

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6955001号
(P6955001)

(45) 発行日 令和3年10月27日 (2021. 10. 27)

(24) 登録日 令和3年10月4日 (2021. 10. 4)

(51) Int. Cl. F I
A 6 1 F 2/16 (2006.01) A 6 1 F 2/16

請求項の数 13 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2019-517063 (P2019-517063)	(73) 特許権者	519104204
(86) (22) 出願日	平成29年11月15日 (2017. 11. 15)		タトヴァム エルエルシー
(65) 公表番号	特表2019-534071 (P2019-534071A)		T A T V U M L L C
(43) 公表日	令和1年11月28日 (2019. 11. 28)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2
(86) 国際出願番号	PCT/US2017/061765		6 0 4 アーヴァイン フォールブルック
(87) 国際公開番号	W02018/093873		1 0
(87) 国際公開日	平成30年5月24日 (2018. 5. 24)	(74) 代理人	100139723
審査請求日	令和2年2月5日 (2020. 2. 5)		弁理士 樋口 洋
(31) 優先権主張番号	15/353, 381	(72) 発明者	ティワリ, ニヴェダン
(32) 優先日	平成28年11月16日 (2016. 11. 16)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 2
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		6 0 4 アーヴァイン フォールブルック
(31) 優先権主張番号	15/727, 019		1 0
(32) 優先日	平成29年10月6日 (2017. 10. 6)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 拡張焦点深度を有する眼内レンズ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

屈折型ベースパワーを提供する前面および後面を有する光学部であって、前記前面および後面の少なくとも1つが、3つの構成回折プロファイルを組み合わせることにより特定される高さを有するステップを含む複合プロファイルをその上に配置され、前記回折プロファイルはパワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応し、該パワーは互いに異なり各パワーが約1 D未満の正のパワーであり、前記回折プロファイルの各々が、房水に関して546 nm光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の位相遅延を生じさせるステップ高さを有し、前記複合プロファイルは、以下の関数：

$z = \max(\text{回折プロファイル}(p_1), \text{回折プロファイル}(p_2), \text{回折プロファイル}(p_3))$ 、ここで、 $p_3 > p_2 > p_1$ である、

により定められる、

光学部を含む単焦点眼内レンズ。

【請求項 2】

屈折型ベースパワーを提供する前面および後面を有する光学部であって、前記前面および後面の少なくとも1つが、3つの構成回折プロファイルを組み合わせることにより特定される高さを有するステップを含む複合プロファイルをその上に配置され、前記回折プロファイルはパワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応し、該パワーは互いに異なり各パワーが約1.25 D未満の正のパワーであり、前記回折プロファイルの各々が、房水に関して546 nm光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の位相遅延を生じさせるステップ高さを有し、前

10

20

記複合プロファイルは、以下の関数：

$z = \max(\text{回折プロファイル}(p_1), \text{回折プロファイル}(p_2), \text{回折プロファイル}(p_3))$ 、ここで、 $p_3 > p_2 > p_1$ である、
により定められる、
光学部を含む単焦点眼内レンズ。

【請求項 3】

前記複合プロファイルが、前記レンズの前記前面上に完全に配置されることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のレンズ。

【請求項 4】

前記複合プロファイルが、前記レンズの前記前面および後面の両方の上に区分的に配置されることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のレンズ。

10

【請求項 5】

前記複合プロファイルが、回転対称であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のレンズ。

【請求項 6】

前記 3 つの構成プロファイルにより形成されるレンズのゾーンが、形状においてキノフォームであることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のレンズ。

【請求項 7】

前記回折プロファイルの各々が、房水に関して、546 nm 光について $0.8 \sim 1.0 \times 2$ の位相遅延を生じさせるステップ高さを有することを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のレンズ。

20

【請求項 8】

中央ゾーンが、構成回折プロファイルと独立した形状を有する回折表面を有することを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のレンズ。

【請求項 9】

p_2 に対する p_1 の比が約 0.6 であり、 p_3 に対する p_1 の比が約 0.4 であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のレンズ。

【請求項 10】

p_2 に対する p_1 の比が約 0.67 であり、 p_3 に対する p_1 の比が約 0.31 であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のレンズ。

30

【請求項 11】

焦点深度が 0.85 ジオプトリ超であることを特徴とする、請求項 1、2 または 9 に記載のレンズ。

【請求項 12】

少なくとも 3 つのレンズを含む、一群の単焦点眼内レンズであって、前記レンズの各々が、

屈折型ベースパワーを提供する前面および後面を有する光学部であって、前記前面および後面の少なくとも 1 つが、3 つの構成回折プロファイルを組み合わせることにより特定される高さを有するステップを含む複合プロファイルをその上に配置され、前記回折プロファイルはパワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応し、該パワーは互いに異なり各パワーが約 1.25 D 未満の正のパワーであり、前記回折プロファイルの各々が、房水に関して 546 nm 光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の位相遅延を生じさせるステップ高さを有し、前記複合プロファイルは、以下の関数：

40

$z = \max(\text{回折プロファイル}(p_1), \text{回折プロファイル}(p_2), \text{回折プロファイル}(p_3))$ 、ここで、 $p_3 > p_2 > p_1$ である、
により定められる、
光学部を含み、

前記一群のレンズの各々が、互いに異なる屈折型ベースジオプトリ度数を有し、

前記屈折型ベースパワーの範囲が、少なくとも 10 ジオプトリであり、

前記少なくとも 3 つのレンズの各々の前記複合プロファイルが、互いに同じである、

50

一群の単焦点眼内レンズ。

【請求項 13】

前記少なくとも 3 つのレンズの各々における前記複合プロファイルが、前記少なくとも 3 つのレンズの他の各々の前記複合プロファイルと同じであることを特徴とする、請求項 12 に記載の一群の眼内レンズ。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

【0001】

本出願は、ここに参照することによってその内容が全て援用される、2016年11月16日出願の「INTRAOCULAR LENS HAVING AN EXTENDED DEPTH OF FOCUS」と題された米国特許出願第15/353,381号の一部継続出願である。 10

【技術分野】

【0002】

本出願は、眼内レンズ、およびより詳細には拡張された焦点深度を提供する眼内レンズに関する。

【背景技術】

【0003】

光学部、および、おそらく、光学部を眼内に配置するための 1 つ以上のハプティックを有する眼内レンズ (IOL) が知られている。遠見視力、中間視力および/または近見視力を含むある範囲の視力を提供する IOL の 1 つのタイプは、多焦点レンズである。従来の多焦点レンズは、通常、2 つのクラスに収まる。 20

【0004】

多焦点レンズの第 1 のクラスは、屈折型多焦点と称され、光学部が複数の屈折ゾーンに分割され、特定のゾーンからの光は屈折力のみを用いて焦点の 1 つにのみ方向付けられる。ゾーンは、光学的中心の周りに同心であるかまたは非軸対称でもよい。屈折型多焦点レンズは、2 つ以上の焦点を形成し、遠見、中間および/または近見視力を提供する。

【0005】

多焦点レンズの第 2 クラスは、回折型多焦点と称される。そのようなレンズは、隣接ゾーンを介して透過される光と位相が一致しない光を透過する (すなわち、隣接ゾーン間に位相遅延が存在する) ラジアルゾーンを有する回折要素を含む。屈折型多焦点レンズと同様に、回折型多焦点レンズは、2 つ以上の焦点を形成し、遠見、中間および/または近見視力を提供する。回折型多焦点レンズにおいて、ゾーンを分割するラジアル境界は、特定の光学的パワーを達成するように選択される。 30

【0006】

視界を拡張するための回折型多焦点および屈折型多焦点レンズ技術はいずれも、視力が明瞭である鮮明な焦点、および焦点間でより焦点が合わない領域を有する IOL を生じてきた。視覚系のパフォーマンスを測定する性能指数のよく知られる例は、変調伝達関数 (「MTF」として一般に称される) として知られる。光学系の MTF は、物体の像が生じる際に光学系が維持できる入力物体のコントラストの比の指標である。MTF は、空間周波数の関数 (例えば、網膜における mm ごとの本線 (lines pairs)) として測定できる。概して、所定の光学系についての MTF 値は、空間周波数の増加に伴って減少する。 40

【0007】

所定の空間周波数について、IOL の各焦点 (すなわち、短焦点、中間焦点または遠焦点) は、MTF 値におけるピークとしてスルーフォーカス (through-focus) MTF プロットにおいて明らかとなり、ピーク間は MTF 値がより低い領域である。IOL の個々の装着者について、より低い MTF 値の領域は、個人の眼の眼球収差および彼/彼女の瞳孔反応により個人に生じる MTF ピークの広がりおよび平坦化に依存して、視 50

覚を可能とするのに十分大きくてもよい。

【0008】

多焦点レンズは装着者の視界を有益に広げることが知られる一方で、これらの多焦点技術を用いるIOLの装着者の大部分は、網膜上に同時に形成される複数のはっきりと焦点の合った像の存在によって、視覚混乱および光現象 (photic phenomena) (すなわち、偽水晶体眼により形成される像中の所望でないアーチファクト (artifacts)) を受けることが知られてきた。

【0009】

多焦点レンズに代わるものとして、遠見視力並びに近見視力を得るために単焦点IOL (すなわち、MTF曲線中に複数ピークが存在しない) の焦点深度を拡張する技術が提案されてきた。拡張焦点深度 (EDOF) を提供するためのIOL技術には、以下が含まれる: a) IOLに、中央屈折addゾーンを提供する工程; b) IOLに、高い絶対値の正または負の球面収差を提供する工程; およびc) 基礎をなす屈折型IOLに、比較的低パワーのadd回折プロファイル (すなわち、1.5ジオプトリ以下の回折add) を提供する工程。そのような拡張焦点深度技術の各々によって、装着者の視覚の質に与えられる改良は限られている。

【0010】

従来、低パワーの回折addプロファイルは、隣接するゾーン間の位相遅延が設計波長 (例えば、可視光について約550nm) の0.5波長であるように、選択されてきた。そのようなレンズの1つの例が、特許文献1に記載される。そのようなレンズは、高度の多焦点性を提供する傾向にあり、ゼロ次の回折プロファイルに対応する中心焦点と、+1次および-1次の回折プロファイルにそれぞれ対応する短焦点および遠焦点との間で均一に光が分けられる。そのようなレンズ構成は、MTF中に複数のピークを生じる傾向にある。しかしながら、MTFが平坦化されピークを解消するようにIOLが設計される場合でも、そのような設計は、短焦点および遠焦点のそれぞれに中央焦点の周りに対照的に光を導く傾向にあり、したがって、遠見視力におけるピークのない、光エネルギーの非効率的な使用が生じ、レンズパフォーマンスが妥協されうる。

【0011】

他の回折設計技術によれば、隣接するゾーン間の位相遅延は、波長の0.4~0.5の間の数値に減少した。そのような設計は、多焦点レンズの装着者は遠見視力のためのピーク視力パフォーマンスを好む傾向にあるので、遠焦点に送られる光に対して短焦点に送られる光の比を低減することによりレンズの二焦点性を低減する傾向にある。そのようなレンズは、MTF中の複数ピークの存在に関して、より二焦点性のレンズと同様の欠点を受ける。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【特許文献1】米国特許第8,747,466号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

したがって、生じるレンズのMTF曲線中に複数のピークのない眼科用レンズの焦点深度を拡張し、光エネルギーをより有効に利用するための代替的な技術が依然として必要とされる。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の態様に従って、EDOFレンズにおける光現象の可能性を防止または低減するために、遠見視力のためのベストフォーカスおよび中間距離に向かって拡張する焦点深度を有する単焦点IOLを用いることが好ましいことが特定された。そのような「拡張された焦点深度を有する単焦点IOL」のスルーフォーカスMTF曲線は、遠見視力に対応す

10

20

30

40

50

る（絶対最大値にも対応する）単一ピーク（すなわち、単一の極大）が存在し、最大単一ピークからの正の add パワー（すなわち、ベストフォーカスの近視側）について、MTF 中で単一ピークと最初のゼロ（以下に定義される）との間に追加のピークが存在しないように、設計される。しかし、ピークから近視方向に拡張する MTF の視覚的に有効なレベルが低下する。そのような実施形態において、MTF における最初のゼロに達するまで MTF は増加しない。いくつかの実施形態において、光現象を低減する目的のために、MTF において最初のゼロに達するまで MTF が単調に減少することが有用である。

【0015】

そのようなパフォーマンスを達成するために、本発明の実施形態は、その上に配置された回折プロファイルを有する屈折型レンズを含む。回折プロファイルは、それぞれ 1 D 未満のパワーを有する少なくとも 3 つ（すなわち 3 つ以上）の回折プロファイルの組合せからなる。回折プロファイルは、異なる光学的パワーを有する。3 つのプロファイルは、レンズ上の各ラジアル位置において 3 つのプロファイルの最大値をることにより組み合わせられる。焦点深度に沿ったエネルギーの拡散を促進するために、回折プロファイルのステップ高さは、546 nm 光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の房水（所定のステップ高さと同じ深度の）に関して、位相遅延を有するように選択され、これは、プロファイルを組み合わせる「マックス（max）」技術と共に焦点深度に沿って光を拡散する傾向にある。

10

【0016】

本発明のある態様は、屈折型ベースパワーを提供する前面および後面を有する光学部を含む眼内レンズに関する。前面および後面の少なくとも 1 つは、その上に、3 つの構成（constituent）回折プロファイルを組み合わせることにより特定される高さを有するステップを含む複合プロファイルが配置される。構成回折プロファイルは、互いに異なり、それぞれ約 1 D 未満の正のパワーである、パワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応する。構成回折プロファイルのそれぞれは、546 nm 光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の房水に関して、位相遅延を生じさせるステップ高さを有する。複合プロファイルは、関数 $z = \max(\text{回折プロファイル}(p_1), \text{回折プロファイル}(p_2), \text{回折プロファイル}(p_3))$ 、ここで、 $p_3 > p_2 > p_1$ ）により定められる。

20

【0017】

いくつかの実施形態において、複合プロファイルは、完全にレンズの前面上に配置される。複合プロファイルは、レンズの前面および後面の両方の上に区分的に配置されてもよい。複合プロファイルは、回転対称でもよい。

30

【0018】

いくつかの実施形態において、3 つの構成プロファイルにより形成されるレンズのゾーンが、形状においてキノフォームである。

【0019】

いくつかの実施形態において、構成回折プロファイルのそれぞれは、546 nm 光について $0.8 \sim 1.0 \times 2$ の房水に関して、位相遅延を生じさせるステップ高さを有する。

40

【0020】

中央ゾーンは、構成回折プロファイルと独立した形状を有する屈折表面を有してもよい。いくつかの実施形態において、 p_2 に対する p_1 の比は約 0.6 であり、 p_3 に対する p_1 の比は約 0.4 である。いくつかの実施形態において、 p_2 に対する p_1 の比は約 0.67 であり、 p_3 に対する p_1 の比は約 0.31 である。いくつかの実施形態において、焦点深度は、0.85 ジオプトリ超である。

【0021】

本発明の別の態様は、屈折型ベースパワーを提供する前面および後面を有する光学部を含む眼内レンズに関する。前面および後面の少なくとも 1 つは、その上に、3 つの構成回

50

折プロファイルを組み合わせることにより特定される高さを有するステップを含む複合プロファイルが配置される。構成回折プロファイルは、互いに異なり、それぞれ約1 D未満の正のパワーである、パワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応する。構成回折プロファイルのそれぞれは、546 nm光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の房水に関して、位相遅延を生じさせるステップ高さを有する。複合プロファイルは、関数 $z = \max(\text{回折プロファイル}(p_1), \text{回折プロファイル}(p_2), \text{回折プロファイル}(p_3))$ 、ここで、 $p_3 > p_2 > p_1$ により定められる。この態様に従った実施形態は、上述の実施形態を有してもよい。

【0022】

10

本発明の別の態様は、それぞれのレンズが上述の態様または実施形態に従って構成される、少なくとも3つのレンズを含む、一群の眼内レンズに関する。一群のレンズのそれぞれは、互いに異なる屈折型ベースジオプトリ度数を有する。屈折型ベースパワーの範囲は、一群のレンズに亘って少なくとも10ジオプトリであり、少なくとも3つのレンズのそれぞれの複合プロファイルは、一群の他のレンズのそれぞれと同じである。

【0023】

「焦点深度」なる用語は、ISO 11979-2 2014の模型眼1中の3 mm開口を通過したmmごとの50本線(lines pairs)におけるMTFが0.2 MTF単位超である範囲に亘って、近視方向に向かってスルーフォーカスMTF絶対最大ピークから測定される、IOLの焦点範囲であると定義される。焦点の1つにおいて50 lp/mmで測定されて0.2よりわずかに低いMTF単位を有する多焦点IOLを用いた臨床試験によって、患者の50%が20/28~20/20の視力を有し、患者の40%が20/20またはそれより良好な視力を有し、合わせて90%が20/28またはそれより良好な視力を有したことが示された。この発見によって、患者の大部分は、50 lp/mmにおいて0.2 MTF単位で20/28またはより良好な視力を有するであろうことが結論付けられる。この臨床データに基づいて、IOLの焦点深度の基準は、50 lp/mm MTF値が0.2 MTF単位より大きいIOL焦点周辺の範囲であると定義される。上述の計算および本明細書における他の計算のために、3ミリメートルの瞳孔直径が仮定される。

20

【0024】

30

いくつかの例において、光学系(例えば視覚系)を完全に特徴付けるために、MTFを2つの直交軸に沿って測定する必要があることが理解されるべきである。本明細書に記載される実施例において、回転対称が想定される。しかしながら、非対称レンズが、本発明の態様に従った設計原理を組み込んでもよく、本発明の態様の範囲内であることが理解されるべきである。

【0025】

本発明の別の態様は、屈折型ベースパワーを提供するための前面および後面を有する光学部を含み、前面および後面の少なくとも1つがその上に配置された屈折型ステップを含むプロファイルを有する、単焦点眼内レンズに関する。レンズが物理的模型眼の中に配置される場合、50 lp/mmの空間周波数について、模型眼のスルーフォーカス変調伝達関数(MTF)は、ゼロのスロープにより特徴付けられるピークを有し、MTFは、それを超えると0.2 MTF単位超の数値をMTFが有するピークから近視方向に拡張する範囲を有し、この範囲は1.0 Dを超え、ピークはMTF中の最初のゼロの前でMTF中唯一のピークである。

40

【0026】

眼内レンズに関して本明細書で用いられる場合、「前」なる用語は、レンズが埋め込まれる眼の角膜の方向を向く傾向があるレンズ上の特徴を称し、「後」なる用語は、眼の網膜上を向く傾向があるレンズ上の特徴を称する。

【0027】

本明細書におけるナノメートル(nm)で特定される光の波長は、光が真空中で伝搬する

50

際の波長を称する。例えば、546nmの光は、真空中で伝搬する際に546nmの波長を有する光を称するが、この光の波長は、レンズ中または眼の液体中で伝搬される際はレンズおよび液体の屈折率によって546nmから逸脱するであろう。

【0028】

本明細書で用いられる場合、「単焦点」なる用語は、正のaddパワーについてMTF中で最初のゼロに達する前に、MTF中で単一のピーク（すなわち、単一の極大；かつ、単一のピークは絶対最大値である）を有するレンズを称する。

【0029】

「最初のゼロ」なる用語は、本明細書において、近視側で、スルーフォーカスMTFプロット中で絶対最大値（すなわち、ベストフォーカス）後の最初の極小を意味するよう定義され、この極小は0.1MTF単位未満の数値を有する。

10

【0030】

本明細書に記載されるようなレンズの、並びに、他のレンズのパフォーマンスおよび特許請求の範囲を特定するためのパフォーマンス測定（例えば、焦点深度を含むスルーフォーカスMTF形状）は、ISO 11979-2 2014 模型眼1中にレンズを配置することによって行われる／行われるべきである。

【0031】

本発明の実施の性質および態様が、添付の図面と併せて、本発明の以下の詳細な説明により完全に説明されるであろう。

【図面の簡単な説明】

20

【0032】

【図1】議論を容易にするために回折プロファイルが拡大された、本発明の態様に従った複合回折プロファイルを含む眼内レンズの光学部材の実施例の概略断面図

【図2】回折プロファイルが屈折表面から分離されている、ラジアル距離の関数としての図1の光学部材の軸方向に対称な回折プロファイルの断面図

【図3】図2の複合回折プロファイルを生じるよう組み合わせられる構成回折プロファイルの断面図

【図4】それぞれ図1におけるIOLおよび複合回折プロファイルを有しない屈折単焦点IOLについてのスルーフォーカスMTFプロット（網膜において50lp/mmについて）、および、単焦点の性質並びに本発明の態様に従ったレンズの拡張されたエネルギーの広がりを示す図

30

【図5】所定の位相遅延 または各構成プロファイルについて1つのような複数の異なる位相遅延を有するように各レンズが選択される、本発明の態様に従ったレンズの実施例のスルーフォーカスMTFプロット（網膜において50lp/mmについて）を示す図

【図6】天然レンズが除去され本発明の態様に従った眼内レンズが眼の水晶体嚢に手術により埋め込まれた後の人間の眼の概略図

【発明を実施するための形態】

【0033】

本発明者は、「max関数」を用いて異なるaddパワーに対応する複数の低パワー回折プロファイルを組み合わせることにより、眼内レンズに使用するための回折プロファイルを形成することの予想できない結果を発見した。そのようなレンズの実施形態によって、単一のピークを有する焦点深度およびレンズの光軸に沿った光エネルギーの有意な拡散がレンズに提供され、光現象の可能性がないまたは低減された、視覚的に有用な拡張された焦点深度が提供される。

40

【0034】

図1は、本発明の態様に従った複合回折プロファイル150を含む眼内レンズ（図6に示される）の光学部材100の実施例の概略断面図である。光学部材100は、回折パワー（一般にレンズの「ベースパワー」と称される）を提供する、前面102および後面104を有する。眼内レンズの屈折面102、104は、球面または非球面のいずれかであり、図1に示されるように両凸でよく、あるいは、平凸、メニスカスまたは任意の他の適

50

切な形状でもよい。水平軸に沿った数値ゼロは、レンズの光軸 $O A$ に対応する。複合回折プロファイル 150 を、任意の適切な正または負のジオプトリ値またはゼロのジオプトリ値を有するベース回折レンズに適用してもよい。

【0035】

図示される実施形態において、前面 102 は、その上に配置された 3 つの回折プロファイルを組み合わせることにより生じる高さ h_1 、 h_2 、 \dots 、 h_n を有するステップを含むプロファイルを有する。複合回折プロファイルを形成するさらなる詳細が、以下に提供される。

【0036】

3 つの回折プロファイルの各々は、それぞれパワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応する。これらのパワーは、互いに異なる大きさを有する。いくつかの実施形態において、各パワーは、約 1 D 未満の正のパワーを有する。いくつかの実施形態において、各パワーは、約 1.25 D 未満の正のパワーを有する。回折プロファイルの各々は、546 nm 光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の房水に関して、位相遅延を生じさせるステップ高さを有する。複合プロファイルは、以下の関数により定められる：

$z = \max(\text{回折プロファイル}(p_1), \text{回折プロファイル}(p_2), \text{回折プロファイル}(p_3))$ 、ここで、 $p_3 > p_2 > p_1$ 。

【0037】

図示される実施形態において、複合回折プロファイルはレンズの前面上に配置されるが、複合回折プロファイルは、前面または後面のいずれかの上に完全に配置されてもよい（図 1 に示されるように）。あるいは、複合プロファイルは、光学部材の両方の屈折側に区分的に配置されてもよい。例えば、複合プロファイルは、光軸に平行な線を用いて複数の部分に分割されてもよい。プロファイルの各部分は、レンズの前面または後面上に位置してもよく、この間所定の平行線の間の対応するラジアル位置は維持される。

【0038】

図 1 における回折ステップ高さは、観察の容易のために、光学部材 100 の残り部分に比して著しく拡大されることが理解されるであろう。さらに、ステップの鮮明さは説明のために強調されている。ステップのコーナーのいくつかの丸みは、製造工程によって生じる。この平滑化は、例えば、レンズまたはレンズ - 型機械加工またはその後のレンズ研磨工程によってもよい。そのような平滑化は、レンズの焦点深度または単焦点性を許容できないほど損なう程度に過剰でない限り、レンズパフォーマンスを低下させることは考えられない。

【0039】

本明細書に記載されるような光学部材を含む IOL および眼内におけるそのような IOL の位置決めさらなる詳細が、以下に図 6 を参照して与えられる。

【0040】

図 2 は、図 1 の光学部材の複合回折プロファイル 150 をより詳細に示す。プロファイルは、ラジアル位置の関数としてのプロファイル高さとして示され、回折プロファイルは、反射表面 102 とは分離される（すなわち、垂直軸上のゼロはベース屈折型レンズの後面に対応する）。図 2 の回折プロファイルは、光軸 $O A$ の周りに回転対称であることが理解されるであろう。プロファイルは 8 つのゾーンを有するが、任意の数のゾーンを用いてもよい。

【0041】

図 3 は、図 2 の複合回折プロファイルを生じるために組み合わせられる、パワー p_1 、 p_2 および p_3 にそれぞれ対応する個々の構成回折プロファイルを示す。図 2 の複合回折プロファイルは、3 つの個々のキノフォーム - タイプのプロファイルを組み合わせることにより生じる。 p_1 、 p_2 および p_3 に対応する 3 つの個々の回折プロファイルは、それぞれ式 1 (a)、1 (b) および 1 (c) において定義される。

10

20

30

40

【数 1】

$$h_1(r) = \frac{\lambda\eta}{(n_l - n_m)} \left\{ \left(\frac{r^2}{2F_1\lambda} \right) - m_1 \right\} \quad - \quad \text{式 1(a)}$$

$$h_2(r) = \frac{\lambda\eta}{(n_l - n_m)} \left\{ \left(\frac{r^2}{2F_2\lambda} \right) - m_2 \right\} \quad - \quad \text{式 1(b)}$$

$$h_3(r) = \frac{\lambda\eta}{(n_l - n_m)} \left\{ \left(\frac{r^2}{2F_3\lambda} \right) - m_3 \right\} \quad - \quad \text{式 1(c)}$$

10

ここで、 r は光軸からの距離であり、

λ は真空における光の設計波長である。本明細書に記載される実施例において、波長は 546 nm となるように選択され、人間の眼内の光受容体は極めて敏感であり、

n_l および n_m は、546 nm の設計波長において、それぞれレンズ材料および周囲の媒体の屈折率である。本明細書に記載される実施例において、レンズの屈折率の値および房水の屈折率の値は、それぞれ n_l について 1.5404 であり、 n_m について 1.336 である。図 3 の実施例において、レンズ材料は、疎水性のアクリルである。親水性のアクリル、ポリメチル・メタクリレート (PMMA) またはシリコンのような他の材料を用いて、ゾーン高さが適切な位相遅延を達成するように選択される、本発明の態様に従った設計を達成してもよい。

20

η は、周囲媒体（例えば房水）中で同じ厚さを通過する同じ光に比して、レンズ材料を通過する光によって生じる 2 位相遅延の部分を示す定数である。 η について 0.8 の数値を用いて、図 3 の回折プロファイルを導く。いくつかの実施形態（例えば図 3 の実施例）において、 η は複合プロファイルを構成する全てのプロファイルについて同じであり、複合プロファイルの構成プロファイルについての η の数値は、複合プロファイルの他の構成プロファイルの 1 つまたは全てと異なってもよい。

F_1 、 F_2 および F_3 は、プロファイル $h_1(r)$ ； $h_2(r)$ および $h_3(r)$ をそれぞれ生じるように選択されるパワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応する焦点距離である。 F_1 、 F_2 および F_3 は、それぞれパワー p_1 、 p_2 および p_3 の逆数によって与えられる。図 3 のプロファイルについて、 p_1 、 p_2 および p_3 の値は、0.35 D、0.55 D および 0.9 D である。

30

m_1 、 m_2 および m_3 はそれぞれ、整数値 0、1、2・・・を取り、回折ゾーン番号を示し、0 は中央のゼロを示す。

【0042】

本明細書に記載される実施形態は、キノフォームプロファイルを用いるが、他のプロファイルを用いてもよいことが理解されるであろう。例えば、キノフォーム形状への直線的近似のような直線的プロファイル、または他の適切な近似または形状を用いてもよい。また、実施例は複合プロファイルにおいて 3 つの構成プロファイルを含むが、3 つ以上の構成プロファイルを用いて複合プロファイルを形成してもよい。4 つ以上の構成プロファイルを有する実施形態において、4 つ目および任意の追加の構成プロファイルは、全ての他のプロファイルと異なるパワーを有し、約 1 ジオプトリ未満（又は約 1.25 ジオプトリ未満）のパワーを有し、上述のように max 関数を用いる他のプロファイルと組み合わせられる。

40

【0043】

図 3 に示されるプロファイルのゾーンのゾーン境界は式 2 により与えられる：

【数 2】

$$r_m^2 + F^2 = \{(m+1)\lambda + F\}^2 \quad \text{式 2}$$

ここで、

m はゾーン番号を示し、

F は焦点距離であり、(上述のように)

r_m はゾーン番号 m についてのラジアルゾーン境界であり、

は真空における光の波長である。

【0044】

構成回折プロファイルは、式 3 に示される \max 関数を用いて組み合わせられ、図 2 に示される複合回折プロファイルを形成する。

【数 3】

$$z(r) = \text{Max}\{h_1(r), h_2(r), h_3(r)\} \quad \text{式 3}$$

【0045】

複合プロファイルを構成する $z(r)$ の値が、各ラジアル位置 r において、 $h_1(r)$; $h_2(r)$ および $h_3(r)$ の最大値(すなわち、最大厚さ)として取られる。図 3 に示されるように、厚さは、負の方向においてゼロからの偏差として測定される。しかしながら、厚さの任意の従来の表示を用いてもよい。

【0046】

図 3 における構成プロファイルの深さは、2.136 マイクロメートルであり、これは、約 0.8 波長の伝送に基づいて与えられる位相、または約 288 度の位相に換算される。キノフォーム形状に関連する放物線のプロファイルは、全てのゾーンに亘って拡張し、各ゾーンの端部においてステップの不連続性が生じる。

【0047】

図 2 において生じる複合プロファイルは、ベース屈折表面上に重ねられ、図 1 に示される光学部材を形成する。多重形状は、各ラジアル位置において複合回折プロファイルの高さを有する屈折レンズの矢状高さを加えることにより形成される。例示的实施形態において、ベース屈折レンズは、20 ジオプトリであり、両凸レンズは非球面性を有し、球面収差を実質的に取り除く。レンズの規格は以下のものである：1) -1.58×10^{-4} の非球面 4 次係数を有する 20.0 mm の前面半径、2) 20.807 mm の後 IOL 面半径、および 3) 0.553 mm の光学部中央厚さ。

【0048】

本発明者は、それぞれ約 0.6 ~ 0.4 の p_2 に対する p_1 および p_3 に対する p_1 の比によって、MTF 曲線中でピークと最初のゼロとの間に追加の極大のない最大値から MTF がスムーズに落ちる焦点深度が生じることに注目した。図示される実施形態において、パワーは、0.35 D、0.55 D および 0.9 D であるが、 p_2 に対する p_1 の比が約 0.6 であり p_3 に対する p_1 の比が 0.4 でありパワーが 1 ジオプトリ未満である他のパワーを選択してもよい。それぞれ約 0.67 および 0.31 である p_2 に対する p_1 および p_3 に対する p_1 の他の比もまた、MTF 曲線中でピークと最初のゼロとの間に追加の極大のない最大値から MTF がスムーズに落ちる焦点深度を生じることが発見された。例えば、 $p_1 = 0.39$ D、 $p_2 = 0.58$ D および $p_3 = 1.25$ D を用いてもよい。

【0049】

図示される実施形態において、ゾーンはブレイズされ (blazed)、レンズの角膜 / 前面側に供給される大量のエネルギーを有する非対称の MTF 曲線を生じることが理解されるべきである。いくつかの実施形態においてブレイジングは有利でありうるが、必ずしも必要ではない。

【0050】

546nm光について0.6～1.2×2の位相遅延（房水に関して）を生じるステップ高さを有するプロファイルを伴う実施形態は、単一の最大値を有しMTF中で最初のゼロの前に追加の極大を有しない解決策を生じるが、プロファイルのいくつかの組合せについて、生じたレンズの計算または実験によるテストが、実質的な焦点深度を有する単焦点レンズが生成されることを確認するために所望であるかもしれない。546nm光について0.8～1.0×2の房水に関して位相遅延を生じさせるステップ高さを有するプロファイルのあるレンズ実施形態は、より一貫して拡張された焦点深度を有する単焦点レンズを提供する。本発明の態様に従ったレンズは、上述のように0.5以下の位相遅延を有する従来のレンズと比較して、波長の0.6超の隣接数値間の位相遅延を有することが理解されるべきである。0.6超の位相遅延は概して短焦点により多くの光を提供すると考えられ、これは従来の設計では避けられてきたが、本発明者は、上述のようにmax関数を用いて組み合わせられた複数の回折プロファイルから生じる回折プロファイルと組み合わせられて使用される場合に特に、そのような設計によって焦点深度が増大されることを発見した。

10

【0051】

さらに、隣接ゾーン間の位相遅延の上記の範囲は、従来高度の単焦点性と関連付けられた1.0の位相遅延を含む。また、本発明者は、max関数を用いることによって、max関数を用いて組み合わせられた3つのプロファイルによって、焦点深度を増大する態様で配光が可能となることを発見した。

20

【0052】

図4は、図2におけるEDOF IOLのスルーフォーカスMTFプロットおよび比較のための屈折単焦点IOLを示す。比較のために用いられる屈折単焦点IOLは、EDOFレンズのベース屈折レンズと同じ規定を有し、複合回折プロファイルを排除する（上記のベース屈折レンズ規定を参照）。

【0053】

図4は、本発明の態様に従ったレンズの単焦点性質、並びに、本発明の態様に従ったレンズにより生じる光軸の近視側に沿ったエネルギーの広がり性を示す。全てが異なる計算技術を用いて同等の結果を生じる、NY州ピッツフォードのSinclair OpticsからのOslo（登録商標）またはWA州カークランドのZemax, LLCからのZemaxのような光線トレーシングプログラムにより、または、別の既存のシミュレーションツールにより、あるいは、自作コードにより、MTFを直接的な数値態様で計算してもよい。

30

【0054】

図4は、mmごとに50本線においてかつ3mmの瞳孔開口を用いた、スルーフォーカスMTFのプロットである。プロットは、光軸上の焦点領域の周りの光エネルギーの広がり性を測定する。焦点深度を測定するために、図4に示されるように、物理的サンプルとしてまたは計算モデルとして内部に眼内レンズが配置される模型眼の使用が必要とされることが理解されるべきである。

40

【0055】

図4および図5におけるスルーフォーカスMTF曲線は、眼内レンズについてのISO 11979-2 2014規格において模型眼1として定められる模型眼における、上記で特定される眼内レンズの計算モデルを用いて生じる。レンズおよび模型眼の収差は焦点深度に何らかの拡張を生じうるので、説明の目的のために、モデルおよびベース屈折型レンズは、例えば球面収差の存在によって、図2における本発明の回折プロファイルにより提供される焦点深度の拡張が不明瞭とならないように選択される。したがって、ISO模型眼1は、内部に存在する角膜において最低限の量の球面収差を提供するので、本明細書に記載される実施例において使用され、ベース屈折型レンズは、模型眼1中にわずかに存在する球面収差を無効にする異符号の一定量の球面収差を有するように選択された。上

50

記の説明のために用いられるベース屈折型レンズは、モデル1の球面収差を無効にするよう選択された低量の収差を含むが、そのような構成は単に説明の目的で選択された。本発明の態様に従ったレンズは、レンズの他の態様を妨げない任意の適切な量の球面収差を有してもよい。そのような球面収差は、本発明の態様に従った特徴と組み合わせられて使用される場合に、従来の態様で焦点深度を増大しうることが理解されるであろう。図4および図5のためのシミュレーションについての模型眼に使用される、開口径について3mmの選択は、明所条件下で人間の眼における標準的な瞳孔サイズを表す。

【0056】

図4に見られるように、焦点深度拡張型レンズのMTFは、正の（すなわち近視性の）デフォーカスパワー側において0.2MTF単位最低レベルを用いてゼロデフォーカス（すなわちベストフォーカスに対応する絶対最大値）においてMTF焦点ピークから1.16Dの焦点深度を示す。図4における回折EDOF構造を有しない屈折非球面単焦点のMTFについては、近視側の0.2レベルにおける焦点深度は0.53Dである。無限遠点における対象がベストフォーカスにおける（すなわちピークMTFにおける）ものだとすれば、負または遠視性デフォーカスパワー側の焦点深度は、人間の視力では用いることができないので失われたと考えられる。

【0057】

図4における拡張された焦点深度の単焦点のMTFの別の特徴は、ゼロデフォーカスにおける焦点ピークと1.16Dデフォーカスとの間に0.2MTFレベル以下のMTFディップ（dips）がなく、したがって、レンズフォーカスと焦点深度限界との間で有用な視力を支持することである。図4においてEDOFレンズのMTFは、複合回折プロファイルを有しない屈折非球面単焦点のMTFの絶対最大ピークより低い、0.53MTF単位のMTFレベルにおける絶対最大ピークを有することに留意すべきである；しかしながら、ピークにおいて、EDOFレンズのMTFは、装着者に妥協のない視力を提供するのに十分大きい数値を有する。図4におけるMTF焦点深度拡張型単焦点の単焦点性質は、MTF中の最初のゼロの前のシングルピーク（すなわち、ベストフォーカスに対応する絶対最大値）に亘って図示され、多焦点眼内レンズのユーザにより経験される視覚障害および混乱を最小限にすると期待される。

【0058】

図5は、本発明の態様に従ったレンズの実施例のスルーフォーカスMTFプロットを示し、各レンズの構成回折プロファイルは、1つ以上の対応する位相遅延（546nm波長の画分として特定される）を有するように選択される。ある実施形態において、プロファイル $p_1 = 0.35D$ 、 $p_2 = 0.55D$ および $p_3 = 0.9D$ のそれぞれについて、位相遅延 $= 0.6$ である。別の実施形態において、プロファイル $p_1 = 0.35D$ 、 $p_2 = 0.55D$ および $p_3 = 0.9D$ のそれぞれについて、位相遅延 $= 0.7$ である。さらに別の実施形態において、プロファイル $p_1 = 0.35D$ 、 $p_2 = 0.55D$ および $p_3 = 0.9D$ のそれぞれについて、位相遅延 $= 0.8$ である。さらに別の実施形態において、プロファイル $p_1 = 0.35D$ について位相遅延 $= 1.0$ であり、プロファイル $p_2 = 0.55D$ について位相遅延 $= 1.1$ であり、プロファイル $p_3 = 0.9D$ について位相遅延 $= 1.0$ である。さらに別の実施形態において、プロファイル $p_1 = 0.35D$ について位相遅延 $= 1.1$ であり、プロファイル $p_2 = 0.55D$ について位相遅延 $= 1.22$ であり、プロファイル $p_3 = 0.9D$ について位相遅延 $= 1.1$ である。別の実施形態において、546nmの光について、プロファイル $p_1 = 0.39D$ が位相遅延 $= 0.6$ を有し、プロファイル $p_2 = 0.58D$ が位相遅延 $= 0.88$ を有し、プロファイル $p_3 = 1.25D$ が位相遅延 $= 0.75$ を有するようにプロファイルが構成される。

【0059】

スルーフォーカスMTF曲線の形状は γ の値に敏感であることが図5から理解されるべきである。示される実施例において、0.6の γ についてより短い焦点深度であり、 γ が1.2の値に近づくと焦点深度が増加した広いMTFプロファイルとなることもまた理解

10

20

30

40

50

されるべきである。しかしながら、示されるレンズ実施形態のそれぞれは、拡張された焦点深度を示す。さらに、図5における3つの曲線は、所定の複合プロファイルの構成回折プロファイルが互いに異なる値の を有しうることをMTF曲線が示すレンズに対応する。いくつかの実施形態において、焦点深度は、模型眼1における場合0.85ジオプトリより大きい。他の実施形態においては、1.0ジオプトリより大きい。さらなる他の実施形態においては、1.25ジオプトリより大きい。焦点深度は、球面収差のないレンズにおいてまたは球面収差のあるレンズにおいて、達成されうる。

【0060】

本発明者は、いくつかの実施形態において、構成回折プロファイルにより定められるゼロ次ゾーン（レンズの光軸の周りに配置される）が、構成回折プロファイルとは関係なく特定される表面を有する屈折領域に変えられることが所望であることをさらに特定した。そのような設計によって、あるレベルのMTFを達成するために焦点深度の適切な部分に光が向けられるようにゼロ次ゾーンの曲率を選択することが可能となる。ゼロ次ゾーンの影響は、残りのプロファイルと比較すると比較的低い、そのような設計によって、レンズを設計する際にさらなる自由度が可能となる。例えば、中央ゾーンの屈折力は、ベース屈折レンズのパワーの $+/-0.2D$ 内になるように選択されうる。

【0061】

図6は、本発明の態様に従った眼内レンズ1が手術により注入された後の、人間の眼10を示す。光は、図6の左側から入り、角膜14、前房15、虹彩16を通過し、水晶体嚢17に入る。水晶体嚢17は、残存容積を占め眼10内の圧力を均一にする房水に加えて眼内レンズ1を収容する。眼内レンズ1を通過した後、光は水晶体嚢17の後壁18を出て、後眼房11を通過し、網膜12に当たる。網膜は光を検出し、視神経8を介して脳に伝達される信号に変換する。

【0062】

眼内レンズ1は、周りを囲む房水より大きい屈折率を有する光学部1aを有し、通常、眼内レンズの屈折力は約5ジオプトリ～約30ジオプトリの範囲内であり、通常は交換される天然レンズの損失を補う。

【0063】

光学部1aは、網膜12の反対側を向く前面2および網膜12を向く後面3を有する。図示されるように、光学部1aは、光学部1aを水晶体嚢19に接続する1つ以上のハプティック19により所定の位置に保持される。1つ以上のハプティックは、任意の既知のまたはこれから開発される構成（例えば、プレート、ワイヤ、C-ループ、J-ループ）でもよく、調節タイプでも非調節タイプでもよい。いくつかの実施形態において、IOLはハプティックを有しない。

【0064】

眼内レンズの光学部1aは、後壁18に隣接して、かつさらにそれに押し付けられて、配置されてもよく、例えば、光学部1a上の細胞増殖を低減する。あるいは、光学部1aは、後壁18から間隔を空けて離れた位置で水晶体嚢17内に配置されてもよく、光軸に沿った眼内レンズ1の光学部1aの調節の動きを可能とする（すなわち、レンズは調節IOLである）；しかしながら、本発明の態様に従ったレンズの拡張された焦点深度の特徴の利点は、調節の動きから生じうる複雑さなしに拡張視力を容易にすることであることが理解されるであろう。

【0065】

良好に矯正された眼は、網膜12において遠くの物体（すなわち、光学的無限における物体）の像を形成する。レンズのパワーが大きすぎるまたは小さすぎると、像は、レンズ1に向かうまたはレンズ1から離れる対応距離だけ、網膜12から離れて光軸に沿って軸方向にシフトする。網膜上に近接したまたは近い物体の焦点を合わせるために必要なパワーは、網膜上に遠いまたは離れた物体の焦点を合わせるのに必要なパワーよりも大きいことに留意すべきである。

【0066】

いくつかの例において、上述のような回折プロファイルを有するレンズが、眼内レンズ群の各レンズ上に提供される。この群のレンズは、互いに異なるベースパワー（すなわち、屈折力）を有する。レンズ群は、少なくとも10ジオプトリ度数の範囲を有し、少なくとも3つのレンズを含む。いくつかの実施形態において、レンズ群のレンズは、各レンズ上に同じ複合回折プロファイルを有する（すなわち、レンズは異なる屈折力を有し、同じ複合回折プロファイルがその上に配置されて増大された被写界深度を提供する）。例えば、レンズ群の屈折力は、10D～30Dの範囲でもよく、レンズは0.5Dのインクレメント（increments）を有する。

【0067】

上述の特徴および機能、またはそれらの代替物のいくつかは、多くの他の異なるシステムまたは用途に所望に組み込まれてもよいことが理解されるであろう。さまざまな現在予見できないまたは予期できない代替物、変形、バリエーション、または改良が、当業者によって後に行われ、これらもまた以下の特許請求の範囲により包含されることが意図される。

他の実施形態

1. 屈折型ベースパワーを提供する前面および後面を有する光学部であって、前記前面および後面の少なくとも1つが、3つの構成回折プロファイルを組み合わせることにより特定される高さを有するステップを含む複合プロファイルをその上に配置され、前記回折プロファイルはパワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応し、該パワーは互いに異なり各パワーが約1D未満の正のパワーであり、前記回折プロファイルの各々が、水溶液に関して546nm光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の位相遅延を生じさせるステップ高さを有し、前記複合プロファイルは、以下の関数：

$z = \max(\text{回折プロファイル}(p_1), \text{回折プロファイル}(p_2), \text{回折プロファイル}(p_3))$ 、ここで、 $p_3 > p_2 > p_1$ である、

により定められる、

光学部を含む単焦点眼内レンズ。

2. 前記複合プロファイルが、前記レンズの前記前面上に完全に配置されることを特徴とする、実施形態1に記載のレンズ。

3. 前記複合プロファイルが、前記レンズの前記前面および後面の両方の上に区分的に配置されることを特徴とする、実施形態1に記載のレンズ。

4. 前記複合プロファイルが、回転対称であることを特徴とする、実施形態1に記載のレンズ。

5. 前記3つの構成プロファイルにより形成されるレンズのゾーンが、形状においてキノフォームであることを特徴とする、実施形態1に記載のレンズ。

6. 前記回折プロファイルの各々が、水溶液に関して、546nm光について $0.8 \sim 1.0 \times 2$ の位相遅延を生じさせるステップ高さを有することを特徴とする、実施形態1に記載のレンズ。

7. 中央ゾーンが、構成回折プロファイルと独立した形状を有する回折表面を有することを特徴とする、実施形態1に記載のレンズ。

8. p_2 に対する p_1 の比が約0.6であり、 p_3 に対する p_1 の比が約0.4であることを特徴とする、実施形態1に記載のレンズ。

9. p_2 に対する p_1 の比が約0.67であり、 p_3 に対する p_1 の比が約0.31であることを特徴とする、実施形態1に記載のレンズ。

10. 前記焦点深度が0.85ジオプトリ超であることを特徴とする、実施形態1に記載のレンズ。

11. 前記焦点深度が0.85ジオプトリ超であることを特徴とする、実施形態8に記載のレンズ。

12. 屈折型ベースパワーを提供する前面および後面を有する光学部であって、前記前面および後面の少なくとも1つが、3つの構成回折プロファイルを組み合わせることによ

10

20

30

40

50

り特定される高さを有するステップを含む複合プロファイルをその上に配置され、前記回折プロファイルはパワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応し、該パワーは互いに異なり各パワーが約 $1.25D$ 未満の正のパワーであり、前記回折プロファイルの各々が、水溶液に関して $546nm$ 光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の位相遅延を生じさせるステップ高さを有し、前記複合プロファイルは、以下の関数：

$z = \max(\text{回折プロファイル}(p_1), \text{回折プロファイル}(p_2), \text{回折プロファイル}(p_3))$ 、ここで、 $p_3 > p_2 > p_1$ である、

により定められる、

光学部を含む単焦点眼内レンズ。

13. 前記複合プロファイルが、前記レンズの前記前面上に完全に配置されることを特徴とする、実施形態12に記載のレンズ。

14. 前記複合プロファイルが、前記レンズの前記前面および後面の両方の上に区分的に配置されることを特徴とする、実施形態12に記載のレンズ。

15. 前記複合プロファイルが、回転対称であることを特徴とする、実施形態12に記載のレンズ。

16. 前記3つの構成プロファイルにより形成されるレンズのゾーンが、形状においてキノフォームであることを特徴とする、実施形態12に記載のレンズ。

17. 前記回折プロファイルの各々が、水溶液に関して、 $546nm$ 光について $0.8 \sim 1.0 \times 2$ の位相遅延を生じさせるステップ高さを有することを特徴とする、実施形態12に記載のレンズ。

18. 中央ゾーンが、構成回折プロファイルと独立した形状を有する回折表面を有することを特徴とする、実施形態12に記載のレンズ。

19. p_2 に対する p_1 の比が約 0.6 であり、 p_3 に対する p_1 の比が約 0.4 であることを特徴とする、実施形態12に記載のレンズ。

20. p_2 に対する p_1 の比が約 0.67 であり、 p_3 に対する p_1 の比が約 0.31 であることを特徴とする、実施形態12に記載のレンズ。

21. 前記焦点深度が 0.85 ジオプトリ超であることを特徴とする、実施形態12に記載のレンズ。

22. 前記焦点深度が 0.85 ジオプトリ超であることを特徴とする、実施形態19に記載のレンズ。

23. 少なくとも3つのレンズを含む、一群の単焦点眼内レンズであって、前記レンズの各々が、

屈折型ベースパワーを提供する前面および後面を有する光学部であって、前記前面および後面の少なくとも1つが、3つの構成回折プロファイルを組み合わせることにより特定される高さを有するステップを含む複合プロファイルをその上に配置され、前記回折プロファイルはパワー p_1 、 p_2 および p_3 に対応し、該パワーは互いに異なり各パワーが約 $1.25D$ 未満の正のパワーであり、前記回折プロファイルの各々が、水溶液に関して $546nm$ 光について $0.6 \sim 1.2 \times 2$ の位相遅延を生じさせるステップ高さを有し、前記複合プロファイルは、以下の関数：

$z = \max(\text{回折プロファイル}(p_1), \text{回折プロファイル}(p_2), \text{回折プロファイル}(p_3))$ 、ここで、 $p_3 > p_2 > p_1$ である、

により定められる、

光学部を含み、

前記一群のレンズの各々が、互いに異なる屈折型ベースジオプトリ度数を有し、

前記屈折型ベースパワーの範囲が、少なくとも 10 ジオプトリであり、

前記少なくとも3つのレンズの各々の前記複合プロファイルが、互いに同じである、一群の単焦点眼内レンズ。

24. 前記少なくとも3つのレンズの各々における前記複合プロファイルが、前記少なくとも3つのレンズの他の各々の前記複合プロファイルと同じであることを特徴とする、実施形態23に記載の一群の眼内レンズ。

10

20

30

40

50

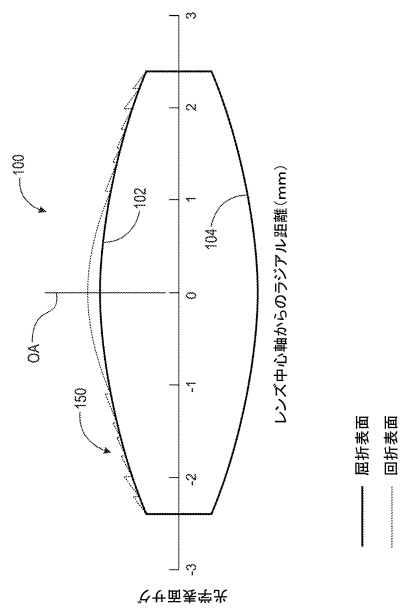
【符号の説明】

【 0 0 6 8 】

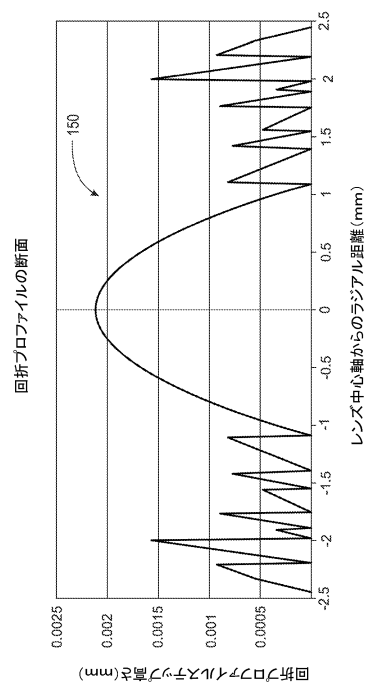
- 1 眼内レンズ
- 1 A 光学部
- 1 0 眼
- 1 4 角膜
- 1 5 前房
- 1 6 虹彩
- 1 7 水晶体嚢
- 1 0 0 光学部材
- 1 0 2 前面
- 1 0 4 後面
- 1 5 0 複合回折プロファイル

10

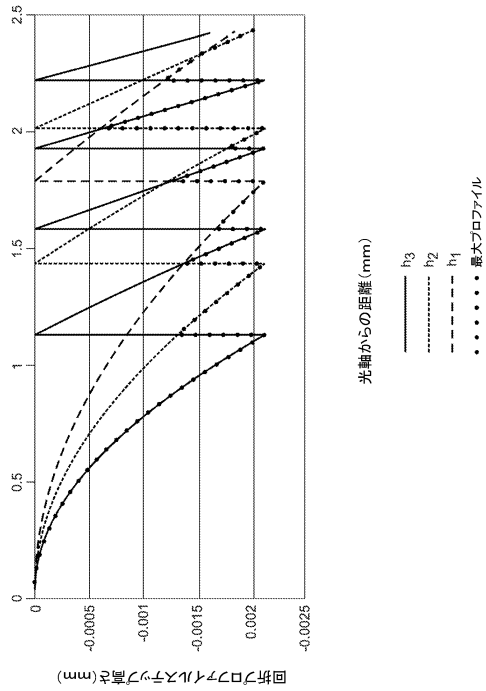
【図 1】



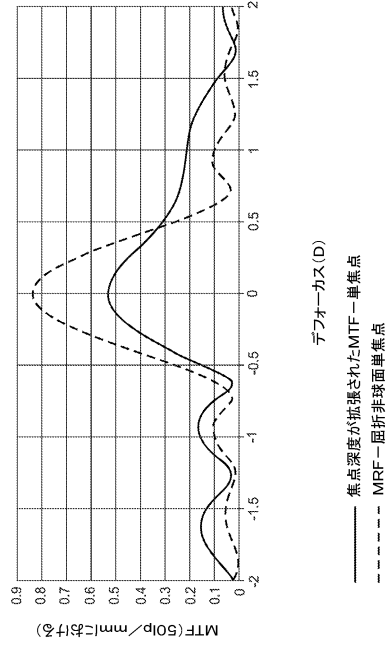
【図 2】



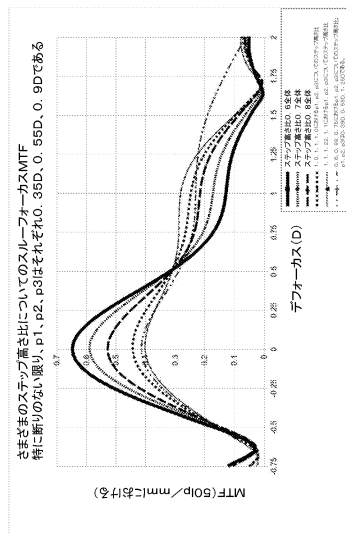
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

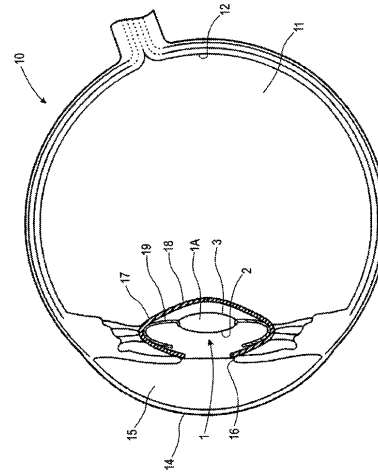


Fig. 6

フロントページの続き

(72)発明者 ヴェンカテスワラン, クリシュナクマール
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 92656 アリソ ヴィエホ コテージ レイン 37

審査官 田中 佑果

(56)参考文献 特表2013-514833(JP, A)
米国特許出願公開第2009/0187242(US, A1)
特表2012-512709(JP, A)
特開2010-158315(JP, A)
米国特許出願公開第2011/0292335(US, A1)
国際公開第2016/021075(WO, A1)
特開2014-128683(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61F 2/16