正確に求めることができる。そのため、瞳孔パラメータとして瞳孔の面積を採用することにより、合成視点の位置を精度良く算出することができる。

## 【0079】

また、左右の眼球のうち瞳孔の面積が大きいほど、その眼球の視点の位置に付与する重みを大きくすることにより、合成視点の位置は精度良く算出される。

## 【0080】

また、精度良く算出された合成視点が表示部101に表示されることにより、操作者又は被験者は、表示部101を見て視点の動きを正確に把握することができる。

## 【0081】

なお、瞳孔パラメータは、画像において取得される瞳孔の面積でなくてもよい。画像において取得される瞳孔の外形でもよいし、瞳孔の輪郭の円弧部分の長さでもよいし、画像における瞳孔の縦横比でもよい。瞳孔の輪郭の円弧部分が長いことは被験者の瞼が開いて

10

20

30

40

50

いることを意味し、瞳孔の輪郭の円弧部分が短いことは被験者の瞼が閉じていることを意味する。また、瞳孔の横の寸法と縦の寸法とが近似していることは被験者の瞼が開いていることを意味し、瞳孔の横の寸法が縦の寸法よりも大きいことは被験者の瞼が閉じていることを意味する。

(変形例)

瞳孔中心位置と角膜曲率中心位置との距離を算出するキャリブレーション処理は、図9及び図10で説明した方法に限られるものではない。以下では、算出処理の他の例について図16及び図17を用いて説明する。

【0082】

図16は、本変形例の算出処理を説明するための図である。図3から図6及び図9で説明した要素については同一の符号を付し説明を省略する。

10

【0083】

線分1101は、目標位置605と仮想光源位置とを結ぶ線分(第1線分)である。線分1102は、線分1101と平行で、瞳孔中心611と直線613とを結ぶ線分(第2線分)である。本変形例では、以下のように、線分1101、線分1102を用いて瞳孔中心611と角膜曲率中心615との距離616を算出して記憶しておく。

【0084】

図17は、本変形例の算出処理の一例を示すフローチャートである。なお、図17は、左右の眼球のうち一方の眼球についての処理を示す。

【0085】

20

ステップS601からステップS609は、図10のステップS101LからステップS109Lと同様であるため説明を省略する。

【0086】

曲率半径算出部353は、表示部101の画面上の1点に表示される目標画像の中心と、仮想光源位置とを結ぶ線分(図16では線分1101)を算出するとともに、算出した線分の長さ(L1101とする)を算出する(ステップS610)。

【0087】

曲率半径算出部353は、瞳孔中心611を通り、ステップS610で算出した線分と平行な線分(図16では線分1102)を算出するとともに、算出した線分の長さ(L1102とする)を算出する(ステップS611)。

30

【0088】

曲率半径算出部353は、角膜曲率中心615を頂点とし、ステップS610で算出した線分を底辺とする三角形と、角膜曲率中心615を頂点とし、ステップS611で算出した線分を底辺とする三角形とが相似関係にあることに基づき、瞳孔中心611と角膜曲率中心615との間の距離616を算出する(ステップS612)。例えば曲率半径算出部353は、線分1101の長さに対する線分1102の長さの比率と、目標位置605と角膜曲率中心615との間の距離に対する距離616の比率と、が等しくなるように、距離616を算出する。

【0089】

距離616は、以下の(2)式により算出することができる。なおL614は、目標位置605から瞳孔中心611までの距離である。

40

【0090】

$$\text{距離 } 616 = (L614 \times L1102) / (L1101 - L1102) \cdots (2)$$

曲率半径算出部353は、算出した距離616を記憶部150などに記憶する(ステップS613)。記憶された距離は、その後の視点(視線)検出時に、角膜曲率中心を算出するために使用される。

【符号の説明】

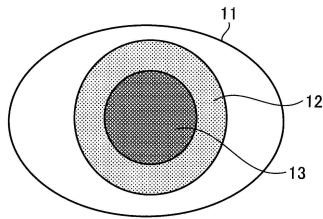
【0091】

11 目、12 虹彩、13 瞳孔、21 目、22 虹彩、23 瞳孔、24 瞼、  
100 診断支援装置、101 表示部、102 a 右カメラ、102 b 左カメラ、

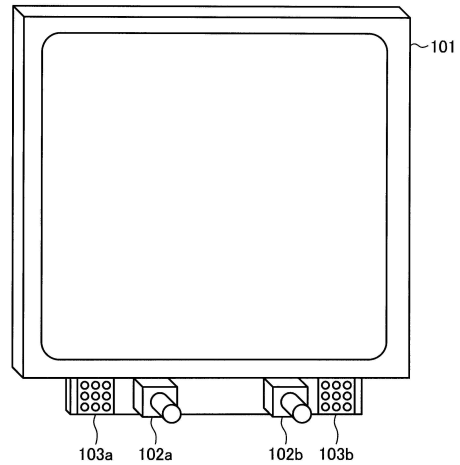
50

- 1 0 3 a LED光源、1 0 3 b LED光源、1 1 1 眼球、1 1 2 瞳孔、
- 1 1 3 角膜反射、1 5 0 記憶部、2 0 1 表示画面、2 0 3 LED光源、
- 2 0 5 スピーカ、3 0 0 制御部、3 0 3 仮想光源、3 1 3 駆動・I F部、
- 3 1 4 カメラI F、3 1 5 カメラI F、3 1 6 LED駆動制御部、
- 3 2 2 スピーカ駆動部、3 5 1 点灯制御部、3 5 2 位置検出部、
- 3 5 3 曲率半径算出部、3 5 4 視線検出部、3 5 5 視点検出部
- 3 5 6 出力制御部、3 5 7 抽出部、3 5 8 判定部、4 0 7 瞳孔中心、
- 4 0 8 角膜反射中心、4 0 9 角膜曲率半径、5 0 5 角膜曲率中心、
- 5 0 9 角膜曲率半径、5 2 3 直線、6 0 5 目標位置、6 0 9 角膜曲率半径、
- 6 1 1 瞳孔中心、6 1 2 角膜反射中心、6 1 3 直線、6 1 4 直線、
- 6 1 5 角膜曲率中心、6 1 6 距離、6 2 1 角膜反射点、6 2 2 角膜反射点、
- 6 2 4 角膜反射点、8 0 5 注視点、8 0 6 注視点、8 1 1 瞳孔中心、
- 8 1 2 角膜反射中心、8 1 3 直線、8 1 4 角膜曲率中心、8 1 5 距離、
- 8 1 6 角膜曲率中心、8 1 7 視線、8 1 8 視線

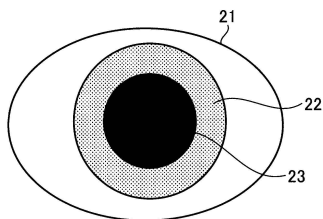
【図1】



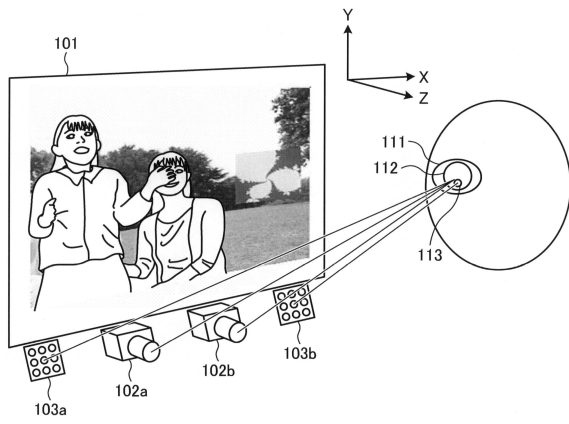
【図3】



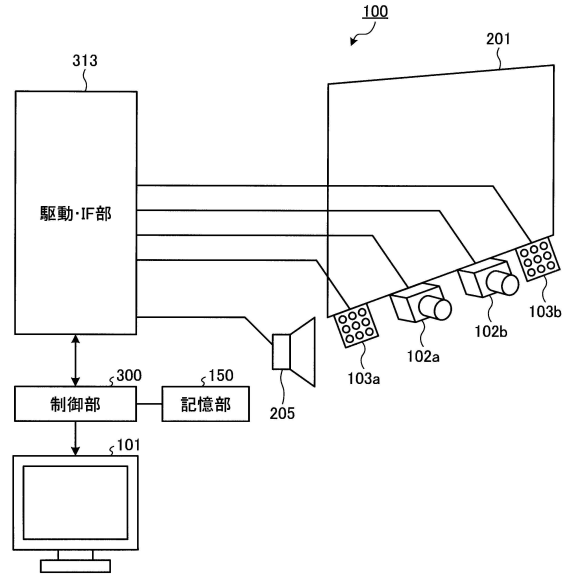
【図2】



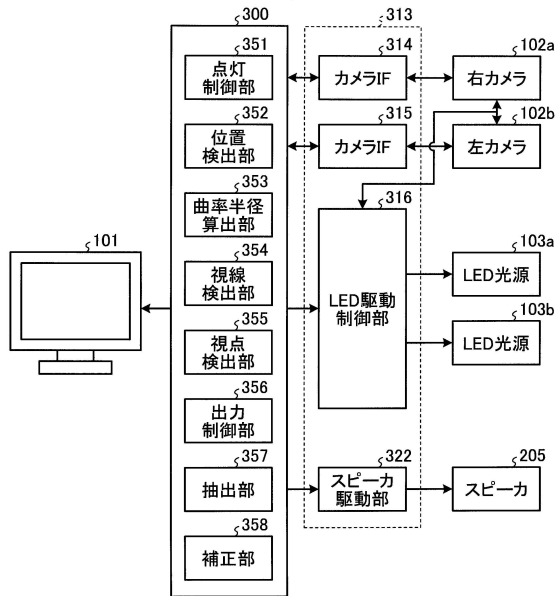
【図4】



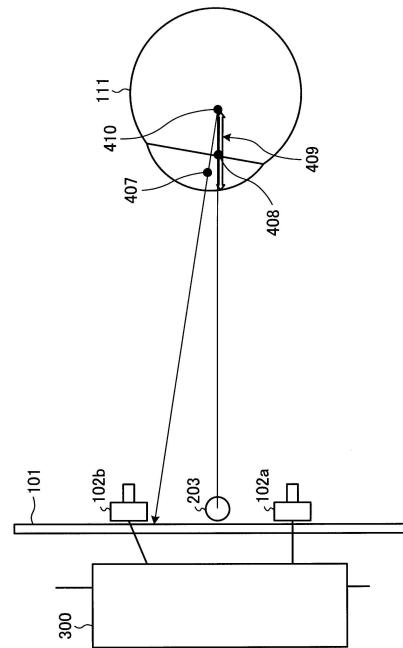
【図5】



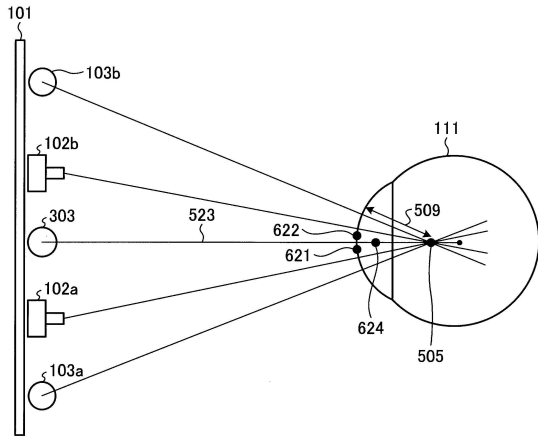
【図6】



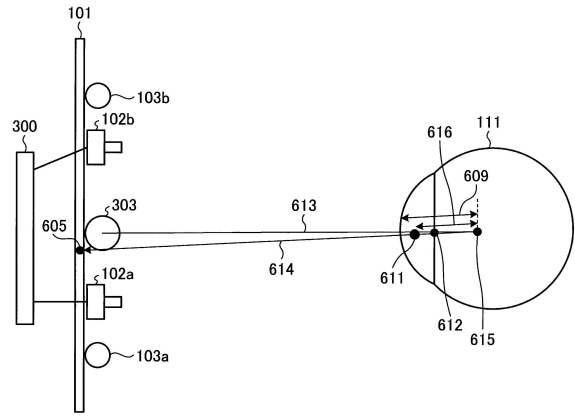
【図7】



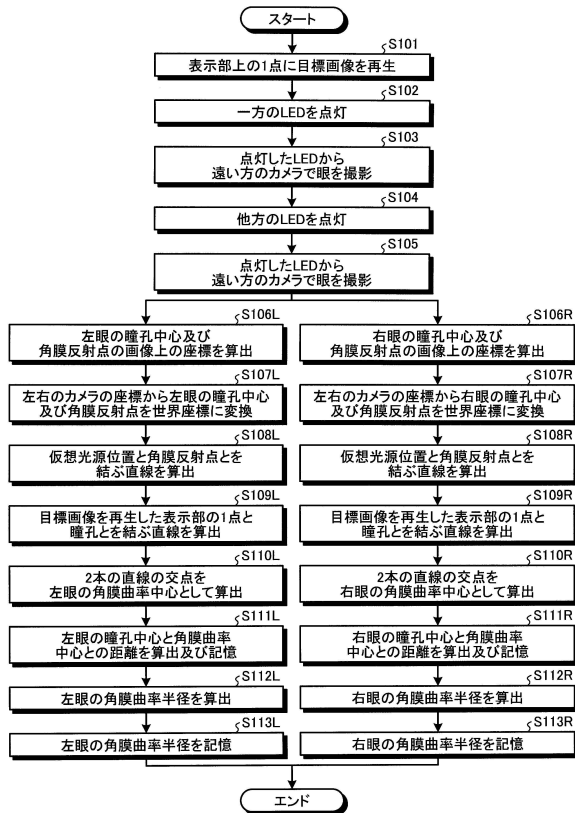
【図8】



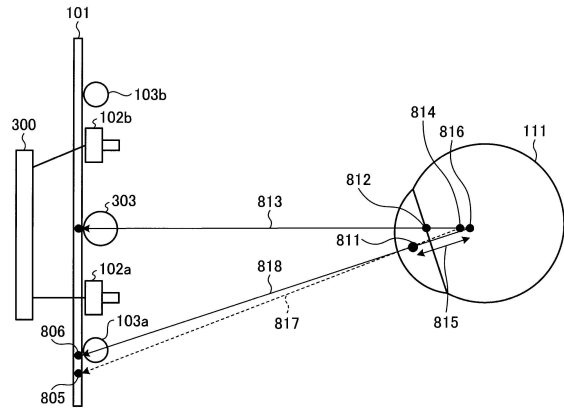
【図9】



【図10】



【図11】

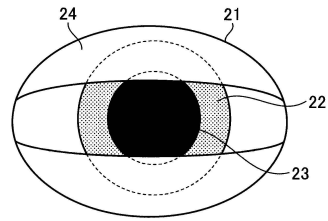




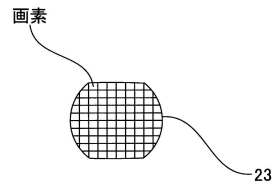
【図12】



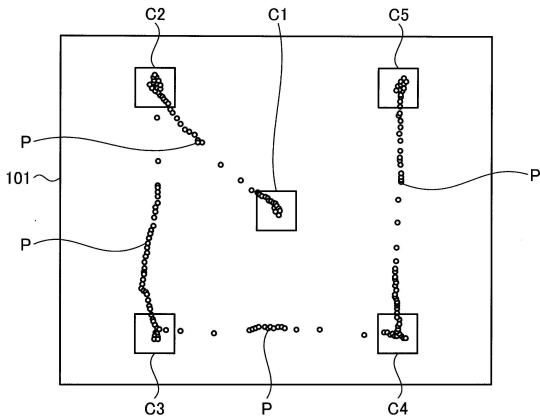
【図13】



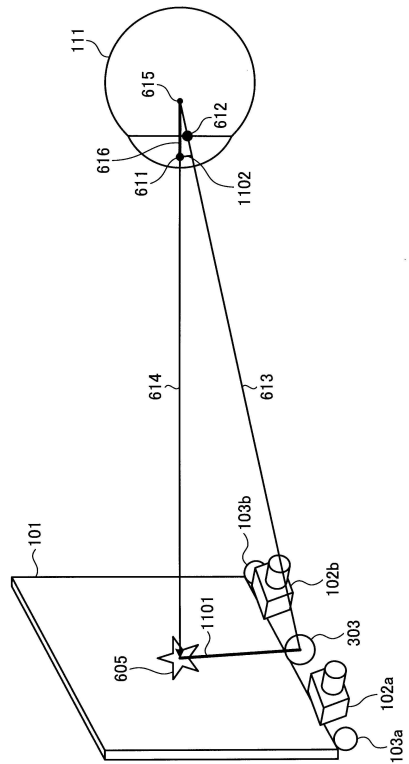
【図14】



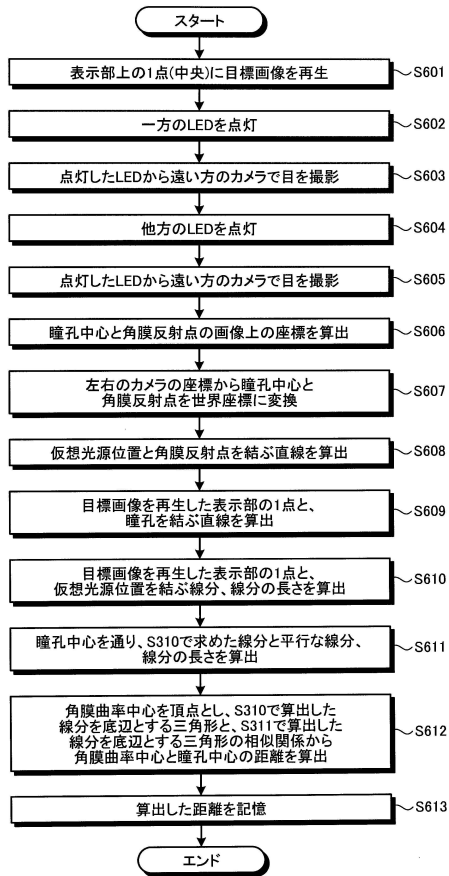
【図15】



【図16】



【図17】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2014-094186(JP,A)  
特開2015-144635(JP,A)  
国際公開第2012/137801(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G06T 7/00 - 7/90