

卓上式拡大鏡と眼間距離の変化に応じた等価屈折力簡易計算法

田邊 正明

日本ライトハウス養成部

日本ロービジョン学会誌

Journal of Japanese Society for Low-vision Research and Rehabilitation

卓上式拡大鏡と眼間距離の変化に応じた等価屈折力簡易計算法

田邊正明

日本ライトハウス養成部

Simplified Calculation of Equivalent Viewing Power for a Stand Magnifier

Tadaaki Tanabe

Welfare Center for the Blind, Nippon Lighthouse

目的：卓上式拡大鏡のレンズと眼間距離に応じた正視眼における調節力と拡大鏡の合成屈折力である equivalent viewing power (EVP) を求める簡易な方法を明らかにした。

方法：EVP は横倍率と調節力の積で求められる。対物レンズから物体までの距離 (s) はノギスで計測した。レンズから虚像までの距離 (s') は近見視用単眼鏡を卓上式拡大鏡の上に載せてピントを合わせた後、拡大鏡を取り外して焦点が合う距離を測定した。

結果：(s) と (s') の測定により横倍率を計算し、EVP を簡易に求められた。レンズと物体間距離の計測を簡易にするためにレンズ主点からではなくレンズ頂点からとしたため、EVP は #4208 ではレンズより 2.5cm の距離で見たとき 4.2D、10cm では 4.0D、25cm では 3.7D の誤差が生じた。

結論：簡易計算で求めた EVP はレンズに眼を近づけるにしたがって誤差が大きくなることを考慮して使用すべきである。

(日本ロービジョン学会誌 11: 88-93, 2011)

キーワード：卓上式拡大鏡, 近見視用単眼鏡, 等価屈折力, 主点

Purpose : To investigate a simplified method for calculation of the equivalent viewing power (EVP) of a stand magnifier.

Methods : The EVP was calculated by multiplying the range of accommodation by the lateral magnification. The distance between the lens and the object, labeled (s) was measured with calipers, and the distance between the lens and the virtual image, labeled (s') was indicated by the distance between the object and the objective lens of the adjustable focus telescope for near vision, which was focused by initially cascading on the magnifier.

Results : Lateral magnification was calculated using measurements of (s) and (s'), leading to easy calculation of the EVP. Correction was needed to account for using the distance between the vertex of the lens and the object instead of the distance between the principal point and the object. For the Coil #4208 magnifier, the correction values for vertex distances of 2.5 cm, 10 cm, and 25 cm were 4.2D, 4.0D, and 3.7D, respectively.

Conclusions : When the simple method we report for calculating EVP is used, an increasing correction value needs to be added for increasing vertex distance. (J Jpn Soc Low-vision Research and Rehabilitation 11: 88-93, 2011)

Key Words : Stand Magnifier, Adjustable Focus Telescope, Equivalent Viewing Power, Principal Point

緒言

卓上式拡大鏡を適切に使うためには、レンズの等価屈折力、横倍率、レンズと虚像間距離の情報が重要であるが、製品のカタログには倍率あるいは屈折力だけが記載されていることが多い。そこで小林¹⁾は、焦点距離、レンズ口径、レンズと物体間距離、レンズと虚像間距離、横倍率、眼と

レンズの距離に対応した倍率および視野を明らかにした。また、Bailey ら²⁾はレンズの等価屈折力、レンズと虚像間距離、横倍率、眼とレンズの距離に対応した equivalent viewing distance (以下 EVD)、視野のデータを調査し提供している。

小林により提供されているレンズと眼間距離の変化に応じた倍率は、検査視標の視距離が 30cm であることを考慮して、参照距離を 30cm としたときの相対的倍率が計算さ

別刷請求先：538-0042 大阪市鶴見区今津中 2-4-37 日本ライトハウス養成部 田邊正明
Reprint requests to: Tadaaki Tanabe Welfare Center for the Blind, Nippon Lighthouse
2-4-37 Imazunaka, Tsurumi-ku, Osaka 538-0042, Japan

れており、拡大鏡の倍率を計算する場合の参照距離 25cm とは異なっているためメーカーによる表示倍率と等価にはなっていない。また、Bailey らは同様の眼間距離の変化に応じたデータは EVD を用いているが、この用語は日本のロービジョンケアの臨床現場ではまだ一般的ではなく、倍率が使われているのが現状である。

EVD に関してはロービジョン学会の用語ガイドラインでは equivalent viewing power (以下 EVP) を最初に定義し、次のように説明している。

「EVP (equivalent viewing power) :

拡大鏡の倍率は、物体と拡大鏡、また拡大鏡と眼との間の距離によって変化するので、拡大鏡の屈折力だけでは決まらない。そこで、観察者が見る虚像の大きさがどの観察者でも同じになるような表示方法として、拡大鏡の屈折力と観察眼の調節力および加入度を合成した屈折力が考えられた。

従来より、2枚以上のレンズを重ね合わせたレンズを1枚のレンズで表現した屈折力は等価屈折力 (equivalent power: EP) と呼称されているが、EVP も算出方法は同じであり、観察者の見え方に重点をおいた用語として誕生した。したがって、EVP の邦訳について当用語委員会では、EP 同様「等価屈折力」と統一することを提案する。

<参考>等価屈折力

JIS (日本工業規格) T7330 「眼鏡レンズでの用語」では、等価屈折力を、「遠方の物体に対して実際のレンズによって結像される像と同じ大きさの像を結像する、厚さが無限に薄いレンズの屈折力」と定義している。

EVD (equivalent viewing distance) :

EVP の逆数が EVD であり、拡大鏡によって生じた物体の虚像の大きさと同じ大きさに見えるように物体を眼前に置いた場合の眼からの距離をいう。EVD にも邦訳はないが、当用語委員会では「等価距離」を提案する。」

つまり、倍率が拡大鏡の屈折力だけを変数とするため、その製品固有の性質をあらわすのに対し、EVP は眼の調節力、屈折異常値を含めた拡大鏡の合成屈折力をあらわすことになるのである。言い替えると、物体が合成光学系の物側焦点に位置することになり、拡大鏡の倍率の基本式をあてはめることができるので、倍率は EVP/4、あるいは (EVP/4) + 1 と記述できる。

ロービジョン学会の用語ガイドラインでは、EVP と EP は計算式が同じであるため同じ「等価屈折力」という用語を用いることを提唱しているが、本稿では正視眼における調節力と拡大鏡の屈折力の合成屈折力である等価屈折力を EVP、単レンズの等価屈折力を EP と表現し、区別した。

臨床現場で小林、Bailey により作成されたデータの表を利用することはいうまでもないが、卓上式拡大鏡には様々な種類があり、すべてのデータを表にするのは困難である。

本稿では、自覚的な見え方を正確にあらわすことができ、更に普遍的な単位であるディオプトリで表記される利点があるので、レンズと眼間距離に応じた見え方の変化の表記には倍率ではなく EVP を用いた。その数値を求めるために必要な変数であるレンズと虚像間距離は、臨床現場で簡易に求められる単眼鏡を使った方法³⁾を利用した。

対象および方法

対象とした卓上式拡大鏡は、今回の簡易計算法で求めた数値がすでに発表されている数値と近似するのかを検証するため、日本ライトハウス視覚障害リハビリテーションセンター (以下当センター) に置かれている卓上式拡大鏡で、小林、Bailey 両者の表に掲載されているものを抽出したところ、Coil 社製の卓上式拡大鏡で製品番号 #4208、#4210、#4215、#4220 の4個が該当した。しかし、#4215、#4220 に関しては物体とレンズ間距離を調節できる構造であり、その距離の変化によって EVP が変化し、同じ品番であっても比較できないので除外した。

眼、レンズ、物体、虚像の位置関係は図1のとおりである。眼とレンズ間距離を d、レンズと物体間距離を s、レンズと虚像間距離を s'、正視眼における調節力を Fa、物体の大きさを h、虚像の大きさを h'、β を横倍率とする。EVD は等価距離である。以後図中での長さの符号はすべて正とし、単位は m (メートル) とした。

EVP (Fe) を求めるためには、次の公式を使用した。公式の導出は補遺1に示した。

$$F_e = \beta F_a \dots\dots\dots (1)$$

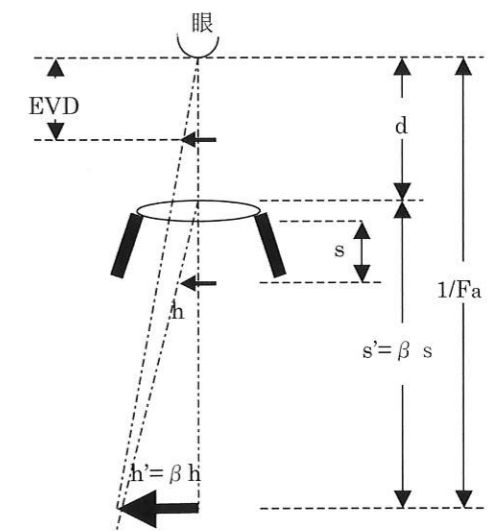


図1 横倍率βの卓上式拡大鏡の物体と虚像位置の関係
長さの単位は m (メートル)
EVD : equivalent viewing distance



図2 卓上式拡大鏡の虚像距離を求めるために用いた機器



図3 単眼鏡による虚像位置の測定



図4 単眼鏡による虚像位置の測定
左：卓上式拡大鏡から単眼鏡を離し、文字が見える位置にもっていく。
右：単眼鏡の対物レンズ頂点から文字までの距離を計測する。



公式の変数である横倍率 β は次式で求めた。レンズと物体間距離(s)は、レンズ頂点から物体までをノギスで計測した。レンズと虚像間距離(s')の求め方は後述する。

$$\beta = \frac{s'}{s}$$

公式の変数である正視眼における調節力(F_a)は次式で求めた。

$$F_a = \frac{1}{d+s'}$$

レンズと虚像間距離は、ロービジョンケアが行われている現場に置かれている単眼鏡と定規のみを用いれば求められる方法³⁾で計測した。手順は以下のとおりである。

- 1) 単眼鏡と卓上式拡大鏡を用意する(図2)。
- 2) 卓上式拡大鏡と単眼鏡の光軸が合うように卓上式拡大鏡の上に単眼鏡を静かにのせる。雲霧の方向から調整できるように単眼鏡の鏡筒を一番長くしておいて少しずつ短くし、正視眼で鮮明に像が見えるところに鏡筒を調整する(図3)。
- 3) 卓上式拡大鏡から単眼鏡を離し、単眼鏡で見た像が

ぼけるくらいに文字から離し、徐々に文字に近づけていき、文字が鮮明に見える距離にもっていく。単眼鏡の対物レンズ頂点から文字までの距離を定規で計測する(図4)。この距離がレンズと虚像間距離となる。

レンズの屈折力は次の公式で求めた。 s, s' ともに正の数とすると s' が虚像とレンズ間距離なので、

$$-\frac{1}{s} + F = -\frac{1}{s'}$$

が成立し次の式が導出される。

$$F = \frac{1}{s} - \frac{1}{s'} \dots\dots\dots (2)$$

公式(1)(2)を用い、小林, Bailey が作成した表と同様に、レンズのEP, レンズ頂点と物体間距離, レンズ頂点と虚像間距離, 横倍率, 正視眼における調節力とレンズのEVPを求め表にして比較した。

レンズの横倍率はBailey³⁾が指摘しているように、レンズと物体間距離の少しの違いで大きく違ってくる。本稿ではレンズと物体間距離はレンズ頂点と物体間距離を計測したが、正確にはレンズ主点と物体間距離を用いなくてはならない。そこで、誤差を検証するためにカーブ計(カートン

製)とノギスを用いてレンズの面屈折力とレンズ厚を計測し、レンズのEP, 頂点屈折力, 頂点と主点間距離を求めた。カーブ計で計測したカーブ値は材質をクラウンガラス(屈折率1.52)とした場合の屈折力を表示しているため、曲率半径を求めてからプラスチックの場合の面屈折力に換算する必要がある⁴⁾。換算は以下のようにする。カーブ値を D_c , 面屈折力を D , 曲率半径を r , 眼とレンズ間距離を d , レンズの材質がプラスチックなので屈折率を1.49とした。

$$\frac{1.52-1}{r} = D_c \Rightarrow r = \frac{0.52}{D_c}$$

$$\frac{1.49-1}{\frac{0.52}{D_c}} = D \Rightarrow D = 0.94D_c$$

レンズ前面と後面のカーブ値は同値であったので両凸レンズである。厚いレンズの公式からEP(D_e), 頂点屈折力(D_v)を求める式は次のようになった⁴⁾。

$$D_e = 0.94D_c + 0.94D_c - \frac{d}{1.49} \times (0.94D_c)^2$$

$$= \frac{0.94D_c(2.98-0.94D_c d)}{1.49}$$

$$D_v = \frac{D_e}{1 - \frac{d}{1.49} \times 0.94D_c}$$

$$= \frac{1.49D_e}{1.49 - 0.94D_c d}$$

レンズ頂点と主点間距離は、主焦点距離と頂点焦点距離の差であるから次の式で求められた。

$$\frac{1}{D_e} - \frac{1}{D_v} = \frac{0.94D_c d}{1.49D_e}$$

上記の計算式を利用し、レンズ頂点と物体間距離をレンズ主点と物体間距離に変えて再計算し、誤差を求めた。更に虚像と単眼鏡の対物レンズ間距離の計測に観察者の自覚的な誤差を認めた場合のレンズのEP, EVPを求めた。

最後にEP, EVPの誤差を計算した。

結 果

小林, Bailey らによるCoil社の2個の製品のデータを表1, 2のように抜粋し、比較した結果、一致した数値はなかった。小林, Bailey らの表には記載されていないが、表3と比較するために倍率, EVDをEVPに換算した数値を

表1 Coil#4208, #4210のレンズのEP, レンズと物体間距離, レンズと虚像間距離, 横倍率, 倍率, EVP

メーカー	製品番号	メーカー表示によるレンズのEP(D)	レンズと物体間距離(cm)	レンズと虚像間距離(cm)	横倍率	倍率(x)			EVP(D)		
						レンズと眼間距離2.5cm	レンズと眼間距離10cm	レンズと眼間距離25cm	レンズと眼間距離2.5cm	レンズと眼間距離10cm	レンズと眼間距離25cm
Coil	#4208	28	3.56	1315.2	369.3	8.4	8.4	8.3	28.0	28.0	27.7
Coil	#4210	36	2.72	120.3	44.3	10.8	10.1	9.1	36.0	33.7	30.3

EP: equivalent power, EVP: equivalent viewing power
※文献1)より改変して引用

表2 Coil#4208, #4210のレンズのEP, レンズと虚像間距離, 横倍率, EVD, EVP

メーカー	製品番号	レンズのEP(D)	レンズと虚像間距離(cm)	横倍率	EVD(cm)			EVP(D)		
					レンズと眼間距離2.5cm	レンズと眼間距離10cm	レンズと眼間距離25cm	レンズと眼間距離2.5cm	レンズと眼間距離10cm	レンズと眼間距離25cm
Coil	#4208	23.4	70.5	17.5	4.2	4.6	5.5	23.8	21.7	18.2
Coil	#4210	30.7	38	12.7	3.2	3.8	5	31.3	26.3	20.0

EVD: equivalent viewing distance
※文献2)より改変して引用

表3 単眼鏡による虚像の距離計測で求めたEVP

メーカー	製品番号	レンズのEP(D) (1/s-1/s')	頂点と物体間距離s(cm)	頂点と虚像間距離s'(cm)	横倍率: β	EVP(D)		
						レンズと眼間距離2.5cm	レンズと眼間距離10cm	レンズと眼間距離25cm
Coil	#4208	28.0	3.50	161.00	46.0	28.1	26.9	24.7
Coil	#4210	36.1	2.54	31.00	12.2	36.4	29.8	21.8

表4 カーブ値, レンズ厚から計算したレンズのEP, 頂点屈折力, 頂点と主点間距離

メーカー	製品番号	カーブ値: Dc (D)	プラスチックに 換算した面屈折力 Dn (D)	レンズ厚 (mm)	レンズのEP (D)	頂点屈折力 (D)	頂点と主点間 距離 (cm)
Coil	#4208	13.5	12.7	15.2	23.7	27.5	0.55
Coil	#4210	16.5	15.5	11.5	29.2	33.4	0.41

表5 物体と頂点間距離を物体と主点間距離に変えた場合

メーカー	製品番号	レンズのEP(D) (1/s-1/s')	主点と物体 間距離 s (cm)	主点と虚像 間距離 s' (cm)	横倍率:β	EVP(D)		
						レンズと眼間 距離 2.5cm	レンズと眼間 距離 10cm	レンズと眼間 距離 25cm
Coil	#4208	24.1	4.05	160.45	39.7	24.3	23.3	21.4
Coil	#4210	30.6	2.95	30.59	10.4	31.3	25.5	18.7

表6 虚像が鮮明と感じ始める場所で主点と虚像間距離を測定

メーカー	製品番号	レンズのEP(D) (1/s-1/s')	主点と物体 間距離 s (cm)	主点と虚像 間距離 s' (cm)	横倍率:β	EVP(D)		
						レンズと眼間 距離 2.5cm	レンズと眼間 距離 10cm	レンズと眼間 距離 25cm
Coil	#4208	24.2	4.05	180.45	44.6	24.4	23.4	21.7
Coil	#4210	30.8	2.95	32.59	11.0	31.5	25.9	19.2

表7 レンズのEP, EVPの誤差

メーカー	製品番号	レンズのEPの 誤差 (D) [表3-表4]	百分率誤差(%) [100×(表3- 表4)/表4]	レンズのEPの 誤差(D) [表5-表4]	百分率誤差(%) [100×(表5- 表4)/表4]	EVPの誤差(D) 表3-精密値		
						レンズと眼間 距離 2.5cm	レンズと眼間 距離 10cm	レンズと眼間 距離 25cm
Coil	#4208	4.2	17.7	0.4	1.5	4.2	4.0	3.7
Coil	#4210	7.0	23.9	1.5	5.0	6.8	5.6	4.1

追加した。

単眼鏡を利用して計測したレンズと虚像間距離, ノギスにより計測したレンズ頂点と物体間距離を用いて計算したレンズのEP, 横倍率, 正視眼における調節力とレンズのEVPは表3のようになった。レンズのEPに関しては小林の表と一致した。

次に, カーブ値, レンズ厚から精密なレンズのEP, 頂点と主点間距離を計算した結果は表4のようになり, レンズのEPはBaileyによるものに近似していた。レンズ頂点と物体間距離を用いて計算した表3のレンズのEPと比較すると#4208では4.2D, #4210では7.0Dの誤差が生じている。

表3のレンズ頂点と物体間距離を表4で求めた頂点と主点間距離で修正し, レンズ主点と物体間距離に変えて再計算すると表5のようになった。表4に示したカーブ値から求めたレンズのEPとの誤差は#4208では0.4D, #4210では1.5Dであった。

単眼鏡を通して虚像の位置を決定するときに働く調節力は, 無限遠に焦点が合うように鏡筒が調整された場合は

単眼鏡に表示された倍率の2乗を定数として, 対物レンズと物体間距離の逆数におよそ比例するため, 単眼鏡が少し動くだけでも大きい調節力が必要となる。近方視用に鏡筒が調整された場合の調節力は更に複雑な計算となるが, 自覚的に鮮明な虚像の位置の決定が比較的容易であることは推測できた。しかし, 単眼鏡の鏡筒を調整した後で物体を直接見るときに, 像が鮮明に見え始めたときとはっきりと鮮明だと感じたときの2点を比較したところ, 筆者の場合#4208では20cm, #4210では2cmのずれが観測できたことから, 表5の主点と虚像間距離を鮮明に見え始めたときに変えて計算した結果は表6のようになった。レンズのEPは表5で求めた数値との誤差は#4208では0.1D, #4210では0.2Dであった。

単眼鏡, ノギス, 定規だけを用いる簡易な方法では, レンズ主点と物体間距離をレンズ頂点と物体間距離に代えて計算したので, 表7に示したようにレンズのEP(表3)が#4208ではカーブ計を用いて計算した精密なEP(表4)より4.2Dだけ大きくなり17.7%, #4210では7.0Dだけ大きくなり23.9%の誤差を生じた。主点からの距離をもとに計

算したレンズのEP(表5)と精密値(表4)との誤差は#4208は0.4Dで1.5%, #4210は1.5Dで5.0%となり, 主点を考慮した計算により精密値に近づいた。公式(1)を使用し簡易に計算された表3のEVPは, EVPを正視眼における調節力(前主点と虚像間距離+後主点と眼間距離の逆数)とレンズの2枚のレンズの合成屈折力を求めるレンズの公式($F_e = F_a + EP - d \times F_a \times EP$; ただし $F_e = EVP$, $F_a = 1/(\text{前主点と虚像間距離} + \text{後主点と眼間距離})$, $EP = \text{レンズの等価屈折力}$, $d = \text{レンズと眼間距離}$ とする)を使って計算した数値を精密値としたものと比較すると, 表7のように#4208ではレンズより2.5cmの距離で見たとき4.2D, 10cmでは4.0D, 25cmでは3.7Dの誤差が生じ, 眼をレンズから離していくにしたがって小さくなっている。#4210では#4208よりもそれぞれの距離が大きくなっている。

考 察

卓上式拡大鏡の虚像位置は, 同じ製品名であっても表1, 2, 3から小林, Bailey, 著者の数値は一致しなかった。全く同じ拡大鏡を測定しているわけではないことを考慮しても, その違いは大きい。測定する環境や方法によってその位置の確定には大きな差が出ることがわかった。

表3から当センターで所持しているCoil#4208とCoil#4210のレンズと眼間距離25cmのEVPをみるとそれぞれ24.7D, 21.8Dとなっていて, #4208の方がEVPが大きいうことから#4208の方の虚像が大きく見えるということがわかった。つまり, 表示倍率が大きくても使い方によっては表示倍率が小さいものより虚像の見え方が小さい場合があるということである。

レンズと虚像間距離の測定誤差は, 表5と表6を比較するとEVPの計算にはほとんど影響しなかった³⁾。また, 表7からEVPはレンズに眼を近づけるにつれてその誤差は大きくなっている。

卓上式拡大鏡で虚像を鮮明に見るためには虚像までの距離を知った上でユーザーの屈折異常値, 調節力を考慮し, 適切な加入度を処方することにより見かけの大きさが決定される。卓上式拡大鏡の選択は経験をもとに行われているが, 丁寧な処方をするためには虚像位置, EVPが不可欠である。

臨床現場には様々な種類の卓上式拡大鏡があり, すべてのデータを表にするのは困難である上, メーカーに記載が義務付けられていないのでユーザーが自ら計測せざるを得ないのが現状である。レンズメータなどの計測機器がない臨床現場であっても, 単眼鏡とノギス, 定規さえあれば眼の位置に応じたEVPを求めることができ, 近見用読書チャートから求めた必要EVPに応じた卓上式拡大鏡の選択

の一助となると考えられた。

拡大鏡と眼間距離の変化に応じた, 調節力と拡大鏡を合成したEVPの活用法は次のようにすればよい。国立障害者リハビリテーションセンター第3機能回復訓練部で製作されている, 新聞の活字の大きさを基準として作られた近見用視力表を使用した場合を説明する。まず, 判読可能な最小の文字列の倍率M(倍)(近見視力表の右側に記されている数値で, 新聞の記事を基準とした場合の文字の倍率)と眼からの距離f(m)を測定する。ここでf/M(m)がEVDである。つまり必要なEVPはその逆数となりM/f(D)で求められる⁵⁾。M/f(D)が視距離に対応したEVPと等しくなるように使用できる卓上式拡大鏡を選ばばよい。

拡大鏡を利用するために必要なパラメータである虚像位置, 横倍率の数値が臨床場で計測できれば, 簡易に計算されたEVPはレンズに眼を近づけるにしたがって誤差が大きくなることを考慮して使用でき, 見え方を示す基準となると考えられた。

文 献

- 1) 小林 章: スタンドルーベの製品別簡易倍率換算表の試作. 眼紀 56: 585-590, 2005.
- 2) Bailey IL & Mattingly WB: Low vision magnifiers - Their optical parameters and method for prescribing. Optom Vis Sci 71: 689-698, 1994.
- 3) Bailey IL: Stand magnifiers: An evaluation of new optical aids from COIL. Opto Vis Sci 66: 766-773, 1989.
- 4) 熊谷 壽: よくわかる眼鏡講座上巻. 興隆出版社, 東京, 170-204, 1992.
- 5) 築島謙次, 石田みさ子: ロービジョンケアマニュアル. 南江堂, 東京, 47-54, 2000.

補遺1. 横倍率と正視眼における調節力から等価屈折力を求める公式の導出(図1参照)

レンズの屈折力をF, 正視眼における調節力をF_a, 横倍率をβ, sをレンズと物体間距離, s'をレンズと虚像間距離とし, 距離の符号をすべて正の数とすると, レンズの結像公式

$$-\frac{1}{s} + F = -\frac{1}{s'} \quad \text{より}$$

$$-\frac{1}{s} + F = -\frac{1}{\beta s} \Rightarrow F = \frac{\beta - 1}{\beta s}$$

レンズ間距離d, 屈折力F₁, F₂の等価屈折力F_eを求める公式F_e = F₁ + F₂ - dF₁F₂に, F₁ = F, F₂ = F_a, d =

$$\frac{1}{F_a} - \beta s \text{ を代入すると,}$$

$$F_e = F + F_a - FF_a \left(\frac{1}{F_a} - \beta s \right) = \beta F_a$$

(2010年11月15日受付)

発行所 日本眼科紀要会

567-0047 茨木市美穂ヶ丘 3-6 山本ビル 302 号室 ☎072-623-7878
