

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5298026号
(P5298026)

(45) 発行日 平成25年9月25日(2013.9.25)

(24) 登録日 平成25年6月21日(2013.6.21)

(51) Int.Cl. F 1
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2009-540774 (P2009-540774)	(73) 特許権者	507375786
(86) (22) 出願日	平成19年12月13日(2007.12.13)		アコーレンズ インターナショナル ベー
(65) 公表番号	特表2010-512814 (P2010-512814A)		スローテン フェンノートシャップ
(43) 公表日	平成22年4月30日(2010.4.30)		オランダ, エヌエル-4836 ビーイー
(86) 国際出願番号	PCT/EP2007/063871		ブレダ, オヴェラスヴェーク 9
(87) 国際公開番号	W02008/071760	(74) 代理人	110000338
(87) 国際公開日	平成20年6月19日(2008.6.19)		特許業務法人原謙三国際特許事務所
審査請求日	平成22年10月22日(2010.10.22)	(72) 発明者	ロムバツハ, ミケル, クリスマン
(31) 優先権主張番号	06125992.5		オランダ, エヌエル-4836 ビーイー
(32) 優先日	平成18年12月13日(2006.12.13)		ブレダ, オヴェラスヴェーク 9
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(72) 発明者	シモノフ, アレクセイ, ニコラエヴィッチ
			オランダ, エヌエル-2624 セーフエー
			ー デールフト, アーサー ファン シェン
			デルプライン 137

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 可変補正により調節を行う眼内レンズ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも2つの光学素子を含んでおり、当該少なくとも2つの光学素子のうちの少なくとも一方は、他方に対して、光軸に垂直な方向に可動であり、上記光学素子は、上記光学素子の異なる相対位置において異なる屈折力を有するレンズとなるような形状を有している、可変屈折力を有する調節性眼内レンズであって、

上記光学素子のうちの1つは、少なくとも1つの追加の光学補正面を含んでおり、上記レンズの他方の上記光学素子のうちの少なくとも1つは、少なくとも1つの追加の光学補正面を含んでおり、当該補正面は、1つ以上の光学収差の同時可変補正のために適応しており、補正の程度は、上記光学素子の相対位置に依存していることを特徴とする、可変屈折力を有する調節性眼内レンズ。

10

【請求項 2】

可変焦点合わせおよび高次の可変収差の可変補正のために適応していることを特徴とする、請求項1に記載の調節性眼内レンズ。

【請求項 3】

眼の調節プロセス中に生じる人間の眼の可変収差を補正するように適応していることを特徴とする、請求項2に記載の調節性眼内レンズ。

【請求項 4】

上記補正面は、1よりも高い次数の複数の収差を同時に補正するように適応していることを特徴とする、請求項1、2または3に記載の調節性眼内レンズ。

20

【請求項 5】

上記レンズは、2つの光学素子を有しており、各光学素子は、

【数 3 2】

$$z = C(x^2 + y^2)$$

に従った放物線の項と組み合わせられた、

【数 3 3】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right)$$

10

に従った三次の項を含む面を有していることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の調節性眼内レンズ。

【請求項 6】

上記光学素子は、式

【数 3 4】

$$z = \int_{n=3} C_n Z_n(x, y) dx$$

に従った少なくとも2つの追加の補正面を有するような形状を有することを特徴とする、請求項 5 に記載の調節性眼内レンズ。

【請求項 7】

上記面は、可変焦点ずれおよび可変球面収差を同時に補正するために、次式

【数 3 5】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right) + W 2A \lambda \sqrt{5} \left\{ x - 2x^3 - 6y^2x + \frac{6}{5}x^5 + 4y^2x^3 + 6y^4x \right\}$$

を満たしていることを特徴とする、請求項 5 または 6 に記載の調節性眼内レンズ。

【請求項 8】

可変焦点ずれおよび可変収差の補正関数

【数 3 6】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right) + \int_q C_q Z_q(x, y) dx$$

と、

依存しない残余項

【数 3 7】

$$R(x, y, \Delta x) = \sum_{p=1} \frac{\Delta x^{2p+1}}{(2p+1)!} \sum_q C_q \frac{\partial^{(2p+1)} Z_q(x, y)}{\partial x^{(2p+1)}}$$

とは、収差の可変補正が最大となり、上記残余項が最少となるように選択されることを特徴とする、請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の調節性眼内レンズ。

40

【請求項 9】

上記光学面は精密旋削によって製造されることを特徴とする、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の調節性眼内レンズ。

【請求項 10】

上記光学素子はGRIN型の光学設計を有していることを特徴とする、請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載の調節性眼内レンズ。

【請求項 11】

上記光学素子はフレネル型の面を含んでいることを特徴とする、請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の調節性眼内レンズ。

【請求項 12】

50

埋め込み可能な調節性眼内レンズを用意するためのシステムであって、

少なくとも2つの光学素子を含んでおり、当該少なくとも2つの光学素子のうちの少なくとも一方は、他方に対して、光軸に垂直な方向に可動であり、上記光学素子は、上記光学素子の異なる相対位置において異なる屈折力を有するレンズとなるような形状を有しており、上記眼内レンズの上記光学素子のうちの少なくとも2つは、少なくとも1つの追加の光学補正面を含んでおり、当該補正面は、上記光学素子の相対位置に依存した程度で1つ以上の光学収差を同時可変補正するように適応している、システムであって、

眼の可変収差を測定する手段と、

測定された上記収差に従って上記補正面を計算する手段と、

計算された上記補正面を含む上記光学素子を用意する手段とを含んでいることを特徴とする、システム。

10

【請求項13】

上記光学素子を用意する上記手段は、精密旋削手段を含んでいることを特徴とする、請求項12に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【発明の詳細な説明】

【0001】

可変の屈折力を有しており、この屈折力を変化させるために光軸に垂直にシフトする光学部品を備えたレンズは、1967年にLouis Alvarezによって初めて説明された（米国特許第3,350,294号明細書）。可変屈折力を有するこのようなレンズは、光軸に垂直な方向に互いに可動である2つの光学素子を含んでいる。これら光学素子は、これら2つの光学素子を組み合わせることによって、これら光学素子の異なる相対位置においてレンズの屈折力が異なるような形をしている。光学素子のこの形は、基本式

20

【0002】

【数1】

$$z = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right)$$

によって最もよく表される立体素子として説明されている。この式は、米国特許第3,350,294号明細書の基礎を形成するものであり、以下に説明する。

30

【0003】

この光学原理は、後に、回転設計、半回転（semi-rotating）設計、1つの光学素子のみがシフトする必要がある設計、および球面収差を補正するための追加の五次の面を有する設計を含むように拡張された。これら様々な設計は、米国特許第3,583,790号明細書、米国特許第3,350,294号明細書、および米国特許第4,650,292号明細書に記載されている。これら文献は、本明細書に参照として援用されるものと考えられる。

【0004】

眼の中に埋め込まれるIOLの大多数は、標準的な単焦点IOLであり、あるいは少数派では、焦点が複数あるが固定されている多焦点IOLである。現在、これら固定焦点および多焦点IOLに加えて、自然な手段によって眼の焦点を合わせることでできるIOLのいくつかの有望なモデル（「A IOL」といわれる）が開発段階にある。これら全てのIOLおよびA IOLは、例えば眼の白内障を治療するため、あるいは、白内障がない場合の一般的な調節異常および屈折誤差を治療するために、人間の眼の自然な水晶体と置き換えられる。シフトする立体光学素子を有するA IOLおよびそれらの様々な形態は、国際公開第2005/084587号パンフレットおよび国際公開第2006/118452号パンフレットに説明されている。これら文献は、本明細書に参照として援用されるものと考えられる。

40

【0005】

50

シフトする立体光学素子を有する上記のような眼内レンズは、例えば、光学面の分布、その相互移動の程度、および光学設計の他の側面に応じて、好ましくない様々な可変の収差を生成しうる。例えば、ディオプトリが固定されたレンズを、調節する眼内レンズのシフトする2つの光学素子上に分布させることができるが、この素子が一旦シフトすると可変の非点収差およびコマ収差が生じる。以下に説明する本発明は、好ましくない眼自身の様々な可変収差の補正に加えて、このような好ましくないレンズ自身の収差を可変的に補正することができる。

【0006】

自然な手段（例えば眼の毛様筋）によって焦点合わせが推進される可変焦点距離を有するレンズを提供し、患者が眼鏡不要の生活を送れるようにすることが、明らかに望まれている。しかし人間の眼は、毛様筋の収縮/弛緩で焦点をずらすだけではなく、焦点をずらすことに伴って変化する高次の多数の可変収差を示す。これらの収差は、「調節により誘発される可変収差（調節誘発性可変収差）」と定義することができ、眼の固定収差に追加されるものである。

10

【0007】

自然の眼の一定の眼球収差および低次の眼球収差は、眼科用レンズ（例えば、球面円柱オプティクスを有する眼鏡またはコンタクトレンズ）および角膜のレーザ治療などによって、首尾よく矯正することができる。調節誘発性可変収差は、よく研究されており、人間の視覚にとって非常に大きい重要性を有している。しかし、現在の眼科用レンズ（例えば、眼鏡、コンタクトレンズ、およびIOL）は、これらの可変収差に対処することができない。理想的なA I O Lは、焦点合わせ/焦点ずらしプロセス中にこれらの調節誘発性可変収差を補正しなければならない。後者のA I O Lは、焦点ずらしの項を補正することはできるが、光軸に沿って変動する球面上において他の収差を補正することは不可能であろう。

20

【0008】

このため本発明は、自然の眼によって生じる収差を矯正することが可能な手段、および眼内レンズそのものによって生じる可変収差を矯正することが可能な手段を、単独でまたは組み合わせて提供する。

【0009】

本願では、我々は、高次の収差の可変補正を可変焦点と組み合わせて実現する光学素子を導入および説明する。次数の異なる複数の収差の同時補正は、立体素子の形状を修正することによって達成される。A I O L用の可変レンズは、様々な高次の収差に同時に影響を与える可変補正器を含みうる。従ってこれらのA I O Lは、調節依存性の可変収差を補正する可変ゼルニケ補正器を有するA I O Lであると定義することができる。

30

【0010】

角膜は、調節依存性の収差が生じる主な部分の1つであると考えられる。角膜の形状は、主に眼の全体的な形状の変化に起因して変化し、部分的には調節プロセス中の流圧の上昇に起因して変化する。この形状変化は、角膜トポグラフィーによって測定することができる。このために、様々な測定装置が市販されている。これらの角膜トポグラフィーは、調節プロセス中に、角膜形状の変化を測定し、かつ、明確にすることができる。角膜形状における調節誘発性の変化は、自然のレンズの形状の変化には関連していないため、上記測定は白内障および老眼にも行うことができる。調節プロセス中に角膜表面によって誘発される収差は、測定された角膜形状から推論することができる。これらのデータを用いて、焦点ずれと共に角膜によって生じる高次の収差の補正を可能にする眼内レンズの構造を決定することができる。この眼内レンズは、少なくとも2つの屈折素子を含んでいる。これらの屈折素子は、可変焦点効果のための立体項（三次項）と、ゼルニケ収差項の補正を行う高次の（ゼルニケ多項式の不定積分の）項とを組み合わせたプロファイルを有している。

40

【0011】

本明細書は、眼の収差の可変制御における様々な概念を導入および説明し、また、調節

50

誘発性の球面単色収差を可變的に補正するレンズ設計の現実的な一例を提供する。

【 0 0 1 2 】

我々は、V S I A タスクフォースによって提案された単一指標方式によって提供されたゼルニケ収差を参照する (L.N. Thibosら、および V S I A 規格タスクフォースメンバー、“Standards for Reporting the Optical Aberrations of Eyes,” OSA Trends in Optics and Photonics 35, Vision Science and its Applications, V. Lakshminarayanan, ed., [Optical Society of America, Washington, DC, 2000], pp. 232-244)。以下の表には、半径方向の次数が最大で $n = 4$ である多項式がまとめられている。

【 0 0 1 3 】

【表 1】

n	一般名	ゼルニケ項	数式
0	ピストン/バイアス	Z_0	1
1	チップ/チルト	Z_1 , チルト y Z_2 , チルト x	$2\rho \sin \vartheta$ $2\rho \cos \vartheta$
2	非点収差, 焦点ずれ	Z_3 , 非点収差 y Z_4 , 焦点ずれ Z_5 , 非点収差 x	$\sqrt{6}\rho^2 \sin 2\vartheta$ $\sqrt{3}(2\rho^2 - 1)$ $\sqrt{6}\rho^2 \cos 2\vartheta$
3	コマ, トレフオイル	Z_6 , トレフオイル y Z_7 , コマ y Z_8 , コマ x Z_9 , トレフオイル x	$\sqrt{8}\rho^3 \sin 3\vartheta$ $\sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho^2) \sin \vartheta$ $\sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho^2) \cos \vartheta$ $\sqrt{8}\rho^3 \cos 3\vartheta$
4	クワドラフオイル, 二次非点収差, 球面収差	Z_{10} , クワドラフオイル y Z_{11} , 二次非点収差 y Z_{12} , 球面収差 Z_{13} , 二次非点収差 x Z_{14} , クワドラフオイル x	$\sqrt{10}\rho^4 \sin 4\vartheta$ $\sqrt{10}(4\rho^4 - 3\rho^2) \sin 2\vartheta$ $\sqrt{5}(6\rho^4 - 6\rho^2 + 1)$ $\sqrt{10}(4\rho^4 - 3\rho^2) \cos 2\vartheta$ $\sqrt{10}\rho^4 \cos 4\vartheta$

この表は、多数の高次の多項式に拡張することができ、本願に概説されている原理は全てのゼルニケ収差に該当することに留意されたい。

【 0 0 1 4 】

二次収差の項 (すなわち焦点ずれおよび非点収差) は別として、人間の眼は、多数の高次の収差 (トレフオイル収差、コマ収差、球面収差など) を生じる。これらのうち、実際面では球面収差が最も深刻であり、この収差は眼の調節状態に従って変化するためによく記録されている。そのような調節誘発性可変収差の定量化の一例として、我々は、H. Chengらによる (A population study on changes in wave aberrations with accommodation, J. Vis. 3, 272-280, 2004) を参照する。この調査はまた、以下に説明する実施例に対して基本的なデータを提供した。

【 0 0 1 5 】

調節プロセス中、眼の様々な構成要素の光学パラメータは、眼の大きさおよび全体的な形状における変化と共に変化する。これらの変化は、調節プロセス中に個人によって減少または増加しうる可変収差を誘発しうる。例えば球面収差 (Z_{12}) は、波長 $0.83 \mu\text{m}$ で測定された、眼の 5 mm の瞳孔の 1 ディオプトリ (D) の調節に対して、約 0.06 波という収差の最大変化を示す。高次の視覚への寄与は、イメージング品質の顕著な劣化を生じさせうり、また一般的には固定値を有していると考えられる。従来の特注眼鏡は、

10

20

30

40

50

二次項の焦点ずれおよび非点収差のみしか補償することができない。

【0016】

高次の収差と焦点ずれとの同時補正を可能にするIOLは、瞳孔の位置および大きさに対して非感受的であるという固有の利点を有している。本願に記載されている立体光学素子に基づく可変IOLは、ゼルニケ収差項において次数が2よりも高い屈折面を利用した位相板または眼科用レンズの補正とは対照的に、瞳孔の位置および大きさに関わらず眼球収差の補正を行う。

【0017】

眼は、その光学特性を決定するいくつかの屈折面を有している。これらのうちで最も重要なのは、角膜の前面および後面、そして水晶体の前面および後面である。調節中、角膜の形状は、急勾配および平坦な角膜曲率に変化する。さらに、水晶体の形状変化も眼球収差の変化に寄与する。IOLの一例では、IOLの埋め込み前に眼から水晶体が除去されるため、角膜が調節誘発性の収差の主な要因である。今日まで、これらの可変収差を現実的に補正することのできる特性を有する、あるいは有する実現性のある、IOL設計は存在していない。本願では、シフトする2つの立体光学素子を有するA IOL内において、異なる次数の複数の単色収差をどのように同時補正しうるのであるのかについて説明する。従って、本願に記載されているような形状を有する2つのシフトする素子からなる光学を有するIOLは、眼の調節を回復するために可変焦点/焦点ずらしを提供するのみならず、調節プロセスによって誘発される収差である高次の眼球収差を可変補正する。

【0018】

そのような2つの立体光学素子を有するレンズは、立体素子が形成される基本式に加えて追加的な面または変化なしに、非点収差を補正することができることに留意されたい。これら素子をy方向にシフトすることによって、非点収差が生じる。x(焦点合わせ/焦点ずれ)方向およびy(非点収差)方向へのシフトの正確な組み合わせを選択することによって、非点収差のレベルおよび焦点合わせ/焦点ずれを同時に制御することができる。A IOLの調節状態によって変化する非点収差を正確に制御するx方向における対称な線と線との間における角度でアセンブルされたこれらの素子を有する立体光学素子を有するA IOLは、大きな困難なく設計することができる。今日では、外科医による正確な角度での埋め込みは一般的に行われており、固定の非点収差補正因子を有する固定の焦点合わせIOLのために開発された。

【0019】

人間の眼の調節によって、眼球収差係数が変化する。個々の全てのゼルニケ項の中でも、球面収差 Z_{12} が調節に伴って伴う最大の変化を示す(Chengら、2004年)。球面収差の変化は常に負である一方、他のゼルニケ収差係数は変化の好ましい方向を有しておらず、人間の眼の個々の特徴によって調整される。

【0020】

本発明は、可変焦点効果および高次の収差の可変補正を有しており、少なくとも2つの可動光学素子から成る、眼内眼科用レンズによって、調節依存性の角膜収差を同時補正する方法を提供することを目的とする。

【0021】

本発明は、可変屈折力を有する調節性眼内レンズを提供する。当該調節性眼内レンズは、少なくとも2つの光学素子を含んでおり、当該少なくとも2つの光学素子のうちの少なくとも一方は、他方に対して、光軸に垂直な方向に可動であり、上記光学素子は、上記光学素子の異なる相対位置において異なる屈折力を有するレンズとなるような形状を有しており、上記レンズの上記光学素子のうちの少なくとも2つは、少なくとも1つの追加の光学補正面を含んでおり、当該補正面は、1つまたは1つ以上の光学収差の同時可変補正のために適応しており、補正の程度は、上記光学素子の相対位置に依存している。

【0022】

調節誘発性の光学収差を同時可変補正するためのシフトする立体光学素子を有するA IOLの光学素子の少なくとも1つの光学面に、ゼルニケ補正面が追加される。当該ゼルニ

10

20

30

40

50

ケ補正の程度は、両光学素子の相対位置に依存する。

【 0 0 2 3 】

本発明の特徴は、次数の異なる複数の収差の補正によく適している。しかしこの光学設計は、調節プロセス中に角膜によって生じる高次の収差と一緒に、焦点ずれを適応的に補正する調節性眼内レンズ（A I O L）内での実施に特に適している。この結果、本発明の好ましい一実施形態は、人間の眼の残りの部分の高次の収差の可変焦点合わせおよび可変補正に適応されたレンズを提供する。

【 0 0 2 4 】

原理上、本発明は、任意の次数の単一収差を補正するように適応されているが、好ましい一実施形態では、二次以上の複数の収差を同時に補正して、眼科用レンズの可変焦点力を補完するように補正面を適応することができる。我々はさらに、次数の異なる複数の光学収差の同時可変補正を提供する追加の光学面について説明する。当該光学面の補正貢献度は、光学素子のシフトの程度に依存する。

【 0 0 2 5 】

これに関する重要な文献は、米国特許第 3, 583, 790 号明細書であるが、当該文献は、特定の「五次」の光学面を用いて補正される球面収差の特定の一事例についてのみ説明している。米国特許第 3, 583, 790 号明細書は、米国特許第 3, 350, 294 号明細書による可変焦点力のための 2 つの立体屈折プレートについて説明しており、従って、球面収差に対する補正が追加される次式

【 0 0 2 6 】

【数 2】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right)$$

によって説明される。球面収差の項は、次のように、ゼロではない五次の項を含んでいる。

【 0 0 2 7 】

【数 3】

$$x = ay + cy^3 + 3cyz^2 + gy^5 + \frac{10}{3}gy^3z^2 + 5gyz^4 \dots(1)$$

簡潔にするため、式 (1) は $x = S (y , z)$ に書き換えることができる。ここで、 x 、 y 、 z はデカルト座標である。

【 0 0 2 8 】

屈折素子が y だけシフトされると仮定すると、光線の光路 L は $\{ y, z \}$ において第 1 の素子と交差して以下ようになる。

【 0 0 2 9 】

【数 4】

$$L = nh_1 + nS(y - \Delta y, z) + h_0 + nh_2 - nS(y + \Delta y, z) \dots(2)$$

ここで、 n はプレート材料の屈折率、 h_1 および h_2 は屈折プレートの中心の厚さ、 h_0 はこれらの中心の距離、そして S は式 (1) を指す。

y について線形の項のみを残すと、式 (2) は以下になる。

【 0 0 3 0 】

10

20

30

40

【数5】

$$L = (nh_1 + h_0 + nh_2) - 2an\Delta y - 6cn[y^2 + z^2]\Delta y - 10gn\{y^2 + z^2\}^2\Delta y \dots(3)$$

光路差 (OPD : optical path difference) に関して、プレートの相互シフト y に起因する光線の OPD は以下ようになる :

【0031】

【数6】

$$OPD = (n-1)(h_1 + h_2) - 2a(n-1)\Delta y - 6c(n-1)[y^2 + z^2]\Delta y - 10g(n-1)\{y^2 + z^2\}^2\Delta y \dots(4)$$

10

式(4)から、本発明の光学系は、その複数の部品が側方に距離 y を移動した場合、以下を生成すると結論付けることができる。

1. 第1の項、 $(n-1)(h_1 + h_2)$: 定数因数 ;
2. 第2の項、 $2a(n-1)y$: 位相に敏感なデバイス (例えば干渉計) を除き光学系において利用されそうにない、線形ピストン位相シフト (ゼルニケ項 Z_0 、表を参照) ;
3. 第3の項、 $6c(n-1)[y^2 + z^2]$: y : 変動する倍率を有する放物線レンズ Z_4 。本実施形態では、レンズの焦点距離は $F = [12c(n-1)y]^{-1}$ であり、 $A = 3c$ であるときに米国特許第 3,305,294 号に記載のものと一致する ;
4. 第4の項、 $10g(n-1)\{y^2 + z^2\}^2$: y : 三次球面収差である二次の項 Z_{12} は、 y と共に線形に変化する。球面収差の振幅は : $A_{12} = 10g(n-1)/\lambda$ (ここで、 λ は光の波長) である。

20

【0032】

式(4)内の放物線レンズ Z_4 および二次の項 Z_{12} は、 y と共に線形に変化すると結論付けることができる。従って、焦点ずれおよび球面収差の振幅は本質的に相関する。従って、式(1)によって与えられたようなタンデム対の五次位相板を用いた光学素子は、米国特許第 3,350,294 号に記載されているような2つの素子から成る可変焦点アルバレスレンズの狭いサブクラスであり、この光学系は y に線形に従う球面収差をさらに生成する可変焦点レンズである。このような光学素子は、焦点ずれおよび球面収差が同時に変化させられる必要のある、非常に限定的な応用の範囲を有している。

30

【0033】

本願では、特定の1つの収差の可変補正、または特定の重みを有する多数の収差の同時補正について説明する。収差振幅は側方へのシフト x と共に変化し、その相対的重みは必要に応じて調節可能である。

【0034】

球面収差の可変補正の一実施例について、以下に説明する。

【0035】

実験的な研究によって、人間の眼の球面収差の調節と振幅との間にほぼ線形の依存性があることが示された。球面収差の変化は調節において常に負であり、眼の $1-D$ の調節において平均で 0.06 波減少する。これによって、近見を深刻に歪める、 $4-D$ 調節において 0.3 波の球面収差が生じうる。しかし、この調節誘発性の球面収差は、調節中に生じる眼の機械的変形に応じて、眼の光学部品 (すなわち、角膜、レンズ、および未知の成分を有するガラス体) によって生成される可能性がある。調節誘発性の球面収差が、近見における鮮明さに必要とされる焦点ずれと共に補正される場合、近見は顕著に改善されるものと期待される。

40

【0036】

さらに別の好ましい実施形態は、レンズが、調節に起因する角膜形状の変化によって生じる人間の眼の可変光学収差を補正するように適応しているという特徴を提供する。

【0037】

50

高次の収差（例えば、コマ、トレフォイルなど）も眼の調節の程度に依存しうる点について留意されたい。球面収差の可変補正は本願の主題であり、発展した光学および数学的原理を説明するために用いられる。しかし、同様の光学原理を基本的に全ての高次の収差に適用することができ、当業者であれば、本願において球面収差を一実施例として用いて説明されている光学および数学的原理も、さらに高次の調節誘発性の光学収差を補正するために同様に適用可能であるとの結論に至るであろう。まず、2つの素子から成る可変焦点レンズを用意することによって、固定的な方法で収差を補正することができる。我々は、そのような固定補正のための一実施例としてA I O Lを用いる。

【0038】

調節性光学素子の面は、典型的には、次式によって特定されるアルバレス可変焦点レンズの原理（米国特許第3,305,294号）に従った形状をしている。

【0039】

【数7】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right)$$

ここで、定数Aは、レンズをA I O Lとして使用するために調節される。人間の眼の基本的な屈折を補正するために、この調節面に固定放物線レンズを追加することができる。例えば、このようなA I O Lは、実際面では、例えば、調節のために0～4Dの調節力を追加することのできる固定された+22Dの屈折力を提供するように設計することができる。眼の基本的な屈折は、

【0040】

【数8】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right)$$

によって与えられるサグ（落ちこみ）の固定屈折力の放物線レンズで補正することができる。追加の放物線レンズの焦点力は、 $2C(n-1)$ である。ここで、nは材料の屈折率である。一般的な場合には、眼の角膜収差は、次式に従った形状を有する可変I O Lの屈折面によって補正することができる：

【0041】

【数9】

$$z = S(x, y) = S_A(x, y) + \frac{r^2}{R\{1 + \sqrt{1 - (1+k) \times (r/R)^2}\}} + a_1 r^4 + a_2 r^6 + K + a_n r^{(2n+2)} \dots (5)$$

$$\text{ここで、 } r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

ここで、Rは曲率半径であり、kは二次曲面のタイプを特定する円錐パラメータであり、 a_n は $(2n+2)$ 次多項式係数であり、大抵の場合はn=2である。この式における円錐定数および多項式級数の同時使用はいくらか冗長であるが、レンズの動作には何の影響もない。このような追加の面によって固定値が補正され、この補正はレンズの可変焦点ずれには依存していない。この方法は、（標準的、および固定焦点合わせの）I O Lにおける収差の固定補正のために、米国特許第6,609,793号および米国特許第6,705,729号に記載されている原理を拡大するものである。これら両文献は、そのような固定補正のいくつかの形態、特に単一の単焦点I O Lの補正に対する $a_1 r^4 + a_2 r^6$ 項について記載している。本願では、我々は、補正の程度は焦点ずれと共に変化する追加の可変ゼルニケ項を有する可変焦点レンズについて説明する。相補的な構造の場合、ゼルニケ多項式の項で表される可変三次および高次の収差およびそれらの線形組み

10

20

30

40

50

合わせが生成され、その振幅は側方へのシフト x と共に線形に変化する。基底サグ関数 $S(x, y)$ は、以下のように使用されるべきである：

【0042】
【数10】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right) + \frac{1}{2} \int \sum_q C_q Z_q(x, y) dx \quad \dots(6)$$

ここで、 P は定数（本実施例では $1/2$ ）であり、 C_q は q 次のゼルニケ収差項に対応するモード係数である。素子が、屈折率 n の材料から形成されていると仮定すると、上述した2つの素子から成る相補的な形状内の光路 L は、以下によって与えられる。

10

【0043】
【数11】

$$L = nh_1 + nS(x - \Delta x, y) + h_0 + nh_2 - nS(x + \Delta x, y) \quad \dots(7)$$

この式では、定数 h_1 および h_2 が各屈折素子の中心の厚さを決定し、 h_0 は各素子間の中心距離である。単純化後、 L の式は以下となる。

【0044】
【数12】

20

$$L = (nh_1 + h_0 + nh_2) - An(y^2 + z^2)\Delta x - n\Delta x \sum_q C_q Z_q(x, y) + nR(x, y, \Delta x) \quad \dots(8)$$

また、対応する光路差（OPD）は以下ようになる。

【0045】
【数13】

$$OPD = (n-1)(h_1 + h_2) - A(n-1)(y^2 + z^2)\Delta x - (n-1)\Delta x \sum_q C_q Z_q(x, y) + (n-1)R(x, y, \Delta x) \quad \dots(9)$$

【0046】

30

従って、導かれた上記式から分かるように、2つの素子から成る光学系の光学部分がそれぞれ x だけ側方に移動すると、当該光学系は以下ようになる。

1. 第1の項、 $(n-1)(h_1 + h_2)$ ：定数ピストン Z_0 ；
2. 第2の項、 $A(n-1)(y^2 + z^2)x$ ：可変焦点放物線レンズ Z_4 。レンズの焦点距離は $F = [2A(n-1)x]^{-1}$ ；
3. 第3の項、

【0047】
【数14】

$$(n-1)\Delta x \sum_q C_q Z_q(x, y)$$

40

：焦点ずれ、または x と共に線形に変化する振幅（すなわち $(n-1)x C_q$ に対応する収差の新しい振幅）を有する項の線形組み合わせを含む、全ての収差項 Z_n 。焦点ずれ項 C_4 によって生成される追加の屈折力は、

【0048】
【数15】

$$F^{-1} = 2\sqrt{3}C_4(n-1)\Delta x$$

であり、これはディオプトリで表される。

50

4. 最後の項、 $(n-1)R(x, y, x)$: 高次のシフト依存性の寄与 x^3 、 x^5 、等の寄与。 $x \ll 1$ である場合、これらの寄与は無視できるほど小さく、実用目的のために省略することができる。

【0049】

従って、上記のように与えられた基底関数 $S(x, y)$ に従って形成された一对の屈折素子は、焦点ずれ/調節と共に特定の光学収差の線形変化を提供し、一般的に白内障および老眼の治療および眼鏡の代わりに A I O L 内において使用される。A I O L に適用される場合、ゼルニケ多項式の項で表される眼球収差は、調節依存性であり、主に角膜形状の変化に関連しているため、例えば、上述のように $S(x, y)$ となるように形成される追加の屈折面を有する2つの素子から成る調節性 I O L を用いることによって、焦点ずれと同時に補正することができる。そのような A I O L は、焦点が側方へのシフト x と共に線形変化する可変焦点ずれを提供する。上記のように特定されるプロファイル $S(x, y)$ を有する2つの屈折素子が、光軸に対して垂直な反対方向に x だけ相互シフトした結果、焦点力 (F^{-1}) が次式によって与えられるように線形変化する。

【0050】

【数16】

$$F^{-1} = 2A(n-1)\Delta x + 2\sqrt{3}C_4(n-1)\Delta x \cdots (10)$$

ここで、 A はアルバレス項の振幅であり、 C_4 は追加の焦点ずれの大きさである。

【0051】

収差項のモード振幅は、シフト x と共に線形変化する。 $S(x, y)$ を有するように形成された2つの屈折素子が、光軸に対して垂直な反対方向に x だけ相互シフトした結果、 q 次のゼルニケ収差項 (焦点ずれは除く、すなわち $q \geq 4$) が線形変化する。新しいモード振幅 C'_q は以下ようになる：

【0052】

【数17】

$$C'_q = (n-1)\Delta x C_q \cdots (11)$$

焦点ずれの補正の結果、複数の収差の線形組み合わせが同時に変化する。上記のように特定されるプロファイル $S(x, y)$ を有する2つの屈折素子が、光軸に対して垂直な反対方向に x だけ相互シフトした結果、複数のゼルニケ収差項の組み合わせが線形変化する。

【0053】

【数18】

$$Z = \sum_q C'_q Z_q(x, y) \cdots (12)$$

ここで、新しいモード振幅は、 $C'_q = (n-1) \times C_q$ である。単色収差の相対的重みは、対応する係数 C_q の選択によって必要に応じて調節することができる。

【0054】

一実施例として、上述した WO - A - 2005 / 084587 および関連特許文献に記載されているような、2つの素子から成る可変レンズを用いることによる、上述の原理に準拠した焦点ずれおよび球面収差の同時補正は、以下のように達成することができる：焦点ずれおよび球面収差項のみを保持し、上記のように特定されるサグ関数 $S(x, y)$ は以下の形をとる：

【0055】

10

20

30

40

【数 19】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right) + \frac{B}{2} \int Z_{12}(x, y) dx =$$

$$= \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right) + \frac{B}{2} \sqrt{5} \left\{ x - 2x^3 - 6y^2x + \frac{6}{5}x^5 + 4y^2x^3 + 6y^4x \right\} \quad \dots(13)$$

ここで、Bは球面収差 Z_{12} の係数である。光路差は以下の通りとなる：

【0056】

【数20】

$$OPD = (n-1)(h_1 + h_2) - A(n-1)(y^2 + z^2)\Delta x - B(n-1)\Delta x Z_{12}(x, y) + (n-1)R(x, y, \Delta x) \quad \dots(14)$$

ここで、残りのシフト依存性の項Rは以下によって与えられる：

【0057】

【数21】

$$R(x, y, \Delta x) = -\left\{ A/3 + 4B\sqrt{5}y^2 - 2B\sqrt{5} + 12B\sqrt{5}x^2 \right\} \Delta x^3 - 6B\sqrt{5}\Delta x^5 / 5 \quad \dots(15)$$

式(15)の最初の部分は、振幅

【0058】

【数22】

$$4B\sqrt{5}\Delta x^3 \quad \text{および} \quad -4B\sqrt{5}\Delta x^5$$

をそれぞれ有する焦点ずれ (Z_4) と非点収差 (Z_5) との組み合わせであり、最後の項はピストン (Z_0) である。

【0059】

Chengらによって、眼の +1-D 調節で、平均して 0.06 までの波の負の球面収差が生成され、各素子のサグ $S(x, y)$ によって上記のように特定される 2 つの素子から成る調節性レンズを用いて球面収差を補正することができるという実験結果が得られた。+1-D の調節は、側方への正のシフト $x_0 = [2A(n-1)]^{-1}$ を必要とする。このシフトでは、球面収差は -0.06 波だけ変化する。言い換えると：

【0060】

【数23】

$$\Delta x_0 = [2A(n-1)]^{-1} \quad \text{そして最終的に} \quad B \cong -0.114A\lambda \quad \dots(16)$$

ここで、 λ は光の波長を表す。

【0061】

焦点ずれおよび球面収差の両方を可変補正することのできる屈折素子の形状のための最後の式は、以下の通りとなる。

【0062】

【数24】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right) + W 2A\lambda \sqrt{5} \left\{ x - 2x^3 - 6y^2x + \frac{6}{5}x^5 + 4y^2x^3 + 6y^4x \right\} \quad \dots(17)$$

Wは、1-D 調節で波長単位 (波) で測定された球面収差の程度、すなわち上記実施例

10

20

30

40

50

における $W - 0.06$ 波を示している。本願に記載されている全ての実施形態では、従来のレンズ設計に加えてGRINおよびフレネル設計も可能である。GRINおよびフレネル設計は、従来と比較して大幅に薄くレンズを製造することができる。また、フレネル設計およびGRIN設計によって色収差の程度を低減することができ、光学素子の面全体における光学的品質の分布に関して代替を提供する。

【0063】

同様に、そのような可変補正のさらなる実施例として、焦点ずれおよび非点収差の両方を可変補正することのできる屈折素子の形状のための最後の式は、以下の通りとなる。

【0064】

【数25】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right) + B \left\{ \frac{x^3}{3} - xy \right\}$$

10

また、焦点ずれおよびコマの両方を可変補正することのできる屈折素子の形状のための最後の式は、以下の通りとなる。

【0065】

【数26】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right) + C \left\{ \frac{3}{4}x^4 + \frac{3}{2}x^2y^2 - x^2 \right\}$$

20

実際には、収差焦点ずれ、球面収差、非点収差、およびコマの補正によって、実質的に収差のない視覚を持つ眼を提供することに留意されたい。しかし、必要であれば、全ての可変補正の補正式は、既に概説した枠組みから導くことができる。

【0066】

本発明は、上述のようなIOLを提供するだけでなく、そのようなレンズを適用する方法を提供する。この点において、問題となっている人の眼に適応された補正面を提供するためには、眼の収差を測定する必要があることに留意されたい。収差が測定された後、補正面を計算しなければならず、続いて光学素子を形成しなければならない。この光学素子の形成は、好ましくは、精密旋削などの機械処理によって行われる。

30

【0067】

図1は、本願に記載の2つの素子から成るレンズと共に実施された、Pomerantzeffによって開発された広角モデルの眼 (Wide angle optical model of the human eye, Ann. Ophthalmol. 3, 815-819, 1971; Wide-angle optical model of the eye, in Advances in Diagnostic Visual Optics, Breinin and Siegel, eds., Springer-Verlag, Berlin, 1983) の構成部分の概略図である。上記眼のPomerantzeffモデルは、ここに提示されている実施例を生成するための計算に用いられた。

【0068】

図2は、調節(焦点合わせ/焦点ずれ)のための2つの光学素子上の2つの立体面、固定基本焦点のための前方素子上のみの1つの放物線レンズ、および焦点距離の変化に伴って生じる球面収差の増加を補正するための両素子上の追加の五次面を有するA I O Lの概略図である。

40

【0069】

図3は、単色 ($\lambda = 0.543 \mu\text{m}$) での、3mmの瞳孔およびパラメータ: $A_1 = 0.0124 \text{ mm}^{-2}$ 、 $R = 7.0181 \text{ mm}$ 、 $h_1 = 1.0316 \text{ mm}$ 、 $A_2 = 0.0153 \text{ mm}^{-2}$ 、 $h_2 = 0.358 \text{ mm}$ 、 $Q_1 = Q_2 = 0 \text{ mm}^{-4}$ を有する2つの素子から成る可変焦点レンズを有するモデル眼の矢状軸上および接線軸上のMTFの平均を示している。~6m(知覚試験において無限遠と等しい)および25cm(4D調節)に調整された眼のシミュレーションされたMTFが、黒丸および三角でそれぞれ示されている。こ

50

れら2つの立体光学素子を有するA I O Lは、調節によって誘発される球面収差がない場合に、眼の近似回折限界性能を提供する。

【0070】

図4は、調節によって誘発される球面収差の、その補正をしない場合における眼の性能への影響を示している。本実施例では、1D調節毎に-0.03波の球面収差が生成される。25cm、50cm、および1mで調節された2つの立体素子からなるレンズを有するA I O Lが埋め込まれたモデル眼に対し、これに対応する単色軸上M T Fが提示されている。近距離における視覚が劣化し、これによって鮮明さ、コントラスト、および詳細が失われる。

【0071】

図5は、立体光学素子に対する球面収差の可変補正のためのさらなる五次面に対して、調節によって誘発された球面収差が補正された結果である。本実施例では、求められた五次補正パラメータは $Q_1 = Q_2 = 1.313 \times 10^{-4} \text{ mm}^{-4}$ であった。25cm、50cmおよび1mに調節された眼に対して、調節と同時に球面収差を補正する2つの素子から成る眼科用レンズを有するモデル眼の単色軸上軸M T Fが示されている。

【0072】

図6は、可変焦点合わせ/焦点ずれおよび球面収差の可変補正に伴ってシフトする立体素子を有するA I O Lの調節状態と、球面収差の補正の程度との関係を示すグラフである。実際には、角膜の球面収差は様々な角膜トポグラフィ測定装置によって測定することができ、A I O L設計はそれに従って適応させることができ、A I O Lは精密旋削技術によって製造することができることに留意されたい。複数の光学素子を互いに0.18mmシフトすることによって、~1Dの調節が得られると共に球面収差項が~0.03波低下することが示されている。このレンズは、眼に焦点合わせ/焦点ずれ機能を提供し、また調節によって誘発される球面収差を完全に補正する。

【0073】

本実施例では、レンズ(図1に示されている眼内レンズ、および別の図2に示されているレンズ)は、距離d(本実施例では0.5mm)で互いに離間された2つの屈折部から成り、(光軸 Z_1 を有する)前部は次式に従って形成されている:

【0074】

【数27】

$$z_1 = S_1(x_1, y_1) = h_1 - \frac{r^2}{R} \frac{1}{1 + \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}}} - A_1 \left\{ x_1 y_1^2 + \frac{x_1^3}{3} \right\} - \frac{Q_1}{2} \int Z_{12}(x', y_1) dx' \quad \dots(18)$$

ここで、

【0075】

【数28】

$$r = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$$

Rは曲率半径; A_1 はアルパレス項の振幅; Q_1 はx項内の5次の振幅; h_1 は素子の中心の厚さである。本実施例では、 $A_1 = 0.012 \text{ mm}^{-2}$ 、 $R = 6.866 \text{ mm}$ 、 $h_1 = 1 \text{ mm}$ である。前方素子の裏(内)側は平面である。上記式の様々な項についての説明は、本願における前述の説明を参照されたい。

【0076】

第2の後方の屈折素子は、次式によって与えられるプロファイルを有している:

【0077】

10

20

30

40

【数 2 9】

$$z_2 = S_2(x_2, y_2) = h_2 + A_2 \left\{ x_2 y_2^2 + \frac{x_2^3}{3} \right\} + \frac{Q_2}{2} \int_{x_1}^{x_2} Z_{12}(x', y_1) dx' \quad \dots(19)$$

ここで、 A_2 はアルバレス項の振幅； Q_2 は x 項内の 5 次項の振幅； h_2 は素子の中心の厚さである。パラメータは： $A_2 = 0.014308 \text{ mm}^{-2}$ 、 $h_2 = 0.35 \text{ mm}$ であった。内側は平面である。両方の素子において、 $Q_1 = Q_2 = -7.1 \times 10^{-5} \text{ mm}^{-4}$ である。上記式の様々な項についての説明は、本願における前述の説明を参照されたい。

10

【0078】

説明されているレンズは、屈折率 $n = 1.46$ の材料から成り、調整が行われない場合（すなわち $x = 0$ ）に水溶液（屈折率 $n = 1.337$ ）内において約 $+18 \text{ D}$ の焦点合わせ力を提供し、焦点ずれおよび球面収差の変化を可能にする。

【0079】

1 つのゼルニケ項または項の組み合わせを補正することによって、残余項（主に三次項またはより複雑な項）が生じる。報告されている設計および光学原理の不都合点は、多数の収差の同時補正または二次よりも高い収差（例えばトレフォイル、コマ、および球面収差など）の補正において、以下の基本関数を有する 2 つの成分から成る光学系を用いる点である：

20

【0080】

【数 3 0】

$$z = S(x, y) = \frac{A}{2} \left(\frac{x^3}{3} + xy^2 \right) + \frac{1}{2} \int_q C_q Z_q(x, y) dx \quad \dots(18)$$

残余項の貢献は、次式によって与えられるように非線形に増加する：

【0081】

【数 3 1】

$$R(x, y, \Delta x) = \sum_{p=1} \frac{\Delta x^{2p+1}}{(2p+1)!} \sum_q C_q \frac{\partial^{(2p+1)} Z_q(x, y)}{\partial x^{(2p+1)}} \quad \dots(19)$$

30

上記式によると、補正の限界は、（例えば人間の眼の網膜に）生じる画像の劣化に関連して決定することができる。これらの限界に達したかどうかは、収差の可変補正を行う A I O L のアプリケーションおよび要件に依存する。

【0082】

上記のように特定されるプロファイル $S(x, y)$ を有する 2 つの屈折素子が、光軸に対して垂直な反対方向に x だけ相互シフトすることによって、ゼルニケ多項式の項で表され、 x に伴って線形変化する、単色収差 Z_q を別としては、二次収差（すなわち焦点ずれ Z_4 および非点収差 Z_3 、 Z_5 ）に対して $R = 0$ 、かつ、高次の収差に対して $R = 0$ である式（19）によって決定される、非線形に変化する上記残余項が生成される。多くの場合、側方へのシフトは光学系の開口（上記式における単位）よりも小さいため、 $x \ll 1$ であり、また残余項 $R \sim O(x^3)$ は無視できるほど小さい。実際、この残余項は A I O L の全体的な光学品質を劣化させるため、ゼルニケ補正と残余項との間に妥当な折り合いを見出してゼルニケ収差の補正を最大限にする一方で、A I O L の全体的な光学性能を劣化させないように残余項を低減するように試みなければならない。そのような均衡の詳細は、A I O L 設計に依存する。

40

【0083】

本明細書および特許請求の範囲において使用されている、光学素子の「光学面」という

50

表現は、実際の面の形状を指しているが、「光学面」の従来の定義に加えて、その「光学特性」および生じる「光学効果」も含んでいる。通常、レンズ面は、モデル関数によって形成される平滑かつ均質な面であり、例えば近代的かつ高度な精密切削技術を用いて製造される。これによって、現在では様々な、多くの場合は特注の、IOLおよびコンタクトレンズが製造されている。

【0084】

現在の技術では、例えば、屈折率分布 (gradient index : GRIN) 光学素子または「平坦な」性質を有するフレネル光学設計を用いることによって、同様の光学特性を達成することができる。本願において説明されている光学モデルによって示唆されているようなA I O Lのための光学特性を達成することのできる他の光技術も、本願の一部であると見なされる。

10

【図面の簡単な説明】

【0085】

【図1】本願に記載の2つの素子から成るレンズと共に実施された、Pomerantzeffによって開発された広角モデルの眼の構成部分の概略図である。

【図2】調節 (焦点合わせ / 焦点ずれ) のための2つの光学素子上の2つの立体面、固定基本焦点のための前方素子上のみの1つの放物線レンズ、および焦点距離の変化に伴って生じる球面収差の増加を補正するための両素子上の追加の五次面を有するA I O Lの概略図である。

【図3】単色 ($\lambda = 0.543 \mu\text{m}$) での、3mmの瞳孔およびパラメータ: $A_1 = 0.0124 \text{ mm}^{-2}$ 、 $R = 7.0181 \text{ mm}$ 、 $h_1 = 1.0316 \text{ mm}$ 、 $A_2 = 0.0153 \text{ mm}^{-2}$ 、 $h_2 = 0.358 \text{ mm}$ 、 $Q_1 = Q_2 = 0 \text{ mm}^{-4}$ を有する2つの素子から成る可変焦点レンズを有するモデル眼の矢状軸上および接線軸上のMTFの平均を示している。

20

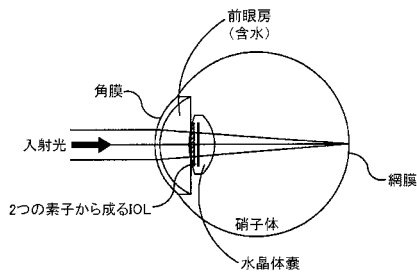
【図4】調節によって誘発される球面収差の、その補正をしない場合における眼の性能への影響を示している。

【図5】立体光学素子に対する球面収差の可変補正のためのさらなる五次面に対して、調節によって誘発された球面収差が補正された結果である。

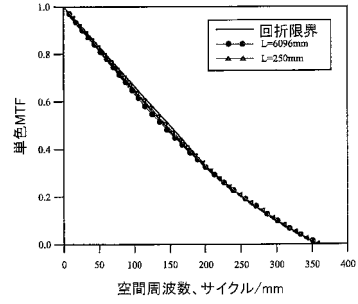
【図6】可変焦点合わせ / 焦点ずれおよび球面収差の可変補正に伴ってシフトする立体素子を有するA I O Lの調節状態と、球面収差の補正の程度との関係を示すグラフである。

30

【 図 1 】



【 図 3 】



【 図 2 】

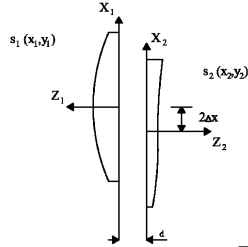
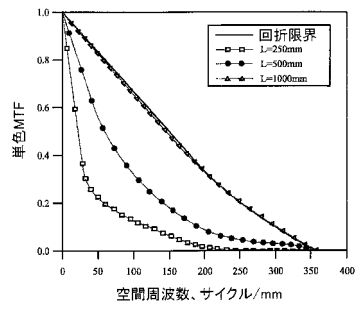
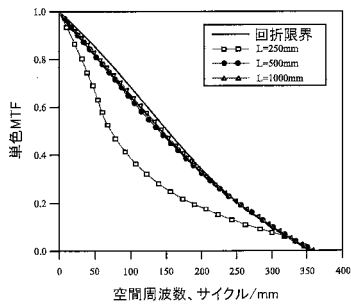


FIG. 2

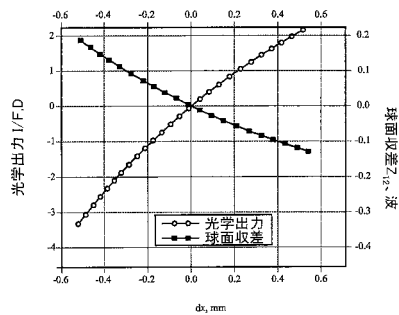
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

審査官 川島 徹

- (56)参考文献 国際公開第2005/084587(WO, A2)
国際公開第2006/025726(WO, A1)
国際公開第2006/050171(WO, A2)
国際公開第2006/118452(WO, A1)
国際公開第2006/127173(WO, A2)
米国特許第03305294(US, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61F 2/16