

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2023-534079

(P2023-534079A)

(43)公表日 令和5年8月7日(2023.8.7)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
G 0 2 C 7/04 (2006.01)	G 0 2 C 7/04	2 H 0 0 6
G 0 2 C 7/06 (2006.01)	G 0 2 C 7/06	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全28頁)

(21)出願番号	特願2023-526842(P2023-526842)	(71)出願人	000113263 H O Y A 株式会社 東京都新宿区西新宿六丁目10番1号
(86)(22)出願日	令和3年7月15日(2021.7.15)	(74)代理人	110002952 弁理士法人鷲田国際特許事務所
(85)翻訳文提出日	令和5年3月10日(2023.3.10)	(72)発明者	ワン チュン シンガポール国 シンガポール クロモス バイオポリス ロード 10 #04-0 1/06 ホーヤ サージカル オプティ クス グローバル ヘッドクォーターズ 内
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/027614	(72)発明者	シモノフ アレクセイ シンガポール国 シンガポール クロモス バイオポリス ロード 10 #04-0 1/06 ホーヤ サージカル オプティ クス グローバル ヘッドクォーターズ 内
(87)国際公開番号	WO2022/014723		
(87)国際公開日	令和4年1月20日(2022.1.20)		
(31)優先権主張番号	20186025.1		
(32)優先日	令和2年7月15日(2020.7.15)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)		
(81)指定国・地域	AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA ,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR ,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC, 最終頁に続く		

(54)【発明の名称】 多焦点レンズ

(57)【要約】

本発明は、レンズ表面2上にいくつかの同心回折ゾーン7、8、9、10を有する多焦点レンズ1であって、各回折ゾーンにおいて回折位相構造が規定され、回折位相構造は、以下の関数によってまたは関数の平滑化バージョンによって表現することができ、

【数20】

$$\Phi(\xi) = 2\pi \times \begin{cases} p_1 \xi, & 0 \leq \xi < w_1 \\ p_2 \xi + q_2, & w_1 \leq \xi < w_2 \\ p_3 \xi + q_3, & w_2 \leq \xi < 1 \end{cases}$$

は、半径方向における各回折ゾーン内での位置を示し、()は、によって示される位置を通過する光が受ける位相シフトを示し、 w_1 及び w_2 は、半径方向における各回折ゾーンの空間分割を規定し、 p_1 、 p_2 、及び p_3 は傾きを示し、 q_2 及び q_3 は定数である、多焦点レンズ1に関する。位置 ξ は、レンズ表面の中心までの半径方向距離に2乗のオーダーで依存するとともに、各回折ゾーンの半径方向の幅に対して正規化され、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 は負である。

$$\phi(\xi) = 2\pi \times \begin{cases} p_1 \xi, & 0 \leq \xi < w_1 \\ p_2 \xi + q_2, & w_1 \leq \xi < w_2 \\ p_3 \xi + q_3, & w_2 \leq \xi < 1 \end{cases} \quad (1)$$

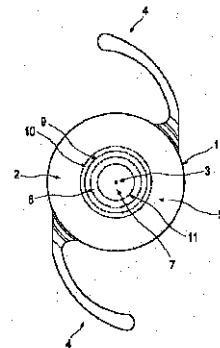


FIG. 1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レンズ表面上にいくつかの同心回折ゾーンを有する多焦点レンズであって、各回折ゾーン（ 7、 8、 9、 10 ）において回折位相構造が規定され、前記回折位相構造は、 3 つの位相項を含む以下の区分的関数によって、または以下の区分的関数の平滑化バージョンによって表現することができ、

【数 16】

$$\Phi(\xi) = 2\pi \times \begin{cases} p_1 \xi, & 0 \leq \xi < w_1 \\ p_2 \xi + q_2, & w_1 \leq \xi < w_2 \\ p_3 \xi + q_3, & w_2 \leq \xi < 1 \end{cases}$$

10

ここで、 ξ は、半径方向における前記各回折ゾーン（ 7、 8、 9、 10 ）内での位置を示し、 $\Phi(\xi)$ は、 ξ によって示される前記位置を通過する光が受ける位相シフトを示し、 w_1 及び w_2 は、前記 3 つの位相項による前記半径方向における前記各回折ゾーン（ 7、 8、 9、 10 ）の空間分割を規定し、 p_1 、 p_2 、及び p_3 は、前記 3 つの位相項の傾きを示し、 q_2 及び q_3 は定数であり、 w_1 は、前記レンズ（ 1 ）の表面（ 2 ）の中心までの半径方向距離に 2 乗のオーダーで依存するとともに、前記各回折ゾーン（ 7、 8、 9、 10 ）の半径方向の幅に対して正規化され、前記傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 は負である、前記多焦点レンズ。

20

【請求項 2】

前記レンズ（ 1 ）は、回折次数 0、+ 1、及び + 2 を伴う 3 焦点レンズである請求項 1 に記載の多焦点レンズ。

【請求項 3】

前記定数 q_2 及び q_3 は正である請求項 1 及び 2 のいずれかに記載の多焦点レンズ。

【請求項 4】

前記傾き p_1 は - 1 . 1 ~ - 1 . 0 の範囲内であり、前記傾き p_2 は - 1 . 1 ~ - 1 . 0 の範囲内であり、前記傾き p_3 は - 1 . 1 ~ - 1 . 0 の範囲内であり、前記定数 q_2 は 0 . 3 ~ 0 . 4 の範囲内であり、前記定数 q_3 は 1 . 0 ~ 1 . 1 の範囲内である請求項 3 に記載の多焦点レンズ。

30

【請求項 5】

前記傾き p_1 は - 1 . 2 ~ - 1 . 0 の範囲内であり、前記傾き p_2 は - 1 . 3 ~ - 1 . 2 の範囲内であり、前記傾き p_3 は - 1 . 2 ~ - 1 . 0 の範囲内であり、前記定数 q_2 は 0 . 7 ~ 0 . 8 の範囲内であり、前記定数 q_3 は 1 . 0 ~ 1 . 2 の範囲内である請求項 3 に記載の多焦点レンズ。

【請求項 6】

前記傾き p_1 は - 1 . 2 ~ - 0 . 4 の範囲内であり、前記傾き p_2 は - 1 . 0 ~ - 0 . 1 の範囲内であり、前記傾き p_3 は - 1 . 2 ~ - 0 . 4 の範囲内であり、前記定数 q_2 は - 0 . 2 ~ 0 . 3 の範囲内であり、前記定数 q_3 は 0 . 4 ~ 1 . 2 の範囲内である請求項 1 及び 2 のいずれかに記載の多焦点レンズ。

40

【請求項 7】

中間の位相項の前記半径方向の幅が内側の位相項の前記半径方向の幅の 2 倍となるように、前記定数 w_1 は 0 . 25 であり、前記定数 w_2 は 0 . 75 である請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の多焦点レンズ。

【請求項 8】

前記関数 $\Phi(\xi)$ の前記平滑化バージョンは、ガウスカネルを用いて前記関数 $\Phi(\xi)$ に対して畳み込みを行うことによって得られ、前記ガウスカネルは標準偏差が 0 . 02 ~ 0 . 04 の範囲内である請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の多焦点レンズ。

50

【請求項 9】

少なくとも最も内側の回折ゾーン(7)の外縁(11)は、以下の式、

【数 17】

$$r_k = \sqrt{\frac{2\lambda k}{p} + k^2 \lambda^2}$$

によって規定され、ここで、 k は前記各回折ゾーンを示し、 λ は光の波長であり、 p は加入度数を規定する所定の値である、請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の多焦点レンズ。 10

【請求項 10】

請求項 9 の前記式は前記最も内側の回折ゾーン(7)の前記外縁を規定し、他の回折ゾーン(8、9、10)の外縁は以下の式によって規定される請求項 9 に記載の多焦点レンズ。

【数 18】

$$r_k = \left(r_{k-1}^2 + \lambda^2 + \sqrt{\frac{4\lambda^2}{p} + 4\lambda^2 r_{k-1}^2} \right)^{1/2}$$

20

【請求項 11】

前記定数 w_1 及び w_2 は、すべての回折ゾーン(7、8、9、10)に対して同じである請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の多焦点レンズ。

【請求項 12】

前記傾き p_1 、 p_2 及び p_3 と前記定数 q_2 及び q_3 とは、すべての前記回折ゾーン(7、8、9、10)に対して同じである請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の多焦点レンズ。 30

【請求項 13】

前記傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 と前記定数 q_2 及び q_3 とは、すべての前記回折ゾーン(7、8、9、10)に対して同じである請求項 1 ~ 11 のいずれかに記載の多焦点レンズ。

【請求項 14】

前記傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 と前記定数 q_2 及び q_3 とは、すべての回折ゾーン(7、8、9、10)に対して異なっている請求項 1 ~ 11 のいずれかに記載の多焦点レンズ。

【請求項 15】

レンズ表面上にいくつかの同心回折ゾーンを有する多焦点レンズを製造するための方法であって、 40

各回折ゾーン(7、8、9、10)に対して、3つの位相項を含む以下の区分的関数または前記以下の区分的関数の平滑化バージョンを与えることによって、各回折ゾーン(7、8、9、10)に対する回折位相構造を数学的に与えることであって、

【数 19】

50

$$\Phi(\xi) = 2\pi \times \begin{cases} p_1 \xi, & 0 \leq \xi < w_1 \\ p_2 \xi + q_2, & w_1 \leq \xi < w_2 \\ p_3 \xi + q_3, & w_2 \leq \xi < 1 \end{cases}$$

ここで、 ξ は、半径方向における前記各回折ゾーン（7、8、9、10）内での位置を示し、 $\Phi(\xi)$ は、 ξ によって示される前記位置を通過する光が受ける位相シフトを示し、 w_1 及び w_2 は、前記3つの位相項による前記半径方向における前記各回折ゾーン（7、8、9、10）の空間分割を規定し、 p_1 、 p_2 、及び p_3 は、前記3つの位相項の傾きを示し、 q_2 及び q_3 は定数であり、 ξ は、前記レンズ（1）の表面（2）の中心までの半径方向距離に2乗のオーダーで依存するとともに、前記各回折ゾーン（7、8、9、10）の半径方向の幅に対して正規化され、前記傾き p_1 、 p_2 及び p_3 は負である、前記与えることと、

前記回折ゾーン（7、8、9、10）が前記数学的に与えられた回折位相構造を有するように、回折型多焦点レンズ（1）を形成することと、を含む前記方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レンズ表面にいくつかの同心回折ゾーンを有する多焦点レンズに関する。本発明はさらに、レンズ表面にいくつかの同心回折ゾーンを有する多焦点レンズを製造するための方法と、この方法によって製造可能である多焦点レンズとに関する。

【背景技術】

【0002】

欧州特許第2375276号明細書（EP2375276B1）（特許文献1）には、光回折効果を示すための環状の回折パターンを有する回折型多焦点レンズが開示されている。環状の回折パターンは、レンズの表面上に繰り返して同心円状に形成される。欧州特許に開示された回折型多焦点レンズでは、すでに良好な光学特性が得られているが、光学特性のさらなる改善が、たとえば、色収差、特定の視程に対する視力他に対して要求されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】欧州特許第2375276号明細書

【発明の概要】

【0004】

本発明の目的は、光学特性が改善された、レンズ表面にいくつかの同心回折ゾーンを有する多焦点レンズを提供することである。

本発明の第1の態様において、レンズ表面にいくつかの同心回折ゾーンを有する多焦点レンズであって、各回折ゾーンにおいて回折位相構造が規定され、回折位相構造は、3つの位相項を含む以下の区分的関数によって、または以下の区分的関数の平滑化バージョンによって表現することができ、

【数1】

10

20

30

40

50

$$\Phi(\xi) = 2\pi \times \begin{cases} p_1 \xi, & 0 \leq \xi < w_1 \\ p_2 \xi + q_2, & w_1 \leq \xi < w_2 \\ p_3 \xi + q_3, & w_2 \leq \xi < 1 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 ξ は、半径方向における各回折ゾーン内での位置を示し、 $\Phi(\xi)$ は、 ξ によって示される位置を通過する光が受ける位相シフトを示し、 w_1 及び w_2 は、3つの位相項による半径方向における各回折ゾーンの空間分割を規定し、 p_1 、 p_2 、及び p_3 は、3つの位相項の傾きを示し、 q_2 及び q_3 は定数であり、 ξ は、レンズの表面の中心までの半径方向距離に2乗のオーダーで依存するとともに、各回折ゾーンの半径方向の幅に対して正規化され、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 は負である、多焦点レンズが提供される。

10

【0005】

レンズ表面にいくつかの同心回折ゾーンを有する多焦点レンズであって、各回折ゾーンにおいて回折位相構造が規定され、回折位相構造は、等式(1)による区分的関数によって表現することができ、パラメータ ξ は、レンズの表面の中心までの半径方向距離に2乗のオーダーで依存するとともに、各回折ゾーンの半径方向の幅に対して正規化され、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 は負である多焦点レンズによって、色収差の低減などの光学特性の改善、特定の視程における高い視力他が可能になることが分かっている。詳細には、本レンズによって、薄明視及び暗所視照明条件の下で、特に瞳孔が大きいときに、潜在的な異常光視症効果の低減をもたらすことができる。また、位相シフト関数 $\Phi(\xi)$ を平滑化することによって、回折位相構造の機械加工性を向上させることができ、また回折面上の鋭い遷移領域によって生じ得る不要な光散乱効果を減らすことができる。位相シフトは、優先的に、546nmの光の設計波長及びレンズの光軸と平行に伝搬する入射光を基準とする。

20

【0006】

レンズ表面上の点のレンズの表面の中心までの半径方向距離、すなわち、半径方向位置、または半径は、好ましくは、レンズの中心軸までの距離(中心軸に垂直に測定する)の形で与えられる。中心軸はレンズ表面の回転対称性の軸であってもよい。しかし、原理的には、レンズの表面の中心までの半径方向距離はレンズ表面に沿って測定してもよい。レンズ表面が平坦である場合、すなわち湾曲していない場合、レンズ表面上の点の半径方向位置を測定する2つの選択肢は一致する。

30

【0007】

同心回折ゾーンは優先的に環状ゾーンである。最も内側の環状の回折ゾーンは優先的にレンズ表面の中心を囲む。レンズ表面の中心は、当然のことながら限りなく小さく、したがって実質的にレンズ表面上の円形ゾーンであると見なすことができる。

【0008】

レンズは、優先的に、回折次数0、+1、及び+2を伴う3焦点レンズである。3つの焦点が提供されているために、単焦点及び2焦点レンズと比べて、焦点範囲は比較的広くすることができる。これは、人が特定の日常活動に対して何らかのさらなる眼鏡を必要としないという効果があり得る。また、具体的に、3つの回折次数0、+1、+2を用いることによって、さらに眼の色収差が最小限になり、その結果、さらに色覚障害の潜在的リスクが緩和される。

40

【0009】

関数 $\Phi(\xi)$ のパラメータは、条件 $w_1 = 1 - w_2$ 、 $p_1 = p_3$ 、 $p_1 > p_2$ 、 $p_3 > p_2$ 、及び $p_1, p_2, p_3 < 0$ のうちの少なくとも1つを満たし得る。詳細には、パラメータは、条件の組み合わせ、特にこれらの条件のすべてを満たし得る。

【0010】

関数 $\Phi(\xi)$ が依存する変数 ξ は、半径の2乗の線形関数として表現でき得る。線形関

50

数は、回折ゾーンの外側境界における半径の2乗と回折ゾーンの内部境界における半径の2乗との間の差に対して正規化されている。

【0011】

一実施形態では、定数 q_2 及び q_3 は正である。これは特に、以下で「遠方優勢」レンズタイプ及び「近方優勢」レンズタイプと名付けられるレンズのタイプに対してそうである。定数 q_2 及び q_3 が正であるため、回折プロファイルの半分超が屈折面から突き出る。その結果、光学特性をさらに改善することができる。詳細には、一実施形態では、傾き p_1 は $-1.1 \sim -1.0$ の範囲内であり、傾き p_2 は $-1.1 \sim -1.0$ の範囲内であり、傾き p_3 は $-1.1 \sim -1.0$ の範囲内であり、定数 q_2 は $0.3 \sim 0.4$ の範囲内であり、定数 q_3 は $1.0 \sim 1.1$ の範囲内である。これらの範囲にパラメータがあるレンズは、遠方優勢レンズタイプのレンズであると規定してもよい。これらの特徴は、近方視力、中間視力、及び遠方視力に対する3焦点をもたらすことが分かっている。比較的高い遠焦点コントラストレベルならびに十分に高い中間焦点及び近焦点コントラストレベルが実現される。こうして、遠方視力に対して非常に高い視力を提供することができ、中間視力及び近方視力に対しても十分に高い視力を提供することができる。

10

【0012】

傾き p_1 は $-1.2 \sim -1.0$ の範囲内であり、傾き p_2 は $-1.3 \sim -1.2$ の範囲内であり、傾き p_3 は $-1.2 \sim -1.0$ の範囲内であり、定数 q_2 は $0.7 \sim 0.8$ の範囲内であり、定数 q_3 は $1.0 \sim 1.2$ の範囲内であることも可能である。これらの範囲にパラメータがあるレンズは、近方優勢レンズタイプのレンズであると規定してもよい。これらの特徴は、近方視力、中間視力、及び遠方視力に対する3焦点をもたらすことが分かっている。比較的高い近焦点コントラストレベルならびに十分に高い中間焦点及び遠焦点コントラストレベルが実現される。こうして、近方視力に対して非常に高い視力を提供することができ、中間視力及び遠方視力に対しても十分に高い視力を提供することができる。

20

【0013】

また、一実施形態では、傾き p_1 は $-1.2 \sim -0.4$ の範囲内であり、傾き p_2 は $-1.0 \sim -0.1$ の範囲内であり、傾き p_3 は $-1.2 \sim -0.4$ の範囲内であり、定数 q_2 は $-0.2 \sim 0.3$ の範囲内であり、定数 q_3 は $0.4 \sim 1.2$ の範囲内である。これらの範囲にパラメータがあるレンズは、「中間視力」レンズタイプと名付けられ得るレンズタイプのレンズであると規定してもよい。これらの特徴によって、中間視程における焦点深度を拡大することができ、遠距離から近加入度数距離までくぼみがない視力を目標とすることができる。また、これらの特徴によって近距離視力の改善につながり、同時に良好な遠距離視力を確実にすることができる。

30

【0014】

優先的に、中間の位相項の半径方向の幅が内側の位相項の半径方向の幅の2倍となり、外側の位相項の半径方向の幅の2倍となるように、定数 w_1 は 0.25 であり、定数 w_2 は 0.75 である。定数 w_1 及び w_2 に対するこれらの特定値によっても、光学特性の改善につながる事が分かっている。

【0015】

優先的に、レンズ表面の中心までの各回折ゾーンの半径方向距離が大きくなると、回折ゾーンの半径方向の幅は小さくなる。また、優先的に、回折ゾーンが設けられるレンズの表面はレンズの前面である。さらに、回折ゾーンはレンズの表面の中心部分上に広がっていることが好ましい。優先的に、最も外側の回折ゾーンの外縁は、表面の中心までの半径方向距離が 3.2 mm 以下または 4.0 mm 以下である。詳細には、遠方優勢タイプ及び近方優勢タイプのレンズの場合、表面の中心までの半径方向距離は 3.2 mm 以下であり、中間視力レンズタイプのレンズの場合、表面の中心までの半径方向距離は 4.0 mm 以下である。これらの具体的な特徴も光学特性の改善につながる事が分かっている。

40

【0016】

いくつかの回折ゾーンが設けられる表面がレンズの屈折面であり、最も外側の回折ゾー

50

ンが、回折構造を含まない屈折ゾーンに囲まれるようになっていくことが好ましい。その結果、レンズ表面は、優先的に、ベースの屈折力をもたらす屈折面（すなわち、湾曲面）である。優先的に、レンズは、ベースの屈折力をもたらす2つの屈折面を含み、優先的に、これらの屈折面のうちの1つに回折ゾーンが設けられる。したがって、レンズは、優先的に、レンズ表面を有し、回折ゾーンを伴う内部領域によって屈折力及び回折力が得られ、レンズ表面の外部領域（内部領域を囲む）によって屈折力のみが得られる。屈折特性は遠焦点光照射野に寄与する。屈折面を用いることによって遠方視力が向上する。さらに、屈折面は非球面レンズ面であることが好ましい。非球面レンズ面を用いることによって、全体的な結像性能をさらに向上させることができる。詳細には、潜在的な偏心に対する眼の感度を下げることができる。また、眼の異常を矯正することができる。

10

【0017】

また回折ゾーンの数は少なくとも4つであることが好ましい。詳細には、回折ゾーンの数は正確に4つであってもよい。4つの回折ゾーンを用いることによって、薄明視及び暗所視照明条件の下での潜在的な異常光視症の影響の減少が（特に瞳孔が大きいときに）小さくなり得ることが分かっている。

【0018】

レンズは、優先的に、アクリルポリマーを含むレンズ材料で形成する。レンズ材料はさらに、紫外光吸収剤（たとえば、ベンゾトリアゾール）及び/または青色光フィルタリング発色団（たとえば、モノメチン）を含んでいてもよい。好ましいレンズ材料に関するさらなる詳細については、欧州特許2375276号（EP2375276B1）及び米国特許8,556,416号（US8,556,416B2）を参照のこと。なおこれらの文献は、参照により本明細書に組み込まれている。

20

【0019】

回折型多焦点レンズは、優先的に、接眼レンズ、特にコンタクトレンズまたは眼内レンズである。詳細には、レンズは、囊外白内障を除去した後に眼の水晶体囊内に配置することが意図されており、眼の自然水晶体に取って代わる屈折及び回折媒体として機能する。

【0020】

関数（ ）の平滑化バージョンは、優先的に、ガウスカネルを用いて関数（ ）に畳み込みを行うことによって得る。ガウスカネルは、優先的に、標準偏差が0.02~0.04の範囲内である。好ましい実施形態では、標準偏差は0.03である。このような標準偏差によって、a)比較的容易に製造できることと、b)非常に良好な光学特性を有することとの間の最適化された折衷案につながるということが分かっている。

30

【0021】

一実施形態では、少なくとも最も内側の回折ゾーンの外縁の、レンズの表面の中心までの半径方向距離（すなわち、その半径方向位置）は、以下によって規定される。

【数2】

$$r_k = \sqrt{\frac{2\lambda k}{p} + k^2 \lambda^2} \quad (2)$$

40

ここで、 k は各回折ゾーンを示し、 $k = 1$ は最も内側の回折ゾーンを示し、 k は外側方向に整数ステップで上昇し、 λ は光の波長であり、 p は加入度数を規定する所定の値である。優先的に、 λ は546nmの設計波長である。加入度数に対する値 p は、たとえば、1.75Dであってもよい。一実施形態では、特にレンズが遠方優勢レンズタイプまたは近方優勢レンズタイプである場合には、各回折ゾーンの外縁はこの等式によって規定される。

【0022】

一実施形態では、等式（2）によって最も内側の回折ゾーンの外縁が規定され、他の回折ゾーンの外縁は以下によって規定される。

50

【数 3】

$$r_k = \left(r_{k-1}^2 + \lambda^2 + \sqrt{\frac{4\lambda^2}{p} + 4\lambda^2 r_{k-1}^2} \right)^{1/2} \quad (3)$$

特に、中間視力レンズタイプのレンズでは、最も内側の回折ゾーンの外縁に対してのみ等式(2)を使用し、さらなる回折ゾーンの外縁に対しては等式(3)を用いる。これらの外縁によって、光学特性のさらなる改善につながる可能性があることが分かっている。

10

【0023】

優先的に、定数 w_1 及び w_2 は、すべての回折ゾーンに対して同じである。また、一実施形態では、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、すべての回折ゾーンに対して同じである。これは特に、遠方優勢レンズタイプまたは近方優勢タイプのレンズに対してそうであり得る。さらなる実施形態では、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、すべての回折ゾーンに対して同じではない。これは特に、近方優勢タイプまたは中間視力レンズタイプのレンズに対してそうであり得る。詳細には、最も内側の回折ゾーンの傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、他の回折ゾーンの傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 とは異なり得る。また、これは特に、近方優勢タイプまたは中間視力レンズタイプのレンズに対してもそうであり得る。また、一実施形態では、他の回折ゾーンの傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、他のすべての回折ゾーンに対して同じであり得る。これは特に、近方優勢タイプのレンズに対してそうであり得る。さらに、一実施形態では、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、すべての回折ゾーンに対して異なっている。したがって、一実施形態では、同じパラメータ p_1 、 p_2 、 p_3 、 q_2 、及び q_3 を有する2つの回折ゾーンは存在しない。これは特に、中間視力レンズタイプのレンズに対してそうであり得る。これは光学特性のさらなる改善につながり得ることが分かっている。

20

【0024】

本発明のさらなる態様では、レンズ表面にいくつかの同心回折ゾーンを有する多焦点レンズを製造するための方法が提示される。本方法は、

30

各回折ゾーンに対して、等式(1)によって規定される区分的関数またはこの区分的関数の平滑化バージョンを与えることによって、各回折ゾーンに対する回折位相構造を数学的に与えることであって、 λ は、レンズの表面の中心までの半径方向距離に2乗のオーダーで依存するとともに、各回折ゾーンの半径方向の幅に対して正規化され、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 は負である、与えることと、

回折ゾーンが、数学的に与えられた回折位相構造を有するように、回折型多焦点レンズを形成することと、を含む。

【0025】

本発明の別の態様では、本方法によって製造可能な、レンズ表面にいくつかの同心回折ゾーンを有する多焦点レンズが提示される。

40

【0026】

請求項1の多焦点レンズと請求項15の多焦点レンズを製造するための方法とは、従属請求項に規定されるものと同様及び/または同一の好ましい実施形態を有することを理解されたい。

【0027】

本発明の好ましい実施形態は、従属請求項の対応する独立請求項との任意の組み合わせである可能性もあることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】多焦点レンズの概略的で典型的な実施形態を示す図である。

50

【図 2】レンズ径に沿ったサグプロファイルの概略的で典型的な断面を示す図である。

【図 3】遠方優勢レンズタイプのレンズのレンズ径に沿った位相プロファイルの概略的で典型的な断面を示す図である。

【図 4】近方優勢レンズタイプ及び遠方優勢レンズタイプのレンズに対する概略的で典型的なスルーフォーカスコントラスト応答を示す図である。

【図 5】近方優勢レンズタイプのレンズのレンズ径に沿った位相プロファイルの概略的で典型的な断面を示す図である。

【図 6】多焦点レンズの概略的で典型的な実施形態を示す図である。

【図 7】中間視力レンズタイプのレンズに対するレンズ径に沿った位相プロファイルの概略的で典型的な断面を示す図である。

10

【図 8】中間視力レンズタイプのレンズに対する概略的で典型的なスルーフォーカスコントラスト応答を示す図である。

【図 9】レンズ表面にいくつかの環状の回折ゾーンを有する多焦点レンズを製造するための方法の実施形態を典型的に例示するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0029】

図 1 に、表面 2 にいくつかの環状の回折ゾーン 7、8、9、10 を有する多焦点レンズ 1 の概略的で典型的な実施形態を示す。自然レンズ（取り外されている）をレンズ 1 と取り替えるために、レンズ 1 は、眼の中にレンズ 1 を固定するための固定要素 4 に取り付けられている。その結果、レンズ 1 は、嚢外白内障を除去した後に眼の水晶体嚢内に配置されることが意図された眼内レンズであり、眼の自然水晶体に取って代わる屈折及び回折媒体として機能する。しかし、レンズは、コンタクトレンズのような別の種類の接眼レンズとすることもできる。

20

【0030】

各回折ゾーン 7、8、9、10 において、対応する回折位相構造が規定されている。回折位相構造は、3つの位相項を含む等式（1）によって規定される区分的関数（ ）によって、または区分的関数の平滑化バージョンによって表現できる。回折ゾーン 7、8、9、10 が設けられている表面 2 はレンズ 1 の前面である。回折ゾーン 7、8、9、10 はレンズ 1 の前面 2 の中心部分上に広がっている。この実施形態では、4つの回折ゾーン 7、8、9、10 が設けられており、最も外側の回折ゾーンの外縁の表面 2 の中心 3 までの半径方向距離は 3.2 mm に等しい。レンズ表面 2 の中心 3 までの各ゾーン 7、8、9、10 の半径方向距離が大きくなると、回折ゾーン 7、8、9、10 の半径方向の幅は小さくなる。

30

【0031】

また、いくつかの環状の回折ゾーン 7、8、9、10 が設けられている表面 2 はレンズ 1 の屈折面 2 であり、最も外側の回折ゾーンが、回折構造を含まない屈折ゾーン 5 によって囲まれている。その結果、レンズ表面 2 は、対向する第 2 の後部の屈折面とともにベースの屈折力をもたらす屈折面（すなわち、湾曲面）である。

【0032】

したがって、前面 2 は、回折ゾーン 7、8、9、10 を伴う内部領域であり、内部領域は屈折及び回折力をもたらす、内部領域を囲む外部領域 5 は屈折力のみをもたらす。この実施形態では、屈折性の前面 2 は非球面レンズ面である。後面も非球面または球面とすることができる。後面が球面である場合、その曲率半径は、たとえば、屈折力 20.0 D に対して -18.84 mm とすることができる。後面は環状面とすることもでき、すなわち、非点収差屈折異常を矯正するトロイダル型の形状とすることができる。トロイダル形状を有する屈折面の矢状高さは、以下によって表現することができる。

40

【数 4】

$$z(x) = \frac{c_x x^2}{1 + \sqrt{1 - c_x^2 x^2}} \quad \text{及び (4)}$$

【数 5】

$$z(y) = \frac{c_y y^2}{1 + \sqrt{1 - c_y^2 y^2}} \quad (5)$$

10

ここで、 x は、レンズの光軸に垂直な第 1 の方向におけるレンズ中心からの距離であり、 y は、レンズの光軸に垂直で第 1 の方向に垂直な第 2 の方向におけるレンズ中心からの距離であり、 c_x は、第 1 の方向 (x 方向とも名付けられ得る) における曲率 (すなわち、曲率半径の逆数) であり、 c_y は、第 2 の方向 (y 方向とも名付けられ得る) における曲率である。

【0033】

レンズ材料は、優先的に、アクリルポリマーを含んでいる。さらに、紫外光吸収剤 (たとえば、ベンゾトリアゾール) 及び/または青色光フィルタリング発色団 (たとえば、モノミチン) を含んでいてもよい。好ましいレンズ材料に関するさらなる詳細については、EP 2375276 B1 及び US 8,556,416 B2 を参照のこと。

20

【0034】

関数 () の平滑化バージョン $g(\cdot)$ は、優先的に、ガウスクーネルを用いて関数 () に畳み込みを行うことによって得る。ガウスクーネルは標準偏差が $0.02 \sim 0.04$ の範囲内である。優先的に、標準偏差は 0.03 である。したがって、平滑化バージョン $g(\cdot)$ は以下の等式によって規定され得る。

【数 6】

$$\Theta_g(\xi) = \Phi(\xi) \otimes g(\xi) \quad (6)$$

30

ここで、

【数 7】

$$\otimes$$

40

は畳み込み演算子であり、 $g(\cdot)$ はガウスクーネルである。畳み込み演算子は、ヒルベルト空間 L^2 におけるガウスクーネルによる積分を指す。ガウスクーネルは、優先的に、以下によって規定される。

【数 8】

$$g(\xi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

50

ここで、 σ は標準偏差である。

【0035】

各回折ゾーン7、8、9、10における中間の位相項の半径方向の幅が、内側の位相項の半径方向の幅の2倍であり、したがって外側の位相項の半径方向の幅の2倍でもあるように、定数 w_1 は、優先的に、0.25であり、定数 w_2 は、優先的に、0.75である。また、少なくとも最も内側の回折ゾーン7の外縁11は前述の等式(2)によって規定される。波長 λ は546nmであり、加入度は、たとえば、1.75Dであり得る。

【0036】

全般的に、位相値は、以下のように比例関係に基づいて、構造の矢状高さ(サグ)に変換することができる。

【数9】

$$Z(\xi) = \frac{\lambda}{2\pi(n_{IOL} - n_{aqueous})} \Phi(\xi) \quad (8)$$

$\lambda/2$ は、546nmの設計波長を用いた波数を示し、 n_{IOL} は、レンズ材料の屈折率を示し、 $n_{aqueous}$ は、周囲媒体の屈折率を示す。サグプロファイルを、以下のパラメータセットに対して図2に典型的に例示する。 $p_1 = p_2 = -0.8697$ 、 $p_3 = -0.3771$ 、 $q_2 = 0.5352$ 、 $q_3 = 0.3771$ 、ならびに $w_1 = 0.25$ 及び $w_2 = 0.75$ 屈折率は、たとえば、 $n_{IOL} = 1.544$ 及び $n_{aqueous} = 1.336$ とすることができる。

【0037】

図2では単に、回折位相プロファイルをサグプロファイルに変換する結果を例示しており、非球面性は考えていないことに注意されたい。したがって、図2は、回折プロファイルを例示しているだけであり、屈折プロファイルは重ね合わせていない。非球面レンズ面2は、以下のサグ関数によって規定することができる：

【数10】

$$S(r) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=1}^8 \alpha_i r^{2i} \quad (9)$$

ここで、 r は、レンズ表面2の中心3までの半径方向距離を示し、 c は、レンズ表面2の中心3における曲率を示し、 k は、円錐定数を示し、 α_i は、16次までの多項式の項の係数である。レンズの屈折力が、たとえば、20.0ジオプタ(すなわち、20.0D)である場合、前部の非球面2を、表1に列記したパラメータによって規定することができる。この例では、曲率 c は $1/r$ または $1/(23\text{mm})$ であり得る。表1に列記した値は単に典型的な値であり、すなわち、非球面レンズ面は他のパラメータによっても規定

【0038】

表1：レンズの20.0D前面を形成する光学パラメータ

10

20

30

40

50

【表 1】

度数 (D)	20
半径 (mm)	23.1
曲率 (mm ⁻¹)	0.0433
円錐定数	-50.05
a ₁ (mm ⁻¹)	6.8102E-4
a ₂ (mm ⁻³)	-1.2892E-3
a ₃ (mm ⁻⁵)	8.4459E-4
a ₄ (mm ⁻⁷)	-2.4020E-4
a ₅ (mm ⁻⁹)	3.4589E-5
a ₆ (mm ⁻¹¹)	-2.4960E-6
a ₇ (mm ⁻¹³)	7.1633E-08
a ₈ (mm ⁻¹⁵)	0

10

【0039】

k 番目のゾーンの外半径は r_k であり、半径方向範囲は $r_{(k-1)}$ から r_k である。ここで、 $k = 1, \dots, N$ はゾーン番号であり、 N は回折ゾーンの数であり、この場合は $N = 4$ である。各ゾーンの位相は等式 (1) によって指定され、k 番目のゾーンに対する相対的な半径方向位置 ξ_k ($0 \leq \xi_k < 1$) は、以下の等式によって与えられる。

20

【数 1.1】

$$\xi_k = \frac{r_k^2 - r_{k-1}^2}{r_k^2 - r_{k-1}^2} \quad (10)$$

相対的な半径方向位置は全般的に、k 番目のゾーンにおいて $\xi_k = \xi_k$ となるように規定される。優先的に、 $r_0 = 0$ を考慮して、回折ゾーンに対する相対的な半径方向位置は、表 2 に列記した関係によって表現することができる。

30

【0040】

表 2 : 回折ゾーンの相対的な半径方向位置

40

50

【表 2】

ゾーン1	$\xi_1 = r^2 / r_1^2$
ゾーン2	$\xi_2 = \frac{(r^2 - r_1^2)}{(r_2^2 - r_1^2)}$
ゾーン3	$\xi_3 = \frac{(r^2 - r_2^2)}{(r_3^2 - r_2^2)}$
ゾーン4	$\xi_4 = \frac{(r^2 - r_3^2)}{(r_4^2 - r_3^2)}$

10

20

【0041】

レンズ1は、優先的に、回折次数0、+1、及び+2を伴う3焦点レンズである。以下において、対応する遠方優勢レンズタイプのレンズについて説明する。

【0042】

遠方優勢レンズタイプのレンズは正の定数 q_2 及び q_3 を有し、関数()のパラメータは、すべての回折ゾーン7、8、9、10に対して同じである。さらに、傾き p_1 は-1.1~-1.0の範囲内であり、傾き p_2 は-1.1~-1.0の範囲内であり、傾き p_3 は-1.1~-1.0の範囲内であり、定数 q_2 は0.3~0.4の範囲内であり、及び定数 q_3 は1.0~1.1の範囲内である。詳細には、これらのパラメータを表3において規定することができる。

30

表3：遠方優勢レンズタイプのパラメータ

【表 3】

度数 (D)	p_1	p_2	p_3	q_2	q_3
10.0-15.0	-1.0973	-1.0463	-1.0973	0.37415	1.0973
15.5-22.5	-1.0973	-1.0158	-1.0973	0.3667	1.0973
23.0-30.0	-1.0973	-1.0282	-1.0973	0.3768	1.0973

40

表3では、3つの異なる対応する度数範囲に対する遠方優勢レンズタイプの3つの例を例示している。これらの3つの例では、定数 w_1 は0.25であり、定数 w_2 は0.75である。また、これらの例では、4つの回折ゾーン7、8、9、10のそれぞれに対する

50

対応する外縁は、等式(2)によって規定される。

【0043】

図3に、レンズ径に沿った遠方優勢レンズタイプからのレンズの位相プロファイルを概略的かつ典型的に例示する。

【0044】

遠方優勢レンズタイプのレンズは、ハイブリッド屈折-回折多焦点眼内レンズ(MIOL)であり、優先的に、(i)3焦点に対する正の回折次数0、+1、+2を生成する切断回折プロファイルと(ii)全体的な結像性能を向上させる非球面光学とを結合している。回折の正の次数によって、患者の眼の色収差を最小限にすることができ、その結果、色覚障害の潜在的リスクが緩和される。そして、非球面光学によって、潜在的な偏心に対する患者の眼の感度が下がる。

10

【0045】

図4において、グラフ30は、遠方優勢レンズタイプのレンズに対する501p/mmの空間周波数におけるシミュレートしたスルーフォーカス応答(TFR)を例示する。グラフ30は、変調伝達関数(MTF)の点から理論的評価を行った結果であり、分析を簡単にするために、非円環状のMIOLを仮定している。グラフ30は単に、遠方優勢レンズタイプのレンズの異なる回折次数の可能な相対的効率を例示するために用いていることに注意されたい。

【0046】

図4から分かるように、遠方優勢レンズタイプのレンズによって、比較的高い遠焦点及び中間焦点コントラストレベルと、満足できる程に高い近焦点コントラストとを得ることができる。このようなTFRによって、遠焦点距離においてより高い視力が促進され、中間焦点及び近焦点において十分な視力が得られる。

20

【0047】

以下では、近方優勢レンズタイプのレンズについて説明する。

【0048】

近方優勢レンズタイプのレンズは正の定数 q_2 及び q_3 を有し、関数()のパラメータは、すべての回折ゾーン7、8、9、10に対して同じであり、4つの回折ゾーン7、8、9、10の外縁も等式(2)によって規定される。また、傾き p_1 は-1.2~-1.0の範囲内であり、傾き p_2 は-1.3~-1.2の範囲内であり、傾き p_3 は-1.2~-1.0の範囲内であり、定数 q_2 は0.7~0.8の範囲内であり、及び定数 q_3 は1.0~1.2の範囲内である。近方優勢レンズタイプのレンズに対して、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 が、すべての回折ゾーンに対して同じではないことが可能であり、それでも、優先的に、4つの回折ゾーン7、8、9、10の外縁は等式(2)によって規定される。詳細には、これらのパラメータを表4において規定することができる。

30

【0049】

表4：近方優勢レンズタイプに対するパラメータ

40

50

【表 4】

度数 (D)	p ₁	p ₂	p ₃	q ₂	q ₃
1 番目の回折ゾーン (7)					
10.0 ~ 15.0	-1.12 7	-1.2 765	-1.1 27	0.79 395	1.12 7
15.5 ~ 30.0	-1.09 73	-1.2 429	-1.0 973	0.77 305	1.09 73
2 番目及び4 番目の回折ゾーン (8、9、10)					
10.0 ~ 15.0	-1.09 73	-1.2 429	-1.0 973	0.77 305	1.09 73
15.5 ~ 30.0	-1.09 73	-1.2 429	-1.0 973	0.77 305	1.09 73

10

【0050】

表 4 では、2 つの異なる対応する度数範囲に対する近方優勢レンズタイプの 2 つの例を例示している。またこれらの例でも、定数 w_1 は 0.25 であり、定数 w_2 は 0.75 である。また、近方優勢レンズタイプの 10.0 D ~ 15.0 D 例に関して、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、すべての回折ゾーン 7、8、9、10 に対して同じではない。詳細には、最も内側の回折ゾーン 7 の傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、他の回折ゾーン 8、9、10 の傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 とは異なっている。他のすべての回折ゾーン 8、9、10 に対する傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は同じである。近方優勢レンズタイプの 15.0 D ~ 30.0 D 例に対して、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、すべての回折ゾーン 7、8、9、10 に対して同じである。

20

【0051】

図 5 に、レンズ径に沿った近方優勢タイプからのレンズの位相プロファイルを概略的かつ典型的に例示する。

30

【0052】

また近方優勢レンズタイプのレンズは、ハイブリッド屈折 - 回折レンズであり、(i) 3 焦点に対する正の回折次数 0、+1、+2 を生成する切断回折プロファイルと (ii) 全体的な結像性能を向上させる非球面光学とを結合している。前述したように、回折の正の次数によって、患者の眼の色収差を最小限にすることができ、その結果、色覚障害の潜在的风险が緩和される。そして、非球面光学によって、潜在的な偏心に対する患者の眼の感度が下がる。

【0053】

また図 4 では、近方優勢レンズタイプのレンズに対する 501 p/mm の空間周波数における TFR を例示するグラフ 31 も示す。近方優勢レンズタイプに関しても、図 4 は単に、レンズの異なる回折次数の可能な相対的効率を例示するために用いていることに注意されたい。図 4 から分かるように、遠方優勢レンズタイプのレンズのコントラスト応答 30 と比べて、近方優勢レンズタイプのレンズの応答 31 (すなわち、グラフ 31) は、遠焦点及び中間焦点コントラストレベルは低く、近焦点コントラストは著しく高い。このような TFR によって、近焦点視力が促進され、中間焦点及び近焦点において十分な視力が得られる。

40

【0054】

遠方優勢レンズタイプ及び近方優勢レンズタイプのレンズの回折ゾーンは、光軸に垂直な半径が 3.2 mm である比較的小さい内部領域をカバーし得る。これは図 1 に示している。以下では、中間視力レンズタイプのレンズについて説明する。回折ゾーン 7、8、9

50

、 10 は、光軸に垂直な半径が 4.0 mm のより大きい領域をカバーし得る。これは図 7 に示している。

【0055】

中間視力レンズタイプのレンズに関して、最も内側の回折ゾーンの外縁 7 のみが等式 (2) によって規定され、一方で他の回折ゾーン 8、9、10 の外縁は等式 (3) によって規定される。中間視力レンズタイプに対しても、定数 w_1 は優先的に 0.25 であり、 w_2 は優先的に 0.75 である。さらに、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、すべての回折ゾーン 7、8、9、10 に対して同じではない。詳細には、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 、ならびに定数 q_2 及び q_3 は、すべての回折ゾーン 7、8、9、10 に対して異なっている。したがって、同じパラメータ p_1 、 p_2 、 p_3 、 q_2 、及び q_3 を有する 2 つの回折ゾーンは存在しない。また、中間視力レンズタイプに対して、傾き p_1 は -1.2 ~ -0.4 の範囲内であり、傾き p_2 は -1.0 ~ -0.1 の範囲内であり、傾き p_3 は -1.2 ~ -0.4 の範囲内であり、定数 q_2 は -0.2 ~ 0.3 の範囲内であり、及び定数 q_3 は 0.4 ~ 1.2 の範囲内である。表 5 に典型的な値を示す。

【0056】

表 5：中間視力レンズタイプに対するパラメータ

【表 5】

度数 (D)	p_1	p_2	p_3	q_2	q_3
1 番目の回折ゾーン (7)					
10.0 ~ 15.0	-0.5 01	-0.5 01	-0.5 01	0.00 06	0.50 1
15.5 ~ 22.5	-0.4 67	-0.4 67	-0.4 67	-0.0 033	0.46 7
23.0 ~ 30.0	-0.5 01	-0.5 01	-0.5 01	0.00 06	0.50 1
2 番目 ~ 4 番目の回折ゾーン (8、9、10)					
10.0 ~ 15.0	-0.9 239	-0.9 26	-0.9 239	0.29 24	0.92 39
15.5 ~ 22.5	-1.1 4	-0.1 399	-1.1 4	-0.1 1325	1.14
23.0 ~ 30.0	-0.9 239	-0.9 26	-0.9 239	0.29 24	0.92 39

【0057】

表 5 では、3 つの異なる対応する度数範囲に対する中間視力レンズタイプの 3 つの例を例示している。

【0058】

図 7 に、レンズ径に沿った中間視力タイプのレンズの位相プロファイルを概略的かつ典型的に例示する。図 8 に、中間視力レンズタイプのレンズの 501 p/mm の空間周波数における TFR を例示する。中間視力レンズタイプのレンズは、優先的に、加入度数が比較的低い老眼矯正多焦点眼内レンズである。それらは、優先的に、距離から中間の視認範囲までの機能的視覚をもたらすことを目標とする。

【0059】

中間視力レンズタイプのレンズに対して、1 番目の環状ゾーンの半径 r_1 (すなわち、1 番目の環状ゾーン 7 の外縁) は、優先的に、等式 (2) に従って、以下により与えられる。

【数 12】

$$r_1 = \sqrt{\frac{2\lambda}{p} + \lambda^2} \quad (11)$$

ここで、 λ は設計波長、すなわち、この場合は $\lambda = 546 \text{ nm}$ であり、 p は、 $+1$ の回折次数に対する加入度数であり、優先的に、中間視力レンズに対して $p = 2.0 \text{ D}$ である。

【0060】

2番目から4番目の回折ゾーン8、9、10の周囲ゾーンの半径 r_k は、たとえば、以下によって与えられる。 10

【数13】

$$\sqrt{f^2 + r_k^2} - \sqrt{f^2 + r_{k-1}^2} = \lambda, \quad k=2, 3, 4 \quad (12)$$

ここで、 f は焦点距離を示す。隣接するゾーンから光線が軸上の焦点に向けて伝搬すると1波長の経路差を形成するという考えに基づいて、等式(12)を2番目から4番目の環状ゾーンに対して適用する。 20

【0061】

以下の等式(13)は等式(12)の解析解である。

【数14】

$$r_k = \left(r_{k-1}^2 + \lambda^2 + \sqrt{\frac{4\lambda^2}{p^2} + 4\lambda^2 r_{k-1}^2} \right)^{1/2}, \quad k=2, 3, 4 \quad (13)$$

ここで、 λ は設計波長、すなわち、優先的に $\lambda = 546 \text{ nm}$ であり、 p は、 $+1$ の回折次数に対する加入度数であり、優先的に、中間視力レンズに対して $p = 1.0 \text{ D}$ である。

【0062】

こうして、一実施形態では、中間視力レンズタイプのレンズに対して、1番目の中心ゾーン ($k=1$) は、第2の回折次数に対応して、加入度数 $p = 2.0 \text{ D}$ をいることによって形成され、周囲ゾーン ($k=2, 3, 4$) は、1番目の回折次数に対応して、 $p = 1.0 \text{ D}$ を用いることによって形成される。

【0063】

の高次項は無視できるという仮定で、 $r_{(k-1)}$ に基づいて半径 r_k を導き出す近似的関係は、以下ようになる。 40

【数15】

$$r_k = \sqrt{\frac{2\lambda}{p} + r_{k-1}^2}, \quad k=2, 3, 4 \quad (14)$$

等式(11) ~ (14)を用いて、中間視力レンズタイプのレンズに対する回折ゾーンの半径を計算することができる。

【0064】

以下では、レンズ表面にいくつかの環状の回折ゾーンを有する多焦点レンズを製造するための方法の実施形態について、図9に示すフローチャートを参照して典型的に説明する。

【0065】

ステップ101では、各回折ゾーン7、8、9、10に対して区分的関数(1)をもたらすことによって、各回折ゾーン7、8、9、10に対する回折位相構造を数学的に得る。ステップ102では、回折ゾーン7、8、9、10が、数学的に与えられた回折位相構造を有するように、回折型多焦点レンズを形成する。レンズの形成は、たとえば、既知の成形手順及び既知の旋盤切削手順を用いることによって、またはレンズを製造するために通常用いる別の手法によって、行ってもよい。

10

【0066】

前述の実施形態では、レンズは、関数()の特定のパラメータを有しているが、が、レンズの表面の中心までの半径方向距離に2乗のオーダーで依存するとともに、各回折ゾーンの半径方向の幅に対して正規化され、また傾きp1、p2、及びp3が負である限り、レンズは他のパラメータを有することもできる。

【0067】

前述したように、表1に列記した値は単に典型的な値であり、すなわち、非球面レンズは他のパラメータによって規定することもできる。たとえば、レンズの屈折力が、たとえば、20.0Dである場合、前部の非球面2は、下表6に列記したパラメータによって規定することができる。曲率cは1/r、またはこの例では1/(23mm)であってもよい。

20

【0068】

表6：レンズの20.0D前面を形成する光学パラメータ

【表6】

度数 (D)	20
半径 (mm)	23.1
曲率 (mm ⁻¹)	0.0433
円錐定数	-48.89
a ₁ (mm ⁻¹)	-7.0541E-3
a ₂ (mm ⁻³)	-1.1978E-3
a ₃ (mm ⁻⁵)	8.5233E-4
a ⁴ (mm ⁻⁷)	-2.5816E-4
a ⁵ (mm ⁻⁹)	3.8855E-5
a ⁶ (mm ⁻¹¹)	-2.8956E-6
a ⁷ (mm ⁻¹³)	8.5155E-08
a ⁸ (mm ⁻¹⁵)	0

30

【0069】

前表3~5に列記したパラメータは特定の精度(すなわち、ある特定の数の小数位)を有しているが、精度は異なる可能性がある。好ましい実施形態では、パラメータp1、p2、p3、q2、及びq3の精度は、小数第3位によって与えられる。こうして、パラメータは下表7~9に列記することができる。

40

【0070】

表7：遠方優勢レンズタイプのパラメータ

50

【表 7】

度数 (D)	p ₁	p ₂	p ₃	q ₂	q ₃
10.0 - 15.0	-1.097	-1.046	-1.097	0.374	1.097
15.5 - 22.5	-1.097	-1.016	-1.097	0.367	1.097
23.0 - 30.0	-1.097	-1.028	-1.097	0.377	1.097

10

【0071】

表 7 では、3つの異なる対応する度数範囲に対する遠方優勢レンズタイプの3つの例を例示している。表 3 と比べて、すべてのパラメータ p₁、p₂、p₃、q₂、及び q₃ に対する小数位の数値は3である。表 3 に関して前述したように、これら3つの例では、定数 w₁ は 0.25 であり、定数 w₂ は 0.75 である。また、これらの例では、4つの回折ゾーン 7、8、9、10 のそれぞれに対する対応する外縁は、等式 (2) によって規定される。

【0072】

表 8 : 近方優勢レンズタイプに対するパラメータ

20

【表 8】

度数 (D)	p ₁	p ₂	p ₃	q ₂	q ₃
1 番目の回折ゾーン (7)					
10.0 ~ 15.0	-1.127	-1.277	-1.127	0.794	1.127
15.5 ~ 30.0	-1.097	-1.243	-1.097	0.773	1.097
2 番目及び4 番目の回折ゾーン (8、9、10)					
10.0 ~ 15.0	-1.097	-1.243	-1.097	0.773	1.097
15.5 ~ 30.0	-1.097	-1.243	-1.097	0.773	1.097

30

【0073】

表 8 では、2つの異なる対応する度数範囲に対する近方優勢レンズタイプの2つの例を例示している。表 4 と比べて、すべてのパラメータ p₁、p₂、p₃、q₂、及び q₃ に対する小数位の数値は3である。これらの例でも、定数 w₁ は 0.25 であり、定数 w₂ は 0.75 である。また、近方優勢レンズタイプの 10.0 D ~ 15.0 D 例に関して、パラメータ p₁、p₂、及び p₃、及びパラメータ q₂ 及び q₃ は、すべての回折ゾーン 7、8、9、10 に対して同じではない。詳細には、最も内側の回折ゾーン 7 のパラメータ p₁、p₂、及び p₃、ならびにパラメータ q₂ 及び q₃ は、他の回折ゾーン 8、9、10 のパラメータ p₁、p₂、及び p₃、ならびにパラメータ q₂ 及び q₃ とは異なる。他のすべての回折ゾーン 8、9、10 に対するパラメータ p₁、p₂、及び p₃、ならびにパラメータ q₂ 及び q₃ は同じである。近方優勢レンズタイプの 15.0 D ~ 30.0 D 例に対して、パラメータ p₁、p₂、及び p₃、ならびにパラメータ q₂ 及び q₃ は、すべての回折ゾーン 7、8、9、10 に対して同じである。

40

【0074】

50

表 9：中間視力レンズタイプに対するパラメータ

【表 9】

度数 (D)	p_1	p_2	p_3	q_2	q_3
1 番目の回折ゾーン (7)					
10.0 ~ 15.0	-0.5 01	-0.5 01	-0.5 01	0.0 01	0.50 1
15.5 ~ 22.5	-0.4 67	-0.4 67	-0.4 67	-0. 003	0.46 7
23.0 ~ 30.0	-0.5 01	-0.5 01	-0.5 01	0.0 01	0.50 1
2 番目～4 番目の回折ゾーン (8、9、10)					
10.0 ~ 15.0	-0.9 24	-0.9 26	-0.9 24	0.2 92	0.92 2
15.5 ~ 22.5	-1.1 40	-0.1 40	-1.1 40	-0. 113	1.14 0
23.0 ~ 30.0	-0.9 24	-0.9 26	-0.9 24	0.2 92	0.92 4

10

20

【0075】

表 9 では、3 つの異なる対応する度数範囲に対する中間視力レンズタイプの 3 つの例を例示している、表 5 と比べて、すべてのパラメータ p_1 、 p_2 、 p_3 、 q_2 、及び q_3 に対する小数位の数は 3 である。

【0076】

前述の実施形態では、回折ゾーンを前面に設けて後面には設けていないが、後面に設けて前面に設けないこともできるし、または両面に設けることもできる。

【0077】

前述の実施形態では、レンズは眼内レンズであるが、レンズを別の種類の接眼レンズ（たとえば、コンタクトレンズ）とすることもできる。

30

【0078】

前述の実施形態では、回折ゾーンの数は 4 であるが、回折ゾーンの数を違うものにすることもできる。たとえば、回折ゾーンの数を 2、3、または 4 超とすることができる。優先的に、回折ゾーンの数を 13 以下に、しかし 13 を超えないようにすることができる。対応して、優先的に、等式 (12) ~ (14) では、 $k = 2, \dots, k_{max}$ ならば、 k_{max} は最大で 13 である。

【0079】

前述の実施形態では、ガウシアン平滑化を用いているが、別の種類の平滑化（たとえば、放物曲線を用いる平滑化手順）を用いることもできる。

40

【0080】

当業者であれば、図面、開示、及び添付の特許請求の範囲の検討から、請求に係る発明を実施する際に、開示した実施形態に対する他の変形を理解して実行することができる。

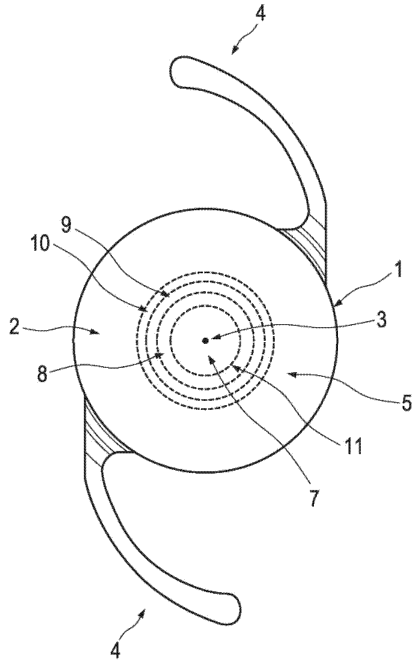
【0081】

特許請求の範囲において、用語「含む」は他の要素またはステップを排除せず、不定冠詞「a」または「an」は複数を排除しない。特許請求の範囲におけるどんな引用符号も、範囲を限定すると解釈してはならない。

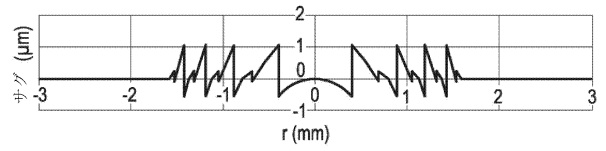
50

【図面】

【図 1】



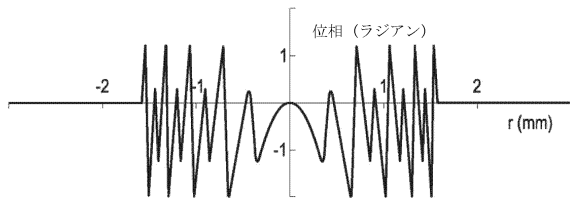
【図 2】



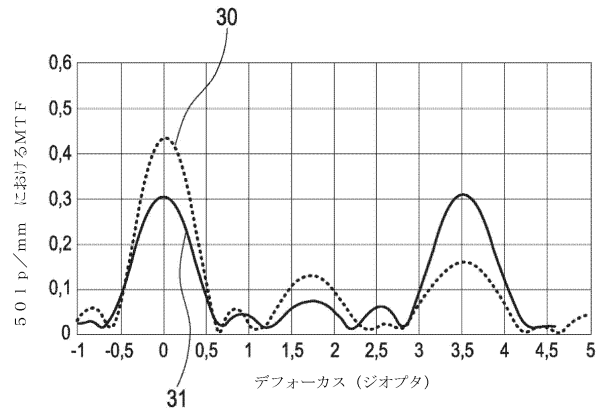
10

20

【図 3】



【図 4】

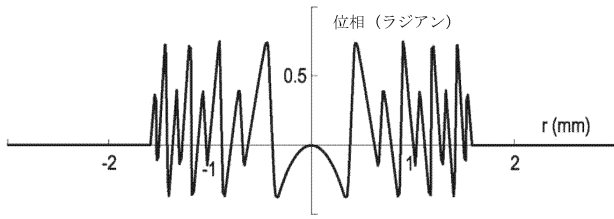


30

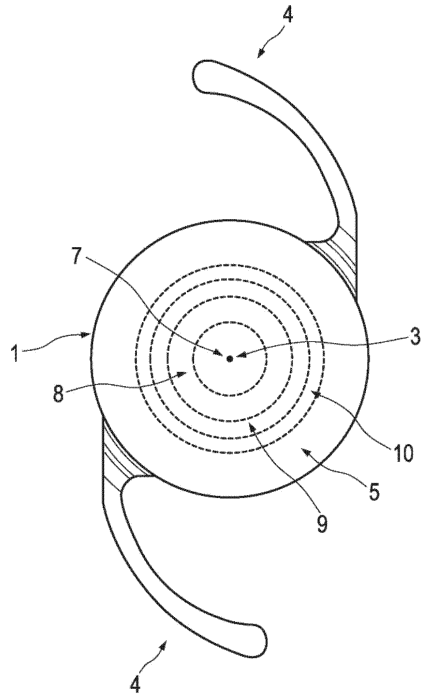
40

50

【 図 5 】



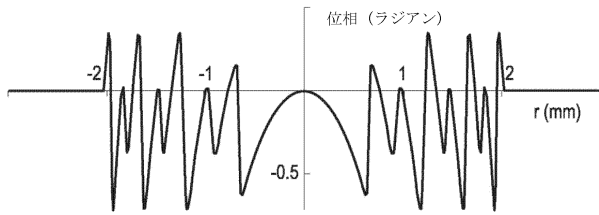
【 図 6 】



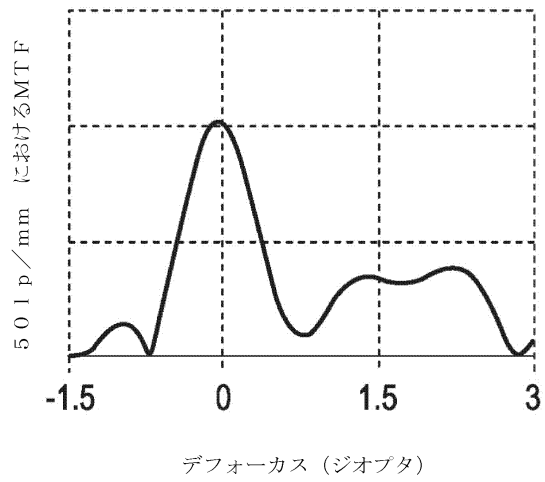
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

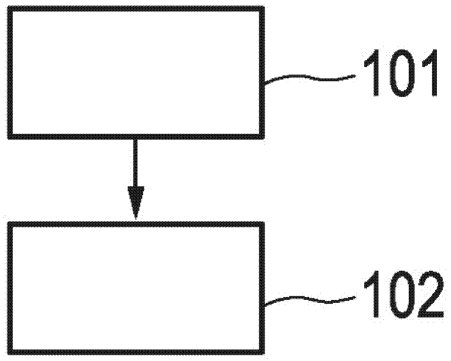


30

40

50

【 図 9 】



10

20

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/JP2021/027614

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. A61F2/16 ADD. G02C7/04 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) G02C G02B A61F Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data												
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT												
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.										
X	EP 2 375 276 B1 (HOYA CORP [JP]) 25 May 2016 (2016-05-25) cited in the application	8										
Y	paragraph [0018] paragraph [0019] paragraph [0033] - paragraph [0035] paragraph [0032] paragraph [0051] paragraph [0054]	1-8, 11-15										
Y	----- EP 3 130 314 A1 (PHYSIOL SA [BE]) 15 February 2017 (2017-02-15) paragraph [0015] - paragraph [0016] paragraph [0036] ----- -/--	1-8, 11-15										
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.												
* Special categories of cited documents : <table border="0"> <tr> <td>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</td> <td>*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</td> </tr> <tr> <td>*E* earlier application or patent but published on or after the international filing date</td> <td>*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</td> </tr> <tr> <td>*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)</td> <td>*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</td> </tr> <tr> <td>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</td> <td></td> </tr> <tr> <td>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</td> <td>*Z* document member of the same patent family</td> </tr> </table>			*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	*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	*E* earlier application or patent but published on or after the international filing date	*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	*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)	*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	*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	*Z* document member of the same patent family
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	*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											
E earlier application or patent but published on or after the international filing date	*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											
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)	*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											
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	*Z* document member of the same patent family											
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report										
10 November 2021		18/11/2021										
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Stadlmeyer, R										

10

20

30

40

1

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/JP2021/027614

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 2 377 493 A1 (MENICON CO LTD [JP]) 19 October 2011 (2011-10-19) paragraph [0011] paragraph [0015] paragraph [0032] - paragraph [0033] paragraph [0069] - paragraph [0070]; figures 3, 10 paragraph [0073] paragraph [0086] - paragraph [0087] paragraph [0098] - paragraph [0099] -----	1, 7, 11-15
A	US 2019/339545 A1 (SCHWIEGERLING JAMES T [US]) 7 November 2019 (2019-11-07) paragraph [0006] - paragraph [0007] paragraph [0010] paragraph [0023] - paragraph [0024] paragraph [0033] claim 1 -----	1-15
Y	US 2012/283825 A1 (HOUBRECHTS YVETTE APPOLINE JOSEPHINE [BE] ET AL) 8 November 2012 (2012-11-08) paragraph [0014] - paragraph [0018]; figure 3 paragraph [0039] - paragraph [0041] -----	2
A	US 2018/147050 A1 (CHOI MYOUNG-TAEK [US] ET AL) 31 May 2018 (2018-05-31) paragraph [0003] - paragraph [0006] paragraph [0027] -----	1-15
A	US 2019/254810 A1 (TIWARI NIVEDAN [US] ET AL) 22 August 2019 (2019-08-22) paragraph [0004] paragraph [0006] paragraph [0032] -----	1-15

10

20

30

40

1

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/JP2021/027614

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date			
EP 2375276	B1	25-05-2016	CN 102239439 A	09-11-2011		
			EP 2375276 A1	12-10-2011		
			JP 5203160 B2	05-06-2013		
			JP 2010134282 A	17-06-2010		
			SG 171961 A1	28-07-2011		
			US 2011234974 A1	29-09-2011		
			WO 2010064640 A1	10-06-2010		

EP 3130314	A1	15-02-2017	AU 2016306634 A1	01-02-2018		
			BR 112018001423 A2	11-09-2018		
			CA 2994211 A1	16-02-2017		
			CN 107920889 A	17-04-2018		
			EP 3130314 A1	15-02-2017		
			EP 3334376 A1	20-06-2018		
			JP 6773785 B2	21-10-2020		
			JP 2018525199 A	06-09-2018		
			KR 20180040606 A	20-04-2018		
			RU 2018108193 A	13-09-2019		
			US 2018092739 A1	05-04-2018		
			WO 2017025624 A1	16-02-2017		

			EP 2377493	A1	19-10-2011	DE 202009018881 U1
DK 2377493 T3	09-11-2015					
EP 2377493 A1	19-10-2011					
ES 2551158 T3	16-11-2015					
HU E027966 T2	28-11-2016					
JP 5342244 B2	13-11-2013					
JP 2010158315 A	22-07-2010					
PL 2377493 T3	29-01-2016					
PT 2377493 E	12-11-2015					
SI 2377493 T1	29-01-2016					
US 2011270390 A1	03-11-2011					
WO 2010079537 A1	15-07-2010					

US 2019339545	A1	07-11-2019				AU 2010213535 A1
			BR PI1008369 A2	06-03-2018		
			CA 2752164 A1	19-08-2010		
			CN 102395906 A	28-03-2012		
			EP 2396683 A2	21-12-2011		
			EP 3719544 A1	07-10-2020		
			ES 2809181 T3	03-03-2021		
			IL 214491 A	21-04-2016		
			JP 6042067 B2	14-12-2016		
			JP 2012517625 A	02-08-2012		
			JP 2016189026 A	04-11-2016		
			KR 20110125652 A	21-11-2011		
			NZ 594697 A	28-02-2014		
			RU 2011137403 A	20-03-2013		
			SG 173630 A1	29-09-2011		
			SG 10201402266X A	30-10-2014		
			US 2011292335 A1	01-12-2011		
			US 2016341978 A1	24-11-2016		
			US 2019339545 A1	07-11-2019		
US 2021003863 A1	07-01-2021					
WO 2010093975 A2	19-08-2010					

US 2012283825	A1	08-11-2012	AU 2011209315 A1	16-08-2012		
			BE 1019161 A5	03-04-2012		

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/JP2021/027614

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
		BR 112012018547 A2	05-04-2016	
		CA 2787986 A1	04-08-2011	
		CN 102665611 A	12-09-2012	
		DE 202011110144 U1	19-12-2012	
		DK 2503962 T3	21-10-2013	
		EP 2503962 A1	03-10-2012	
		ES 2431304 T3	25-11-2013	
		HK 1177133 A1	16-08-2013	
		IL 221111 A	30-04-2015	
		JP 5480980 B2	23-04-2014	
		JP 2013517822 A	20-05-2013	
		KR 20120131169 A	04-12-2012	
		PL 2503962 T3	31-12-2013	
		PT 2503962 E	24-10-2013	
		RU 2012136481 A	10-03-2014	
		US 2012283825 A1	08-11-2012	
		WO 2011092169 A1	04-08-2011	

US 2018147050	A1	31-05-2018	AU 2017367260 A1	23-05-2019
			CA 3042212 A1	07-06-2018
			CN 110088669 A	02-08-2019
			CN 113281913 A	20-08-2021
			EP 3548962 A1	09-10-2019
			JP 6928747 B2	01-09-2021
			JP 2019537066 A	19-12-2019
			JP 2021130017 A	09-09-2021
			US 2018147050 A1	31-05-2018
			US 2019365528 A1	05-12-2019
			US 2021220118 A1	22-07-2021
			WO 2018100459 A1	07-06-2018

US 2019254810	A1	22-08-2019	AU 2018409857 A1	01-10-2020
			CA 3091758 A1	29-08-2019
			CN 111971613 A	20-11-2020
			EP 3756042 A1	30-12-2020
			JP 2021514713 A	17-06-2021
			KR 20200120732 A	21-10-2020
			US 2019254810 A1	22-08-2019
			WO 2019164581 A1	29-08-2019

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

10

20

30

40

50

フロントページの続き

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

Fターム(参考) 2H006 BC03 BD01

【要約の続き】

を示し、 q_2 及び q_3 は定数である、多焦点レンズ 1 に関する。位置 r は、レンズ表面の中心までの半径方向距離に 2 乗のオーダーで依存するとともに、各回折ゾーンの半径方向の幅に対して正規化され、傾き p_1 、 p_2 、及び p_3 は負である。

【選択図】 図 1