(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5438036号
(P5438036)
(45)発行日　平成26年3月12日(2014.3.12)　(24)登録日　平成25年12月20日(2013.12.20)

(51)Int.Cl.　F I
G02C 13/00 (2006.01)　G02C 13/00

請求項の数 7　(全 36 頁)

(21)出願番号	特願2010-548570 (P2010-548570)
(86)(22)出願日	平成22年1月29日 (2010.1.29)
(86)国際出願番号	PCT/JP2010/051266
(87)国際公開番号	WO2010/087450
(87)国際公開日	平成22年8月5日 (2010.8.5)
審査請求日	平成24年10月30日 (2012.10.30)
(31)優先権主張番号	特願2009-20805 (P2009-20805)
(32)優先日	平成21年1月30日 (2009.1.30)
(33)優先権主張国	日本国(JP)

(73)特許権者　000113263
ＨＯＹＡ株式会社
東京都新宿区中落合２丁目７番５号
(74)代理人　100078880
弁理士　松岡　修平
(74)代理人　100169856
弁理士　尾山　栄啓
(72)発明者　山梶　哲馬
東京都新宿区中落合２丁目７番５号　ＨＯＹＡ株式会社内

審査官　藤岡　善行

(56)参考文献　特開２００７－１０１９１５（ＪＰ，Ａ）

最終頁に続く

(54)【発明の名称】眼鏡レンズの評価方法、眼鏡レンズの設計方法、及び眼鏡レンズの製造方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
原点が両眼球の回転中心の中点にあり、対象が前記原点からの視方向により規定される座標系を用いて、前記対象、左右の眼鏡レンズ及び前記両眼球を有する光学システムを設定するステップと、
前記左右の眼鏡レンズの設計基準点を通過後の注視線の交点である、対象の固視点を視方向とする注視線で輻輳角基準値を計算するステップと、
任意の視方向の対象評価点に至る左右の前記眼鏡レンズを通る注視線で輻輳角を計算し、前記輻輳角と前記輻輳角基準値との差から輻輳収差を算出するステップと、
前記輻輳収差を用いて前記眼鏡レンズの評価を行うステップと、
を含む、
眼鏡レンズの評価方法。
【請求項２】
前記眼鏡レンズが単焦点眼鏡レンズである場合に、前記原点を中心として、左右眼球回転中心から左右設計基準点を通る注視線の交点と前記原点との間の距離を半径とする半球上の位置に、前記対象を設定する、
請求項１に記載の眼鏡レンズの評価方法。
【請求項３】
前記眼鏡レンズが累進屈折力レンズである場合に、前記原点を中心として、左右眼球回転中心から遠用部設計基準点を通る注視線の交点と前記原点との距離を半径とする半球上

の位置に、前記対象を設定する、
請求項１に記載の眼鏡レンズの評価方法。
【請求項４】
前記輻輳収差の値について、感覚性融像、運動性融像の少なくともいずれかの閾値により評価を行う、
請求項１に記載の眼鏡レンズの評価方法。
【請求項５】
原点が両眼球の回転中心の中点にあり、対象が前記原点からの視方向により規定される座標系を用いて、前記対象、左右の眼鏡レンズ及び前記両眼球を有する光学システムを設定するステップと、
前記左右の眼鏡レンズの設計基準点を通過後の注視線の交点である対象の固視点を視方向とする注視線で輻輳角基準値を計算するステップと、
任意の視方向の対象評価点に至る左右の前記眼鏡レンズを通る注視線で輻輳角を計算し、前記輻輳角と前記輻輳角基準値との差から輻輳収差を算出するステップと、
前記輻輳収差の値が融像可能な所定の閾値内となるように最適化を行って、レンズ形状を決定するステップと、
を含む、
眼鏡レンズの設計方法。
【請求項６】
原点が両眼球の回転中心の中点にあり、対象が前記原点からの視方向により規定される座標系を用いて、前記対象、左右の眼鏡レンズ及び前記両眼球を有する光学システムを設定するステップと、前記左右の眼鏡レンズの設計基準点を通過後の注視線の交点である対象の固視点を視方向とする注視線で輻輳角基準値を計算するステップと、任意の視方向の対象評価点に至る左右の前記眼鏡レンズを通る注視線で輻輳角を計算し、前記輻輳角と前記輻輳角基準値との差から輻輳収差を算出するステップと、を経て求めた前記輻輳収差の値に対し、融像可能な所定の閾値内となるように最適化を行ってレンズ形状を設計する工程と、
前記決定したレンズ形状設計値に基づいて、眼鏡レンズを製造する工程と、
を含む、
眼鏡レンズの製造方法。
【請求項７】
原点が両眼球の回転中心の中点にあり、対象が前記原点からの視方向により規定される座標系を用いて、前記対象、左右の眼鏡レンズ及び前記両眼球を有する光学システムを設定し、前記左右の眼鏡レンズの設計基準点を通過後の注視線の交点である対象の固視点を視方向とする注視線で輻輳角基準値を計算し、任意の視方向の対象評価点に至る左右の前記眼鏡レンズを通る注視線で輻輳角を計算し、さらに、前記輻輳角と前記輻輳角基準値との差から輻輳収差を算出し、求めた前記輻輳収差の値に対し、融像可能な所定の閾値内となるように最適化を行ってレンズ形状を設計する設計手段と、
前記決定したレンズ形状設計値に基づいて、眼鏡レンズを製造する製造手段と、
を備える、
眼鏡レンズの製造システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、眼鏡レンズを設計又は製造するにあたって性能の評価に用いる眼鏡レンズの評価方法と、これを用いた眼鏡レンズの設計方法及び眼鏡レンズの製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
眼鏡レンズの評価や設計を行うにあたり、最適な視界を得るために種々の評価方法、設計方法が提案されており、特に、眼鏡レンズを装用した状態での視力に着目した技術も提

案されている。例えば特許文献１（特公平２－３９７６７号公報（特開昭５７－１０１１３号公報））、特許文献２（特表２００８－５１１０３３号公報）、特許文献３（特表２０００－５０６６２８号公報）には、眼鏡装用時における左右両眼による見え方に関して言及がされている。また、参考として、特許文献４（特開平１－２２１７２２号公報）、非特許文献９（Bernard et al. Traps in displaying optical performances of a progressive-addition lens", APPLIED OPTIC, Vol.31, No.19, (1992) p3586-3593）、非特許文献１０（日本視覚学会編「視覚情報処理ハンドブック」朝倉書店（2000）p285、図7.1）には、両眼視についての言及はないが、対象と眼鏡レンズと片眼眼球との位置関係を表わす光学システムの具体的構成例が記載されている。

【発明の概要】

【０００３】

先ず、特許文献１～３において眼鏡の両眼視の向上に言及している例をいくつか挙げ、課題を明確にする。

【０００４】

特許文献１に記載された発明は、両眼視機能へのアプローチとして画期的な特許である。特許文献１には、両眼視機能が成立する望ましい条件が記載されている。すなわち、累進帯における非点収差の範囲、レンズ全体の非点収差と調整誤差の配置、左右眼鏡レンズのプリズム範囲、及びプリズムから誘導される歪曲方向の条件が記載されている。しかし、特許文献１に記載された発明は、現在から再評価するといくつかの重大な欠点がある。

【０００５】

第１は、主要な眼球運動である片眼でのリスティング則を想定してない状態でレンズから射出した注視線の収差計算が行われている点である。この場合、残留非点収差の計算が不正確となり、文献中に記載の所定の効果があるとはいえない。なお、片眼の眼球運動は、本来、眼球内の一点、すなわち回転中心を中心として行われる回転運動として捉えることができる。眼球が前方を注視している位置で眼球内の回転中心を含む前額面は、リスティング面と呼ばれる。眼球の回転軸がリスティング面内にあるというのが眼球の主要運動の法則であり、リスティング則と呼ばれる。

【０００６】

第２に、左右レンズの累進部は、所定のプリズム範囲にあり、かつ左右でほぼ同じ非点収差、調整誤差を取り、どちらもボケが同じなため双眼視覚（両眼視と思われる）が良いと記載されている。ところが、特許文献１には、どのような非点収差、調整誤差のバランスが双眼視覚によいか、またどの程度良いかが定量的に提示されていない。この点に関し、特許文献１に記載の眼鏡レンズがどのように構成されているかが不明瞭である。

【０００７】

第３に、特許文献１の第５頁２５行～４４行において、当該文献の「図２」の説明が、両眼視の光学システムとはなっていない点である。この図を図２２に示す。図２２において眼球５７及び５８が対象面５９上の点Ｐｐを直視すると視線５０及び５１が点Ｐｐに向かう。眼球５７，５８の前方には眼鏡レンズ５２，５３が配置されている。点Ｐｐは、眼鏡レンズ５２，５３のプリズム作用により、左眼５７には視線５４と面５９との交点$Ｐ_{L}$に、右眼５８には視線５５と面５９との交点$Ｐ_{R}$にあるように見える。同頁４１～４２行には、図２２に示す視線関係を主子午線で対称の１つの眼鏡レンズで見立てることが可能と記載されている。しかし、プリズム効果は、プランティスの公式（Ｐ＝（ｈ×Ｄ）／１０）から分かるように、屈折力と比例関係にある。そのため、この主張は、左右同一のレンズのみに通用する。

【０００８】

補足すると、プランティスの公式は、通常使用するに十分な近似式であり、レンズのプリズムＰは、中心からの距離ｈ（ｍｍ単位）とレンズ度数Ｄに比例することを意味している。ようするに、左右レンズは屈折力が通常異なるため、上記の主張は自明ではなく成立しない。また、特許文献１の「図２」の説明以降においては、対象点Ｐｐを特定する座標系、原点を特定することなく、左右どちらかの眼鏡レンズの座標系での説明に終始してい

る。そのため、両眼視機能の光学システムに適した構成ではない。

【０００９】

第４に、特許文献１の「図４」に示す歪の程度が理解しにくい点である。この図を図２３に示す。特許文献１の図の説明は、その第５頁右欄１７行にあり、等距離対象格子の結像図との説明がある。図２３は、平面における格子の結点を点Ｐｐとしたときの水平方向位置差を点Ｐｐから描いた図であり、特に下方の周辺部において歪曲していることがわかる。特許文献１の同欄２５～２７行には、これについて鞍状歪曲やたる状歪曲等と説明している。すなわち、特許文献１では、水平方向位置差ΔP_Hと歪曲との関係性が示唆されている。水平方向位置差ΔP_Hと歪曲とが関係すると考えた場合、すべての注視線５４，５５が面５９で点Ｐｐ以外の点で交点を持つとき、格子は歪むはずである。しかし、このとき、水平方向位置差が０であるため、図２３が歪まない図になるという矛盾が生じる。よって、平方向位置差ΔP_Hは、歪曲と無関係である。また、歪んだ図を脳により直線で描いた像として処理するとあるが、どの程度歪んでいたら直線として処理できるのか重要な事項であるにもかかわらず根拠が記載されていない。したがって、この図２３に示された歪が脳で直線となるかどうかが明確に理解できない。

【００１０】

第５に、対象が平面にある点である。基本的に対象は設計者の任意である。そのため、一般には、設計者による任意の対象で眼鏡レンズ性能が高くなるように設計されている。ところが、特許文献１では、ぴんと張った新聞や壁の文字等を読むための眼鏡レンズとして採用する対象案に評価法が限定されている。特許文献１における対象内の固視点以外は、両眼球から大きく距離が異なるため、固視点からの度数誤差、残留非点収差、プリズムを同時に補正するのが困難となる。結果としてプリズムが大きくなる。このため、対象が平面にあるシステムでは両眼視の評価が難しい。

【００１１】

特許文献２には、眼鏡着用者の正面視方向が利き眼側に偏位している状態を考慮した眼鏡レンズの設計方法が提案されている。この特許文献２で記述される偏位が、近方で事実通りなら興味ある現象であり、当然その生理学的現象を利用する発明はあってしかるべきである。しかしながら、特許文献２には、以下に述べる問題がある。

【００１２】

第１に、測定対象は生体であり、測定精度に問題があることである。特許文献２中段落００３０に記載の例では偏位が２ｃｍとある。２ｃｍもあれば計るのは容易であろうが、もっと少ない偏位の場合は安定に計るのは困難となる。特許文献２の段落００６３には「３ｍｍ以下の絶対誤差」で計ることができると記載されている。しかし、累進屈折力レンズにおける通常の近用打ち寄せが２．５ｍｍであることを考慮すると、これでは誤差量が非常に大きい。

【００１３】

第２に問題となるのは、「正面視方向が効き目側に偏位する」という現象が、両眼視の眼球運動に関して唯一の法則であるヘリングの等神経支配法則（Hering’s law of equal innervations）と矛盾することである。ヘリングの等神経支配法則と矛盾する現象に基づいた対策によって眼鏡レンズを設計しても、両眼視機能を改善することは難しい。なお、ヘリングの等神経支配法則に関する説明は、非特許文献８（苧坂良二、中溝幸夫、古賀一男共著「両眼運動とヘリング理論、眼球運動の実験心理学」、名古屋大学出版会、（1993）、中溝幸夫著による第３章p60-61）で参照することができる。両眼運動に関するヘリング理論は、両眼運動を生みだすバージョン（同側性両眼運動）とバーゼンス（異側性両眼運動）の神経支配が存在するという仮定、両眼に与えられる神経支配が常に等量であるという両眼等神経支配の仮定（Hering法則）、これら２種の神経支配の間には加法性が成り立つという神経支配加法性の仮定、からなっている。

【００１４】

また別の考えとして、眼球運動中は回転中心固定でなく偏位と同じく移動することが知られている。回転中心は、単一点を中心にして回転せず、その使用に応じてそれぞれ異な

った点を中心に回転することが、例えば特公昭４２－９４１６号公報（第４頁右欄１６－２１行）にも記載され、広く知られている。特許文献２において主張する「正面視方向の偏位」は、眼球の回転中心自体が偏位するという事実から説明することも可能である。つまり、回転中心も移動すると考えると左右眼球の回転中心間の中点も移動し、正面視方向も移動する。このように左右の眼球が対称な動きをするという方が、特許文献２の主張する左右の眼球が非対称な動きをするという前提よりも、生理学的な事実に適合すると考えられる。

【００１５】

第３に、特許文献２の段落００３９では、「優れた両眼融像がもたらされた。」と記載されているが、この程度が不明である点である。具体的には、累進部において、発生非点収差（残存非点収差と思われる）が０．５ディオプター（diopt）以下なら快適な視野とある。しかし、対象距離により度数誤差がでる。したがって、たまたま度数誤差が０の距離に対象があると想定した場合でなければ快適な視野にはならない。特許文献２の実施例では、観察条件により度数誤差と発生非点収差の２つの図が示されているが、そのバランスには言及していない。そのため、度数誤差と発生非点収差のバランス、もしくは関係を示さずに、両眼において快適な視野が得られるかどうかが到底理解できない。

【００１６】

さらに左右眼の度数誤差と発生非点収差のみ図示して「両眼融像が良くなった」とするのは不適切である。左右眼が良好な視力を得ていても両眼視ができない疾患は主に斜視に多くいる。この特許文献２のような従来の度数誤差や非点収差の評価では、両眼視特有の性能評価が適切ではない。

【００１７】

第４に、特許文献１の場合と同じく、この特許の対象が特許文献２の「図１」又は「図４」から明らかなように、平面である点である。すなわち、特許文献１における第４の指摘と同様なことがいえる。

【００１８】

特許文献３には、レンズが前方から耳側にかけてカーブしているいわゆるラップアラウンド型の眼鏡レンズについての技術が開示されている。また、特許文献３の第１３又は１５頁には、オフアクシスプリズムディスパリティーに関する記載がある。ここで、主に特許文献３中の主張である両眼視の欠陥に関するところについて述べる。

【００１９】

第１に、特許文献３に開示の技術はラップアラウンド型、保護型アイウエアの眼鏡レンズに関する技術であるとしているが、その構成が不明確な点である。特許文献３に記載の主たる発明においては、処方領域と周辺側頭領域を持つことが条件である。この２つの領域の違いは、特許文献３の第２８－３０頁に記載されるように、面の形状にある。ここで違いを説明する方法は、現在の通常使用されている光線追跡計算による評価ではなく、過去累進レンズの説明に使用されたレンズ面の形状から算出する簡易的な方法である。そのため、屈折力、非点収差も面の導関数から計算したカーブの誘導値であり、光線追跡計算によるものとは異なる。また同様に、現在設計で通常考慮されている、眼球の運動のリスティング則を考慮する記載がない。そのため、このようなリスティング則等の生理学的な根拠を基にした評価、設計とは異なる。さらに、周辺側頭領域が任意すぎて処方領域との区別が明確でなく限定条件になっていない。そのため、通常のレンズ設計に通用する記述であると考えられる。

【００２０】

第２に、特許文献３の第１３頁下に記載のオフアクシスプリズムディスパリティーの定義について、「側頭部と鼻部の収差が等しくないと両眼視の欠陥が生じる」と記載するに止まる。しかし、これでは、なんの収差なのか記載不十分であり理解ができない。また、オフアクシスプリズムディスパリティーを補正する方法としては、特許文献３の第１５頁に記載された非球面を採用するとしか記述がなく記載不十分である。また、片眼レンズで評価していることが明白であるにも関わらず、特許文献３の第１３頁に「両眼視に欠陥」

と結論しており、その根拠が明らかでない。

【００２１】

第３に、特許文献３の第１５頁で屈折力、非点収差、プリズムのディスパリティーの釣り合わせと光学補正の要素のバランスに言及している。しかしながら、同１５頁中の表の値の範囲内に入れば両眼視の欠陥を容認可能とする記載が理解できない。この表から、処方度数が強度になると補正量が減少していることが読み取れる。より小さい補正で誤差が十分補正され、両眼視の欠陥が容認可能であるとは、つまり、処方度数が強度になると患者は両眼視の許容度が大きくなると読み取れる。片眼評価による許容度の記載であるにもかかわらず、このような主張は理解しがたい。両眼視の許容度の決定法も開示されてない特許文献３の内容では、通常の眼鏡レンズの規格と同様に、この許容度以下に設計できるのか容易に推測し難い。すなわち、両眼視の定義もされてない状態でこのような許容度の記載をされても、一般的な他の処方のレンズ設計に適用することは容易ではない。

【００２２】

なお、この片眼評価による両眼視の評価は、右を見るとき右レンズでは右側頭部を使用し、左レンズは鼻部を使用するから、側頭部と鼻部が同等でなければならないという理屈と思われる。しかし、これは、例えば特許文献１の第３の問題点として取り上げたように、左右のレンズが同じという前提がある場合であり、そのような処方は非常に少ない。また、左右眼は大体同じ処方であると主張する場合を考える。この場合、感覚性融像の角度の感受性限界が角度でほぼ１０秒ということをふまえると、このような大雑把な概念で両眼視をとらえることは難しい。また、汎用レンズに適用する場合は、左右の処方が前もって分からないときでも、このような生理学的根拠のない許容値からの評価、設計を人体に適用するのは問題がある。その結果として、例えば不快感を与えたり疲労が増大したりする恐れがある。

【００２３】

次に、従来の対象－眼鏡レンズ－片眼眼球光学システムを延長することで、対象－眼鏡レンズ－両眼眼球光学システムを作れるか検討してみる。典型的な対象－眼鏡レンズ－片眼眼球光学システムとして、非特許文献９中のFig.5がある。このFig.5に示す光学システムの座標系は、図２４に示すように、眼球回転中心Ｑ’を原点として視角の方位角α、仰角βを座標値として表示している。また、眼球回転中心Ｑ’からレンズまでの距離をｑ’としている。この図２４に示すような対象－眼鏡レンズ－片眼眼球光学システムは、１００年以上前のチェルニングの時代から連綿と採用（ただし視角は１変数）されている。当該システムでは、座標の原点は、眼球が回転するため、眼球回転中心に配置される。設計基準点は、レンズ幾何中心にあり、収差の基準点である。収差は、この点を基準点として、眼鏡回転中心からレンズ評価点を通過し対象に至る注視線に沿った光学値の差分で表現される。また遠方視の場合、対象は無限大の距離にあるため、表示されないのが普通である。この光学システムを両眼視のシステムに拡張するには、原点が眼球回転中心２つになってしまう。従って、何らかの工夫が必要である。

【００２４】

次に、同じく対象－眼鏡レンズ－片眼眼球光学システムの近方視したときの対象について考える。この場合、眼鏡レンズとしては、近方専用のレンズが理論的には考えられる。しかしながら、実際は、遠方レンズで代用される。そこで、累進レンズの光学システムである特許文献４中の「図２」を挙げる。この図を図２５に示す。図２５においては、眼球Ｏの回旋中心C_Rから遠方視したときの視線ｌの遠点球面Ｔと、累進レンズＬを通して遠方視（∞）及び近方視（０．５ｍ＝２Ｄｐｔｒ）の状態が示されている。この図における「対象」は累進レンズ専用であり、近方視したときの対象が図示されている数少ない例である。図２５に示すように、遠方視の部分で無限大の対象は図示されている。従来、眼鏡業界では、対象をディオプター表示で表記することが慣習として行われてきた。この例の様にディオプター表示で表記すると無限大の距離も表示可能となる。しかし、レンズ性能評価のために、累進レンズだから対象をこのようにしなくてはならないということはない。ここでは、単に最適化計算の目標値のために設定したと想像する。この特許文献４に記

載された発明の内容は、片眼レンズに終始し両眼視に言及していない。そのため、図２５に示す光学システムを両眼に拡張すると対象がどのようになるか不明である。

【００２５】

以上説明した特許文献及び非特許文献を含め、眼鏡レンズ業界で共通使用されている対象－眼鏡レンズ－両眼眼球システムは、本件出願時には存在しないと考えられる。そこで、心理学等でよく見かける両眼視の構成を検討する。眼鏡レンズを装用した両眼視の構成はないが、対象－両眼球システムは存在する。例えば非特許文献３（Howard, I. P. and Rogers, B. J. "Binocular vision and stereo psis", Chapter2, New York, Oxford Press (1995)p1-736）のp39、非特許文献１０のp285等に記載されているフィート－ミューラー円、等輻輳円が挙げられる。

【００２６】

図２６は、非特許文献１０に記載のフィート－ミューラー円Ｃｖ及び等輻輳円Ｃｃを示す図である。左右両眼Ｌｅ及びＲｅが点Ｆを固視しているとき、左右眼球の節点n_L及びn_Rと点Ｆとを通る円をフィート－ミューラー円Ｃｖとする。また、等輻輳円Ｃｃは、両眼球Ｌｅ及びＬｒの回転中心C_L、C_Rを通り、固視点Ｆを通る円と定義される。図２６において、両眼球回転中心C_L、C_Rの中点を点Ｍ、正中面を破線P_Mとして示す。図２６から明らかなように、フィート－ミューラー円Ｃｖは、見る対象を固視点Ｆと両眼球の節点n_L、n_Rを結んだ円に代表される幾何学的ホロプター（両眼網膜の対応点上を刺激する外界の対象の位置の集合、ホロプター上の対象は網膜像差を生じない）である。しかしながら、このフィート－ミューラー円Ｃｖでは眼鏡レンズを装用すると等輻輳にならず、また自己から等距離の性質も持たず、眼鏡レンズ設計では評価できない。しかし、ウェルズ－ヘリングの視方向法則（Wells-Hering's laws of visual direction）によれば、原点がフィート－ミューラー円上にあり、かつフィート－ミューラー円上がほぼ自分から等距離と認識されるという良いところがある。このフィート－ミューラー円Ｃｖに類似の等輻輳円Ｃｃ、すなわちフィート－ミューラー円の節点が眼球回転中心になったものは、両眼球回転中心を通る円であり、その他はフィート－ミューラー円と同様である。なお、ウェルズ－ヘリングの視方向法則は、「２つの目で見ているのに、見えている世界はなぜ１つなのか」の疑問に関するものである。ウェルズ－ヘリングの視方向法則は、この疑問に直接答えるものではないが、どの視方向に世界を見ているかを規定する法則として知られる。この法則に関して、以下の（ａ）及び（ｂ）が知られている。

（ａ）視方向の原点は、両眼の中点に仮定されるサイクロープスの眼である。

（ｂ）視軸上の対象は、両眼軸の交点とサイクロープスの眼とを結ぶ線（方向軸）上に見える。

【００２７】

例えば非特許文献３のp.56には、経験的ホロプターがある。この図を図２７に示す。図２７中、経験的水平ホロプターH_L、経験的垂直ホロプターH_Vは、心理的に自己から等距離に見える距離をトレースしたものである。経験的垂直ホロプターH_Vが垂直方向Ｖｔから奥側（眼球Ｌｅ、Ｒｅから離間する側）に２～５度傾いている性質を持つ。これは、読書時約１０度傾けると読みやすいという実験事実を裏付ける。個人差が大きいため個別要素として取り入れたいが、実測値が少なく採用が難しい。また、等距離に見える範囲は図の円筒部分だけであり、他の部分がないため眼鏡システムとしては使用できない。

【００２８】

このように、従来は、両眼の対象と眼鏡レンズと両眼球とを位置づける「対象－眼鏡レンズ－両眼球システム」が明確に定義されていない。心理学分野では、視方向原点として両眼球の角膜頂点の中点付近をとる説もある。しかしそこを原点にすると、眼球が上下に回転したときに移動するため、従来の対象－レンズ－片眼球システムと整合性がなくなってしまう。また、正中線にあって固視点から眼球回転中心まで等距離である位置を視方向原点とすることも考えられるが、同様の理由で問題がある。従来は、眼鏡レンズのプリズム効果の処理により両眼視性能の向上を図る場合もあったが、より生理学的な知見に基づいた両眼視性能の評価方法の実現が望まれている。

【００２９】
以上から、本発明は、下記の課題を解決することを目的とする。
１．眼鏡装用時における両眼視性能の評価に適した視方向原点と座標系を定義する。
２．両眼視性能評価に密接に関係している「対象」を明確にする。
３．公知の両眼視機能の生理学的知見に従った、両眼視野全面で通用し、かつ対象の形状に依存しない定量的な両眼視性能評価を行う。
【課題を解決するための手段】
【００３０】
上述の課題を解決するために本発明による眼鏡レンズの評価方法は、下記の１～３のステップを有する。
【００３１】
１．第１のステップとして、原点が両眼球の回転中心の中点にあり、対象が原点からの視方向により規定される座標系を用いて、対象、左右の眼鏡レンズ及び両眼球を有する光学システムを設定するステップを有する。すなわち、本発明においては、１世紀以上片眼で採用してきた眼球回転中心を視方向原点とした設定をやめ、両眼視の場合の対象－眼鏡レンズ－両眼球システムの視方向の原点をウェルズ－ヘリングの視方向法則に従って両眼球の回転中心の中点とする。このシステムは、光学計算のための見る対象と、眼鏡レンズ及び眼球を有する。座標系は任意であるが、対象－眼鏡レンズ－片眼球システムでは極座標が通常採用されるため、極座標表示が望ましい。この座標系によって両眼視性能を定義することが可能となる。すなわち、両眼視性能は、この座標系により、対象に対して張る角、具体的には方位角、仰角にて表記される。なお、このシステムで眼球回転中心は、システムの眼球運動において固定点でなくてもかまわない。
【００３２】
２．第２のステップとして、左右の眼鏡レンズの設計基準点を通過後の注視線の交点である対象の固視点を視方向とする注視線で輻輳角基準値を計算するステップを有する。本発明において設定する対象－眼鏡レンズ－片眼球システムにおける「対象」は、本発明では任意であり、対象により本発明を限定するものではない。対象は、説明に具体性を持たすために設定する。本発明において対象は、以下の条件を満たすことが望ましい。単焦点レンズの場合は、自己から見たときにほぼ等距離、すなわち眼前半球が望ましい。眼前半球とする場合の半径は、例えば左右眼球回転中心から左右設計基準点を通る注視線の交点と視方向の原点間の距離とし得る。対象の表記法は、眼鏡レンズ光学にて従来からの業界慣習であるディオプター表示を利用でき、これにより対象位置を特定できる。
【００３３】
累進レンズの場合、対象は、左右眼球回転中心から設計基準点を通る注視線の交点を視方向原点からの視方向とする。すると正中面上での対象は、特許文献４の「図２」、すなわち図２５に示す対象と類似の対象となる。その他の点は、累進レンズの設計者の任意である。多数の累進特許では、対象が通常開示されていない。そのため、単焦点レンズの対象、すなわち半径が設計基準点で規定される半球面で代用して評価してもよい。そして、より具体的なステップとしては、例えば両眼の対象－眼鏡レンズ－両眼球システムの眼鏡の設計基準点で処方値が出るようにレンズ形状を設定する。この設計基準点において処方値、および両眼球における眼球回転中心から眼鏡レンズに至る輻輳角を算出しておき、輻輳角基準値としておく。
【００３４】
３．第３のステップとして、任意の視方向の対象評価点に至る左右の眼鏡レンズを通る注視線で輻輳角を計算し、この輻輳角と上記第２のステップで求めた輻輳角基準値との差から、輻輳収差を算出するステップを有する。両眼視の運動法則であるヘリングの等神経支配法則のバーゼンス（異側性両眼運動）、すなわち輻輳運動より導かれる両眼視性能である「輻輳収差」を考案した。輻輳は、左右眼球回転中心から左右眼鏡レンズまでの像側の注視線によるものと、左右眼鏡レンズから対象までの対象側の注視線によるものの２つがある。像側と対象側とのそれぞれにおいて輻輳角及びこの輻輳角から後述の定義により導

出される輻輳収差を定義することが可能であり、どちらも本発明の範疇である。像側と対象側の輻輳角、輻輳収差は、それぞれ近似的に比例係数がレンズ度数に依存するという比例関係を持つ。但し、対象側の値は、レンズの形状に応じて変化する。そのため、本発明では、像側の注視線による輻輳角を用いることがより望ましい。

【００３５】

より具体的なステップとしては、例えば対象－眼鏡レンズ－両眼球システムにおける対象の評価点に依存した度数誤差、残留非点収差、眼球回転中心から眼鏡レンズに至る輻輳角を算出する。第２ステップで求めた輻輳角を基準にして評価点の輻輳の差を求める。以下、この輻輳の差を「輻輳収差」として定義する。

【００３６】

上述したように、本発明においては、両眼視に適した視方向の原点を定義したため、処方値が異なる場合や、前傾角、あおり角の異なるフレームの場合、すなわち眼鏡の掛け替え前後の光学的比較が可能となり、不変的な評価が可能となった。また、眼球間距離が０になったときの極限にて従来通常使われている、対象－眼鏡レンズ－片眼球システムになる。そのため、従来の片眼設計との矛盾は生じない。また、眼球間距離が変化したときでも対象は近似的に等価である。言葉を換えると対象を固定とすれば、眼球回転中心間が異なる被験者（眼鏡装用者）同士の眼鏡レンズに対して、上述した輻輳収差の評価によってその融像に関する優劣を比較することも可能となる。

【００３７】

両眼視機能の評価として輻輳に着目した理由は、下記の通りである。すなわち、生体の器質的面からの知見より、輻輳潜時は１５０～２００ｍｓ、衝動性眼球運動が２００ｍｓで約８００度／秒、運動調節が３５０～４００ｍｓ、瞳孔近見反応が４００～４５０ｍｓであることが知られている。このことを考慮すると、対象の注視線移動中、輻輳と衝動性眼球運動が組み合わさった視差誘導性輻輳運動時、調節、瞳孔近見反応は、輻輳、衝動性眼球運動に比較してほとんど変化がない。そのため、輻輳収差は、他の収差、度数誤差、残留非点収差より優先順位の高い収差と考えられる。

【００３８】

なお、従来技術のように対象が平面の場合は、眼鏡レンズの変形により従来の度数誤差、残留非点収差が補正される。しかし、輻輳については何ら考慮されていない。輻輳は、注視点によって大きく変化するため、両眼視機能の融像が困難となる場合があり、両眼視性能が劣化することとなる。これに対し本発明では、単焦点レンズの対象を半球面とする場合、眼球を回転したときの視覚環境の変化が少ない。また、累進レンズの対象は任意であるが、輻輳収差により、視覚環境の変化が少ない対象の定量的評価が可能となる。

【発明の効果】

【００３９】

本発明の眼鏡レンズの評価方法において定義する輻輳収差により、両眼視の運動法則であるヘリングの等神経支配法則のバーゼンス（異側性両眼運動）、すなわち輻輳運動より導かれる生理学的知見に基づく評価が可能となる。評価基準値が１つのため両眼視野全面で均一な評価であり、かつ任意な対象が可能となる。また、輻輳収差により、両眼視性能である融像の条件を定量的に評価することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【００４０】

【図１】本発明の眼鏡レンズの評価方法の実施の形態に用いる「対象」を説明するための対象－眼鏡レンズ－眼球システムを示す図である。

【図２】本発明の眼鏡レンズの評価方法の実施の形態に用いる対象－眼鏡レンズ－眼球システムにおける像側の輻輳角基準値を示す図である。

【図３】本発明の眼鏡レンズの評価方法の実施の形態に用いる対象－眼鏡レンズ－眼球システムにおける対象側の輻輳角基準値を示す図である。

【図４】本発明の眼鏡レンズの評価方法の実施の形態に用いる図２に示す対象－眼鏡レンズ－眼球システムを正中面に対し垂直な方向から見た、像側で定義した輻輳収差の面垂直

方向の説明図である。
【図５】本発明の眼鏡レンズの評価方法の実施の形態に用いる図３に示す対象－眼鏡レンズ－眼球システムを正中面に対し垂直な方向から見た、対象側で定義した輻輳収差の面垂直方向の説明図である。
【図６】本発明の眼鏡レンズの評価方法の実施の形態に用いる対象－眼鏡レンズ－眼球システムにおける評価点での像側の輻輳角を示す図である。
【図７】本発明の眼鏡レンズの評価方法の実施の形態に用いる対象－眼鏡レンズ－眼球システムにおける評価点での対象側の輻輳角を示す図である。
【図８】比較例における対象－眼鏡レンズ－眼球システムの構成を示す図である。
【図９】本発明の眼鏡レンズの設計方法の実施の形態に係るフローチャートを示す図である。
【図１０】本発明の眼鏡レンズの製造方法の実施の形態に係る製造システムの概略構成図である。
【図１１】本発明の眼鏡レンズの製造方法の実施の形態に係る製造システムにおける製造側コンピュータの機能ブロック図である。
【図１２】本発明の眼鏡レンズの評価方法における実施例１の輻輳収差の面平行成分を示す図である。
【図１３】本発明の眼鏡レンズの評価方法における実施例１の輻輳収差の面垂直成分を示す図である。
【図１４】本発明の眼鏡レンズの評価方法における実施例２の輻輳収差の面平行成分を示す図である。
【図１５】本発明の眼鏡レンズの評価方法における実施例２の輻輳収差の面垂直成分を示す図である。
【図１６】本発明の眼鏡レンズの評価方法における実施例３の輻輳収差の面平行成分を示す図である。
【図１７】本発明の眼鏡レンズの評価方法における実施例３の輻輳収差の面垂直成分を示す図である。
【図１８】Ａは感覚性融像を示す模式図であり、Ｂは運動性融像を示す模式図である。
【図１９】Ａは瞳孔間距離ＰＤが６０ｍｍの場合の輻輳角の計算例、Ｂは同交換距離ＰＤが６５ｍｍの場合の輻輳角の計算例である。
【図２０】対象の空間周波数に対するパナムの融合領域を示す図である。
【図２１】水平網膜像差と知覚的奥行きの関係を示す図である。
【図２２】従来技術における対象面上の視差を示す図である。
【図２３】従来技術における歪曲収差を示す図である。
【図２４】従来の片眼による眼鏡レンズ－眼球システムの構成を示す図である。
【図２５】従来の片眼による対象－眼鏡レンズ－眼球システムの構成を示す図である。
【図２６】フィート－ミューラー円及び等輻輳円を示す図である。
【図２７】経験的ホロプターを示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００４１】
以下本発明を実施するための形態を説明するが、本発明は下記の形態に限定されるものではない。次の順序により説明する。
［１］眼鏡レンズの評価方法
（１）第１のステップ（対象－眼鏡レンズ－両眼球システム設定工程）
（２）第２のステップ（収差基準の算出工程）
（３）第３のステップ（任意の対象評価点の収差算出工程）
（４）従来例との相違点
（５）実際の注視線との相違の説明
（６）融像閾値の説明
［２］眼鏡レンズの設計方法

［３］眼鏡レンズの製造方法及び製造システム
［４］眼鏡レンズの評価方法の実施例
（１）実施例１（乱視度数０の例）
（２）実施例２（左右球面度数差－２Ｄ以上の例）
（３）実施例３（あおり角２０度の例）

【００４２】

本発明の実施形態の具体的説明に先立ち、本実施形態で利用される前提技術、用語等を説明する。

【００４３】

本実施形態において眼鏡レンズの評価や設計を行うためには、設計基準点を定める必要がある。この設計基準点は、単焦点レンズと多焦点レンズとで多少異なるため、別に分けて説明する。設計基準点は、通常単焦点レンズでは、処方値（球面度数、乱視度数、乱視軸、プリズム値、プリズム軸）を測定するレンズ位置であり、なおかつ注視線とレンズとが交わる点をいう。この点は、視点、アイポイント、光学的心取り点ともいう。プリズムがない場合、設計基準点はレンズの光学中心と同一に扱われる。通常の処方では、レンズの設計基準点を水平方向では瞳孔間距離に合わせ、垂直方向では瞳孔より多少下（回転中心を中心に約１０度、４ｍｍほど）に合わせてフレームに枠入れする。近用レンズでは、特に設計は個別にされておらず、汎用レンズで代用されている。そこで、近用レンズの処方では、対象距離（２５ｃｍ～５０ｃｍ）からの注視線とレンズの交わるところに設計基準点を設けており、水平方向では瞳孔間距離より多少（２～５ｍｍほど）短い距離（これを近用瞳孔間距離ともいい、ＮＰＤと略すこともある）に設定している。垂直方向では瞳孔より多少下（回転中心を中心に約２０度、９ｍｍほど）にあわせて設定して、フレームに枠入れする。累進レンズ等の多焦点レンズでは通常、設計基準点が遠方処方値（球面度数、乱視度数、乱視軸）、アイポイント（瞳孔に合わせる点）、プリズム測定点、近方処方値（遠方処方値の加算する度数、すなわち付加力）を測定する点に分離されて作成されている。通常瞳孔にアイポイントをあわせフレームに枠入れされる。

【００４４】

本実施形態においては、一般に知られる光線追跡法を用いてレンズ設計を行う。例えば非特許文献１（高橋友刀著、「レンズ設計」東海大学出版会(1994)）には、光線追跡法によるレンズの最適化設計、波面収差に関する技術が記載されている。波面収差に関しては、非特許文献２（Takeshi Noguchi et al, "ACTIVE OPTICS EXPERRIMENTS I, SHACK-HARTMAN WAVE-FRONT ANALYZER TO MESURE F/5 MIRRORS", Publ. Natl. Astrron. Obs. Japan Vol.1, (1989), p49-55）等に記載されている。なお、眼鏡レンズの技術分野においては、レンズ設計のため、眼鏡レンズ通過後の波面測定から収差（度数誤差、非点収差等）を算出するレンズ測定器が利用されている。

【００４５】

眼鏡レンズを通して対象を見た場合に対象から眼球回転中心の入る主光線に沿ってレンズにより発生する収差は、眼球瞳孔径が小さいため、低次の収差で近似することができる。ここで、眼鏡レンズの技術分野における低次収差について説明する。低次収差には、例えば度数誤差、残留非点収差、色収差がある。

【００４６】

通常、遠用レンズでは、設計基準点（通常、眼球が前方遠方をレンズを通してみた時のレンズ位置）で前方遠方の対象を明視できるように眼球による屈折力でレンズによる屈折力を差し引き処方される。足りない屈折力をレンズで補うとも言う。そのときの収差は０である。その処方では、設計基準点で乱視が眼球にある場合にレンズの乱視軸と一致している。乱視軸は、主光線に直交し、なおかつその屈折力の主経線である。この主光線は、眼球と同様、対象から眼鏡レンズを通って眼球回転中心に至る光線の経路である。眼球がリスティング則に従って回転する時には通常の共軸光学系と異なり、眼鏡は固定しており、眼球の方向は眼鏡に対して相対的に変化する。その際に設計基準点以外では、レンズの屈折力が、レンズの性質上、設計基準点とはわずかに異なってくる。その際でも眼球の屈

折力でレンズの屈折力を差し引く。その差し引いた値がレンズ－眼球システムでの収差である。

【００４７】

収差の差し引き方は、レンズの乱視軸に沿ってリスティング則に従って回転した場合（レンズ主経線方向で２方向ある）には、レンズの乱視軸と眼球の乱視軸とが一致しているため、単にそれぞれの軸方向で引き算すればよい。以前はこの時の収差を単にレンズの収差と言っていた。ところが、レンズの乱視軸方向以外に眼球が回転した場合は、レンズの乱視軸と眼球の乱視軸とが異なってくる。そこで、眼球の乱視軸方向にレンズの屈折力を分解し、それぞれの眼球乱視軸方向の屈折力同士で差し引いた量の平均を度数誤差と呼ぶようになってきた。この度数誤差は平均であるため乱視軸の違いには無関係であり、乱視軸が一致している場合の度数誤差と同値である。しかし、非点収差は、軸が一致していた時と異なった値となる。

【００４８】

さて、上述した眼球の２本の乱視軸方向における屈折力を差し引いた値をそれぞれ収差Ａ、収差Ｂとすると、度数誤差は収差Ａと収差Ｂの平均であり、残留非点収差は収差Ａと収差Ｂの差である。リスティング則を必要としない場合、すなわち眼球が眼鏡乱視軸に沿って回転する場合は、残留非点収差とは言わず過去、非点収差と呼んでいた。この場合の度数誤差はＭＯＥと呼ばれ、非点収差はＯＡＥと呼ばれることがあった。

【００４９】

また、色収差は、眼球回転中心からレンズ後面までの主光線とレンズ前面から対象までの主光線との角度の差をδ、アッベ数νをとすると、１００×ｔａｎδ／νで表される。

【００５０】

［１］眼鏡レンズの評価方法

上述した本発明による眼鏡レンズの評価方法を実施するための第１～第３のステップのより詳細な内容を以下に説明する。

【００５１】

（１）第１のステップ（対象－眼鏡レンズ－両眼球システム設定工程）

先ず、本発明の特徴を明確にするため対象について詳述する。本発明で両眼視の光学計算を行う光学システム、すなわち対象－両眼眼鏡レンズ－両眼球について記述する。本発明では、対象は、業界慣習のディオプター表示に従っている。したがって、どの距離の対象も図示が可能となる。別に近方視対象を図示して、遠方視対象は、無限大の距離の対象としてもよい。

【００５２】

本発明の眼鏡レンズの評価方法に用いる対象として、望ましい対象を図１に示す。以下の説明は、像側の注視線による説明であり、対象側の注視線による説明は、説明図のみ異なり同じであるため省略する。図１に示すように、まず右眼球回転中心１Ｒ、左眼球回転中心１Ｌが設定される。図１においては、両眼球回転中心１Ｌ、１Ｒを含む水平面２０での配置を示す。図１では、両眼球回転中心１Ｌ，１Ｒの中点を、対象－眼鏡レンズ－両眼球システムにおける座標系の原点１とする。そして対象４を、原点１を中心として固視点３までの距離を半径とする眼前半球である対象球面５上に定義する。両眼球回転中心１Ｌ、１Ｒは前額面内にある。対象４が無限遠にある場合は、対象球面５の半径を大きくした極限とする。また対象４の位置を、従来の光学システムのように両眼球回転中心１Ｌ、１Ｒから眼鏡レンズに至る像側の視角、または眼鏡レンズから対象に至る対象側の視角ではなく、原点１を通る正中線６からの角度を変数として定義する。すなわち、対象４の任意の位置をシステムの原点１からの正中線６を基準にした角度の関数とする。この角度θを両眼視方向と定義する。なお、両眼視方向θは、図２４において説明した例と同様に、水平、垂直方向に分割してもよい。また両眼球回転中心を結ぶ直線を眼球間線分２とする。

【００５３】

次に眼鏡レンズの位置について説明する。眼鏡レンズは、通常、処方値遠方の固視点とそのときの眼球回転中心１Ｌ、１Ｒの間に置かれる。眼鏡レンズは、レンズ設計基準点で

処方値を持ち、水平面、前額面に対し任意の傾き（前傾角、あおり角）、偏心（垂直方向の偏心、水平方向の偏心）を持つ。レンズ後方頂点から眼球回転中心までの距離は、通常２７ｍｍであり、または例えば特公昭４２－９４１６号公報の第２頁右欄下から４－５行に記載されているように、２４ｍｍ～３６ｍｍである。２７±１ｍｍ以上は個別要素として設計するほうがよい。

【００５４】

次に眼球運動については、片眼はリスティング則、両眼ではヘリング則の等神経支配法則に従うと仮定する。眼球回転中心１Ｌ、１Ｒは、上下又は左右に回転するときに移動して回転中心から角膜頂点までの距離が変化する。すなわち左右眼球が近方視したときに調節－輻輳関連のため輻輳するが、そのとき回転中心１Ｌ、１Ｒが移動することは公知である。説明の都合で、本発明では眼球回転中心１Ｌ、１Ｒを固定したシステムで説明する。

【００５５】

（２）第２のステップ（収差基準の算出工程）

第２のステップでは、両眼の対象－レンズ－両眼球システムの眼鏡の設計基準点を以下に記述する収差算出の基準にするために、設計基準点における所定の処方値が出るようにレンズ形状を設定する。累進レンズでは、設計基準点が、遠方度数測定点、近方度数測定点、プリズム測定点等別々のレンズ位置に分離していることが通常である。また単焦点レンズで近方レンズの場合も、原則、対象上の固視点から近方度数測定点を通って眼球回転中心にいたる主光線で光学計算の諸量を計算する。その一方で、簡易的に瞳孔間距離（ＰＤという）から２ｍｍ減らして近見ＰＤとして視点とし処方するときもある。

【００５６】

いずれにせよ、設計基準点で処方値が出るようにレンズ形状が設定される。レンズ形状は、最適化計算での工程で処方値が収束して設定される。また汎用レンズ等の眼鏡装用時の評価の場合は、眼鏡レンズと設計基準点を通る視線とが直交していない場合がある。この場合は、設計基準点においてわずかな収差が傾きにより発生するが、近似的な意味で処方値が達成されている。

【００５７】

さて、ここで処方値とは、球面度数、乱視度数、乱視軸、プリズム、プリズム軸、付加力である。収差は、基準との差という定義上この処方値が基準となる。図２は、両眼球１０Ｌ、１０Ｒの上からみた状態を示す。図２において、図１と対応する部分には同一符号を付して重複説明を省略する。左眼１０Ｌ、右眼１０Ｒから左用眼鏡レンズ１１Ｌ、右用眼鏡レンズ１１Ｒの各設計基準点１１$Ｐ_{L}$、１１$Ｐ_{R}$を通る注視線１３$Ｌ_{0}$、１３$Ｒ_{0}$は、眼鏡レンズ１１Ｌ、１１Ｒにより屈曲されて視線方向１３$Ｌ_{0}$’、１３$Ｒ_{0}$’となり、対象球面５上の正中面７上の対象１２で交わる。すなわち、対象１２（通常の光線追跡法の使用により左右眼球１０Ｌ，１０Ｒの各眼球回転中心１Ｌ、１Ｒから発して設計基準点１１$Ｐ_{L}$、１１$Ｐ_{R}$を通る注視線１３$Ｒ_{0}$、１３$Ｌ_{0}$がレンズ通過後に対象球面５上で交わる交点に位置する対象）が、正中面７に位置するように設定する。たとえ正中面７になくても最適化計算での工程で収束しながら達成する。なお、図１の対象４と図２の対象１２を別の符号とした理由は、通常、眼鏡レンズ１１Ｌ、１１Ｒの設計基準点１１$Ｐ_{L}$、１１$Ｐ_{R}$は図１に示す水平面２０にないためである。

【００５８】

ここで輻輳角を定義するにあたり、後の説明の都合上、左右眼１０Ｌ、１０Ｒの注視線１３$Ｌ_{0}$と１３$Ｒ_{0}$の中線の、正中面に垂直な方向の射影成分を「面平行成分」と定義し、正中面に平行な方向の成分を「面垂直成分」と定義する。ここで、本発明の「中線」とは、直線を方向余弦で表現した場合、像側の中線では左右の眼球回転中心の中点（原点）を通り、また対象側での中線は対象の評価点を通る、左右の注視線の方向余弦の平均を持つ直線を言う。左右の注視線１３$Ｌ_{0}$、１３$Ｒ_{0}$と注視線１３$Ｌ_{0}$、１３$Ｒ_{0}$の中線とがなす角の面平行成分をそれぞれ、$θ_{HL0}$、$θ_{HR0}$と定義する。また左右の注視線１３$Ｌ_{0}$、１３$Ｒ_{0}$と注視線１３$Ｌ_{0}$、１３$Ｒ_{0}$の中線とがなす角の面垂直成分をそれぞれ、$θ_{VL0}$、$θ_{VR0}$と定義する。そして、面平行方向の輻輳角$θ_{CH0}$を$θ_{HR0}$と$θ_{H}$

$_{L0}$との和として定義する。θ_{CH0}、θ_{HR0}、θ_{HL0}の符号は、整合性があれば任意であるが、本発明では眼球が輻輳状態なら全て正値とする。眼球が開散状態なら正負が逆とする。同様に、面垂直成分をθ_{CV0}とし、θ_{VR0}とθ_{VL0}との和として定義する。通常左右眼球回転中心はほぼ同一水平面にあるが、わずかに偏位がある場合がある。そのため、面水平方向と同様にθ_{CV0}を輻輳状態では正値とし、開散状態では負値とする。式で表現すると、基準となる輻輳角（輻輳角基準値）の面水平成分θ_{CH0}及び面垂直成分θ_{CV0}は、

$\theta_{CH0}=\theta_{HR0}+\theta_{HL0}$

$\theta_{CV0}=\theta_{VR0}+\theta_{VL0}$

となる。通常θ_{CV0}は0であり、0となるようにレンズ形状、設計基準点を設定する。

【００５９】

図３は、図２において像側で定義した視角θ_{HL0}及びθ_{HR0}を、対象側の注視線１３L_0’及び１３R_0’により視角θ_{HL0}’及びθ_{HR0}’とする様子を示す図である。図４及び図５は、それぞれ図２及び図３を側方から見た図である。像側の注視線１３L_0と１３R_0の中線１３RL_0と、対象側の注視線１３L_0’と１３R_0’の中線１３RL_0’とは、原点１を通り、対象１２に至る正中線６から傾いていることがわかる。

なお、像側での定義同様、対象側でも、

θ_{CH0}’$=\theta_{HR0}$’$+\theta_{HL0}$’

θ_{CV0}’$=\theta_{VR0}$’$+\theta_{VL0}$’

が得られる。

【００６０】

（３）第３のステップ（任意の対象評価点の収差算出工程）

第２ステップで説明した両眼システムの光学計算等の定義をさらに詳述し任意のレンズ評価点の光学評価を行う。任意の両眼視方向の両眼システムの概略構成を図６に示す。図６を参照して光学計算の詳細を説明する。両眼システムの原点１から任意の両眼視方向の対象の任意の位置を対象の評価点２２とする。光線追跡法の使用により左右両眼回転中心１Ｌ、１Ｒから発し左右眼鏡レンズ１１Ｌ、１１Ｒの評価点１１N_L、１１N_Rを通過して屈折し、対象の評価点２２を通る注視線のうち、像側の注視線の延長線を注視線１３Ｌ、１３Ｒとする。なお、図示の例では、注視線１３Ｌと１３Ｒとの交点２２’が対象球面５の外側に位置する場合を示す。注視線１３Ｌ’と１３Ｒ’の交点が１回の試行で評価点２２を通過できなくても、眼球回転中心１Ｌ、１Ｒから発する光線の角度を少しずつ変更し、評価点２２で収束する光線を必要な精度で計算することが可能である。

【００６１】

ここで、評価点２２の面水平成分の輻輳角θ_{CH}として、下記を定義する。

$\theta_{CH}=\theta_{HR}+\theta_{HL}$

同様に、評価点２２の面垂直成分の輻輳角θ_{CV}は、下記のように定義できる。

$\theta_{CV}=\theta_{VR}+\theta_{VL}$

ここで、注視線１３Ｌ及び１３Ｒの中線２６と注視線１３Ｌ及び１３Ｒが挟む角の、注視線１３Ｌ及び１３Ｒの中線２６を含み正中面に垂直な面に対し平行な方向の成分である面平行成分をθ_{HL}、θ_{HR}とし、垂直方向は同様に中線２６を含み正中面に平行な面に対して平行な方向の成分である面垂直成分をθ_{VL}、θ_{VR}とする。

【００６２】

すなわち、評価点２２の輻輳収差の面平行成分及び面垂直成分は、

（輻輳収差の面平行成分）：$\theta_{CH}-\theta_{CH0}$

（輻輳収差の面垂直成分）：$\theta_{CV}-\theta_{CV0}$

と表わされる。

【００６３】

図７は、像側の注視線１３Ｌ’及び１３Ｒ’で定義する場合の輻輳角θ_{HL}’及びθ_{HR}’を示す図である。この場合、注視線１３Ｌ’及び１３Ｒ’の中線２７と注視線１３Ｌ’及び１３Ｒ’が挟む角の、注視線１３Ｌ’及び１３Ｒ’の中線２７を含み正中面に垂直

な面に対し平行な方向の成分である面平行成分をθ_{HL}'、θ_{HR}'とし、垂直方向は同様に上記中線２７を含み正中面に平行な面に対して平行な方向の成分である面垂直成分をθ_{VL}'、θ_{VR}'とする。このとき、上述した像側での定義と同様、評価点２２の対象側で定義する輻輳収差の面平行成分及び面垂直成分は、

$\theta_{CH}' = \theta_{HR}' + \theta_{HL}'$

$\theta_{CV}' = \theta_{VR}' + \theta_{VL}'$

より、

（輻輳収差の面平行成分）：$\theta_{CH}' - \theta_{CH0}'$

（輻輳収差の面垂直成分）：$\theta_{CV}' - \theta_{CV0}'$

と表わされる。

【００６４】

図２において説明した注視線$13L_0$及び$13R_0$に沿った光学値を基準に、図６に示す注視線１３Ｌ、１３Ｒに沿った光学値の差が収差である。すなわち、第２ステップで算出された球面度数、乱視度数、乱視軸、輻輳角を基準にして、第３ステップで、球面度数、乱視度数、乱視軸の差から度数誤差、残留非点収差が計算される。輻輳角に関しても、上述の定義に基づき輻輳収差が求められる。輻輳収差は、再度詳しく定義すると、第１ステップで説明した光学システムで対象から設計基準点を通り眼球回転中心に至る主光線に沿った光学量を基準にした、輻輳角の差である。

【００６５】

本発明において定義する輻輳収差は、通常の両眼網膜像差とは異なる。具体的には、輻輳収差は、左右の矯正眼鏡装用状態での輻輳角の収差である点、両眼視方向で定義された対象（正中面を含む対象球面５上の任意の評価点２２）を見た時の収差である点、眼球の節点ではなく眼球回転中心を通る注視線で定義されている点で、通常の両眼網膜像差と異なる。また、眼球運動がある点において、両眼網膜像差とは異なる。ここで両眼網膜像差の用語は、非特許文献１０のp283-287によった。

【００６６】

また、本発明で定義する輻輳収差は、心理学で出現する輻輳角の差とも異なる。心理学で定義される「輻輳角」は、例えば下野孝一による「輻輳運動と両眼ステレオプシス」（光学第23巻第１号（1994年1月）p17-22）に記載がある。この記載では、「凝視点（両眼視軸の交点）とそれぞれの眼の回旋点（回転中心）とのなす角度」とされている。輻輳収差と輻輳角の差との相違点は、左右の矯正眼鏡装用状態での輻輳角の収差である点、両眼視方向で定義された対象を見た時の収差である点、眼鏡の左右の設計基準点を通る注視線のなす角を収差の差をとる基準値としている点である。眼鏡を通過して評価点に至る注視線の視角から定義する本発明の輻輳収差とは全く異なる値であることがわかる。

【００６７】

（４）従来例との相違点

ここで再び、特許文献１に記載された水平方向差、垂直方向差と輻輳収差の違いをあげる。輻輳収差は、以下５つの点が相違点としてあげられる。

ａ．両眼視の運動法則であるヘリングの等神経支配法則のバーゼンス（異側性両眼運動）、すなわち輻輳運動より導かれる生理学的知見に基づいた定義であること。

ｂ．両眼視方向により定義された任意の対象が可能なこと。

ｃ．評価基準が１つであるために、視野全域で同一基準の評価ができること。

ｄ．成分に分割した場合、面平行成分、面垂直成分の考案により水平面から変位した場合に生理学的に適切な定義となっていること。

ｅ．対象の位置を平面上の定義ではなく立体的な定義とすること。

【００６８】

ここで、特許文献１に記載されている水平方向差、垂直方向差を詳しく分析する。図８に特許文献１の「図２」の水平方向成分を示す。以下、垂直方向は同様なため、特許文献１の第５頁３５行に記載された水平方向位置差ΔP_Hのみについて説明する。図８に示すように、両眼球回転中心間距離をＰＤ、両眼球回転中心から点Ｐを含む面５９までの距離

をＬとする。また、特許文献１では図示してないが、対象面５９上の点であり両眼球回転中心の等分点をｑ点とする。ｑ点は、両眼球回転中心から発した正面方向の注視線Ｌｒ，Ｌｌと面５９との交点とする。注視線Ｌｒ、Ｌｌの視角をα_R、α_Lとし、注視線５４，５５の視角を、注視線Ｌｒ，Ｌｌからそれぞれ$\Delta\alpha_R$、$\Delta\alpha_L$とする。

【００６９】

そこで、水平方向位置差ΔP_Hは、

$\Delta P_H = L \times \tan(\alpha_R + \Delta\alpha_R) - L \times \tan(\alpha_L + \Delta\alpha_L) - PD$

と表わされる。また両眼球回転中心間距離ＰＤは、(α_R)、(α_L)、Ｌを使うと以下の関係を持つ。

$PD = L \times \tan(\alpha_R) - L \times \tan(\alpha_L)$

水平方向差は、水平方向位置差を対象距離Ｌで割ると記載されているため次式が成立する。

水平方向差$= \tan(\alpha_R + \Delta\alpha_R) - \tan(\alpha_L + \Delta\alpha_L) - PD / L$

ＰＤを代入すると、

水平方向差$= \tan(\alpha_R + \Delta\alpha_R) - \tan(\alpha_L + \Delta\alpha_L) - (\tan(\alpha_R) - \tan(\alpha_L))$

となる。

【００７０】

ここで、視野中心部で$(\Delta\alpha_R)$，$(\Delta\alpha_L)$が十分小さい時のみ、下記の近似式が成り立つ。

水平方向差　$\Delta\alpha_R - \Delta\alpha_L$

したがって、特許文献１の「水平方向差」は、視野中心部のごく限られた狭小領域では、注視線ＬｒとＬｌとがなす輻輳角を基準にして、同一面５９の点Ｐを見たときの輻輳角の変化を表現している。しかし、これは、$(\Delta\alpha_R)$，$(\Delta\alpha_L)$が大きい中心部以外の領域では輻輳角とは無関係の量となり、いわば生理学的な根拠を持たない値となる。

【００７１】

このような生理学的な根拠を持たない量である水平方向差を評価関数としてそのまま用いると、両眼視の性能評価のためには、以下の問題点があることがわかる。

１．Ｐ点とｑ点がツァイスの説明図の様に同一の対象面５９になくてはならない。そのため、対象面が前額面と平行な平面以外、水平方向差は、基準点が対象までの距離ごとに変化してレンズ全体の評価法となりえない。すなわち収差の性質はない。

２．対象がツァイスのように同一対象面５９であった場合は単一の基準となり、収差の性質を持つ。ところが、(α_R)、(α_L)，$(\Delta\alpha_R)$，$(\Delta\alpha_L)$が大きくなった場合、タンジェントには角度に対する非線形の性質があるため、角度の差$\Delta\alpha_R - \Delta\alpha_L$で表現される輻輳角と合わなくなる。そのため、水平方向差は、視野周辺部で生理学的な根拠を持たない。

３．同様のことであるが、注視線５４，５５が水平面から偏位したとき本来の輻輳角とも異なってくる。

以上説明した特許文献１の定義によれば、対象全面一律の定義となりえず、視野周辺部で生理学的な根拠を持たない評価関数となる。根拠のない不明瞭な定義を用いて両眼視の評価をするのは不適切である。

【００７２】

（５）実際の注視線との相違の説明

次に、本発明における光線追跡法による注視線と現実の注視線の違いをさらに詳述する。面平行方向に関しては、眼球の開散、輻輳限界内では任意の対応関係がある。そのため、図６の注視線１３L_0’，１３R_0’の面平行方向で常に評価点２２を通ることは可能である。ここで、非特許文献８に従って説明する。同側性両眼運動量をθ、異側性両眼運動量をμ、右眼運動量をM_R、左眼運動量をM_Lとするとヘリングの等神経支配法則は次式で表現できる。

$\theta + \mu / 2 = M_R$

$\theta - \mu / 2 = M_L$

すると眼球の開散、輻輳限界内で任意のM_R、M_Lがθ、μで実現可能となる。すなわち、同側性両眼運動と異側性両眼運動により左右眼球を任意に動かすことにより、面平行方向では評価点２２を通ることが可能である。

【００７３】

しかし、面垂直方向では、左右眼球は、現実には独立に回転できない。そのため、一見本発明の注視線の計算法の通りに眼球は回転不能のように思える。しかし、運動性融像の垂直融像よせは運動にて可能であり、パナム領域の面垂直方向では感覚にて可能である。面垂直方向の融像は、閾値があるが不随意的には可能である。よって、光線追跡法による注視線によって面垂直方向の輻輳収差と現実の注視線とは矛盾しない。但し、閾値以上の垂直融像よせが輻輳収差の面垂直成分となるなら当然実現できない。本発明における光線追跡法による注視線による計算法は、眼球回転運動が可能か不能か判断するための手段である。

【００７４】

本実施形態では、以上の度数誤差、残留非点収差、輻輳収差を、対象－眼鏡レンズ－両眼球システムにおける両眼視方向での対象の評価点（通常レンズ全面で両眼視方向１～１０度ピッチ、一部左右どちらかしか注視線がない場合もあるがその点も評価点である）に従属する収差として算出する。算出した輻輳収差から、下記の要領で評価を行う。具体的には、感覚性融像及び運動性融像が可能な閾値をそれぞれ設け、それ以内の範囲かどうかで評価を行う。

【００７５】

ここで、本発明で着目する融像を含む両眼視機能について説明を加える。両眼視機能は、同時視、融像、立体視に大きく分類される。例えば非特許文献３には、全般に詳しい説明がある。非特許文献３では、同時視が可能な場合に融像ができ、融像が可能な場合に立体視できるという構造に分類されている。本発明では融像に着目したため、他の機能は説明を省く。但し、融像なくして両眼視の最高機能である立体視はできないことを明記する。融像は、両眼にそれぞれ別々に入力された視覚情報を１つに統合する視機能である。眼球を動かさずに対象を１つに統合することは、感覚性融像である。感覚性融像を得るための輻輳、開散運動、垂直融像よせは、運動性融像と呼ばれる。融像が運動性と感覚性に分類されることは、例えば非特許文献４（David M. Hoffman, et al., "Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue", journal of vision, Vol. 8, No.3, 33 (2008)）に記載されている。

【００７６】

非特許文献４のｐ４fig.2では、輻輳－調節連携図を感覚性と運動性の２つに分けて示している。これを図１８Ａ及び１８Ｂに示す。図１８Ａは感覚性融像を示し、横軸は刺激（対象）の大きさを表わす刺激距離（単位：ディオプターＤ）、縦軸は焦点距離（Ｄ）である。図１８Ｂは運動性融像を示し、横軸は輻輳距離（Ｄ）、縦軸は焦点距離（ｍ）である。図１８Ａを参照すると、感覚性融像では、パナム（Ｐａｎｕｍ）の融合領域Ｐと焦点深度Ｄとが連携していることが理解される。図１８Ｂを参照すると、運動性融像では、相対輻輳と相対調節とが連携していることがわかる。図１８Ａと図１８Ｂとを比較すると、感覚性融像より運動性融像が数倍大きいことがわかる。

【００７７】

なお、運動性融像に関しての測定法と標準値は、例えば非特許文献５（和泉行雄、風見俊成著「両眼視機能の検査」改訂版、早稲田眼鏡専門学校（1985）p5）に記載されている。

【００７８】

輻輳角の表現の仕方について説明する。メーター角をＭＡ、角度単位で分をθ、プリズムディオプターをＰ、瞳孔間距離をＰＤ（ｍｍ単位）とすると、それぞれの関係は以下の数１～数３に示す式が満たされる。なお、ａはＰＤ，ＭＡの誘導値である。

【００７９】

【数１】

$$a=\frac{PD\times MA}{2000}$$

【００８０】
【数２】

$$\sin\left(\frac{\pi}{180}\times\frac{1}{60}\times\frac{\theta}{2}\right)=a$$

【００８１】
【数３】

$$P=100\times\frac{2\times a}{\sqrt{1-a^2}}$$

【００８２】
数値計算の参考例を図１９Ａ及び１９Ｂに示す。図１９Ａでは瞳孔間距離ＰＤ＝０．０６ｍであり、図１９ＢではＰＤ＝０．０６５ｍである。図１９Ａ、１９Ｂの各数値例においては、パラメータとして、距離（ｃｍ）、メーター角ＭＡ、分角（arc min）、Δ（ディオプター）が列記される。
【００８３】
次に、感覚性融像と運動性融像について説明を加える。感覚性融像は眼球の運動がない融像であり、運動性融像は眼球の回転を伴う融像であり、両者は相違する。感覚性融像を非特許文献６（内川恵二、塩入諭編著「視覚II」朝倉書店（2007）p131-132）のp131-132に従って説明する。非特許文献６には、「両眼視差のある２つの網膜像が１つに知覚にされるためには，視差の大きさはある範囲に入っている必要がある。この領域はパナム（Ｐａｎｕｍ）が初めて系統的な実験によって測定したことからパナムの融合領域（又は融像領域）とも呼ばれる。融合領域は刺激条件に依存し（時空間周波数，網膜位置，周辺刺激の有無，測定方法，判断基準など），数分から数度と大きく変わる。したがって，特定の実験結果で代表することはできない。」と記載されている。
【００８４】
ここで、両眼視差とは、左右眼球の節点と固視点を挟む視線の差である。簡易的には外界の距離に比して節点と回転中心の差はわずかなため区別しないこともある。特定の実験であるが、感覚性融像の範囲に関しては、空間周波数に依存していること、すなわち視覚対象の形や大きさに依存することが測定されている。依存の仕方は、例えば非特許文献７（Schor, C. Wood, I. Ogawa J. "Binocular sensory fusion is limited by spatial resolution", Vision Research, 24(7), (1984) p661-665）に記載されている。図２０は、非特許文献７のp584の図を示す。この図は広く使用され、非特許文献３のp316にも記載されている。この図２０中、横軸は空間周波数（すなわちパターン幅の逆数）を示し、縦軸はパナムの融合領域を示す。図２０は、対象として方形パターンとランダムドットパターンとの結果を比較している。
【００８５】
図２０に示されるように、視力が出る空間周波数の高い状態では融合領域が比較的狭く、ほぼ一定である。また水平方向と垂直方向とで融合領域が異なり、空間異方性がある。空間周波数の高いところ、すなわち中心窩で見るときは、垂直方向の融合領域が水平方向の融合領域の半分以下である。パナムの融合領域には、対象の提出状態による違いがあることも知られている。パナムの融合領域は、例えば日常に出てくる状態である方形パターンの方がランダムなドットパターンよりも広いことが知られている。

【００８６】
水平方向の視差の範囲の説明として、水平網膜像差と知覚的奥行きの関係を図２１に示す（非特許文献６のp86）。図２１中、横軸が水平方向の両眼視差の差である両眼網膜像差を示し、縦軸が両眼網膜像差に対する知覚的奥行きを示している。図２１によれば、両眼網膜像差の増加に対して奥行き量が比例して増加するが、融合限界を過ぎた後は比例しなくなり、奥行き最大に達すると低下することがわかる。このように奥行き最大と融合限界は異なる値のため、融像と立体視は異なる生理現象であるといえる。奥行き最大と融合限界は、その値に個人差があり、空間周波数や提示時間等の条件によっても変化する。したがって、近似的には融合限界から奥行き最大の範囲に対応する両眼網膜像差を「パナムの融合領域」として扱うことができる。

【００８７】
以上の他にも運動性融像と感覚性融像の測定値を記載した文献がいくつかある。このような文献の開示内容を総合的に判断すると、感覚性融像は、運動性融像の数分の一程度である。なお、これらの結果は、主に心理学の測定によって得られている。

【００８８】
（６）融像閾値の説明
ここで、本発明による眼鏡レンズの評価方法を実施するためのステップの説明に戻る。本実施形態では、上述のステップにより求めた輻輳収差の値から、感覚性融像可能か、運動性融像可能かを判断する。感覚性融像の閾値の指標には、パナムの融合領域、眼球焦点深度が考えられる。しかしながら、その定量的測定は、既述したように、融像刺激条件に依存して精密かつ注意深い測定を必要とする。加えて、特定の測定で代表できない性質のため、測定にはよらずに設定することとなる。設定方法としては、眼鏡レンズの使用条件を勘案し公知測定値から、設計者の裁量により任意に選択可能である。具体的には、パナムの融合領域の水平方向は、両眼網膜像差の融合限界から奥行き最大値の間くらいが適当である。水平方向に関しては、図２１から判断して両眼網膜像差の半分が適当である。また焦点深度に関して、本出願人は、信頼できる測定値を発見できなかった。あえて数値を記載すると、水平網膜像差１５′～６０′から誘導される値として０．０６～０．３ディオプター幅程度が適当である。また垂直網膜像差は４′～３０′が適当である。すなわち、感覚性融像の閾値としては、水平方向に０．０６～０．３ディオプター、垂直方向に０．０１６～０．１５ディオプターとし得る。

【００８９】
運動性融像の閾値は、感覚性融像の模式図１８Ａと運動性融像の模式図１８Ｂとの比較から明らかなように、感覚性融像の閾値の倍から数倍程度と設定できる。また例えば非特許文献５等の測定方法に基づき、公知の測定値である実性相対輻輳、虚性相対輻輳、垂直融像よせを個別測定する、或いは年齢別等で計算導出しておき、その導出結果を運動性融像の閾値と設定することも可能である。運動性融像は、例えば注視線が移動した際の輻輳収差が実性相対輻輳、虚性相対輻輳、垂直融像よせの閾値内にあれば、輻輳に関して融像条件を満たしていることを意味する。なお、その範囲は融像限界であるため、閾値近傍では疲労する恐れがある。そのため、快適に融像可能な運動性融像の閾値は、パーシバルの快適領域（実性相対輻輳、虚性相対輻輳の和である「相対輻輳」の範囲の中心１／３、かつ輻輳角３プリズムディオプター以内）とすることが望ましい。また簡易的には実性相対輻輳、虚性相対輻輳、それぞれの中心１／３が望ましい。

【００９０】
平均度数誤差についても同じことが言える。すなわち、度数誤差が、非特許文献５等に記載の測定法で測定された実性相対調節、虚性相対調節の範囲内にあれば融像可能と判断することができる。度数誤差に関してもパーシバルの快適領域は成り立つ。すなわち、１／３の範囲が望ましい。つまり、輻輳収差が実性相対輻輳、虚性相対輻輳の１／３内にあり、なおかつ、平均度数誤差が実性相対調節、虚性相対調節の１／３内にあれば、両眼視覚に関して視覚疲労を生じにくい快適な融像が可能といえる。

【００９１】

［２］眼鏡レンズ設計方法及び製造方法
次に、本発明による眼鏡レンズの設計方法及び製造方法の実施の形態について説明する。本実施形態に係る眼鏡レンズの設計方法は、輻輳収差を評価関数の因子として用いて最適化計算を行うステップを含む。
【００９２】
ここで、本実施形態にも利用される一般的な最適化計算によるレンズ形状設計について概説する。レンズ形状と対象に関して、一般に、面は、ＮＵＲＢＳ（Non-Uniform Rational B-Spline）等の一般自由曲面、又は公知の数式で表現される。また、肉厚、配置は、適切な係数で表現される。このとき、レンズ形状と対象は、構成要素である係数によって規定される。始めのステップでは、既知のパラメータがコンピュータに入力される。既知のパラメータには、対象、対象－レンズ－眼球の配置関係、制約条件（例えば設計基準点で所定の処方値となる、肉厚がマイナス値にならない等）、レンズの収差を因子とした評価関数等がある。次の最適化計算のステップでは、制約条件を満たしながら、対象上の評価点から得られる評価関数が少なくなるレンズ構成要素の係数の組を探し出す。収束条件として、最小の評価関数値又は実質的に評価関数が少なくなる係数の組を探し出せなくなるまで、繰り返し収束する計算が行われる。収束条件が満たされて繰り返し計算が終了した時、レンズ構成要素の係数は確定する。この全ステップがレンズ形状決定、又はレンズ設計と呼ばれる。この種の公知の最適化計算において、レンズ設計と既知の対象、配置関係、制約条件、評価関数とは等価な関係がある。すなわち対象、配置関係、制約条件、評価関数が決まればレンズ設計は、一義的に決定する。
【００９３】
図９は、本発明の眼鏡レンズの設計方法を説明するためのフローチャートである。設計の処理が開始すると、まず、レンズの素材に関するデータ、処方に関する仕様に基づく形状データ、中心厚、目や顔及びフレームの形状に関するデータ、及び必要に応じて相対輻輳等の測定値や、設計者の自由裁量による融像閾値の設定値が入力される（ステップＳ０）。上記データの詳細は以下のとおりである。
【００９４】
ａ．レンズの素材に関するデータ
具体的には、眼鏡レンズの３次元的形状、屈折率、アッベ数等である。
ｂ．処方に関する使用に基づく形状データ
処方度数としてＳ度数、Ｃ度数、乱視角、プリズム度、プリズム角、また明視する処方距離等である。
ｃ．中心厚
プラスレンズの場合のみ入力する。
ｄ．眼や顔、フレームの形状に関するデータ
具体的には、レンズ前傾角、あおり角、ＰＤ（両眼の瞳の距離）、ＶＲ（眼球回旋点と眼鏡レンズ後方頂点との距離）等である。
ｅ．融像閾値の設定値
個人差又は用途に応じて定まる運動性融像の閾値、感覚性融像の閾値を、個別の測定値（例えば相対輻輳、実性相対輻輳、虚性相対輻輳、垂直融像よせの測定値）から算出して入力する。或いは、眼鏡装用者の用途等に応じて設計者によって選択した閾値を入力する。
【００９５】
本実施形態の眼鏡レンズの設計方法によれば、次いで、図２～図７において説明した対象－眼鏡レンズ－両眼球システムによる座標系が設定される（ステップＳ１）。そして、この座標系において、上述した入力データの情報を基に、光学的収差が計算される（ステップＳ２）。具体的には、眼鏡レンズの設計基準点において、処方の度数となるように周知の光線追跡法等を用いて平均度数誤差、非点収差がゼロまたは最小となるようにすると共に、輻輳収差基準となる設計基準点を通る注視線における輻輳角が求められる。ここで求められた輻輳角が、輻輳角基準値とされる。

【００９６】
本実施形態の眼鏡レンズの設計方法によれば、次に、眼鏡レンズの各評価点において、同様に、光線追跡法等を用いて各評価点における平均度数誤差、非点収差等と共に、評価点における輻輳角からステップＳ２で求めた輻輳角基準値を差し引いた値である輻輳収差が算出される（ステップＳ３）。
【００９７】
本実施形態の眼鏡レンズの設計方法によれば、次に、計算した評価関数の値、ここでは例えば輻輳収差の値が最小となるように減衰最小自乗法等の最適化計算が行われる（ステップＳ４）。またこのステップにおいて、予め設定した上述の閾値以下であるか否かが判断される。なお、このステップでの判断は、眼鏡レンズの全評価領域ではなく、設計基準点を含む所定の領域内、例えば半径３～５ｍｍ以内の範囲等において行うことも可能である。このステップＳ４で、輻輳収差の値が閾値以下ではないと判断された場合（ステップＳ４のＮｏ）は、光学的収差を補正するように形状データが修正される（ステップＳ５）。ここでは、例えば屈折面の可変パラメータ等が補正される。ステップＳ４で、輻輳収差の値が閾値以下であると判断された場合（ステップＳ４のＹｅｓ）は、続いて、レンズ全面の評価が終了したかどうかが判断される（ステップＳ６）。
【００９８】
このステップＳ６で、レンズ全面での評価を終了しておらず、他の評価点の計算が残っていると判断された場合（ステップＳ６のＮｏ）は、ステップＳ３に戻り、レンズの他の位置での光学性能値が入力される。予め定めておいた全ての評価点における評価が終了したと判断された場合（ステップＳ６のＹｅｓ）は、評価を終了させて、レンズ全面の光学設計値を決定する（ステップＳ７）。
【００９９】
以上のステップにより、本実施形態に係る眼鏡レンズの設計方法が終了する。なお、ステップＳ１において入力する情報は上記の情報に限定されるものではなく、その他の情報を入力して評価関数の計算に加味することも可能である。また、決定した光学設計値に基づいてレンズを加工することによって、眼鏡レンズが製造される。このとき、メーカー独自の形状パラメータや、又は工場（製造装置）によって定められた補正係数等の形状パラメータが加味されてもよい。
【０１００】
そして、この後、決定した光学設計値に基づいてレンズの表面の裏面を加工することによって、眼鏡レンズを製造することができる。
【０１０１】
［３］眼鏡レンズ製造システム
次に、本発明による眼鏡レンズ製造方法を実現する眼鏡レンズ製造システムの一形態について説明する。図１０は、この眼鏡レンズ製造システムの概略構成図である。図１０に示すように、このシステム５００では、眼鏡店１００側は、眼鏡レンズ注文者の視力や相対輻輳、又は実性相対輻輳や虚性相対輻輳を測定する測定装置１０１と、測定装置によって測定された値を含む各種の情報を入力し、眼鏡レンズの発注に必要な処理を行う機能を有する発注側コンピュータ１０２とを有する。ここで相対輻輳等の輻輳に関する測定値を入力しない場合は、顧客の選択による融像に関するデータを入力してもよい。また、融像閾値をレンズメーカ側で選択するための年齢や用途等のデータを入力してもよい。
【０１０２】
一方、受注側である例えばレンズメーカ２００には、この発注側コンピュータ１０２から出力される情報を受信するために、インターネット等の通信回線３００に接続された製造側コンピュータ２０１が設けられる。この製造側コンピュータ２０１は、眼鏡レンズの受注に必要な処理を行う機能を有すると共に、図９で説明したような眼鏡レンズ設計方法を行う機能を持っている。すなわち、発注側コンピュータ１０２から発注される、眼鏡レンズの設計に必要な情報には、相対輻輳や輻輳閾値選定に用いるデータが含まれる。そして、製造側コンピュータ２０１は、本発明を用いて設定した対象－眼鏡レンズ－眼球シス

テムを用いて輻輳収差に関し最適化計算を行って、光学設計値を決定するとともに、この光学設計値に基づいて眼鏡レンズを製造するための製造情報をレンズ加工装置２０２に出力する。

【０１０３】

なお、製造側コンピュータ２０１に入力される情報は、上述したように図９のステップＳ０に示される情報に限定されるものではなく、その他の情報を入力して評価関数の計算に加味することも可能である。また、決定した光学設計値に基づいてレンズを加工することによって眼鏡レンズが製造されるわけであるが、このとき、メーカー独自の形状パラメータや、工場（製造装置）によって定められた補正係数等の形状パラメータが加味されてもよい。

【０１０４】

図１１は、本実施形態の眼鏡レンズ製造システムの核となる製造側コンピュータ２０１の機能を説明するための機能ブロック図である。図１１に示すように、製造側コンピュータ２０１は、発注側コンピュータ１０２から送信される各種データを入力するデータ入力部２０３と、この入力データに基づいて輻輳角基準値や輻輳収差を計算する輻輳角・輻輳収差計算部２０４と、この輻輳収差を因子に含む評価関数としてその最適化を計算する輻輳収差最適化部２０５と、この輻輳収差の値を所定の閾値と比較する輻輳収差評価部２０６とを備える。製造側コンピュータ２０１は、更に、輻輳収差評価部２０６において評価した結果、光学性能の修正が必要な場合に設計データ、例えばレンズ形状データを修正する設計データ修正部２０７と、各評価点の評価を終了したときに光学設計値を決定する光学設計値決定部２０８と、この光学設計値に基づく設計データをレンズ加工装置２０２に出力する設計データ出力部２０９を備えている。

【０１０５】

図１０に示される眼鏡店１００の測定装置１０１は、眼鏡レンズ注文者の視力や相対輻輳等の測定値、また輻輳閾値の設定に利用可能な眼鏡レンズ注文者の情報を入力し、これを発注側コンピュータ１０２で所定の処理を加えて、通信回線３００を介してレンズメーカ２００に送る。レンズメーカ２００のコンピュータ２０１（製造側コンピュータ）は、データ入力部２０３で受信した、レンズの素材に関するデータや仕様に基づく形状データ、目や顔、フレームの形状に関するデータを入力するとともに輻輳閾値の設定に必要なデータ等を入力する。

【０１０６】

そして、輻輳角・輻輳収差計算部２０４は、入力データ（処方値）に基づき輻輳角基準値、評価点での輻輳角から輻輳収差を計算する。輻輳収差最適化部２０５は、計算された輻輳収差を評価関数として、眼鏡レンズの各評価点について非点収差等の必要な光学性能値を求めて、この評価関数から各評価点における最適な光学性能値を算出する。この最適化の計算は、減衰最小自乗法等によって行われる。

【０１０７】

次に、輻輳収差評価部２０６は、輻輳角・輻輳収差計算部２０４で計算された輻輳収差の値を予め設定した閾値と比較する。この輻輳収差評価部２０６の比較結果に基づいて、すなわち、輻輳収差の値が予め設定した値に達しない場合には、設計データ修正部２０７が、輻輳収差が所望の融像範囲内となるように、眼鏡レンズの設計データを修正する。光学設計値決定部２０８は、各評価点の光学設計値を決定する。そして、予め定めておいた全ての評価点における評価が終了すると、決定されたレンズ全面の光学設計値が、設計データ出力部２０９から、図１０に示されるレンズ加工装置２０２に送られる。

【０１０８】

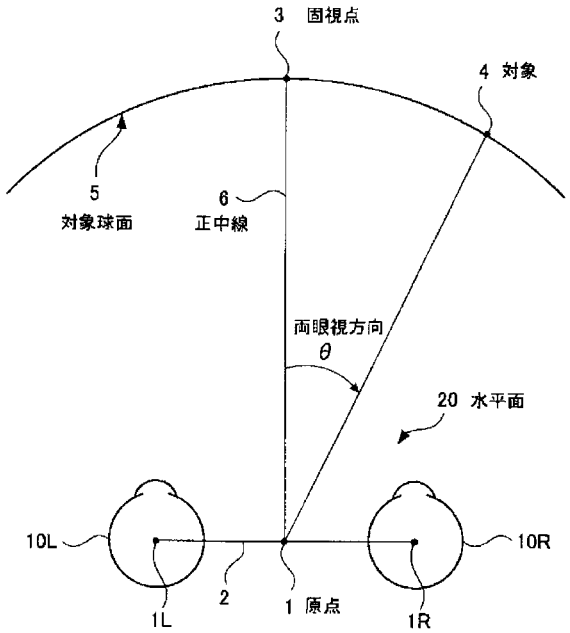
レンズ加工装置２０２としては、レンズの前面又は後面、或いは両面の曲率を入力データに基づいて、例えば自動的にレンズを切削、研磨加工を行う通常の眼鏡レンズ製造装置が利用される。レンズ加工装置２０２は、眼鏡レンズ製造装置として周知の装置であるから、その装置の具体的な説明は省略する。

【０１０９】

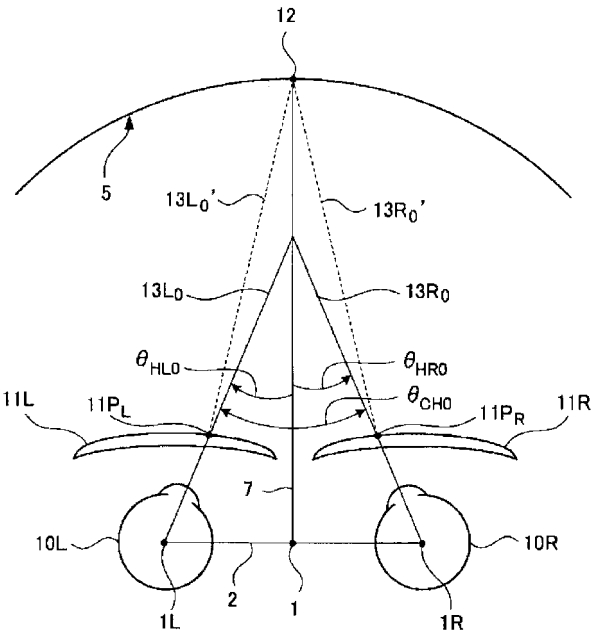
［４］眼鏡レンズの評価方法の実施例
次に、上述した本発明の実施形態に係る眼鏡レンズの評価方法を用いて各種の眼鏡レンズの両眼視に関して輻輳収差を用いて評価を行った結果を説明する。
（１）実施例１（乱視度数０Ｄの例）
実施例１として、左右眼鏡レンズが共に球面度数－４Ｄ、乱視度数０Ｄとする場合の輻輳収差の計算例を挙げる。この結果を図１２及び図１３に示す。この例は、単焦点眼鏡レンズの評価の例であり、最適化の繰り返し計算が行われていない。対象は、上述の本実施形態において説明した座標系における視方向の原点１を中心とする半径無限大の眼前半球面とした。すなわち遠方視で評価したものである。眼鏡レンズは汎用の両面非球面レンズであり、ＷＯ２００２／０８８８２８号公報、ＷＯ２００４／０１８９８８号公報又は本出願人の出願に係るＰＣＴ／ＪＰ２００８／０６９７９１明細書等において記載された視力関数によって良好に補正されている。この例では、本発明による評価方法の効果を明確にするため、レンズの前傾角、あおり角、レンズの偏心は０にしている。角膜頂点から眼球回転中心までの距離は２７．７ｍｍであり、アッベ数は３２、レンズ径は７５ｍｍ、瞳孔間距離は６２ｍｍとした。図１２及び図１３は２枚一組であり、眼鏡レンズの各評価点における以下の評価を図示したものである。すなわち、横軸縦軸とも両眼視方向であり、横軸は水平方向、縦軸は垂直方向であり、単位は角度の度である。図１２は面平行方向の輻輳収差を示し、図１３は面垂直方向の輻輳収差を示し、単位はどちらもプリズムディオプターである。図１２及び図１３に示されるように、輻輳収差の面平行成分、面垂直成分はともに極度に少なく殆どの領域で０．００５プリズムディオプター以下である。すなわち、融像が良好に行われており、両眼視性能が高い。なお、輻輳収差をこのようにスカラー表示するのではなくベクトル表示等も想定できる。これも本発明の範疇である。
【０１１０】
（２）実施例２（左右球面度数差－２Ｄ以上の例）
次に、実施例２として一般に不同視の定義（左右－２Ｄ以上）とされる眼鏡レンズの評価を行った。この例では、右用眼鏡レンズの球面度数を－４Ｄ、乱視度数を０Ｄとし、すなわち上記実施例１で使用したレンズと同じとした。一方、左用眼鏡レンズは、球面度数－６Ｄ、乱視度数０Ｄとし、その他の条件は、上記実施例１と同じとした。この例でも眼鏡レンズの評価の例であり、最適化の繰り返し計算は行っていない。輻輳収差の計算結果を図１４及び図１５に示す。図１４は輻輳収差の面平行成分を示し、図１５は輻輳収差の面垂直成分を示す。面平行成分、面垂直成分が共に非常に大きく、一般に不同視とされる眼鏡レンズでは、レンズ中心から放射方向に輻輳収差が大きい。図１４及び図１５に示されるように、輻輳収差は５プリズムディオプターを超えており、感覚性融像域が狭い。つまりこの眼鏡レンズを装用すると、運動性融像により融像を行うこととなる。そのため、眼球回転運動が休まることがなくなると思われる。視覚疲労を生じる場合はその原因の一つであることが伺える。
【０１１１】
（３）実施例３（あおり角２０度の例）
次に、実施例３として、フレームにあおり角がある場合の輻輳収差を計算した。この結果を図１６及び図１７に示す。実施例３では、上記実施例１で使用したレンズと同じ球面度数、乱視度数とし、あおり角の効果がどの程度あるかを評価するために、あおり角を２０度付ける例とした。その他の条件は、上記実施例１と同じである。図１６は、輻輳収差の面平行成分を示し、図１７は、輻輳収差の面垂直成分を示す。実施例３も眼鏡レンズの評価の例であり、最適化の繰り返し計算は行っていない。実施例３では、輻輳収差のうち図１６に示す面平行成分が、図１７に示す面垂直成分に比較し非常に大きいことが特徴となっている。また実施例２と比較しても、面平行成分の劣化が大きく、あおり角が２０度ある眼鏡レンズは、不同視（度数差２Ｄ）とされる眼鏡レンズよりも両眼視に与える影響が大きいことが判明する。
【０１１２】
以上から、本発明の実施形態に係る眼鏡レンズの評価方法により輻輳収差を用いて眼鏡

レンズの両眼視の定量的評価が可能となることがわかる。なお、計算例は省略するが、輻輳収差を評価関数の因子として用いて最適化を行うことにより、両眼視の融像可能域を広げることが可能である。すなわち、両眼視性能を向上させることも可能である。また、本発明は上述の本実施形態において説明した構成に限定されるものではなく、上述したように対象を半球上以外に設定する等、本発明構成を逸脱しない範囲において種々の変形、変更が可能である。

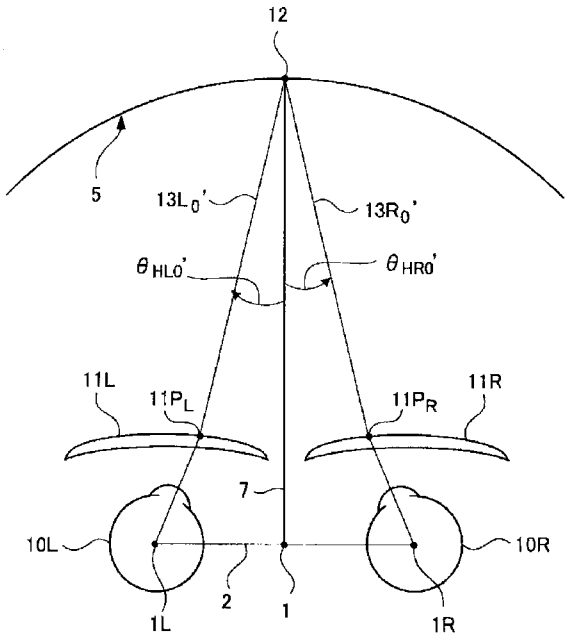
【図１】



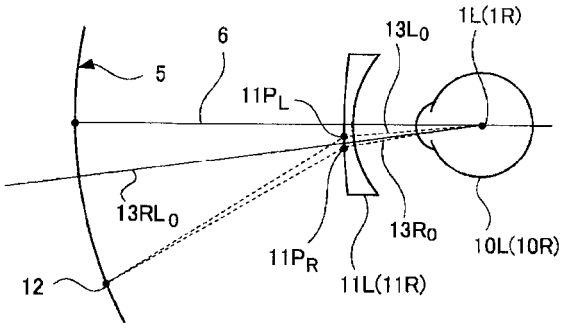
【図２】



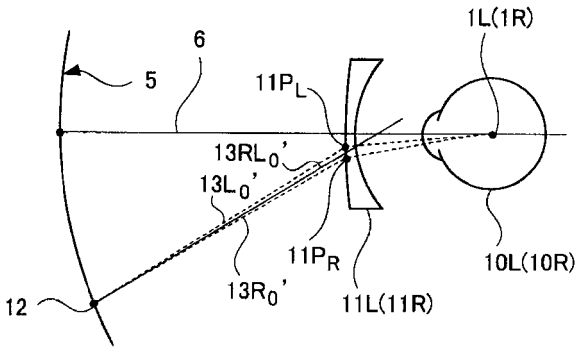
【図３】


12
5
13L0'
13R0'
θHL0'
θHR0'
11L
11PL
11PR
11R
7
10L
10R
2
1
1L
1R

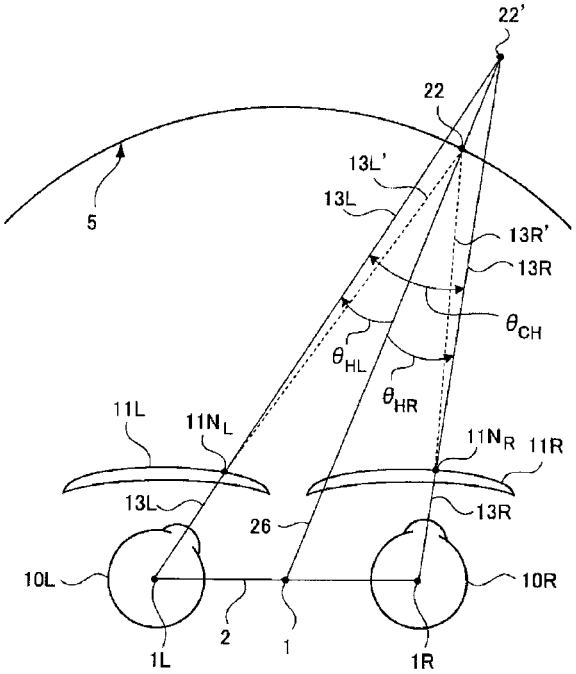
【図４】


5
6
13L0
1L(1R)
11PL
13RL0
11PR
13R0
10L(10R)
12
11L(11R)

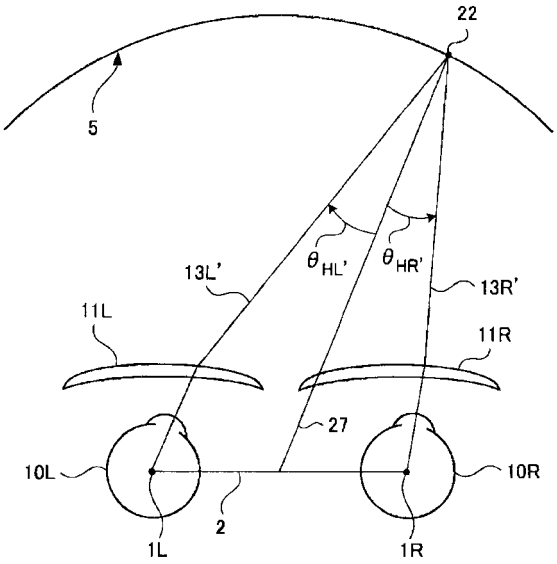
【図５】


1L(1R)
6
5
11PL
13RL0'
13L0'
11PR
10L(10R)
13R0'
12
11L(11R)

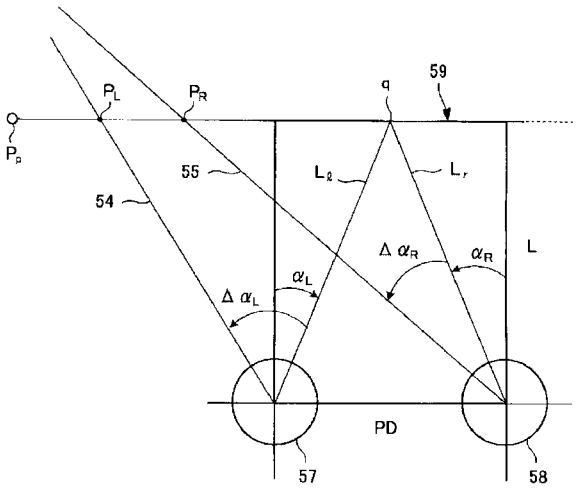
【図６】


22'
22
13L'
13L
5
13R'
13R
θCH
θHL
θHR
11L
11NL
11NR
11R
13L
13R
26
10L
10R
2
1
1L
1R

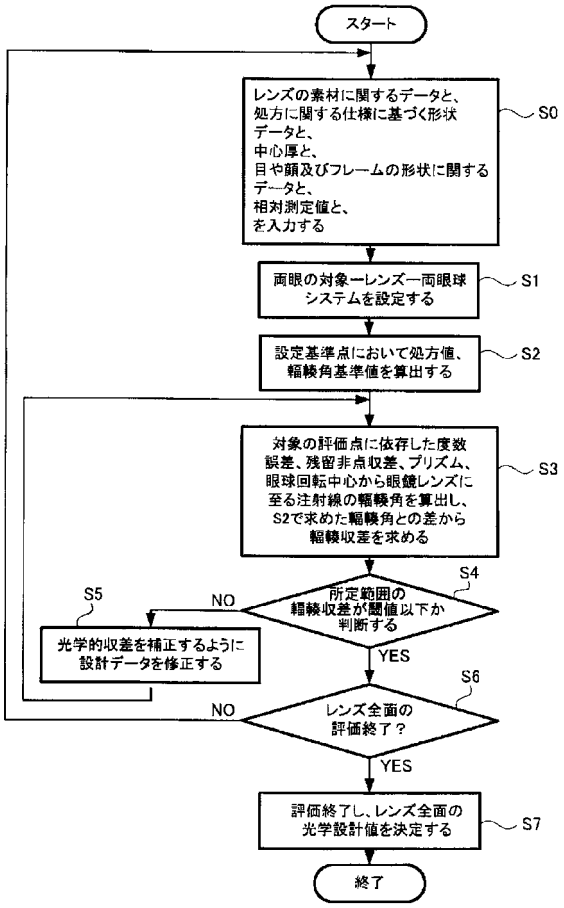
【図７】


22
5
θHL'
θHR'
13L'
13R'
11L
11R
27
10L
10R
2
1L
1R

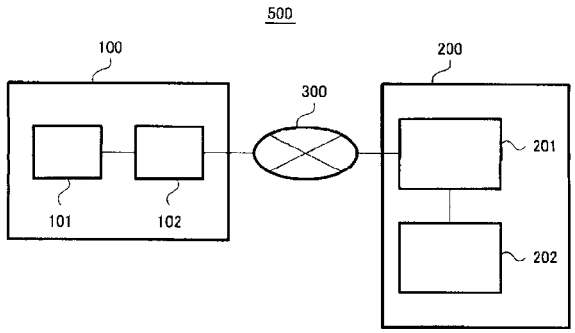
【図８】


P_L
P_R
P_0
q
59
55
54
L_ℓ
L_r
$\Delta\alpha_R$
α_R
L
α_L
$\Delta\alpha_L$
PD
57
58

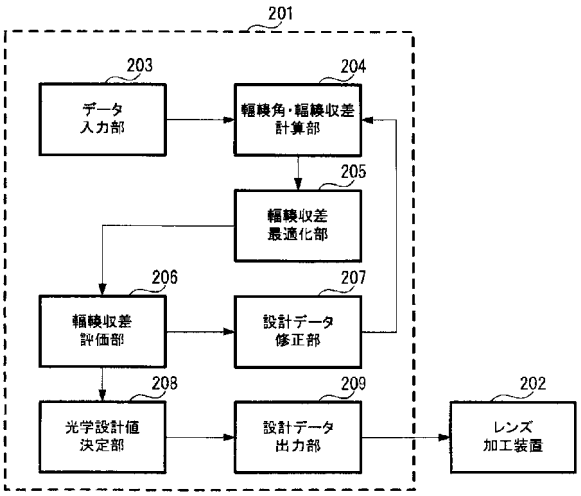
【図９】


スタート
レンズの素材に関するデータと、処方に関する仕様に基づく形状データと、中心厚と、目や顔及びフレームの形状に関するデータと、相対測定値と、を入力する
S0
両眼の対象ーレンズ一両眼球システムを設定する
S1
設定基準点において処方値、輻輳角基準値を算出する
S2
対象の評価点に依存した度数誤差、残留非点収差、プリズム、眼球回転中心から眼鏡レンズに至る注射線の輻輳角を算出し、S2で求めた輻輳角との差から輻輳収差を求める
S3
S4
所定範囲の輻輳収差が閾値以下か判断する
NO
S5
光学的収差を補正するように設計データを修正する
YES
S6
レンズ全面の評価終了？
NO
YES
評価終了し、レンズ全面の光学設計値を決定する
S7
終了

【図１０】


500
100
200
300
101
102
201
202

【図１１】


201
203
データ入力部
204
輻輳角・輻輳収差計算部
205
輻輳収差最適化部
206
輻輳収差評価部
207
設計データ修正部
208
光学設計値決定部
209
設計データ出力部
202
レンズ加工装置

【図１９】

A

(PD=0.06)

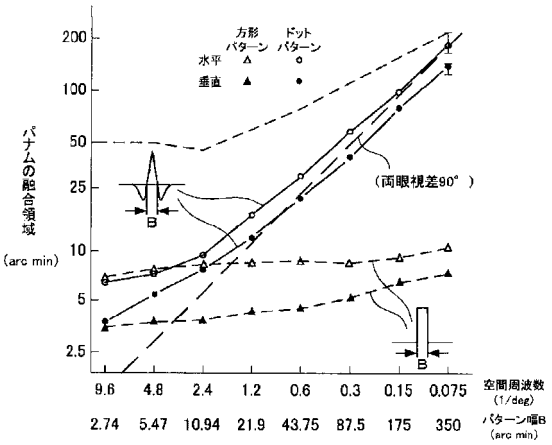
cm	MA	arc min	Δ
	0	0.0	0.0
2000	0.05	10.3	0.3
1000	0.1	20.6	0.6
667	0.15	30.9	0.9
500	0.2	41.3	1.2
400	0.25	51.6	1.5
333	0.3	61.9	1.8
286	0.35	72.2	2.1
250	0.4	82.5	2.4
222	0.45	92.8	2.7
200	0.5	103.1	3.0
182	0.55	113.4	3.3
167	0.6	123.7	3.6
154	0.65	134.0	3.9
143	0.7	144.3	4.2
133	0.75	154.6	4.5
125	0.8	164.9	4.8
118	0.85	175.2	5.1
111	0.9	185.5	5.4
105	0.95	195.7	5.7
100	1	206.0	6.0
95	1.05	216.3	6.3
91	1.1	226.6	6.6
87	1.15	236.8	6.9
83	1.2	247.1	7.2
80	1.25	257.3	7.5
77	1.3	267.6	7.8
74	1.35	277.9	8.1
71	1.4	288.1	8.4
69	1.45	298.3	8.7
67	1.5	308.6	9.0
65	1.55	318.8	9.3
63	1.6	329.0	9.6
61	1.65	339.2	9.9
59	1.7	349.4	10.2
57	1.75	359.6	10.5
56	1.8	369.8	10.8
54	1.85	380.0	11.1
53	1.9	390.2	11.4
51	1.95	400.4	11.7
50	2	410.6	12.0

B

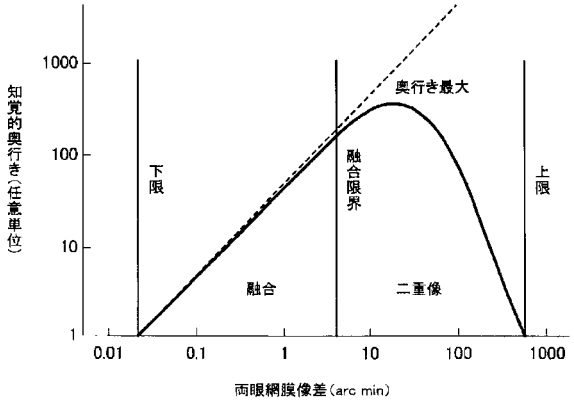
(PD=0.065)

cm	MA	arc min	Δ
	0	0.0	0.0
2000	0.05	11.2	0.3
1000	0.1	22.3	0.7
667	0.15	33.5	1.0
500	0.2	44.7	1.3
400	0.25	55.9	1.6
333	0.3	67.0	2.0
286	0.35	78.2	2.3
250	0.4	89.4	2.6
222	0.45	100.5	2.9
200	0.5	111.7	3.3
182	0.55	122.8	3.6
167	0.6	134.0	3.9
154	0.65	145.2	4.2
143	0.7	156.3	4.6
133	0.75	167.5	4.9
125	0.8	178.6	5.2
118	0.85	189.7	5.5
111	0.9	200.9	5.9
105	0.95	212.0	6.2
100	1	223.1	6.5
95	1.05	234.3	6.8
91	1.1	245.4	7.2
87	1.15	256.5	7.5
83	1.2	267.6	7.8
80	1.25	278.7	8.1
77	1.3	289.8	8.5
74	1.35	300.9	8.8
71	1.4	312.0	9.1
69	1.45	323.1	9.4
67	1.5	334.1	9.8
65	1.55	345.2	10.1
63	1.6	356.2	10.4
61	1.65	367.3	10.7
59	1.7	378.3	11.1
57	1.75	389.4	11.4
56	1.8	400.4	11.7
54	1.85	411.4	12.0
53	1.9	422.4	12.4
51	1.95	433.4	12.7
50	2	444.4	13.0

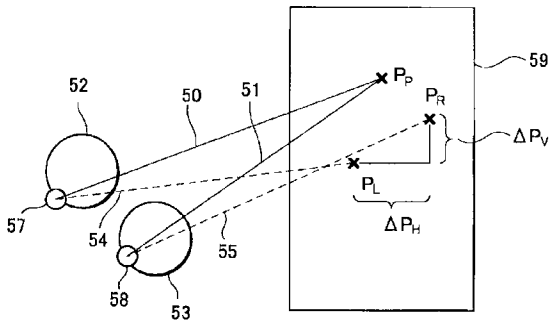
【図２０】



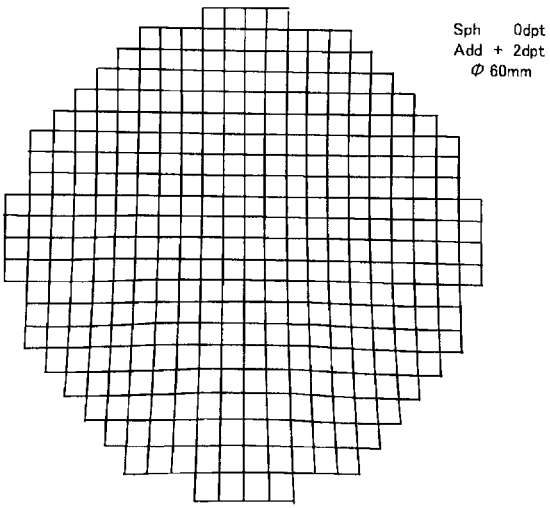
【図２１】



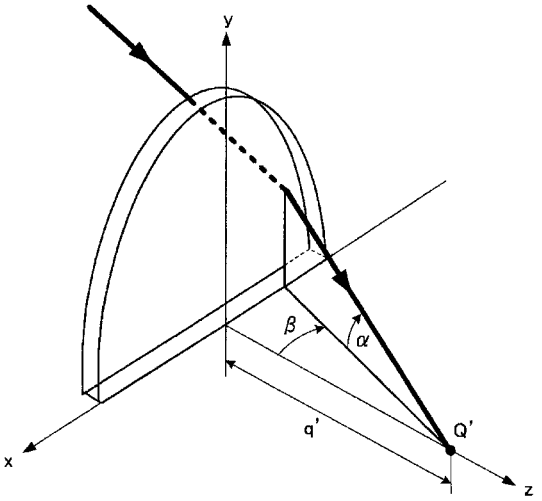
【図２２】



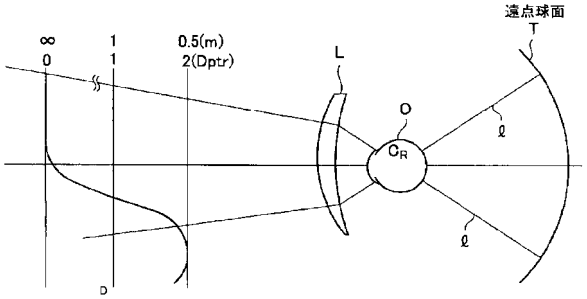
【図２３】



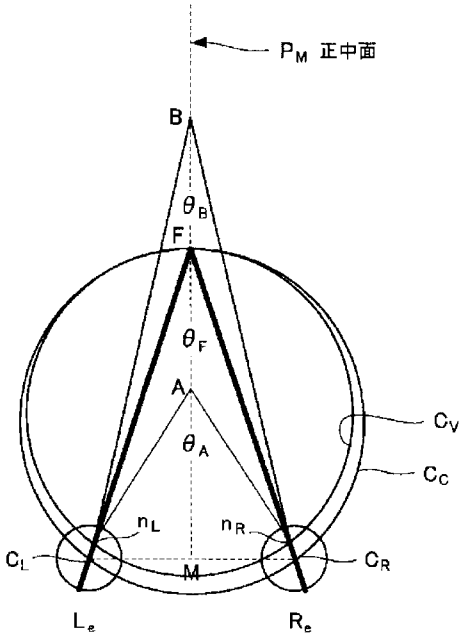
【図２４】



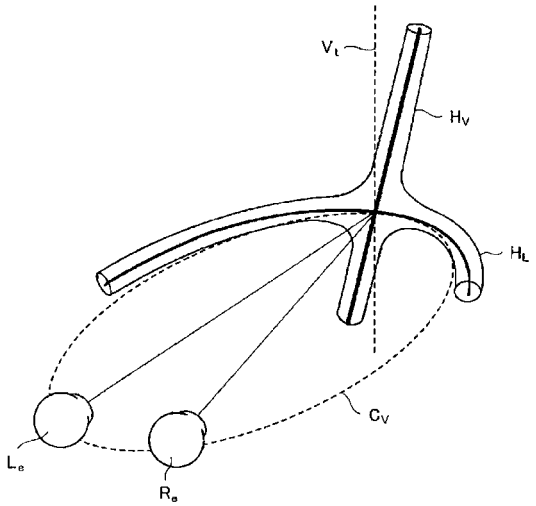
【図２５】



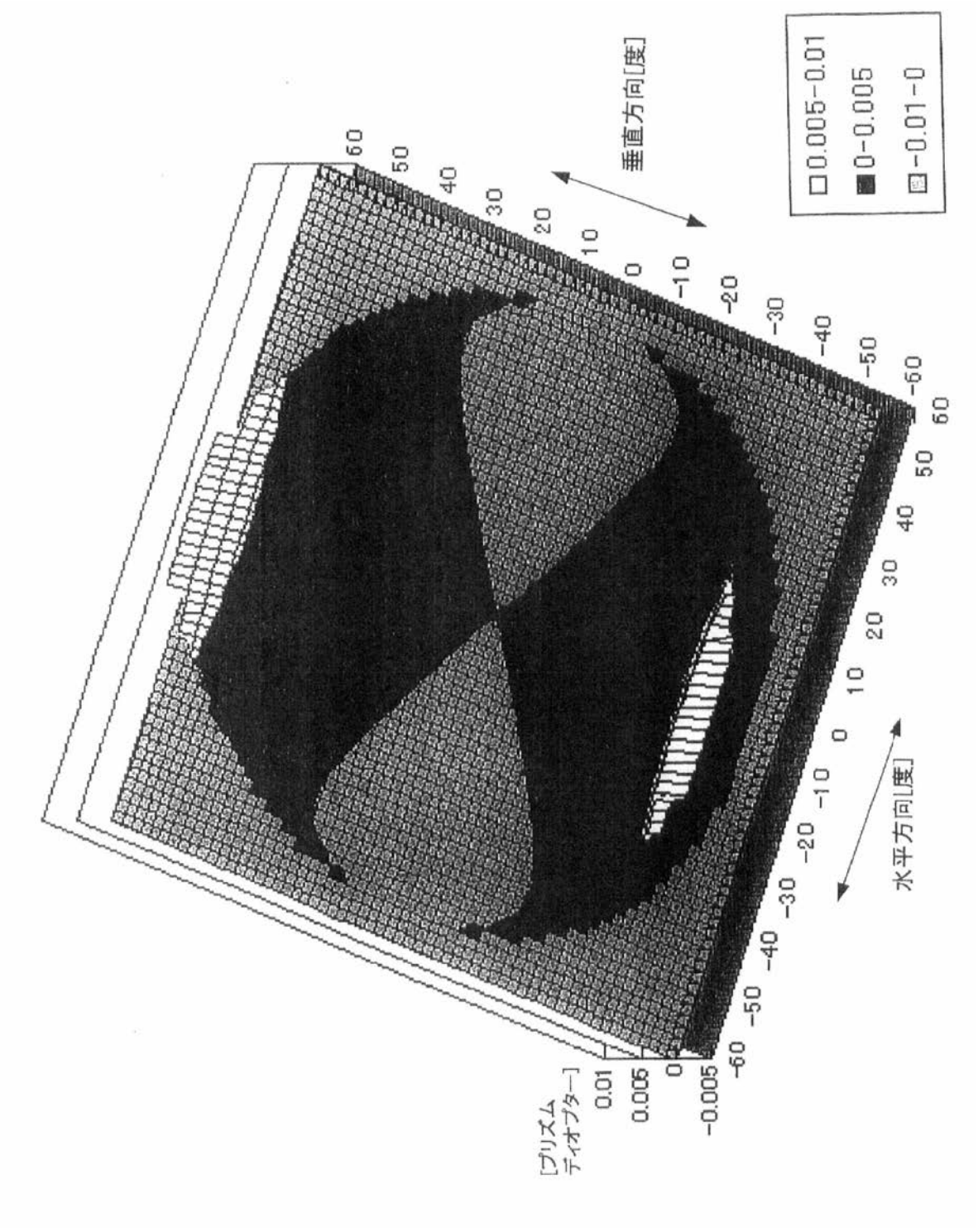
【図２６】



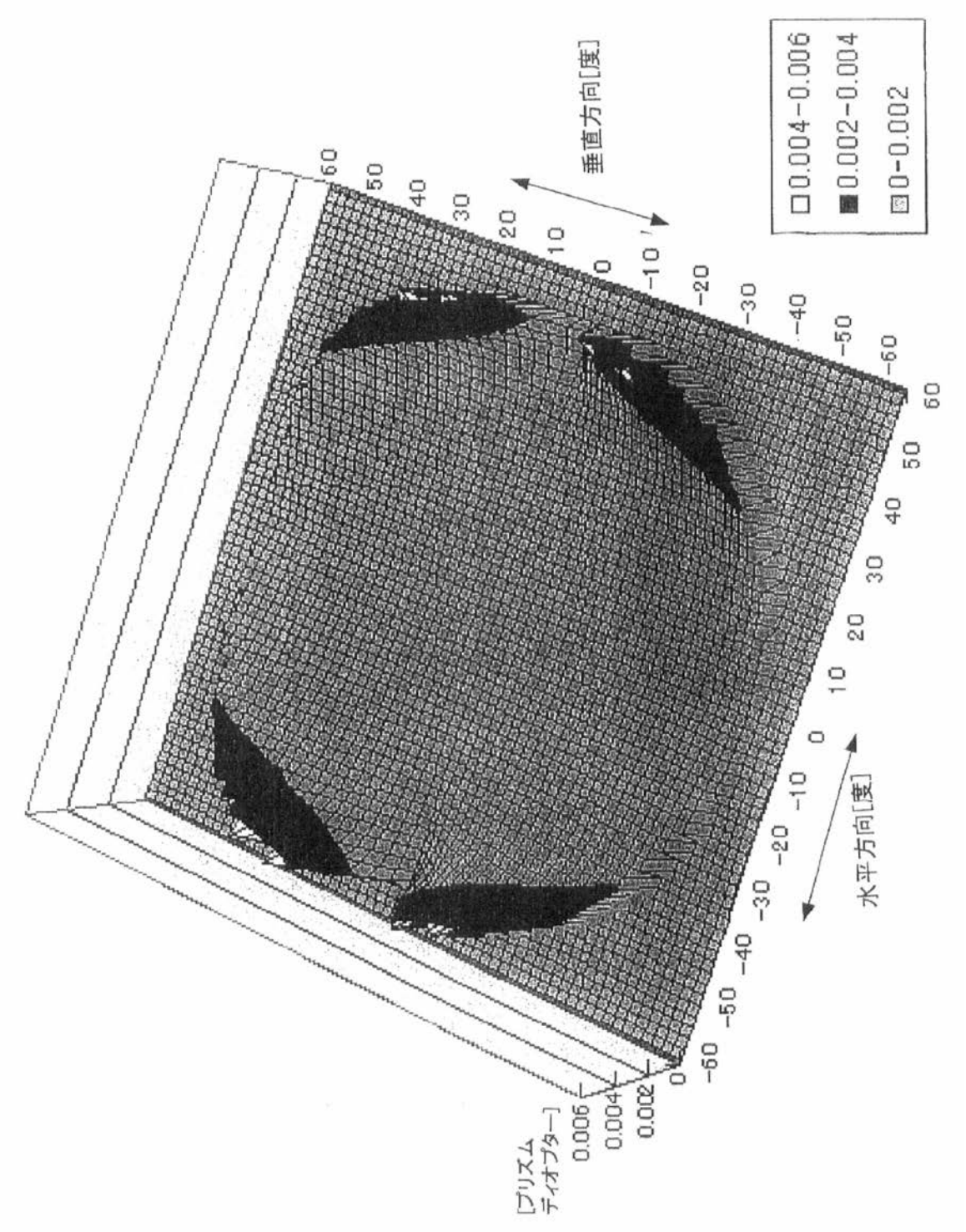
【図２７】



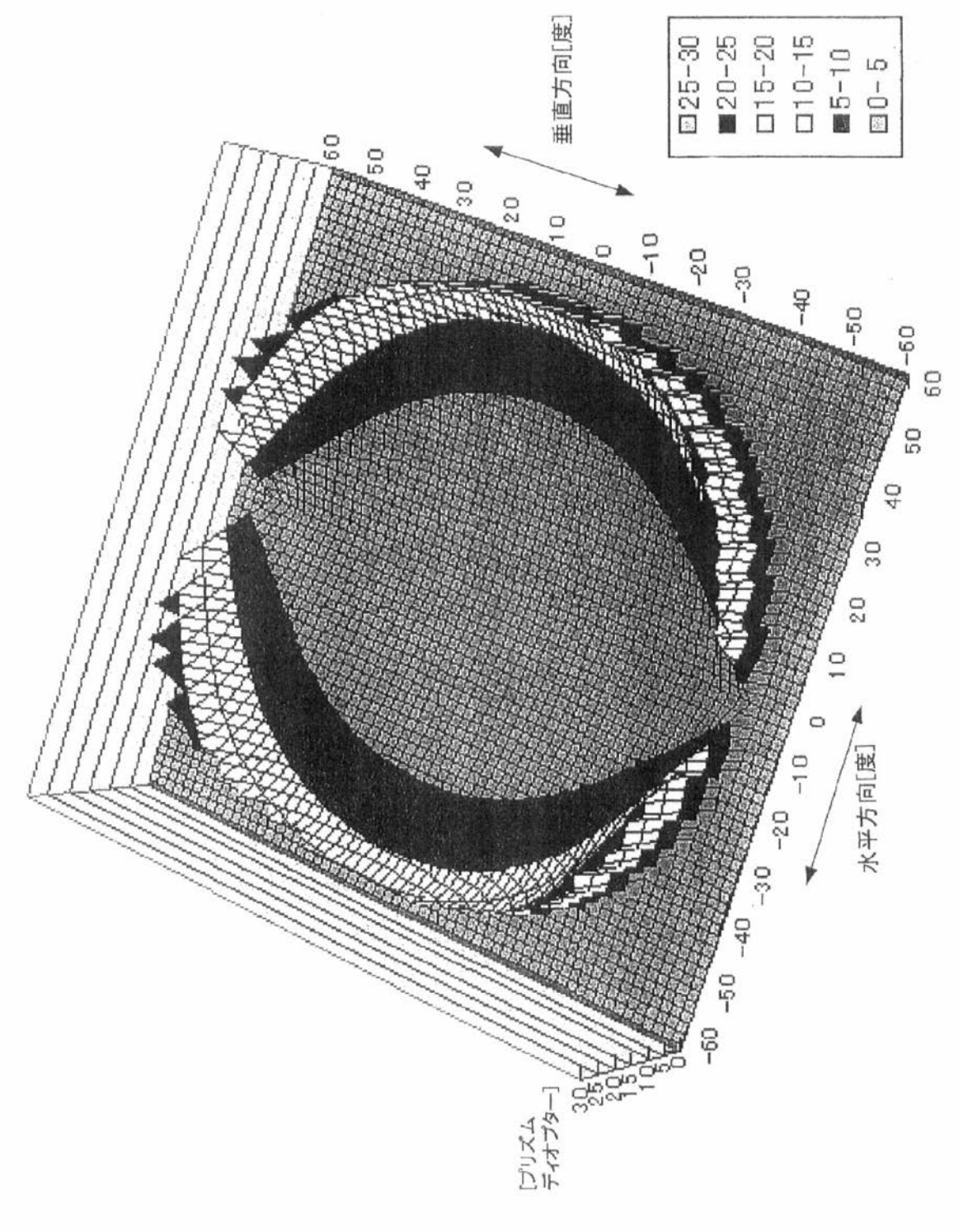
【図１２】


垂直方向[度]
水平方向[度]
[プリズム ディオプター]
□0.005-0.01
■0-0.005
▨-0.01-0
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
0.01
0.005
0
-0.005

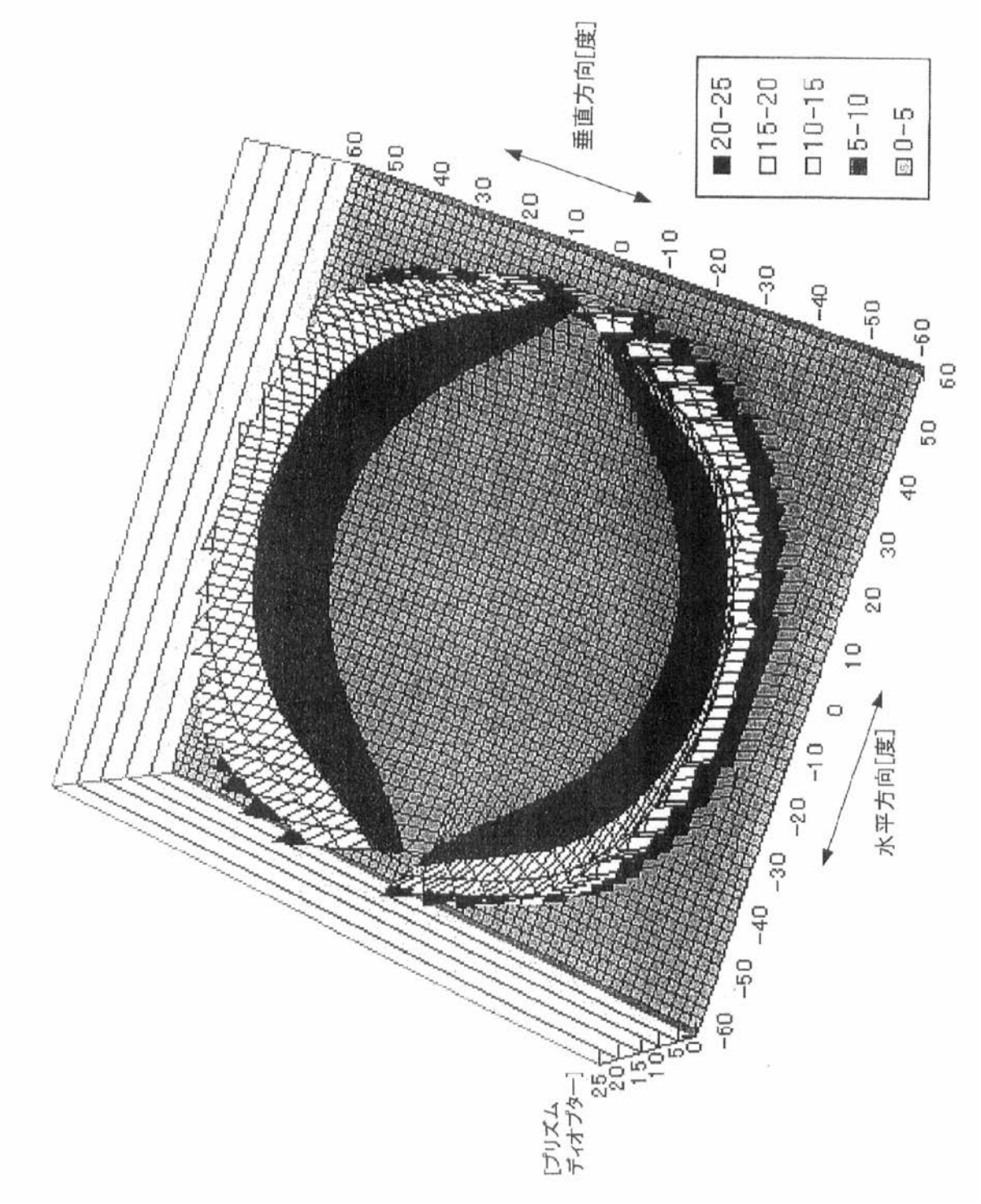
【図１３】


□0.004-0.006
■0.002-0.004
▨0-0.002
垂直方向[度]
水平方向[度]
[プリズム ディオプター]
0.006
0.004
0.002
0
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60

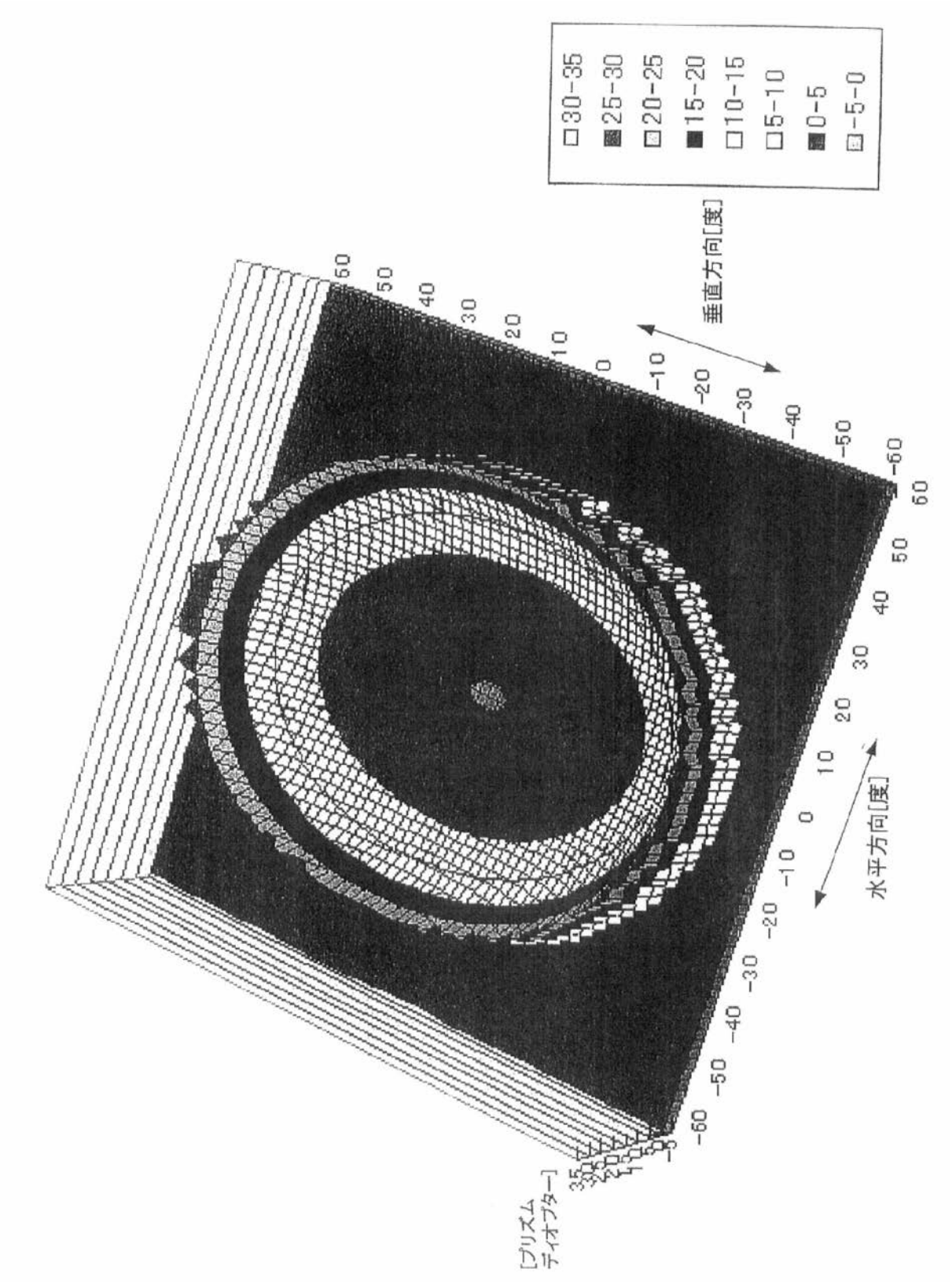
【図１４】



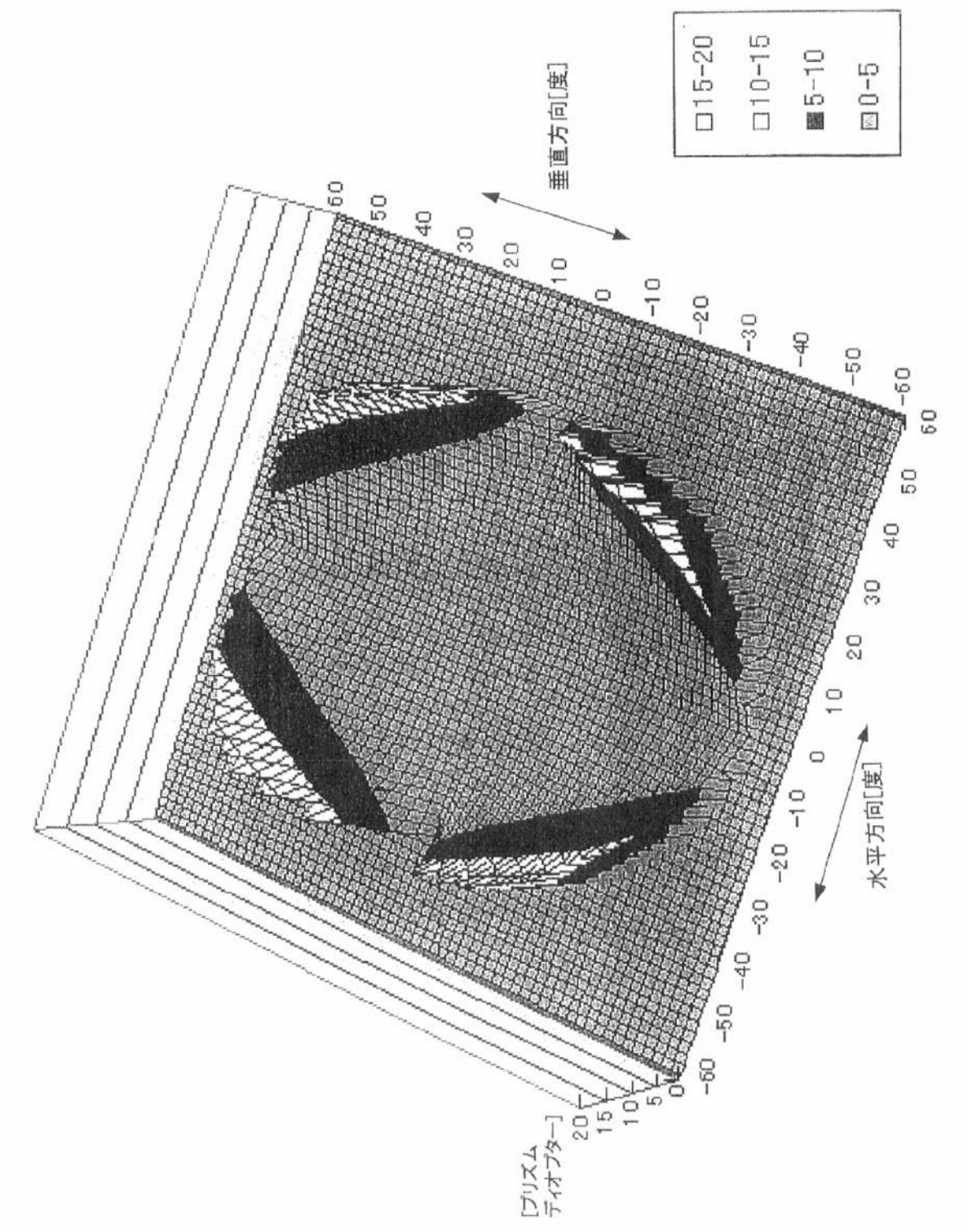
【図１５】



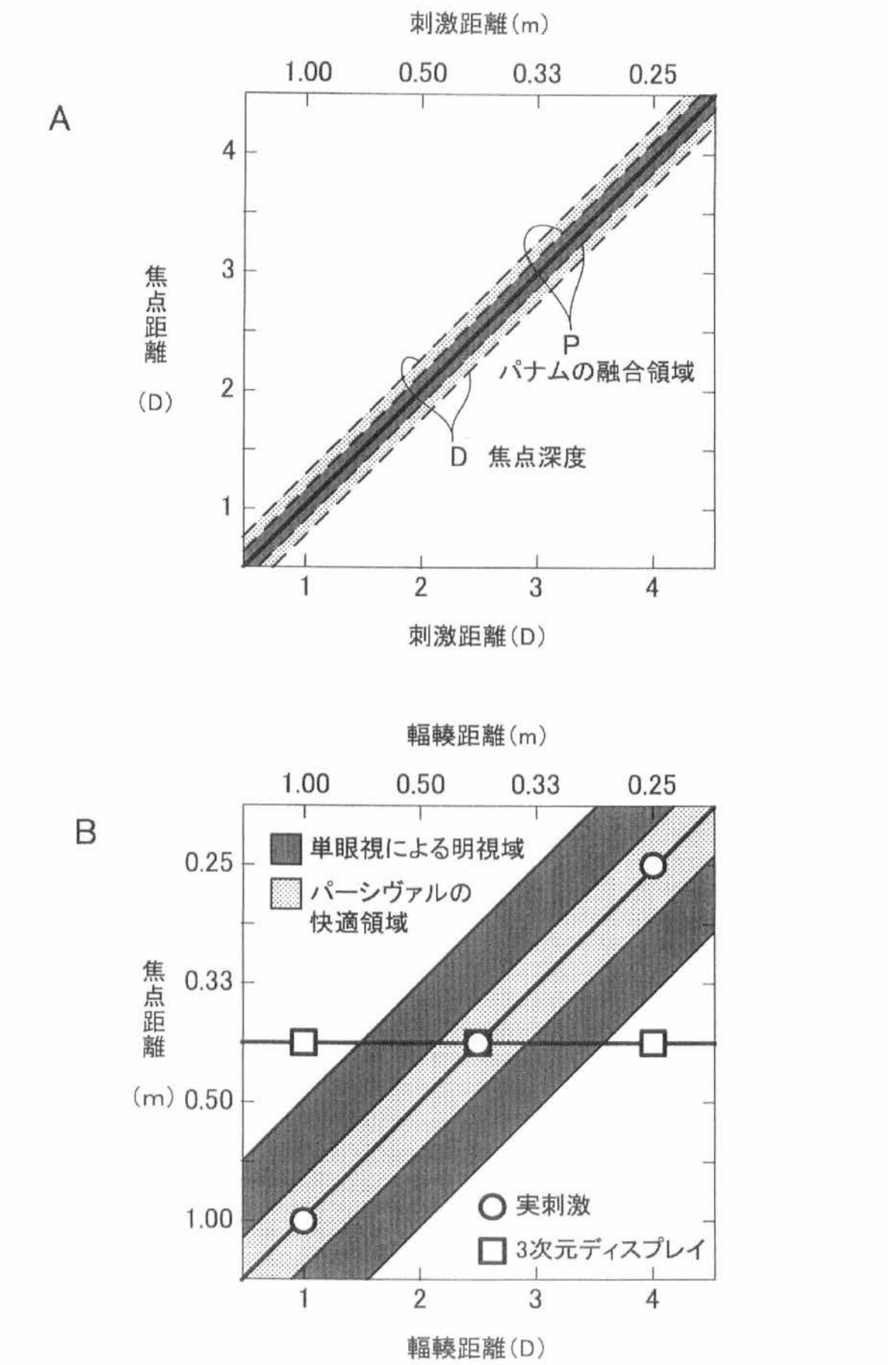
【図１６】



【図１７】


□15-20
□10-15
■5-10
▨0-5
垂直方向[度]
水平方向[度]
[プリズム ディオプター]
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
0
5
10
15
20

【図１８】


A
刺激距離(m)
1.00
0.50
0.33
0.25
焦点距離
(D)
4
3
2
1
P
パナムの融合領域
D 焦点深度
1
2
3
4
刺激距離(D)
B
輻輳距離(m)
1.00
0.50
0.33
0.25
焦点距離
(m)
0.25
0.33
0.50
1.00
単眼視による明視域
パーシヴァルの
快適領域
実刺激
3次元ディスプレイ
1
2
3
4
輻輳距離(D)

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
Ｇ０２Ｃ　　７／０２
Ｇ０１Ｍ　１１／０２
Ｇ０２Ｃ　　７／０６
Ｇ０２Ｃ　１３／００