https://doi.org/10.60330/nggz-2025-000

Ⅱ　基礎編

1．眼鏡処方に必要な眼鏡レンズの光学系の基礎知識

1）バージェンスの式（ジオプトリーとバージェンス）

レンズの屈折力は焦点距離をメートル単位で表したものの逆数で，その単位はDで表し，ジオプトリーあるいはディオプターと呼ぶ．dptおよびδが使われることもある．単位は必要に応じて括弧で囲んで表す．

バージェンスとは，物体距離や像距離をメートル単位で表し，それらの逆数を物体のバージェンス（入射光線束のバージェンス），像のバージェンス（射出光線束のバージェンス）と呼ぶ．単位はレンズの屈折力と同じジオプトリーである．なお，日本産業規格（Japanese Industrial Standards）JIS T 7330：2022眼鏡レンズの用語では「3.10.1 ディオプトリ，ディオプター」と定義され，その注釈において「バージェンスは，一般に屈折率を波面の曲率半径で割った値で与えられる」とされている[1]．光を波面として捉えると，点光源から発した光波がレンズに達したときの波面の曲率半径が物体距離である．像距離についても同様である．

以上のようにそれぞれの距離をジオプトリー単位で置き換えると，結像において次の関係となる．Dはレンズの屈折力，f'は焦点距離，Uは物体のバージェンス，sは物体距離，Vは像のバージェンス，s'は像距離である（原則としてレンズから射出する側に関わる記号も同じ記号を用いるときには「'」を付けるが，屈折力やバージェンスについては「'」を省略したり，別の記号を用いて区別したりしている）．なお，物体距離が無限大のとき，$U=0$となり，像距離は焦点距離と等しくなる．実像のバージェンスは正の値，虚像のバージェンスは負の値となる[2]（図Ⅱ-1-1-1）．

$$D[\mathrm{D}]=\frac{1}{f'[\mathrm{m}]},\quad U[\mathrm{D}]=\frac{1}{s[\mathrm{m}]},\quad V[\mathrm{D}]=\frac{1}{s'[\mathrm{m}]} \tag{1〜3}$$

$$V=U+D \tag{4}$$

このようにレンズが空気中にあるときは屈折率を1とするので，分子が1となる．眼球などのように屈折面に接する空間の屈折率が1でないときは，単純な逆数ではなく，分子をその空間の屈折率にする．また，近視や遠視の遠点距離や近点距離もジオプトリー単位で置き換えると，眼鏡レンズの屈折力との関係や，調節力についても論じやすくなる[3]（図Ⅱ-1-1-2）．遠点や近点，あるいはある調節状態において眼がピントを合わせている場所までの角膜頂点からの距離をジオプトリー単位で表したものを眼屈折度と呼ぶ．実際の眼球光学系の屈折力は個人差があるので，その代わりに眼がピントを合わせている距離をジオプトリー単位で表して眼屈折度と称することにしている．

眼屈折度は眼前の距離をマイナスで表す．そうすると，近視の遠点距離をマイナスの眼屈折度で表すと，眼鏡レンズによる補正の原理は，レンズの像焦点を眼の遠点に一致させることなので，頂点間距離の影響を無視すると，遠点の眼屈折度がその近視用レンズの屈折力ということになる（図Ⅱ-1-1-3）．遠視の場合は「遠点が眼後にある」という表現になる．無限遠の眼屈折度は0である．頂点間距離と後面頂点焦点距離の関係については後述する．

（1）面屈折力

レンズには光を屈折させる作用がある．その基本とな

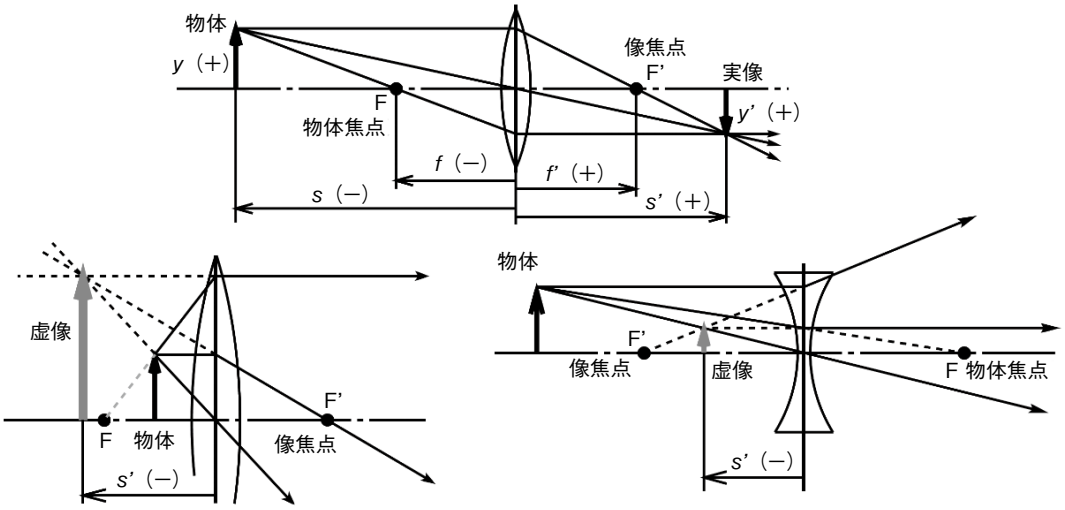


図 Ⅱ-1-1-1　実像や虚像の形成．

（文献2より許可を得て転載）

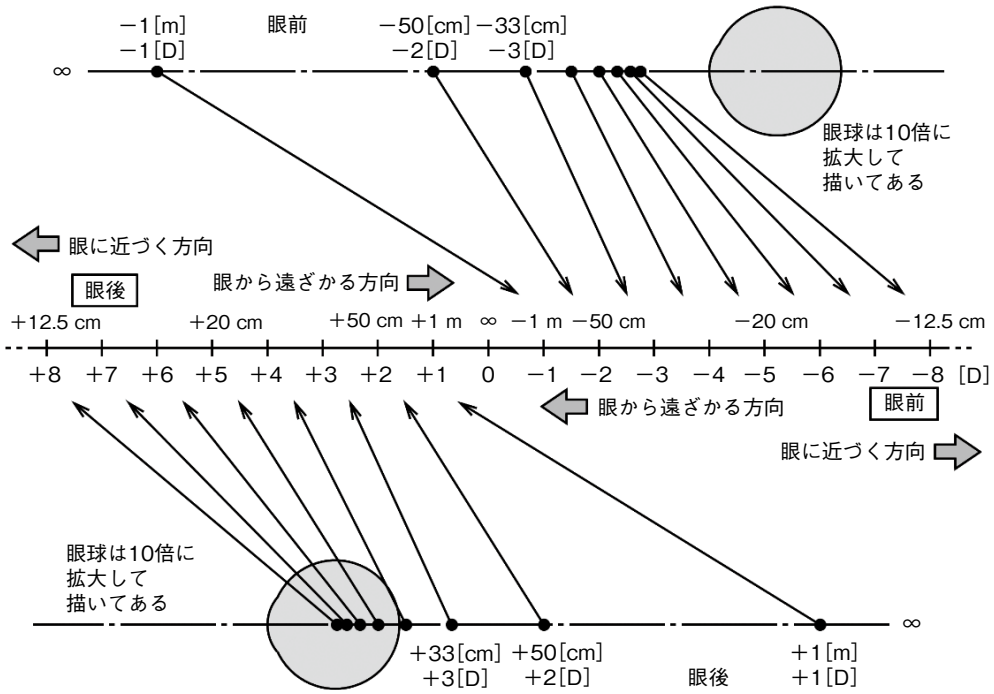


図 Ⅱ-1-1-2　眼屈折度.

（文献3より許可を得て転載）

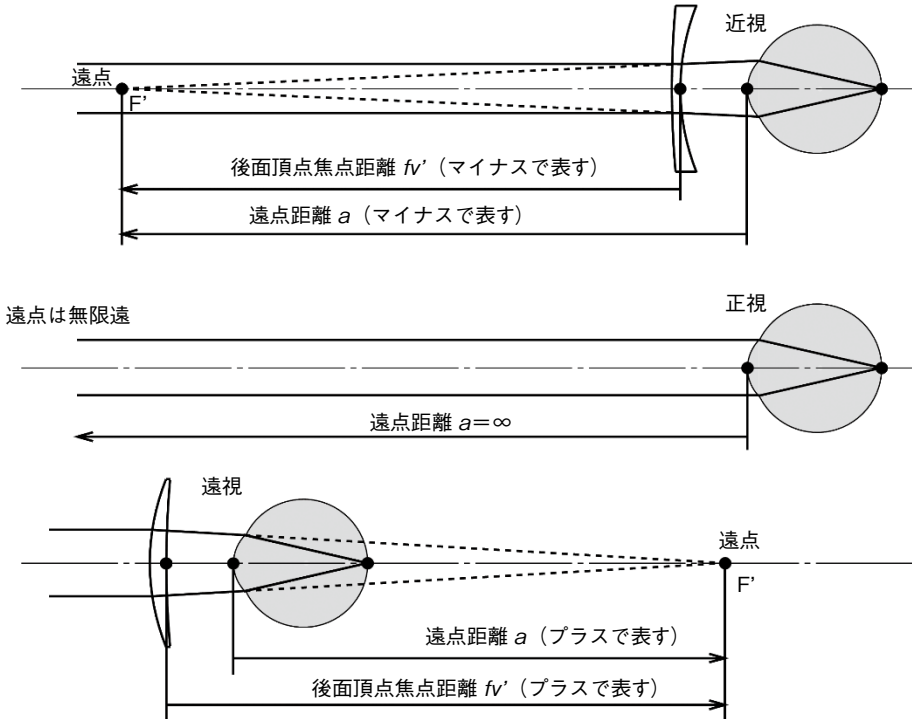


図 Ⅱ-1-1-3　遠点の眼屈折度は角膜頂点から必要とする眼鏡レンズの焦点までの距離の逆数.

（文献3より許可を得て転載）

るのがレンズ前面および後面の球面である(平面は曲率半径が無限大の場合，円柱面は1方向のみに曲率がある場合，トロイダル面は2方向に異なる曲率を持つ場合，非球面は曲率が連続的に変化する場合と位置づける)．球面の屈折力(D)は前後の屈折率の差を曲率半径(m)で割った値である．図Ⅱ-1-1-4に例を示す．屈折率の差が大きいほど，また曲率半径が小さいほど面屈折力は大きくなる．曲率半径が無限大の平面の屈折力は0.00 Dである．

特に前側が真空あるいは空気中で，後側がクラウンガラスの屈折率1.523としたときの面屈折力をレンズカーブと呼び，その面の形状を表す値として用いる．同じ曲率半径でも材質の屈折率が異なれば屈折力も異なってく

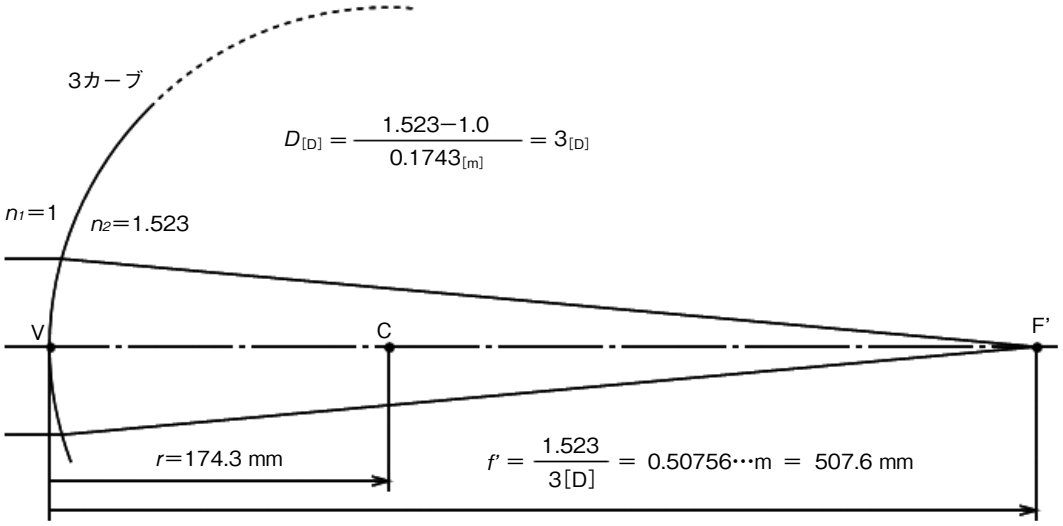


図 Ⅱ-1-1-4 面屈折力とレンズカーブ(3カーブの例).
(文献4より許可を得て転載)

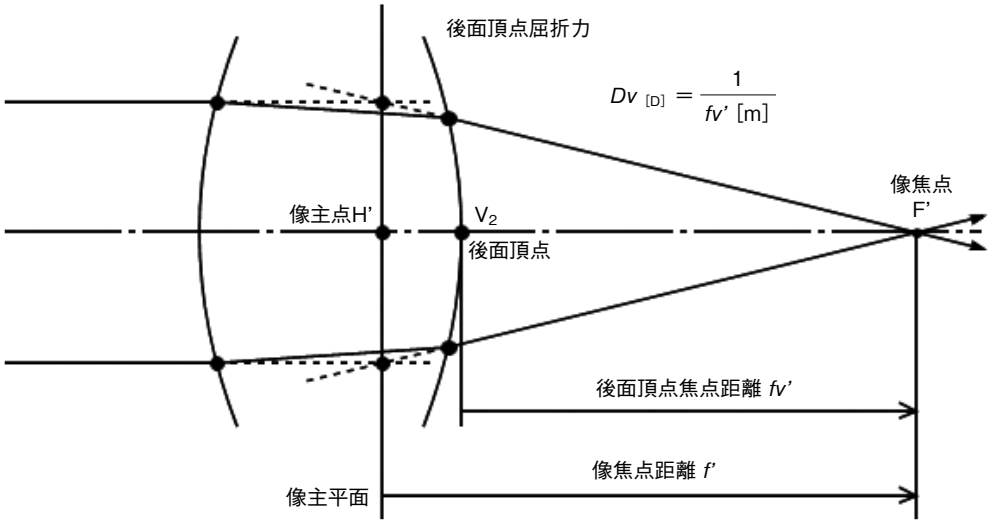


図 Ⅱ-1-1-5 厚いレンズの主平面と主点,および後面頂点焦点距離.
(文献4より許可を得て転載)

るが,慣習としてレンズカーブの値は屈折率1.523としたときの面屈折力の値が使い続けられている.

(2) レンズ製作者の公式(屈折力と面屈折力)

前後の球面あるいは平面が組み合わされたレンズの屈折力は,それぞれの面屈折力の和となる.レンズの中心厚を考慮すると単純な和とはならずに,次式で計算される値の屈折力になる.これをレンズ製作者の公式と呼ぶ.必要な屈折力を得るためのレンズの形状を決める式である.D_1は前面の屈折力,D_2は後面の屈折力,nは屈折率,tにはレンズの中心厚をメートル単位で代入する.この式で求められる屈折力を主点屈折力と呼ぶ.次項で説明する主点からの焦点距離の逆数でもある.

$$D = D_1 + D_2 - \frac{t}{n} D_1 D_2 \qquad (5)$$

(2) 主平面と主点

レンズには前面と後面の2つの屈折面がある.レンズが組み合わされたり,貼り合わせられたりすれば,屈折面はさらに増え,眼球光学系のように複数の屈折面を持つ場合もある.焦点は,無限遠からの平行光線束がレンズに入射したあと,屈折して集光している場所であるが,その距離を測る起点を定義する必要がある.このような場合,焦点距離を測る起点として,1回だけ屈折していると見なす場所を見出す.そのような面を主平面と呼び,主平面と光軸との交点を主点と呼ぶ.焦点距離は主点から焦点までの距離とする[4](図Ⅱ-1-1-5).

2枚の薄いレンズ(中心厚を無視することのできるレンズ)が組み合わされている場合の主平面の求め方を図Ⅱ-1-1-6に示す[4].1枚目のレンズに平行光線束が入射して,屈折を繰り返したあとに焦点に集光しているとき,入射

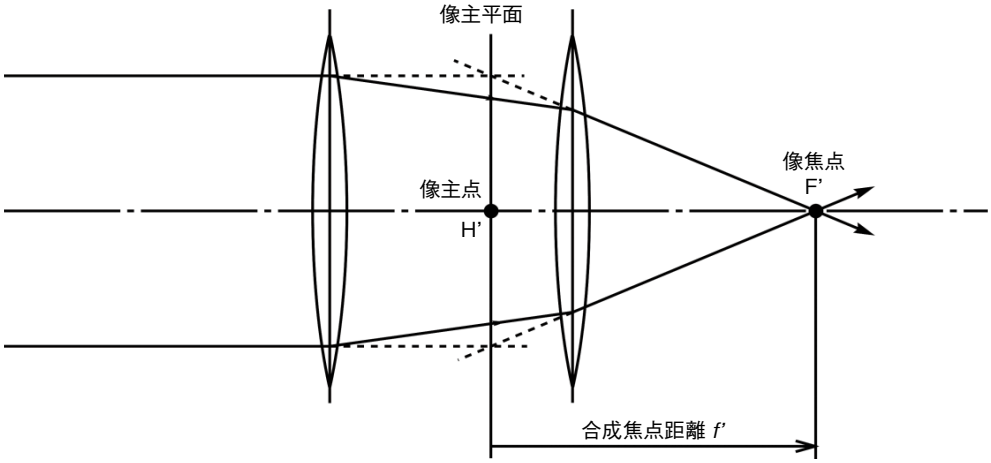


図 Ⅱ-1-1-6　組み合わせレンズの主平面と主点.
（文献4より許可を得て転載）

している平行光線束と焦点へ向かう射出光線束をそれぞれ延長する．それらの交点に主平面がある．

(3) 後面頂点屈折力

また，眼鏡レンズにおいては後面頂点焦点距離(後面頂点から焦点までの距離)をメートル単位にして逆数を求めたものを後面頂点屈折力として，この値を眼鏡レンズの屈折力として用いている．後面頂点焦点距離は像主点から焦点までの本来の焦点距離に対して，像主点の位置の分だけ値が異なる．また，像主点の位置はレンズの形状によって異なる[2]．

このように取り扱うのは「Ⅱ基礎編　1．眼鏡処方に必要な眼鏡レンズの光学系の基礎知識　3）頂点間距離による補正効果の変化」で後述するように，眼鏡による屈折補正を説明するのに便利だからである．

後面頂点屈折力 Dv は次のようになる[5]．

$$Dv = \frac{1}{\left(1 - \frac{t}{n}D_1\right)}D_1 + D_2 \qquad (6)$$

主点屈折力を求めるレンズ製作者の公式と同様に，D_1 は前面の屈折力，D_2 は後面の屈折力，n は屈折率，t にはレンズの中心厚をメートル単位で代入する．D_1 にかかっている分数の部分は形状係数(シェープファクター)と呼ばれる．

屈折率が1.523で3カーブのレンズの後面のカーブを6カーブ(屈折率が1.523なので面屈折力も－6.00 Dとなる)とすれば，中心厚を無視すれば－3.00 Dのメニスカスレンズということになる．しかし中心厚を1.2 mm (0.0012 m)とすると，後面の屈折力を－6.007 Dにすることで後面頂点屈折力が－3.00 Dのメニスカスレンズになる．

文　献

1）**日本産業標準調査会**：JIS T 7330：2022　眼鏡レンズの用語．日本規格協会，東京，2022.
2）**森　峰生**：やさしい幾何光学(上)　第2版．眼鏡光学出版，東京，2021.
3）**森　峰生**：やさしい眼鏡光学(上)　第2版．眼鏡光学出版，東京，2021.
4）**森　峰生**：やさしい幾何光学(下)　第2版．眼鏡光学出版，東京，2021.
5）**金子　弘**：眼鏡光学アラカルト　第6回レンズの屈折力．眼鏡 711：50，2015.

2）レンズのプリズム作用

(1) 偏心によるプリズム作用

図Ⅱ-1-2-1に示すように，眼鏡レンズの光軸が視軸に対して偏心していると，レンズの厚みがあるほうがベース(基底方向)となるプリズム作用が生じる[1]．プリズム屈折力はレンズの屈折力と偏心量で定まり，その大きさは後述するプレンティスの式で求めることができる．

(2) 光学中心と心取り点

眼鏡レンズには，レンズの光軸とレンズ前面との交点である光学中心のほかに，製造業者によって指定された遠用部測定基準点と呼ばれる場所やフィッティングポイントと呼ばれる場所がある．光学中心，遠用部測定基準点，またはフィッティングポイントが置かれるべき眼鏡フレームに関する点を心取り点(centration point)と呼ぶ[2]．レンズがなくてもフレームがあれば心取り点は存在し，そこにレンズの光学中心などの点を置くべき目標と解釈できる．レンズのどの場所を心取り点に置くべきかは，レンズのタイプによって異なる[2]．

JIS T 7337：2020「屈折補正用枠入り眼鏡レンズ」の「附属書JA(参考)心取り点」から，レンズの種類および目的に応じた心取り点の決め方を適宜抜粋編集して引用する．頂点間距離および前傾角を適切に調整したフレームを装用したとき，水平視線およびレンズ面の交点を(遠用)ビジュアルポイント(視線とレンズの後面との交点)，またはアイポイントという．ビジュアルポイントの

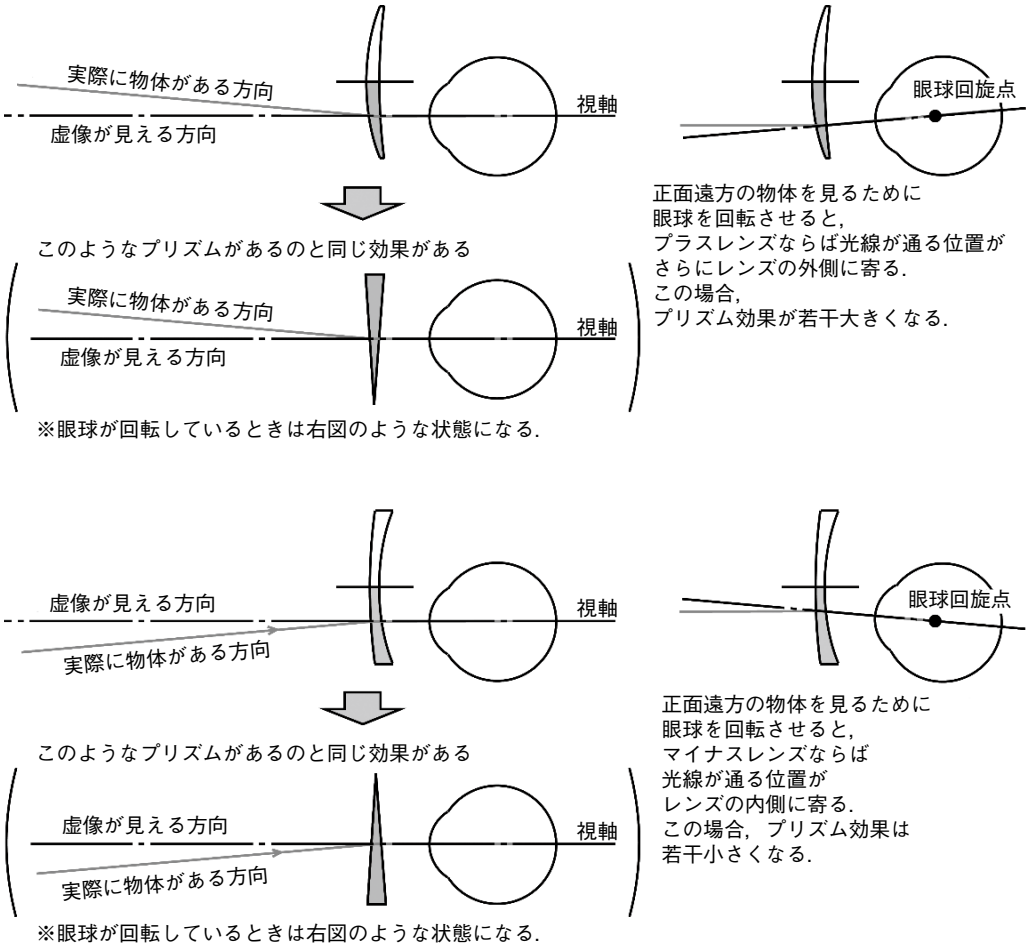


図 Ⅱ-1-2-1 レンズのプリズム作用.

(文献1より許可を得て転載)

高さは玉形高さの5分の3くらいが美観上，望ましい．心取り点とは，レンズの光学中心，もしくはフィッティングポイントが置かれるべき目標位置である．累進レンズなどでは，製造業者が規定するフィッティングポイント，または設計基準点がレンズ上に指定されているので，それらをビジュアルポイントに合わせて加工する．すなわち，ビジュアルポイントがそのまま心取り点となる．なお，設計基準点は状況によっては測定基準点と異なる場合がある．一方，常用または近用の単焦点レンズなどでは，通常，ビジュアルポイントから目的に応じて数ミリメートル下げた位置に心取り点を設定し，レンズ光学中心をそれに合わせるように加工する[3]．

JIS T 7337では「設計基準点がレンズ上に指定されている」と記載されているが，累進レンズなどでは，実際にはフィッティングポイントか測定基準点が表示されている．単焦点レンズの光学中心はレンズメータで確認することになる．逆に，累進レンズなどでは，レンズメータで光学中心を求めても，そこがフィッティングポイントや測定基準点になるとは限らない．

眼鏡加工時の手順についても同附属書JAから適宜抜粋編集のうえ引用する．新しいフレームにレンズを加工して枠入れする場合，まず，顔に合わせてフレームを適切にフィッティングしたあと，ビジュアルポイントをダミーレンズ上に印点する．次に，ビジュアルポイントをもとに心取り点を設定する．作製する眼鏡が(累進レンズなどの)屈折力変化レンズまたは姿勢指定付き単焦点レンズの場合は，レンズにプリントされているフィッティングポイントが，心取り点に正しく位置するように加工することが望ましい．一般の単焦点レンズおよび(小玉付きなどの)多焦点レンズの場合は，遠用，常用または近用の用途に応じて，また，装用時前傾角を考慮して，ビジュアルポイントから2～6 mm下げた位置に心取り点を設定する．近用の場合は，さらに輻湊を考慮して単眼で2～3 mm内寄せした位置を心取り点とする．これらの場合，レンズ光学中心が正しく心取り点に位置するように，加工する必要がある[3]．

(3) プレンティスの式

レンズの偏心によって生じるプリズム作用の大きさp^{Δ}は次の式で計算できる．この式をプレンティスの式と呼ぶ．

$$p^{\Delta} = h_{[\mathrm{cm}]} \times D_{[\mathrm{D}]} \qquad (1)$$

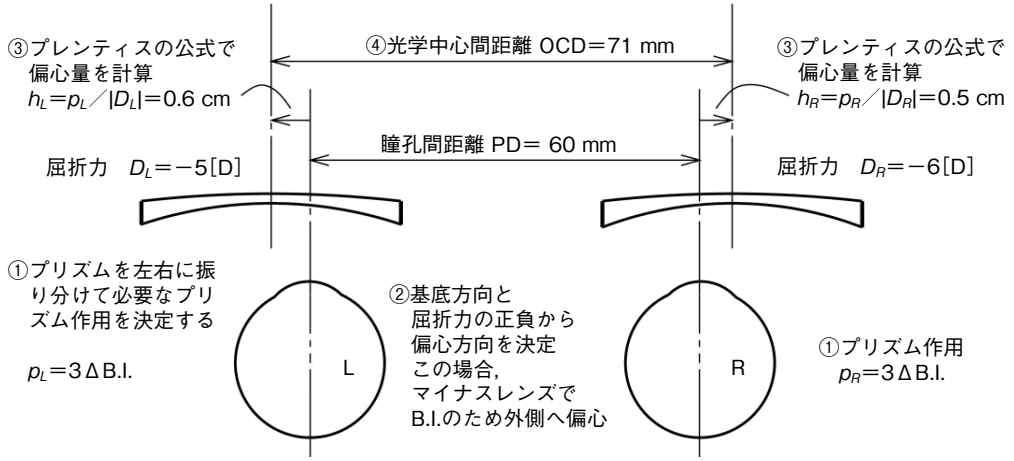


図 Ⅱ-1-2-2　レンズの偏心によりプリズム作用を持たせる例.
（文献5より許可を得て転載）

この形式の場合，hには偏心量をセンチメートル単位で代入する．ミリメートルやメートル単位を代入できる形式もあるが，10で割ったり，100をかけたりする必要がある．レンズの屈折力は符号を取り払った値(絶対値)を代入する．符号をそのまま代入して，結果の正負で基底方向を判断する方法もあるが，レンズの形状から基底方向を判断すると間違いが少なくなる(基底方向を判断するような計算をさせるときは偏心の方向の符号も定義する必要がある)．

この式で得られるプリズム屈折力の単位はプリズムジオプトリー(Δ；ギリシア文字のデルタ)である．1Δは1 m先で光線の方向が1 cm変化するフレ量である．プリズムジオプトリーの単位は括弧を付けて(Δ)などと表したり，上述の式(p^{Δ})のように文字の右肩に付けたりする場合がある．

プレンティスの式は，レンズの光学中心近傍で，偏心量とプリズム作用が小さく，垂直入射に近い場合の近似式であり，レンズが球面でも非球面でも適用できる．累進レンズのように屈折力が変化しているレンズにはこのままでは適用できないが，簡易的な計算方法が白柳[4]により紹介されている．

偏心によるプリズム作用を持たせるために，装用者の瞳孔間距離(pupillary distance：PD)に対して，眼鏡の一対のレンズの光学中心間距離(optical centre distance：OCD)が異なっている場合がある．必要なプリズム作用を得るためのOCDを求める手順の一例を図Ⅱ-1-2-2に示す[5]．

(4) プリズム測定基準点

累進レンズのように屈折力が滑らかに変化しているレンズ(JIS T 7330：2022眼鏡レンズの用語では，これを新たに屈折力変化レンズと定義した)では，プリズム測定基準点と呼ばれるプリズム作用を決定する場所が製造業者によって指定される．

(5) 偏心許容量

プリズム作用を施す必要がないにもかかわらずOCDが装用者のPDに対して異なっている場合，装用者に対して余計な輻湊や開散を強いることになる．必要なプリズム作用と実際のプリズム作用が異なっている場合も同様である．

そのため，JIS T 7337：2020屈折補正用枠入り眼鏡レンズでは，プリズムインバランス(左右のプリズム相対誤差)の許容差が，その規格の表5に規定されている[3]．心取り点上と，必要とするプリズム屈折力(必要としない場合を含む)のそれぞれの条件に対して，実際のプリズム屈折力のプリズムジオプトリー単位での許容差が示されている．また，水平成分と垂直成分も分けて定められている．

一例をあげると，水平および垂直のより大きいほうのプリズム成分が0Δ以上から2Δ以下，屈折力が3.37 D以下の眼鏡においては，水平成分のプリズム許容差は±0.67Δまでとされている．

この規格は，2017年に第2版として発行された国際標準化機構(International Organization for Standardization) ISO 21987をもとにしている．そのAnnex Cにプリズムインバランスの代替(簡便)測定方法が掲載されているが，規格本文とAnnex Cによる結果の不一致が起こることがあると判明したので，JISではさまざまなタイプのレンズメータに対応した，プリズムインバランスを測定し許容差を適用するか否かを判定する方法が附属書JBとして掲載されている(Annex Cも附属書Cとして掲載されている)．

文　献

1) **森　峰生**：やさしい幾何光学(上)　第2版．眼鏡光学出版，東京，2021.
2) **日本産業標準調査会**：JIS T 7330：2022　眼鏡レンズの用語．日本規格協会，東京，2022.

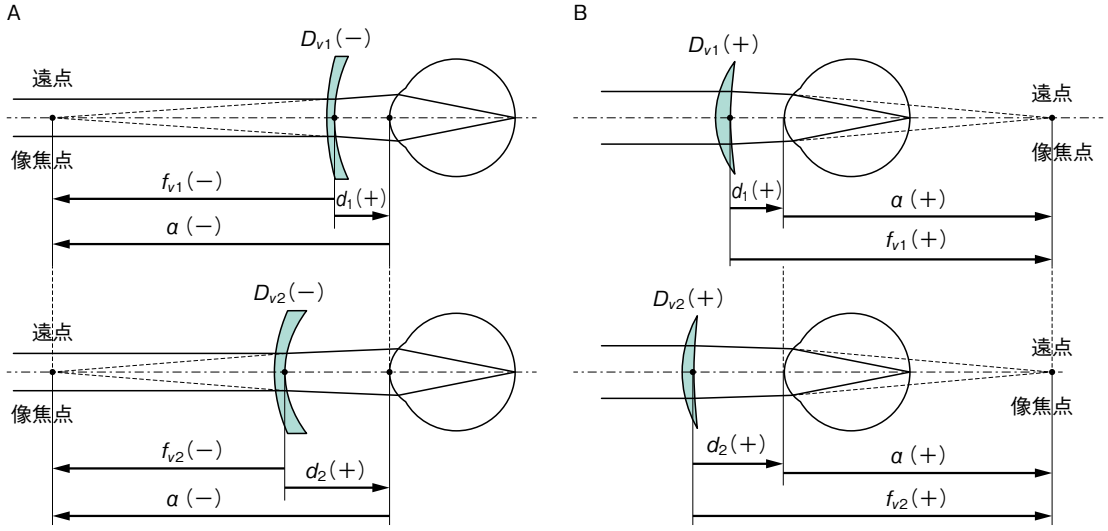


図 Ⅱ-1-3-1　近視眼の補正の原則(A)，遠視眼の補正の原則(B)．

3) **日本産業標準調査会**：JIS T 7337：2020　屈折補正用枠入り眼鏡レンズ．日本規格協会，東京，2020.
4) **白柳守康**：プレンティスの式の拡張による累進レンズのプリズム量の簡易計算．眼鏡学ジャーナル 9：2006.
5) **森　峰生**：やさしい眼鏡光学(下)　第2版．眼鏡光学出版，東京，2021.

3）頂点間距離による屈折効果の変化

補正レンズ後面から角膜頂点までの距離を頂点間距離という．最新の JIS T 7330：2022(眼鏡レンズの用語)には，頂点間距離(装用距離ともいう)の定義として「眼が第1眼位にある状態で測定したレンズの後面と角膜頂点との水平距離」とある[1]．この頂点間距離が変化すると眼に対する補正効果も変化する．逆に，同じ補正効果を得るためには頂点間距離を補正した屈折力のレンズを用いる必要がある．

(1) 屈折補正の原則

屈折異常眼をレンズで補正するには，眼の遠点とレンズの像焦点が一致するような焦点距離を持つ補正レンズを眼前に装用する必要がある．図Ⅱ-1-3-1A 上段に近視補正眼の屈折状態を，図Ⅱ-1-3-1B 上段に遠視補正眼の屈折状態をそれぞれ示す．

ここで，a は遠点距離で，眼の角膜頂点から遠点までの距離(m)である．近視眼の遠点は眼前にあり遠視眼は眼後にある．f_{v1} は補正レンズの後面頂点焦点距離で，補正レンズの後面頂点から像焦点までの距離(m)である．また，d_1 は頂点間距離(m)で，いずれも右向きをプラスとする．これらの関係は符号を考慮して，近視眼，遠視眼ともに，

$$f_{v1} = d_1 + a \tag{1}$$

となる．したがって，補正レンズの後面頂点屈折力 D_{v1} [D] は，

$$D_{v1} = \frac{1}{f_{v1}} = \frac{1}{d_1 + a} \tag{2}$$

で求められる．

(2) 頂点間距離を変えたときの補正度数の変化

頂点間距離は，我が国では通常 12 mm(＝0.012 m)を標準とするが，頂点間距離が変わると補正に必要なレンズの屈折力も変化する．これを必要屈折力[1]という．図Ⅱ-1-3-1A および図Ⅱ-1-3-1B の各下段に示すように，頂点間距離を d_2 に変えたときレンズの像焦点と眼の遠点を一致させるには，遠点距離 a は変わらないので，補正レンズの後面頂点焦点距離を f_{v2} に変える必要がある．したがって必要屈折力 D_{v2} は，

$$D_{v2} = \frac{1}{f_{v2}} = \frac{1}{d_2 + a} = \frac{1}{d_2 + f_{v1} - d_1} = \frac{1}{f_{v1} + (d_2 - d_1)} \tag{3}$$

分母，分子に D_{v1} をかけて，

$$D_{v2} = \frac{D_{v1}}{1 + (d_2 - d_1) D_{v1}} \tag{4}$$

で求められる[2]．

ここで，$d_2 - d_1 = \Delta d$ と置くと，Δd は頂点間距離の変化量に相当し，長くなるときはプラス，短くなるときはマイナスの値をとる．したがって，図Ⅱ-1-3-2 のように，屈折力 D_v[D] のレンズの頂点間距離を Δd[m] だけ変化させて装用するとき，同じ補正効果を得るための必要屈折力 D_v'[D] は，

$$D_v' = \frac{Dv}{1 + \Delta d D_v} \tag{5}$$

で計算できるので便利である．この式より，頂点間距離

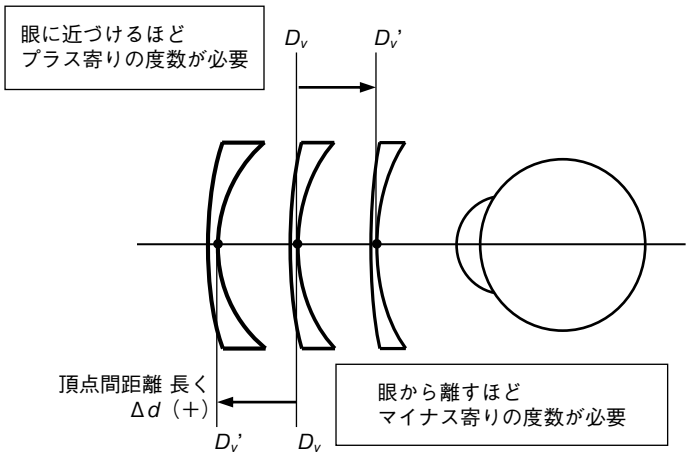


図 Ⅱ-1-3-2　同じ補正効果を得るためのレンズ度数 D'.

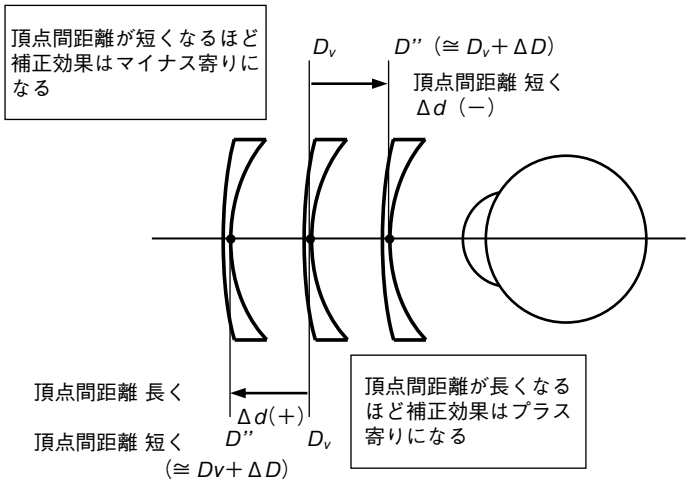


図 Ⅱ-1-3-3　同一レンズの頂点間距離の変化と補正効果 D'' の関係.

が長くなるほど補正に必要な度数はもとの度数よりもマイナス寄りとなり，短くなるほどプラス寄りの度数となる．なお，この式は，プラスレンズで補正する遠視眼にも適用することができる．

(3) 眼鏡度数とコンタクトレンズ度数の違い

この式(5)は，眼鏡度数とコンタクトレンズ(contact lens：CL)の度数換算，いわゆる頂間補正に応用されている．例えば，$D_v=-10.00$ D の眼鏡で補正できる眼を CL で補正する場合，頂点間距離の変化量 Δd は通常 12 mm 短くなる方向なので符号はマイナスとなり，$\Delta d=-0.012$ m を代入して，CL の度数 D_{CL}[D] は，

$$D_{CL}=\frac{D_v}{1+\Delta dD_v}=\frac{-10}{1+(-0.012)\times(-10)}=\frac{-10}{1+0.12}$$
$$=\frac{-10}{1.12}=-8.93\ \mathrm{D}$$

となる．近視眼，遠視眼ともに，CL による補正度数は，眼鏡による補正度数よりも，常にプラス寄りとなる．

4）装用位置の違いによる補正効果 D''

次に，屈折力 D_v[D] のレンズをそのまま，頂点間距離を Δd[m] だけ変えて装用するとき，眼に与える補正効果を D''[D] とすると，

$$D''=\frac{D_v}{1-\Delta dD_v} \qquad (6)$$

で求められる(図Ⅱ-1-3-3)．ただしここでも Δd は頂点間距離が長くなる方向をプラスとする．

例えば，−5.00 D のレンズの頂点間距離を 10 mm(＝0.01 m)長くして(つまり眼から離して)装用した場合，眼に対する補正効果 D'' は，

$$D''=\frac{-5}{1-0.01\times(-5)}=\frac{-5}{1+0.05}=\frac{-5}{1.05}=-4.76\ \mathrm{D}$$

となる．すなわち，−4.76 D のレンズをもとの位置に装用したのと同じ効果となり，補正効果はプラス寄りに変化することが分かる．逆に頂点間距離を短くすると補正効果はマイナス寄りに変化する．

表 Ⅱ-1-3-1　頂点間距離の変化による度数効果（上段）と必要屈折力（下段）

頂点間距離（装用距離）の変化	プラスレンズ	マイナスレンズ
長くなる（Δd＞0）	プラス効果が強くなる	マイナス効果が弱くなる
	やや弱い度数が必要	やや強い度数が必要
短くなる（Δd＜0）	プラス効果が弱くなる	マイナス効果が強くなる
	やや強い度数が必要	やや弱い度数が必要

図 Ⅱ-1-3-4　検眼枠と検眼レンズの挿入位置.
上：検眼枠，下：検眼レンズの挿入位置は4列で最大15 mmの幅がある.

図Ⅱ-1-3-3の見方を少し変えて，屈折力 D_v［D］のレンズをそのまま，頂点間距離を Δd[m］だけ変えて装用するとき,眼に対する補正効果の変化量を ΔD［D］とすると，

$$\Delta D = D'' - D_v \qquad (7)$$

となり，その近似値は，

$$\Delta D \cong D_v^{\,2} \times \Delta d \qquad (8)$$

で求められる[3]．先の例で，−5.00 Dのレンズの頂点間距離をそのまま10 mm長くして装用したときの補正効果の変化量 ΔD［D］は，

$$\Delta D \cong (-5)^2 \times 0.01 = 25 \times 0.01 = +0.25\ \mathrm{D}$$

となる．これは補正効果が約＋0.25 D変化することを示し，したがって−5.00 Dのレンズの装用位置を10 mm広くした場合，補正効果の近似値は−4.75 Dとなる．式(6)で正しく計算すると $D'' = -4.76$ Dとなるが，ほぼ正確な値が得られる．

このように，同じレンズでも頂点間距離が異なると補正効果が変化する．頂点間距離が変化するときの度数効果と必要屈折力の強弱について表Ⅱ-1-3-1にまとめた．

屈折検査時の頂点間距離が12 mmであるなら作製する眼鏡も同じ頂点間距離であることが望ましい．逆に作製眼鏡の頂点間距離が12 mmから大きく異なる場合，それに応じたレンズ度数の補正が必要となる．

（4）検眼枠のレンズ装用位置

検眼時に使用する検眼枠は，図Ⅱ-1-3-4のように，左右各4枚の検眼レンズを挿入できる構造になっているものが多い．検眼レンズをどの位置に挿入するかによって頂点間距離が異なるので，厳密にいうと眼に対する補正効果も変化する．

仮に−10.00 Dの検眼レンズを眼に最も近い位置と最も遠い位置に挿入した場合，頂点間距離は約15 mm（＝0.015 m）の差が生じるので，両者の補正効果の誤差 ΔD は，式(8)から $\Delta D \cong (-10)^2 \times 0.015 = 1.50$ Dとなり，最大1.50 Dもの誤差となって表れる．補正度数が中等度以上の場合は，頂点間距離が12 mmに少しでも近い位置に検眼レンズを挿入することが大切である．複数枚の検眼レンズが挿入されている場合は，最も屈折力の高いレンズを優先する．

一方，作製する眼鏡の頂点間距離などが検眼時と大きく異なる場合は，眼科などで処方された度数（処方屈折力）をもとに，作製眼鏡の条件に合わせた個別補正が，眼鏡店や眼鏡レンズメーカーによって行われる場合があ

る．これを個別設計レンズ(「Ⅱ基礎編 1．眼鏡処方に必要な眼鏡レンズの光学系の基礎知識 7）個別設計」)という．

文　献

1）**日本産業標準調査会**：JIS T 7330：2022　眼鏡レンズの用語．日本規格協会，東京，2022.
2）**森　峰生**：やさしい眼鏡光学(上)　第 2 版．眼鏡光学出版，東京，26-35，2021.
3）**魚里　博**：屈折・調節に関連する計算式．小林義治，松岡久美子，臼井千恵，岡　真由美(編)：視能学　3 版．文光堂，東京，159-168，2022.

4）レンズの傾きと屈折効果の変化

光の進行方向に対して補正レンズの光軸が傾くと，レンズは期待される屈折効果を発揮することができず，非点収差および度数誤差(パワーエラー)が発生する．眼鏡装用においては，そり角や前傾角が通常よりかけ離れている場合などにこれらの収差や誤差の問題が発生する．

(1) マーチンの式

球面レンズに斜めから光が入射するとき，非点収差が発生する．これは球面レンズであるにもかかわらず経線方向によって屈折力が異なるために焦点に集光せず，乱視のように 2 本の焦線ができる収差である．非点収差も乱視も，英語では astigmatism と呼ばれ，同じ仲間として扱われる．

いま，屈折力 D[D] の球面レンズの光軸に対して α[°] 傾いて入射する光線束があるとき，レンズの屈折効果は主経線ごとに，以下のマーチンの式で近似的に計算される[1]．α は傾き角，または斜交角と呼ばれる．n はレンズの屈折率である．

・メリジオナル面屈折力

$$D_t = \left(1 + \frac{2n+1}{2n} \times sin^2\alpha\right) D \qquad (1)$$

・サジタル面屈折力

$$D_s = \left(1 + \frac{1}{2n} \times sin^2\alpha\right) D \qquad (2)$$

・平均屈折力(＝SE)

$$AP = \frac{(D_t + D_s)}{2} = \left(1 + \frac{n+1}{2n} \times sin^2\alpha\right) D \qquad (3)$$

・非点収差

$$AS = D_t - D_s = sin^2\alpha \times D \qquad (4)$$

ここで，メリジオナル面(タンジェンシャル面ともいう)とは主光線とレンズ光軸を含む断面で，サジタル面とは主光線を含みメリジオナル面に直交する断面を指す．球面レンズが傾く方向の断面がメリジオナル面となり，その屈折力 D_t は常に D_s より強くなる(屈折力の絶対値が大きくなる)．

図Ⅱ-1-4-1 に，プラス球面レンズが水平方向に傾いた場合の光路図を示す．これはフレームのそり角が大きい場合などに相当する．

例えば，屈折率 n＝1.5，D＝＋3.00 D の球面レンズが傾き角 α ＝30° で水平方向に傾いた場合，水平 180° 方向がメリジオナル面となり，その屈折力 D_t は，式(1)から，

$$D_t = \left(1 + \frac{2\times1.5+1}{2\times1.5} \times sin^2\,30°\right) \times (+3)$$
$$= \left(1 + \frac{4}{3} \times \frac{1}{4}\right) \times (+3) = +4.00\ \mathrm{D}$$

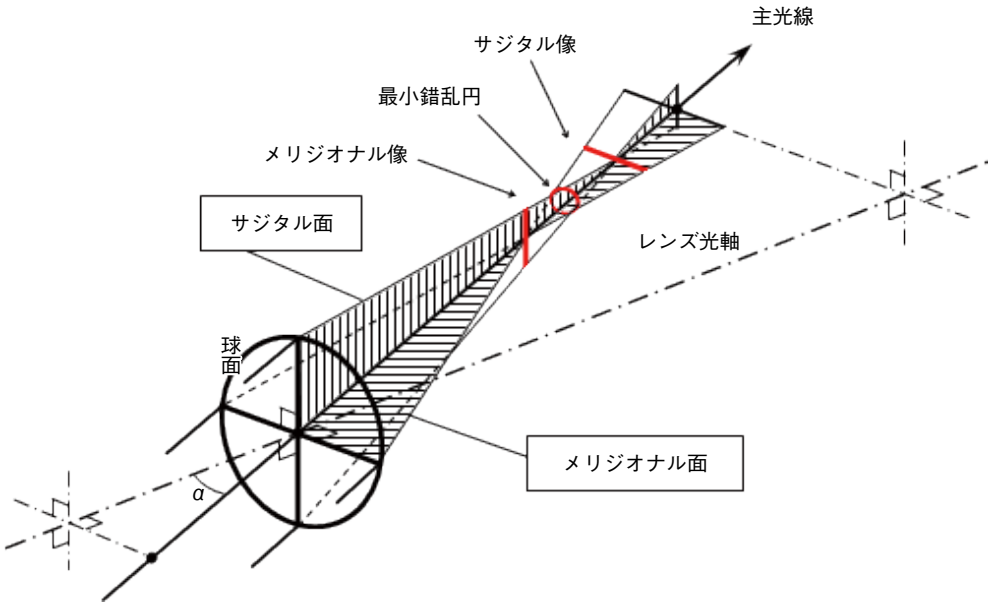


図 Ⅱ-1-4-1　プラス球面レンズが水平方向に傾いたときの光路図．

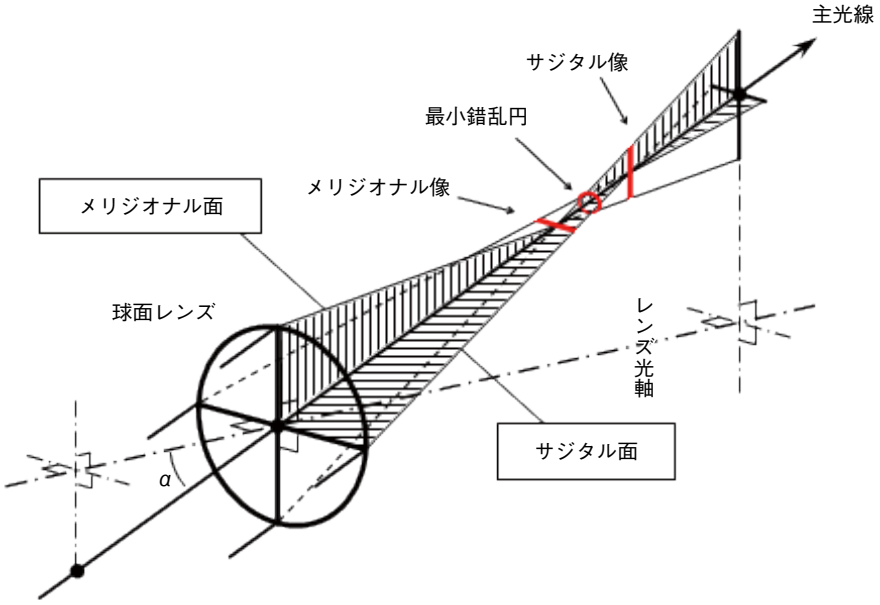


図 Ⅱ-1-4-2　プラス球面レンズが垂直方向に傾いたときの光路図.

表 Ⅱ-1-4-1　マーチンの式による非点収差，度数誤差の計算例

n＝1.67	傾き角　α			
D	水平 10°	水平 20°	水平 30°	垂直 15°
Sph－3.00 D	Sph－3.03 D Cyl－0.09 D Ax 90°	Sph－3.11 D Cyl－0.35 D Ax 90°	Sph－3.22 D Cyl－0.75 D Ax 90°	Sph－3.06 D Cyl－0.20 D Ax 180°
Sph－6.00 D	Sph－6.05 D Cyl－0.18 D Ax 90°	Sph－6.21 D Cyl－0.70 D Ax 90°	Sph－6.45 D Cyl－1.50 D Ax 90°	Sph－6.12 D Cyl－0.40 D Ax 180°
Sph－10.00 D	Sph－10.09 D Cyl－0.30 D Ax 90°	Sph－10.35 D Cyl－1.17 D Ax 90°	Sph－10.75 D Cyl－2.50 D Ax 90°	Sph－10.20 D Cyl－0.67 D Ax 180°
Sph＋5.00 D	Sph＋5.05 D Cyl＋0.15 D Ax 90°	Sph＋5.18 D Cyl＋0.58 D Ax 90°	Sph＋5.37 D Cyl＋1.25 D Ax 90°	Sph＋5.10 D Cyl＋0.33 D Ax 180°

となる．またサジタル面は垂直 90° 方向となり，その屈折力 D_s は，式(2)から，

$$D_s=\left(1+\frac{1}{2\times1.5}\times sin^2\,30^\circ\right)\times(+3)$$
$$=\left(1+\frac{1}{3}\times\frac{1}{4}\right)\times(+3)=+3.25\ \mathrm{D}$$

となり，これはあたかも Sph＋3.25 D Cyl＋0.75 D 90° のトーリックレンズと同じ屈折効果となる．もとの度数(Sph＋3.00 D)と比較して，新たに Cyl＋0.75 D の乱視屈折力が発生するだけでなく，等価球面屈折力 $SE(=S+C/2)$ も＋3.63 D と強くなって度数誤差が発生する．

次に，プラス球面レンズが垂直方向に傾いた場合の光路図は図Ⅱ-1-4-2 のようになり，これはフレームの前傾角が不適切な場合などに相当する．先の計算例では，メリジオナル面とサジタル面が入れ替わるだけで，屈折効果は Sph＋3.25 D Cyl＋0.75 D Ax 180° となる．マイナス球面レンズの場合も同様に，これらの式を用いて計算できる．

ここで，屈折率 n＝1.67 で球面屈折力 D＝－3.00 D，－6.00 D，－10.00 D，＋5.00 D の球面レンズが，水平方向に傾き角 α＝10°，20°，30° および垂直方向に 15° 傾いた場合の補正効果を一覧にして表Ⅱ-1-4-1 に示す．

レンズの屈折力 D[D] が強いほど，また傾き角 α[°] が大きいほど，発生する非点収差(乱視屈折力)は強くなり，等価球面屈折力も同様に，強くなる．

(2) トーリックレンズの場合

レンズの主経線が水平・垂直に直交するトーリックレンズである場合，これが水平方向または垂直方向に傾いたときの屈折効果も同様に，次の式で計算できる[2]．ただし，α は傾き角，n はレンズの屈折率である．

・メリジオナル面屈折力

$$D_t=\left(1+\frac{2n+1}{2n}\times sin^2\alpha\right)D_1 \qquad (3)$$

・サジタル面屈折力

$$D_s=\left(1+\frac{1}{2n}\times sin^2\alpha\right)D_2 \qquad (4)$$

ここで D_1，D_2 は，図Ⅱ-1-4-3 に示すように，もとのレンズの主経線度数であり，レンズが傾く方向(すなわち，メリジオナル面の方向)の主経線度数を D_1 とする．そり角が変化するように傾く場合は，水平 180° 方向が D_1，垂直 90° 方向が D_2 となる．前傾角が変化するよう

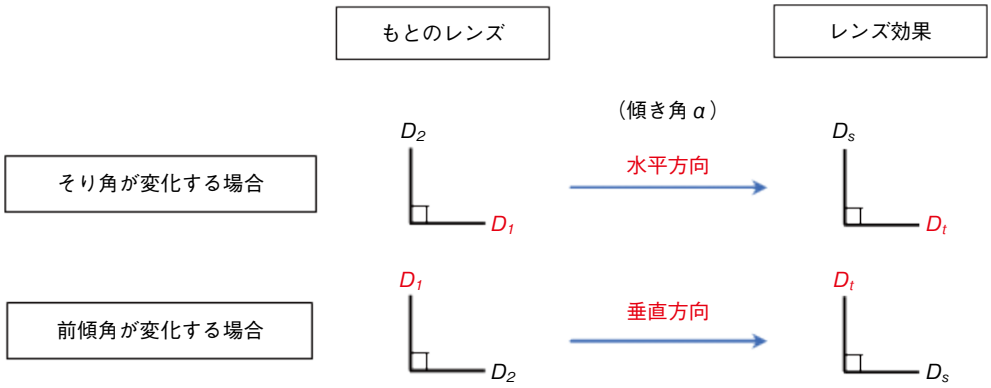


図 Ⅱ-1-4-3　トーリックレンズが水平方向・垂直方向に傾くときのレンズ効果の計算手順.

に傾く場合は，垂直方向が D_1，水平方向が D_2 となる．これらの値を式 3，4 に代入して D_t，D_s を求める．

いずれかの主経線断面とメリジオナル断面が一致しない場合の計算は複雑なので，本手引きでは省略する．

（3）レンズを傾けて装用する場合の度数補正

眼鏡レンズの光軸が視線に対して傾いているとき，非点収差や度数誤差が発生する．そのため，そり角や前傾角が通常と異なる眼鏡を作製する場合，それを装用したときに処方された度数（これを処方屈折力[3]という）が正確に網膜上に反映されることを狙って，あらかじめ非点収差や度数誤差の影響を打ち消すような屈折力のレンズを作製する．これは「Ⅱ基礎編 1．眼鏡処方に必要な眼鏡レンズの光学系の基礎知識 7）個別設計」で述べるインディビデュアルレンズの一例である．

先の例でいえば，処方屈折力＋3.00 D の人がそり角の大きいフレームを使う場合，仮にレンズ光軸と視線の傾き角 $\alpha = 30°$ として，＋3.00 D のレンズをそのまま使うと，装用効果は Sph＋3.25 D Cyl＋0.75 D Ax 90° になるので，これを打ち消すために，メリジオナル面（180° 方向）に必要な屈折力を D_t' とし，サジタル面（90° 方向）に必要な屈折力を D_s' とおいて式（1，2）に代入し，これを解くと，

$$+3.00 = \left(1 + \frac{2 \times 1.5 + 1}{2 \times 1.5} \times sin^2\, 30°\right) \times D_t'$$

$$D_t' = \frac{+3}{1 + \frac{4}{3} \times \frac{1}{4}} = (+3) \times \frac{3}{4} = +2.25\ \mathrm{D}$$

$$+3.00 = \left(1 + \frac{1}{2 \times 1.5} \times sin^2\, 30°\right) \times D_s'$$

$$D_s' = \frac{+3}{1 + \frac{1}{3} \times \frac{1}{4}} = (+3) \times \frac{12}{13} = +2.77\ \mathrm{D}$$

となる．すなわち，180° 方向の屈折力が＋2.25 D，90° 方向の屈折力が＋2.77 D のトーリックレンズを装用すると網膜上に正しく＋3.00 D の屈折効果を再現できることが分かる．したがって，実際に使用するレンズを通常のレンズメータで測定すると，その度数は Sph＋2.25 D Cyl＋0.52 D Ax 180° を示すと予想される．これは確認屈折力[3]と呼ばれ，レンズメータでの確認用に製造業者によって特別に計算され提供される屈折度数である．等価球面屈折力は処方屈折力よりも弱く，乱視軸は発生する非点収差を打ち消す方向になっている（確認屈折力については「Ⅱ基礎編 1．眼鏡処方に必要な眼鏡レンズの光学系の基礎知識 7）個別設計」を参照）．

文　献

1）**金子　弘**：眼鏡レンズの歴史と進歩．長谷部　聡（編）：ポイント解説　眼鏡処方の実際．OCULISTA 23：12–21，2015.

2）**公益社団法人日本眼鏡技術者協会**：眼鏡学教本～眼鏡作製技能士を目指して～．眼鏡光学出版，東京，233．2021.

3）**日本産業標準調査会**：JIS T 7330：2022　眼鏡レンズの用語．日本規格協会，東京，2022.

5）残余乱視

眼の全乱視から角膜乱視を除いてなお存在する乱視のことや，CL を装用した状態で起こる乱視のことを残余乱視と呼ぶが[1]，眼鏡装用時に何らかの原因で乱視が残ってしまうことも残余乱視と呼び，これを，さらに必要となる球面度数，および円柱度数と軸方向で表す．残余乱視の値は，完全矯正に必要な度数から装用度数を差し引くことで求めることができるが，乱視軸に対してレンズの軸が傾いているときは，単純な引き算では求めることができない．斜乱視に対して乱視補正用のレンズの円柱軸（乱視軸）が水平 180° で装用された場合に，どのようなことが起きるのか，その様子を図Ⅱ-1-5-1 に示す[2]．

図では乱視眼を正視眼と屈折異常要素に分解して示している．屈折異常要素とは近視・遠視や乱視などにおいて，眼鏡レンズの作用で打ち消されるべき成分のことで，

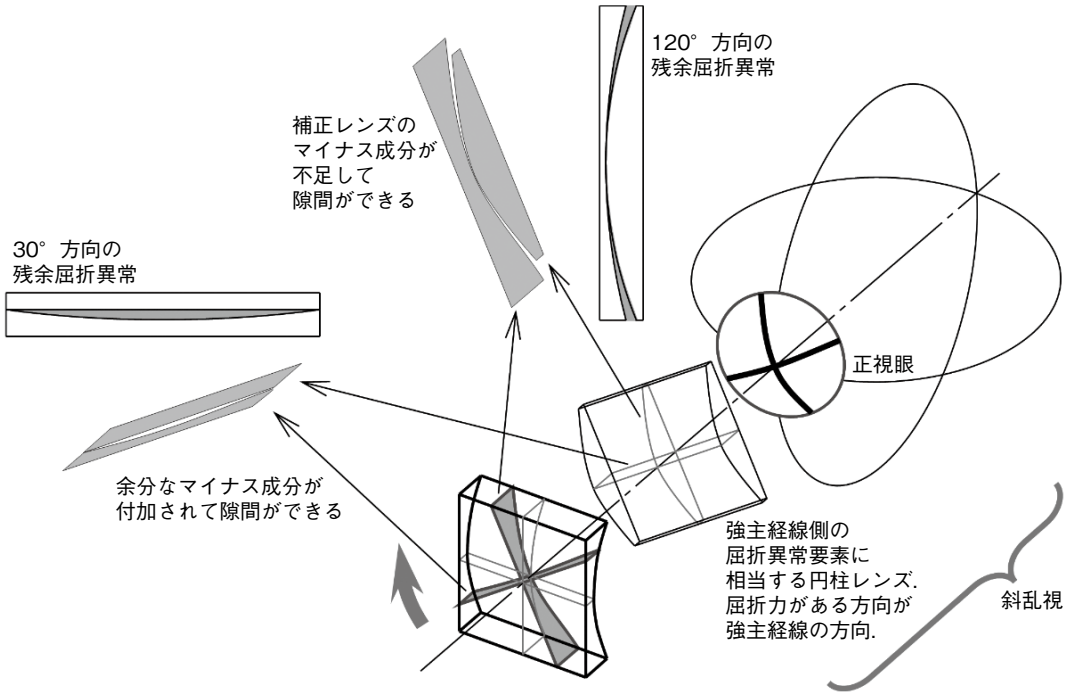


図 Ⅱ-1-5-1　斜乱視に対して円柱屈折力レンズの軸を 180° にした場合に起きること.
（文献 2 より許可を得て転載）

図の例では便宜上円柱屈折力レンズで描かれている.

眼鏡レンズが正しく処方されていれば，屈折異常要素が組み合わされれば，あたかも正視眼の前に度がないレンズが装用された状態になるはずであるが，図Ⅱ-1-5-1の例のように円柱軸がずれていると，重ね合わされたときに隙間が生じる．すなわち，この隙間を埋め合わせる別の乱視補正用レンズが必要になる．その別の乱視補正用レンズの度数が残余乱視ということになる．なお，円柱屈折力レンズの軸方向がずれて重なり合わされたものを斜交円柱屈折力レンズと呼ぶ.

残余乱視の球面成分 S_R，円柱成分 C_R，軸方向 α_R は次の式で求めることができる.

$$\alpha_R = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{C_f \sin 2\alpha_f - C_i \sin 2\alpha_i}{C_f \cos 2\alpha_f - C_i \cos 2\alpha_i}\right) \qquad (1)$$

$$C_R = \frac{C_f \sin 2\alpha_f - C_i \sin 2\alpha_i}{\sin 2\alpha_R} \cdots ①$$

あるいは

$$C_R = \frac{C_f \cos 2\alpha_f - C_i \cos 2\alpha_i}{\cos 2\alpha_R} \cdots ② \qquad (2, 3)$$

$$S_R = \frac{C_f - C_i - C_R}{2} \qquad (4)$$

ここで，α_f，C_f は本来必要な乱視レンズの軸方向と円柱成分で，α_i，C_i は装用レンズの軸方向と円柱成分である．両者に球面成分があれば，その差分にこの式で計算された球面成分 S_R を加えることになる.

なお，円柱度数を次のように正の平方根で求める計算方法もある.

$$C_R = \sqrt{C_f^2 + C_i^2 - 2\,C_f\,C_i \cos 2(\alpha_f - \alpha_i)} \qquad (5)$$

この場合，次のような乱視の倍角表現を用いて円柱度数と軸方向を表した場合，ベクトルの長さを求めたことになる．軸方向は上記の式を用いるよりも，ベクトルの座標を求めて，その座標方向の角度を求めて半分に戻すことになる．ベクトル的な乱視の倍角表現については「Ⅱ基礎編 2. Appendix　6)乱視の統計処理」で述べる.

例えば，Cyl+2.00 D Ax 70° が必要なところ，Cyl+2.00 D Ax 90° で装用すると，Sph−0.68 D Cyl+1.37 D Ax 35° の残余乱視が発生する．これを円柱度数が長さとして，また，軸方向は 2 倍角にしてベクトル的に表現すると，図Ⅱ-1-5-2 のような平行四辺形の関係になる.

（1）中間方向屈折力

中間方向屈折力は，図Ⅱ-1-5-3 に示したような円柱屈折力レンズがあるとき，主経線(軸方向とそれに直交する方向の経線)以外の軸方向のレンズの断面の形状を，相当する球面レンズの度数で表したものである[2].

クロスシリンダーレンズは，同じ度数のプラス円柱屈折力レンズとマイナス円柱屈折力レンズを軸が直交するように重ね合わされた，いわば斜交円柱屈折力レンズの特殊な例になっている．実際のクロスシリンダーレンズは等価球面度数が 0 の混合性乱視(雑性乱視，ミックス)用のトーリックレンズになっている.

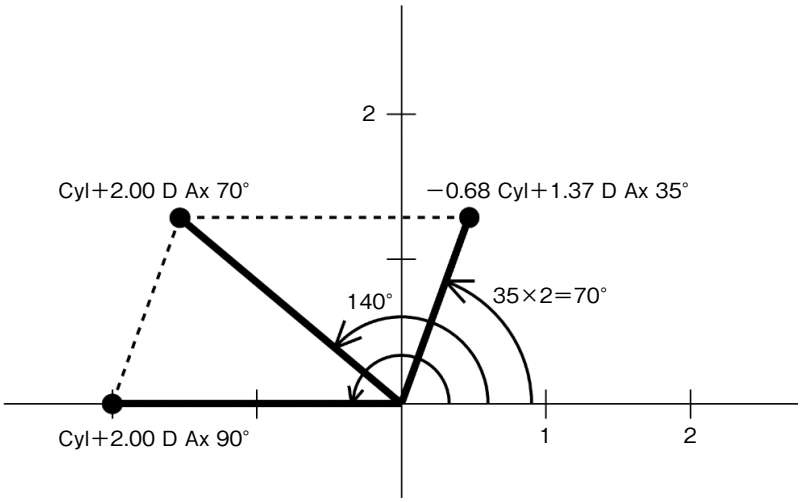


図 Ⅱ-1-5-2　残余乱視のベクトル表現.

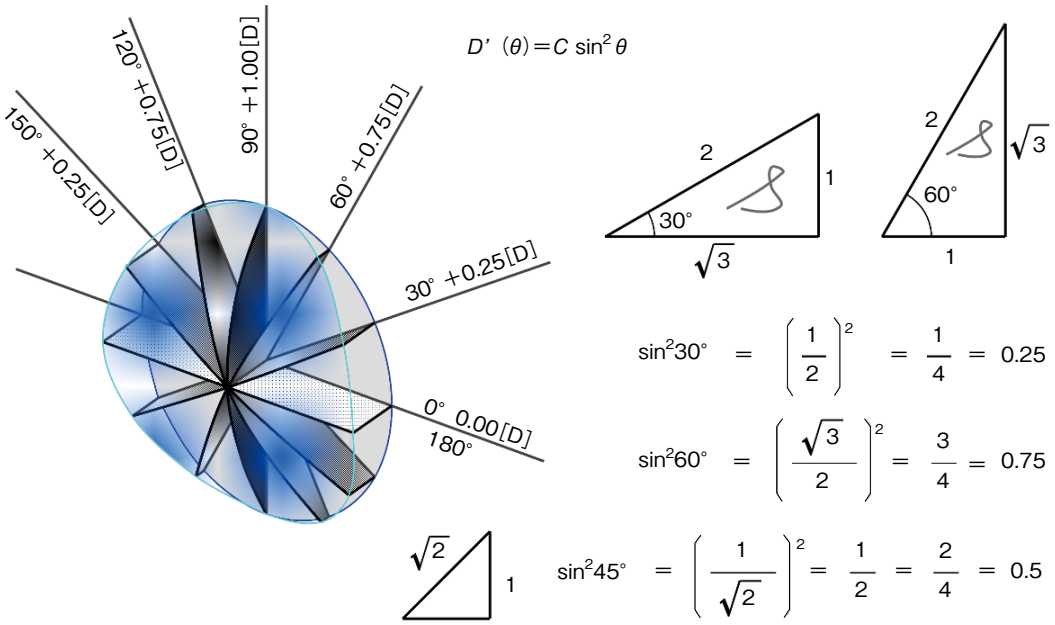


図 Ⅱ-1-5-3　円柱屈折力レンズの中間方向屈折力.

（文献 2 より許可を得て転載）

文　献

1）**所　敬**：屈折異常とその矯正　第 7 版. 金原出版, 東京, 29, 193, 289, 2019.
2）**森　峰生**：やさしい眼鏡光学(下)　第 2 版. 眼鏡光学出版, 東京, 2021.

6）累進屈折力眼鏡設計[1)]

(1) 累進屈折力レンズ概論

老視は加齢とともに眼の調節力が減退し，近方視が困難になる症状である．年齢と調節力の関係について，複数の研究者のデータ[2)]を図Ⅱ-1-6-1 にまとめて示す．研究者によるデータ間の差や個人差はあるものの，概ね 40 代後半ごろから調節力が 3.00 D を下回るようになり，近方視に不都合を感じるようになる．老視への対応として，二重焦点眼鏡レンズや累進屈折力眼鏡レンズは最初の選択肢として考えられる．

累進屈折力レンズは，レンズの一部または全体にわたって屈折力が連続的に変化する非回転対称面を持つレンズである．図Ⅱ-1-6-2 は累進屈折力レンズの累進面の原理を表す図[3)]で，レンズのほぼ中央部から下部に向けて段階的に曲率が大きくなる(曲率半径が小さくなる)球面を，Y 軸に沿った垂直断面での面のサグ(Z 座標値)と傾き(dZ/dY)が連続になるようにつなげたものである．これを無段階にすると，基礎的な累進面になる．

図Ⅱ-1-6-3 は典型的な累進屈折力(遠近タイプ)レンズのレイアウトの例を示したもので，レンズ上部に遠用部

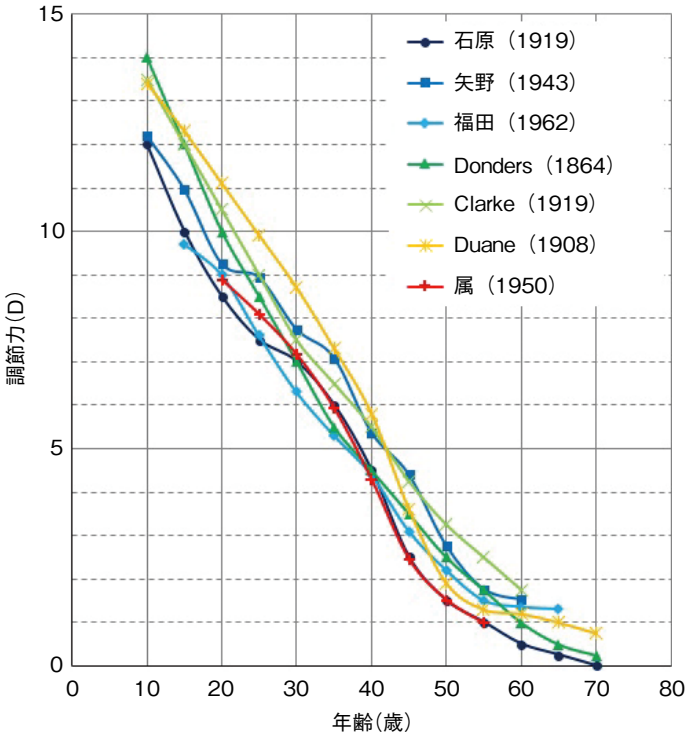


図 Ⅱ-1-6-1　年齢と調節力との関係.
（所　敬：屈折異常とその矯正　第7版．金原出版，東京，2019より許可を得て転載のうえ改変）

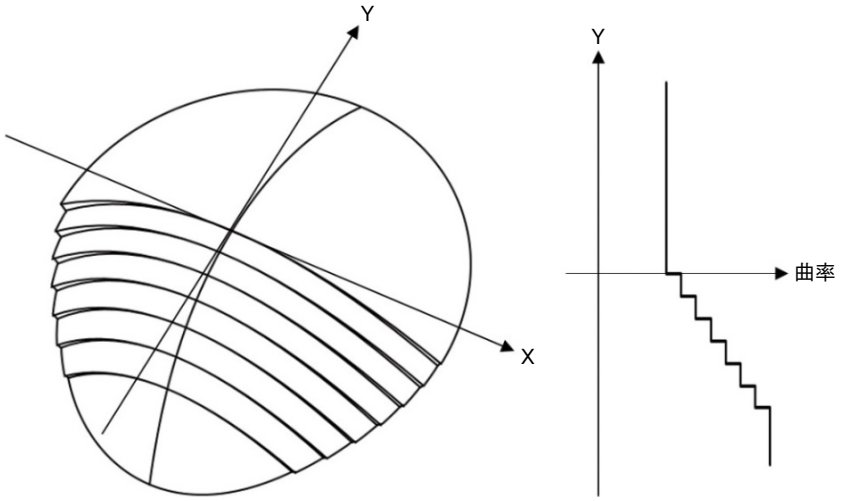


図 Ⅱ-1-6-2　累進屈折力レンズの累進面の原理.
（文献1より許可を得て転載）

（相対的に遠くを見る領域），レンズ下部中央に近用部（相対的に近くを見る領域），遠用部と近用部の間に連続的に屈折力の変化する累進部が配置され，これらの間に明確な境界は存在しない．図中のグレーの範囲は収差がある閾値（例えば非点収差0.50 D）以上の範囲で，像のボケや歪みが大きく，側方部と呼ばれ，その内側が比較的良好な見え方をする明視範囲である．レンズのほぼ中央を上下に通る主子午線（あるいは主注視線）と呼ばれる線の近傍は視線の通過頻度が高く，できるだけ収差が少ないことが望まれる．屈折力の変化している長さは累進帯長と呼ばれ，レンズの重要なスペックの一つであるにもかかわらず，その定義は定まっていない．近用部は近方視時の輻湊に対応させて鼻側に偏位している．

累進屈折力レンズは，近年では老視対策だけに限らず，調節緊張を和らげる目的で30～40代でも利用されるようになってきており，その適用範囲は拡大しつつある．

（2）累進屈折力レンズの用途別設計

累進屈折力レンズでは，1枚のレンズの中で屈折力の異なる領域を配置させているので，そのしわ寄せとしてレンズ側方に像のボケや歪み・揺れといった収差が発生

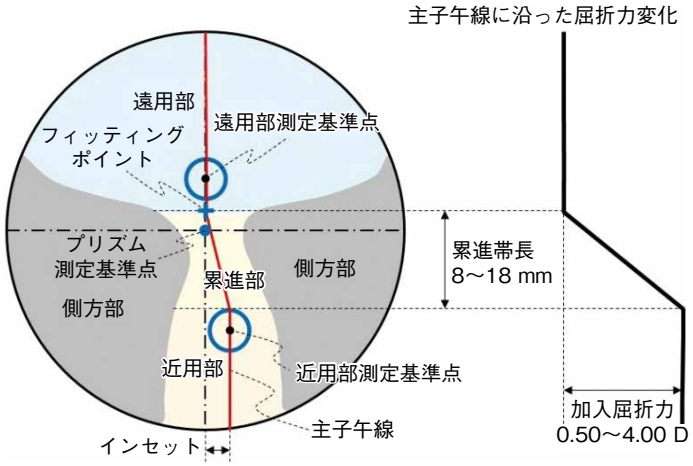


図 Ⅱ-1-6-3　遠近タイプ累進屈折力レンズのレイアウトの例.

（文献 1 より許可を得て転載のうえ改変）

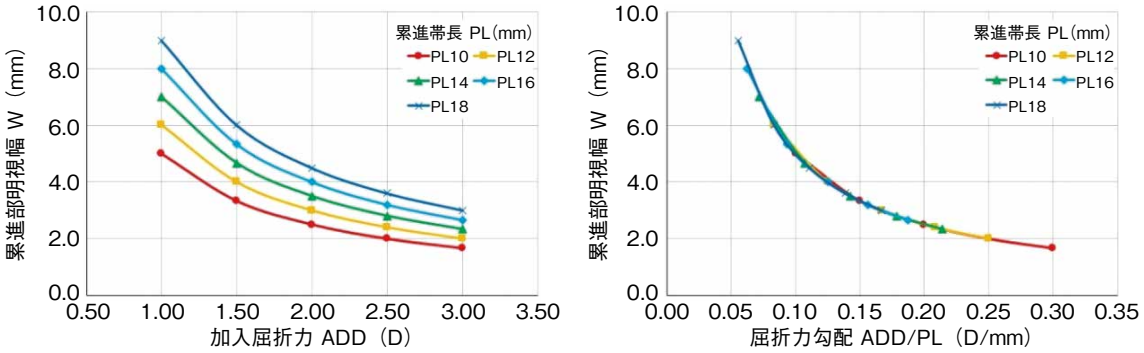


図 Ⅱ-1-6-4　累進帯長・加入屈折力と累進部明視幅（面非点収差 0.5D 以下の幅）の関係.

する．図Ⅱ-1-6-2 で示したように，各帯状領域を単純な球面（水平断面形状を円弧）とすると，遠用部明視幅・近用部明視幅を広くすることができるが，側方部での収差は非常に大きなものとなる．水平断面形状を単純な円弧ではなく，中央から側方に向けて，累進面の上部では曲率を徐々に大きくし，累進面の下部では曲率を徐々に小さくするような変調をかけることによって側方部での収差が改善される[4]が，遠用部・近用部での明視幅は狭くなる．

また，累進部での明視幅を支配する法則として，Minkwitz の法則[5]「臍状子午線側方への面非点収差の変化は，臍状子午線に沿った平均面屈折力変化の 2 倍になる」が知られている．「臍状子午線」とは，微分幾何学において，局所的に球面である点の連なりを意味する．この法則は読み方を変えると「臍状子午線近傍において，面非点収差がある値以下の幅は，主子午線に沿った平均面屈折力の変化に反比例する」という意味になる．実際に，図Ⅱ-1-6-3 に例示したような直線的加入変化の累進面を設計してみると，図Ⅱ-1-6-4 に示すように，累進部中央における面非点収差が 0.50 D 以下の幅は，累進帯長に比例，加入屈折力に反比例（屈折力勾配に反比例）していることが分かる．

収差をいかに分散し，装用感を高めるかということに各眼鏡レンズメーカーはさまざまな工夫を重ねているが，基本的に累進帯長の短さと累進部の明視幅，遠用部・近用部の広さと側方部の収差量の少なさはトレードオフであり，すべてが都合の良い（すなわち，累進帯長が短く，遠用部・累進部・近用部の明視幅が広く，側方部での収差が少ないような）レンズは原理的に存在しない．そこで，眼鏡レンズメーカーは異なる収差バランスのレンズを，装用者が用途や好みに応じて選択できるように，複数タイプ用意している．累進屈折力レンズの用途別設計の代表的なものは，遠近タイプ・中近タイプ・近々タイプであり，それぞれを以下に説明する．

① 遠近タイプ累進屈折力レンズ

遠近タイプは最も代表的な累進屈折力レンズであり，無限遠から手元まで汎用的に用いられている．さまざまなフレームサイズに対応できるよう，累進帯長の選択肢も豊富だが，前述の Minkwitz の法則により，累進帯長の短いものほど累進部の明視幅は狭くなる．主子午線に沿った屈折力変化は，フィッティングポイントから加入が始まり，近用部測定基準点を中心とする近用度数測定円の上端で公称加入屈折力に到達するのが日本では標準的とされる．バリエーションとして，第 1 眼位での遠方

視のすっきり感向上を意図してフィッティングポイントよりも少し下から加入が始まるレンズや，累進部の明視幅拡張を意図してフィッティングポイントの少し上から徐々に加入が始まるレンズなどもある．

さらに同じ累進帯長でも，図Ⅱ-1-6-5に示すように，遠用部・近用部の明視範囲のバランスを変えたいくつかの設計を用意し，装用者が好みや慣れなどに応じて選べるようにシリーズ化されているレンズもある．ハードタイプは遠用部・近用部ともに明視範囲が広く，側方部での収差は多い設計であり，ソフトタイプは遠用部・近用部ともに明視範囲が狭く，側方部での収差は少ない設計，バランスタイプは両者の中間的な設計である．

② 中近タイプ累進屈折力レンズ

中近タイプは主に室内での装用を目的とし，図Ⅱ-1-6-6に示すように，遠用部はあまり広くないが，累進部が長く，累進部と近用部の明視幅が比較的広いので，手元および数メートル先までを見るのに適している．収差を側方部の広い範囲に分散させることで，揺れ・歪みの少ない装用感となっている．フィッティングポイントが累進部の中にあり，第1眼位では無限遠を明視できないので，処方にあたっては明視できる距離範囲が装用者のニーズにマッチしているかを確認することが重要である．また，遠方視には上目使いをする必要があり，遠用部の明視幅もあまり広くないので，車の運転には適さない．図Ⅱ-1-6-6では主子午線に沿って直線的屈折力変化のレンズを例示したが，老視の進行に伴い加入屈折力を上げた場合でも第1眼位での遠点距離が変わらないように，非直線的(2段階あるいは曲線的)屈折力変化のレンズもある．

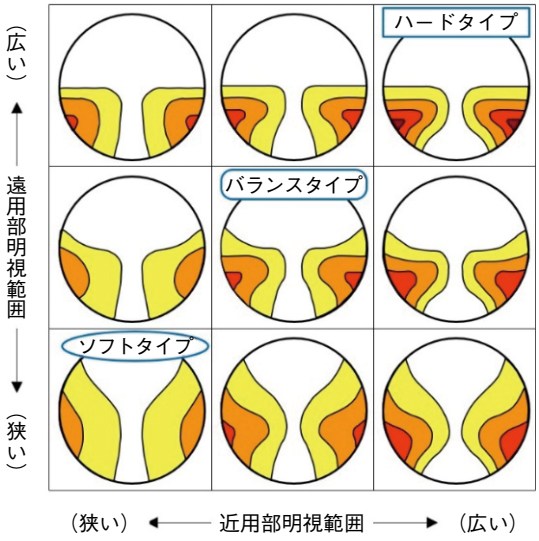


図 Ⅱ-1-6-5　累進屈折力レンズの収差バランス．
（文献1より許可を得て転載）

③ 近々タイプ累進屈折力レンズ(逆進屈折力レンズ)

手元の作業を主体に，少し先までを見たい場合での装用を目的とし，図Ⅱ-1-6-7に示すように，長い累進部と広い近用部を有する．フィッティングポイントが累進部の中にあり，近方視では単焦点レンズに近い見え方となり，揺れ・歪みも少ないが，レンズ上方は必ずしも無限遠まで見えることを狙っていない．遠近タイプや中近タイプのように加入屈折力を0.25 Dステップの数値で指定するのではなく，逆進屈折力(マイナス加入屈折力)は0.50 Dステップでタイプ A・B・C やタイプ Ⅰ・Ⅱといった呼称で指定するレンズがほとんどである．

近々タイプ累進屈折力レンズは，以前のJIS規格(JIS T 7315：2006)「屈折補正用累進屈折力眼鏡レンズ」では適用外であり，単焦点レンズ扱いとする眼鏡レンズメーカーもあったが，同規格の2020年の改訂版[6]およびJIS T 7330「眼鏡レンズの用語」の2022年の改訂版[7]によって，累進屈折力レンズとともに「屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ」としてまとめられ，適用対象となった．ただし，副参照基準点(遠用部測定基準点)を表示していないレンズには，変化屈折力の許容差は適用されない．

④ その他のタイプ

遠中タイプ累進屈折力レンズ[3]は，広い遠用部と比較的

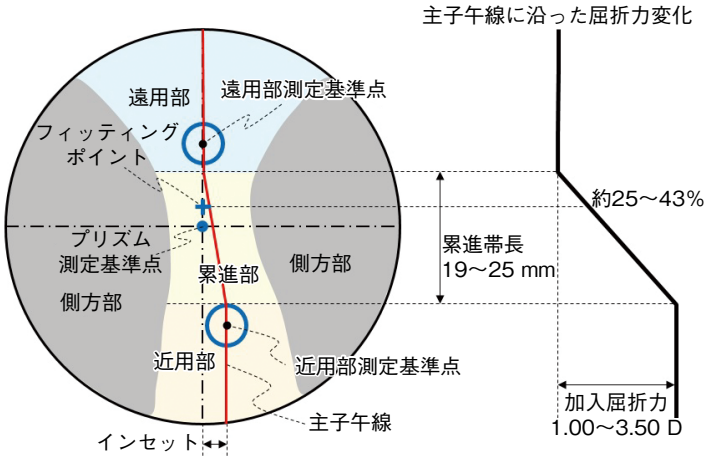


図 Ⅱ-1-6-6　中近タイプ累進屈折力レンズのレイアウトの例．
（文献1より許可を得て転載のうえ改変）

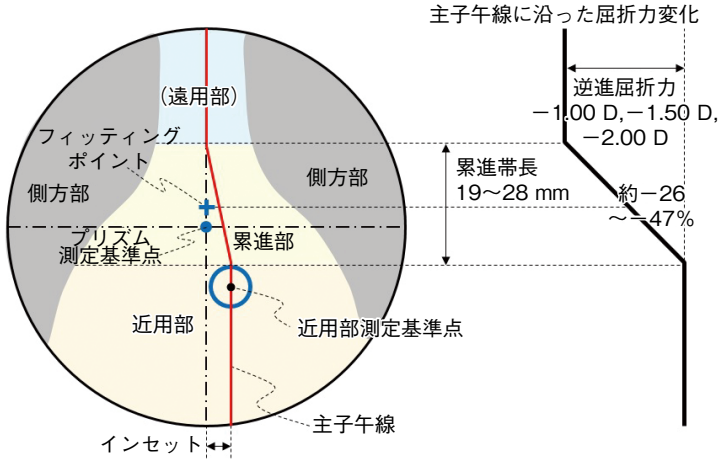


図 Ⅱ-1-6-7　近々タイプ累進屈折力レンズのレイアウトの例.
(文献 1 より許可を得て転載のうえ改変)

長い累進部を有し，車の運転など無限遠および中距離を見るのに適しており，揺れ・歪みが少ないが，近用部は狭い.

調節サポートレンズ・アシストレンズなどと呼ばれるものは，初期老視対策を狙ったレンズであり，加入屈折力の弱い遠近タイプ累進屈折力レンズと考えてよい. 近々タイプ累進屈折力レンズとともに，JIS T 7315 : 2020「屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ」の適用対象となったが，副参照基準点(近用部測定基準点)の表示がないレンズには変化屈折力の許容差は適用されない.

最近は，《遠近》《中近》《近々》の中間的なバランスのレンズも登場するようになり，多様化が進んでいる. また，用途別タイプを装用者に分かりやすく訴求する目的で，《遠近》《中近》《近々》などに代わって，《オールラウンド》《タウン》《オフィス》《ルーム》[8]，《アクティブ》《ウォーク》《ホーム》《クラフト》[9]，《フィールド》《シティ》《ルーム》[10]などという表現を採る眼鏡レンズメーカーが増えてきている.

(3) フィッティング

フィッティングに関しては，各眼鏡レンズメーカーの各タイプとも，フィッティングポイントがレンズ面上に印刷されているので，それにビジュアルポイントを合わせるようにフィッティングする. JIS T 7330「眼鏡レンズの用語」によれば，フィッティングポイントは「眼前にレンズを位置付けるため，製造業者によって指定された，レンズ又はブランクの前面上の点」であり，ビジュアルポイントは「視線とレンズの後面との交点」である. フィッティングポイント・プリズム測定基準点・幾何学中心の位置関係はメーカーによって，またレンズによって異なる. 遠近タイプ累進屈折力レンズでは，第 1 眼位視線通過点がビジュアルポイントである. 中近タイプ累進屈折力レンズでは，中間距離視線通過点をビジュアルポイントとし，1 mm ほどフィッティングポイントを内寄せした商品も現存するが，現在は第 1 眼位視線通過点に合わせるのが主流となっている. 近々タイプ累進屈折力レンズでは，フィッティングポイントを遠用ビジュアルポイントに合わせるレンズと，近用ビジュアルポイントに合わせるレンズの両方があるので，どちらのタイプか注意する必要がある.

枠入れする前のレンズであれば，レンズ表面上にフィッティングポイントや測定基準点の印刷マーク(一時的マーク)があるが，枠入れ後には拭き消されていることが多い. そのような場合には，眼鏡レンズメーカーが公表しているレイアウト図を参考に，アライメント基準マーク(永久マーク)からフィッティングポイントなどの位置を割り出す必要がある.

近用部のインセットは，黎明期の累進屈折力レンズでは 2.5 mm 程度で固定であったが，最近では，ある程度任意の値に設定できるレンズが増えてきている. 近用心取り点間距離(centration distance : CD)またはインセットを求める方法としては，

① 裸眼で，ペンライトの両眼の第 1 Purkinje 像間距離を，角膜頂点より所定距離に置いたメジャーで測定する.
② 裸眼で，PD メータを用いて測定する.
③ ダミーレンズの入った眼鏡フレームを装用し，ミラー法を用いて，ダミーレンズ上に近用心取り点をプロットし，メジャーで測定する.
④ ビデオフィッティング計測システムにより，ダミーレンズの入った眼鏡フレームを装用した顔画像を撮影・解析して，取得する.
⑤ レンズの屈折力および装用者の遠用 PD・近用作業距離・フィッティング情報などより計算して求める.

が知られている. 方法 ⑤ はレンズの屈折作用による視線の偏向および装用状態を考慮して近用 CD を決定できるメリットがあり，各眼鏡レンズメーカーがこの方法に対応している. しかしながら，装用者が顔の正面で近方視できない場合や，装用者の眼球が角膜頂点から 13 mm 後方にある 1 点を中心に回旋していると見なせない場合に

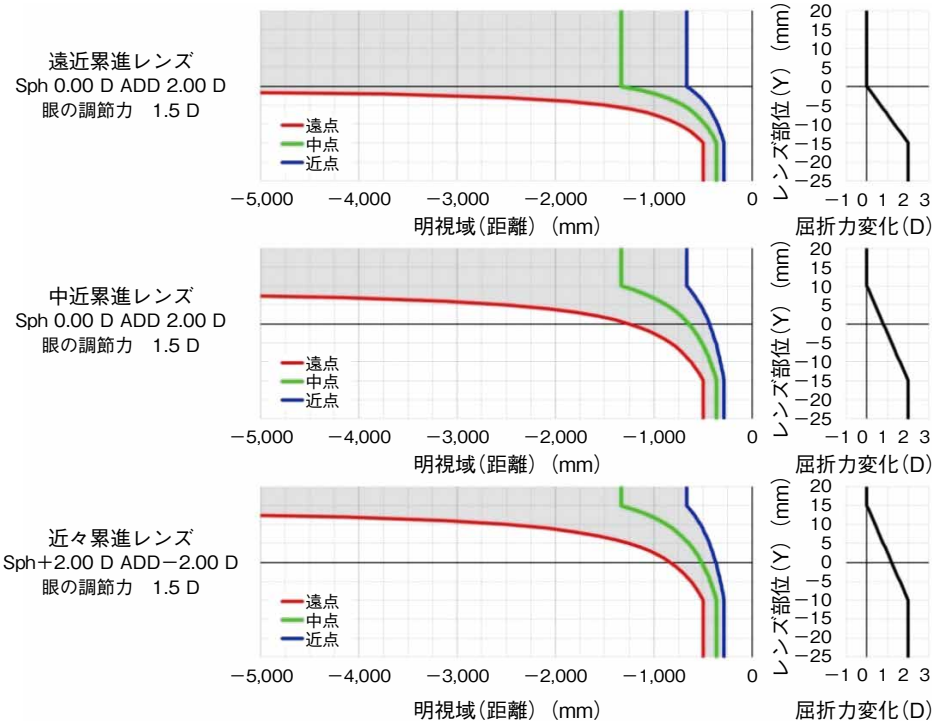


図 Ⅱ-1-6-8　レンズタイプによる明視域（奥行き）の比較.

は，計算の前提が成り立っておらず，正確性を欠く．このような場合には，方法 ①～④ で測定した近用CDを眼鏡処方箋に記載することも有効であるが，そうでなければ近用 CD の決定は眼鏡レンズメーカーに任せるのがよいと考えられる．

（4）各タイプによる明視範囲の比較

視空間の中で，（眼鏡レンズを通して）はっきりと見える範囲を明視域という．明視域はレンズの屈折力や眼の屈折・調節状態に依存する．

奥行き方向についての明視域の計算は簡単である．例えば，正視で調節力が1.50 Dの人の裸眼での明視域は∞～眼前 67 cm，この人が Sph 0.00 D ADD 2.00 D の二重焦点レンズを装用した場合の明視域は遠用部で∞～眼前67 cm，近用部で眼前 50～29 cm，Sph 0.00 D ADD 2.00 D の累進屈折力レンズを装用した場合の遠用部・近用部での明視域は二重焦点レンズと同様で，累進帯中央では眼前 1 m～40 cm，といった具合である．Sph 0.00 D ADD 2.00 D の遠近累進レンズ，同度数の中近累進レンズ，Sph+2.00 D ADD−2.00 D の近々累進レンズの明視域は，加入の開始点位置や累進帯長も考慮すると図Ⅱ-1-6-8 のようなものが描け，明視できる奥行き距離範囲は同じであることが分かる．

しかしながら，これら 3 タイプのレンズでは，視線方向の違い（すなわち，遠近累進レンズでは正面で遠方視が可能，中近，近々となるに従って，レンズの上のほうを使う必要がある）以外にも，見え方には大きな違いがある．これら屈折力変化レンズの明視範囲は，レンズの加入変化（主子午線に沿った屈折力変化）と眼の屈折・調節状態だけでなく，レンズの屈折力分布・収差分布にも依存することを理解する必要がある．

そこで，垂直方向・水平方向も含めた三次元視空間での明視範囲の表示方法が提案されている[11]．図Ⅱ-1-6-9 は，正視で調節力が 1.50 D の人が，4 種類のタイプの異なるレンズを装用した場合の明視範囲を，レンズの断面ごとにシミュレーションしたものである．図の最上段はレンズ垂直断面での明視域で，図Ⅱ-1-6-8 に対応する．図の 2 段目以下はレンズ水平断面ごとの明視範囲で，タイプによって水平方向の広がりが異なることが分かる．ある決まったシーンで，決まった眼の屈折・調節状態での見え方をあらかじめ画像シミュレーションしておく方法[12]と異なり，いろいろな屈折・調節状態とレンズの処方屈折力の組み合わせを指定して，即座に明視範囲をシミュレーションし比較できるのが特徴で，処方屈折力を調整した場合の明視範囲の変化などの検討ができる．

文　献

1）**白柳守康**：累進屈折力眼鏡レンズの技術．視覚の科学 43：125-134，2022.
2）**所　敬**：屈折異常とその矯正　第 6 版．金原出版，東京，232，2014.
3）**白柳守康**：レンズ種類別光学スペックと装用時光学性能．眼鏡学ジャーナル 22：8-25，2019.
4）**祁　華**：累進屈折力レンズの光学設計および評価方法．光学 44：285-290，2015.
5）**Minkwitz G**：[On the surface astigmatism of a

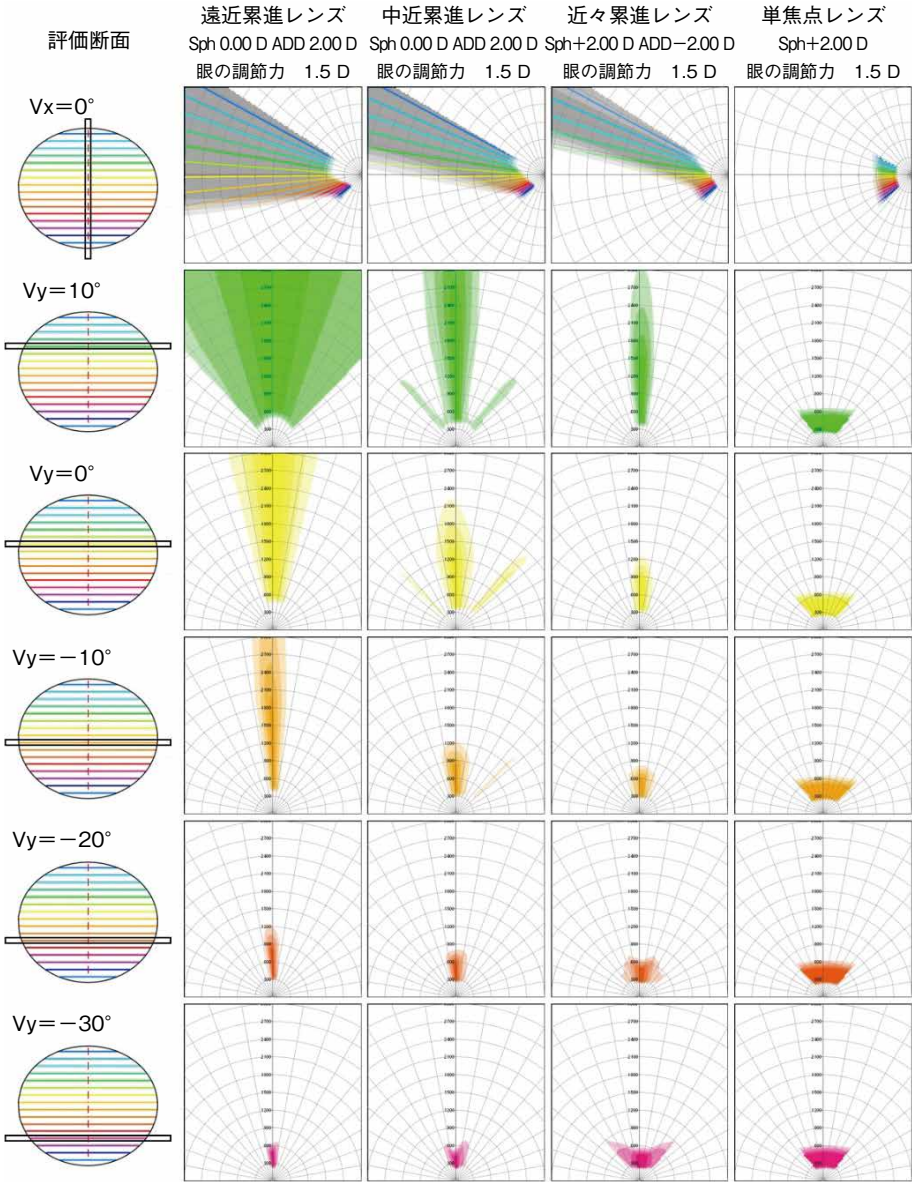


図 Ⅱ-1-6-9　三次元明視範囲シミュレーション.

視空間の範囲は，上下・左右・奥行きともに 3 m，放射線は角度 10° ごと，同心円の半径は 30 cm ごと，同心円の中心は両眼角膜頂点の中点．遠方視力 0.7 以上，近方視力 0.5 以上を明視範囲と仮定．色使いはレンズ断面と明視範囲を対応づけること以上の意味はない．色が薄くなっているのは明視範囲ではあるが，見え方の質が若干低下することを意味する．

fixed symmetrical aspheric surface]（Article in German）. Opt Acta（Lond）10：223–227, 1963.
6）**日本産業標準調査会**：JIS T 7315：2020　屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ．日本規格協会，東京，2020.
7）**日本産業標準調査会**：JIS T 7330：2022　眼鏡レンズの用語．日本規格協会，東京，2022.
8）**セイコーオプティカルプロダクツ株式会社**：「パシュート AC-X，2024」. https://www.seiko-opt.co.jp/lens/pursuit_acx/　（Accessed 2024 年 2 月 22 日）.
9）**ニコンレンズウェア**：「ロハス・シリーズ」. https://www.nikonlenswear.com/jp/eyewear/lohas/　（Accessed 2024 年 2 月 22 日）.
10）**HOYA ビジョンケアカンパニー**：「製品情報」. https://www.vc.hoya.co.jp/products/　（Accessed 2024 年 2 月 22 日）.
11）**白柳守康**：累進屈折力レンズの明視域表示ツールの開発．眼鏡学ジャーナル 10：7–11，2007.
12）**畑中隆志**：累進屈折力レンズの設計タイプの選択方法．視覚の科学 33：35–40，2012.

7）個別設計

（1）装用状態による眼鏡レンズの屈折効果の変化

通常，眼鏡レンズは，標準的な装用状態を想定して設計される．例えば，単焦点眼鏡レンズの場合には，図Ⅱ-1-7-1A に示すように，常用視線とレンズ光軸（より一般

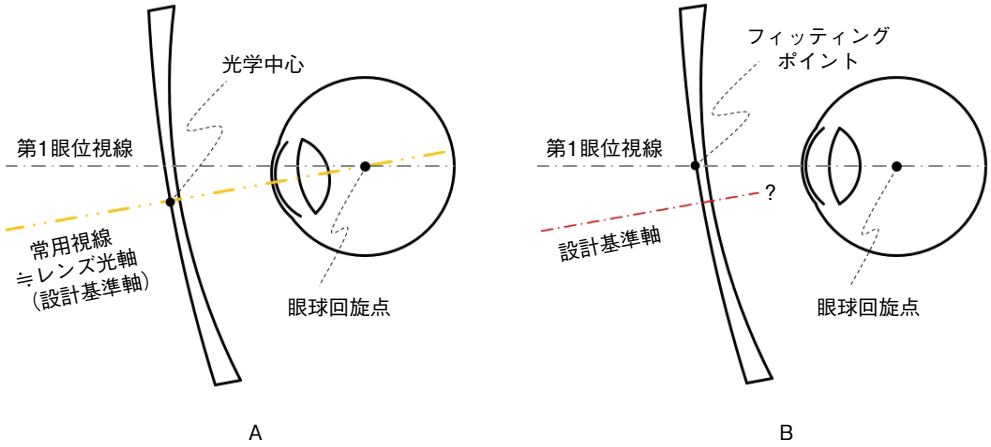


図 Ⅱ-1-7-1　想定されている標準的装用状態の例(垂直方向のレイアウト).
A：単焦点レンズの場合.
B：累進屈折力レンズの場合.

的には設計基準軸)が一致するようにフィッティングされることを想定している．したがって，装用時前傾角に応じて，レンズの光学中心は第1眼位視線通過点よりも下に設定されるのが好ましい．累進屈折力レンズの場合には，図Ⅱ-1-7-1Bに示すように，第1眼位視線がレンズのフィッティングポイントを通り，装用時前傾角が10°程度になることを想定している．ただし，想定される装用時前傾角や設計基準軸の採り方は眼鏡レンズメーカーや商品によって多少異なることもある．図示は省略するが，単焦点レンズ・累進屈折力レンズともに，ビジュアルポイント(またはフィッティングポイント)において水平方向では設計基準軸の傾きはない状態である．

もし，実際のレンズの装用状態が，設計時に想定された状態からずれた場合には，期待した屈折補正効果が得られないという問題が発生する．フィッティングずれは，図Ⅱ-1-7-2に示すように，典型的には，A：ビジュアルポイントの位置ずれ，B：頂点間距離のずれ，C：設計基準軸の傾き，D：設計基準軸回りの回転，に分けられる．各事象に対しては前項までででいったん説明済みではあるが，ここで改めてまとめてみることにする．

ビジュアルポイントの位置がずれた場合には，図Ⅱ-1-7-3に示すようなプリズム屈折力誤差が発生する．発生するプリズム屈折力誤差は，位置のずれ量および頂点屈折力にほぼ比例し，プレンティスの式で良く近似できる．

頂点間距離がずれた場合には，図Ⅱ-1-7-4で示すような頂点屈折力誤差が発生する．発生する頂点屈折力誤差は，頂点間距離のずれ量および頂点屈折力の2乗にほぼ比例し，プラスレンズとマイナスレンズで変化の方向は同じであるが，強度レンズでは量的に差異が出てくる．

設計基準軸が傾いた場合には，図Ⅱ-1-7-5，6，7で示すような平均屈折力誤差，非点収差，およびプリズム屈折力誤差が発生する．設計基準軸の傾きは，主に装用時前傾角，装用時そり角，および眼鏡フレームの玉形中心とビジュアルポイントの位置関係によってもたらされる．発生する平均屈折力誤差および非点収差は，傾き角の2乗および頂点屈折力にほぼ比例し，マーチンの式で近似できるが，大きな傾きおよび強度屈折力では近似誤差が大きくなる．設計基準軸の傾きによるプリズム屈折力誤差を考える場合，傾き中心位置に注意を払う必要がある[1]．図Ⅱ-1-7-7においては，図Ⅱ-1-7-8Aのように，レンズ前面頂点を中心に傾くと仮定している．一方，図Ⅱ-1-7-8Bのように，レンズ後面頂点を中心に傾くと仮定すると，プリズム屈折力誤差は図Ⅱ-1-7-9のように変化し，図Ⅱ-1-7-7と様相がまったく異なる．傾き中心の違いは，平均屈折力誤差や非点収差にも多少影響があるが，プリズム屈折力誤差ほど顕著ではない．

設計基準軸回りにレンズが回転した場合には，図Ⅱ-1-7-10に示すような非点収差が発生する．発生する非点収差は，回転ずれ量および乱視屈折力にほぼ比例するが，大きな回転ずれに対しては正弦波的に変化する．

ここに示した例は，いずれも単焦点眼鏡レンズの光学中心近辺において各種ずれによって引き起こされる屈折力誤差であり，図Ⅱ-1-7-3，5，6，7，9の光線追跡による屈折力誤差のシミュレーションは，実質的なベースカーブと厚さを仮定したレンズデータにより行った．レンズデータ(特にベースカーブや屈折率)が異なると，多少の定量的違いは起こり得る．

フィッティングずれによる屈折効果への影響は，光学中心に限ったことではなく，むしろ光学中心から離れたレンズ部位における影響のほうが大きい．特に累進屈折力レンズにおいては，遠用部から近用部までレンズの中心以外の部位を多用するうえ，屈折力測定基準点もレンズ中心から離れた位置にあるので，レンズ全体にわたってその影響を検討する必要がある．これらの変化を定式化することは困難で，収差マップなどで表現[2]することが多い．ここでは，その例として，ある累進屈折力レンズ

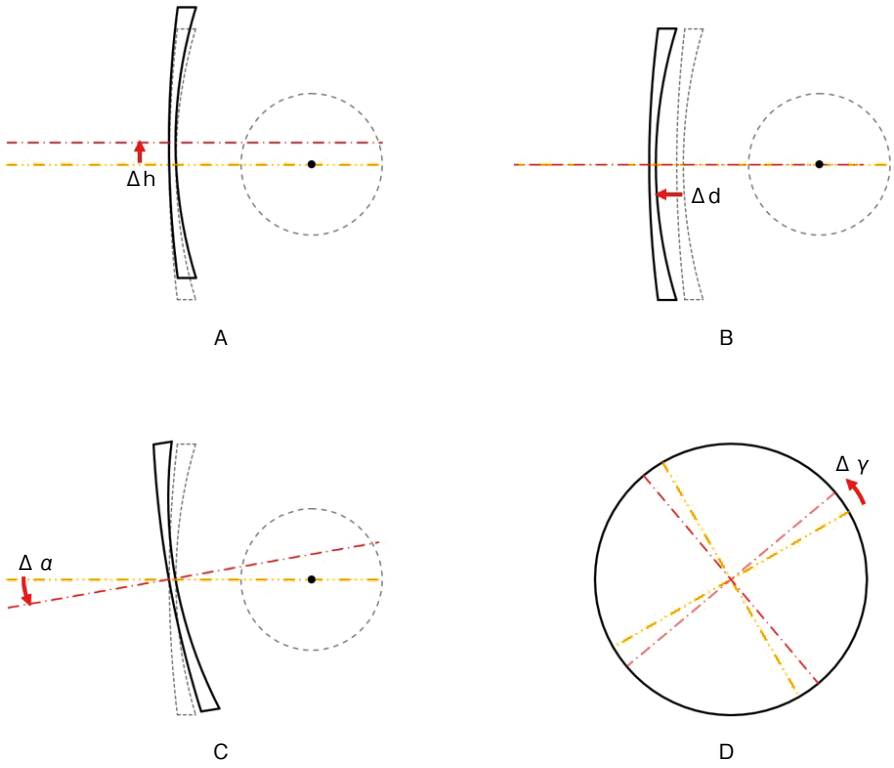


図 Ⅱ-1-7-2　典型的なフィッティングずれ.
A：ビジュアルポイントの位置ずれ.
B：頂点間距離のずれ.
C：設計基準軸の傾き.
D：設計基準軸回りの回転.
橙色の二点鎖線は想定していた軸，赤色の一点鎖線はずれた軸を示す.

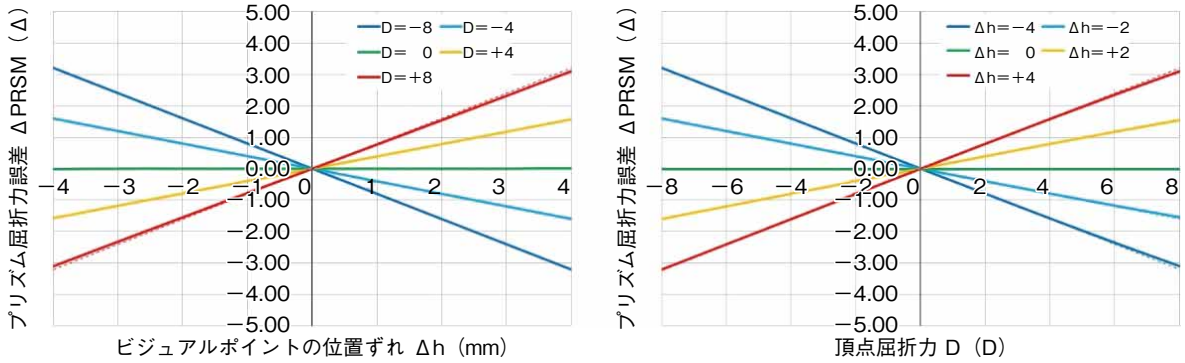


図 Ⅱ-1-7-3　ビジュアルポイントの位置ずれによるプリズム屈折力誤差.
実線は光線追跡によるもの，破線はプレンティスの式による近似を示す.

(Sph−4.00 D ADD 2.00 D)の想定された標準的装用状態での収差マップと，フィッティングがずれた場合の収差マップを図Ⅱ-1-7-11 に示す．残念ながら，現時点で眼鏡処方に関わる方々が個別のケースについて収差マップを入手できる状況にはなく，眼鏡レンズメーカーが典型的な例についての模式的なマップを示すのみである.

(2) 装用状態を考慮した眼鏡レンズ設計

特別な事情がなければ，レンズ設計時に想定された標準的装用状態に合わせるように眼鏡のフィッティングを調整するのが望ましい．しかしながら，眼鏡フレームによってはフィッティングを十分に調整することが困難なものや，いわゆるハイカーブフレームと呼ばれるようなデザイン性・機能性を重視したものなども存在する．このような眼鏡フレームで，標準的装用状態を想定して設計されたレンズをそのまま装用したのでは，期待した屈折補正効果が得られない.

ここで，レンズが傾いた状態ではどのように屈折効果が変化するか，単焦点レンズでの簡単な実験[3]を紹介する.

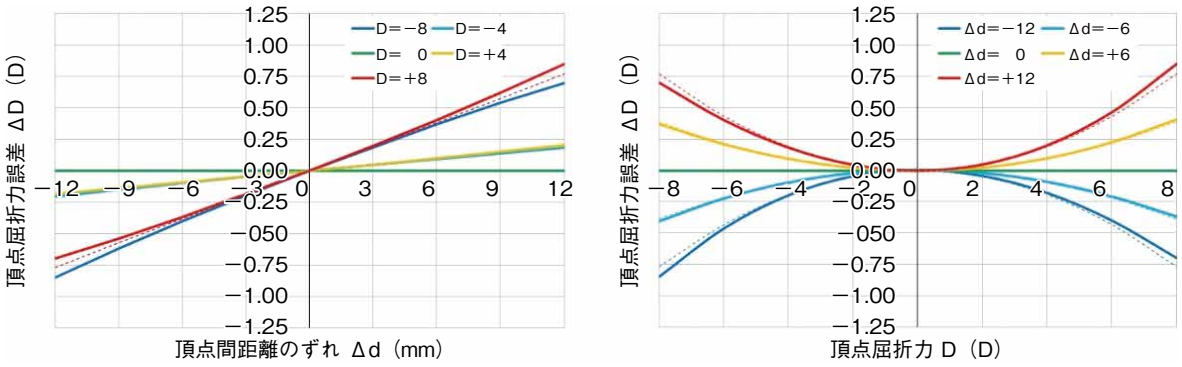


図 Ⅱ-1-7-4 頂点間距離のずれによる頂点屈折力誤差.
実線は12 mm基準で「Ⅱ基礎編1．眼鏡処方に必要な眼鏡レンズの光学系の基礎知識3）頂点間距離による屈折効果の変化」の式(7)によるもの，破線は同項の式(8)による近似を示す.

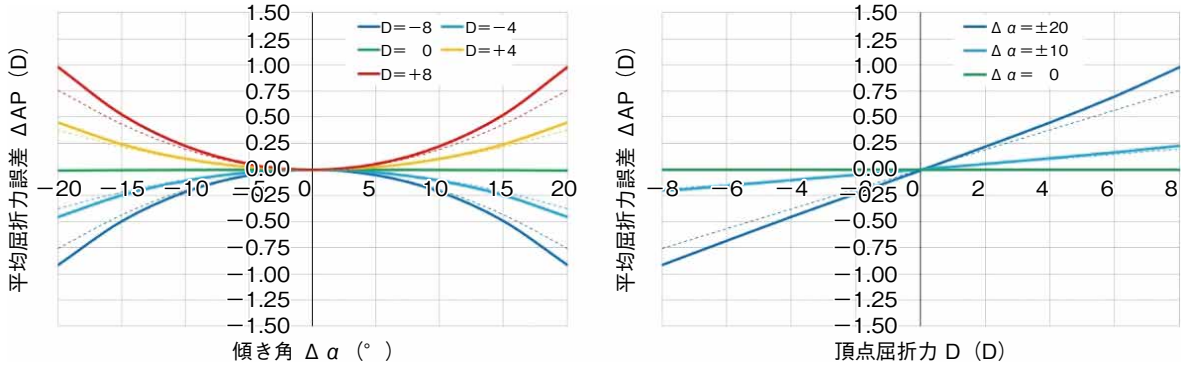


図 Ⅱ-1-7-5 設計基準軸の傾きによる平均屈折力誤差.
実線は光線追跡によるもの，破線はマーチンの式による近似を示す.

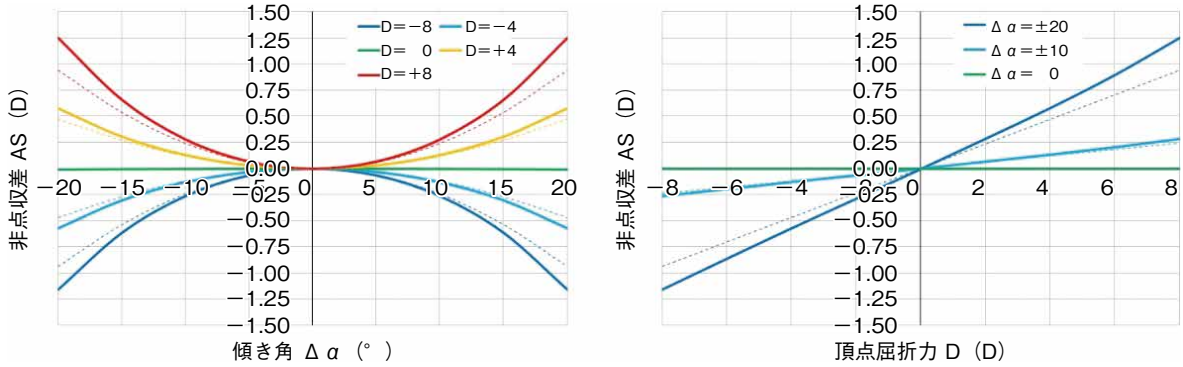


図 Ⅱ-1-7-6 設計基準軸の傾きによる非点収差.
実線は光線追跡によるもの，破線はマーチンの式による近似を示す.

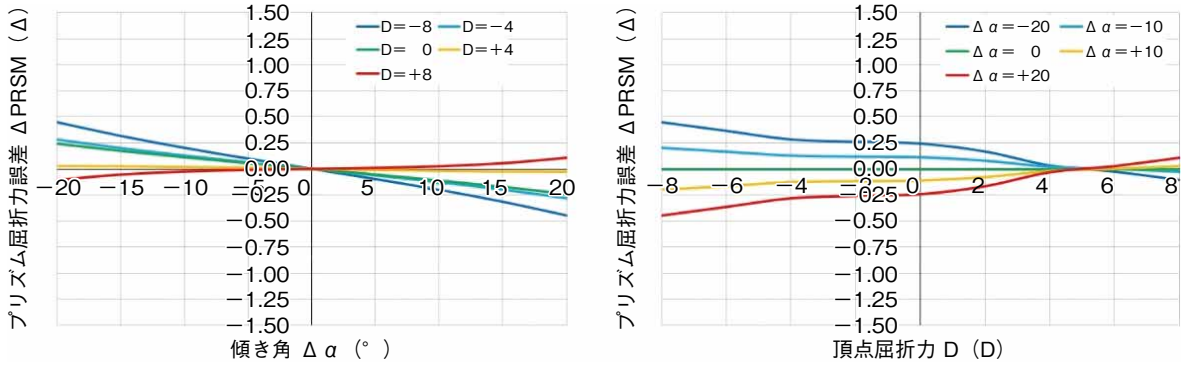


図 Ⅱ-1-7-7 設計基準軸の傾きによるプリズム屈折力誤差.
設計基準軸がレンズ前面頂点を中心に傾いたと仮定(図Ⅱ-1-7-8Aの状態).

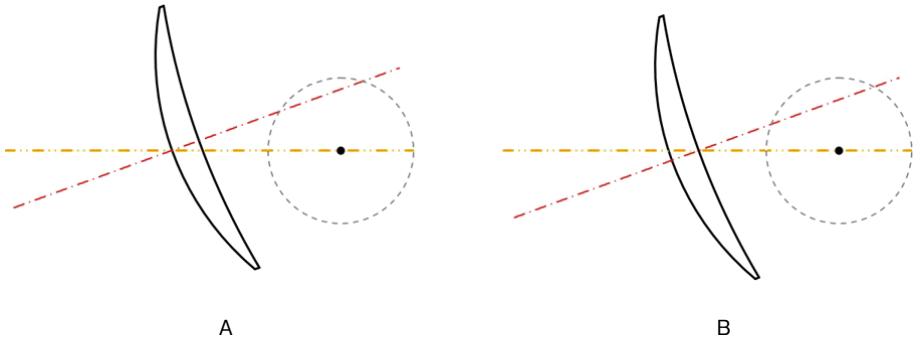


図 Ⅱ-1-7-8　設計基準軸の傾き中心(Sph＋8.00 D の単焦点レンズが 20° 傾いた場合の例).
A：レンズ前面頂点を中心に傾いた場合.
B：レンズ後面頂点を中心に傾いた場合.
橙色の二点鎖線は想定していた軸,赤色の一点鎖線はずれた軸を示す.

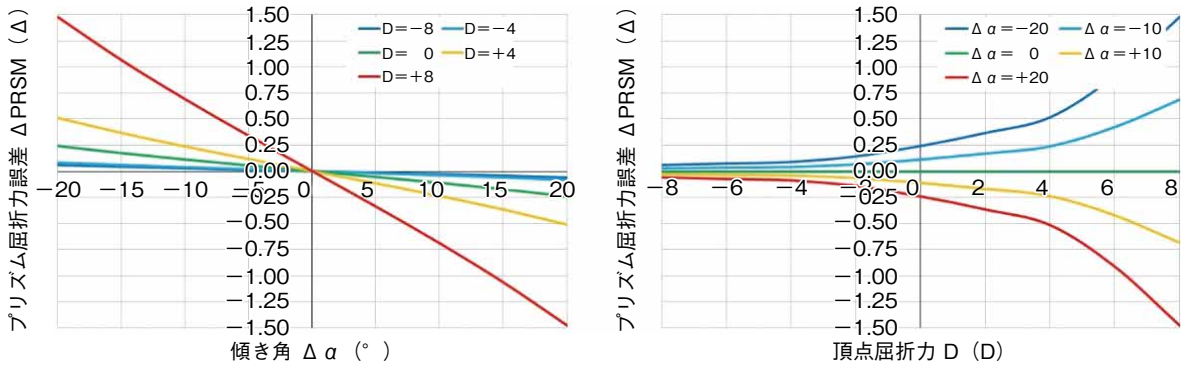


図 Ⅱ-1-7-9　設計基準軸の傾きによるプリズム屈折力誤差.
設計基準軸がレンズ後面頂点を中心に傾いたと仮定(図Ⅱ-1-7-8B の状態).

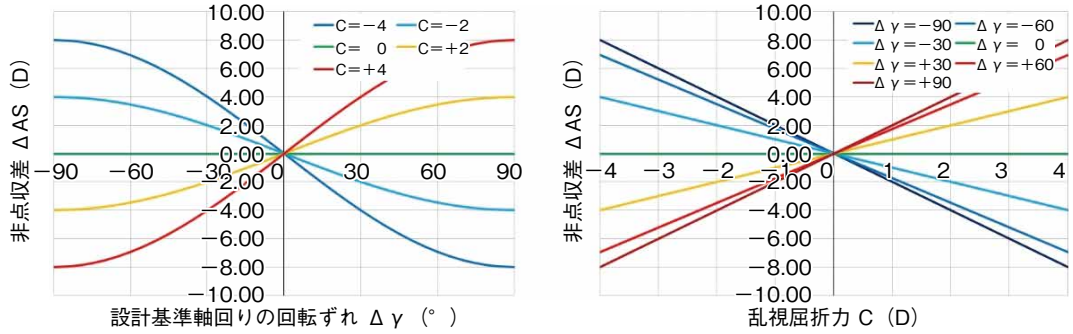


図 Ⅱ-1-7-10　設計基準軸回りの回転ずれによる非点収差.

図Ⅱ-1-7-12 上段は，Sph－4.00 D のトライアルレンズをレンズメータに当て付けて測定した場合と，当て付けずに約 20° 傾けて測定した場合であり，前者ではほぼ公称値の Sph－4.01 D，後者では Sph－4.12 D Cyl－0.48 D Ax 180°ほどの測定値を示す．図Ⅱ-1-7-12 下段は，Sph－4.00 D と Cyl＋0.50 D のトライアルレンズを重ねて，Cyl＋0.50 D の乱視軸がレンズメータの水平軸(0～180°方向)に一致するようにして先ほどと同様に測定した場合である．すると，23°ほど傾けたところで Sph－4.16 D Cyl－0.02 D Ax 180°ほどの測定値を示し，乱視屈折力が消失する．このことから，Sph－4.00 D の処方屈折力の装用者が 20°ほど傾いた状態で装用することが事前に分かっているのであれば，Sph－3.88 D Cyl＋0.50 D Ax 180°のレンズを装用するとほぼ希望の屈折効果が得られると推定できる．

このように，実際に装用される状態でのフィッティング情報を取り入れて，期待された屈折補正効果と最適な装用時光学性能のバランスを実現すべく設計されたのが個別設計レンズ(インディビジュアルレンズ)である．フィッティングに関わるパラメータを図Ⅱ-1-7-13 に示し，この

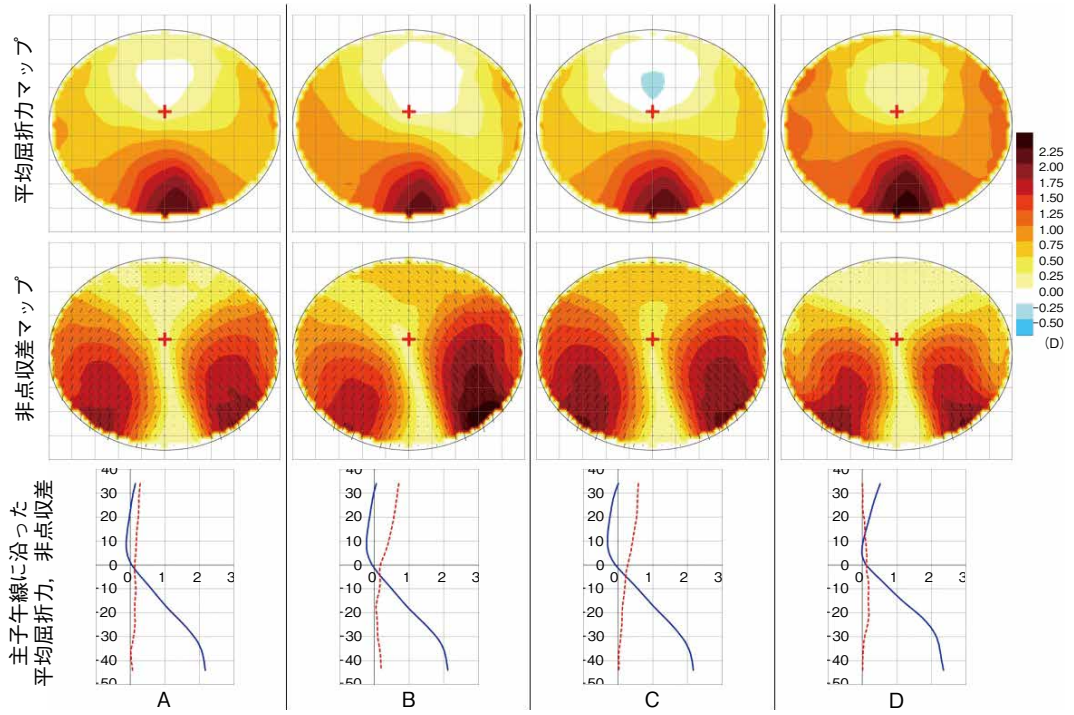


図 Ⅱ-1-7-11　累進屈折力レンズのフィッティングがずれた場合の装用時光学性能（Sph－4.00 D ADD 2.00 D の例）.

A：想定された標準的装用状態で，装用時そり角 0°（レンズ水平傾き角 0°），装用時前傾角 10°（レンズ垂直傾き角 0°），頂点間距離 12 mm の場合.

B：装用時そり角が 10° に傾いた場合.

C：装用時前傾角が 15° に傾いた場合.

D：頂点間距離が 17 mm に広がった場合.

マップ中の赤い十字はフィッティングポイント（第 1 眼位）を表し，方眼は眼球回旋角 10° ステップに対応し，カラーコードは 0.25 D ステップである．グラフの青実線は平均屈折力，赤破線は非点収差で，横軸の単位は［D］，縦軸は眼球回旋角［°］である.

（文献 5 より許可を得て転載のうえ改変）

中でレンズを発注する際に指定できる可能性のある項目を斜体字で示す．インディビジュアルレンズの登場前から指定可能であった項目もあるが，インディビジュアルレンズで対応が可能となったものとして，特に，頂点間距離・装用時前傾角・装用時そり角がある.

2022 年に改訂された JIS T 7330「眼鏡レンズの用語」[4] では，インディビジュアルレンズを含む近年に登場した新しいコンセプトのレンズとフィッティングに関わる用語が追加されたり，大幅な用語の見直しが行われた．この改訂された JIS 規格で着目すべきことは，装用時前傾角・装用時そり角は眼鏡フレームを装用した状態において，フレームのリム溝を基準として定義されている点であり，レンズの設計基準軸の傾きではない，ということである．一般的には，装用時前傾角・装用時そり角と，レンズの設計基準軸の垂直・水平傾き角は異なっており，眼鏡処方・レンズ発注サイドで設計基準軸の傾きを直接知ることは困難である．間接的に，装用時前傾角・装用時そり角とフレームの玉形形状およびビジュアルポイントの位置関係などの情報を与えることによって，眼鏡レンズメーカー側で設計基準軸の傾きを求め，最適設計をしている．頂点間距離・装用時前傾角・装用時そり角は，本来は左右で別々に与えられるべきものと思われるが，現時点ではそこまでの対応をする眼鏡レンズメーカーはないようである．どこまでの情報を個別設計に反映させるかや，何をもって最適とするかは，眼鏡レンズメーカーによってさまざまであると思われる.

図 Ⅱ-1-7-14 に，前述の累進屈折力レンズの，フィッティング状態を考慮して個別設計をした例を示す．ここでは，標準設計の収差バランスに近づけることを目標に最適設計をしている．設計結果として，標準設計の収差バランスと完全に一致とまでは至らないものの，何も補正を施さない図 Ⅱ-1-7-11 の場合に比べて，かなり光学性能が改善されている.

個別設計レンズの設計は，図 Ⅱ-1-7-12 の実験で示したように，基本となるレンズに重ねる適正な補正レンズを，光学中心だけでなくレンズ全面にわたって，部位ごとに決める作業に例えることができる．部位ごとに異なる補正レンズは，レンズ面の曲率が連続的に滑らかに変化した曲面として実現される．このような曲面を自由曲面（フリーフォーム）と呼ぶ．個別設計レンズの設計が可能に

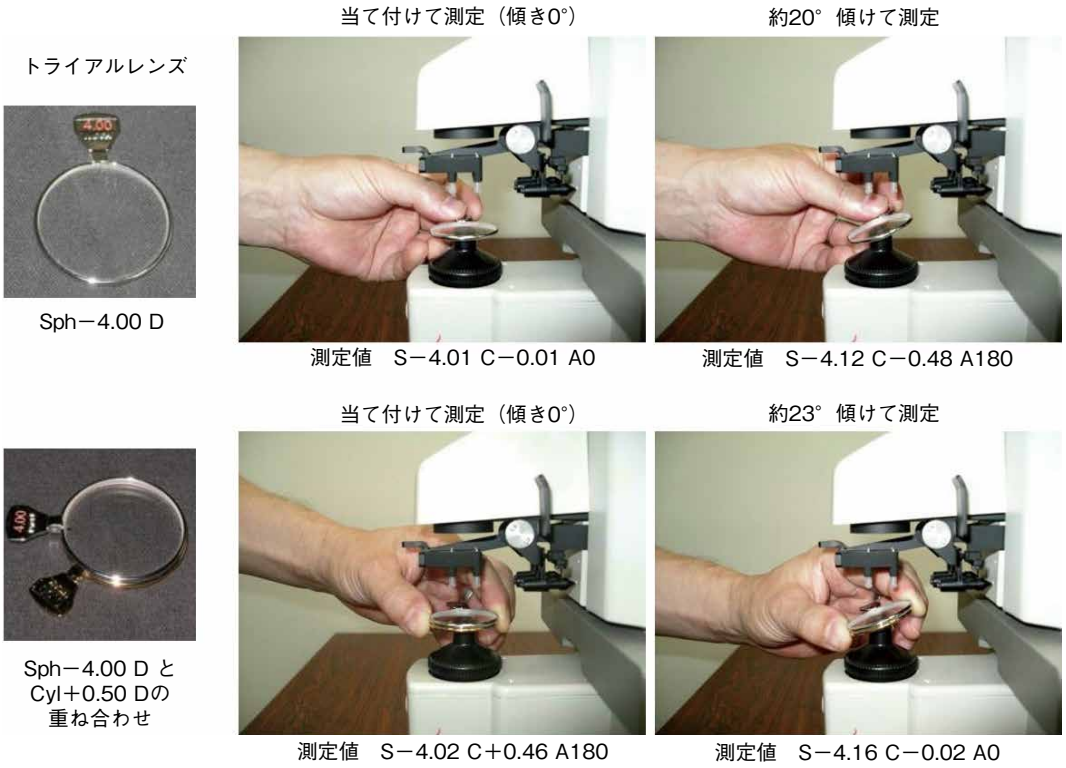


図 Ⅱ-1-7-12　レンズが傾いたときの屈折効果の変化の簡単な実験.
（文献 3 より許可を得て転載のうえ改変）

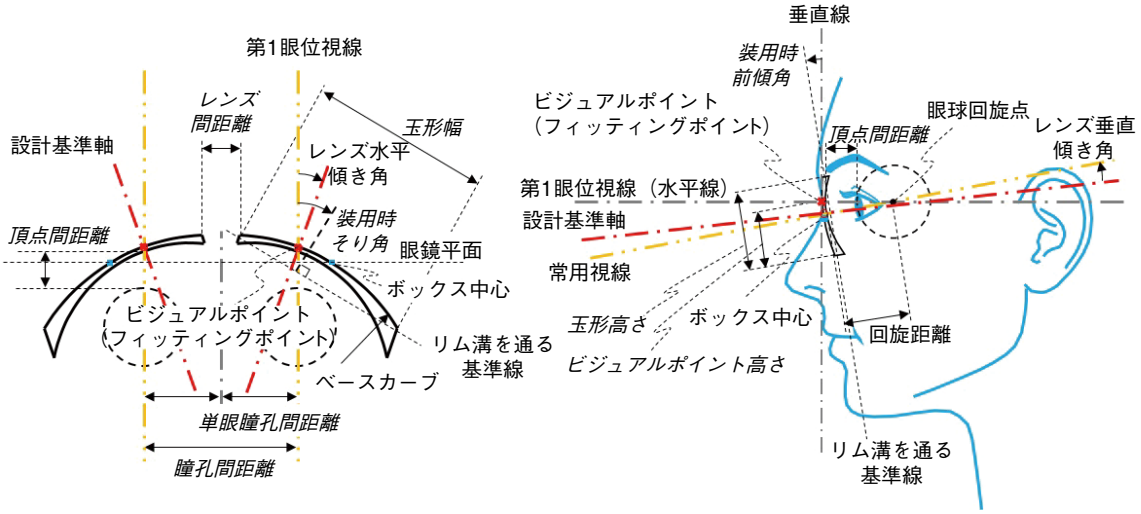


図 Ⅱ-1-7-13　フィッティングに関わるパラメータ.
斜体字はレンズを発注する際に指定できる可能性のあるパラメータ.
（文献 5 より許可を得て転載のうえ改変）

なったのは，1990 年代後半に開発された自由曲面加工機の普及，レンズ設計技術の進歩[5]，そして近年のデジタル画像技術によるフィッティング情報の自動取得が大きく寄与している.

(3) その他の個別設計

個別設計においては，以上のようなフィッティング状態を考慮した最適設計が典型的であるが，ほかにも以下のようなコンセプトの設計が眼鏡レンズメーカーから提供されている.

単焦点レンズ，累進屈折力レンズともに，

- フレームデザインを考慮して，レンズのベースカーブを選択する.
- 眼鏡フレームの玉形とビジュアルポイントの位置に応じて，収差バランスを調整する.
- 左右レンズの屈折力差がある場合に，両眼で見たときを考慮して，左右レンズの屈折力と収差のバランスを調整する.
- 左右レンズに屈折力差があり，標準ではベースカーブ

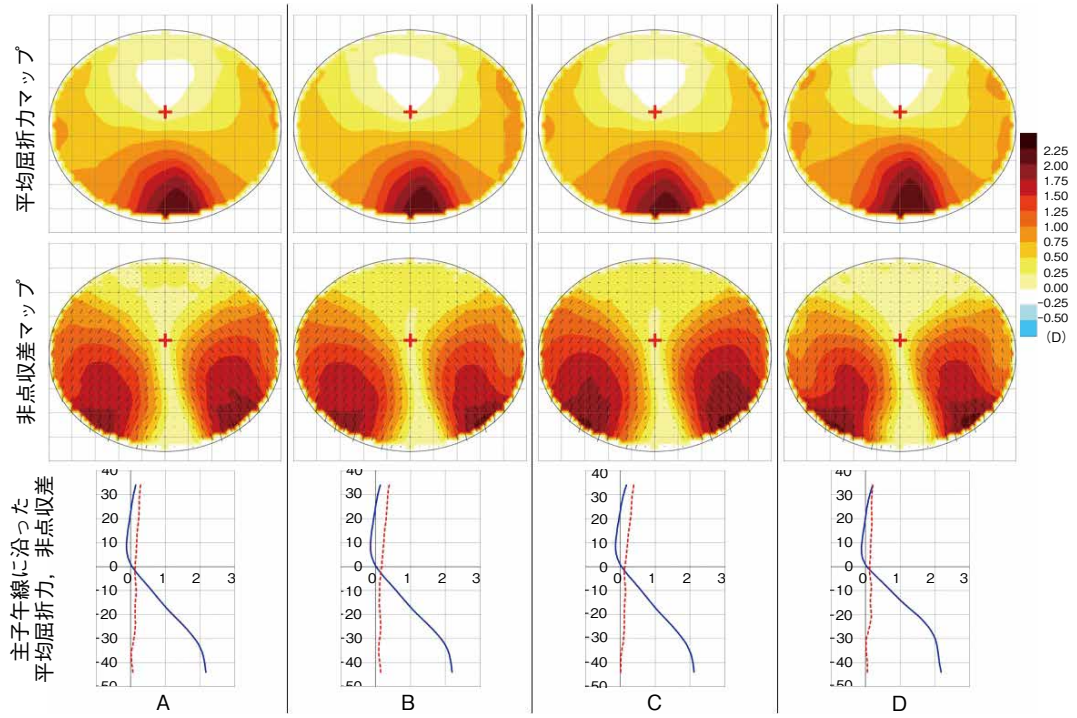


図 Ⅱ-1-7-14　累進屈折力レンズの標準と異なる装用状態を個別設計で補正した場合の装用時光学性能（Sph－4.00 D ADD 2.00 D の例）.

A：想定された標準的装用状態（図Ⅱ-1-7-11A と同じ）.
B：装用時そり角が 10° に傾いた場合を個別設計で補正.
C：装用時前傾角が 15° に傾いた場合を個別設計で補正.
D：頂点間距離が 17 mm に広がった場合を個別設計で補正.
マップおよびグラフの説明は図Ⅱ-1-7-11 と同じ.

（文献 5 より許可を得て転載のうえ改変）

が異なる場合に，左右レンズのベースカーブを合わせる.

単焦点レンズにおいて，

・装用者の主な使用距離に応じて（遠用重視は遠方視で，近用重視は近方視での収差が少なくなるように）収差バランスを調整する.

累進屈折力レンズにおいて，

・レンズの屈折力と近方視距離に応じて近用部インセットを設定する.
・レンズのかけ替えの際に，これまでかけていたレンズの収差バランスを考慮して，新しいレンズの収差バランスを調整する.
・装用者の希望に応じて，遠用部・累進部・近用部の明視範囲のバランスや，遠用部から累進部への加入の立ち上がり位置を調整する.

注意すべきことは，収差バランスの調整においては，ある点を良くしようとすれば，必ずトレードオフで悪くなる点が出てくるということである．個別設計レンズのフィッティング状態を考慮した設計や適正なベースカーブ選択は装用感向上につながる可能性が高いが，収差バランス調整ではメリット・デメリットを十分に理解して選択する必要がある.

（4）屈折力確認

眼鏡レンズ単体としての屈折力測定方法および許容差は，日本産業規格（旧日本工業規格）JIS T 7313「屈折補正用単焦点眼鏡レンズ及び多焦点眼鏡レンズ」[6]およびJIS T 7315「屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ」[7]で規定されている．フィッティング状態を考慮して設計された単焦点レンズのように，装用時に正確な方向・位置決めを必要とする単焦点レンズを JIS T 7313 では「姿勢指定付き単焦点レンズ」と呼ぶ．JIS T 7315 はかつて「屈折補正用累進屈折力レンズ」というタイトルで，近々累進レンズや調節サポートレンズは適用範囲外であったが，2020 年の改訂でこれらも包括されて「屈折補正用屈折力変化レンズ」というタイトルに変更された．なお，近々累進レンズは，JIS T 7330 で「逆進屈折力レンズ」として用語定義された．調節サポートレンズは特別な用語定義は与えられていないが，加入屈折力の弱い累進屈折力レンズと考えられる.

姿勢指定付き単焦点レンズおよびすべての屈折力変化レンズには，34 mm の間隔で恒久的なアライメント基準マーク（通称：カクシマーク）が施されており，この 2 点を結ぶ直線が水平軸となる．姿勢指定付き単焦点レンズでは，通常はこの中点が測定基準点である．姿勢指定付き単焦点レンズの後面頂点屈折力とプリズム屈折力の測

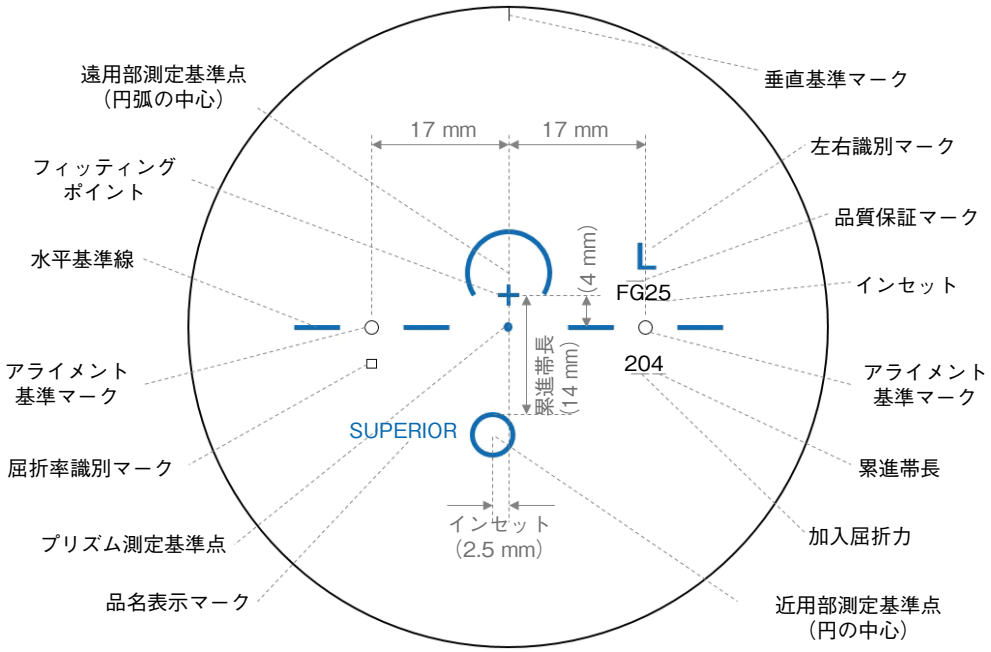


図 Ⅱ-1-7-15　累進屈折力レンズ（左眼用）の面上にあるマークの例（SEIKO レンズガイドより）．
図中の黒色で表現されているものは恒久的な表示で，レンズ表面に薄く彫り込まれている．青色で表現されているものは一時的な表示（ペイントマーク）で，通常は枠入れ加工後に拭き消される．
恒久的マークのうち，アライメント基準マークと加入屈折力は累進屈折力レンズでは必須である．この例では，インセット（2.5 mm），加入屈折力（2.00 D），累進帯長（14 mm）が短縮された形で表現されている．

定は，この測定基準点において，被検レンズの水平基準線方向をレンズメータの水平軸方向に合わせ，レンズ後面をレンズメータのレンズ当てに当て付けて測定する．

屈折力変化レンズ（累進屈折力レンズなど）においては，アライメント基準マークのほかにもさまざまなマークがレンズ面上に表示されており，各眼鏡レンズメーカーがこれらの意味・配置を公表している．図Ⅱ-1-7-15 に，累進屈折力レンズ（左眼用）の面上にあるマークの例を示す．JIS T 7315 で近々累進レンズや調節サポートレンズも包括されたことに伴い，JIS T 7330 では屈折力測定位置として遠用部測定基準点・近用部測定基準点に加えて，主参照基準点・副参照基準点の定義が与えられた．遠近累進レンズや中近累進レンズではこれまでどおり遠用部測定基準点・近用部測定基準点が主参照基準点・副参照基準点であり，近々累進レンズ（逆進屈折力レンズ）では近用部測定基準点が主参照基準点である．

調節サポートレンズや近々累進レンズは，副参照基準点を必ずしも明示する必要はなく，副参照基準点の明示がない場合は加入屈折力や逆進屈折力（マイナス加入屈折力）も特に規定されない．

屈折力変化レンズの屈折力測定は，基本的にはアライメント基準マークから各測定基準点の位置を割り出して行う．枠入れ加工前のレンズであれば，これら測定基準点に施されている一時的な表示（通称：ペイントマーク）を手がかりにしてよいが，枠入れ加工後にペイントマークは拭き消されるので，アライメント基準マークが頼りである．オートレンズメータでは，屈折力の変化の様子から遠用部測定位置と近用部測定位置を推定し，推定位置での屈折力を表示するものがある．この機能はおおよその屈折力を素早く知りたい場合には有用であるが，正確を期すためにはアライメント基準マークから測定基準点の位置を割り出すべきである．

累進屈折力レンズの標準的な屈折力測定方法を図Ⅱ-1-7-16 に示す．後面頂点屈折力は，外面累進設計・内面累進設計・両面累進設計のタイプ如何にかかわらず，遠用部測定基準点において，被検レンズの水平基準線方向をレンズメータの水平軸方向に合わせ，レンズ後面をレンズメータのレンズ当てに当て付けて測定する．【遠用測定 F】　加入屈折力は，遠用部測定基準点と近用部測定基準点で測定基準面をレンズメータのレンズ当てに当て付けて測定し，その差を計算する．【加入屈折力計算 N′ − F′ または N − F】　測定基準面とは面屈折力変化のある側の面であり，外面累進では前面（外面），内面累進では後面（内面），両面累進ではより大きな面屈折力変化のある面または製造業者によって指定された側の面であるが，製造業者によっては添付文書に明示されていない場合がある（「Ⅱ基礎編 2．Appendix　5）JIS 規格」を参照）．

測定された屈折力が許容差内であるか否かを判定する際，図Ⅱ-1-7-12 下段の実験で見たように，個別設計レンズのような装用姿勢を考慮したうえで所望の屈折補正効果を得るために補正を含んだレンズにおいては，処方屈折力とレンズメータで測定される屈折力が大きく異なる

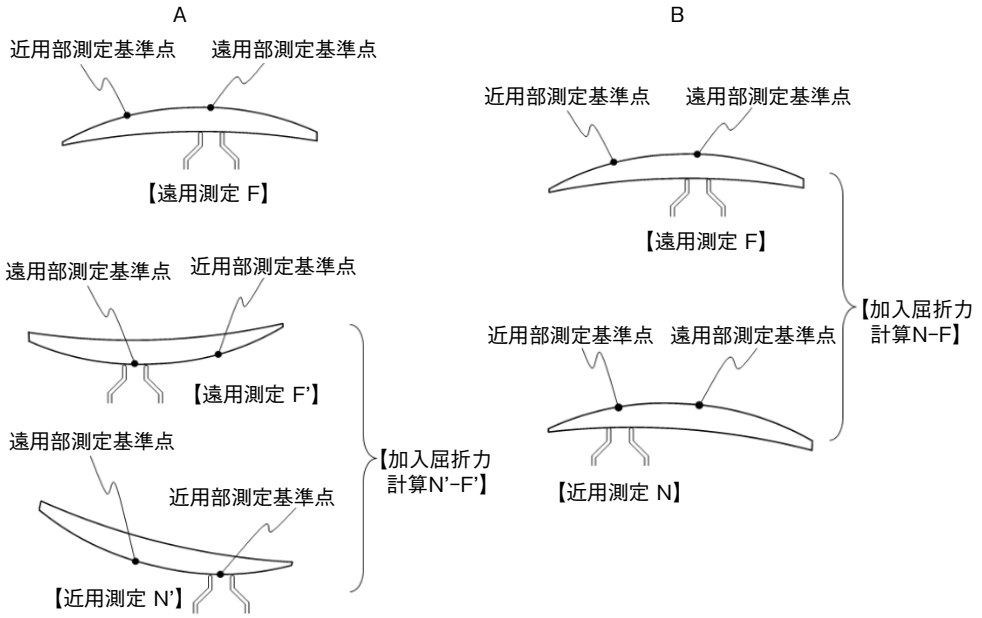


図 Ⅱ-1-7-16 累進屈折力レンズの標準的な屈折力測定方法.
A：外面累進レンズ，B：内面累進レンズ.
（文献5より許可を得て転載のうえ改変）

場合がある．また，個別設計でなくとも，累進屈折力レンズの測定基準点はレンズの中心から離れたところにあり，眼鏡装用時に視線は傾いてレンズを通過するため，標準設計のレンズでも補正を含んだものがある．このようなレンズにおいても，やはり処方屈折力と測定屈折力とで異なる場合がある．JIS T 7315では，このように装用位置に合わせて補正を行ったレンズに関しては，処方屈折力(あるいは注文屈折力)と測定屈折力の差に対して許容差を適用するのではなく，製造業者が添付する確認屈折力と測定屈折力の差に対して許容差を適用する，としている．確認屈折力とは，設計どおりに製作されたレンズをレンズメータで測定した際に期待される屈折力であり，製造業者によってシミュレーションにより計算され，通常は注文屈折力とともにレンズ袋などに表示されている．図Ⅱ-1-7-17に，レンズ袋に表示された注文屈折力・確認屈折力の例を示す．

通常，処方屈折力は0.25 D(または0.12 D)ステップで与えられるが，確認屈折力は無段階で(0.01 Dステップで)表示され，時として0.12 Dよりも小さい値が現れる．そのため，新しいJIS T 7313および7315では，乱視屈折力が0.12 D未満のものに対して乱視軸方向の要求はしないことに変更された．

JIS T 7330では，処方屈折力・注文屈折力・確認屈折力・測定屈折力などの定義が改めて与えられ，それらの関係を説明する図(Ⅱ基礎編2．Appendix 5)JIS規格図Ⅱ-2-5-3)が添えられている．JIS T 7330は基本的には国際規格ISO 13666[8]の翻訳であるため，日本の眼鏡処方事情とマッチしない点があるかもしれないが，各屈折力の関係を理解するうえで役に立つであろう．確認屈折力の概念は，JIS T 7315の2000年版より認められていたが，確定した呼称がなかったため，各眼鏡レンズメーカーが独自の呼称(例：度数確認値，チェック度数など)を用いてレンズ袋に表示していた．今後は，確認屈折力の呼称に統一されていくと思われる．

眼鏡レンズを眼鏡フレームに組み込んだ状態での屈折力・レイアウトの測定方法および許容誤差はJIS T 7337「屈折補正用枠入り眼鏡レンズ」[9]で規定されている．屈折力の許容差は，レンズ単体の場合と変わりはない．乱視軸の許容差は，レンズ単体の場合にはアライメント基準マークで決まるレンズごとの水平線が基準であったが，枠入り眼鏡では眼鏡フレームの水平方向中心線が基準となる．レンズメータで測定する際に，眼鏡フレームの下端をレンズメータの眼鏡受け台に当て付けて測定するので，実質的には眼鏡フレーム下端を結ぶ直線が基準となる．枠入れされた姿勢指定付き単焦点レンズおよび屈折力変化レンズでは，フィッティングポイントの垂直位置・水平位置・アライメント基準マークの傾斜が許容差内であることが求められている．

文 献

1) **白柳守康**：インディビジュアルレンズのプリズム補正について．眼鏡学ジャーナル 17：10-17，2023.
2) **白柳守康**：累進屈折力レンズの性能表示．眼鏡学ジャーナル 16：5-10，2012.
3) **白柳守康**：眼光学系の色収差/眼鏡レンズの度数測定．光技術コンタクト 46：631-639，2008.
4) **日本産業標準調査会**：JIS T 7330：2022 眼鏡レンズの用語．日本規格協会，東京，2022.
5) **白柳守康**：累進屈折力眼鏡レンズの技術．視覚の科

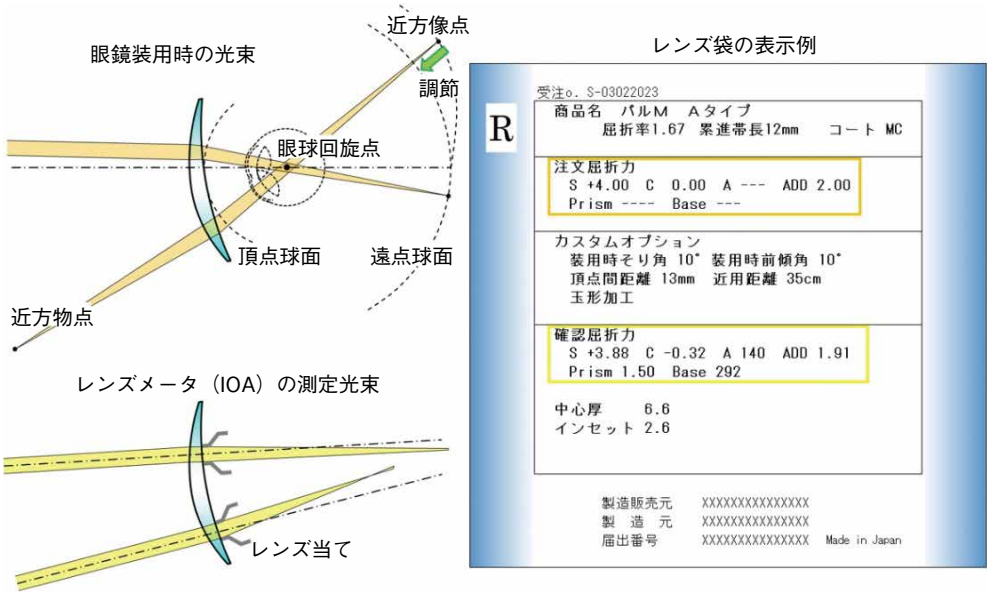


図 Ⅱ-1-7-17　レンズ袋に表示された注文屈折力と確認屈折力の例.
注文屈折力：Sph＋4.00 D ADD 2.00 D.
確認屈折力：Sph＋3.88 D Cyl－0.32 D Ax 140° ADD 1.91 D PRISM 1.50 Δ BASE 292°.
（文献 5 より許可を得て転載のうえ改変）

学 43：125-134，2022.
6）**日本産業標準調査会**：JIS T 7313：2020　屈折補正用単焦点眼鏡レンズ及び多焦点眼鏡レンズ．日本規格協会，東京，2020.
7）**日本産業標準調査会**：JIS T 7315：2020　屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ．日本規格協会，東京，2020.
8）**ISO 13666：2019**：Ophthalmic optics—Spectacle lenses—Vocabulary. International Organization for Standardization, Genéve, 2019.
9）**日本産業標準調査会**：JIS T 7337：2020　屈折補正用枠入り眼鏡レンズ．日本規格協会，東京，2020.

2．Appendix

1）倍率

（1）横倍率 M_T

レンズによる物体と像の関係において，物体の大きさ y に対する像の大きさ y' の割合を横倍率 M_T という．図Ⅱ-2-1-1 に，薄いプラスレンズによって実像ができる例を示す．虚像ができる場合やマイナスレンズの場合も同じ式で計算することができる．

$$M_T = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \qquad (1)$$

（2）角倍率 M_A

眼鏡レンズを通して物体を見るとき，眼はその虚像を見ることになるので，物体を見込む角 ω と虚像を見込む角 ω' の割合を角倍率 M_A という．角倍率は物体に対する像の見かけの拡大・縮小率に相当する．図Ⅱ-2-1-2 に，薄いプラスレンズを通して見た物体と像の関係を示す[1]．マイナスレンズの場合も同じ式で計算することができる．

$$M_A = \frac{\omega'}{\omega} = \frac{s}{s'} = \frac{1}{s'} \times \frac{s'f'}{f'-s'} = \frac{f'}{f'-s'} = \frac{1}{1-\dfrac{s'}{f'}} = \frac{1}{1-D(l+z_r)} \qquad (2)$$

ただし，D はレンズの屈折力［D］，l は頂点間距離［m］，z_r は角膜頂点から眼球回旋点までの距離［m］である．通常は $l+z_r=0.012+0.013=0.025$ m となるので，その場合は，

$$M_A = \frac{1}{1-D(l+z_r)} = \frac{1}{1-0.025\,D} \ (\cong 1+0.025\,D) \qquad (3)$$

と変形することができる．

プラスレンズを通して物体を見ると M_A は 1.0 よりも大きくなるので，その虚像は M_A 倍に拡大して見えるが，見える範囲（注視野）は，その逆数倍で狭くなる．マイナスレンズを通して見る場合は，逆に像は小さく見えるが注視野は広くなる．

なお，この角倍率 M_A は眼を動かして見るときの倍率であるのに対して，後述する眼鏡倍率（spectacle magnification：SM）は眼球の回旋を伴わない網膜像の大きさを比較する．

（3）光学的複視と光学的暗点

図Ⅱ-2-1-3 に，近視眼がマイナスレンズ（左）を通して，また遠視眼がプラスレンズ（右）を通して，それぞれ規則的に並んだ数字視標を見たときの見え方を模式的に示

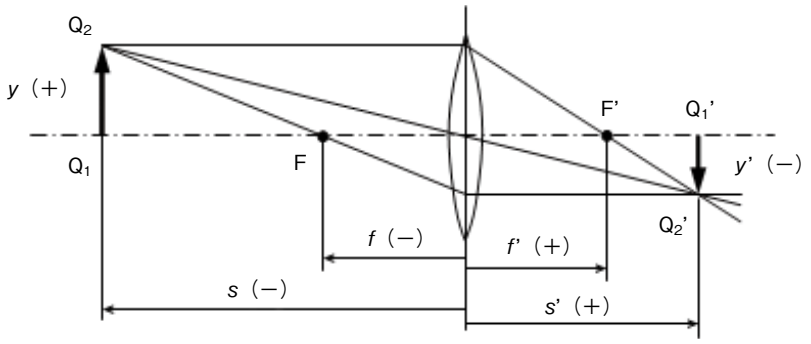


図 Ⅱ-2-1-1　プラスレンズによる横倍率 $\mathbf{M}_{\mathrm{T}}$.

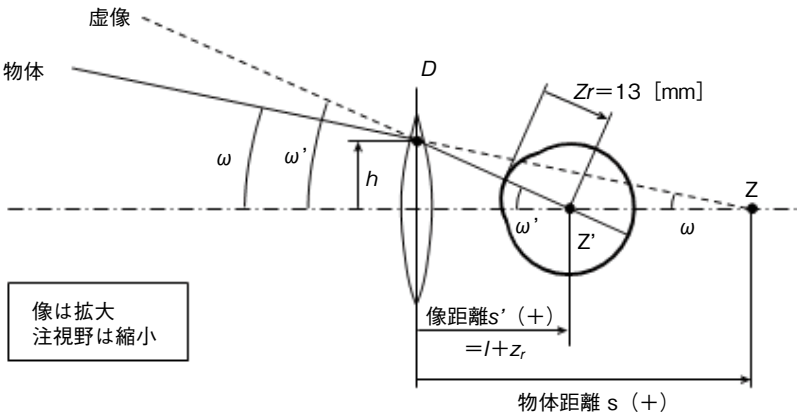


図 Ⅱ-2-1-2　プラスレンズによる角倍率 M_A.
（文献 1 より許可を得て転載のうえ改変）

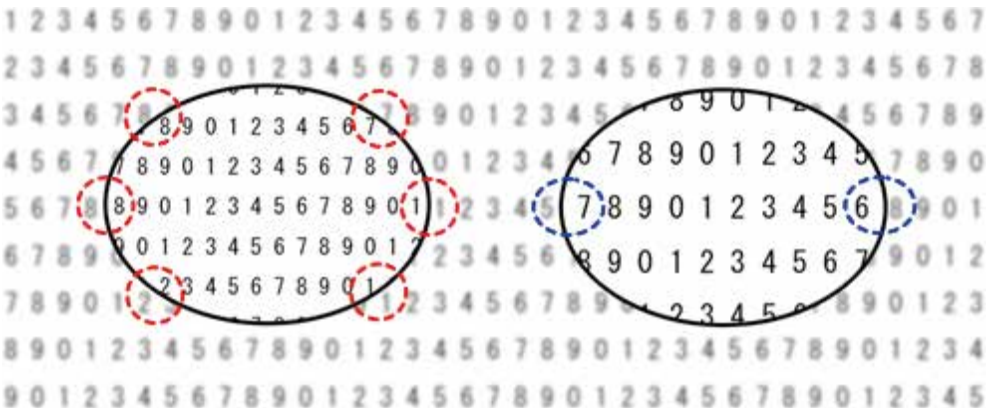


図 Ⅱ-2-1-3　マイナスレンズによる像の縮小と光学的複視（左）およびプラスレンズによる像の拡大と光学的暗点（右）.

す．近視では裸眼よりもわずかに小さく見え，遠視ではわずかに大きく，いずれも裸眼に比べてはっきりと見えている．

さらに，マイナスレンズの周辺部には，同じ数字がレンズの内側と外側に 2 つ並んで見えるところがある（図Ⅱ-2-1-3 左の赤破線円の領域など）．これは注視野が広がるために起こる現象で「光学的複視」という．逆にプラスレンズの場合，レンズの内側にも外側にも見えない領域がリング状に存在する．図Ⅱ-2-1-3 右の青破線円の領域では連続しているはずの数字が 1 つ跳んで見えている．これは像が大きく見える一方，注視野が狭くなるために起こる現象で，「光学的暗点」または「輪状暗点」という．

（4）薄いレンズの眼鏡倍率

一般に，プラスレンズを通して見ると像は拡大して見え，マイナスレンズを通して見ると縮小して見える．この補正レンズによる像の拡大・縮小の割合は，眼鏡倍率（SM）と呼ばれ，補正前の（ぼやけた）網膜像の大きさと補正後の（はっきりした）網膜像の大きさの比である．図Ⅱ-

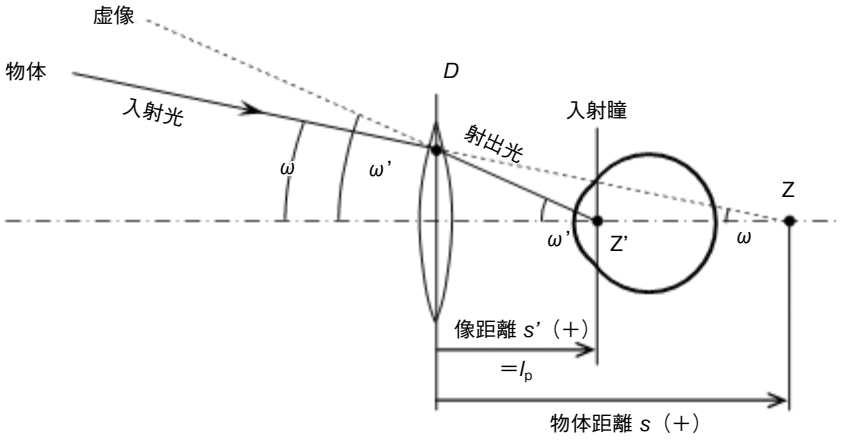


図 Ⅱ-2-1-4　プラスレンズによる眼鏡倍率（SM）.
（文献 1 より許可を得て転載のうえ改変）

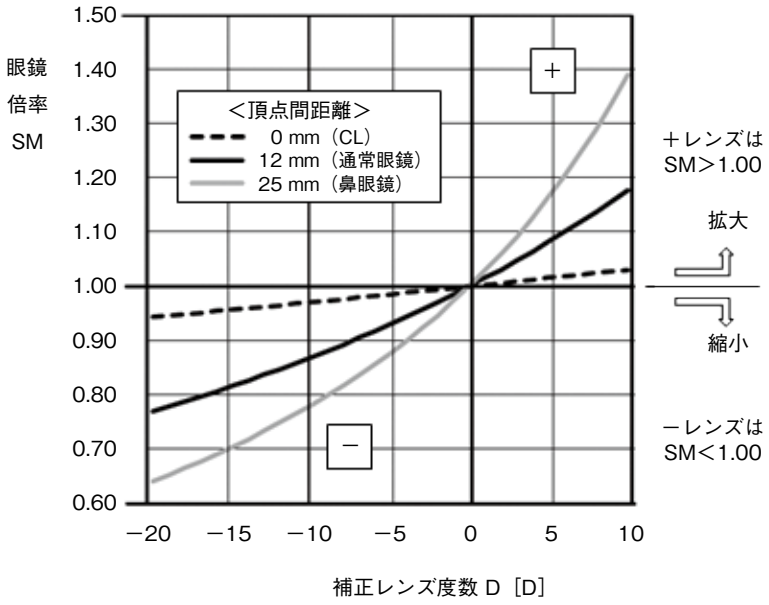


図 Ⅱ-2-1-5　補正レンズ度数 D と SM の関係.

2-1-4 にプラスレンズを通して見た物体と像の関係を示す[1].

厚さを無視できる薄いレンズの場合，SM は角倍率と同様の手順を経て次式で求められる.

$$SM=\frac{\omega'}{\omega}=\frac{s}{s'}=\frac{1}{s'}\times\frac{s'f'}{f'-s'}=\frac{f'}{f'-s'}=\frac{1}{1-\frac{s'}{f'}}=\frac{1}{1-l_pD}\ (\cong 1+l_pD) \quad (4)$$

ただし，D は補正レンズの屈折力［D］，l_p はレンズから眼球光学系の入射瞳までの距離［m］である．ここで角膜による瞳孔の虚像である入射瞳は，角膜頂点から約 3 mm 後方にあるので，頂点間距離を 12 mm とすると，眼鏡では $l_p=0.015$ m，CL では $l_p=0.003$ m で計算する．上の近似式に代入すると像の拡大・縮小の割合は，1 D あたり眼鏡では約 1.5%，CL では約 0.3%となる.

図Ⅱ-2-1-5に，補正レンズ度数 D と SM の関係のグラフを示す．図中の 3 本の曲線のうち，点線は頂点間距離が 0 mm の CL，濃い実線は 12 mm の通常の眼鏡，薄い実線は 25 mm のいわゆる鼻眼鏡の状態の SM を表す．プラスレンズを装用すると SM は 1.00 を超えて網膜像が拡大し，マイナスレンズを装用すると 1.00 未満になって網膜像が縮小する．さらに，頂点間距離が大きくなるほど拡大・縮小の割合はより大きくなる．そのため，CL による像の拡大・縮小の割合は常に眼鏡よりも小さい.

（5）厚いレンズの SM

補正レンズの中心厚が無視できない場合は厚いレンズとして取り扱い，SM は次の式で計算される.

$$SM=M_s\times M_p=\frac{1}{1-\frac{t}{n}D_1}\times\frac{1}{1-l_{pv}D_v} \quad (5)$$

図 Ⅱ-2-1-6 サイズレンズ.

表 Ⅱ-2-1-1 サイズレンズの実測値.

	テスト枠入り	丸生地
屈折力 Dv［D］	0	0
拡大率［%］	7.5	5
屈折率 n	1.523	1.523
D_1 カーブ［D］	+11.00	+6.00
D_2 カーブ［D］	−11.75	−6.25
中心厚 t［mm］	9.2	12.1
レンズ径［mm］	35	60

ただし，tはレンズの中心厚［m］，nはレンズの屈折率，D_1はレンズの第1面(前面)の面屈折力［D］，l_{pv}はレンズ後面頂点から眼球光学系の入射瞳までの距離［m］，D_vは補正レンズの後面頂点屈折力［D］である．右辺第1項は中心厚や第1面の曲率半径などの形状に関係するのでMsはシェイプファクターと呼ばれ，第2項はレンズの屈折力に関係するのでMpはパワーファクターと呼ばれる．

ここで，レンズの屈折力$D_v=0$とし，tやD_1をうまく選ぶと，屈折力が0でありながら網膜像の倍率を変えるレンズを作ることができる．このようなレンズをサイズレンズといい，不等像視の検査などに用いる．図Ⅱ-2-1-6に，拡大率7.5%のテスト枠入りと5%の丸生地のサイズレンズを，表Ⅱ-2-1-1の実測値とともに示す．いずれも通常のレンズよりも中心厚が厚くなっているのが特徴である．

(6) 左右眼の屈折度が異なる場合の空間知覚の歪み

図Ⅱ-2-1-7に，いろいろな屈折異常眼が補正レンズを装用して円形の視標を見るとき，装用者から見てどのような形に見えるかを模式的に示す．近視眼(図Ⅱ-2-1-7の①)や遠視眼(図Ⅱ-2-1-7の②)は，均一に縮小または拡大するので円形の像となる．乱視があると主経線の屈折力に応じて，プラス度数なら経線方向に拡大し，マイナス度数なら縮小して見えるので，像は楕円となる．ここで軸が180°，90°の場合(図Ⅱ-2-1-7の③～⑥)は，縦または横にのみ縮小・拡大するだけなので，垂直線ABおよび水平線CDの向きは変化しない．斜乱視の場合(図Ⅱ-2-1-7の⑦⑧)は斜め方向の軸に向かって変形するので垂直線，水平線も斜めに傾いた像となる．

両眼の屈折異常を眼鏡で補正するとき，左右の像の大きさや形がほぼ同じで歪みが小さければ融像も容易で装用上の問題は少ないが，不同視眼や斜乱視眼においては像の大きさや形が異なるので，両眼で見たときに空間の違和を感じることがある．

例えば，右Sph 0.00 D，左Cyl−1.00 D Ax 90°の人が眼鏡をかけて円形の視標を見たとすると，図Ⅱ-2-1-8のように，左眼像は右眼像よりも少し横方向に縮んで見える．

したがって，これを両眼で見ると固視点を通る垂直線ABを境として，左側ではR/Lの交差性の視差が生じるので手前に浮き上がって見え，逆に右側ではL/Rの同側性の視差が生じるため奥に沈み込んで見える．視差の大きさは垂直線ABからの距離に比例するので，円形の図形は全体として，あたかも垂直線ABを軸として円形の壁全体が少し左回りに回転して止まっているような空間視となる．これは「回転ドア感覚」と呼ばれ，軸90°の乱視度の違いなどにより網膜像の横方向の長さが左右で異なるときに発生する．

同様に，右Cyl−1.00 D Ax 45°，左Cyl−1.00 D Ax 135°のように，両眼の乱視軸の方向が「ハの字」になっている斜乱視の場合，眼鏡装用者から見た左右眼の見え方は，図Ⅱ-2-1-9のように，乱視軸に向かって縮むので垂直線ABと水平線CDは対称的に傾斜して見える．

これを両眼で見ると，中央の固視点を通る水平線を境として，図形の上半分ではR/Lの交差性の視差が生じるため，手前に浮き上がって知覚される．逆に図形の下半分ではL/Rの同側性の視差が生じるため，奥に沈み込んで知覚される．図形は全体として，固視点を通る水平線CDを軸として上半分が手前に，下半分が奥に傾斜しているように見える．そのため，垂直な部屋の壁の上部が手前に倒れかかるように傾いて見えたり，足元の床が前上がりに見える空間視となる．これを「スラント(傾斜)感覚」といい，軸が対称的に交差する斜乱視眼を矯正する場合

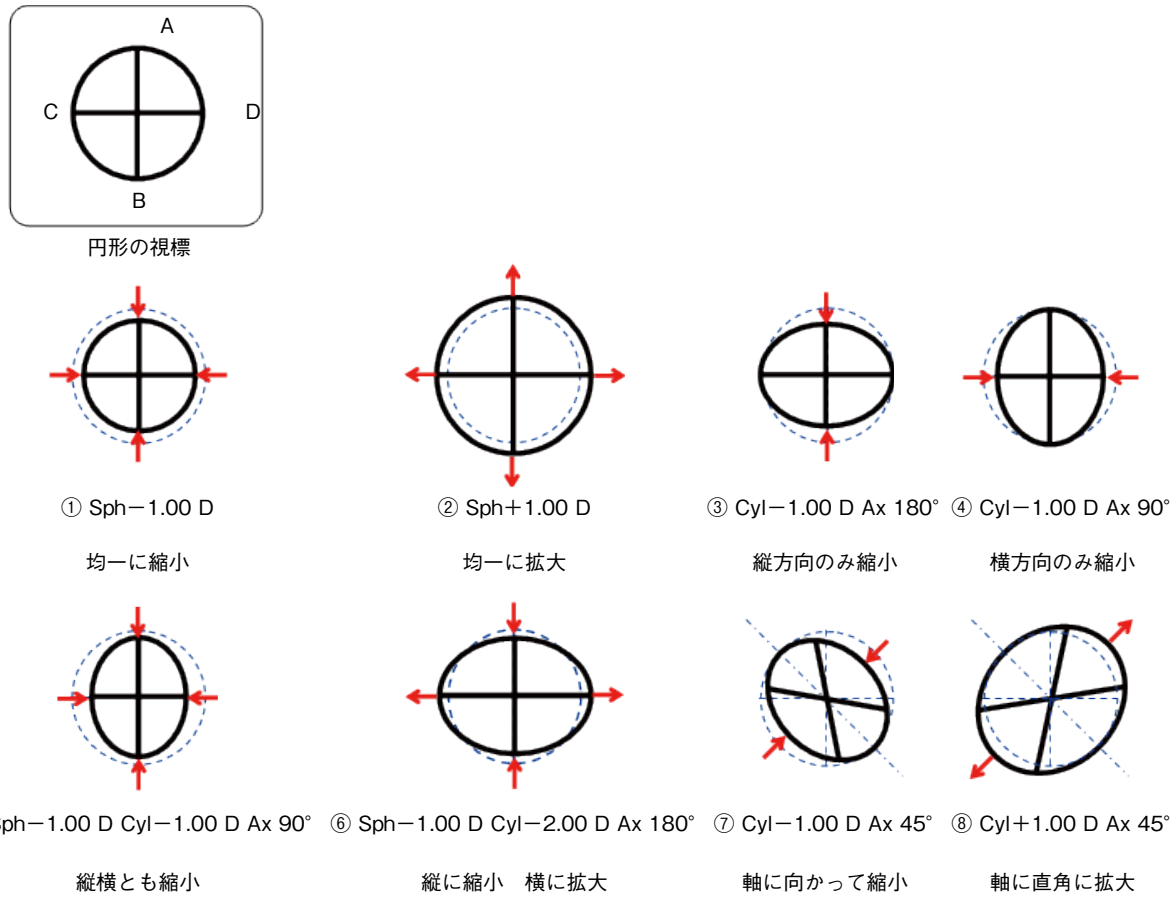


図 Ⅱ-2-1-7　いろいろな補正レンズを装用したときの視標の見え方.

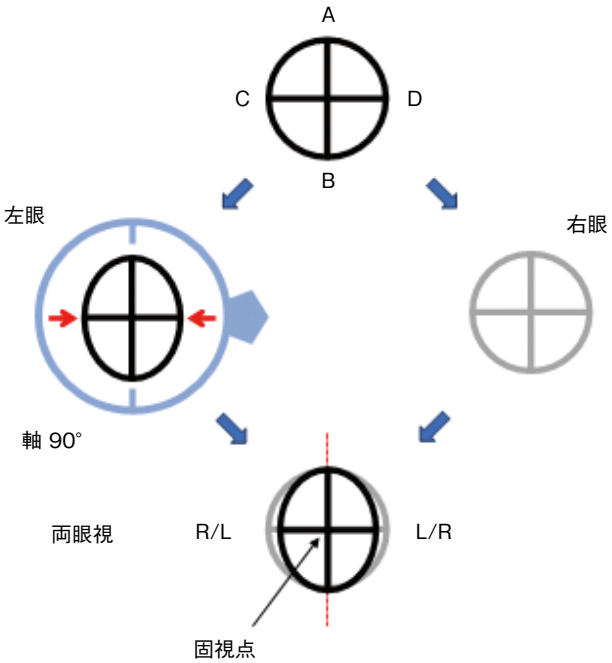


図 Ⅱ-2-1-8　垂直線を軸とする回転ドア感覚.
（文献 2 より許可を得て転載のうえ改変）

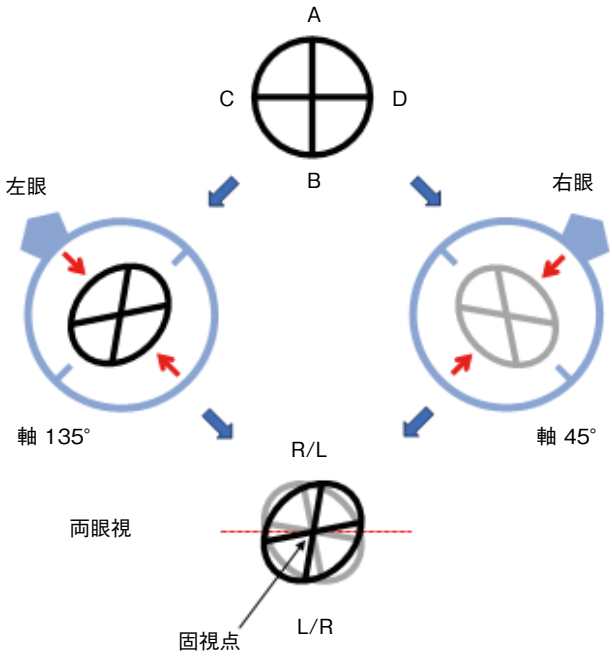


図 Ⅱ-2-1-9　水平線を軸とするスラント感覚.
（文献 2 より許可を得て転載のうえ改変）

に発生する[2]．

これらの空間視のために眼鏡装用が困難である場合は，CLに切り替えるか，もしくは許容できる程度に乱視度を下げたり，軸方向を修正することが必要となる．

(7) フレーム視野

眼鏡をかけるとフレームやレンズの大きさによって，はっきり見える範囲(視野)が制限される．これを「フレーム視野」という．CLの場合は眼球に密着して動くので，このような視野の制限はない．フレーム視野の大きさはフレーム(レンズ)が大きいほど，また頂点間距離が短くなるほど広くなる(図Ⅱ-2-1-10)．

一般に，眼鏡フレームの頂点間距離を1 mm短くして装用すると，フレーム視野は，同じモデルのワンサイズ(レンズ玉形径で2 mm)大きめのフレームを装用した場合と同程度に拡大するといわれている．逆に，頂点間距離を必要以上に長くして装用すると，フレーム視野が狭くなるだけでなく補正効果も変化し，いろいろな収差が増大して装用しにくい眼鏡になるので，注意が必要である．

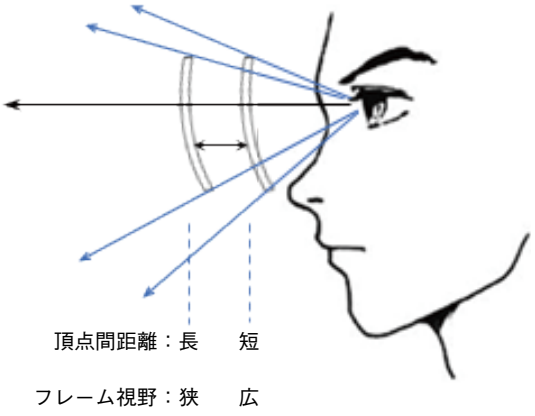


図 Ⅱ-2-1-10　頂点間距離とフレーム視野．

(8) ルーペの倍率

ルーペの倍率は，物体の見かけの大きさと，ルーペを通して見た虚像の見かけの大きさの比である．具体的には，基準距離d_0(通常は0.25 m)に置いた物体を見込む角θ_0と，ルーペを通して無限遠にできる虚像を見込む角θ_iの比で計算する．

図Ⅱ-2-1-11に，θ_0とθ_iの関係を示す．物体を見込む角θ_0は基準距離0.25 m($-d_0=-0.25$ m)に置いた大きさyの物体を見込む角である．ルーペによってできる虚像は，眼の調節力を使わないとした場合，物体をルーペの物体焦点Fに置いたとき最も大きくなるので，ルーペは物体の手前の，焦点距離fだけ離した位置に置いて使用する．そのとき虚像は無限遠にでき，それを見込む角がθ_iとなる．したがってルーペによる倍率$M_i=\theta_i/\theta_0$は次のように計算される[3]．

$$M_i=\frac{\theta_i}{\theta_0}\cong\frac{\tan\theta_i}{\tan\theta_0}=\frac{\frac{y}{-f'}}{\frac{y}{-0.25}}=\frac{0.25}{f'}=\frac{D}{4}\qquad(6)$$

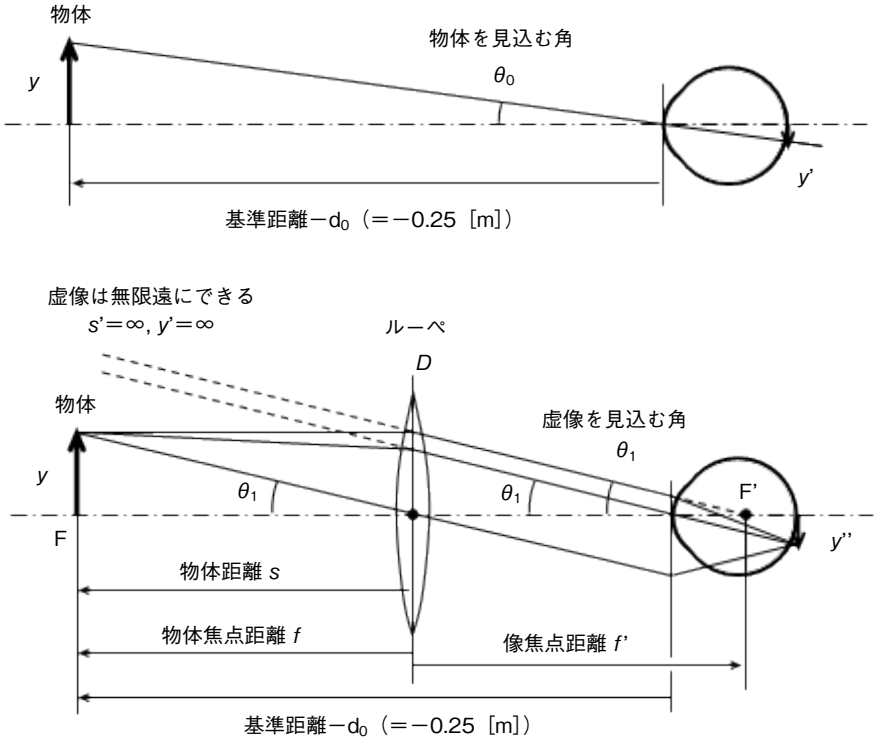


図 Ⅱ-2-1-11　物体を見込む角θ_0(上)と無限遠にできた虚像を見込む角θ_i(下)．

(文献3より許可を得て転載のうえ改変)

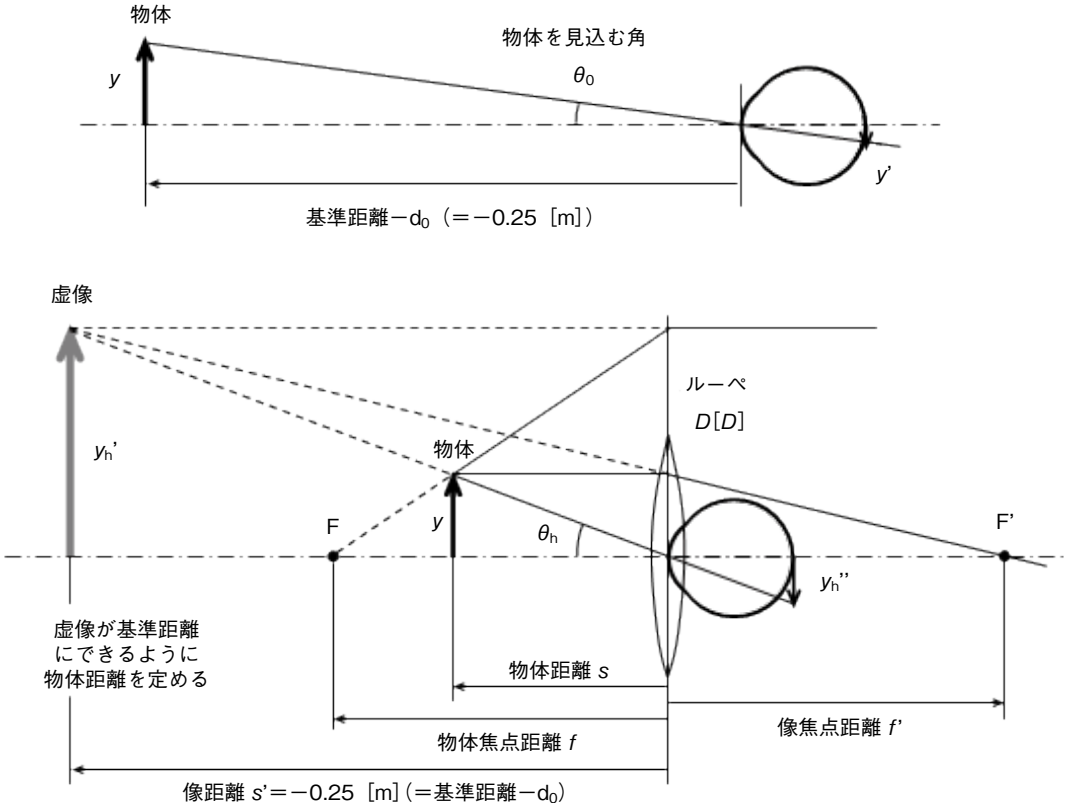


図 Ⅱ-2-1-12　物体を見込む角 θ_0（上）と基準距離にできた虚像を見込む角 θ_h（下）.
（文献3より許可を得て転載のうえ改変）

M_i は基準倍率と呼ばれ，その値はルーペの屈折力 D の1/4である．一般に，屈折力 D のルーペを用いて見たときの倍率 Mi は，基準距離（明視距離ともいう）を d_0［m］とすると，

$$M = d_0\, D = D/D_0 \tag{7}$$

となる．

ただし，D_0［D］は d_0［m］の逆数で，基準距離をジオプター表示した値である．したがって，基準距離が変わると倍率も変わるので，多くの場合，d_0=0.25 m，D_0=4.00 Dを基準として，倍率といえばこの基準倍率を指す．

この場合，物体とルーペが焦点距離 f だけ離れていれば，物体と眼の距離やルーペと眼の距離が変わっても倍率は変わらないが，距離が広がるほどルーペを通して見える視界が狭くなる[4]．

次に，図Ⅱ-2-1-12のように，ルーペをできるだけ眼に近づけて置き，ルーペによる虚像が基準距離0.25 mにできるように物体位置を定めて見たときの倍率を最高倍率 M_h といい，次式で求められる[3]．

$$M_h = \frac{\theta_h}{\theta_0} \cong \frac{\tan\theta_h}{\tan\theta_0} = \frac{\dfrac{y}{s}}{\dfrac{y}{-0.25}} = \frac{-0.25}{s} = -0.25\left(\frac{1}{s'} - \frac{1}{f'}\right)$$
$$= -0.25\left(\frac{1}{-0.25} - \frac{1}{f'}\right) = \frac{-0.25}{-0.25} + \frac{0.25}{f'} = 1 + M_i \tag{8}$$

最高倍率 M_h は，基準倍率 M_i に1を足した値となる．最高倍率 M_h は，ルーペをできるだけ眼に近づけた状態でそのまま観察する物体に近づき，虚像がピントよく拡大されて（像距離＝眼前25 cmで）見えるときの倍率である．したがって，最高倍率 M_h でルーペを使う場合は，眼前25 cmにできる虚像を明視するための調節力（＝4.00 D）または近用眼鏡が必要である．調節力を使わないときや近用眼鏡が使えないときは，明視できる像距離が無限遠の基準倍率 M_i（＝D/4）の使い方となる．

（9）ロービジョンおよび屈折異常眼が使うルーペ[4]

正視眼または矯正眼について，矯正視力Vが作業に必要な視力 V_0 に満たない場合，使用するルーペの屈折力 D は，式(7)から，$D = M \times D_0$ で求められる．Mは必要倍率で，作業に必要な視力 V_0/矯正視力V，もしくは，読めるフォントサイズ/読みたいフォントサイズなどから算出する．仮に基準距離 d_0=0.25 m（D_0=1/d_0=4.00 D）で5倍の倍率が必要なときは，D=5×4=＋20.00 Dのルーペ

が必要となる．

ここで正視眼ではなく，屈折度がR[D]の屈折異常眼が裸眼のままでルーペを使う場合，正視に比べて眼内に$-R$[D]に相当する余分なレンズを持っていると考えて，これをルーペの屈折力から差し引く．調節力A[D]が働く場合も同様に考えて，必要なルーペの屈折力D[D]は，

$$D = M \times D_0 + R - A \tag{9}$$

で求められる．

ただしこの関係式はルーペをできるだけ眼に近づけて見た場合に適用される．例えば，屈折度$R = -8.00$ Dの眼が調節力を$A = 4.00$ D働かせて見るとき，基準距離25 cmで5倍の倍率が得られるルーペの屈折力Dは，$D = 5 \times 4 - 8 - 4 = +8.00$ Dでよい．このルーペの見かけの倍率は，$D/4 = 2$倍となる．近視眼の場合，同じ倍率を得るのに必要なルーペの屈折力は正視よりも弱めでよく，調節力を使うときはさらに弱くて済む．

逆に近視眼が正視眼と同じ屈折力のルーペを使う場合，正視眼よりも大きい倍率で見ることができる．先の例では式(9)を変形し，ルーペの屈折力$D = +20.00$ Dとすると，

$$M = \frac{D - R + A}{D_0} = \frac{\{20 - (-8) + 4\}}{4} = 8 \tag{10}$$

の倍率で使うことができる．

文　献

1）**森　峰生**：やさしい眼鏡光学(下)　第2版．眼鏡光学出版，東京，60，91-99，2021.
2）**長谷部　聡**：眼鏡レンズによる乱視矯正とスラント感―より優れた眼鏡視力を提供するために―．あたらしい眼科24：1145-1150，2007.
3）**森　峰生**：やさしい幾何光学(下)　第2版．眼鏡光学出版，東京，22-31，2021.
4）**川瀬芳克**：視覚補助具．小林義治，松岡久美子，臼井千恵，岡　真由美(編)：視能学　第3版．文光堂，東京，498-499．2022.

2）明視域，調節域

(1) 調節域と調節力

無調節状態の眼の網膜中心窩に結像する外界の点を遠点，極度に調節したときに中心窩に結像する点を近点という[1]．これらの外界の点を網膜中心窩の共役点とも呼ぶ．共役とは光線束が1点から発し再び1点に集まる物体と像との関係のことである．

遠点や近点までの距離の起点は眼の物体側主点と説明されることが多いが，主点の位置は調節状態によって変化するうえ，測定の実務上からも角膜頂点を起点とすることが多い．起点の違いによる影響は無視しても差し支えない．

遠点と近点との距離範囲を調節域といい，この距離をジオプトリー単位で表したものを調節力という[1]．ただし，距離そのものをジオプトリー単位にするわけではなく，次の式で求める．なお，調節力を求める式には眼前の距離をプラスの値で代入する形式と，眼前の距離をマイナスの値で代入する形式が各文献で混在している．所は「この式の符号はnまたはfが眼前にある場合は＋である」と断り書きを入れて，調節力をA[D]，近点距離をn[m]，遠点距離をf[m]としたときの次式を示している[1]．

$$A = \frac{1}{n} - \frac{1}{f} \tag{1}$$

また，眼前の距離をプラスの値で測定して，ジオプトリー単位にするときにマイナスへ変換する方法が記載されていることもある[2]．さらに，遠点(m)を眼屈折度の正負を入れ替えたものの逆数として求める場合もある[3]．光学分野では正負のレンズに関する統一性を図るためにレンズの手前や眼前の距離をマイナスの値で表す．その場合は調節力を求める式も所が示した式とは逆の差を求める式で表すことになる．

(2) 調節検査で調節力を求める方法

調節力は，遠点と近点をジオプトリー単位で表したもの，すなわち眼屈折度の差として定義されるが，実際には完全矯正にしたうえで近点のみを測定して求めることが多い[2)4]．完全矯正されていれば遠点は無限遠なので，眼屈折度としては0になる．したがって，近点距離をジオプトリー単位に変換すれば，そのまま調節力の値になる．

ただし，軽度の近視・遠視の場合や，調節力が低下している場合，あるいは正確な測定が必要な場合は，適切なプラスレンズを装用させて近点や遠点の測定を行う[2)4]．いずれにせよ，乱視は完全に矯正しておかなければならない[2]．

また，眼鏡装用状態では後述するように見かけの調節ということが起きるので，必要に応じてその効果を排除する変換を行う．

(3) 調節力と調節量

調節力は調節弛緩時と極度調節時の眼屈折度の差であり，いわば能力を表す値である．それに対して，調節が極度か否かにかかわらず，どのくらいの調節を行ったのかということを表す場合には調節量という用語で表す．

(4) さまざまな状態における調節域と明視域

眼屈折度を用いて，図Ⅱ-2-2-1のように遠点と近点を表すと，調節域や調節力を容易に求めることができる[5]．使いこなすにはある程度の慣れが必要で，実空間における表し方と比べて得手不得手があるが，眼鏡処方においては便利になることが多い．

図Ⅱ-2-2-1のように眼屈折度を数直線として表すとき，眼前を右側に描いて，通常の数直線とは異なり，右

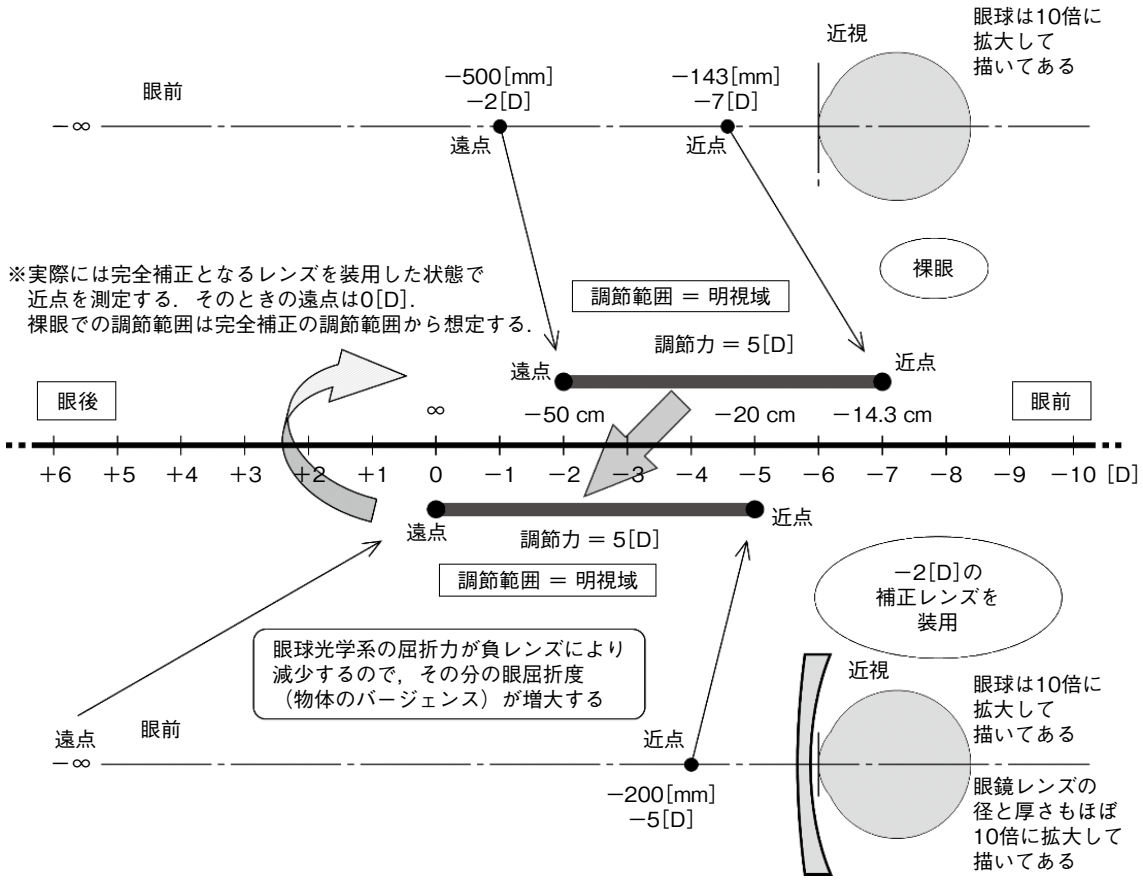


図 Ⅱ-2-2-1　眼屈折度で表した近視の調節範囲の例.

（文献 5 より許可を得て転載）

側にマイナスの眼屈折度を割り振る．無限遠が 0.00 D なので，その左側に眼後の部分（プラスの眼屈折度）を描く．この数直線の右側が眼に近いことになるので，眼球を数直線の右側に描くこともあるが，眼後が左側に割り振られるので，眼球は描かないほうがよい．

遠視は調節域が眼後に跨がるが，随意遠視で眼鏡を装用していない状態で近点が眼前にある場合は，図Ⅱ-2-2-2 に示すように，無限遠から近点までが明視域となる[5]．明視域は「はっきりとピントを合わせて見ることができる範囲」なので，図Ⅱ-2-2-3 に示すように絶対遠視では明視域はなくなる[6]．

なお，所によると「遠点および近点は角膜頂点から測定されていることが多いが理論的には眼の物側主点から測定されるべきである．眼の主点の実測は困難であり，通常は Gullstrand の模型眼の 1.348 mm が使われているが無視しても差し支えない」とされている[1]．

(5) 眼鏡による必要調節量（見かけの調節）

眼鏡を装用していると，近視眼においてマイナスレンズを装用している状態では，正視に比べて少ない調節量で済んでしまう．また，同じ量だけ調節を行った場合には，近視のほうが正視に比べてより近くまで明視できる．逆に遠視眼においてプラスレンズを装用している状態では，正視に比べて多い調節量が必要になり，また，同じ量だけ調節を行った場合には，遠視のほうが正視に比べて遠いところまでしか明視できないということが起きる．以上のような効果を見かけの調節，あるいは調節効果と呼ぶ[1]．

その量を必要調節量と呼ぶことにするが，文献により計算式の形が異なる．ここでは，「Ⅱ基礎編 2. Appendix 4)眼鏡レンズ・コンタクトレンズ・眼内レンズの比較」で用いている無限遠から眼前 X D の点まで調節するための必要調節量 Ax を計算できる次式を紹介する．眼前なので，符号規約に従い X には負の値を代入する（Ax は正の値になる）．

$$Ax = \frac{-X}{(1-dK)\{(1-dK)-d^2XK\}} \qquad (2)$$

ここで，K は装用レンズの後面頂点屈折力［D］，d はレンズの後面から角膜頂点までの距離［m］である．眼鏡レンズや CL は後面頂点屈折力が表示されている．CL の場合，涙液層を無視すれば d の値は 0 となるので，Ax は $-X$ に等しくなり，この効果はなくなる．具体的な値は「Ⅱ基礎編 2. Appendix 4)眼鏡レンズ・コンタクトレンズ・眼内レンズの比較」に示す．

なお，レンズの後面から角膜頂点までの距離 d はメートル単位では値が小さいので，$d^2 \fallingdotseq 0$ とすることができ，

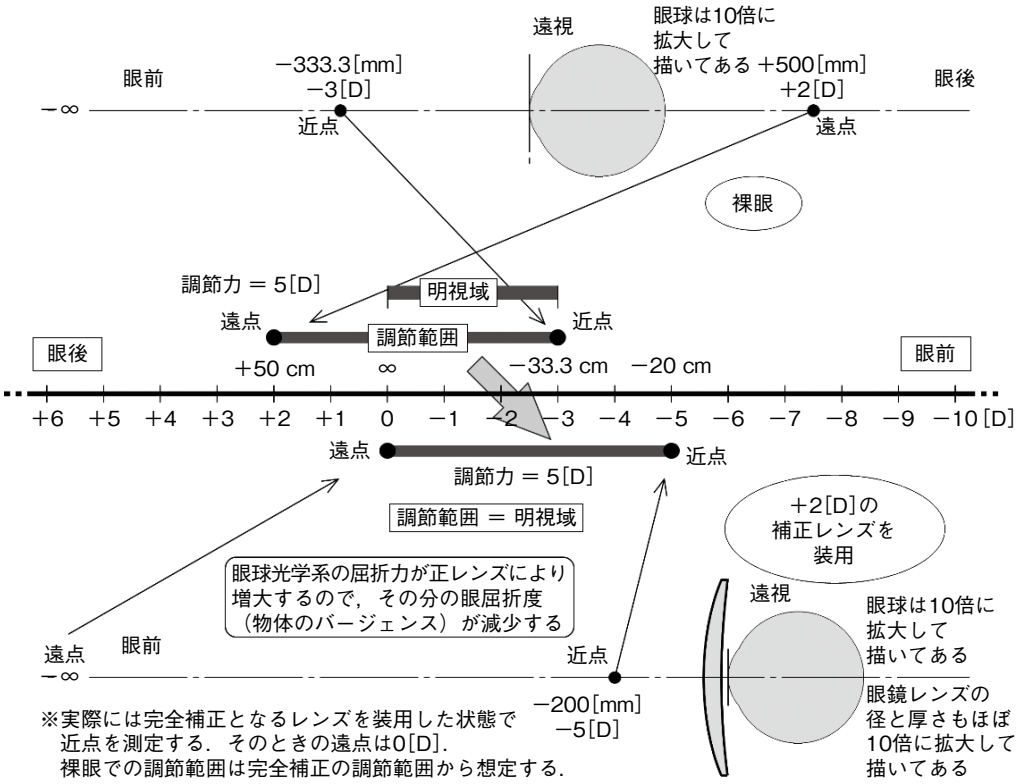


図 Ⅱ-2-2-2 眼屈折度で表した随意遠視の調節範囲の例.

（文献5より許可を得て転載）

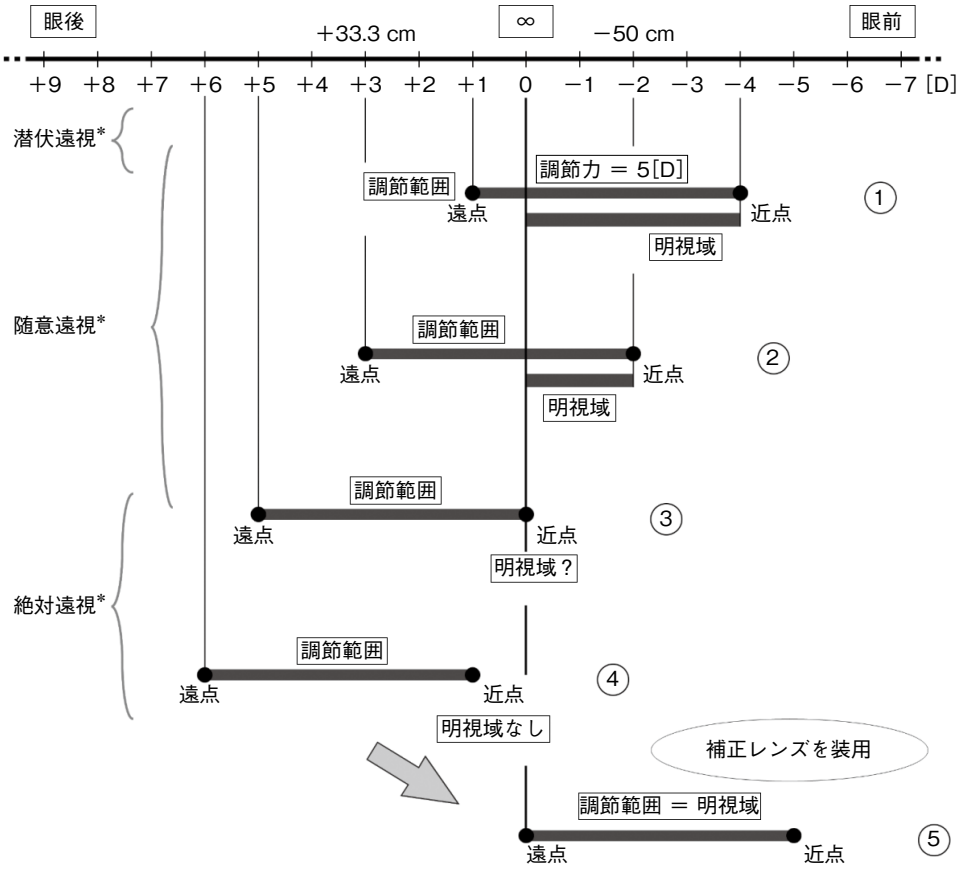


図 Ⅱ-2-2-3 遠視の明視域の例.

*：「｛」で示した範囲は大まかな見当.

（文献6より許可を得て転載）

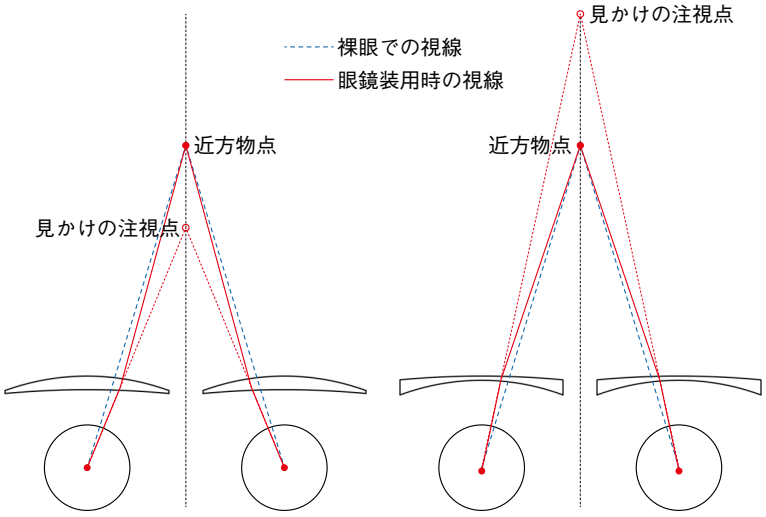


図 Ⅱ-2-2-4　見かけの輻湊.

次の近似式も得られる.

$$Ax = \frac{-X}{(1-2dK)} \qquad (3)$$

(6) 輻湊の単位

輻湊の度合を表す単位として，メートル角とプリズムジオプトリーがある．メートル角は，顔面正中線上の目標物を注視するとき，眼の回旋点間距離の中央から目標物までの距離をメートルで計測し，その逆数で表したもので，値に［MA］を付けて表す．眼前 50 cm を見るときは，

$$\frac{1}{0.5\ \mathrm{m}} = 2\ \mathrm{MA} \qquad (4)$$

の輻湊と，これと同じ値の調節 2.00 D が必要というように，調節と輻湊を同じ数値で表すことができるという利点がある[7].

なお，始点を眼の回旋点間距離の中央にしたのは，輻湊したときに始点の位置が変わらないようにしたものと思われる.

プリズムジオプトリー［Δ］はレンズまたはプリズムによる屈折後の光のフレの単位でもある．屈折したあとの光線の方向の変化(これを「フレ」と呼ぶ)が，1 m の距離で測定したときに x cm のフレに相当したとき，xΔ である．これを輻湊に当てはめると，眼の回旋点間距離の中点から顔面正中線上の目標物までを 1 m としたとき，PD が 60 mm であれば片眼につき 3 cm 偏位したことになる．このとき，片眼 3Δ で，両眼合わせて 6Δ の輻湊と表すことになる.

(7) 眼鏡による見かけの輻湊

眼鏡を装用するとプリズム作用によって，図Ⅱ-2-2-4 に示すように見かけの注視点が異なる．これを見かけの輻湊と呼ぶ.

この場合の裸眼時の輻湊量に対する眼鏡装用時の必要輻湊量比は，頂点間距離 d[m]，角膜から回旋点までの距離 r[m]，装用度数 D[dpt] のとき，

$$\frac{1}{1-(d+r)D} \qquad (5)$$

となる．頂点間距離が 12 mm で，角膜から回旋点までの距離が Gullstrand の模型眼の 13 mm とすれば，(d+r) は 0.025 m ということになる．プラスレンズを装用しているときはより強く輻湊する必要があるが，上記の式では分母の値が 1 より減少するので，その比は 1 より大きくなる．具体的な値は「Ⅱ基礎編 2．Appendix 4)眼鏡レンズ・コンタクトレンズ・眼内レンズの比較」に示す.

(7) AC/A 比

1.00 D 調節をすることにより，どれだけの調節性輻湊が働くかは個人差があり，これを定量的に表すものとして調節性輻湊対調節比(accommodative convergence/accommodation ratio：AC/A 比)がある[1)7)]．調節性輻湊量はプリズムジオプトリー(Δ)の値を用いる．メートル角をプリズムジオプトリーに換算するには，

$$\Delta = \mathrm{MA} \times \mathrm{PD[cm]} \qquad (6)$$

の近似式で求めることができる．正常者では平均 4±2Δ/D である[1].

文　献

1) **所　敬**：屈折異常とその矯正　第 7 版．金原出版，東京，241-244，2019.
2) **西信元嗣**：屈折・調節の光学．丸尾敏夫，粟屋　忍(編)：視能矯正学．金原出版，東京，101，2012.
3) **西信元嗣**：診療必携　早分かり眼光学．金原出版，67，2004.
4) **岩崎常人**：近点計測検査(自覚的調節検査)．小口芳久，澤　充，大月　洋，湯澤美津子(編)：眼科検査

法ハンドブック　第4版．医学書院，東京，65，2005.
5）**森　峰生**：やさしい眼鏡光学（上）　第2版．眼鏡光学出版，東京，2021.
6）**森　峰生**：光学あれこれ．第45回　調節状態からの遠視の分類．眼鏡　788：57，2022.
7）**日本眼鏡学会眼鏡学ハンドブック編纂委員会**：眼鏡学ハンドブック　第3版．眼鏡光学出版，東京，2012.

3）レンズメータ

（1）レンズメータの分類

レンズメータ（英語名：Focimeter）は眼鏡レンズや一部のCLの光学特性を測定する装置である．主な機能は屈折力（Sph，Cyl，Ax，ADD，PRISM，BASE）を測定することであるが，それに加えて，光学中心を探す，印点を打つ，素材内部の光学的欠陥を見つける（マニュアル式），といった役割も担っている．

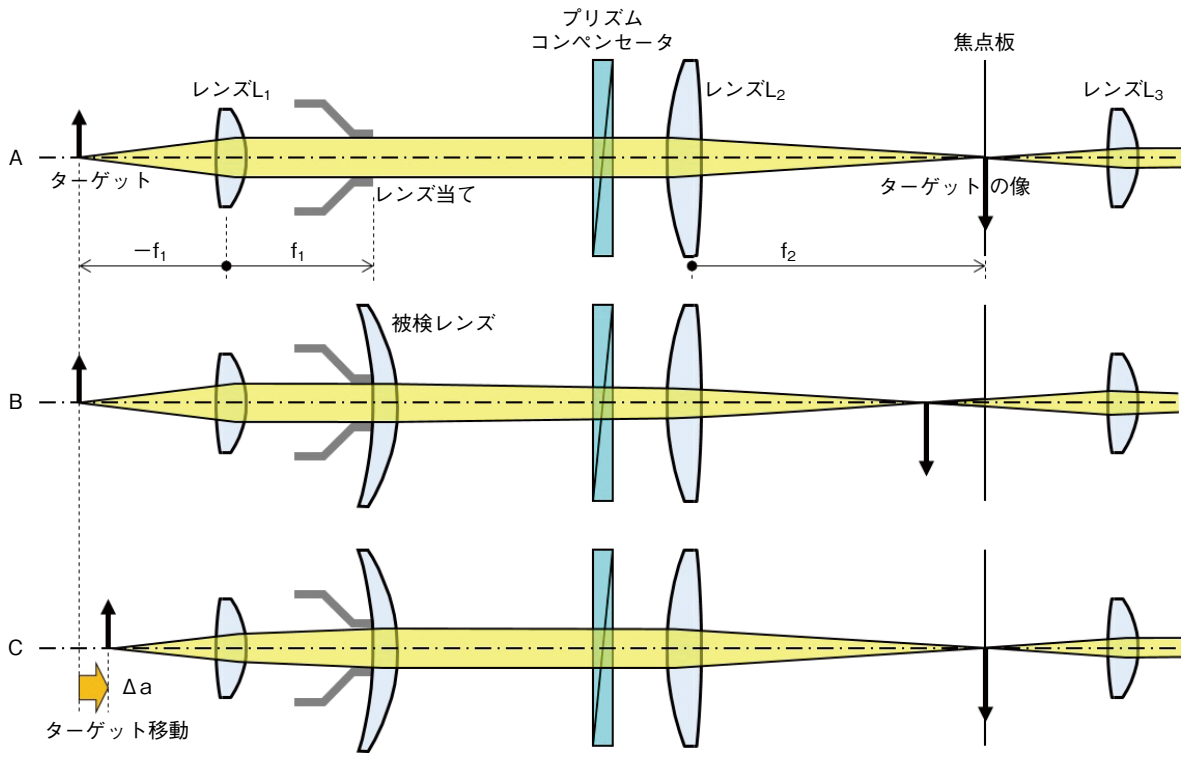
操作方法によって，マニュアル式とオート式に分類される．マニュアル式は測定者自らがダイヤルを回してピント合わせを行うことにより屈折力を測定する方式で，オート式は被検レンズを装置に置くだけで自動的に屈折力を表示してくれる方式である．マニュアル式は，さらに観察方法によって，装置を覗き込むタイプの望遠鏡式と，焦点板に投影されたターゲット像を観察する投影式に分類される．表示方法では，測定者が目盛りを読み取るアナログ式と，結果を数値で表示するデジタル式に分類される．また，光学構成によって，FOAタイプとIOAタイプに分類される．FOAはfocus on axisの略で，レンズメータ光軸上に被検レンズによる結像点があるという意味である．実際には，ここにターゲットを置き，逆向きに光束を通す．IOAはinfinite on axisの略で，レンズメータ光軸上に無限遠物点があるという意味である．マニュアル式のすべてと，オート式の一部はFOAタイプであり，最近のオート式はIOAタイプのものが多い．以上の分類を整理すると表Ⅱ-2-3-1のようになる．

表Ⅱ-2-3-1　レンズメータの分類

操作方法	観察方法	表示方法	光学配置
マニュアル式	望遠鏡式	アナログ	FOA
	投影式		
		デジタル	
オート式	—		IOA

（2）マニュアル式レンズメータ

マニュアル式レンズメータの測定原理を図Ⅱ-2-3-1に示す．レンズL_1の前側焦点近辺にターゲットを，後側焦点の位置にレンズ当てを，レンズL_2の後側焦点の位置に焦点板を配置する．ターゲットは，左側から図示されていない光源および光学系によって照明されている．望遠鏡式の場合には，焦点板の近辺にできたターゲットの像



図Ⅱ-2-3-1　マニュアル式レンズメータの測定原理（FOA）．

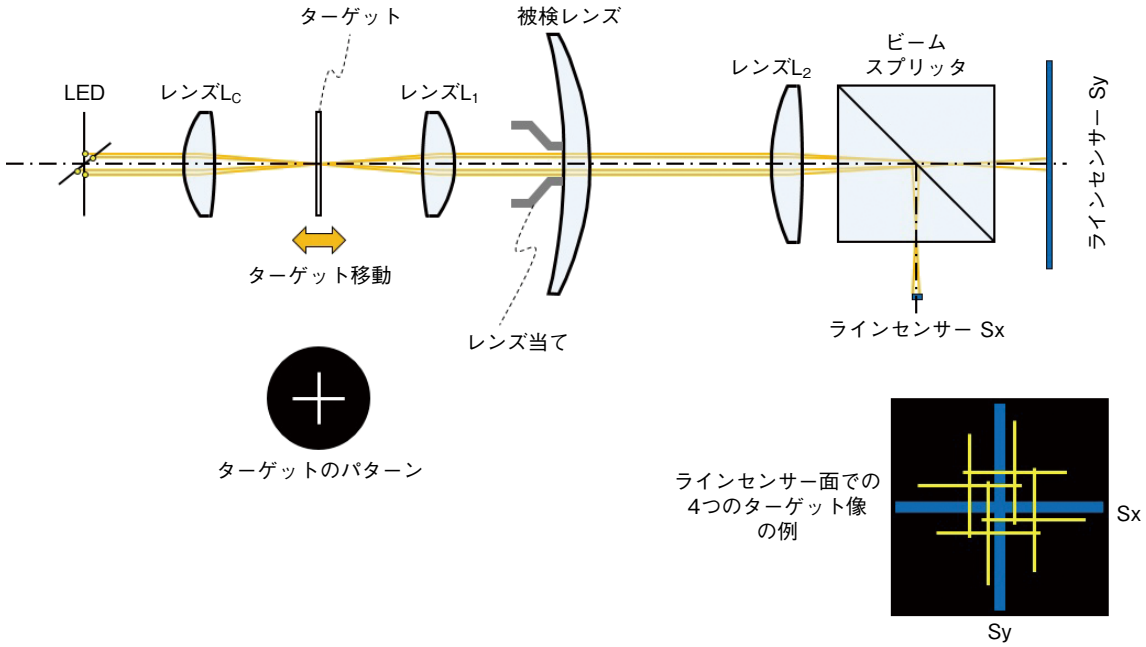


図 Ⅱ-2-3-2　オート式 FOA レンズメータの測定原理.
橙色の線は各 LED からの測定光束の主光線.

を接眼レンズ L_3 を通して観察する．別の言い方をすれば，レンズ L_1 で遠方にできたターゲットの像を，レンズ L_2～L_3 からなる望遠鏡光学系で観察している．投影式の場合には，レンズ L_3 はなく，焦点板上に $m=f_2/f_1$ の倍率で拡大投影されたターゲットの像を直接肉眼で観察する．

図Ⅱ-2-3-1A は被検レンズが入っていない状態を表し，ターゲットがレンズ L_1 の前側焦点の位置にあるとき，ターゲットから出た光束はレンズ L_1 を通って平行光になり，レンズ L_2 によって焦点板上に結像する．

図Ⅱ-2-3-1B は同じターゲット位置のまま被検レンズをレンズ当ての位置に挿入した状態を表し，被検レンズの頂点屈折力に応じて焦点板上の像がぼける．

図Ⅱ-2-3-1C はターゲットを移動させてピントが合うようにした状態を表し，ターゲットの移動量 Δa と被検レンズの頂点屈折力 D の間には $D=\Delta a/f_1^2$ という関係が成り立っているので，読み取った移動量から頂点屈折力を知ることができる．

被検レンズに乱視屈折力があるときにはターゲットの像が流れるので，ターゲットが十字線の場合にはターゲットを回転して像の流れの方向に十字線の一方を合わせ，焦線ごとにピント合わせを行って屈折力を求め，その差を乱視屈折力として計算する．ピントを合わせた焦線の方向と屈折力の断面方向は直交している．

望遠鏡式の場合，焦点板の透過性は高く，測定者の眼の調節範囲内であれば，空中像を観察してしまう可能性があるので，注意が必要である．すなわち，測定者の眼の調節が介入しないように，測定前の接眼レンズ L_3 の視度調整を雲霧側(プラス側)から行うこと，被検レンズの測定の際のピント合わせごとに屈折力目盛りのマイナス寄り側からアプローチすることである．

望遠鏡式・投影式のいずれの場合も，最もピントの合っている状態での解像の良し悪しによって，熟練した測定者はレンズ表面または素材内部の光学的欠陥を見つけることができる．

(3) オート式レンズメータ

オート式レンズメータにはさまざまな測定原理のものがあるが，その光学構成から分類される代表的なものが FOA と IOA である．

オート式 FOA レンズメータの測定原理を図Ⅱ-2-3-2 に示す．ターゲット，レンズ L_1，レンズ L_2，ラインセンサーの配置はマニュアル式レンズメータと同様であり，ラインセンサーは焦点板に対応する位置にある．4 つの LED から出た光束はターゲットを異なる角度で照明する．ラインセンサーは直交する方向で 2 本あり，測定光束はラインセンサーの前でビームスプリッターによって分けられる．ピントがずれた状態では，ターゲットの像がラインセンサー面で 4 つに分離しているので，それが一つに重なるようにターゲットを移動させる．このターゲットの移動量からレンズの頂点屈折力が求められる．被検レンズが乱視屈折力を持つ場合は，ターゲット像は一つには重ならない．ターゲットの移動量と残ったターゲット像の位置ずれ量からレンズの頂点屈折力(Sph，Cyl，Ax)が求められる．

オート式 IOA レンズメータの測定原理を図Ⅱ-2-3-3 に示す．被検レンズの前面側から平行光束を入射し，ピンホールアレイを通過後，画像センサー上に得られた点像

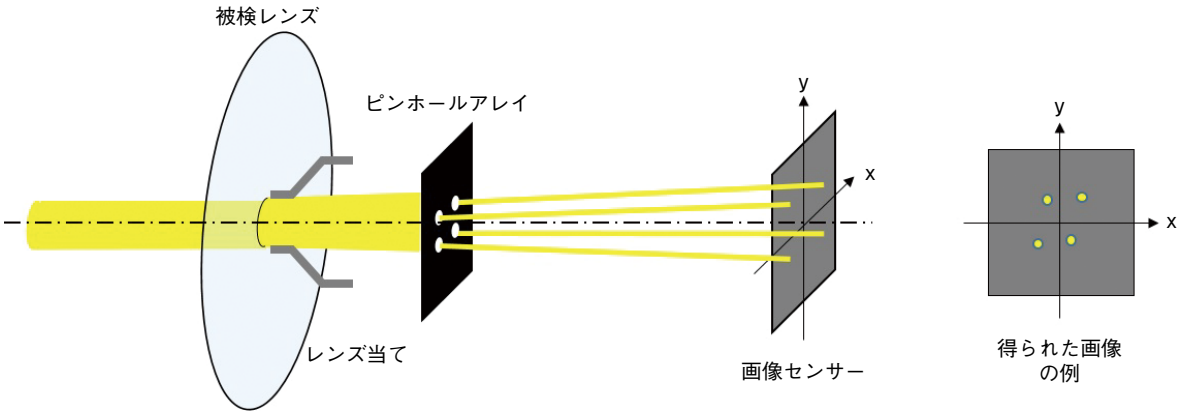


図 Ⅱ-2-3-3　オート式 IOA レンズメータの測定原理.

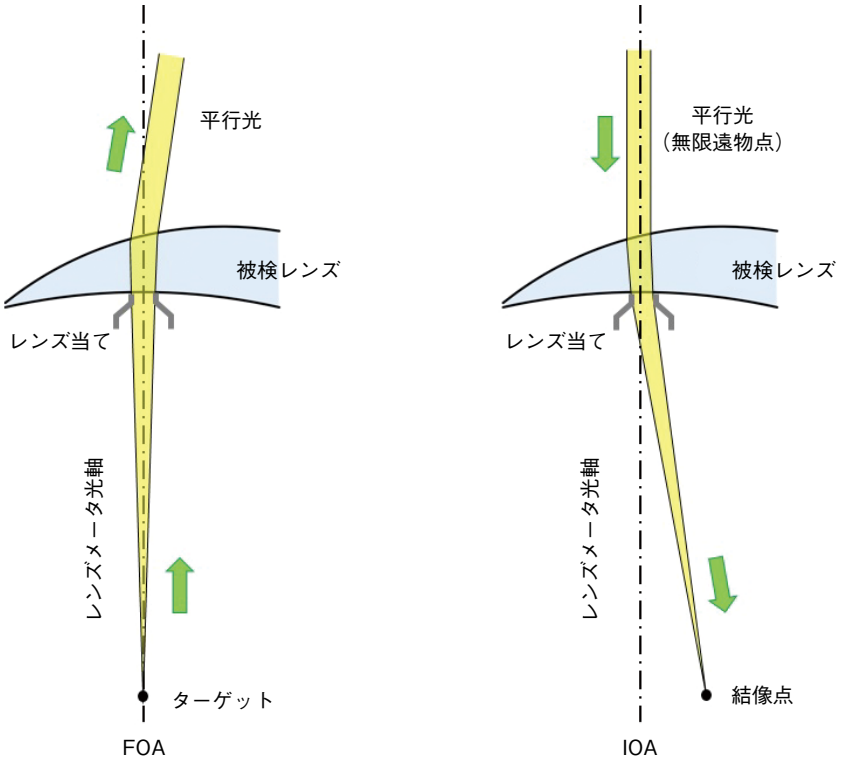


図 Ⅱ-2-3-4　プリズム屈折力があるときの FOA と IOA の光路の違い.

位置を解析して，レンズの頂点屈折力を求める．光学構成がシンプルで，可動部材もないので，製造上のメリットが大きく，近年のオート式レンズメータは IOA が主流になっている．Sph，Cyl，Ax を求めるには最低限 3 本のビームが必要であるが，より多くのビームを通すことにより，レンズ当ての口径内のレンズの屈折力変化を検出して，累進屈折力レンズの測定の際の位置出しガイドに利用しているレンズメータ[1]もある．おおよその遠用部屈折力や加入屈折力を手早く知りたい場合には便利な機能であるが，正確性が求められる場合にはアライメント基準マークから測定基準点の位置を割り出すべきである．

プリズム屈折力があるレンズ部位での測定では，（マニュアル式レンズメータも含め）FOA と IOA で異なった測定値を示すという問題がある．図Ⅱ-2-3-4 に，両レンズメータの光路の違いを示す．光路の違いから，測定光束が被検レンズによって受けるバージェンスの変化および光線の振れ角は異なるものとなる．特に累進屈折力レンズの近用部測定基準点においては，少なからぬプリズム屈折力が存在するので，FOA と IOA とでレンズの屈折力許容差[2]を超える差異が発生する場合がある．近年の累進屈折力レンズには確認屈折力が添付されているものが多く，その値はどちらのタイプのレンズメータによるものかの明示はないが，IOA を想定しているものと思われる．

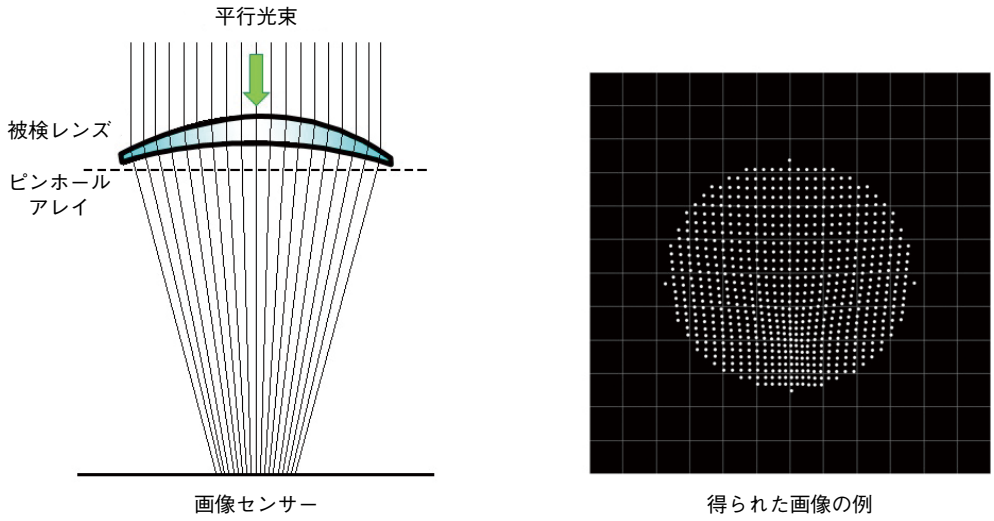


図 Ⅱ-2-3-5　収差マッパーの測定原理の例.

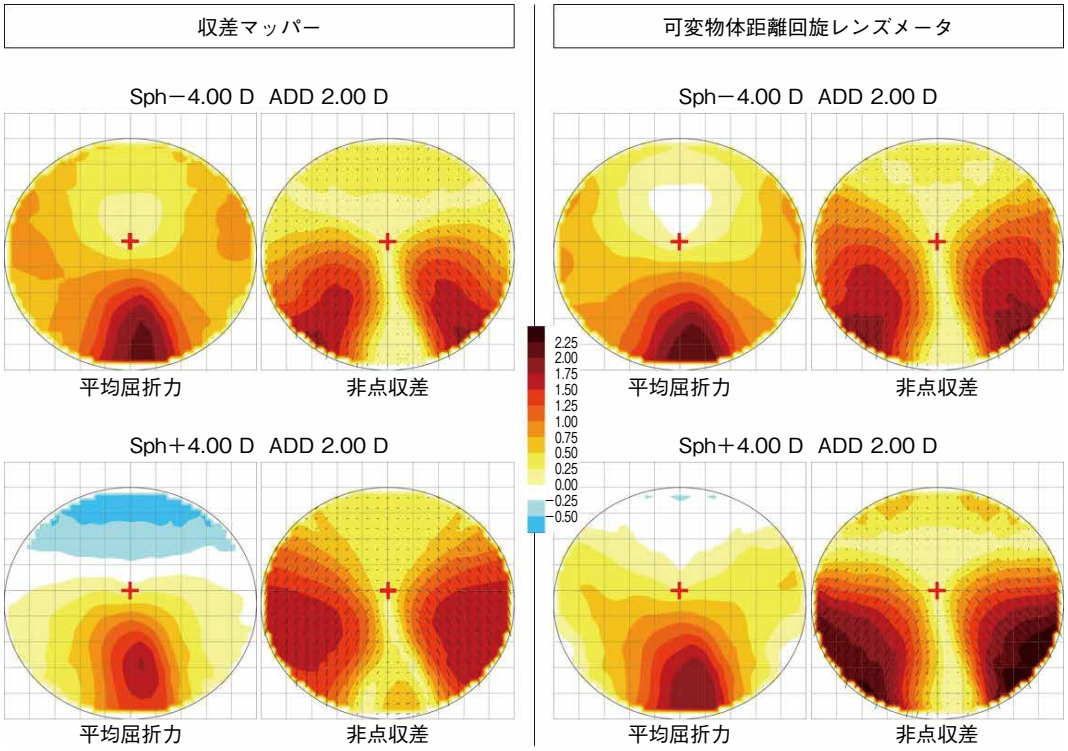


図 Ⅱ-2-3-6　収差マッパーと可変物体距離回旋レンズメータの測定シミュレーション結果の比較.
これらのマップは原理を再現した測定シミュレーションによるものであり，実機による実レンズの測定ではない．マップ中の赤い十字はフィッティングポイント(第 1 眼位)を表し，収差マッパーの方眼はレンズ面上の 5 mm ステップ，可変物体距離回旋レンズメータの方眼は回旋角 10° ステップであり，両測定機のマップ表示範囲はほぼ対応している．カラーコードは 0.25D ステップである．

(4) 収差マッパー，回旋レンズメータ

レンズメータを使って被検レンズの屈折力を測定するのは，累進屈折力レンズの場合でも通常は多くて 3 点(遠用部測定基準点・近用部測定基準点・プリズム測定基準点)である．しかしながら，累進屈折力レンズの装用感はこの 3 点の光学特性のみで決まるものではない．そこで，レンズの光学特性の全面にわたる分布を知りたいというニーズが発生する．累進屈折力レンズの収差分布を比較的短時間で測定し，マップとして表示してくれる装置[3]が数社から販売されている．これら装置の定まった一般名称はないので，本稿では「収差マッパー」と呼ぶことにする．収差マッパーにはさまざまな測定原理[4]のものがあり，図 Ⅱ-2-3-5 に一例を示す．被検レンズの前面側から入射させた幅広い平行光束は，被検レンズとピンホール

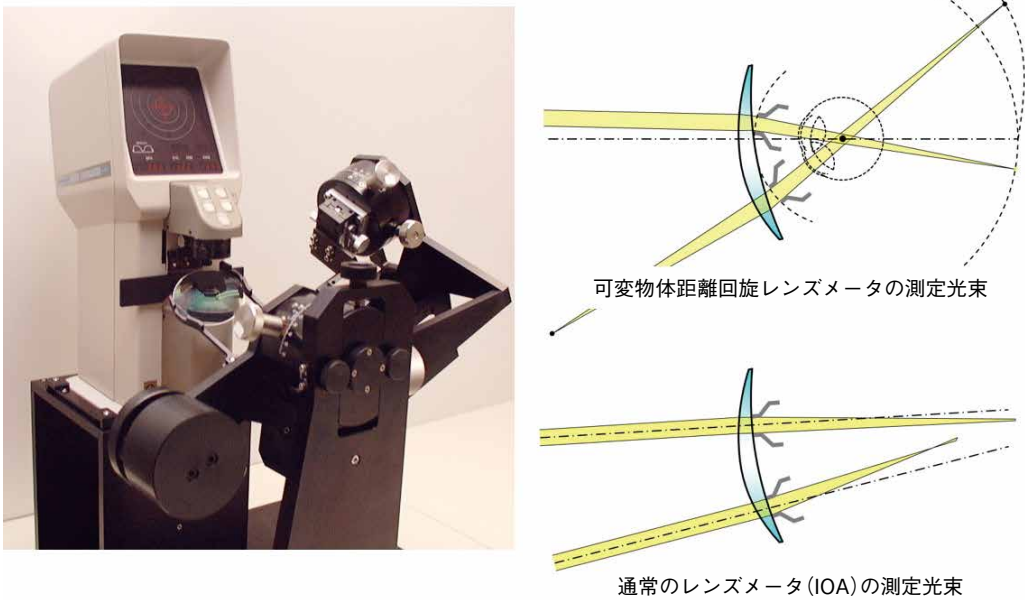


図 Ⅱ-2-3-7　可変物体距離回旋レンズメータ.

表 Ⅱ-2-3-2　レンズメータの測定に影響を与えるパラメータ

	測定原理・測定方法の違いによる誤差					系統的測定誤差		偶発的測定誤差	
	FOA vs IOA	測定波長	ターゲットパターン	焦線の選択	前面当付 vs 後面当付	レンズのサグ誤差	測定環境温度	マニュアル式の合焦限界（7 mm 口径）	レンズの位置決め
最大誤差	0.09 D	0.03 D	0.04 D	0.03 D	0.46 D	＜0.01 D	0.02 D	＜0.04 D	0.07 D

遠用部屈折力が－4.00～＋4.00 D で，加入屈折力が 2.50 D の二重焦点レンズおよび累進屈折力レンズに対する，較正後で通常環境下での測定.

研究機関間の測定および理論的検討のまとめ―(ISO/TR 28980 の表 1 を訳したもの).

アレイを通過後，画像センサー上に点像の粗密のある画像を形成する．この画像を解析することによって，被検レンズの平均屈折力や非点収差のマップが得られる．ある累進屈折力レンズの，この収差マッパーによる測定シミュレーション結果を図Ⅱ-2-3-6 左に示す．図Ⅱ-2-3-5 を見て明らかなように，この測定光束の被検レンズの通り方は，眼鏡装用時の視線が眼鏡レンズを通過する状態とはまったく異なる．このような収差マッパーは，眼鏡レンズメーカーが製造過程において，実際に製造されたレンズを測定して，設計値によるシミュレーションと比較することで，品質管理に用いることには適しているが，装用時の眼鏡レンズの性能を表しているとはいい難い．

装用時の眼鏡レンズの性能を評価する装置としては，可変物体距離回旋レンズメータ[5]がある．図Ⅱ-2-3-7 に，装置の写真と測定光束の様子を示す．2 軸回旋装置で測定光束が FOA レンズメータの眼球回旋点に対応する点を通過する状態を維持したまま，被検レンズのさまざまな部位の屈折力(Sph，Cyl，Ax)を測定する．累進部や近用部の測定においては，アタッチメントレンズを挿入することにより，それぞれの部位の使用が想定される有限物体距離での性能評価も可能となっている．前述の累進屈折力レンズの，この可変物体距離回旋レンズメータによる測定シミュレーション結果を図Ⅱ-2-3-6 右に示す．この装置は市販されておらず，研究レベルでの使用にとどまっている．

(5) レンズメータの測定に影響を与えるパラメータ

レンズメータに関する規格には JIS B 7183[6]があり，これに適合すべく，ある許容差内の精度で作られている．オートレンズメータは，設定によって 0.01 D ステップで頂点屈折力を表示してくれるものもあり，レンズの保持状態を変えなければ再現性はあるものの，0.01 D の絶対精度を保証しているわけではない．

レンズメータの測定に影響を与えるパラメータについて，ISO/TR 28980[7]が報告している．世界中の複数の研究機関での実証測定と理論的検討を行った結果を表Ⅱ-2-3-2 に示す．この中で最も大きな影響があるのは，前面当て付けか後面当て付けかであるが，JIS T 7315[2]，JIS T 7330[8]などによって測定基準面(当て付け面)は規定されているので，それに則って測定されねばならない(「Ⅱ基礎編 2．Appendix　5)JIS 規格(4)JIS T 7315：

2020屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ」を参照）．次に大きいのは，FOA と IOA の違いであり，この理由については「Ⅱ基礎編 2．Appendix　3）レンズメータ（3）オート式レンズメータ」で説明したとおりである．焦線の選択による誤差はあまり大きくないとの結果であるが，非球面設計を採用した近年の累進屈折力レンズの近用部では影響が大きいと思われる．JIS T 7315[2]で規定する累進屈折力レンズの加入屈折力測定においては，垂直に近い焦線の屈折力と等価球面屈折力のいずれを用いてもよいことになっているが，両者の違いは無視できない．もっとも有り得るのは，IOA レンズメータで累進面側を当て付けて等価球面屈折力を用いて加入屈折力を求めているケースであり，眼鏡レンズメーカーもこのケースで確認屈折力を計算していると思われるので，そうでないケースでは注意が必要である．累進屈折力レンズの屈折力変化は，特に近用部では大きいので，測定の位置決めには慎重になるべきである．なお，残念なことに，眼鏡フレームに枠入れした状態でのレンズの屈折力測定においては，測定基準点が枠内に残っていなかったり，レンズメータと眼鏡フレームのテンプルが干渉して測定困難な場合も有り得る．

文　献

1）**野澤憲嗣，梶野　正，青山　格**：オートレンズメーターにおける「マルチポイントエリア測定」の原理と累進屈折力レンズの測定．眼鏡学ジャーナル 14：33–37，2010.
2）**日本産業標準調査会**：JIS T 7315：2020　屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ．日本規格協会，東京，2020.
3）**白柳守康**：累進屈折力レンズの性能表示．眼鏡学ジャーナル 16：5–10，2012.
4）**祁　華**：累進レンズのシミュレーションによる性能評価．眼鏡学ジャーナル 8：32–39，2004.
5）**白柳守康**：可変物体距離回旋レンズメータによる眼鏡レンズの光学性能評価．視覚の科学 18：125–132，1998.
6）**日本工業標準調査会**：JIS B 7183：1995　レンズメータ．日本規格協会，東京，1995.
7）**ISO/TR 28980：2007**：Ophthalmic optics—Spectacle lenses—Parameters affecting lens power measurement. International Organization for Standardization, Genéve, 2007.
8）**日本産業標準調査会**：JIS T 7330：2022　眼鏡レンズの用語．日本規格協会，東京，2022.

4）眼鏡レンズ・コンタクトレンズ・眼内レンズの比較

眼鏡では，頂点間距離の影響によって網膜像の大きさや輻湊に与える影響が裸眼とは異なる．同様に，角膜に直接触れる CL との比較においても倍率や輻湊に与える影響が異なる．ここでは，これまでに知られた公式を使って，眼鏡と CL がどのように異なるかを数値的に示す．

（1）眼鏡処方と CL の比較

① 補正屈折力，補正効果の違い（頂点間距離の影響）
眼鏡レンズの後面と角膜頂点間に 12 mm 程度の間隔があるのに対して，CL では角膜に接しているため，矯正値などが異なる．

② 網膜像の大きさの違い（SM の影響）
① と同様に観察される像の倍率が眼鏡と CL で異なる．

③ 近方視に必要な調節量の違い（眼鏡による見かけの調節力の影響）
必要な調節量も頂点間距離から眼鏡と CL で異なる．

④ 眼鏡矯正は輻湊に影響する

⑤ 視野の広さの問題（視野倍率の影響，眼鏡フレームによる制限）
眼鏡ではそのフレームにより視野が制限され，またフレームの内側と外側で視野倍率が異なる．

⑥ 収差の違い
CL では基本的に眼と CL の光軸が一致する．眼鏡では視線方向により眼鏡レンズの周辺部分を使うため，眼鏡レンズの軸外収差が加わる．

⑦ 収差補正
ハード CL には角膜前面の形状を補正する効果がある．ソフト CL でも眼の形状による高次収差の補正の研究が進んでいる．眼鏡では視線方向により光線の通過する位置が異なるため高次収差の補正は難しいが，研究や商品化が進んでいる．

⑧ 基本的光学性能
CL では涙液の影響があり，またソフト CL の形状や屈折面の精度も低いため．光学性能としては眼鏡が有利である．ただし，眼鏡ではマスク着用時などにレンズの曇りが生じる．

⑨ ゴースト，フレア
眼鏡では，前方から入射する光が眼鏡の後面で反射し，さらに前面で反射する2回反射によりゴーストやフレアが発生する．後方から入射する光は眼鏡の前面あるいは後面で反射してゴーストやフレアとなることがある．

⑩ 老視矯正
眼鏡では視線依存ではあるが，二重焦点や累進焦点方式の比較的自由な老視矯正が可能である．ハード CL では眼球運動を利用した二重焦点，ソフト CL では同時視型の多焦点レンズでの対応となり，同時視型ではハローの発生もある．

⑪ 透過率の制御
環境の明るさにより透過率を制御できる眼鏡レンズが製品化されている．

⑫ プリズム効果による眼位異常の補正
眼鏡ではプリズム効果による眼位異常の補正が可

能である．

(2) 補正屈折力，補正効果の違い(頂点間距離との関係)

頂点間距離の影響による眼鏡屈折力からCL屈折力への変換は，「Ⅱ基礎編 1．眼鏡処方に必要な眼鏡レンズの光学系の基礎知識　3)頂点間距離による屈折効果の変化」の式(5)を用いる．頂点間距離の変化をΔd[m]としたときの眼鏡の屈折力D_S[D]からCL屈折力D_{CL}[D]への変換公式と，頂点間距離が眼鏡の12 mmからCLの0 mmに変化するときの具体的な計算式を下記に示す(式中で頂点間距離はメートル単位で−0.012を代入する)．

$$D_{CL}=\frac{D_S}{1+\Delta d D_S}=\frac{D_S}{1-0.012\,D_S} \qquad (1)$$

この式を使った計算結果を表Ⅱ-2-4-1に示す．なお，本Appendix内では眼鏡およびCLの後面屈折力を計算に用いる．

(3) 網膜像の大きさの違い(SMとCL倍率)

「Ⅱ基礎編 2．Appendix　1)倍率」の式(4)より，SMは裸眼と眼鏡やCLなどの矯正レンズ装用時の角倍率の比として，

$$SM=\frac{\omega'}{\omega}=\frac{1}{1-l_p D} \qquad (2)$$

となる．ただし，Dは補正レンズの屈折力［D］，l_pはレンズから眼球光学系の入射瞳までの距離［m］であった．眼鏡では頂点間距離と角膜から入射瞳までの距離を足した15 mm，CLでは角膜から入射瞳までの距離3 mmを使って，眼鏡とCLでの裸眼に対する倍率，両者の比を表Ⅱ-2-4-2に示す．

(4) 近方視に必要調節量(眼鏡による見かけの調節)

裸眼やCLによる屈折矯正と比較して，近視の眼鏡による屈折矯正では必要な調節量が小さいこと，逆に遠視矯正では大きいことが知られている．無限遠からX[D](マ

表 Ⅱ-2-4-1　眼鏡の後面屈折力(D)とコンタクトレンズ(CL)の後面屈折力(D)

近視				遠視			
眼鏡	CL	眼鏡	CL	眼鏡	CL	眼鏡	CL
−3.50	−3.36	−12.00	−10.49	3.50	3.65	12.00	14.02
−3.75	−3.59	−12.25	−10.68	3.75	3.93	12.25	14.36
−4.00	−3.82	−12.50	−10.87	4.00	4.20	12.50	14.71
−4.25	−4.04	−12.75	−11.06	4.25	4.48	12.75	15.05
−4.50	−4.27	−13.00	−11.25	4.50	4.76	13.00	15.40
−4.75	−4.49	−13.25	−11.43	4.75	5.04	13.25	15.76
−5.00	−4.72	−13.50	−11.62	5.00	5.32	13.50	16.11
−5.25	−4.94	−13.75	−11.80	5.25	5.60	13.75	16.47
−5.50	−5.16	−14.00	−11.99	5.50	5.89	14.00	16.83
−5.75	−5.38	−14.25	−12.17	5.75	6.18	14.25	17.19
−6.00	−5.60	−14.50	−12.35	6.00	6.47	14.50	17.55
−6.25	−5.81	−14.75	−12.53	6.25	6.76	14.75	17.92
−6.50	−6.03	−15.00	−12.71	6.50	7.05	15.00	18.29
−6.75	−6.24	−15.25	−12.89	6.75	7.34	15.25	18.67
−7.00	−6.46	−15.50	−13.07	7.00	7.64	15.50	19.04
−7.25	−6.67	−15.75	−13.25	7.25	7.94	15.75	19.42
−7.50	−6.88	−16.00	−13.42	7.50	8.24	16.00	19.80
−7.75	−7.09	−16.25	−13.60	7.75	8.54	16.25	20.19
−8.00	−7.30	−16.50	−13.77	8.00	8.85	16.50	20.57
−8.25	−7.51	−16.75	−13.95	8.25	9.16	16.75	20.96
−8.50	−7.71	−17.00	−14.12	8.50	9.47	17.00	21.36
−8.75	−7.92	−17.25	−14.29	8.75	9.78	17.25	21.75
−9.00	−8.12	−17.50	−14.46	9.00	10.09	17.50	22.15
−9.25	−8.33	−17.75	−14.63	9.25	10.40	17.75	22.55
−9.50	−8.53	−18.00	−14.80	9.50	10.72	18.00	22.96
−9.75	−8.73	−18.25	−14.97	9.75	11.04	18.25	23.37
−10.00	−8.93	−18.50	−15.14	10.00	11.36	18.50	23.78
−10.25	−9.13	−18.75	−15.31	10.25	11.69	18.75	24.19
−10.50	−9.33	−19.00	−15.47	10.50	12.01	19.00	24.61
−10.75	−9.52	−19.25	−15.64	10.75	12.34	19.25	25.03
−11.00	−9.72	−19.50	−15.80	11.00	12.67	19.50	25.46
−11.25	−9.91	−19.75	−15.97	11.25	13.01	19.75	25.88
−11.50	−10.11	−20.00	−16.13	11.50	13.34	20.00	26.32
−11.75	−10.30			11.75	13.68		

表 Ⅱ-2-4-2　網膜像の大きさの違い(SM と CL 倍率)

近視					遠視				
眼鏡屈折力(D)	CL 屈折力(D)	SM	CL 倍率	CL/眼鏡	眼鏡屈折力(D)	CL 屈折力(D)	SM	CL 倍率	CL/眼鏡
−5.00	−4.72	0.93	0.99	1.06	5.00	5.32	1.08	1.02	0.94
−6.00	−5.60	0.92	0.98	1.07	6.00	6.47	1.10	1.02	0.93
−7.00	−6.46	0.90	0.98	1.08	7.00	7.64	1.12	1.02	0.92
−8.00	−7.30	0.89	0.98	1.10	8.00	8.85	1.14	1.03	0.90
−9.00	−8.12	0.88	0.98	1.11	9.00	10.09	1.16	1.03	0.89
−10.00	−8.93	0.87	0.97	1.12	10.00	11.36	1.18	1.04	0.88
−11.00	−9.72	0.86	0.97	1.13	11.00	12.67	1.20	1.04	0.87
−12.00	−10.49	0.85	0.97	1.14	12.00	14.02	1.22	1.04	0.86
−13.00	−11.25	0.84	0.97	1.16	13.00	15.40	1.24	1.05	0.84
−14.00	−11.99	0.83	0.97	1.17	14.00	16.83	1.27	1.05	0.83
−15.00	−12.71	0.82	0.96	1.18	15.00	18.29	1.29	1.06	0.82
−16.00	−13.42	0.81	0.96	1.19	16.00	19.80	1.32	1.06	0.81
−17.00	−14.12	0.80	0.96	1.20	17.00	21.36	1.34	1.07	0.80
−18.00	−14.80	0.79	0.96	1.22	18.00	22.96	1.37	1.07	0.78
−19.00	−15.47	0.78	0.96	1.23	19.00	24.61	1.40	1.08	0.77
−20.00	−16.13	0.77	0.95	1.24	20.00	26.32	1.43	1.09	0.76

イナスの値となる)の点にピントを合わせるための必要調節力 Ax[D] は,

$$Ax = \frac{-X}{(1-dK)\{(1-dK)-d^2XK\}} \qquad (3)$$

となる．ここで，K[D] は眼鏡の後面屈折力，d[m] はレンズの後面から眼の角膜頂点までの距離である．眼鏡の屈折力に対する，d=12 mm で明視の距離 250 mm(4 D)に調節するために必要な必用調節量を表Ⅱ-2-4-3 に示す．なお，近軸光学的に厳密には主点屈折力を使った評価が必要であるが，臨床的には眼鏡，CL，さらに眼の主点は不明であり，また，実際上 CL における必要調節量は裸眼と同じと考えて差し支えない．

(5) 眼鏡装用による輻湊

眼鏡装用による輻湊の計算は，網膜像の大きさの計算と同様の式で評価できる．ただし，網膜像の大きさでは基準となる位置が瞳孔中心となるが，輻湊の場合は基準点が回旋中心となる．眼鏡の後面屈折力が D_v[D]，頂点間距離 12 mm で(d=0.012 m，角膜から回旋点までの距離を 13 mm(r=0.013 mm)とすると，近似的に,

$$\text{必要輻湊量比} = \frac{\text{眼鏡装用時に必要とされる輻湊量}}{\text{裸眼で必要とされる輻湊量}} = \frac{1}{1-(d+r)D_v} = \frac{1}{1-0.025\,D_v}$$

となる．式中でも示したように，上記の量を必要輻湊量比と呼び，表Ⅱ-2-4-4 に示す．

表 Ⅱ-2-4-3　眼鏡装用時の必要調節量(単位はすべてディオプター［D］)

近視		遠視	
眼鏡屈折力	必要調節量	眼鏡屈折力	必要調節量
−5.00	3.57	5.00	4.51
−6.00	3.49	6.00	4.63
−7.00	3.42	7.00	4.75
−8.00	3.34	8.00	4.87
−9.00	3.27	9.00	5.00
−10.00	3.21	10.00	5.13
−11.00	3.14	11.00	5.27
−12.00	3.07	12.00	5.42
−13.00	3.01	13.00	5.57
−14.00	2.95	14.00	5.72
−15.00	2.89	15.00	5.89
−16.00	2.84	16.00	6.06
−17.00	2.78	17.00	6.24
−18.00	2.73	18.00	6.42
−19.00	2.68	19.00	6.62
−20.00	2.63	20.00	6.82

なお，CL では視線方向によらず眼球と CL の光軸は同一と考える．また，眼鏡を通して見たときの注視野の拡大率は，輻湊への影響の逆数として見積もることができる．

5）JIS 規格

(1) 眼鏡に関連する JIS 規格

JIS(日本産業規格)は産業標準化法に基づき制定された

表 Ⅱ-2-4-4 眼鏡装用時の必要輻湊量(裸眼に対する比)と注視野拡大率

近視			遠視		
眼鏡屈折力［D］	必要輻湊量比	注視野拡大率	眼鏡屈折力［D］	必要輻湊量比	注視野拡大率
−5.00	0.889	1.125	5.00	1.143	0.875
−6.00	0.870	1.150	6.00	1.176	0.850
−7.00	0.851	1.175	7.00	1.212	0.825
−8.00	0.833	1.200	8.00	1.250	0.800
−9.00	0.816	1.225	9.00	1.290	0.775
−10.00	0.800	1.250	10.00	1.333	0.750
−11.00	0.784	1.275	11.00	1.379	0.725
−12.00	0.769	1.300	12.00	1.429	0.700
−13.00	0.755	1.325	13.00	1.481	0.675
−14.00	0.741	1.350	14.00	1.538	0.650
−15.00	0.727	1.375	15.00	1.600	0.625
−16.00	0.714	1.400	16.00	1.667	0.600
−17.00	0.702	1.425	17.00	1.739	0.575
−18.00	0.690	1.450	18.00	1.818	0.550
−19.00	0.678	1.475	19.00	1.905	0.525
−20.00	0.667	1.500	20.00	2.000	0.500

日本の国家規格であり，また，ISO(国際標準化機構)規格とも整合性が図られている．製品・サービスがこれらの規格に適合することで，ある程度の品質レベルを担保し，グローバルな流通を円滑にする．ただし，規格に適合しない製品の製造・販売・使用・適合しない方法での使用などを禁ずるものではない．むしろ，技術の進歩は規格に先行するのが常であり，これらの規格は定期的に見直しが行われている．近年改訂された眼鏡関連の規格も，従来の規格の枠に収まらない新しいレンズが増えてきたことへの対応が大きな目的である．

JISC日本産業標準調査会のJIS検索[1]より，眼鏡および眼鏡処方と関連が深いと思われる規格をピックアップし，表Ⅱ-2-5-1にまとめた．まず，これら規格内で用いられている用語の定義を与えているJIS T 7330[2]において，眼鏡処方に関わって注意すべき用語を取り上げて解説する．次に，これらの中から，特に眼鏡の光学的品質に関わりの深いJIS T 7313[3]，7315[4]，7337[5]について，要点をまとめて紹介する．

(2) JIS T 7330:2022 眼鏡レンズの用語

《対応国際規格 ISO 13666:2019, Ophthalmic optics — Spectacle lenses — Vocabulary(一部修正有り)》

この規格は，セミフィニッシュト眼鏡レンズブランク，フィニッシュト眼鏡レンズ及びフィッティングに関連した眼光学の用語及びその定義について規定している．2000年の規格制定以来20年余が経過し，最新の技術水準に合わせるべくこのたび(2022年)の改訂が行われ，85語の追加で，計258語の定義が与えられている．それらすべてを本稿で取り上げることはできないが，特に眼鏡処方に関わって注意すべき用語を以下に取り上げて解説する．用語に先行する数字は規格内の項目番号で，右肩に*がある用語はこのたびの改訂で追加された用語である．

① レンズの分類に関する用語

・3.7.2 姿勢指定付き単焦点レンズ*：一般的には複雑な表面形状をもち，注文された仕様に基づいて正確に位置決めする必要のある単焦点レンズで，かつ，永久アライメント基準マークをもつレンズ
・3.7.7 屈折力変化レンズ*：レンズの一部又は全体の焦点屈折力が滑らかに変化して，不連続点がなく，一つ以上の焦点屈折力を供与するよう設計されたレンズ
・3.7.8 累進屈折力レンズ，PPL，累進レンズ，PAL：二つの焦点屈折力の測定基準点があり，一般的には屈折補正と遠用から近用まで鮮明な視野とを供与するよう老視のために設計された屈折力変化レンズ
・3.7.9 逆進屈折力レンズ*：屈折力変化レンズの中で，近方視のための主参照基準点をもち，近方からより遠い距離まで鮮明な視覚を供与するよう設計されたレンズ

［解説］姿勢指定付き単焦点レンズは，装用位置を考慮した個別設計レンズが典型であるが，それに限定されるものではない．例えば，レンズ上部では遠方視，レンズ下部では近方視に適した収差補正をした単焦点レンズなども含まれる．従来，JIS T 7315は累進屈折力レンズ(遠近累進・中近累進・遠中累進など)が適用範囲であったが，逆進屈折力レンズ(近々累進・近用ワイド)や調節サポート・アシストレンズも包括するようになり，これらを総称して屈折力変化レンズの定義が与えられた．

② 屈折力測定位置に関する用語

・3.2.20 遠用部測定基準点：遠用部の確認屈折力が適用されるレンズの前面上の点
・3.2.21 近用部測定基準点*：近用部の確認屈折力が適用されるレンズの前面上の点

表 Ⅱ-2-5-1　眼鏡に関連する JIS 規格

規格番号	規格名称	主務大臣	制定年月日	最新改正年月日	最新確認年月日
JIS B 1119	眼鏡枠用小ねじ及びナット	経済産業	1986/08/01	1995/03/01	2020/10/20
JIS B 7090	光学及び光学機器－基準波長	経済産業	1999/11/20		2020/10/20
JIS B 7183	レンズメータ	経済産業	1953/11/07	1995/12/01	2020/10/20
JIS B 7280	眼鏡光学－眼鏡フレーム－用語	経済産業	1987/04/01	2006/03/25	2020/10/20
JIS B 7281	眼鏡光学－眼鏡フレーム－寸法測定方式及び用語	経済産業	1990/02/01	2003/07/20	2018/10/22
JIS B 7284	眼鏡枠用溶接丁番	経済産業	1997/12/20		2020/10/20
JIS B 7285	眼鏡フレーム－基本的要求事項及びその試験方法	経済産業	2001/03/20	2016/03/22	2020/10/20
JIS B 7286	眼鏡光学－玉型板	経済産業	2006/03/25		2020/10/20
JIS B 7287-1	眼鏡フレーム及びサングラスの電子カタログ及び識別子－第１部：製品の識別子及び電子カタログ製品の階層	経済産業	2015/10/20		2020/10/20
JIS B 7287-2	眼鏡フレーム及びサングラスの電子カタログ及び識別子－第２部：商業情報	経済産業	2017/05/22		2022/10/20
JIS B 7287-3	眼鏡フレーム及びサングラスの電子カタログ及び識別子－第３部：技術情報	経済産業	2017/05/22		2022/10/20
JIS T 4402	検眼レンズ－屈折検査用	厚生労働	1950/04/28	2002/08/01	2019/10/25
JIS T 7313	屈折補正用単焦点眼鏡レンズ及び多焦点眼鏡レンズ	厚生労働	1988/11/04	2020/03/01	2018/10/25
JIS T 7315	屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ	厚生労働	1988/11/04	2020/03/01	2018/10/25
JIS T 7330	眼鏡レンズの用語	厚生労働	2000/10/18	2022/10/01	2019/10/25
JIS T 7331	屈折補正用眼鏡レンズの基本的要求事項	厚生労働	2000/10/18	2018/10/01	2013/09/01
JIS T 7333	屈折補正用眼鏡レンズの透過率の仕様及び試験方法	厚生労働	2005/03/25	2018/10/01	2014/10/25
JIS T 7334	屈折補正用眼鏡レンズの反射防止膜の仕様及び試験方法	厚生労働	2005/03/25	2011/07/29	2021/10/25
JIS T 7335	眼鏡レンズ製造システム間の情報交換	経済産業，厚生労働	2005/03/25		2020/10/26
JIS T 7336	耐きず性をもつ屈折補正用眼鏡レンズの表面の要求事項	厚生労働	2011/07/29		2021/10/25
JIS T 7337	屈折補正用枠入り眼鏡レンズ	厚生労働	2020/03/01		
JIS Z 8120	光学用語	経済産業	1978/08/01	2001/04/20	2020/10/20

・3.2.22 主参照基準点*：屈折力変化レンズの前面上に，レンズの設計上の主要な用途のために確認屈折力が適用された点
・3.2.23 副参照基準点*：屈折力変化レンズの前面上に，レンズの設計上の副次用途のために確認屈折力が適用された点

［解説］累進屈折力レンズと逆進屈折力レンズが屈折力変化レンズとして包括されたことで，主たる屈折力が遠用部とは一概にいえなくなった．そこで改めて，主参照基準点・副参照基準点という用語を定義し，累進屈折力レンズの場合には主参照基準点が遠用部測定基準点，逆進屈折力レンズの場合には主参照基準点が近用部測定基準点，という規格体系になった．ほとんどの累進屈折力レンズは副参照基準点(近用部測定基準点)を持ち，変化屈折力(加入屈折力)が0.25Ｄステップで製造され，変化屈折力の許容差が適用されている．

調節サポートレンズあるいはアシストレンズと称される屈折力変化レンズや逆進屈折力レンズの多くは副参照基準点を持たず，変化屈折力の程度に応じた呼称(タイプＡ・タイプＢなど)を用い，変化屈折力の許容差適用外である．

③ フィッティングに関する用語

・3.2.37 装用時前傾角：第一眼位方向を含む垂直平面内において，眼鏡フレームの上下のリムの溝の頂点を通過する基準線に対する垂直線と地平線(水平線)との間の垂直方向の角度(図Ⅱ-2-5-1 参照)
・3.2.38 装用時そり角*：第一眼位方向を含む水平平面内において，眼鏡フレームの鼻側及び耳側のリムの溝の頂点を通過する基準線に対する垂直線と第一眼位方向との間の水平方向の角度(図Ⅱ-2-5-2 参照)
・3.2.40 頂点間距離，装用距離：眼が第一眼位にある状態で測定したレンズの後面と角膜頂点との水平距離(図Ⅱ-2-5-1 参照)

［解説］個別設計レンズの普及に伴い，フィッティングに関する用語が整備された．装用時前傾角および頂点間距離は2022年の規格改訂前からあった用語であるが，このたびの改訂で定義が変わった．装用時前傾角の以前の定義は，レンズ光軸と第１眼位方向のなす角であったが，レンズ光軸は計測困難なことが多く，より実際的に，眼鏡フレームの溝の位置を基準に定義するようになった．新たに追加された装用時そり角も，同様に，眼鏡フレームの溝位置基準で定義されている．頂点間距離の以前の定義は，眼鏡フレームのフロント部に垂直な方向でのレンズ後面と角膜頂点の距離であったが，水平方向(第１眼位方向)での距離に変更された．装用時前傾角と装用時そり角の符号は，図Ⅱ-2-5-1，2 の状態が正である．図Ⅱ-2-5-2 の記号 6 を慣習的に「そり角」とする流儀もあるようだが，左右別々に扱えず，第１眼位視線との関係も明らかでないので，今後は JIS の定義に合わせていくべきと思われる．また，該規格に「3.2.39 フロント角，そり角」の定義もあるが，これは眼鏡フレームに関するものであり，装用位置に関するものではない．

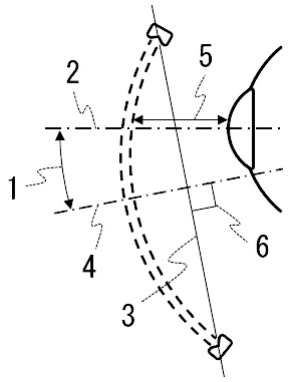


図 Ⅱ-2-5-1 装用時前傾角及び頂点間距離(JIS T 7330 の図 3).
1：装用時前傾角，2：第一眼位方向(水平とみなす)，3：瞳を通る垂直平面上のフレームリムの溝の頂点間を結ぶ基準線，4：基準線 3 に垂直な線，5：頂点間距離(第一眼位方向 2 の線上)，6：直角(90°).

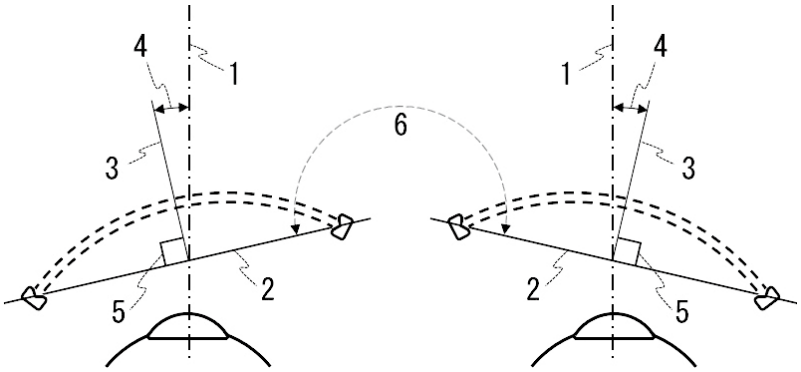


図 Ⅱ-2-5-2 装用時そり角(JIS T 7330 の図 4).
1：第一眼位方向，2：基準線，3：基準線に垂直な線，4：左右の装用時そり角，5：直角(90°)，6：慣習的なそり角(筆者追補).

④ 屈折力に関する用語

・3.10.13 処方屈折力*：屈折検査によって決定された，装用者の視覚を補正・補償するために指定された屈折度数
・3.10.14 注文屈折力*：製造業者に対する注文時に指定された屈折度数
・3.10.15 確認屈折力*：レンズメータでの確認用に製造業者によって特別に計算され提供されるレンズの屈折度数
・3.10.16 測定屈折力：指定された方法でレンズ上の指定された点において測定した屈折度数

［解説］図Ⅱ-2-5-3 は，処方屈折力・注文屈折力・確認屈折力・測定屈折力の間の関係を示したものである．JIS T 7330 は国際規格 ISO 13666 を翻訳したものであるため，日本の眼鏡処方事情とはマッチしない点がある．日本では眼鏡処方箋に記載された内容を眼鏡店が独自の判断で変更することは認められていないため，注文屈折力と処方屈折力は基本的に同じである．製造業者がレンズとともに提供する確認屈折力は，装用状態で処方屈折力を実現すべく設計されたレンズをレンズメータで測定した際に期待される屈折力であって，処方屈折力の変更ではない．レンズ袋などの添付文書に確認屈折力が表示されたレンズにおいては，測定屈折力と確認屈折力の差に対して許容差が適用される．確認屈折力の表示がなければ，確認屈折力と注文屈折力は同じとみなし，測定屈折力と注文屈折力の差に対して許容差が適用される．

(3) JIS T 7313:2020 屈折補正用単焦点眼鏡レンズおよび多焦点眼鏡レンズ

《対応国際規格 ISO 8980-1:2017, Ophthalmic optics — Uncut finished spectacle lenses — Part 1：Specifications for single-vision and multifocal lenses》

この規格は，玉形加工前の単焦点眼鏡レンズ及び多焦点眼鏡レンズの光学的特性及び幾何学的特性に関する要求事項及び測定方法について規定している．光学的特性はレンズメータを用いて測定し，光学的許容差は参照基準点(測定基準点)において測定屈折力と確認屈折力(製造業者が確認屈折力を表示していない場合は注文屈折力)の差に適用する．

後面頂点屈折力は，主参照基準点で被検レンズの後面をレンズメータのレンズ当てに当て付けて測定し，表Ⅱ-

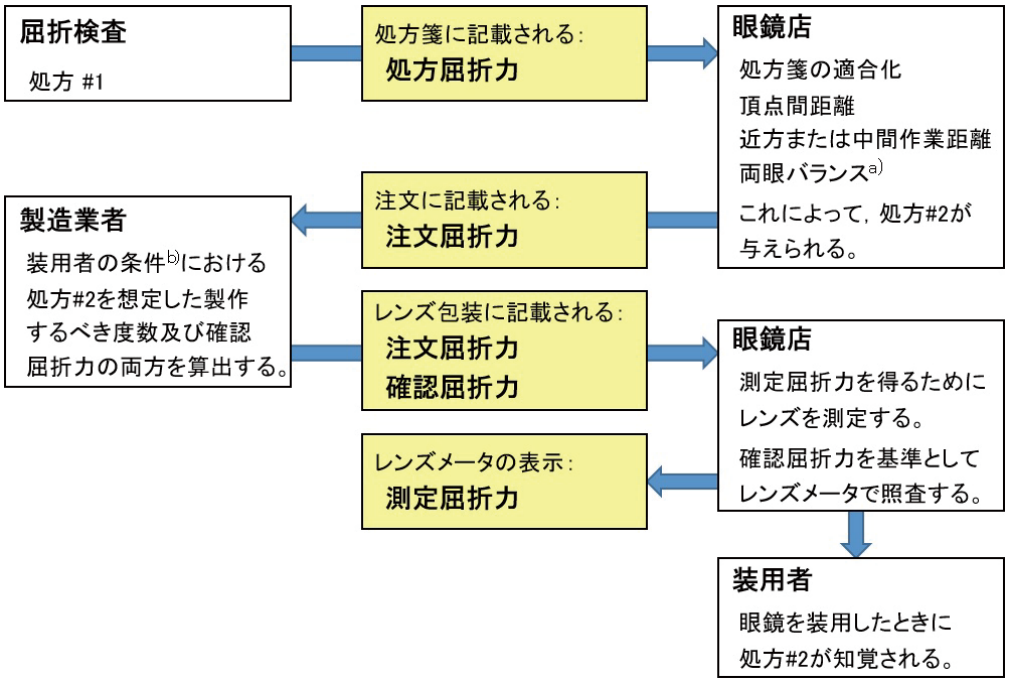


図 Ⅱ-2-5-3　各種の屈折力の間の関係の例(JIS T 7330 の図 8).
注 a)幾つかの国では，眼鏡を調整する人が処方屈折力に改良を加えてもよい.
注 b)装用位置及び選択された作業距離及び生理学的要因のようなその他の適用可能なパラメータ.

表 Ⅱ-2-5-2　単焦点レンズ及び多焦点レンズの後面頂点屈折力の許容差(JIS T 7313 の表 1，JIS T 7337 の表 1)

絶対値で大きい方の主経線後面頂点屈折力[a)] [D]	両主経線の後面頂点屈折力の許容差 [D]	乱視屈折力の表示値に対する許容差 [D]			
		0.00 以上 0.75 以下	0.75 を超え 4.00 以下	4.00 を超え 6.00 以下	6.00 を超えるもの
0.00 以上　3.00 以下	±0.12	±0.09	±0.12	±0.18	−
3.00 を超え　6.00 以下	±0.12	±0.12	±0.12	±0.18	±0.25
6.00 を超え　9.00 以下	±0.12	±0.12	±0.18	±0.18	±0.25
9.00 を超え 12.00 以下	±0.18	±0.12	±0.18	±0.25	±0.25
12.00 を超え 20.00 以下	±0.25	±0.18	±0.25	±0.25	±0.25
20.00 を超えるもの	±0.37	±0.25	±0.25	±0.37	±0.37

注[a)] 球面屈折力の表示値を S，乱視屈折力の表示値を C としたとき，両主経線の後面頂点屈折力の絶対値｜S｜又は｜S+C｜で大きい方の値を採用する。

2-5-2 の許容差内であることが求められている.

乱視軸方向は，姿勢指定付き単焦点レンズの場合にはアライメント基準マークによって決定する水平線を基準に，多焦点レンズの場合には小玉の位置・姿勢によって決まる水平線を基準に，そのいずれでもなくプリズム処方がある場合にはプリズム基底方向を基準に，表Ⅱ-2-5-3 の許容差内であることが求められている．姿勢指定もプリズム処方もない単焦点レンズ，および 0.12 D 以下の乱視屈折力のレンズにおいては，乱視軸方向の要求はない.

多焦点レンズの加入屈折力は，図Ⅱ-2-5-4 に示す測定基準点Ｄと測定基準点Ｎにおいて，小玉のある側の面(または製造業者が指定する面)をレンズメータのレンズ当てに当て付けて測定し，その差を加入屈折力とし，表Ⅱ-2-5-4 の許容差内であることが求められている.

プリズム屈折力およびプリズム基底方向は，測定基準点で被検レンズの後面をレンズメータのレンズ当てに当て付けて測定する．姿勢指定のない単焦点レンズでは，プリズム基底方向の要求はなく，プリズム屈折力が表Ⅱ-2-5-5 の第２列の許容差内であることが求められている．姿勢指定付き単焦点レンズの場合にはアライメント基準マークを基準に，多焦点レンズの場合には小玉の位置・姿勢を基準に，プリズム屈折力を水平成分および垂直成

表 Ⅱ-2-5-3 乱視軸方向の許容差(JIS T 7313 の表 2，JIS T 7315 の表 2)

乱視屈折力の絶対値 [D]	0.12 未満	0.12 以上 0.25 以下	0.25 を超え 0.50 以下	0.50 を超え 0.75 以下	0.75 を超え 1.50 以下	1.50 を超えるもの
乱視軸方向の表示値に対する許容差［°］	要求事項なし	±14	±7	±5	±3	±2

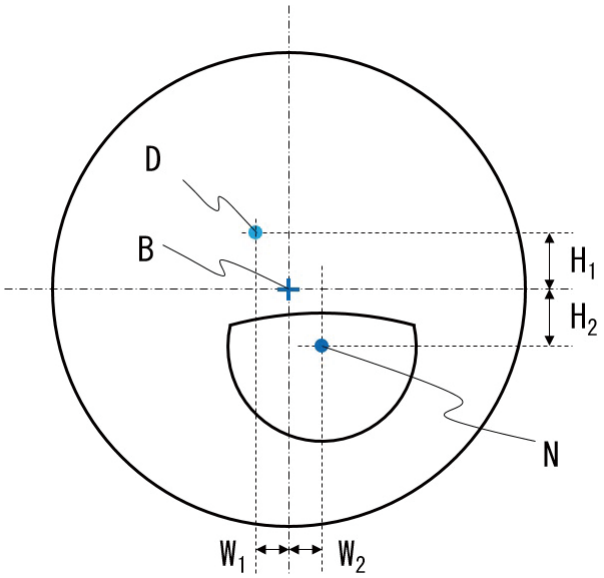


図 Ⅱ-2-5-4 多焦点レンズの加入屈折力の測定(JIS T 7313 の図 1)．
B：遠用部測定基準点，D：遠用部屈折力の測定基準点，N：近用部屈折力の測定基準点．
W1，W2：距離 W1 と距離 W2 とは等しい．H1，H2：距離 H1 と距離 H2 とは等しい．

表 Ⅱ-2-5-4 加入屈折力又は変化屈折力の許容差(JIS T 7313 の表 3，JIS T 7315 の表 3，JIS T 7337 の表 4)

加入又は変化屈折力の表示値 [D]	4.00 以下	4.00 を超えるもの
表示値に対する許容差 [D]	±0.12	±0.18

分に分け，それぞれが表Ⅱ-2-5-5 の第 3 列および第 4 列の許容差内であることが求められている．

(4) JIS T 7315:2020 屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ《対応国際規格 ISO 8980-2:2017, Ophthalmic optics — Uncut finished spectacle lenses — Part 2：Specifications for power-variation lenses》

この規格は，玉形加工前の屈折力変化眼鏡レンズの光学的特性及び幾何学的特性に関する要求事項及び測定方法について規定している．累進屈折力レンズ(遠近累進，中近累進，遠中累進など)，逆進屈折力レンズ(近々累進)，調節サポートレンズなどもこの規格の適用範囲に含まれる．光学的特性はレンズメータを用いて測定し，光学的許容差は参照基準点(測定基準点)において測定屈折力と確認屈折力(製造業者が確認屈折力を表示していない場合は注文屈折力)の差に適用する．

後面頂点屈折力は，主参照測定基準点で被検レンズの後面をレンズメータのレンズ当てに当て付けて測定し，表Ⅱ-2-5-6 の許容差内であることが求められている．

乱視軸方向は，アライメント基準マークによって決定する水平線を基準に，表Ⅱ-2-5-3 の許容差内であることが求められている．0.12 D 以下の乱視屈折力のレンズにおいては，乱視軸方向の要求はない．

変化屈折力(加入屈折力を含む)は，主参照基準点と副参照基準点において測定基準面をレンズメータのレンズ当てに当て付けて測定し，その差を変化屈折力とし，表Ⅱ-2-5-4 の許容差内であることが求められている．副参照基準点の明示は必須ではなく，副参照基準点が明示されていない場合は変化屈折力の許容差は適用されない．測定基準面とは面屈折力変化のある側の面であり，外面累進では前面(外面)，内面累進では後面(内面)，両面累進ではより大きな面屈折力変化のある面または製造業者によって指定された側の面である．ただし，JIS 規格は測定基準面を明示することまでは求めていないため，製造業者によってはレンズの添付文書に測定基準面の記載がない．その場合も，ほとんどの両面累進は内面を測定基準面としているようであり，疑義がある場合は製造業者

表 Ⅱ-2-5-5　プリズム屈折力の許容差(JIS T 7313 の表 4，JIS T 7315 の表 4)

水平方向及び垂直方向のプリズム屈折力のうちの大きい方の値［△］	許容差［△］		
	姿勢指定がない単焦点レンズ	姿勢指定付き単焦点レンズ 及び 多焦点レンズ 及び 屈折力変化レンズ	
		水平方向	垂直方向
0.00 以上　2.00 以下	±[0.25＋(0.1×S)]	±[0.25＋(0.1×S)]	±[0.25＋(0.05×S)]
2.00 を超え 10.00 以下	±[0.37＋(0.1×S)]	±[0.37＋(0.1×S)]	±[0.37＋(0.05×S)]
10.00 を超えるもの	±[0.50＋(0.1×S)]	±[0.50＋(0.1×S)]	±[0.50＋(0.05×S)]

注記1 S は，主経線の屈折力の絶対値が大きい方の焦点屈折力である。
注記2 (0.1×S) は，偏位 0.1cm（1mm）のプリズム作用に相当するのに対し，
(0.05×S) は，偏位 0.05cm（0.5mm）のプリズム作用に相当する。

表 Ⅱ-2-5-6　屈折力変化レンズの主参照基準点における後面頂点屈折力の許容差(JIS T 7315 の表 1，JIS T 7337 の表 2)

絶対値で大きい方の主経線後面頂点屈折力[a)] [D]	両主経線の後面頂点屈折力の許容差 [D]	乱視屈折力の表示値に対する許容差 [D]			
		0.00 以上 0.75 以下	0.75 を超え 4.00 以下	4.00 を超え 6.00 以下	6.00 を超えるもの
0.00 以上　6.00 以下	±0.12	±0.12	±0.18	±0.18	±0.25
6.00 を超え　9.00 以下	±0.18	±0.18	±0.18	±0.18	±0.25
9.00 を超え 12.00 以下	±0.18	±0.18	±0.18	±0.25	±0.25
12.00 を超え 20.00 以下	±0.25	±0.18	±0.25	±0.25	±0.25
20.00 を超えるもの	±0.37	±0.25	±0.25	±0.37	±0.37

注[a)] 球面屈折力の表示値を S，乱視屈折力の表示値を C としたとき，両主経線の後面頂点屈折力の絶対値｜S｜又は｜S＋C｜で大きい方の値を採用する。

に問い合わせる．

プリズム屈折力およびプリズム基底方向は，プリズム測定基準点で被検レンズの後面をレンズメータのレンズ当てに当て付けて測定し，アライメント基準マークを基準にプリズム屈折力を水平成分および垂直成分に分け，それぞれが表Ⅱ-2-5-5の第3列および第4列の許容差内であることが求められている．

(5) JIS T 7337:2020 屈折補正用枠入り眼鏡レンズ
《対応国際規格 ISO 21987:2017, Ophthalmic optics — Mounted spectacle lenses(一部修正有り)》

この規格は，指示に基づいて枠入れされた屈折補正用眼鏡レンズについて規定している．

枠入り眼鏡レンズにおいて，枠入れ前後で変わる要因のない後面頂点屈折力・変化屈折力・プリズム屈折力に対する許容差は，レンズ単体の場合と共通である．乱視軸方向・プリズム屈折力の水平垂直成分・プリズムインバランス(左右の相対プリズム誤差)・枠入れ位置・傾きに対して追加の規定がある．

乱視軸方向は，レンズ単体の場合にはアライメント基準マークで決まるレンズごとの水平線が基準であったが，枠入り眼鏡では眼鏡フレームの水平方向中心線が基準となり，表Ⅱ-2-5-7の許容差以内であることが求められている．レンズメータで測定する際に，眼鏡フレームの下端をレンズメータの眼鏡受け台に当て付けて測定するので，実質的には眼鏡フレーム下端を結ぶ直線が基準となる．

姿勢指定のない単焦点レンズおよび多焦点レンズのプリズムインバランスは，表Ⅱ-2-5-8の許容差内であることが求められている．この表の適用方法や測定方法に関しては，JIS T 7337およびその附属書JBに詳しく書かれているので，そちらを参照されることをお勧めする．

多焦点レンズまたはアライメント基準マークのあるレンズの枠入れ位置の期待された位置に対する水平・垂直位置誤差は各±1 mm以内であり，多焦点レンズの小玉の傾斜またはアライメント基準マークを結ぶ直線の眼鏡フレームを基準とする水平線に対する傾斜は±2° 以内であることが求められている．

文　献

1) JISC 日本産業標準調査会：「JIS 検索」. https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISSearch.html, (Accessed 2024 年 2 月 22 日).
2) 日本産業標準調査会：JIS T 7330：2022　眼鏡レンズの用語．日本規格協会，東京，2022.
3) 日本産業標準調査会：JIS T 7313：2020　屈折補正用単焦点眼鏡レンズ及び多焦点眼鏡レンズ．日本規格協会，東京，2020.

表 Ⅱ-2-5-7 乱視軸方向の許容差(JIS T 7337 の表 3)

乱視屈折力の絶対値［D］	0.12 未満	0.12 以上 0.25 以下	0.25 を超え 0.50 以下	0.50 を超え 0.75 以下	0.75 を超え 1.50 以下	1.50 を超え 2.50 以下	2.50 を超えるもの
乱視軸方向の表示値に対する許容差［°］	なし	±16	±9	±6	±4	±3	±2

表 Ⅱ-2-5-8 単焦点レンズ(姿勢指定付き単焦点レンズを除く)及び多焦点レンズのプリズムインバランス(左右のプリズム相対誤差)の許容差(JIS T 7337 の表 5)

水平及び垂直のより大きい方のプリズム成分の値	許容差［△］ 心取り点，すなわち，注文された点でのプリズムディオプトリ			
	水平成分のプリズム許容差		垂直成分のプリズム許容差	
	屈折力が 0.00 以上 3.37 D 以下	屈折力が 3.37 D より大きい	屈折力が 0.00 以上 5.00 D 以下	屈折力が 5.00 D より大きい
0.00 以上 2.00 以下	±0.67	±(0.2×S)	±0.50	±(0.1×S)
2.00 を超え 10.00 以下	±1.00	±[0.33+(0.2×S)]	±0.75	±[0.25+(0.1×S)]
10.00 を超えるもの	±1.25	±[0.58+(0.2×S)]	±1.00	±[0.50+(0.1×S)]

注記1 これらの許容差は，レンズのペアの絶対値で最大の主経線屈折力S によって決まる。
注記2 (0.2×S) は 0.2cm (2mm) 偏位のプリズム作用に相当し，
(0.1×S) は 0.1cm (1mm) 偏位のプリズム作用に相当する。

4) 日本産業標準調査会：JIS T 7315：2020 屈折補正用屈折力変化眼鏡レンズ．日本規格協会，東京，2020.
5) 日本産業標準調査会：JIS T 7337：2020 屈折補正用枠入り眼鏡レンズ．日本規格協会，東京，2020.

6）乱視の統計処理

(1) 乱視の倍角表示

乱視は，2つの主経線における屈折力の差(円柱成分，乱視量)と，乱視軸の方向の組み合わせで表される．統計処理を行う際には，乱視軸の方向は0～180°の範囲なので，その方向をそのまま用いて統計的な解析を行おうとすると(例えば，弱主経線方向の度数と乱視軸の方向の分布を二次元の図で表そうとすると)，180～360°の範囲で不連続となる．そこで，乱視軸の方向を2倍にして図Ⅱ-2-6-1のような座標系で表示するとベクトル座標系を利用できる[1)]．

(2) 倍角表示への変換

前項のような座標系を極座標と呼ぶが，この座標系に円柱度数や軸方向を表示する際に，円柱度数 *Cyl* と軸方向 *Ax* に次のような変換を施すとデータ処理が容易になる．

$$ASp = Cyl \times \cos(2 \times Ax),\quad ASq = Cyl \times \sin(2 \times Ax) \quad (1, 2)$$

プラス円柱表示で変換を行ったほうが直感的には分かりやすくなるが，マイナス円柱表示でも変換は可能である．例えば，あえてCyl－1.00 D Ax 30°でデータ処理を行う場合，それぞれ次の値となる．

$$ASp = -1.00 \times \cos(2 \times 30^\circ) = -0.500 \quad (3)$$

$$ASq = -1.00 \times \sin(2 \times 30^\circ) = -0.866 \quad (4)$$

これを横軸 *ASp*，縦軸 *ASq* の座標で打点すると図Ⅱ-2-6-2のようになる．図Ⅱ-2-6-1の乱視軸を倍角にした座標系では120°に相当する位置(図上の実際の角度では240°の位置)に打点されるが，点線で示したCyl＋1.00 D Ax 30°の逆側になっていることで，Ax 30°の円柱度数が－1.00 Dであると読み取ることになる．

また，直線で示された原点からの距離が円柱度数の絶対値となっている．この長さは *ASp* と *ASq* の2乗和の正の平方根でもある．それぞれの長さを辺とした長方形の対角線の長さ，あるいはそれぞれの長さを底辺高さとした直角三角形の斜辺の長さということになり，この例では＋1.00という値が求まる．

上記のような例の場合や，残余乱視で円柱度数を正の平方根で求めたときや，次項で示す統計処理を行う際に軸方向を求めるには，*ASp*，*ASq* の座標値を求めて，その値からExcelのATAN2関数を用いて倍角の値を求め，半分にすることになる．ATAN2関数を用いると，この座標系においては－180～＋180°の間の主値，すなわち3時方向からの狭いほうの角度を求めることになる．その値は倍角表示で－120°となるので，半値を求めれば軸方向 Ax－60°という結果が得られる．

$$0.5*\mathrm{DEGREES}(\mathrm{ATAN2}(-0.500,\ -0.866)) = -60 \quad (5)$$

軸方向をプラスにしたい場合は180°を加えてAx 120°とする．なお，この値は例として用いたCyl－1.00 D Ax 30°をプラス円柱表示に度数転換したCyl＋1.00 D Ax

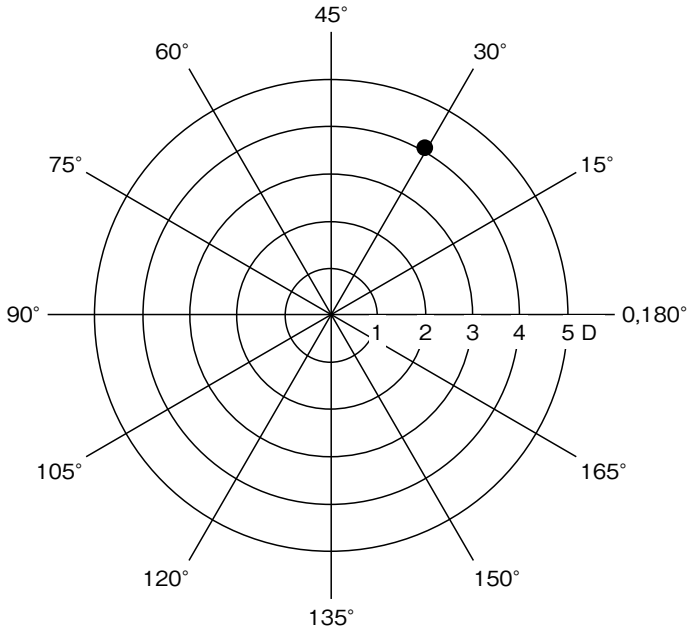


図 Ⅱ-2-6-1　乱視軸を倍角にした座標系による乱視の表示.
●印は乱視軸が 30° の斜乱視.

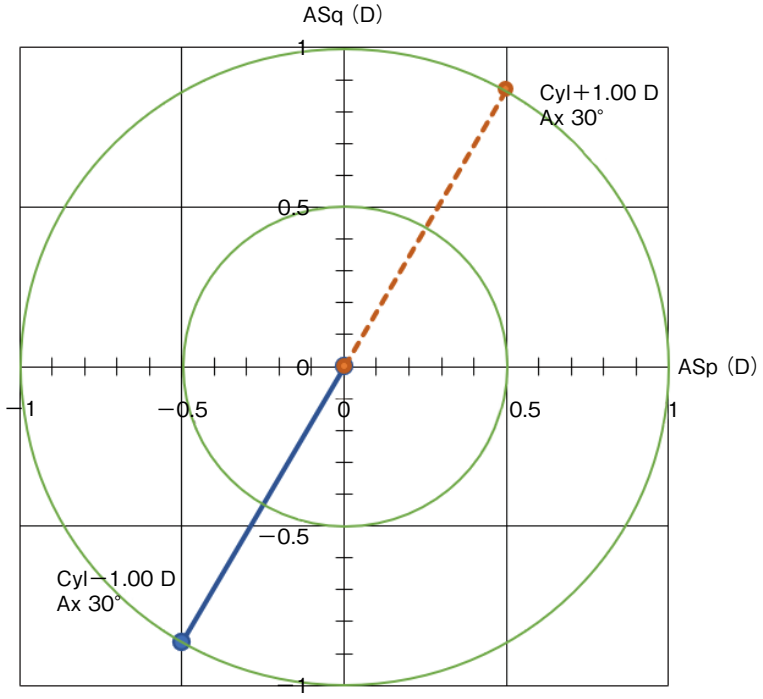


図 Ⅱ-2-6-2　乱視軸を倍角にした座標系による乱視の表示例.

120° の軸方向を求めたことになる．マイナス円柱表示に戻すためにはさらに度数転換を行って Ax 30° を求めることになる．

あるいは次のようにも説明できる．いま，ATAN2 関数を用いて半値にせず倍角の値を求めた値が－120° の場合は，図Ⅱ-2-6-2 では時計回りの図上の実際の角度を求めたことになるので，360 を加えて反時計回りの角度 240° に直して，その半値を求めるとプラス円柱表示の Cyl+1.00 D Ax 120° の軸方向を求めたことになる．直線で示された原点からの距離が円柱度数の絶対値なので，その値がそのままプラス円柱度数となる．やはり，度数転換を行ってマイナス円柱表示に戻す必要がある．

以上のように，マイナス円柱表示でも倍角表示に変換すると，データ処理は可能だが直感的には分かりづらくなる．図からは度数転換したプラス円柱表示で読み取るほうが容易である．次項のようにマイナス円柱表示から

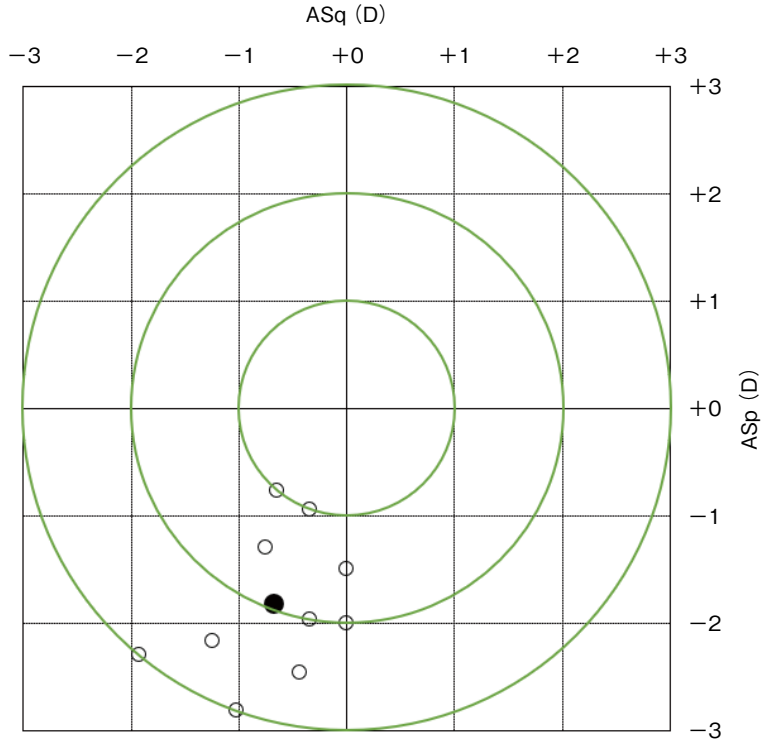


図 Ⅱ-2-6-3　乱視 10 眼の分布の例.
黒点は *ASp*，*ASq* のそれぞれの座標値の平均.

表 Ⅱ-2-6-1　乱視 10 眼の例

	Sph	Cyl	*Ax*	*ASp*	*ASq*
測定値	−3.25	−1.00	25	−0.643	−0.766
	−3.50	−1.50	30	−0.750	−1.299
	−3.75	−3.00	35	−1.026	−2.819
	−4.00	−2.50	40	−0.434	−2.462
	−4.25	−2.00	45	−0.000	−2.000
	−3.25	−2.50	30	−1.250	−2.165
	−3.50	−3.00	25	−1.928	−2.298
	−3.75	−1.50	45	−0.000	−1.500
	−4.00	−2.00	40	−0.347	−1.970
	−4.25	−1.00	35	−0.342	−0.940
平均値	−3.750	+1.942	−55.1	−0.67206	−1.82187
標準偏差	0.354	0.854		0.567	0.638

ASp と *ASq* に変換して計算を行った場合でもプラス円柱表示の結果が算出されるため，最初から度数転換を行ってプラス円柱表示を用いて変換したほうが直感的には分かりやすくなる.

(3) 乱視の統計処理の実際

ここでも表Ⅱ-2-6-1 のような，あえてマイナス円柱表示の乱視10眼のデータを例にして説明する．前項と同様に，式(1，2)の値をそれぞれ求める．これらの値は図Ⅱ-2-6-3 のような分布になる.

平均値を求めたい場合は，球面度数Sph はそのまま平均を求めても構わないが，円柱度数 Cyl の平均は *ASp*，*ASq* のそれぞれの座標値の平均を求め，それらの 2 乗和の平均を求めることになる．図Ⅱ-2-6-3 には *ASp*，*ASq* のそれぞれの座標値の平均を黒点で示しているが，この点の原点からの距離を求めることになる．前項でも説明したように，原点と黒点の間を対角線あるいは斜辺とみなして，その長さを求めると円柱度数の分布の平均値ということになる．表Ⅱ-2-6-1 では正の値で求めているので，図Ⅱ-2-6-2 でいえば，点線のほうの長さを求めたことになる.

また，軸方向の平均値は図Ⅱ-2-6-3 の黒点と原点を結んだ線の角度を求めることになるが，*ASp*，*ASq* の平均値から Excel の ATAN2 関数を用いて約 −125° ほどの値を求め，これは倍角なので，その半分の値にした −55.1° が表には示されている(Excel では最初からそのような数式にしておく)．180 を加えるとプラス円柱の場合の軸方向 124.9° が求まる．度数転換を行えばマイナス円柱の度数と軸方向 34.9° が得られる．前項でも述べたように，先に度数転換を行ってプラス円柱表示にしてから処理をしても同じ結果が得られる.

文　献

1) 所　敬：屈折異常とその矯正　第 7 版．金原出版，東京，112-113，2019.