

エッセンバッハ光学製ワークルーペの倍率と作業距離

田辺 正明

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

魚里 博

北里大学医療衛生学部

辻 一央

日本眼鏡技術専門学校

Magnification Ratios and Working Distances of Eschenbach "Head and Attachment Magnifiers"

Tadaaki Tanabe

Nippon Lighthouse Welfare Center for the Blind

Hiroshi Uozato

School of Allied Health Sciences, Kitasato University

Kazuhiro Tsuji

Nihon Optical College

目的：エッセンバッハ光学製ワークルーペの表示倍率は実務で用いる数値ではないので、規定の作業距離で使用した場合の倍率、表示倍率を得るための作業距離を検証した。

方法：レンズのデータをカタログと実測により収集し、1. 屈折力を算出し、2. 必要な調節力を求め、それから、3. 倍率を計算し、4. 適切な作業距離を求めた。

結果：規定の作業距離で使用すると、単眼用ルーペでは表示倍率に等しい倍率が得られるが、双眼用ルーペではいずれも表示倍率よりも低い倍率となった。エッセンバッハ光学独自の作業距離を用いると双眼用ルーペの倍率は“表示倍率-1”となり、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なった。

結論：表示倍率は調節力を付加し、規定の作業距離より短くすることにより得られる。

(眼 紀 57 : 442-446, 2006)

キーワード：ルーペ、倍率、作業距離、屈折力、調節力

Purpose : Because magnification ratios (MRs) indicated (IMRs) in catalogs of "Head and Attachment Magnifiers" made by Eschenbach are not common values, we examined the IMRs with relation to the working distances (WDs) indicated (IWDs) in the catalogs and then calculated the corrected WDs.

Methods : From information about loupes given in the catalogs and measurements made with a lensometer, we determined 1) the power of each magnifier and 2) the accommodation needed; we then 3) calculated the MR, and 4) established the corrected WD.

Results : When used within the IWD, each monocular loupe had an MR that was the same as the IMR. However, for binocular loupes, the MR was lower than the IMR. When the loupes were used at the WD revised by Eschenbach, binocular loupes had an IMR of "-1", meaning that a shorter WD was needed to attain the IMR.

Conclusion : With Eschenbach "Head and Attachment Magnifiers", the IMR is only attained when viewing objects at a shorter WD than that indicated in the catalog (the IWD) and with adequate accommodation.

(Folia Ophthalmol Jpn 57 : 442-446, 2006)

Key Words : Loupe, Magnification Ratio, Working Distance, Power, Accommodation

緒 言

ロービジョン者が用いる光学的補助具には、近方視用、中

間視用、遠方視用があるが、中間視のための製品が少ない。その代表的なものにエッセンバッハ光学製ワークルーペがある。カタログ(日本版カタログ¹⁾、ドイツ版カタログ²⁾、アメリカ版カタログ³⁾には倍率、作業距離が記されてい

別刷請求先 : 538-0042 大阪市鶴見区今津中2-4-37 日本ライトハウス視覚障害リハビリテーションセンター養成部 田辺正明
Reprint requests to: Tadaaki Tanabe Nippon Lighthouse Welfare Center for the Blind
2-4-37 Imazu-naka, Tsurumi-ku, Osaka 538-0042, Japan

た。しかし記載された倍率、作業距離で使用できるかどうか疑問がもたれた。なぜなら、実務で用いられる倍率である $\frac{\text{屈折力}}{4}$ または $\frac{\text{屈折力}}{4} + 1^{4)}$ の数値と必ずしも一致していないからである。そのため、本研究では調節力を含めた計算が必要と考えられた。そこで、記載されている作業距離で使用した場合の倍率を検証し、表示倍率を得るために必要な作業距離を明らかにした。

対象および方法

対象としたルーペはエッセンバッハ光学製ワークルーペの #1645-5 (1.7×)、#1645-1 (2×)、#1645-2 (2.5×)、#1645-3 (3×)、#1645-4 (4×) である。レンズの屈折力は倍率、作業距離とともにドイツ版カタログ、アメリカ版カタログに記載されていた(表1)。

屈折力はレンズメーター(Nikon PL-2)でも実測し、ほかに頂間距離、レンズ厚、光学中心間距離はノギスで測定した(表2)。更にレンズの材質は polymethylmethacrylate (PMMA) であり、屈折率は1.49であった。

レンズの倍率、作業距離の検証は以下の順序で行った。

1. 屈折力の算出

前面屈折力(D₁)、後面屈折力(D₂)、レンズ厚(d)、屈

表1 カタログのデータ

製品番号(表示倍率)	1645-5 (1.7×)	1645-1 (2×)	1645-2 (2.5×)	1645-3 (3×)	1645-4 (4×)
屈折力(D) [ドイツ版カタログ]	2.50	2.50	5.00	7.50	16.00
屈折力(D) [アメリカ版カタログ]	2.80	4.00	6.00	8.00	16.00
作業距離(cm)	40	25	18	16	5.5

注:()内は単位

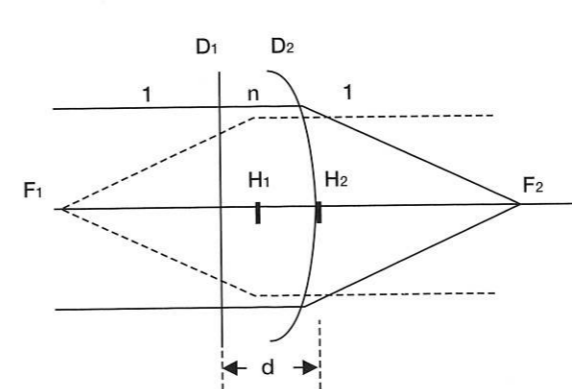


図1 凸平レンズ
H₁:前主点, H₂:後主点, D₁:前面屈折力, D₂:後面屈折力, F₁:前焦点, F₂:後焦点, d:レンズ厚, n:屈折率, F:主点屈折力, F_{vb}:後頂点屈折力, F_{vt}:前頂点屈折力

折率(n)から、主点屈折力(F)をレンズの関係式

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

$$F_{vb} = \frac{F}{1 - \frac{d}{n} \cdot D_1}, F_{vt} = \frac{F}{1 - \frac{d}{n} \cdot D_2}$$

$$f = \frac{1}{F}, f_{vt} = \frac{1}{F_{vt}}$$

を用いて求めた(図1, 2)⁴⁾。

1) 凸平レンズである双眼用ルーペ(図1)、#1645-5 (1.7×)、#1645-1 (2×)、#1645-2 (2.5×)、#1645-3 (3×)の

①主点屈折力

D₁ = 0 であるから

$$F = 0 + D_2 - \frac{d}{n} \cdot 0 \cdot D_2 = D_2$$

②後頂点屈折力

$$F_{vb} = \frac{D_2}{1 - \frac{d}{n} \cdot 0} = D_2$$

後主点の位置

F = D₂ = F_{vb} だから後主点と後頂点は一致する。

表2 測定値

製品番号(表示倍率)	1645-5 (1.7×)	1645-1 (2×)	1645-2 (2.5×)	1645-3 (3×)	1645-4 (4×)
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	
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	

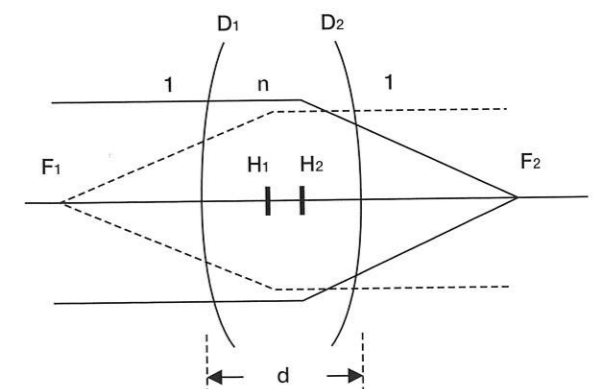


図2 両凸レンズ
H₁:前主点, H₂:後主点, D₁:前面屈折力, D₂:後面屈折力, F₁:前焦点, F₂:後焦点, d:レンズ厚, n:屈折率, F:主点屈折力, F_{vb}:後頂点屈折力, F_{vt}:前頂点屈折力

③前頂点屈折力

$$F_{vt} = \frac{D_2}{1 - \frac{d}{n} \cdot D_2} = \frac{D_2}{\frac{n - dD_2}{n}} = \frac{nD_2}{n - dD_2}$$

前主点の位置

$$f = \frac{1}{F}, f_{vt} = \frac{1}{F_{vt}} \text{ とすると}$$

$$f - f_{vt} = \frac{1}{D_2} - \frac{n - dD_2}{nD_2} = \frac{d}{n}$$

前主点は前頂点より $\frac{d}{n}$ だけレンズ側にある。

つまり、凸平レンズでは後頂点屈折力と主点屈折力は等しいことがわかり、レンズメーターでレンズ凸面側をレンズ当てに当てて測定すれば、その測定値は後頂点屈折力なので主点屈折力を測定できることになる。反対に平面側を下にして測定すると測定値は主点屈折力よりも大きくなる。

よって、主点屈折力はレンズ凸面側の測定値で #1645-5 (1.7×) は +2.50D, #1645-1 (2×) は +2.50D, #1645-2 (2.5×) は +5.00D, #1645-3 (3×) は +7.50D となった。

2) 両凸レンズである単眼用ルーペ (図2), #1645-4 (4×) の主点屈折力

前面屈折力と後面屈折力は等しいので、前面屈折力 (D₁) を求めると、

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

$$2D_1 - \frac{d}{n} \cdot D_1^2 = F$$

$$2nD_1 - dD_1^2 = Fn$$

$$D_1 = \frac{n \pm \sqrt{n^2 - Fnd}}{d}$$

後頂点屈折力 (F_{vb}) = +16.50D なので

$$\frac{F}{1 - \frac{d}{n} \cdot \frac{n \pm \sqrt{n^2 - Fnd}}{d}} = 16.50$$

$$nF^2 + 272.25Fd - 272.25n = 0$$

レンズの屈折率は 1.49 なので n=1.49, レンズ厚は 8.41mm なので d=0.00841 を代入すると、

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

$$F = \frac{-1.1448 \pm \sqrt{1.1448^2 + 1.49 \cdot 405.6525}}{1.49}$$

$$= \frac{-1.1448 \pm 24.6116}{1.49}$$

F>0 だから

$$F = 15.7496$$

つまり、主点屈折力は +15.75D となる。カタログで表示されている +16.00D はほぼ主点屈折力と考えられたが、ここではより詳細に主点屈折力には +15.75D を用いることに

した。

2. 調節力を求める

1) 頂間距離は専用フレームを使用したときのレンズで角膜頂点間距離を実測し、6 cm であった。

2) 記載された作業距離を維持するために必要な調節力を、1. で決定した屈折力と実測した頂間距離を基にして求めた (表3)。調節力 (x) を求める式は後頂点距離を求める式から導いた (レンズの主点屈折力: P, 作業距離 (レンズと物体間距離): w, 頂間距離: s)。

$$\frac{P+x-P \cdot x \cdot s}{1-s \cdot x} = \frac{1}{w} \Rightarrow x = \frac{1-P \cdot w}{w-s(P \cdot w-1)}$$

3. 倍率の計算

1) 1. で求めたレンズの屈折力と 2. で求めた調節力から合成屈折力 (主点屈折力) を $D=P+x-P \cdot x \cdot s$ より求めた。そして、その主点焦点距離上に物体を置き無限遠上に生じた虚像に対する視角と、視距離 25cm 上の物体に対する視角の比である基準倍率、 $\frac{\text{合成屈折力}}{4}$ を求めた (表4)

(この倍率計算方法は Sloan-Habel および Kühl の公式^{5,6)} によるものと同等である)。

4. エッセンバッハ光学の説明に基づく再検証

1) 単眼用ルーペの作業距離の取り方をエッセンバッハ光学による説明に基づき、レンズと物体間距離に修正し、調節力を再計算した (表5)。

2) 訂正した作業距離での合成屈折力および基準倍率を求めた (表6)。

3) 単眼用ルーペの倍率が表示倍率にほぼ等しくなるためには $\frac{\text{合成屈折力}}{4} + 1$ とならなければならない。そのためには調節力を +4.00D 付加し、物体を焦点距離より短く置いて眼から 25cm の距離に生じさせた虚像を、基準倍率を求めたときの主面と眼との距離をゼロに見なければならない。これはレンズと調節力の合成屈折力を “表示倍

表3 調節力

製品番号(表示倍率)	1645-5 (1.7×)	1645-1 (2×)	1645-2 (2.5×)	1645-3 (3×)	1645-4 (4×)
主点屈折力(D):P	2.50	2.50	5.00	7.50	15.75
レンズと物体間距離(cm):w	40	25	18	16	5.5
調節力(D):x	0.00	1.38	0.54	-1.35	2.12

表4 合成屈折力と基準倍率

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

表5 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 (1.7×)	1645-1 (2×)	1645-2 (2.5×)	1645-3 (3×)	1645-4 (4×)	
主点屈折力(D):P	2.50	2.50	5.00	7.50	15.75	
レンズと物体間距離(cm):w	34	19	12	10	5.5	
調節力(D):x	0.43	2.37	2.78	2.17	2.12	

率×4.00D”とし、物体を焦点距離上に置き、無限遠上の虚像を見ることと同等である。そして、その主平面から射出される平行光線が瞳孔に入射すればよいことになる。作業距離である後頂点距離 (レンズと物体間距離:w) を求めると次のようになった (レンズの主点屈折力:P, 合成屈折力:F=表示倍率×4.00, 頂間距離:s, 調節力:x)。

$$\text{調節力 (x): } P+x-P \cdot s \cdot x=F \Rightarrow x = \frac{F-P}{1-P \cdot s} \dots \text{①}$$

$$\text{後頂点屈折力} = \frac{F}{1-s \cdot x} \dots \text{②}$$

②に①を代入すると

$$\text{後頂点屈折力} = \frac{F(1-P \cdot s)}{(1-P \cdot s) - s(F-P)}$$

後頂点距離 (w) は後頂点屈折力の逆数なので

$$w = \frac{(1-P \cdot s) - s(F-P)}{F(1-P \cdot s)} \dots \text{③}$$

①と③の公式を使用して単眼用ルーペを使用する場合の調節力、レンズと物体間距離を求めた (表7)。

結 果

1. 倍率、作業距離はすべてのカタログで等しい数値が記載されていたが、屈折力は日本版には記載されておらず、ドイツ版とアメリカ版では異なった数値になっていた。単眼用ルーペ、#1645-5 (1.7×), #1645-1 (2×), #1645-2 (2.5×), #1645-3 (3×) の主点屈折力はドイツ版カタログの値に一致したので、アメリカ版は誤りであった。単眼用ルーペ、#1645-4 (4×) 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 +16.00D の近似値となった。

2. カatalogに記載された作業距離を維持するためには、#1645-5 (1.7×) では調節は必要ないが、その他の製品では必要であり、調節力は最小-1.35D, 最大+2.12D となった。#1645-3 (3×) では負の調節力が必要となるため、実際には使用できなかった。倍率は、単眼用ルーペでは表示倍率にほぼ等しい数値が得られたが、単眼用ルーペでは表示倍率よりも低くなった。

表6 合成屈折力と基準倍率

製品番号(表示倍率)	1645-5 (1.7×)	1645-1 (2×)	1645-2 (2.5×)	1645-3 (3×)	1645-4 (4×)
合成屈折力(D)	2.87	4.51	6.94	8.70	15.87
基準倍率(合成屈折力/4)(×)	0.72	1.13	1.74	2.17	3.97

表7 単眼用ルーペの調節力、レンズと物体間距離

製品番号(表示倍率)	1645-5 (1.7×)	1645-1 (2×)	1645-2 (2.5×)	1645-3 (3×)
調節力(D):x	5.06	6.47	7.14	8.18
レンズと物体間距離(cm):w	10.3	7.6	5.7	4.2

3. エッセンバッハ光学による訂正後の作業距離を用いるとすべての単眼用ルーペで正の調節力が必要となり、倍率は “表示倍率-1” となった。つまり、カタログに記載された単眼用ルーペの作業距離は基準倍率 $\left(\frac{\text{合成屈折力}}{4} \right)$

で使用した場合の数値であった。また、表示倍率は調節力を付加したエッセンバッハ光学の解説による作業距離より更に短くした場合に得られ、#1645-5 (1.7×) は 10.3cm, #1645-1 (2×) は 7.6cm, #1645-2 (2.5×) は 5.7cm, #1645-3 (3×) は 4.2cm となった。

考 察

1. エッセンバッハ光学では#1645-5 (1.7×), #1645-1 (2×), #1645-2 (2.5×), #1645-3 (3×) の単眼用ルーペと、#1645-4 (4×) の単眼用ルーペの開発経緯が別で、作業距離、倍率の取り方に違いがあり、単眼用ルーペの作業距離は眼と物体間距離 (eye-to-object distance: working distance), 単眼用ルーペの作業距離はレンズと物体間距離 (lens-to-object distance: free working distance) で記載されていた。更に倍率においては、+8.00D を基準にして、+8.00D 以下はロービジョン者だけを対象にするのではなく貿易、一般販売を考慮して $\frac{\text{合成屈折力}}{4} + 1$ とされてお

り、+8.00D をこえる場合は $\frac{\text{合成屈折力}}{4}$ とされていた。つまり、単眼用ルーペでは +8.00D 以下であるため $\frac{\text{合成屈折力}}{4} + 1$, 単眼用ルーペでは +8.00D をこえるため $\frac{\text{合成屈折力}}{4}$ で表記されていた。

2. 単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、+5.06~

+8.18D の調節力を付加しなければならないので、現実的には使用は困難であろう。つまり、一般的に使用できる倍率は（表示倍率-1）とするのが妥当と考えられる。

文 献

- 1) エッセンバッハ光学2005年日本版カタログ, 40-41, エッセンバッハ光学ジャパン, 東京, 2005.

- 2) エッセンバッハ光学 2004/2005年アメリカ版カタログ, 33-34, Eschenbach U.S.A, Ridgefield, 2004.
 3) エッセンバッハ光学2004/2005年ドイツ版カタログ, 37-38, Eschenbach Germany, Nürnberg, 2004.
 4) 築島謙次, 石田みさ子: ロービジョンケアマニュアル, 31-78, 南江堂, 東京, 2000.
 5) Roth G: Allgemeine Optik, 119-120, Herausgeber, Düsseldorf, 1988.
 6) Enders R: Die Optik des Auges und der Sehhilfen, 195-198, Herausgeber, Düsseldorf, 1995.

(2005年9月17日受付)

柳川リハビリテーション病院におけるロービジョンケア 第11報 —労働災害にて両眼を失明した患者へのロービジョンケア—

高橋 広, 久保恵子
柳川リハビリテーション病院眼科

室岡明美
柳川リハビリテーション病院医療相談室

山田信也
国立函館視力障害センター

工藤正一
中途視覚障害者の復職を考える会 (タートルの会)

Low-Vision Care at Yanagawa Rehabilitation Hospital Part 11

— Low-Vision Care for a Patient with Sudden Loss of Vision in Both Eyes Due to an Industrial Accident —

Hiroshi Takahashi and Keiko Kubo
Department of Ophthalmology and Vision Rehabilitation, Yanagawa Rehabilitation Hospital
Akemi Murooka
Division of Medical Social Work, Yanagawa Rehabilitation Hospital
Shinya Yamada
Hakodate National Rehabilitation Center for Persons with Visual Disabilities
Shoichi Kudou
Association for Return-to-Work of the Blind and Visually Impaired (TURTLE)

背景: 突然, 視覚障害者となった場合, 障害受容が非常にむずかしく, 職場復帰できないことが多い。
 事例報告: 30歳男性で, 仕事中に頭蓋骨骨折, 脳挫傷を負い, 両眼球が破裂し, 失明した。2カ月後柳川リハビリテーション病院に転院してきたが, 日常生活動作 (ADL) すべてが全面介助で, 障害受容も全くできていなかった。そこで, 視覚障害者も生活が営め, 仕事もできるとの情報提供からロービジョンケアを開始した。心のケアや身体的回復を図り, 支援団体とも連携することで障害受容は進み, 日常生活, 歩行, パーソナルコンピュータや点字の導入へとつながっていった。職場復帰するためには, 更なる視覚リハビリテーション訓練, とくに職業リハビリテーションが必要である。

結論: 外傷による障害の受容は非常に難しく, この受容過程における眼科医療の支援, ロービジョンケアは重要である。そして, その後の職業リハビリテーションへ積極的につなぐのは大きな使命と考える。

(眼 紀 57: 531-534, 2006)

キーワード: 視覚障害者, 労働災害, 障害受容, ロービジョンケア, 職業リハビリテーション

Background: In cases of sudden loss of vision, it is very difficult for the patient to accept the disability and return to work.

Case Report: A 30-year-old male suffered severe brain injury and total loss of vision in both eyes in an industrial accident. Two months later, he was admitted to Yanagawa Rehabilitation Hospital. On admission, he was accustomed to being assisted by nursing staff in all activities of daily living (ADLs) and was in a state of denial regarding his disabilities. We initiated a care plan to address his mental health as well as physical rehabilitation needs, with the goal of teaching him that persons with visual disabilities can perform many ADLs and return to the workforce. As his mental and physical rehabilitation progressed, he learned to accept his disabilities and participate in vision rehabilitation therapy, including performing ADLs, participating in orientation and mobility training, and training in use of a personal computer and reading Braille. In order for the patient with his disabilities to return to work, additional vision rehabilitation therapy would be needed, including vocational rehabilitation.

Conclusions: Providing optimal low-vision care in eye clinics is very important to help patients accept visual disabilities and to return to work. Health care providers in these settings must be proactive in introducing patients to vocational rehabilitation programs.

(Folia Ophthalmol Jpn 57: 531-534, 2006)

Key Words: Persons with Visual Disability, Industrial Accident, Acceptance of Disability, Low-Vision Care, Vocational Rehabilitation

別刷請求先: 832-0058 柳川市上宮永町 113-2 柳川リハビリテーション病院眼科 高橋 広

Reprint requests to: Hiroshi Takahashi, MD Dept of Ophthalmology & Vision Rehabilitation, Yanagawa Rehabilitation Hosp 113-2 Kamimiyana-machi, Yanagawa 832-0058, Japan