(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4623899号
(P4623899)

(45)発行日　平成23年2月2日(2011.2.2)　(24)登録日　平成22年11月12日(2010.11.12)

(51)Int.Cl.　　F I
A61B 3/113 (2006.01)　　A61B 3/10 B
A61B 3/10 (2006.01)　　A61B 3/10 M

請求項の数 13　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願2001-511810(P2001-511810)
(86)(22)出願日　平成11年7月27日(1999.7.27)
(65)公表番号　特表2003-526404(P2003-526404A)
(43)公表日　平成15年9月9日(2003.9.9)
(86)国際出願番号　PCT/US1999/017045
(87)国際公開番号　WO2001/006914
(87)国際公開日　平成13年2月1日(2001.2.1)
審査請求日　平成18年7月25日(2006.7.25)

(73)特許権者　505292605
ウェーブテック　ビジョン　システムズ、インコーポレイテッド
アメリカ合衆国　９２６５６　カリフォルニア、アリソ　ビエホ、アルゴノウト　６６、スイート　１７０
(74)代理人　100066692
弁理士　浅村　皓
(74)代理人　100072040
弁理士　浅村　肇
(74)代理人　100072822
弁理士　森　徹
(74)代理人　100080263
弁理士　岩本　行夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】眼バイオメータ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
光波面を有するコリメート・ビームを発生させるための照明源、
前記コリメート・ビームを目の網膜に指向させる１つまたは複数の開口共用エレメント、
眼の網膜から反射された反射ビームを受光し、前記光波面を伝達させるためのリレー・レンズ構成、
前記反射ビームを通過させて影パターンを発生させる第１のレチクル、ならびに
前記反射ビームの光波面に基づき、目の測定データを得るために前記影パターンを分析する分析装置、
を有する眼の特性を測定する装置。
【請求項２】
眼と前記第１のレチクルとの間に、ノイズを軽減するバッフルをさらに有している、請求項１に記載の装置。
【請求項３】
前記第１のレチクルから前記反射ビームを受光し、モアレパターンを発生させる第２のレチクルをさらに有する、請求項１に記載の装置。
【請求項４】
前記モアレパターンを投射するスクリーンをさらに有する、請求項３に記載の装置。
【請求項５】

前記モアレパターンを写すカメラをさらに有する、請求項３に記載の装置。
【請求項６】
前記第１と第２のレチクルが同じである、請求項３に記載の装置。
【請求項７】
前記第１と第２のレチクルとは、互いに相対的に回転する、請求項３に記載の装置。
【請求項８】
眼の相対運動を追跡する、請求項１に記載の装置。
【請求項９】
前記照明源は、約７８０から９００ｎｍの波長のコリメート・ビームを発生させる、請求項１に記載の装置。
【請求項１０】
前記照明源は、約８４０ｎｍの波長のコリメート・ビームを発生させる、請求項１に記載の装置。
【請求項１１】
前記リレー・レンズ構成は、前記反射ビームを前記第１のレチクルに投影するための一つ又は複数のレンズを有する、請求項１に記載の装置。
【請求項１２】
前記第１のレチクルは、回折格子を有する、請求項１に記載の装置。
【請求項１３】
前記第１のレチクルは、ロンキ・ルーリングを有する、請求項１に記載の装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
（技術分野）
本発明は、人間の眼の様々なパラメータの測定の分野に関する。
【０００２】
（技術の背景）
視力の改善は非常に重要である。眼屈折力、視力矯正を処方するための眼の特徴を含む表面の形状など、眼の物理的特性の正確な測定もきわめて重要である。
【０００３】
周王朝（紀元前約４７９～３８１年）以来、人はその視力を矯正しようと試み、どのくらいの矯正が必要であるかが問題の大部分であることを知った。一般に、現代の慣習では、視力矯正をプログラム的かつ主観的に定量化するためにフォロプタ（ｐｈｏｒｏｐｔｅｒ）とともにスネレン視力表（Ｓｎｅｌｌｅｎ’ｓ　ｃｈａｒｔ）が使用されている。このプロセスは測定を定量化するために患者応答に依拠する。網膜から反射される光または網膜上に結像する光を介して視力（ｖｉｓｕａｌ　ａｃｕｉｔｙ）を定量化するために、ナイフ・エッジ・テスト、マイヤーズ（ｍｙｅｒｓ）および他の光学原理を使用した自動反射器が発明されている。眼の光学特性は特定の収差によって定量化される。
【０００４】
現在、患者屈折測定は、屈折測定を定量化するために患者からの言葉によるフィードバックを必要とする。したがって、両方の眼の測定を実行するために、同時インジケータにおける独立変数の数が非常に多くの自由度を与え、したがっていずれかの眼の屈折において確度がなくなることになる。したがって、一度に１つの眼しか測定できない。本発明の技術で可能にできることの１つは、屈折状態、したがって両眼動作モードにおいて必要な矯正、すなわち両方の眼を同時に測定する能力である。
【０００５】
本発明の技術は、眼を光学システムとして扱った結果である。角膜の頂点から網膜の焦点面までの光学列（ｏｐｔｉｃａｌ　ｔｒａｉｎ）は、高度の光学システムと同じ基本技法を用いて、すなわちシステムを通過する光波面（ｏｐｔｉｃａｌ　ｗａｖｅｆｒｏｎｔ）を分析することによって、分析することができる。本発明では、そのような光波面を分析する方法を開示する。

【０００６】
眼の運動および斜視測定法（ｓｔｒａｂｉｓｍｏｍｅｔｒｙ）を追跡するためには眼の特性が必要である。角膜に傷を付け、その傷を追跡する方法が使用されている。虹彩の内部エッジを追跡することが使用されている別の技法であるが、虹彩直径は周囲光および動眼視野（ｆｉｅｌｄ　ｏｆ　ｒｅｇａｒｄ）とともに変化する。したがって、虹彩の追跡の結果として誘導される誤差は、測定される運動の大きさよりも大きくなり、無効な技法となる。本発明は、瞳孔全体の幾何学的特性および角膜のグリント（ｇｌｉｎｔ）を使用することによって眼の追跡を可能にする。
【０００７】
光学系の品質または光学設計を測定する古典的な技法は、眼の光学性能を測定するのに適していない。入射光線と反射光線の間の関係は、眼の特性に関する情報を与える。
【０００８】
光学特性を測定するために干渉法（ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｍｅｔｒｙ）を適用すること以外の方法は、システムから出る光がレチクル（ｒｅｔｉｃｌｅ）の影を生じさせるようにすることから得られる。影パターン（ｓｈａｄｏｗ　ｐａｔｔｅｒｎ）変化の物理的特性が予想されるものとは異なる場合、偏差（ｄｅｖｉａｔｉｏｎ）を分析でき、異常（ａｎｏｍａｌｙ）を定量化できる。本発明は特に、中心窩（ｆｏｖｅａ）から後方反射された光が眼から出る際の光の分析に関する。この反射光は、影状態を与えるのに空間的に十分コヒーレントになるように、網膜の反射特性のために、適切に調整しなければならない。
【０００９】
頂点または角膜における光波面を生成し分析するための本発明の方法は、本発明の主要な特徴である。連続的に実時間で両眼（必要な場合）式に眼の光学特性を正確に測定するための手段は存在しない。さらに、出願人は、眼の特徴の特性（例えば、屈折光学力状態、角膜のトポグラフィ（ｔｏｐｏｇｒａｐｈｙ）、角膜の厚度測定（ｐａｃｈｙｍｅｔｒｙ）、網膜明瞭度（ａｃｕｉｔｙ）、眼明瞭度、瞳孔測定（ｐｕｐｉｌｌｏｍｅｔｒｙ））などのより明確な測定を決定できるように、網膜から反射を得て、協同的にできるいかなる技法も知らない。より詳細には、出願人は、波面センサからデータを測定し分析するいかなる既知の能力も知らない。そのような有用性には、視力に必要な矯正レンズの自動評価、眼運動の特徴付け、および明瞭度のスクリーニング（ｓｃｒｅｅｎｉｎｇ）が含まれる。
【００１０】
眼の光学特性の測定を行うために光波面を処理することは有益である。本発明はまた、光波面データの処理および分析に関する。より詳細には、本発明は、網膜表面または角膜表面から反射された波面に関連する特性に関係する情報を含んでいる光波面を対象とする。光波面を分析するために光学手段とソフトウェアの両方を個別形態および統合形態で使用する。光波面がその伝搬経路においてロンキー・ルーリング（Ｒｏｕｃｈｉ　ｒｕｌｉｎｇ）のレチクルのパターンによって曇ったときに影パターンが生成される。これらの影パターンはまた、第２のレチクル上に下側空間パターンを投影することによってそれらを生成するようにできる。得られたパターンは、電磁であれ、音響であれ、空間であれ、異なる周波数を有する２つの単調和関数（ｓｉｍｐｌｅ　ｈａｒｍｏｎｉｃ　ｆｕｎｃｔｉｏｎ）の重ね合わせ、相互作用または干渉である、同じ周波数の近傍の２つのパターンの相互作用である。典型的な光学系では、これらのパターンは、トールボット・インターフェログラム（Ｔａｌｂｏｔ　ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｇｒａｍ）、フレネル・パターン（Ｆｒｅｓｎｅｌ　ｐａｔｔｅｒｎ）またはモアレ（ｍｏｉｒｅ）である。そのような情報を用いて、眼の有益な屈折特性を測定することができる。
【００１１】
縞パターン（ｆｒｉｎｇｅ　ｐａｔｔｅｒｎ）は波動光学干渉プロセス（ｗａｖｅ　ｏｐｔｉｃｓ　ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｍｅｔｒｉｃ　ｐｒｏｃｅｓｓ）によって引き起こされる。そのようなプロセスの一形態では、コリメートされた光ビームを分割して、ビームの一部を基準の方に向け、別の一部をターゲットの方に向ける。基準からの反射とターゲット

からの反射が干渉し合って干渉パターン（ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｍｅｔｒｉｃ　ｐａｔｔｅｒｎ）を与える。パターンを解釈することによりターゲットについての測定特性を得ることができる。この技法は、２つの光学経路間の幾何学的関係を一定に保持しなければならず、また空間コヒーレンスを維持しなければならないので、生きた眼からの網膜反射波面には適用できない。これは、通常運動している角膜では不可能である。

【００１２】

本発明では、それぞれ類似のまたは同じ規則パターンをもつ２つの（例えば、回折格子のような）透明体（ｔｒａｎｓｐａｒｅｎｃｙ）が重なったときに形成される干渉によって、別の形態の干渉パターンを発生させる。光が各透明体中を透過すると影がつくり出される。縞パターンは、２つの分離された透明体の影の重ね合わせによって発生した影である。このパターンを解釈すると、異なる眼界面から反射された光波面の幾何学的特性についての有用な情報が得られる。これは網膜、角膜および内皮（ｅｎｄｏｔｈｅｌｉｕｍ）からの反射に関連する。

【００１３】

縞パターンは、パターンを発生するシステム中のノイズによって歪むことがある。このノイズは、測定に使用されるカメラおよび光学システムによって、またはバックグラウンドまたはスプリアス光の干渉が原因で電子的に発生することがある。さらに、求められる測定に関連しない表面の異なる反射率（ｒｅｆｌｅｃｔｉｖｉｔｙ）特性も正確な測定に影響を及ぼすことがある。反射率問題は、例えば、表面の異なるコントラスト特性が存在する場合に起こることもある。あるいは、これは、光学測定システムに関連する光に関係しない方式で表面上に向けられる異なるバックグラウンド源によって起こることがある。このシステムではノイズをなくす方法が与えられる。

【００１４】

本発明の目的は、光波面センサのための改善された技法および装置を提供することである。

【００１５】

一実施形態では、光を使用して眼網膜を照明する。反射された光は、眼媒質、レンズおよび角膜中を伝搬する。角膜外の光波面を分析すると、眼の屈折力、したがって眼の焦点が合う距離が得られる。

【００１６】

本発明のさらなる目的は、空屈折、斜視および両眼共同運動（ｖｅｒｇｅｎｃｅ）の３つの次元において眼がどこを見ているのかに関する測定を提供することである。

【００１７】

本発明のさらなる目的は、視力矯正のために眼に適用する必要がある屈折矯正、屈折器（ｒｅｆｒａｃｔｏｒ）、屈折計（ｒｅｆｒａｃｔｏｍｅｔｅｒ）または自動屈折器（ａｕｔｏｒｅｆｒａｃｔｏｒ）を提供することである。

【００１８】

本発明のさらなる目的は、両眼屈折計、両眼自動屈折計または両眼屈折計のための両眼動作、したがって両眼視力強制または視力固定を提供することである。

【００１９】

一実施形態では、光を使用して、瞳孔計（ｐｕｐｉｌｌｏｍｅｔｅｒ）、コレオメータ（ｃｏｒｅｏｍｅｔｅｒ）またはコレオスコープ（ｃｏｒｅｏｓｃｏｐｅ）としての眼媒質を照明する。網膜反射光は眼の瞳孔によって開口される。瞳孔をＣＣＤ（電荷結合デバイス）カメラなどの撮像センサによって記録したとき、瞳孔は像の残部と比較して明るく見える。明るい瞳孔の領域を測定することによって、瞳孔の直径を導出することができる。

【００２０】

本発明の別の実施形態では、眼を１つ、２つまたは３つの空間次元において追跡する。眼の入射照明は較正された光波面、好ましくは平面であり、したがって撮像システムの物体平面（ｏｂｊｅｃｔ　ｐｌａｎｅ）内で、角膜はグリントである第１のプルキンエ像（Ｐｕｒｋｉｎｊｅ　ｉｍａｇｅ）を生成する。第１のプルキンエ像と瞳孔の間の幾何学的関

係から、面に対する１つまたは２つの接線空間／角度次元における眼の注視角（ｇａｚｅ　ａｎｇｌｅ）が得られる。第３の追跡次元は面からの距離である。

【００２１】

本発明のさらに別の目的は、眼の斜視測定を提供することである。斜視計（ｓｔｒａｂｉｓｍｏｍｅｔｅｒ）は、眼の注視角（視角（ｌｏｏｋ　ａｎｇｌｅ））を測定し、それを、眼が見ることを課せられているターゲットのそれぞれの角度と比較する。

【００２２】

注視角測定を２つの眼で両眼モードにおいて行う場合、２つの測定から眼輻輳（ｏｃｕｌａｒ　ｃｏｎｖｅｒｇｅｎｃｅ）（「両眼共同運動」）測定が行える。これは２つの眼の視線（ｌｉｎｅ－ｏｆ－ｓｉｇｈｔ）が合う場所である。この機能から眼の立体視（ｓｔｅｒｅｏｐｓｉｓ）または三次元観察能力が得られる。

【００２３】

したがって、本発明のさらなる目的は、観測される生物の輻輳（両眼共同運動）を測定するための改善された技法および装置を提供することである。

【００２４】

眼が（人工的、表面的、仮想的または現実的な）シーンを見ているように、眼に（ホット・ミラー（ｈｏｔ　ｍｉｒｒｏｒ）、開口共有エレメント（ａｐｅｒｔｕｒｅ　ｓｈａｒｉｎｇ　ｅｌｅｍｅｎｔ）、ビーム・コンバイナ（ｂｅａｍ　ｃｏｍｂｉｎｅｒ）などの）手段を設けた場合、本発明の３つの空間／角度測定機能性を制御ループ機能として使用して、眼の適切な遠近感において像を得ることができる。眼追跡機能はまた、眼の視覚または神経眼応答（ｎｅｕｒｏ－ｏｐｈｔｈａｌｍｉｃ　ｒｅｓｐｏｎｓｅ）を観測または記録する際に監視技法として使用することができる。

【００２５】

したがって、本発明の別の目的は、眼の監視である。

【００２６】

照明が角膜内位置に集中または集束する場合、照明は角膜の上皮（ｅｐｉｔｈｅｌｉｕｍ）および上皮表面から反射する。光学レンズを照明の光学経路中に配置すると、この集束効果が得られる。内皮反射は、スペクトル特性または偏光特性が上皮反射とは異なる。

【００２７】

角膜前方反射を波面センサに向け、波面を分析し、角膜のトポグラフィを分析することができる。したがって、本発明の別の目的は、角膜表面のトポグラフィ、角膜トポグラフまたはトポグラファ（ｔｏｐｏｇｒａｐｈｅｒ）を提供することである。

【００２８】

角膜内皮表面から反射された照明を波面センサに向け、角膜内皮表面のトポグラフィを測定することができる。したがって、本発明の別の目的は、角膜内皮表面のトポグラフィ、角膜内皮トポグラフまたはトポグラファを提供することである。

【００２９】

前方角膜表面と後方角膜表面とを比較すると、角膜の厚さを決定することができる。したがって、角膜の厚度測定を行うことができる。したがって、本発明の別の目的は、角膜の厚度測定、角膜厚度計（ｐａｃｈｙｍｅｔｅｒ）または角膜パキトポグラファ（ｐａｈｃｙｔｏｐｏｇｒａｐｈｅｒ）を提供することである。

【００３０】

（発明の開示）

本発明は、眼のパラメータの改善された計測を行うシステム、装置および方法を提供する。特に、本発明は、単眼または複眼のいずれかのモードにおいて、それぞれの眼の視線と瞳孔応答と同様に眼の屈折状態が計測される、視力解析用システムを提供する。この情報は、視力補正解析、研究またはこの情報を必要とする任意のシステムにおけるフィードバック・ループにおける使用のために、眼が３次元空間のどこを見ているかを確かめるために使用されることができる。

【００３１】

眼のパラメータの計測は、光ビームを生成すること、および、ビームを眼へ向けることを含んでいる。ビームは、影パターンを生成するために、眼の網膜または角膜から反射され、単一レチクル（回折格子）または既知の距離だけ分離された複数のレチクル（回折格子）を通される。影パターンを解析することにより、眼のパラメータの計測データ、特に、屈折状態または角膜トポグラフィが提供される。

【００３２】

計測されるべき要素は、解剖学上の表面または眼のインタフェースである。選択的に、これは網膜表面であってもよく、解析により、眼についての屈折データおよび／または見ることに対する網膜の明瞭度が提供される。表面が上皮表面であるところでは、解析により、角膜のトポグラフィ・データが提供される。すなわち、角膜曲率測定または角膜トポグラフィである。表面が内皮表面であるところでは、解析により、上皮データとともに、角膜の厚み計測値が提供される。すなわち、厚度測定である。

【００３３】

本発明の好ましい実施形態において、データは、眼の屈折状態を断定するのに使用される。

【００３４】

本発明の別の好ましい実施形態において、全表面にわたって角膜形状または角膜厚を断定するために、データが角膜表面にわたって全体的に得られる。

【００３５】

本発明の一実施形態において、眼または角膜の解剖学上の特徴の動き（回転または並進）を決定するために、データが解析される。

【００３６】

本発明の別の好ましい実施形態において、選択された波長のコリメートされたビームが、異なる眼の表面に向けられ、それぞれの縞パターンが得られ、解析される。それぞれの表面に対するデータは、集合的に解析されるのが好ましい。解析により、特定の角膜表面の情報と全体パラメータおよび表面により特徴付けられた生理機能が与えられる。

【００３７】

また、本発明によれば、所定の縞パターンを表わすデータを受信する手段が備えられており、パターン・データ処理における相関技術に適用されると、パターンが計測特性を表わす。

【００３８】

本発明の別の好ましい実施形態において、計測特性は、眼の網膜表面特性および角膜の上皮と内皮のトポグラフィである。この情報により、眼の屈折および回折特性が得られる。これにより、眼鏡またはコンタクトレンズのような補てんデバイス、または、レーザ注入電力による眼の治療による補正が可能となるであろう。

【００３９】

本発明の別の好ましい実施形態において、縞パターンは、トールボット・インターフェログラムまたは影パターンであり、対象の計測に関するデータを抽出するために解析される。解析手段は、本明細書に開示されている技術である。影パターンは、空間周波数領域において独特な特性を有する曲線ラインのセットである。特性は、特に、電磁波面を解析するために使用されることができる。眼の屈折力、角膜の形状および角膜の内皮表面の解析は、パターンの中心周波数の位置、および、直交空間における、より高次の周波数を決定することにより抽出される。空間周波数成分の大きさおよび位相は、光波面または多調表面に存在する、３次およびそれより高次の空間モード、すなわち、焦点、非点収差の大きさおよび方向を提供する。

【００４０】

本発明において使用される影を投影する技術は、計測に対する感度が調整可能で、眼の動きに対して鈍感にすることにより、高い品質の、定量化された眼の収差が、患者の反応なしで計測されることを可能にする。７８０～９００ｎｍのスペクトル範囲の近赤外エネルギーは、網膜の脈絡毛細管板および着色された上皮において高い反射係数を有している。

レーザ・ビームは、眼に入る時によく調整されていれば、眼の多くの収差を計測するために、反射波面が解析されることができる。

【００４１】

本発明の好ましい実施形態において、眼の斜視特性は、（オフサルモトロ・メータまたはストラボ・メータとしても知られる）斜視計の形式で計測および定量化される。眼の光軸が決定され、両眼共同運動が計測、定量化される。

【００４２】

本発明の他の特徴は、これからさらに、付随する図および詳細描写を参照して説明される。

【００４３】

（発明を実施するための形態）

患者の両眼の屈折は、患者が観察ポートを通して現実の対象を観察すると同時に計測される。屈折状態が変わるため、本発明の眼バイオメータは、調節の生理学的遷移が観察されるように、リアルタイムでの計測を提供する。同時に、瞳孔サイズが観察され、視線の方向が観察される（すなわち、眼の追跡）。同じ技術により、角膜の形状および厚みが、角膜全体を通して、連続して計測される。システムにおいて、これらの計測はビデオ・カメラのフレーム・レートで行われる。屈折、斜視または神経反応を介した、必要な視力補正は、本明細書に記載されている技術を介して確かめられることができる。

【００４４】

計測期間後、データが処理され、両眼の完全な光学特性が知られる。遠視野と近視野の同時の最適化は、両視野および中間点における光学的能力を最適化するために行われる。

【００４５】

眼バイオメータは、（補助光学系を持つ）網膜および角膜表面から反射された光波面を計測する。これら表面のスペクトル反射特性は、全ての眼の特性が計測されることができるように、波面の分離を可能にしている。

【００４６】

スペクトル反射ピークは、

角膜上皮表面：近赤外、可視およびＵＶスペクトル

網膜表面：　７８０～９００ｎｍ

である。

【００４７】

赤外（７８０～９００ｎｍ）ビームが眼に向けられる。赤外ビームは、角膜媒体およびレンズにより合焦させられ、光学的に網膜から散乱させられ、そして、レンズと角膜を通って眼を出る。光波面を、光学リレイ・システムを通し、次に、伝播方向に垂直な面に平行に配置され、それらの面において互いに関して回転している１つまたは多数のレチクルを通すことにより、波面解析が行われる。得られる影パターンは、マット・スクリーン上に画像化され、ビデオ・カメラにより記録される。記録された画像は、眼を出る波面の形状を導出するために、空間周波数領域特徴化法により処理される。この波面は、眼の光学システムにおける収差に関する情報の全てを含んでいる。既に知られている空間特性により、波面は、良く理解されている収差、たとえば、焦点および非点収差に合わせられる。これで、眼の光学収差が正確に定義されたことになる。

【００４８】

眼の凝視を１方向に固定させ、バイオメータを、軸をはずれて、それでも角膜および瞳孔の方へ向くように動かすことにより、眼の空間分解屈折（Ｓｐａｔｉａｌｌｙ　Ｒｅｓｏｌｖｅｄ　Ｒｅｆｒａｃｔｉｏｎ、ＳＲＲ）が評価されることができる。従って、眼バイオメータは、視線に沿うものと視線を横切るものの両方の眼の屈折を提供することができる。

【００４９】

生成された影パターンは、眼とともに動くため、眼の動きを定性化および定量化するために、追跡されることができる。単純な眼の動きは、横方向の平面の追跡および軸方向の面

（ａｒｅａ）の追跡により特徴付けられることができる。詳細な眼の動きの追跡は、影パターンの実際の解析と一体化されたこの技術により行われる。この眼力学センサは、単眼または両眼の形式で、この全工程中の眼の動きを追跡するために使用される。両眼形式における本発明のサブシステムは、眼の両眼共同運動の視線計測用オフサルモトロ・メータおよびストラボ・メータとしても知られている、斜視計として、精密な指示および追跡機構のためのヘルメット・マウンテッド・ディスプレイ（ＨＭＤ）において、寝入り、薬物飲用またはアルコール飲用、すなわち、禁酒を検出するのに使用される、眼の動きにより特徴付けされる精神的な警戒指示器として、眼の動きがゲームとの相互作用であるビデオ・ゲームにおいて、および、眼の動きがパラメータとなる研究において使用されることができる。

【００５０】

図１および図２は、本発明の眼バイオメータを概略的に示している。両眼構成は、２つの単眼システムに分割されることができ、それにより、１度に１つの眼が処理される。被検者の眼１は、開口共有要素としても知られている「ホット・ミラー」４を介してシステムを通して見る。システムは、可視スペクトルが要素４を通して伝播し、赤外スペクトル（７８０～９００ｎｍ）の特定放射が反射されることを可能にしている。被検者は、風景の中の動く物体を見るように言われ、広い範囲にわたって、彼または彼女の合焦されせる視野を調整している。図１の要素３ａ～１３は、眼バイオメータの特定の用途、たとえば、ヘルメットまたはまびさしに搭載された、手持ち装置、ベンチ搭載装置などに関して配置されている。要素４ａは、また、眼の屈折された波面の光路を照明源７と共有している、開口共有要素である。要素４ａは、光の一部が通過し、残りが照明源７から反射することを可能にしているビーム・スプリッタである。要素３ａ、５、１１および１３は、リレー・レンズ装置を備えている。特別な設計は、この構成が物体面３ａから１３のデータ画像面への拡大を生成することを要求してもよい。構成は、望まれる結果に依存して変わってもよい。

【００５１】

図１において、要素６、８、１０および１２は、光学ステアリング・ミラーまたは特定の設計においては存在してもしなくてもよい、ビーム・スプリッタ（すなわち、開口共有要素）である。これらは、構成要求に応じて特定の設計を変えるのに使用されるが、放射状光出力分布以外には、波面検知現象学上では何の結果ももたらさない。眼１は、レーザ、発光ダイオードまたはスペクトルに赤外、可視および紫外線を有している任意の光源であってもよい、照明源７により照明されている。

【００５２】

７、６、５、４、３ａ内の光学システムの目的は、３ａ位置で、較正され、好ましくは平面の光波面を生成することである。眼を追跡することが眼バイオメータの関数である時、この波面は十分に理解されていなければならない。角膜３は３ａの物体面の非常に近くにあることが重要である。波面により衝突される角膜３の湾曲平面は、波面センサ１３により画像化されるであろう反射（ｇｌｉｎｔ）を生成し、眼バイオメータの眼の追跡関数の重要な要素である。

【００５３】

バイオメータによる屈折状態の計測において、好ましいことではあるけれど、眼に衝突する平面の波面を有することは必要ではない。光学エネルギーは角膜３およびレンズ２により屈折させられ、網膜１に入射する。網膜のそれぞれの桿状体および円錐体は、入射する赤外（ＩＲ）照明を反射する時、点源になる。反射光は瞳孔２ａにより開口を与えられる。より詳細には図３に示されている、波面センサ１３に含まれているＩＲカメラ／センサは、暗い背景の上で明るい瞳孔を検出する。瞳孔２ａの幾何学的重心は、眼の追跡アルゴリズムを提供する第２のデータ点である。反射光は、光軸の角膜頂点（面３ａ）の波面が眼の屈折特性の全ての状態を含むように、レンズ２および角膜３により屈折させられる。そして、リレー・レンズ・システムは、図３に説明されているように、この波面を波面センサ１３に伝える。しかし、面３ａの波面は、網膜反射のそれぞれからの波面の全ての蓄

積である。それぞれが、眼についての屈折情報の全てを有している。不幸なことに、それらが角膜の頂点で加算されると、情報が識別できなくなる。従って、波面は、波面センサに達する前に調整されていなければならない。点源は空間的に変位している。従って、リレー組み立て品のフーリエ面９において、点源のそれぞれの点広がり関数は、空間的に変位している。従って、波面調整バッフル組み立て品９はフーリエ面に配置されている（すなわち、３ａから５まで、および、９から５までの距離はレンズ５の焦点距離である）。最後に、波面センサ１３において、眼の屈折状態を提供するために、波面が解析される。この情報だけが役に立つ。しかし、眼が調節しようとしている参照距離と比較して、視力補正が決定されることができる。眼の追跡、屈折および瞳孔サイズ・データは、図３においてより詳細に見られる、波面センサ１３のコンピュータにより決定され、出力デバイス１５に通信される１４。これらのパラメータの全ては、屈折状態を正確に決定する眼バイオメータ、出力デバイス１５で表示される被検者の眼の瞳孔測定および斜視測定の能力に相関させられる。

【００５４】

図１の光学的な略図の特定の単眼構成の例が図２に示されている。照明は、照明源７にコリメートされている。照明は、開口共有要素４ａに伝播し、部分的に反射される（光の残りは要素を通して伝えられる）。眼１が開口共有要素４を通して見つめる時、照明は、要素から反射し、眼１に入射し、伝えられる。角膜３からの散乱光は、波面センサ１３のカメラにより画像化される。眼に入る照明は、網膜１から反射される。この反射光は、レンズ２を通して伝播し、眼の瞳孔２ａにより開口を与えられ、角膜３を通して伝播する。光波面は、開口共有要素４から反射し、部分的に開口共有要素４ａを通過し、空間バッフル９の領域に合焦させられる。バッフル９は、不要なデータを除去し、その後、レンズ１１が解析器１３に波面を再び映す。所望のデータは、内部リンク１４を介して出力デバイス１５に伝えられる。

【００５５】

波面センサ１３は、図３により詳細に概略的に説明されている。計測される波面１６は、センサに入り、焦点距離ｆ１０のレンズ１８を通過し、空間バッフル２０の領域に合焦させられる。除去されない波面は、焦点距離ｆ１２を有しているレンズ２４により面２２に再形成される。面２２には、１つのレチクル２６または２つのレチクル２６と２８がある。単一レチクル２６は、マット・スクリーン３０から距離ｄに配置されている。

【００５６】

レチクルの対２６と２８は、互いに関して角度θだけ方位角的に回転し、軸方向に距離ｄだけ変位している平行面にある。単一レチクル・システムにおいて、影パターンは、マット・スクリーン３０上にレチクル２６の影を投影する波面により生成される。影パターンの空間周波数をレチクルと比較することにより、波面の特性が確かめられ、従って、眼の屈折状態が決定される。

【００５７】

２重レチクル・システムにより、回折が特定できるのが好ましいが、必ずしも必要ではない。波面１６により生ずるレチクル２６からの影パターンは、波面の第１導関数を表わす、影パターン３０を生成するレチクル２８上に投影される。影パターン３０は、ＣＣＤ（電荷結合デバイス）カメラのような、照明のＩＲ領域に感度がある画像記録デバイス３２により記録される。入来する波面が、１６で参照され、乱されない（ｕｎｐｅｒｔｕｒｂｅｄ）（平面な波面）（破線）時、結果は、周期的で明るく、そして、暗いまっすぐな縞である影パターンとなるであろう。１６において波面に収差がある（実線）時、得られる影パターンは、平面な波面の結果としての影パターンに比べて乱れている。乱れは、縞の角度方向および／または空間湾曲にあるであろう。そして、コンピュータ３４は、波面を解析するのに使用される。

【００５８】

図４において、眼４０のスペクトル反射特性が説明されている。広いスペクトル帯域の白色光源４２が眼４０を照明することを考えると、光の支配的なスペクトル領域は、眼４０

のそれぞれの表面から反射されるであろう。角膜３は、２つの関心のある表面を有し、網膜４６は、波面をサンプリングする光学システムに対する反射を提供する。それぞれの表面では鏡面反射があるが、それぞれの反射に含まれたスペクトル応答がある。従って、それぞれの表面で、異なる「色」が反射されている。前面上皮角膜表面５０からのスペクトル反射４８は、ＩＲ、可視スペクトルおよび紫外に対する非常に広いスペクトルである。デスメ（Ｄｅｓｃｅｍｅｔ’ｓ）膜および内皮は、角膜４４の背面５２にある。この表面５２からのピーク・スペクトル鏡面反射５４は、名目上、５２５ｎｍ領域で起こる。レンズ５６は、黄色スペクトル領域のエネルギー６２を反射できる２つの表面５８と６０を有している。最後に、網膜４６は、７８０～９００ｎｍ光波長領域で非常に強く反射する６４。

【００５９】

眼の視力を計測する、調節計測デバイス、または、屈折器の、この光路は、図５に示されている。コリメートされたビーム６６は、開口共有要素６８から反射し、眼７０に向けられ、角膜７２、レンズ７４を通過し、そして、網膜７６に達する。そして、ビームは、網膜構造により散乱され、生成された波面が眼７０から伝播させられ、今度は、波面センサへの途中７８で開口共有要素６８を通過する。

【００６０】

眼の角膜のトポグラフィを提供するために、広いスペクトル帯域で放射線を生成する光源が必要である。図６において、光８０は、放射線源から来ている。光ビーム８０は、ヌル・レンズ８２を通して屈折させられる時、光８０が角膜表面８４に向けて、また、それにおよそ垂直に向けられるように、コリメートされる。眼杯または接眼レンズのような支持部８６は、ヌル・レンズ８２の焦点が角膜８４の曲率８８の中心に非常に近くなるように、眼を位置決めするのに使用される。そして、収束光９０は、角膜８４により反射される。角膜上皮表面から反射された光は、全体表面の正確な計測となる結果により解析されることができる波面９２を生成するために、ヌル・レンズ８２を通して後方へ向けられる。

【００６１】

角膜マッピング装置または角膜トポグラファの光路は、図７に示されている。コリメートされたビーム９４は、開口共有要素９６から反射し、ヌル・レンズ９８に向けられ、眼１００、そして、角膜１０２上に入る。そして、ビームは、角膜構造により反射され、生成された波面はヌル・レンズ９８を通して後方に伝播させられ、今度は、波面センサへ行く途中１０４の開口共有要素９６を通過する。

【００６２】

角膜のスペクトル反射特性の利用は、図８に示されている。眼バイオメータは、２つの表面を同時に計測でき、そしてこの場合、全ての位置で角膜の厚みまたは深さを計測する。厚度計の光学構成の略図は、図８に示されている。照明１０６の２つの異なるスペクトル領域または偏光は、左からヌル・レンズ１０８に入射する。それらは、角膜表面１１０上に収束し、入射光のスペクトルまたは偏光成分の１つがそこで反射するであろう。入射光の他のスペクトルまたは偏光成分は、内皮角膜表面１１２から反射するであろう。１１４として示されている２つの反射された波面は、ヌル・レンズ１０８により屈折させられ、波面センサにより解析される波面になる。ヌル・レンズ１０８の最も左の頂点は、図３において波面１１６が解析される点である。得られる計測値は、湾曲１１８の上皮半径r_1および湾曲１２０の内皮表面半径r_2である。両方とも同じ湾曲中心に対して計測される。このように、角膜の厚みは、任意の軸または放射位置での差分により決定される。

【００６３】

波面が解析されるアルゴリズムは、図９に示されている。システムに置かれるパラメータは、波面が解析されるべき軸の数１２５、１２６およびそれらの方向（定義）、データを収集するのに必要であるデータ収集機構の数（すなわち、焦点面１２４）である。影パターンは、焦点面により収集され、ディジタル化される１２８。いくつかの用途では、パターンの数は、同時に、単一領域に蓄積され１２９、解析されることができる。他の用途において、１つのパターンまたはパターンのセットのみが一度に解析されることができる。

その後、枝を進む１３０。その後、パターンの空間領域を空間周波数領域へ変換するのに１３１、フーリエ変換のような数学的な技術が使用される。周波数領域における支配的な高調波１３２は、その後、データからろ過される。これらは、定義された軸における波面のフィギュア（形）を表わしている。「フィギュア」は、影パターン（たとえば、球面、コマ、・・・からｎ次の球面１３３）から導出された任意の空間モードである。ここで、空間領域において、波面がこれらの成分から導出されることができる。その後、波面は、眼のような光学列の光学的能力、または、角膜１３４のような表面の形状として解釈される。その後、データは、それぞれのシステム要素に送れらるか、図１０または図１１、データとして出力される１３５。

【００６４】

眼バイオメータの機能の１つは、眼の瞳孔のサイズの計測である。図１０に提示されたアルゴリズムは、両眼に対して同じであり、従って、１つのみ示されている。図９に示されるように、データは収集され、ディジタル化される１４１。この解析において、空間座標が重要であるため、従って、参照座標が定義されなければならない１４２。その後、データは、データしきい値を用いることにより１４３、調整される。すなわち、定義されたレベルより低い全てのデータは、「０」（ゼロ）のような固定値が与えられ、別のしきい値を超える全てのデータは、「１」のような別の固定値が与えられる。今、瞳孔関数が「０」または「１」のいずれかに設定される１４４。その後、全ての画素（または、データ・セル）は加算され、上限値（すなわち、この例では１）により正規化される。画素の物体空間寸法を知って、瞳孔の面積が知られる１４５。２つの方法で、その直径が決定されることができる。平均直径を知ることだけが望まれる時、直径を導出するのに１４６、円の面積を使用することが行われる。ある軸の寸法が要求される時、重心１４７およびモーメント技術が使用される１４８。

【００６５】

眼バイオメータは、眼を追跡し、２つの眼の両眼共同運動（すなわち、２つの眼の視線が収束するところ）を決定するのに使用されることができる。この解析に対するアルゴリズムは図１１に提示されている。図のＯＳおよびＯＤはそれぞれ左眼および右眼である。「ＯＳとＯＤ」は、関数が、２つの眼から同時に、または、直列に、データに対して実施されることを示すのに使用されている。その後、データは、眼の両眼共同運動を得るために、最後の関数で結合される。再び、データが収集され１５１、ディジタル化され、参照座標が提供される１５２。ここで、データ点の２つのセットが必要とされる。すなわち、（１）波面センサ（ＷＦＳ）により見られる瞳孔の重心（幾何学的中心）および（２）ＷＦＳにより画像化される角膜反射の位置１５３である。それぞれの反射と重心の間の距離１５４は、ＷＦＳの光軸に関する眼の光軸の視角度１５５を提供する。これらの角度は、その後、眼の光軸と視線の間の差１５６に対して調整されなけらばならない。その後、これらは、眼の凝視角度となる。この時、正の角度は鼻方向で、負の角度は側頭方向である。ここで、両眼共同運動は、２つの角度の合計の大きさである１５７。

【００６６】

眼バイオメータの一般的な用途は、自動車、トラック、飛行機、宇宙船、作業環境などのような「生活」シナリオにおける眼の応答をモニタすることである。眼バイオメータ、すなわち、照明源および波面センサは、環境に一体化されなければならない。しかし、図１および図２における開口共有要素４は、被検者が環境を見ることを可能にしなけらばならない。図１２において、４が開口共有要素である、一般的な構成が示されている。

【００６７】

両眼が追跡される時、眼の両眼共同運動が決定されることができる。従って、この用途において実施される機構のサブシステムは、眼の両眼共同運動の視線計測用オフサルモトロ・メータおよびストラボ・メータとしても知られている、斜視計として、精密な指示および追跡機構のためのヘルメット・マウンテッド・ディスプレイ（ＨＭＤ）において、寝入り、薬物飲用またはアルコール飲用、すなわち、禁酒を検出するのに使用される、眼の動きにより特徴付けされる精神的な警戒指示器として、眼の動きがゲームとの相互作用であ

るビデオ・ゲームにおいて、および、眼の動きがパラメータとなる研究において使用されることができる。

【００６８】

示されているシステムは、光学計測を実施し、また、光学要素に必要である補正治療の程度を決定するために、閉ループで動作している。光学的治療が実施される時、閉ループは異なる屈折信号を提供することができ、治療は、最後に光学条件が調整されるように適応させられることができる。

【００６９】

本発明において記載されている眼バイオメータ・システムは、患者の意識的なフィードバックを必要としない。従って、客観的な両眼屈折が実施されることができる。角膜トポグラフィは、患者のフィードバックを必要としない。そのため、患者の視力特性のパラメータの全ては、両眼モードで同時に計測されることができる。

【００７０】

角膜の全体的なトポグラフィ取得法は、角膜の全体表面をサンプリングする（すなわち、計測する）のに必要とされる機構である。眼のスペクトル反射情報を波面検知技術と組み合わせることにより、角膜表面トポグラフィは、正確に、かつ、連続して計測される。こうした計測は、コンタクト・レンズを合わせるため、また、屈折の手術または治療処置のために角膜を解析するために、正確な生物測定法を提供する。

【００７１】

角膜曲率測定法において使用される技術は、斜視計測を提供するのと同様に、眼の力学が追跡されること、すなわち、眼の追跡センサを可能にしている。この技術は、眼の動きを定量化し、２００マイクロ・ラジアン（または、０．０１°）まで定量化できる。

【００７２】

この技術は、眼の手術、屈折の手術および治療処置、ヘルメット・マウンテッド・ディスプレイ・システムにおける指示および追跡、仮想現実システム、人が寝入っているかを判断するセンサ（たとえば、自動車居眠り警告）、精神的な鋭敏さのテスト（たとえば、アルコールおよび薬物テスト）および眼の追跡がゲームとの相互作用として使用される可能性のあるビデオ・ゲームにおいて役に立つ。

【００７３】

（産業上の利用可能性）

眼の緊張を引き起こさないで、または、口頭の応答を必要としないで、被検者の視力の単眼または両眼の自動屈折計測が可能である。コンタクト・レンズまたは眼鏡レンズの処方箋は、処方された屈折手術または組織治療処置と同様に、自動的に提供されるであろう。

【００７４】

コンタクト・レンズ合わせ、角膜の傷および障害の解析、眼の研究および屈折の手術および組織治療処置において使用される、角膜表面の正確なトポグラフィ取得が行われることができる。

【００７５】

本発明の多くの別の例および用途が存在し、それぞれは詳細の点に関してのみ他と異なっている。本発明は、以下の請求項によってのみ制限されると考えられるべきである。

【図面の簡単な説明】

【図１】　瞳孔直径および凝視角度と同様に、単眼または両眼モードで眼の屈折力の自動計測を行う、本発明によるシステムの概略図である。

【図２】　図１の特別な単眼構成の概略図である。

【図３】　それぞれの眼の表面から反射された波面を解析するための光波面センサ技術の図である。

【図４】　スペクトル・バイオメータにおける眼の表面のスペクトル反射特性の図である。

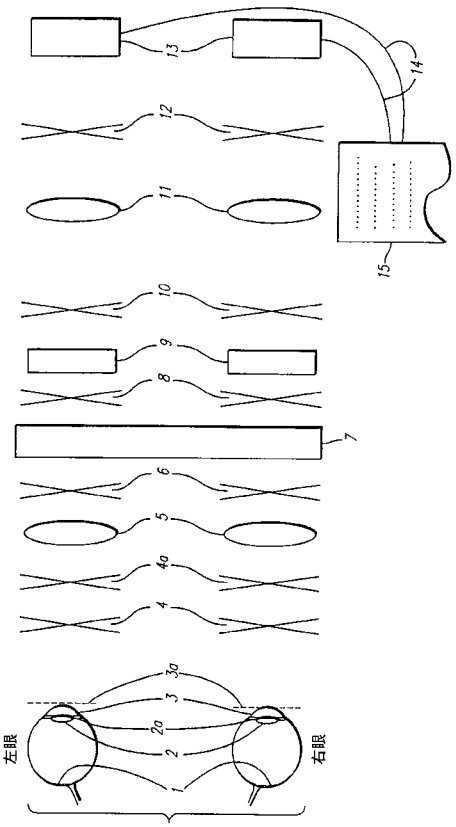
【図５】　眼バイオメータの屈折動作における光路の図である。

【図６】　角膜形状およびトポグラフィにおけるヌル・レンズの使用を示す概略図である

。

【図７】　角膜形状およびトポグラフィにおける波面センサの光学的概略図である。
【図８】　角膜の厚みを計測する厚度計の光学的概略図である。
【図９】　波面センサ・データ解析アルゴリズムのための論理フロー図である。
【図１０】　瞳孔測定解析のための論理フロー図である。
【図１１】　眼の追跡解析のための論理フロー図である。
【図１２】　眼バイオメータおよび現実世界を持つ人間インタフェース構成である。

【図１】



【図２】

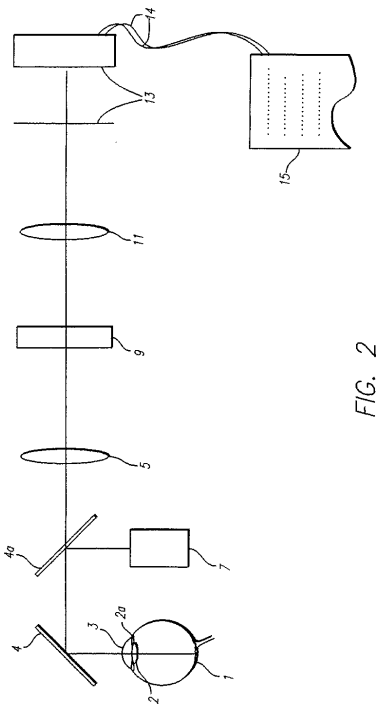


FIG. 2

【図３】

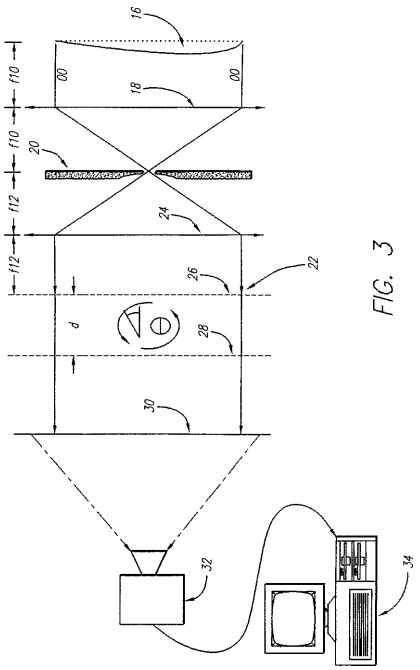


FIG. 3

【図４】

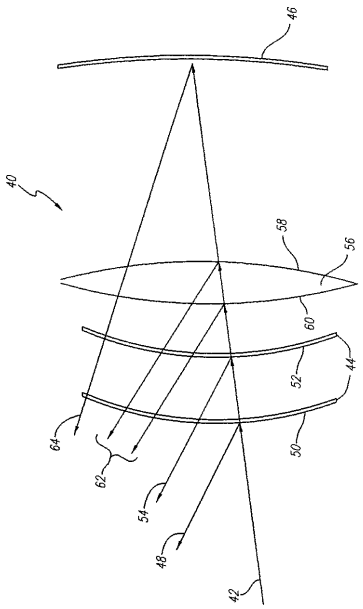


FIG. 4

【図５】

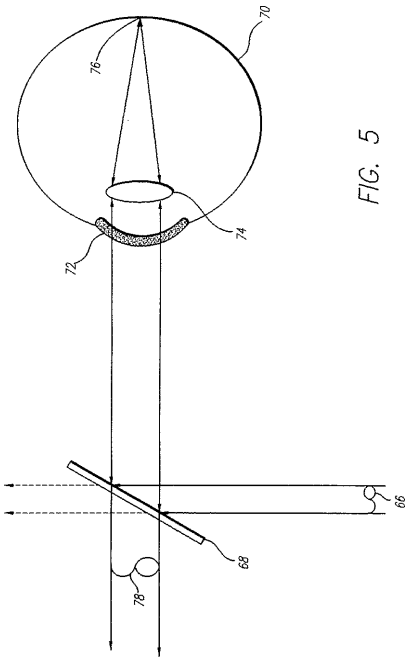
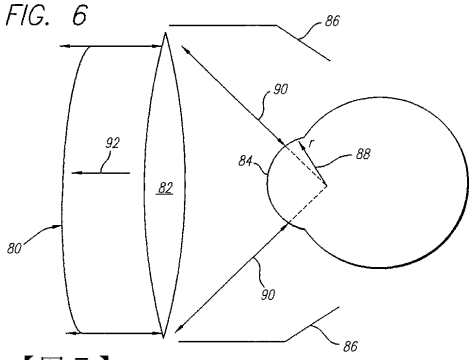


FIG. 5

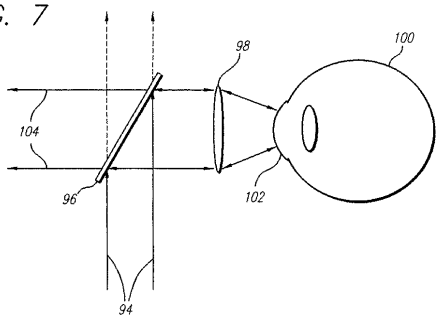
【図６】

FIG. 6

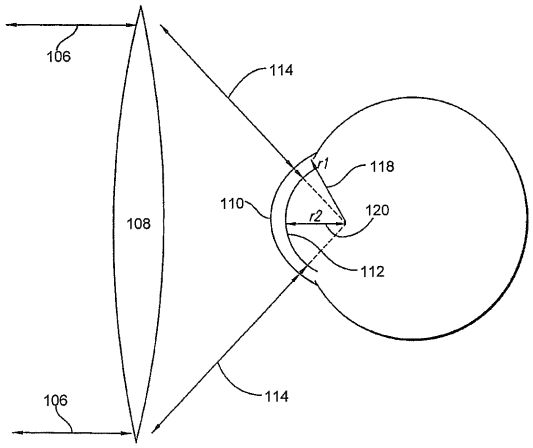


【図７】

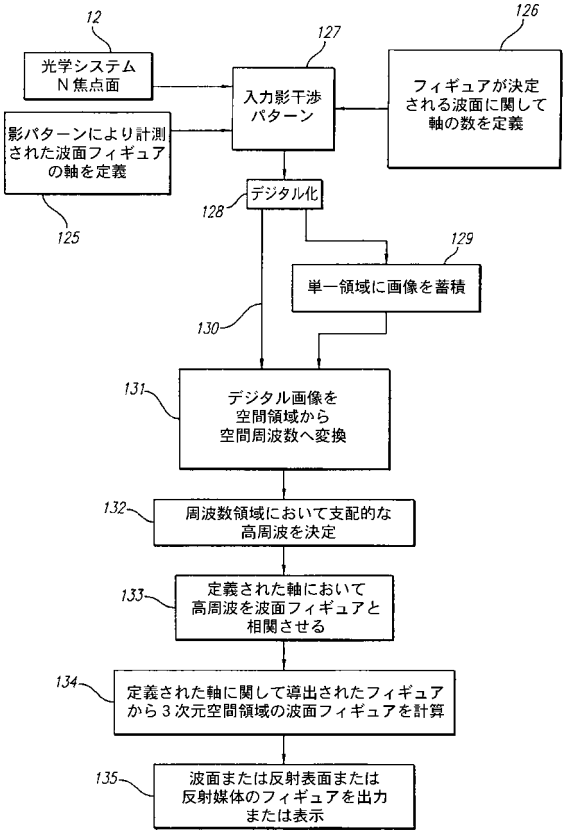
FIG. 7



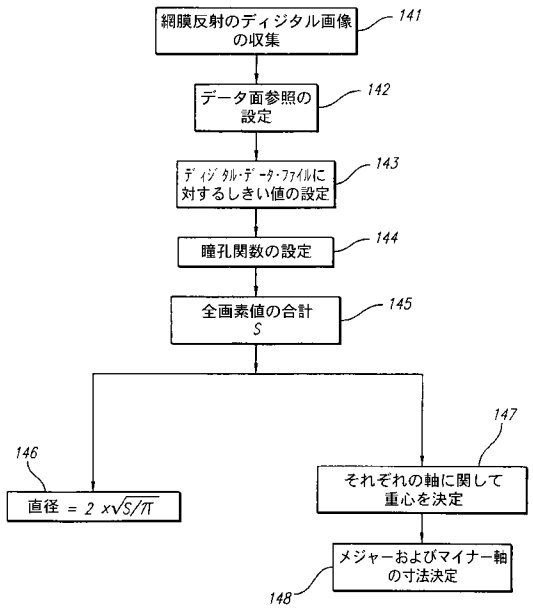
【図８】


106
114
r1
118
110
r2
120
108
112
106
114

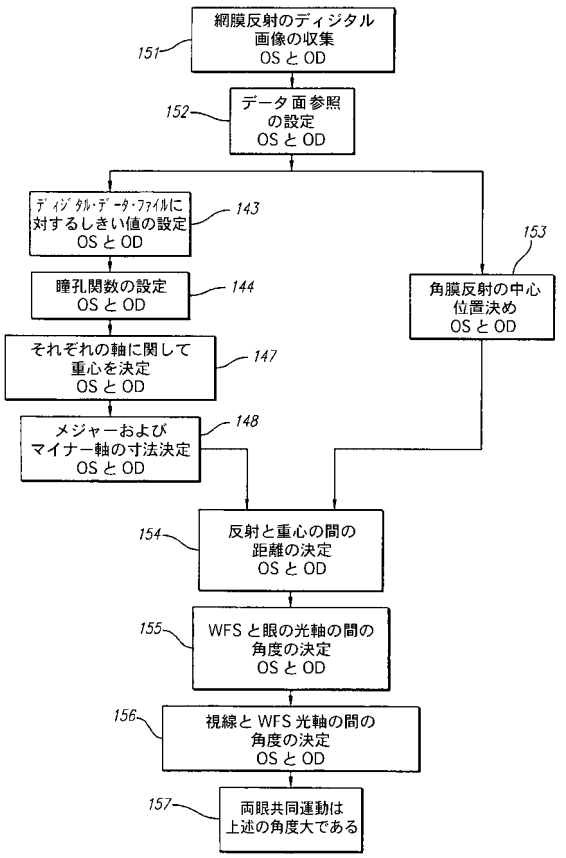
【図９】


12
光学システム
N 焦点面
127
入力影干渉
パターン
126
フィギュアが決定
される波面に関して
軸の数を定義
影パターンにより計測
された波面フィギュア
の軸を定義
125
128
デジタル化
129
単一領域に画像を蓄積
130
131
デジタル画像を
空間領域から
空間周波数へ変換
132
周波数領域において支配的な
高周波を決定
133
定義された軸において
高周波を波面フィギュアと
相関させる
134
定義された軸に関して導出されたフィギュア
から３次元空間領域の波面フィギュアを計算
135
波面または反射表面または
反射媒体のフィギュアを出力
または表示

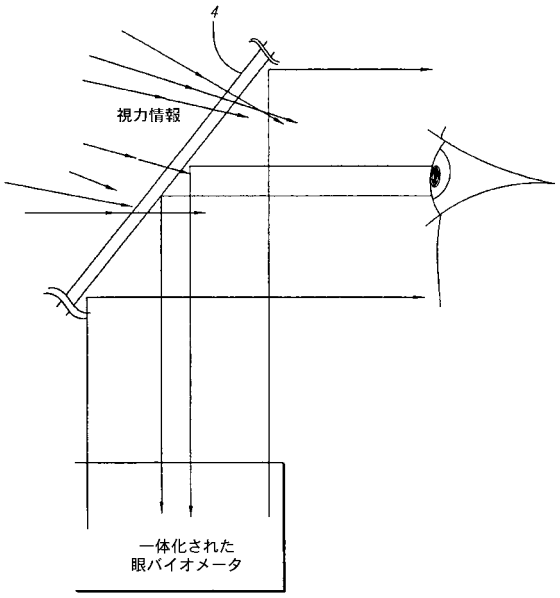
【図１０】


網膜反射のディジタル画像
の収集
141
データ面参照の
設定
142
ディジタル・データ・ファイルに
対するしきい値の設定
143
瞳孔関数の設定
144
全画素値の合計
S
145
146
直径 = 2 x√S/π
147
それぞれの軸に関して
重心を決定
148
メジャーおよびマイナー軸
の寸法決定

【図１１】


網膜反射のディジタル
画像の収集
OS と OD
151
データ面参照
の設定
OS と OD
152
ディジタル・データ・ファイルに
対するしきい値の設定
OS と OD
143
瞳孔関数の設定
OS と OD
144
153
角膜反射の中心
位置決め
OS と OD
それぞれの軸に関して
重心を決定
OS と OD
147
メジャーおよび
マイナー軸の寸法決定
OS と OD
148
154
反射と重心の間の
距離の決定
OS と OD
155
WFS と眼の光軸の間の
角度の決定
OS と OD
156
視線と WFS 光軸の間の
角度の決定
OS と OD
157
両眼共同運動は
上述の角度大である

【図１２】



フロントページの続き

(72)発明者　ホーウィッツ、ラリィ、エス
アメリカ合衆国　カリフォルニア、シール　ビーチ、　テンス　ストリート　１１１

審査官　宮川　哲伸

(56)参考文献　特開平０１－１２４４３４（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１２２０７５（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－２７２１００（ＪＰ，Ａ）
国際公開第９２／００１４１７（WO，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
A61B 3/00 ～ 3/16