(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)特許出願公表番号
特表2011-502011
(P2011-502011A)
(43)公表日　平成23年1月20日(2011.1.20)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
A61F	9/007	(2006.01)	A61F	9/00	500	2H006
G02C	7/06	(2006.01)	G02C	7/06		
G02C	7/04	(2006.01)	G02C	7/04		

審査請求 未請求　予備審査請求 未請求　（全 38 頁）

(21)出願番号　特願2010-531325 (P2010-531325)
(86)(22)出願日　平成20年10月28日 (2008.10.28)
(85)翻訳文提出日　平成22年4月23日 (2010.4.23)
(86)国際出願番号　PCT/US2008/081421
(87)国際公開番号　WO2009/058755
(87)国際公開日　平成21年5月7日 (2009.5.7)
(31)優先権主張番号　61/000,643
(32)優先日　平成19年10月29日 (2007.10.29)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(71)出願人　510114631
リャン，ジュンジョン
ＬＩＡＮＧ，　ＪＵＮＺＨＯＮＧ
アメリカ合衆国、９４５３９　カリフォルニア州、フレモント、クーテネイ・ドライブ、４５
(74)代理人　100064746
弁理士　深見　久郎
(74)代理人　100085132
弁理士　森田　俊雄
(74)代理人　100083703
弁理士　仲村　義平
(74)代理人　100096781
弁理士　堀井　豊

最終頁に続く

(54)【発明の名称】老眼の屈折治療のための方法およびデバイス

(57)【要約】
瞳孔の周囲部を、瞳孔の中心部以外の方法で治療すると同時に、瞳孔の中心部における球面収差を誘発することによって、患者の眼における老眼を治療する。例えば、瞳孔の周囲部は未治療のままとすることができ、または高次収差を制御することができ、および／または球面収差の第２の領域に、異なる焦点力を提供することができる。

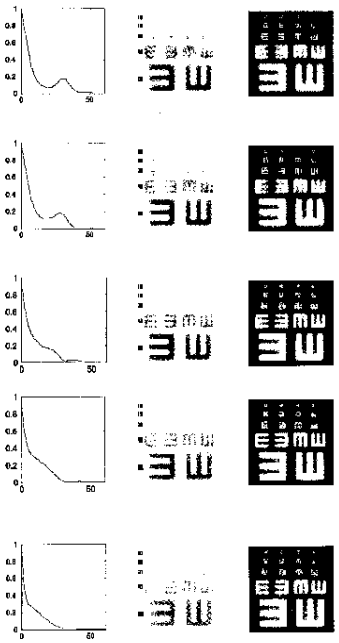


FIG 1

【特許請求の範囲】
【請求項１】
患者の眼の老眼を治療する方法であって、前記眼は、（ａ）直径４ｍｍ以下の中心瞳孔部と、（ｂ）微光条件で受光するための周囲瞳孔部とを含む自然瞳孔を有し、前記中心瞳孔部における球面収差を誘発する工程と、治療前に存在する前記周囲瞳孔部における高次収差を維持または低減する別の工程とを含む、方法。
【請求項２】
前記周囲瞳孔部を介した前記眼への光の通過を減衰させる、または遮断する工程をさらに含む、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記中心瞳孔部における前記誘発された球面収差は、正の球面収差または負の球面収差である、請求項１に記載の方法。
【請求項４】
前記中心瞳孔部における前記誘発された球面収差は、第１の領域における正の球面収差と第２の領域における負の球面収差とを含む、請求項１に記載の方法。
【請求項５】
前記中心瞳孔部は、反対符号の球面収差を有する２つの同心光学部にさらに分けられる、請求項１に記載の方法。
【請求項６】
前記中心瞳孔部における前記誘発された球面収差は、少なくとも１つの輝度条件下での眼の瞳孔サイズに基づきカスタムで決定される、請求項１に記載の方法。
【請求項７】
前記眼における焦点誤差および非点収差のうちの少なくとも１つを低減または排除する工程をさらに含む、請求項１に記載の方法。
【請求項８】
前記眼における三次ゼルニケ収差を低減または排除する工程をさらに含む、請求項１に記載の方法。
【請求項９】
プロセッサが前記眼の角膜組織のアブレーションのためのレーザーエネルギーのアブレーションパターンを生成する、レーザー視力矯正の工程であって、前記アブレーションパターンは、前記瞳孔にわたって決定された屈折プロファイルに少なくとも部分的に基づく、工程と、前記眼の前記角膜組織上にレーザーエネルギーを向け、前記生成されたアブレーションパターンを達成するさらなる工程とをさらに含む、請求項１に記載の方法。
【請求項１０】
多焦点眼科用レンズであって、遠方視力障害を矯正するために有効な量で、前記レンズにわたる基準ジオプター力を提供するように構成され、眼の焦点深度を増加させるために有効な量で、前記レンズの中心部における球面収差を有するようにさらに構成され、移植レンズまたは装用レンズとしてさらに構成される、多焦点眼科用レンズ。
【請求項１１】
前記レンズの前記中心部は、１．５ｍｍ～４．０ｍｍの間（それらを含む）の直径を有する、請求項１０に記載のレンズ。
【請求項１２】
前記レンズは、３ｍｍ～４０ｍｍの間（それらを含む）の直径を有する、請求項１０に記載のレンズ。
【請求項１３】
前記中心部における前記球面収差は、複数の多項式の項によって表すことができる、請求項１０に記載のレンズ。
【請求項１４】
前記レンズの中心部における前記球面収差は、１ミクロンより大きいピーク・トゥ・バレー（Ｐｅａｋ－ｔｏ－Ｖａｌｌｅｙ）波面誤差を有する、請求項１０に記載のレンズ。

【請求項１５】
前記レンズは、前記眼における高次ゼルニケ収差を調節するようにさらに構成される、請求項１０に記載のレンズ。
【請求項１６】
前記調節は、前記眼において自然に発生する三次ゼルニケ収差の低減を含む、請求項１５に記載のレンズ。
【請求項１７】
前記調節は、前記眼の周囲の瞳孔における高次収差の低減を含む、請求項１５に記載のレンズ。
【請求項１８】
前記レンズの中心部における前記球面収差は、第１の領域における正の球面収差と第２の領域における負の球面収差とを含む、請求項１０に記載のレンズ。
【請求項１９】
前記球面収差は、少なくとも１つの輝度条件下での眼の瞳孔サイズに基づきカスタムで決定される、請求項１０に記載のレンズ。
【請求項２０】
患者の眼の老眼を治療する方法であって、前記眼は、（ａ）直径４ｍｍ以下の中心瞳孔部と、（ｂ）微光条件で受光するための周囲瞳孔部とを含む自然瞳孔を有し、第１の組の前記中心瞳孔部における焦点力および球面収差と、第２の組の前記周囲瞳孔部における焦点力および球面収差とを生成する工程であって、第１および第２の組は異なる、工程を含む、方法。
【請求項２１】
前記中心瞳孔部における前記球面収差は、直径４ｍｍ以下の瞳孔サイズに対する前記眼の焦点深度を増加させるように選択され、前記瞳孔の周囲瞳孔部における前記焦点力および球面収差は、前記微光条件での遠方視力のための画質を向上させるように選択される、請求項２０に記載の方法。
【請求項２２】
前記中心瞳孔部における前記誘発された球面収差は、少なくとも１つの輝度条件での眼の瞳孔サイズに基づきカスタムで決定される、請求項２０に記載の方法。
【請求項２３】
前記眼における焦点誤差および非点収差のうちの少なくとも１つを低減または排除するように、前記第１および第２の組のうちの少なくとも１つを構成する工程をさらに含む、請求項２０に記載の方法。
【請求項２４】
前記眼における三次ゼルニケ収差を低減または排除するように、前記第１および第２の組のうちの少なくとも１つを構成する工程をさらに含む、請求項２０に記載の方法。
【請求項２５】
プロセッサが前記眼の角膜組織のアブレーションのためのレーザーエネルギーのアブレーションパターンを生成する、レーザー視力矯正の工程であって、前記アブレーションパターンは、前記瞳孔にわたって決定された屈折プロファイルに少なくとも部分的に基づく、工程と、前記眼の前記角膜組織上にレーザーエネルギーを向け、前記生成されたアブレーションパターンを達成するさらなる工程とをさらに含む、請求項２０に記載の方法。
【請求項２６】
多焦点および屈折矯正用眼科用レンズであって、前記レンズは、複数の光学部を有し、前記光学部のうちの少なくとも２つは、異なる組の焦点力および球面収差を有し、前記レンズは、移植レンズまたは装用レンズとして構成される、多焦点および屈折矯正用眼科用レンズ。
【請求項２７】
前記少なくとも２つの光学部は、内側光学部と外側光学部とを形成するように同心円状に配列される、請求項２６に記載のレンズ。

【請求項２８】
前記内側光学部の前記球面収差は、直径４ｍｍ以下の瞳孔サイズを有する眼の焦点深度を増加させるように構成される、請求項２７に記載のレンズ。
【請求項２９】
前記内側光学部の前記球面収差は、１ミクロンより大きいＰｅａｋ－ｔｏ－Ｖａｌｌｅｙ波面誤差を有する、請求項２８に記載のレンズ。
【請求項３０】
前記球面収差は、少なくとも１つの輝度条件下での眼の瞳孔サイズに基づきカスタムで決定される、請求項２８に記載のレンズ。
【請求項３１】
前記外側部における前記球面収差は、眼において自然に発生する球面収差を低減するように構成される、請求項２７に記載のレンズ。
【請求項３２】
前記内側光学部と外側光学部との間の焦点差は、前記眼において自然に発生する球面収差に基づき眼の夜間視力の向上のために選択される、請求項２７に記載のレンズ。
【請求項３３】
患者の眼の老眼を治療する方法であって、前記眼は、瞳孔を有し、眼の瞳孔にわたる正の球面収差および焦点オフセットを誘発し、眼のための遠方視力における最適画質を設定する工程を含む、方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
関連発明の相互参照
本願は、Ｊｕｎｚｈｏｎｇ Ｌｉａｎｇによる２００７年１０月２９日出願の、我々の同時係属米国仮出願第６１／０００，６４３号、名称「Ｍｅｔｈｏｄｓ ａｎｄ Ｄｅｖｉｃｅｓ ｆｏｒ Ｔｒｅａｔｍｅｎｔｓ ｏｆ Ｐｒｅｓｂｙｏｐｉａ」の優先権を主張する。これらの関連出願の開示は、参照として本明細書に組み込まれる。
【０００２】
本願は、ヒトの眼の屈折矯正に関し、より具体的には、老眼の屈折治療に関する。
【背景技術】
【０００３】
老眼は、眼の焦点を合わせる能力の漸進的な低下による近方視力の加齢に伴う問題であり、結果として通常の距離における読みが困難となる。老眼の有効な屈折矯正は、瞳孔サイズの全ての条件において遠方、中距離、および近方視力に対する焦点を同時に提供しなければならない。
【０００４】
Ｍｉｃｈａｅｌ ＳｉｍｐｓｏｎおよびＪｏｈｎ Ｆｕｔｈｅｙによる米国特許第５，１１６，１１１号、ならびにＭｉｃｈａｅｌ Ｓｉｍｐｓｏｎによる米国第２００６／０１１６７６４Ａ１号に記載されるような回折型眼内レンズ（ＩＯＬ）は、老眼のための二重焦点（遠方視力および近方視力）を同時に提供することができるが、レンズ表面における回折領域の接合部における光散乱に起因する夜間グレアでの夜間視力の低下、および遠方焦点と近方焦点との間の中距離における盲点の２つの固有の不利点がある。
【０００５】
レンズの異なるアパーチャサイズにわたる、遠方、中距離、および近方視力に対する配光を制御することによる多焦点設計が、米国特許第５，２２５，８５８号および米国特許第６，５５７，９９８Ｂ２号でＶａｌｄｍａｒ Ｐｏｒｔｎｅｙによって提案された。これらのレンズ設計は、中距離視力に対してＳｉｍｐｓｏｎの回折型ＩＯＬよりも優れて機能し得るが、近方視力における機能に関しては劣っていることも既知である。さらに、Ｐｏｒｔｎｅｙのレンズは、光伝搬の回折効果を考慮せずに、単純な幾何学的光線追跡に基づくことから、それらの全潜在能力を引き出すことはできない。

【０００６】
非球面レンズもまた、Ｍｉｃｈａｅｌ　Ｓｉｍｐｓｏｎによる米国特許第６，９２３，５３９Ｂ２号、ならびにＶａｌｄｍａｒ　Ｐｏｒｔｎｅｙによる米国特許第５，１６６，７１１号および第６，４０９，３４０Ｂ１号において提案された。これらのレンズは、レンズにわたって周期的な屈折力分布を有する。Ｓｉｍｐｓｏｎのレンズは、米国特許第６，９２３，５３９Ｂ２号の図９に図示されるように、単焦点レンズに対する焦点深度を増加させることが可能であるが、そのようなレンズは、典型的には、老眼矯正に好適ではない。

【０００７】
眼の瞳孔にわたる球面収差は、異なる瞳孔半径における異なる焦点力を生成する。眼の瞳孔にわたる負の球面収差は、Ｓｅｅｍａ　ＳｏｍａｎｉおよびＫｉｎｇｍａｎ　Ｙｅｅによって米国特許第７，２６１，４１２　Ｂ２号において、老眼の軽減に対して提案された。その中で、発明者らは、負の球面収差が瞳孔中心における遠方視力から瞳孔周囲における中距離視力の間に対する焦点力を生成するため、瞳孔全体にわたる負の球面収差が、遠方から中距離に焦点範囲の中心を移動することが可能であることを特筆した。

【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００８】
しかしながら、眼の瞳孔全体にわたる球面収差の誘発は、老眼矯正に対して少なくとも２つの制限がある。第１に、瞳孔にわたって誘発される球面収差の総量は、グレア、ハロ、およびスターバースト等の夜間症状を引き起こさないほど強くはなりえず、それは、有意な球面収差を有するレンズが、老眼治療のための多焦点ＩＯＬおよびコンタクトレンズで使用されていない基本的な理由の１つである。第２に、米国特許第７，２６１，４１２Ｂ２におけるＳｏｍａｎｉおよびＹｅｅの方法は、瞳孔全体にわたる少量の球面収差が、焦点範囲の中心を移動するのみで、焦点深度を増加させないため、典型的には、老眼治療に十分ではない。さらに、老眼矯正のための現在知られている球面収差の方法は、誘発された夜間症状（グレア、ハロ、スターバースト）の問題に対処すること、ならびに遠方視力、中距離視力、および近方視力に対する眼の焦点深度を増加させること、ができず、したがって、そのような解決法は決して望ましいものではない。

【０００９】
その結果、老眼治療のための視力矯正のための多くの構成および方法が、当該技術分野において既知であるが、それらの全てまたはほとんど全ては、１つまたは複数の不利な点を抱えている。したがって、老眼治療のための視力矯正のための改善された構成および方法を提供する必要性が依然として存在する。

【課題を解決するための手段】
【００１０】
本発明は、老眼を矯正するためのデバイスおよび方法に関し、眼の瞳孔における光学特性は、瞳孔の中心部が周囲部とは異なって治療されるように変化され、中心部の治療は、瞳孔の中心部における球面収差の誘発を含む。

【００１１】
本発明の主題の一態様では、患者の眼（眼は、直径４ｍｍ以下の中心瞳孔部と、微光条件で受光するための周囲瞳孔部とを含む、自然瞳孔を有する）の老眼を治療する方法は、中心瞳孔部における球面収差を誘発する工程と、治療前に存在する周囲瞳孔部における高次収差を維持または低減する別の工程とを含む。

【００１２】
具体的に企図される方法は、周囲瞳孔部を介した眼への光の通過を減衰させる、または遮断する工程をさらに含み得る。ほとんどの場合、中心瞳孔部における誘発された球面収差は、正の球面収差または負の球面収差であり、所望される場合、中心瞳孔部における誘発された球面収差は、第１の領域における正の球面収差および第２の領域における負の球面収差を含む。したがって、中心瞳孔部は、反対符号の球面収差を有する２つの同心光学

部に分けられてもよい。中心瞳孔部における誘発された球面収差がカスタムで設計され、少なくとも１つの輝度条件下での眼の瞳孔サイズに基づくことがさらに好ましい。企図される方法は、眼における焦点誤差および非点収差のうちの少なくとも１つを低減もしくは排除する工程、ならびに／または眼における三次ゼルニケ収差を低減もしくは排除する工程をさらに含む。いくつかの態様では、企図される方法は、レーザー視力矯正で実施され得、該方法において、プロセッサは、眼の角膜組織のアブレーションのためのレーザーエネルギーのアブレーションパターンを生成し、該アブレーションパターンは、瞳孔にわたって決定された屈折プロファイルに少なくとも部分的に基づき、レーザーエネルギーは、生成されたアブレーションパターンを達成するために、眼の角膜組織上に向けられる。

【００１３】

その結果、多焦点および屈折矯正用眼科用レンズが企図され、該レンズは、遠方視力障害を矯正するために有効な量で、レンズにわたる基準ジオプター力を提供するように構成され、眼の焦点深度を増加させるために有効な量で、前記レンズの中心部における球面収差を有するようにさらに構成され、移植レンズまたは装用レンズとしてさらに構成される。

【００１４】

本発明の主題の別の態様では、患者の眼（眼は、直径４ｍｍ以下の中心瞳孔部と、微光条件で受光するための周囲瞳孔部とを含む、自然瞳孔を有する）の老眼を治療する方法は、第１の組の中心瞳孔部における焦点力および球面収差と、第２の組の周囲瞳孔部における焦点力および球面収差とを生成する工程を含み、第１および第２の組は異なる。

【００１５】

最も好ましくは、中心瞳孔部における球面収差は、直径４ｍｍ以下の瞳孔サイズに対する眼の焦点深度を増加させるように選択され、瞳孔の周囲瞳孔部における焦点力および球面収差は、微光条件での遠方視力のための画質を向上させるように選択される、ならびに／または中心瞳孔部における誘発された球面収差は、少なくとも１つの輝度条件下での眼の瞳孔サイズに基づきカスタムで決定される。

【００１６】

所望される場合、そのような方法は、眼の焦点誤差および非点収差のうちの少なくとも１つを低減もしくは排除するように、第１および第２の組のうちの少なくとも１つを構成する工程、ならびに／または眼における三次ゼルニケ収差を低減もしくは排除するように、第１および第２の組のうちの少なくとも１つを構成する工程をさらに含むことが企図される。上記のように、企図される方法は、レーザー視力矯正で実施され得、該方法において、プロセッサは、眼の角膜組織のアブレーションのためのレーザーエネルギーのアブレーションパターンを生成し、アブレーションパターンは、瞳孔にわたって決定された屈折プロファイルに少なくとも部分的に基づき、レーザーエネルギーは、生成されたアブレーションパターンを達成するために、眼の角膜組織上に向けられる。

【００１７】

その結果、多焦点および屈折矯正用眼科用レンズが企図され、該レンズは、複数の同心光学部を有し、光学部のうちの少なくとも２つは、異なる組の焦点力および球面収差を有し、該レンズは、移植レンズまたは装用レンズとして構成される。

【００１８】

本発明の種々の目的、特徴、態様、および利点は、以下の、発明を実施するための形態からより明らかとなるであろう。

【図面の簡単な説明】

【００１９】

【図１】本発明に従った、眼の有効瞳孔を制限し、中心瞳孔における高次収差（球面収差）を誘発する屈折要素を有する、遠方視力、中距離視力、および近方視力に対する、眼の計算されたＭＴＦ（変調伝達関数）および網膜像を示す。眼は、調節能力を有しないと仮定される。

【図２ａ】眼の瞳孔サイズを１．６ｍｍに制限し、中心瞳孔領域における正の球面収差を

誘発する屈折要素、および４．２Ｄの焦点オフセットを有する眼に対する推定視力を示す。
【図２ｂ】眼の瞳孔サイズを１．６ｍｍに制限し、中心瞳孔領域における負の球面収差を誘発する屈折要素を有する眼に対する推定視力を示す。
【図３ａ】本発明に従った、老眼治療のために眼に移植または装用される光学素子の概略図を示す。屈折要素は、明所視に対する眼の瞳孔サイズを制限し、中心瞳孔における球面収差を誘発する。
【図３ｂ】本発明に従った、老眼治療のために眼に移植または装用される光学素子の概略図を示す。屈折要素は、明所視に対する眼の瞳孔サイズを制限し、中心瞳孔における球面収差を誘発する。また、光学素子は、暗所視（杆体視）に対する光量子効率の増加のための外側透明部を含む。
【図４】本発明に従った、レーザー屈折矯正と組み合わせた角膜インレーによって、眼の焦点深度を増加させるための方法を示す。
【図５】眼の有効瞳孔を制限し、透明な２つの光学部における反対符号の球面収差を誘発することによって、眼の焦点深度を増加させるための方法の概略図を示す。
【図６】２つの光学部における反対符号の球面収差を誘発することと組み合わせて、眼の有効瞳孔を制限することによって、眼の焦点深度を増加させるための光学素子を有する、眼の計算されたＭＴＦを示す。
【図７】図６に示される、眼の計算されたＭＴＦに基づく推定視力を示す。
【図８ａ】本発明に従った、老眼治療のために眼に移植または装用される光学素子の概略図を示す。屈折要素は、明所視に対する眼の瞳孔サイズを制限し、２つの光学部における反対符号の球面収差を誘発する。
【図８ｂ】本発明に従った、老眼治療のために眼に移植または装用される別の光学素子の概略図を示す。屈折要素は、明所視に対する眼の瞳孔サイズを制限し、２つの光学部における反対符号の球面収差を誘発する。また、光学素子は、暗所視（杆体視）に対する光量子効率の増加のための外側透明部を含む。
【図８ｃ】図８ａの環状不透明マスク８３の代わりに無色光学部を有する、別の実施形態を示す。
【図９】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるための方法を示す。
【図１０】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるためのプロセスを示す。
【図１１ａ】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるための一実施例における、遠方物体および近接物体に対する眼のＭＴＦを示す。
【図１１ｂ】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるための一実施例における、遠方視力および近方視力に対する眼の網膜の視力チャートの計算された網膜像を示す。
【図１２】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるための一実施例における、５つの異なる瞳孔サイズにおける、老眼治療のための光学素子を有する眼の推定視力を示す。
【図１３ａ】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるための一実施形態における、遠方物体および近接物体に対する眼のＭＴＦを示す。
【図１３ｂ】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるための一実施形態における、遠方物体および近接物体に対する眼の網膜の視力チャートの計算された網膜像を示す。
【図１４】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるための一実施形態における、６つの異なる瞳孔サイズにおける、老眼治療のための光学素子を有する眼の推定視力を示す。

【図１５】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるためのさらに別の実施形態における、遠方、中距離、および近接物体に対する眼のＭＴＦを示す。
【図１６】中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるためのさらに別の実施例における、５つの異なる瞳孔サイズにおける、老眼治療のための光学素子を有する眼の推定視力を示す。
【図１７ａ】制御された球面収差を有する２つの部分を含む、老眼矯正のための光学素子の概略図を示す。外側の第３の部分は、球面収差を含む場合と含まない場合がある。
【図１７ｂ】老眼治療のためのカラーコンタクトレンズの一実施形態を示す。
【図１８】中心瞳孔における球面収差を誘発することによって、瞳孔周囲における高次収差を変化させることなく、眼の焦点深度を増加させるための方法を示す。
【図１９】中心瞳孔における球面収差を誘発することによって、瞳孔周囲における高次収差を変化させることなく、眼の焦点深度を増加させるためのプロセスを示す。個々の眼の高次収差に応じて、外側部における焦点オフセットが必要な場合が多い。
【図２０ａ】瞳孔周囲における焦点オフセットがある場合とない場合の２つの実施形態における、中心瞳孔における有意な負の球面収差を誘発する屈折矯正下での眼のＭＴＦを示す。眼は、６ｍｍの瞳孔に対して４μｍの負の球面収差を有することが既知である。
【図２０ｂ】中心瞳孔における有意な負の球面収差を誘発する屈折矯正下での眼の視力チャートの網膜像を示す。中心瞳孔における誘発された球面収差を除いて、光学素子は、眼の瞳孔全体にわたって球面円柱矯正を有する。
【図２０ｃ】中心瞳孔における有意な負の球面収差を誘発する屈折矯正下での眼の視力チャートの網膜像を示す。中心瞳孔における誘発された球面収差、および瞳孔全体にわたる球面円柱矯正に加えて、光学素子は、眼における高次収差に基づきカスタムで決定される、瞳孔周囲における焦点オフセットを有する。
【図２１ａ】瞳孔周囲における焦点オフセットが異なる２つの実施形態における、中心瞳孔における有意な正の球面収差を誘発する屈折矯正下での遠方視力（ＯＤ）に対する眼のＭＴＦを示す（表６を参照）。
【図２１ｂ】中心瞳孔における有意な正の球面収差を誘発する屈折矯正下での眼の視力チャートの網膜像を示す。
【図２１ｃ】中心瞳孔における有意な正の球面収差を誘発する屈折矯正下での眼の視力チャートの網膜像を示す。中心瞳孔における誘発された球面収差、および瞳孔全体にわたる球面円柱矯正に加えて、光学素子は、眼における高次収差に基づきカスタムで決定される、瞳孔周囲における焦点オフセットも有する。
【図２２】中心瞳孔における球面収差を誘発することによる眼の老眼治療のための光学素子、および個々の眼における高次収差に基づく瞳孔周囲における球面屈折力のカスタムオフセットを示す。
【図２３】遠点における眼の最適画質を設定するために、眼の瞳孔にわたる誘発された正の球面収差および焦点オフセットを有する、老眼治療のための方法の概略図である。
【図２４】３つの異なる物体距離に対する３つの瞳孔サイズに対する眼のＭＴＦを示す。
【図２５】表７で指定された、老眼治療のための光学素子を有する眼の推定視力を示す。
【図２６】眼の瞳孔にわたって正の球面収差を含む老眼矯正のための光学素子の概略図を示す。外側部は、球面収差を含む場合と含まない場合がある。
【発明を実施するための形態】
【００２０】
瞳孔サイズを制限し、眼の小さい瞳孔内の球面収差を誘発することによる、老眼の治療のための焦点深度の向上
屈折要素を有する眼の光学特性は、概して、
Ｐ（ｒ）＝Ａ（ｒ）＊ｅｘｐ（ｉ　２π　Φ（ｒ）／λ）＊Ｓ（ｒ）＊ｅｘｐ（ｉ　２π　Ｗ（ｒ）／λ）　（１）
のような複素瞳孔関数Ｐ（ｒ）によって表すことが可能である。

式中、ｒは、眼の瞳孔にわたる極半径である。Ａ（ｒ）およびΦ（ｒ）は、振幅透過率関数および屈折要素の波面分布をそれぞれ表す。Ｓ（ｒ）およびＷ（ｒ）はそれぞれ、振幅透過率関数（スタイルスークロフォード効果）および個々の眼の瞳孔にわたる波面誤差である。我々は、単純化のために瞳孔にわたる瞳孔関数の動径成分のみを含む。

【００２１】

我々は、明所視に対する眼の有効瞳孔サイズを低減し、中心瞳孔領域における球面収差を誘発することによって、眼に対する焦点深度を増加させる方法を説明する。眼の瞳孔サイズの低減（制限）は、

Ａ（ｒ）＝ｃｉｒｃ（ｒ／ｒ０）　（２）

として、方程式１の振幅透過率関数Ａ（ｒ）によって表すことが可能である。式中、ｒ０は、低減した瞳孔の半径であり、ｃｉｒｃ（ｒ／ｒ０）は、円関数であり、ｒがｒ０以下の場合は１に等しく、ｒがｒ０よりも大きい場合はゼロに等しい。アパーチャサイズ２ｒ０が、明所視条件での眼の自然瞳孔よりも小さい場合、屈折要素のアパーチャは、眼の有効瞳孔サイズを実際に決定する。制限された瞳孔領域内での球面収差の誘発は、

Φ（ｒ）＝ｃｌ＊（ｒ／ｒ０）^{4}　（３）

によって表すことが可能である。係数ｃ１は、制限されたアパーチャ内の瞳孔にわたる球面収差の量を示す。

【００２２】

当然のことながら、屈折矯正のための光学素子は、従来の球面円柱矯正も含む場合が多い。従来の球面円柱矯正は、単純化のために我々の説明に含まれていない。しかしながら、老眼のための矯正は、眼の遠点から離れた焦点を設定するために、焦点オフセットを含む場合がある。焦点オフセットおよび誘発された球面収差を組み合わせることにより、我々は、

Φ（ｒ）＝ｃ１＊（ｒ／ｒ０）^{4}＋ｃ２＊（ｒ／ｒ０）^{2}　（４）

として老眼の治療のための波面分布を得ることができる。式中、ｃ２は、焦点オフセットを示す。

【００２３】

一実施例では、我々は、１．６ｍｍの制限されたアパーチャ（ｒ０＝０．８ｍｍ）を選択した。かかる小さい制限された瞳孔内では、スタイルスークロフォード効果（Ｓ（ｒ））は、定数であり、眼の位相誤差（Ｗ（ｒ））は、球面収差等の高次収差を有さず、眼の波面誤差は、異なる焦点位置に対する焦点誤差によって単純に表され、すなわち、

Ｗ（ｒ）＝ｃ３＊（ｒ／ｒ０）^{2}　（５）

であり、ｃ３は、異なる視距離における物体に対する焦点誤差を示すと仮定することが妥当である。

【００２４】

制限された瞳孔（ｃ１＝１．３４μｍ）にわたる１．３４ｕｍの正の球面収差（これにより、眼は、縁部よりも中心においてより大きい屈折力を有する）を、制限された瞳孔内で誘発することが可能であり、ゼルニケ多項式において０．１（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７＊Ｚ４（ｒ））として表すことも可能である。Ｚ１２およびＺ４は、Ｚ１２（ｒ）＝２．２３６（６＊ｒ^{4}－６＊ｒ^{2}＋１）およびＺ４（ｒ）＝１．７３２（２＊ｒ^{2}－１）の形でのゼルニケ多項式である。

【００２５】

小さい制限された瞳孔および誘発された球面収差の組み合わせは、老眼治療のための大きい焦点深度をもたらすことが可能である。正の球面収差は、眼の焦点をより遠視に移動するため、眼が遠方視力のための最適画質を有するようにするために、約４．２Ｄの焦点オフセットを含むことが可能である。正の球面収差（ｃ１＝０）なしでは、焦点オフセットにより、近接物体への眼の焦点は２４ｃｍで合う。

【００２６】

図１は、遠方視力（無限遠：１段目、３メートルの距離：２段目）、中距離視力（０．７メートルの距離：３段目、０．５メートルの距離：４段目）、および近方視力（０．３

３メートルの距離：下段）に対して眼からの調節がない、眼の計算されたＭＴＦ（変調伝達関数、左列）および網膜像（中央および右列）を示す。眼のＭＴＦは、（ｒ）＝１であることを仮定して、瞳孔関数に基づく方程式（１）、（２）、（４）、および（５）から計算される。ＭＴＦの横座標は、サイクル／度での空間周波数である。視力チャートの文字はそれぞれ、２０／１０（最小）、２０／１５、２０／２０、２０／４０、および２０／８０（最大）の視力に対する。

【００２７】

網膜上の文字がヒト対象によって認識されるために、網膜像における各文字に対するコントラストは、網膜閾値よりも大きくなければならない。我々が、正常網膜に対するコントラスト閾値が、既知の実験データに従って、２０／２０に対して９％、２０／３０に対して５％、および２０／４０に対して２．５％であると仮定した場合、我々は、図１の第１の列に示される変調伝達関数から、眼の視力を推定することができる。

【００２８】

図２は、瞳孔サイズを１．６ｍｍに制限し、正の球面収差を誘発する屈折要素、および４．２Ｄの焦点オフセットを有する眼に対する推定視力を示す。３つの重要な特徴が見られる。第１に、眼は、１ジオプターよりも大きい焦点深度で、遠方物体に対する優れた視力（２０／２０）を有し、グレア、ハロ等の夜間視力の問題は、予想されない。第２に、眼は、１メートルから０．３３メートルまで、２０／３０の推定視力の許容できる近方および中距離視力を有する。眼は、眼の前で最大で０．２メートル、２０／４０の視力を有することが考えられる。

【００２９】

別の実施例では、我々は、１．６ｍｍの制限されたアパーチャ（ｒ０＝０．８ｍｍ）、および制限された瞳孔（ｃ１＝－１．３４μｍ）にわたる１．３４ｕｍの負の球面収差（これにより、眼が中心よりも縁部においてより大きい屈折力を有する）、および眼の光学の屈折力を低減する約－１．２ジオプターの焦点オフセットを選択した。図２ｂは、そのような屈折矯正を有する眼の推定視力を示す。２つの重要な特徴が見られる。第１に、眼は、近接物体に対して優れた近方視力（２０／２０）を有する。第２に、約－１．２Ｄの焦点オフセットにより、視力は、遠方視力から中距離視力まで、２０／３０以上になる。

【００３０】

図２ａおよび図２ｂをよく見ると、一方の眼を正の球面収差で矯正し、もう一方の眼を負の球面収差で矯正することによって、近接および遠方物体に対する非常に優れた両眼視力を得るための方法を容易に理解することができる。瞳孔サイズの制限ならびに焦点オフセットの適用が両眼に必要であることは、強調されなければならない。

【００３１】

図３ａは、本発明に従った、老眼治療のために眼に移植または装用される光学素子を示す。屈折要素は、従来の球面円柱矯正を提供するだけではなく瞳孔中心内の球面収差を誘発する中心無色光学部３１と、中心光学部の外側、および最大で薄明視条件（超微光における明所視条件）下での眼３３の自然瞳孔までの光を遮断する、または減衰させる環状マスク３２とを含む。屈折要素は、明所視に対する眼の瞳孔サイズを制限し、中心瞳孔における球面収差を誘発する。中心光学部の直径Ｄ１は、１．４ｍｍ～２ｍｍの間である。環状部の外径Ｄ２は、薄明視条件（微光レベルにおける明所視条件）での個々の眼の最大瞳孔に応じて、３．５ｍｍ～６ｍｍの間である。中心光学部における光学は、球面収差の誘発された量に応じて、焦点オフセットを含んでもよい。

【００３２】

図３ｂは、本発明に従った、老眼治療のために眼に移植または装用される光学素子を示す。屈折要素は、従来の球面円柱矯正を提供するだけではなく瞳孔中心内の球面収差を誘発する中心無色光学部３４と、中心光学部の外側、および最大で薄明視条件に対する眼３３の自然瞳孔までの光を遮断する、または減衰させる環状マスク３５とを含む。球面収差の誘発は、レンズ形成において少なくとも１つの非球面を利用することによって達成することが可能である。薄明視に対する眼の自然瞳孔の外側に透明部３６があり、それにより

、眼は、暗所視条件（杆体視）に対する光子を収集することができる。中心光学部の直径Ｄ１は、１．４ｍｍ～２ｍｍの間である。環状部の外径Ｄ２は、薄明視条件（微光レベルにおける明所視条件）での個々の眼の最大瞳孔に応じて、３．５ｍｍ～６ｍｍの間である。中心光学部における光学は、球面収差の誘発された量に応じて、焦点オフセットを含んでもよい。

【００３３】

図３ａおよび図３ｂ中の光学素子は、先行技術において既知の球面および非球面レンズのための従来のプロセスを用いて製造される、眼内レンズ（ＩＯＬ）であってもよい。レンズの少なくとも１つの表面は、所望の球面収差を誘発するために、非球面でなければならない。環状の不透明または部分的に透明な部分は、無色レンズ部の一部をコーティングまたは色付けすることによって得ることが可能であり、また、無色レンズの間に不透明層を挟むことによって得ることも可能である。

【００３４】

瞳孔サイズの制限および眼の小さい瞳孔内の球面収差の誘発は、角膜インレーと組み合わせたＩＯＬによっても達成することが可能である。ＩＯＬは、従来の球面円柱矯正に加えて、焦点オフセット、およびレンズ中心におけるある特定の量の球面収差を提供する。環状部における光線透過率の制御は、角膜に移植される角膜インレー等のデバイスによって達成することが可能である。

【００３５】

瞳孔サイズの制限および眼の小さい瞳孔内の球面収差の誘発は、レーザー視力矯正等の手技と組み合わせた角膜インレーによっても達成することが可能である。角膜インレーは、眼の瞳孔にわたる環状領域における光を遮断する、または減衰させるために使用することが可能である。レーザー屈折矯正手術は、眼の焦点範囲を適切に設定するために、球面収差の所望の量および所望の焦点オフセットを生成するために使用することが可能である。そのような手順のための方法は図４に示され、１）眼４１に角膜インレーを移植する工程と、２）眼４２の波面収差を測定する工程と、３）レーザー屈折矯正手術によって生成される所望の焦点オフセット４４および球面収差４３の所望の量を決定する工程と、４）決定された焦点誤差および球面収差に基づき、レーザー屈折矯正手術４５を実施する工程とを含む。従来の球面円柱矯正の屈折矯正は、レーザー治療で実行されることも可能である。

【００３６】

複数の光学領域における反対符号を有する球面収差を誘発することによる、眼の焦点深度の改善

眼の有効瞳孔を２ｍｍ未満に低減するデバイスは、老眼の治療のために焦点深度を増加させることが可能であるが、眼に入る全光も大幅に低減する。図５は、眼の比較的大きい自然瞳孔を利用し、複数の光学領域における反対符号を有する球面収差を誘発することによって、眼の焦点深度を増加させる方法を示す。明所視条件下での眼の光学は、３つの領域に分けられる。中心領域５１、中間領域５２、および外側領域５３。この屈折矯正方法において、５１および５２の両方は、光波に対して無色および透明であるが、外側部５３は、瞳孔周囲における光を遮断する、または減衰させる。従来の球面円柱矯正に加えて、無色光学部５１および５２は、異なる焦点オフセット、および反対符号を有する球面収差を有する。薄明視条件における眼の自然瞳孔は、５４によって示される。

【００３７】

一実施例では、中心無色部５１は、１．６ｍｍの直径を有し、１．３４ｕｍ（または０．１（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ））の正の球面収差、および４．０ジオプターの焦点オフセットを有する。中心無色部の外側において、環状部５２は透明であり、３ｍｍの直径を有する。部分５２は、５２の外側縁部において、異なる焦点力（０Ｄ）、および約４．３ｕｍ（または－０．３２（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ））の負の球面収差を有する。５１および５２の外側には、明所視条件に対する中心光学部の外側のほとんどの光を遮断する、または減衰させる環状マスク部がある。環状部の外径は、薄明視条件（

微光レベルにおける明所視条件）での個々の眼の最大瞳孔に応じて、３．５ｍｍ～６ｍｍの間である。

【００３８】

図６は、遠方視力（無限遠：１段目、３メートルの距離：２段目）、中距離視力（０．７メートルの距離：３段目、０．５メートルの距離：４段目）、および近方視力（０．３３メートルの距離、下段）に対する、調節なしの眼の計算されたＭＴＦを示す。３つの瞳孔サイズが考慮される。１．５ｍｍの瞳孔（左）、２ｍｍの瞳孔（中央）、および３ｍｍの瞳孔（右）。ＭＴＦプロットの横座標は、サイクル／度での空間周波数である。

【００３９】

この老眼治療の方法に対して、３つの特徴に気付くことができる。第１に、新しい方法は、眼の瞳孔が１．６ｍｍ未満である場合、図１および図２ａに示すように、同一の光学的品質および焦点深度を有する。第２に、新しい方法は、最後の３つの段に示されるように、より大きい瞳孔に対して近方視力および中距離視力の改善された画質を有する。第３に、新しい方法は、夜間に遠方視力に対して低下した画質を有するが（最初の２つの段）、１．６ｍｍの代わりに３ｍｍの瞳孔サイズで、改善した光量子効率を有する。

【００４０】

図７は、図６に示すような眼の計算された網膜コントラスト（ＭＴＦ）に基づく推定視力を示す。我々は、無限遠（０Ｄ）から０．２５メートルにおける近接物体（４Ｄ）までの幅広い焦点距離に対して、図６中の同一の３つの瞳孔サイズを考慮する。推定視力は、３つの瞳孔サイズ全てに対して、および４ジオプターの焦点範囲にわたって、２０／４０以上であることがわかる。小さい１．５ｍｍの瞳孔に対して、推定視力は、図２ａに示すものと同一である。また、１．６ｍｍよりも大きい瞳孔サイズに対して、２０／４０よりも良好な視力を有する３つの領域、遠方視力（＜０．３Ｄ）、中距離視力（約２Ｄ）、および近方視力（約３Ｄ）があることがわかる。さらに、図５に説明する方法により、１．６ｍｍの小さい瞳孔サイズを伴う方法と比較して、夜間視力に対してより多くの光（約３．５ｘ）が可能となる。

【００４１】

図８ａは、本発明に従った、老眼治療のために眼に移植または装用される光学素子を示す。屈折要素は、明所視に対する眼の瞳孔サイズを制限し、２つの光学部における反対符号を有する球面収差を誘発する。球面収差の誘発は、レンズ形成において少なくとも１つの非球面を利用することによって達成することが可能である。屈折要素は、中心円形光学部８１と、環状光学部８２と、中心光学部の外側、および最大で薄明視条件での眼８４の自然瞳孔までの光を遮断する、または減衰させる環状マスク８３とを含む。屈折要素は、従来の球面円柱矯正を提供し、明所視に対する眼の瞳孔サイズを制限し、２つの光学部における反対符号を有する球面収差を誘発する。中心光学部の直径Ｄ１は、１．４ｍｍ～２ｍｍの間である。環状部の外径Ｄ２は、２．５ｍｍ～３．５ｍｍの間であり、環状部の外径Ｄ３は、直径３．６ｍｍ～１２ｍｍの間である。

【００４２】

図８ｂは、本発明に従った、老眼治療のために眼に移植または装用される別の光学素子を示す。図８ａのデバイスとは異なり、本デバイスは、暗所視（杆体視）に対する光量子効率の増加のために、環状マスク部の外側に無色光学部８５を有する。

【００４３】

別の実施形態を図８ｃに示す。図８ａのデバイスとは異なり、該デバイスは、環状不透明マスク８３の代わりに無色光学部８６を有する。部分８６は、瞳孔周囲における高次収差を制御する場合と制御しない場合がある。

【００４４】

図８ａ、図８ｂ、および図８ｃの光学素子は、先行技術において既知の球面および非球面レンズのための従来のプロセスを用いて製造される、眼内レンズ（ＩＯＬ）またはコンタクトレンズであってもよい。レンズの少なくとも１つの表面は、所望の球面収差を誘発するために、非球面でなければならない。環状の不透明または部分的に透明な部分は、無

色レンズ部の一部をコーティングまたは色付けすることによって得ることが可能であり、また、無色レンズの間に不透明層を挟むことによって得ることも可能である。

【００４５】

中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによる、眼の焦点深度の改善

我々は、説明される方法およびデバイスが、眼の有効瞳孔サイズを３ｍｍ以下の比較的小さい値に制限する環状マスクを含んでいるため、個々の眼における高次収差（球面収差）をこれまで無視してきた。

【００４６】

正常なヒトの眼は、ほとんどの正のレンズと同様に大きい瞳孔に対して負の球面収差を有する場合が多い。球面収差の大きさは、正規母集団において、６ｍｍの瞳孔に対して４μｍ未満（－０．３（Ｚ１２＋３．８７Ｚ４））である場合が多い。表１は、３つの場合における、６ｍｍの瞳孔に対して最大で４ｍｍの球面収差を有する異なる瞳孔サイズの正常なヒトの眼における球面収差を示す。

【００４７】

【表１】

表１　正常なヒトの眼における典型的な球面収差

瞳孔サイズ	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
-0.1(Z12(r)+3.87Z4(r))に対する球面収差(μm)	-0.02	-0.08	-0.26	-0.65	-1.34
-0.2(Z12(r)+3.87Z4(r))に対する球面収差(μm)	-0.03	-0.17	-0.53	-1.29	-2.68
-0.3(Z12(r)+3.87Z4(r))に対する球面収差(μm)	-0.05	-0.25	-0.79	-1.94	-4.02

【００４８】

実際の眼に対する小さい瞳孔（直径＜３ｍｍ）における球面収差は、ごくわずかであるが、直径が４ｍｍよりも大きい瞳孔に対しては有意であり得ることがわかる。したがって、我々は、３ｍｍよりも大きい瞳孔サイズに対して老眼の治療を計画する場合、ヒトの眼における高次収差ならびに球面収差に対応しなければならない。

【００４９】

我々は、眼の瞳孔を複数の部分に分け、それらの球面収差を別々に制御することによって、老眼治療のために眼の焦点深度を増加させるための方法を説明する。図９に示すように、明所視条件における眼の光学は、２つの部分、９１（瞳孔中心）および９２（瞳孔周囲）に分けられる。自然瞳孔は、９３によって示される。眼の焦点深度の増加は、中心瞳孔における球面収差を誘発し、同時に瞳孔周囲における高次収差を制御することによって達成することが可能である。瞳孔中心の直径Ｄ１は、２ｍｍ～４ｍｍの間であり、Ｄ２の外径は、３．５ｍｍ～６ｍｍの間である。

【００５０】

図１０は、中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるためのプロセスを示す。第１に、波面収差１０１を波面収差計を用いて測定する。波面収差計は、従来の球面円柱矯正だけではなく、球面収差、コマ収差等の高次収差も記録する。球面円柱度数等の自覚屈折ならびに眼の調節範囲も主観的に測定される。第２に、眼を遠方視力に対して正視眼にする矯正要素に対する球面円柱矯正１０２を決定する。第３に、球面収差の所望の大きさを、瞳孔中心１０３および瞳孔周囲１０４等の少なくとも２つの瞳孔部において決定する。第４に、矯正要素における球面収差を、眼の高次収差１０１、ならびに所望の球面収差１０３および１０４に基づき、瞳孔中心１０５および瞳孔周囲１０６に対して決定する。第５に、矯正要素に

対する瞳孔中心１０７および瞳孔周囲１０８における焦点オフセットを決定する。最後に、３つの組の屈折パラメータに基づき、レーザー視力矯正、コンタクトレンズ、眼鏡、移植コンタクトレンズ、および眼内レンズに対して、波面誘導老眼矯正１０９を達成することが可能である。それらは、眼の瞳孔全体にわたる従来の球面円柱矯正１０２、瞳孔中心における球面収差の大きさ１０５および瞳孔周囲における球面収差の大きさ１０６、ならびに瞳孔中心における焦点オフセット１０７および瞳孔周囲における焦点オフセット１０８を含む。

【００５１】

【表２】

表２　老眼のための屈折矯正のパラメータ

	中心瞳孔	瞳孔周囲
外径(mm)	2.5	5
所望の球面収差 ρ^4(μm)	-4	4
焦点オフセット(D)	-0.6	1.1

【００５２】

一実施形態では、有意な負の球面収差が瞳孔中心において誘発される一方で、正の球面収差は瞳孔周囲において誘発される。一実施例として、表２は、これらの矯正のうちの１つに対するパラメータを記載する。第１に、眼の光学を、２つの部分、中心の２．５ｍｍの瞳孔および直径約５ｍｍの外側瞳孔に分ける。第２に、約－４μｍの負の球面収差（－０．３（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ））を中心瞳孔において誘発する一方で、約４μｍの正の球面収差（０．３（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ））を、外側瞳孔部において制御する。各光学サイズに対する焦点オフセットはそれぞれ、－０．６ジオプターおよび１．１ジオプターである。

【００５３】

図１１ａは、眼が表２のパラメータに従った屈折矯正を有する場合の、遠方物体（０Ｄ、上）および近接物体（１．９Ｄ、下）に対する眼の計算された変調伝達関数を示す。３つの瞳孔サイズが考慮される。２ｍｍの瞳孔（左）、３．５ｍｍの瞳孔（中央）、および５ｍｍの瞳孔（右）。ＭＴＦプロットの横座標は、サイクル／度での空間周波数である。図１１ｂは、遠方物体（０Ｄ、上）および近接物体（１．９Ｄ、下）に対する眼の網膜の視力チャートの計算された網膜像を示す。図１２は、表２に説明する一実施形態における、５つの異なる瞳孔サイズにおける、老眼治療のための光学素子を有する眼の推定視力を示す。

【００５４】

推定視力は、直径３．５ｍｍ未満の全ての瞳孔サイズに対して、および瞳孔サイズが大きい（４ｍｍまたは５ｍｍ）場合の遠方視力に対して、２０／３０以上であることがわかる。近接物体に対して、推定視力は、瞳孔サイズが大きい（４ｍｍまたは５ｍｍ）場合、２０／４０以上である。

【００５５】

老眼矯正のための別の方法では、有意な負の球面収差が瞳孔中心において誘発される一方で、個々の眼における大きい瞳孔に対する球面収差は排除される。

【００５６】

【表３】

表３　老眼のための屈折矯正のパラメータ

	中心瞳孔	瞳孔周囲
外径(mm)	2.8	6
所望の球面収差 ρ^4(μm)	-4	0
焦点オフセット(D)	0	0

【００５７】

別の実施例として、表３は、これらの矯正のうちの１つに対するパラメータを記載する。第１に、眼の光学を、２つの部分、中心の２．８ｍｍの瞳孔および直径約６ｍｍの外側瞳孔に分ける。第２に、約－４μｍの負の球面収差（－０．３（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ））を中心瞳孔において誘発する一方で、眼の瞳孔周囲における球面収差（＞２．８ｍｍ）のほとんどを低減または排除する。焦点オフセットは、瞳孔中心および瞳孔周囲に対して同一である。

【００５８】

図１３ａは、眼が表３のパラメータに従った屈折分布を有する場合の、遠方物体（０Ｄ、上）および近接物体（１．９Ｄ、下）に対する眼の計算された変調伝達関数を示す。３つの瞳孔サイズが考慮される。２ｍｍの瞳孔（左）、４ｍｍの瞳孔（中央）、および６ｍｍの瞳孔（右）。ＭＴＦプロットの横座標は、サイクル／度での空間周波数である。図１３ｂは、遠方物体（０Ｄ、上）および近接物体（１．９Ｄ、下）に対する眼の網膜の視力チャートの計算された網膜像を示す。

【００５９】

図１４は、表３のパラメータに従った６つの異なる瞳孔サイズにおける、老眼治療における眼の推定視力を示す。屈折矯正が、４ｍｍよりも大きい瞳孔サイズ（夜間）に対する遠方視力（約０Ｄ）に対して、および４ｍｍ未満の瞳孔サイズに対する近方視力（約１．８Ｄ）に対して、優れた視力（２０／３０以上）を提供することが可能であることに留意されたい。また、屈折矯正が、３．５ｍｍ以下の瞳孔サイズに対する２ジオプターの焦点深度に対して、許容できる視力（２０／４０以上）を提供することが可能であることもわかる。さらに、屈折矯正が、３．５ｍｍよりも大きい瞳孔サイズに対して、二重焦点矯正の特性を有し、０．３Ｄ～１．２Ｄの間の低視力領域があることにも留意されよう。

【００６０】

老眼矯正のためのさらに別の実施形態では、有意な正の球面収差が瞳孔中心において誘発される一方で、眼の大きい瞳孔に対する球面収差が矯正される。

【００６１】

【表４】

表４　老眼のための屈折矯正のパラメータ

	中心瞳孔	瞳孔周囲
外径(mm)	4	6
所望の球面収差 ρ^4(μm)	13.4	0
焦点オフセット(D)	1.7	0

【００６２】

別の実施例として、表４は、これらの矯正のうちの１つに対するパラメータを記載する。第１に、眼の光学を、２つの部分、中心の４ｍｍの瞳孔および外側環状瞳孔領域に分ける。第２に、約１３．４μｍの正の球面収差（１．０（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ

））を中心瞳孔において誘発する一方で、眼の瞳孔周囲における球面収差（＞４ｍｍ）を矯正する。各光学部に対する焦点オフセットはそれぞれ、１．７Ｄジオプターおよび０ジオプターである。

【００６３】

図１５は、眼が表４のパラメータに従った屈折分布を有する場合の、遠方物体（０Ｄ、上）、および中距離視力（１．０Ｄ、中央）、および近方視力（１．８Ｄ、下）に対する眼の計算された変調伝達関数を示す。３つの瞳孔サイズが考慮される。２ｍｍの瞳孔（左）、４ｍｍの瞳孔（中央）、および６ｍｍの瞳孔（右）。ＭＴＦプロットの横座標は、サイクル／度での空間周波数である。

【００６４】

屈折矯正が、夜間の優れた遠方視力、および大きい瞳孔サイズにおける低下した近方視力を提供することが可能であることは、ＭＴＦデータから明らかである。屈折矯正は、図１６に示すように、４ｍｍ以下の瞳孔サイズに対する２ジオプターの焦点深度に対して、許容できる視力（２０／４０以上の視力）を提供することが可能である。

【００６５】

中心瞳孔における球面収差を誘発し、瞳孔周囲における高次収差を制御することによって、眼の焦点深度を増加させるための３つの実施形態を示す。表２～表４に記載するこれらの屈折矯正が、ある程度の残余調節（１～２ジオプター）を有する眼に対して最も適切であることは、指摘されなければならない。焦点オフセットおよび球面収差に加えて、屈折矯正は、遠方視力に対する従来の球面円柱矯正を含んでもよい（球面、円柱面、および軸角度）。

【００６６】

図１７ａは、球面収差（または高次収差さえも）が制御される、２つの部分１７１および１７２を含む、老眼矯正のための光学素子を示す。明所視に対する眼１７３の瞳孔の外側において、外側部１７３は、球面収差を含む場合と含まない場合がある。中心部の直径（Ｄ１）は、１．８ｍｍ～４ｍｍの間である。中間部の直径（Ｄ２）は、４ｍｍ～６ｍｍの間である。外側部の直径（Ｄ３）は、眼鏡、コンタクトレンズ、移植コンタクトレンズ、レーザー屈折手術、および眼内レンズさえもを含む、個々の実施に応じて、６ｍｍ～２５ｍｍに及ぶ。

【００６７】

図１７ｂは、老眼治療のためのカラーコンタクトレンズの一実施形態を示す。該レンズは、球面収差（または高次収差さえも）が制御される、２つの部分１７５および１７６を含む。中間無色部１７６の外側において、デバイスは、眼への光を遮断する、または減衰させる環状マスクを有する。中心部の直径（Ｄ１）は、１．８ｍｍ～３．５ｍｍの間である。中間部の外径（Ｄ２）は、直径３．５ｍｍ～５ｍｍの間である。外側部の外径（Ｄ３）は、８ｍｍ～１２ｍｍに及ぶ。光学素子は、先行技術において既知の従来のプロセスを用いて製造することが可能である。環状の不透明または部分的に透明な部分は、無色レンズ部の一部をコーティングまたは色付けすることによって得ることが可能であり、また、無色レンズの間に不透明層を挟むことによって得ることも可能である。

【００６８】

眼の中心瞳孔における高次収差を誘発することによる、眼の焦点深度の増加

表２～表４の方法は、瞳孔周囲における球面収差の正確な制御を伴うが、それは、いくつかの手技またはデバイスに対して困難であり得る。瞳孔周囲における高次収差を変化させない改善された方法が有利である。

【００６９】

我々は、眼の瞳孔を複数の部分に分け、中心瞳孔部における球面収差のみを制御することによって、老眼治療のために眼の焦点深度を増加させるための方法を説明する。図１８に示すように、明所視条件における眼の光学は、２つの部分１８１（瞳孔中心）および１８２（瞳孔周囲）に分けられる。我々は、中心瞳孔１８２における球面収差のみを誘発し、瞳孔周囲における眼の球面収差は変化させない。瞳孔中心１８１の直径は、２ｍｍ～４

ｍｍの間であり、Ｄ２の外径は、４ｍｍ～６ｍｍの間である。薄明視条件における眼の自然瞳孔は、１８３によって示される。

【００７０】

図１９は、中心瞳孔における球面収差を誘発することによって、眼の焦点深度を増加させるためのプロセスを示す。第１に、眼の瞳孔にわたる波面収差１９１を波面収差計を用いて測定する。波面収差計は、従来の球面円柱矯正だけではなく、球面収差、コマ収差等の高次収差も記録する。球面円柱度数の自覚屈折ならびに眼の調節範囲も主観的に測定される。第２に、眼を遠方視力に対して正視眼にする矯正要素に対する球面円柱矯正１９２を決定する。第３に、中心瞳孔（４ｍｍ未満）に対する球面収差の所望の量が決定される。眼の中心瞳孔における誘発される球面収差１９５を、所望の球面収差および個々の眼においてすでに存在する球面収差１９３に基づいて決定する。第５に、瞳孔周囲における焦点オフセット１９６を、個々の眼における高次収差（球面収差）１９４に基づいて決定する。最後に、３つの組の屈折パラメータに基づき、レーザー視力矯正、コンタクトレンズ、眼鏡、移植コンタクトレンズ、および眼内レンズに対して、波面誘導老眼矯正１９７を達成することが可能である。それらは、眼の瞳孔全体にわたる従来の球面円柱矯正１９２、瞳孔中心における球面収差の大きさ１９５、ならびに瞳孔中心および瞳孔周囲における焦点オフセット１９６を含む。

【００７１】

【表５】

表５　老眼のための屈折矯正のパラメータ

	中心瞳孔	瞳孔周囲
外径(mm)	2.8	6
所望の球面収差 ρ^4(μm)	-4	-4 （眼から）
焦点オフセット(D)-方法#1	0	0
焦点オフセット(D)-方法#2	0	-0.6 （眼における高次収差に基づきカスタムで決定される）

【００７２】

一方法では、屈折矯正は、中心瞳孔部における負の球面収差を誘発するが、瞳孔周囲における高次収差は変化させない。眼が瞳孔周囲における球面収差を有する場合、中心瞳孔よりも大きい瞳孔サイズの眼の光学的品質は、眼における球面収差によって決定される。

【００７３】

一実施例として、表５は、６ｍｍの瞳孔に対する－４ｍｍの既知の球面収差（－０．３（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ））を有する仮想的な眼を説明する。屈折矯正は、中心の２．８ｍｍの瞳孔において、－４ｍｍの負の球面収差（－０．３（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ））を誘発するように行われる一方で、瞳孔周囲における高次収差は、眼における高次収差によって決定される。

【００７４】

瞳孔周囲における眼の球面収差によって、中心の２．８ｍｍの瞳孔よりも大きい瞳孔サイズの眼の光学的品質は、表３に記載する屈折矯正とは異なる。

【００７５】

図２０ａは、瞳孔中心と瞳孔周囲との間で、焦点オフセット（２０１および２０３）を有し、焦点オフセット（２０２および２０４）を有しない一実施形態における、中心瞳孔

における有意な負の球面収差を誘発する屈折矯正下での眼の計算されたＭＴＦを示す。眼は、６ｍｍの瞳孔に対して４ｕｍｍの負の球面収差を有することが既知である。３つの瞳孔サイズが考慮される。２ｍｍの瞳孔（左）、４ｍｍの瞳孔（中央）、および６ｍｍの瞳孔（右）。遠方視力に対するＭＴＦのみを示す。ＭＴＦプロットの横座標は、サイクル／度での空間周波数である。

【００７６】

図２０ｂは、中心瞳孔における有意な負の球面収差を誘発する屈折矯正下での眼における視力チャートの網膜像を示す。中心瞳孔における誘発された球面収差を除いて、光学素子は、眼の瞳孔全体にわたって同一の球面円柱矯正を有する。３つの瞳孔サイズが考慮される。２ｍｍの瞳孔（左）、４ｍｍの瞳孔（中央）、および６ｍｍの瞳孔（右）。図２０ａ中の低いＭＴＦ２０２および２０４から予測されるように、４ｍｍの瞳孔（中央）および６ｍｍの瞳孔（左）における視力チャートの網膜像は、非常にぼやけている。

【００７７】

図２０ｃは、他の実施形態における、中心瞳孔における有意な球面収差を誘発する屈折矯正下での眼における視力チャートの網膜像を示す。中心瞳孔における誘発された球面収差および瞳孔全体にわたる球面円柱矯正に加えて、光学素子は、眼における高次収差に基づきカスタムで決定される、瞳孔周囲における焦点オフセットを有する。

【００７８】

【表６】

表６　老眼のための屈折矯正のパラメータ

	中心瞳孔	瞳孔周囲
外径(mm)	4	6
所望の球面収差 ρ^4(μm)	13.4	-4 （眼から）
焦点オフセット(D)-方法#1	2	0（固定）
焦点オフセット(D)-方法#2	2	-1.25 （眼における高次収差に基づきカスタムで決定される）

【００７９】

図２０ａ中の改善されたＭＴＦ２０１および２０３が、４ｍｍの瞳孔（中央）および６ｍｍの瞳孔（右）に対して改善された網膜像をもたらすこと、および瞳孔周囲における焦点オフセットが、中型の瞳孔および大きい瞳孔に対して許容できる画質を達成するために必要であることがはっきりとわかる。

【００８０】

別の実施例として、表６は、６ｍｍの瞳孔に対する－４ｍｍの既知の球面収差（－０．３（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ））を有する仮想的な眼を説明する。また、我々は、屈折矯正が、中心の４ｍｍの瞳孔において、１３．４ｍｍの正の球面収差（１．０（Ｚ１２（ｒ）＋３．８７Ｚ４（ｒ））のみを誘発する一方で、瞳孔周囲における高次収差は、眼における高次収差によって決定されると仮定する。

【００８１】

瞳孔周囲における球面収差によって、中心瞳孔（４ｍｍ）よりも大きい瞳孔サイズの眼の光学的品質は、表４に記載する屈折矯正とは異なる。

【００８２】

図２１ａは、瞳孔周囲における焦点オフセットが異なる２つの実施形態における、中心

瞳孔における有意な正の球面収差を誘発する屈折矯正下での遠方視力（０Ｄ）に対する眼のＭＴＦを示す（表６を参照）。眼は、６ｍｍの瞳孔に対して４μｍの負の球面収差を有することが既知である。３つの瞳孔サイズが考慮される。２ｍｍの瞳孔（左）、４ｍｍの瞳孔（中央）、および６ｍｍの瞳孔（右）。ＭＴＦプロットの横座標は、サイクル／度での空間周波数である。４ｍｍ未満の瞳孔サイズに対して、眼の光学的品質は、予想通り、両方の実施形態に対して同一である。しかしながら、個々の眼における高次収差に基づくカスタマイズされた焦点オフセット２１１を用いた屈折矯正を有する眼の光学的品質は、０Ｄの固定された焦点オフセットを用いたものよりも有意に良好である。

【００８３】

図２１ｂは、中心瞳孔における有意な正の球面収差を誘発する屈折矯正下での眼における視力チャートの網膜像を示す。瞳孔周囲における焦点オフセットは、個々の眼における高次収差に関係なくゼロである。３つの瞳孔サイズが考慮される。２ｍｍの瞳孔（左）、４ｍｍの瞳孔（中央）、および６ｍｍの瞳孔（右）。図２１ｃは、中心瞳孔における有意な正の球面収差を誘発する屈折矯正下での眼における視力チャートの網膜像を示す。瞳孔周囲における焦点オフセットは、個々の眼における高次収差に基づき決定される。３つの瞳孔サイズが考慮される。２ｍｍの瞳孔（左）、４ｍｍの瞳孔（中央）、および６ｍｍの瞳孔（右）。瞳孔周囲における個々の眼の高次収差に基づく焦点オフセットが、夜間の大きい瞳孔に対する網膜画質を大幅に改善することが可能であることがはっきりとわかる。

【００８４】

表５～表６に記載するこれらの屈折矯正が、ある程度の残余調節（１～２ジオプター）を有する眼に対して最も適切であることは、指摘されなければならない。焦点オフセットおよび球面収差に加えて、屈折矯正は、遠方視力に対する従来の球面円柱矯正を含んでもよい（球面、円柱面、および軸角度）。

【００８５】

図２２は、球面収差が中心瞳孔において眼に対して誘発される中心部２２１と、球面収差（または高次収差）がほとんどまたは全く変化されない外側部２２２とを含む、老眼矯正のための光学素子を示す。中心部の直径（Ｄ１）は、１．８ｍｍ～４ｍｍの間である。外側部の直径（Ｄ２）は、眼鏡、コンタクトレンズ、移植コンタクトレンズ、レーザー屈折手術、および眼内レンズさえをも含み得る、個々の実施に応じて、６ｍｍ～２５ｍｍである。低明所視条件における眼の瞳孔サイズは、２２２によって示される。

【００８６】

眼の瞳孔にわたって正の球面収差を誘発することによる、眼の焦点深度の増加

眼の焦点深度の増加は、眼の瞳孔にわたって正の球面収差を誘発すること、および眼に対して遠方視力における最適画質を設定するための焦点オフセットによって達成することも可能である。図２３に示すように、明所視条件下での眼の光学は、２３１として示され、薄明視条件（微光における明所視）に対する眼の瞳孔は、２３２である。瞳孔の直径（Ｄ１）は、眼によって異なるが３ｍｍ～６ｍｍの間である。

【００８７】

【表７】

表７　薄明視条件における眼の瞳孔にわたって誘発された正の球面収差

	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
球面収差 ρ^4(μm)	4.2	13.4	32.7	67.8

【００８８】

表７は、異なる瞳孔サイズ内の眼において誘発された正の球面収差の総量を示す。焦点オフセット（例えば、約１．７Ｄ）は、眼の遠方視力に対する眼の最適画質を設定するために、従来の球面円柱矯正に追加することが可能である。

【００８９】
図２４は、３つの瞳孔サイズ：２ｍｍ（左）、４ｍｍ（中央）、および６ｍｍ（右）に対する眼のＭＴＦを示す。３つの異なる視距離が考慮される。０Ｄ（上）、１．０Ｄ（中央）、および１．７５Ｄ（下）。屈折矯正によって誘発される大きい正の球面収差により、正常なヒトの眼における高次収差は、無視され得る。ＭＴＦプロットの横座標は、サイクル／度での空間周波数である。
【００９０】
図２５は、７つの異なる瞳孔サイズに対する、表７に記載する老眼治療のための光学素子を有する眼の推定視力を示す。屈折矯正は、直径６ｍｍ以下の瞳孔サイズに対する２ジオプターの焦点深度に対して、許容できる視力（２０／４０以上の視力）を提供することが可能である。遠方視力に対する優れた視力（２０／３０）は、４．５ｍｍ未満の瞳孔サイズに対して達成することが可能である。
【００９１】
図２６は、明所視条件下での眼の瞳孔２６３を覆う中心光学部２６１を含む、老眼矯正のための光学素子を示す。中心部２６１の直径は、個々の眼の瞳孔サイズに応じて、３ｍｍ～６ｍｍの間である。有意な正の球面収差は、薄明視条件（微光における明所視）における眼の瞳孔２６３にわたって誘発される。眼の瞳孔の外側にある外側部２６２は、球面収差を含む場合と含まない場合がある。中間部の直径（Ｄ２）は、眼鏡、コンタクトレンズ、移植コンタクトレンズ、レーザー屈折手術、および眼内レンズさえをも含む、個々の実施に応じて、６ｍｍ～２５ｍｍである。

【図１】

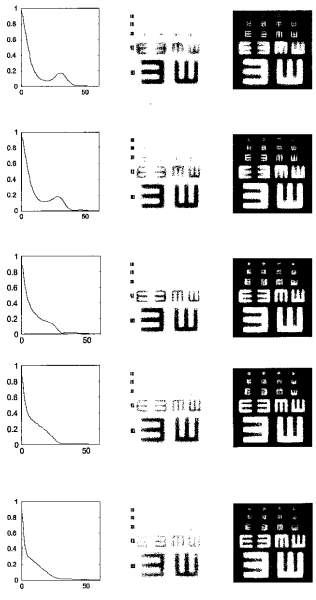


FIG 1

【図３ａ】

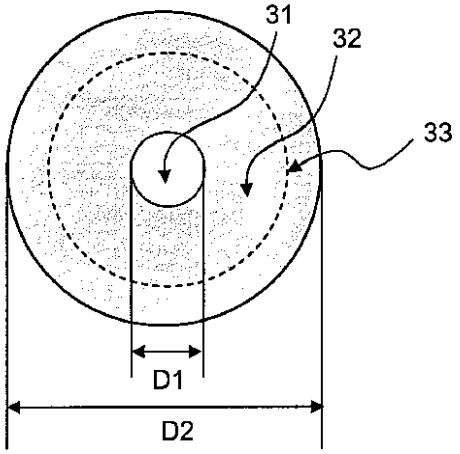


FIG 3a

【図３ｂ】

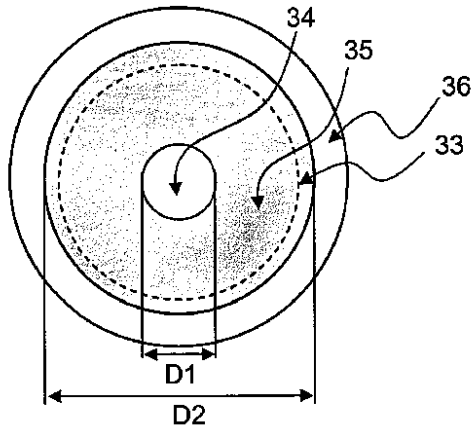


FIG 3b

【図５】

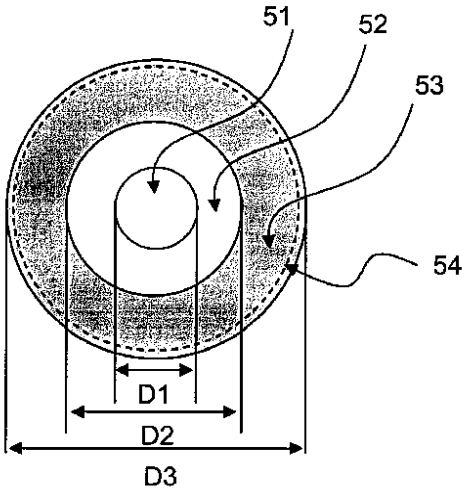


FIG 5

【図６】

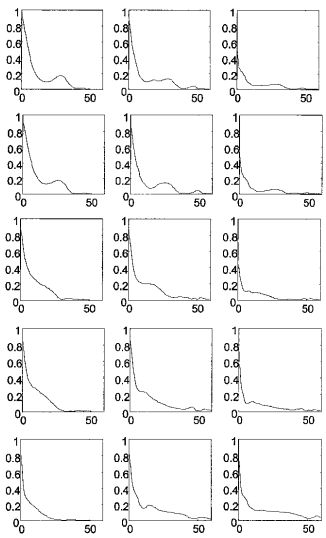


FIG 6

【図８ａ】

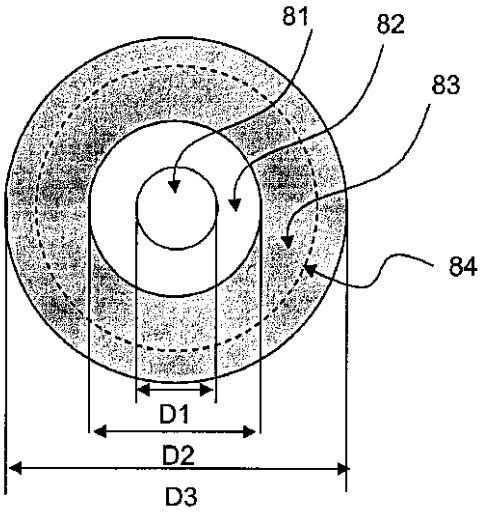


FIG8a

【図８ｂ】

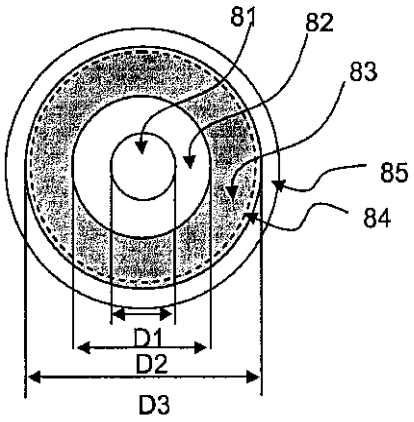


FIG8b

【図８ｃ】

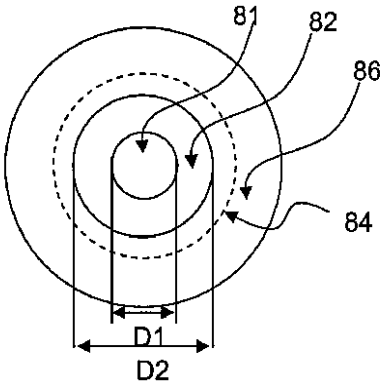


FIG8c

【図９】

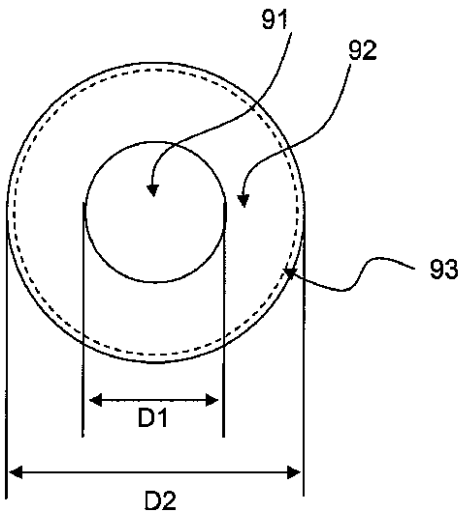


FIG 9

【図１１ａ】

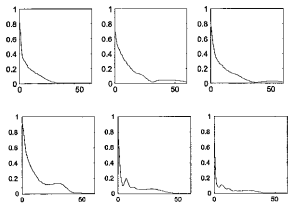


FIG11 a

【図１１ｂ】

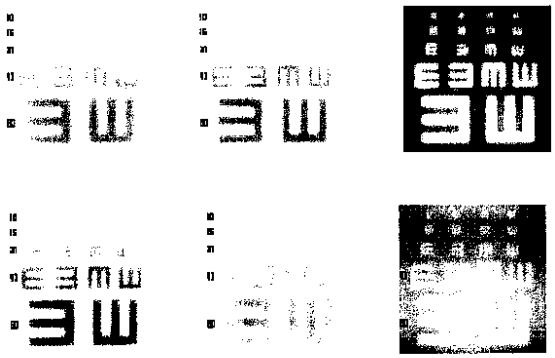


FIG 11b

【図１３ａ】

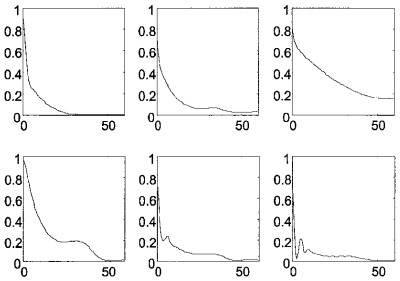


FIG13 a

【図１３ｂ】

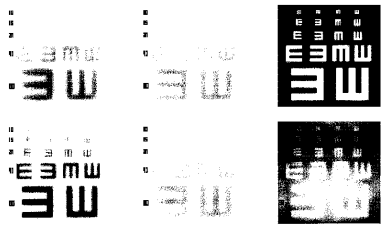


FIG 13b

【図１５】

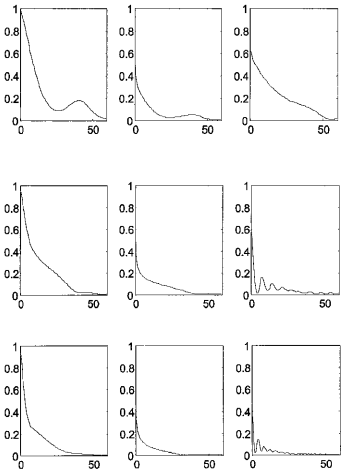


FIG 15

【図１７ａ】

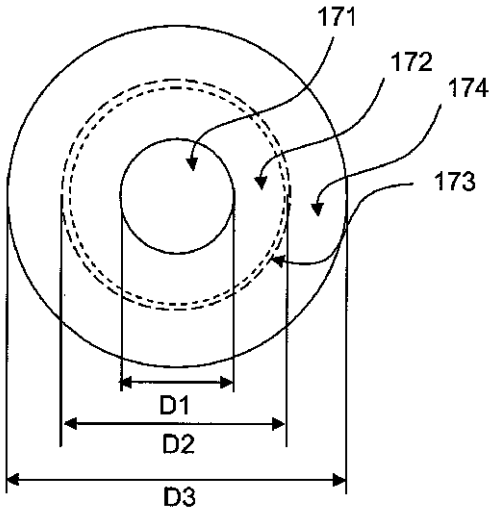


FIG 17a

【図１７ｂ】

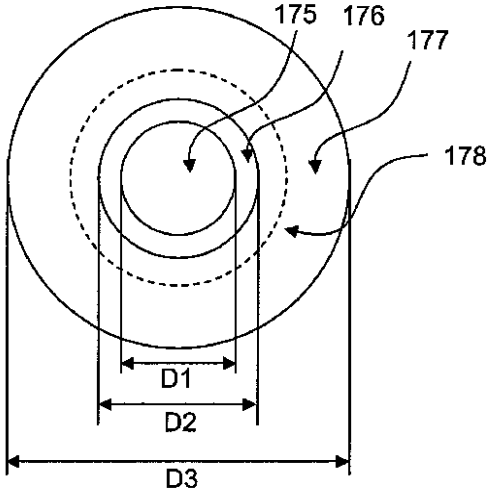


FIG 17b

【図１８】

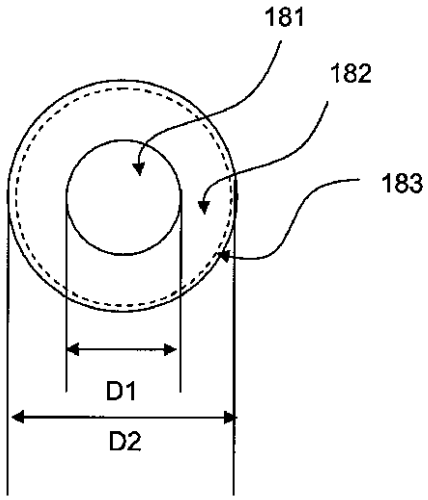


FIG 18

【図２０ａ】

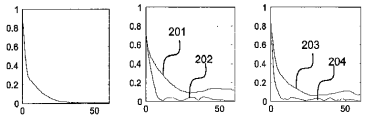


FIG 20a

【図２０ｂ】



FIG 20b

【図２０ｃ】



FIG 20c

【図２１ａ】

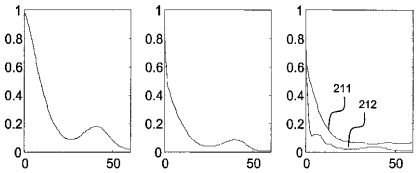


FIG 21a

【図２１ｂ】



FIG 21b

【図２１ｃ】

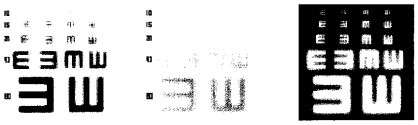


FIG 21c

【図２２】

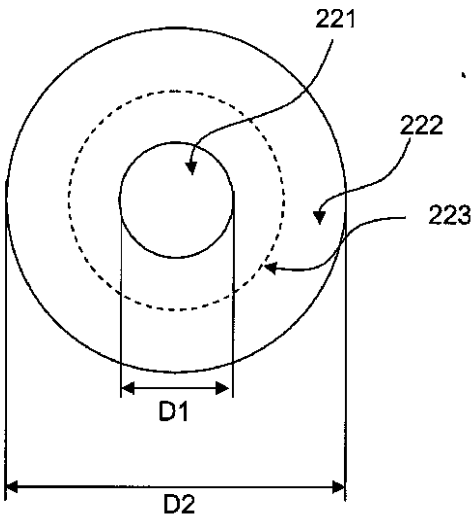


FIG 22

【図２３】

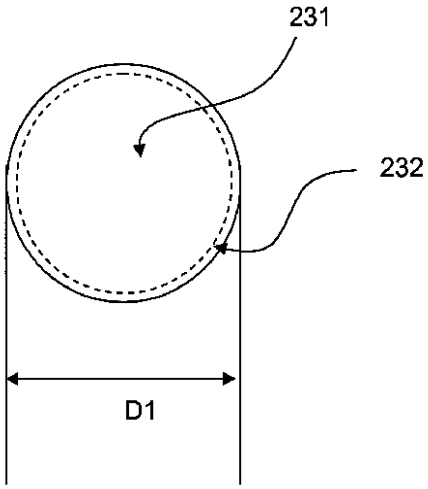


FIG 23

【図２４】

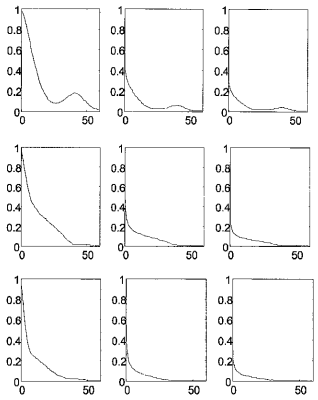


FIG 24

【図２６】

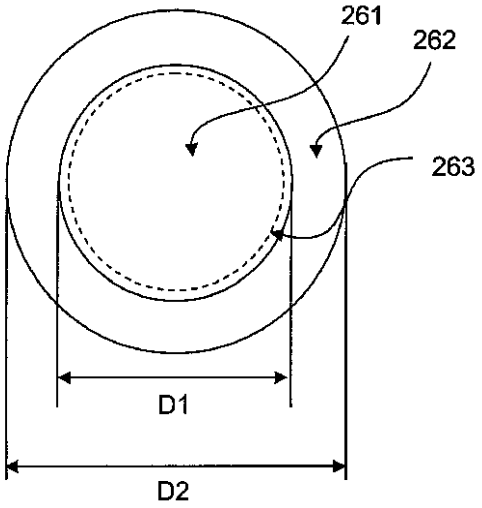


FIG 26

【図２ａ】

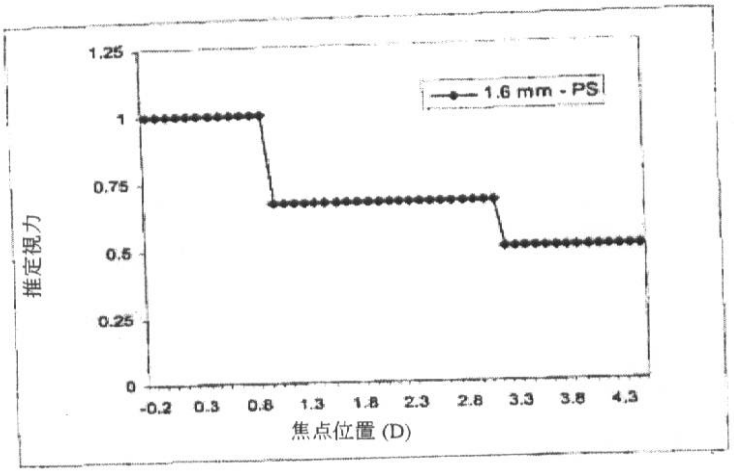


FIG 2a

【図２ｂ】

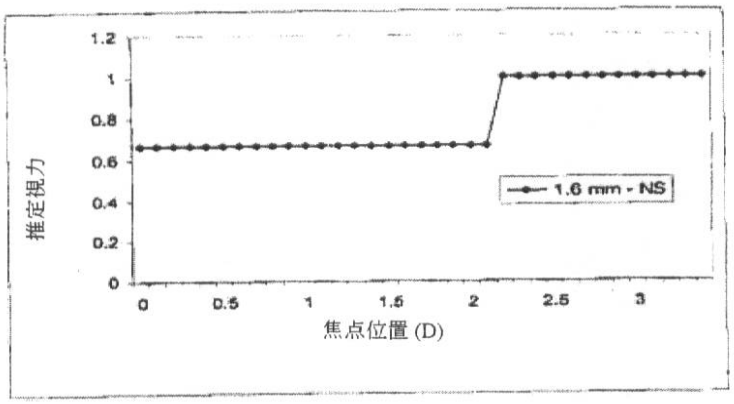


FIG 2b

【図４】

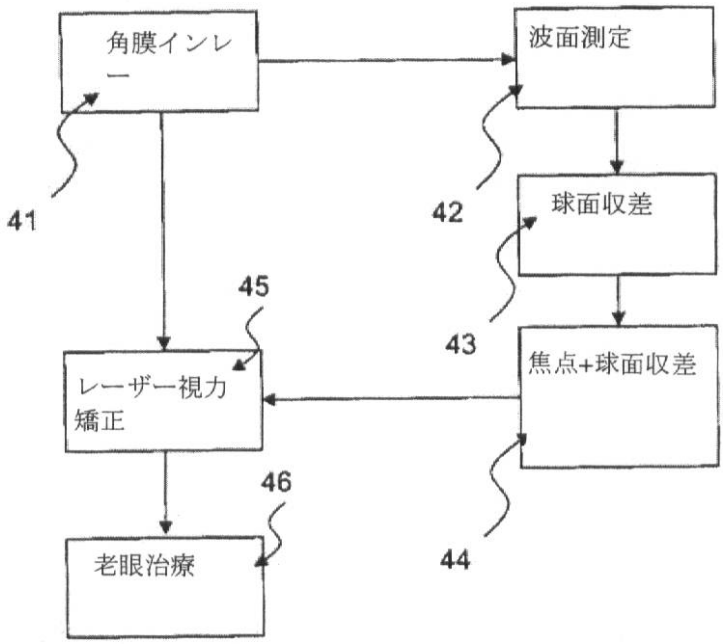


FIG 4

【図７】

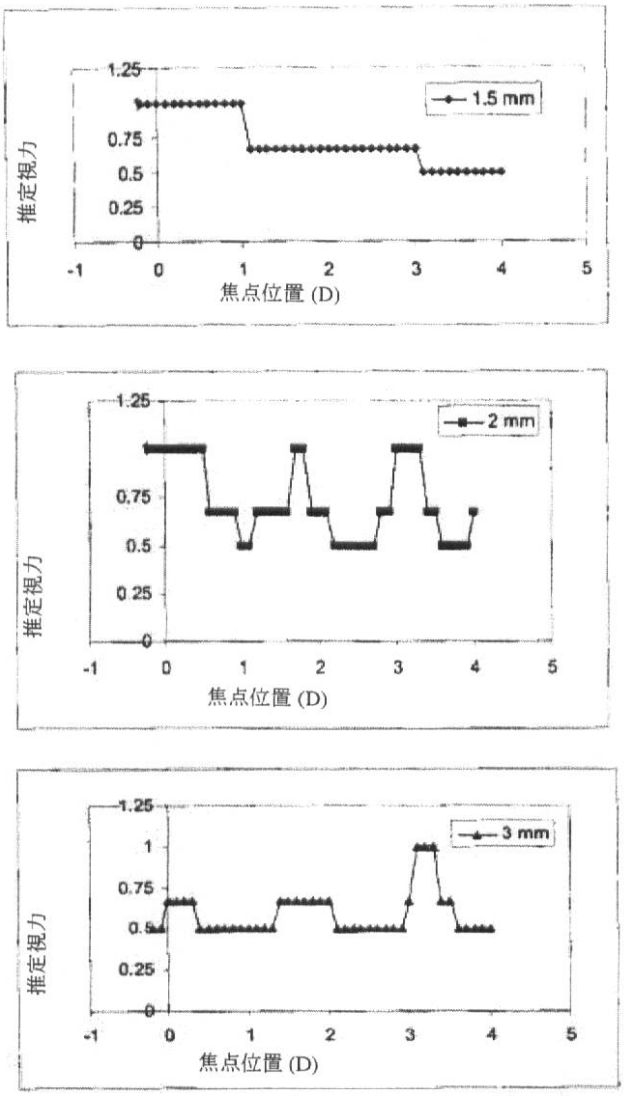


FIG 7

【図１０】

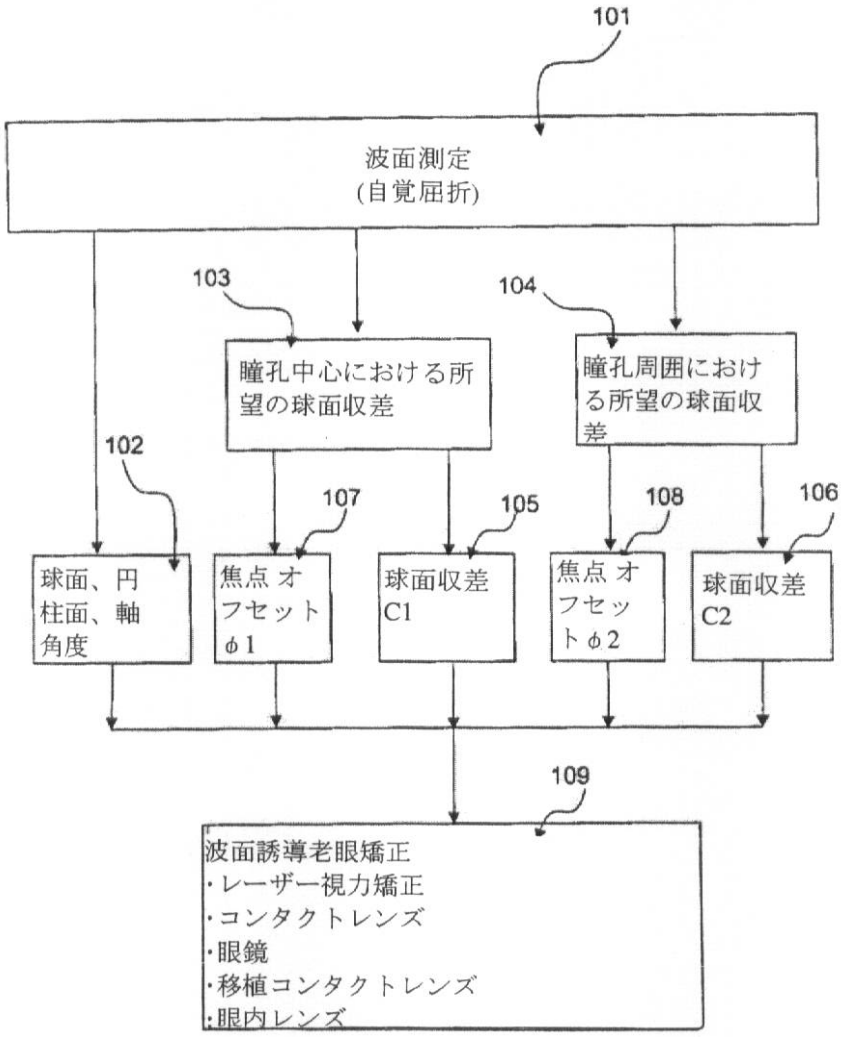

101
波面測定
(自覚屈折)
103
104
瞳孔中心における所望の球面収差
瞳孔周囲における所望の球面収差
102
107
105
108
106
球面、円柱面、軸角度
焦点オフセットφ1
球面収差C1
焦点オフセットφ2
球面収差C2
109
波面誘導老眼矯正
・レーザー視力矯正
・コンタクトレンズ
・眼鏡
・移植コンタクトレンズ
・眼内レンズ

FIG 10

【図１２】

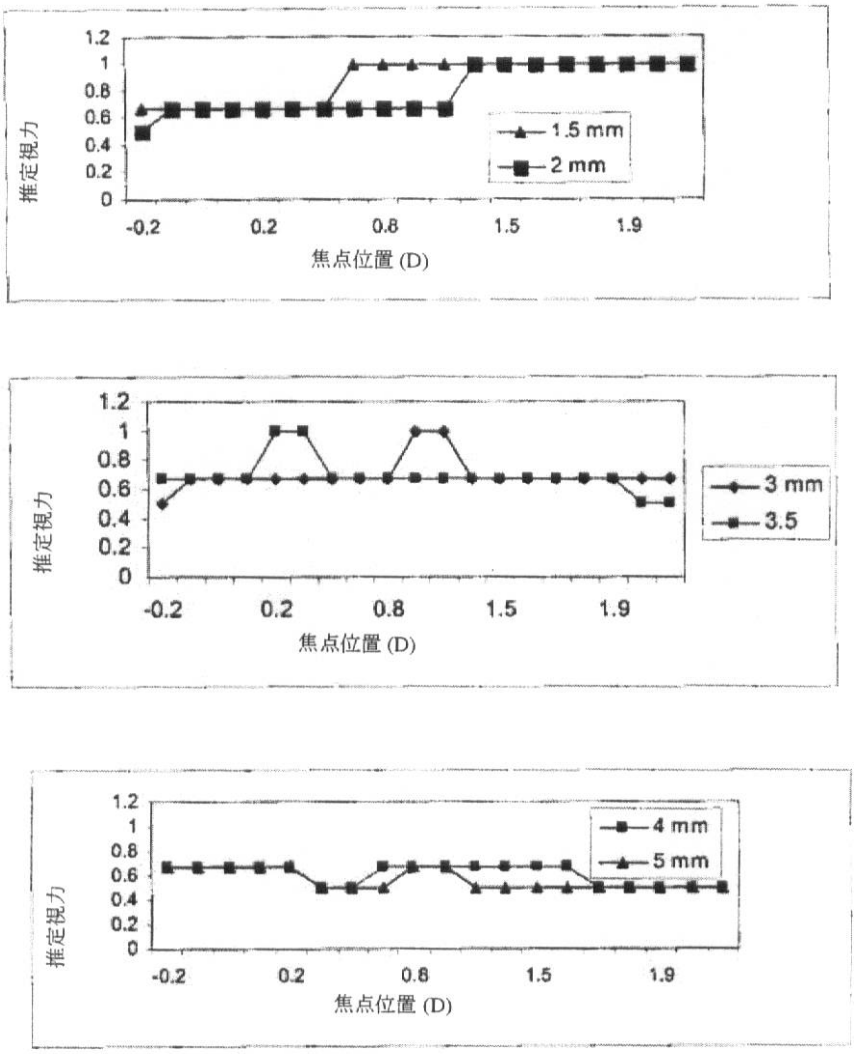

推定視力
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
0.2
0.8
1.5
1.9
焦点位置 (D)
1.5 mm
2 mm
推定視力
焦点位置 (D)
3 mm
3.5
推定視力
焦点位置 (D)
4 mm
5 mm

FIG 12

【図１４】

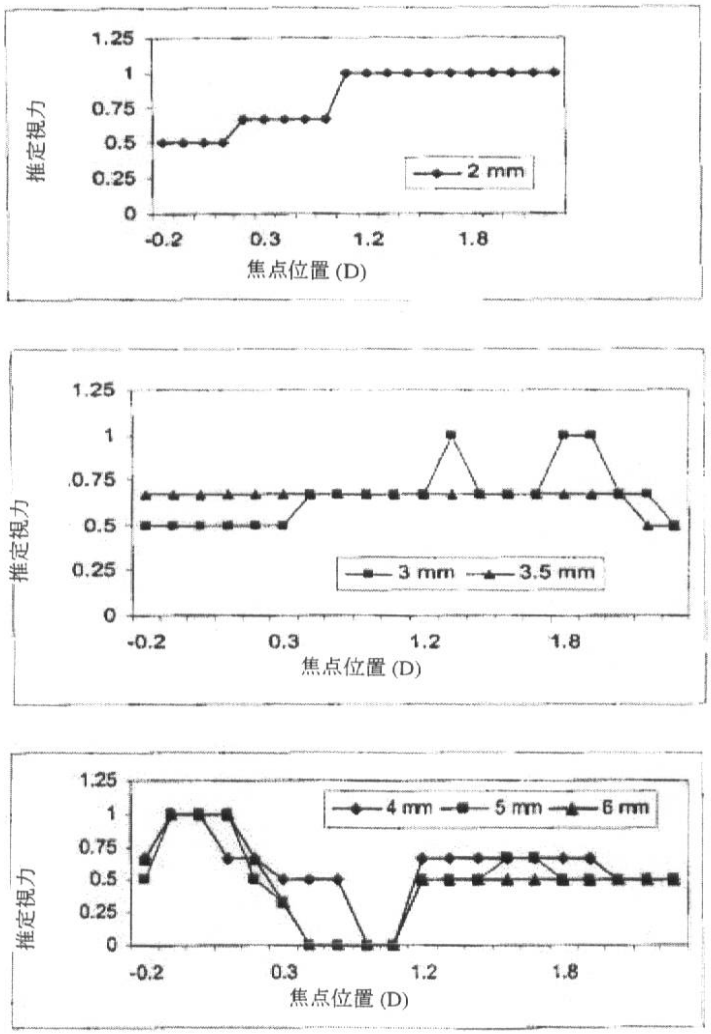
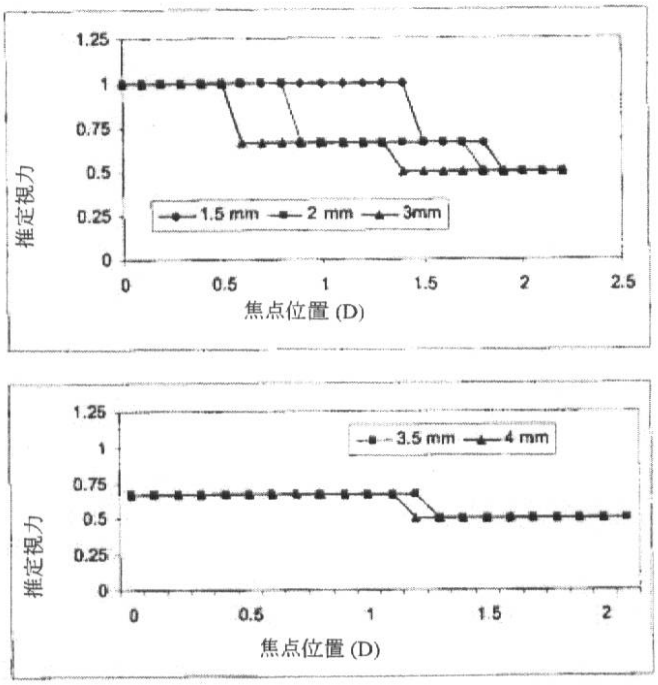


FIG 14

【図１６】


1.25
1
0.75
0.5
0.25
0
推定視力
1.5 mm
2 mm
3mm
0
0.5
1
1.5
2
2.5
焦点位置 (D)

1.25
1
0.75
0.5
0.25
0
推定視力
3.5 mm
4 mm
0
0.5
1
1.5
2
焦点位置 (D)

FIG 16

【図１９】

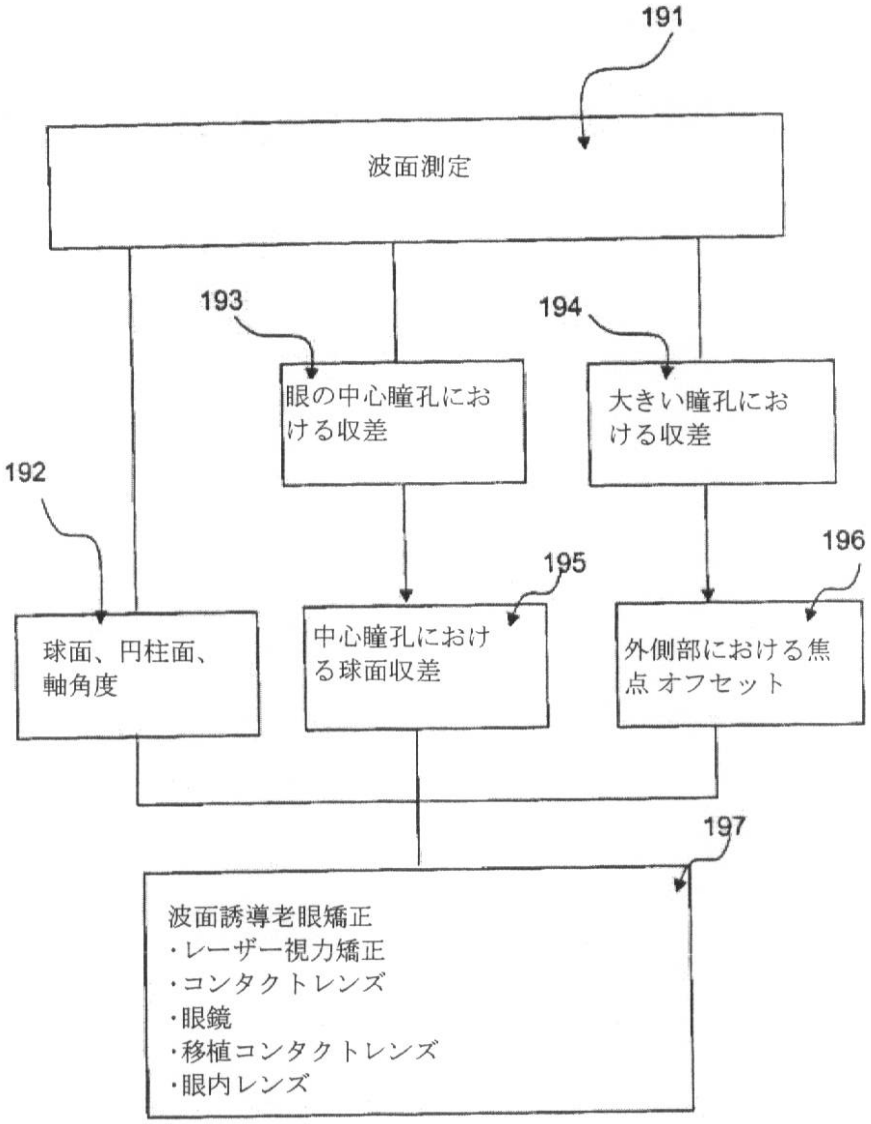

191
波面測定
193
眼の中心瞳孔における収差
194
大きい瞳孔における収差
192
球面、円柱面、軸角度
195
中心瞳孔における球面収差
196
外側部における焦点 オフセット
197
波面誘導老眼矯正
・レーザー視力矯正
・コンタクトレンズ
・眼鏡
・移植コンタクトレンズ
・眼内レンズ

FIG 19

【図２５】

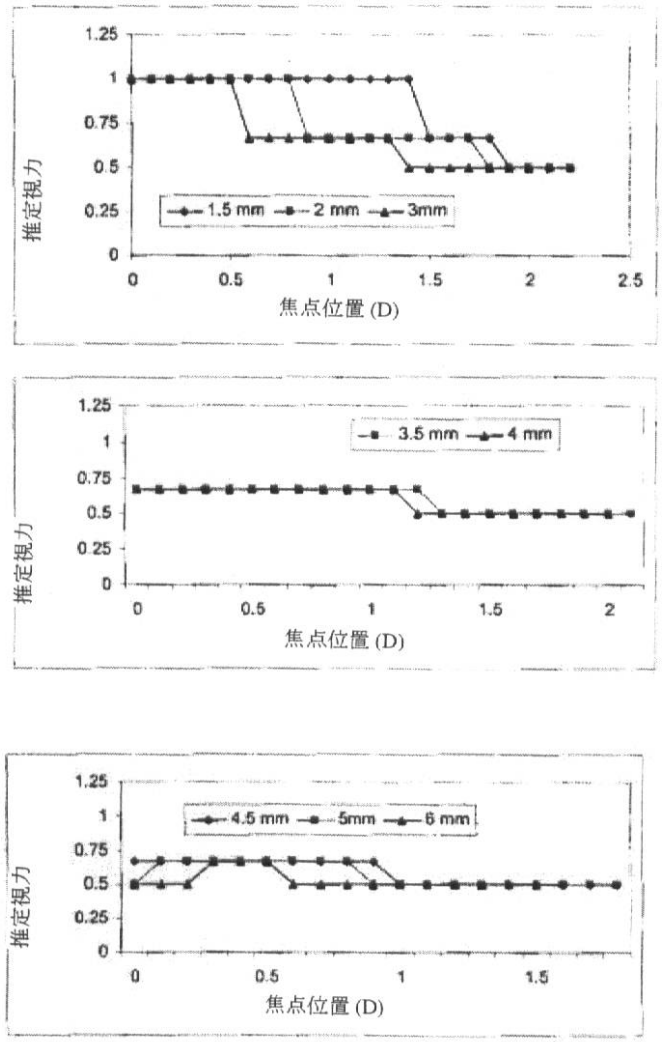


FIG 25

【手続補正書】
【提出日】平成22年7月12日(2010.7.12)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
眼の老眼を治療する方法であって、前記眼は、（ａ）直径４ｍｍ以下の中心瞳孔部と、（ｂ）微光条件で受光するための周囲瞳孔部とを含む自然瞳孔を有し、前記方法は、
前記中心瞳孔部における球面収差を誘発する工程と、
前記周囲瞳孔部における高次収差を維持または低減する工程とを含み、前記高次収差は治療前に存在し、
前記球面収差は、多項式の項によって表され、前記眼の屈折力の変化は、前記中心瞳孔部と前記周囲瞳孔部との間の界面で起こる、方法。
【請求項２】
前記中心瞳孔部の周囲領域における前記眼への光の通過を減衰させる、または遮断する工程をさらに含む、請求項１に記載の方法。

【請求項３】
前記中心瞳孔部における前記球面収差は、正の球面収差または負の球面収差である、請求項１に記載の方法。
【請求項４】
前記中心瞳孔部は、反対符号の球面収差を有する２つの同心光学部にさらに分けられる、請求項１に記載の方法。
【請求項５】
前記中心瞳孔部における前記球面収差は、少なくとも１つの輝度条件下での前記眼の自然瞳孔サイズに基づき決定される、請求項１に記載の方法。
【請求項６】
前記眼における焦点誤差および非点収差のうちの少なくとも１つを低減または排除する工程をさらに含む、請求項１に記載の方法。
【請求項７】
前記周囲瞳孔部における高次収差を低減する前記工程は、前記眼における球面収差を低減または排除する工程を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項８】
前記眼の角膜組織のアブレーションのためのレーザーエネルギーのアブレーションパターンを生成する工程をさらに含み、前記アブレーションパターンは、前記自然瞳孔にわたって決定された屈折プロファイルに少なくとも部分的に基づき、前記方法はさらに、
前記眼の前記角膜組織上にレーザーエネルギーを向け、前記アブレーションパターンを達成する工程を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項９】
眼のための多焦点眼科用レンズであって、前記レンズは、移植レンズまたは装用レンズとして構成され、焦点誤差および非点収差のうちの少なくとも１つの屈折矯正のためのすべてのレンズにわたる基準ジオプター力を含み、
前記レンズの中心部は、球面収差と任意の焦点オフセットとを含み、
前記球面収差は、多項式の項によって表され、屈折力の変化は、前記中心部の境界において前記基準ジオプター力から起こる、多焦点眼科用レンズ。
【請求項１０】
前記レンズの前記中心部は、１．５ｍｍ～４．０ｍｍの間（それらを含む）の直径を有する、請求項９に記載のレンズ。
【請求項１１】
前記レンズは、３ｍｍ～４０ｍｍの間（それらを含む）の直径を有する、請求項９に記載のレンズ。
【請求項１２】
前記中心部における前記球面収差は、２つ以上の多項式の項によって表される、請求項９に記載のレンズ。
【請求項１３】
前記レンズの前記中心部における前記球面収差は、１ミクロンより大きいピーク・トゥ・バレー（Ｐｅａｋ－ｔｏ－Ｖａｌｌｅｙ）波面誤差を有する、請求項９に記載のレンズ。
【請求項１４】
前記レンズは、前記眼における高次ゼルニケ収差を低減するようにさらに構成される、請求項９に記載のレンズ。
【請求項１５】
前記レンズの前記中心部における前記球面収差は、第１の領域における正の球面収差と第２の領域における負の球面収差とを含む、請求項９に記載のレンズ。
【請求項１６】
前記球面収差は、少なくとも１つの輝度条件下での前記眼の自然瞳孔サイズに基づき決定される、請求項９に記載のレンズ。

【請求項１７】
眼の老眼を治療する方法であって、前記眼は、（ａ）直径４ｍｍ以下の中心瞳孔部と、（ｂ）微光条件中に受光するための周囲瞳孔部とを含む自然瞳孔を有し、前記方法は、
第１の組の前記中心瞳孔部における焦点力および球面収差を生成する工程と、
第２の組の前記周囲瞳孔部における焦点力および球面収差を生成する工程とを含み、
前記第１および第２の組の焦点力および球面収差は、前記中心瞳孔部と前記周囲瞳孔部との間の界面において屈折力の変化を作り出す、方法。
【請求項１８】
前記中心瞳孔部における前記球面収差は、自然瞳孔サイズが直径４ｍｍ以下であるときに前記眼の焦点深度を増加させるように選択され、前記瞳孔の周囲部における前記焦点力および球面収差は、前記微光条件中の遠方視力のための画質を向上させるように選択される、請求項１７に記載の方法。
【請求項１９】
前記中心瞳孔部における前記誘発された球面収差は、少なくとも１つの輝度条件での前記眼の自然瞳孔サイズに基づき決定される、請求項１７に記載の方法。
【請求項２０】
前記眼における焦点誤差および非点収差のうちの少なくとも１つは、低減または排除される、請求項１７に記載の方法。
【請求項２１】
前記眼における三次ゼルニケ収差は、低減または排除される、請求項１７に記載の方法。
【請求項２２】
前記眼の角膜組織のアブレーションのためのレーザーエネルギーのアブレーションパターンを生成する工程をさらに含み、前記アブレーションパターンは、前記瞳孔にわたって決定された屈折プロファイルに少なくとも部分的に基づき、前記方法はさらに、
前記眼の前記角膜組織上にレーザーエネルギーを向け、前記アブレーションパターンを達成する工程を含む、請求項１７に記載の方法。
【請求項２３】
眼のための多焦点および屈折矯正用眼科用レンズであって、前記レンズは、移植レンズまたは装用レンズとして構成され、複数の光学部を含み、
前記複数の光学部のうちの少なくとも２つは、異なる焦点力および球面収差を有し、
前記異なる焦点力および球面収差は、前記複数の光学部のうちの前記少なくとも２つの間の界面において屈折力の変化を作り出し、
前記球面収差は、多項式の項によって表される、多焦点および屈折矯正用眼科用レンズ。
【請求項２４】
前記少なくとも２つの光学部は、内側光学部と外側光学部とを形成するように同心円状に配列される、請求項２３に記載のレンズ。
【請求項２５】
前記内側光学部の前記球面収差は、前記眼が直径４ｍｍ以下の自然瞳孔サイズを有するときに焦点深度を増加させるように構成される、請求項２４に記載のレンズ。
【請求項２６】
前記内側光学部の前記球面収差は、１ミクロンより大きいピーク・トゥ・バレー（Ｐｅａｋ－ｔｏ－Ｖａｌｌｅｙ）波面誤差を有する、請求項２４に記載のレンズ。
【請求項２７】
前記複数の光学部のうちの少なくとも１つにおける前記球面収差は、少なくとも１つの輝度条件下での前記眼の自然瞳孔サイズに基づき決定される、請求項２３に記載のレンズ。
【請求項２８】
前記外側光学部における前記球面収差は、眼に自然に存在する球面収差を低減するよう

に構成される、請求項２４に記載のレンズ。
【請求項２９】
前記内側光学部の前記球面収差は、２つ以上の多項式の項によって表される、請求項２４に記載のレンズ。
【請求項３０】
前記眼における非点収差を低減または排除する工程をさらに含む、請求項２９に記載のレンズ。
【請求項３１】
眼のための多焦点眼科用レンズであって、前記レンズは、移植レンズまたは装用レンズとして構成され、
（ａ）第１の焦点力および第１の球面収差を有する中心光学部と、
（ｂ）光エネルギを吸収する中間部と、
（ｃ）第２の焦点力および第２の球面収差を有する外側部とを含み、
前記第１の焦点力は、前記第２の焦点力とは異なり、
前記第１の球面収差および第２の球面収差は、異なり、前記中心光学部と外側光学部との間の位置において屈折力の変化を作り出す、多焦点眼科用レンズ。
【請求項３２】
前記眼における焦点誤差または非点収差は、低減または排除される、請求項３１に記載のレンズ。
【請求項３３】
前記中心光学部は、反対符号の球面収差を有する２つの同心光学部にさらに分けられる、請求項３１に記載のレンズ。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 08/81421

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC(8) - A61B 18/18 (2008.04)
USPC - 623/6.23
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC: A61B 18/18 (2008.04)
USPC: 623/6.23

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
623/6.11, 6.24; 351/177; 606/4
A61B18/18, A61F2/16 (2008.04)

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
GOOGLE (SCHOLAR, PATENTS, WEB)
WEST (PGPB, USPT, USOC, EPAB, JPAB)
Search Terms Used: presbyopia, astigmatism, zernike, luminance, ophthalmic, error, focus, laser

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X --- Y	US 7,261,412 B2 (SOMANI et al.) 28 August 2007 (28.08.2007) see whole document, particularly; col. 2, ln 3-25; col. 2, ln 53 to col. 3, ln 21; col. 7, ln 44-54	33 --- 1-9, 15-17, and 24-25
X --- Y	US 2005/0041203 A1 (LINDACHER et al.) 24 Feburary 2005 (24.02.2005) see whole document, particularly; para [0003]-[0005], [0009]-[0011], [0026]-[0029], [0038]	10-14, 18-23, and 26-32 --- 1-9, 15-17, and 24-25

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 December 2008 (12.12.2008)	23 DEC 2008
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-3201	Authorized officer: Lee W. Young PCT Helpdesk: 571-272-4300 PCT OSP: 571-272-7774

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2007)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MT,NL,NO,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RS,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100109162
弁理士 酒井 將行
(74)代理人 100111246
弁理士 荒川 伸夫
(74)代理人 100124523
弁理士 佐々木 眞人
(72)発明者 リャン, ジュンジョン
アメリカ合衆国、９４５３９ カリフォルニア州、フレモント、クーテネイ・ドライブ、４５

Ｆターム(参考) 2H006 BC03 BC06