

スタンプルーペの倍率表示

田邊正明

日本ライトハウス

辻 一央

日本眼鏡技術専門学校

日本ロービジョン学会誌

Journal of Japanese Society for Low-vision Research and Rehabilitation

スタンプルーペの倍率表示

田邊正明
日本ライトハウス

辻 一 央
日本眼鏡技術専門学校

Magnification Labels of Bright Field Magnifiers

Tadaaki Tanabe
Nippon Lighthouse
Kazuhiro Tsuji
Nihon Optical College

目的：屈折力 F のルーペの倍率は F/4、もしくは F/4+1 で表示されているが、スタンプルーペはそのいずれにもあてはまらず、表示倍率と使用時の印象が異なることがあるため、適切な倍率表示を求める。

方法：スタンプルーペの基本原理をもとに、ウィナー、PEAK、エッセンバッハ、おんでこのスタンプルーペの等価屈折力、厚さ、表示倍率から、1) 横倍率を計算し、2) 眼で見た虚像が物体の何倍かを実測し横倍率と比較、3) 基準距離を用いた表示倍率から眼とルーペ間距離、調節力を求める。

結果：ウィナー、PEAK、エッセンバッハ、おんでこの等価屈折力はそれぞれ 15.50D、20.50D、20.73D、16.96D、横倍率は 1.55×、1.80×、1.64×、1.73×、実測倍率は 1.50×、1.80×、1.60×、1.70×、表示倍率は 7×、表示なし、1.8×、4× となった。4 社ともに横倍率と実測倍率は近似していたが、横倍率および実測倍率と表示倍率が比較的近似していたのは、表示のなかった PEAK のものを除くと 3 社中エッセンバッハ 1 社のみであった。

考察：スタンプルーペの表示倍率は各社により定義が異なっていた。基準としては虚像と物体を視覚的に比較できる横倍率に統一すべきであり、早期の統一が望まれる。
(日本ロービジョン学会誌 8:134-138, 2008)

キーワード：スタンプルーペ、表示倍率、横倍率

Purpose : Most magnifiers are traditionally labeled with F/4 or F/4+1 where F is the diopter of the lens. However, the labeled magnification of a bright-field magnifier (BFM) is not based on these formulae. The magnification implied by the label bears no relationship to the magnification experienced by the observer when using the magnifier. Thus, we sought to develop a suitable formula for indicating BFM magnification.

Methods : We evaluated characteristics of 4 BFMs. From the equivalent power, the thickness, and the labeled magnification, we (1) calculated the lateral magnification, (2) compared the lateral magnification with the measured magnification, which was determined by comparing the image seen through the magnifier with the object itself, and (3) estimated the eye-to-lens distance and accommodation in relation to the reference distance to obtain the labeled magnification.

Results : The equivalent powers of the BFMs were 15.50D, 20.50D, 20.73D, and 16.96D; the respective lateral magnification were 1.55×, 1.80×, 1.64× and 1.73×; the respective measured magnification were 1.50×, 1.80×, 1.60×, and 1.70×; the respective labeled magnification for each BFM was 7×, none, 1.8×, and 4×. We were only able to identify one BFM for which the labeled magnification approximated the lateral and/or measured magnification.

Conclusions : For each BFM, the magnification was defined differently. The magnification of a BFM should be described as the lateral magnification because only in this way is it possible for users to compare the virtual image with the object.
(J Jpn Soc Low-vision Research and Rehabilitation 8:134-138, 2008)

Key Words : Bright Field Magnifier, Labeled Magnification, Lateral Magnification

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 Nippon Lighthouse
2-4-37 Imazu-naka, Tsurumi-ku, Osaka 538-0042, Japan

緒 言

スタンプルーペは切手や新聞の上に直接接触させて置き、眼をルーペから自然な距離だけ離して双眼で見ることが出来るルーペ¹⁾であり、ロービジョン用補助具としても広く利用されている。小林によるスタンプルーペの製品別簡易倍率換算表²⁾で、物体に対する虚像の倍率である横倍率と、基準距離上にある物体に対する虚像の倍率を眼とレンズの距離の変化に応じて計算した結果が報告されているが、通常、使用者がルーペを購入するときにはメーカーが表示した倍率を参考にしており、他のルーペと比較しながら選定している。メーカーによる倍率表示にはレンズの屈折力を F とすると $\frac{F}{4}$ 、もしくは $\frac{F}{4}+1$ の 2 とおりの方法が使用されているが、スタンプルーペの場合、記載された倍率はそのどちらにもあてはまらないため、本稿では各社の倍率を検証し、適切な倍率を明らかにした。

対象および方法

対象としたスタンプルーペは卓上式ルーペの一種だが、レンズの材質のみで構成された半球体の形をしている。各社から同様の製品が発売されていて、見かけ上は同じものように見える。そこで、まず様々なスタンプルーペに共通する基本的構造を明らかにした上で各社の製品を比較した。

1. スタンプルーペの構造

スタンプルーペの光学的構造を厚さ、横倍率、眼と虚像間の距離、基準距離を用いた倍率に関して、ここに参考文献を示すだけではドイツ語のために理解が容易でないため、Roth G による解析³⁾に基づいて説明すると次のようになる。

1) 厚さ

スタンプルーペは半球に円柱の土台を接合させた形になっ

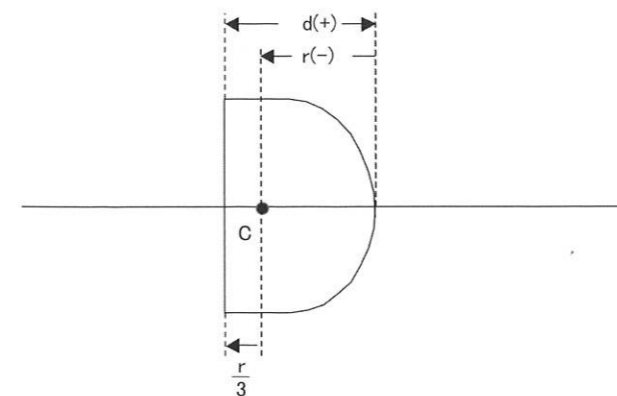


図1 スタンプルーペの理想的な構造
d: 厚さ, r: 後面半径, C: 球面中心

ている。歪曲収差を小さくし、最良の状態で見たい像を見るためには、半球の半径の 1/3 の厚さの土台を接合させる。つまり、厚さは半径の 4/3 とするのが理想的なスタンプルーペとされる (図1)。

2) 横倍率

(1) 等価屈折力は厚いレンズの公式⁴⁾より求められる。

(n: レンズの屈折率, D: 等価屈折力, D₁: 前面屈折力, D₂: 後面屈折力, d: 厚さ)

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

前面は平面なので D₁ = 0 だから、

$$D = 0 + D_2 - 0 = D_2$$

つまり、等価屈折力は後面屈折力と等しくなる。

(2) 後面屈折力は面屈折力の公式⁴⁾より求められる。

(n': 空気の屈折率, n: レンズの屈折率, r: 後面半径)

$$D_2 = \frac{n' - n}{r} \dots\dots\dots (i)$$

$$r = -\frac{3d}{4}, n' = 1 \text{ より}$$

$$D_2 = \frac{4n - 4}{3d}$$

D = D₂ より、等価屈折力は

$$D = \frac{4n - 4}{3d}$$

(3) 横倍率

横倍率 (β') は物体と虚像の比であり、物点 (O) から前主点 (H) までの距離 (a) と後主点 (H') から虚像点 (O') までの距離 (a') の比に等しい (図2)。

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

物体は前頂点 (S₁) 上にあり、距離 (a) は前頂点 (S₁)

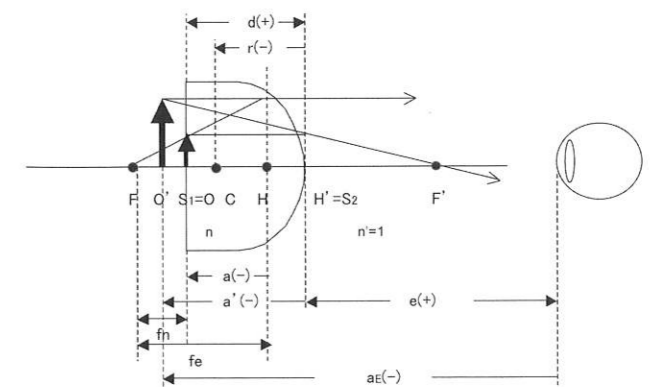


図2 スタンプルーペの物体と像
d: 厚さ, r: 後面半径, F: 前焦点, F': 後焦点,
f_n: 前頂点距離, f_e: 主点焦点距離, H: 前主点,
H': 後主点, S₁: 前頂点, S₂: 後頂点, C: 球面中心

から前主点 (H) までの距離 (\bar{h}) に等しくなるので、主点
焦点距離 (f_e) から前頂点距離 (f_n)⁴⁾ を引いた値となる。

$$-a = \bar{h} = \frac{1}{D} - \frac{1 - \frac{d}{n} \cdot D_2}{D} = \frac{d}{n} \cdot \frac{D_2}{D}$$

$D = D_2$ より

$$a = -\bar{h} = \frac{d}{n}$$

距離 a , a' をバージェンス A , A' であらわすと、

$$a = \frac{1}{A}, a' = \frac{1}{A'}$$

レンズの結像関係より

$$A' = A + D$$

よって、

$$\beta' = \frac{A}{A'} = \frac{A}{A + D} = \frac{-\frac{n}{d}}{-\frac{n}{d} + D} \dots\dots\dots(ii)$$

$D = \frac{4n - 4}{3d}$ のときには、

$$\beta' = \frac{-\frac{n}{d}}{-\frac{n}{d} + \frac{4n - 4}{3d}} = \frac{3n}{4 - n}$$

スタンプルーベの材質はガラスかアクリルで、屈折率は
それぞれ 1.52, 1.49 だが、横倍率を小数点以下第 1 位まで
求めるには屈折率の有効数字を 2 桁とし、小数点以下第 2
位を四捨五入して $n=1.5$ とすると

$$\beta' = 1.8$$

つまり、スタンプルーベは理想的な形であれば直径の大
きさにかかわらず、すべて横倍率は 1.8×となる。

3) 眼と虚像間の距離

$$\beta' = \frac{a'}{a} \text{ より}$$

$$a' = \beta' \cdot a = \frac{3n}{4 - n} \cdot \left(-\frac{d}{n}\right) = -\frac{3d}{4 - n}$$

$n=1.5$ なので

$$a' = -\frac{3d}{2.5} = -1.2d$$

後頂点 (S_2) と後主点 (H'), 前頂点 (S_1) と物点 (O)
は一致するので、物点 (O) から虚像点 (O') までの距離
は a' と厚さ (d) の差となる。

$$-1.2d + d = -0.2d$$

つまり、虚像は物体の場所にととも近いところに生じる。

更に、眼から虚像点 (O') までの距離である調節距離
(a_E) は a' とルーベと眼の間の距離 (e) から得られる。

$$a_E = a' - e = -1.2d - e$$

つまり、スタンプルーベはいつも眼までの距離を比較的
大きくして使わなければならない。

4) 基準距離⁵⁾を用いた倍率

基準距離 25cm 上の物体に対する視角と虚像に対する視
角の比であらわされる倍率 (M) は、横倍率 (β') を定数
とし次の公式⁶⁾を用いて求められる。

$$M = \beta' \cdot \frac{-0.25}{a_E} \dots\dots\dots(iii)$$

2. スタンプルーベの検証

今回調査したスタンプルーベは、ウィナー、PEAK、エッ
シェンバッハ 1424、おんてこクリスタルビュー小の 4 種類
である。それぞれのルーベのカーブ、厚さ、レンズ口径を
計測し、表示倍率を調べる。カーブはカーボン製カーブ計
で計測する。カーブは屈折率を 1.52 としたときの屈折力な
ので、レンズの材質の屈折率に合わせて曲率半径、後面屈
折力 (=等価屈折力) を面屈折力の公式 (i) を使い求める。
材質はウィナー、PEAK はガラス、エッシェンバッハ 1424、
おんてこクリスタルビュー小はアクリルなので、屈折率は
それぞれ 1.52, 1.49 とする。そして、1) スタンプルーベ
の横倍率を計算し、2) 虚像と物体が近いので、実際にルー
ベを通して見る虚像の大きさが物体の何倍かを実測し横倍
率と比較する。更に、3) 基準距離を用いた倍率を表示倍
率としたときの眼とルーベ間距離と調節力を求める。

結 果

カーボン製カーブ計で計測したカーブから計算した曲率

表 1 等価屈折力、厚さ、倍率、調節力

製品名	カーブ値		曲率 半径 (mm)	材質	屈折率	等価 屈折力 (D)	厚さ (mm)	レンズ 口径 (mm)	横倍率	実測 倍率	表示 倍率	眼とルーベ 間距離 (mm)	調節力 (D)
	前面	後面											
ウィナー	0	15.5	-33.5	ガラス	1.52	15.50	35.0	53.0	1.55	1.50	7	19.7	18.01
PEAK	0	20.5	-25.4	ガラス	1.52	20.50	33.0	45.0	1.80	1.80			
ESB1424	0.25	22.0	-23.6	アクリル	1.49	20.73	28.0	42.0	1.64	1.60	1.8	196.7	4.40
おんてこ クリスタルビュー小	-1.50	18.0	-28.9	アクリル	1.49	16.96	37.0	51.0	1.73	1.70	4	65.1	9.26

ESB: エッシェンバッハの略

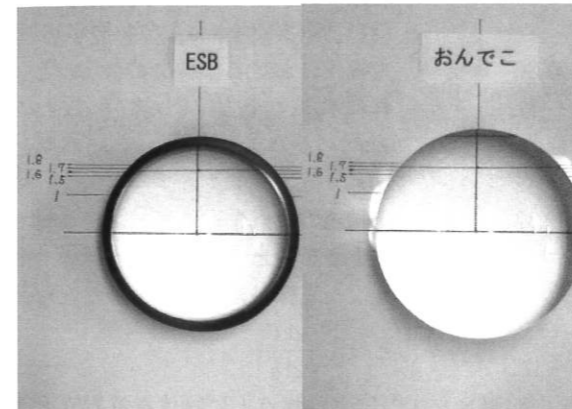
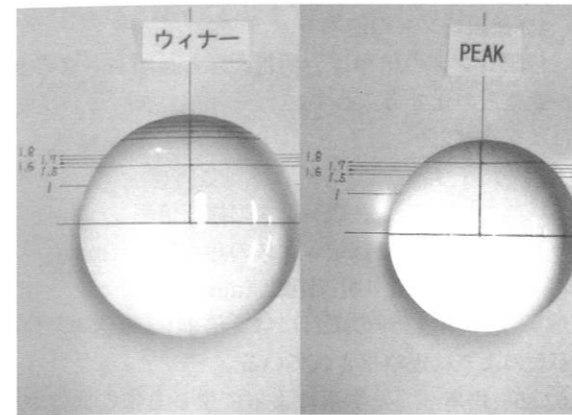


図 3 スタンプルーベで拡大された像
(紙上の数値の単位は cm)

半径と後面屈折力 (=等価屈折力)、定規で計測した厚さ、
レンズ口径は表 1 のとおりであった。エッシェンバッハ
1424 は前面カーブが +0.25、おんてこクリスタルビュー小
は -1.50 であったが、物体とルーベ間距離が非常に小さい
ので、厚いレンズとして考えるときカーブを 0 としても差
し支えない。

横倍率は公式 (ii) にそれぞれの屈折率、等価屈折力、厚
さを代入して求めた。実測倍率は紙面に 1 cm, 1.5 cm,
1.6 cm, 1.7 cm, 1.8 cm の線を引き、その上にスタンプルー
ベを載せて 1 cm の線がどれだけ拡大されているかを紙面か
ら 25cm の距離で観察し、撮影して決定した (図 3)。

公式より求めた横倍率と実測倍率はそれぞれ、ウィナー
が 1.55×と 1.50×、PEAK が 1.80×と 1.80×、エッシェン
バッハ 1424 が 1.64×と 1.60×、おんてこクリスタルビュー
小が 1.73×と 1.70×となった (表 1)。

カタログやルーベに記載された表示倍率はウィナーが
7×、PEAK は表示なし、エッシェンバッハ 1424 は 1.8×、
おんてこクリスタルビュー小は 4×であった。表示倍率を
得るための眼とルーベ間距離の計算式は、調節力を利用し
基準距離を 25cm とすると次のようになる (n : レンズの屈
折率, D : 等価屈折力, d : 厚さ, β' : 横倍率, m : 表示倍
率, e : 眼とルーベ間距離, a_E : 調節距離)。また、調節力

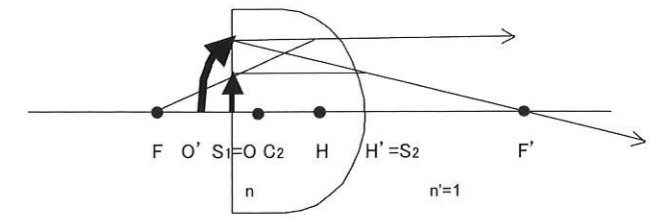


図 4 $\frac{4r}{3}$ より薄いスタンプルーベの物体と像

は $\frac{1}{a_E}$ で求めた。

公式 (iii) より

$$m = \beta' \cdot \frac{-0.25}{a_E} \Rightarrow a_E = \frac{-0.25 \beta'}{m}$$

$a_E = a' - e$ を変形し、上式を代入すると

$$e = a' - a_E = \frac{1}{A + D} - a_E = \frac{1}{\frac{1}{a} + D} - \frac{-0.25 \beta'}{m}$$

上式にそれぞれの屈折率、等価屈折力、厚さ、横倍率、
表示倍率を代入すると、眼とルーベ間距離はウィナーが
19.7mm、エッシェンバッハ 1424 が 196.7mm、おんてこクリ
スタルビュー小が 65.1mm となり、虚像を見るための調節
力はウィナーが 18.01D、エッシェンバッハ 1424 が 4.40D、
おんてこクリスタルビュー小が 9.26D 必要となった。なお、
PEAK は表示倍率がなかったため除外した。

つまり、4 社ともに横倍率と実測倍率は近似していたが、
横倍率および実測倍率と表示倍率が比較的近似していたの
は、表示のなかった PEAK のものを除くと 3 社中エッシェ
ンバッハ 1 社のみであった。

考 察

スタンプルーベは紙面に接触して置き、虚像が物体の近
くにあるので紙面を読むときとほぼ同じ距離だけ眼を離し
て双眼で読むのが一般的な使用方法である。明視距離の基準
とされる距離は 25cm なので、紙面から 25cm の距離から撮
影した図 3 の写真は使用者が実際に使うときの見え方であ
る。眼と虚像間距離がほぼ基準距離 25cm と等しいので図 3
のスケールの値は基準距離を用いた倍率 (M) に等しく、
公式 (iii) に $a_E = -0.25$ を代入すれば $M = \beta'$ となり、その
結果スケールの値は横倍率と等しくなることがわかる。つ
まり、使用者が実際に主観的に感じるスタンプルーベの拡
大倍率と横倍率は図 3 に示すように 1.5×~1.8×の間であ
る。しかし、現状は 7×、表示なし、1.8×、4×のように表
示されている。その背景にはスタンプルーベの倍率表示の

基準が明確にされておらず、各社ばらばらな表示をしていることが原因になっている。

各社の倍率表示の基準は明らかにされていないため、表示されている倍率の意味は推察の域から脱することはできないが、眼とルーペ間距離を変化させ眼と物体間の基準距離を25cmとしたときの倍率を考えると表示倍率を得ることができた。しかし、そのためには眼をスタンプルーペに近づけるため調節力が使用され、ウィナーは18.01D、おんてこクリスタルビュー小は9.26Dだけ必要となるが、実際にはそれだけの調節力を働かせることはできないので、7×、4×の表示倍率を得ることは不可能と考えられた。エッセンバツハ1424の表示倍率1.8×を得るために必要とされる4.40Dは調節力としては妥当と考えられた。

一方、おんてこクリスタルビュー小の表示倍率4×は横倍率(約2倍)×横倍率(約2倍)=4×と面積比を表示したものと推察される。PEAKでは倍率の表示がなかったが、スタンプルーペの理想的な形状とほぼ一致しており、1.80×の横倍率および実測倍率が得られ、今回調査したスタンプルーペのなかでは一番大きな倍率となった。また、スタンプルーペのモデルとなる横倍率は1.8×であるが、PEAK以外の製品は1.8×未満である。これはスタンプルーペの厚さが理論的な厚さ(4r/3)よりも薄いためである。それぞれの厚さの実測値と理論値の差は、ウィナーは-9.7mm、PEAKは-0.8mm、エッセンバツハ1424は-3.5mm、おんてこクリスタルビュー小は-1.5mmであった。理論値より薄いときの結像関係を作図⁷⁾すると図4のように虚像が生じるので、レンズ周辺部の倍率が中心部よりも低くなり、とくにウィナーでは直線が中心部で盛り上がった形に見える(図3)。そこで、空気中では9.7/1.52=6.4mmだけ持ち上げてウィナーのルーペを使用すると直線の歪みがなくなり、横倍率が1.8×として使用できると考えられた。

スタンプルーペは様々なホームページでも紹介され、オンラインショップでも簡単に手に入れることができるようになってきている。しかし、そこで記述されている表示倍率は混乱を極めていて、すべて1.8×と表示されていることもあれば約2倍とされていたり、様々な倍率を表記していることもある。大学病院や公的な医療センターで行われているロービジョンケアを紹介するホームページにも倍率の記載があり、今後倍率で処方せんを書くようになることも想定すると、統一した倍率表示にすべきである。

日本工業規格(以下JIS)には拡大鏡の倍率としての記述はないが、レンズの倍率に関しては「JISハンドブック24光学機器」の「顕微鏡—倍率」⁸⁾の項目に接眼レンズの倍率が次のように規格化されている：

4.3 接眼レンズの倍率

接眼レンズの倍率は、明視距離と接眼レンズの焦点距離との比であらわす。

$$M_E = \frac{250}{f_E}$$

ここに、 M_E ：接眼レンズの観察倍率

f_E ：接眼レンズの焦点距離 (mm)

250：明視距離 (mm)

また、「光学用語」⁹⁾の項目には「倍率」「縦倍率」「角倍率」が次のように規格化されている。

01.02.35 倍率 光学系によって生じる像の大きさと、物体の大きさとの比。これを横倍率といい、他に縦倍率および角倍率がある。

01.02.36 縦倍率 光軸上における小線分の像 $\Delta z'$ と、それに共役な物体の小線分 Δz との比
$$\frac{\Delta z'}{\Delta z}$$

01.02.37 角倍率 光軸上の像点を通る光線が、光軸となす小さな角 $\Delta \theta'$ と、物点を通るそれに共役な光線が光軸となす小さい角 $\Delta \theta$ との比
$$\frac{\Delta \theta'}{\Delta \theta}$$

JISの接眼レンズの倍率は焦点上に物体を位置させたときに生じる無限遠上の虚像を見る必要があるため、有限距離に虚像を作り、眼をルーペから離して使用するスタンプルーペにはなじまない。そこでスタンプルーペの表示倍率は虚像と物体を視覚的に比較でき、眼とルーペ間距離の違いによる変化がない横倍率に統一するのが望ましく、早期の統一が望まれる。

文 献

- 1) Jackson AJ & Wolffsohn JS: Low Vision Manual. 218-221, Butterworth-Heinemann, London, 2007.
- 2) 小林 章: スタンドルーペの製品別簡易倍率換算表の試作. 眼紀 56: 13-18, 2005.
- 3) Roth G: Allgemeine Optik. 123-125, Herausgeber, Düsseldorf, 1988.
- 4) 築島謙次, 石田みさ子: ロービジョンケアマニュアル. 41-42, 南江堂, 東京, 2000.
- 5) 築島謙次, 石田みさ子: ロービジョンケアマニュアル. 57-63, 南江堂, 東京, 2000.
- 6) Roth G: Allgemeine Optik. 116-117, Herausgeber, Düsseldorf, 1988.
- 7) Freeman MH & Hull CC: Optics. 61-63, Butterworth-Heinemann, London, 2003.
- 8) 伊藤二良, 中野 功雄: JISハンドブック24光学機器. 財団法人規格協会, 529, 東京, 2007.
- 9) 伊藤二良, 中野 功雄: JISハンドブック24光学機器. 財団法人規格協会, 342, 東京, 2007.

(2007年9月23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
