

エッセンバツハ光学製 ワークルーペの 倍率と作業距離

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
日本眼鏡技術専門学校
北里大学

田辺 正明
辻 一央
魚里 博

I. ワークループ

ワークルーペとは？

- ◆ (日) ワークルーペ: 登録商標
- ◆ (独) Head and Attachment Magnifiers
 - labo-clip
 - labo-med
- ◆ (米) Head Borne Magnifiers
 - Clip-on systems
 - Frame systems

ワークルーペのセット (1.7x~7x)



フレームタイプの装用



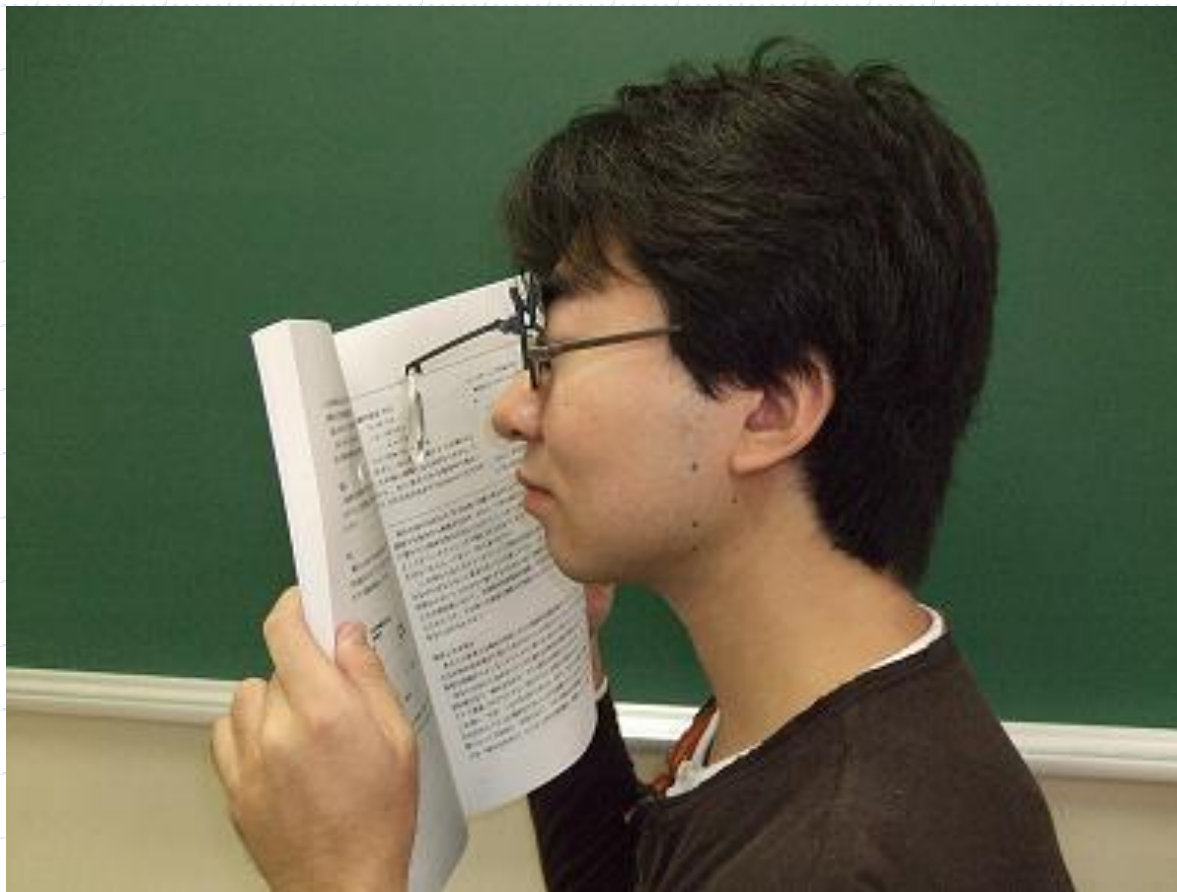
1.7xを使用したときの様子



3xを使用したときの様子



4x(クリップ)を使用したときの様子



Ⅱ. 使用説明書

倍率と作業距離

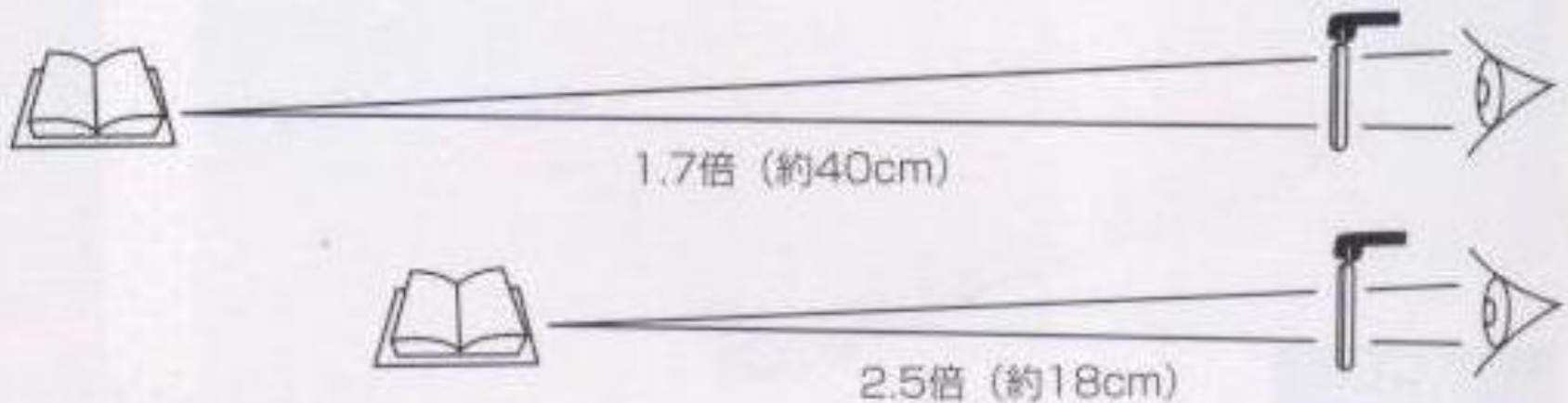
2005年版のカタログより抜粋

16455	双眼用レンズ	1.7倍	作業距離	40cm(約)
16451	// //	2倍	//	25cm(//)
16452	// //	2.5倍	//	18cm(//)
16453	// //	3倍	//	16cm(//)
16454	単眼用高倍率レンズ	4倍	//	5.5cm(//)
16457	// // //	7倍	//	3.2cm(//)

作業距離の説明図

2005年版のカタログより抜粋

例：レンズの作業距離（焦点の合う距離：各自の目によって作業距離が多少異なります）



特徴

- ◆両手が自由になる
- ◆作業空間が広くとれる
- ◆倍率の違った交換レンズ
- ◆軽量

購入方法

◆補装具の弱視眼鏡として助成金の申請可能

(参考) 弱視眼鏡:

掛けめがね式: ¥36,700(高倍率(3倍率以上)の主鏡を必要とする場合は¥21,800増しとする)

焦点調節式: ¥17,900

◆眼鏡店、雑貨販売店の通信販売サイトで購入可能

はてははいりやすさでの選択や見出しの感のよい性の程で細心です。

レンズを支えているアーム部分がフレームから取り外せる構造になっているため、その位置を変える事によって双眼用レンズだけでなく、倍率の高い単眼レンズも使用できますので、このフレーム1本で広範囲な作業を楽しむことができます。

フレーム(アーム長:50mm、幅:150mm、重量:16g)は銅、鉄、ニッケル、マンガンの合金製でご自身のお顔に合うように少しずつ曲げてフィットさせることが可能。

専用収納ケースが付属します。

フレームタイプフルセット 商品番号 E1644599 税込 27,720円

数量: 1


作業距離の目安

レンズ倍率	1.7倍	2.0倍	2.5倍	3.0倍	4.0倍	7.0倍
作業距離	40cm	25cm	18cm	16cm	5.5cm	3.2cm

作業距離の目安は各自の目また、目に対する眼鏡の度によって作業距離は異なります。

エッセンバハ ワークルーベレンズデータ

品番	倍率	レンズサイズ (mm)	レンズ材質	コーティング	本体重量 (g)
16455	1.7	74×28 (双眼)	PXM	対静電気二重コーティング	8
16451	2.0				6
16452	2.5				10
16453	3.0				14

 PXMはエッセンバハ開発、ポリメチル系樹脂素材の高品質光学レンズ素材です。透明度・純度・硬度、解像力に優れます。安価なルーベで使われているアクリル性のレンズは、経年劣化により変色し透明度が落ちますが、PXMレンズにはその心配がありません。

E1646-203:

1, 7倍と3, 0倍レンズ+クリップパーツ付 / ￥9, 240(税込) 個

E1646-212:

2, 0倍と2, 5倍レンズ+クリップパーツ付 / ￥9, 240(税込) 個

E1646-213:

2, 0倍と3, 0倍レンズ+クリップパーツ付 / ￥9, 240(税込) 個

E1646-223:

2, 5倍と3, 0倍レンズ+クリップパーツ付 / ￥9, 240(税込) 個

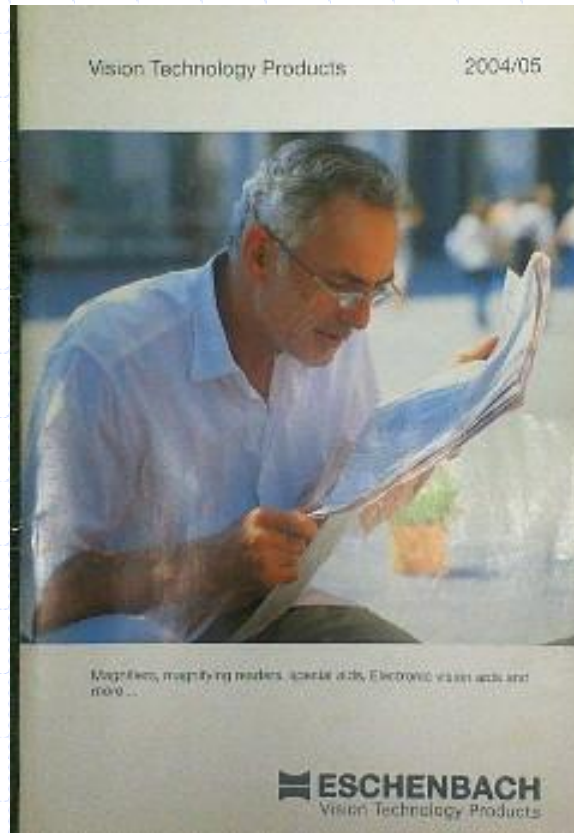
の6種類設定(倍率の組み合わせ変更等も可能です。お問合せください。)

倍率の目安	
レンズ倍率	目と対象物までの距離
1,7倍	40cm
2,0倍	25cm
2,5倍	18cm
3,0倍	16cm

できる限り店頭在庫を心がけておりますが、ご注文時には在庫の確認をお願いいたします。

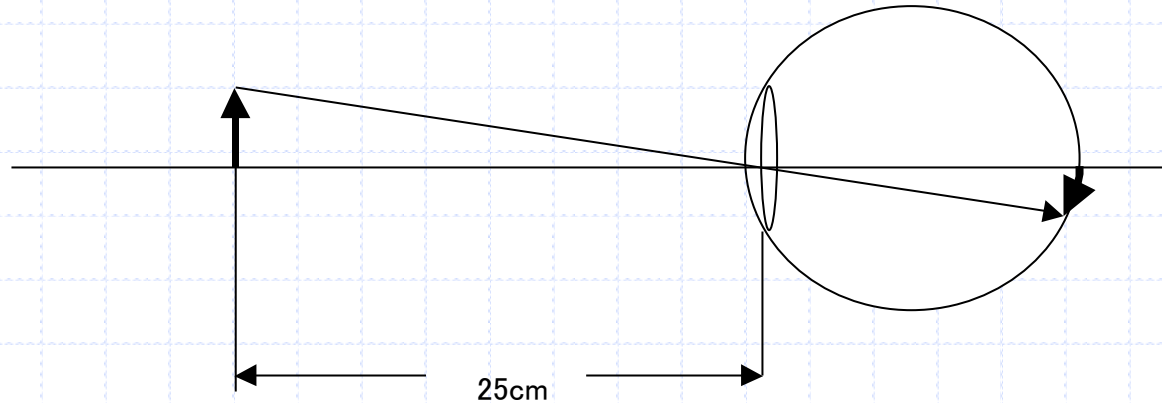
3種類のカタログ

	屈折力	倍率	作業距離	図
日本版	×	○	○	○
ドイツ版	○	○	○	×
アメリカ版	○	○	○	×



III. 倍率、作業距離？

25cm



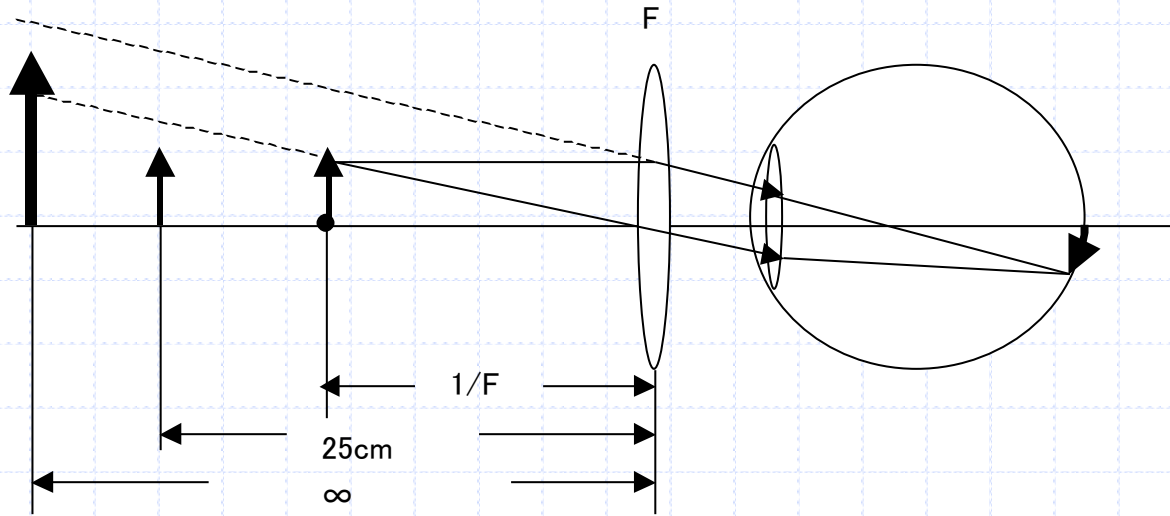
- 明視距離: JISでは「目を近づけて見る場合に都合がよい距離」と定義。現代では正視の場合には約300mmとされている。しかし...
- ルーペや顕微鏡接眼レンズの倍率の算出にあたっては、慣習によって250mmが選ばれる。10in(≒250mm)であることもひとつの理由。ISOでは生理光学的な意味なしで単に参照観察距離(reference seeing distance)としている。

名目倍率(Nominal

Magnification) :

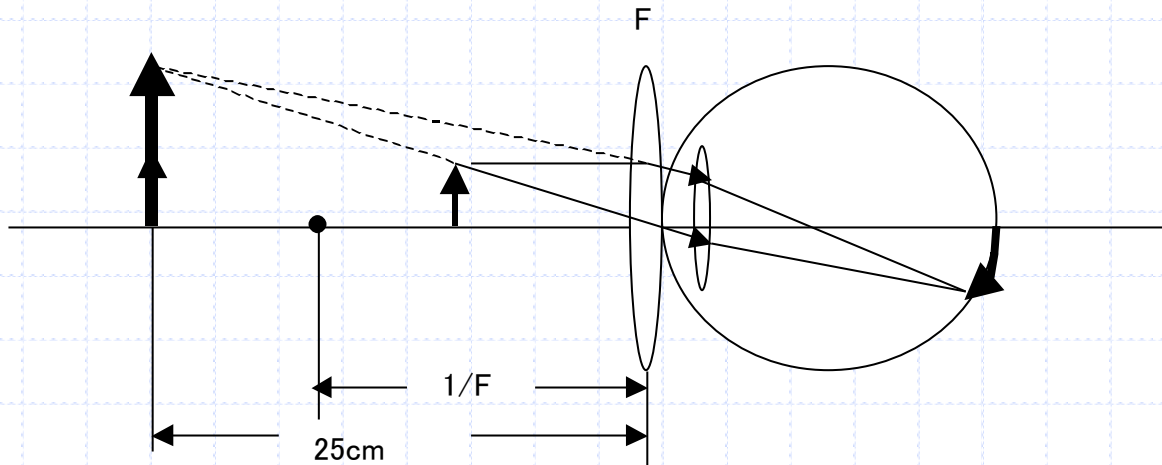
F/4

- ・ 物体をレンズの焦点上に置く
- ・ 無限遠にある虚像の視角/視距離25cmにある物体の視角
- ・ JIS(Japanese Industrial Standards):日本工業規格

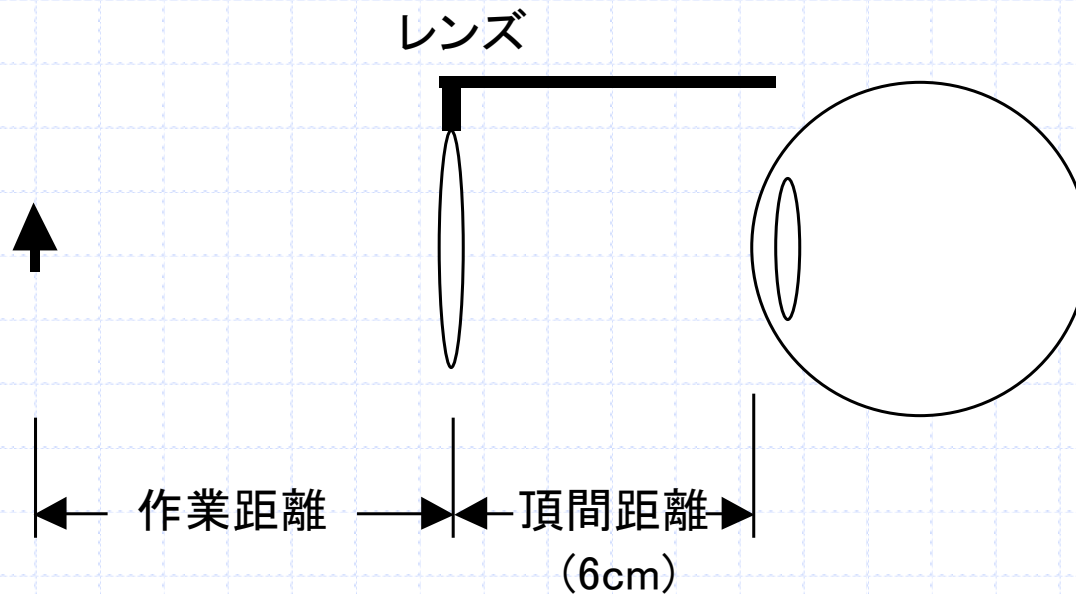


商用倍率(Trade magnification): $(F/4)+1$

- ・ 頂間距離を0、虚像を眼から25cmにできるように物体を置く
- ・ 虚像の視角/視距離25cmにある物体の視角
- ・ ISO(International Organization for Standardization):国際標準化機構



作業距離



(理由)

眼と物体間距離を作業距離にすると、4xの作業距離である5.5cmは頂間距離よりも短くなってしまいうため、レンズと物体間距離を作業距離とした。

Question

カタログの倍率、作業距離で本当に使えるのだろうか？

- ◆ エツェンバッハ光学製ワークルーペの表示倍率はJIS、ISOで規定された $F/4$ 、 $(F/4)+1$ の数値なのか。
- ◆ 表示作業距離で使用した場合の倍率、さらに表示倍率で使用した場合の作業距離はあるのか。

IV. 検証

方法

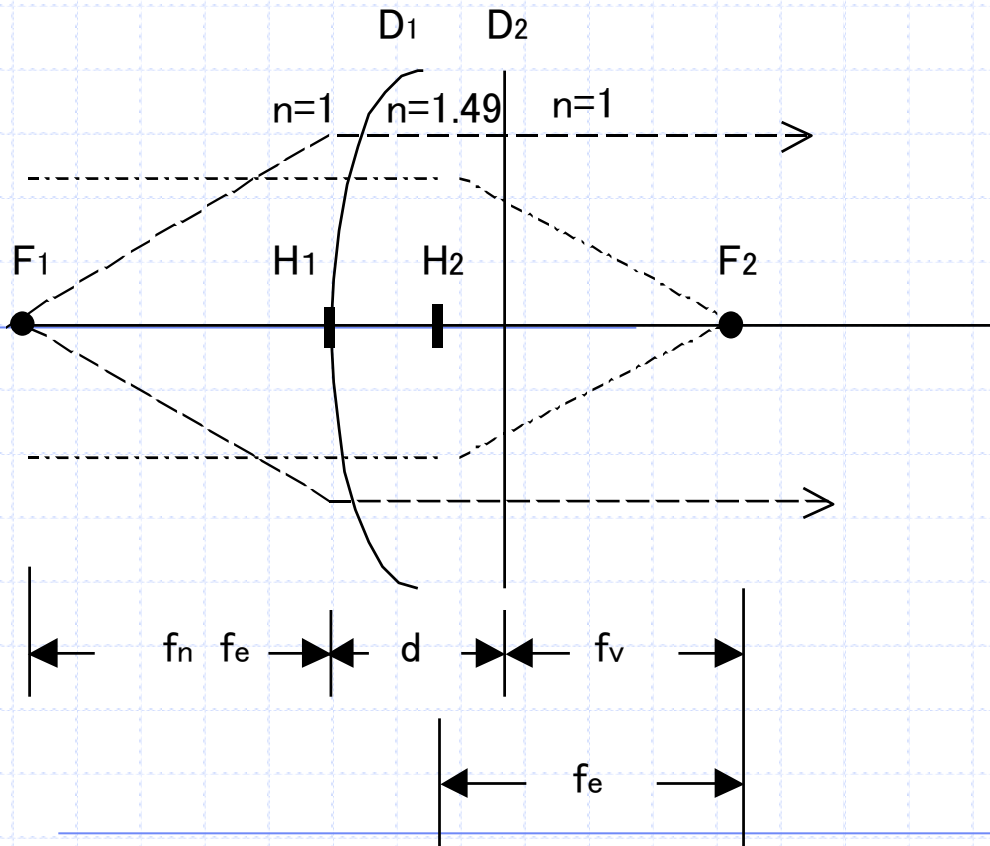
- ◆ レンズの屈折力: カタログ、測定
 - ・ 名目倍率、商用倍率と表示倍率を比較
- ◆ レンズと表示作業距離に必要な調節力の合成屈折力
 - ・ 合成屈折力の名目倍率: $\text{合成屈折力} / 4$
- ◆ 表示倍率に必要な作業距離

1. レンズの屈折力

カタログの仕様書

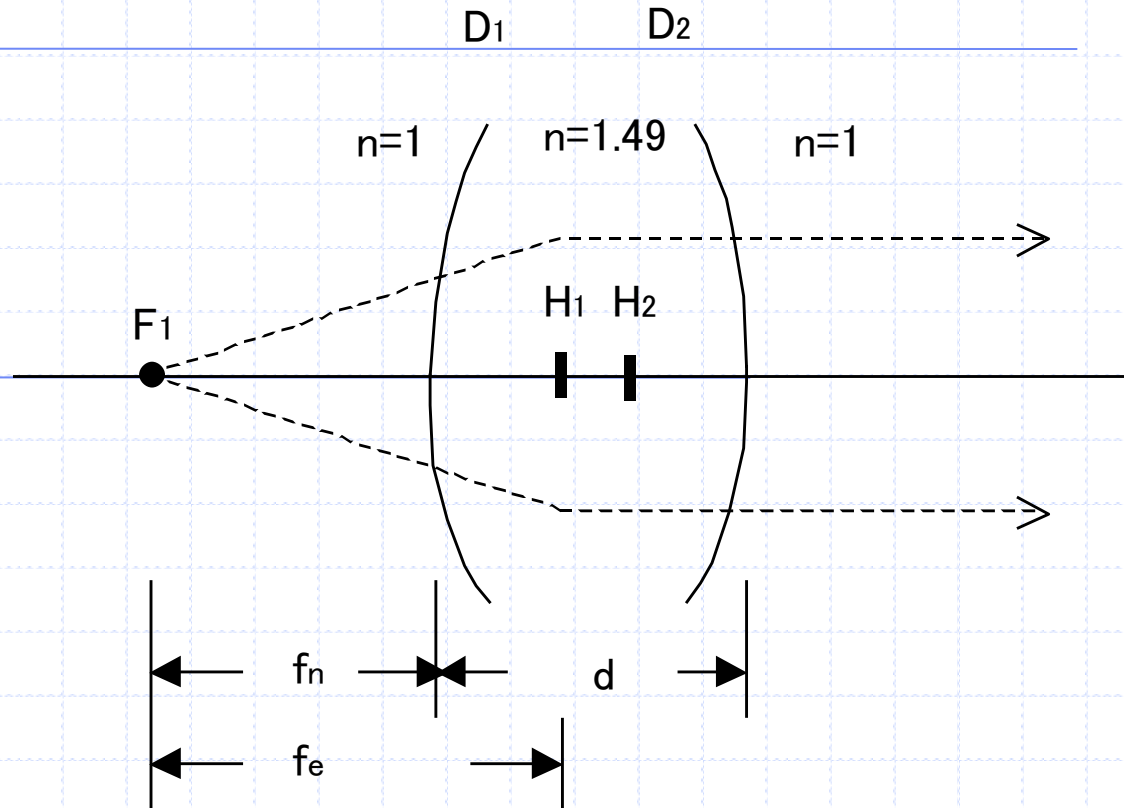
製品番号 (表示倍率)	1645-5 (1.7x)	1645-1 (2x)	1645-2 (2.5x)	1645-3 (3x)	1645-4 (4x)
屈折力[2005 アメリカ版](D)	2.80	4.00	6.00	8.00	16.00
屈折力[2005 ドイツ版](D)	2.50	2.50	5.00	7.50	16.00
作業距離(cm)	40.0	25.0	18.0	16.0	5.5

凸平レンズ(双眼用レンズ)



H_1 :前主点、 H_2 :後主点、 D_1 :前面屈折力、 D_2 :後面屈折力
 F_1 :前焦点、 F_2 :後焦点、 d :レンズ厚、 n :屈折率
 f_e :主点焦点距離、 f_n :前頂点距離、 f_v :後頂点距離

両凸レンズ(単眼用レンズ)



H_1 :前主点、 H_2 :後主点、 D_1 :前面屈折力、 D_2 :後面屈折力
 F_1 :前焦点、 d :レンズ厚、 n :屈折率
 f_e :主点焦点距離、 f_n :前頂点距離

測定値(Nikon PL-2)

製品番号 (表示倍率)	1645-5 (1.7x)	1645-1 (2x)	1645-2 (2.5x)	1645-3 (3x)	1645-4 (4x)
凸面側屈折力(D)	2.50	2.50	5.00	7.50	16.50
平面側屈折力(D)	2.50	2.50	5.10	7.75	16.50
頂間距離(cm)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
レンズ厚(mm)	4.31	3.00	4.87	7.48	8.41
光学中心間距離(mm)	69.0	26.0	24.0	22.0	

主点屈折力の求め方

◆ レンズの関係式を利用

$$F_e = D_1 + D_2 - \frac{d}{n} D_1 D_2$$

$$F_n = \frac{F_e}{1 - \frac{d}{n} D_2}$$

(F_e :主点屈折力、 F_n :前頂点屈折力)

凸平レンズの主点屈折力

主点屈折力

$D_2 = 0$ であるから

$$F_e = D_1 + 0 - \frac{d}{n} \cdot D_1 \cdot 0 = D_1$$

前頂点屈折力

$$F_n = \frac{D_1}{1 - \frac{d}{n} \cdot 0} = D_1$$

$F_e = D_1 = F_n$ だから前主点と前頂点は一致する。

よって、主点屈折力(F_e)はレンズ凸面側の測定値で

#1645-5(1.7x): +2.50D、#1645-1(2x): +2.50D

#1645-2(2.5x): +5.00D、#1645-3(3x): +7.50D

両凸レンズの主点屈折力

前面屈折力と後面屈折力は等しいので、後面屈折力(D_2)を求めると

$$D_1 + D_2 - \frac{d}{n} D_1 D_2 = F_e$$

$$2D_2 - \frac{d}{n} D_2^2 = F_e$$

$$2nD_2 - dD_2^2 = F_e n$$

$$D_2 = \frac{n \pm \sqrt{n^2 - F_e n d}}{d}$$

前頂点屈折力(F_n) = +16.5なので

$$16.5 = \frac{F_e}{1 - \frac{d}{n} \bullet \frac{n \pm \sqrt{n^2 - F_e n d}}{d}}$$

$$nF_e^2 + 27225F_e d - 27225n = 0$$

レンズの屈折率(n)=1.49、レンズ厚(d)=0.00841を代入すると

$$1.49F_e^2 + 2.2896F_e - 405.6525 = 0$$

$F_e > 0$ だから

主点屈折力(F_e) = +15.75

名目倍率、商用倍率

製品番号 (表示倍率)	1645-5 (1.7x)	1645-1 (2x)	1645-2 (2.5x)	1645-3 (3x)	1645-4 (4x)
主点屈折力(D)	2.50	2.50	5.00	7.50	15.75
名目倍率(x)	0.63	0.63	1.25	1.88	3.94
商用倍率(x)	1.63	1.63	2.25	2.88	4.94

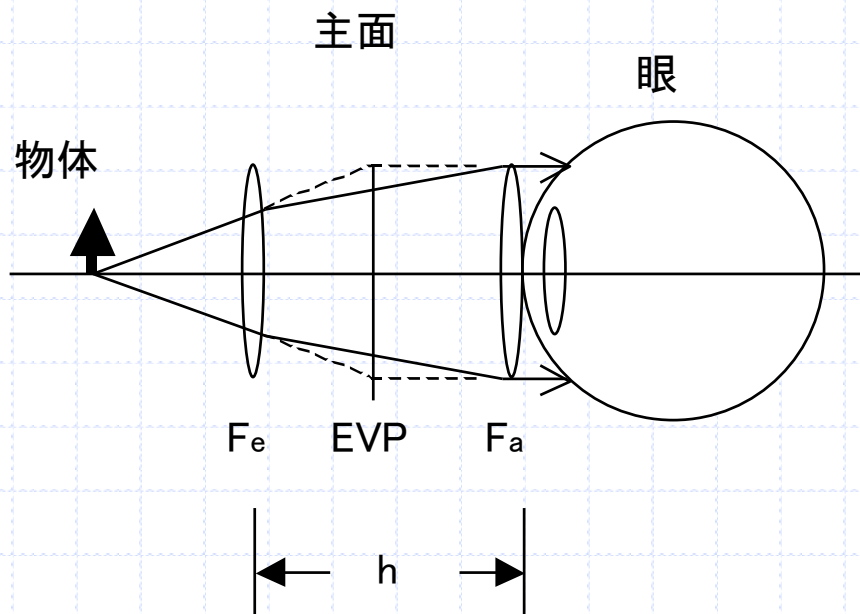
双眼用ルーペ: 表示倍率 ≠ 名目倍率 or 商用倍率

単眼用ルーペ: 表示倍率 ≡ 名目倍率

2. レンズと調節力の合成屈折力

EVP(Equivalent Viewing Power)

等価読書屈折力



F_e : レンズの主点屈折力
 F_a : 調節力
 h : 頂間距離

$$EVP = F_e + F_a - h \cdot F_e \cdot F_a$$

調節力の求め方

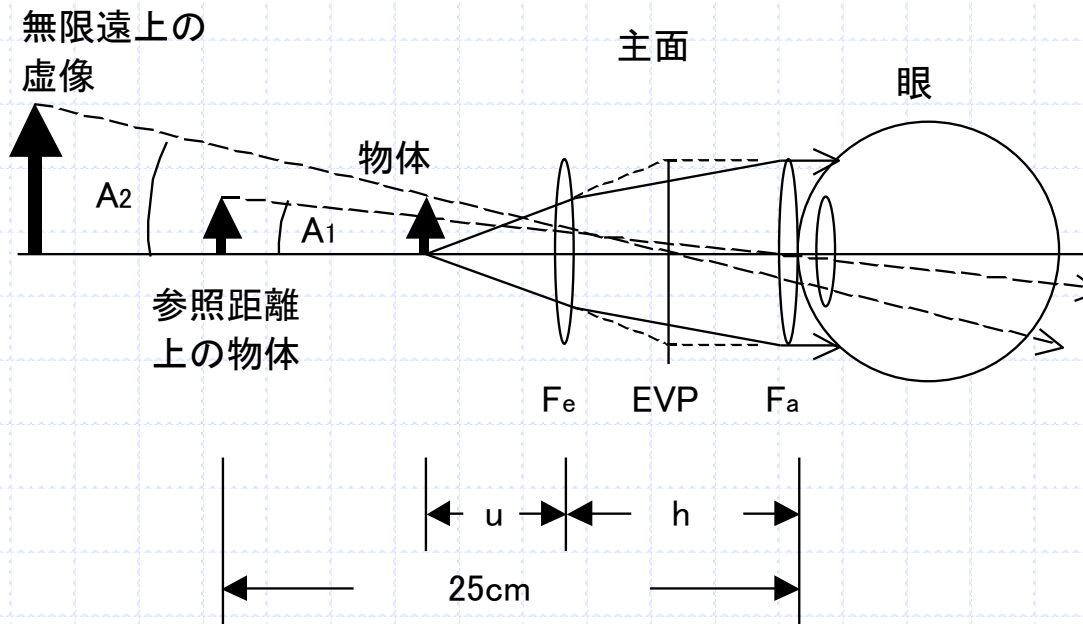
- ・ 表示作業距離(前頂点距離)で必要な調節力
- ・ 調節力(F_a)は前頂点屈折力の式から導出
(F_e :レンズの主点屈折力、 u :前頂点距離、 h :頂間距離)

$$\frac{F_e + F_a - h \bullet F_e \bullet F_a}{1 - h \bullet F_a} = \frac{1}{u} \Rightarrow F_a = \frac{1 - F_e \bullet u}{u - h(F_e \bullet u - 1)}$$

調節力

製品番号 (表示倍率)	1645-5 (1.7x)	1645-1 (2x)	1645-2 (2.5x)	1645-3 (3x)	1645-4 (4x)
主点屈折力(D)	2.50	2.50	5.00	7.50	15.75
作業距離(cm)	40.0	25.0	18.0	16.0	5.5
調節力(D)	0.00	1.38	0.54	-1.35	2.12

3. 倍率

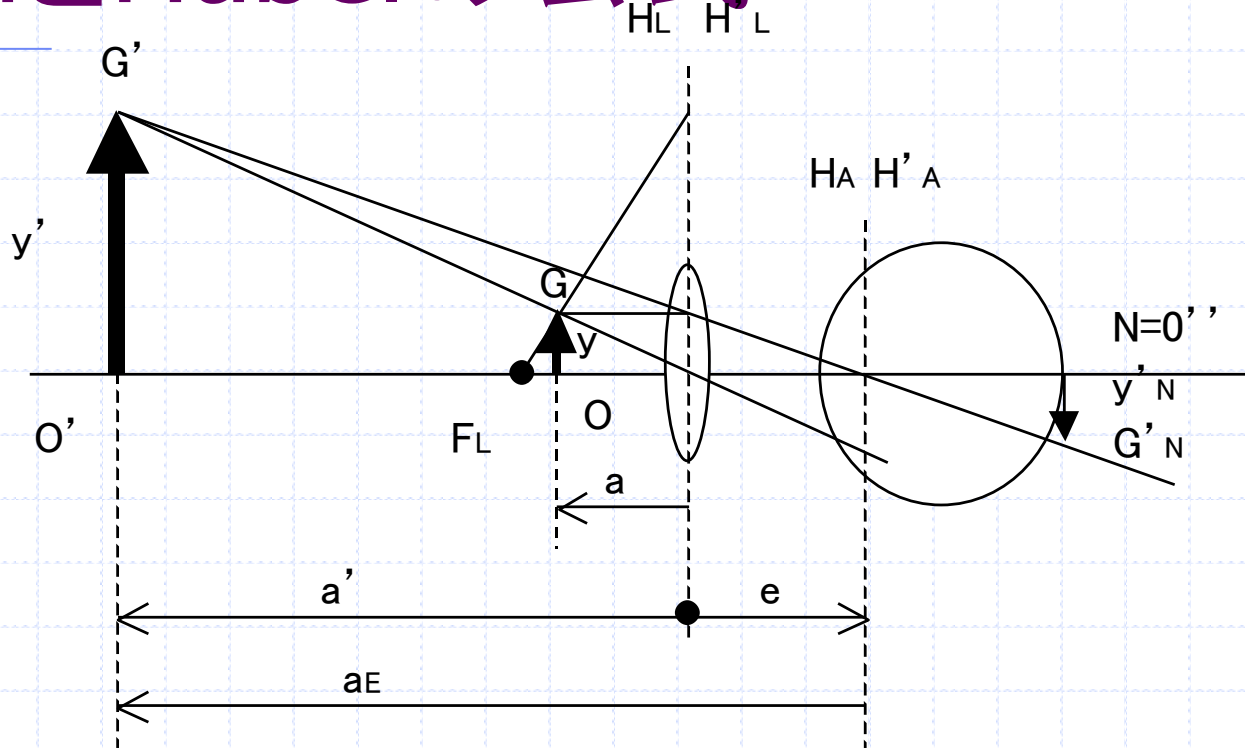


合成屈折力の名目倍率

$$m = \frac{EVP}{4} = \frac{A_2}{A_1}$$

備考 SloanとHabelの公式で求める倍率と同等
Günter Roth, Allgemeinen Optik. 1988

SloanとHabelの公式



$$m = \frac{a_0}{a - e - aeD}$$

a_0 : 参照距離、 a : レンズと物体間距離、 e : レンズと眼間距離

自由な位置の虚像と、参照距離上の物体の視角の比

合成屈折力の名目倍率

製品番号 (表示倍率)	1645-5 (1.7x)	1645-1 (2x)	1645-2 (2.5x)	1645-3 (3x)	1645-4 (4x)
合成屈折力 (D)	2.50	3.67	5.38	6.76	15.87
名目倍率 (x)	0.63	0.92	1.34	1.69	3.97

双眼用ルーペ: 表示倍率 \div EVPの名目倍率 + 1

単眼用ルーペ: 表示倍率 \div EVPの名目倍率

4. エッセンバツハ光学の説明 に基づく再検証

Mr. Kurt Winkler

2003年、第7回日本眼鏡・ソサエティーセミナーで「ロービジョンのための適切な用具選びとアフターケア」の講演



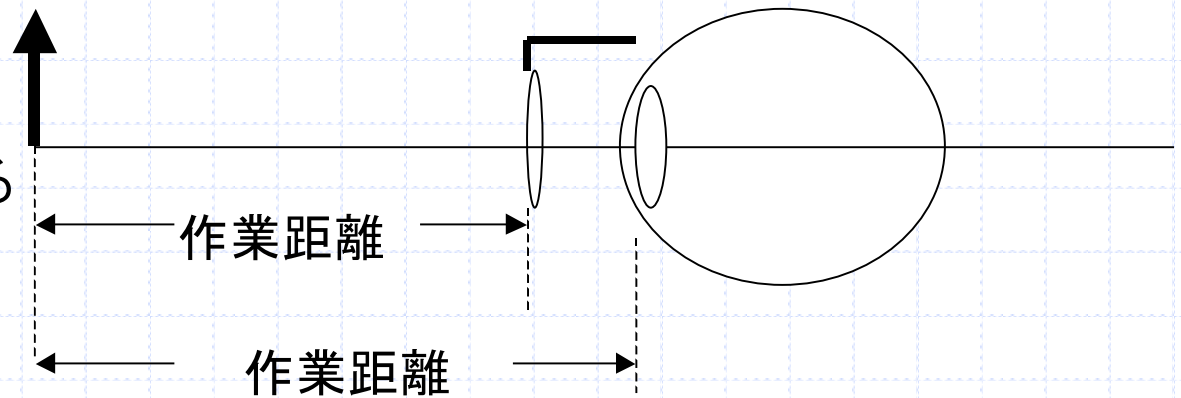
Vision2005 in London

Vision は3年毎に開催される国際ロービジョン学会

エッセンバツハ光学の倍率と作業距離のとり方

単眼用ルーペ:
屈折力は8Dを越える
(倍率: $EVP/4$)

双眼用ルーペ:
屈折力は8D以下
(倍率: $EVP/4+1$)



調節力

カタログに記載されている作業距離の基準

眼と物体間距離

レンズと物体間距離

製品番号 (表示倍率)	1645-5 (1.7x)	1645-1 (2x)	1645-2 (2.5x)	1645-3 (3x)	1645-4 (4x)
主点屈折力(D)	2.50	2.50	5.00	7.50	15.75
作業距離(cm)	34.0	19.0	12.0	10.0	5.5
調節力(D)	0.43	2.37	2.78	2.17	2.12

訂正後の合成屈折力の 名目倍率

製品番号 (表示倍率)	1645-5 (1.7x)	1645-1 (2x)	1645-2 (2.5x)	1645-3 (3x)	1645-4 (4x)
EVP(D)	2.87	4.51	6.94	8.70	15.87
名目倍率(x)	0.72	1.13	1.74	2.17	3.97

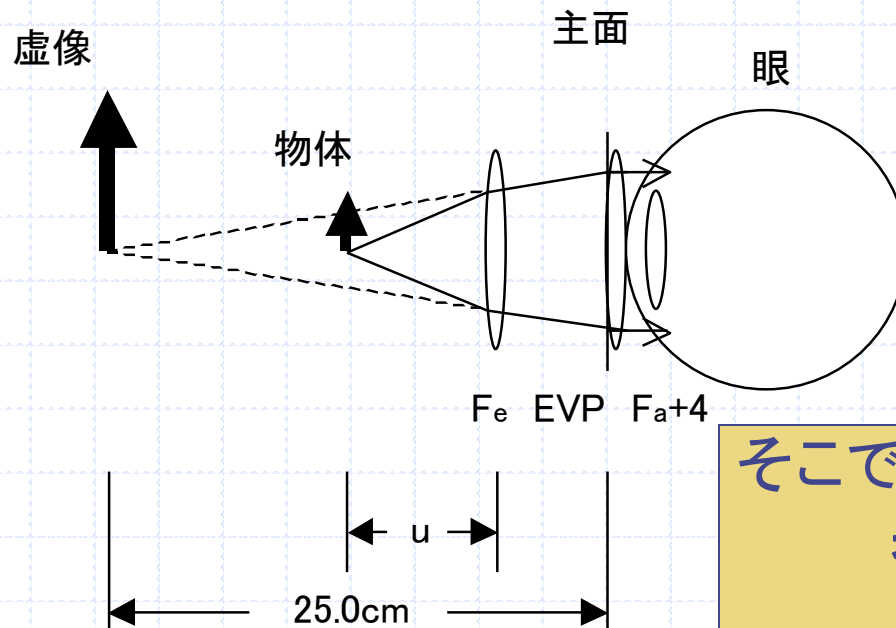
双眼用ルーペ：表示倍率 \div EVPの名目倍率+1

単眼用ルーペ：表示倍率 \div EVPの名目倍率

双眼用ルーペの適切な作業距離を求めするには

$$\text{表示倍率} = (\text{EVP}/4) + 1 = (\text{EVP} + 4)/4$$

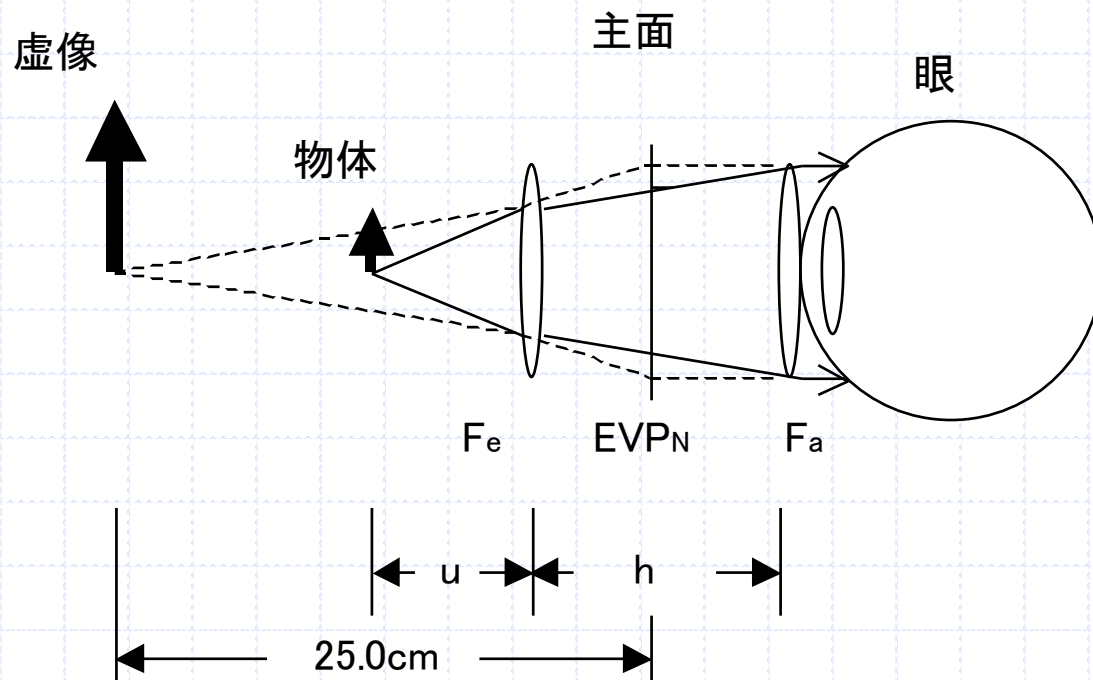
これは、合成屈折力の主面に眼を近づけ+4Dの調節を付加することと同等だが、そのように使用できない。



そこで、 **$\text{EVP}_N = \text{EVP} + 4$** とすると
表示倍率 = $\text{EVP}_N / 4$
つまり、

$EVP_N = \text{表示倍率} \times 4$

表示倍率を得るには“ $EVP_N = \text{表示倍率} \times 4$ ”となるように作業距離をとればよい。



作業距離の求め方

調節力(F_a) :

$$F_e + F_a - h \bullet F_e \bullet F_a = EVP_N \Rightarrow F_a = \frac{EVP_N - F_e}{1 - F_e \bullet h} \dots \textcircled{1}$$

$$\text{前頂点屈折力} = \frac{F_e}{1 - h \bullet F_a} \dots \textcircled{2}$$

②に①を代入すると

$$\text{前頂点屈折力} = \frac{EVP_N(1 - F_e \bullet h)}{(1 - F_e \bullet h) - h(EVP_N - F_e)}$$

作業距離(u)は前頂点屈折力の逆数

$$u = \frac{(1 - F_e \bullet h) - h(EVP_N - F_e)}{EVP_N(1 - F_e \bullet h)}$$

双眼用ルーペの調節力、作業距離

製品番号 (表示倍率)	1645-5 (1.7X)	1645-1 (2X)	1645-2 (2.5X)	1645-3 (3X)
調節力 (D)	5.06	6.47	7.14	8.18
作業距離 (cm)	10.3	7.6	5.7	4.2

V. 結果

1. 屈折力

- ◆ 双眼用ルーペ、#1645-5(1.7x)、#1645-1(2.0x)、#1645-2(2.5x)、#1645-3(3x)の主点屈折力はドイツ版カタログの値に一致した。アメリカ版は誤りであった。
- ◆ 単眼用ルーペ、#1645-4(4x)の主点屈折力は+15.75Dとなり、ドイツ版およびアメリカ版カタログに表示されている+16Dに近似。

2. 倍率

◆ 双眼用ルーペ

- ・ 表示倍率は名目倍率、商用倍率と異なっていた。
- ・ #1645-3(3x)は表示作業距離では負の調節力が必要となるため使用できなかった。
- ・ 修正作業距離を用いた双眼用ルーペの倍率は“表示倍率－1”。

◆ 単眼用ルーペ

- ・ 名目倍率、EVPの名目倍率ともに表示倍率と一致した。

3. 作業距離

◆ 双眼用ルーペの表示倍率を得るための作業距離は...

調節力を付加しエツシェンバッハ光学の解説による作業距離より更に短くする。

$1645-5(1.7x): 10.3\text{cm}$ 、 $1645-1(2x): 7.6\text{cm}$

$1645-2(2.5x): 5.7\text{cm}$ 、 $1645-3(3x): 4.2\text{cm}$

◆ 単眼用ルーペの作業距離は正しかった

VI. 考察

1. エッセンバッハ独自の基準

- ◆ エッセンバッハ光学では双眼用ルーペと、単眼用ルーペの開発経緯が別で、倍率、作業距離の取り方が異なる。
- ◆ 倍率は、+8D以下の双眼用ルーペは $(EVP/4)+1$ 、+8Dを超える単眼用ルーペは $EVP/4$ 。
- ◆ 作業距離は、双眼用ルーペは物体と眼間、単眼用ルーペは物体とレンズ間。

2. 実用的な倍率

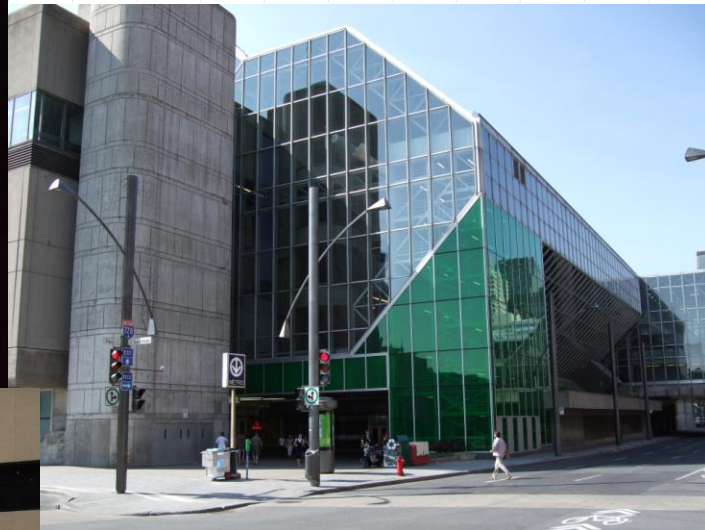
- ◆ 双眼用ルーペの表示倍率を得るためには、エッセンバッハ光学の解説による作業距離よりも短くし、+5.06Dから+8.18Dの調節力が必要。実用的ではない。
- ◆ 実際の倍率は、修正作業距離で使用した場合の“表示倍率-1”とするのが妥当。

Visual Impairment Research

International Society for Low-Vision Research and Rehabilitation (ISLRR)



Vision 2008 in Canada



ご清聴ありがとうございました