(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7545564号
(P7545564)

(45)発行日　令和6年9月4日(2024.9.4)

(24)登録日　令和6年8月27日(2024.8.27)

(51)国際特許分類

		FI		
G06F	*3/01 (2006.01)*	G06F	3/01	510
G06F	*3/0346(2013.01)*	G06F	3/0346	423
G06F	*3/038(2013.01)*	G06F	3/038	310A

請求項の数　18　（全153頁）

(21)出願番号　特願2023-501582(P2023-501582)
(86)(22)出願日　令和3年7月14日(2021.7.14)
(65)公表番号　特表2023-534213(P2023-534213A)
(43)公表日　令和5年8月8日(2023.8.8)
(86)国際出願番号　PCT/US2021/041618
(87)国際公開番号　WO2022/015847
(87)国際公開日　令和4年1月20日(2022.1.20)
審査請求日　令和6年6月19日(2024.6.19)
(31)優先権主張番号　63/052,392
(32)優先日　令和2年7月15日(2020.7.15)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　63/139,750
(32)優先日　令和3年1月20日(2021.1.20)
最終頁に続く

(73)特許権者　514108838
マジック リープ，インコーポレイテッド
Ｍａｇｉｃ Ｌｅａｐ，Ｉｎｃ．
アメリカ合衆国 フロリダ ３３３２２，プランテーション，ウエスト サンライズ ブールバード ７５００
７５００ Ｗ ＳＵＮＲＩＳＥ ＢＬＶＤ，ＰＬＡＮＴＡＴＩＯＮ，ＦＬ ３３３２２ ＵＳＡ
(74)代理人　100078282
弁理士　山本 秀策
(74)代理人　100113413
弁理士　森下 夏樹
(74)代理人　100181674
弁理士　飯田 貴敏
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　非球面角膜モデルを使用した眼追跡

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを前記ユーザの視野内に表示するように構成されるディスプレイシステムであって、前記眼は、角膜と、瞳孔とを有し、前記ディスプレイシステムは、

前記ユーザの頭部上に支持されるように構成されるフレームと、

前記フレーム上に配置される頭部搭載型ディスプレイであって、前記ディスプレイは、光を前記ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツを前記ユーザの視野に表示するように構成される、頭部搭載型ディスプレイと、

前記ユーザの眼を結像するように構成される１つ以上の眼追跡カメラと、

複数の光エミッタと、

前記ディスプレイおよび前記１つ以上の眼追跡カメラと通信する処理電子機器であって、前記処理電子機器は、

前記１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉された前記ユーザの眼の画像を受信することであって、異なる光エミッタの閃光反射が、前記１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉された前記眼の画像内で観察可能である、ことと、

前記１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉された前記画像内の前記閃光反射の場所に少なくとも部分的に基づいて、前記ユーザの眼の角膜中心の場所を推定することと

を行うように構成され、

前記処理電子機器は、前記角膜の非球面モデルを数値計算において採用し、前記ユー

ザの眼の前記角膜中心の場所を推定する、処理電子機器と
を備え、
前記処理電子機器は、加えて、前記角膜の球面モデルをさらなる数値計算において採用し、前記角膜中心の場所を推定し、
前記角膜の球面モデルから決定される前記角膜中心の推定値は、前記角膜中心の場所を決定するために、前記数値計算において前記非球面モデルに適用される、ディスプレイシステム。

【請求項２】
前記角膜の前記球面モデルは、前記１つ以上の眼追跡カメラによって生産された前記画像内の前記閃光反射の場所と、前記１つ以上の追跡カメラの場所と、個別の閃光反射を生産した前記エミッタの場所とに基づいて、前記角膜中心の場所を決定するために、前記さらなる数値計算において使用される、請求項１に記載のディスプレイシステム。

【請求項３】
前記処理電子機器は、反復プロセスを使用して、前記角膜中心の推定値を決定するようにさらに構成される、請求項１に記載のディスプレイシステム。

【請求項４】
前記非球面モデルは、光エミッタの場所に基づいて、前記閃光反射の場所を予測するために使用される、請求項１に記載のディスプレイシステム。

【請求項５】
前記非球面モデルに基づいて予測される前記閃光反射の場所は、球面表面の曲率の中心を決定するために使用される、請求項４に記載のディスプレイシステム。

【請求項６】
前記処理電子機器は、球面モデルを使用して、非球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、請求項１に記載のディスプレイシステム。

【請求項７】
前記処理電子機器は、非球面モデルを使用して、球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、請求項１に記載のディスプレイシステム。

【請求項８】
前記非球面モデルは、回転対称である非球面表面を備える、請求項１に記載のディスプレイシステム。

【請求項９】
前記非球面モデルは、非回転対称である表面を備える、請求項１に記載のディスプレイシステム。

【請求項１０】
前記ユーザの眼を結像するように構成される前記１つ以上の眼追跡カメラは、第１および第２の眼追跡カメラを備える、請求項１に記載のディスプレイシステム。

【請求項１１】
前記処理電子機器は、
前記第１の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の前記閃光反射の場所に基づいて、かつ前記第１の眼追跡カメラの場所および前記閃光反射を生産した前記エミッタの場所に基づいて、前記ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１の方向を決定することと、
前記第２の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の前記閃光反射の場所に基づいて、かつ前記第２の眼追跡カメラの場所および前記閃光反射を生産した前記エミッタの場所に基づいて、前記ユーザの眼の前記角膜中心に向かった第２の方向を決定することと
を行うようにさらに構成される、請求項１０に記載のディスプレイシステム。

【請求項１２】
前記処理電子機器は、前記ユーザの眼の前記角膜中心に向かった前記第１および第２の方向に基づいて、前記ユーザの眼の前記角膜中心の場所を推定するようにさらに構成され

る、請求項１１に記載のディスプレイシステム。
【請求項１３】
前記処理電子機器は、前記第１および第２の方向の収束に基づいて、前記ユーザの眼の角膜中心の推定値を取得するようにさらに構成される、請求項１１に記載のディスプレイシステム。
【請求項１４】
前記処理電子機器は、異なる眼姿勢に関する前記ユーザの眼の前記角膜中心の複数の決定に基づいて、前記ユーザの眼の前記角膜中心の推定値を取得するようにさらに構成される、請求項１に記載のディスプレイシステム。
【請求項１５】
前記処理電子機器は、前記角膜中心を使用して、前記非球面モデルの適用のための非球面表面の配向の推定値を取得するようにさらに構成される、請求項１に記載のディスプレイシステム。
【請求項１６】
前記処理電子機器は、前記第１および第２の眼追跡カメラによって取得される画像から決定される角膜中心の推定値と、瞳孔中心を通して通過する複数のベクトルの収束の推定値とに基づいて、前記非球面モデルの適用のための非球面表面の配向の推定値を取得するようにさらに構成される、請求項１０に記載のディスプレイシステム。
【請求項１７】
前記１つ以上の眼追跡カメラは、前記ユーザの眼を結像するように構成される第１、第２、および第３の眼追跡カメラを備え、前記処理電子機器は、前記第１、第２、および第３の眼追跡カメラと通信し、前記光エミッタの前記閃光反射は、前記第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって捕捉された前記眼の画像内で観察可能である、請求項１に記載のディスプレイシステム。
【請求項１８】
前記処理電子機器は、前記第１および第３の眼追跡カメラによって決定された前記ユーザの眼のパラメータと、前記第１および第２の眼追跡カメラによって決定された前記ユーザの眼のパラメータとに基づいて、前記ユーザの眼の前記角膜中心を推定するようにさらに構成される、請求項１７に記載のディスプレイシステム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
（関連出願の相互参照）
本特許出願は、米国特許法第１１９条（ｅ）下、参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる、２０２０年７月１５日に出願され、「ＥＹＥ　ＴＲＡＣＫＩＮＧ　ＵＳＩＮＧ　ＡＳＰＨＥＲＩＣ　ＣＯＲＮＥＡ　ＭＯＤＥＬ」と題された、米国仮出願第６３／０５２３９２号、２０２１年１月２０日に出願され、「ＥＹＥ　ＴＲＡＣＫＩＮＧ　ＵＳＩＮＧ　ＡＳＰＨＥＲＩＣ　ＣＯＲＮＥＡ　ＭＯＤＥＬ」と題された、米国仮出願第６３／１３９７５０号、および２０２１年１月２１日に出願され、「ＥＹＥ　ＴＲＡＣＫＩＮＧ　ＵＳＩＮＧ　ＡＳＰＨＥＲＩＣ　ＣＯＲＮＥＡ　ＭＯＤＥＬ」と題された、米国仮出願第６３／１４０２０２号の優先権を主張する。
【０００２】
本願は、参照することによって本明細書に組み込まれる、「ＥＹＥ　ＣＥＮＴＥＲ　ＯＦ　ＲＯＴＡＴＩＯＮ　ＤＥＴＥＲＭＩＮＡＴＩＯＮ，　ＤＥＰＴＨ　ＰＬＡＮＥ　ＳＥＬＥＣＴＩＯＮ，　ＡＮＤ　ＲＥＮＤＥＲ　ＣＡＭＥＲＡ　ＰＯＳＩＴＩＯＮＩＮＧ　ＩＮ　ＤＩＳＰＬＡＹ　ＳＹＳＴＥＭＳ」と題され、２０１９年１月１７日に出願された、米国出願第１６／２５０，９３１号、および２０１９年８月８日に公開された、対応する米国公開第２０１９／０２４３４４８Ａ１号、および「ＩＲＩＳ　ＢＯＵＮＤＡＲＹ　ＥＳＴＩＭＡＴＩＯＮ　ＵＳＩＮＧ　ＣＯＲＮＥＡ　ＣＵＲＶＡＴＵＲＥ」と題され、２０１８年１月１８日に公開された、米国特許公開第２０１８／００１８５１５号に関連する。前述の特許出

願、および「ＥＹＥ　ＣＥＮＴＥＲ　ＯＦ　ＲＯＴＡＴＩＯＮ　ＤＥＴＥＲＭＩＮＡＴＩＯＮ　ＷＩＴＨ　ＯＮＥ　ＯＲ　ＭＯＲＥ　ＥＹＥ　ＴＲＡＣＫＩＮＧ　ＣＡＭＥＲＡＳ」と題され、２０２０年７月１５日に出願された、国際出願第ＰＣＴ／ＵＳ２０２０／０４２１７８号、および２０２１年１月２１日に公開された、対応する国際公開第ＷＯ２０２１／０１１６８６号はそれぞれ、あらゆる目的のために、参照することによってその全体として本明細書に明示的に組み込まれる。

【０００３】

（分野）

本開示は、ディスプレイシステム、仮想現実、および拡張現実結像および可視化システムに関し、より具体的には、角膜データを使用して計算される眼の回転中心を使用した眼追跡に関する。

【背景技術】

【０００４】

（背景）

現代のコンピューティングおよびディスプレイ技術は、いわゆる「仮想現実」、「拡張現実」、または「複合現実」体験のためのシステムの開発を促進しており、デジタル的に再現された画像またはその一部が、現実であるように見える、またはそのように知覚され得る様式でユーザに提示される。仮想現実、すなわち、「ＶＲ」シナリオは、典型的には、他の実際の実世界の視覚的入力に対する透過性を伴わずに、デジタルまたは仮想画像情報の提示を伴う。拡張現実、すなわち、「ＡＲ」シナリオは、典型的には、ユーザの周囲の実際の世界の可視化に対する拡張としてのデジタルまたは仮想画像情報の提示を伴う。複合現実、すなわち、「ＭＲ」は、物理的および仮想オブジェクトが、共存し、リアルタイムで相互作用する、新しい環境を生成するための実世界と仮想世界の融合に関連する。結論から述べると、ヒトの視知覚系は、非常に複雑であって、他の仮想または実世界画像要素の中で仮想画像要素の快適で、自然な感覚で、かつ豊かな提示を促進する、ＶＲ、ＡＲ、またはＭＲ技術を生産することは、困難である。本明細書に開示されるシステムおよび方法は、ＶＲ、ＡＲ、およびＭＲ技術に関連する種々の課題に対処する。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【０００５】

（要約）

複合現実システムにおける深度面選択の種々の実施例が、開示される。

【０００６】

ディスプレイシステムは、光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成されることができる。ユーザの眼は、角膜と、虹彩と、瞳孔と、水晶体と、網膜と、該水晶体、瞳孔、および角膜を通して延在する、光学軸とを有し得る。ディスプレイシステムは、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、異なる量の発散およびコリメーションのうちの１つにおいて、光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを表示するように構成され、したがって、表示される仮想画像コンテンツは、異なる深度から異なる時間周期において生じるように現れる、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、ディスプレイおよび１つ以上の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、該１つ以上の眼追跡カメラを用いて取得された該眼の画像に基づいて、該眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、処理電子機器とを含むことができる。

【０００７】

処理電子は、加えて、該角膜の球面および／または非球面モデルを使用して、該眼の角膜曲率の中心の場所を推定してもよい。ある場合には、処理電子機器は、該球面および／または非球面モデルを数値計算において使用して、値（例えば、基準フレームまたは座標系に対するｘ、ｙ、ｚまたはｒ、θ、φ等の１つ以上の座標によって記述されるｘ、ｙ、

ｚ場所等の３次元場所）を決定する、または該１つ以上のカメラによって生産された画像内の閃光反射の場所と、１つ以上の追跡カメラの場所と、該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所とに基づいて、角膜曲率の中心の場所を推定する。いくつかの実装では、角膜曲率の中心の場所は、眼カメラの基準フレームまたは座標系、または頭部搭載型ディスプレイに対する固定された基準フレームに対して決定されてもよい。

【０００８】

光をユーザの片眼または両眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示する、下記に列挙される実施例等のディスプレイシステムの種々の実施例が、本明細書に説明される。

【０００９】

実施例１：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、第１および第２の眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび第１および第２の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、異なる光エミッタの閃光反射は、第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉された眼の画像内で観察可能であって、該第１および第２の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１および第２の眼追跡カメラの両方の場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の該中心の場所を推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【００１０】

実施例２：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、第１および第２の眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび第１および第２の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、異なる光エミッタの閃光反射は、第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能であって、該第１および第２の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ該第１および第２の眼追跡カメラの両方の場所および複数の眼姿勢に関する該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の該回転中心の場所を推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【００１１】

実施例３：仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するための光をユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムにおいて、仮想画像コンテンツをレンダリングするために、眼と関連付けられる、１つ以上のパラメータを決定する方法であって、該眼は、角膜を有し、ユーザの眼を結像するように構成される、複数の眼追跡カメラと、該眼に対して配置され、閃光をその上に形成する、複数の光エミッタとを用いて、ユーザの眼の複数の画像を捕捉するステップであって、該画像は、複数の閃光を備える、ステップと、複数の閃光に基づいて、該眼の回転中心の推定値を取得するステップとを含み、該眼の回転中心の推定値を取得するステップは、複数の閃光に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の推定値を決定するステップと、３次元表面を角膜曲率の中心の複数の推定値から生成するステップと、３次元表面を使用して、ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するステップとを含む、方法。

【００１２】

実施例４：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツを表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、第１および第２の眼追跡カメラと、ディスプレイおよび第１および第２の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、ユーザの眼の複数の対の捕捉された画像を第１および第２の眼追跡カメラから受信し、それぞれ、第１および第２の眼追跡カメラから受信された、対の画像に関して、少なくとも部分的に、個別の対の捕捉された画像に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得し、個別の第１および第２の眼追跡カメラから受信されたユーザの眼の複数の対の捕捉された画像に基づいて取得される、ユーザの眼の角膜曲率の推定される中心に基づいて、３次元表面を決定し、３Ｄ表面の曲率の中心を識別し、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【００１３】

実施例５：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、第１および第２の場所において眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、異なる光エミッタの閃光反射が、眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能であって、該眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ眼追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の該中心の場所を推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【００１４】

実施例６：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、第１の場所および第２の場所において眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、異なる光エミッタの閃光反射が、眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能であって、該眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ該眼追跡カメラの第１および第２の場所および複数の眼姿勢に関する該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の該回転中心の場所を推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【００１５】

実施例７：仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するための光をユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムにおいて、仮想画像コンテンツをレンダリングするために、眼と関連付けられる、１つ以上のパラメータを決定する方法であって、該眼は、角膜を有し、ユーザの眼を結像するように構成される、眼追跡カメラと、該眼に対して配置され、閃光をその上に形成する、複数の光エミッタとを用いて、ユーザの眼の複数の画像を捕捉するステップであって、該画像は、複数の閃光を備える、ステップと、複数の閃光に基づいて、該眼の回転中心の推定値を取得するステップとを含み、該眼の回転中心の推定値を取得するステップは、複数の閃光に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の推定値を決定するステップと、３次元表面を角膜曲率の中心の複数の推

定値から生成するステップと、３次元表面を使用して、ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するステップとを含む、方法。

【００１６】

実施例８：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツを表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、眼追跡カメラと、ディスプレイおよび眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、ユーザの眼の複数の対の捕捉された画像を眼追跡カメラから受信し、それぞれ、眼追跡カメラから受信された、対の画像に関して、少なくとも部分的に、個別の対の捕捉された画像に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得し、眼追跡カメラから受信されたユーザの眼の複数の対の捕捉された画像に基づいて取得される、ユーザの眼の角膜曲率の推定される中心に基づいて、３次元表面を決定し、３Ｄ表面の曲率の中心を識別し、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【００１７】

実施例９：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、少なくとも１つの眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、第１および第２の場所において少なくとも１つの眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、異なる光エミッタの閃光反射が、眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能であって、該少なくとも１つの眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ少なくとも１つの眼追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の該中心の場所を推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【００１８】

実施例１０：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムであって、該眼は、角膜と、瞳孔とを有し、該ディスプレイシステムは、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび１つ以上の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、異なる光エミッタの閃光反射が１つ以上の追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能である、１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、少なくとも部分的に、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成され、該処理電子機器は、該角膜の非球面モデルを数値計算において使用し、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の該場所を推定する、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【００１９】

実施例１１：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムであって、該眼は、角膜と、瞳孔とを有し、該ディスプレイシステムは、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、複数の光エミ

ッタと、ディスプレイおよび１つ以上の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、異なる光エミッタの閃光反射が１つ以上の追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能である、１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、ユーザの眼の第１のパラメータを推定するように構成され、該処理電子機器は、該角膜の非球面モデルを数値計算において使用し、該ユーザの眼の第１のパラメータを推定する、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【００２０】

上記の実施例または付加的実施例のいずれかは、組み合わせられることができる。加えて、上記の実施例または付加的実施例のいずれかは、頭部搭載型ディスプレイと統合されることができる。加えて、上記の実施例または付加的実施例のいずれかは、単一深度面および／または１つ以上の可変深度面を用いて実装されることができる（例えば、経時的に変動する遠近調節キューを提供する、可変集束力を伴う、１つ以上の要素）。

【００２１】

さらに、限定ではないが、解剖学的、光学的、および幾何学的特徴、場所、および配向等の種々の値、パラメータを決定するための装置および方法が、本明細書に開示される。そのようなパラメータの実施例は、例えば、眼の回転中心、角膜曲率の中心、瞳孔中心、瞳孔の境界、虹彩の中心、虹彩の境界、角膜輪部の境界、眼の光学軸、眼の視軸、視点中心を含むが、これらに限定ではない。本明細書に列挙されるような値、パラメータ等の決定は、その推定値を含み、必ずしも、実際の値と精密に一致する必要はない。例えば、眼の回転中心、角膜曲率の中心、瞳孔または虹彩の中心または境界、角膜輪部の境界、眼の光学軸、眼の視軸、視点中心等の決定は、推定値、近似値、またはそれに近い値であって、実際の（例えば、解剖学的、光学的、または幾何学的）値またはパラメータと同一ではなくてもよい。ある場合には、例えば、二乗平均平方根推定技法が、そのような値の推定値を取得するために使用される。実施例として、本明細書に説明されるある技法は、光線またはベクトルが交差する、場所または点を識別することに関する。しかしながら、そのような光線またはベクトルは、交差しなくてもよい。本実施例では、場所または点は、推定されてもよい。例えば、場所または点は、二乗平均平方根または他の推定技法に基づいて決定されてもよい（例えば、場所または点は、光線またはベクトルに近いまたは最も近いものであるように推定されてもよい）。他のプロセスもまた、近似値を推定する、または別様に、実際の値と一致しない場合がある値を提供するために使用されてもよい。故に、用語「～を決定する」および「～を推定する」または「決定される」および「推定される」は、本明細書では、同義的に使用される。そのような決定された値の参照は、したがって、推定値、近似値、または実際の値に近い値を含み得る。故に、上記または本明細書のいずれかの場所のパラメータまたは値の決定の参照は、実際の値に精密に限定されるべきではなく、推定値、近似値、またはそれに値に近い値を含んでもよい。

【００２２】

本明細書に説明される主題の１つ以上の実装の詳細が、付随の図面および下記の説明に記載される。他の特徴、側面、および利点は、説明、図面、および請求項から明白となるであろう。本概要または以下の詳細な説明のいずれも、本発明の主題の範囲を定義または限定することを主張するものではない。

本発明は、例えば、以下を提供する。

（項目１）

光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを前記ユーザの視野内に表示するように構成されるディスプレイシステムであって、前記眼は、角膜と、瞳孔とを有し、前記ディスプレイシステムは、

前記ユーザの頭部上に支持されるように構成されるフレームと、

前記フレーム上に配置される頭部搭載型ディスプレイであって、前記ディスプレイは、光を前記ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツを前記ユーザの視野に表示するように構成される、頭部搭載型ディスプレイと、

前記ユーザの眼を結像するように構成される１つ以上の眼追跡カメラと、
複数の光エミッタと、
前記ディスプレイおよび前記１つ以上の眼追跡カメラと通信する処理電子機器であって、前記処理電子機器は、
前記異なる光エミッタの閃光反射が前記１つ以上の追跡カメラによって捕捉された前記眼の画像内で観察可能である前記１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉された前記ユーザの眼の画像を受信することと、
少なくとも部分的に、前記１つ以上の眼追跡カメラによって生産された前記画像内の前記閃光反射の場所に基づいて、前記ユーザの眼の角膜中心の場所を推定することと
を行うように構成され、
前記処理電子機器は、前記角膜の非球面モデルを数値計算において使用し、前記ユーザの眼の角膜中心の場所を推定する、処理電子機器と
を備える、ディスプレイシステム。
（項目２）
前記処理電子機器は、加えて、前記角膜の球面モデルを数値計算において採用し、前記角膜中心の場所を推定する、項目１に記載のディスプレイシステム。
（項目３）
前記角膜の球面モデルは、数値計算において使用され、１つ以上の眼追跡カメラによって生産された前記画像内の前記閃光反射の場所と、１つ以上の追跡カメラの場所と、個別の閃光反射を生産した前記エミッタの場所とに基づいて、前記角膜中心の場所を決定する、項目２に記載のディスプレイシステム。
（項目４）
前記角膜の球面モデルから決定される前記角膜中心の推定値は、数値計算において前記非球面モデルに適用され、前記角膜中心の場所を決定する、項目２または３に記載のディスプレイシステム。
（項目５）
前記処理電子機器は、反復プロセスを使用して、前記角膜中心の推定値を決定するように構成される、上記項目のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目６）
前記非球面モデルは、光エミッタの場所に基づいて、複数の閃光の場所を予測するために使用される、上記項目のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目７）
前記非球面モデルに基づいて予測される前記閃光の場所は、球面表面の曲率の中心を決定するために使用される、項目６に記載のディスプレイシステム。
（項目８）
前記処理電子機器は、球面モデルを使用して、非球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記項目のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目９）
前記処理電子機器は、非球面モデルを使用して、球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記項目のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目１０）
前記非球面モデルは、回転対称である非球面表面を備える、上記項目のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目１１）
前記非球面モデルは、非回転対称である表面を備える、上記項目のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目１２）
前記ユーザの眼を結像するように構成される１つ以上の眼追跡カメラは、第１および第２の眼追跡カメラを備える、項目１に記載のディスプレイシステム。
（項目１３）

前記処理電子機器は、
前記第１の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の前記閃光反射の場所に基づいて、かつ前記第１の眼追跡カメラの場所および前記閃光反射を生産した前記エミッタの場所に基づいて、前記ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１の方向を決定することと、
前記第２の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の前記閃光反射の場所に基づいて、かつ前記第２の眼追跡カメラの場所および前記閃光反射を生産した前記エミッタの場所に基づいて、前記ユーザの眼の角膜中心に向かった第２の方向を決定することと
を行うように構成される、項目１２に記載のディスプレイシステム。
（項目１４）
前記処理電子機器は、前記ユーザの眼の角膜中心に向かった前記第１および第２の方向に基づいて、前記ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、項目１３に記載のディスプレイシステム。
（項目１５）
前記処理電子機器は、
前記第１および第２の方向の収束に基づいて、前記ユーザの眼の角膜中心の推定値を取得するように構成される、
項目１２－１４のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目１６）
前記処理電子機器は、異なる眼姿勢に関する前記ユーザの眼の角膜中心の複数の決定に基づいて、前記ユーザの眼の角膜中心の推定値を取得するように構成される、項目１２－１５のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目１７）
前記処理電子機器は、前記角膜中心を使用して、前記非球面モデルの適用のための非球面表面の配向の推定値を取得するように構成される、上記の項目のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目１８）
前記処理電子機器は、前記第１および第２の眼追跡カメラによって取得される画像から決定される角膜中心の推定値と、瞳孔中心を通して通過する複数のベクトルの収束の推定値とに基づいて、前記非球面モデルの適用のための非球面表面の配向の推定値を取得するように構成される、項目１２－１７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目１９）
前記少なくとも１つの眼追跡カメラは、前記ユーザの眼を結像するように構成される第１、第２、および第３の眼追跡カメラを備え、前記処理電子機器は、前記第１、第２、および第３の眼追跡カメラと通信し、光エミッタの閃光反射が、前記第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって捕捉された前記眼の画像内で観察可能である、上記項目のいずれかに記載のディスプレイシステム。
（項目２０）
前記処理電子機器は、前記第１および第３の眼追跡カメラによって決定された前記ユーザの眼のパラメータと、前記第１および第２の眼追跡カメラによって決定された前記ユーザの眼のパラメータとに基づいて、前記ユーザの眼の角膜中心を推定するように構成される、項目１９に記載のディスプレイシステム。
【図面の簡単な説明】
【００２３】
【図１】図１は、人物によって視認されるある仮想現実オブジェクトおよびある物理的オブジェクトを伴う、複合現実シナリオの例証を描写する。
【００２４】
【図２】図２は、ウェアラブルシステムの実施例を図式的に図示する。
【００２５】
【図３】図３は、ウェアラブルシステムの例示的コンポーネントを図式的に図示する。

【００２６】
【図４】図４は、画像情報をユーザに出力するためのウェアラブルデバイスの導波管スタックの実施例を図式的に図示する。
【００２７】
【図５】図５は、眼の実施例を図式的に図示する。
【００２８】
【図５Ａ】図５Ａは、眼の眼姿勢を決定するための例示的座標系を図式的に図示する。
【００２９】
【図６】図６は、眼追跡システムを含む、ウェアラブルシステムの概略図である。
【００３０】
【図７Ａ】図７Ａは、眼追跡システムを含む、ウェアラブルシステム内で使用され得る、例示的眼追跡モジュールのブロック図である。
【００３１】
【図７Ｂ】図７Ｂは、ウェアラブルシステム内のレンダリングコントローラのブロック図である。
【００３２】
【図７Ｃ】図７Ｃは、眼の光学軸および視軸と、眼の回転中心とを含む、眼の実施例を図示する。
【００３３】
【図８Ａ】図８Ａは、眼の角膜球面を示す、眼の概略図である。
【００３４】
【図８Ｂ】図８Ｂは、眼追跡カメラによって検出される、例示的角膜閃光を図示する。
【００３５】
【図８Ｃ】図８Ｃ－８Ｅは、ウェアラブルシステム内の眼追跡モジュールを用いてユーザの角膜中心を位置特定する、例示的段階を図示する。
【図８Ｄ】図８Ｃ－８Ｅは、ウェアラブルシステム内の眼追跡モジュールを用いてユーザの角膜中心を位置特定する、例示的段階を図示する。
【図８Ｅ】図８Ｃ－８Ｅは、ウェアラブルシステム内の眼追跡モジュールを用いてユーザの角膜中心を位置特定する、例示的段階を図示する。
【００３６】
【図９Ａ】図９Ａ－Ｅは、眼追跡モジュールによる使用のための眼画像データを捕捉するためのウェアラブルシステムの例示的構成の図を図示する。
【図９Ｂ】図９Ａ－Ｅは、眼追跡モジュールによる使用のための眼画像データを捕捉するためのウェアラブルシステムの例示的構成の図を図示する。
【図９Ｃ】図９Ａ－Ｅは、眼追跡モジュールによる使用のための眼画像データを捕捉するためのウェアラブルシステムの例示的構成の図を図示する。
【図９Ｄ】図９Ａ－Ｅは、眼追跡モジュールによる使用のための眼画像データを捕捉するためのウェアラブルシステムの例示的構成の図を図示する。
【図９Ｅ】図９Ａ－Ｅは、眼追跡モジュールによる使用のための眼画像データを捕捉するためのウェアラブルシステムの例示的構成の図を図示する。
【００３７】
【図１０】図１０は、眼追跡モジュールによって実施され得る、例示的回転中心（ＣｏＲ）決定プロセスのグラフィック図を示す。
【００３８】
【図１１】図１１は、推定される回転中心を決定するための眼追跡モジュールによって使用される、任意の眼上の閃光の例示的画像を示す。
【００３９】
【図１２Ａ】図１２Ａ－Ｄは、第１の閃光、閃光の画像を捕捉するカメラ、および第１の閃光を生産する照明源の場所を含む、第１の平面の例示的決定におけるステップを図示する。

【図１２Ｂ】図１２Ａ－Ｄは、第１の閃光、閃光の画像を捕捉するカメラ、および第１の閃光を生産する照明源の場所を含む、第１の平面の例示的決定におけるステップを図示する。
【図１２Ｃ】図１２Ａ－Ｄは、第１の閃光、閃光の画像を捕捉するカメラ、および第１の閃光を生産する照明源の場所を含む、第１の平面の例示的決定におけるステップを図示する。
【図１２Ｄ】図１２Ａ－Ｄは、第１の閃光、閃光の画像を捕捉するカメラ、および第１の閃光を生産する照明源の場所を含む、第１の平面の例示的決定におけるステップを図示する。
【００４０】
【図１３Ａ】図１３Ａ－Ｄは、第２の閃光、カメラ、および第２の閃光を生産する照明源の場所を含む、第２の平面の例示的決定におけるステップを図示する。
【図１３Ｂ】図１３Ａ－Ｄは、第２の閃光、カメラ、および第２の閃光を生産する照明源の場所を含む、第２の平面の例示的決定におけるステップを図示する。
【図１３Ｃ】図１３Ａ－Ｄは、第２の閃光、カメラ、および第２の閃光を生産する照明源の場所を含む、第２の平面の例示的決定におけるステップを図示する。
【図１３Ｄ】図１３Ａ－Ｄは、第２の閃光、カメラ、および第２の閃光を生産する照明源の場所を含む、第２の平面の例示的決定におけるステップを図示する。
【００４１】
【図１４Ａ】図１４Ａ－Ｃは、図１２Ａ－Ｄの第１の平面と図１３Ａ－Ｄの第２の平面との間の交差部を図示する。本交差部は、それに沿って角膜中心が存在し得る、ベクトルに対応する。
【図１４Ｂ】図１４Ａ－Ｃは、図１２Ａ－Ｄの第１の平面と図１３Ａ－Ｄの第２の平面との間の交差部を図示する。本交差部は、それに沿って角膜中心が存在し得る、ベクトルに対応する。
【図１４Ｃ】図１４Ａ－Ｃは、図１２Ａ－Ｄの第１の平面と図１３Ａ－Ｄの第２の平面との間の交差部を図示する。本交差部は、それに沿って角膜中心が存在し得る、ベクトルに対応する。
【００４２】
【図１５Ａ】図１５Ａ－１５Ｂは、複数のカメラを使用して取得される、それに沿って角膜中心が存在し得る、複数のベクトルを図示する。これらのベクトルは、角膜中心に対応する、またはそれに近い場所において、収束または交差し得る。
【図１５Ｂ】図１５Ａ－１５Ｂは、複数のカメラを使用して取得される、それに沿って角膜中心が存在し得る、複数のベクトルを図示する。これらのベクトルは、角膜中心に対応する、またはそれに近い場所において、収束または交差し得る。
【００４３】
【図１６Ａ】図１６Ａ－１６Ｃは、複数のカメラ間の共有照明源を使用した、それに沿って角膜中心が存在し得る、ベクトルの例示的決定における例示的ステップを図示する。
【図１６Ｂ】図１６Ａ－１６Ｃは、複数のカメラ間の共有照明源を使用した、それに沿って角膜中心が存在し得る、ベクトルの例示的決定における例示的ステップを図示する。
【図１６Ｃ】図１６Ａ－１６Ｃは、複数のカメラ間の共有照明源を使用した、それに沿って角膜中心が存在し得る、ベクトルの例示的決定における例示的ステップを図示する。
【００４４】
【図１７Ａ】図１７Ａ－１７Ｂは、計算された角膜中心に基づく、３Ｄ表面の推定を示す。
【図１７Ｂ】図１７Ａ－１７Ｂは、計算された角膜中心に基づく、３Ｄ表面の推定を示す。
【００４５】
【図１８Ａ】図１８Ａおよび１８Ｂは、角膜中心に基づいて計算される、３Ｄ表面に対して法線方向の複数の表面法線ベクトルの収束における、回転中心の例示的推定を示す。
【図１８Ｂ】図１８Ａおよび１８Ｂは、角膜中心に基づいて計算される、３Ｄ表面に対して法線方向の複数の表面法線ベクトルの収束における、回転中心の例示的推定を示す。

【００４６】
【図１９－１】図１９Ａ－１および１９Ａ－２は、選択された推定される角膜中心への例示的表面適合を図示する。
【００４７】
【図１９－２】図１９Ｂ－１および１９Ｂ－２は、推定される角膜中心に適合される表面に対して法線方向であり得る、例示的表面法線ベクトルを示す。
【００４８】
【図１９－３】図１９Ｃ－１および１９Ｃ－２は、表面法線ベクトルの交差部の点に基づいて推定されるＣｏＲ領域を図示する。
【００４９】
【図１９－４】図１９Ｄ－１および１９Ｄ－２は、角膜中心の別の選択への例示的適合表面を図示する。
【００５０】
【図２０】図２０は、眼追跡モジュールによって実装され得る、例示的回転中心抽出プロセスを図示する。
【００５１】
【図２１】図２１は、角膜曲率の中心を使用して推定される回転中心を決定するための図２０のプロセスを使用し得る、例示的眼追跡プロセスを図示する。
【００５２】
【図２２Ａ】図２２Ａは、眼球の斜視図を図式的に図示する。
【００５３】
【図２２Ｂ】図２２Ｂは、眼の角膜の２Ｄ断面図を図式的に図示する。
【００５４】
【図２２Ｃ】図２２Ｃは、２つの光源からの光の球面および回転楕円体反射表面からの鏡面反射の２Ｄ断面図を図式的に図示する。
【００５５】
【図２３Ａ】図２３Ａは、円錐パラメータの異なる値に関する、Ｘ－Ｚ平面にプロットされる、軸方向対称回転楕円面の２Ｄ断面プロファイルを示す。
【００５６】
【図２３Ｂ】図２３Ｂは、Ｘ－Ｚ平面にプロットされる、２つの軸方向対称回転楕円体の２Ｄ断面を示し、一方は、ゼロの円錐パラメータ（球面）を伴い、他方は、－０．２５の円錐パラメータ（Ａｒｉｚｏｎａ眼モデル回転楕円体）を伴う。これらの表面のそれぞれのものからの光線の鏡面反射もまた、示される。
【００５７】
【図２４】図２４は、片眼カメラを使用して、回転楕円体角膜モデルに基づいて、角膜の中心の場所を推定するために使用され得る、例示的プロシージャを図示する、ブロック図である。
【００５８】
【図２５Ａ】図２５Ａ－２５Ｄは、図２４に図示されるプロシージャに基づく、角膜中心の例示的決定における例示的ステップを図示する。
【図２５Ｂ】図２５Ａ－２５Ｄは、図２４に図示されるプロシージャに基づく、角膜中心の例示的決定における例示的ステップを図示する。
【図２５Ｃ】図２５Ａ－２５Ｄは、図２４に図示されるプロシージャに基づく、角膜中心の例示的決定における例示的ステップを図示する。
【図２５Ｄ】図２５Ａ－２５Ｄは、図２４に図示されるプロシージャに基づく、角膜中心の例示的決定における例示的ステップを図示する。
【００５９】
【図２６】図２６は、３Ｄ回転楕円体角膜中心推定モジュールと組み合わせられ、図２４に図示されるプロシージャに基づいて、回転楕円体角膜モデルを使用して、角膜中心を推定し得る、例示的眼追跡モジュールの相互接続されたサブモジュールのサブセットを図示

する、ブロック図である。
【００６０】
【図２７】図２７は、２つのカメラが、頭部搭載型ディスプレイフレームの接眼レンズ上に配置され、同様にフレーム上に配置される、３つの光源によって生成された閃光の画像を捕捉する、例示的構成である。
【００６１】
【図２８】図２８は、２つの眼カメラによって捕捉された画像を使用して、回転楕円体角膜モデルに基づいて、角膜の中心の場所を推定するための例示的プロシージャを図示する、ブロック図である。
【００６２】
【図２９Ａ】図２９Ａ－２９Ｄは、図２８に図示されるプロシージャに基づく、角膜中心の例示的決定における例示的ステップを図示する。
【図２９Ｂ】図２９Ａ－２９Ｄは、図２８に図示されるプロシージャに基づく、角膜中心の例示的決定における例示的ステップを図示する。
【図２９Ｃ】図２９Ａ－２９Ｄは、図２８に図示されるプロシージャに基づく、角膜中心の例示的決定における例示的ステップを図示する。
【図２９Ｄ】図２９Ａ－２９Ｄは、図２８に図示されるプロシージャに基づく、角膜中心の例示的決定における例示的ステップを図示する。
【００６３】
【図３０】図３０は、３Ｄ回転楕円体角膜中心推定モジュールと組み合わせられ、回転楕円体角膜モデルおよび図２８に図示されるプロシージャに基づいて、角膜中心を推定し得る、例示的眼追跡モジュールの相互接続されたサブモジュールのサブセットを図示する、ブロック図である。
【００６４】
図面全体を通して、参照番号は、参照される要素間の対応を示すために再使用され得る。図面は、本明細書に説明される例示的実施形態を図示するために提供され、本開示の範囲を限定することを意図するものではない。
【発明を実施するための形態】
【００６５】
（詳細な説明）
ここで、図面を参照するが、同様の参照番号は、全体を通して同様の部分を指す。別様に示されない限り、図面は、概略であって、必ずしも、正確な縮尺で描かれていない。
Ａ．ウェアラブルシステムの３Ｄディスプレイの実施例
【００６６】
ウェアラブルシステム（本明細書では、拡張現実（ＡＲ）システムとも称される）は、２Ｄまたは３Ｄ仮想画像をユーザに提示するために構成されることができる。画像は、組み合わせまたは同等物における、静止画像、ビデオのフレーム、またはビデオであってもよい。ウェアラブルシステムの少なくとも一部は、ユーザ相互作用のために、単独で、または組み合わせて、ＶＲ、ＡＲ、またはＭＲ環境を提示し得る、ウェアラブルデバイス上に実装されることができる。ウェアラブルデバイスは、ＡＲデバイス（ＡＲＤ）と同義的に使用されることができる。さらに、本開示の目的のために、用語「ＡＲ」は、用語「ＭＲ」と同義的に使用される。
【００６７】
図１は、人物によって視認される、ある仮想現実オブジェクトおよびある物理的オブジェクトを伴う、複合現実シナリオの例証を描写する。図１では、ＭＲ場面１００が、描写され、ＭＲ技術のユーザには、人々、木々、背景における建物、およびコンクリートプラットフォーム１２０を特徴とする、実世界公園状設定１１０が見える。これらのアイテムに加え、ＭＲ技術のユーザはまた、実世界プラットフォーム１２０上に立っているロボット像１３０と、マルハナバチの擬人化のように見える、飛んでいる漫画のようなアバタキャラクタ１４０とが「見える」と知覚するが、これらの要素は、実世界には存在しない。

【００６８】
３Ｄディスプレイが、真の深度感覚、より具体的には、表面深度のシミュレートされた感覚を生成するために、ディスプレイの視野内の点毎に、その仮想深度に対応する遠近調節応答を生成することが望ましくあり得る。ディスプレイ点に対する遠近調節応答が、収束および立体視の両眼深度キューによって決定されるようなその点の仮想深度に対応しない場合、ヒトの眼は、遠近調節衝突を体験し、不安定な結像、有害な眼精疲労、頭痛、および遠近調節情報の不在下では、表面深度のほぼ完全な欠如をもたらし得る。
【００６９】
ＶＲ、ＡＲ、およびＭＲ体験は、複数の深度面に対応する画像が視認者に提供されるディスプレイを有する、ディスプレイシステムによって提供されることができる。画像は、深度面毎に異なってもよく（例えば、場面またはオブジェクトの若干異なる提示を提供する）、視認者の眼によって別個に集束され、それによって、異なる深度面上に位置する場面に関する異なる画像特徴に合焦させるために要求される眼の遠近調節に基づいて、または合焦からずれている異なる深度面上の異なる画像特徴を観察することに基づいて、ユーザに深度キューを提供することに役立ち得る。本明細書のいずれかに議論されるように、そのような深度キューは、信用できる深度の知覚を提供する。
【００７０】
図２は、ウェアラブルシステム２００の実施例を図示し、これは、ＡＲ／ＶＲ／ＭＲ場面を提供するように構成されることができる。ウェアラブルシステム２００はまた、ＡＲシステム２００と称され得る。ウェアラブルシステム２００は、ディスプレイ２２０と、ディスプレイ２２０の機能をサポートするための種々の機械的および電子的モジュールおよびシステムとを含む。ディスプレイ２２０は、ユーザ、装着者、または視認者２１０によって装着可能である、フレーム２３０に結合されてもよい。ディスプレイ２２０は、ユーザ２１０の眼の正面に位置付けられることができる。ディスプレイ２２０は、ＡＲ／ＶＲ／ＭＲコンテンツをユーザに提示することができる。ディスプレイ２２０は、ユーザの頭部上に装着される、頭部搭載型ディスプレイ（ＨＭＤ）を備えることができる。
【００７１】
いくつかの実施形態では、スピーカ２４０が、フレーム２３０に結合され、ユーザの外耳道に隣接して位置付けられる（いくつかの実施形態では、示されない別のスピーカが、ユーザの他方の外耳道に隣接して位置付けられ、ステレオ／成形可能音制御を提供する）。ディスプレイ２２０は、環境からオーディオストリームを検出し、周囲音を捕捉するために、オーディオセンサ（例えば、マイクロホン）２３２を含むことができる。いくつかの実施形態では、示されない１つ以上の他のオーディオセンサが、ステレオ音受信を提供するために位置付けられる。ステレオ音受信は、音源の場所を決定するために使用されることができる。ウェアラブルシステム２００は、音声または発話認識をオーディオストリームに実施することができる。
【００７２】
ウェアラブルシステム２００は、ユーザの周囲の環境内の世界を観察する、外向きに面した結像システム４６４（図４に示される）を含むことができる。ウェアラブルシステム２００はまた、ユーザの眼移動を追跡し得る、内向きに面した結像システム４６２（図４に示される）を含むことができる。内向きに面した結像システムは、一方の眼の移動または両方の眼の移動のいずれかを追跡することができる。内向きに面した結像システム４６２は、フレーム２３０に取り付けられてもよく、内向きに面した結像システムによって入手された画像情報を処理し、例えば、ユーザ２１０の眼の瞳孔直径または配向、眼の移動、または眼姿勢を決定し得る、処理モジュール２６０または２７０と電気通信してもよい。内向きに面した結像システム４６２は、１つ以上のカメラを含んでもよい。例えば、少なくとも１つのカメラは、各眼を結像するために使用されてもよい。カメラによって入手された画像は、眼毎に、別個に、瞳孔サイズまたは眼姿勢を決定し、それによって、各眼への画像情報の提示がその眼に対して動的に調整されることを可能にするために使用されてもよい。

【００７３】
実施例として、ウェアラブルシステム２００は、外向きに面した結像システム４６４または内向きに面した結像システム４６２を使用して、ユーザの姿勢の画像を入手することができる。画像は、静止画像、ビデオのフレーム、またはビデオであってもよい。
【００７４】
ディスプレイ２２０は、有線導線または無線接続等によって、フレーム２３０に固定して取り付けられる、ユーザによって装着されるヘルメットまたは帽子に固定して取り付けられる、ヘッドホンに内蔵される、または別様にユーザ２１０に除去可能に取り付けられる（例えば、リュック式構成において、ベルト結合式構成において）等、種々の構成において搭載され得る、ローカルデータ処理モジュール２６０に動作可能に結合されることができる（２５０）。
【００７５】
ローカル処理およびデータモジュール２６０は、ハードウェアプロセッサおよび不揮発性メモリ（例えば、フラッシュメモリ）等のデジタルメモリを備えてもよく、その両方とも、データの処理、キャッシュ、および記憶を補助するために利用され得る。データは、（ａ）画像捕捉デバイス（例えば、内向きに面した結像システムおよび／または外向きに面した結像システム内のカメラ）、オーディオセンサ（例えば、マイクロホン）、慣性測定ユニット（ＩＭＵ）、加速度計、コンパス、全地球測位システム（ＧＰＳ）ユニット、無線デバイス、またはジャイロスコープ等の（例えば、フレーム２３０に動作可能に結合される、または別様にユーザ２１０に取り付けられ得る）センサから捕捉されるデータ、または、（ｂ）可能性として、処理または読出後にディスプレイ２２０への通過のために、遠隔処理モジュール２７０または遠隔データリポジトリ２８０を使用して入手または処理されるデータを含んでもよい。ローカル処理およびデータモジュール２６０は、これらの遠隔モジュールがローカル処理およびデータモジュール２６０へのリソースとして利用可能であるように、有線または無線通信リンク等を介して、通信リンク２６２または２６４によって、遠隔処理モジュール２７０または遠隔データリポジトリ２８０に動作可能に結合されてもよい。加えて、遠隔処理モジュール２８０および遠隔データリポジトリ２８０は、相互に動作可能に結合されてもよい。
【００７６】
いくつかの実施形態では、遠隔処理モジュール２７０は、データまたは画像情報を分析および処理するように構成される、１つ以上のプロセッサを備えてもよい。いくつかの実施形態では、遠隔データリポジトリ２８０は、デジタルデータ記憶設備を備えてもよく、これは、インターネットまたは「クラウド」リソース構成における他のネットワーキング構成を通して利用可能であってもよい。いくつかの実施形態では、全てのデータが、記憶され、全ての算出が、ローカル処理およびデータモジュールにおいて実施され、遠隔モジュールからの完全に自律的な使用を可能にする。
Ｂ．ウェアラブルシステムの例示的コンポーネント
【００７７】
図３は、ウェアラブルシステムの例示的コンポーネントを図式的に図示する。図３は、ウェアラブルシステム２００を示し、これは、ディスプレイ２２０と、フレーム２３０とを含むことができる。引き伸ばし図２０２は、ウェアラブルシステム２００の種々のコンポーネントを図式的に図示する。ある実装では、図３に図示されるコンポーネントのうちの１つ以上のものは、ディスプレイ２２０の一部であることができる。種々のコンポーネントは、単独で、または組み合わせて、ウェアラブルシステム２００のユーザまたはユーザの環境と関連付けられる種々のデータ（例えば、聴覚的または視覚的データ等）を収集することができる。他の実施形態は、ウェアラブルシステムが使用される用途に応じて、付加的またはより少ないコンポーネントを有してもよいことを理解されたい。なお、図３は、種々のコンポーネントのうちのいくつかと、ウェアラブルシステムを通して収集、分析、および記憶され得る、データのタイプの基本概念とを提供する。
【００７８】

図３は、例示的ウェアラブルシステム２００を示し、これは、ディスプレイ２２０を含むことができる。ディスプレイ２２０は、ユーザの頭部、またはフレーム２３０に対応する、筐体またはフレーム２３０に搭載され得る、ディスプレイレンズ２２６を備えることができる。ディスプレイレンズ２２６は、筐体２３０によって、ユーザの眼３０２、３０４の正面に位置付けられる、１つ以上の透明ミラーを備えてもよく、投影された光３３８を眼３０２、３０４の中にバウンスさせ、ビーム成形を促進しながら、また、ローカル環境からの少なくとも一部の光の透過を可能にするように構成されてもよい。投影された光ビーム３３８の波面は、投影された光の所望の焦点距離と一致するように屈曲または集束されてもよい。図示されるように、２つの広視野マシンビジョンカメラ３１６（世界カメラとも称される）が、筐体２３０に結合され、ユーザの周囲の環境を結像することができる。これらのカメラ３１６は、二重捕捉式可視光／非可視（例えば、赤外線）光カメラであることができる。カメラ３１６は、図４に示される外向きに面した結像システム４６４の一部であってもよい。世界カメラ３１６によって入手された画像は、姿勢プロセッサ３３６によって処理されることができる。例えば、姿勢プロセッサ３３６は、１つ以上のオブジェクト認識装置７０８を実装し、ユーザまたはユーザの環境内の別の人物の姿勢を識別する、またはユーザの環境内の物理的オブジェクトを識別することができる。

【００７９】

図３を継続して参照すると、光３３８を眼３０２、３０４の中に投影するように構成される、ディスプレイミラーおよび光学系を伴う、一対の走査式レーザ成形波面（例えば、深度のために）光投影モジュールが、示される。描写される図はまた、ユーザの眼３０２、３０４を追跡し、レンダリングおよびユーザ入力をサポート可能であるように構成される、赤外線光源３２６（発光ダイオード「ＬＥＤ」等）とペアリングされる、２つの小型赤外線カメラ３２４を示す。カメラ３２４は、図４に示される、内向きに面した結像システム４６２の一部であってもよい。ウェアラブルシステム２００はさらに、センサアセンブリ３３９を特徴とすることができ、これは、Ｘ、Ｙ、およびＺ軸加速度計能力および磁気コンパスおよびＸ、Ｙ、およびＺ軸ジャイロスコープ能力を備え、好ましくは、２００Ｈｚ等の比較的に高周波数でデータを提供し得る。センサアセンブリ３３９は、図２を参照して説明される、ＩＭＵの一部であってもよい。描写されるシステム２００はまた、ＡＳＩＣ（特定用途向け集積回路）、ＦＰＧＡ（フィールドプログラマブルゲートアレイ）、またはＡＲＭプロセッサ（高度縮小命令セット機械）等の頭部姿勢プロセッサ３３６を備えることができ、これは、リアルタイムまたは近リアルタイムユーザ頭部姿勢を捕捉デバイス３１６から出力された広視野画像情報から計算するように構成されてもよい。頭部姿勢プロセッサ３３６は、ハードウェアプロセッサであることができ、図２に示されるローカル処理およびデータモジュール２６０の一部として実装されることができる。

【００８０】

ウェアラブルシステムはまた、１つ以上の深度センサ２３４を含むことができる。深度センサ２３４は、環境内のオブジェクトとウェアラブルデバイスとの間の距離を測定するように構成されることができる。深度センサ２３４は、レーザスキャナ（例えば、ＬＩＤＡＲ）、超音波深度センサ、または深度感知カメラを含んでもよい。カメラ３１６が深度感知能力を有する、ある実装では、カメラ３１６はまた、深度センサ２３４と見なされ得る。

【００８１】

また、示されるものは、デジタルまたはアナログ処理を実行し、姿勢をセンサアセンブリ３３９からのジャイロスコープ、コンパス、または加速度計データから導出するように構成される、プロセッサ３３２である。プロセッサ３３２は、図２に示される、ローカル処理およびデータモジュール２６０の一部であってもよい。ウェアラブルシステム２００はまた、図３に示されるように、例えば、ＧＰＳ３３７（全地球測位システム）等の測位システムを含み、姿勢および測位分析を補助することができる。加えて、ＧＰＳはさらに、ユーザの環境についての遠隔ベース（例えば、クラウドベース）の情報を提供してもよい。本情報は、ユーザの環境内のオブジェクトまたは情報を認識するために使用されても

よい。

【００８２】

ウェアラブルシステムは、ＧＰＳ３３７および遠隔コンピューティングシステム（例えば、遠隔処理モジュール２７０、別のユーザのＡＲＤ等）によって入手されたデータを組み合わせてもよく、これは、ユーザの環境についてのより多くの情報を提供することができる。一実施例として、ウェアラブルシステムは、ＧＰＳデータに基づいて、ユーザの場所を決定し、ユーザの場所と関連付けられる仮想オブジェクトを含む、世界マップを読み出すことができる（例えば、遠隔処理モジュール２７０と通信することによって）。別の実施例として、ウェアラブルシステム２００は、世界カメラ３１６（図４に示される外向きに面した結像システム４６４の一部であってもよい）を使用して、環境を監視することができる。世界カメラ３１６によって入手された画像に基づいて、ウェアラブルシステム２００は、環境内のオブジェクトを検出することができる（例えば、１つ以上のオブジェクト認識装置を使用することによって）。ウェアラブルシステムはさらに、ＧＰＳ３３７によって入手されたデータを使用して、キャラクタを解釈することができる。

【００８３】

ウェアラブルシステム２００はまた、レンダリングエンジン３３４を備えてもよく、これは、世界のユーザのビューのために、ユーザにローカルなレンダリング情報を提供し、スキャナの動作およびユーザの眼の中への結像を促進するように構成されることができる。レンダリングエンジン３３４は、ハードウェアプロセッサ（例えば、中央処理ユニットまたはグラフィック処理ユニット等）によって実装されてもよい。いくつかの実施形態では、レンダリングエンジンは、ローカル処理およびデータモジュール２６０の一部である。レンダリングエンジン３３４は、ウェアラブルシステム２００の他のコンポーネントに通信可能に結合されることができる（例えば、有線または無線リンクを介して）。例えば、レンダリングエンジン３３４は、通信リンク２７４を介して、眼カメラ３２４に結合され、通信リンク２７２を介して、投影サブシステム３１８（網膜走査ディスプレイに類似する様式において、走査レーザ配列を介して、光をユーザの眼３０２、３０４の中に投影することができる）に結合されることができる。レンダリングエンジン３３４はまた、それぞれ、リンク２７６および２９４を介して、例えば、センサ姿勢プロセッサ３３２および画像姿勢プロセッサ３３６等の他の処理ユニットと通信することができる。

【００８４】

カメラ３２４（例えば、小型赤外線カメラ）は、眼姿勢を追跡し、レンダリングおよびユーザ入力をサポートするために利用されてもよい。いくつかの例示的眼姿勢は、ユーザが見ている場所または合焦させている深度（眼の輻輳・開散運動を用いて推定されてもよい）を含んでもよい。ＧＰＳ３３７、ジャイロスコープ、コンパス、および加速度計３３９は、大まかなまたは高速姿勢推定を提供するために利用されてもよい。カメラ３１６のうちの１つ以上のものは、画像および姿勢を入手することができ、これは、関連付けられるクラウドコンピューティングリソースからのデータと併せて、ローカル環境をマッピングし、ユーザビューを他者と共有するために利用されてもよい。

【００８５】

図３に描写される例示的コンポーネントは、例証目的のためだけのものである。複数のセンサおよび他の機能モジュールが、例証および説明の容易性のために、ともに示される。いくつかの実施形態は、これらのセンサまたはモジュールの１つのみまたはサブセットを含んでもよい。さらに、これらのコンポーネントの場所は、図３に描写される位置に限定されない。いくつかのコンポーネントは、ベルト搭載型コンポーネント、ハンドヘルドコンポーネント、またはヘルメットコンポーネント等、他のコンポーネント内に搭載または格納されてもよい。一実施例として、画像姿勢プロセッサ３３６、センサ姿勢プロセッサ３３２、およびレンダリングエンジン３３４は、ベルトパック内に位置付けられ、超広帯域、Ｗｉ－Ｆｉ、Ｂｌｕｅｔｏｏｔｈ（登録商標）等の無線通信を介して、または有線通信を介して、ウェアラブルシステムの他のコンポーネントと通信するように構成されてもよい。描写される筐体２３０は、好ましくは、ユーザによって頭部搭載可能かつ装着可

能である。しかしながら、ウェアラブルシステム２００のいくつかのコンポーネントは、ユーザの身体の他の部分に装着されてもよい。例えば、スピーカ２４０が、ユーザの耳の中に挿入され、音をユーザに提供してもよい。

【００８６】

ユーザの眼３０２、３０４の中への光３３８の投影に関して、いくつかの実施形態では、カメラ３２４は、一般に、眼の焦点の位置または「焦点深度」と一致する、ユーザの眼の中心が幾何学的に輻輳される場所を測定するために利用されてもよい。眼が輻輳する全ての点の３次元表面は、「単視軌跡」と称され得る。焦点距離は、有限数の深度をとり得る、または無限に変動し得る。輻輳・開散運動距離から投影された光は、対象の眼３０２、３０４に集束されるように現れる一方、輻輳・開散運動距離の正面または背後の光は、ぼかされる。本開示のウェアラブルシステムおよび他のディスプレイシステムの実施例はまた、米国特許公開第２０１６／０２７０６５６号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明される。

【００８７】

ヒト視覚系は、複雑であって、深度の現実的知覚を提供することは、困難である。オブジェクトの視認者は、輻輳・開散運動と遠近調節の組み合わせに起因して、オブジェクトを３次元として知覚し得る。相互に対する２つの眼の輻輳・開散運動移動（例えば、眼の視線を収束させ、オブジェクトを固視するための相互に向かった、またはそこから離れる瞳孔の回転移動）は、眼の水晶体の合焦（または「遠近調節」）と緊密に関連付けられる。通常条件下、焦点を１つのオブジェクトから異なる距離における別のオブジェクトに変化させるための眼の水晶体の焦点の変化または眼の遠近調節は、「遠近調節－輻輳・開散運動反射」として知られる関係下、同一距離への輻輳・開散運動の合致する変化を自動的に生じさせるであろう。同様に、輻輳・開散運動の変化は、通常条件下、遠近調節の合致する変化を誘起するであろう。遠近調節と輻輳・開散運動との間のより良好な合致を提供するディスプレイシステムが、３次元画像のより現実的かつ快適なシミュレーションを形成し得る。

【００８８】

さらに、約０．７ミリメートル未満のビーム直径を伴う、空間的にコヒーレントな光は、眼が合焦している場所にかかわらず、ヒトの眼によって正しく解決され得る。したがって、適切な焦点深度の錯覚を作成するために、眼の輻輳・開散運動が、カメラ３２４を用いて追跡されてもよく、レンダリングエンジン３３４および投影サブシステム３１８は、単視軌跡上またはそれに近接する全てのオブジェクトを合焦させてレンダリングし、全ての他のオブジェクトを可変程度に焦点をずらしてレンダリングするために利用されてもよい（例えば、意図的に作成されたぼけを使用して）。好ましくは、システム２２０は、ユーザに、約６０フレーム／秒またはそれを上回るフレームレートでレンダリングする。上記に説明されるように、好ましくは、カメラ３２４は、眼追跡のために利用されてもよく、ソフトウェアは、輻輳・開散運動幾何学形状だけではなく、また、ユーザ入力としての役割を果たすための焦点場所キューも取り上げるように構成されてもよい。好ましくは、そのようなディスプレイシステムは、昼間または夜間の使用のために好適な明度およびコントラストを用いて構成される。

【００８９】

いくつかの実施形態では、ディスプレイシステムは、好ましくは、視覚的オブジェクト整合のために約２０ミリ秒未満の待ち時間、約０．１度未満の角度整合、および約１弧分の分解能を有し、これは、理論によって限定されるわけではないが、ヒトの眼のほぼ限界であると考えられる。ディスプレイシステム２２０は、位置特定システムと統合されてもよく、これは、ＧＰＳ要素、光学追跡、コンパス、加速度計、または他のデータソースを伴い、位置および姿勢決定を補助し得る。位置特定情報は、関連世界のユーザのビュー内における正確なレンダリングを促進するために利用されてもよい（例えば、そのような情報は、眼鏡が実世界に対する場所を把握することを促進するであろう）。

【００９０】

いくつかの実施形態では、ウェアラブルシステム２００は、ユーザの眼の遠近調節に基づいて、１つ以上の仮想画像を表示するように構成される。ユーザに画像が投影されている場所に合焦させるように強制する、従来の３Ｄディスプレイアプローチと異なり、いくつかの実施形態では、ウェアラブルシステムは、投影された仮想コンテンツの焦点を自動的に変動させ、ユーザに提示される１つ以上の画像のより快適な視認を可能にするように構成される。例えば、ユーザの眼が、１ｍの現在の焦点を有する場合、画像は、ユーザの焦点と一致するように投影されてもよい。ユーザが、焦点を３ｍに偏移させる場合、画像は、新しい焦点と一致するように投影される。したがって、ユーザに所定の焦点を強制するのではなく、いくつかの実施形態のウェアラブルシステム２００は、ユーザの眼がより自然な様式において機能することを可能にする。

【００９１】

そのようなウェアラブルシステム２００は、仮想現実デバイスに対して典型的に観察される、眼精疲労、頭痛、および他の生理学的症状の発生率を排除または低減させ得る。これを達成するために、ウェアラブルシステム２００の種々の実施形態は、１つ以上の可変焦点要素（ＶＦＥ）を通して、仮想画像を可変焦点距離に投影するように構成される。１つ以上の実施形態では、３Ｄ知覚は、画像をユーザから固定された焦点面に投影する、多面焦点システムを通して達成されてもよい。他の実施形態は、可変平面焦点を採用し、焦点面は、ユーザの焦点の現在の状態と一致するように、ｚ－方向に往復して移動される。

【００９２】

多面焦点システムおよび可変平面焦点システムの両方において、ウェアラブルシステム２００は、眼追跡を採用し、ユーザの眼の輻輳・開散運動を決定し、ユーザの現在の焦点を決定し、仮想画像を決定された焦点に投影してもよい。他の実施形態では、ウェアラブルシステム２００は、ファイバスキャナまたは他の光生成源を通して、網膜を横断して、可変焦点の光ビームをラスタパターンで可変に投影する、光変調器を備える。したがって、画像を可変焦点距離に投影するウェアラブルシステム２００のディスプレイの能力は、ユーザがオブジェクトを３Ｄにおいて視認するための遠近調節を容易にするだけではなく、また、米国特許公開第２０１６／０２７０６５６号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）にさらに説明されるように、ユーザの眼球異常を補償するために使用されてもよい。いくつかの他の実施形態では、空間光変調器は、種々の光学コンポーネントを通して、画像をユーザに投影してもよい。例えば、以下にさらに説明されるように、空間光変調器は、画像を１つ以上の導波管上に投影してもよく、これは、次いで、画像をユーザに伝送する。

Ｃ．導波管スタックアセンブリ

【００９３】

図４は、画像情報をユーザに出力するための導波管スタックの実施例を図示する。ウェアラブルシステム４００は、複数の導波管４３２ｂ、４３４ｂ、４３６ｂ、４３８ｂ、４４００ｂを使用して、３次元知覚を眼／脳に提供するために利用され得る、導波管のスタックまたはスタックされた導波管アセンブリ４８０を含む。いくつかの実施形態では、ウェアラブルシステム４００は、図２のウェアラブルシステム２００に対応し得、図４は、そのウェアラブルシステム２００のいくつかの部分をより詳細に図式的に示す。例えば、いくつかの実施形態では、導波管アセンブリ４８０は、図２のディスプレイ２２０の中に統合されてもよい。

【００９４】

図４を継続して参照すると、導波管アセンブリ４８０はまた、複数の特徴４５８、４５６、４５４、４５２を導波管の間に含んでもよい。いくつかの実施形態では、特徴４５８、４５６、４５４、４５２は、レンズであってもよい。他の実施形態では、特徴４５８、４５６、４５４、４５２は、レンズではなくてもよい。むしろ、それらは、単に、スペーサであってもよい（例えば、空気間隙を形成するためのクラッディング層または構造）。

【００９５】

導波管４３２ｂ、４３４ｂ、４３６ｂ、４３８ｂ、４４０ｂまたは複数のレンズ４５８

、４５６、４５４、４５２は、種々のレベルの波面曲率または光線発散を用いて、画像情報を眼に送信するように構成されてもよい。各導波管レベルは、特定の深度面と関連付けられてもよく、その深度面に対応する画像情報を出力するように構成されてもよい。画像投入デバイス４２０、４２２、４２４、４２６、４２８は、それぞれ、眼４１０に向かって出力するために、各個別の導波管を横断して入射光を分散させるように構成され得る、導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂの中に画像情報を投入するために利用されてもよい。光は、画像投入デバイス４２０、４２２、４２４、４２６、４２８の出力表面から出射し、導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂの対応する入力縁の中に投入される。いくつかの実施形態では、光の単一ビーム（例えば、コリメートされたビーム）が、各導波管の中に投入され、特定の導波管と関連付けられる深度面に対応する特定の角度（および発散量）において眼４１０に向かって指向される、クローン化されるコリメートされたビームの場全体を出力してもよい。

【００９６】

いくつかの実施形態では、画像投入デバイス４２０、４２２、４２４、４２６、４２８は、それぞれ、対応する導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂの中への投入のための画像情報をそれぞれ生成する、離散ディスプレイである。いくつかの他の実施形態では、画像投入デバイス４２０、４２２、４２４、４２６、４２８は、例えば、１つ以上の光学導管（光ファイバケーブル等）を介して、画像情報を画像投入デバイス４２０、４２２、４２４、４２６、４２８のそれぞれに送り得る、単一の多重化されたディスプレイの出力端である。

【００９７】

コントローラ４６０が、スタックされた導波管アセンブリ４８０および画像投入デバイス４２０、４２２、４２４、４２６、４２８の動作を制御する。コントローラ４６０は、導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂへの画像情報のタイミングおよび提供を調整する、プログラミング（例えば、非一過性コンピュータ可読媒体内の命令）を含む。いくつかの実施形態では、コントローラ４６０は、単一一体型デバイスまたは有線または無線通信チャネルによって接続される分散型システムであってもよい。コントローラ４６０は、いくつかの実施形態では、処理モジュール２６０または２７０（図２に図示される）の一部であってもよい。

【００９８】

導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂは、全内部反射（ＴＩＲ）によって各個別の導波管内で光を伝搬するように構成されてもよい。導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂはそれぞれ、主要上部表面および底部表面およびそれらの主要上部表面と底部表面との間に延在する縁を伴う、平面である、または別の形状（例えば、湾曲）を有してもよい。図示される構成では、導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂはそれぞれ、各個別の導波管内で伝搬する光を導波管から外に再指向し、画像情報を眼４１０に出力することによって、光を導波管から抽出するように構成される、光抽出光学要素４４０ａ、４３８ａ、４３６ａ、４３４ａ、４３２ａを含んでもよい。抽出された光はまた、外部結合光と称され得、光抽出光学要素はまた、外部結合光学要素と称され得る。抽出された光のビームは、導波管によって、導波管内で伝搬する光が光再指向要素に衝打する場所において出力される。光抽出光学要素（４４０ａ、４３８ａ、４３６ａ、４３４ａ、４３２ａ）は、例えば、反射または回折光学特徴であってもよい。説明を容易にし、図面を明確性にするために、導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂの底部主要表面に配置されて図示されるが、いくつかの実施形態では、光抽出光学要素４４０ａ、４３８ａ、４３６ａ、４３４ａ、４３２ａは、上部または底部主要表面に配置されてもよい、または導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂの容積内に直接配置されてもよい。いくつかの実施形態では、光抽出光学要素４４０ａ、４３８ａ、４３６ａ、４３４ａ、４３２ａは、透明基板に取り付けられ、導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂを形成する、材料の層内に形成されてもよい。いくつかの他の実施形態では、導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３

６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂは、材料のモノリシック片であってもよく、光抽出光学要素４４０ａ、４３８ａ、４３６ａ、４３４ａ、４３２ａは、その材料片の表面上または内部に形成されてもよい。

【００９９】

図４を継続して参照すると、本明細書に議論されるように、各導波管４４０ｂ、４３８ｂ、４３６ｂ、４３４ｂ、４３２ｂは、光を出力し、特定の深度面に対応する画像を形成するように構成される。例えば、眼の最近傍の導波管４３２ｂは、そのような導波管４３２ｂの中に投入されるにつれて、コリメートされた光を眼４１０に送達するように構成されてもよい。コリメートされた光は、光学無限遠焦点面を表し得る。次の上方の導波管４３４ｂは、眼４１０に到達し得る前に、第１のレンズ４５２（例えば、負のレンズ）を通して通過する、コリメートされた光を送出するように構成されてもよい。第１のレンズ４５２は、眼／脳が、その次の上方の導波管４３４ｂから生じる光を光学無限遠から眼４１０に向かって内向きにより近い第１の焦点面から生じるものとして解釈するように、若干の凸面波面曲率を生成するように構成されてもよい。同様に、第３の上方の導波管４３６ｂは、眼４１０に到達する前に、その出力光を第１のレンズ４５２および第２のレンズ４５４の両方を通して通過させる。第１および第２のレンズ４５２および４５４の組み合わせられた屈折力は、眼／脳が、第３の導波管４３６ｂから生じる光が次の上方の導波管４３４ｂからの光であったよりも光学無限遠から人物に向かって内向きにさらに近い第２の焦点面から生じるものとして解釈するように、別の漸増量の波面曲率を生成するように構成されてもよい。

【０１００】

他の導波管層（例えば、導波管４３８ｂ、４４０ｂ）およびレンズ（例えば、レンズ４５６、４５８）も同様に構成され、スタック内の最高導波管４４０ｂを用いて、人物に最も近い焦点面を表す集約焦点力のために、その出力をそれと眼との間のレンズの全てを通して送出する。スタックされた導波管アセンブリ４８０の他側の世界４７０から生じる光を視認／解釈するとき、レンズ４５８、４５６、４５４、４５２のスタックを補償するために、補償レンズ層４３０が、スタックの上部に配置され、下方のレンズスタック４５８、４５６、４５４、４５２の集約力を補償してもよい。（補償レンズ層４３０およびスタックされた導波管アセンブリ４８０は、全体として、世界４７０から生じる光が、最初にスタックされた導波管アセンブリ４８０によって受光されたときに光が有していたものと実質的に同一レベルの発散（またはコリメーション）で眼４１０に伝達されるように構成され得る。）そのような構成は、利用可能な導波管／レンズ対と同じ数の知覚される焦点面を提供する。導波管の光抽出光学要素およびレンズの集束側面は両方とも、静的であってもよい（例えば、動的または電気活性ではない）。いくつかの代替実施形態では、一方または両方とも、電気活性特徴を使用して動的であってもよい。

【０１０１】

図４を継続して参照すると、光抽出光学要素４４０ａ、４３８ａ、４３６ａ、４３４ａ、４３２ａは、導波管と関連付けられる特定の深度面のために、光をそれらの個別の導波管から外に再指向し、かつ本光を適切な量の発散またはコリメーションを伴って出力するように構成されてもよい。その結果、異なる関連付けられる深度面を有する導波管が、関連付けられる深度面に応じて、異なる量の発散を伴う光を出力する、光抽出光学要素の異なる構成を有してもよい。いくつかの実施形態では、本明細書に議論されるように、光抽出光学要素４４０ａ、４３８ａ、４３６ａ、４３４ａ、４３２ａは、光を具体的角度で出力するように構成され得る、立体または表面特徴であってもよい。例えば、光抽出光学要素４４０ａ、４３８ａ、４３６ａ、４３４ａ、４３２ａは、立体ホログラム、表面ホログラム、および／または回折格子であってもよい。回折格子等の光抽出光学要素は、２０１５年６月２５日に公開された米国特許公開第２０１５／０１７８９３９号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明される。

【０１０２】

いくつかの実施形態では、光抽出光学要素４４０ａ、４３８ａ、４３６ａ、４３４ａ、

４３２ａは、回折パターンを形成する回折特徴または「回折光学要素」（本明細書では、「ＤＯＥ」とも称される）である。好ましくは、ＤＯＥは、ビームの光の一部のみが、ＤＯＥの各交差部で眼４１０に向かって偏向される一方、残りが、全内部反射を介して、導波管を通して移動し続けるように、比較的に低回折効率を有する。画像情報を搬送する光は、したがって、複数の場所において導波管から出射する、いくつかの関連出射ビームに分割され、その結果、導波管内でバウンスする本特定のコリメートされたビームに関して、眼３０４に向かって非常に均一なパターンの出射放出となり得る。

【０１０３】

いくつかの実施形態では、１つ以上のＤＯＥは、それらが能動的に回折する「オン」状態と有意に回折しない「オフ」状態との間で切替可能であり得る。例えば、切替可能なＤＯＥは、小液滴がホスト媒体内に回折パターンを備える、ポリマー分散液晶の層を備えてもよく、微小液滴の屈折率は、ホスト材料の屈折率に実質的に合致するように切り替えられてもよい（その場合、パターンは、入射光を著しく回折させない）、または微小液滴は、ホスト媒体のものに合致しない屈折率に切り替えられてもよい（その場合、パターンは、入射光を能動的に回折させる）。

【０１０４】

いくつかの実施形態では、深度面または被写界深度の数および分布は、視認者の眼の瞳孔サイズまたは配向に基づいて、動的に変動されてもよい。被写界深度は、視認者の瞳孔サイズと反比例して変化してもよい。その結果、視認者の眼の瞳孔のサイズが減少するにつれて、被写界深度は、その平面の場所が眼の焦点深度を越えるため判別不能である１つの平面が、判別可能となり、瞳孔サイズの低減および被写界深度の相当する増加に伴って、より合焦して現れ得るように増加する。同様に、異なる画像を視認者に提示するために使用される、離間された深度面の数は、減少された瞳孔サイズに伴って減少され得る。例えば、視認者は、一方の深度面から他方の深度面への眼の遠近調節を調節することなく、第１の深度面および第２の深度面の両方の詳細を１つの瞳孔サイズにおいて明確に知覚することが可能ではない場合がある。しかしながら、これらの２つの深度面は、同時に、遠近調節を変化させることなく、別の瞳孔サイズにおいてユーザにとって十分に合焦し得る。

【０１０５】

いくつかの実施形態では、ディスプレイシステムは、瞳孔サイズまたは配向の決定に基づいて、または特定の瞳孔サイズまたは配向を示す電気信号の受信に応じて、画像情報を受信する導波管の数を変動させてもよい。例えば、ユーザの眼が、２つの導波管と関連付けられる２つの深度面間を区別不能である場合、コントローラ４６０（ローカル処理およびデータモジュール２６０の実施形態であり得る）は、これらの導波管のうちの１つへの画像情報の提供を停止するように構成またはプログラムされることができる。有利なこととして、これは、システムへの処理負担を低減させ、それによって、システムの応答性を増加させ得る。導波管のためのＤＯＥがオンおよびオフ状態間で切替可能である実施形態では、ＤＯＥは、導波管が画像情報を受信するとき、オフ状態に切り替えられてもよい。

【０１０６】

いくつかの実施形態では、出射ビームに視認者の眼の直径未満の直径を有するという条件を満たさせることが望ましくあり得る。しかしながら、本条件を満たすことは、視認者の瞳孔のサイズの変動性に照らして、困難であり得る。いくつかの実施形態では、本条件は、視認者の瞳孔のサイズの決定に応答して出射ビームのサイズを変動させることによって、広範囲の瞳孔サイズにわたって満たされる。例えば、瞳孔サイズが減少するにつれて、出射ビームのサイズもまた、減少し得る。いくつかの実施形態では、出射ビームサイズは、可変開口を使用して変動されてもよい。

【０１０７】

ウェアラブルシステム４００は、世界４７０の一部を結像する、外向きに面した結像システム４６４（例えば、デジタルカメラ）を含むことができる。世界４７０の本部分は、世界カメラの視野（ＦＯＶ）と称され得、結像システム４６４は、時として、ＦＯＶカメラとも称される。世界カメラのＦＯＶは、視認者２１０のＦＯＶと同一である場合とそう

ではない場合があり、これは、視認者２１０が所与の時間に知覚する、世界４７０の一部を包含する。例えば、いくつかの状況では、世界カメラのＦＯＶは、ウェアラブルシステム４００の視認者２１０の視認者２１０より大きくあり得る。視認者による視認または結像のために利用可能な領域全体は、動眼視野（ＦＯＲ）と称され得る。ＦＯＲは、装着者が、その身体、頭部、または眼を移動させ、空間内の実質的に任意の方向を知覚し得るため、ウェアラブルシステム４００を囲繞する４πステラジアンの立体角を含んでもよい。他のコンテキストでは、装着者の移動は、より抑制されてもよく、それに応じて、装着者のＦＯＲは、より小さい立体角に接し得る。外向きに面した結像システム４６４から得られた画像は、ユーザによって行われるジェスチャ（例えば、手または指のジェスチャ）を追跡し、ユーザの正面における世界４７０内のオブジェクトを検出する等のために、使用されることができる。

【０１０８】

ウェアラブルシステム４００は、オーディオセンサ２３２、例えば、マイクロホンを含み、周囲音を捕捉することができる。上記に説明されるように、いくつかの実施形態では、１つ以上の他のオーディオセンサが、発話源の場所の決定に有用なステレオ音受信を提供するために位置付けられることができる。オーディオセンサ２３２は、別の実施例として、指向性マイクロホンを備えることができ、これはまた、オーディオ源が位置する場所に関するそのような有用な指向性情報を提供することができる。ウェアラブルシステム４００は、発話源を位置特定する際、または特定の瞬間におけるアクティブ話者を決定するために等、外向きに面した結像システム４６４およびオーディオセンサ２３０の両方からの情報を使用することができる。例えば、ウェアラブルシステム４００は、単独で、または話者の反射された画像（例えば、鏡に見られるように）と組み合わせて、音声認識を使用して、話者の識別を決定することができる。別の実施例として、ウェアラブルシステム４００は、指向性マイクロホンから入手された音に基づいて、環境内の話者の位置を決定することができる。ウェアラブルシステム４００は、発話認識アルゴリズムを用いて、話者の位置から生じる音を解析し、発話のコンテンツを決定し、音声認識技法を使用して、話者の識別（例えば、名前または他の人口統計情報）を決定することができる。

【０１０９】

ウェアラブルシステム４００はまた、眼移動および顔移動等のユーザの移動を観察する、内向きに面した結像システム４６６（例えば、デジタルカメラ）を含むことができる。内向きに面した結像システム４６６は、眼４１０の画像を捕捉し、眼３０４の瞳孔のサイズおよび／または配向を決定するために使用されてもよい。内向きに面した結像システム４６６は、ユーザが見ている方向（例えば、眼姿勢）を決定する際に使用するため、またはユーザのバイオメトリック識別のため（例えば、虹彩識別を介して）、画像を得るために使用されることができる。いくつかの実施形態では、少なくとも１つのカメラが、眼毎に、独立して、各眼の瞳孔サイズまたは眼姿勢を別個に決定し、それによって、各眼への画像情報の提示がその眼に対して動的に調整されることを可能にするために利用されてもよい。いくつかの他の実施形態では、単一眼４１０のみの瞳孔直径または配向（例えば、対の眼あたり単一カメラのみを使用して）が、決定され、ユーザの両眼に関して類似すると仮定された。内向きに面した結像システム４６６によって得られる画像は、ユーザに提示されるべきオーディオまたは視覚的コンテンツを決定するためにウェアラブルシステム４００によって使用され得る、ユーザの眼姿勢または気分を決定するために分析されてもよい。ウェアラブルシステム４００はまた、ＩＭＵ、加速度計、ジャイロスコープ等のセンサを使用して、頭部姿勢（例えば、頭部位置または頭部配向）を決定してもよい。

【０１１０】

ウェアラブルシステム４００は、ユーザが、コマンドをコントローラ４６０に入力し、ウェアラブルシステム４００と相互作用し得る、ユーザ入力デバイス４６６を含むことができる。例えば、ユーザ入力デバイス４６６は、トラックパッド、タッチスクリーン、ジョイスティック、多自由度（ＤＯＦ）コントローラ、容量感知デバイス、ゲームコントローラ、キーボード、マウス、指向性パッド（Ｄパッド）、ワンド、触知デバイス、トーテ

ム（例えば、仮想ユーザ入力デバイスとして機能する）等を含むことができる。マルチＤＯＦコントローラは、コントローラの一部または全部の可能性として考えられる平行移動（例えば、左／右、前方／後方、または上／下）または回転（例えば、ヨー、ピッチ、またはロール）におけるユーザ入力を感知することができる。平行移動をサポートする、マルチＤＯＦコントローラは、３ＤＯＦと称され得る一方、平行移動および回転をサポートする、マルチＤＯＦコントローラは、６ＤＯＦと称され得る。ある場合には、ユーザは、指（例えば、親指）を使用して、タッチセンサ式入力デバイスを押下またはその上でスワイプし、入力をウェアラブルシステム４００に提供してもよい（例えば、ユーザ入力をウェアラブルシステム４００によって提供されるユーザインターフェースに提供するために）。ユーザ入力デバイス４６６は、ウェアラブルシステム４００の使用の間、ユーザの手によって保持されてもよい。ユーザ入力デバイス４６６は、ウェアラブルシステム４００と有線または無線通信することができる。

Ｄ．ウェアラブルシステムの他のコンポーネント

【０１１１】

多くの実装では、ウェアラブルシステムは、上記に説明されるウェアラブルシステムのコンポーネントに加えて、またはその代替として、他のコンポーネントを含んでもよい。ウェアラブルシステムは、例えば、１つ以上の触知デバイスまたはコンポーネントを含んでもよい。触知デバイスまたはコンポーネントは、触覚をユーザに提供するように動作可能であってもよい。例えば、触知デバイスまたはコンポーネントは、仮想コンテンツ（例えば、仮想オブジェクト、仮想ツール、他の仮想構造）に触れると、圧力またはテクスチャの触覚を提供してもよい。触覚は、仮想オブジェクトが表す物理的オブジェクトの感覚を再現してもよい、または仮想コンテンツが表す想像上のオブジェクトまたはキャラクタ（例えば、ドラゴン）の感覚を再現してもよい。いくつかの実装では、触知デバイスまたはコンポーネントは、ユーザによって装着されてもよい（例えば、ユーザウェアラブルグローブ）。いくつかの実装では、触知デバイスまたはコンポーネントは、ユーザによって保持されてもよい。

【０１１２】

ウェアラブルシステムは、例えば、ユーザによって操作可能であって、ウェアラブルシステムへの入力またはそれとの相互作用を可能にする、１つ以上の物理的オブジェクトを含んでもよい。これらの物理的オブジェクトは、本明細書では、トーテムと称され得る。いくつかのトーテムは、無有生オブジェクト、例えば、金属またはプラスチック片、壁、テーブルの表面の形態をとってもよい。ある実装では、トーテムは、実際には、任意の物理的入力構造（例えば、キー、トリガ、ジョイスティック、トラックボール、ロッカスイッチ）を有していなくてもよい。代わりに、トーテムは、単に、物理的表面を提供してもよく、ウェアラブルシステムは、ユーザにトーテムの１つ以上の表面上にあるように見えるように、ユーザインターフェースをレンダリングしてもよい。例えば、ウェアラブルシステムは、トーテムの１つ以上の表面上に常駐するように見えるように、コンピュータキーボードおよびトラックパッドの画像をレンダリングしてもよい。例えば、ウェアラブルシステムは、トーテムとしての役割を果たす、アルミニウムの薄い長方形プレートの表面上に見えるように、仮想コンピュータキーボードおよび仮想トラックパッドをレンダリングしてもよい。長方形プレート自体は、いずれの物理的キーまたはトラックパッドまたはセンサも有していない。しかしながら、ウェアラブルシステムは、仮想キーボードまたは仮想トラックパッドを介して行われた選択または入力として、長方形プレートを用いたユーザ操作または相互作用またはタッチを検出し得る。ユーザ入力デバイス４６６（図４に示される）は、トラックパッド、タッチパッド、トリガ、ジョイスティック、トラックボール、ロッカまたは仮想スイッチ、マウス、キーボード、多自由度コントローラ、または別の物理的入力デバイスを含み得る、トーテムの実施形態であってもよい。ユーザは、単独で、または姿勢と組み合わせて、トーテムを使用し、ウェアラブルシステムまたは他のユーザと相互作用してもよい。

【０１１３】

本開示のウェアラブルデバイス、ＨＭＤ、およびディスプレイシステムと使用可能な触知デバイスおよびトーテムの実施例は、米国特許公開第２０１５／００１６７７７号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明される。

Ｅ．眼画像の実施例

【０１１４】

図５は、眼瞼５０４と、強膜５０８（「白眼」）と、虹彩５１２と、瞳孔５１６とを伴う、眼５００の画像を図示する。曲線５１６ａは、瞳孔５１６と虹彩５１２との間の瞳孔境界を示し、曲線５１２ａは、虹彩５１２と強膜５０８との間の辺縁境界を示す。眼瞼５０４は、上側眼瞼５０４ａと、下側眼瞼５０４ｂとを含む。眼５００は、自然静置姿勢（例えば、ユーザの顔および視線の両方が、ユーザの真正面の遠距離オブジェクトに向かうであろうように配向される）に図示される。眼５００の自然静置姿勢は、自然静置方向５２０によって示され得、該方向は、自然静置姿勢にあるときの眼５００の表面に直交する方向（例えば、図５に示される眼５００に対する面から直接外に出る）であり、本実施例では、瞳孔５１６内に心合される。

【０１１５】

眼５００が、異なるオブジェクトに向かって見るように移動するにつれて、眼姿勢は、自然静置方向５２０に対して変化するであろう。現在の眼姿勢は、眼の表面に直交する（かつ瞳孔５１６内に心合される）方向であるが、眼が現在指向されているオブジェクトに向かって配向される、眼姿勢方向５２４を参照して決定されることができる。図５Ａに示される例示的座標系を参照すると、眼５００の姿勢は、両方とも眼の自然静置方向５２０に対する、眼の眼姿勢方向５２４の方位角偏向および天頂偏向を示す、２つの角度パラメータとして表され得る。例証目的のために、これらの角度パラメータは、θ（基点方位角から決定される、方位角偏向）およびφ（時として、極性偏向とも称される、天頂偏向）として表され得る。いくつかの実装では、眼姿勢方向５２４の周囲の眼の角度ロールが、眼姿勢の決定に含まれることができ、角度ロールは、以下の分析に含まれることができる。他の実装では、眼姿勢を決定するための他の技法が、例えば、ピッチ、ヨー、および随意に、ロール系が、使用されることができる。

【０１１６】

眼画像は、任意の適切なプロセスを使用して、例えば、画像を１つ以上のシーケンシャルフレームから抽出し得る、ビデオ処理アルゴリズムを使用して、ビデオから取得されることができる。眼の姿勢は、種々の眼追跡技法を使用して、眼画像から決定されることができる。例えば、眼姿勢は、提供される光源に及ぼす角膜のレンズ効果を検討することによって決定されることができる。任意の好適な眼追跡技法が、眼姿勢を決定するために使用されることができる。

Ｆ．眼追跡システムの実施例

【０１１７】

図６は、眼追跡システムを含む、ウェアラブルシステム６００の概略図を図示する。ウェアラブルシステム６００は、少なくともいくつかの実施形態では、頭部搭載型ユニット６０２内に位置するコンポーネントと、非頭部搭載型ユニット６０４内に位置するコンポーネントとを含んでもよい。非頭部搭載型ユニット６０４は、実施例として、ベルト搭載型コンポーネント、ハンドヘルドコンポーネント、リュック内のコンポーネント、遠隔コンポーネント等であってもよい。ウェアラブルシステム６００のコンポーネントのうちのいくつかを非頭部搭載型ユニット６０４内に組み込むことは、頭部搭載型ユニット６０２のサイズ、重量、複雑性、およびコストを低減させることに役立ち得る。いくつかの実装では、頭部搭載型ユニット６０２および／または非頭部搭載型６０４の１つ以上のコンポーネントによって実施されているように説明される機能性の一部または全部は、ウェアラブルシステム６００内のいずれかに含まれる１つ以上のコンポーネントを用いて提供されてもよい。例えば、頭部搭載型ユニット６０２のＣＰＵ６１２と関連して下記に説明される機能性の一部または全部は、非頭部搭載型ユニット６０４のＣＰＵ６１６を用いて提供されてもよく、その逆も同様である。いくつかの実施例では、そのような機能性の一部ま

たは全部は、ウェアラブルシステム６００の周辺デバイスを用いて提供されてもよい。さらに、いくつかの実装では、そのような機能性の一部または全部は、図２を参照して上記に説明されたものに類似する様式において、１つ以上のクラウドコンピューティングデバイスまたは他の遠隔に位置するコンピューティングデバイスを用いて提供されてもよい。

【０１１８】

図６に示されるように、ウェアラブルシステム６００は、ユーザの眼６１０の画像を捕捉する、カメラ３２４を含む、眼追跡システムを含むことができる。所望に応じて、眼追跡システムはまた、光源３２６ａおよび３２６ｂ（発光ダイオード「ＬＥＤ」等）を含んでもよい。光源３２６ａおよび３２６ｂは、閃光（例えば、カメラ３２４によって捕捉された眼の画像内に現れる、ユーザの眼からの反射）を生成し得る。カメラ３２４に対する光源３２６ａおよび３２６ｂの位置は、既知であり得、その結果、カメラ３２４によって捕捉された画像内の閃光の位置が、ユーザの眼を追跡する際に使用されてもよい（図７に関連して下記により詳細に議論されるであろうように）。少なくとも一実施形態では、１つの光源３２６と、ユーザの眼６１０の片方と関連付けられる１つのカメラ３２４とが存在してもよい。別の実施形態では、１つの光源３２６と、ユーザの眼６１０のそれぞれと関連付けられる１つのカメラ３２４とが存在してもよい。さらに他の実施形態では、１つ以上のカメラ３２４と、ユーザの眼６１０の一方またはそれぞれと関連付けられる１つ以上の光源３２６とが存在してもよい。具体的実施例として、２つの光源３２６ａおよび３２６ｂと、ユーザの眼６１０のそれぞれと関連付けられる１つ以上のカメラ３２４とが存在してもよい。別の実施例として、光源３２６ａおよび３２６ｂ等の３つ以上の光源と、ユーザの眼６１０のそれぞれと関連付けられる１つ以上のカメラ３２４とが存在してもよい。本明細書に説明されるいくつかの実装では、２つ以上のカメラが、所与の眼を結像するために採用されてもよい。

【０１１９】

眼追跡モジュール６１４は、画像を眼追跡カメラ３２４から受信してもよく、画像を分析し、種々の情報を抽出してもよい。実施例として、眼追跡モジュール６１４は、ユーザの眼姿勢、眼追跡カメラ３２４（および頭部搭載型ユニット６０２）に対するユーザの眼の３次元位置、合焦されているユーザの眼６１０の一方または両方の方向、ユーザの輻輳・開散運動深度（例えば、ユーザが合焦しているユーザからの深度）、ユーザの瞳孔の位置、ユーザの角膜および／または角膜球面の位置、ユーザの眼の１つまたはそれぞれの回転中心、およびユーザの眼の１つまたはそれぞれの視点の中心、またはそれらの任意の組み合わせを検出してもよい。眼追跡モジュール６１４は、図７－１１に関連して下記に説明される技法を使用して、そのような情報を抽出してもよい。図６に示されるように、眼追跡モジュール６１４は、頭部搭載型ユニット６０２内のＣＰＵ６１２を使用して実装される、ソフトウェアモジュールであってもよい。

【０１２０】

１つのカメラ３２４が、眼を結像するように図６に示されるが、いくつかの実装では、本明細書に議論されるように、複数のカメラが、眼を結像し、角膜中心および／または回転中心測定等の測定のために使用される、または別様に眼追跡または他の目的のために使用されてもよい。

【０１２１】

眼追跡モジュール６１４からのデータは、ウェアラブルシステム内の他のコンポーネントに提供されてもよい。実施例として、そのようなデータは、ライトフィールドレンダリングコントローラ６１８および位置合わせオブザーバ６２０のためのソフトウェアモジュールを含む、ＣＰＵ６１６等の非頭部搭載型ユニット６０４内のコンポーネントに伝送されてもよい。

【０１２２】

レンダリングコントローラ６１８は、レンダリングエンジン６２２（例えば、ＧＰＵ６２０内のソフトウェアモジュールであり得、画像をディスプレイ２２０に提供し得る、レンダリングエンジン）によって、眼追跡モジュール６１４からの情報を使用して、ユーザ

に表示される画像を調節してもよい。実施例として、レンダリングコントローラ６１８は、ユーザの回転中心または視点の中心に基づいて、ユーザに表示される画像を調節してもよい。特に、レンダリングコントローラ６１８は、ユーザの視点の中心に関する情報を使用して、レンダリングカメラをシミュレートしてもよく（例えば、ユーザの視点からの画像の収集をシミュレートする）、シミュレートされたレンダリングカメラに基づいて、ユーザに表示される画像を調節してもよい。

【０１２３】

時として、「ピンホール透視投影カメラ」（または単に、「透視投影カメラ」）または「仮想ピンホールカメラ」（または単に、「仮想カメラ」）とも称される、「レンダリングカメラ」は、可能性として、仮想世界内のオブジェクトのデータベースからの仮想画像コンテンツをレンダリングする際に使用するためのシミュレートされたカメラである。オブジェクトは、ユーザまたは装着者に対する、および可能性として、ユーザまたは装着者を囲繞する環境内の実オブジェクトに対する、場所および配向を有してもよい。換言すると、レンダリングカメラは、そこからユーザまたは装着者がレンダリング空間の３Ｄ仮想コンテンツ（例えば、仮想オブジェクト）を視認すべきである、レンダリング空間内の視点を表し得る。レンダリングカメラは、レンダリングエンジンによって管理され、該眼に提示されるべき仮想オブジェクトのデータベースに基づいて、仮想画像をレンダリングしてもよい。仮想画像は、ユーザまたは装着者の視点から撮影されたかのようにレンダリングされ得る。例えば、仮想画像は、固有のパラメータの具体的セット（例えば、焦点距離、カメラピクセルサイズ、主点座標、歪／歪曲パラメータ等）と、付帯パラメータの具体的セット（例えば、仮想世界に対する平行移動成分および回転成分）とを有する、ピンホールカメラ（「レンダリングカメラ」に対応する）によって捕捉されたかのようにレンダリングされ得る。仮想画像は、レンダリングカメラの位置および配向（例えば、レンダリングカメラの付帯パラメータ）を有する、そのようなカメラの視点から撮影される。システムは、固有のおよび付帯レンダリングカメラパラメータを定義および／または調節し得るということになる。例えば、システムは、仮想画像が、ユーザまたは装着者の視点からであるように現れる画像を提供するように、ユーザまたは装着者の眼に対する具体的場所を有する、カメラの視点から捕捉されたかのようにレンダリングされるように、特定のセットの付帯レンダリングカメラパラメータを定義してもよい。システムは、後に、該具体的場所との位置合わせを維持するように、付帯レンダリングカメラパラメータをオンザフライで動的に調節してもよい。同様に、固有のレンダリングカメラパラメータも、定義され、経時的に動的に調節されてもよい。いくつかの実装では、画像は、開口（例えば、ピンホール）をユーザまたは装着者の眼に対する具体的場所（視点の中心または回転中心または他の場所等）に有するカメラの視点から捕捉されたかのようにレンダリングされる。

【０１２４】

いくつかの実施形態では、システムは、ユーザの眼が、相互から物理的に分離され、したがって、一貫して異なる場所に位置付けられるにつれて、ユーザの左眼のための１つのレンダリングカメラおよびユーザの右眼のために別のレンダリングカメラを作成または動的に再位置付および／または再配向してもよい。少なくともいくつかの実装では、視認者の左眼と関連付けられるレンダリングカメラの視点からレンダリングされた仮想コンテンツは、頭部搭載型ディスプレイ（例えば、頭部搭載型ユニット６０２）の左側の接眼レンズを通してユーザに提示され得、ユーザの右眼と関連付けられるレンダリングカメラの視点からレンダリングされた仮想コンテンツは、そのような頭部搭載型ディスプレイの右側の接眼レンズを通してユーザに提示され得るということになる。レンダリングプロセスにおけるレンダリングカメラの作成、調節、および使用について議論するさらなる詳細は、「ＭＥＴＨＯＤＳ ＡＮＤ ＳＹＳＴＥＭＳ ＦＯＲ ＤＥＴＥＣＴＩＮＧ ＡＮＤ ＣＯＭＢＩＮＩＮＧ ＳＴＲＵＣＴＵＲＡＬ ＦＥＡＴＵＲＥＳ ＩＮ ３Ｄ ＲＥＣＯＮＳＴＲＵＣＴＩＯＮ」と題された米国特許出願第１５／２７４，８２３号（あらゆる目的のために、参照することによってその全体として本明細書に明示的に組み込まれる）に提供される。

【０１２５】
いくつかの実施例では、システム６００の１つ以上のモジュール（またはコンポーネント）（例えば、ライトフィールドレンダリングコントローラ６１８、レンダリングエンジン６２０等）は、ユーザの頭部および眼の位置および配向（例えば、それぞれ、頭部姿勢および眼追跡データに基づいて決定されるように）に基づいて、レンダリング空間内のレンダリングカメラの位置および配向を決定してもよい。すなわち、システム６００は、事実上、ユーザの頭部および眼の位置および配向を３Ｄ仮想環境内の特定の場所および角位置にマッピングし、レンダリングカメラを３Ｄ仮想環境内の特定の場所および角位置に設置および配向し、レンダリングカメラによって捕捉されるであろうにつれて、仮想コンテンツをユーザのためにレンダリングし得る。実世界／仮想世界マッピングプロセスについて議論するさらなる詳細は、「ＳＥＬＥＣＴＩＮＧ　ＶＩＲＴＵＡＬ　ＯＢＪＥＣＴＳ　ＩＮ　Ａ　ＴＨＲＥＥ－ＤＩＭＥＮＳＩＯＮＡＬ　ＳＰＡＣＥ」と題された米国特許出願第１５／２９６，８６９号（あらゆる目的のために、参照することによってその全体として本明細書に明示的に組み込まれる）に提供される。実施例として、レンダリングコントローラ６１８は、画像が、画像を表示するために任意の所与の時間に利用される深度面（または複数の深度面）を選択することによって表示される、深度を調節してもよい。いくつかの実装では、そのような深度面切替は、１つ以上の固有のレンダリングカメラパラメータの調節を通して、行われてもよい。例えば、ライトフィールドレンダリングコントローラ６１８は、深度面切替または調節を実行するとき、レンダリングカメラの焦点距離を調節してもよい。下記にさらに詳細に説明されるように、深度面は、ユーザの決定された輻輳・開散運動または固視深度に基づいて、切り替えられてもよい。

【０１２６】
位置合わせオブザーバ６２０は、眼追跡モジュール６１４からの情報を使用して、頭部搭載型ユニット６０２がユーザの頭部上に適切に位置付けられているかどうかを識別してもよい。実施例として、眼追跡モジュール６１４は、カメラ３２４に対するユーザの眼の３次元位置を示す、ユーザの眼の回転中心の位置等の眼場所情報を提供してもよく、頭部搭載型ユニット６０２および眼追跡モジュール６１４は、場所情報を使用して、ディスプレイ２２０がユーザの視野内に適切に整合されているかどうか、または頭部搭載型ユニット６０２（またはヘッドセット）が滑脱している、または別様にユーザの眼と不整合状態であるかどうかを決定してもよい。実施例として、位置合わせオブザーバ６２０は、頭部搭載型ユニット６０２が、ユーザの鼻梁から滑脱しており、したがって、ディスプレイ２２０をユーザの眼から離れさせ、そこから下方に移動させている（望ましくあり得ない）かどうか、頭部搭載型ユニット６０２が、ユーザの鼻梁の上方に移動しており、したがって、ディスプレイ２２０をユーザの眼により近づけ、そこから上方に移動させているかどうか、頭部搭載型ユニット６０２が、ユーザの鼻梁に対して左または右に偏移されているかどうか、頭部搭載型ユニット６０２が、ユーザの鼻梁の上方に持ち上げられているかどうか、または頭部搭載型ユニット６０２が、これらまたは他の方法において、所望の位置または位置の範囲から離れて移動されているかどうかを決定することが可能であり得る。一般に、位置合わせオブザーバ６２０は、一般に、頭部搭載型ユニット６０２、特に、ディスプレイ２２０が、ユーザの眼の正面に適切に位置付けられているかどうかを決定することが可能であり得る。換言すると、位置合わせオブザーバ６２０は、ディスプレイシステム２２０内の左ディスプレイが、ユーザの左眼と適切に整合されており、ディスプレイシステム２２０内の右ディスプレイが、ユーザの右眼と適切に整合されているかどうかを決定し得る。位置合わせオブザーバ６２０は、頭部搭載型ユニット６０２が、ユーザの眼に対する位置および／または配向の所望の範囲内に位置付けられ、配向されているかどうかを決定することによって、頭部搭載型ユニット６０２が適切に位置付けられているかどうかを決定してもよい。

【０１２７】
少なくともいくつかの実施形態では、位置合わせオブザーバ６２０は、アラート、メッセージ、または他のコンテンツの形態におけるユーザフィードバックを生成してもよい。

そのようなフィードバックは、ユーザに提供され、ユーザに、頭部搭載型ユニット６０２の任意の不整合を、不整合を補正する方法に関する随意のフィードバック（頭部搭載型ユニット６０２を特定の様式において調節するための提案等）とともに知らせてもよい。

【０１２８】

位置合わせオブザーバ６２０によって利用され得る、例示的位置合わせ観察およびフィードバック技法は、２０１７年９月２７日に出願された、米国特許出願第１５／７１７，７４７号（弁理士整理番号ＭＬＥＡＰ．０５２Ａ２）および２０１８年３月１６日に出願された、米国仮特許出願第６２／６４４，３２１号（弁理士整理番号ＭＬＥＡＰ．１９５ＰＲ）（両方とも、参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明される。

Ｇ．眼追跡モジュールの実施例

【０１２９】

例示的眼追跡モジュール６１４の詳細なブロック図が、図７Ａに示される。図７Ａに示されるように、眼追跡モジュール６１４は、種々の異なるサブモジュールを含んでもよく、種々の異なる出力を提供してもよく、ユーザの眼を追跡する際に、種々の利用可能なデータを利用してもよい。実施例として、眼追跡モジュール６１４は、光源３２６および頭部搭載型ユニット６０２に対する眼追跡カメラ３２４の幾何学的配列、ユーザの角膜曲率の中心とユーザの眼の平均回転中心との間の典型的距離（例えば、５．７または５．７ｍｍ±１ｍｍまたはその近似値であり得る）またはユーザの角膜曲率の中心と瞳孔中心との間の距離（例えば、４．７または４．７ｍｍ±１ｍｍまたはその近似値であり得る）等の仮定された眼寸法７０４、またはユーザの回転中心と視点中心との間の距離、および特定のユーザの瞳孔間距離等のユーザ毎の較正データ７０６等の眼追跡の付帯性質および固有性質を含む、利用可能なデータを利用してもよい。眼追跡モジュール６１４によって採用され得る、付帯性質、固有性質、および他の情報の付加的実施例は、２０１７年４月２６日に出願された、米国特許出願第１５／４９７，７２６号（弁理士整理番号ＭＬＥＡＰ．０２３Ａ７号）（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明される。

【０１３０】

画像前処理モジュール７１０は、画像を眼カメラ３２４等の眼カメラから受信してもよく、１つ以上の前処理（例えば、調整）動作を受信された画像上に実施してもよい。実施例として、画像前処理モジュール７１０は、ガウスぼけを画像に適用してもよい、画像をより低い分解能にダウンサンプリングしてもよい、アンシャープマスクを適用してもよい、縁シャープニングアルゴリズムを適用してもよい、または後の検出、位置特定、および眼カメラ３２４からの画像内の閃光、瞳孔、または他の特徴の標識化を補助する、他の好適なフィルタを適用してもよい。画像前処理モジュール７１０は、高周波数雑音を瞳孔境界５１６ａ（図５参照）等から除去し、それによって瞳孔および閃光決定を妨害し得る、雑音を除去し得る、オープンフィルタ等の低域通過フィルタまたは形態学的フィルタを適用してもよい。画像前処理モジュール７１０は、前処理された画像を瞳孔識別モジュール７１２および閃光検出および標識化モジュール７１４に出力してもよい。

【０１３１】

瞳孔識別モジュール７１２は、前処理された画像を画像前処理モジュール７１０から受信してもよく、ユーザの瞳孔を含む、それらの画像の領域を識別してもよい。瞳孔識別モジュール７１２は、いくつかの実施形態では、カメラ３２４からの眼追跡画像内のユーザの瞳孔の位置の座標、すなわち、中心または重心の座標を決定してもよい。少なくともいくつかの実施形態では、瞳孔識別モジュール７１２は、眼追跡画像内の輪郭（例えば、瞳孔虹彩境界の輪郭）を識別し、輪郭モーメント（例えば、質量中心）を識別し、スターバースト瞳孔検出および／またはＣａｎｎｙ縁検出アルゴリズムを適用し、強度値に基づいて外れ値を除外し、サブピクセル境界点を識別し、眼カメラ歪曲（例えば、眼カメラ３２４によって捕捉された画像内の歪曲）を補正し、ランダムサンプルコンセンサス（ＲＡＮＳＡＣ）反復アルゴリズムを適用し、楕円形を眼追跡画像内の境界に適合させ、追跡フィ

ルタを画像に適用し、ユーザの瞳孔重心のサブピクセル画像座標を識別してもよい。瞳孔識別モジュール７１２は、（ユーザの瞳孔を示すと識別された前処理画像モジュール７１２の領域を示し得る）瞳孔識別データを、閃光検出および標識化モジュール７１４に出力してもよい。瞳孔識別モジュール７１２は、各眼追跡画像内のユーザの瞳孔の２Ｄ座標（例えば、ユーザの瞳孔の重心の２Ｄ座標）を閃光検出モジュール７１４に提供してもよい。少なくともいくつかの実施形態では、瞳孔識別モジュール７１２はまた、同一種類の瞳孔識別データを座標系正規化モジュール７１８に提供してもよい。

【０１３２】

瞳孔識別モジュール７１２によって利用され得る、瞳孔検出技法は、２０１７年２月２３日に公開された米国特許公開第２０１７／００５３１６５号および２０１７年２月２３日に公開された米国特許公開第２０１７／００５３１６６号（それぞれ、参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明される。

【０１３３】

閃光検出および標識化モジュール７１４は、前処理された画像をモジュール７１０から、瞳孔識別データをモジュール７１２から受信してもよい。閃光検出モジュール７１４は、本データを使用して、閃光（すなわち、光源３２６からの光のユーザの眼からの反射）をユーザの瞳孔を示す前処理された画像の領域内で検出および／または識別してもよい。実施例として、閃光検出モジュール７１４は、ユーザの瞳孔の近傍にある、時として、本明細書では、「ブロブ」または局所強度最大値とも称される、眼追跡画像内の明るい領域を検索してもよい。少なくともいくつかの実施形態では、閃光検出モジュール７１４は、瞳孔楕円形を再スケーリング（例えば、拡大）し、付加的閃光を包含してもよい。閃光検出モジュール７１４は、サイズおよび／または強度によって、閃光をフィルタリングしてもよい。閃光検出モジュール７１４はまた、眼追跡画像内の閃光のそれぞれの２Ｄ位置を決定してもよい。少なくともいくつかの実施例では、閃光検出モジュール７１４は、瞳孔－閃光ベクトルとも称され得る、ユーザの瞳孔に対する閃光の２Ｄ位置を決定してもよい。閃光検出および標識化モジュール７１４は、閃光を標識化し、標識された閃光を伴う前処理画像を３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６に出力してもよい。閃光検出および標識化モジュール７１４はまた、モジュール７１０からの前処理された画像およびモジュール７１２からの瞳孔識別データ等のデータを伝えてもよい。いくつかの実装では、閃光検出および標識化モジュール７１４は、各識別された閃光を生産した（例えば、赤外線光源３２６ａおよび３２６ｂを含む、システムの複数の光源の中の）光源を決定してもよい。これらの実施例では、閃光検出および標識化モジュール７１４は、閃光を関連付けられる光源を識別する情報で標識化し、標識された閃光を伴う前処理画像を３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６に出力してもよい。

【０１３４】

モジュール７１２および７１４等のモジュールによって実施されるような瞳孔および閃光検出は、任意の好適な技法を使用することができる。実施例として、縁検出が、眼画像に適用され、閃光および瞳孔を識別することができる。縁検出は、種々の縁検出器、縁検出アルゴリズム、またはフィルタによって適用されることができる。例えば、Ｃａｎｎｙ縁検出器が、画像に適用され、画像の線等の縁を検出することができる。縁は、局所最大導関数に対応する、線に沿って位置する点を含んでもよい。例えば、瞳孔境界５１６ａ（図５参照）が、Ｃａｎｎｙ縁検出器を使用して、位置特定されることができる。瞳孔の場所が決定されると、種々の画像処理技法が、瞳孔１１６の「姿勢」を検出するために使用されることができる。眼画像の眼姿勢の決定は、眼画像の眼姿勢の検出とも称され得る。姿勢は、視線、向いている方向、または眼の配向とも称され得る。例えば、瞳孔は、オブジェクトに向かって左を見ている場合があり、瞳孔の姿勢は、左向き姿勢として分類され得る。他の方法も、瞳孔または閃光の場所を検出するために使用されることができる。例えば、同心リングが、Ｃａｎｎｙ縁検出器を使用した眼画像内に位置し得る。別の実施例として、積分微分演算子が、瞳孔または虹彩の角膜輪部境界を見出すために使用されてもよい。例えば、Ｄａｕｇｍａｎ積分微分演算子、Ｈｏｕｇｈ変換、または他の虹彩セグメ

ント化技法が、瞳孔または虹彩の境界を推定する、曲線を返すために使用されることができる。

【０１３５】

３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、検出された閃光データおよび瞳孔識別データを含む、前処理された画像を、モジュール７１０、７１２、７１４から受信してもよい。３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、これらのデータを使用して、ユーザの角膜の３Ｄ位置を推定してもよい。いくつかの実施形態では、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、眼の角膜曲率またはユーザの角膜球面の中心、例えば、概して、ユーザの角膜と同延の表面部分を有する、想像上の球面の中心の３Ｄ位置を推定してもよい。３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、角膜球面および／またはユーザの角膜の推定された３Ｄ座標を示すデータを、座標系正規化モジュール７１８、光学軸決定モジュール７２２、および／またはライトフィールドレンダリングコントローラ６１８に提供してもよい。３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６の動作のさらなる詳細は、図１１－１６Ｃに関連して本明細書に提供される。３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６および本開示のウェアラブルシステム内の他のモジュールによって利用され得る、角膜または角膜球面等の眼特徴の位置を推定するための例示的技法は、２０１７年４月２６日に出願された、米国特許出願第１５／４９７，７２６号（弁理士整理番号ＭＬＥＡＰ．０２３Ａ７）（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に議論される。

【０１３６】

座標系正規化モジュール７１８は、随意に、（その破線輪郭によって示されるように）眼追跡モジュール６１４内に含まれてもよい。座標系正規化モジュール７１８は、ユーザの角膜の中心（および／またはユーザの角膜球面の中心）の推定された３Ｄ座標を示すデータを、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６から受信してもよく、また、データを他のモジュールから受信してもよい。座標系正規化モジュール７１８は、眼カメラ座標系を正規化してもよく、これは、ウェアラブルデバイスの滑脱（例えば、位置合わせオブザーバ６２０によって識別され得る、ユーザの頭部上のその通常静置位置からの頭部搭載型コンポーネントの滑脱）を補償することに役立ち得る。座標系正規化モジュール７１８は、座標系を回転させ、座標系のｚ－軸（例えば、輻輳・開散運動深度軸）と角膜中心（例えば、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６によって示されるように）を整合させてもよく、カメラ中心（例えば、座標系の原点）を３０ｍｍ等の角膜中心から離れた所定の距離に平行移動させてもよい（例えば、モジュール７１８は、眼カメラ３２４が所定の距離より近くまたは遠くにあるように決定されるかどうかに応じて、眼追跡画像を拡大または収縮し得る）。本正規化プロセスを用いることで、眼追跡モジュール６１４は、比較的に、ユーザの頭部上に位置付けられるヘッドセットの変動から独立して、眼追跡データ内の一貫した配向および距離を確立することが可能であり得る。座標系正規化モジュール７１８は、角膜（および／または角膜球面）の中心の３Ｄ座標、瞳孔識別データ、および前処理された眼追跡画像を３Ｄ瞳孔中心ロケータモジュール７２０に提供してもよい。

【０１３７】

３Ｄ瞳孔中心ロケータモジュール７２０は、正規化または非正規化座標系内において、ユーザの角膜（および／または角膜球面）の中心の３Ｄ座標、瞳孔場所データ、および前処理された眼追跡画像を含む、データを受信してもよい。３Ｄ瞳孔中心ロケータモジュール７２０は、そのようなデータを分析して、正規化または非正規化眼カメラ座標系内のユーザの瞳孔中心の３Ｄ座標を決定してもよい。３Ｄ瞳孔中心ロケータモジュール７２０は、瞳孔重心の２Ｄ位置（モジュール７１２によって決定されるように）、角膜中心の３Ｄ位置（モジュール７１６によって決定されるように）、典型的ユーザの角膜球面のサイズおよび角膜中心から瞳孔中心までの典型的距離等の仮定された眼寸法７０４、および角膜の屈折率（空気の屈折率に対する）等の眼の光学性質、または任意のこれらの組み合わせに基づいて、３次元におけるユーザの瞳孔の場所を決定してもよい。３Ｄ瞳孔中心ロケータモジュール７２０および本開示のウェアラブルシステム内の他のモジュールによって利用され得る、瞳孔等の眼特徴の位置を推定するための技法は、２０１７年４月２６日に出

願された、米国特許出願第１５／４９７，７２６号（弁理士整理番号ＭＬＥＡＰ．０２３Ａ７）（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に議論される。

【０１３８】

光学軸決定モジュール７２２は、ユーザの角膜およびユーザの瞳孔中心の３Ｄ座標を示すデータを、モジュール７１６および７２０から受信してもよい。そのようなデータに基づいて、光学軸決定モジュール７２２は、角膜中心の位置から（例えば、角膜球面の中心から）、ユーザの眼の光学軸を定義し得る、ユーザの瞳孔中心までのベクトルを識別してもよい。光学軸決定モジュール７２２は、実施例として、ユーザの光学軸を規定する出力をモジュール７２４、７２８、７３０、および７３２に提供してもよい。

【０１３９】

回転中心（ＣｏＲ）推定モジュール７２４は、ユーザの眼の光学軸のパラメータ（例えば、頭部搭載型ユニット６０２に対して既知の関係を伴う座標系内の光学軸の方向を示すデータ）を含むデータを、モジュール７２２から受信してもよい。例えば、ＣｏＲ推定モジュール７２４は、ユーザの眼の回転中心を推定し得る。回転中心は、ユーザの眼が左、右、上、および／または下に回転するとき、その周囲でユーザの眼が回転する、点を示し得る。眼が、単点の周囲で完璧に回転し得ない場合でも、単点が十分であり得ると仮定する。少なくともいくつかの実施形態では、ＣｏＲ推定モジュール７２４は、瞳孔中心（モジュール７２０によって識別される）または角膜曲率の中心（モジュール７１６によって識別されるように）から網膜に向かって光学軸（モジュール７２２によって識別される）に沿って特定の距離だけ移動させることによって、眼の回転中心を推定し得る。本特定の距離は、仮定された眼寸法７０４であってもよい。一実施例として、角膜曲率の中心とＣｏＲとの間の特定の距離は、例えば、５．７ｍｍ、４．７ｍｍ、５．７ｍｍ±１ｍｍ、またはその近似値であってもよい。本距離は、ユーザの年齢、性別、視覚処方箋、他の関連特性等を含む、任意の関連データに基づいて、特定のユーザのために変動され得る。

【０１４０】

少なくともいくつかの実施形態では、ＣｏＲ推定モジュール７２４は、ユーザの眼のそれぞれの回転中心のその推定値を経時的に精緻化してもよい。実施例として、時間が経過するにつれて、ユーザは、最終的に、その眼を回転させ（他の場所、より近く、より遠くの何らかのもの、またはある時に左、右、上、または下を見るため）、その眼のそれぞれの光学軸において偏移を生じさせるであろう。ＣｏＲ推定モジュール７２４は、次いで、モジュール７２２によって識別される２つ（またはそれを上回る）光学軸を分析し、それらの光学軸の交差部の３Ｄ点を位置特定してもよい。ＣｏＲ推定モジュール７２４は、次いで、その交差部の３Ｄ点にある回転中心を決定してもよい。そのような技法は、経時的に改良する正確度を伴う、回転中心の推定値を提供し得る。

【０１４１】

種々の技法が、ＣｏＲ推定モジュール７２４および左および右眼の決定されたＣｏＲ位置の正確度を増加させるために採用されてもよい。実施例として、ＣｏＲ推定モジュール７２４は、種々の異なる眼姿勢に関して経時的に決定された光学軸の交差部の平均点を見出すことによって、ＣｏＲを推定してもよい。付加的実施例として、モジュール７２４は、推定されたＣｏＲ位置を経時的にフィルタリングまたは平均化してもよく、推定されたＣｏＲ位置の移動平均を経時的に計算してもよく、および／またはカルマンフィルタおよび眼および眼追跡システムの既知の動態を適用し、ＣｏＲ位置を経時的に推定してもよい。いくつかの実装では、最小二乗アプローチが、光学軸の交差部の１つ以上の点を決定するためにとられ得る。そのような実装では、システムは、所与の時点において、所与のセットの光学軸までの二乗距離の和が光学軸交差部の点として低減または最小限にされる、場所を識別し得る。具体的実施例として、モジュール７２４は、決定されたＣｏＲが、ユーザに関する眼追跡データが取得されるにつれて、仮定されたＣｏＲ位置（例えば、眼の角膜曲率の中心またはその近似値の４．７ｍｍ、または５．７ｍｍ、または５．７ｍｍ±１ｍｍ背後）からユーザの眼内の若干異なる場所に経時的にゆっくりと移り、それによって、ＣｏＲ位置のユーザ毎精緻化を可能にし得るように、光学軸交差部の決定された点お

よび仮定されたＣｏＲ位置（眼の角膜曲率の中心またはその近似値から５．７ｍｍ、または４．７ｍｍ、または５．７ｍｍ±１ｍｍ等）の加重平均を計算してもよい。

【０１４２】

理想的条件下では、ＨＭＤに対するユーザの眼の真のＣｏＲの３Ｄ位置は、ユーザがその眼を移動させるにつれて（例えば、ユーザの眼がその回転中心の周囲で回転するにつれて）、無視可能であるまたは最小限の量だけ経時的に変化するはずである。換言すると、眼移動の所与のセットに関して、（ＨＭＤに対する）ユーザの眼の真のＣｏＲの３Ｄ位置は、仮説上、ユーザの眼の光学軸に沿った任意の他の点ほど経時的に変動しないはずである。したがって、光学軸に沿った点がユーザの眼の真のＣｏＲから離れるほど、その３Ｄ位置は、ユーザがその眼を移動させるにつれて、より多くの変動量または分散量を経時的に呈するであろうということになる。いくつかの実施形態では、ＣｏＲ推定モジュール７２４および／または眼追跡モジュール６１４の他のサブモジュールは、本統計的関係を利用して、ＣｏＲ推定正確度を改良してもよい。そのような実施形態では、ＣｏＲ推定モジュール７２４および／または眼追跡モジュール６１４の他のサブモジュールは、低変動量（例えば、低分散量または標準偏差）を有する、そのＣｏＲ推定値の変動量を識別することによって、ＣｏＲ　３Ｄ位置のその推定値を経時的に精緻化してもよい。

【０１４３】

第１の実施例として、ＣｏＲ推定モジュール７２４が、複数の異なる光学軸の交差部（それぞれ、異なる方向を見ているユーザと関連付けられる）に基づいて、ＣｏＲを推定する、実施形態では、ＣｏＲ推定モジュール７２４は、共通オフセットを光学軸のそれぞれの方向に導入し（例えば、各軸をある均一量だけ偏移させる）、オフセットされた光学軸が、低変動量、例えば、低分散量または標準偏差を有する交点において相互に交差するかどうかを決定することによって、本統計的関係（真のＣｏＲは、低分散量を有するはずである）を利用してもよい。これは、光学軸の方向の計算におけるわずかな体系的誤差を補正し、ＣｏＲの推定される位置が真のＣｏＲにより近くなるように精緻化することに役立ち得る。

【０１４４】

第２の実施例として、ＣｏＲ推定モジュール７２４が、光学軸（または他の軸）に沿って特定の距離（例えば、角膜曲率の中心とＣｏＲとの間の距離等）だけ移動させることによって、ＣｏＲを推定する、実施形態では、システムは、推定されるＣｏＲ位置の変動量、例えば、分散量および／または標準偏差を低減または最小限にするような様式において、角膜曲率の中心とＣｏＲとの間の特定の距離を経時的に変動させる、最適化する、調整する、または別様に調節してもよい（例えば、異なる時間において捕捉された眼の大規模な画像のグループに関して）。例えば、ＣｏＲ推定モジュール７２４が、最初に、４．７ｍｍ、または５．７ｍｍ、または５．７ｍｍ±１ｍｍ、またはその近似値の特定の距離値（角膜曲率の中心から、光学軸に沿って）を使用し、ＣｏＲ位置推定値を取得するが、所与のユーザの眼の真のＣｏＲが、眼の角膜曲率の中心の４．９ｍｍ背後に位置付けられ得る（光学軸に沿って）場合、ＣｏＲ推定モジュール７２４によって取得されるＣｏＲ位置推定値の初期セットは、比較的に高量の変動量、例えば、分散量または標準偏差を呈し得る。そのような比較的に高量の変動量（例えば、分散量または標準偏差）の検出に応答して、ＣｏＲ推定モジュール７２４は、より低量の変動量（例えば、分散量または標準偏差）を有する、光学軸に沿った１つ以上の点を探索および識別してもよく、最低変動量（例えば、分散量または標準偏差）を有する、４．９ｍｍ距離を識別してもよく、したがって、利用される特定の距離値を４．９ｍｍに調節してもよい。

【０１４５】

ＣｏＲ推定モジュール７２４は、現在のＣｏＲ推定値が比較的に高量の変動量（例えば、分散量または標準偏差）を有することを検出することに応答して、より低い変動量（例えば、分散量および／または標準偏差）を有する、代替ＣｏＲ推定値を探索してもよい、または初期ＣｏＲ推定値を取得後、当然のように、より低い変動量（例えば、分散量または標準偏差）を有する、代替ＣｏＲ推定値を探索してもよい。いくつかの実施例では、そ

のような最適化／調節は、経時的に徐々に発生してもよい一方、他の実施例では、そのような最適化／調節は、初期ユーザ較正セッションの間に行われることができる。そのようなプロシージャが較正プロシージャの間に行われる、実施例では、ＣｏＲ推定モジュール７２４は、最初に、任意の仮定される特定の距離に賛同／遵守しなくてもよく、むしろ、眼追跡データのセットを経時的に収集し、統計的分析を眼追跡データのセット上で実施し、統計的分析に基づいて、最も少ない可能性として考えられる量（例えば、大域的最小値）の変動量（例えば、分散量または標準偏差）を伴うＣｏＲ位置推定値をもたらす、特定の距離値を決定してもよい。

【０１４６】

瞳孔間距離（ＩＰＤ）推定モジュール７２６は、ユーザの左および右眼の回転中心の推定された３Ｄ位置を示すデータを、ＣｏＲ推定モジュール７２４から受信してもよい。ＩＰＤ推定モジュール７２６は、次いで、ユーザの左および右眼の回転中心間の３Ｄ距離を測定することによって、ユーザのＩＰＤを推定してもよい。一般に、ユーザの左眼の推定されたＣｏＲとユーザの右眼の推定されたＣｏＲとの間の距離は、ユーザが光学無限遠を見ている（例えば、ユーザの眼の光学軸が相互に略平行である）とき、ユーザの瞳孔中心間の距離と概ね等しくあり得、これは、瞳孔間距離（ＩＰＤ）の典型的定義である。ユーザのＩＰＤは、ウェアラブルシステム内の種々のコンポーネントおよびモジュールによって使用されてもよい。実施例として、ユーザのＩＰＤは、位置合わせオブザーバ６２０に提供され、ウェアラブルデバイスがユーザの眼と整合されている程度（例えば、左および右ディスプレイレンズが、ユーザのＩＰＤに従って適切に離間されているかどうか）を査定する際に使用されてもよい。別の実施例として、ユーザのＩＰＤは、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８に提供され、ユーザの輻輳・開散運動深度を決定する際に使用されてもよい。モジュール７２６は、ＣｏＲ推定モジュール７２４に関連して議論されるもの等の種々の技法を採用し、推定されたＩＰＤの正確度を増加させてもよい。実施例として、ＩＰＤ推定モジュール７２４は、正確な様式におけるユーザのＩＰＤの推定の一部として、フィルタリング、経時的な平均、仮定されたＩＰＤ距離を含む、加重平均、カルマンフィルタ等を適用してもよい。

【０１４７】

輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、データを眼追跡モジュール６１４内の種々のモジュールおよびサブモジュール（図７Ａに関連して示されるように）から受信してもよい。特に、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、瞳孔中心の推定された３Ｄ位置（例えば、上記に説明されるモジュール７２０によって提供されるように）、光学軸の１つ以上の決定されたパラメータ（例えば、上記に説明されるモジュール７２２によって提供されるように）、回転中心の推定された３Ｄ位置（例えば、上記に説明されるモジュール７２４によって提供されるように）、推定されたＩＰＤ（例えば、回転中心の推定された３Ｄ位置間のユークリッド距離）（例えば、上記に説明されるモジュール７２６によって提供されるように）、および／または光学軸および／または視軸の１つ以上の決定されたパラメータ（例えば、下記に説明されるモジュール７２２および／またはモジュール７３０によって提供されるように）を示すデータを採用してもよい。輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、ユーザの眼が合焦されるユーザからの距離であり得る、ユーザの輻輳・開散運動深度の測定値を検出または別様に取得してもよい。実施例として、ユーザが、彼らの正面から３フィートのオブジェクトを見ているとき、ユーザの左および右眼は、３フィートの輻輳・開散運動深度を有する一方、ユーザが遠距離の景観を見ている（例えば、ユーザの眼の光学軸が、ユーザの瞳孔中心間の距離が、ユーザの左および右眼の回転中心間の距離と概ね等しくあり得るように、相互に略平行である）とき、ユーザの左および右眼は、無限遠の輻輳・開散運動深度を有する。いくつかの実装では、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、ユーザの瞳孔の推定された中心（例えば、モジュール７２０によって提供されるように）を示すデータを利用し、ユーザの瞳孔の推定された中心間の３Ｄ距離を決定してもよい。輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、瞳孔中心間のそのような決定された３Ｄ距離と推定されたＩＰＤ（例えば、回転中心の推定さ

れた３Ｄ位置間のユークリッド距離）（例えば、上記に説明されるモジュール７２６によって示されるように）を比較することによって、輻輳・開散運動深度の測定値を取得してもよい。瞳孔中心間の３Ｄ距離および推定されたＩＰＤに加え、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、既知の、仮定された、推定された、および／または決定された幾何学形状を利用して、輻輳・開散運動深度を計算してもよい。実施例として、モジュール７２８は、瞳孔中心間の３Ｄ距離、推定されたＩＰＤ、および三角法計算における３Ｄ　ＣｏＲ位置を組み合わせて、ユーザの輻輳・開散運動深度を推定（例えば、決定）してもよい。実際、推定されたＩＰＤに対する瞳孔中心間のそのような決定された３Ｄ距離の評価は、光学無限遠に対するユーザの現在の輻輳・開散運動深度の測定値を示す役割を果たし得る。いくつかの実施例では、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、単に、輻輳・開散運動深度のそのような測定値を取得する目的のために、ユーザの瞳孔の推定された中心間の推定された３Ｄ距離を示すデータを受信する、またはそれにアクセスしてもよい。いくつかの実施形態では、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、ユーザの左および右光学軸を比較することによって、輻輳・開散運動深度を推定してもよい。特に、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、ユーザの左および右光学軸が交差する（または水平平面等の平面上のユーザの左および右光学軸の投影が交差する）、ユーザからの距離を位置特定することによって、輻輳・開散運動深度を推定してもよい。モジュール７２８は、ゼロ深度をユーザの左および右光学軸がユーザのＩＰＤによって分離される深度であると設定することによって、本計算において、ユーザのＩＰＤを利用してもよい。少なくともいくつかの実施形態では、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、眼追跡データを、既知のまたは導出された空間関係とともに三角測量することによって、輻輳・開散運動深度を決定してもよい。

【０１４８】

いくつかの実施形態では、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８は、ユーザが合焦している距離のより正確なインジケーションを提供し得る、ユーザの視軸の交差部に基づいて（その光学軸の代わりに）、ユーザの輻輳・開散運動深度を推定してもよい。少なくともいくつかの実施形態では、眼追跡モジュール６１４は、光学軸／視軸マッピングモジュール７３０を含んでもよい。図１０に関連してさらに詳細に議論されるように、ユーザの光学軸および視軸は、概して、整合されない。視軸は、それに沿って人物が見ている軸である一方、光学軸は、その人物の水晶体および瞳孔中心によって定義され、人物の網膜の中心を通して進み得る。特に、ユーザの視軸は、概して、ユーザの網膜の中心からオフセットされ、それによって、異なる光学および視軸をもたらし得る、ユーザの中心窩の場所によって定義される。これらの実施形態のうちの少なくともいくつかでは、眼追跡モジュール６１４は、光学軸／視軸マッピングモジュール７３０を含んでもよい。光学軸／視軸マッピングモジュール７３０は、ユーザの光学軸と視軸との間の差異を補正し、輻輳・開散運動深度推定モジュール７２８およびライトフィールドレンダリングコントローラ６１８等のウェアラブルシステム内の他のコンポーネントに対するユーザの視軸に関する情報を提供してもよい。いくつかの実施例では、モジュール７３０は、光学軸と視軸との間の内向きの（鼻側に、ユーザの鼻に向かって）約５．２°の典型的オフセットを含む、仮定された眼寸法７０４を使用してもよい。換言すると、モジュール７３０は、ユーザの左および右光学軸の方向を推定するために、ユーザの左光学軸を５．２°鼻に向かって（鼻側に）右に、ユーザの右光学軸を５．２°鼻に向かって（鼻側に）左に偏移させ得る。他の実施例では、モジュール７３０は、光学軸（例えば、上記に説明されるモジュール７２２によって示されるように）を視軸にマッピングする際、ユーザ毎較正データ７０６を利用してもよい。付加的実施例として、モジュール７３０は、ユーザの光学軸を鼻側に４．０°～６．５°、４．５°～６．０°、５．０°～５．４°等、またはこれらの値のいずれかによって形成される任意の範囲だけ偏移させてもよい。いくつかの配列では、モジュール７３０は、少なくとも部分的に、その年齢、性別、視覚処方箋、または他の関連特性等の特定のユーザの特性に基づいて、偏移を適用してもよく、および／または少なくとも部分的に、特定のユーザのための較正プロセス（例えば、特定のユーザの光学軸－視軸オ

フセットを決定するため）に基づいて、偏移を適用してもよい。少なくともいくつかの実施形態では、モジュール７３０はまた、左および右光学軸の原点を偏移させ、ユーザのＣｏＲの代わりに、ユーザのＣｏＰ（モジュール７３２によって決定されるように）に対応させてもよい。

【０１４９】

随意の視点中心（ＣｏＰ）推定モジュール７３２が、提供されるとき、ユーザの左および右視点中心（ＣｏＰ）の場所を推定してもよい。ＣｏＰは、ウェアラブルシステムのための有用な場所であって、少なくともいくつかの実施形態では、瞳孔の真正面の位置であり得る。少なくともいくつかの実施形態では、ＣｏＰ推定モジュール７３２は、ユーザの瞳孔中心の３Ｄ場所、ユーザの角膜曲率の中心の３Ｄ場所、またはそのような好適なデータ、またはそれらの任意の組み合わせに基づいて、ユーザの左および右視点中心の場所を推定してもよい。実施例として、ユーザのＣｏＰは、角膜曲率の中心の正面の約５．０１ｍｍ（例えば、角膜球面中心から、眼の角膜に向かい、光学軸に沿った方向に５．０１ｍｍ）にあり得、光学または視軸に沿ってユーザの角膜の外面の約２．９７ｍｍ背後にあり得る。ユーザの視点中心は、その瞳孔中心の真正面にあり得る。実施例として、ユーザのＣｏＰは、ユーザの瞳孔から約２．０ｍｍ未満、ユーザの瞳孔から約１．０ｍｍ未満、またはユーザの瞳孔から約０．５ｍｍ未満、またはこれらの値のいずれかの間の任意の範囲であり得る。別の実施例として、視点中心は、眼の前房内の場所に対応し得る。他の実施例として、ＣｏＰは、ユーザの瞳孔から１．０ｍｍ～２．０ｍｍ、約１．０ｍｍ、０．２５ｍｍ～１．０ｍｍ、０．５ｍｍ～１．０ｍｍ、または０．２５ｍｍ～０．５ｍｍにあり得る。

【０１５０】

（レンダリングカメラのピンホールの潜在的に望ましい位置およびユーザの眼内の解剖学的位置としての）本明細書に説明される視点中心は、望ましくない視差偏移を低減および／または排除する役割を果たす、位置であり得る。特に、ユーザの眼の光学系は、レンズの正面のピンホールが画面上に投影することによって形成される理論的システムにほぼ概ね匹敵し、ピンホール、レンズ、および画面は、それぞれ、ユーザの瞳孔／虹彩、水晶体、および網膜に概ね対応する。さらに、ユーザの眼から異なる距離における２つの点光源（またはオブジェクト）が、ピンホールの開口部を中心として厳密に回転する（例えば、ピンホールの開口部からのその個別の距離と等しい曲率半径に沿って回転される）とき、殆どまたは全く視差偏移が存在しないことが望ましくあり得る。したがって、ＣｏＰは、眼の瞳孔中心に位置するはずであると考えられるであろう（およびそのようなＣｏＰが、いくつかの実施形態では、使用されてもよい）。しかしながら、ヒトの眼は、水晶体および瞳孔のピンホールに加え、付加的屈折力を網膜に向かって伝搬する光に付与する、角膜を含む。したがって、本段落に説明される理論的システム内のピンホールの解剖学的均等物は、ユーザの眼の角膜の外面とユーザの眼の瞳孔または虹彩の中心との間に位置付けられる、ユーザの眼の領域であり得る。例えば、ピンホールの解剖学的均等物は、ユーザの眼の前房内の領域に対応し得る。本明細書で議論される種々の理由から、ＣｏＰをユーザの眼の前房内のそのような位置に設定することが所望され得る。

【０１５１】

上記に議論されるように、眼追跡モジュール６１４は、左および右眼回転中心（ＣｏＲ）の推定された３Ｄ位置、輻輳・開散運動深度、左および右眼光学軸、ユーザの眼の３Ｄ位置、ユーザの角膜曲率の左および右中心の３Ｄ位置、ユーザの左および右瞳孔中心の３Ｄ位置、ユーザの左および右視点中心の３Ｄ位置、ユーザのＩＰＤ等のデータを、ウェアラブルシステム内のライトフィールドレンダリングコントローラ６１８および位置合わせオブザーバ６２０等の他のコンポーネントに提供してもよい。眼追跡モジュール６１４はまた、ユーザの眼の他の側面と関連付けられるデータを検出および生成する、他のサブモジュールを含んでもよい。実施例として、眼追跡モジュール６１４は、ユーザが瞬目する度に、フラグまたは他のアラートを提供する、瞬目検出モジュールと、ユーザの眼がサッカードする（例えば、焦点を別の点に迅速に偏移させる）度に、フラグまたは他のアラー

トを提供する、サッカード検出モジュールとを含んでもよい。

【０１５２】

眼追跡および回転中心を決定する他の方法も、可能性として考えられる。故に、眼追跡モジュール６１４は、異なってもよい。下記に説明される眼追跡モジュールの種々の実装では、例えば、回転中心の推定値は、複数の角膜曲率の中心値に基づいて決定される。いくつかの実装では、例えば、図１７Ａ－１９Ｄを参照して議論されるように、眼追跡モジュール６１４は、可能性として、異なる眼姿勢に関する、複数の角膜の曲率の中心に適合される表面の表面法線ベクトルの間の収束または交差部を決定することによって、眼の回転中心を推定し得る。なお、上記または本明細書のいずれかの場所に説明される眼追跡モジュール６１４からの１つ以上の特徴が、眼追跡モジュールの他の実装に含まれてもよい。

Ｈ．レンダリングコントローラの実施例

【０１５３】

例示的ライトフィールドレンダリングコントローラ６１８の詳細なブロック図が、図７Ｂに示される。図６および７Ｂに示されるように、レンダリングコントローラ６１８は、眼追跡情報を眼追跡モジュール６１４から受信してもよく、出力をレンダリングエンジン６２２に提供してもよく、これは、ウェアラブルシステムのユーザによって視認するために表示されるべき画像を生成し得る。実施例として、レンダリングコントローラ６１８は、輻輳・開散運動深度、左および右眼回転中心（および／または視点中心）、および瞬目データ、サッカードデータ等の他の眼データを受信してもよい。

【０１５４】

深度面選択モジュール７５０は、輻輳・開散運動深度情報および他の眼データを受信してもよく、そのようなデータに基づいて、レンダリングエンジン６２２に、特定の深度面（例えば、特定の遠近調節または焦点距離）を伴うコンテンツをユーザに伝達させてもよい。図４に関連して議論されるように、ウェアラブルシステムは、それぞれ、可変レベルの波面曲率を伴う画像情報を伝達する、複数の導波管によって形成される、複数の離散深度面を含んでもよい。いくつかの実施形態では、ウェアラブルシステムは、経時的に変動するレベルの波面曲率を伴う画像情報を伝達する、光学要素等の１つ以上の可変深度面を含んでもよい。これらおよび他の実施形態では、深度面選択モジュール７５０が、レンダリングエンジン６２２に、部分的に、ユーザの輻輳・開散運動深度に基づいて、コンテンツを選択された深度においてユーザに伝達させてもよい（例えば、レンダリングエンジン６２２に、ディスプレイ２２０に深度面を切り替えるように指示させる）。少なくともいくつかの実施形態では、深度面選択モジュール７５０およびレンダリングエンジン６２２は、コンテンツを異なる深度にレンダリングし、また、深度面選択データを生成し、および／またはディスプレイ２２０等のディスプレイハードウェアに提供してもよい。ディスプレイ２２０等のディスプレイハードウェアは、深度面選択モジュール７５０およびレンダリングエンジン６２２等のモジュールによって生成および／または提供される深度面選択データ（制御信号であり得る）に応答して、電気深度面切替を実施してもよい。

【０１５５】

一般に、深度面選択モジュール７５０が、ユーザが正確な遠近調節キューを提供されるように、ユーザの現在の輻輳・開散運動深度に合致する深度面を選択することが望ましくあり得る。しかしながら、また、慎重かつ目立たない様式において深度面を切り替えることが望ましくあり得る。実施例として、深度面間の過剰な切替を回避することが望ましくあり得、および／または瞬目または眼サッカードの間等のユーザが切替に気付く可能性が低い時間に深度面を切り替えることが望ましくあり得る。

【０１５６】

ヒステリシス帯交差部検出モジュール７５２は、特に、ユーザの輻輳・開散運動深度が２つの深度面間の中点または遷移点で変動するとき、深度面間の過剰な切替を回避することに役立ち得る。特に、モジュール７５２は、深度面選択モジュール７５０に、ヒステリシスを深度面のその選択に呈させてもよい。実施例として、モジュール７５２は、深度面選択モジュール７５０に、ユーザの輻輳・開散運動深度が第１の閾値を通過した後のみ、

第１のより遠い深度面から第２のより近い深度面に切り替えさせてもよい。同様に、モジュール７５２は、深度面選択モジュール７５０に（ひいては、ディスプレイ２２０等のディスプレイに指示し得る）、ユーザの輻輳・開散運動深度が第１の閾値よりユーザから遠い第２の閾値を通過した後のみ、第１のより遠い深度面に切り替えさせてもよい。第１の閾値と第２の閾値との間の重複領域では、モジュール７５０は、深度面選択モジュール７５０に、いずれかの深度面が選択された深度面として現在選択されているように維持させ、したがって、深度面間の過剰な切替を回避してもよい。

【０１５７】

眼球イベント検出モジュール７５０は、他の眼データを図７Ａの眼追跡モジュール６１４から受信してもよく、深度面選択モジュール７５０に、眼球イベントが生じるまで、いくつかの深度面切替を遅延させてもよい。実施例として、眼球イベント検出モジュール７５０は、深度面選択モジュール７５０に、ユーザ瞬目が検出されるまで、計画された深度面切替を遅延させてもよく、眼追跡モジュール６１４内の瞬目検出コンポーネントから、ユーザが現在瞬目していることを示す、データを受信してもよく、それに応答して、深度面選択モジュール７５０に、瞬目イベントの間、計画された深度面切替を実行させてもよい（モジュール７５０に、瞬目イベントの間、ディスプレイ２２０に深度面切替を実行するように指示させることによって等）。少なくともいくつかの実施形態では、ウェアラブルシステムは、ユーザが偏移を知覚する可能性が低いように、瞬目イベントの間、コンテンツを新しい深度面上に偏移させることが可能であり得る。別の実施例として、眼球イベント検出モジュール７５０は、眼サッカードが検出されるまで、計画された深度面切替を遅延させてもよい。眼瞬目に関連して議論されるように、そのような配列は、深度面の離散偏移を促進し得る。

【０１５８】

所望に応じて、深度面選択モジュール７５０は、眼球イベントの不在下であっても、深度面切替を実行する前に、限定された時間周期にわたってのみ、計画された深度面切替を遅延させてもよい。同様に、深度面選択モジュール７５０は、眼球イベントの不在下であっても、ユーザの輻輳・開散運動深度が、現在選択されている深度面外に実質的にあるとき（例えば、ユーザの輻輳・開散運動深度が、深度面切替のための通常閾値を超える所定の閾値を超えたとき）、深度面切替を実行してもよい。これらの配列は、眼球イベント検出モジュール７５４が、深度面切替を無限に遅延させず、大遠近調節誤差が存在するとき、遅延深度面切替を遅延させないことを確実にすることに役立ち得る。

【０１５９】

レンダリングカメラコントローラ７５８は、ユーザの左および右眼の場所を示す情報を、レンダリングエンジン６２２に提供してもよい。レンダリングエンジン６２２は、次いで、カメラをユーザの左および右眼の位置においてシミュレートし、シミュレートされたカメラの視点に基づいて、コンテンツを生成することによって、コンテンツを生成してもよい。上記に議論されるように、レンダリングカメラは、可能性として、仮想世界内のオブジェクトのデータベースから仮想画像コンテンツをレンダリングする際に使用するためのシミュレートされたカメラである。オブジェクトは、ユーザまたは装着者に対する、可能性として、ユーザまたは装着者を囲繞する環境内の実オブジェクトに対する、場所および配向を有してもよい。レンダリングカメラは、レンダリングエンジン内に含まれ、該眼に提示されるべき仮想オブジェクトのデータベースに基づいて、仮想画像をレンダリングしてもよい。仮想画像は、ユーザまたは装着者の視点から撮影されたかのようにレンダリングされてもよい。例えば、仮想画像は、仮想世界内のオブジェクトを視認する、開口、レンズ、および検出器を有する、カメラ（「レンダリングカメラ」に対応する）によって捕捉されたかのようにレンダリングされてもよい。仮想画像は、「レンダリングカメラ」の位置を有する、そのようなカメラの視点から撮影される。例えば、仮想画像は、ユーザまたは装着者の視点からであるように現れる画像を提供するように、ユーザまたは装着者の眼に対する具体的場所を有する、カメラの視点から捕捉されたかのようにレンダリングされてもよい。いくつかの実装では、画像は、ユーザまたは装着者の眼に対する具体的場

所（本明細書に議論されるような視点中心または回転中心または他の場所等）に開口を有する、カメラ視点から捕捉されたかのようにレンダリングされる。

【０１６０】

レンダリングカメラコントローラ７５８は、ＣｏＲ推定モジュール７２４によって決定された左および右眼回転中心（ＣｏＲ）に基づいて、および／またはＣｏＰ推定モジュール７３２によって決定された左および右眼視点中心（ＣｏＰ）に基づいて、左および右カメラの位置を決定してもよい。いくつかの実施形態では、レンダリングカメラコントローラ７５８は、種々の要因に基づいて、ＣｏＲ場所とＣｏＰ場所との間で切り替えてもよい。実施例として、レンダリングカメラコントローラ７５８は、種々のモードでは、レンダリングカメラをＣｏＲ場所に常時位置合わせする、レンダリングカメラをＣｏＰ場所に常時位置合わせする、種々の要因に基づいて、経時的に、ＣｏＲ場所へのレンダリングカメラの位置合わせとＣｏＰ場所へのレンダリングカメラの位置合わせとの間でトグルする、または離散的に切り替える、または種々の要因に基づいて、経時的に、ＣｏＲ場所とＣｏＰ場所との間で光学（または視）軸に沿った異なる位置の範囲のいずれかにレンダリングカメラを動的に位置合わせしてもよい。ＣｏＲおよびＣｏＰ位置は、随意に、平滑フィルタ７５６を通して通過し得（レンダリングカメラ位置付けのための前述のモードのいずれかにおいて）、これは、ＣｏＲおよびＣｏＰ場所を経時的に平均し、これらの位置における雑音を低減させ、シミュレートされたレンダリングカメラをレンダリングする際のジッタを防止し得る。

【０１６１】

少なくともいくつかの実施形態では、レンダリングカメラは、眼追跡モジュール６１４によって識別される推定されたＣｏＲまたはＣｏＰの位置に配置されるピンホールを伴うピンホールカメラとしてシミュレートされてもよい。ＣｏＰは、ＣｏＲからオフセットされるため、レンダリングカメラの位置がユーザのＣｏＰに基づくときは常時、レンダリングカメラおよびそのピンホールの両方の場所が、ユーザの眼が回転するにつれて偏移する。対照的に、レンダリングカメラの位置が、ユーザのＣｏＲに基づくときは常時、レンダリングカメラのピンホールの場所は、眼回転に伴って移動しないが、レンダリングカメラ（ピンホールの背後）は、いくつかの実施形態では、眼回転に伴って移動し得る。レンダリングカメラの位置がユーザのＣｏＲに基づく、他の実施形態では、レンダリングカメラは、ユーザの眼に伴って移動（すなわち、回転）しなくてもよい。

Ｉ．光学軸と視軸との間の差異の実施例

【０１６２】

図７Ａの光学軸／視軸マッピングモジュール７３０に関連して議論されるように、ユーザの光学軸および視軸は、部分的に、ユーザの視軸がその中心窩によって定義され、中心窩が概して人物の網膜の中心にないことに起因して、概して、整合されない。したがって、人物が、特定のオブジェクトに集中することを所望するとき、人物は、その視軸をそのオブジェクトと整合させ、その光学軸（その瞳孔中心およびその角膜曲率の中心によって定義される）が、実際には、そのオブジェクトから若干オフセットされる間、オブジェクトからの光がその中心窩上に当たることを確実にする。図７Ｃは、眼の光学軸９０２と、眼の視軸９０４と、これらの軸間のオフセットとを図示する、眼９００の実施例である。加えて、図７Ｃは、眼の瞳孔中心９０６と、眼の角膜曲率の中心９０８と、眼の平均回転中心（ＣｏＲ）９１０とを図示する。少なくともいくつかの母集団では、眼の角膜曲率の中心９０８は、寸法９１２によって示されるように、眼の平均回転中心（ＣｏＲ）９１０またはその近似値の正面の約４．７ｍｍ、または５．７ｍｍ、または５．７ｍｍ±１ｍｍにあり得る。加えて、眼の視点中心９１４は、眼の角膜曲率の中心９０８の正面の約５．０１ｍｍ、ユーザの角膜の外面９１６の約２．９７ｍｍ背後、および／またはユーザの瞳孔中心９０６の真正面（例えば、眼９００の前房内の場所に対応する）にあり得る。付加的実施例として、寸法９１２は、２．０ｍｍ～８．０ｍｍ、３．０ｍｍ～７．０ｍｍ、４．０～６．０ｍｍ、４．５～５．０ｍｍ、または４．６～４．８ｍｍ、５．０ｍｍ～６．０ｍｍ、５．６ｍｍ～５．８ｍｍ、５．５ｍｍ～６．０ｍｍ、またはこれらの範囲のいず

れか内の任意の値と任意の値との間の任意の範囲であってもよい。眼の視点中心（ＣｏＰ）９１４は、少なくともいくつかの実施形態では、レンダリングカメラをＣｏＰに位置合わせすることが、視差アーチファクトを低減または排除することに役立ち得るため、ウェアラブルシステムのための有用な場所であり得る。

【０１６３】

図７Ｃはまた、それとレンダリングカメラのピンホールが整合され得る、ヒトの眼９００内のそのような場所を図示する。図７Ｃに示されるように、レンダリングカメラのピンホールは、ヒトの眼９００の（ａ）瞳孔または虹彩９０６の中心および（ｂ）角膜曲率の中心９０８の両方より角膜の外面に近い、ヒトの眼９００の光学軸９０２または視軸９０４に沿った場所９１４と位置合わせされてもよい。例えば、図７Ｃに示されるように、レンダリングカメラのピンホールは、角膜９１６の外面から後方に約２．９７ミリメートルおよび角膜曲率の中心９０８から前方に約５．０１ミリメートルにある、ヒトの眼９００の光学軸９０２に沿った場所９１４と位置合わせされてもよい。レンダリングカメラのピンホールの場所９１４および／またはそれに対して場所９１４が対応するヒトの眼９００の解剖学的領域は、ヒトの眼９００の視点中心を表すと見なされ得る。図７Ｃに示されるようなヒトの眼９００の光学軸９０２は、角膜曲率の中心９０８および瞳孔または虹彩９０６の中心を通る最短線を表す。ヒトの眼９００の視軸９０４は、ヒトの眼９００の中心窩から瞳孔または虹彩９０６の中心まで延在する線を表すため、光学軸９０２と異なる。

Ｊ．単一カメラを使用して角膜の中心を位置特定する実施例

【０１６４】

いくつかの実装では、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、単一カメラによって捕捉された１つ以上の画像上の１つ以上の光源によって生成された１つ以上の閃光の測定された位置に基づいて、角膜の中心を推定してもよい。上記の図７Ａに図示される３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、例えば、片眼追跡カメラから取得される１つ以上の画像に基づいて、角膜曲率の中心の推定値を提供してもよい。いくつかの実装では、球面眼モデルも、使用されてもよい。本球面モデルは、球面形状または曲率を有する表面に基づいて、角膜の形状または曲率をモデル化してもよい。

【０１６５】

図８Ａは、眼の角膜球面を示す、眼の概略図である。図８Ａに示されるように、ユーザの眼８１０は、角膜８１２と、瞳孔８２２と、水晶体８２０とを有し得る。角膜８１２は、角膜球面８１４によって示される、略球状形状を有し得る。角膜球面８１４は、角膜中心とも称される、中心点８１６と、半径８１８とを有し得る。ユーザの眼の半球状角膜は、角膜中心８１６の周囲に湾曲し得る。

【０１６６】

図８Ｂ－８Ｅは、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６および眼追跡モジュール６１４を使用してユーザの角膜中心８１６を位置特定する、実施例を図示する。

【０１６７】

図８Ｂに示されるように、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、角膜閃光８５４を含む、眼追跡画像８５２を受信してもよい。３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、次いで、光線８５６を眼カメラ座標系内に投射するために、眼カメラ座標系８５０内において、眼カメラ３２４および光源３２６の既知の３Ｄ位置（眼追跡付帯性質および固有性質データベース７０２、仮定された眼寸法データベース７０４、および／またはユーザ毎較正データ７０６内のデータに基づき得る）をシミュレートしてもよい。少なくともいくつかの実施形態では、眼カメラ座標系８５０は、その原点を眼追跡カメラ３２４の３Ｄ位置に有してもよい。

【０１６８】

図８Ｃでは、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、第１の位置における角膜球面８１４ａ（データベース７０４からの仮定された眼寸法に基づき得る）および角膜曲率中心８１６ａをシミュレートする。３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、次いで、角膜球面８１４ａが光を光源３２６から閃光位置８５４に適切に反射させるであろうかどうかをチェ

ックしてもよい。図８Ｃに示されるように、第１の位置は、光線８６０ａが光源３２６と交差しないため、合致しない。

【０１６９】

図８Ｄと同様に、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、第２の位置における角膜球面８１４ｂおよび角膜曲率中心８１６ｂをシミュレートする。３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、次いで、角膜球面８１４ｂが、光を光源３２６からの閃光位置８５４に適切に反射させるかどうかをチェックする。図８Ｄに示されるように、第２の位置もまた、合致しない。

【０１７０】

図８Ｅに示されるように、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、最終的に、角膜球面の正しい位置が角膜球面８１４ｃおよび角膜曲率中心８１６ｃであることを決定することが可能である。３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、源３２６からの光が、角膜球面から適切に反射し、カメラ３２４によって画像８５２上の閃光８５４の正しい場所に結像されるであろうことをチェックすることによって、図示される位置が正しいことを確認する。本配列、および光源３２６、カメラ３２４の既知の３Ｄ位置、およびカメラの光学性質（焦点距離等）を用いることで、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、角膜曲率の中心８１６の３Ｄ場所（ウェアラブルシステムに対する）を決定し得る。

【０１７１】

少なくとも図８Ｃ－８Ｅに関連して本明細書に説明されるプロセスは、事実上、ユーザの角膜中心の３Ｄ位置を識別するための反復、繰り返し、または最適化プロセスであり得る。したがって、複数の技法（例えば、反復、最適化技法等）のいずれかが、効率的かつ迅速に選別する、または可能性として考えられる位置の検索空間を低減させるために使用されてもよい。さらに、いくつかの実装では、システムは、光源３２６等の２つ、３つ、４つ、またはそれよりも多くの光源を含んでもよく、これらの光源の全てのうちのいくつかは、異なる位置に配置され、画像８５２上の異なる位置に位置する、閃光８５４等の複数の閃光および異なる原点および方向を有する、光線８５６等の複数の光線をもたらしてもよい。そのような設計は、モジュール７１６が、閃光および光線の一部または全部がその個別の光源と画像８５２上のその個別の位置との間に適切に反射される結果をもたらす、角膜位置を識別することを模索し得るため、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６の正確度を向上させ得る。換言すると、これらの実施形態では、光源の一部または全部の位置が、図８Ｂ－８Ｅの３Ｄ角膜位置決定（例えば、反復、最適化技法等）プロセスに依拠し得る。いくつかの実装では、システムは、最適化プロセスを実施する前に、それに沿って角膜の中心が常駐する、ベクトルまたは光線（すなわち、２Ｄ角膜中心位置）を決定してもよい。そのような実装では、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、そのようなベクトルに沿って、角膜位置のみを検索し得、これは、角膜曲率の中心の推定値を決定するための最適化プロセスまたは他のプロセスを実施するとき、算出および／または時間節約を提供する役割を果たし得る。これらの実装のうちの少なくともいくつかでは、そのようなベクトルを決定する前に、システムは、最初に、（ｉ）眼カメラ座標系８５０の原点と、第１の光源（例えば、光源３２６ａ）と、第１の光源によって生産された第１の閃光（例えば、閃光８５４ａ）との間の第１の平面を定義し、（ｉｉ）眼カメラ座標系８５０の原点と、第２の光源（例えば、光源３２６ｂ）と、第２の光源によって生産された第２の閃光（例えば、閃光８５４ｂ）との間の第２の平面を定義してもよい。システムは、次いで、単に、第１の平面および第２の平面のクロス積を計算し、それに沿って角膜の中心が常駐する、ベクトルまたは光線（すなわち、２Ｄ角膜中心位置）を決定し得る。アプローチおよび他の方法および構成の変形例も、潜在的に、採用されてもよい。

Ｋ．例示的ウェアラブルデバイス構成

【０１７２】

図９Ａ－Ｅは、眼追跡モジュール６１４による使用のための眼画像データを捕捉するための例示的ウェアラブルデバイス２０００のコンポーネントの例示的構成を図示する。例えば、図９Ａに図示されるように、ウェアラブルデバイス２０００は、図２－４を参照し

て上記に説明されるようなウェアラブルシステムの一部であってもよい。ウェアラブルデバイス２０００は、左接眼レンズ２０１０Ａと、右接眼レンズ２０１０Ｂとを含んでもよい。左接眼レンズ２０１０Ａは、ユーザの左眼を結像することが可能であり得、右接眼レンズ２０１０Ｂは、ユーザの右眼を結像することが可能であり得る。

【０１７３】

図９Ｂに図示されるように、左接眼レンズ２０１０Ａは、１つ以上の照明源２０２２を含んでもよい。同様に、右接眼レンズ２０１０Ｂは、１つ以上の照明源２０２４を含んでもよい。例えば、４つの照明源２０２２と、４つの照明源２０２４とが存在してもよい。照明源２０２２は、左接眼レンズ２０１０Ａ内に位置付けられ、光をユーザの左眼２０１２Ａに向かって放出してもよい。照明源２０２２は、左接眼レンズ２０１０Ａを通して、ユーザのビューを遮らないように位置付けられてもよい。例えば、照明源２０２２は、ディスプレイを通してユーザのビューを遮らないように、左接眼レンズ２０１０Ａ内のディスプレイの辺縁の周囲に位置付けられてもよい。同様に、照明源２０２４は、右接眼レンズ２０１０Ｂ内に位置付けられ、光をユーザの右眼２０１２Ｂに向かって放出してもよい。照明源２０２４は、右接眼レンズ２０１０Ｂを通して、ユーザのビューを遮らないように位置付けられてもよい。例えば、照明源２０２０４は、ディスプレイを通してユーザのビューを遮らないように、右接眼レンズ２０１０Ｂ内のディスプレイの辺縁の周囲に位置付けられてもよい。照明源２０２２、２０２４は、可視または非可視光において、光を放出してもよい。例えば、照明源２０２２、２０２４は、赤外線（ＩＲ）ＬＥＤであってもよい。代替として、照明源は、異なるように位置または構成されてもよい。

【０１７４】

図９Ｂに図示されるように、左接眼レンズ２０１０Ａは、左眼結像システムを含んでもよい。左眼結像システムは、１つ以上の内向きに向いたカメラ（２０１４、２０１６）を含むことができる。例えば、左眼結像システムは、それぞれ、相互の左および右に、可能性として、それぞれ、左接眼レンズの中心の左および右に位置する、左接眼レンズ２０１０Ａのための左眼追跡カメラ２０１４と、左接眼レンズ２０１０Ａのための右眼追跡カメラ２０１６とを含むことができる。同様に、右接眼レンズ２０１０Ｂは、右眼結像システムを含んでもよい。右眼結像システムは、１つ以上の内向きに向いたカメラ（２０１８、２０２０）を含むことができる。例えば、右眼結像システムは、それぞれ、相互の左および右に、可能性として、それぞれ、右接眼レンズの中心の左および右に位置する、右接眼レンズ２０１０Ｂのための左眼追跡カメラ２０１８と、右接眼レンズ２０１０Ｂのための右眼追跡カメラ２０２０とを含むことができる。左眼追跡システム２０１０Ａ内の１つ以上のカメラおよび右眼追跡システム２０１０Ｂ内の１つ以上のカメラは、ユーザの眼の画像を邪魔にならないように捕捉するように、ウェアラブルデバイス２０００内に置かれてもよい。他の構成も、可能性として考えられる。

【０１７５】

左接眼レンズ２０１０Ａのための結像システムの視野は、多くの異なる眼姿勢位置において、ユーザの左眼２０１２Ａの全てまたは有用な部分を結像することが可能であり得る（必ずしも、眼追跡のために有用な右眼またはその一部を結像するとは限らない）。同様に、右接眼レンズ２０１０Ｂのための結像システムの視野は、多くの異なる眼姿勢位置において、ユーザの右眼２０１２Ｂの全てまたは有用な部分を結像することが可能であり得る（必ずしも、眼追跡のために有用な左眼またはその一部を結像するとは限らない）。例えば、ユーザは、通常移動の間、任意の方向に、中心視線から最大５０度まで、その眼を移動させることが可能であり得る。結像システムは、集合的に、その通常移動の間、ユーザの眼の（例えば、５０度の）完全運動範囲の実質的に全てを結像するように置かれてもよい。

図９Ｃは、左接眼レンズ２０１０Ａの右眼追跡カメラ２０１６の例示的視野２０３０と、右接眼レンズ２０１０Ｂの右眼追跡カメラ２０２０の例示的視野２０３２とを図示する。図９Ｄは、左接眼レンズ２０１０Ａの右眼追跡カメラ２０１４の例示的視野２０４０と、右接眼レンズ２０１０Ｂの右眼追跡カメラ２０１８の例示的視野２０４２とを図示する

。図９Ｅは、左接眼レンズ２０１０Ａの左眼追跡カメラ２０１４および右眼追跡カメラ２０１６からの視野２０３０および２０４０が、ユーザの左眼２０１２Ａの実質的に全てを結像するように、それぞれ、重複し得る様子を図示する。加えて、図９Ｅは、右接眼レンズ２０１０Ｂの左眼追跡カメラ２０１８および右眼追跡カメラ２０２０からの視野２０４０および２０４２が、画像ユーザの右眼２０１２Ｂの実質的に全てを結像するように、それぞれ、重複し得る様子を図示する。変形例も、可能性として考えられる。例えば、カメラの数および場所は、異なり得る。他のタイプの結像システムもまた、使用されてもよい。

Ｌ．眼追跡システムを用いて回転中心を位置特定する実施例

【０１７６】

眼追跡システム（または眼追跡モジュール６１４内のプロセス）を簡略化するために、ヒトの眼の回転中心（ＣｏＲ）を決定するために要求される変数の数を低減させることが望ましくあり得る。有利なこととして、ＣｏＲを決定するために使用される変数の数を低減させることはまた、眼追跡正確度を改良することができる。例えば、ＣｏＲは、眼追跡において使用するための視線ベクトルを決定するために使用され得るため、ＣｏＲにおける増加された誤差は、あまり正確ではない眼追跡をもたらし得る。ＣｏＲにおける誤差は、ＣｏＲを計算するために使用される変数の決定の間に導入される、誤差から生じ得る。例えば、ＣｏＲ計算は、瞳孔円中心を抽出し、角膜球面をモデル化するステップを伴い得る。それらのプロセスは両方とも、誤差を導入し、不正確度に寄与し得る。したがって、限定された数の変数を使用して、ＣｏＲを抽出することが有利であり得る。

【０１７７】

本明細書に説明されるものは、主にまたは全体的に、角膜データから、ＣｏＲを抽出するためのシステムおよび方法である。有利なこととして、上記に議論されるものと類似理由に起因して、本システムは、眼追跡システムの正確度を改良することができる。例えば、本システムは、いくつかの仮定を要求し、したがって、誤差の導入の潜在性を低減させ得る。改良された正確度に加えて、またはその代替として、本システムは、眼追跡システムの他の側面を改良することができる。例えば、本システムは、照明源へのより短い眼暴露に依拠し得る。より短い眼暴露は、照明源への長期眼暴露と関連付けられる、リスクを低減させ、照明電力消費を低減させ、かつ高周囲光阻止率を提供することができる。別の実施例では、本システムは、広視野を要求しなくてもよい。低減された視野要件は、ウェアラブルシステムのハードウェア設計におけるより多くの柔軟性を可能にすることができる。

【０１７８】

いくつかの実施例では、ヒトの眼の回転中心（ＣｏＲ）は、角膜データから抽出されることができる。図１０は、眼追跡モジュール６１４によって実施され得る、例示的ＣｏＲ抽出システム１０００のグラフィック図を示す。例えば、ウェアラブルシステムは、１つ以上の照明源を備える、照明システムを使用して、２つ以上の閃光をユーザの眼１０１０の角膜１０２０上に生成してもよい。種々の実装では、照明システムは、光が出力される、複数の別個の領域を備える。これらの領域は、分離された光エミッタまたは光源に対応し得る。閃光検出および標識化モジュール７１４が、眼１０１０の角膜１０２０上の閃光場所を抽出してもよい。下記に説明されるように、３Ｄ角膜中心推定モジュール７１６は、閃光場所に基づいて、近似角膜曲率１０１８を決定し、その近似される角膜曲率１０１８の推定される中心１０１２を計算してもよい。異なる眼姿勢は、異なる近似される角膜曲率１０１８および角膜曲率１０１２の関連付けられる推定される中心を提供し得る。ＣｏＲ推定モジュール７２４は、表面を推定される中心１０１２に適用させ、表面に対して法線方向の表面法線ベクトル１０１４のセットの収束または交差部の領域１０１６を決定することによって、角膜曲率１０１２の複数の推定される中心に基づいて、推定されるＣｏＲを決定してもよい。推定されるＣｏＲは、本領域１０１６から取得されてもよい、例えば、推定されるＣｏＲは、本領域１０１６またはその中にあり得る。

【０１７９】

随意に、ＣｏＲ推定は、眼追跡モジュール６１４を使用して、さらにチェックされても

よい。例えば、下記にさらに詳細に説明されるように、ＣｏＲが、ウェアラブルデバイスの使用の間、本デバイスに対して移動していた場合、角膜中心１０１２の新しい測定が、新しく計算された角膜中心１０１２と計算された角膜中心１０１２のセットに適合された表面との間の距離を測定することによって、試験されてもよい。距離が、大きすぎる場合、眼追跡モジュール６１４は、眼追跡を一時停止する、またはＣｏＲを決定する異なる方法または異なる眼追跡方法に切り替えてもよい。いくつかの実施例では、切替は、十分なデータが全体的誤差を低減させるために収集されるまでの一時的であってもよい。

【０１８０】

有利なこととして、ＣｏＲ抽出１０００は、いくつかの仮定を採用してもよい。例えば、ＣｏＲ抽出１０００は、閃光抽出が正確である、眼１０１０の幾何学形状が既知である、角膜の半径（または角膜非点収差の場合、２つの半径）が既知である、またはデータがユーザの視線の正常またはランダム運動の間に収集されたと仮定してもよい。

Ｍ．例示的眼追跡環境

【０１８１】

上記に議論されるように、ＣｏＲは、角膜曲率１０１２の複数の推定される中心から決定されてもよい。例えば、表面は、角膜曲率１０１２の推定される中心に適合されてもよく、本表面に対して法線方向の複数の表面法線ベクトル１０１４が、取得されてもよい。これらの表面法線ベクトル１０１４のセットの収束の領域１０１６が、識別されてもよい。推定されるＣｏＲは、本収束の領域１０１６から取得されてもよい、例えば、推定されるＣｏＲは、本領域１０１６またはその中にあり得る。

【０１８２】

角膜曲率１０１２の複数の推定される中心を取得するために、閃光が、照明源を使用して、眼上に生産され、上記に説明されるようなカメラによって結像されてもよい。図１１は、推定される回転中心を決定するための眼追跡モジュールによって使用される、任意の眼上の閃光の例示的画像を示す。例えば、上記に議論されるように、ウェアラブルシステムは、結像システムを含んでもよい。結像システムは、ユーザの眼１１１０を結像し、眼画像１１０１を生産してもよい。ウェアラブルシステムは、光を出力する空間的に別個の領域を備える、１つ以上の照明源１１０２を含んでもよい。故に、照明源１１０２からの光は、光を照射するこれらの空間的に別個の領域の反射である、１つ以上の閃光１１０４をユーザの眼１１１０上に生産してもよい。

【０１８３】

ウェアラブルシステムの結像システムは、眼追跡アセンブリの一部であってもよい（例えば、図９Ａ－Ｅに示されるように）。結像システムは、１つ以上のカメラを含んでもよい。例えば、結像システムは、ユーザの眼１１１０と関連する場所１１０６に、単一カメラを含むことができる。別の実施例では、結像システムは、ユーザの眼１１１０に関連する異なる場所に位置し得る、複数のカメラを含むことができる。

【０１８４】

照明源１１０２は、発光ダイオード（ＬＥＤ）等の１つ以上の光源を含むことができる。照明源は、可視または非可視光内の光（例えば、赤外線（ＩＲ）光）を放出してもよい。例えば、照明源１１０２は、赤外線（ＩＲ）ＬＥＤであることができる。照明源１１０２は、眼追跡アセンブリの一部であることができる（例えば、図９Ａ－Ｅに図示されるように）。

【０１８５】

照明源１１０２は、１つ以上の鏡面反射１１０４をユーザの眼１１１０の角膜上に生産してもよい。鏡面反射１１０４は、閃光とも称され得る。例えば、２つの照明源（１１０２Ａ、１１０２Ｂ）が、存在してもよい。照明源は、２つ以上の離散閃光（１１０４Ａ、１１０４Ｂ）をユーザの眼１１１０上に生産するように構成されてもよい。図１１は、その上に閃光を伴う、ユーザの眼の画像を示す。図１１はまた、眼１１１０およびその上の閃光１１０４Ａ、１１０４Ｂの場所と比較して、かつその相対的場所における照明源１１０２Ａ、１１０２Ｂに対して、カメラ１１０６（座標系の原点によって表される）の図を

示す。

Ｎ．単一カメラを使用した、それに沿って角膜中心が位置する、ベクトルの例示的抽出

【０１８６】

上記に議論されるように、場所１１０６におけるカメラは、照明源１１０２Ａ、１１０２Ｂによって生産される、ユーザの眼１１１０上の閃光１１０４Ａ、１１０４Ｂを結像してもよい。図１２Ａ－Ｄでは、閃光１１０４Ａ、場所１１０６における閃光の画像を捕捉するカメラ、および閃光を生産する照明源１１０２Ａの場所を含む、第１の平面１２２０が、決定されることができる。特に、モジュールは、第１の照明源１１０２Ａおよび第１の閃光１１０４Ａを含む、第１の平面１２２０を決定してもよい。同様に、図１３Ａ－Ｄに図示されるように、閃光１１０４Ｂ、場所１１０６における閃光の画像を捕捉するカメラ、および閃光を生産する照明源１１０２Ｂの場所を含む、第２の平面１３２０が、決定されることができる。特に、モジュール７１６は、第２の照明源１１０２Ｂおよび第２の閃光１１０４Ｂに基づいて、第２の平面１３２０を決定してもよい。図１４Ａ－Ｃに図示されるように、モジュール７１６は、第１の平面１２２０と第２の平面１３２０との間の交差部を決定してもよい。第１の平面１２２０と第２の平面１３２０との間の交差部は、角膜中心が位置する場所に沿って指向される、ベクトル１４１０を画定し得る。図１４Ａ－Ｃに示されるように、本ベクトル１４１０はまた、カメラの場所１１０６を含む、方向に沿って延在し得る。

【０１８７】

いくつかの実装では、モジュール７１６は、第１の照明源１１０２Ａと、第１の閃光１１０４Ａと、カメラ場所１１０６との間の線１２１０、１２１２、１２１４のセットを決定することによって、第１の平面１２２０を決定してもよい。図１２Ａに図示されるように、モジュール７１６は、カメラ場所１１０６と、第１の照明源１１０２Ａによって生産され得る、第１の閃光１１０４Ａの像面１１０１Ａ内の場所との間に延在する、第１の線１２１０を決定してもよい。図１２Ｂに図示されるように、モジュール７１６は、カメラ場所１１０６と、第１の閃光１１０４Ａを生産した照明源１１０２Ａの場所との間に延在する、第２の線１２１２を決定してもよい。図１２Ｃに図示されるように、モジュール７１６は、照明源１１０２Ａの像面１１０１Ａ内の場所と第１の閃光１１０４Ａとの間に投射される、第３の線１２１４を決定してもよい。図１２Ｄに図示されるように、これらの線１２１０、１２１０、および１２１４のうちの任意の２つのものは、その中に角膜中心が存在し得る、平面１２２０を画定し得る。

【０１８８】

同様に、いくつかの実装では、モジュール７１６は、第２の照明源１１０２Ｂと、第２の閃光１１０４Ｂと、カメラ場所１１０６との間の線１３１０、１３１２、１３１４のセットを決定することによって、第２の平面１３２０を決定してもよい。図１３Ａに図示されるように、モジュール７１６は、カメラ場所１１０６と、第２の照明源１１０２Ｂによって生産され得る、第２の閃光１１０４Ｂの像面１１０１Ａ内の場所との間に延在する、第１の線１３１０を決定してもよい。図１３Ｂに図示されるように、モジュール７１６は、カメラ場所１１０６と、第２の閃光１１０４Ａを生産した第２の照明源１１０２Ｂの場所との間に延在する、第２の線１３１３を決定してもよい。図１３Ｃに図示されるように、モジュール７１６は、第２の閃光１１０４Ｂの像面１１０１Ａ内の場所と第２の照明源１１０２Ｂとの間に延在する、第３の線１３１４を決定してもよい。図１３Ｄに図示されるように、線１３１０、１３１０、および１３１４は、その中に角膜中心が存在し得る、平面１３２０を画定し得る。

【０１８９】

しかしながら、いくつかの実装では、第１の平面１２２０は、必ずしも、線１２１０、１２１０、および１２１４を別個に画定せずに、第１の照明源１１０２Ａおよび第１の閃光１１０４Ａの場所およびカメラ場所１１０６から、直接、決定されることができる。同様に、第２の平面１３２０は、必ずしも、線１３１０、１３１０、および１３１４を別個に画定せずに、第２の照明源１１０２Ｂおよび第２の閃光１１０４Ｂの場所およびカメラ

場所１１０６から、直接、決定されることができる。
【０１９０】
モジュール７１６は、第１および第２の平面１２２０と１３２０との間の交差部を識別してもよい。図１４Ａおよび１４Ｂに図示されるように、第１の平面１２２０と第２の平面１３２０の交差部は、カメラ場所１１０６の原点を伴う、または別様にカメラ場所を含み得る方向に沿って延在する、ベクトル１４１０を画定し得る。図１４Ｃに示されるように、ベクトル１４１０は、角膜中心場所に向かって指し得る。
【０１９１】
モジュール７１６は、複数回、推定プロセスを繰り返し、１つ以上の角膜ベクトル１４１０を生成してもよい。例えば、モジュール７１６は、第１の平面１２２０を決定してもよく、それを用いて、複数の異なるカメラ場所１１０６を伴う第１の照明源１１０２Ａおよび第１の閃光１１０４Ａに基づいて、ベクトルを画定する。カメラ場所１１０６は、ユーザの眼１１１０に関連して（例えば、ユーザの眼１１１０までの距離、または眼に対する水平または垂直位置、またはそれらの任意の組み合わせに関して）、または照明源（１１０２Ａ、１１０２Ｂ）の場所に関して変動されることができる。モジュール７１６は、カメラ場所１１０６のうちの１つ以上のものに関するベクトル１４１０を決定してもよい。モジュール７１６は、次いで、上記に説明されるように、２つ以上のベクトルの交差部から、角膜中心を決定してもよい。２つ以上のベクトルが、交差しない場合、角膜中心は、ベクトルデータから補間または別様に外挿されてもよい。加えて、または代替として、眼追跡モジュール６１４は、より多くのデータを収集および分析し、角膜中心を決定してもよい。
【０１９２】
モジュール７１６は、眼追跡環境１１００と関連付けられる、１つ以上のパラメータを変動させながら、推定プロセスを繰り返してもよい。例えば、モジュール７１６は、異なるカメラ場所を用いて、またはユーザの眼の異なる視線方向に関して、プロセスを繰り返してもよい。眼追跡モジュール６１４は、視線標的を利用して、パラメータが変動される間、ユーザがその眼姿勢を維持することを確実にしてもよい。例えば、眼追跡モジュール６１４は、カメラの場所１１０６または照明源１１０２の場所等のパラメータを変動させながら、ユーザがその視線を視線標的に指向する間、１つ以上のベクトル１４１０を推定してもよい。加えて、または代替として、眼追跡モジュール６１４は、ウェアラブルデバイスの使用中、ユーザが、自然に、その視線を移動させている間、１つ以上のベクトル１４１０を推定してもよい。例えば、眼追跡モジュール６１４は、ユーザの眼の自然移動の間、異なるパラメータと関連付けられる、データを捕捉してもよい。
【０１９３】
繰り返される推定プロセスは、特定の眼姿勢と関連付けられる角膜中心に向いている、複数のベクトル１４１０をもたらし得る。モジュール７１６は、複数のベクトル１４１０の交差部または収束の領域を決定し、角膜曲率の推定される中心を生成してもよい。
Ｏ．複数のカメラを使用した、それに沿って角膜中心が位置する、ベクトルの例示的抽出
【０１９４】
種々の実装では、複数のカメラが、眼を結像するために採用されてもよく、複数のカメラからの画像は、その眼の角膜曲率の中心を決定するために使用されてもよい。特に、モジュール７１６は、それに沿って角膜中心が位置し得る、ベクトル（１５１０、１５３０）を決定してもよい。図１５Ａ－１６Ｃは、複数のカメラを用いてそのようなベクトルを決定するための例示的プロセスにおけるステップを図示する。例えば、図１５Ａに図示されるように、第１の場所１５０６における第１のカメラは、照明源１５０２Ａ、１５０２Ｂによって生産される、ユーザの眼１５０１上の閃光１５０４Ａ、１５０４Ｂを結像してもよく、場所１５２６における第２のカメラは、照明源１５２２Ａ、１５２２Ｂによって生産される、ユーザの眼１５０１上の閃光１５２４Ａ、１５２４Ｂを結像してもよい。モジュール７１６は、場所１５０６における第１のカメラおよび照明源１５０２Ａ、１５０２Ｂと関連付けられる、データに基づいて、第１のベクトル１５１０を決定してもよく、

場所１５２６における第２のカメラおよび照明源１５２２Ａ、１５２２Ｂと関連付けられる、第２のベクトル１５３０を決定してもよい。図１５Ｂに図示されるように、モジュール７１６は、第１のベクトル１５１０と第２のベクトル１５３０との間の収束または交差部を決定することによって、角膜中心１５２０を推定し得る。

【０１９５】

第１のベクトル１５１０を取得するために、モジュール７１６は、第１の照明源１５０２Ａと、像面１５０３Ａ内の第１の閃光場所１５０４Ａと、第１の場所１５０６における第１のカメラとの間の線（図示せず）のセットを決定することによって、第１の平面１５１２を識別してもよい。モジュール７１６は、第２の照明源１５０２Ｂと、像面１５０３Ａ内の第２の閃光場所１５０４Ｂと、第２のカメラ場所１５０６との間の線（図示せず）のセットを決定することによって、第２の平面１５１４を決定してもよい。モジュール７１６は、これらの第１および第２の平面１５１２と１５１４との間の交差部を決定することによって、ベクトル１５１０を決定してもよい。これらの平面１５１２と１５１４の交差部は、角膜曲率の中心場所に向かって指す、カメラ場所１５０６における原点を伴う、ベクトル１５１０を画定し得る。

【０１９６】

しかしながら、いくつかの実装では、第１の平面１５１２は、必ずしも、１つ以上の線を別個に画定せずに、第１の照明源１５０２Ａ、第１の閃光１５０４Ａ、および第１のカメラ１１０６の場所から、直接、決定されることができる。同様に、第２の平面１５１４は、必ずしも、１つ以上の線を別個に画定せずに、第２の照明源１５０２Ｂ、第２の閃光１５０４Ｂ、および第１のカメラ１５０６の場所から、直接、決定されることができる。

【０１９７】

モジュール７１６は、同様に、第１の照明源１５２２Ａと、像面１５０３Ｂ内の第１の閃光場所１５２４Ａと、場所１５２６における第１のカメラとの間の線（図示せず）のセットを決定することによって、第１の平面１５３２を決定してもよい。モジュール７１６は、第２の照明源１５２２Ｂと、像面１５０３Ｂ内の第２の閃光場所１５２４Ｂと、カメラ場所１５２６との間の線（図示せず）のセットを決定することによって、第２の平面１５３４を決定してもよい。モジュール７１６は、これらの第１および第２の平面１５３２と１５３４との間の交差部を決定することによって、第２のベクトル１５３０を決定してもよい。平面１５３２と１５３４の交差部は、角膜曲率の中心場所に向かって指し得る、カメラ場所１５２６に原点を伴う、ベクトル１５３０を画定し得る。しかしながら、いくつかの実装では、第１の平面１５３２は、必ずしも、１つ以上の線を別個に画定せずに、第１の照明源１５２２Ａ、第１の閃光１５２４Ａ、および第２のカメラ１５２６の場所から、直接、決定されることができる。同様に、第２の平面１５３４は、必ずしも、１つ以上の線を別個に画定せずに、第２の照明源１５２２Ｂ、第２の閃光１５２４Ｂ、および第２のカメラ１５２６の場所から、直接、決定されることができる。

【０１９８】

図１５Ｂに図示されるように、モジュール７１６は、これらの第１および第２のベクトル１５１０および１５３０に基づいて、角膜曲率の中心場所を決定してもよい。例えば、モジュール７１６は、これらのベクトル１５１０と１５３０の収束または交差部１５２０を決定してもよい。収束または交差部１５２０は、近似角膜中心場所に対応し得る。ベクトル１５１０および１５３０が、交差しない場合、角膜曲率の中心は、ベクトルデータから補間または別様に外挿されてもよい。加えて、または代替として、眼追跡モジュール６１４は、より多くのデータを収集および分析し、角膜曲率の中心１５２０を決定してもよい。

【０１９９】

図１６Ａ－１６Ｃは、複数のカメラを使用して角膜曲率の中心を決定するための別の例示的プロセスを図示する。図１６Ａに図示されるように、ウェアラブルシステムは、複数の眼カメラと併用され得る、共有照明源１６０２Ａ、１６０２Ｂのセットを有してもよい。共有照明源１６０２Ａ、１６０２Ｂは、加えて、または代替として、１つ以上のカメラ

と関連付けられる、別個の照明源のセットであってもよい。共有照明源１６０２Ａ、１６０２Ｂのセットは、閃光１６０４Ａ、１６０４Ｂ、１６０４Ｃ、１６０４Ｄをユーザの眼上に生産してもよい。

【０２００】

図１６Ｂに図示されるように、モジュール７１６は、共有照明源１６０２Ａ、１６０２Ｂを使用して、平面のセットを決定してもよい。例えば、モジュール７１６は、第１の照明源１６０２Ａと、像面１５０３Ａ内の第１の閃光場所１６０４Ａと、場所１５０６における第１のカメラとの間の線（図示せず）のセットを決定することによって、第１の平面１６３０を決定してもよい。モジュール７１６は、第２の照明源１６０２Ｂと、第１の像面１５０３Ａ内の第２の閃光場所１６０４Ｂと、第１のカメラ場所１５０６との間の線（図示せず）のセットを決定することによって、第２の平面１６３２を決定してもよい。

【０２０１】

しかしながら、いくつかの実装では、第１の平面１６３０は、必ずしも、１つ以上の線を別個に画定せずに、第１の照明源１６０２Ａ、第１の像面１５０３Ａ内の第１の閃光１６０４Ａ、および第１のカメラ１５０６の場所から、直接、決定されることができる。同様に、第２の平面１６３２は、必ずしも、１つ以上の線を別個に画定せずに、第２の照明源１６０２Ｂ、第２の閃光１６０４Ｂ、および第１のカメラ１５０６の場所から、直接、決定されることができる。

【０２０２】

モジュール７１６は、第１の照明源１６０２Ａと、像面１５０３Ｂ内の第１の閃光場所１６０４Ｃと、場所１５２６における第２のカメラとの間の線（図示せず）のセットを決定することによって、異なる第１の平面１６３４を決定してもよい。モジュール７１６は、第２の照明源１６０２Ｂと、第２の像面１５０３Ｂ内の第２の閃光場所１６０４Ｄと、第２のカメラ場所１５２６との間の線（図示せず）のセットを決定することによって、別個の異なる平面１６３６を決定してもよい。

【０２０３】

しかしながら、いくつかの実装では、異なる第１の平面１６３４は、必ずしも、１つ以上の線を別個に画定せずに、第１の照明源１６０２Ａ、像面１５０３Ｂ内の第１の閃光１６０４Ｃ、および第２のカメラ１５２６の場所から、直接、決定されることができる。同様に、異なる第２の平面１６３６は、必ずしも、１つ以上の線を別個に画定せずに、第２の照明源１６０２Ｂ、第２の閃光１６０４Ｄ、および第２のカメラ１５２６の場所から、直接、決定されることができる。

【０２０４】

図１６Ｃに図示されるように、モジュール６１４は、平面１６３０と１６３２との間の交差部を決定し、ベクトル１６１０を決定してもよい。平面１６３０と１６３２の交差部は、角膜中心場所に向かって指し得る、カメラ場所１５０６に原点を伴う、ベクトル１６１０を画定し得る。同様に、モジュール６１４は、平面１６３４と１６３６との間の交差部を決定し、ベクトル１６３０を決定してもよい。平面１６３４と１６３６の交差部は、角膜中心場所に向かって指し得る、カメラ場所１５２６に原点を伴う、ベクトル１６３０を画定し得る。

【０２０５】

図１６Ｃを継続して参照すると、モジュール７１６は、ベクトル１６１０および１６３０に基づいて、角膜曲率の中心場所を決定してもよい。例えば、モジュール７１６は、第１および第２のベクトル１６１０と１６３０の収束または交差部１６２０を決定してもよい。収束または交差部１６２０は、角膜曲率の近似中心場所に対応し得る。第１および第２のベクトル１６１０および１６３０が、交差しない場合、角膜曲率の中心は、ベクトルデータから補間または別様に外挿されてもよい。加えて、または代替として、眼追跡モジュール６１４は、より多くのデータを収集および分析し、角膜曲率の中心を決定してもよい。

【０２０６】

モジュール７１６は、ユーザの眼の複数の視線方向のための推定プロセスを繰り返してもよい。例えば、ウェアラブルシステムは、それに対してユーザがその視線を指向させ得る、１つ以上の視線標的を表示してもよい。眼追跡モジュール６１４は、ユーザがその視線を視線標的に指向する間、１つ以上のベクトル１４１０を推定してもよい。加えて、または代替として、眼追跡モジュール６１４は、ウェアラブルデバイスの使用中、ユーザが、自然に、その視線を移動させている間、１つ以上のベクトル１４１０を推定してもよい。例えば、眼追跡モジュール６１４は、ユーザの眼の自然移動の間、異なるパラメータと関連付けられるデータを捕捉してもよい。下記に説明されるように、ユーザの眼の異なる眼姿勢または視線ベクトルにおいて捕捉されたデータは、複数の角膜中心を計算するために使用されてもよく、これは、ＣｏＲを推定するために、ＣｏＲ推定モジュール７２４によって使用されてもよい。

Ｐ．回転中心の推定

【０２０７】

回転中心（ＣｏＲ）推定モジュール７２４は、角膜曲率１０１２の推定される中心に基づいて、推定される回転中心を決定してもよい。例えば、ＣｏＲ推定モジュール７２４は、表面を曲率の１つ以上の推定される角膜中心に適合させ、適合される表面に対して法線方向の表面法線ベクトルのセットを決定してもよい。表面法線ベクトルは、推定されるＣｏＲに対応し得る、点または領域において、収束または交差し得る。

【０２０８】

表面を決定するために、モジュール６１４は、複数の眼画像を分析してもよい。例えば、ウェアラブルシステムは、ユーザの眼１５０１が１つ以上の眼姿勢にある間、ユーザの眼１５０１を結像してもよい（例えば、内向きに面した結像システム４６２を用いて）。いくつかの実装では、モジュール６１４は、ウェアラブルデバイスのディスプレイ上での視線標的の表示を通して、１つ以上の眼姿勢または視線方向をプロンプトしてもよい。加えて、または代替として、モジュール６１４は、ウェアラブルデバイスの使用中に自然に生じる、１つ以上の眼姿勢と関連付けられるデータを収集してもよい。

【０２０９】

図１７Ａおよび１７Ｂに図示されるように、モジュール６１４は、ユーザの眼が１つ以上の眼姿勢にある間、ウェアラブルシステムによって収集されたデータに基づいて、曲率１７１２の複数の角膜中心を決定してもよい。例えば、モジュール６１４は、複数回（例えば、ユーザの眼１５０１の異なる視線方向または眼姿勢に関して）、上記に説明されるように、モジュール７１６の一部として、１つ以上のカメラを用いて、角膜曲率の中心推定プロセスを実施してもよい。モジュール７１６の角膜中心推定プロセスの出力は、曲率１７１２の複数の推定される角膜中心を含んでもよい。

【０２１０】

曲率１７１２の複数の角膜中心は、３次元（３Ｄ）空間の領域１７１０内に置かれ得る。領域１７１０は、角膜球面１０２２内に該当し得る。任意の特定の科学的理論に賛同するわけではないが、曲率１７１２の複数の角膜中心は、角膜曲率１０１８の形状に従って、領域１７１０内にほぼ整合し得る。例えば、曲率１７１２の複数の角膜中心は、角膜１０２０の形状と略平行または実質的に同一の形状の輪郭を描くように、領域１７１０内に整合し得る。角膜が、略球状である場合、複数の角膜中心１７１２は、角膜の半径にほぼ相当する距離において、角膜曲率１０１８にほぼ追従し得る。非点収差の場合（または角膜が略球状ではない場合）、複数の角膜中心１７１２は、角膜幾何学形状の１つ以上の半径にほぼ匹敵する距離において、角膜曲率１０１８にほぼ追従し得る。

【０２１１】

種々の実装では、モジュール６１４は、複数の角膜中心１７１２が、角膜の表面１０２２から角膜球面の中心１０２２までの予期される距離の決定された許容差内に該当するかどうかを決定してもよい。例えば、角膜球面１０２２は、球状または非点収差であり得る（例えば、球状形状以外の幾何学形状を有する）。予期される距離は、角膜球面１０２２の幾何学形状の中心までの距離に対応し得る。例えば、角膜幾何学形状が、球状である場

合、予期される距離は、角膜球面１０２２の半径であり得る。角膜中心１７１２が、決定された許容差外に該当する場合、モジュール６１４は、さらなる分析において、外れ値の寄与を低減させ得る。例えば、モジュール６１４は、外れ値データ点をさらなる分析から除外してもよい。加えて、または代替として、閾値数の角膜中心１７１２が、決定された許容差外に該当する場合、モジュール６１４は、さらなるデータが、入手される、または回転中心を決定する異なる方法に切り替えるまで、分析を停止してもよい。

【０２１２】

図１７Ｂに示されるように、モジュール７２４は、３Ｄ表面１７１４を複数の角膜中心１７１２に適合させてもよい。モジュール７２４は、例えば、回帰分析を使用して、３Ｄ表面を適合させてもよい。モジュール７２４は、好適な表面または曲線適合技法を利用して、適合を決定してもよい。モジュール７２４は、例えば、多項式回帰を使用して、角膜中心１７１２を低次多項式３Ｄ表面１７１４に適合させてもよい。別の実施例では、モジュール７２４は、幾何学的適合を角膜中心１７１２に適用してもよい（例えば、全最小二乗適合）。いくつかの実施例では、表面１７１４は、角膜曲率１０１８と類似曲率を有し得る。他の実施例では、表面１７１４は、角膜曲率１０１８と異なる形状を有し得る。

【０２１３】

モジュール７２４は、表面１７１４に対して法線方向である、表面法線ベクトルのセットを決定してもよい。図１８Ａは、表面法線ベクトル１８１４を使用した、ＣｏＲ（または眼球中心「ＥＢＣ」）の例示的計算１８００を図示する。例えば、モジュール７１６は、推定される角膜中心１８１２のセットを決定してもよい。モジュール７２４は、表面１７１４（図１７Ｂに示されるように）を推定される角膜中心１８１２に適合させてもよい。モジュール７２４は、次いで、表面１７１４に対して法線方向である、１つ以上の表面法線ベクトル１８１４を決定してもよい。表面法線ベクトル１８１４は、角膜曲率１８１２の推定される中心から生じ得る。例えば、モジュール７２４は、表面１７１４を決定するために使用される角膜曲率１８１２の推定される中心毎に、表面法線ベクトル１８１４を決定してもよい。より少ない表面法線が、ある実装では使用されてもよい。加えて、または代替として、表面法線ベクトル１８１４は、表面１７１４上の他の点から生じ得る。

【０２１４】

モジュール７２４は、表面法線ベクトル１８１４の収束の領域１８０２を決定してもよい。例えば、図１８Ａの差込図１８０１に図示されるように、表面法線ベクトル１８１４のいくつかまたは全てが、３Ｄ空間の領域１８０２内で収束または交差し得る。３Ｄ空間の領域１８０２は、法線ベクトルが交差および／または収束する、交差部の点または３Ｄ空間のボリューム（例えば、図１９Ｃおよび１９Ｄにおけるボリューム１９２０）であり得る。３Ｄ空間のボリュームは、表面法線ベクトル１８１４の交差部または収束の中央点の周囲に心合され得る。３Ｄ空間のボリュームは、交点の大部分を包含するために十分に大きくあり得る。

【０２１５】

収束の領域１８０２は、異なる視線方向または眼姿勢に対応する、収束または交差部の異なる面積を含むことができる。例えば、収束の領域１８０２は、第１の視線方向（例えば、下方視線）に対応する、サブ領域１８２０と、第２の視線方向（例えば、上方視線）に対応する、サブ領域１８２２とを含むことができる。いくつかの実施例では、サブ領域１８２０、１８２２は、ウェアラブルデバイスのディスプレイの領域と関連付けられる、近似されるＣｏＲに対応し得る。例えば、第１のサブ領域１８２０は、ディスプレイの上側領域に対応し得、第２のサブ領域１８２２は、ディスプレイの下側領域に対応し得る。

【０２１６】

モジュール７２４は、収束の領域１８０２を分析することによって、ＣｏＲを決定してもよい。例えば、モジュール７２４は、ベクトル１８１４の収束または交点の最頻値または中央値を決定することによって、ＣｏＲを決定してもよい。加えて、または代替として、モジュール７２４は、最初に、サブ領域１８２０、１８２２内のベクトル１８１４の収束または交点の最頻値または中央値等の視線ベースの収束または交点を決定し、次いで、

それらの視線ベースの収束または交点に基づいて、最頻値または中央値を決定することによって、ＣｏＲを決定してもよい。加えて、または代替として、モジュール７２４は、収束または交点の異なる分析を実施し、ＣｏＲを決定してもよい。例えば、モジュール７２４は、機械学習アルゴリズムを利用して、ＣｏＲを決定してもよい。

【０２１７】

いくつかの実施例では、曲率の計算された角膜中心における変動は、交差部の単一点とは対照的に、より広い収束の領域１８２４をもたらし得る。図１８Ｂは、領域１８２４を用いた例示的ＣｏＲ計算１８０３を図示する。例えば、曲率１８３２の計算される角膜中心は、適合される３Ｄ表面１８３０に対して雑音が多くあり得る。雑音が多い角膜中心１８３２は、その中でＣｏＲまたは眼球中心（ＥＢＣ）が角膜中心１８３２に原点を伴うベクトル（図示せず）の交差部に基づく可能性が高い、領域１８２４をもたらし得る。いくつかの実装では、モジュール６１４は、視線方向を計算する際に、領域１８２４を使用してもよい。例えば、モジュール６１４は、領域１８２４または領域１８２４内または上または別様にそれに基づくある他の場所の中心として、ＣｏＲを決定してもよい。

【０２１８】

種々の実装では、モジュール７２４は、推定される角膜中心１９１０の一部を選択し、ＣｏＲを決定してもよい。図１９Ａ－１および１９Ａ－２は、データ低減プロセスを使用して選択され得る、推定される角膜中心１９１０の一部に適合される、例示的表面１９１２を図示する。図１９Ｂ－１および１９Ｂ－２は、表面１９１２に対して法線方向であり得る、例示的ベクトル１９１６を示す。ベクトル１９１６は、選択された推定される角膜中心１９１０に生じ得る。図１９Ｃ－１および１９Ｃ－２は、ベクトル１９１６の領域収束または交差部の点に基づいて、推定されるＣｏＲ領域１９２０を図示する。モジュール７２４が表面１９１２に適合させるための角膜中心１９１０を選択しない、図１９Ｄ－１および１９Ｄ－２に示されるように、ベクトル１９２２の多くは、領域１９２０内で収束または交差し得ない。

【０２１９】

種々の実装では、モジュール７２４は、法線ベクトル１９１６の収束の決定された領域に基づいて、推定される角膜中心１９１０を選択してもよい。例えば、モジュール７２４は、その中で法線ベクトル１９２２が交差する、大領域を決定してもよい。いくつかの実装では、大領域が、閾値ボリュームを上回るボリュームを有する場合、モジュール７２４は、角膜中心１９１０のより小さいセットを決定し、それを用いて、ＣｏＲを決定してもよい。ある実装では、閾値ボリュームは、そのＣｏＲに基づいて、視線追跡の閾値正確度と関連付けられる、ＣｏＲを決定するための好適なボリュームを含むことができる。例えば、ユーザの眼のボリュームの３０パーセントのボリュームは、視線追跡における正確度の８０％減少と関連付けられ得る。決定されたボリュームが、閾値ボリュームを上回る場合、モジュール７２４は、下記に説明されるように、任意の数の好適なデータ選択基準に基づいて、角膜中心１９１０のより小さいセットを選択してもよい。

【０２２０】

加えて、または代替として、モジュール７２４は、機械学習アルゴリズムまたはフィルタレーションプロセス等の任意の数のデータ低減プロセスを使用して、分析のために、推定される角膜中心１９１０を選択してもよい。例えば、モジュール７２４は、データをフィルタリングし、外れ値を排除してもよい。フィルタは、所与の角膜中心１９１０と関連付けられる、信頼度スコアを決定し、その信頼度スコアに基づいて、角膜中心１９１０を選択するステップを含んでもよい。いくつかの実施例では、信頼度スコアは、二次計算からの曲率１９１０の角膜中心の偏差または曲率１９１０または表面１９１２の角膜中心の決定に基づいて決定されてもよい。いくつかの実施例では、信頼度スコアは、適合表面１９１２に関連した曲率１９１０の角膜中心の場所（例えば、適合表面１９１２からの角膜中心１９１０の偏差）に基づいてもよい。いくつかの実施例では、信頼度スコアは、曲率１９１０の角膜中心を決定するための利用される、閃光抽出内で計算された誤差に基づいて決定されてもよい。例えば、閃光抽出は、閃光を抽出するために分析される眼画像内に

誤差が存在する場合（例えば、ぼけ、画像内の障害物、歪曲、または他の雑音源に起因して）、高誤差を有し得る。

Ｑ．回転抽出の角膜曲率の中心の例示的用途

【０２２１】

図２０は、眼追跡モジュール６１４によって実装され得る、例示的回転中心抽出プロセス２１００を図示する。例えば、回転中心抽出プロセス２１００は、１つ以上の角膜中心推定プロセス２１０８と、適用ブロック２１１６と、ベクトル決定ブロック２１１８と、収束または交差部決定ブロック２１２０と、回転中心決定ブロック２１２２とを含むことができる。

【０２２２】

モジュール６１４は、１つ以上の角膜中心推定プロセス２１０８の一部として、いくつかのブロックを実施することができる。例えば、角膜中心推定プロセス２１０８は、画像受信ブロック２１１０と、閃光決定ブロック２１１２と、角膜中心決定ブロック２１１４とを含むことができる。

【０２２３】

画像受信ブロック２１１０では、モジュール６１４は、ユーザの眼の１つ以上の画像を受信することができる。画像は、ユーザによって装着されるウェアラブルデバイスと関連付けられる、結像システムから取得されることができる。例えば、ウェアラブルデバイスは、図９Ａ－９Ｄに図示されるように、内向きに面したカメラ２０１４、２０１６、２０１８、および２０２０を含む、結像システムを伴う、左接眼レンズ２０１０Ａと、右接眼レンズ２０１０Ｂとを含む、頭部搭載型ディスプレイであることができる。モジュール６１４は、随意に、品質に関して画像を分析することができる。例えば、モジュール６１４は、画像が品質閾値に合格するかどうかを決定することができる。閾値は、ぼけ、障害物、望ましくない閃光に関連する画像の品質のためのメトリック、または回転中心分析の正確度に影響を及ぼし得る、他の品質メトリックを含むことができる。モジュール６１４が、画像が画質閾値に合格することを決定する場合、モジュール６１４は、さらなる分析において、画像を使用してもよい。

【０２２４】

閃光決定ブロック２１１２では、モジュール６１４は、ブロック２１１０から受信された画像を分析し、画像内の１つ以上の閃光の場所を決定してもよい。図１２Ａ－１６Ｃを参照して上記に説明されるように、閃光場所は、像面内の１つ以上の照明源によって生産された１つ以上の閃光の場所に対応し得る。加えて、または代替として、閃光場所は、ユーザの眼の座標フレーム内の１つ以上の照明源によって生産される、１つ以上の閃光の場所に対応し得る。閃光はまた、異なるカメラおよび／または異なるカメラ場所に関して取得されることができる。

【０２２５】

角膜中心決定ブロック２１１４では、モジュール６１４は、閃光場所を分析し、角膜曲率の推定される中心を決定することができる。図１２Ａ－１６Ｃを参照して上記に説明されるように、決定は、閃光、照明源、およびカメラ場所に基づいて、それに沿って角膜曲率の中心が位置する、ベクトルを決定するステップを伴うことができる。決定はまた、それらのベクトルのうちの１つ以上のものの交差場所に基づいて、角膜曲率の推定される中心を決定するステップを伴うことができる。

【０２２６】

加えて、または代替として、モジュール６１４は、複数回、ブロック２１１０、２１１２、および２１１４を実施することができる。例えば、モジュール６１４は、１つ以上の角膜曲率の中心を計算するために、眼画像または眼画像のセット毎に、複数回、ブロック２１１０から、２１１２および２１１４を実施してもよい。別の実施例では、モジュール６１４は、複数の眼姿勢または条件に関して、ブロック２１１０、２１１２、および２１１４を実施してもよい。例えば、モジュール６１４は、異なる眼姿勢または異なる視線方向において、ユーザの眼の画像を受信することができる。加えて、または代替として、モ

ジュール６１４は、ユーザの眼からのカメラ距離、ユーザの眼に対する垂直または水平場所、またはそれらの任意の組み合わせ等の異なるカメラ条件を用いて、ユーザの眼の画像を受信することができ、これは、異なるカメラ視点および／または異なる場所および／または視点を有する異なるカメラを提供し得る。上記に説明されるように、ウェアラブルデバイスは、ディスプレイの異なる領域内の視線標的の表示を引き起こすことによって、ユーザに、異なる眼姿勢に従事するようにプロンプトすることができる。例えば、ウェアラブルデバイスは、ディスプレイの上側中心領域、ディスプレイの下側中心領域、ディスプレイの中心領域、ディスプレイの中心領域の左、およびディスプレイの中心領域の右に対応する、５つの視線標的を表示することができる。５つの視線標的は、ユーザの５つの異なる眼姿勢に対応し得る。加えて、または代替として、ウェアラブルシステムは、ウェアラブルシステムの使用の間のユーザの眼の自然移動の間に生じる、異なる眼姿勢を捕捉してもよい。

【０２２７】

モジュール６１４は、閾値基準が満たされるまで、データを収集し続けてもよい。例えば、閾値基準は、誤差の許容差、データ点の数、または眼姿勢の最小値、閾値、または標的多様度を含むことができる。いくつかの実施例では、誤差の許容差は、曲率の計算された角膜中心の最小値、閾値、または標的数、計算された回転中心または適合された表面からの曲率の角膜中心の偏差内で達成される、最小値、閾値、または標的誤差レベル、それらのある組み合わせ、または同等物に対応し得る。他のアプローチも、可能性として考えられる。

【０２２８】

ブロック２１１６では、モジュール６１４は、表面をプロセス２１０８から出力された１つ以上の角膜中心に適合させてもよい。図１７Ａおよび１７Ｂを参照して上記に説明されるように、モジュール６１４は、回帰分析を実施し、適合された表面を生成してもよい。例えば、モジュール６１４は、多項式回帰を実施し、角膜中心に対する低次多項式３Ｄ表面を生成してもよい。しかしながら、他の技法も、使用されてもよい。

【０２２９】

ブロック２１１８では、モジュール６１４は、表面法線ベクトルをブロック２１１６における表面適合から決定してもよい。図１８Ａを参照して上記に説明されるように、モジュール６１４は、曲率の角膜中心において生じる、またはそれを通して進む、適合された表面に対して法線方向である、表面法線ベクトルを決定してもよい。加えて、または代替として、モジュール６１４は、適合された表面上の任意の点から生じる、表面法線ベクトルを決定してもよい。他のアプローチもまた、可能性として考えられる。

【０２３０】

ブロック２１２０では、モジュール６１４は、ブロック２１１８において決定された表面法線ベクトルの収束の領域を決定してもよい。図１９Ａ－１９Ｅを参照して上記に説明されるように、モジュール６１４は、表面法線ベクトルの収束の点または領域を決定してもよい。収束の領域は、その中で表面法線ベクトルの実質的部分が収束および／または交差する、空間のボリュームであり得る。収束の点または領域は、ユーザの眼の回転中心にほぼ対応する、またはそれを推定することを補助し得る。

【０２３１】

ブロック２１２２では、モジュール６１４は、ブロック２１２０から決定された収束の領域に基づいて、回転中心を決定してもよい。回転中心は、例えば、収束の領域、その中、またはその上にあり得る。他の場所もまた、収束の領域に基づいて、回転中心のために決定されてもよい。いくつかの実装では、上記に説明されるように、モジュール６１４は、閾値基準（例えば、誤差）に関して収束の領域を分析してもよい。モジュール６１４が、収束の領域が閾値基準を満たさないことを決定する場合（例えば、誤差および／またはボリュームに関して）、モジュール６１４は、回転中心を出力しなくてもよい。モジュール６１４が、収束の領域が閾値基準を満たすことを決定する場合、モジュール６１４は、回転中心が収束の領域の中心であることを決定し得る。

Ｒ．回転中心抽出のための角膜曲率の中心を使用した例示的眼追跡プロセス

【０２３２】

図２１は、回転中心抽出のために角膜曲率の中心を決定するプロセス２１００（例えば、図２０を参照して上記に説明されるように）を使用し得る、例示的眼追跡プロセス２２００を図示する。プロセス２２００は、本実施例では、回転中心決定ブロック２２１０と、誤差決定ブロック２２１２と、閾値決定ブロック２２１４と、代替眼追跡ブロック２２１６と、角膜眼追跡ブロック２２１８とを含むことができる。

【０２３３】

回転中心決定ブロック２２１０では、モジュール６１４は、角膜データを使用して、回転中心を決定することができる。例えば、モジュール６１４は、図２１を参照して上記に説明されるプロセス２１００を使用して、回転中心を決定してもよい。誤差決定ブロック２２１２では、モジュール６１４は、ブロック２２１０からの回転中心と関連付けられる、誤差を決定することができる。ブロック２２１４では、モジュール６１４は、ブロック２２１２からの誤差を分析し、閾値誤差値を超えるかどうかを決定することができる。いくつかの実装では、閾値誤差値は、予期される値からの回転中心の偏差（例えば、最高または閾値偏差）と関連付けられる、値に対応し得る。いくつかの実装では、予期される値は、異なる回転中心決定プロセスに基づく回転中心、眼幾何学形状に基づく予期される回転中心、ユーザの母集団を横断した平均回転中心、または別の好適な回転中心値の場所を含むことができる。他の閾値が、使用されてもよい。誤差が閾値を超える場合、モジュール６１４は、ブロック２２１６において、代替眼追跡または回転中心推定方法を利用してもよい。誤差が閾値を超えない場合、モジュール６１４は、ブロック２２１８において、ブロック２２１０から計算された回転中心を利用してもよい。

Ｓ．非球面角膜モデルを使用した角膜の中心の３Ｄ位置の決定

【０２３４】

大部分の眼において、角膜は、完璧に球面形状ではなく、むしろ、回転楕円体である。図２２Ａは、眼球２２３０の概略斜視図を図示する。図示されるように、角膜２２３２は、角膜頂点２２３３から角膜２２３２と強膜２２３４との間の周縁部２２３６に向かって徐々に減少する（例えば、曲率半径が増加する）曲率を伴う、非球面表面を有する。図２２Ｂは、角膜２２３２、強膜２２３４、虹彩２２３８、瞳孔２２４５、および天然水晶体２２４０を示す、眼の２Ｄ断面図を図示する。球面表面２２４２は、強膜２２３４と角膜２２３２との間の境界２２３６に向かった角膜頂点２２３３の近くの角膜表面２２３２の曲率に関する非常に正確な近似値であり得るが、角膜の実際の曲率は、いくつかの球面角膜モデル内で使用される、球面表面の曲率を著しく下回る状態になる。上記に議論されるように、種々の実装では、角膜曲率中心（角膜中心）は、ライトフィールドレンダリングコントローラ６１８（図７Ａおよび７Ｂ参照）への入力パラメータのうちの１つであり得、したがって、その正確度は、直接、頭部搭載型ディスプレイ（ＨＭＤ）によってレンダリングされる画像の配向および／または場所に影響を及ぼし得る。さらに、角膜中心は、眼の光学軸および／または瞳孔中心を推定する際に使用され得る、パラメータである。種々の方法およびシステムにおいて、光学軸および／または瞳孔中心は、潜在的に、ある場合には、ライトフィールドレンダリングコントローラ６１８への入力パラメータのうちの１つであり得る、眼球の回転中心（ＣｏＲ）を推定するために使用され得る。したがって、角膜中心の推定される場所と実際の場所との間の差異は、潜在的に、ＨＭＤの装着者によって意図されるように知覚されない、画像をレンダリングする結果をもたらし得る。

【０２３５】

いくつかの実装では、角膜曲率の中心（角膜曲率中心）または角膜の中心は、角膜の一部の曲率の中心または角膜の表面の一部と一致する球面表面の曲率の中心を指す。例えば、可能性として、下記に議論される眼の回転楕円体モデル等の非球面モデルに関するようないくつかの実装では、角膜曲率の中心または角膜の中心は、角膜頂点における曲率の中心または角膜頂点２２３３における表面の一部と一致する球面表面の曲率の中心を指す。角膜中心はまた、例えば、角膜の形状、角膜の表面の形状、角膜の一部の形状、または角

膜の表面の一部の形状と近似的に一致する、球面等の表面の中心を指し得る。同様に、角膜中心はまた、例えば、角膜の形状、角膜の表面の形状、角膜の一部の形状、または角膜の表面の一部の形状と近似的に一致する、非球面回転楕円体等の非球面表面の中心を指し得る。

【０２３６】

上記に議論されるように、角膜中心は、１つ以上の眼カメラ（眼追跡カメラ）によって捕捉された１つ以上の画像上の２つ以上の閃光の場所を使用して、推定されてもよい。閃光は、ＨＭＤフレーム上に添着された２つ以上の光源（例えば、ＩＲ　ＬＥＤ）によって生成された光の鏡面反射によって生成されてもよい。光源の既知の位置と、座標系（例えば、眼カメラの座標系）に対する１つ以上の閃光の測定された位置とを入力として使用して、処理モジュールは、ＨＭＤの非一過性メモリ内に記憶される命令のセットを通して、角膜モデルに基づいて、角膜中心を推定し得る。上記に説明されるいくつかの方法では、球面角膜モデルは、角膜中心を推定するために使用される。

【０２３７】

いくつかの方法は、閃光、眼カメラ、および光源の場所を使用して、角膜中心に向いている、２つ以上の角膜ベクトルを生成し、次いで、生成された角膜ベクトルの交差部または収束の領域を決定し、角膜曲率の中心を推定してもよい。例えば、角膜ベクトルは、図１１－図１４を参照して上記に説明されるプロシージャに基づいて、１つのカメラと、２つの光源とによって捕捉された画像を使用して生成されてもよい。他の実施例では、角膜ベクトルは、図１５を参照して説明されるプロシージャに基づいて、２つの眼カメラと、４つの光源とによって捕捉された画像を使用して生成されてもよい。さらに他の実施例では、角膜ベクトルは、図１６を参照して説明されるプロシージャに基づいて、２つのカメラと、２つの共有光源とによって捕捉された画像を使用して推定されてもよい。種々の実装では、角膜ベクトルを計算するために使用される方法は、閃光が球面角膜表面からの鏡面反射によって生成されるという仮定に基づいて、角膜中心の場所に関する推定値を提供する。

【０２３８】

いくつかの付加的方法はまた、眼の捕捉された画像上の閃光の場所を使用して、球面角膜モデルに基づいて、角膜中心を推定してもよい。例えば、アルゴリズムが、既知の場所を伴う、光源による照明に応じて、捕捉された画像上に現れるものと重複する閃光画像を生成する、反射性球面表面の中心を見出すために使用されてもよい。２つ以上の光源と、１つのカメラとを使用し得る、そのような方法に基づく、角膜中心推定プロシージャの実施例は、図８Ａ－８Ｅに関して上記に、および第ＵＳ２０１９／０２４３４４８Ａ１号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明される。

【０２３９】

しかしながら、角膜が球面形状を有すると仮定する、これらの方法のいずれかを使用することは、潜在的に、誤った推定または少なくとも部分的に誤ったまたはあまり正確ではない推定角膜の中心（角膜曲率の中心）をもたらし得る。図２２Ｃは、例えば、反射の法則が、２つの光源２２２０／２２２１の場所と、眼カメラの像面２２２２上の結果として生じる閃光２２２４／２２２５の場所とに基づいて、軸方向対称反射表面（例えば、角膜の表面）に関する曲率の中心を計算するために使用され得る方法を図示する。本実施例では、２つの光源は、角膜表面の対称軸から等距離にある。図によって図示されるように、角膜の表面が、球面形状２２４２を有すると仮定される場合、推定される角膜中心２２４６の場所は、角膜の表面が非球面回転楕円体形状２２４４を有すると仮定して推定される、角膜中心２２４８と異なる。換言すると、２つの画像２２２４／２２５が、２つの光源２２２０／２２２１が軸方向対称反射性表面を照明する結果として生成される場合、少なくとも表面の特定の部分に関する推定される曲率の中心（例えば、入射点における表面に対する法線と表面の対称軸との間の交差部）は、可能性として、仮定される表面形状（例えば、球面または非球面回転楕円体または他の非球面形状）に依存する。図２２Ｃに示される実施例では、角膜曲率の中心２２４６／２２４８の２つの推定される値間の差異の大

きさは、閃光が角膜頂点２２３３からより遠い角膜の領域からの鏡面反射から生成されるとき、より大きくなる。ＨＭＤフレーム上の光源および眼カメラの固定された場所および装着者の視線方向が常に変化しているという事実を前提として、常時、その頂点に近い角膜の領域からの鏡面反射から生成された閃光画像を提供する（推定誤差を低減または最小限にするために）、構成を維持することは、実践的ではあり得ない。結果として、多くの構成およびシナリオ（例えば、利用可能な光源およびカメラの異なる組み合わせを使用して、異なる視線方向における測定）では、球面眼モデルのみに依拠する方法に基づく、推定される角膜中心の場所は、角膜の非球面モデルを採用する方法ほど正確な角膜中心に関する推定値を提供し得ない。

【０２４０】

角膜の非球面形状を考慮する、モデルを使用することは、推定される眼パラメータの正確度、したがって、眼追跡器の全体的正確度を改良し得る。具体的には、非球面モデル（例えば、非球面回転楕円体モデル）に基づく推定は、視線追跡、角膜の中心、およびＣｏＲ計算の正確度を改良し得る。有利なこととして、いくつかの実装では、そのようなモデルは、可能性として、ユーザ特有の較正の必要なく、眼追跡器の正確度を改良し得る。しかしながら、いくつかの種々の実装は、ユーザ特有の較正を含み、可能性として、正確度をさらに改良する。

【０２４１】

球面角膜モデルと異なり、角膜の非球面回転楕円体モデル等の角膜の種々の非球面モデルは、角膜の中心決定問題に対して閉形式解を生み出すという利益をもたらさない。本明細書で議論される種々の方法論は、非球面モデルに基づいて角膜中心の３Ｄ位置を推定するためのアプローチおよびプロシージャを採用し、向上された正確度をもたらす。下記に説明される開示される方法論は、片眼カメラを使用し、かつ上記に説明されるもの等の２つの眼カメラを使用する、ＨＭＤシステム内の角膜中心の３Ｄ位置を推定するための算出上効率的プロシージャを含み得る。また、第ＵＳ２０１９／０２４３４４８Ａ１号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）も参照されたい。

回転楕円体眼モデル

【０２４２】

本明細書で議論される、いくつかの例示的方法およびシステムでは、回転楕円体眼モデルは、例えば、以下の方程式の一方または両方によって説明される回転面を、ユーザの角膜の形状に関する推定値として使用してもよい。

【化１】

$$X^2 + Y^2 + (1+Q)Z^2 = 2ZR, \qquad (1A)$$

$$Z = \frac{\frac{X^2}{R} + \frac{Y^2}{R}}{1 + \sqrt{1-(1+Q)*(\frac{X^2}{R^2} + \frac{Y^2}{R^2})}}, \qquad (1B)$$

【０２４３】

式中、Ｒは、角膜頂点２３０３／２２３３における半径であって、Ｚ－軸は、回転楕円体の回転軸であって、また、角膜の光学軸でもあって、Ｑは、Ｘ－ＺまたはＹ－Ｚ平面における楕円体の形状を改変する、非球面度または円錐パラメータである。Ｒの大きさは、平均７．８ｍｍ（例えば、平均成人ユーザに関して）を有し得るが、本値と異なってもよい。Ｒの大きさの分布は、例えば、正視を伴う成人に関して、７．８ｍｍの平均値および０．２６ｍｍの標準偏差を伴って、正規分布に接近し得る。

【０２４４】

図２３Ａは、Ｑのいくつかの値に関する、Ｘ－Ｚ平面（Ｙ＝０）にプロットされる、方程式（１Ａ）を示す。方程式（１Ａ）によって定義された表面は、Ｚ－軸２３０６の周囲において回転対称（回転楕円体）であって、したがって、Ｒの所与の値およびＱの異なる値に関して、Ｙ－Ｚ平面におけるそのような表面のプロファイルは、図２３Ａに示される

ものに類似するであろう。加えて、Ｘ－Ｙ平面における方程式（１Ａ）によって形成される表面の断面は、円形となるであろう。０～－１（例えば、０＞Ｑ＞－１）のＱの値は、偏長回転楕円体から等の楕円形形状の断面２３１４ａおよび２３１４ｂをもたらす一方、０～＋１（例えば、０＜Ｑ＜＋１）のＱの値は、偏平回転楕円体から等の楕円形形状の断面２３１４ｃおよび２３１４ｄをもたらす。図２３Ａでは、＋１．０のＱに関する値は、放物線２３１０断面をもたらすように示される一方、＋２．０のＱに関する値は、双曲線２３０８断面を生産する。Ｑが、ゼロに等しいとき、方程式（１Ａ）は、Ｚ＝Ｒに心合される半径Ｒを伴う、球面２３１２を記述し、回転楕円体モデルは、球面モデルに縮尺される。円形断面が、したがって、Ｑ＝０に関する、図２３Ａに示される。パラメータＲおよびＱは、異なる回転楕円体モデルに関して変動し、角膜中心２２１８と角膜頂点２２３３との間の距離に関する異なる値と、異なるプロファイル（例えば、球面、偏長、または偏平楕円形プロファイル）とをもたらし得る。例えば、周知のＡｒｉｚｏｎａ眼モデルでは、角膜形状は、Ｒ＝０．７８ｍｍおよびＱ＝－０．２５を伴う、偏長回転楕円体に基づく。図２３Ｂは、Ｑ＝０およびＱ＝－０．２５に関する、Ｘ－Ｚ平面（Ｙ＝０）にプロットされた方程式（１Ａ）を示し、球面モデルおよびより現実的非球面回転楕円体モデル（この場合、Ａｒｉｚｏｎａ回転楕円体モデル）に基づく、角膜の断面プロファイル間の比較を提供する。図２３Ａおよび２３Ｂでは、座標軸２３０３の原点は、角膜２２３２の頂点２２３３にある（Ｑの両方の値に関して）。図２３Ｂに示されるように、球面角膜２３１９および非球面回転楕円体角膜２３１５は、単一入射ビーム２３１７を２つの異なる方向に反射させる（異なる形状の角膜の頂点が重複すると仮定する）。球面角膜から反射された光線２３２０と、非球面回転楕円体角膜から反射された光線２３２２との軌道間の比較は、眼球と眼カメラとの間の距離を前提として、これらの光線によって生成された閃光画像の位置間の差異が、測定できるほどに異なり得ることを示す。結果として、球面角膜からの反射によって生成された閃光に基づいて推定される、角膜中心２３１６は、非球面回転楕円体角膜からの反射によって生成された閃光に基づいて推定される、角膜中心２３１８と異なる可能性が高いであろう。本明細書に議論されるように、所与の角膜半径Ｒに関して、非球面回転楕円体モデルが、１つのカメラと、少なくとも２つの光源とを使用して、角膜中心を推定するために使用されてもよい。しかしながら、加えて、２つのカメラを用いて、角膜中心は、角膜半径Ｒの値を把握せずに、２つの光源を使用して推定されることができる。

【０２４５】

正常角膜は、多くの場合、非点収差を示す（例えば、角膜曲率半径は、水平において、垂直経線より大きい）ため、いくつかの実施例では、非球面モデルはまた、角膜を表す表面がＺ－軸を中心として回転対称ではあり得ないことを考慮し得る。例えば、非点収差角膜表面は、Ｘ－Ｙ平面における円錐形プロファイルと、また、Ｘ－Ｚにおける円錐形プロファイルと異なり、かつそれから独立する、Ｙ－Ｚ平面における円錐形プロファイルとを有する、双円錐面であり得る。そのような双円錐面に関する方程式は、以下のように記述され得る。

【化２】

$$Z = \frac{\frac{X^2}{R_x} + \frac{Y^2}{R_y}}{1 + \sqrt{1 - (1+Q_x) * \frac{X^2}{R_x^2} - (1+Q_y) * \frac{Y^2}{R_y^2}}}, \qquad (1C)$$

【０２４６】

方程式１Ｃは、一般的双円錐面を表し、これは、正視、近視、遠視、または非点収差である、大部分の眼に関する角膜形状をモデル化するために使用され得る。（R_x，Q_x）および（R_y，Q_y）は、それぞれ、水平および垂直寸法における、角膜表面の半径および円錐パラメータを規定する。異なる眼に関して測定されたR_xおよびR_yの分布は、異なる眼に関して測定されたＲ（方程式１Ａまたは１Ｂ内で使用される）と同一分布であり得

、これは、例えば、７．８ｍｍの平均値および０．２６ｍｍの標準偏差を有し得る。異なる眼に関して測定されたＱ$_x$およびＱ$_y$の分布は、Ｑ（方程式１Ａまたは１Ｂ内で使用される）と同一分布であり得、これは、例えば、－０．２６の平均および０．１８の標準偏差を有し得る。モデルが、非点収差角膜表面を表すために使用されるとき、方程式１Ｃによって定義された表面は、光学軸（Ｚ－軸）の周囲において回転され（例えば、０～１８０度）、角膜表面の非点収差軸と整合され得る。したがって、４つの独立ｔパラメータが、一般的双円錐面の形状を定義するために要求され得、第５の独立パラメータが、双円錐面と角膜の非点収差軸を整合させるために要求され得る。

【０２４７】

さらに他の実施例では、非点収差角膜表面は、Ｘ－Ｙ平面における円錐形プロファイルと、また、異なるＹ－Ｚ平面における円錐形プロファイル（潜在的に、Ｘ－Ｚにおける円錐形プロファイルから独立し得ない）とを有する、非回転楕円体としてモデル化されてもよい。そのような楕円面に関する方程式は、以下のように記述され得る。

$$(X^2/Q_1^2)+(Y^2/Q_2^2)+[(Z-Q_3)^2/Q_3^2]=1 \qquad (1D)$$

【０２４８】

これは、Ｚ＝０に位置するその頂点（角膜の頂点）のうちの１つを有する、楕円体を定義する。ここでは、Ｑ$_1$、Ｑ$_2$、およびＱ$_3$は、楕円体の形状を決定する、楕円体の半軸であって、その値は、眼モデルによって提供され得る。

【０２４９】

方程式１Ｂ（または１Ａ）および１Ｄは、方程式１Ｃによって定義される一般的双円錐面に関する特殊表面であり得ることに留意されたい。一般的双円錐面は、Ｒ$_x$＝Ｒ$_y$＝Ｒおよび$Q_x=Q_y=Q$であるとき、回転楕円面となり、$R_x=Q_1^2/Q_3$、$R_y=Q_2^2/Q_3$、$Q_x=(Q_1^2/Q_3^2)-1$、および$Q_y=(Q_2^2/Q_3^2)-1$であるとき、楕円面となる。いくつかの実施例では、非回転楕円体が３つのみの独立パラメータを有するという事実は、角膜の非点収差の中心を推定するとき、計算の複雑性を低減させ得る。

片眼カメラおよび非球面モデルを使用した角膜中心の３Ｄ位置の決定

【０２５０】

いくつかの実施例では、非球面眼モデルが、片眼カメラによって捕捉された１つ以上の画像上のいくつかの閃光の測定された位置に基づいて、角膜中心を推定するために使用されることができる。閃光は、ＨＭＤフレーム上に添着されたいくつかの光源によって放出される光の鏡面反射によって生産され得る。光源は、既知の場所、例えば、座標系（例えば、眼カメラ座標系）内の光エミッタの位置と関連付けられる、既知の座標を有し得る。図１１は、例えば、２つの光源によって生成された画像１１１０上の２つの閃光１１０４Ａ／１１０４Ｂを図示する。

【０２５１】

いくつかのそのような実施例では、角膜中心の推定値を提供するための閃光、したがって、光源の数（例えば、最小数）が、モデル内の未知のパラメータの数および非球面（例えば、非球面回転楕円体）モデルによって課される制約の数、カメラの場所、および光源の場所を使用して、計算されてもよい。具体的眼モデル（例えば、Ａｒｉｚｏｎａ眼モデルから）の頂点における角膜の半径（Ｒ）および円錐パラメータ（Ｑ）が、既知であると仮定して、所与の座標系（例えば、眼カメラ座標系）内の角膜中心の３次元位置（例えば、角膜中心の位置座標）を決定することは、３つのパラメータ、すなわち、ＣＸ、ＣＹ、およびＣＺ（角膜中心の座標）の計算を伴い得る。しかしながら、対応する計算における中間ステップはまた、同一座標系に対して測定されたその対称軸（例えば、図２３におけるＺ－軸）に関するピッチおよびヨーパラメータによって定義された回転楕円体の配向を伴い得る。これらの２つの中間パラメータは、画像上の閃光の場所と角膜中心（Ｒ、Ｑの所与の値に関して、光源の座標）との間の関係が、光源によって生成された光線の角膜表面からの鏡面反射に基づいて定義され得る（したがって、その配向によって影響され得る）ため、使用される。いくつかの実施例では、Ｒの値は、７．８ｍｍであり得、Ｑの値は、－０．２５であり得る（例えば、Ａｒｉｚｏｎａ眼モデルから）。加えて、角膜表面上

の閃光の３次元場所（そこで光が角膜表面上に反射される、点に対応する、ＧＸ、ＧＹ、およびＧＺ）が、同様に推定されてもよい。

【０２５２】

したがって、各閃光を推定において使用することは、さらに３つの未知のパラメータを追加し得る。結果として、未知数の総数は、（５＋３）×ＮＧであり得、式中、ＮＧは、推定において使用される閃光の総数である。いくつかの実施例では、制約が、３つの関係、すなわち、１）閃光の場所（ＧＸ、ＧＹ、およびＧＺ）と、カメラの場所と、光源の場所との間の関係によって決定される。本関係は、２つの制約、すなわち、２）閃光の場所（ＧＸ、ＧＹ、およびＧＺ）と角膜中心の場所（ＣＸ、ＣＹ、およびＣＺ）との間の関係をもたらし得る。本関係は、１つの制約、すなわち、３）閃光の場所（ＧＸ、ＧＹ、およびＧＺ）とカメラの場所との間の関係をもたらし得る。本関係は、２つの制約をもたらす。結論として、５×ＮＧ個の制約が、いくつかの実装では、３つ以上の閃光の数をもたらす、（５＋３）×ＮＧ個の未知数を推定するために使用され得る。しかしながら、他の変形例も、可能性として考えられる。例えば、閃光の数および光源の数は、より多いまたはより少なくてもよい。

【０２５３】

図２４は、頭部搭載型ディスプレイフレーム上に添着された、１つ以上の潜在的に複数の光源が、３つ以上の閃光を眼カメラの像面上に生成する間、可能性として１つのみの眼カメラによって捕捉された１つ以上の画像を使用して、非球面回転楕円体角膜モデルに基づいて、角膜の中心の場所（例えば、基準フレームに対するｘ、ｙ、ｚまたはｒ、θ、φ等の１つ以上の座標によって記述される、ｘ、ｙ、ｚ場所等の３次元場所）を推定するために使用され得る、反復プロシージャを図示する、ブロック図である。眼カメラの位置および眼カメラに対する光源の位置は、システムメモリ内に記憶される、既知の値であり得る。いくつかの実装では、角膜曲率の中心の場所は、眼カメラの基準フレームまたは座標系または頭部搭載型ディスプレイに対して固定された基準フレームに対して決定されてもよい。

【０２５４】

いくつかの実施例では、本プロシージャは、例えば、図８Ａ－８Ｅに関して上記に説明される、またはＵＳ２０１９／０２４３４４８Ａ１号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明されるように、球面角膜モデルを使用した、角膜の中心の場所の推定に従ってもよい。ある他の実施例では、ＣｏＲは、プロシージャの一部として決定されてもよい。いくつかの実装では、角膜曲率半径（球面および非球面回転楕円体モデルに基づく計算内で使用される）および／またはＱパラメータ（非球面回転楕円体モデルに基づく計算内で使用される）は、モデルの既知の値であり得る、または既知の眼モデルを使用して推定され得る。いくつかの実施例では、角膜曲率半径（Ｒ）および回転楕円体のＱパラメータに関する値は、既知の眼モデル（例えば、Ａｒｉｚｏｎａ眼モデル）におけるこれらのパラメータの値であってもよい。

【０２５５】

いくつかの実施例では、プロシージャの各反復は、下記に説明される５つのステップに分化されてもよい。

【０２５６】

ステップ１：画像が、ブロック２４０２において、フレーム上に添着された、複数の、例えば、３つ以上の光源が、光を出力し、３つ以上の閃光の出現を捕捉された画像上にもたらす間、眼カメラ（眼追跡カメラ）によって捕捉される。眼カメラの像面上の閃光の位置が、ブロック２４０４において決定され得る。図７Ａに示される、閃光検出および標識モジュール７１４が、可能性として、例えば、使用されてもよい。眼の角膜中心（ＣＳｏ）が、眼の球面モデルに基づいて、決定される。例えば、ブロック２４１２において参照される球面角膜モデル、ブロック２４０６によって表される光源の既知の場所、およびブロック２４０２において捕捉された画像内のブロック２４０４において決定された閃光場所の測定された値を使用して、眼の角膜中心（ＣＳｏ）が、ブロック２４１０において計

算されてもよい。いくつかの例示的方法では、ＣＳｏは、それぞれ、米国特許出願第２０１９／０２４３４４８Ａ１号の図８Ｅおよび／または図１０における角膜曲率の中心８１６ｃおよび／または１００８に対応し得る。本計算のために実施され得る、いくつかの演算が、例えば、上記の図８Ｂ－８Ｅのうちの１つ以上のものおよび米国特許出願第２０１９／０２４３４４８Ａ１号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に関連して議論される。いくつかのプロセスでは、ＣＳｏは、ブロック２４１０において、２つのみの光源を使用して、例えば、上記の図１１－１４を参照して説明されるプロシージャを使用して等、推定されてもよい。他のアプローチおよび光源の他の数もまた、可能性として考えられる。

【０２５７】

ブロック２４１９を参照して図示されるように、ＣｏＲが、球面モデルに基づいて、ブロック２４１０において求められた推定される角膜の中心ＣＳｏ値から決定されてもよい。ブロック２４１５を参照して図示されるように、瞳孔中心は、可能性として、球面モデルに基づいて、ブロック２４１０において求められた推定される角膜の中心ＣＳｏから決定されてもよい。

【０２５８】

ステップ２：角膜は、非球面回転楕円体モデルおよび非球面回転楕円面によって表されると仮定して、回転楕円体の中心に関する初期値（ＣＱｅ＿１）が、ブロック２４０３において選択される。プロシージャの第１の反復では、本初期値は、例えば、回転楕円体の中心が、ステップ１における球面モデルに基づいて推定される、角膜の中心（ＣＳｏ）の背後のある固定距離内にあるという事実を考慮し得る、裏付け推測に基づいて、選択されてもよい。いくつかの実施例では、例えば、ブロック２４１３において使用される、回転楕円体の中心に関する初期値（ＣＱｅ＿１）は、球面モデルを使用して、ブロック２４１０において決定されるようなＣＳｏに等しいと仮定されることができる。後続反復では、ブロック２４０８内で使用される値は、前の反復において生成された出力値であってもよい（例えば、ブロック２４２８によって提供されるように示される）。ブロック２４０８からの非球面回転楕円体の中心に関する値（ＣＱｅ＿１）と、ブロック２４１９において以前に決定された眼の回転中心（ＣｏＲ）とを使用して、回転楕円体の配向は、ブロック２４２０において、ブロック２４１３において参照されるように、非球面回転楕円体モデルを使用して、決定されることができる。ブロック２０１９および２０１５とブロック２０１３との間の接続によって図示されるように、回転中心（ＣｏＲ）および／または瞳孔中心は、ブロック２０１３の回転楕円体モデル内で使用されてもよい。

【０２５９】

いくつかの実施例では、ＣｏＲ（例えば、ブロック２４１９から）は、可能性として、ステップ－１におけるブロック２４０２において捕捉された画像および／または第ＵＳ２０１９／０２４３４４８Ａ１号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明される１つ以上のプロシージャを使用して、ＣｏＲ推定のために使用される、モジュール（図７Ａ参照）によって推定されてもよい。いくつかの実施例では、ＣｏＲ（例えば、ブロック２４１９において参照される）は、ステップ－１において捕捉された画像および上記に説明されるプロシージャを使用して、推定されてもよい。

【０２６０】

いくつかの実装では、ブロック２４１９からのＣｏＲを使用する代わりに、ブロック２４１５からの瞳孔中心が、ブロック２４２０において、回転楕円体の配向を決定するために使用されてもよい。これらの実装では、ブロック２４１５からの瞳孔中心は、３Ｄ瞳孔中心ロケータモジュールによって、可能性として、ステップ－１におけるブロック２４０２において捕捉された画像および上記に説明されるプロシージャを使用して、推定されてもよい。

【０２６１】

図２５Ａは、４つの光源２５０６（例えば、４つのＩＲ　ＬＥＤ）によって生成された４つの光線の、球面モデルＣＳｏ２５１０に基づいて計算される中心に心合される、球面

角膜表面２５０８からの鏡面反射を図示する。これらの光線は、４つの閃光画像２５０４を眼カメラの像面２５０３上（例えば、カメラの検出器アレイ上）に生成する。図２５Ｂは、ＣＱｅ２５０８に心合され、可能性として、最初に、回転楕円体モデルから決定される、ＣｏＲ２５１８を使用して決定された、方向に配向される、非球面回転楕円体２５１４の実施例を図示する。上記に議論されるように、回転楕円体中心の初期値ＣＱｅ２５０８は、球面モデルＣＳｏ２５１０に基づいて計算される、角膜中心に基づいて、推定されてもよく、したがって、球面モデルに基づいて、計算または決定されてもよい。

【０２６２】

ステップ３：種々の実装では、光源２４０６の既知の場所を使用して、ブロック２４１４において参照されるような回転楕円体モデルを適用して、像面内の閃光画像の予期される場所（例えば、眼カメラ基準フレームに対する）が、ブロック２４２２において推定される。眼の角膜を表す、非球面回転楕円面は、ＣＱｅに心合され、ステップ－２（例えば、ブロック２４２０）において計算される、回転楕円体配向の推定される値に従って、座標系（例えば、眼カメラ座標系）に対して配向されると仮定される。図２５Ｃは、４つの光源２５０６（例えば、４つのＩＲ　ＬＥＤ）および回転楕円体反射表面２５１４からの鏡面反射の場所に基づく、像面２５０３上の４つの閃光画像２５０４の場所の推定値の実施例を図示し、その中心ＣＱｅ２５０８および配向は、ステップ２において計算される。

【０２６３】

ステップ４：ステップ－３（ブロック２４２２）において決定された閃光の予期される場所、光源２４０６の既知の場所を使用して、ブロック２４１７において参照される球面角膜モデルを適用して、ステップ－３において推定される、予期される場所２４２２における閃光画像を生成するであろう、球面角膜の中心（ＣＳｅ）が、ブロック２４２４において決定される。部分的に非球面回転楕円体モデルを使用して決定される、本球面角膜の中心（ＣＳｅ）と、回転楕円体モデルではなく、球面モデルを使用して決定される、角膜中心（ＣＳｏ）とは、Δだけ相互から異なり得る。例えば、Δは、ＣＳｏおよびＣＳｅを減算することによって決定され得、いくつかの実装では、ＣＳｏ－Ｃｓｅの絶対値に対応し得る。図２５Ｄは、ＣｏＲ２５１８、ＣＱｅ２５０８、ＣＳｏ２５１０、およびＣＳｅ２５２４の相対的場所を図示する。種々の実装では、ＣＱｅ、ＣＳｏ、およびＣＳｅは、３－要素ベクトル、すなわち、ベクトルを定義する３つの成分または項を備える、ベクトルであり得る。

【０２６４】

ステップ５：差異ΔおよびＣＱｅの以前に推定された値を使用して、ブロック２４２１の非球面回転楕円体モデルにおいて、非球面回転楕円体の中心に関する新しい値（ＣＱｏ＿１）が、種々の実装では、ブロック２４２８において決定され、プロシージャの第１の反復を完了する。いくつかの実施例では、ＣＱｏ＿１は、Ｎｅｗｔｏｎ法の簡略化されたバージョンを使用して推定されてもよい。例えば、いくつかの実装では、プロセスは、以下の関係を採用してもよい。

$$X(j+1) = CQo = X(j) - (J(X))^{-1} * F(X) \qquad (2)$$

【０２６５】

式中、Ｆ（Ｘ）＝ＣＳｅ－ＣＳｏであって、Ｊ（Ｘ）＝Ｆ（Ｘ）のヤコビ行列であって、Ｘ＝ＣＱｅである。ＣＳｅおよびＣＳｏの値の収束を用いることで、ＣＳｅとＣＳｏとの間の差異（例えば、ＣＳｅ－ＣＳｏ）は、ゼロに接近する。方程式（２）によって示されるように、ＣＳｅとＣＳｏとの間の差異がゼロに接近するにつれて、Ｘ（ｊ）とＸ（ｊ＋１）との間の差異はまた、より小さくなるであろう。故に、種々の実装では、方程式Ｆ（Ｘ）＝０は、例えば、数値的に解かれる。Ｎｅｗｔｏｎ法が、例えば、方程式Ｆ（Ｘ）＝０、Ｆ（Ｘ）＝ＣＳｅ－ＣＳｏを解くために使用されてもよい。

【０２６６】

ヤコビ行列

【化３】

$$\nabla F(X)$$

は、単一反復にわたる単位行列であると仮定され得、例えば、ＣＳｏおよびＣＳｅの値は、相互に近似する。方程式（２）は、ある場合には、したがって、以下であると見なされ得る。

ＣＱｅ＿ｕｐｄａｔｅｄ＝ＣＱｅ＋Ｋ＊（ＣＳｏ－ＣＳｅ）　　（３）

【０２６７】

式中、Ｋ＝（Ｊ（Ｘ））$^{-1}$は、単位行列に等しく、Ｊ（Ｘ）は、３×３ヤコビ行列である。本行列の要素は、単位行列から最大約３０％の標準偏差内まで変動し得る。いくつかの実施例では、上記に説明される方法の単一反復は、６０％と同程度だけ、角膜中心推定と関連付けられる誤差を低減させる、合理的解を提供し得る。付加的反復はさらに、誤差を低減させ得るが、１回の反復が、ある場合には、使用されてもよい。

【０２６８】

いくつかの実施例では、２回以上の反復が、可能性として、所望のパーセンテージ（例えば、６０％を上回る）だけ、角膜中心推定の正確度を改良するために使用されてもよい。そのような実施例では、第１の反復の最後の（第５の）ステップにおいて生成された回転楕円体の中心の最終値（ＣＱｏ＿１）が、第２の反復のステップ－２において、回転楕円体の中心の初期値（ＣＱｅ＿２）として使用されるであろう。同様に、後続反復では、各反復のステップ－２において必要とされる、回転楕円体の中心に関する初期値（ＣＱｅ＿ｎ）が、最後の（第５の）ステップにおいて生成される回転楕円体の中心の最終値（ＣＱｏ＿ｎ－１）となるであろう。いくつかの実施例では、所与の反復におけるＣＱｏ＿ｎは、簡略化されたＮｅｗｔｏｎ法を使用して、推定されてもよい。

【０２６９】

ある他の実施例では、所与の反復におけるＣＱｏ＿ｎは、例えば、ブロック２４２８において、例えば、勾配降下法を使用して、Δの関数（例えば、Δ^2）を低減または最小限にすることによって、決定されてもよい。

【０２７０】

種々の実装では、例えば、Ｆ（Ｘ）＝０を解くために、Ｈ（ｘ）等のコスト関数が、低減または最小限にされてもよい。

Ｈ（Ｘ）＝（ＣＳｅ－ＣＳｏ）^{2}　　（４）

【０２７１】

勾配降下法が、いくつかの実装では、使用されてもよい。例えば、関係は、以下となる。

【化４】

$$X(j+1) = X(J) + K*\nabla H(X) \qquad (5)$$

【０２７２】

式中、Ｋは、ステップサイズであって、これは、一定であってもよい、また、例えば、ステップにわたる適応的変化が、採用されてもよい。いくつかの実装では、ステップサイズＫは、異なるステップに伴って変化してもよい（例えば、複数のステップのために、または各ステップに伴って）。種々の形態の勾配降下法が、使用されてもよく、および／または種々のステップサイズが、選択されてもよい。

【０２７３】

いくつかの実装では、ステップサイズは、Ｎｅｗｔｏｎステップであってもよく、これは、以下であるため、方程式（３）に戻り得る。

【化５】

$$\nabla H(X) \propto CSe - CSo = F(X) \qquad (6)$$

【０２７４】
例えば、方程式（６）を方程式（５）の中に代入することは、方程式（３）につながる。
【０２７５】
他の方法が、Ｎｅｗｔｏｎ法ベースのアプローチまたは勾配降下法およびその変形例に加え、採用されてもよい。
【０２７６】
いくつかの実施例では、新しい画像または複数の画像が、例えば、閃光を取得するために、捕捉され、異なる反復、例えば、可能性として、各反復または複数回の反復のために使用されてもよい。いくつかのそのような実施例では、ＣｏＲまたは瞳孔中心の値は、新しい画像または複数の画像に基づいて、再計算されてもよい。ある他の実施例では、ＣｏＲおよび／または瞳孔中心の値は、複数回の反復（例えば、全ての反復、ある一連における全ての反復、またはその他）において、固定および所定の値であってもよい。
【０２７７】
上記のプロシージャに基づいて、非球面回転楕円体角膜モデルを使用して推定される、角膜中心は、ウェアラブルディスプレイシステムの光学軸決定モジュール（例えば、図７Ａおよび関連付けられる議論参照）によって使用され、種々の眼パラメータ（例えば、輻輳・開散運動深度、ＣｏＲ、透視中心、または他のパラメータ）に関するより正確な値を提供してもよい。そのようなパラメータは、例えば、ライトフィールドレンダリングコントローラモジュール６１８に提供されてもよい。角膜中心は、異なる実装では、他の方法で使用されてもよい。
【０２７８】
いくつかの実施例では、上記に説明される方法の異なる変形例が、非球面角膜モデルに基づいて、角膜の中心を推定するために使用されてもよい。いくつかの変形例では、１つ以上のステップは、追加される、省略される、変更される、または他のステップによって代用されてもよい。ある他の変形例では、ステップの順序および／または配列は、異なってもよい。同様に、図２４におけるブロック図によって表されるプロシージャの異なる変形例が、プロシージャの主側面から逸脱することなく、実装されてもよい。例えば、ブロックは、追加される、省略される、改変される、または他のブロックによって代用されてもよく、ブロックは、並べ替えられる、または再配列される、またはこれらのいずれかの任意の組み合わせであってもよい。
【０２７９】
上記のプロシージャは、１つ以上のプロセッサと、ＨＭＤシステムのモジュール（例えば、図７Ａ参照）と併せて、関連命令を記憶し得る、１つ以上の非一過性メモリとによって実施されてもよい。図２６は、非球面回転楕円体角膜モデルに基づいて、例えば、いくつかの実装では、上記に説明されるプロシージャに類似し得る、反復プロシージャ等の数値プロシージャを使用して、３Ｄ角膜中心推定のために構成される、第２の３Ｄ角膜中心推定サブモジュール２６６０と組み合わせられ得る、例示的眼追跡モジュール（例えば、図７Ａに示される眼追跡モジュール６１４）において使用されるサブモジュールのサブセットを図示する、ブロック図である。眼カメラ２６３４、画像処理モジュール２６１０、瞳孔識別モジュール２６１２、および閃光検出モジュール２６１４はともに、第１の２６１６および第２の２６６０　３Ｄ角膜中心推定モジュールによって使用され得る、閃光の場所を提供してもよい。座標系正規化モジュール２６１８、３Ｄ瞳孔中心ロケータモジュール２６２０、および第１の３Ｄ角膜中心推定モジュール２６１６は、眼の光学軸の配向を推定するためのパラメータを光学軸決定モジュール２６２２に提供してもよい。ＣｏＲ推定モジュール２６２４は、光学軸決定モジュール２６２２によって推定される光学軸の配向を使用して、ＣｏＲを推定することができる。いくつかの実施例では、ＣｏＲ推定モジュール２６２４によって提供されるＣｏＲおよび閃光検出および標識モジュール２６１４によって提供される閃光場所は、第１の２６１６および第２の２６６０　３Ｄ角膜中心推定モジュールによって、非球面回転楕円体角膜の中心を推定するために使用されてもよい。いくつかの実施例では、前述のモジュールのうちの１つ以上のものは、共有非一過性

メモリおよびプロセッサのセットを使用して実装されてもよい。いくつかの実施例では、１つ以上のモジュールを備える、モジュールの異なるサブセットは、非一過性メモリおよびプロセッサのセットを共有してもよい。いくつかの実施例では、モジュールのうちの１つ以上のものは、具体的プログラム言語で記述され、非一過性メモリ内に記憶され、１つ以上のプロセッサによって実行される、アルゴリズムであることができる。ある実装では、１つ以上のモジュールを備える、これらのモジュールの１つ以上のサブセットは、別個のハードウェア（例えば、ＦＰＧＡ）上に実装されてもよい。

【０２８０】

シミュレーションが、Ｒ＝７．８mmおよびＱ＝－０．２５を伴う回転楕円体モデルに関する単位行列に等しいＪ（Ｘ）を用いて、上記に説明されるプロシージャの単一反復を使用して、角膜中心を推定するために実施された。結果が、４つの閃光を使用して、水平および垂直方向に、＋／－２０度以内の１，０００回のランダム眼視線のシミュレーションから取得された。表１は、推定される角膜中心の場所を定義する、３つの座標に関するＲＭＳ誤差（mm単位）を示す。３つの座標に関する総ＲＭＳ誤差もまた、示される。球面モデルおよび非球面回転楕円体モデルの両方を使用して計算される、曲率の中心に関するＲＭＳ誤差が、示される。

【表１】

表1

RMS誤差 (mm)	X	Y	Z	合計
球面ﾓﾃﾞﾙ CC	0.141	0.470	0.471	0.680
回転楕円体ﾓﾃﾞﾙ CC (単一反復推定値)	0.058	0.205	0.191	0.287

【０２８１】

非球面回転楕円体モデルを使用して計算されるデータ点と、球面モデルを使用して計算されるものとの間の比較は、回転楕円体モデルが使用されるとき、約６０％の誤差低減を示す。

２つの眼カメラおよび回転楕円体モデルを使用した角膜中心の３Ｄ位置の決定

【０２８２】

上記に議論されるように、異なるプロシージャは、非球面回転楕円体モデル等の非球面モデルを利用してもよく、広範囲の変数が、そのようなプロシージャ内に含まれ得る。いくつかのプロセスでは、例えば、２つのカメラが、採用されてもよい。２つのカメラは、眼上の閃光を結像し、眼の位置および／または配向に関する情報を提供し得る。

【０２８３】

図２７は、２つのカメラ２７３９／２７３７が、頭部搭載型ディスプレイフレーム２７４１の接眼レンズ２７３１上に配置され、同様にフレーム２７４１上に配置される、３つの光源２７３５によって生成された閃光の画像を捕捉する、例示的構成である。これらの画像は、下記に説明される方法を使用して、眼球２７３３の角膜の中心２７１８の場所を推定するために使用されてもよい。

【０２８４】

図２８は、頭部搭載型ディスプレイフレーム上に添着された複数の光源が、２つ以上の、例えば、４つ以上の、閃光を各眼カメラの像面上に生成する間、２つの眼カメラによって捕捉された画像を使用して、非球面回転楕円体角膜モデルに基づいて、角膜の中心の場所（例えば、基準フレームに対するｘ、ｙ、ｚまたはｒ、θ、φ等の１つ以上の座標によって記述されるｘ、ｙ、ｚ場所等の３次元場所）を推定するためのプロシージャを図示す

る、ブロック図である。異なる数の光源が、他の実装では、使用されてもよい。座標系（例えば、眼カメラの座標系）に対する眼カメラの位置および光源の位置は、ＨＭＤシステムの非一過性メモリ内に記憶される既知の値であり得る。しかしながら、いくつかの実装では、２つの眼カメラの使用は、角膜の半径（Ｒ）を把握せずに、眼の角膜中心の決定を有効にする。いくつかの実装では、角膜曲率の中心の場所は、眼カメラの基準フレームまたは座標系または頭部搭載型ディスプレイに対して固定された基準フレームに対して決定されてもよい。

【０２８５】

有利なこととして、２つのカメラによって捕捉された画像および下記に説明されるプロシージャを使用することは、片眼カメラ（例えば、上記に説明される方法）を使用する方法と比較して、非球面モデル（例えば、非球面回転楕円体モデル）に基づいて角膜中心を推定するための時間を低減させ得る。ある場合には、プロシージャは、非反復性である。

【０２８６】

いくつかの実施例では、本プロシージャは、上記に説明される（例えば、図９、１１、１３、１４、１５、および１６を参照して）角膜および／または瞳孔ベクトルの推定（球面モデルに基づいて）のいくつかまたは一部を含んでもよい。いくつかの実施例では、角膜および／または瞳孔ベクトルは、プロシージャの一部として決定されてもよい。

【０２８７】

いくつかの実装に関して、プロシージャは、下記に説明される７つのステップまたはその１つ以上の部分を含んでもよい。

【０２８８】

ステップ１：それぞれ、図２８に示される、第１および第２のブロック２８０２および２８０４によって参照されるように、第１の画像が、第１の眼カメラ（眼追跡カメラ）によって捕捉され、第２の画像が、第２の眼カメラ（眼追跡カメラ）によって捕捉される。フレーム上に添着された２つ以上の光源は、光を出力し、２つ以上の閃光の出現を各捕捉された画像上にもたらすように構成される。いくつかの実装では、第１および第２のカメラは、図９Ｂ－９Ｅにおけるカメラ２０１４および２０１６またはカメラ２０１８および２０２０に対応し得る。第１および第２の眼カメラの像面に対する閃光の位置が、決定され得る（それぞれ、ブロック２８０８および２８０６参照）。閃光位置の本決定は、画像前処理モジュール７１０および閃光検出および標識モジュール７１４によって実施されてもよい。いくつかの実施例では、一対の光源が、２つの閃光を、それぞれ、第１および第２の眼カメラによって捕捉された第１および第２の画像上に生成してもよい。例えば、図２９Ａを参照されたい。いくつかの実施例では、第１の対の光源は、２つの閃光を第１のカメラによって捕捉された第１の画像上に生成してもよく、第２の対の光源は、２つの閃光を第２のカメラによって捕捉された第２の画像上に生成してもよい。異なる数の光源が、他の実装では、採用されてもよい。

【０２８９】

ステップ２：図２９Ｂは、閃光が、眼に向かって、例えば、角膜曲率の中心に向かって指向されるベクトルを決定するために採用され得る方法を図示する。第１のカメラによって捕捉された第１の画像上の２つの閃光の位置を使用して、第１の角膜ベクトルＣＶ１が、ブロック２８１２において決定される。第２のカメラによって捕捉された第２の画像上の２つの閃光の位置を使用して、第２の角膜ベクトルＣＶ２が、ブロック２８１０において決定される。

【０２９０】

いくつかの実施例では、ＣＶ１およびＣＶ２は、図１５Ａおよび１５Ｂを参照して上記に説明されるプロシージャに基づいて、それぞれ、第１および第２の対の光源によって生成された、第１の捕捉された画像内の２つの閃光と、第２の捕捉された画像内の２つの閃光とを使用して決定されてもよい。第１および第２の角膜ベクトルＣＶ１およびＣＶ２は、例えば、図１５Ａおよび１５Ｂにおけるベクトル１５１０および１５３０に対応し得る。これらの実施例では、ＣＶ１は、第１のカメラの場所、第１の対の光源の場所、および

第１の捕捉された画像内の２つの閃光の場所を使用して、ブロック２８１２において決定される。同様に、ＣＶ２は、第２のカメラの場所、第２の対の光源の場所、および第２の捕捉された画像上の２つの閃光の場所を使用して、ブロック２８１０において決定される。

【０２９１】

ある他の実施例では、ＣＶ１およびＣＶ２は、図１６Ａ－１６Ｃを参照して上記に説明されるプロシージャに基づいて、可能性として、球面角膜形状の仮定に基づいて、２つの閃光を捕捉された画像のそれぞれのもの上に生成する、２つのみの光源を使用して決定されてもよい。第１および第２の角膜ベクトルＣＶ１およびＣＶ２は、図１６Ａ－１６Ｃにおけるベクトル１６１０および１６３０に対応し得る。これらの実施例では、ＣＶ１は、第１のカメラの場所、２つの光源の場所、および第１の捕捉された画像上の２つの閃光の場所を使用して、決定２８１２されてもよい。同様に、ＣＶ２は、第２のカメラの場所、２つの光源の場所、および第２の捕捉された画像上の２つの閃光の場所を使用して、決定２８１０される。いくつかの実装では、ＣＶ１およびＣＶ２は、加えて、座標系正規化モジュール７１８（図７参照）によって、ウェアラブルデバイスの座標系に変換される。

【０２９２】

ステップ３：ステップ－２において決定された角膜ベクトルＣＶ１およびＣＶ２を使用して、角膜中心（ＣＣ）の３次元座標が、ブロック２８１４によって表されるように、ウェアラブルデバイスの座標系に対して識別され得る（ステップ－２では、ＣＶ１およびＣＶ２が、種々の実装において、ウェアラブルデバイスの座標系に変換されるため）。図２９Ｂにおけるようないくつかの実施例では、角膜中心またはそれを中心とする領域の３次元座標が、そこでベクトルＣＶ１およびＣＶ２が交差する、点または領域を見出すことによって決定されてもよい。本交差部は、図１５Ａ－１６Ｃにおける点１５２０または１６２０に対応し得、段落１７２（または１７９）に説明されるプロシージャを使用して決定されてもよい。ある場合には、ベクトルは、ある点において交差しないが、しかしながら、ベクトルは、収束し得る。故に、種々の実装では、ベクトルが収束する、またはベクトル間の距離が低減される、または最小である、場所が存在する。ある他の実施例では、角膜中心は、二乗平均平方根推定技法等の１つ以上の推定技法を使用して、推定されてもよい。

【０２９３】

ステップ４：加えて、第１の眼カメラによって捕捉された第１の画像を使用して、第１の瞳孔ベクトルＰＶ１が、決定２８１６されてもよい。同様に、第２の眼カメラによって捕捉された第２の画像を使用して、第２の瞳孔ベクトルＰＶ２が、決定２８１８されてもよい。いくつかの実施例では、第１および第２の瞳孔ベクトルＰＶ１およびＰＶ２は、図２９Ｃに図示されるように、それぞれ、第１および第２の眼カメラ座標系の原点から、第１および第２の像面内の瞳孔中心の場所を通して、延在し得る。いくつかの実施例では、第１の２８１６および第２の２８１８瞳孔ベクトルＰＶ１およびＰＶ２は、第１および第２の角膜ベクトルＣＶ１およびＣＶ２に類似し得る。

【０２９４】

ステップ５：そこでＰＶ１　２８１６およびＰＶ２　２８１８が交差する、点（ＰＣ）の３次元座標が、ステップ－３において使用される同一座標系（例えば、ウェアラブルデバイスの座標系）に対して決定２８２０される。ある場合には、ベクトルは、ある点において交差しないが、しかしながら、ベクトルは、収束し得る。故に、種々の実装では、ベクトルが収束する、またはベクトル間の距離が低減される、または最小である、場所が存在する。そのような場合、本領域と関連付けられる、例えば、その中の場所は、ＰＣに対応し得る。いくつかの実施例では、点ＰＣは、二乗平均平方根推定技法等の１つ以上の推定技法を使用して、近似されてもよい。

【０２９５】

ステップ６：ステップ－３（図２８のブロック２８１４）において決定された交差部または収束場所ＣＣと、ステップ５（ブロック２８２０）において決定された交差部の点または収束領域ＰＣとを使用して、点ＰＣおよびＣＣを通して延在する、ベクトルＰＣ－Ｃ

Ｃが、ブロック２８２２において決定される。点ＣＣおよびＰＣおよびベクトルＰＣ－ＣＣは、種々の実装では、ウェアラブルデバイスの座標系に対して決定されてもよい。いくつかの実施例では、ベクトルＰＣ－ＣＣは、ユーザの眼の光学軸にほぼ対応し得る。いくつかの実施例では、角膜中心は、推定されるベクトルＰＣ－ＣＣに沿って位置し得る。

【０２９６】

ステップ７：非球面回転楕円体角膜モデル２８２４（例えば、所与のＱ値を伴う）、第１および第２の画像上の閃光の場所（ブロック２８０６および２８０８）、ステップ－３（ブロック２８１４）において決定された点ＣＣ、およびステップ６（ブロック２８２２）において決定されたベクトルＰＣ－ＣＣを使用して、３次元空間内の非球面回転楕円体の位置および配向が、ブロック２８２６において参照されるように、推定されることができる。回転楕円体の配向は、ＰＣ－ＣＣから決定され得る、例えば、回転楕円体の軸は、ＰＣ－ＣＣと平行であって、および／またはそれに沿ってあり得る。回転楕円体の中心の位置もまた、ＰＣ－ＣＣベクトルを把握することによって、推定されることができる。回転楕円体中心の位置は、種々の実装では、ＰＣ－ＣＣベクトルに沿ってあると仮定され得る。いくつかの実施形態では、球面モデルが、例えば、ＰＣ－ＣＣベクトルに沿った非球面回転楕円体の位置を推定するために使用される。これらの実施形態では、例えば、ブロック２８１４において決定された交差部の点ＣＣ、カメラおよび光源の場所情報、および第１および第２の画像上の閃光の場所を使用して、球面モデルと関連付けられる、球面反射表面の中心の場所が、計算される。例えば、少なくとも部分的に非球面回転楕円体角膜モデルと関連付けられる、Ｑの所与の円錐パラメータに基づいて、偏移値が、計算され、非球面回転楕円体の中心の場所が、偏移値を使用して決定され、例えば、ＣＣ点からの偏移を決定する。特に、いくつかの実施例では、非球面回転楕円体の中心は、ＰＣ－ＣＣベクトルに沿って、球面反射表面の中心を、回転楕円体の形状に基づいて、例えば、Ｑ値に基づいて、計算され得る、偏移値だけ偏移させることによって決定される。ある場合には、偏移値は、少なくとも部分的に、カメラおよび光源の場所情報および第１および第２の画像上の閃光の場所に基づいて、計算される。いくつかの実施例では、Ｑの所与の値は、具体的眼モデルに基づくＱの平均値（例えば、Ａｒｉｚｏｎａ眼モデルに関する－０．２５またはＮａｖａｒｒｏ眼モデルに関する－０．２６）、Ｑの公開された（例えば、研究論文または教科書において公開された）値、またはユーザ特有のＱパラメータの値であってもよい。

【０２９７】

加えて、またはその代替として、回転楕円体の中心の位置は、反復的に決定されてもよい。例えば、非球面回転楕円体の中心は、ＰＣ－ＣＣベクトルに沿ったある場所、例えば、ＣＣ点、または偏移が回転楕円体の形状（例えば、Ｑ値）に基づく、上記で参照される偏移された場所等のＣＣから固定距離に位置すると仮定されてもよい。光エミッタの場所を把握することで、閃光の場所は、例えば、非球面回転楕円面から反射された光エミッタからの光の光線を光線トレーシングすることによって、計算されることができる。これらの計算された閃光は、測定された閃光場所と比較されることができる。非球面回転楕円体は、例えば、回転楕円体の中心をＰＣ－ＣＣベクトルに沿って偏移させることによって、ＰＣ－ＣＣベクトルに沿って、偏移されることができる。再び、光エミッタの場所を把握することによって、閃光の場所は、非球面回転楕円面から反射された光エミッタからの光の光線を光線トレーシングすることによって計算されることができる。これらの計算される閃光は、測定された閃光場所と比較されることができる。本プロセスは、例えば、ＰＣ－ＣＣベクトルに沿った回転楕円体（および回転楕円体の中心）の場所が、識別されるまで、繰り返されることができ、計算された閃光場所は、閃光の測定された場所に近似する、例えば、閾値に関して、十分に近似する。いくつかの実装では、例えば、低減されたまたは最短距離を生産する、回転楕円体の場所が、選択されてもよい。故に、いくつかの設計では、３次元空間内の非球面回転楕円体の位置が、ブロック２８２６において参照されるように推定される。

【０２９８】

上記で参照されるように、いくつかの実施例では、３次元空間内の回転楕円体の配向は、ＰＣ－ＣＣベクトル２８２２の配向に対応し得る、例えば、３次元空間内の回転楕円体の配向は、そこでベクトルＰＣ－ＣＣ２８２２が非球面回転楕円体の中心および回転楕円体の両頂点／極を通して通過する、配向に対応し得る。いくつかのそのような実施例では、非球面回転楕円体の配向は、ユーザの視線ベクトルの方向を推定するために十分であり得る。これらの実施例では、ユーザの異なる視線方向において捕捉された画像に基づいて、視線ベクトルの大集合を推定することが、低減された算出費用を用いて、ＣｏＲを推定するために使用されてもよい。例えば、上記および「Ｅｙｅ Ｃｅｎｔｅｒ ｏｆ Ｒｏｔａｔｉｏｎ Ｄｅｔｅｒｍｉｎａｔｉｏｎ，Ｄｅｐｔｈ Ｐｌａｎｅ Ｓｅｌｅｃｔｉｏｎ，ａｎｄ Ｒｅｎｄｅｒ Ｃａｍｅｒａ Ｐｏｓｉｔｉｏｎｉｎｇ ｎｉ Ｄｉｓｐｌａｙ Ｓｙｓｔｅｍｓ」と題された、米国特許公開第ＵＳ２０１９／０２４３４４８Ａ１号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に議論されるように、複数の視線ベクトルまたは光学軸が、異なる視線方向に関して評価され、視線ベクトルまたは光学軸の交差部または収束を識別してもよく、これは、眼の回転中心の推定値として使用され得る。故に、いくつかの実施形態では、眼追跡モジュール６１４は、角膜中心または角膜曲率の中心の位置を決定せずに、非球面回転楕円体の配向を使用してもよい。これらの実施形態では、有意な量の算出時間が、潜在的に、角膜曲率の中心を計算しない一方、眼の視線方向を追跡することを有効にすることによって、節約され得る。

【０２９９】

いくつかの実装では、全ての上記に述べられたステップは、モジュール７１６（図７Ａ参照）によって実施されてもよい。

【０３００】

図２９Ａ－２９Ｄは、図２８に関して上記で議論されるプロシージャに基づいてベクトルＰＣ－ＣＣ２８３６の決定のためのプロシージャを図式的に図示し、例えば、２つの対の光源が、一対の閃光を２つの個別の眼カメラによって生成された２つの別個の画像上に生成するために使用される。示されるように、第１の対の光源２９０２は、第１の対の閃光２９０５を第１の眼カメラの像面２９０８上に生成する。第２の対の光源２９０４は、第２の対の閃光２９１２を第２の眼カメラの像面２９１０上に生産する（図２９Ａ参照）。第１の眼カメラ２９１４、第１の対の閃光２９０６、および第１の対の光源２９０２の座標を使用して、第１の角膜ベクトルＣＶ１　２９１８が、決定される。第２の眼カメラ２９１６、第２の対の閃光２９１２、および第２の対の光源２９０４の座標を使用して、第２の角膜ベクトルＣＶ２　２９２０が、決定される。上記に議論されるように、単一対の光源が、いくつかの実装では、第１および第２のカメラの両方によって結像される、２つの閃光を生産するために使用されることができる。２つの角膜ベクトルＣＶ１　２９１８およびＣＶ２　２９２０が交わる、または収束する、いくつかの実施例では、切片または収束点ＣＣ３３３０の座標が、決定される（図２９Ｂおよび上記に議論される図１６Ａ－１６Ｃ参照）。

【０３０１】

上記に議論されるように、像面２９０８上の瞳孔２９２２の場所および第１の眼カメラの座標系２９１４の原点を使用して、第１の瞳孔ベクトルＰＶ１　２９２６が、決定される。第２の像面２９１０上の瞳孔２９２４の場所および第２の眼カメラの座標系２９１６の原点を使用して、第２の瞳孔ベクトルＰＶ２　２９２８が、決定される。２つの角膜ベクトルＰＶ１　２９２６およびＣＶ２　２９２８が交わる、または収束する、いくつかの実施例では、切片または収束点または領域ＰＣ２９３２の座標が、図２９Ｃにおける推定される角膜曲率の中心場所ＣＣ２９３０の座標を決定するために使用される同一座標系に対して決定されてもよい。

【０３０２】

また、上記に議論されるように、角膜を表す、非球面回転楕円体２９４４の配向が、ベクトルＰＣ－ＣＣ２９４２（ＣＣ２９３０およびＰＣ２９３２を接続するベクトルとして定義される）を使用して決定される（図２９Ｄ参照）。いくつかの実施例では、回転楕円

体の配向は、ベクトルＰＣ－ＣＣ２９４２が非球面回転楕円体の中心および回転楕円体の両頂点／極を通して通過すると仮定することによって決定されてもよい。

【０３０３】

加えて、いくつかの実施例では、ベクトルＰＣ－ＣＣ２９４２に沿った非球面回転楕円体の中心の場所は、その中心がベクトルＰＣ－ＣＣ２９４２に沿った点にある、回転楕円体からの光線（既知の場所における光源によって生成された）の鏡面反射に基づいて、第１および第２の像面２９０８／２９１０上の閃光２９０６／２９１２の測定された場所と、各像面２９０８／２９１０上の閃光の計算された場所をマッチングさせることによって推定されてもよい。他の方法も、使用されてもよい。

【０３０４】

いくつかの実施例では、上記に説明される方法の異なる変形例が、非球面回転楕円体角膜モデルに基づいて、角膜の中心および配向を推定するために使用されてもよい。いくつかの変形例では、１つ以上のステップが、追加される、省略される、変更される、他のステップによって代用される、またはそれらの任意の組み合わせであってもよい。ある他の変形例では、ステップの順序は、変更される、またはステップは、別様に再配列されてもよい。同様に、図２８におけるブロック図によって表されるプロシージャの異なる変形例が、プロシージャの主側面から逸脱することなく、実装されてもよい。例えば、あるブロックは、追加される、省略される、変更される、再配列される、他のブロックによって代用される、またはそれらの任意の組み合わせであってもよい。他の変更も、可能性として考えられる。

【０３０５】

上記に述べられたプロシージャは、１つ以上のプロセッサと、ＨＭＤシステムのモジュール（図７Ａ）と併せて、関連命令を記憶し得る、１つ以上の非一過性メモリとによって実施されてもよい。図３０は、例示的眼追跡モジュール（例えば、図７Ａに示される眼追跡モジュール６１４）において使用され得、非球面回転楕円体角膜モデルに基づく３Ｄ角膜中心推定のために構成される、新しい３Ｄ角膜中心推定サブモジュール３０６０と組み合わせられ得る、サブモジュールのサブセットを図示する、ブロック図である。いくつかの実装では、プロセスは、例えば、図２８に関して上記に説明されるプロシージャを採用してもよい。図２８に関して上記に説明されるプロシージャのいくつかの実装では、２つの眼カメラ３０３４／３０３５、画像処理モジュール３０１０、瞳孔識別モジュール３０１２、および閃光検出モジュール３０１４はともに、閃光の場所を３Ｄ角膜曲率中心推定モジュール３０６０に提供してもよいことに留意されたい。閃光場所は、ステップ－７において解説されるように、３Ｄ角膜中心推定モジュール３０６０によって角膜を表す非球面回転楕円体の中心および／または配向を推定するために使用され得る、角膜ベクトル２９１８／２９２０（ＣＶ１およびＣＶ２）を、３Ｄ角膜中心推定モジュール３０６０によって決定するために使用されてもよい。座標系モジュール３０１８および３Ｄ瞳孔中心ロケータモジュール３０２０は、瞳孔ベクトル２９２６／２９２８（ＰＶ１およびＰＶ２）を決定するために必要とされる、瞳孔場所を提供してもよい。角膜ベクトル、瞳孔ベクトル、および閃光の場所を使用して、３Ｄ角膜中心推定モジュール３０６０は、角膜を表す、非球面回転楕円体の中心および配向を推定することができる。他の方法および／または構成も、可能性として考えられる。

【０３０６】

種々の実装では、１つ以上の眼追跡カメラによって生産された画像内の閃光反射の場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定することは、該１つ以上のカメラによって生産された画像内の閃光反射の場所、１つ以上の追跡カメラの場所、および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、角膜曲率の中心の値（例えば、基準フレームに対するｘ、ｙ、ｚまたはｒ、θ、φ等の１つ以上の座標によって記述されるｘ、ｙ、ｚ場所等の３次元場所）または推定値または場所を決定するための数値計算を含む。

【０３０７】

いくつかの実施例では、前述のモジュールは、共有非一過性メモリおよびプロセッサの

セットを使用して実装されてもよいが、しかしながら、他の構成も、可能性として考えられる。いくつかの実施例では、１つ以上のモジュールを備える、モジュールのサブセットは、非一過性メモリおよびプロセッサのセットを共有してもよい。いくつかの実施例では、モジュールのうちの１つ以上のものは、具体的プログラム言語で記述され、非一過性メモリ内に記憶され、１つ以上のプロセッサによって実行される、アルゴリズムを備えることができる。ある実装では、１つ以上のサブモジュールを備える、これらのモジュールの１つ以上のサブセットは、別個のハードウェア（例えば、ＦＰＧＡまたは専用プロセッサ）を使用して実装されてもよい。

【０３０８】

いくつかの実装では、眼の角膜の中心および配向は、非球面眼モデルを使用して、推定されてもよく、角膜は、非回転対称表面によって表される。非球面眼モデルは、例えば、双円錐または楕円面を採用してもよく、これは、任意の軸の周囲で回転対称ではない。これらの形状は、異なる平面（例えば、水平または垂直）における角膜の異なる曲率を捕捉するために使用されてもよい。例えば、上記の方程式（１Ｃ）および（１Ｄ）およびその議論を参照されたい。故に、種々の実装では、双円錐または楕円面等の非回転対称表面を使用して、角膜をモデル化する、そのような非回転対称モデルは、本明細書に説明される方法と併用されてもよい。

【０３０９】

いくつかのそのような実装では、例えば、非回転楕円体が、角膜の表面（例えば、方程式１Ｄによって定義された表面）をモデル化するために使用されてもよい。そのような場合、第３の既知のパラメータ（ＱおよびＲに加え）が、角膜をモデル化する楕円面の位置および／または配向を推定するために使用されてもよい。いくつかの実施例では、第３のパラメータの値は、眼モデルによって提供されてもよい。図２４、図２８を参照して、または本明細書のいずれかの場所に説明される、プロシージャの同一または修正されたバージョンを備える、方法が、角膜の非球面回転楕円体モデルの代わりに、角膜の非回転楕円体眼モデル等の非回転対称モデルと併用されてもよい。

【０３１０】

いくつかの他の実装では、非球面角膜モデルは、双円錐モデルであってもよく、角膜の表面は、一般的双円錐面（例えば、方程式１Ｃによって定義された双円錐面）によって表される。上記に述べられたように、双円錐モデルは、例えば、正視、近視、遠視、または非点収差眼と関連付けられる、多様な眼形状に関する角膜形状をモデル化するために使用されてもよい。いくつかのそのような実施例では、双円錐面は、５つのパラメータを使用して、規定されてもよい。方程式１Ｃを参照すると、（R_x，Q_x）および（R_y，Q_y）が、それぞれ、水平および垂直寸法における角膜表面の半径および円錐パラメータを規定してもよい。加えて、角膜の非点収差軸に対する双円錐面の配向は、０～１８０度に及ぶ、角度（第５のパラメータ）によって規定されてもよい。いくつかの実施例では、これらのパラメータの値は、既知の眼モデルまたは文献において報告される平均値から取得されてもよい。図２４、図２８を参照して、または本明細書のいずれかの場所に説明されるプロシージャの同一または修正されたバージョンを備える、方法が、角膜の非球面回転楕円体モデルの代わりに、角膜の双円錐眼モデルと併用されてもよい。

【０３１１】

いくつかのそのような実施例では、双円錐回転楕円体モデルの５つのパラメータは、図２４および図２８を参照して説明される、プロシージャの拡張バージョンに基づいて、推定されてもよく、付加的ステップが、モデル内の１つ以上の未知のパラメータを推定するために追加されてもよい。ある場合には、付加的閃光および可能性として、付加的光源および／または画像が、採用されてもよい。いくつかのそのような実施例では、４つ以上の閃光が、角膜中心、視線方向、および眼球中心を推定するために使用されてもよい。

【０３１２】

ある他の実施例では、眼モデル内の１つ以上のパラメータの範囲または統計的分布に関するいくつかの制約が、算出を促進する（例えば、拡張プロシージャにおける付加的ステ

ップを低減させる）ために使用されることができる。例えば、R_xおよびR_yの統計的分布は、Ｒと同一であってもよく、したがって、それらは、同一平均値（例えば、７．８ｍｍ）および同一標準偏差（例えば、０．２６ｍｍ）を有してもよい。Q_xおよびQ_yの分布は、Ｑと同一であってもよく、したがって、それらは、同一平均値（例えば、－０．２６または－０．２５）および同一標準偏差（例えば、０．１８）を有してもよい。大部分の非点収差角膜は、例えば、アイウェアの座標系に基づいて定義される、垂直または水平軸により近い、非点収差軸を有し得る。加えて、多くの眼パラメータは、多くの場合、右および左眼対において類似する。いくつかの実施例では、眼（眼の角膜）が、非点収差ではない場合、R_xは、R_yに等しく、かつＲに等しくあり得る。同様に、非非点収差眼に関して、Q_xは、Q_yに等しく、かつＱに等しくあり得る。そのような場合、双円錐楕円体眼モデルは、回転楕円体眼モデルに縮尺され得る。

【０３１３】

上記に議論されるように、角膜中心および視線方向は、１つ以上の眼カメラによって捕捉された閃光画像を使用して、推定されてもよい。

【０３１４】

いくつかの実施形態では、Ｑパラメータのユーザ特有の値は、Ｑ較正プロセスを使用して、推定されてもよい。いくつかの実施形態では、Ｑ較正プロセスの間、図２４および図２８またはその一部に関して等、本明細書に説明される１つ以上のプロシージャ等が、使用されてもよい、またはいずれかの場所に説明される方法が、ＨＭＤを装着しているユーザの眼の角膜中心を推定するために使用される、非球面回転楕円体モデルに関するＱパラメータのユーザ特有の値を決定するために採用されてもよい。例えば、上記に説明され、図７Ａに示されるように、角膜中心（例えば、ブロック７１６において推定される）および眼の対応する回転中心（ＣｏＲ）（例えば、角膜中心に基づいて、ブロック７２４において推定される）は、例えば、ライトフィールドレンダリングコントローラ６１８への入力パラメータであり得る。したがって、推定される角膜中心は、ＨＭＤによってレンダリングされる画像の特性に影響を及ぼし得る。有利なこととして、Ｑパラメータのユーザ特有の値は、パラメータ値をライトフィールドレンダリングコントローラ６１８（例えば、ＣｏＲ推定モジュール７３２およびＣｏＰ推定モジュール７２４）にフィードし、意図される方法により近い方法でユーザによって知覚される、画像をレンダリングする、ライトフィールドレンダリングコントローラ６１８および／または１つ以上の他のモジュールによって使用されてもよい。

【０３１５】

いくつかの実施形態では、Ｑパラメータのユーザ特有の値は、測定／データ収集および分析／推定を備える、プロセスを使用して、推定されてもよい。測定およびデータ収集は、１つ以上の光エミッタが、ユーザの眼を照明し、閃光をその上に形成し、１つ以上の眼追跡カメラを使用して、眼の１つ以上の画像を捕捉する間、ユーザが見るための標的を提供することを含む、反復的プロシージャであってもよく、１つ以上の画像は、標的の場所によって決定される、視線方向と関連付けられる。ある場合には、本プロセスは、標的場所がユーザの視線方向を改変するように変更されることに伴って、繰り返されることができる。

【０３１６】

これらのプロシージャを使用して、眼の複数の画像が、収集されてもよく、例えば、片眼カメラによって捕捉された異なる画像または２つの眼追跡カメラによって捕捉された異なる対の画像が、異なる個別の視線方向と関連付けられる。ある場合には、片眼カメラによって捕捉された画像または２つの眼追跡カメラによって捕捉された一対の画像は、１つ以上の光エミッタと関連付けられる、閃光反射を含み得る。複数の画像は、例えば、眼追跡モジュール６１４のメモリまたはＨＭＤのメモリ内に記憶されてもよい。

【０３１７】

分析および推定ステップでは、眼の複数の画像が、Ｑパラメータのユーザ特有の値を決定するために使用されてもよい。いくつかの実装では、分析および推定は、反復プロセス

であってもよい。いくつかの実装では、反復は、本明細書に説明される１つ以上のプロシージャ／方法（例えば、図２４または図２８に関して説明される１つ以上のプロシージャ）または他の方法を使用して、複数のＣｏＲ値を推定することを含んでもよい。ＣｏＲの推定は、可能性として、眼の複数の画像、閃光を生産したエミッタの場所、Ｑパラメータの初期値または前の反復において生成されたＱパラメータの値、またはこれらのうちの任意の１つ以上のものを採用してもよい。例えば、異なる所定のＱ値に関する推定されるＣｏＲ値と関連付けられる、統計的パラメータまたはメトリック（例えば、分散、標準偏差）が、計算されてもよい。統計的メトリックは、特定のＱ値に関するＣｏＲにおける変動、不安定性、不確実性、または誤差を測定する、または別様に示してもよい。統計的パラメータまたはメトリック（例えば、分散、標準偏差）は、複数の推定されるＣｏＲ値またはＣｏＲ値を決定するプロセスを使用して、計算されてもよい。統計的メトリックは、例えば、図１８Ｂにおける収束の領域１８２４、または図１９Ｃ－１、１９Ｃ－２、１９Ｃ－３、１９Ｃ－４における推定されるＣｏＲ領域１９２０、または米国特許公開第ＵＳ２０１９／０２４３４４８Ａ１号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明されるような異なる視線方向に関して計算される光学軸の収束の領域のサイズと相関し得、そこからＣｏＲが、決定されてもよい。Ｑパラメータの新しい値が、少なくとも部分的に、計算された統計的パラメータまたはメトリックに基づいて、生成されてもよい。例えば、統計的メトリックは、監視されてもよく、Ｑの選択は、統計的メトリックの値に基づいてもよい。例えば、低減されたまたは最小統計的メトリックまたは閾値を下回る統計的メトリックに対応する、Ｑ値が、選択されてもよい。ある場合には、Ｑ値は、可能性として、他のＱ値および／または統計的メトリックまたはそれに基づく値に基づいて、同様に修正（例えば、平均、スケーリング等）されてもよい。

【０３１８】

いくつかの実施形態では、第１の反復は、Ｑパラメータの初期値を使用してもよい。後続反復は、いくつかの実装では、各後続反復の直前に実施される反復において生成されたＱパラメータの値を使用してもよいが、他のアプローチも、可能性として考えられる。Ｑパラメータの初期値は、例えば、何人かの対象、１つ以上の眼モデル、および同等物から収集された、測定されたデータに基づいて推定された値であってもよい。いくつかの実施例では、Ｑパラメータの初期値は、－０．２５±０．１であってもよい。

【０３１９】

いくつかの実装では、分析および推定は、非反復プロセスであってもよい。例えば、推定は、Ｑパラメータの複数の所定の値からの１つ以上のＱ値の選択を含んでもよい。いくつかの実施例では、非反復プロセスは、異なるＱ値に関する複数のＣｏＲ値を推定することを含んでもよい。上記に説明されるように、ＣｏＲは、本明細書に説明される方法（例えば、図２４または図２８に関して説明される１つ以上の方法）または他の方法を使用して決定されてもよい。ＣｏＲの推定は、可能性として、眼の複数の画像、閃光を生産したエミッタの場所、Ｑパラメータの複数の所定の値、またはこれらのうちの１つ以上のものを採用してもよい。例えば、異なる所定のＱ値に関する推定されるＣｏＲ値と関連付けられる、統計的パラメータまたはメトリック（例えば、分散、標準偏差）が、計算されてもよい。統計的メトリックは、特定のＱ値に関するＣｏＲにおける変動、不安定性、不確実性、または誤差を測定する、または別様に示してもよい（上記に議論されるように、統計的メトリックは、例えば、図１８Ｂにおける収束の領域１８２４、または図１９Ｃ－１、１９Ｃ－２、１９Ｃ－３、１９Ｃ－４における推定されるＣｏＲ領域１９２０、または米国特許公開第ＵＳ２０１９／０２４３４４８Ａ１号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明されるような異なる視線方向に関して計算される光学軸の収束の領域のサイズに相関し得、そこからＣｏＲが、決定されてもよい。故に、所望の、または改良された、例えば、低減された、最小限の、または他のより望ましいまたは最良の統計的パラメータまたはメトリックをもたらす、Ｑパラメータが、選択され得る。ある場合には、Ｑ値は、可能性として、他のＱ値および／または統計的メトリックまたはそれに基づく値に基づいて、同様に修正（例えば、平均、スケーリング等）されてもよい。

【０３２０】
いくつかの実施例では、Ｑパラメータの複数の所定の値は、文献（例えば、研究論文、教科書、参考書籍、および同等物）において公開される値であってもよい。ある他の実施例では、Ｑパラメータの複数の所定の値は、母集団に関するＱパラメータの複数の計算された値であってもよい。例えば、角膜トポグラファが、対象（例えば、１０、５０、１００人対象以上の）のグループの眼の角膜形状を測定するために使用されてもよく、Ｑパラメータの値は、測定された角膜形状を使用して計算されてもよい。Ｑ値を取得する他の方法もまた、可能性として考えられる。
【０３２１】
故に、種々の実装では、計算される統計的メトリックは、例えば、異なる視線方向に関する推定されるＣｏＲ値の統計的分布の変動の測定値であってもよい。いくつかの実装では、Ｑパラメータの新しい値が、分散を低減または最小限にするように選択されてもよい。代替として、メトリックは、複数のＱ値に関して決定されてもよく、Ｑ値は、異なる視線方向に関して取得されるＣｏＲ値における変動、不確実性、誤差等を低減させるように、メトリックに基づいて、例えば、メトリックの値を低減させるために選択される。
【０３２２】
いくつかの実装では、上記に説明されるプロセスは、ＨＭＤの眼追跡モジュール６１４によって実施されてもよい。ある他の構成では、測定およびデータ収集は、眼追跡モジュールによって実施されてもよく、分析および推定は、ＨＭＤの別のモジュール（例えば、プロセッサおよびメモリを備える、処理モジュール）によって実施されてもよい。
【０３２３】
いくつかの実施形態では、３つ以上の眼カメラが、角膜の中心等のパラメータを推定するために、眼画像を捕捉するために使用されてもよい。パラメータ、例えば、角膜の中心は、球面モデルおよび／または非球面回転楕円体モデルを使用して、推定されてもよい。いくつかのそのような実施形態では、眼追跡モジュール６１４は、一対の眼カメラを３つ以上の眼カメラから選択し、対のカメラを使用して、パラメータ、例えば、３Ｄ角膜中心、３Ｄ瞳孔中心ＣｏＲ、または他のパラメータを推定してもよい。例えば、３つ以上の眼カメラの一対の眼カメラは、ユーザ（例えば、ＨＭＤを装着しているユーザ）の眼の２つの（以上の）画像を捕捉するように選択されることができ、そこからパラメータが、例えば、上記に説明される方法を使用して、推定されることができる。３つ以上の眼カメラの異なる対の眼カメラは、ユーザ（例えば、ＨＭＤを装着しているユーザ）の眼の２つ（以上）の画像を捕捉するように選択されることができ、パラメータは、再び、本対のカメラからの画像に基づいて、推定されることができる。本プロセスは、可能性として、別の異なる対のカメラを選択して繰り返されることができる。例えば、第１および第２のカメラが、最初に、選択され、その後、第２および第３のカメラが続き、その後、第１および第３のカメラが続くことができる。順序またはプロシージャは、変動し得る。異なるカメラ対を用いて取得される値は、統計的に組み合わせられ、例えば、平均され、または別様に、ともに使用され、パラメータの推定値を決定してもよい。本パラメータは、そのようなパラメータを取得するために、角膜中心、回転中心、透視中心、または中間値の推定値等、ユーザの眼の物理的、光学的、および／または構造的特徴を備えてもよい。いくつかの実装では、そのような値は、推定される角膜の中心および／または他のパラメータに基づいて画像をレンダリングする際に採用されてもよい。
上記に説明される種々の実施形態では、種々の眼パラメータ（例えば、角膜中心、瞳孔中心、回転中心、および同等物）の場所（例えば、３次元場所）が、１つ以上の正規化された座標系に対して計算されてもよい。ある場合には、眼カメラ座標系は、正規化された座標系であってもよく、像面の場所は、眼カメラ座標系に対して決定されてもよい。正規化された座標系は、例えば、眼追跡モジュール６１４の座標系正規化モジュール７１８（図７Ａ参照）によって、例えば、「Ｅｙｅ Ｃｅｎｔｅｒ ｏｆ Ｒｏｔａｔｉｏｎ Ｄｅｔｅｒｍｉｎａｔｉｏｎ，Ｄｅｐｔｈ Ｐｌａｎｅ Ｓｅｌｅｃｔｉｏｎ，ａｎｄ Ｒｅｎｄｅｒ Ｃａｍｅｒａ Ｐｏｓｉｔｉｏｎｉｎｇ ｉｎ Ｄｉｓｐｌａｙ Ｓｙｓｔｅｍ

ｓ」と題された、米国特許公開第ＵＳ２０１９／０２４３４４８Ａ１号（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に議論される方法を使用して、決定されてもよいが、しかしながら、他の変動またはアプローチも、座標／場所を正規化する、または別様に、例えば、別の座標系等の別の系に変換するために採用されてもよい。

Ｔ．眼追跡が利用不可能であるときの実施例

【０３２４】

いくつかの実施形態では、眼追跡は、提供されない場合がある、または一時的に利用不可能である場合がある。実施例として、眼追跡カメラ３２４または光源３２６が、曇る、損傷される、またはユーザによって無効にされる、環境の照明条件が、眼追跡を著しく困難にし得る、ウェアラブルシステムが、眼追跡を妨害するように不適切にフィットされ得る、ユーザが、睥視している、または容易に追跡されない眼の状態を有し得ること等が、挙げられる。そのようなとき、ウェアラブルシステムは、眼追跡データの不在下、レンダリングカメラを位置付け、深度面を選択するための種々の方略に依拠するように構成されてもよい。

【０３２５】

例えば、レンダリングカメラに関して、ウェアラブルシステムは、ユーザの瞳孔が、数秒または典型的瞬眼より長い時間等、所定の閾値より長い時間にわたって検出されない場合、レンダリングカメラをデフォルト位置に位置付けてもよい。ウェアラブルシステムは、可能性として、例えば、過減衰発振器モデルに追従し得る平滑な移動において、レンダリングカメラをデフォルト位置に移動させてもよい。いくつかの実装では、デフォルト位置は、特定のユーザに対するウェアラブルシステムの較正プロセスの一部として決定されてもよい。しかしながら、デフォルト位置は、ユーザの左および右眼の回転中心であってもよい。これらは、単なる例証的実施例である。

Ｕ．周囲環境内のオブジェクトを検出するためのコンピュータビジョン

【０３２６】

上記に議論されるように、ディスプレイシステムは、ユーザを囲繞する環境内のオブジェクトまたはその性質を検出するように構成されてもよい。検出は、本明細書に議論されるように、種々の環境センサ（例えば、カメラ、オーディオセンサ、温度センサ等）を含む、種々の技法を使用して遂行されてもよい。

【０３２７】

いくつかの実施形態では、環境内に存在するオブジェクトは、コンピュータビジョン技法を使用して、検出されてもよい。例えば、本明細書に開示されるように、ディスプレイシステムの前向きに面したカメラは、周囲環境を結像するように構成されてもよく、ディスプレイシステムは、画像分析を画像上で実施し、周囲環境内のオブジェクトの存在を決定するように構成されてもよい。ディスプレイシステムは、外向きに面した結像システムによって入手された画像を分析し、場面再構成、イベント検出、ビデオ追跡、オブジェクト認識、オブジェクト姿勢推定、学習、インデックス化、運動推定、または画像復元等を実施してもよい。他の実施例として、ディスプレイシステムは、顔および／または眼認識を実施し、ユーザの視野内の顔および／またはヒトの眼の存在および場所を決定するように構成されてもよい。１つ以上のコンピュータビジョンアルゴリズムが、これらのタスクを実施するために使用されてもよい。コンピュータビジョンアルゴリズムの非限定的実施例は、スケール不変特徴変換（ＳＩＦＴ）、スピードアップロバスト特徴（ＳＵＲＦ）、配向ＦＡＳＴおよび回転ＢＲＩＥＦ（ＯＲＢ）、バイナリロバスト不変スケーラブルキーポイント（ＢＲＩＳＫ）、高速網膜キーポイント（ＦＲＥＡＫ）、Ｖｉｏｌａ－Ｊｏｎｅｓアルゴリズム、Ｅｉｇｅｎｆａｃｅｓアプローチ、Ｌｕｃａｓ－Ｋａｎａｄｅアルゴリズム、Ｈｏｒｎ－Ｓｃｈｕｎｋアルゴリズム、Ｍｅａｎ－ｓｈｉｆｔアルゴリズム、視覚的同時位置推定およびマッピング（ｖＳＬＡＭ）技法、シーケンシャルベイズ推定器（例えば、カルマンフィルタ、拡張カルマンフィルタ等）、バンドル調節、適応閾値化（および他の閾値化技法）、反復最近傍点（ＩＣＰ）、セミグローバルマッチング（ＳＧＭ）、セミグローバルブロックマッチング（ＳＧＢＭ）、特徴点ヒストグラム、種々の機械学習

アルゴリズム（例えば、サポートベクトルマシン、ｋ最近傍アルゴリズム、単純ベイズ、ニューラルネットワーク（畳み込みまたは深層ニューラルネットワークを含む）、または他の教師あり／教師なしモデル等）等を含む。

【０３２８】

これらのコンピュータビジョン技法のうちの１つ以上のものはまた、他の環境センサ（例えば、マイクロホン等）から入手されたデータと併用され、センサによって検出されたオブジェクトの種々の性質を検出および決定してもよい。

【０３２９】

本明細書に議論されるように、周囲環境内のオブジェクトは、１つ以上の基準に基づいて、検出されてもよい。ディスプレイシステムが、コンピュータビジョンアルゴリズムを使用して、または１つ以上のセンサアセンブリ（ディスプレイシステムの一部である場合とそうではない場合がある）から受信されたデータを使用して、周囲環境内の基準の存在または不在を検出するとき、ディスプレイシステムは、次いで、オブジェクトの存在を信号伝達してもよい。

Ｖ．機械学習

【０３３０】

種々の機械学習アルゴリズムは、周囲環境内のオブジェクトの存在を識別するように学習するために使用されてもよい。いったん訓練されると、機械学習アルゴリズムは、ディスプレイシステムによって記憶されてもよい。機械学習アルゴリズムのいくつかの実施例は、教師ありまたは教師なし機械学習アルゴリズムを含み得、回帰アルゴリズム（例えば、通常の最小２乗回帰等）、インスタンスベースのアルゴリズム（例えば、学習ベクトル量子化等）、決定ツリーアルゴリズム（例えば、分類および回帰ツリー等）、ベイズアルゴリズム（例えば、単純ベイズ等）、クラスタリングアルゴリズム（例えば、ｋ－平均クラスタリング等）、関連付けルール学習アルゴリズム（例えば、アプリオリアルゴリズム等）、人工ニューラルネットワークアルゴリズム（例えば、Ｐｅｒｃｅｐｔｒｏｎ等）、深層学習アルゴリズム（例えば、Ｄｅｅｐ Ｂｏｌｔｚｍａｎｎ Ｍａｃｈｉｎｅ、すなわち、深層ニューラルネットワーク等）、次元削減アルゴリズム（例えば、主成分分析等）、アンサンブルアルゴリズム（例えば、Ｓｔａｃｋｅｄ Ｇｎｅｒａｌｉｚａｔｉｏｎ等）、および／または他の機械学習アルゴリズムを含む。いくつかの実施形態では、個々のモデルは、個々のデータセットのためにカスタマイズされてもよい。例えば、ウェアラブルデバイスは、ベースモデルを生成または記憶してもよい。ベースモデルは、開始点として使用され、データタイプ（例えば、特定のユーザ）、データセット（例えば、取得される付加的画像のセット）、条件付き状況、または他の変形例に特有の付加的モデルを生成してもよい。いくつかの実施形態では、ディスプレイシステムは、複数の技法を利用して、集約されたデータの分析のためのモデルを生成するように構成されることができる。他の技法は、事前に定義された閾値またはデータ値を使用することを含んでもよい。

【０３３１】

オブジェクトを検出するための基準は、１つ以上の閾値条件を含んでもよい。環境センサによって入手されたデータの分析が、閾値条件に達したことを示す場合、ディスプレイシステムは、周囲環境内のオブジェクトの存在の検出を示す信号を提供してもよい。閾値条件は、定量的および／または定質的測定値を伴ってもよい。例えば、閾値条件は、反射および／またはオブジェクトが環境内に存在する尤度と関連付けられるスコアまたはパーセンテージを含んでもよい。ディスプレイシステムは、環境センサのデータから計算されるスコアと閾値スコアを比較してもよい。スコアが、閾値レベルより高い場合、ディスプレイシステムは、反射および／またはオブジェクトの存在を検出し得る。いくつかの他の実施形態では、ディスプレイシステムは、スコアが閾値より低い場合、環境内のオブジェクトの存在を信号伝達してもよい。いくつかの実施形態では、閾値条件は、ユーザの感情状態および／またはユーザの周囲環境との相互作用に基づいて決定されてもよい。

【０３３２】

いくつかの実施形態では、閾値条件、機械学習アルゴリズム、またはコンピュータビジ

ョンアルゴリズムは、具体的コンテキストのために特殊化されてもよい。例えば、診断コンテキストでは、コンピュータビジョンアルゴリズムは、刺激に対するある応答を検出するために特殊化されてもよい。別の実施例として、ディスプレイシステムは、本明細書に議論されるように、顔認識アルゴリズムおよび／またはイベントトレーシングアルゴリズムを実行し、刺激に対するユーザの反応を感知してもよい。

【０３３３】

本明細書に説明される、および／または添付される図に描写されるプロセス、方法、およびアルゴリズムはそれぞれ、具体的かつ特定のコンピュータ命令を実行するように構成される、１つ以上の物理的コンピューティングシステム、ハードウェアコンピュータプロセッサ、特定用途向け回路、および／または電子ハードウェアによって実行される、コードモジュールにおいて具現化され、それによって完全または部分的に自動化され得ることを理解されたい。例えば、コンピューティングシステムは、具体的コンピュータ命令とともにプログラムされた汎用コンピュータ（例えば、サーバ）または専用コンピュータ、専用回路等を含むことができる。コードモジュールは、実行可能プログラムにコンパイルおよびリンクされ得る、動的リンクライブラリ内にインストールされ得る、またはインタープリタ型プログラミング言語において書き込まれ得る。いくつかの実装では、特定の動作および方法が、所与の機能に特有の回路によって実施され得る。

【０３３４】

さらに、本開示の機能性のある実装は、十分に数学的、コンピュータ的、または技術的に複雑であるため、（適切な特殊化された実行可能命令を利用する）特定用途向けハードウェアまたは１つ以上の物理的コンピューティングデバイスは、例えば、関与する計算の量または複雑性に起因して、または結果を実質的にリアルタイムで提供するために、機能性を実施する必要があり得る。例えば、ビデオは、多くのフレームを含み、各フレームは、数百万のピクセルを有し得、具体的にプログラムされたコンピュータハードウェアは、商業的に妥当な時間量において所望の画像処理タスクまたは用途を提供するようにビデオデータを処理する必要がある。

【０３３５】

コードモジュールまたは任意のタイプのデータは、ハードドライブ、ソリッドステートメモリ、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）、読取専用メモリ（ＲＯＭ）、光学ディスク、揮発性または不揮発性記憶装置、同一物の組み合わせ、および／または同等物を含む、物理的コンピュータ記憶装置等の任意のタイプの非一過性コンピュータ可読媒体上に記憶され得る。いくつかの実施形態では、非一過性コンピュータ可読媒体は、ローカル処理およびデータモジュール（１４０）、遠隔処理モジュール（１５０）、遠隔データリポジトリ（１６０）のうちの１つ以上のものの一部であってもよい。本方法およびモジュール（またはデータ）はまた、無線ベースおよび有線／ケーブルベースの媒体を含む、種々のコンピュータ可読伝送媒体上で生成されたデータ信号として（例えば、搬送波または他のアナログまたはデジタル伝搬信号の一部として）伝送され得、種々の形態（例えば、単一または多重化アナログ信号の一部として、または複数の離散デジタルパケットまたはフレームとして）をとり得る。開示されるプロセスまたはプロセスステップの結果は、任意のタイプの非一過性有形コンピュータ記憶装置内に持続的または別様に記憶され得る、またはコンピュータ可読伝送媒体を介して通信され得る。

【０３３６】

本明細書に説明される、および／または添付される図に描写されるフロー図における任意のプロセス、ブロック、状態、ステップ、または機能性は、プロセスにおいて具体的機能（例えば、論理または算術）またはステップを実装するための１つ以上の実行可能命令を含む、コードモジュール、セグメント、またはコードの一部を潜在的に表すものとして理解されたい。種々のプロセス、ブロック、状態、ステップ、または機能性は、組み合わせられる、再配列される、追加される、削除される、修正される、または別様に本明細書に提供される例証的実施例から変更されてもよい。いくつかの実施形態では、付加的または異なるコンピューティングシステムまたはコードモジュールが、本明細書に説明される

機能性のいくつかまたは全てを実施し得る。本明細書に説明される方法およびプロセスはまた、いずれの特定のシーケンスにも限定されず、それに関連するブロック、ステップ、または状態は、適切な他のシーケンスで、例えば、連続して、並行して、またはある他の様式で実施されることができる。タスクまたはイベントが、開示される例示的実施形態に追加される、またはそこから除去され得る。さらに、本明細書に説明される実施形態における種々のシステムコンポーネントの分離は、例証目的のためであり、全ての実施形態においてそのような分離を要求するものとして理解されるべきではない。説明されるプログラムコンポーネント、方法、およびシステムは、概して、単一のコンピュータ製品においてともに統合される、または複数のコンピュータ製品にパッケージ化され得ることを理解されたい。

W．他の考慮点

【０３３７】

本明細書に説明される、および／または添付される図に描写されるプロセス、方法、およびアルゴリズムはそれぞれ、具体的かつ特定のコンピュータ命令を実行するように構成される、１つ以上の物理的コンピューティングシステム、ハードウェアコンピュータプロセッサ、特定用途向け回路、および／または電子ハードウェアによって実行される、コードモジュールにおいて具現化され、それによって完全または部分的に自動化され得る。例えば、コンピューティングシステムは、具体的コンピュータ命令とともにプログラムされた汎用コンピュータ（例えば、サーバ）または専用コンピュータ、専用回路等を含むことができる。コードモジュールは、実行可能プログラムにコンパイルおよびリンクされ得る、動的リンクライブラリ内にインストールされ得る、またはインタープリタ型プログラミング言語において書き込まれ得る。いくつかの実装では、特定の動作および方法が、所与の機能に特有の回路によって実施され得る。

【０３３８】

さらに、本開示の機能性のある実装は、十分に数学的、コンピュータ的、または技術的に複雑であるため、（適切な特殊化された実行可能命令を利用する）特定用途向けハードウェアまたは１つ以上の物理的コンピューティングデバイスは、例えば、関与する計算の量または複雑性に起因して、または結果を実質的にリアルタイムで提供するために、機能性を実施する必要があり得る。例えば、動画またはビデオは、多くのフレームを含み、各フレームは、数百万のピクセルを有し得、具体的にプログラムされたコンピュータハードウェアは、商業的に妥当な時間量において所望の画像処理タスクまたは用途を提供するようにビデオデータを処理する必要がある。

【０３３９】

コードモジュールまたは任意のタイプのデータは、ハードドライブ、ソリッドステートメモリ、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）、読取専用メモリ（ＲＯＭ）、光学ディスク、揮発性または不揮発性記憶装置、同一物の組み合わせ、および／または同等物を含む、物理的コンピュータ記憶装置等の任意のタイプの非一過性コンピュータ可読媒体上に記憶され得る。本方法およびモジュール（またはデータ）はまた、無線ベースおよび有線／ケーブルベースの媒体を含む、種々のコンピュータ可読伝送媒体上で生成されたデータ信号として（例えば、搬送波または他のアナログまたはデジタル伝搬信号の一部として）伝送され得、種々の形態（例えば、単一または多重化アナログ信号の一部として、または複数の離散デジタルパケットまたはフレームとして）をとり得る。開示されるプロセスまたはプロセスステップの結果は、任意のタイプの非一過性有形コンピュータ記憶装置内に持続的または別様に記憶され得る、またはコンピュータ可読伝送媒体を介して通信され得る。

【０３４０】

本明細書に説明される、および／または添付される図に描写されるフロー図における任意のプロセス、ブロック、状態、ステップ、または機能性は、プロセスにおいて具体的機能（例えば、論理または算術）またはステップを実装するための１つ以上の実行可能命令を含む、コードモジュール、セグメント、またはコードの一部を潜在的に表すものとして理解されたい。種々のプロセス、ブロック、状態、ステップ、または機能性は、組み合わ

せられる、再配列される、本明細書に提供される例証的実施例に追加される、そこから削除される、修正される、または別様にそこから変更されることができる。いくつかの実施形態では、付加的または異なるコンピューティングシステムまたはコードモジュールが、本明細書に説明される機能性のいくつかまたは全てを実施し得る。本明細書に説明される方法およびプロセスはまた、いずれの特定のシーケンスにも限定されず、それに関連するブロック、ステップ、または状態は、適切な他のシーケンスで、例えば、連続して、並行して、またはある他の様式で実施されることができる。タスクまたはイベントが、開示される例示的実施形態に追加される、またはそこから除去され得る。さらに、本明細書に説明される実装における種々のシステムコンポーネントの分離は、例証目的のためであり、全ての実装においてそのような分離を要求するものとして理解されるべきではない。説明されるプログラムコンポーネント、方法、およびシステムは、概して、単一のコンピュータ製品においてともに統合される、または複数のコンピュータ製品にパッケージ化され得ることを理解されたい。多くの実装変形例が、可能である。

【０３４１】

本プロセス、方法、およびシステムは、ネットワーク（または分散）コンピューティング環境において実装され得る。ネットワーク環境は、企業全体コンピュータネットワーク、イントラネット、ローカルエリアネットワーク（ＬＡＮ）、広域ネットワーク（ＷＡＮ）、パーソナルエリアネットワーク（ＰＡＮ）、クラウドコンピューティングネットワーク、クラウドソースコンピューティングネットワーク、インターネット、およびワールドワイドウェブを含む。ネットワークは、有線または無線ネットワークまたは任意の他のタイプの通信ネットワークであり得る。

【０３４２】

本開示のシステムおよび方法は、それぞれ、いくつかの革新的側面を有し、そのうちのいかなるものも、本明細書に開示される望ましい属性に単独で関与しない、またはそのために要求されない。上記に説明される種々の特徴およびプロセスは、相互に独立して使用され得る、または種々の方法で組み合わせられ得る。全ての可能性として考えられる組み合わせおよび副次的組み合わせが、本開示の範囲内に該当することが意図される。本開示に説明される実装の種々の修正が、当業者に容易に明白であり得、本明細書に定義される一般原理は、本開示の精神または範囲から逸脱することなく、他の実装に適用され得る。したがって、請求項は、本明細書に示される実装に限定されることを意図されず、本明細書に開示される本開示、原理、および新規の特徴と一貫する最も広い範囲を与えられるべきである。

【０３４３】

別個の実装の文脈において本明細書に説明されるある特徴はまた、単一の実装における組み合わせにおいて実装されることができる。逆に、単一の実装の文脈において説明される種々の特徴もまた、複数の実装において別個に、または任意の好適な副次的組み合わせにおいて実装されることができる。さらに、特徴がある組み合わせにおいて作用するものとして上記に説明され、さらに、そのようなものとして最初に請求され得るが、請求される組み合わせからの１つ以上の特徴は、いくつかの場合では、組み合わせから削除されることができ、請求される組み合わせは、副次的組み合わせまたは副次的組み合わせの変形例を対象とし得る。いかなる単一の特徴または特徴の群も、あらゆる実施形態に必要または必須ではない。

【０３４４】

とりわけ、「～できる（ｃａｎ）」、「～し得る（ｃｏｕｌｄ）」、「～し得る（ｍｉｇｈｔ）」、「～し得る（ｍａｙ）」、「例えば（ｅ．ｇ．）」、および同等物等の本明細書で使用される条件文は、別様に具体的に記載されない限り、または使用されるような文脈内で別様に理解されない限り、概して、ある実施形態がある特徴、要素、および／またはステップを含む一方、他の実施形態がそれらを含まないことを伝えることが意図される。したがって、そのような条件文は、概して、特徴、要素、および／またはステップが、１つ以上の実施形態に対していかようにも要求されること、または１つ以上の実施形態

が、著者の入力または促しの有無を問わず、これらの特徴、要素、および／またはステップが任意の特定の実施形態において含まれる、または実施されるべきかどうかを決定するための論理を必然的に含むことを含意することを意図されない。用語「～を備える（ｃｏｍｐｒｉｓｉｎｇ）」、「～を含む（ｉｎｃｌｕｄｉｎｇ）」、「～を有する（ｈａｖｉｎｇ）」、および同等物は、同義語であり、非限定的方式で包括的に使用され、付加的要素、特徴、行為、動作等を除外しない。また、用語「または」は、例えば、要素のリストを接続するために使用されると、用語「または」が、リスト内の要素のうちの１つ、いくつか、または全てを意味するように、その包括的意味で使用される（かつその排他的意味で使用されない）。加えて、本願および添付される請求項で使用されるような冠詞「ａ」、「ａｎ」、および「ｔｈｅ」は、別様に規定されない限り、「１つ以上の」または「少なくとも１つ」を意味するように解釈されるべきである。

【０３４５】

本明細書で使用されるように、項目のリスト「～のうちの少なくとも１つ」を指す語句は、単一の要素を含む、それらの項目の任意の組み合わせを指す。ある実施例として、「Ａ、Ｂ、またはＣのうちの少なくとも１つ」は、Ａ、Ｂ、Ｃ、ＡおよびＢ、ＡおよびＣ、ＢおよびＣ、およびＡ、Ｂ、およびＣを網羅することが意図される。語句「Ｘ、Ｙ、およびＺのうちの少なくとも１つ」等の接続文は、別様に具体的に記載されない限り、概して、項目、用語等がＸ、Ｙ、またはＺのうちの少なくとも１つであり得ることを伝えるために使用されるような文脈で別様に理解される。したがって、そのような接続文は、概して、ある実施形態が、Ｘのうちの少なくとも１つ、Ｙのうちの少なくとも１つ、およびＺのうちの少なくとも１つがそれぞれ存在するように要求することを示唆することを意図するものではない。

【０３４６】

同様に、動作は、特定の順序で図面に描写され得るが、これは、望ましい結果を達成するために、そのような動作が、示される特定の順序で、または連続的順序で実施される必要がない、または全ての図示される動作が実施される必要はないことを認識されたい。さらに、図面は、フローチャートの形態で１つ以上の例示的プロセスを図式的に描写し得る。しかしながら、描写されない他の動作も、図式的に図示される例示的方法およびプロセス内に組み込まれることができる。例えば、１つ以上の付加的動作が、図示される動作のいずれかの前に、その後に、それと同時に、またはその間に実施されることができる。加えて、動作は、他の実装において再配列される、または再順序付けられ得る。ある状況では、マルチタスクおよび並列処理が、有利であり得る。さらに、上記に説明される実装における種々のシステムコンポーネントの分離は、全ての実装におけるそのような分離を要求するものとして理解されるべきではなく、説明されるプログラムコンポーネントおよびシステムは、概して、単一のソフトウェア製品においてともに統合される、または複数のソフトウェア製品にパッケージ化され得ることを理解されたい。加えて、他の実装も、以下の請求項の範囲内である。いくつかの場合では、請求項に列挙されるアクションは、異なる順序で実施され、依然として、望ましい結果を達成し得る。

Ｘ．実施例

【０３４７】

下記に列挙される実施例等の仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するためのユーザのために構成される、ディスプレイシステムの実施例が、本明細書に説明される。

パート－Ａ

【０３４８】

実施例１：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、第１および第２の眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび第１および第２の眼

追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、異なる光エミッタの閃光反射は、第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能であって、該第１および第２の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１および第２の眼追跡カメラの両方の場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の該中心の場所を推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【０３４９】

実施例２：該処理電子機器は、該第１の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かう第１の方向を決定し、該第２の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第２の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かう第２の方向を決定するように構成される、実施例１に記載のディスプレイシステム。

【０３５０】

実施例３：該処理電子機器は、第１の眼追跡カメラ、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第１の平面を画定し、第１の眼追跡カメラ、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第２の平面を画定し、第１の平面および第２の平面の収束の領域であって、第１の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって、第１の方向を決定するように構成される、実施例２に記載のディスプレイシステム。

【０３５１】

実施例４：該処理電子機器は、第２の眼追跡カメラ、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第３の平面を定義し、第２の眼追跡カメラ、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第４の平面を定義し、第２の方向に沿って延在する、収束の領域である、第３の平面および第４の平面の収束の領域を決定することによって、第２の方向を決定するように構成される、実施例３に記載のディスプレイシステム。

【０３５２】

実施例５：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かう該第１および第２の方向に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の該中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０３５３】

実施例６：該処理電子機器は、第１の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第１の方向を決定し、第２の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第２の方向を決定し、該第１および第２の方向は、ある領域に向かって収束するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０３５４】

実施例７：該処理電子機器は、第１および第２の方向の収束に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０３５５】

実施例８：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かう該第１および第２の方向の収束の領域を識別することによって、ユーザの眼の角膜曲率の該中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０３５６】

実施例９：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の複

数の決定に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０３５７】

実施例１０：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値に対応する、点の軌跡を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０３５８】

実施例１１：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値に対応する、該点の軌跡に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１０に記載のディスプレイシステム。

【０３５９】

実施例１２：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１０または１１に記載のディスプレイシステム。

【０３６０】

実施例１３：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、該表面の曲率の中心を推定することによって、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１０または１１に記載のディスプレイシステム。

【０３６１】

実施例１４：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、該表面に対する複数の法線が収束する、領域を決定することによって、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１０または１１に記載のディスプレイシステム。

【０３６２】

実施例１５：該処理電子機器は、該表面を該点の軌跡に適合させ、該表面を取得するように構成される、実施例１２、１３、または１４のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０３６３】

実施例１６：該処理電子機器は、レンダリングカメラを使用して、ユーザの眼に提示されるべき仮想画像をレンダリングするように構成され、該レンダリングカメラは、該回転中心によって決定された位置を有する、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０３６４】

実施例１７：該ディスプレイは、少なくとも１つの異なる発散およびコリメーション量において、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成され、したがって、表示される仮想画像コンテンツは、異なる時間周期において、異なる深度から生じるように現れる、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０３６５】

実施例１８：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、第１および第２の眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび第１および第２の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、異なる光エミッタの閃光反射は、第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能であって、該第１および第２の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ該第１および第２の眼追跡カメラの両方の場所および複数の眼姿勢に関する該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の該回転中心の場所を推定するように構

成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【０３６６】

実施例１９：該眼の回転中心の推定値を取得するために、処理電子機器は、複数の眼姿勢に関する複数の閃光反射に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の推定値を決定し、該複数の眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の推定値に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するように構成される、実施例１８に記載のシステム。

【０３６７】

実施例２０：ユーザの眼の角膜曲率の該複数の推定値を決定するために、処理電子機器は、該複数のエミッタの少なくとも一部および眼追跡カメラの第１のカメラの個別の場所に基づいて、角膜曲率の中心に向かう第１の方向を決定し、該複数のエミッタの少なくとも一部および眼追跡カメラの第２のカメラの個別の場所に基づいて、角膜曲率の中心に向かう第２の方向を決定し、該第１および第２の方向に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、実施例１９に記載のシステム。

【０３６８】

実施例２１：該処理電子機器は、第１の眼追跡カメラ、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第１の平面を画定し、第１の眼追跡カメラ、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第２の平面を画定し、第１の平面および第２の平面の収束の領域であって、第１の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって、第１の方向を決定するように構成される、実施例２０に記載のディスプレイシステム。

【０３６９】

実施例２２：該処理電子機器は、第２の眼追跡カメラ、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第３の平面を画定し、第２の眼追跡カメラ、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第４の平面を画定し、第３の平面および第４の平面の収束の領域であって、第２の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって、第２の方向を決定するように構成される、実施例２１に記載のディスプレイシステム。

【０３７０】

実施例２３：ユーザの眼の角膜曲率の該複数の推定値を決定するために、処理電子機器は、第１の方向と第２の方向との間の収束の領域を決定し、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、実施例２０－２２のいずれかに記載のシステム。

【０３７１】

実施例２４：該眼の回転中心の推定値を取得するために、処理電子機器は、角膜曲率の中心の複数の推定値と関連付けられる、３次元表面を生成し、３次元表面に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するように構成される、実施例１９－２３のいずれかに記載のシステム。

【０３７２】

実施例２５：角膜曲率の中心の複数の推定値と関連付けられる、３次元表面を生成するために、処理電子機器は、表面を角膜曲率の中心の複数の推定値に適合させるように構成される、実施例２４に記載のシステム。

【０３７３】

実施例２６：角膜曲率の中心の複数の推定値と関連付けられる、３次元表面を生成するために、処理電子機器は、球面を角膜曲率の中心の複数の推定値に適合させるように構成される、実施例２４に記載のシステム。

【０３７４】

実施例２７：ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するために、処理電子機器は、３次元表面に対する２つ以上の法線を決定し、２つ以上の法線の収束の領域を決定するように構成され、収束の領域は、ユーザの眼の回転中心の推定値を備える、実施例２４－２６のいずれかに記載のシステム。

【０３７５】
実施例２８：ユーザの眼の１つ以上の画像は、ユーザの眼の異なる視線ベクトルと関連付けられる、１つ以上の画像を備える、実施例２１－２７のいずれかに記載のシステム。
【０３７６】
実施例２９：処理電子機器は、視線標的を使用して、ユーザの眼の角膜をマッピングするように構成される、実施例２１－２８のいずれかに記載のシステム。
【０３７７】
実施例３０：該処理電子機器は、レンダリングカメラを使用して、ユーザの眼に提示されるべき仮想画像をレンダリングするように構成され、該レンダリングカメラは、該回転中心によって決定された位置を有する、実施例１８－２９のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０３７８】
実施例３１：該ディスプレイは、少なくとも１つの異なる発散およびコリメーション量において、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成され、したがって、表示される仮想画像コンテンツは、異なる時間周期において、異なる深度から生じるように現れる、実施例１８－３０のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０３７９】
実施例３２：仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するための光をユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムにおいて、仮想画像コンテンツをレンダリングするために、眼と関連付けられる、１つ以上のパラメータを決定する方法であって、該眼は、角膜を有し、ユーザの眼を結像するように構成される、複数の眼追跡カメラと、該眼に対して配置され、閃光をその上に形成する、複数の光エミッタとを用いて、ユーザの眼の複数の画像を捕捉するステップであって、該画像は、複数の閃光を備える、ステップと、複数の閃光に基づいて、該眼の回転中心の推定値を取得するステップとを含み、該眼の回転中心の推定値を取得するステップは、複数の閃光に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の推定値を決定するステップと、３次元表面を角膜曲率の中心の複数の推定値から生成するステップと、３次元表面を使用して、ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するステップとを含む、方法。
【０３８０】
実施例３３：ユーザの眼の角膜曲率の複数の推定値を決定するステップは、複数の光エミッタの少なくとも一部の場所および複数の眼追跡カメラの第１のカメラの場所に基づいて、角膜曲率の中心に向かって指向される第１のベクトルを決定するステップと、複数の光エミッタの少なくとも一部の場所および複数の眼追跡カメラの第２のカメラの場所に基づいて、角膜曲率の中心に向かって指向される第２のベクトルを決定するステップと、第１のベクトルと第２のベクトルとの間の収束の領域を決定し、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を決定するステップとを含む、実施例３２に記載の方法。
【０３８１】
実施例３４：第１の方向は、第１の眼追跡カメラ、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第１の平面を画定し、第１の眼追跡カメラ、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第２の平面を画定し、第１の平面および第２の平面の収束の領域であって、第１の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって決定される、実施例３３に記載の方法。
【０３８２】
実施例３５：第２の方向は、第２の眼追跡カメラ、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第３の平面を画定し、第２の眼追跡カメラ、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第４の平面を画定し、第３の平面および第４の平面の収束の領域であって、第２の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって決定される、実施例３３に記載

の方法。

【０３８３】

実施例３６：３次元表面を角膜曲率の中心の複数の推定値から生成するステップは、表面を角膜曲率の中心の複数の推定値に適合させるステップを含む、実施例３２－３５のいずれかに記載の方法。

【０３８４】

実施例３７：３次元表面を角膜曲率の中心の複数の推定値から生成するステップは、球体を角膜曲率の中心の複数の推定値に適合させるステップを含む、実施例３２－３５のいずれかに記載の方法。

【０３８５】

実施例３８：ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するステップは、３次元表面に対して法線方向の２つ以上のベクトルを決定するステップと、３次元表面に対して法線方向の２つ以上のベクトルの収束の領域を決定するステップであって、収束の領域は、ユーザの眼の回転中心の推定値を備える、ステップとを含む、実施例３２－３７のいずれかに記載の方法。

【０３８６】

実施例３９：ユーザの眼の複数の画像は、ユーザの眼の異なる視線方向と関連付けられる、画像を備える、実施例３２－３８のいずれかに記載の方法。

【０３８７】

実施例４０：視線標的を使用して、ユーザの眼の角膜をマッピングするステップをさらに含む、実施例３２－３９のいずれかに記載の方法。

【０３８８】

実施例４１：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツを表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、第１および第２の眼追跡カメラと、ディスプレイおよび第１および第２の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、ユーザの眼の複数の対の捕捉された画像を第１および第２の眼追跡カメラから受信し、それぞれ、第１および第２の眼追跡カメラから受信された、対の画像に関して、少なくとも部分的に、個別の対の捕捉された画像に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得し、個別の第１および第２の眼追跡カメラから受信されたユーザの眼の複数の対の捕捉された画像に基づいて取得される、ユーザの眼の角膜曲率の推定される中心に基づいて、３次元表面を決定し、３Ｄ表面の曲率の中心を識別し、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【０３８９】

実施例４２：該処理電子機器は、３次元表面を、個別の第１および第２の眼追跡カメラから受信されたユーザの眼の複数の対の捕捉された画像に基づいて取得される、ユーザの眼の角膜曲率の推定される中心に適合させるように構成される、実施例４１に記載のディスプレイシステム。

【０３９０】

実施例４３：少なくとも部分的に、個別の対の捕捉された画像に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得するために、処理電子機器は、第１の眼追跡カメラから受信された第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、第１のベクトルを決定し、第２の眼追跡カメラから受信された第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、第２のベクトルを決定し、第１および第２の画像は、該対の画像のうちの１つに対応し、第１のベクトルおよび第２のベクトルの方向に延在する経路間の収束の領域を識別し、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得するように構成される、実施例４１または４２に記載

のディスプレイシステム。
【０３９１】
実施例４４：ユーザの眼を照明し、閃光反射をその上に形成するように構成される、複数の光エミッタをさらに備え、対の捕捉された画像の第１の画像に基づいて、第１のベクトルを決定するために、処理電子機器は、第１の眼追跡カメラ、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第１の平面を画定し、第１の眼追跡カメラ、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第２の平面を画定し、第１の平面および第２の平面の収束の領域を識別し、収束の領域は、第１のベクトルの方向に沿って延在するように構成される、実施例４３に記載のディスプレイシステム。
【０３９２】
実施例４５：各対の捕捉された画像内の第２の画像に基づいて、第２のベクトルを決定するために、処理電子機器は、第２の眼追跡カメラ、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第３の平面を画定し、第２の眼追跡カメラ、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第４の平面を画定し、第３の平面および第４の平面の収束の領域を識別し、収束の領域は、第２のベクトルの方向に沿って延在するように構成される、実施例４４に記載のディスプレイシステム。
【０３９３】
実施例４６：該処理電子機器は、レンダリングカメラを使用して、ユーザの眼に提示されるべき仮想画像をレンダリングするように構成され、該レンダリングカメラは、該回転中心によって決定された位置を有する、実施例４１－４５のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０３９４】
実施例４７：該ディスプレイは、少なくとも１つの異なる発散およびコリメーション量において、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成され、したがって、表示される仮想画像コンテンツは、異なる時間周期において、異なる深度から生じるように現れる、実施例４１－４６のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０３９５】
実施例４８：該ディスプレイの少なくとも一部は、透明であって、該透明部分が、ユーザおよび該頭部搭載型ディスプレイの正面の環境の一部からの光をユーザの眼に透過させ、ユーザおよび該頭部搭載型ディスプレイの正面の環境の該部分のビューを提供するように、ユーザが該頭部搭載型ディスプレイを装着すると、ユーザの眼の正面の場所に配置される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０３９６】
実施例４９：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムであって、該ディスプレイシステムは、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、異なる光エミッタの閃光反射が眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能である、第１および第２の場所における眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、該眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ眼追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。
【０３９７】
実施例５０：該処理電子機器は、該眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内

の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１の方向を決定し、該眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第２の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第２の方向を決定するように構成される、実施例４９に記載のディスプレイシステム。

【０３９８】

実施例５１：該処理電子機器は、第１の眼追跡カメラの場所、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第１の平面を定義し、第１の眼追跡カメラの場所、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第２の平面を定義し、収束の領域が第１の方向に沿って延在する、第１の平面および第２の平面の収束の領域を決定することによって、第１の方向を決定するように構成される、実施例５０に記載のディスプレイシステム。

【０３９９】

実施例５２：該処理電子機器は、第２の眼追跡カメラの場所、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第３の平面を定義し、第２の眼追跡カメラの場所、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第４の平面を定義し、収束の領域が第２の方向に沿って延在する、第３の平面および第４の平面の収束の領域を決定することによって、第２の方向を決定するように構成される、実施例５１に記載のディスプレイシステム。

【０４００】

実施例５３：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった該第１および第２の方向に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４０１】

実施例５４：該処理電子機器は、第１の眼追跡カメラの場所から受信された少なくとも１つの第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第１の方向を決定し、第２の眼追跡カメラの場所から受信された少なくとも第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第２の方向を決定するように構成され、該第１および第２の方向は、ある領域に向かって収束する、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４０２】

実施例５５：該処理電子機器は、

【０４０３】

第１および第２の方向の収束に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４０４】

実施例５６：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった該第１および第２の方向の収束の領域を識別することによって、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４０５】

実施例５７：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の決定に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４０６】

実施例５８：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値に対応する、点の軌跡を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４０７】

実施例５９：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の

推定値に対応する、該点の軌跡に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例５８に記載のディスプレイシステム。

【０４０８】

実施例６０：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例５８または５９に記載のディスプレイシステム。

【０４０９】

実施例６１：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、該表面の曲率の中心を推定することによって、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例５８または５９に記載のディスプレイシステム。

【０４１０】

実施例６２：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、該表面に対する複数の法線が収束する領域を決定することによって、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例５８または５９に記載のディスプレイシステム。

【０４１１】

実施例６３：該処理電子機器は、該表面を該点の軌跡に適合させ、該表面を取得するように構成される、実施例６０、６１、または６２のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４１２】

実施例６４：該処理電子機器は、レンダリングカメラを使用して、ユーザの眼に提示されるべき仮想画像をレンダリングするように構成され、該レンダリングカメラは、該回転中心によって決定された位置を有する、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４１３】

実施例６５：該ディスプレイは、異なる量の発散およびコリメーションのうちの少なくとも１つにおいて、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成され、したがって、表示される仮想画像コンテンツは、異なる時間周期において、異なる深度から生じるように現れる、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４１４】

実施例６６：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムであって、該ディスプレイシステムは、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、異なる光エミッタの閃光反射が眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能である、第１の場所および第２の場所における眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、該眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ該第１および第２の眼追跡カメラの場所および複数の眼姿勢に関する該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の回転中心の場所を推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【０４１５】

実施例６７：該眼の回転中心の推定値を取得するために、処理電子機器は、複数の眼姿勢に関する複数の閃光反射に基づいてユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の推定値を決定し、該複数の眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の推定値に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するように構成される、実施例６６に記載のシステム。

【０４１６】

実施例６８：ユーザの眼の角膜曲率の該複数の推定値を決定するために、処理電子機器

は、該複数のエミッタの少なくとも一部の個別の場所および眼追跡カメラの第１の場所に基づいて、角膜曲率の中心に向かう第１の方向を決定し、該複数のエミッタの少なくとも一部の少なくとも個別の場所および眼追跡カメラの第２の場所に基づいて、角膜曲率の中心に向かう第２の方向を決定し、該第１および第２の方向に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、実施例６７に記載のシステム。

【０４１７】

実施例６９：該処理電子機器は、眼追跡カメラの第１の場所、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第１の平面を画定し、眼追跡カメラの第１の場所、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第２の平面を画定し、第１の平面および第２の平面の収束の領域であって、第１の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって、第１の方向を決定するように構成される、実施例６８に記載のディスプレイシステム。

【０４１８】

実施例７０：該処理電子機器は、眼追跡カメラの第２の場所、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第３の平面を画定し、眼追跡カメラの第２の場所、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第４の平面を画定し、第３の平面および第４の平面の収束の領域であって、第２の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって、第２の方向を決定するように構成される、実施例６９に記載のディスプレイシステム。

【０４１９】

実施例７１：ユーザの眼の角膜曲率の該複数の推定値を決定するために、処理電子機器は、第１の方向と第２の方向との間の収束の領域を決定し、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、実施例６８－７０のいずれかに記載のシステム。

【０４２０】

実施例７２：該眼の回転中心の推定値を取得するために、処理電子機器は、角膜曲率の中心の複数の推定値と関連付けられる、３次元表面を生成し、３次元表面に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するように構成される、実施例１９－７１のいずれかに記載のシステム。

【０４２１】

実施例７３：角膜曲率の中心の複数の推定値と関連付けられる、３次元表面を生成するために、処理電子機器は、表面を角膜曲率の中心の複数の推定値に適合させるように構成される、実施例７２に記載のシステム。

【０４２２】

実施例７４：角膜曲率の中心の複数の推定値と関連付けられる、３次元表面を生成するために、処理電子機器は、球体を角膜曲率の中心の複数の推定値に適合させるように構成される、実施例７３に記載のシステム。

【０４２３】

実施例７５：ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するために、処理電子機器は、３次元表面に対する２つ以上の法線を決定し、２つ以上の法線の収束の領域を決定するように構成され、収束の領域は、ユーザの眼の回転中心の推定値を備える、実施例７２－７４のいずれかに記載のシステム。

【０４２４】

実施例７６：ユーザの眼の１つ以上の画像は、ユーザの眼の異なる視線ベクトルと関連付けられる、１つ以上の画像を備える、実施例６９－７５のいずれかに記載のシステム。

【０４２５】

実施例７７：処理電子機器は、視線標的を使用して、ユーザの眼の角膜をマッピングするように構成される、実施例６９－７６のいずれかに記載のシステム。

【０４２６】

実施例７８：該処理電子機器は、レンダリングカメラを使用して、ユーザの眼に提示されるべき仮想画像をレンダリングするように構成され、該レンダリングカメラは、該回転

中心によって決定された位置を有する、実施例６６－７７のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４２７】

実施例７９：該ディスプレイは、少なくとも１つの異なる発散およびコリメーション量において、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成され、したがって、表示される仮想画像コンテンツは、異なる時間周期において、異なる深度から生じるように現れる、実施例６６－７８のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４２８】

実施例８０：仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するための光をユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムにおいて、仮想画像コンテンツをレンダリングするために、眼と関連付けられる、１つ以上のパラメータを決定する方法であって、該眼は、角膜を有し、ユーザの眼を結像するように構成される、眼追跡カメラと、該眼に対して配置され、閃光をその上に形成する、複数の光エミッタとを用いて、ユーザの眼の複数の画像を捕捉するステップであって、該画像は、複数の閃光を備える、ステップと、複数の閃光に基づいて、該眼の回転中心の推定値を取得するステップとを含み、該眼の回転中心の推定値を取得するステップは、複数の閃光に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の推定値を決定するステップと、３次元表面を角膜曲率の中心の複数の推定値から生成するステップと、３次元表面を使用して、ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するステップとを含む、方法。

【０４２９】

実施例８１：ユーザの眼の角膜曲率の複数の推定値を決定するステップは、複数の光エミッタの少なくとも一部の場所および眼追跡カメラの第１の場所に基づいて、角膜曲率の中心に向かって指向される第１のベクトルを決定するステップと、複数の光エミッタの少なくとも一部の場所および眼追跡カメラの第２の場所に基づいて、角膜曲率の中心に向かって指向される第２のベクトルを決定するステップと、第１のベクトルと第２のベクトルとの間の収束の領域を決定し、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を決定するステップとを含む、実施例８０に記載の方法。

【０４３０】

実施例８２：第１の方向は、眼追跡カメラの第１の場所、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第１の平面を画定し、眼追跡カメラの第１の場所、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第２の平面を画定し、第１の平面および第２の平面の収束の領域であって、第１の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって決定される、実施例８１に記載の方法。

【０４３１】

実施例８３：第２の方向は、眼追跡カメラの第２の場所、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第３の平面を画定し、眼追跡カメラの第２の場所、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第４の平面を画定し、第３の平面および第４の平面の収束の領域であって、第２の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって決定される、実施例８２に記載の方法。

【０４３２】

実施例８４：３次元表面を角膜曲率の中心の複数の推定値から生成するステップは、表面を角膜曲率の中心の複数の推定値に適合させるステップを含む、実施例８１－８３のいずれかに記載の方法。

【０４３３】

実施例８５：３次元表面を角膜曲率の中心の複数の推定値から生成するステップは、球体を角膜曲率の中心の複数の推定値に適合させるステップを含む、実施例８１－８３のいずれかに記載の方法。

【０４３４】
実施例８６：ユーザの眼の回転中心の推定値を決定するステップは、３次元表面に対して法線方向の２つ以上のベクトルを決定するステップと、３次元表面に対して法線方向の２つ以上のベクトルの収束の領域を決定するステップであって、収束の領域は、ユーザの眼の回転中心の推定値を備える、ステップとを含む、実施例８１－８５のいずれかに記載の方法。
【０４３５】
実施例８７：ユーザの眼の複数の画像は、ユーザの眼の異なる視線方向と関連付けられる、画像を備える、実施例８１－８６のいずれかに記載の方法。
【０４３６】
実施例８８：視線標的を使用して、ユーザの眼の角膜をマッピングするステップをさらに含む、実施例８１－８７のいずれかに記載の方法。
【０４３７】
実施例８９：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツを表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、眼追跡カメラと、ディスプレイおよび眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、ユーザの眼の複数の対の捕捉された画像を眼追跡カメラから受信し、それぞれ、眼追跡カメラから受信された、対の画像に関して、少なくとも部分的に、個別の対の捕捉された画像に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得し、眼追跡カメラから受信されたユーザの眼の複数の対の捕捉された画像に基づいて取得される、ユーザの眼の角膜曲率の推定される中心に基づいて、３次元表面を決定し、３Ｄ表面の曲率の中心を識別し、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。
【０４３８】
実施例９０：該処理電子機器は、３次元表面を、眼追跡カメラから受信されたユーザの眼の複数の対の捕捉された画像に基づいて取得される、ユーザの眼の角膜曲率の推定される中心に適合させるように構成される、実施例８９に記載のディスプレイシステム。
【０４３９】
実施例９１：少なくとも部分的に、個別の対の捕捉された画像に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得するために、処理電子機器は、眼追跡カメラの第１の場所から受信された第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、第１のベクトルを決定し、眼追跡カメラの第２の場所から受信された第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、第２のベクトルを決定し、第１および第２の画像は、該対の画像のうちの１つに対応し、第１のベクトルおよび第２のベクトルの方向に延在する経路間の収束の領域を識別し、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得するように構成される、実施例８９または９０に記載のディスプレイシステム。
【０４４０】
実施例９２：ユーザの眼を照明し、閃光反射をその上に形成するように構成される、複数の光エミッタをさらに備え、対の捕捉された画像の第１の画像に基づいて、第１のベクトルを決定するために、処理電子機器は、眼追跡カメラの第１の場所、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第１の平面を画定し、眼追跡カメラの第１の場所、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第２の平面を画定し、第１の平面および第２の平面の収束の領域を識別し、収束の領域は、第１のベクトルの方向に沿って延在するように構成される、実施例９１に記載のディスプレイシステム。
【０４４１】
実施例９３：各対の捕捉された画像内の第２の画像に基づいて、第２のベクトルを決定

するために、処理電子機器は、眼追跡カメラの第２の場所、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第３の平面を画定し、眼追跡カメラの第２の場所、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第４の平面を画定し、第３の平面および第４の平面の収束の領域を識別し、収束の領域は、第２のベクトルの方向に沿って延在するように構成される、実施例９２に記載のディスプレイシステム。

【０４４２】

実施例９４：該処理電子機器は、レンダリングカメラを使用して、ユーザの眼に提示されるべき仮想画像をレンダリングするように構成され、該レンダリングカメラは、該回転中心によって決定された位置を有する、実施例８９－９３のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４４３】

実施例９５：該ディスプレイは、少なくとも１つの異なる発散およびコリメーション量において、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成され、したがって、表示される仮想画像コンテンツは、異なる時間周期において、異なる深度から生じるように現れる、実施例８９－９４のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４４４】

実施例９６：該ディスプレイの少なくとも一部は、透明であって、該透明部分が、ユーザおよび該頭部搭載型ディスプレイの正面の環境の一部からの光をユーザの眼に透過させ、ユーザおよび該頭部搭載型ディスプレイの正面の環境の該部分のビューを提供するように、ユーザが該頭部搭載型ディスプレイを装着すると、ユーザの眼の正面の場所に配置される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４４５】

実施例９７：仮想画像コンテンツをユーザの視野内に表示するための光を該ユーザの眼に投影するように構成される、ディスプレイシステムであって、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、ユーザの眼を結像するように構成される、少なくとも１つの眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、ディスプレイおよび眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、第１および第２の場所において少なくとも１つの眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、異なる光エミッタの閃光反射が、眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能であって、該少なくとも１つの眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ少なくとも１つの眼追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の該中心の場所を推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。

【０４４６】

実施例９８：該処理電子機器は、該少なくとも１つの眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ少なくとも１つの眼追跡カメラの第１の場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かう第１の方向を決定し、該少なくとも１つの眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ少なくとも１つの眼追跡カメラの第２の場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かう第２の方向を決定するように構成される、実施例９７に記載のディスプレイシステム。

【０４４７】

実施例９９：該処理電子機器は、少なくとも１つの眼追跡カメラの第１の場所、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第１の平面を画定し、少なくとも１つの眼追跡カメラの第１の場所、第２の閃光反射の場所、およ

び該第２の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第２の平面を画定し、第１の平面および第２の平面の収束の領域であって、第１の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって、第１の方向を決定するように構成される、実施例９８に記載のディスプレイシステム。

【０４４８】

実施例１００：該処理電子機器は、少なくとも１つの眼追跡カメラの第２の場所、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第３の平面を画定し、少なくとも１つの眼追跡カメラの第２の場所、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する光エミッタの場所を含む、第４の平面を画定し、第３の平面および第４の平面の収束の領域であって、第２の方向に沿って延在する、収束の領域を決定することによって、第２の方向を決定するように構成される、実施例９９に記載のディスプレイシステム。

【０４４９】

実施例１０１：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かう該第１および第２の方向に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の該中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４５０】

実施例１０２：該処理電子機器は、少なくとも１つの眼追跡カメラの第１の場所から受信された少なくとも１つの第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第１の方向を決定し、少なくとも１つの眼追跡カメラの第２の場所から受信された少なくとも１つの第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第２の方向を決定し、該第１および第２の方向は、ある領域に向かって収束するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４５１】

実施例１０３：

【０４５２】

該処理電子機器は、第１および第２の方向の収束に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４５３】

実施例１０４：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かう該第１および第２の方向の収束の領域を識別することによって、ユーザの眼の角膜曲率の該中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４５４】

実施例１０５：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の決定に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４５５】

実施例１０６：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値に対応する、点の軌跡を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４５６】

実施例１０７：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値に対応する、該点の軌跡に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１０６に記載のディスプレイシステム。

【０４５７】

実施例１０８：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１０６または１０７に記載のディスプレイシステム。

【０４５８】
実施例１０９：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、該表面の曲率の中心を推定することによって、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１０６または１０７に記載のディスプレイシステム。
【０４５９】
実施例１１０：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、該表面に対する複数の法線が収束する、領域を決定することによって、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１０６または１０７に記載のディスプレイシステム。
【０４６０】
実施例１１１：該処理電子機器は、該表面を該点の軌跡に適合させ、該表面を取得するように構成される、実施例１０８、１０９、または１１０のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４６１】
実施例１１２：該処理電子機器は、レンダリングカメラを使用して、ユーザの眼に提示されるべき仮想画像をレンダリングするように構成され、該レンダリングカメラは、該回転中心によって決定された位置を有する、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４６２】
実施例１１３：該ディスプレイは、少なくとも１つの異なる発散およびコリメーション量において、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成され、したがって、表示される仮想画像コンテンツは、異なる時間周期において、異なる深度から生じるように現れる、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４６３】
実施例１１４：ユーザの眼を結像するように構成される、第３のカメラをさらに備え、該処理電子機器は、該第３の眼追跡カメラと通信し、光エミッタの閃光反射は、第３の眼追跡カメラによって捕捉された眼の画像内で観察可能である、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４６４】
実施例１１５：該処理電子機器は、該第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４６５】
実施例１１６：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１および第３の眼追跡カメラの両方の場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４６６】
実施例１１７：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第２および第３の眼追跡カメラの両方の場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４６７】
実施例１１８：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼の角膜中心の場所と、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼の角膜中心の場所とに基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４６８】
実施例１１９：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼の角膜中心の場所と、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼の角膜中心の場所とに基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４６９】
実施例１１８：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼の角膜中心の場所と、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼の角膜中心の場所との平均に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４７０】
実施例１１９：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼の角膜中心の場所と、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼の角膜中心の場所との平均に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４７１】
実施例１２０：該ユーザの眼の角膜中心は、ユーザの眼の角膜曲率の中心を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４７２】
実施例１２１：該ユーザの眼の角膜中心は、ユーザの眼の角膜の角膜頂点曲率の中心を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４７３】
実施例１２２：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムであって、該ディスプレイシステムは、ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、第１および第２のユーザの眼を結像するように構成される、眼追跡カメラと、複数の光エミッタと、処理電子機器と通信するディスプレイおよび第１および第２の眼追跡カメラ、異なる光エミッタの閃光反射が第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能である、第１および第２の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、該第１および第２の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、処理電子機器とを備える、ディスプレイシステム。
【０４７４】
実施例１２３：該処理電子機器は、該第１および第２の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１および第２の眼追跡カメラの両方の場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、実施例１２２に記載のディスプレイシステム。
【０４７５】
実施例１２４：該処理電子機器は、該第１の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心に向かった第１の方向を決定し、該第２の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第２の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心に向かった第２の方向を決定するように構成される、実施例１２２または１２３に記載のディスプレイシステム。
【０４７６】
実施例１２５：該処理電子機器は、第１の眼追跡カメラ、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第１の平面を定義し、第１の

眼追跡カメラ、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第２の平面を定義し、収束の領域が第１の方向に沿って延在する、第１の平面および第２の平面の収束の領域を決定することによって、第１の方向を決定するように構成される、実施例１２４に記載のディスプレイシステム。

【０４７７】

実施例１２６：該処理電子機器は、第２の眼追跡カメラ、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第３の平面を定義し、第２の眼追跡カメラ、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第４の平面を定義し、第２の方向に沿って延在する、収束の領域である、第３の平面および第４の平面の収束の領域を決定することによって、第２の方向を決定するように構成される、実施例１２５に記載のディスプレイシステム。

【０４７８】

実施例１２７：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜中心に向かった該第１および第２の方向に基づいて、ユーザの眼の該角膜中心の場所を推定するように構成される、実施例１２２－１２６のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４７９】

実施例１２８：該処理電子機器は、第１の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜中心が位置すると推定される、該第１の方向を決定し、第２の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜中心が位置すると推定される、該第２の方向を決定するように構成され、該第１および第２の方向は、ある領域に向かって収束する、実施例１２２－１２７のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４８０】

実施例１２９：該処理電子機器は、第１および第２の方向の収束に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の推定値を取得するように構成される、実施例１２２－１２８のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４８１】

実施例１３０：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜中心に向かった該第１および第２の方向の収束の領域を識別することによって、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、実施例１２２－１２９のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４８２】

実施例１３１：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜中心の複数の決定に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１２２－１３０のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４８３】

実施例１３２：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜中心の推定値に対応する、点の軌跡を決定するように構成される、実施例１２２－１３１のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４８４】

実施例１３３：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜中心の推定値に対応する、該点の軌跡に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１３２に記載のディスプレイシステム。

【０４８５】

実施例１３４：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１３２または１３３に記載のディスプレイシステム。

【０４８６】

実施例１３５：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、該表面の曲率の中心を推定することによって、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１３２または１３３に記載のディスプレイシステム。

【０４８７】
実施例１３６：該処理電子機器は、該点の軌跡に基づいて、表面を決定し、該表面に対する複数の法線が収束する領域を決定することによって、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例１３２または１３３に記載のディスプレイシステム。
【０４８８】
実施例１３７：該処理電子機器は、該表面を該点の軌跡に適合させ、該表面を取得するように構成される、実施例１３４、１３５、または１３６のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４８９】
実施例１３８：該パラメータは、眼の回転中心を備える、実施例１２２－１３７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４９０】
実施例１３９：該処理電子機器は、レンダリングカメラを使用して、ユーザの眼に提示されるべき仮想画像をレンダリングするように構成され、該レンダリングカメラは、回転中心によって決定された位置を有する、実施例１３１－１３８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４９１】
実施例１４０：該ディスプレイは、異なる量の発散およびコリメーションのうちの少なくとも１つにおいて、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成され、したがって、表示される仮想画像コンテンツは、異なる時間周期において、異なる深度から生じるように現れる、実施例１２２－１３９のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４９２】
実施例１４１：ユーザの眼を結像するように構成される、第３のカメラをさらに備え、該処理電子機器は、該第３の眼追跡カメラと通信し、光エミッタの閃光反射は、第３の眼追跡カメラによって捕捉された眼の画像内で観察可能である、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４９３】
実施例１４２：該処理電子機器は、該第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４９４】
実施例１４３：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１および第３の眼追跡カメラの両方の場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４９５】
実施例１４４：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラの両方によって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第２および第３の眼追跡カメラの両方の場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４９６】
実施例１４５：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとに基づいて、該パラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０４９７】
実施例１４６：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラによって決定され

たユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとに基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４９８】

実施例１４７：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとの平均に基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０４９９】

実施例１４８：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼の角膜中心のパラメータとの平均に基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５００】

実施例１４９：該パラメータ該処理電子機器は、角膜中心を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５０１】

実施例１５０：該ユーザの眼の角膜中心は、ユーザの眼の角膜曲率の中心を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５０２】

実施例１５１：該ユーザの眼の角膜中心は、ユーザの眼の角膜の角膜頂点曲率の中心を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５０３】

実施例１５２：該パラメータ該処理電子機器は、眼の回転中心を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

パート－Ｂ

【０５０４】

実施例１：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムであって、該眼は、角膜と、瞳孔とを有し、該ディスプレイシステムは、

ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、

フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、

ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、

複数の光エミッタと、

ディスプレイおよび１つ以上の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、

異なる光エミッタの閃光反射が１つ以上の追跡カメラによって捕捉された眼の画像内で観察可能である、１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、

少なくとも部分的に、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定する、

ように構成され、該処理電子機器は、該角膜の非球面モデルを数値計算において使用し、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の該場所を推定する、処理電子機器と、

を備える、ディスプレイシステム。

【０５０５】

実施例２：該処理電子機器は、加えて、該角膜の球面モデルを数値計算において採用し、該角膜曲率の中心の値を推定する、実施例１に記載のディスプレイシステム。

【０５０６】

実施例３：該角膜の球面モデルは、数値計算において使用され、１つ以上の眼追跡カメラによって生産された、該画像内の閃光反射の場所と、１つ以上の追跡カメラの場所と、該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所とに基づいて、該角膜曲率の中心の値を決定

する、実施例２に記載のディスプレイシステム。
【０５０７】
実施例４：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜曲率の中心の推定値は、数値計算において該非球面モデルに適用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例２または３に記載のディスプレイシステム。
【０５０８】
実施例５：該処理電子機器は、反復プロセスを使用して、該角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０５０９】
実施例６：該処理電子機器は、該推定値を使用して、該曲率の中心の推定値を繰り返し評価し、該非球面モデルを使用して、該曲率の中心の別の異なる推定値を再計算することを含む、反復プロセスを使用して、該角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０５１０】
実施例７：該処理電子機器は、該推定値を使用して、該曲率の中心の推定値を繰り返し評価し、該球面モデルおよび該非球面モデルを使用して、該曲率の中心の別の異なる推定値を再計算する、反復プロセスを使用して、該角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０５１１】
実施例８：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜曲率の中心の推定値は、該非球面モデルのための曲率の中心を推定するために数値計算において使用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例２または３に記載のディスプレイシステム。
【０５１２】
実施例９：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜曲率の中心の推定値は、該非球面モデルから決定される非球面回転楕円体の配向を推定するために数値計算において使用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例２、３、または８に記載のディスプレイシステム。
【０５１３】
実施例１０：該眼の回転中心または該眼に関する瞳孔中心は、該非球面モデルから決定される非球面回転楕円体の配向を推定するために数値計算において推定および使用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例１－９に記載のディスプレイシステム。
【０５１４】
実施例１１：該非球面モデルは、光源の場所に基づいて、複数の閃光の場所を予測するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０５１５】
実施例１２：該非球面モデルは、光源の場所に基づいて、複数の閃光の場所を予測するために使用される、実施例２、３、または８－１０に記載のディスプレイシステム。
【０５１６】
実施例１３：該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所は、球面モデルを決定するために使用される、実施例１２に記載のディスプレイシステム。
【０５１７】
実施例１４：該処理電子機器は、該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所に基づいて決定される、該球面モデルの曲率の中心を決定するように構成される、実施例１３に記載のディスプレイシステム。
【０５１８】
実施例１５：該処理電子機器は、該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所に基づいて決定される、該球面モデルの曲率の中心と、該非球面モデルの中心を決定するために使用された該球面モデルを使用して決定された、該曲率の中心を比較するように構成される、実施例１４に記載のディスプレイシステム。
【０５１９】

実施例１６：該処理電子機器は、２つの球面モデルから取得される２つの曲率の中心間の比較を使用して、更新された非球面モデルを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５２０】

実施例１７：該処理電子機器は、該球面モデルのうちの１つが非球面モデルに基づいて決定される、２つの球面モデルから取得される２つの曲率の中心間の比較を使用して、更新された非球面モデルを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５２１】

実施例１８：該処理電子機器は、該比較を使用して、更新された該非球面モデルの曲率の中心を決定するように構成される、実施例１５に記載のディスプレイシステム。

【０５２２】

実施例１９：該処理電子機器は、球面モデルを使用して、非球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５２３】

実施例２０：該処理電子機器は、非球面モデルを使用して、球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５２４】

実施例２１：該処理電子機器は、非球面モデルを使用して、球面モデルの１つ以上のパラメータを決定し、更新された非球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５２５】

実施例２２：該処理電子機器は、該更新された非球面モデルを使用して、さらなる更新された非球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５２６】

実施例２３：該処理電子機器は、該更新された非球面モデルを使用して、球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５２７】

実施例２４：該処理電子機器は、該更新された非球面モデルを使用して、球面モデルの１つ以上のパラメータを決定して、更新された非球面モデルの１つ以上のパラメータさらなるを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５２８】

実施例２５：該処理電子機器は、該更新された非球面モデルに基づいて決定される、球面モデルの１つ以上のパラメータと、別の球面モデルの１つ以上のパラメータの比較を使用して、さらなる更新された非球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５２９】

実施例２６：該非球面モデルは、回転対称である、非球面表面を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５３０】

実施例２７：該非球面モデルは、回転楕円体を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５３１】

実施例２８：回転楕円体を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５３２】

実施例２９：該非球面モデルは、非回転対称である表面を備える、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５３３】

実施例３０：該非球面モデルは、２つの直交断面に沿って異なる曲率を有する、表面を備える、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５３４】

実施例３１：該非球面モデルは、水平方向に沿って、第１の曲率、垂直方向に沿って、第２の曲率を有し、該第２の曲率は、該第１の曲率と異なり、非球面モデルは、回転対称ではない、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５３５】

実施例３２：該非球面モデルは、楕円体を備える、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５３６】

実施例３３：該非球面モデルは、偏長楕円体を備える、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５３７】

実施例３４：非球面表面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための該数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５３８】

実施例３５：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表面の形状を決定する、２つの定数とを含む、実施例３４に記載のディスプレイシステム。

【０５３９】

実施例３６：該方程式は、$X^2+Y^2+(1+Q)Z^2=2ZR$と同一またはそれに匹敵し、式中、Ｘ、Ｙ、およびＺは、該非球面表面上の位置を定義し、ＱおよびＲは、非球面表面の形状を決定する、実施例３４または３５に記載のディスプレイシステム。

【０５４０】

実施例３７：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表面の形状を決定する、３つの定数とを含む、実施例３４のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５４１】

実施例３８：楕円面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例１－３４および３７のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５４２】

実施例３９：偏長楕円面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例１－３３および３７のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５４３】

実施例４０：球面表面を表す方程式および非球面表面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５４４】

実施例４１：該ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラは、第１および第２の眼追跡カメラを備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５４５】

実施例４２：該処理電子機器は、

該第１の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１の方向を決定し、

該第２の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第２の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第２の方向を決定する、
ように構成される、実施例４１に記載のディスプレイシステム。
【０５４６】
実施例４３：該処理電子機器は、
第１の眼追跡カメラ、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第１の平面を定義し、
第１の眼追跡カメラ、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第２の平面を定義し、
収束の領域が第１の方向に沿って延在する、第１の平面および第２の平面の収束の領域を決定する、
ことによって、第１の方向を決定するように構成される、実施例４２に記載のディスプレイシステム。
【０５４７】
実施例４４：該処理電子機器は、
第２の眼追跡カメラ、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第３の平面を定義し、
第２の眼追跡カメラ、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第４の平面を定義し、
収束の領域が第２の方向に沿って延在する、第３の平面および第４の平面の収束の領域を決定する、
ことによって、第２の方向を決定するように構成される、実施例４３に記載のディスプレイシステム。
【０５４８】
実施例４５：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった該第１および第２の方向に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、実施例４２－４４のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０５４９】
実施例４６：該処理電子機器は、
第１の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第１の方向を決定し、
第２の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第２の方向を決定する、
ように構成され、該第１および第２の方向は、ある領域に向かって収束する、実施例４２－４５のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０５５０】
実施例４７：該処理電子機器は、
第１および第２の方向の収束に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得するように構成される、
実施例４２－４６のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０５５１】
実施例４８：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１および第２の方向の収束の領域を識別することによって、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、実施例４１－４７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０５５２】
実施例４９：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の決定に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例４１－４８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０５５３】

実施例５０：該処理電子機器は、角膜曲率の中心を使用して、非球面モデルの配向の推定値を取得するように構成される、上記の実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５５４】

実施例５１：該処理電子機器は、第１および第２の眼追跡カメラによって取得される画像から決定される、角膜曲率の中心の推定値と、瞳孔中心を通して通過する、複数のベクトルの収束の推定値とに基づいて、非球面モデルの配向の推定値を取得するように構成される、実施例４１－５０のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５５５】

実施例５２：該処理電子機器は、該角膜曲率の中心を含む線に沿って中心を有する、非球面モデルの位置の推定値と、瞳孔中心を通して通過する、複数のベクトルの収束の推定値とを取得するように構成される、実施例５１に記載のディスプレイシステム。

【０５５６】

実施例５３：該処理電子機器は、三角測量を使用して、該非球面モデルの位置を決定するように構成される、実施例５１または５２に記載のディスプレイシステム。

【０５５７】

実施例５４：該ディスプレイは、表示される仮想画像コンテンツが異なる深度から生じるように現れるように、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５５８】

実施例５５：該ディスプレイは、表示される仮想画像コンテンツが異なる深度から生じるように現れるように、異なる量の発散のうちの少なくとも１つにおいて、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５５９】

実施例５６：該ディスプレイは、発散する、光を該ユーザの眼の中に投影し、異なる深度から生じるように現れる、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するようにコリメートされる、光を該ユーザの眼の中に投影するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５６０】

実施例５７：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツ該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステム内に、仮想画像コンテンツをレンダリングするために、眼と関連付けられる、１つ以上のパラメータを決定する方法であって、該眼は、角膜を有し、

ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、該眼に対して配置され、閃光をその上に形成する、複数の光エミッタとを用いて、ユーザの眼の複数の画像を捕捉することであって、該画像は、複数の異なる光エミッタの閃光反射を備える、ことと、

１つ以上の眼追跡カメラによって生産された、該画像内の閃光反射の場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定することと、

を含み、該角膜の非球面モデルは、数値計算において使用され、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の該場所を推定する、

方法。

【０５６１】

実施例５８：球面モデルおよび非球面モデルの両方が、該角膜曲率の中心の値を決定する際に使用される、実施例５７に記載の方法。

【０５６２】

実施例５９球面モデルおよび非球面モデルの両方が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例５７に記載の方法。

【０５６３】

実施例６０：該非球面モデルは、回転対称である、実施例５７－５９のいずれかに記載の方法。

【０５６４】

実施例６１：該非球面モデルは、回転楕円体を備える、実施例５７－６０のいずれかに記載の方法。

【０５６５】

実施例６２：該非球面モデルは、非回転対称である、実施例５７－５９のいずれかに記載の方法。

【０５６６】

実施例６３：該非球面モデルは、２つの直交断面に沿って、異なる曲率を有する、実施例５７－５９または６２のいずれかに記載の方法。

【０５６７】

実施例６４：該非球面モデルは、水平方向に沿って、第１の曲率、垂直方向に沿って、第２の曲率を有し、該第２の曲率は、該第１の曲率と異なり、非球面モデルは、回転対称ではない、実施例５７－５９または６２のいずれかに記載の方法。

【０５６８】

実施例６５：該非球面モデルは、楕円体を備える、実施例５７－５９または６２－６４のいずれかに記載の方法。

【０５６９】

実施例６６該非球面モデルは、偏長楕円体を備える、実施例５７－５９または６２－６４のいずれかに記載の方法。

【０５７０】

実施例６７：該角膜曲率の中心の場所を推定することは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定することを含む、実施例５７－６６のいずれかに記載の方法。

【０５７１】

実施例６８：該処理電子機器は、２つの曲率の中心間の比較を使用して、更新された非球面モデルを決定するように構成される、実施例５６－６６に記載のディスプレイシステム。

【０５７２】

実施例６９：該電子プロセッサは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、実施例１－５６のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０５７３】

実施例７０：該電子プロセッサは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、実施例４１－６４のいずれかに記載の方法。

【０５７４】

実施例７１：ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するコンピュータ実装方法であって、該眼は、角膜と、瞳孔とを有し、

光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムのコンピューティングシステムによって、

１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信することであって、１つ以上の光エミッタの閃光反射は、１つ以上の追跡カメラによって捕捉された該眼の画像内で観察可能であって、１つ以上の眼追跡カメラは、ユーザの眼を結像するように構成される、ことと、

該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、該

ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定することであって、該角膜の非球面モデルは、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の該場所を数値的に推定するために使用される、ことと、を含む、方法。

【０５７５】

実施例７２：該角膜の球面モデルは、該角膜曲率の中心の値を推定するために使用される、実施例７１に記載のコンピュータ実装方法。

【０５７６】

実施例７３：該角膜の球面モデルは、数値計算において使用され、１つ以上の眼追跡カメラによって生産された、該画像内の閃光反射の場所と、１つ以上の追跡カメラの場所と、該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所とに基づいて、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例７２に記載のコンピュータ実装方法。

【０５７７】

実施例７４：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜曲率の中心の推定値は、数値計算において該非球面モデルに適用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例７２または７３に記載のコンピュータ実装方法。

【０５７８】

実施例７５：反復プロセスが、該角膜曲率の中心の推定値を決定するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。

【０５７９】

実施例７６：該推定値を使用して、該曲率の中心の推定値を繰り返し評価し、該非球面モデルを使用して、該曲率の中心の別の異なる推定値を再計算することを含む、反復プロセスが、該角膜曲率の中心の推定値を決定するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。

【０５８０】

実施例７７：該推定値を使用して、該曲率の中心の推定値を繰り返し評価し、該球面モデルおよび該非球面モデルを使用して、該曲率の中心の別の異なる推定値を再計算する、反復プロセスが、該角膜曲率の中心の推定値を決定するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。

【０５８１】

実施例７８：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜曲率の中心の推定値は、該非球面モデルのための曲率の中心を推定するために数値計算において使用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。

【０５８２】

実施例７９：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜曲率の中心の推定値は、該非球面モデルから決定される回転楕円体の配向を推定するために数値計算において使用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例７２、７３、または７８のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。

【０５８３】

実施例８０：該眼の回転中心または該眼に関する瞳孔中心が、該非球面モデルから決定される回転楕円体の配向を推定するために数値計算において推定および使用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例７１－７９に記載のコンピュータ実装方法。

【０５８４】

実施例８１：該非球面モデルは、光源の場所に基づいて、複数の閃光の場所を予測するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。

【０５８５】

実施例８２：該非球面モデルは、光源の場所に基づいて、複数の閃光の場所を予測するために使用される、実施例７２、７３、または７８－８０に記載のコンピュータ実装方法。

【０５８６】

実施例８３：該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所は、球面モデルを決定するために使用される、実施例８２に記載のコンピュータ実装方法。

【０５８７】
実施例８４：該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所に基づいて決定される、該球面モデルの曲率の中心が、決定される、実施例８３に記載のコンピュータ実装方法。
【０５８８】
実施例８５：該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所に基づいて決定される、該球面モデルの曲率の中心は、該非球面モデルの中心を決定するために使用された、該球面モデルを使用して決定された該曲率の中心と比較される、実施例８４に記載のコンピュータ実装方法。
【０５８９】
実施例８６：２つの球面モデルから取得される２つの曲率の中心間の比較が、更新された非球面モデルを決定するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０５９０】
実施例８７：該球面モデルのうちの１つが非球面モデルに基づいて決定される、２つの球面モデルから取得される２つの曲率の中心間の比較が、更新された非球面モデルを決定するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０５９１】
実施例８８：該比較は、非球面モデルに関する更新された曲率の中心を決定するために使用される、実施例８５に記載のコンピュータ実装方法。
【０５９２】
実施例８９：球面モデルが、非球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０５９３】
実施例９０：非球面モデルが、球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０５９４】
実施例９１：非球面モデルが、球面モデルの１つ以上のパラメータを決定し、更新された非球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するために使用される、上記実施例に記載のコンピュータ実装方法。
【０５９５】
実施例９２：該更新された非球面モデルは、さらなる更新された非球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するために使用される、上記実施例に記載のコンピュータ実装方法。
【０５９６】
実施例９３：該更新された非球面モデルは、球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するために使用される、上記実施例に記載のコンピュータ実装方法。
【０５９７】
実施例９４：球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するための該更新された非球面モデルは、さらなる更新された非球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するために使用される、上記実施例に記載のコンピュータ実装方法。
【０５９８】
実施例９５：該更新された非球面モデルに基づいて決定される、球面モデルの１つ以上のパラメータと、別の球面モデルの１つ以上のパラメータの比較が、さらなる更新された非球面モデルの１つ以上のパラメータを決定するために使用される、上記実施例に記載のコンピュータ実装方法。
【０５９９】
実施例９６：該非球面モデルは、回転対称である、非球面表面を備える、上記実施例に記載のコンピュータ実装方法。
【０６００】
実施例９７：該非球面モデルは、回転楕円体を備える、上記実施例に記載のコンピュー

タ実装方法。
【０６０１】
実施例９８：回転楕円体を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例に記載のコンピュータ実装方法。
【０６０２】
実施例９９：該非球面モデルは、非回転対称である表面を備える、実施例７１－９５のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６０３】
実施例１００：該非球面モデルは、２つの直交断面に沿って異なる曲率を有する、表面を備える、実施例７１－９５のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６０４】
実施例１０１：該非球面モデルは、水平方向に沿って、第１の曲率、垂直方向に沿って、第２の曲率を有し、該第２の曲率は、該第１の曲率と異なり、非球面モデルは、回転対称ではない、実施例７１－９５のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６０５】
実施例１０２：該非球面モデルは、楕円体を備える、実施例７１－９５に記載のコンピュータ実装方法。
【０６０６】
実施例１０３：該非球面モデルは、偏長楕円体を備える、実施例７１－９５に記載のコンピュータ実装方法。
【０６０７】
実施例１０４：非球面表面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための該数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６０８】
実施例１０５：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表面の形状を決定する、２つの定数とを含む、実施例１０４に記載のコンピュータ実装方法。
【０６０９】
実施例１０６：該方程式は、$X^2+Y^2+(1+Q)Z^2=2ZR$と同一またはそれに匹敵し、式中、Ｘ、Ｙ、およびＺは、該非球面表面上の位置を定義し、ＱおよびＲは、非球面表面の形状を決定する、実施例１０４または１０５に記載のコンピュータ実装方法。
【０６１０】
実施例１０７：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表面の形状を決定する、３つの定数とを含む、実施例１０４に記載のコンピュータ実装方法。
【０６１１】
実施例１０８：楕円面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例７１－１０４および１０７に記載のコンピュータ実装方法。
【０６１２】
実施例１０９：偏長楕円面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例７１－１０３および１０７に記載のコンピュータ実装方法。
【０６１３】
実施例１１０：球面表面を表す方程式および非球面表面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６１４】
実施例１１１：該ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラは、第１および第２の眼追跡カメラを備える、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。

【０６１５】
実施例１１２：ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１の方向が、該第１の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、決定され、
ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第２の方向が、該第２の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第２の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、決定される、
実施例１１１に記載のコンピュータ実装方法。
【０６１６】
実施例１１３：第１の方向は、
第１の眼追跡カメラ、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第１の平面を定義し、
第１の眼追跡カメラ、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第２の平面を定義し、
収束の領域が第１の方向に沿って延在する、第１の平面および第２の平面の収束の領域を決定する、
ことによって決定される、実施例１１２に記載のコンピュータ実装方法。
【０６１７】
実施例１１４：第２の方向は、
第２の眼追跡カメラ、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第３の平面を定義し、
第２の眼追跡カメラ、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第４の平面を定義し、
収束の領域が第２の方向に沿って延在する、第３の平面および第４の平面の収束の領域を決定する、
ことによって決定される、実施例１１３に記載のコンピュータ実装方法。
【０６１８】
実施例１１５：該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった該第１および第２の方向に基づいて決定される、実施例１１２－１１４に記載のコンピュータ実装方法。
【０６１９】
実施例１１６：第１の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第１の方向と、第２の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第２の方向とが、決定され、該第１および第２の方向は、ある領域に向かって収束する、実施例１１２－１１５に記載のコンピュータ実装方法。
【０６２０】
実施例１１７：ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値は、第１および第２の方向の収束に基づいて取得される、実施例１１２－１１６のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６２１】
実施例１１８：該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１および第２の方向の収束の領域を識別することによって推定される、実施例１１１－１１７のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６２２】
実施例１１９：ユーザの眼の回転中心の推定値が、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の決定に基づいて取得される、実施例１１１－１１８のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６２３】
実施例１２０：角膜曲率の中心を使用した非球面モデルの配向の推定値が、取得される

、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６２４】
実施例１２１：非球面モデルの配向の推定値が、第１および第２の眼追跡カメラによって取得される画像から決定される、角膜曲率の中心の推定値と、瞳孔中心を通して通過する、複数のベクトルの収束の推定値とに基づいて取得される、実施例１１１－１２０のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
【０６２５】
実施例１２２：該角膜曲率の中心を含む線に沿って中心を有する、非球面モデルの位置の推定値と、瞳孔中心を通して通過する、複数のベクトルの収束の推定値とが、取得される、実施例１２１に記載のコンピュータ実装方法。
【０６２６】
実施例１２３：三角測量方法が、該非球面モデルの位置を決定するために使用される、実施例１２１または１２２に記載のコンピュータ実装方法。
【０６２７】
実施例１２４：該ディスプレイは、表示される仮想画像コンテンツが異なる深度から生じるように現れるように、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のコンピュータ実装方法。
パート－Ｃ
【０６２８】
実施例１：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムであって、該眼は、角膜と、瞳孔とを有し、該ディスプレイシステムは、
ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、
フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、
ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、
複数の光エミッタと、
ディスプレイおよび１つ以上の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、
異なる光エミッタの閃光反射が１つ以上の追跡カメラによって捕捉された眼の画像内で観察可能である、１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、
少なくとも部分的に、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、ユーザの眼の第１のパラメータを推定する、
ように構成され、該処理電子機器は、該角膜の非球面モデルを数値計算において使用し、該ユーザの眼の第１のパラメータを推定する、処理電子機器と、
を備える、ディスプレイシステム。
【０６２９】
実施例２：該処理電子機器は、加えて、該角膜の球面モデルを数値計算において採用し、該第１のパラメータの値を推定する、実施例１に記載のディスプレイシステム。
【０６３０】
実施例３：該角膜の球面モデルは、数値計算において使用され、１つ以上の眼追跡カメラによって生産された、該画像内の閃光反射の場所と、１つ以上の追跡カメラの場所と、該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所とに基づいて、該第１のパラメータの値を決定する、実施例２に記載のディスプレイシステム。
【０６３１】
実施例４：該角膜の球面モデルから決定される、該第１のパラメータの推定値は、数値計算において該非球面モデルに適用され、該第１のパラメータの値を決定する、実施例２または３に記載のディスプレイシステム。
【０６３２】
実施例５：該処理電子機器は、反復プロセスを使用して、該第１のパラメータの推定値

を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６３３】
実施例６：該処理電子機器は、該推定値を使用して、該第１のパラメータを繰り返し評価し、該非球面モデルを使用して、該第１のパラメータの別の異なる推定値を再計算することを含む、反復プロセスを使用して、該第１のパラメータの推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６３４】
実施例７：該処理電子機器は、該推定値を使用して、該第１のパラメータの推定値を繰り返し評価し、該球面モデルおよび該非球面モデルを使用して、該第１のパラメータの別の異なる推定値を再計算する、反復プロセスを使用して、該第１のパラメータの推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６３５】
実施例８：該角膜の球面モデルから決定される、該第１のパラメータの推定値は、該非球面モデルに関する該第１のパラメータの値を推定するために数値計算において使用され、該第１のパラメータの値を決定する、実施例２または３に記載のディスプレイシステム。
【０６３６】
実施例９：該非球面モデルは、回転対称である、非球面表面を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６３７】
実施例１０：該非球面モデルは、回転楕円体を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６３８】
実施例１１：回転楕円体を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６３９】
実施例１２：該非球面モデルは、非回転対称である表面を備える、実施例１－８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６４０】
実施例１３：該非球面モデルは、２つの直交断面に沿って異なる曲率を有する、表面を備える、実施例１－８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６４１】
実施例１４：該非球面モデルは、水平方向に沿って、第１の曲率、垂直方向に沿って、第２の曲率を有し、該第２の曲率は、該第１の曲率と異なり、非球面モデルは、回転対称ではない、実施例１－８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６４２】
実施例１５：該非球面モデルは、楕円体を備える、実施例１－８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６４３】
実施例１６：該非球面モデルは、偏長楕円体を備える、実施例１－８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６４４】
実施例１７：非球面表面を表す方程式が、該第１のパラメータの値を決定するための該数値計算において使用される、実施例１－８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６４５】
実施例１８：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表面の形状を決定する、２つの定数とを含む、実施例１７に記載のディスプレイシステム。
【０６４６】
実施例１９：該方程式は、$X+Y+(1+Q)Z=2ZR$と同一またはそれに匹敵し、式中、Ｘ、Ｙ、およびＺは、該非球面表面上の位置を定義し、ＱおよびＲは、非球面表面の形状を決定する、実施例１７または１８に記載のディスプレイシステム。

【０６４７】
実施例２０：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表面の形状を決定する、３つの定数とを含む、実施例１７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６４８】
実施例２１：楕円面を表す方程式が、該第１のパラメータの値を決定するための数値計算において使用される、実施例１－１７および２０のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６４９】
実施例２２：偏長楕円面を表す方程式が、該第１のパラメータの値を決定するための数値計算において使用される、実施例１－１７および２０のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６５０】
実施例２３：球面表面を表す方程式および非球面表面を表す方程式が、該第１のパラメータの値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６５１】
実施例２４：該ディスプレイは、表示される仮想画像コンテンツが異なる深度から生じるように現れるように、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６５２】
実施例２５：該ディスプレイは、表示される仮想画像コンテンツが異なる深度から生じるように現れるように、異なる量の発散のうちの少なくとも１つにおいて、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６５３】
実施例２６：該ディスプレイは、発散する、光を該ユーザの眼の中に投影し、異なる深度から生じるように現れる、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するようにコリメートされる、光を該ユーザの眼の中に投影するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６５４】
実施例２７：該電子プロセッサは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６５５】
実施例２８：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツ該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステム内に、仮想画像コンテンツをレンダリングするために、眼と関連付けられる、１つ以上のパラメータを決定する方法であって、該眼は、角膜を有し、
ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、該眼に対して配置され、閃光をその上に形成する、複数の光エミッタとを用いて、ユーザの眼の複数の画像を捕捉することであって、該画像は、複数の異なる光エミッタの閃光反射を備える、ことと、
１つ以上の眼追跡カメラによって生産された、該画像内の閃光反射の場所に基づいて、ユーザの眼の第１のパラメータを推定することと、
を含み、該角膜の非球面モデルは、数値計算において使用され、該ユーザの眼の第１のパラメータの場所を推定する、方法。
【０６５６】
実施例２９：球面モデルおよび非球面モデルの両方が、該第１のパラメータの値を決定

する際に使用される、実施例２８に記載の方法。
【０６５７】
実施例３０：球面モデルおよび非球面モデルの両方が、該第１のパラメータの値を決定するための数値計算において使用される、実施例２８に記載の方法。
【０６５８】
実施例３１：該非球面モデルは、回転対称である、実施例２８－３０のいずれかに記載の方法。
【０６５９】
実施例３２：該非球面モデルは、回転楕円体を備える、実施例２８－３１のいずれかに記載の方法。
【０６６０】
実施例３３：該非球面モデルは、非回転対称である、実施例２８－３０のいずれかに記載の方法。
【０６６１】
実施例３４：該非球面モデルは、２つの直交断面に沿って、異なる曲率を有する、実施例２８－３０または３３のいずれかに記載の方法。
【０６６２】
実施例３５：該非球面モデルは、水平方向に沿って、第１の曲率、垂直方向に沿って、第２の曲率を有し、該第２の曲率は、該第１の曲率と異なり、非球面モデルは、回転対称ではない、実施例２８－３０または３３のいずれかに記載の方法。
【０６６３】
実施例３６：該非球面モデルは、楕円体を備える、実施例２８－３０または３１－３５のいずれかに記載の方法。
【０６６４】
実施例３７：該非球面モデルは、偏長楕円体を備える、実施例２８－３０または３１－３５のいずれかに記載の方法。
【０６６５】
実施例３８：該第１のパラメータを推定することは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の第１のパラメータを推定することを含む、実施例２８－３７のいずれかに記載の方法。
【０６６６】
実施例３９：該電子プロセッサは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の第１のパラメータの値を推定するように構成される、実施例２８－３８のいずれかに記載の方法。
【０６６７】
実施例４０：第１のパラメータは、該角膜曲率の中心の場所を備える、上記実施例のいずれかに記載の方法。
【０６６８】
実施例４１：第１のパラメータは、眼の位置および／または配向と関連付けられる、パラメータを備える、上記実施例のいずれかに記載の方法。
【０６６９】
実施例４２：第１のパラメータは、眼の位置を伴う、パラメータを備える、上記実施例のいずれかに記載の方法。
【０６７０】
実施例４３：第１のパラメータは、眼の位置に依存する、パラメータを備える、上記実施例のいずれかに記載の方法。
【０６７１】
実施例４４：第１のパラメータは、眼の位置を決定するために使用され得る、パラメー

タを備える、上記実施例のいずれかに記載の方法。
【０６７２】
実施例４５：第１のパラメータは、眼の位置および／または配向と関連付けられる、パラメータを備える、実施例１－２７のいずれかに記載のディスプレイ。
【０６７３】
実施例４６：実施例１－２７のいずれかに記載のディスプレイ第１のパラメータは、眼の位置と関連付けられる、パラメータを備える。
【０６７４】
実施例４７：第１のパラメータは、眼の位置に依存する、パラメータを備える、実施例１－２７のいずれかに記載のディスプレイ。
【０６７５】
実施例４８：第１のパラメータは、眼の位置を決定するために使用され得る、パラメータを備える、実施例１－２７のいずれかに記載のディスプレイ。
【０６７６】
実施例４９：第１のパラメータは、該角膜曲率の中心の場所を備える、実施例１－２７のいずれかに記載のディスプレイ。
【０６７７】
実施例５０：該処理電子機器はさらに、少なくとも１回の反復に基づいて、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６７８】
実施例５１：該処理電子機器はさらに、少なくとも１回の反復に基づいて、該非球面モデルの形状を特性評価する、定数を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６７９】
実施例５２：該処理電子機器はさらに、少なくとも１回の反復に基づいて、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、定数を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６８０】
実施例５３：該処理電子機器はさらに、少なくとも１回の反復に基づいて、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、Ｑの値を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６８１】
実施例５４：該処理電子機器はさらに、複数回の反復にわたって、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６８２】
実施例５５：該処理電子機器はさらに、複数回の反復にわたって、該非球面モデルの形状を特性評価する、定数を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６８３】
実施例５６：該処理電子機器はさらに、複数回の反復にわたって、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、定数を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６８４】
実施例５７：該処理電子機器はさらに、複数回の反復にわたって、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、Ｑの値を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０６８５】
実施例５８：該処理電子機器はさらに、回転中心の計算される値における変動、不確実

性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６８６】

実施例５９：該処理電子機器はさらに、異なる眼視線に関する回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６８７】

実施例６０：該処理電子機器はさらに、較正プロセスの間、異なる眼視線に関する回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６８８】

実施例６１：該処理電子機器はさらに、較正プロセスの間、異なる眼視線に関する回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを更新するように構成され、固定標的が、ユーザの視線を改変するために、該ディスプレイ上で視認者に提供される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６８９】

実施例６２：該処理電子機器はさらに、付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９０】

実施例６３：該処理電子機器はさらに、ユーザの眼のパラメータを決定するための付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９１】

実施例６４：該処理電子機器はさらに、ユーザの眼の角膜中心を決定するための付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９２】

実施例６５：該処理電子機器はさらに、ユーザの眼の角膜中心を決定するための付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９３】

実施例６６：該処理電子機器はさらに、ユーザの眼の回転中心を決定するための付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９４】

実施例６７：該少なくとも１つの眼追跡カメラは、ユーザの眼を結像するように構成される、第１、第２、および第３の眼追跡カメラを備え、該処理電子機器は、該第１、第２、および第３の眼追跡カメラと通信し、光エミッタの閃光反射は、第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって捕捉された眼の画像内で観察可能である、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９５】

実施例６８：該処理電子機器は、該第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、該ユーザの眼の第１のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９６】

実施例６９：該処理電子機器は、該第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ該第１、第２、および第３の眼追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の第１のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９７】

実施例７０：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとに基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９８】

実施例７１：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとに基づいて、該ユーザの眼のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０６９９】

実施例７２：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとの平均に基づいて、該ユーザの眼の第１のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７００】

実施例７３：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとの平均に基づいて、該ユーザの眼の第１のパラメータを推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７０１】

実施例７４：該第１のパラメータ該処理電子機器は、角膜中心を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７０２】

実施例７５：該ユーザの眼の角膜中心は、ユーザの眼の角膜曲率の中心を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７０３】

実施例７６：該ユーザの眼の角膜中心は、ユーザの眼の角膜の角膜頂点曲率の中心を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７０４】

実施例７７：該第１のパラメータ該処理電子機器は、眼の回転中心を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７０５】

実施例７８：該処理電子機器はさらに、複数の１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を使用して、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、ユーザ特有のパラメータの値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７０６】

実施例７９：該ユーザ特有のパラメータの値は、該ユーザの眼と関連付けられる、実施例７８に記載のディスプレイシステム。

【０７０７】

実施例８０：ユーザの眼の該複数の画像の異なる画像は、個別の標的場所と関連付けられる、異なる視線方向において捕捉され、標的場所は、ディスプレイシステムによって決定され、標的場所は、ユーザの眼の該複数の画像の異なる画像に関して異なる、実施例７８に記載のディスプレイシステム。

【０７０８】

実施例８１：ユーザの眼の該複数の画像の異なる対の画像は、個別の標的場所と関連付けられる、異なる視線方向において捕捉され、標的場所は、ディスプレイシステムによって決定され、標的場所は、ユーザの眼の該複数の画像の異なる対の画像に関して異なる、実施例７８に記載のディスプレイシステム。

【０７０９】

実施例８２：処理電子機器は、反復プロセスに基づいて、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該ユーザ特有のパラメータの値を決定し、反復は、
少なくとも部分的に、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータの値に基づいて、ユーザの眼の複数の回転中心を推定することと、
推定されるユーザの眼の複数の回転中心と関連付けられる、統計的メトリックの値を計算することと、
少なくとも部分的に、計算された統計的メトリックに基づいて、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該パラメータの修正された値を生成することと、
を含む、実施例８０または８１のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７１０】

実施例８３：該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータの値は、前の反復において生成された、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該パラメータの修正された値である、実施例８２に記載のディスプレイシステム。

【０７１１】

実施例８４：反復プロセスの第１の反復内で使用される、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータの値は、眼モデルによって決定された初期値である、実施例８２に記載のディスプレイシステム。

【０７１２】

実施例８５：眼モデルは、Ａｒｉｚｏｎａ眼モデルであって、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータの初期値は、－０．２６である、実施例８４に記載のディスプレイシステム。

【０７１３】

実施例８６：該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該パラメータの修正された値は、統計的メトリックの値を低減させる、実施例８２に記載のディスプレイシステム。

【０７１４】

実施例８７：統計的メトリックは、複数の回転中心の統計的分布の変動を備える、実施例８６に記載のディスプレイシステム。

【０７１５】

実施例８８：統計的メトリックは、分散または標準偏差を備える、実施例８７に記載のディスプレイシステム。

【０７１６】

実施例８９：複数のユーザの眼の回転中心は、少なくとも部分的に、該非球面モデルと、１つ以上の追跡カメラの場所と、該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所とに基づいて、推定される、実施例８２に記載のディスプレイシステム。

【０７１７】

実施例９０：第１のパラメータは、角膜中心の場所を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイ。

【０７１８】

実施例９１：第１のパラメータは、角膜中心の場所を備える、上記実施例のいずれかに記載の方法。

【０７１９】
実施例９２：第１のパラメータは、眼の回転中心の場所を備える、上記実施例のいずれかに記載の方法。
パート－Ｄ
【０７２０】
実施例１：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムであって、該眼は、角膜と、瞳孔とを有し、該ディスプレイシステムは、
ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、
フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、
ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、
複数の光エミッタと、
ディスプレイおよび１つ以上の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、
異なる光エミッタの閃光反射が１つ以上の追跡カメラによって捕捉された眼の画像内で観察可能である、１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、
少なくとも部分的に、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定する、
ように構成され、該処理電子機器は、該角膜の非球面モデルを数値計算において使用し、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の該場所を推定する、処理電子機器と、
を備える、ディスプレイシステム。
【０７２１】
実施例２：該処理電子機器は、加えて、該角膜の球面モデルを数値計算において採用し、該角膜曲率の中心の値を推定する、実施例１に記載のディスプレイシステム。
【０７２２】
実施例３：該角膜の球面モデルは、数値計算において使用され、１つ以上の眼追跡カメラによって生産された、該画像内の閃光反射の場所と、１つ以上の追跡カメラの場所と、該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所とに基づいて、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例２に記載のディスプレイシステム。
【０７２３】
実施例４：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜曲率の中心の推定値は、数値計算において該非球面モデルに適用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例２または３に記載のディスプレイシステム。
【０７２４】
実施例５：該処理電子機器は、反復プロセスを使用して、該角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７２５】
実施例６：該処理電子機器は、該推定値を使用して、該曲率の中心の推定値を繰り返し評価し、該非球面モデルを使用して、該曲率の中心の別の異なる推定値を再計算することを含む、反復プロセスを使用して、該角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７２６】
実施例７：該処理電子機器は、該推定値を使用して、該曲率の中心の推定値を繰り返し評価し、該球面モデルおよび該非球面モデルを使用して、該曲率の中心の別の異なる推定値を再計算する、反復プロセスを使用して、該角膜曲率の中心の推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７２７】
実施例８：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜曲率の中心の推定値は、数値計算における該非球面モデルの適用のために、非球面表面の曲率の中心を推定するために使用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例２または３に記載のディスプレイシス

テム。
【０７２８】
実施例９：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜曲率の中心の推定値は、数値計算における該非球面モデルの適用のために、非球面表面の配向を推定するために使用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例２、３、または８に記載のディスプレイシステム。
【０７２９】
実施例１０：該眼の回転中心または該眼に関する瞳孔中心は、推定および数値計算における該非球面モデルの適用のために、非球面表面の配向を推定するために使用され、該角膜曲率の中心の値を決定する、実施例１－９に記載のディスプレイシステム。
【０７３０】
実施例１１：該非球面モデルは、光源の場所に基づいて、複数の閃光の場所を予測するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７３１】
実施例１２：該非球面モデルは、光源の場所に基づいて、複数の閃光の場所を予測するために使用される、実施例２、３、または８－１０に記載のディスプレイシステム。
【０７３２】
実施例１３：該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所は、球面表面の曲率中心を決定するために使用される、実施例１２に記載のディスプレイシステム。
【０７３３】
実施例１４：該処理電子機器は、該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所に基づいて、球面表面の曲率の中心を決定するように構成される、実施例１３に記載のディスプレイシステム。
【０７３４】
実施例１５：該処理電子機器は、該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所に基づいて決定される、該球面表面の曲率の中心と、該非球面表面の曲率の中心を決定するために使用された、該球面モデルを使用して決定された、該曲率の中心を比較するように構成される、実施例１４に記載のディスプレイシステム。
【０７３５】
実施例１６：該処理電子機器は、２つの球面表面に関する２つの曲率の中心間の比較を使用して、該非球面表面の曲率の更新された中心を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７３６】
実施例１７：該処理電子機器は、該球面表面のうちの１つが非球面モデルに基づいて決定される、球面モデルの適用から取得される２つの球面表面の曲率の２つの中心間の比較を使用して、該非球面表面の更新された曲率の中心を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７３７】
実施例１８：該処理電子機器は、該比較を使用して、該非球面表面の更新された曲率の中心を決定するように構成される、実施例１５に記載のディスプレイシステム。
【０７３８】
実施例１９：該処理電子機器は、球面モデルを使用して、非球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７３９】
実施例２０：該処理電子機器は、非球面モデルを使用して、球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７４０】
実施例２１：該処理電子機器は、非球面モデルを使用して、球面表面の１つ以上のパラ

メータを決定し、非球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７４１】

実施例２２：該処理電子機器は、該非球面モデルの適用のために、該非球面表面の更新された曲率の中心を使用して、該非球面表面の曲率の中心をさらに更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７４２】

実施例２３：該処理電子機器は、非球面モデルの適用のために、該非球面表面の更新された曲率の中心を使用して、球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７４３】

実施例２４：該処理電子機器は、球面モデルの適用のために、該非球面表面の更新された曲率の中心を使用して、球面表面の１つ以上のパラメータを決定して、該非球面表面の曲率の中心をさらに更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７４４】

実施例２５：該処理電子機器は、該更新された非球面表面に基づいて決定される、球面表面の１つ以上のパラメータと、別の球面表面の１つ以上のパラメータの比較を使用して、該非球面表面の１つ以上のパラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７４５】

実施例２６：該非球面モデルは、回転対称である、非球面表面を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７４６】

実施例２７：該非球面モデルは、回転楕円体を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７４７】

実施例２８：回転楕円体を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７４８】

実施例２９：該非球面モデルは、非回転対称である表面を備える、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７４９】

実施例３０：該非球面モデルは、２つの直交断面に沿って異なる曲率を有する、表面を備える、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７５０】

実施例３１：該非球面モデルは、水平方向に沿って、第１の曲率、垂直方向に沿って、第２の曲率を有し、該第２の曲率は、該第１の曲率と異なり、非球面モデルは、回転対称ではない、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７５１】

実施例３２：該非球面モデルは、楕円体を備える、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７５２】

実施例３３：該非球面モデルは、偏長楕円体を備える、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７５３】

実施例３４：非球面表面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための該数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７５４】

実施例３５：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表

面の形状を決定する、２つの定数とを含む、実施例３４に記載のディスプレイシステム。
【０７５５】
実施例３６：該方程式は、Ｘ＋Ｙ＋（１＋Ｑ）Ｚ＝２ＺＲと同一またはそれに匹敵し、式中、Ｘ、Ｙ、およびＺは、該非球面表面上の位置を定義し、ＱおよびＲは、非球面表面の形状を決定する、実施例３４または３５に記載のディスプレイシステム。
【０７５６】
実施例３７：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表面の形状を決定する、３つの定数とを含む、実施例３４に記載のディスプレイシステム。
【０７５７】
実施例３８：楕円面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例１－３４および３７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７５８】
実施例３９：偏長楕円面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例１－３３および３７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７５９】
実施例４０：球面表面を表す方程式および非球面表面を表す方程式が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７６０】
実施例４１：該ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラは、第１および第２の眼追跡カメラを備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７６１】
実施例４２：該処理電子機器は、
該第１の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１の方向を決定し、
該第２の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第２の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第２の方向を決定する、
ように構成される、実施例４１に記載のディスプレイシステム。
【０７６２】
実施例４３：該処理電子機器は、
第１の眼追跡カメラ、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第１の平面を定義し、
第１の眼追跡カメラ、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第２の平面を定義し、
収束の領域が第１の方向に沿って延在する、第１の平面および第２の平面の収束の領域を決定する、
ことによって、第１の方向を決定するように構成される、実施例４２に記載のディスプレイシステム。
【０７６３】
実施例４４：該処理電子機器は、
第２の眼追跡カメラ、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第３の平面を定義し、
第２の眼追跡カメラ、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第４の平面を定義し、
収束の領域が第２の方向に沿って延在する、第３の平面および第４の平面の収束の領域を

決定する、
ことによって、第２の方向を決定するように構成される、実施例４３に記載のディスプレイシステム。
【０７６４】
実施例４５：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった該第１および第２の方向に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、実施例４２－４４のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７６５】
実施例４６：該処理電子機器は、
第１の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、該第１の方向を決定し、
第２の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜曲率の中心が位置すると推定される、
ように構成され、該第２の方向を決定する、該第１および第２の方向は、ある領域に向かって収束する、
実施例４２－４５のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７６６】
実施例４７：該処理電子機器は、
第１および第２の方向の収束に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心の推定値を取得するように構成される、
実施例４２－４６のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７６７】
実施例４８：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１および第２の方向の収束の領域を識別することによって、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、実施例４１－４７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７６８】
実施例４９：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜曲率の中心の複数の決定に基づいて、ユーザの眼の回転中心の推定値を取得するように構成される、実施例４１－４８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７６９】
実施例５０：該処理電子機器は、角膜曲率の中心を使用して、非球面モデルの適用のために、非球面表面の配向の推定値を取得するように構成される、上記の実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７７０】
実施例５１：該処理電子機器は、第１および第２の眼追跡カメラによって取得される画像から決定される、角膜曲率の中心の推定値と、瞳孔中心を通して通過する、複数のベクトルの収束の推定値とに基づいて、非球面モデルの適用のために、非球面表面の配向の推定値を取得するように構成される、実施例４１－５０のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７７１】
実施例５２：該処理電子機器は、該角膜曲率の中心を含む、線に沿った中心を有する、非球面モデルの適用のための非球面表面の位置の推定値と、瞳孔中心を通して通過する、複数のベクトルの収束の推定値とを取得するように構成される、実施例５１に記載のディスプレイシステム。
【０７７２】
実施例５３：該処理電子機器は、三角測量を使用して、該非球面表面の位置を決定するように構成される、実施例５１または５２に記載のディスプレイシステム。
【０７７３】
実施例５４：該ディスプレイは、表示される仮想画像コンテンツが異なる深度から生じるように現れるように、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの

視野に表示するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７７４】
実施例５５：該ディスプレイは、表示される仮想画像コンテンツが異なる深度から生じるように現れるように、異なる量の発散のうちの少なくとも１つにおいて、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７７５】
実施例５６：該ディスプレイは、発散する、光を該ユーザの眼の中に投影し、異なる深度から生じるように現れる、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するようにコリメートされる、光を該ユーザの眼の中に投影するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７７６】
実施例５７：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツ該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステム内に、仮想画像コンテンツをレンダリングするために、眼と関連付けられる、１つ以上のパラメータを決定する方法であって、該眼は、角膜を有し、
ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、該眼に対して配置され、閃光をその上に形成する、複数の光エミッタとを用いて、ユーザの眼の複数の画像を捕捉することであって、該画像は、複数の異なる光エミッタの閃光反射を備える、ことと、
１つ以上の眼追跡カメラによって生産された、該画像内の閃光反射の場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定することと、
を含み、該角膜の非球面モデルは、数値計算において使用され、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の該場所を推定する、
方法。
【０７７７】
実施例５８：球面モデルおよび非球面モデルの両方が、該角膜曲率の中心の値を決定する際に使用される、実施例５７に記載の方法。
【０７７８】
実施例５９：球面モデルおよび非球面モデルの両方が、該角膜曲率の中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例５７に記載の方法。
【０７７９】
実施例６０：該非球面モデルは、回転対称である、実施例５７－５９のいずれかに記載の方法。
【０７８０】
実施例６１：該非球面モデルは、回転楕円体を備える、実施例５７－６０のいずれかに記載の方法。
【０７８１】
実施例６２：該非球面モデルは、非回転対称である、実施例５７－５９のいずれかに記載の方法。
【０７８２】
実施例６３：該非球面モデルは、２つの直交断面に沿って、異なる曲率を有する、実施例５７－５９または６２のいずれかに記載の方法。
【０７８３】
実施例６４：該非球面モデルは、水平方向に沿って、第１の曲率、垂直方向に沿って、第２の曲率を有し、該第２の曲率は、該第１の曲率と異なり、非球面モデルは、回転対称ではない、実施例５７－５９または６２のいずれかに記載の方法。
【０７８４】
実施例６５：該非球面モデルは、楕円体を備える、実施例５７－５９または６２－６４のいずれかに記載の方法。

【０７８５】
実施例６６：該非球面モデルは、偏長楕円体を備える、実施例５７－５９または６２－６４のいずれかに記載の方法。
【０７８６】
実施例６７：該角膜曲率の中心の場所を推定することは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定することを含む、実施例５６－６６のいずれかに記載の方法。
【０７８７】
実施例６８：該処理電子機器は、球面表面の２つの曲率の中心間の比較を使用して、更新された非球面表面の曲率の中心を決定するように構成される、実施例５６－６６に記載のディスプレイシステム。
【０７８８】
実施例６９：該電子プロセッサは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、実施例１－５６のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０７８９】
実施例７０：該電子プロセッサは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜曲率の中心の場所を推定するように構成される、実施例４１－６４のいずれかに記載の方法。
パート－Ｅ
【０７９０】
実施例１：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツを該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステムであって、該眼は、角膜と、瞳孔とを有し、該ディスプレイシステムは、
ユーザの頭部上に支持されるように構成される、フレームと、
フレーム上に配置される、頭部搭載型ディスプレイであって、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、ディスプレイと、
ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、
複数の光エミッタと、
ディスプレイおよび１つ以上の眼追跡カメラと通信する、処理電子機器であって、
異なる光エミッタの閃光反射が１つ以上の追跡カメラによって捕捉された眼の画像内で観察可能である、１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を受信し、
少なくとも部分的に、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定する、
ように構成され、該処理電子機器は、該角膜の非球面モデルを数値計算において使用し、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定する、処理電子機器と、
を備える、ディスプレイシステム。
【０７９１】
実施例２：該処理電子機器は、加えて、該角膜の球面モデルを数値計算において採用し、該角膜中心の値を推定する、実施例１に記載のディスプレイシステム。
【０７９２】
実施例３：該角膜の球面モデルは、数値計算において使用され、１つ以上の眼追跡カメラによって生産された、該画像内の閃光反射の場所と、１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所とに基づいて、該角膜中心の値を決定する、実施例２に記載のディスプレイシステム。
【０７９３】
実施例４：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜中心の推定値は、数値計算にお

いて該非球面モデルに適用され、該角膜中心の値を決定する、実施例２または３に記載のディスプレイシステム。

【０７９４】

実施例５：該処理電子機器は、反復プロセスを使用して、該角膜中心の推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７９５】

実施例６：該処理電子機器は、該推定値を使用して、該角膜中心の推定値を繰り返し評価し、該非球面モデルを使用して、該角膜中心の別の異なる推定値を再計算することを含む、反復プロセスを使用して、該角膜中心の推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７９６】

実施例７：該処理電子機器は、該推定値を使用して、該角膜中心の推定値を繰り返し評価し、該球面モデルおよび該非球面モデルを使用して、該角膜中心の別の異なる推定値を再計算する、反復プロセスを使用して、該角膜中心の推定値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０７９７】

実施例８：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜中心の推定値は、数値計算における該非球面モデルの適用のために、非球面表面の角膜中心を推定するために使用され、該角膜中心の値を決定する、実施例２または３に記載のディスプレイシステム。

【０７９８】

実施例９：該角膜の球面モデルから決定される、該角膜中心の推定値は、数値計算における該非球面モデルの適用のために、非球面表面の配向を推定するために使用され、該角膜中心の値を決定する、実施例２、３、または８に記載のディスプレイシステム。

【０７９９】

実施例１０：該眼の回転中心または該眼に関する瞳孔中心は、数値計算における該非球面モデルの適用のために、非球面表面の配向を推定するために推定および使用され、該角膜中心の値を決定する、実施例１－９に記載のディスプレイシステム。

【０８００】

実施例１１：該非球面モデルは、光エミッタの場所に基づいて、複数の閃光の場所を予測するために使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８０１】

実施例１２：該非球面モデルは、光エミッタの場所に基づいて、複数の閃光の場所を予測するために使用される、実施例２、３、または８－１０に記載のディスプレイシステム。

【０８０２】

実施例１３：該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所は、球面表面の曲率の中心を決定するために使用される、実施例１２に記載のディスプレイシステム。

【０８０３】

実施例１４：該処理電子機器は、該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所に基づいて、球面表面の曲率の中心を決定するように構成される、実施例１３に記載のディスプレイシステム。

【０８０４】

実施例１５：該処理電子機器は、該非球面モデルに基づいて予測される、該閃光の場所に基づいて決定される、該球面表面の曲率の中心と、該非球面表面の中心を決定するために使用された該球面モデルを使用して決定される、該曲率の中心を比較するように構成される、実施例１４に記載のディスプレイシステム。

【０８０５】

実施例１６：該処理電子機器は、２つの球面表面に関する２つの曲率の中心間の比較を使用して、更新された該非球面表面の中心を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８０６】

実施例１７：該処理電子機器は、該球面表面のうちの１つが非球面モデルに基づいて決定される、球面モデルの適用から取得される２つの球面表面の２つの曲率中心間の比較を使用して、更新された該非球面表面の中心を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８０７】

実施例１８：該処理電子機器は、該比較を使用して、更新された該非球面表面の中心を決定するように構成される、実施例１５に記載のディスプレイシステム。

【０８０８】

実施例１９：該処理電子機器は、球面モデルを使用して、非球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８０９】

実施例２０：該処理電子機器は、非球面モデルを使用して、球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１０】

実施例２１：該処理電子機器は、非球面モデルを使用して、球面表面の１つ以上のパラメータを決定し、非球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１１】

実施例２２：該処理電子機器は、該非球面モデルの適用のために、該更新された該非球面表面の中心を使用して、該非球面表面の中心をさらに更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１２】

実施例２３：該処理電子機器は、非球面モデルの適用のために、該更新された該非球面表面の中心を使用して、球面表面の１つ以上のパラメータを決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１３】

実施例２４：該処理電子機器は、球面モデルの適用のために、該更新された該非球面表面の中心を使用して、球面表面の１つ以上のパラメータを決定し、該非球面表面の中心をさらに更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１４】

実施例２５：該処理電子機器は、該更新された非球面表面に基づいて決定される、球面表面の１つ以上のパラメータと、別の球面表面の１つ以上のパラメータの比較を使用して、該非球面表面の１つ以上のパラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１５】

実施例２６：該非球面モデルは、回転対称である、非球面表面を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１６】

実施例２７：該非球面モデルは、回転楕円体を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１７】

実施例２８：回転楕円体を表す方程式が、該角膜の角膜中心の値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１８】

実施例２９：該非球面モデルは、非回転対称である表面を備える、実施例１－２５のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８１９】

実施例３０：該非球面モデルは、２つの直交断面に沿って異なる曲率を有する、表面を

備える、実施例１－２５または２９のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８２０】
実施例３１：該非球面モデルは、水平方向に沿って、第１の曲率、垂直方向に沿って、第２の曲率を有し、該第２の曲率は、該第１の曲率と異なり、非球面モデルは、回転対称ではない、実施例１－２５、２９、または３０のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８２１】
実施例３２：該非球面モデルは、楕円体を備える、実施例１－２５または２９－３１のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８２２】
実施例３３：該非球面モデルは、偏長楕円体を備える、実施例１－２５または２９－３２のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８２３】
実施例３４：非球面表面を表す方程式が、該角膜の角膜中心の値を決定するための該数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８２４】
実施例３５：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表面の形状を決定する、２つの定数とを含む、実施例３４に記載のディスプレイシステム。
【０８２５】
実施例３６：該方程式は、Ｘ＋Ｙ＋（１＋Ｑ）Ｚ＝２ＺＲと同一またはそれに匹敵し、式中、Ｘ、Ｙ、およびＺは、該非球面表面上の位置を定義し、ＱおよびＲは、非球面表面の形状を決定する、実施例３４または３５に記載のディスプレイシステム。
【０８２６】
実施例３７：該方程式は、該非球面表面上の位置を定義する、３つの変数と、非球面表面の形状を決定する、３つの定数とを含む、実施例３４のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８２７】
実施例３８：楕円面を表す方程式が、該角膜の角膜中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例１－３４および３７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８２８】
実施例３９：偏長楕円面を表す方程式が、該角膜の角膜中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例１－３３および３７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８２９】
実施例４０：球面表面を表す方程式および非球面表面を表す方程式が、該角膜の角膜中心の値を決定するための数値計算において使用される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８３０】
実施例４１：該ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラは、第１および第２の眼追跡カメラを備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８３１】
実施例４２：該処理電子機器は、
該第１の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第１の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜曲率の中心に向かった第１の方向を決定し、
該第２の眼追跡カメラによって生産された１つ以上の画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ第２の眼追跡カメラの場所および該閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心に向かった第２の方向を決定する、
ように構成される、実施例４１に記載のディスプレイシステム。

【０８３２】
実施例４３：該処理電子機器は、
第１の眼追跡カメラ、第１の閃光反射の場所、および該第１の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第１の平面を定義し、
第１の眼追跡カメラ、第２の閃光反射の場所、および該第２の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第２の平面を定義し、
収束の領域が第１の方向に沿って延在する、第１の平面および第２の平面の収束の領域を決定する、
ことによって、第１の方向を決定するように構成される、実施例４２に記載のディスプレイシステム。
【０８３３】
実施例４４：該処理電子機器は、
第２の眼追跡カメラ、第３の閃光反射の場所、および該第３の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第３の平面を定義し、
第２の眼追跡カメラ、第４の閃光反射の場所、および該第４の閃光反射に対応する、光エミッタの場所を含む、第４の平面を定義し、
収束の領域が第２の方向に沿って延在する、第３の平面および第４の平面の収束の領域を決定する、
ことによって、第２の方向を決定するように構成される、実施例４３に記載のディスプレイシステム。
【０８３４】
実施例４５：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜中心に向かった該第１および第２の方向に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、実施例４２－４４のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８３５】
実施例４６：該処理電子機器は、
第１の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第１の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜中心が位置すると推定される、該第１の方向を決定し、
第２の眼追跡カメラから受信された少なくとも１つの第２の画像に基づいて、それに沿ってユーザの眼の角膜中心が位置すると推定される、該第２の方向を決定するように構成され、
該第１および第２の方向は、ある領域に向かって収束する、
実施例４２－４５のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８３６】
実施例４７：該処理電子機器は、
第１および第２の方向の収束に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の推定値を取得するように構成される、
実施例４２－４６のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８３７】
実施例４８：該処理電子機器は、ユーザの眼の角膜中心に向かった第１および第２の方向の収束の領域を識別することによって、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、実施例４１－４７のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８３８】
実施例４９：該処理電子機器は、異なる眼姿勢に関するユーザの眼の角膜中心の複数の決定に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の推定値を取得するように構成される、実施例４１－４８のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８３９】
実施例５０：該処理電子機器は、角膜中心を使用して、非球面モデルの適用のための非球面表面の配向の推定値を取得するように構成される、上記の実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８４０】
実施例５１：該処理電子機器は、第１および第２の眼追跡カメラによって取得される画像から決定される、角膜中心の推定値と、瞳孔中心を通して通過する、複数のベクトルの収束の推定値とに基づいて、非球面モデルの適用のための非球面表面の配向の推定値を取得するように構成される、実施例４１－５０のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８４１】
実施例５２：該処理電子機器は、該角膜中心を含む線に沿った中心を有する、非球面モデルの適用のための非球面表面の位置の推定値と、瞳孔中心を通して通過する、複数のベクトルの収束の推定値とを取得するように構成される、実施例５１に記載のディスプレイシステム。
【０８４２】
実施例５３：該処理電子機器は、三角測量を使用して、該非球面表面の位置を決定するように構成される、実施例５１または５２に記載のディスプレイシステム。
【０８４３】
実施例５４：該ディスプレイは、表示される仮想画像コンテンツが異なる深度から生じるように現れるように、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８４４】
実施例５５：該ディスプレイは、表示される仮想画像コンテンツが異なる深度から生じるように現れるように、異なる量の発散のうちの少なくとも１つにおいて、光を該ユーザの眼の中に投影し、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８４５】
実施例５６：該ディスプレイは、発散する、光を該ユーザの眼の中に投影し、異なる深度から生じるように現れる、仮想画像コンテンツをユーザの視野に表示するようにコリメートされる、光を該ユーザの眼の中に投影するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８４６】
実施例５７：光をユーザの眼に投影し、仮想画像コンテンツ該ユーザの視野内に表示するように構成される、ディスプレイシステム内に、仮想画像コンテンツをレンダリングするために、眼と関連付けられる、１つ以上のパラメータを決定する方法であって、該眼は、角膜を有し、
ユーザの眼を結像するように構成される、１つ以上の眼追跡カメラと、該眼に対して配置され、閃光をその上に形成する、複数の光エミッタとを用いて、ユーザの眼の複数の画像を捕捉することであって、該画像は、複数の異なる光エミッタの閃光反射を備える、ことと、
１つ以上の眼追跡カメラによって生産された、該画像内の閃光反射の場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定することと、
【０８４７】
を含み、該角膜の非球面モデルは、数値計算において使用され、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定する、方法。
【０８４８】
実施例５８：球面モデルおよび非球面モデルの両方が、際に使用される該角膜中心の値を決定する、実施例５７に記載の方法。
【０８４９】
実施例５９：球面モデルおよび非球面モデルの両方が、該角膜中心の値を決定するための数値計算において使用される、実施例５７に記載の方法。
【０８５０】
実施例６０：該非球面モデルは、回転対称である、実施例５７－５９のいずれかに記載の方法。

【０８５１】
実施例６１：該非球面モデルは、回転楕円体を備える、実施例５７－６０のいずれかに記載の方法。
【０８５２】
実施例６２：該非球面モデルは、非回転対称である、実施例５７－５９のいずれかに記載の方法。
【０８５３】
実施例６３：該非球面モデルは、２つの直交断面に沿って、異なる曲率を有する、実施例５７－５９または６２のいずれかに記載の方法。
【０８５４】
実施例６４：該非球面モデルは、水平方向に沿って、第１の曲率、垂直方向に沿って、第２の曲率を有し、該第２の曲率は、該第１の曲率と異なり、非球面モデルは、回転対称ではない、実施例５７－５９または６２のいずれかに記載の方法。
【０８５５】
実施例６５：該非球面モデルは、楕円体を備える、実施例５７－５９または６２－６４のいずれかに記載の方法。
【０８５６】
実施例６６：該非球面モデルは、偏長楕円体を備える、実施例５７－５９または６２－６４のいずれかに記載の方法。
【０８５７】
実施例６７：該角膜中心の場所を推定することは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定することを含む、実施例５６－６６のいずれかに記載の方法。
【０８５８】
実施例６８：実該処理電子機器は、球面表面の２つの曲率の中心間の比較を使用して、更新された非球面表面の中心を決定するように構成される、施例５６－６６に記載のディスプレイシステム。
【０８５９】
実施例６９：該電子プロセッサは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜の角膜中心の場所を推定するように構成される、実施例１－５６のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８６０】
実施例７０：該電子プロセッサは、該１つ以上の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ１つ以上の追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、ユーザの眼の角膜中心の場所を推定するように構成される、実施例４１－６４のいずれかに記載の方法。
【０８６１】
実施例７１：該処理電子機器はさらに、少なくとも１回の反復に基づいて、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８６２】
実施例７２：該処理電子機器はさらに、少なくとも１回の反復に基づいて、該非球面モデルの形状を特性評価する、定数を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８６３】
実施例７３：該処理電子機器はさらに、少なくとも１回の反復に基づいて、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、定数を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８６４】
実施例７４：該処理電子機器はさらに、少なくとも１回の反復に基づいて、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、Ｑの値を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８６５】
実施例７５：該処理電子機器はさらに、複数回の反復にわたって、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８６６】
実施例７６：該処理電子機器はさらに、複数回の反復にわたって、該非球面モデルの形状を特性評価する、定数を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８６７】
実施例７７：該処理電子機器はさらに、複数回の反復にわたって、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、定数を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８６８】
実施例７８：該処理電子機器はさらに、複数回の反復にわたって、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、Ｑの値を更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８６９】
実施例７９：該処理電子機器はさらに、回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８７０】
実施例８０：該処理電子機器はさらに、異なる眼視線に関する回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８７１】
実施例８１：該処理電子機器はさらに、較正プロセスの間、異なる眼視線に関する回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを更新するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８７２】
実施例８２：該処理電子機器はさらに、較正プロセスの間、異なる眼視線に関する回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを更新するように構成され、固定標的が、ユーザの視線を改変するために、該ディスプレイ上で視認者に提供される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８７３】
実施例８３：該処理電子機器はさらに、付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８７４】
実施例８４：該処理電子機器はさらに、ユーザの眼のパラメータを決定するための付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。

【０８７５】
実施例８５：該処理電子機器はさらに、ユーザの眼の角膜中心を決定するための付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８７６】
実施例８６：該処理電子機器はさらに、ユーザの眼の角膜中心を決定するための付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８７７】
実施例８７：該処理電子機器はさらに、ユーザの眼の回転中心を決定するための付加的較正が実施されるまで、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該値、定数、またはパラメータを使用するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８７８】
実施例８８：該少なくとも１つの眼追跡カメラは、ユーザの眼を結像するように構成される、第１、第２、および第３の眼追跡カメラを備え、該処理電子機器は、該第１、第２、および第３の眼追跡カメラと通信し、光エミッタの閃光反射が、第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって捕捉された眼の画像内で観察可能である、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８７９】
実施例８９：該処理電子機器は、該第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜中心を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８８０】
実施例９０：該処理電子機器は、該第１、第２、および第３の眼追跡カメラによって生産された該画像内の閃光反射の場所に基づいて、かつ該第１、第２、および第３の眼追跡カメラの場所および該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所に基づいて、該ユーザの眼の角膜中心を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８８１】
実施例９１：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとに基づいて、ユーザの眼の角膜中心を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８８２】
実施例９２：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとに基づいて、該ユーザの眼の角膜中心を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８８３】
実施例９３：該処理電子機器は、該第１および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとの平均に基づいて、該ユーザの眼の角膜中心を推定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８８４】
実施例９４：該処理電子機器は、該第２および第３の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータと、該第１および第２の眼追跡カメラによって決定されたユーザの眼のパラメータとの平均に基づいて、該ユーザの眼の角膜中心を推定するように構成さ

れる、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８８５】
実施例９５：該ユーザの眼の角膜中心は、ユーザの眼の角膜曲率の中心を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８８６】
実施例９６：該ユーザの眼の角膜中心は、ユーザの眼の角膜の角膜頂点曲率の中心を備える、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８８７】
実施例９７：該処理電子機器はさらに、複数の１つ以上の眼追跡カメラによって捕捉されたユーザの眼の画像を使用して、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、ユーザ特有のパラメータの値を決定するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８８８】
実施例９８：該ユーザ特有のパラメータの値は、該ユーザの眼と関連付けられる、実施例９７に記載のディスプレイシステム。
【０８８９】
実施例９９：ユーザの眼の該複数の画像の異なる画像は、個別の標的場所と関連付けられる、異なる視線方向において捕捉され、標的場所は、ディスプレイシステムによって決定され、標的場所は、ユーザの眼の該複数の画像の異なる画像に関して異なる、実施例９７に記載のディスプレイシステム。
【０８９０】
実施例１００：ユーザの眼の該複数の画像の異なる対の画像は、個別の標的場所と関連付けられる、異なる視線方向において捕捉され、標的場所は、ディスプレイシステムによって決定され、標的場所は、ユーザの眼の該複数の画像の異なる対の画像に関して異なる、実施例９７に記載のディスプレイシステム。
【０８９１】
実施例１０１：処理電子機器は、反復プロセスに基づいて、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該ユーザ特有のパラメータの値を決定し、反復は、
少なくとも部分的に、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータの値に基づいて、ユーザの眼の複数の回転中心を推定することと、
推定されるユーザの眼の複数の回転中心と関連付けられる、統計的メトリックの値を計算することと、
少なくとも部分的に、計算された統計的メトリックに基づいて、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該パラメータの修正された値を生成することと、
を含む、実施例９９または１００のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０８９２】
実施例１０２：該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータの値は、前の反復において生成された、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該パラメータの修正された値である、実施例１０１に記載のディスプレイシステム。
【０８９３】
実施例１０３：反復プロセスの第１の反復内で使用される、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータの値は、眼モデルによって決定された初期値である、実施例１０１に記載のディスプレイシステム。
【０８９４】
実施例１０４：眼モデルは、Ａｒｉｚｏｎａ眼モデルであって、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータの初期値は、－０．２６である、実施例１０３に記載のディスプレイシステム。
【０８９５】
実施例１０５：該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、該パラメータの修正された値は、統計的メトリックの値を低減させる、実施例１０１に記載のディスプレイシステム。

【０８９６】
実施例１０６：統計的メトリックは、複数の回転中心の統計的分布の変動を備える、実施例１０５に記載のディスプレイシステム。
【０８９７】
実施例１０７：統計的メトリックは、分散または標準偏差を備える、実施例１０６に記載のディスプレイシステム。
【０８９８】
実施例１０８：複数のユーザの眼の回転中心は、少なくとも部分的に、該非球面モデルと、１つ以上の追跡カメラの場所と、該個別の閃光反射を生産したエミッタの場所とに基づいて、推定される、実施例１０１に記載のディスプレイシステム。
【０８９９】
実施例１０９：該処理電子機器はさらに、該非球面モデルの形状に影響を及ぼす、パラメータを変更するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０９００】
実施例１１０：該処理電子機器はさらに、該非球面モデルの形状を特性評価する、定数を変更するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０９０１】
実施例１１１：該処理電子機器はさらに、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、定数を変更するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０９０２】
実施例１１２：該処理電子機器はさらに、非球面回転楕円体モデルの形状を特性評価する、Ｑの値を変更するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０９０３】
実施例１１３：該処理電子機器はさらに、回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを選択するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０９０４】
実施例１１４：該処理電子機器はさらに、異なる眼視線に関する回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを選択するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０９０５】
実施例１１５：該処理電子機器はさらに、較正プロセスの間、異なる眼視線に関する回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを選択するように構成される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０９０６】
実施例１１６：該処理電子機器はさらに、較正プロセスの間、異なる眼視線に関する回転中心の計算される値における変動、不確実性、または誤差を低減させる、値、定数、またはパラメータを決定することによって、該値、定数、またはパラメータを選択するように構成され、固定標的が、ユーザの視線を改変するために、該ディスプレイ上で視認者に提供される、上記実施例のいずれかに記載のディスプレイシステム。
【０９０７】
上記の実施例または付加的実施例のいずれかは、組み合わせられることができる。加えて、上記の実施例または付加的実施例のいずれかは、頭部搭載型ディスプレイと統合されることができる。加えて、上記の実施例または付加的実施例のいずれかは、単一深度面お

よび／または１つ以上の可変深度面を用いて実装されることができる（例えば、経時的に変動する遠近調節キューを提供する、可変集束力を伴う、１つ以上の要素）。

【０９０８】

さらに、限定ではないが、解剖学的、光学的、および幾何学的特徴、場所、および配向等の種々の値、パラメータを決定するための装置および方法が、本明細書に開示される。そのようなパラメータの実施例は、例えば、眼の回転中心、角膜曲率の中心、瞳孔中心、瞳孔の境界、虹彩の中心、虹彩の境界、角膜輪部の境界、眼の光学軸、眼の視軸、視点中心を含むが、これらに限定ではない。本明細書に列挙されるような値、パラメータ等の決定は、その推定値を含み、必ずしも、実際の値と精密に一致する必要はない。例えば、眼の回転中心、角膜曲率の中心、瞳孔または虹彩の中心または境界、角膜輪部の境界、眼の光学軸、眼の視軸、視点中心等の決定は、推定値、近似値、またはそれに近い値であって、実際の（例えば、解剖学的、光学的、または幾何学的）値またはパラメータと同一ではなくてもよい。ある場合には、例えば、二乗平均平方根推定技法が、そのような値の推定値を取得するために使用されてもよい。実施例として、本明細書に説明されるある技法は、光線またはベクトルが交差する、場所または点を識別することに関する。しかしながら、そのような光線またはベクトルは、交差しなくてもよい。本実施例では、場所または点は、推定されてもよい。例えば、場所または点は、二乗平均平方根または他の推定技法に基づいて決定されてもよい（例えば、場所または点は、光線またはベクトルに近いまたは最も近いものであるように推定されてもよい）。他のプロセスもまた、近似値を推定する、または別様に、実際の値と一致しない場合がある値を提供するために使用されてもよい。故に、用語「～を決定する」および「～を推定する」または「決定される」および「推定される」は、本明細書では、同義的に使用される。そのような決定された値の参照は、したがって、推定値、近似値、または実際の値に近い値を含み得る。故に、上記または本明細書のいずれかの場所のパラメータまたは値の決定の参照は、実際の値に精密に限定されるべきではなく、推定値、近似値、またはそれに値に近い値を含んでもよい。

【図面】

【図１】

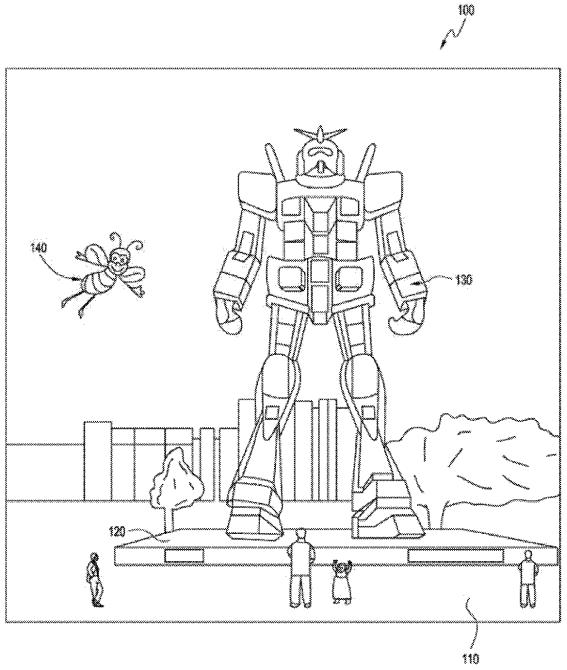


FIG. 1

【図２】

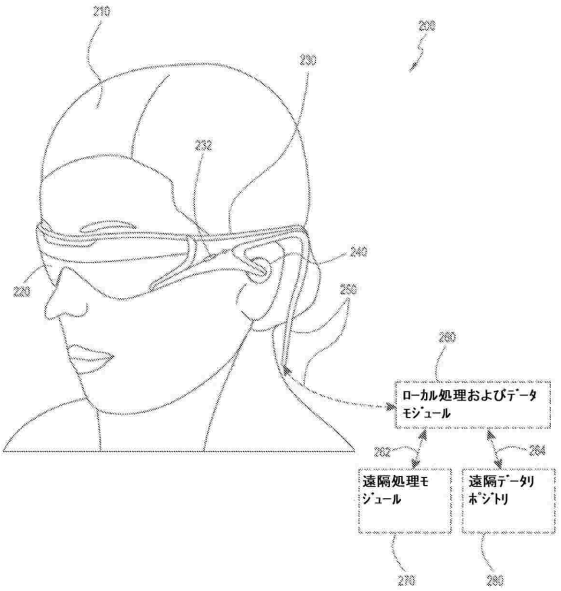


FIG. 2

【図３】

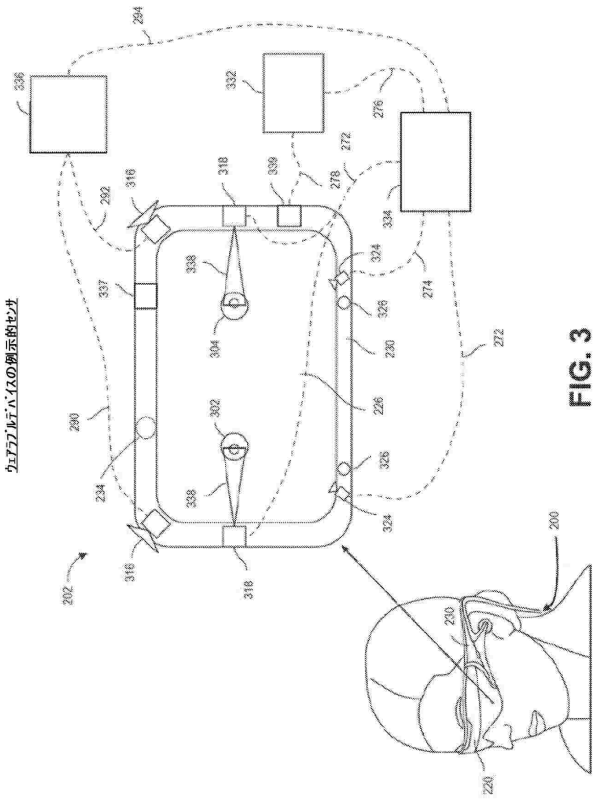


FIG. 3

【図４】

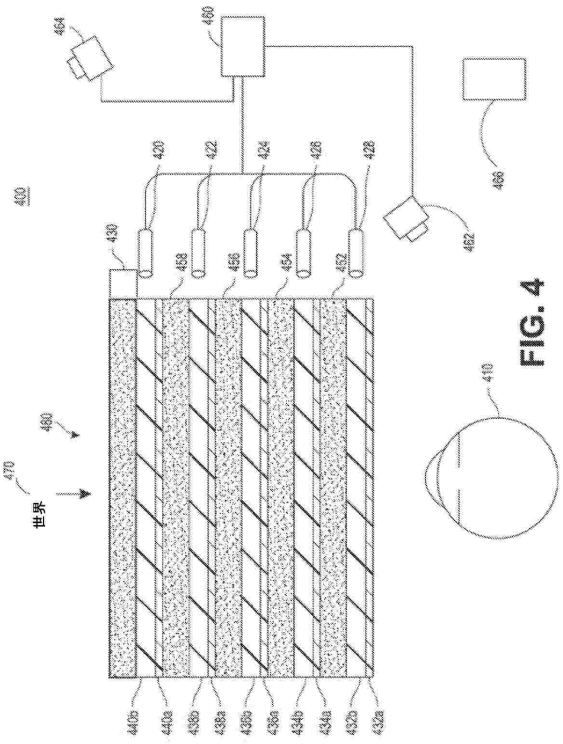


FIG. 4

【図５】

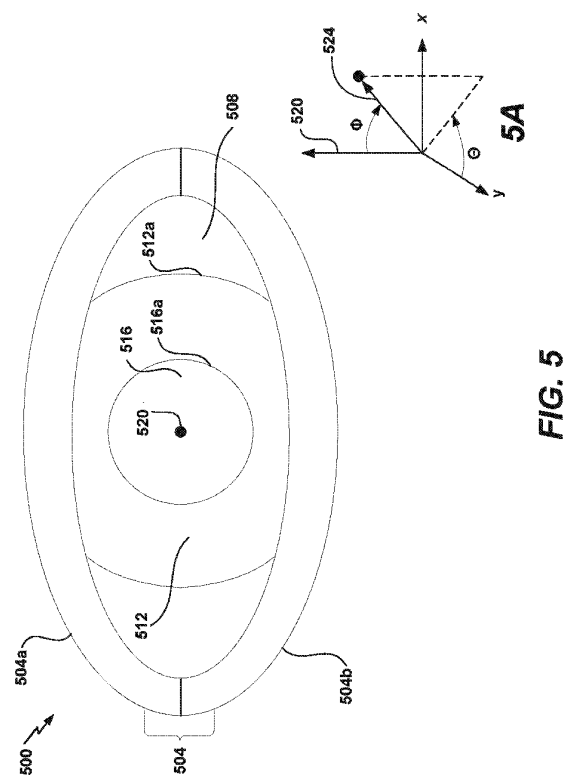


FIG. 5

【図６】

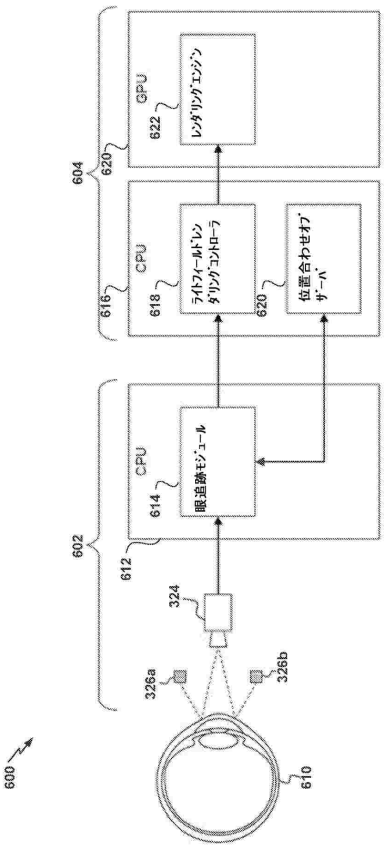


FIG. 6

【図７Ａ】

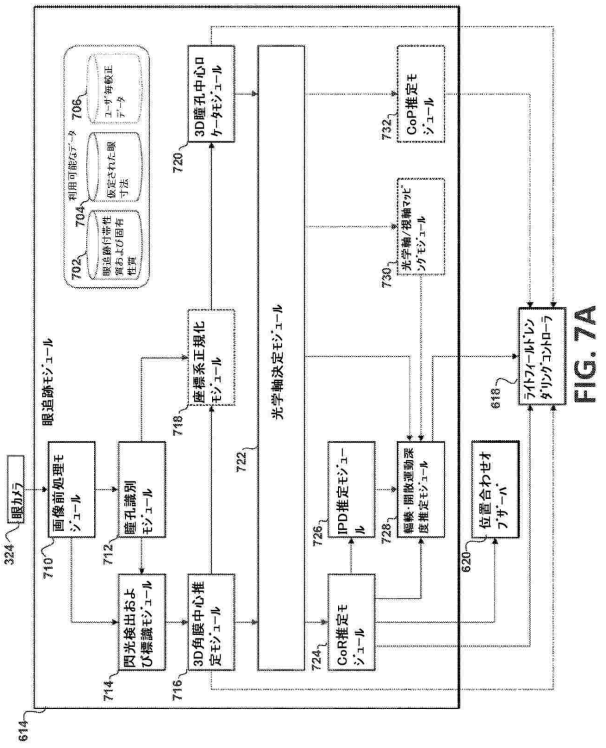


FIG. 7A

【図７Ｂ】

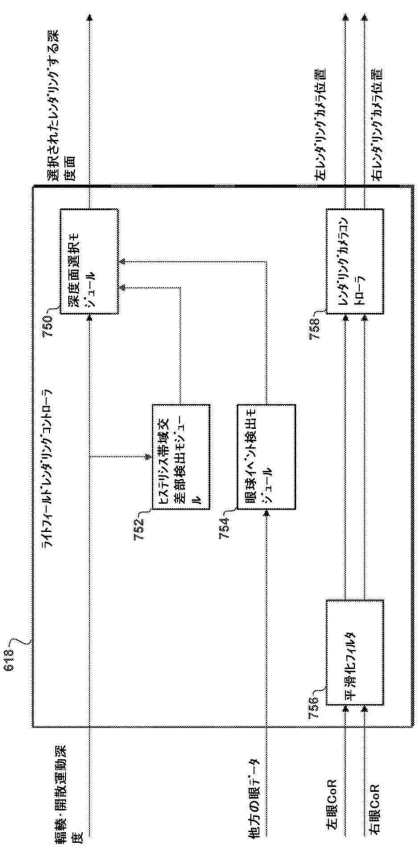


FIG. 7B

【図７Ｃ】

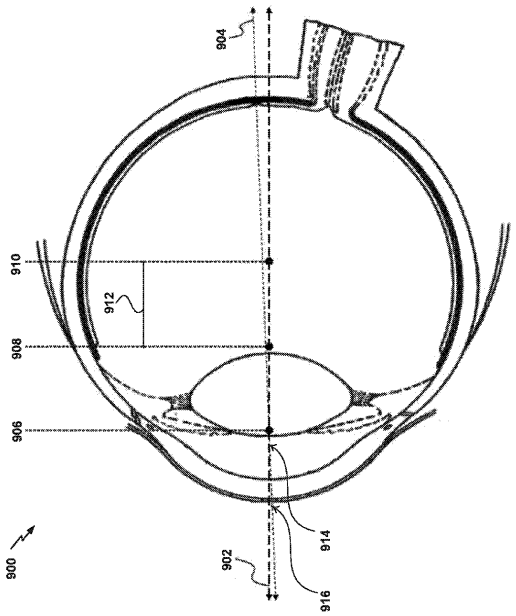


FIG. 7C

【図８Ａ】

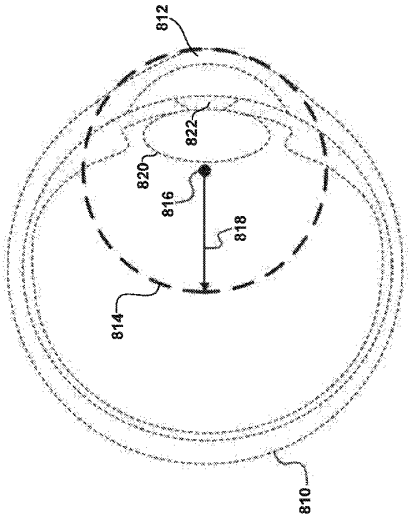


FIG. 8A

【図８Ｂ】

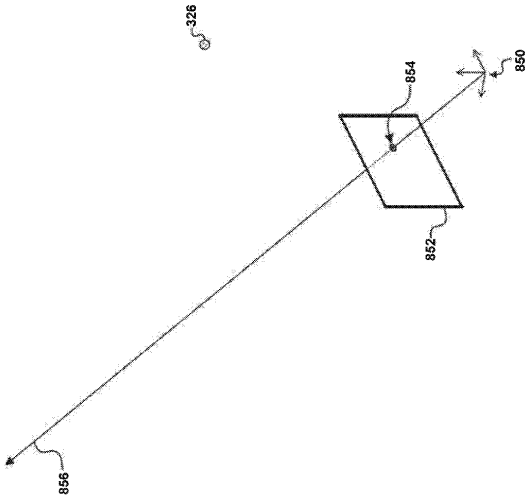


FIG. 8B

【図８Ｃ】

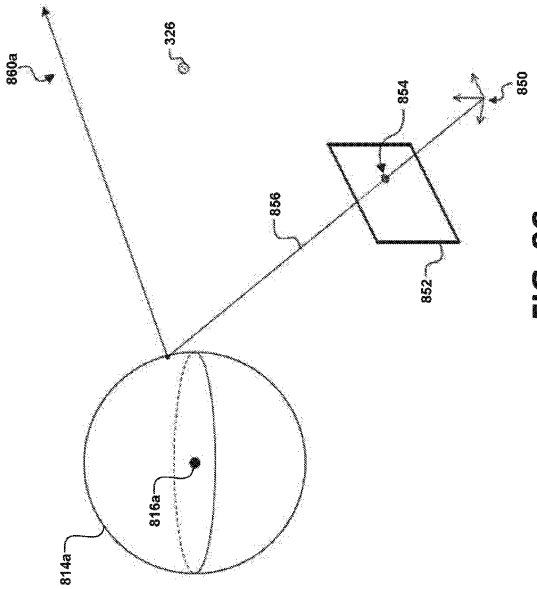


FIG. 8C

【図８Ｄ】

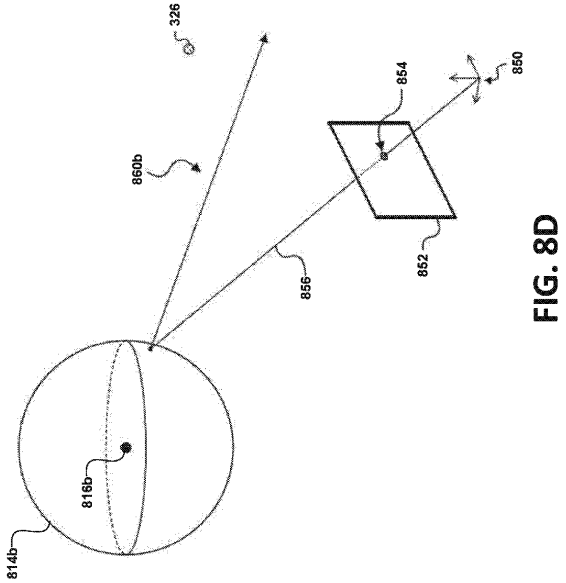


FIG. 8D

【図８Ｅ】

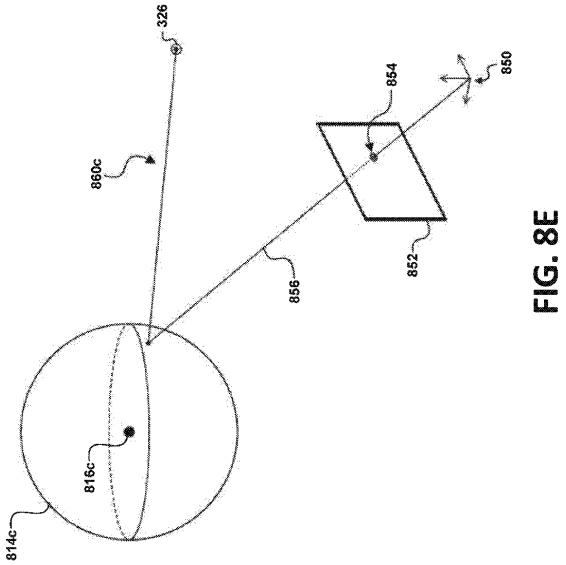


FIG. 8E

【図９Ａ】

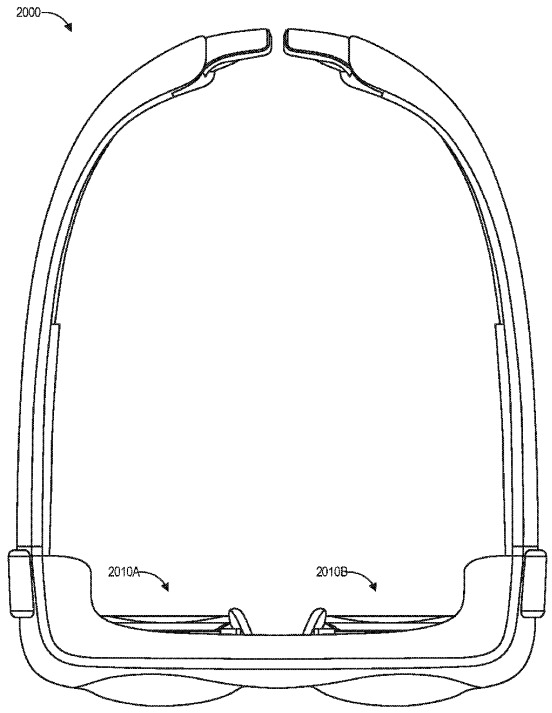


FIG. 9A

【図９Ｂ】

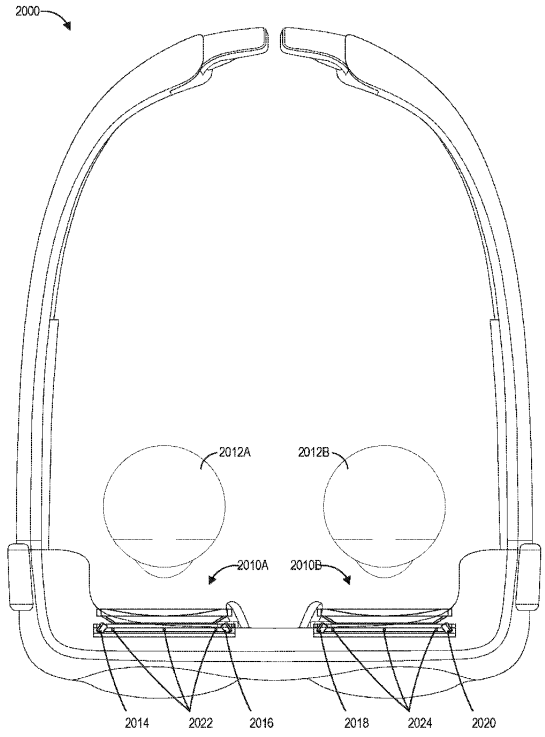


FIG. 9B

【図９Ｃ】

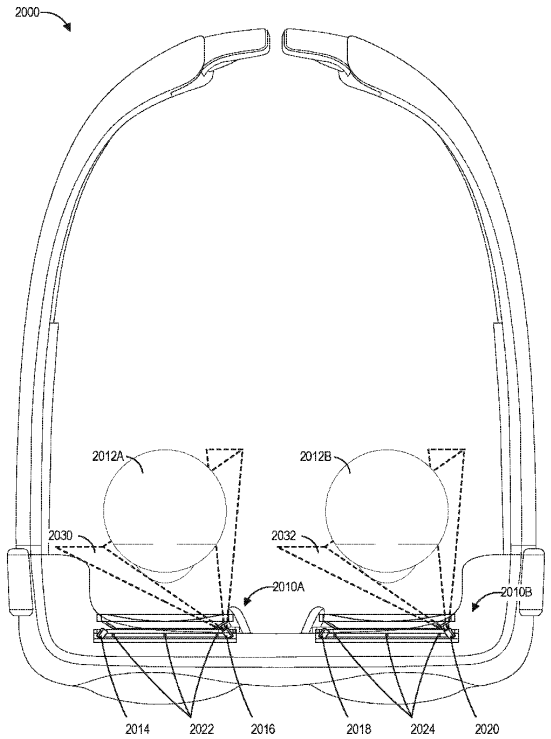


FIG. 9C

【図９Ｄ】

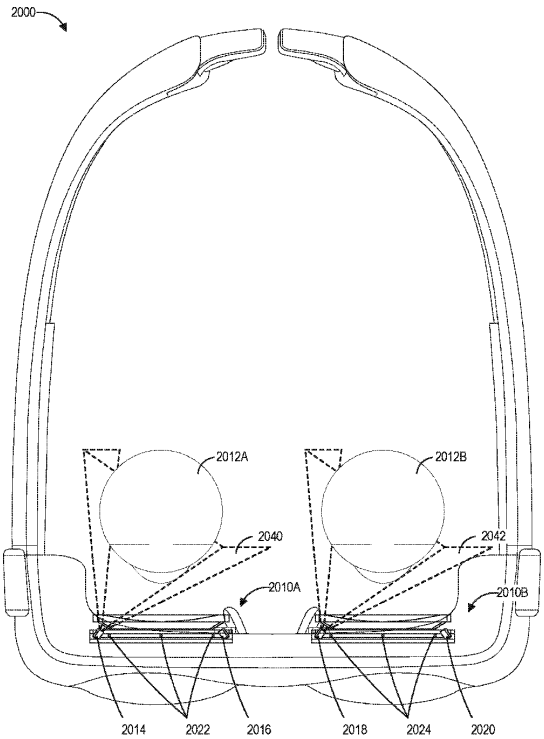


FIG. 9D

【図９Ｅ】

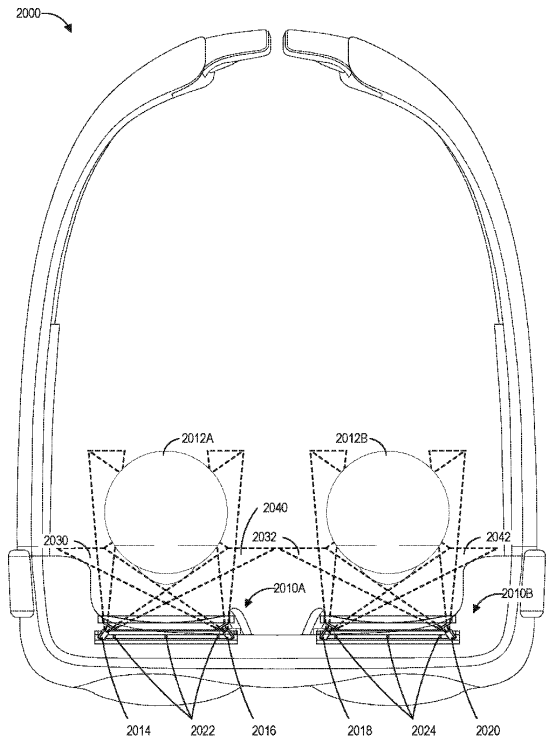


FIG. 9E

【図１０】

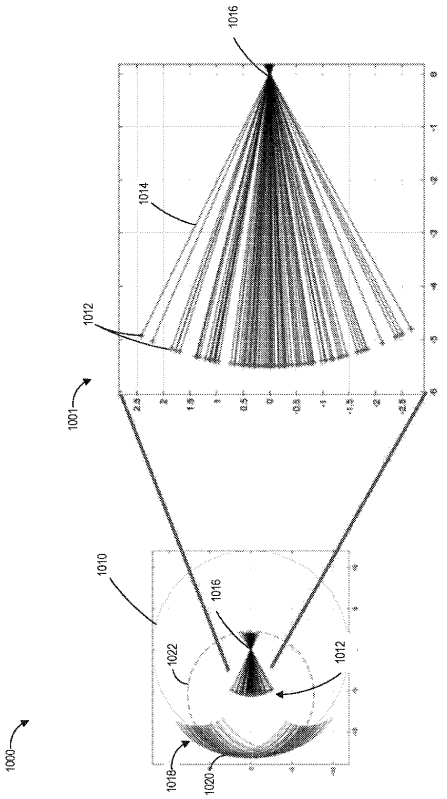


FIG. 10

【図１１】

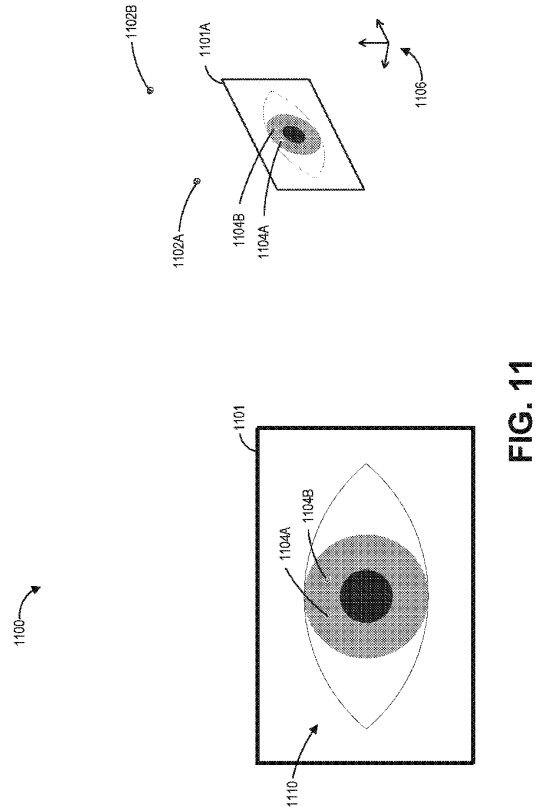


FIG. 11

【図１２Ａ】

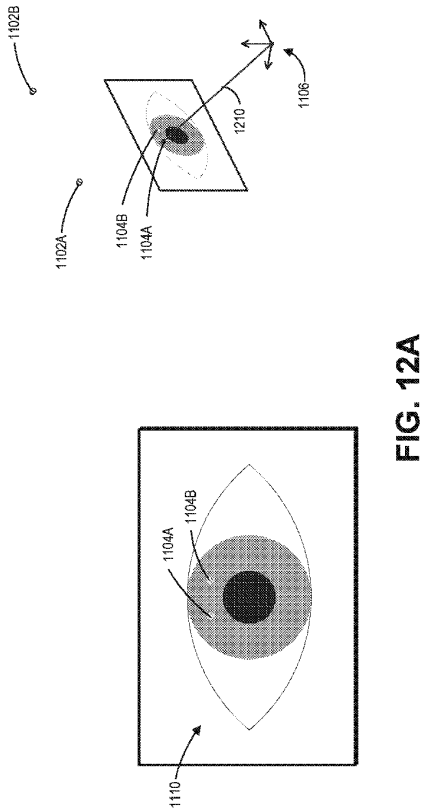


FIG. 12A

【図１２Ｂ】

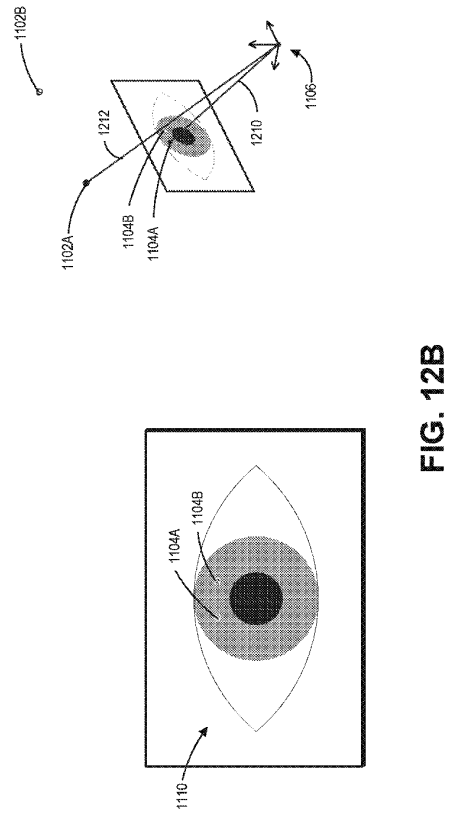


FIG. 12B

【図１２Ｃ】

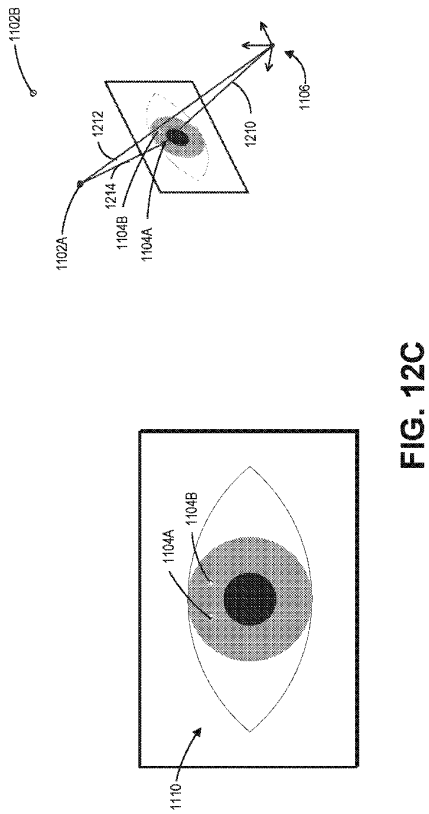


FIG. 12C

【図１２Ｄ】

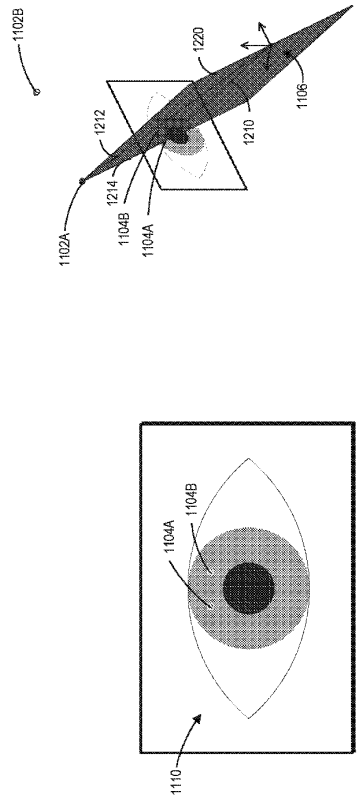


FIG. 12D

【図１３Ａ】

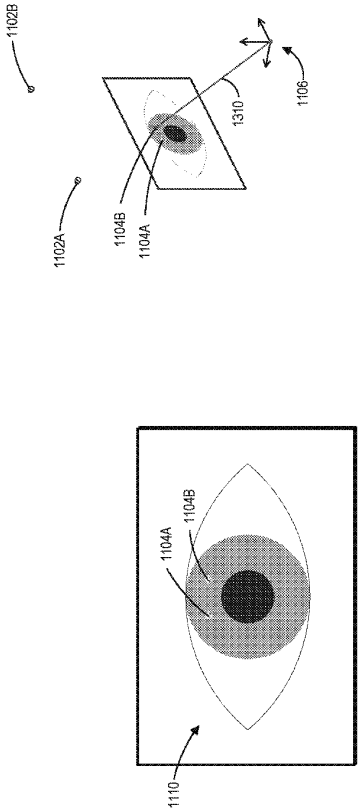


FIG. 13A

【図１３Ｂ】

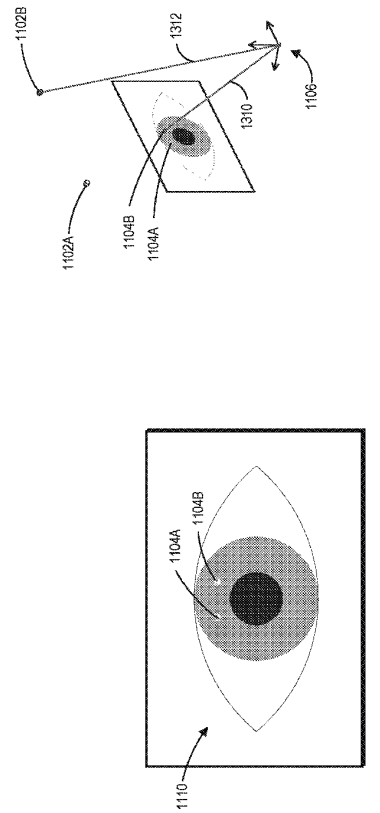


FIG. 13B

【図１３Ｃ】

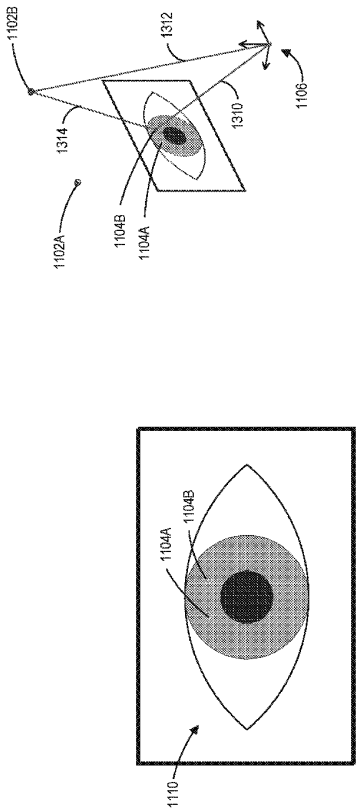


FIG. 13C

【図１３Ｄ】

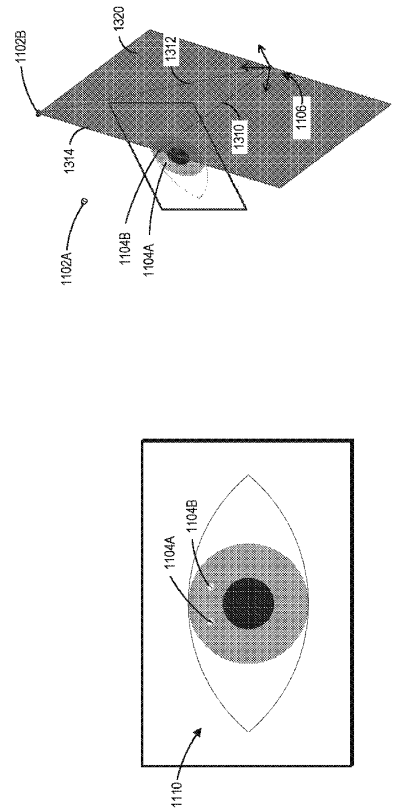


FIG. 13D

【図１４Ａ】

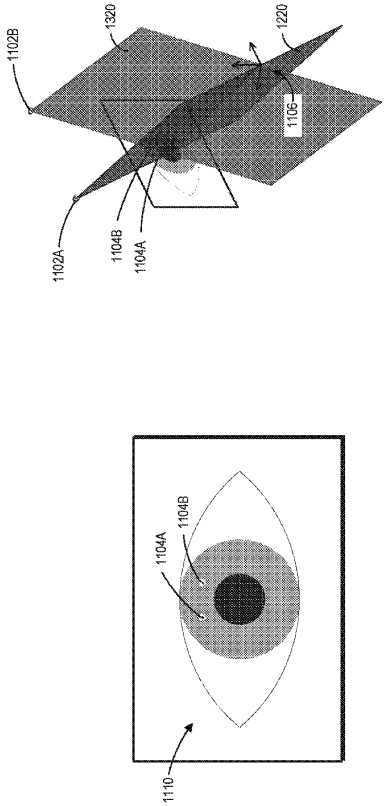


FIG. 14A

【図１４Ｂ】

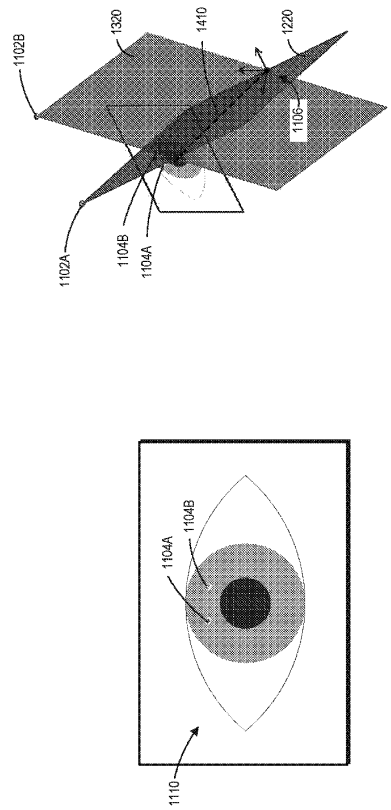


FIG. 14B

【図１４Ｃ】

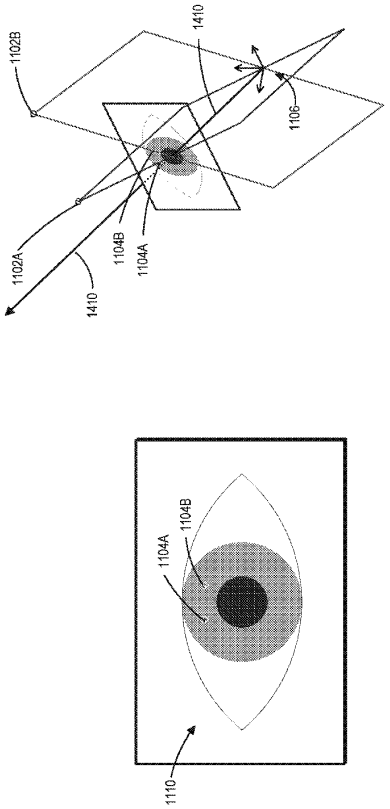


FIG. 14C

【図１５Ａ】

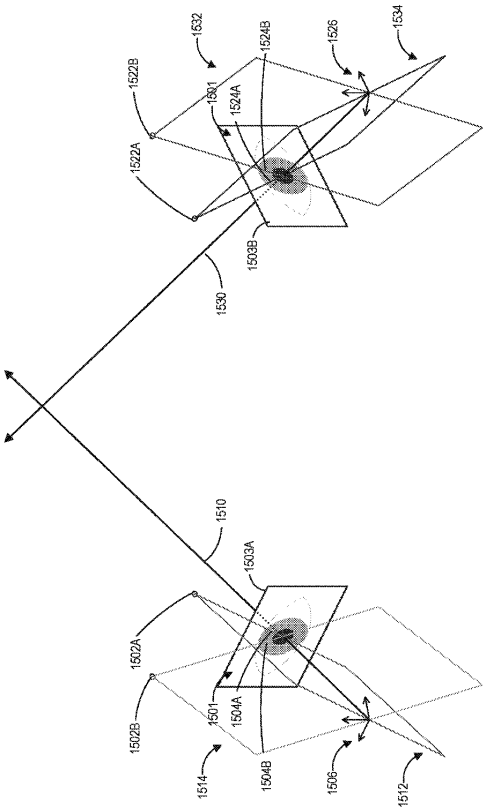


FIG. 15A

【図１５Ｂ】

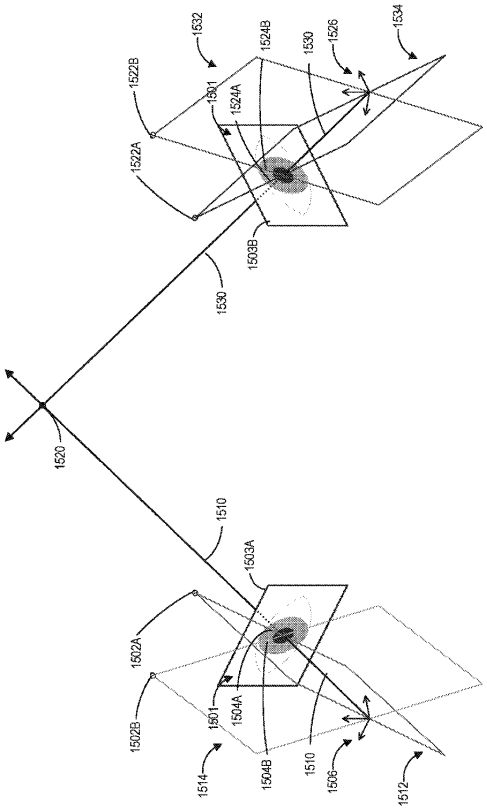


FIG. 15B

【図１６Ａ】

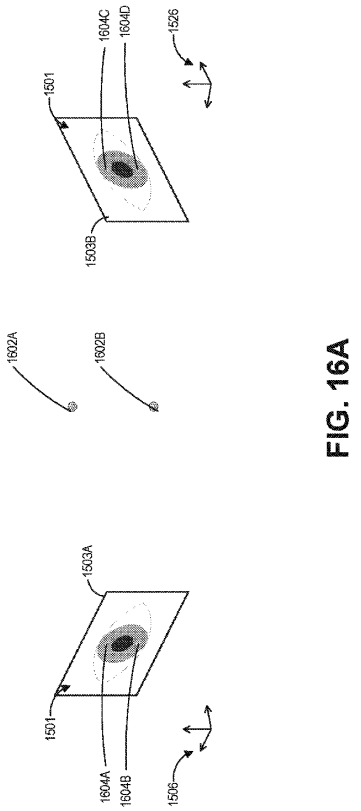


FIG. 16A

【図１６Ｂ】

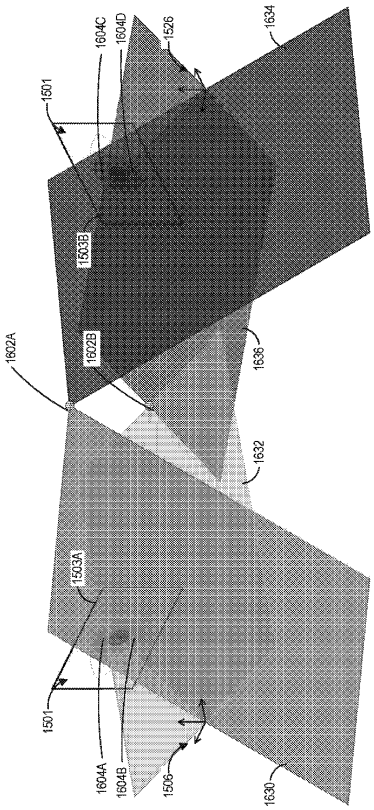


FIG. 16B

【図１６Ｃ】

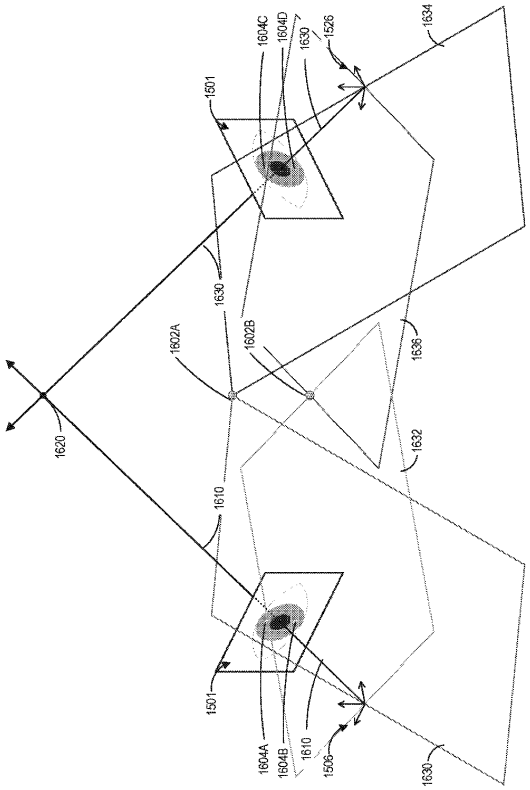


FIG. 16C

【図１７Ａ】

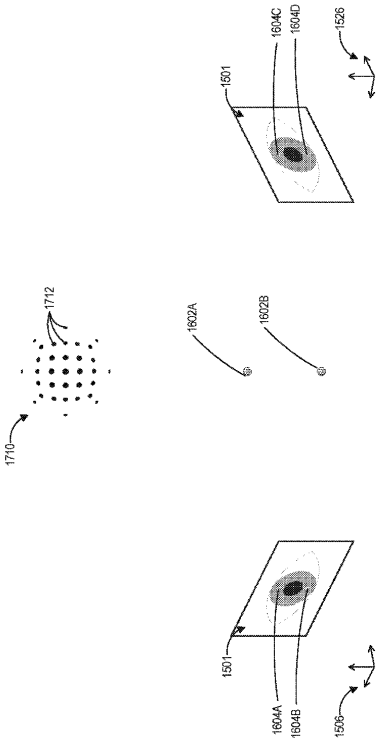


FIG. 17A

【図１７Ｂ】

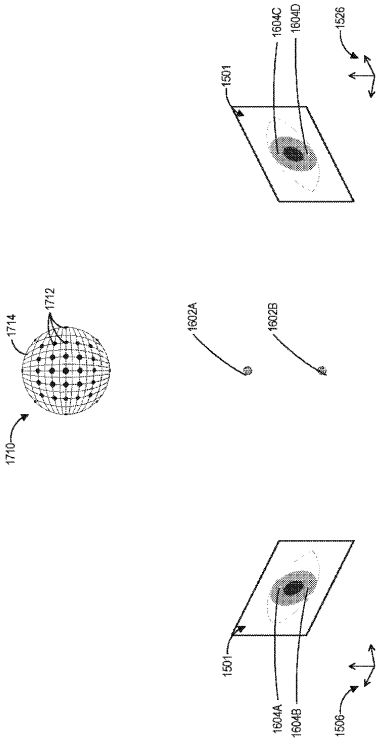


FIG. 17B

【図１８Ａ】

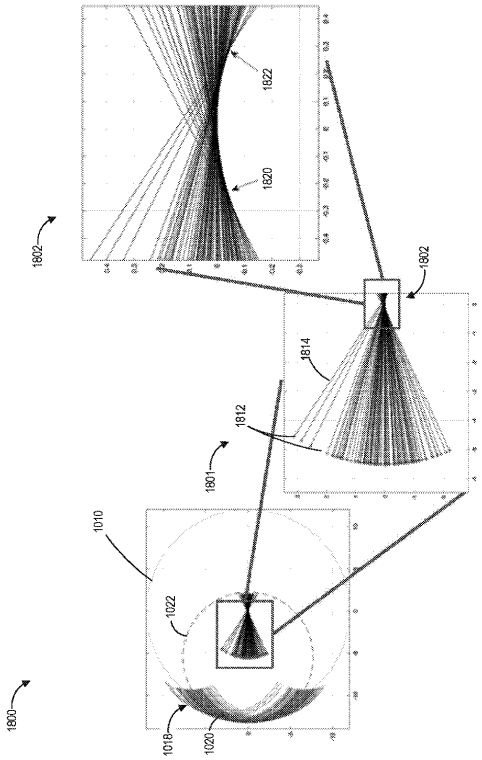


FIG. 18A

【図１８Ｂ】

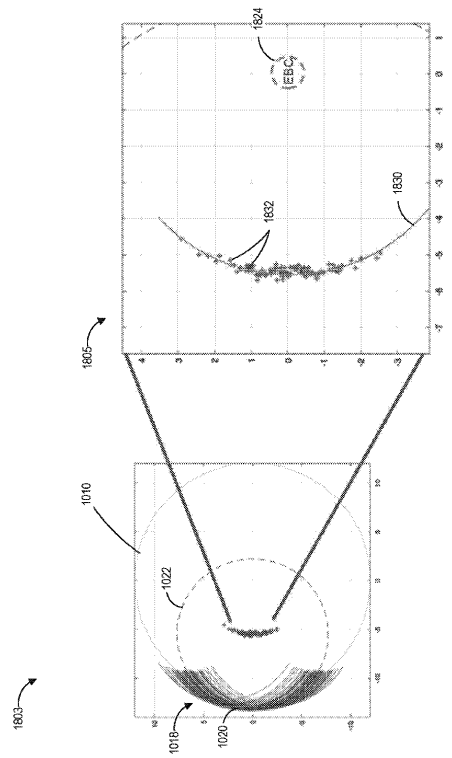


FIG. 18B

【図１９Ａ－１】

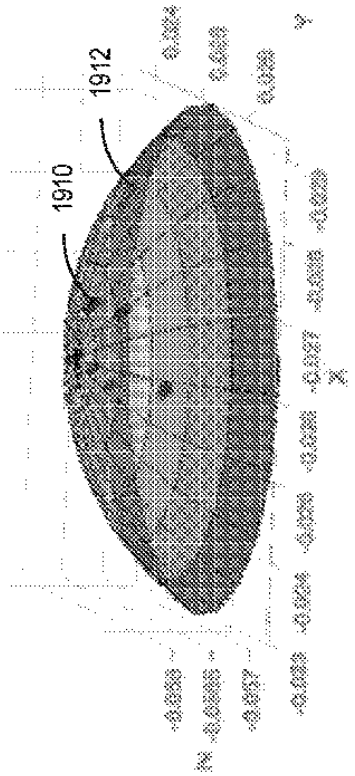


FIG. 19A-1

【図１９Ａ－２】

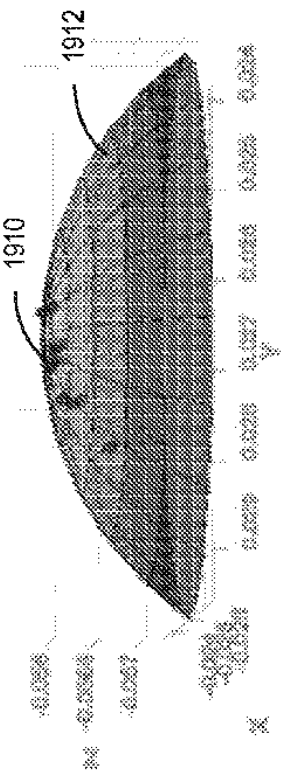


FIG. 19A-2

【図１９Ｂ－１】

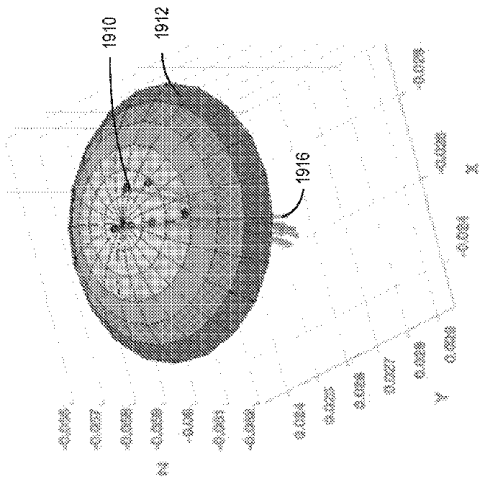


FIG. 19B-1

【図１９Ｂ－２】

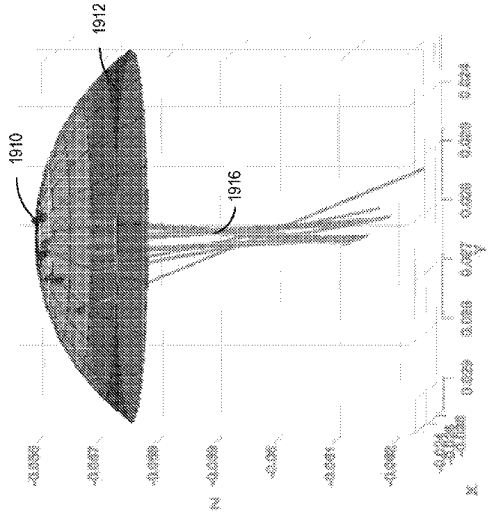


FIG. 19B-2

【図１９Ｃ－１】

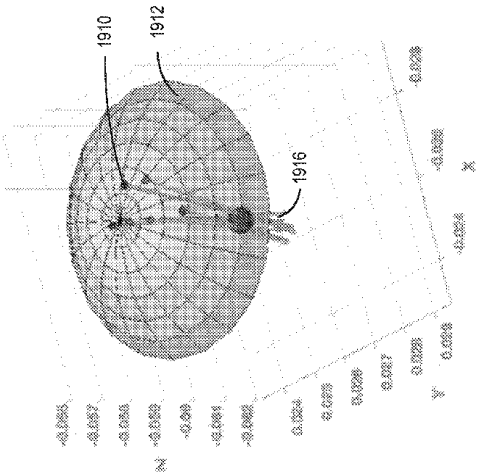


FIG. 19C-1

【図１９Ｃ－２】

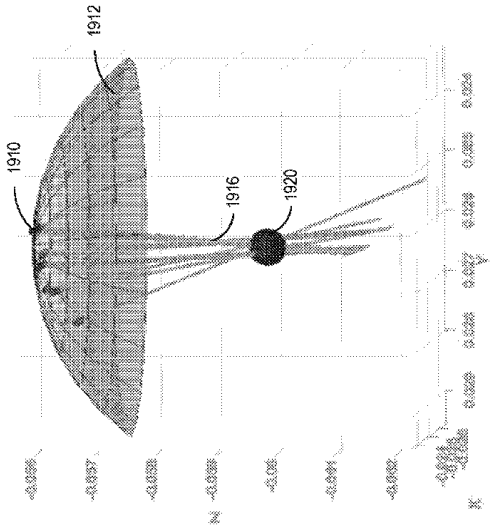


FIG. 19C-2

【図１９Ｄ－１】

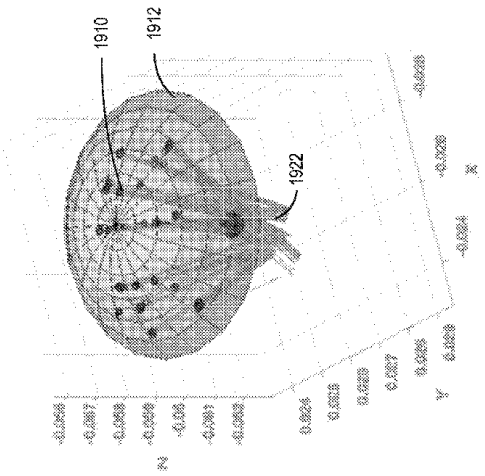


FIG. 19D-1

【図１９Ｄ－２】

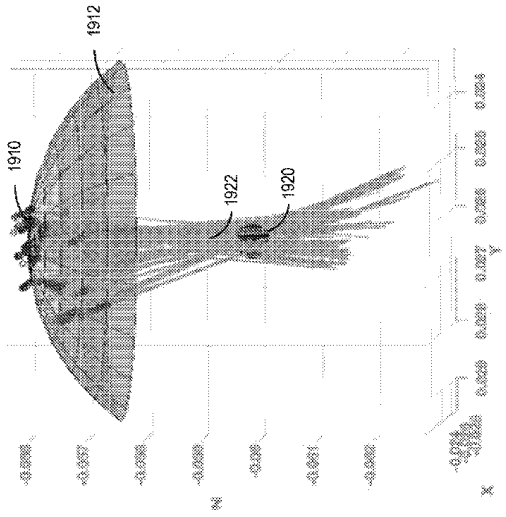


FIG. 19D-2

【図２０】

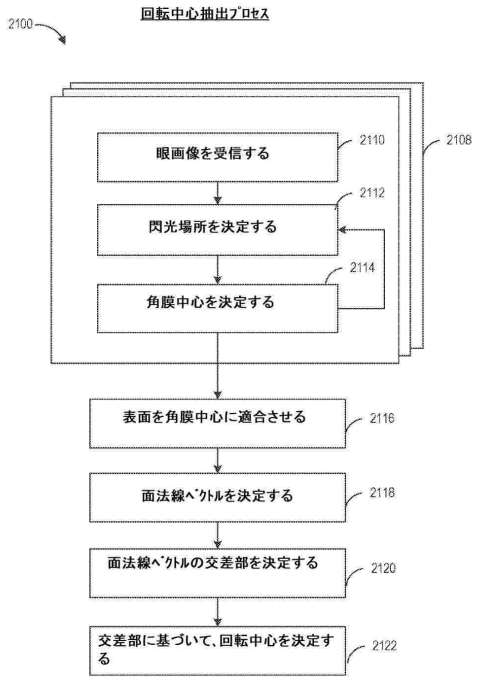


FIG. 20

【図２１】

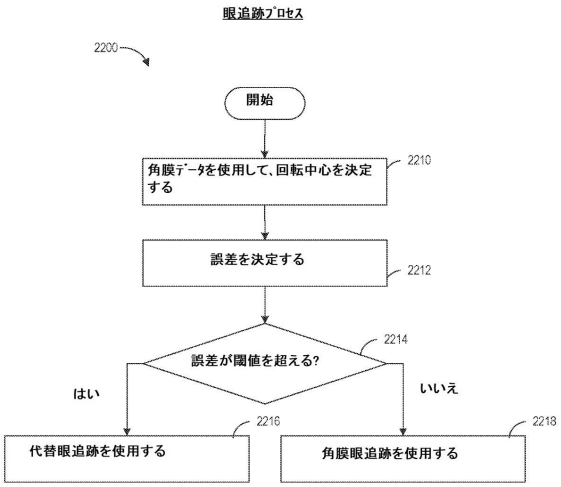


FIG. 21

【図２２Ａ】

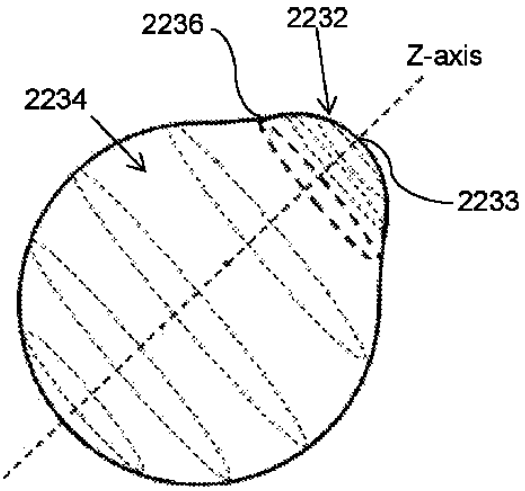


FIG. 22A

【図２２Ｂ】

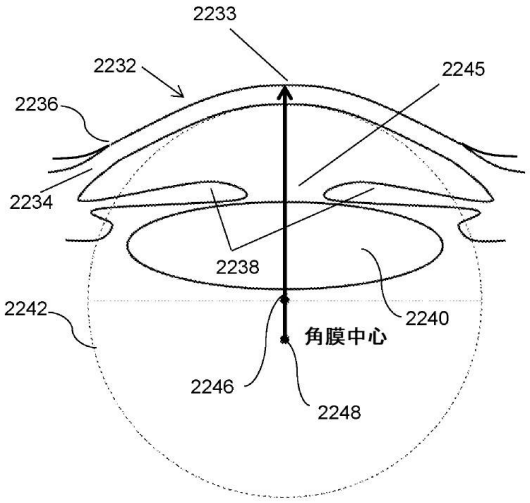


FIG. 22B

【図２２Ｃ】

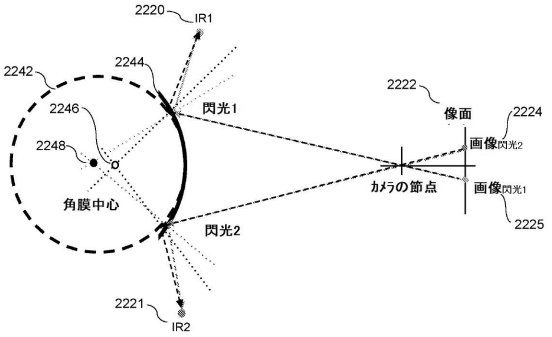


FIG. 22C

【図２３Ａ】

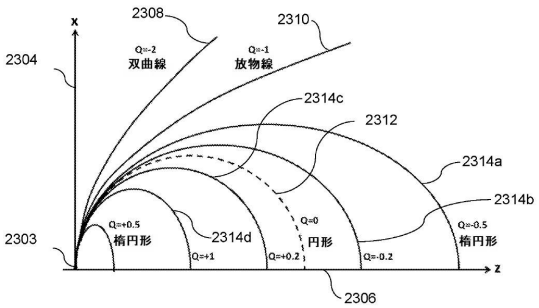


FIG. 23A

【図２３Ｂ】

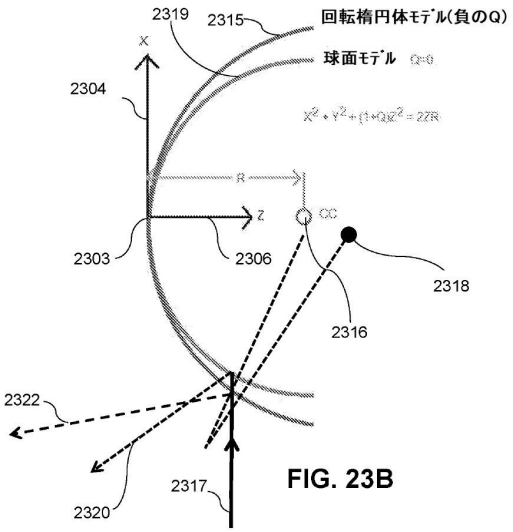


FIG. 23B

【図２４】

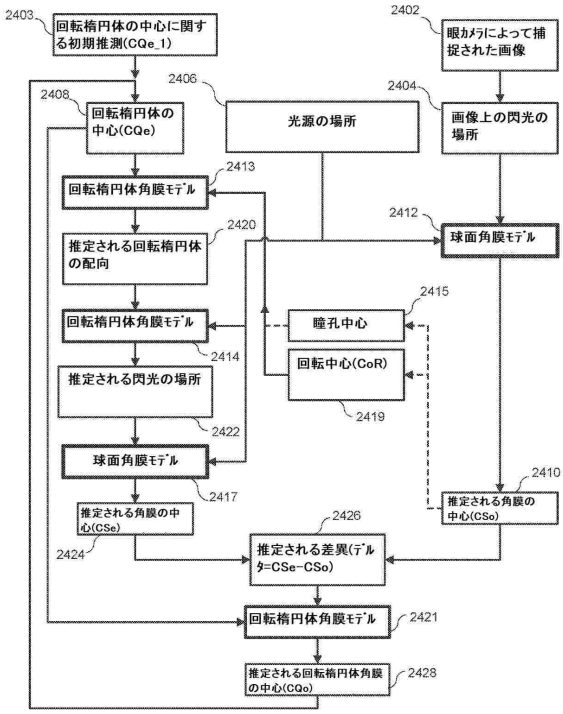


FIG. 24

【図２５Ａ】

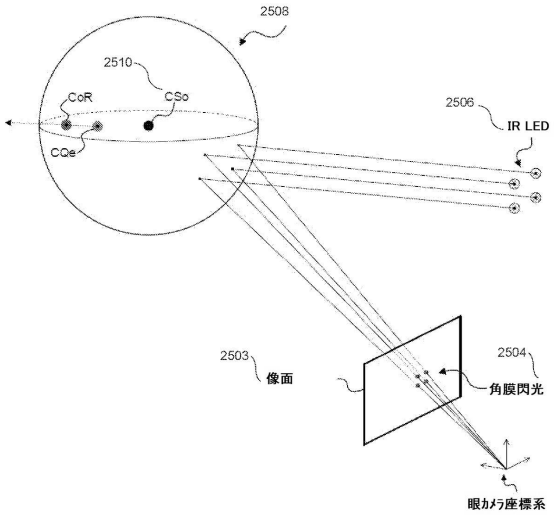


FIG. 25A

【図２５Ｂ】

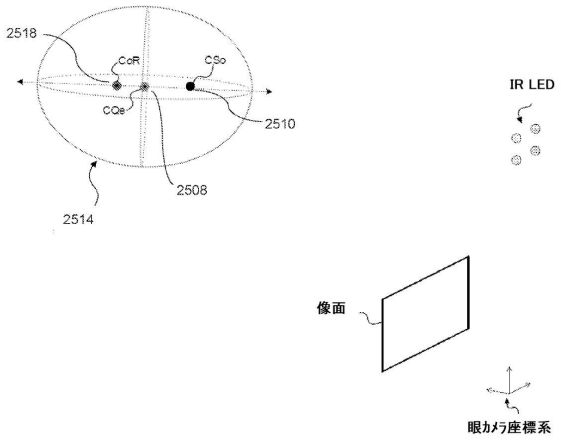


FIG. 25B

【図２５Ｃ】

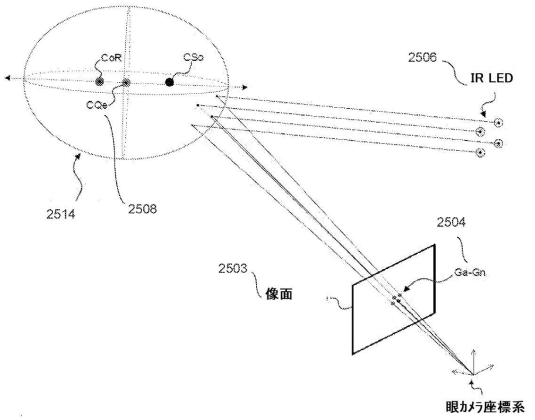


FIG. 25C

【図２５Ｄ】

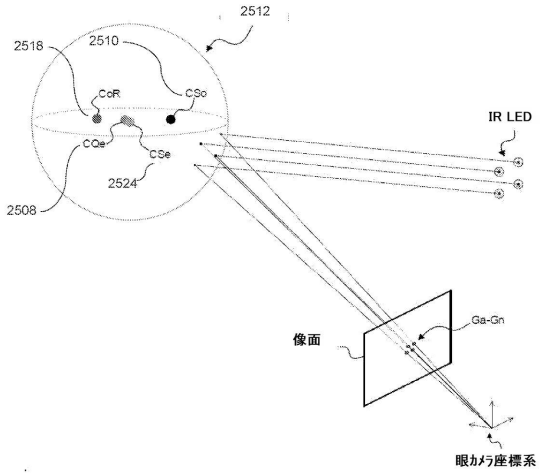


FIG. 25D

【図２６】

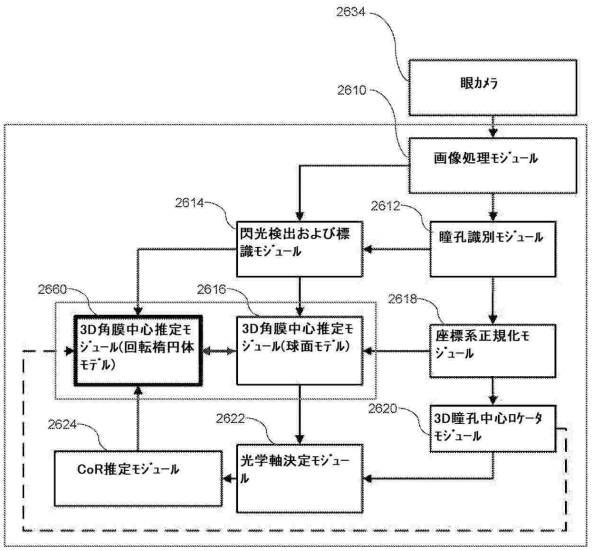


FIG. 26

【図２７】

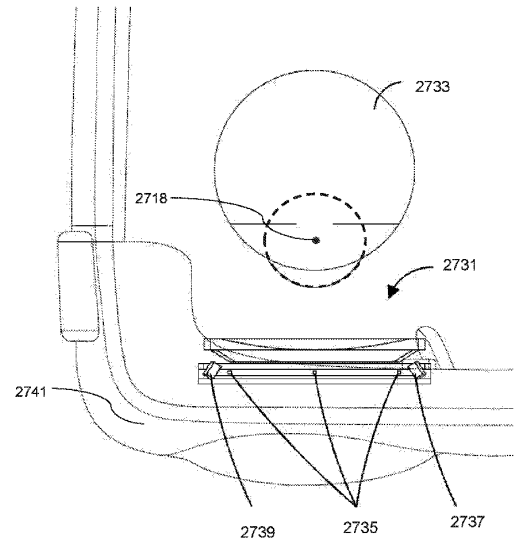


FIG. 27

【図２８】

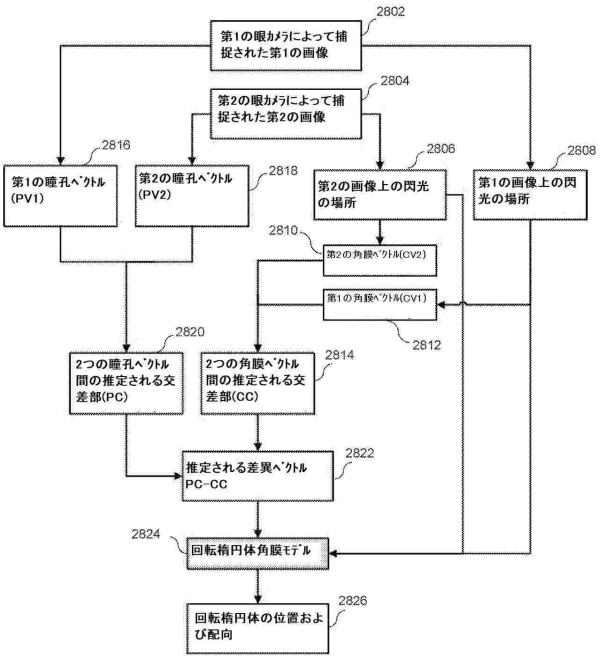


FIG. 28

【図２９Ａ】

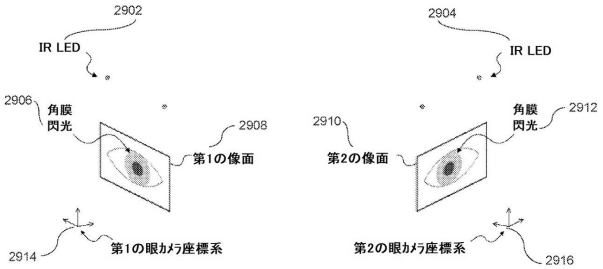


FIG. 29A

【図２９Ｂ】

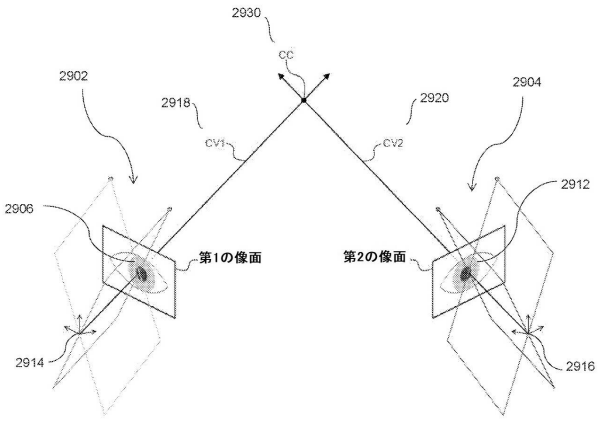


FIG. 29B

【図２９Ｃ】

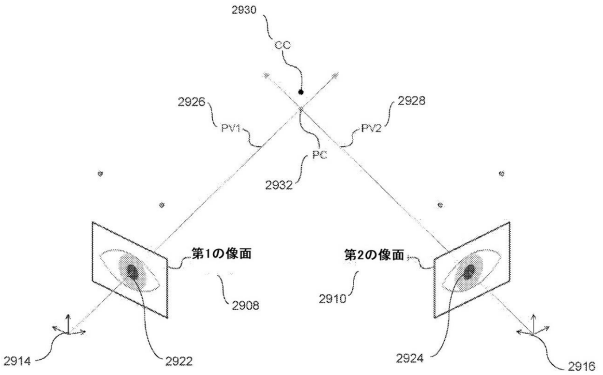


FIG. 29C

【図２９Ｄ】

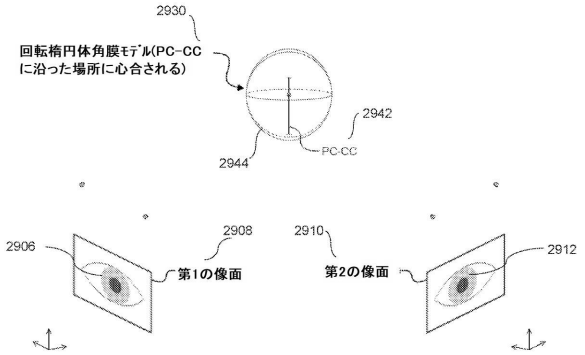


FIG. 29D

【図３０】

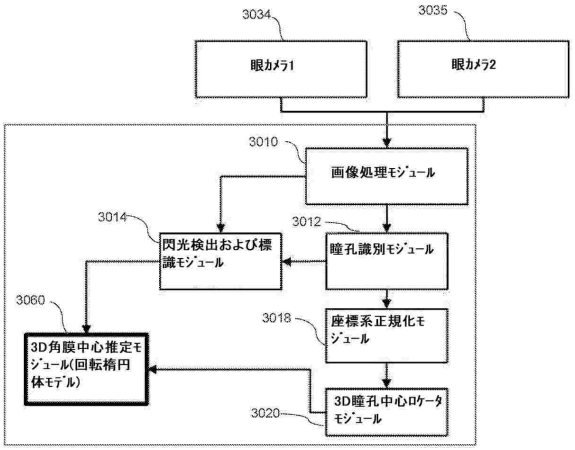

3034
眼カメラ1
3035
眼カメラ2
3010
画像処理モジュール
3014
閃光検出および標識モジュール
3012
瞳孔識別モジュール
3060
3D角膜中心推定モジュール(回転楕円体モデル)
3018
座標系正規化モジュール
3020
3D瞳孔中心ロケータモジュール

FIG. 30

フロントページの続き

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 63/140,202
(32)優先日 令和3年1月21日(2021.1.21)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
早期審査対象出願
(74)代理人 100181641
弁理士 石川 大輔
(74)代理人 230113332
弁護士 山本 健策
(72)発明者 チャン， リッチモンド ビー．
アメリカ合衆国 フロリダ ３３３２２， プランテーション， ダブリュー サンライズ ブールバード ７５００
(72)発明者 ジャオ， ウェンイー
アメリカ合衆国 フロリダ ３３３３２， ウエストン， メドウッド コート ２６８９
(72)発明者 ウー， ビン
アメリカ合衆国 フロリダ ３３３２２， プランテーション， ダブリュー． サンライズ ブールバード ７５００
審査官 三田村 陽平
(56)参考文献 特表２０１９－５１２７２６（ＪＰ，Ａ）
特開２０１１－０８１８０７（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１９／００４２８４２（ＵＳ，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１１／００６９２７７（ＵＳ，Ａ１）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０６Ｆ ３／０１
Ｇ０６Ｆ ３／０４８－ ３／０４８９５
Ｇ０６Ｆ ３／０３３－ ３／０３９
Ｇ０２Ｂ ２７／００ －３０／６０
Ｇ０９Ｇ ５／００ － ５／４２
Ｈ０４Ｎ ５／６４ － ５／６５５
Ａ６１Ｂ ３／００ － ３／１８