

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6693105号
(P6693105)

(45) 発行日 令和2年5月13日(2020.5.13)

(24) 登録日 令和2年4月20日(2020.4.20)

(51) Int.Cl.		F I			
G06T	7/70	(2017.01)	G06T	7/70	B
A61B	3/113	(2006.01)	A61B	3/113	
G06T	7/00	(2017.01)	G06T	7/00	660A

請求項の数 6 (全 25 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-235180 (P2015-235180)</p> <p>(22) 出願日 平成27年12月1日(2015.12.1)</p> <p>(65) 公開番号 特開2017-102687 (P2017-102687A)</p> <p>(43) 公開日 平成29年6月8日(2017.6.8)</p> <p>審査請求日 平成30年11月12日(2018.11.12)</p>	<p>(73) 特許権者 308036402 株式会社 JVCケンウッド 神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地</p> <p>(74) 代理人 110002147 特許業務法人酒井国際特許事務所</p> <p>(72) 発明者 箱嶋 修二 神奈川県横浜市神奈川区守屋町3丁目12番地</p> <p>審査官 佐藤 実</p>
---	--

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線方向を検出する視線検出部と、
前記視線検出部で検出された前記視線方向から、左右それぞれの眼球の視点を検出する視点検出部と、
左の眼球の視点の第1移動軌跡と、右の眼球の視点の第2移動軌跡と、前記第1移動軌跡と前記第2移動軌跡とで規定される面積とに基づいて、左右それぞれの眼球の視線方向が一致しているか否かを判定する判定部と、
を備える視線検出装置。

【請求項2】

前記視点検出部で検出された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に記載の視線検出装置。

【請求項3】

前記出力制御部は、左右それぞれの眼球の前記視点を異なる態様で前記表示部に表示さ

せる、

請求項 2 に記載の視線検出装置。

【請求項 4】

前記判定部において左右のいずれか一方の眼球が目標方向を向いていないと判定されたとき、

前記出力制御部は、前記目標方向を向いていないと判定された眼球の視点と、前記目標方向を向いていると判定された眼球の視点を異なる態様で前記表示部に表示させる、

請求項 2 に記載の視線検出装置。

【請求項 5】

前記判定部において左右両方の眼球が目標方向を向いていると判定されたとき、

前記出力制御部は、右の眼球の視点と左の眼球の視点が合成された合成視点を前記表示部に表示させる、

請求項 2 に記載の視線検出装置。

【請求項 6】

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とから、左右それぞれの眼球の視線方向を検出するステップと、

左の眼球の視点の第 1 移動軌跡と、右の眼球の視点の第 2 移動軌跡と、前記第 1 移動軌跡と前記第 2 移動軌跡とで規定される面積とに基づいて、左右それぞれの眼球の視線方向が一致しているか否かを判定するステップと、

を含む視線検出方法。

【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。従来においては、角膜曲率半径が左右の眼球で同じ値であり、左右の眼球の視線方向は同じであるとの仮定のもと、視線方向が検出されていた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許第 2 7 3 9 3 3 1 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、従来技術では、角膜曲率半径が左右の眼球で大きく異なる被験者、又は斜視などの影響により左右の眼球の視線方向が大きく異なる被験者について、視線方向を正確に検出することが困難であるという問題があった。

【0005】

本発明は、様々な被験者について視線方向を正確に検出できる視線検出装置及び視線検

10

20

30

40

50

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線方向を検出する視線検出部と、前記視線検出部で検出された前記視線方向から、左右それぞれの眼球の視点を検出する視点検出部と、前記視線検出部で検出された前記視線方向から、左右それぞれの眼球の前記視点を表示部に表示させる出力制御部と、前記視線検出部で検出された前記視線方向から、左右それぞれの眼球が目標方向を向いているか否かを判定する判定部と、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、様々な被験者について視線方向を正確に検出できるという効果を奏する。

【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。

20

【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。

【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。

30

【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。

【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、本実施形態の表示部の表示例を示す図である。

【図14】図14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。

40

【図15】図15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16】図16は、本実施形態の表示部の表示例を示す図である。

【図17】図17は、本実施形態の表示部の表示例を示す図である。

【図18】図18は、本実施形態の表示部の表示例を示す図である。

【図19】図19は、本実施形態の評価方法の一例を示すフローチャートである。

【図20】図20は、本実施形態の評価方法の一例を説明するための模式図である。

【図21】図21は、本実施形態の評価方法の一例を説明するための模式図である。

【図22】図22は、変形例の算出処理を説明するための図である。

【図23】図23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】

50

【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がら詳細に説明する。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斜視など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】

被験者によっては、角膜曲率半径が左右の眼球で大きく異なっていたり、斜視などの影響により左右の眼球の視線方向が大きく異なっていたりする場合がある。本実施形態の診断支援装置は、左右の眼球の角膜曲率半径を個別に求め、更にモニタ画面に対する被験者の左右の眼球の視点を個別に検出することで、様々な被験者についての視点検出を適切に実施可能である。

10

【0011】

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。

【0012】

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。

20

【0013】

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。

【0014】

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。

30

【0015】

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。

40

【0016】

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。

【0017】

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。

【0018】

50

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]の近赤外線を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, 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。

10

【0019】

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。

20

【0020】

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。

【0021】

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部とは一体でもよいし、別体でもよい。

30

【0022】

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。

【0023】

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。

40

【0024】

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。

【0025】

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、

50

診断のための対象画像等、各種情報を表示する。

【 0 0 2 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 6 に示すように、制御部 3 0 0 には、表示部 1 0 1 と、駆動・ I F 部 3 1 3 とが接続される。駆動・ I F 部 3 1 3 は、カメラ I F 3 1 4 , 3 1 5 と、 L E D 駆動制御部 3 1 6 と、スピーカ駆動部 3 2 2 と、を備える。

【 0 0 2 7 】

駆動・ I F 部 3 1 3 には、カメラ I F 3 1 4 , 3 1 5 を介して、それぞれ、右カメラ 1 0 2 a 及び左カメラ 1 0 2 b が接続される。駆動・ I F 部 3 1 3 がこれらのカメラを駆動することにより、被験者を撮像する。右カメラ 1 0 2 a 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 1 0 2 b と L E D 駆動制御部 3 1 6 とに入力される。これにより、 L E D 光源 1 0 3 a , 1 0 3 b 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。

10

【 0 0 2 8 】

スピーカ駆動部 3 2 2 は、スピーカ 2 0 5 を駆動する。なお、診断支援装置 1 0 0 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 I F ）を備えてもよい。また、プリンタを診断支援装置 1 0 0 の内部に備えるように構成してもよい。

【 0 0 2 9 】

制御部 3 0 0 は、診断支援装置 1 0 0 全体を制御する。制御部 3 0 0 は、点灯制御部 3 5 1 と、位置検出部 3 5 2 と、曲率半径算出部 3 5 3 と、視線検出部 3 5 4 と、視点検出部 3 5 5 と、出力制御部 3 5 6 と、評価部 3 5 7 と、判定部 3 5 8 と、を備えている。

20

【 0 0 3 0 】

制御部 3 0 0 に含まれる各要素（点灯制御部 3 5 1、位置検出部 3 5 2、曲率半径算出部 3 5 3、視線検出部 3 5 4、視点検出部 3 5 5、出力制御部 3 5 6、評価部 3 5 7、及び、判定部 3 5 8）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。

【 0 0 3 1 】

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 C D - R O M (Compact Disk Read Only Memory)、フレキシブルディスク (F D)、C D - R (Compact Disk Recordable)、D V D (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、R O M 等に予め組み込んで提供するように構成してもよい。

30

【 0 0 3 2 】

点灯制御部 3 5 1 は、 L E D 駆動制御部 3 1 6 を用いて、 L E D 光源 1 0 3 a , 1 0 3 b の点灯を制御する。例えば点灯制御部 3 5 1 は、 L E D 光源 1 0 3 a , 1 0 3 b 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。

40

【 0 0 3 3 】

位置検出部 3 5 2 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 3 5 2 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 3 5 2 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 3 5 2 は、角膜反射領域に基づ

50

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。

【0034】

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。

【0035】

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。

10

【0036】

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。

【0037】

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。

20

【0038】

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。

【0039】

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。

30

【0040】

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。

【0041】

視点検出部355は、視線検出部354で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2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。

40

【0042】

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、被験者の左右それぞれの眼球の視線方向を表示部101に表示させる。出力制御部356は、視線検出部354で検出された視線方向を用いて視点検出部355により検出された左右それぞれの眼球の視点を表示

50

部 1 0 1 に表示させる。また、出力制御部 3 5 6 は、表示部 1 0 1 上の目標位置に目標画像を出力させる。また、出力制御部 3 5 6 は、診断画像、及び、評価部 3 5 7 による評価結果などの表示部 1 0 1 に対する出力を制御する。

【 0 0 4 3 】

評価部 3 5 7 は、左右それぞれの眼球の視点の移動軌跡から、左右の眼球それぞれの状態を評価する。例えば、評価部 3 5 7 は、左右それぞれの眼球の視点の移動軌跡から、左右の眼球の動き方を評価したり、左右の眼球のいずれか一方が斜視であるか否かを評価したりする。

【 0 0 4 4 】

判定部 3 5 8 は、視線検出部 3 5 4 で検出された視線方向又は視点検出部 3 5 5 で検出された視点から、左右それぞれの眼球が目標方向を向いているか否かを判定する。例えば、判定部 3 5 8 は、左の眼球の視点の第 1 移動軌跡及び右の眼球の視点の第 2 移動軌跡の少なくとも一方に基づいて、左右の眼球が目標方向を向いているか否かを判定する。ここでいう目標方向とは、後述する目標軌跡に沿って左右の眼球が動いている方向のことを指す。

【 0 0 4 5 】

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 1 0 3 a , 1 0 3 b の代わりに、1 つの LED 光源 2 0 3 が用いられる。

【 0 0 4 6 】

瞳孔中心 4 0 7 及び角膜反射中心 4 0 8 は、それぞれ、1 つの LED 光源 2 0 3 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 4 0 8 は、LED 光源 2 0 3 と角膜曲率中心 4 1 0 とを結んだ直線上に存在し、その位置は角膜曲率中心 4 1 0 と角膜表面との中間点に現れる。角膜曲率半径 4 0 9 は、角膜表面から角膜曲率中心 4 1 0 までの距離を表す。LED 光源 2 0 3 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 ヲ所に配置されたものであっても構わない。

【 0 0 4 7 】

図 8 は、本実施形態の診断支援装置 1 0 0 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。

【 0 0 4 8 】

角膜反射点 6 2 1 は左カメラ 1 0 2 b 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 6 2 2 は右カメラ 1 0 2 a 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 1 0 2 a と右カメラ用の LED 光源 1 0 3 b、及び、左カメラ 1 0 2 b と左カメラ用の LED 光源 1 0 3 a は、例えば右カメラ 1 0 2 a と左カメラ 1 0 2 b 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 1 0 2 a と左カメラ 1 0 2 b の中間位置（仮想光源位置）に仮想光源 3 0 3 があるとみなすことができる。角膜反射点 6 2 4 は、仮想光源 3 0 3 に対応する角膜反射点を表す。角膜反射点 6 2 1 の座標値と角膜反射点 6 2 2 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 6 2 4 の世界座標値が算出される。仮想光源 3 0 3 と角膜反射点 6 2 4 を結ぶ直線 5 2 3 上に角膜曲率中心 5 0 5 が存在する。角膜曲率中心 5 0 5 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 5 0 9 が算出される。このように、図 7 で表した光源が 1 ヲ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。

【 0 0 4 9 】

なお右カメラ 1 0 2 a と左カメラ 1 0 2 b との位置関係、及び、LED 光源 1 0 3 a と LED 光源 1 0 3 b 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 1 0 2 a と左カメラ 1 0 2 b と、LED 光源 1 0 3 a と LED 光源 1 0 3 b とは同一直線上になくてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

図 9 は、視線検出又は視点検出を行う前に、角膜曲率中心 6 1 5 の位置、及び、瞳孔中心 6 1 1 の位置と角膜曲率中心 6 1 5 の位置との距離 6 1 6 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。

【 0 0 5 1 】

目標位置 6 0 5 は、表示部 1 0 1 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 1 0 1 の画面の中央位置としている。直線 6 1 3 は、仮想光源 3 0 3 と角膜反射中心 6 1 2 とを結ぶ直線である。直線 6 1 4 は、被験者が見つめる注視点である目標位置 6 0 5 と瞳孔中心 6 1 1 とを結ぶ直線である。角膜曲率中心 6 1 5 は、直線 6 1 3 と直線 6 1 4 との交点である。角膜曲率半径 6 0 9 は、角膜表面と角膜曲率中心 6 1 5 との距離である。曲率半径算出部 3 5 3 は、瞳孔中心 6 1 1 と角膜曲率中心 6 1 5 との距離 6 1 6 及び角膜曲率半径 6 0 9 を算出して記憶部 1 5 0 に記憶する。

【 0 0 5 2 】

図 1 0 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 3 5 6 は、表示部 1 0 1 の画面上の 1 点に目標画像を再生し（ステップ S 1 0 1 ）、被験者にその 1 点を注視させる。次に、点灯制御部 3 5 1 は、LED 駆動制御部 3 1 6 を用いて LED 光源 1 0 3 a , 1 0 3 b のうち一方を被験者の眼に向けて点灯させる（ステップ 1 0 2 ）。制御部 3 0 0 は、左右カメラ（右カメラ 1 0 2 a , 左カメラ 1 0 2 b ）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 S 1 0 3 ）。次に、点灯制御部 3 5 1 は、LED 光源 1 0 3 a , 1 0 3 b のうち他方を被験者の眼に向けて点灯させる（ステップ S 1 0 4 ）。制御部 3 0 0 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 S 1 0 5 ）。

【 0 0 5 3 】

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 4 】

ステップ S 1 0 5 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 5 】

LED 光源 1 0 3 a 又は LED 光源 1 0 3 b 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 3 5 2 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 3 5 2 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 3 5 2 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 3 5 2 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 S 1 0 6 L ）。

【 0 0 5 6 】

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 7 】

10

20

30

40

50

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離を算出して記憶部 150 に記憶する（ステップ S111L）。また、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 S112L）。

10

【0058】

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。

20

【0059】

以上、左眼の角膜曲率半径の算出までの手順について説明した。左眼についてのステップ S106L からステップ S112L と同様の手順が、右眼についても実施され（ステップ S106R からステップ S112R）、右眼の角膜曲率半径が算出される。右眼の角膜曲率半径の算出までの手順についての説明は省略する。

【0060】

左眼の角膜曲率半径が算出され、右眼の角膜曲率半径が算出された後、曲率半径算出部 353 は、左右の眼球の角膜曲率半径を平均化する（ステップ S113）。すなわち、左眼の角膜曲率半径を r_1 、右眼の角膜曲率半径を r_2 とした場合、曲率半径算出部 353 は、 $(r_1 + r_2) / 2$ の演算を実施して、平均化された角膜曲率半径 r_a を算出する。曲率半径算出部 353 は、平均化された角膜曲率半径 r_a を記憶部 150 に記憶する（ステップ S114）。

30

【0061】

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。

【0062】

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。

40

【0063】

50

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S201からステップS204までの処理が実施される。ステップS201からステップS204は、図10のステップS102からステップS105と同様であるため説明を省略する。

【0064】

ステップS204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S205LからステップS207Lまでの処理は、図10のステップS106LからステップS108Lまでの処理と同様であるため説明を省略する。

【0065】

曲率半径算出部353は、ステップS207Lで算出した直線上であって、図10のステップS114で記憶部150に記憶した角膜曲率半径 r_a 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(ステップS208L)。

【0066】

視線検出部354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S209L)。このベクトルが、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355は、この視線方向と表示部101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S210L)。この値が、被験者の左眼が注視する表示部101上の1点を世界座標で表した座標値である。視点検出部355は、求めた三次元世界座標値を、表示部101の二次元座標系で表される座標値(x, y)に変換する(ステップS211L)。これにより、被験者の左眼が見つめる表示部101上の視点(注視点)が算出される。

【0067】

以上、左眼の視点の算出までの手順について説明した。左眼についてのステップS205LからステップS211Lと同様の手順が、右眼についても実施され(ステップS205RからステップS211R)、右眼の視点の算出までの手順についての説明は省略する。

【0068】

左眼の視線方向及び視点が算出され、右眼の視線方向及び視点が算出された後、視点検出部355は、左右の眼球の視点を平均化する(ステップS212)。すなわち、左眼の注視点の座標値が(x_1, y_1)であり、右眼の注視点の座標値が(x_2, y_2)である場合、視点検出部355は、 $(x_1 + x_2) / 2$ の演算を実施して平均化されたX座標 x_a を算出し、 $(y_1 + y_2) / 2$ の演算を実施して平均化されたY座標 y_a を算出する。出力制御部356は、平均化された視点の座標値(x_a, y_a)を表示部101に表示する(ステップS213)。

【0069】

図13は、ステップS213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13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。

【0070】

左右両方の眼球の平均化された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の間隔が大きいかほど視点の動きが速いことを示す。

【0071】

10

20

30

40

50

図10及び図12を参照して説明した処理は、左右の眼球の角膜曲率半径を平均化し、左右の眼球の視線方向又は視点を平均化している。角膜曲率半径が左右の眼球で同じ値であるとの仮定のもと左右の眼球の角膜曲率半径が平均化され、左右の眼球の視線方向は同じであるとの仮定のもと左右の眼球の視点が平均化される。角膜曲率半径が左右の眼球でほぼ等しい被験者の場合、又は左右の眼球の視線方向がほぼ等しい被験者の場合には、図10及び図12を参照して説明した処理でも視線方向を正確に検出することが可能である。しかし、角膜曲率半径(角膜曲率中心の位置)が左右の眼球で大きく異なる被験者、又は斜視などの影響により左右の眼球の視線方向が大きく異なる被験者について、左右の眼球の角膜曲率半径を平均化したり、左右の眼球の視線方向又は視点を平均化したりすると、正しい視線方向又は視点を検出することが困難となる。

10

【0072】

そこで、本実施形態においては、制御部300は、左眼の角膜曲率半径と右眼の角膜曲率半径とを記憶部150に個別に記憶し、左眼の視線方向又は視点と右眼の視線方向又は視点とを表示部101に個別に表示させる。

【0073】

図14は、左右の眼球の角膜曲率半径を個別に記憶部150に記憶させるとき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15は、左右の眼球の視点を表示部101に個別に表示させるときの視線検出処理の一例を示すフローチャートである。

【0074】

まず、図14を参照して、本実施形態に係るキャリブレーション処理について説明する。ステップS301からステップS305までの処理は、図10を参照して説明したステップS101からステップS105までの処理と同様であるため説明を省略する。左眼についてのステップS306LからステップS312Lまでの処理は、図10を参照して説明したステップS106LからステップS112Lまでの処理と同様であるため説明を省略する。右眼についてのステップS306RからステップS312Rまでの処理は、図10を参照して説明したステップS106RからステップS112Rまでの処理と同様であるため説明を省略する。

20

【0075】

曲率半径算出部353は、被験者の左眼の角膜曲率半径 r_1 を算出し(ステップS312L)、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S313L)。また、曲率半径算出部353は、被験者の右眼の角膜曲率半径 r_2 を算出し(ステップS312R)、算出した右眼の角膜曲率半径 r_2 を記憶部150に記憶する(ステップS313R)。

30

【0076】

次に、図15を参照して、本実施形態に係る視線検出処理について説明する。ステップS401からステップS404までの処理は、図12を参照して説明したステップS201からステップS204までの処理と同様であるため説明を省略する。左眼についてのステップS405LからステップS407Lまでの処理は、図12を参照して説明したステップS205LからステップS207Lまでの処理と同様であるため説明を省略する。右眼についてのステップS405RからステップS407Rまでの処理は、図12を参照して説明したステップS205RからステップS207Rまでの処理と同様であるため説明を省略する。

40

【0077】

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14のステップS313L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S408L)。

【0078】

視線検出部354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S409L)。視点検出部355は、左眼の視線ベクトルと表示部101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S410L)。視点検出部355は、

50

求めた三次元世界座標値を、表示部 101 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 101 上の視点の位置が算出される (ステップ S411L)。出力制御部 356 は、ステップ S411L で算出された左眼の視点の座標値 (x_1, y_1) を表示部 101 に表示する (ステップ S412L)。

【0079】

また、視線検出部 354 は、被験者の右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 14 のステップ S313R で記憶部 150 に記憶した角膜曲率半径 r_2 に基づいて、被験者の右眼の角膜曲率中心を算出する (ステップ S408R)。

【0080】

視線検出部 354 は、右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 S409R)。視点検出部 355 は、右眼の視線ベクトルと表示部 101 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 S410R)。視点検出部 355 は、求めた三次元世界座標値を、表示部 101 の二次元座標系で表される座標値 (x_2, y_2) に変換する。これにより、被験者の右眼が見つめる表示部 101 上の視点の位置が算出される (ステップ S411R)。出力制御部 356 は、ステップ S411R で算出された右眼の視点の座標値 (x_2, y_2) を表示部 101 に表示する (ステップ S412R)。

【0081】

図 16 は、ステップ S412L, S412R 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。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。

【0082】

視点の検出が実施された後、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、その操作により左眼の視点を示すプロット点 P1 と、右眼の視点を示すプロット点 P2 とが、表示部 101 に別々に表示される。

【0083】

図 16 に示すように、出力制御部 356 は、左右それぞれの眼球の視点を示すプロット点 P1, P2 を異なる態様で表示部 101 に表示させる。表示部 101 に表示されるプロット点 P1, P2 の態様は、色、形、及び大きさの少なくとも一つを含む。例えば、プロット点 P1 が「青」で表示され、プロット点 P2 が「グレー」で表示されてもよいし、プロット点 P1 が「 \square 」で表示され、プロット点 P2 が「 \times 」で表示されてもよいし、プロット点 P1 が大きい「 \square 」で表示され、プロット点 P2 が小さい「 \square 」で表示されてもよい。

【0084】

また、図 17 に示すように、出力制御部 356 は、左眼の視点を示すプロット点 P1 と右眼の視点を示すプロット点 P2 との表示態様を切り替えることができる。例えば、図 16 に示した例において、プロット点 P1 が「青」で表示され、プロット点 P2 が「グレー」で表示されている場合、出力制御部 356 は、図 17 に示すように、プロット点 P1 を「グレー」で表示し、プロット点 P2 を「青」で表示することができる。同様に、出力制御部 356 は、プロット点 P1 が「 \square 」で表示され、プロット点 P2 が「 \times 」で表示されている状態から、プロット点 P1 が「 \times 」で表示され、プロット点 P2 が「 \square 」で表示されている状態へ切り替えることができる。

【0085】

左右それぞれの眼球の視点が異なる態様で表示部 101 に表示されることにより、操作者又は被験者は、どちらのプロット点が左眼の視点又は右眼の視点を表しているのかを容易に知ることができる。

【0086】

図 18 は、本実施形態に係る表示部 101 の一部を拡大した図である。例えば、斜視などの影響により左右の眼球の視線方向が大きく異なる被験者においては、図 18 に示すよ

10

20

30

40

50

うに、左眼の視点を示すプロット点 P 1 の第 1 移動軌跡 T 1 と、右眼の視点を示すプロット点 P 2 の第 2 移動軌跡 T 2 とが大きく異なる可能性が高い。図 1 8 に示すように、例えば指標画像 C 2 から指標画像 C 3 に視点が移動するように被験者が指示された場合において、右眼が斜視である場合、斜視でない方の左眼の注視点を示すプロット点 P 1 の第 1 移動軌跡 T 1 は、指標画像 C 2 と指標画像 C 3 とを結ぶ直線状の目標軌跡 T r に沿って移動するのに対し、斜視である方の右眼の注視点を示すプロット点 P 2 の第 2 移動軌跡 T 2 は、目標軌跡 T r から大きく逸脱する可能性が高い。第 1 移動軌跡 T 1 と第 2 移動軌跡 T 2 とが大きく異なる被験者について左右の眼球の注視点が平均化された注視点 P a が算出されると、その注視点 P a の移動軌跡 T a は、正しい第 1 移動軌跡 T 1 から外れてしまい、正しい視線方向又は視点を検出することが困難となる。

10

【 0 0 8 7 】

また、例えば、右眼が斜視である場合であって、表示画面の右側に物体 A、左側に物体 B が表示されたとき、右眼の視点が物体 A 付近にあるときには、左眼の視点は表示画面上において物体 A より左側に存在することとなる。同様に、左眼の視点が物体 B 付近にあるときには、右眼の視点は表示画面上において物体 B より右側に存在することとなる。それら視点の位置を平均化すると、平均化された視点は物体 A、B 上に存在しないこととなり、正確な診断を実施できないこととなる。

【 0 0 8 8 】

本実施形態によれば、左右それぞれの眼球の角膜曲率半径が記憶部 1 5 0 に記憶され、視線方向又は視点の位置が表示部 1 0 1 に個別に表示される。そのため、正確な診断を実施することができる。

20

【 0 0 8 9 】

次に、本実施形態に係る左右の眼球のそれぞれの状態の評価方法について説明する。図 1 9 は、本実施形態に係る評価方法の一例を示すフローチャートである。図 2 0 は、本実施形態に係る評価方法の一例を説明するための模式図である。

【 0 0 9 0 】

視点検出部 3 5 5 は、左眼の視点を示すプロット点 P 1 の第 1 移動軌跡 T 1 と、右眼の視点を示すプロット点 P 2 の第 2 移動軌跡 T 2 とのそれぞれを算出する（ステップ S 5 0 1）。視点検出部 3 5 5 は、予め決められた期間又は視点の移動距離における、複数のプロット点 P 1 を抽出し、それら複数のプロット点 P 1 をフィッティング処理して、第 1 移動軌跡 T 1 を算出する。同様に、視点検出部 3 5 5 は、抽出した複数のプロット点 P 2 をフィッティング処理して、第 2 移動軌跡 T 2 を算出する。

30

【 0 0 9 1 】

例えば図 2 0 に示すように、予め決められた期間又は視点の移動距離において、7つのプロット点 p 1 が抽出され、7つのプロット点 p 2 が抽出された場合、視点検出部 3 5 5 は、7つのプロット点 P 1 をフィッティング処理して第 1 移動軌跡 T 1 を示す曲線を求め、7つのプロット点 P 2 をフィッティング処理して第 2 移動軌跡 T 2 を示す曲線を求める。

【 0 0 9 2 】

視点検出部 3 5 5 は、第 1 移動軌跡 T 1 と第 2 移動軌跡 T 2 とで規定される面積 A T を算出する（ステップ S 5 0 2）。具体的には、視点検出部 3 5 5 は、予め決められた期間又は移動距離の始点に最も近いプロット点 P 1 とプロット点 P 2 とを結ぶ直線と、その期間又は移動距離の終点に最も近いプロット点 P 1 とプロット点 P 2 とを結ぶ直線と、第 1 移動軌跡 T 1 を示す曲線と、第 2 移動軌跡 T 2 を示す曲線とで囲まれた領域の面積 A T を算出する。

40

【 0 0 9 3 】

判定部 3 5 8 は、ステップ S 5 0 2 で算出された面積 A T が予め決められている閾値以上であるか否かを判定する（ステップ S 5 0 3）。

【 0 0 9 4 】

ステップ S 5 0 3 において、面積 A T は閾値以上であると判定された場合（ステップ S

50

503: Yes)、判定部358は、左右の眼球の少なくとも一方が目標方向を向いていないと判定する。

【0095】

評価部357は、左右それぞれの眼球の視点の移動軌跡 T_1 、 T_2 から、左右の眼球それぞれの状態を評価する。評価部357は、第1移動軌跡 T_1 と第2移動軌跡 T_2 と目標移動軌跡 T_r とを比べて、目標移動軌跡 T_r からの第1移動軌跡 T_1 の逸脱量(シフト量)が小さく、目標移動軌跡 T_r からの第2移動軌跡 T_2 の逸脱量が大きく、且つ、面積 A_T が閾値以上である場合、評価部357は、右眼の状態が斜視のような何らかの非正常状態であると評価する(ステップS504)。

【0096】

判定部358において左右のいずれか一方の眼球が目標方向を向いていないと判定されたとき、出力制御部356は、左眼の視点を示すプロット点 P_1 と右眼の視点を示すプロット点 P_2 とを別々に表示部101に表示させる。

【0097】

本実施形態においては、判定部358において左右のいずれか一方の眼球が目標方向を向いていないと判定されたとき、出力制御部356は、目標方向を向いていないと判定された眼球の視線方向又は視点と、目標方向を向いていると判定された眼球の視線方向又は視点とを異なる態様で表示部101に表示させる(ステップS505)。例えば、左眼が目標方向を向いており、右眼が目標方向を向いていない(斜視である)と判定された場合、出力制御部356は、プロット点 P_1 を高い明度で表示したり、プロット点 P_1 を大きく表示したり、プロット点 P_1 を連続点灯表示させたりして、強調表示させ、プロット点 P_2 を低い明度で表示したり、プロット点 P_2 を小さく表示したり、プロット点 P_2 を点滅表示させたりすることができる。また、出力制御部356は、プロット点 P_1 を表示し、プロット点 P_2 を表示しないようにしてもよい。

【0098】

ステップS503において、面積 A_T は閾値よりも小さいと判定された場合(ステップS503: No)、判定部358は、左右両方の眼球が目標方向を向いていると判定する。すなわち、判定部358は、左眼の視線方向と右眼の視線方向とは一致していると判定する。

【0099】

評価部357は、第1移動軌跡 T_1 と第2移動軌跡 T_2 と目標移動軌跡 T_r とを比べて、目標移動軌跡 T_r からの第1移動軌跡 T_1 の逸脱量及び第2移動軌跡 T_2 の逸脱量が小さく、且つ、面積 A_T が閾値よりも小さい場合、評価部357は、被験者は斜視ではなく、左右それぞれの眼球は正常状態であると評価する(ステップS506)。

【0100】

判定部358において左右両方の眼球が目標方向を向いていると判定されたとき、出力制御部356は、左の眼球の視線方向と左の眼球の視線方向とが合成された合成視線方向を表示部101に表示させる(ステップS507)。すなわち、本実施形態においては、被験者が斜視ではないと判定されたとき、出力制御部356は、左眼の視点と右眼の視点を別々に表示するのではなく、図13等を参照して説明したように、右の眼球の視点の位置と左の眼球の視点の位置とを平均化し、右の眼球の視線方向と左の眼球の視線方向とが合成された合成視線方向を表示部101に表示させる。

【0101】

なお、判定部358において左右両方の眼球が目標方向を向いていると判定されたときにおいても、出力制御部356は、左の眼球の視線方向又は視点と右の眼球の視線方向又は視点とを別々に表示部101に表示させてもよい。

【0102】

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角膜曲率半径が算出されて別々に記憶部150に記憶され、左右それぞれの眼球の視線方向が検出されて別々に表示部101に表示される。これにより、左右の眼球の視線方向が大きく異なる被験者

10

20

30

40

50

及び左右の眼球の視線方向がほぼ等しい被験者の両方について、視線方向を正確に検出することができる。

【0103】

また、本実施形態によれば、左眼の視線方向又は視点と、右眼の視点方向又は視点との両方が表示部101に表示される。したがって、操作者又は被験者は、表示部101を見て左眼の状態及び右眼の状態をそれぞれ把握することができる。

【0104】

また、本実施形態においては、左眼の視点と右眼の視点とが表示部101において異なる態様で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、左眼の視点と右眼の視点とを容易に区別することができる。

【0105】

また、本実施形態においては、左眼の視点の第1移動軌跡T1と右眼の視点の第2移動軌跡T2とがそれぞれ算出されることにより、左眼の状態と右眼の状態とを個別に評価することができる。

【0106】

また、本実施形態においては、左眼の視線方向及び右眼の視線方向が別々に検出されることにより、左右それぞれの眼球が目標方向に向いているか否かを判定することができる。左右のいずれか一方の眼球が目標方向を向いていないと判定されたとき、目標方向を向いていないと判定された眼球の視線方向と、目標方向を向いていると判定された眼球の視線方向とを異なる態様で表示部101に表示させる。これにより、操作者又は被験者は、表示部101を見て左眼及び右眼のうちどちらの眼が目標方向を向いていないのかを容易に把握することができる。また、目標方向を向いていると判定された方の眼の視点を強調表示したり、目標方向を向いていないと判定された方の眼の視点を表示しないようにしたりすることにより、操作者又は被験者は、表示部101を見て正常な状態の方の眼の視点を円滑に把握することができる。

【0107】

また、本実施形態においては、左右両方の眼球が目標方向を向いていると判定されたときには、右の眼球の視線方向と左の眼球の視線方向とが合成された合成視線方向（平均化された視点）が表示部101に表示される。これにより、操作者又は被験者は、斜視ではない被験者の視線の動きを把握することができる。

【0108】

また、本実施形態においては、左眼の視点の第1移動軌跡T1と、右眼の視点の第2移動軌跡T2と、第1移動軌跡T1と第2移動軌跡T2とで規定される面積ATとに基づいて、左右両方の眼球が目標方向を向いているか否かを正確に判定することができる。

【0109】

なお、本実施形態においては、被験者が斜視であるか否かを評価する例について主に説明した。被験者が斜視でない場合においても、評価部357は、左右それぞれの眼球の視点の移動軌跡から、左右の眼球それぞれの状態を評価することができる。例えば図21に示すように、評価部357は、プロット点P1からその隣のプロット点P1へ向かうベクトルに基づいて、左眼の動き方を評価することができるし、プロット点P2からその隣のプロット点P2へ向かうベクトルに基づいて、右眼の動き方を評価することができる。プロット点P1とプロット点P2との両方が表示されるので、左眼の動き方と右眼の動き方とを別々に評価することができる。また、左眼の視点の動き及び右眼の視点の動きの少なくとも一方がぶれてしまい、図21に示すように、第1移動軌跡T1と第2移動軌跡T2とが交差する場合がある。また、左右の眼のまばたきの長さの違い又はタイミングの違いにより、所定の期間又は視線の移動距離において、取得されるプロット点の数が左眼と右眼とで異なる可能性がある。その場合、被験者の視点は、第1移動軌跡T1の一部と第2移動軌跡T2の一部とを含む直線状のラインTsに沿って動いたと評価されてもよい。

【0110】

(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22及び図23を用いて説明する。

【0111】

図22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。

【0112】

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。

【0113】

図23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23は、左右の眼球のうち一方の眼球についての処理を示す。

【0114】

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。

【0115】

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22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）。

【0116】

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22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）。

【0117】

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。

【0118】

距離616は、以下の(1)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。

$$\text{距離}616 = (L614 \times L1102) / (L1101 - L1102) \cdots (1)$$

【0119】

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】

【0120】

- 11 目
- 12 虹彩
- 13 瞳孔
- 21 目
- 22 虹彩
- 23 瞳孔
- 100 診断支援装置

10

20

30

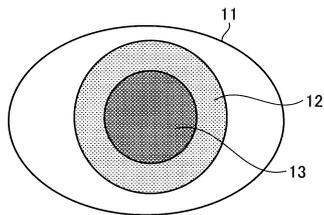
40

50

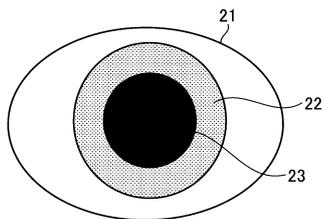
1 0 1	表示部	
1 0 2 a	右カメラ	
1 0 2 b	左カメラ	
1 0 3 a	LED光源	
1 0 3 b	LED光源	
1 1 1	眼球	
1 1 2	瞳孔	
1 1 3	角膜反射	
1 5 0	記憶部	
2 0 1	表示画面	10
2 0 3	LED光源	
2 0 5	スピーカ	
3 0 0	制御部	
3 0 3	仮想光源	
3 1 3	駆動・IF部	
3 1 4	カメラIF	
3 1 5	カメラIF	
3 1 6	LED駆動制御部	
3 2 2	スピーカ駆動部	
3 5 1	点灯制御部	20
3 5 2	位置検出部	
3 5 3	曲率半径算出部	
3 5 4	視線検出部	
3 5 5	視点検出部	
3 5 6	出力制御部	
3 5 7	評価部	
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	30
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	40
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	50

- 8 1 5 距離
- 8 1 6 角膜曲率中心
- 8 1 7 視線
- 8 1 8 視線

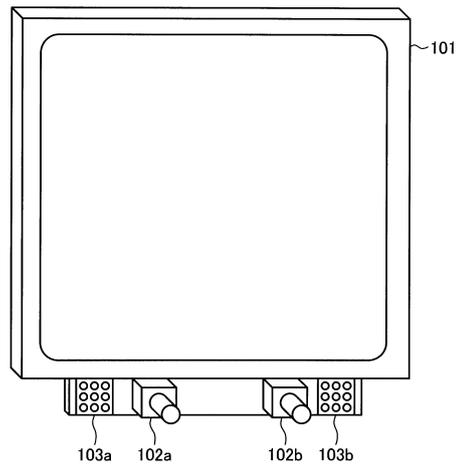
【 図 1 】



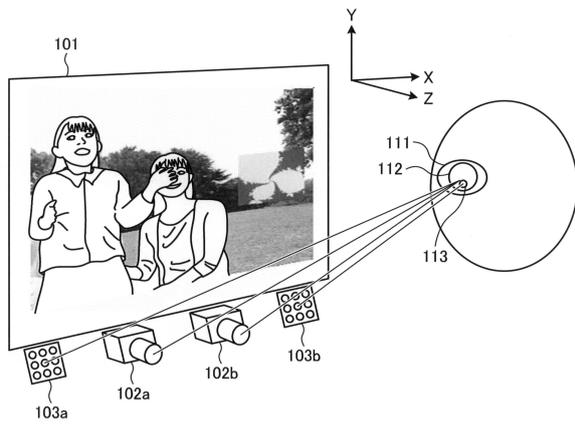
【 図 2 】



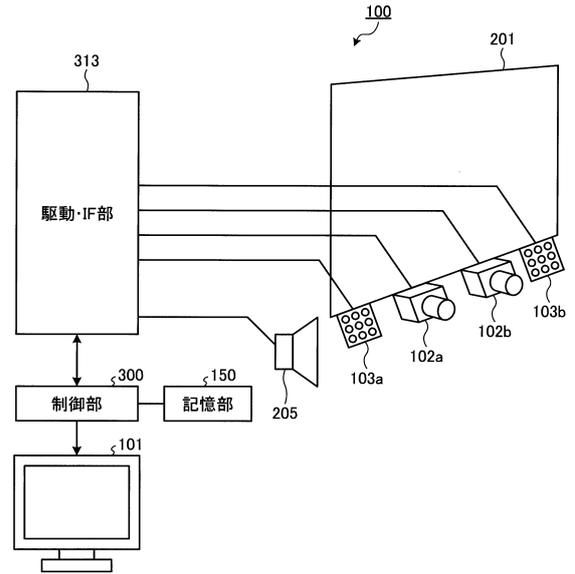
【 図 3 】



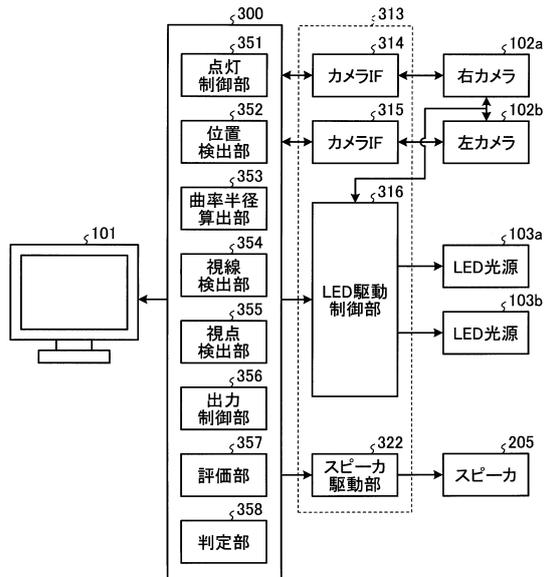
【図4】



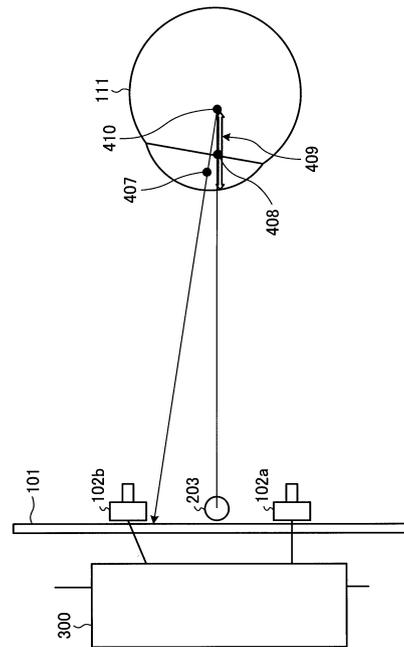
【図5】



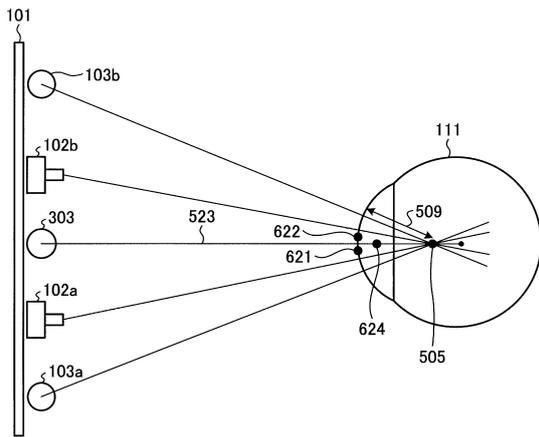
【図6】



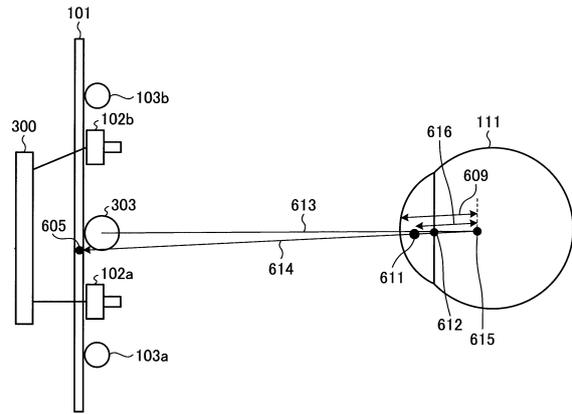
【図7】



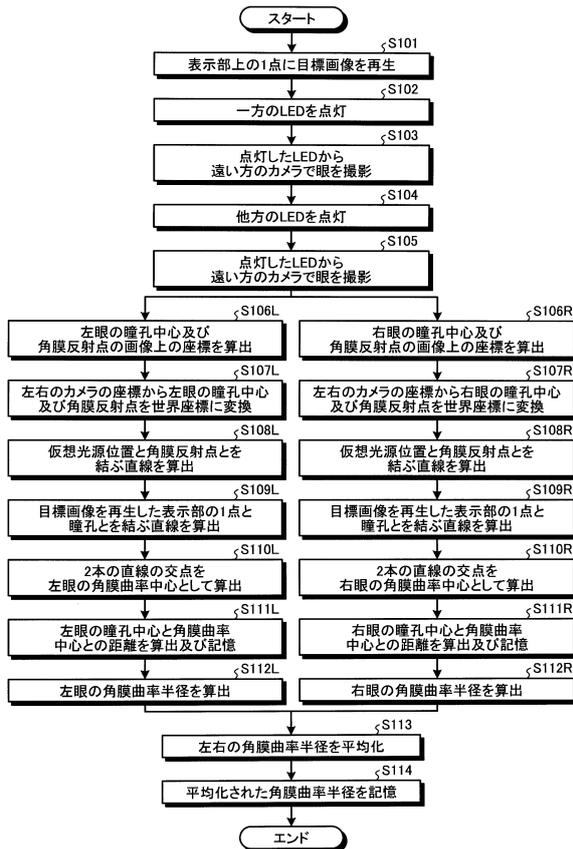
【図8】



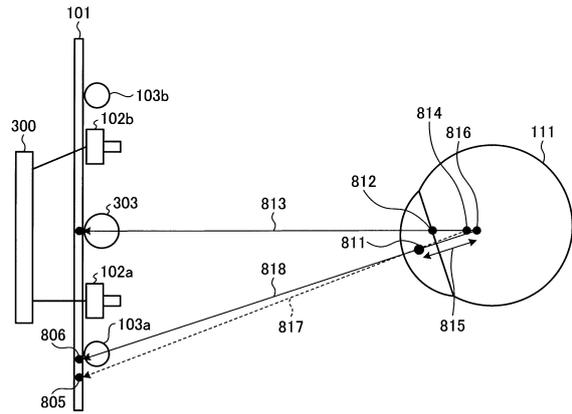
【図9】



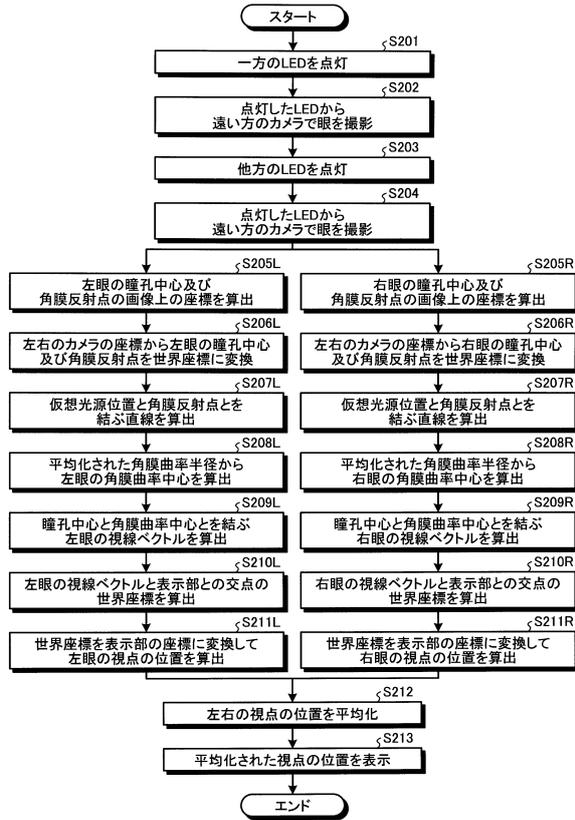
【図10】



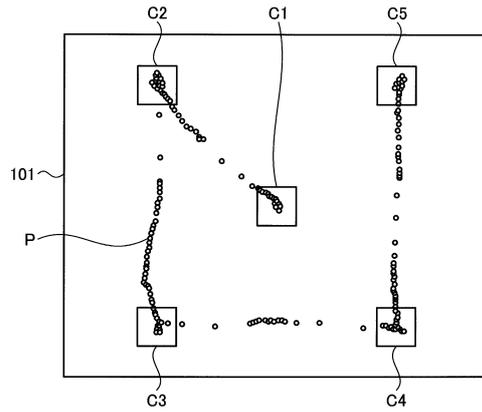
【図11】



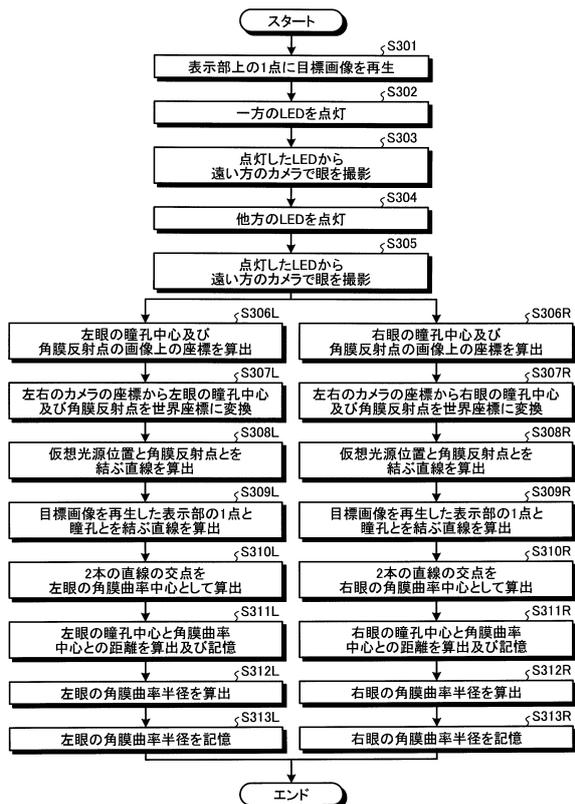
【図12】



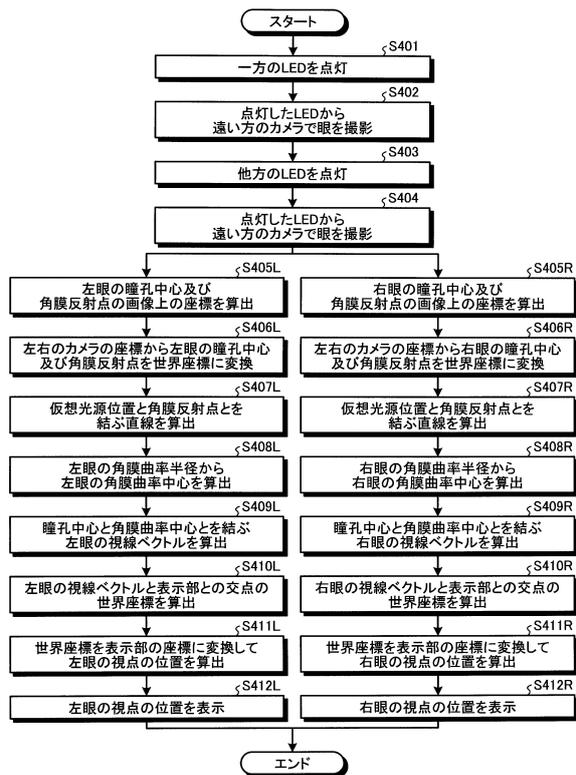
【図13】



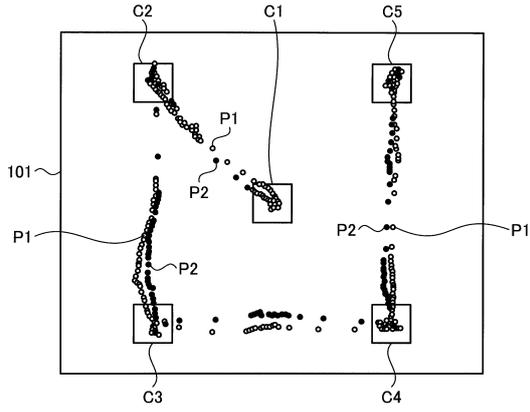
【図14】



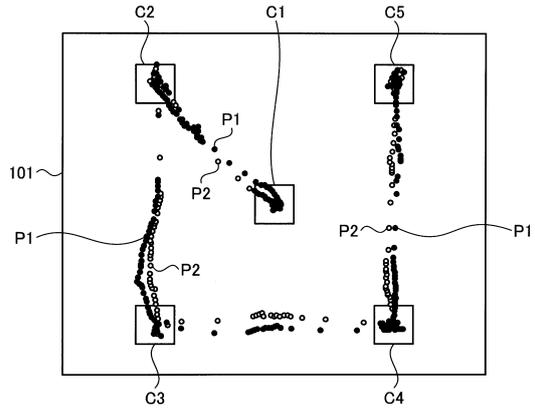
【図15】



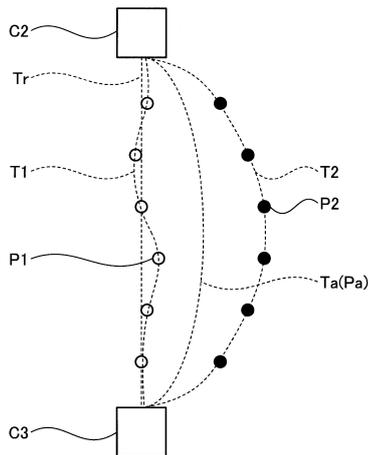
【図16】



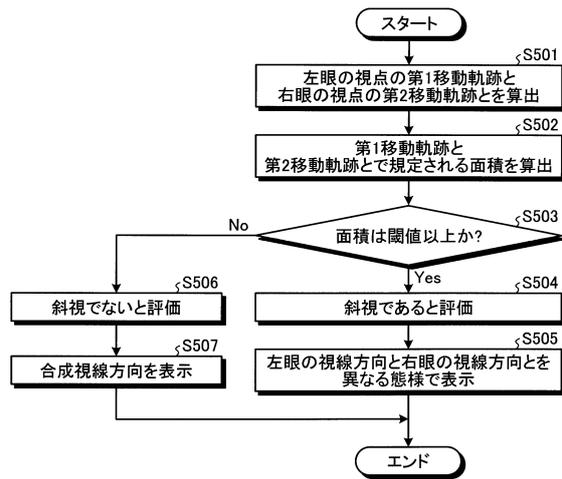
【図17】



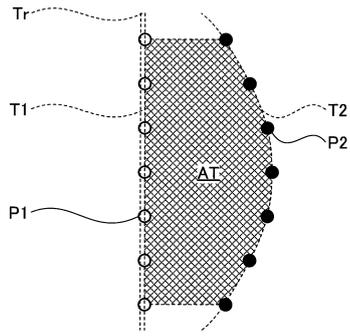
【図18】



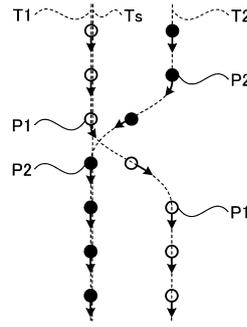
【図19】



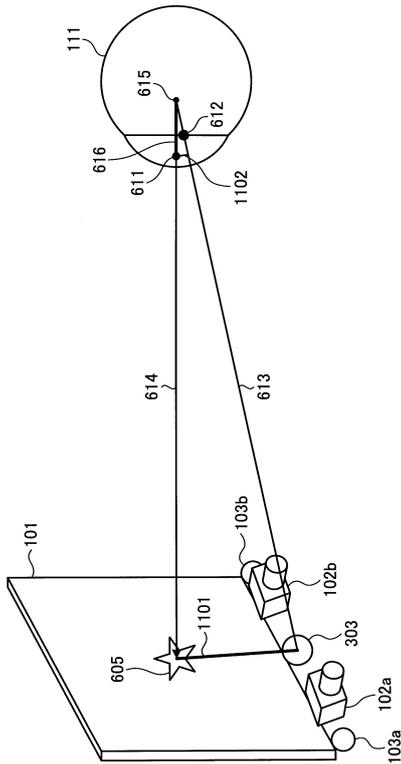
【図20】



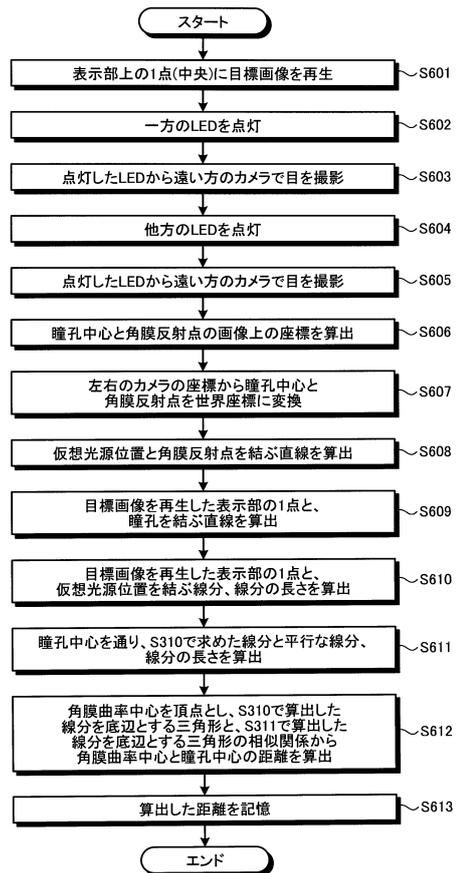
【図21】



【図22】



【図23】



フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2015/016233(WO, A1)
国際公開第2015/146491(WO, A1)
国際公開第2014/204904(WO, A1)
中根尚仁 外2名, ステレオカメラによるビデオ式遠隔注視点検出, 映像情報メディア学会2007年冬季大会講演予稿集, 社団法人映像情報メディア学会, 2007年11月27日
福島省吾 外4名, Eye-Sensing Head Mounted Display の開発, 計測自動制御学会論文集, 社団法人計測自動制御学会, 1999年6月30日, 第35巻 第6号, 第699 - 707頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 7/00 - 7/90
A61B 3/113