
What's ハズキルーペ？

－ハズキルーペはなぜ大きく見えるのか、
ロービジョン者には有効なのか－

日本ライトハウス養成部
田邊 正明*

I. はじめに

ハズキルーペは両眼視できる拡大鏡で倍率1.32×、1.6×、1.85×の3種類が発売されている眼鏡型ルーペ（図1）で、大きく見えると宣伝されていることから、ロービジョン者もハズキルーペの拡大効果を期待して購入することがある。

独立行政法人国民生活センターの令和3年2月4日の報道発表資料「眼鏡型の拡大鏡による見え方－視力・老眼などを矯正できるものではありません－」（https://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20210204_1.pdf）においては「眼鏡型の拡大鏡を使用しても明瞭に見えない、表示倍率どおりに拡大されないなど、眼鏡型の拡大鏡による見え方に関する相談が419件寄せられています」とあり、商品の見え方、特製のテスト結果が公開されているが、一般の消費者には分かりにくい商品となっている。

ハズキルーペに関してインターネッ

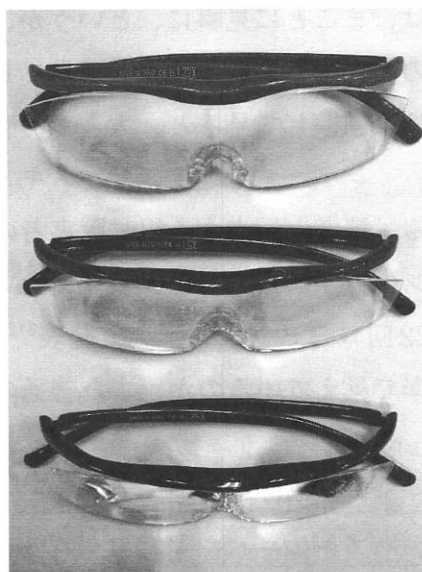


図1 ハズキルーペの3種類
上から順に、倍率1.32×、1.6×、1.85×

*たなべただあき 日本ライトハウス養成部

トで検索すると岡本隆博氏のルーペメガネ研究会のホームページ(<https://usukal.biz/loupe/index.html>)の中で次のように説明されていた(参照日:2021年1月、2023年12月現在はこのURLは削除されている)。

「拡大は一種の錯覚。すなわち、『相対的な開散は、ものを大きく感じさせる』わけである。ではなぜ、眼が相対的に開散すると、ものが大きく見えるのだろうか。その答えは以下の通りである。(a)眼がある輻輳量であるものを見ているとする。(b)次に、同じ距離の同じものを、何らかの手段により眼の輻輳量を減らして、すなわち、相対的に開散して見たとしよう。そうすると、眼の輻輳量が減ったことにより、脳は、同じ距離にあるものを、より遠くに離れたものなのだと、誤った認識をしてしまう。

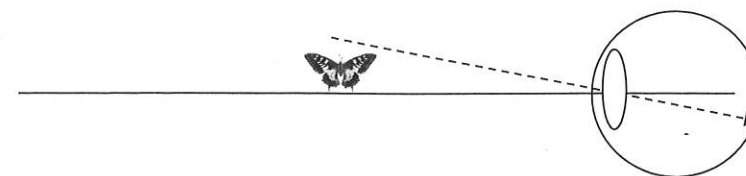
一種の錯覚。それでいて、網膜に写っている像の大きさは、(a)のときの大きさと同じであるがゆえに、脳は『遠くにあるものが元の距離にあるものと同じ大きさで網膜に映っている』と解釈し、(a)に比べると(b)ではやや大きいものがやや離れて存在しているのだ、という解釈をせざるを得ない。そして、脳は、まことに見事に、というか、素直にというか、解釈したとおりに、そのものの大きさを自動修正して見てしまうのである。ゆえに『眼は同じものを相対的に開散して見ると、大きく“感じて”しまう』わけなのである。」

インターネット上ではハズキルーペの使い方が様々なサイトで説明されている。筆者が担当する視覚障害者の生活訓練をする訪問指導で出会うロービジョンの方が購入され、よく見えないと訴えられることがある。そこで、第21回、22回ロービジョン学会で発表¹⁾²⁾した内容をまとめる形で、表記されている倍率で見えているのか、また普通の眼鏡との違いを説明してみたい。

II. 単レンズとしての拡大効果

ハズキルーペを左右どちらかの眼で見た場合を考えてみよう。そうすると1枚のルーペを目に近づけて見ていることになる。一枚の単レンズの焦点(F)上で物体を見ると仮定すると無限遠にある拡大された虚像を無調節で観察できる。眼とレンズが離れてもレンズを通して見える大きさは変わらないが、レンズなしの裸眼で物体を見たときには網膜像は小さくなるため、レンズを通すと拡大

裸眼で見ると・・・



ルーペを通してみると・・・

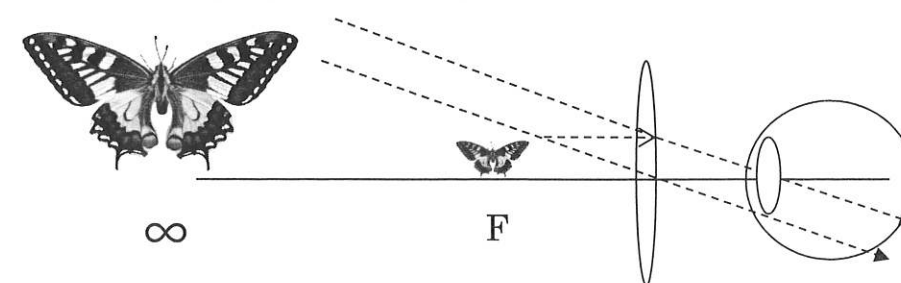


図2 単眼視によるルーペの見え方

されたように感じる(図2)。

実際の拡大された見え方は、 S :物体のバージェンス、 l :頂点間距離、 D :屈折力とすると以下に示した近用眼鏡倍率の公式³⁾を用いて見かけの倍率として計算できる。

$$m = \frac{1 - lS}{1 - l(S + D)}$$

ハズキルーペの表示倍率1.32×、1.6×、1.85×の製品の屈折力はそれぞれ1.25D、2.50D、3.25D、物体とレンズ間距離をそれぞれハズキルーペのカタログで説明されている数値を参考にして400.0mm、300.0mm、200.0mmと仮定し、それぞれの物体のバージェンスは物体とレンズ間距離の逆数で-2.50D、-3.33D、-5.00D、頂点間距離を20.0mmとして計算すると、近用眼鏡倍率は表1のようになった。つまり、物体が裸眼で見たときの像よりも近用眼鏡倍率だけ大きくなり、その値は1.02~1.07×となって、単眼視では少し大きくなる程度である。

表1 近用眼鏡倍率

表示倍率 (×)	屈折力 (D)	物体のバー ジェンス (D)	頂点間距離 (mm)	近用眼鏡 倍率 (×)
1.32	1.25	-2.50	20.0	1.02
1.6	2.50	-3.33	20.0	1.05
1.85	3.50	-5.00	20.0	1.07

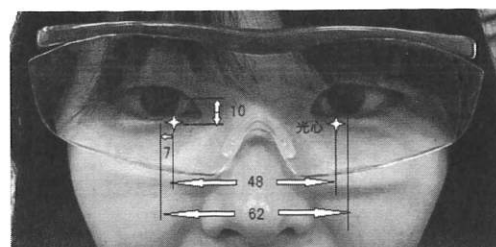


図3 瞳孔間距離62.0mmの被験者が1.6×のハズキルーペを装用した状態
左右と上下方向にプリズムが入っている。光心間距離：一般的な瞳孔間距離 60.0mm
よりも短く、水平方向は左右眼ともにbase inである。

Ⅲ. プリズムレンズ

ハズキルーペの1.6×を例にして、瞳孔間距離62.0mmの被験者が装用した状態を写真撮影し(図3)、ここでは計算を簡便にするため前述のレンズと物体間距離をレンズの焦点距離に等しいと仮定して両眼で観察した場合の見え方を考察した。

ハズキルーペは両眼で見るルーペであり、1.32×と1.6×の光心間距離は48.0mm、1.85×の光心間距離は41.0mmであった。図3に示した被験者の瞳孔間距離は62.0mmであるから、光心と瞳孔とのずれはそれぞれ7.0mm、10.5mmとなり、そのためにbase inプリズムの作用が起こる。プレントイスの公式より、ずれの大きさをプリズムディオプトル(Δ)で表すと、表2のようになった。ハズキルーペを遠方視用眼鏡として装用し、無限遠の物体を見ると仮定すると、プレントイスの法則によりレンズから1m離れた位置が1.32×では8.8mm、1.6×では17.5mm、1.85×では34.1mm耳側にずれて見える。両眼ともに耳側に物体がずれ、輻輳角が減少して開散が生じ、実際の物体の位置

表2 物体のずれ

表示倍率 (×)	屈折力 (D)	瞳孔と光心の ずれ (mm)	物体のずれ (Δ)
1.32	1.25	7.0	0.88
1.6	2.50	7.0	1.75
1.85	3.25	10.5	3.41

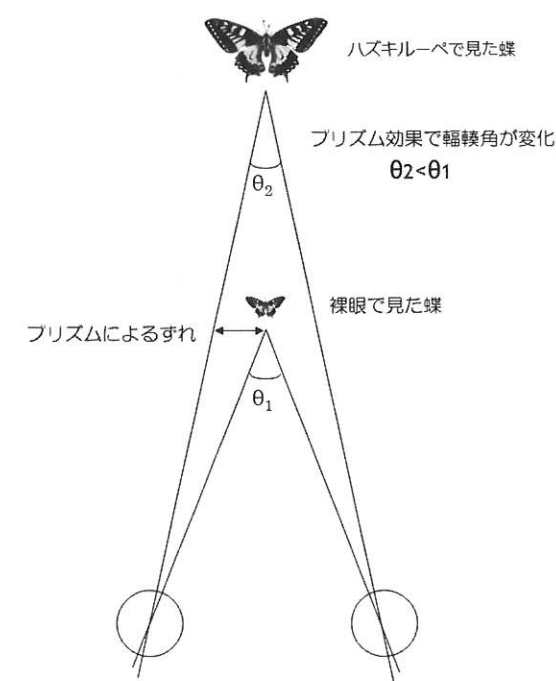


図4 両眼でハズキルーペで見る蝶

よりも遠くに位置するように見える。プリズム効果で輻輳角が変化し、裸眼で見たときの輻輳角 θ_1 よりもハズキルーペで見る虚像の輻輳角 θ_2 のほうが小さくなり($\theta_2 < \theta_1$)、実際の物体よりも耳側に虚像は動く。つまり、大きさが単眼で少しだけ大きくなったうえで、両眼で見ると眼が開散しその大きさと同じ大きさで実際の位置よりも遠くにあるように感じるため、単眼で見た大きさよりもさらに大きく感じる。(図4)。

垂直方向に関しては光心は瞳孔位置よりも約10.0mm下方に位置しており、base downのプリズムになる。左右眼共にプリズムの基底方向は同じなので物

体が裸眼のときよりも浮き上がって見える (図5)。

図6のように焦点上にある物体を近方視するため、光軸上の無限遠に虚像が生じる。そのため、瞳孔と光心のずれだけ耳側に虚像がずれて見える。その結果両眼視したときの虚像のみかけの位置は物体よりも x cm だけ遠くにあるように見える。虚像の見かけの位置と物体間距離 (x) は、f: レンズの焦点距離、

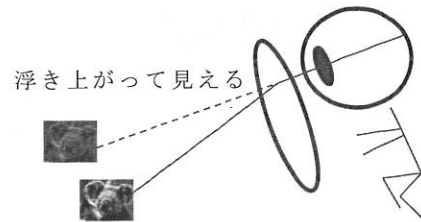


図5 垂直方向のプリズム作用は左右眼ともに同じ方向

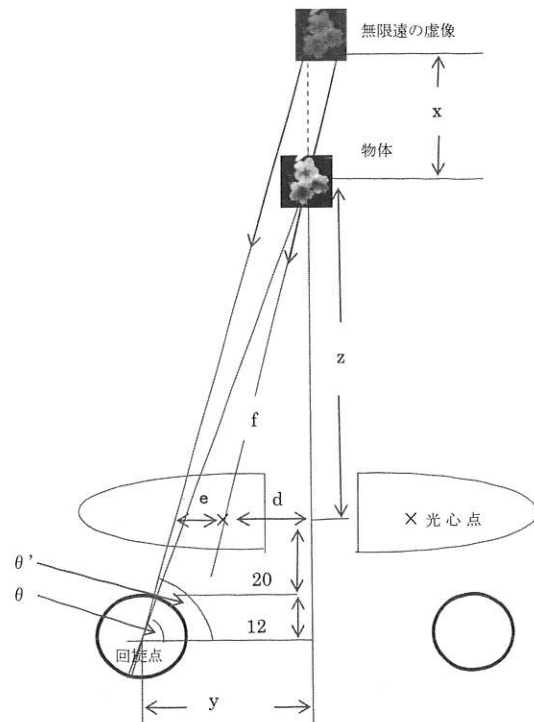


図6 両眼視による見かけの虚像位置と物体

f: レンズの焦点距離、d: 光心間距離/2、e: 瞳孔と光心のずれ、x: 物体と両眼視によるみかけの虚像位置と物体間距離

d: 光心間距離/2、e: 瞳孔と光心のずれ、x: 物体と両眼視によるみかけの虚像位置と物体間距離として求めると次の式で表わされる (Appendix 1)。

$$x = e \sqrt{\frac{f^2}{d^2} - 1}$$

その結果、実際にはその場所に像が存在するわけではないが、虚像の見かけの位置と物体間距離は1.32×は233.2mm、1.6×は116.5mm、1.85×は146.0mmとなった (表3)。

ここで眼球を外側に回旋し遠いところを見た場合に回旋倍率が生じることが分かっているが (Appendix 2)⁴⁾、近方視で見た場合を考え、虚像は無限遠にあり、回旋量の増加による拡大を眼の回旋点間距離を 2y、回旋点と角膜間距離を 12mm、無限遠を見たときの回旋角度を θ' 、実物を見たときの回旋角度を θ として奥行き感の違いを回旋倍率 (M_{rot}) として求めると次の式で表される (Appendix 3)。

$$M_{rot} = \frac{\theta'}{\theta} = 1 + \frac{x(\sqrt{f^2 - d^2} - 32)}{f^2 - d^2 - 1024}$$

上式に表3で求められた虚像と物体間距離 (x)、焦点距離 (f)、光心間距離/2 (d) を代入して回旋倍率を求めると、表4のようになった。

表3 虚像と物体間距離

表示倍率 (×)	屈折力 (D)	瞳孔と光心のずれ (e) (mm)	光心間距離/2 (d) (mm)	焦点距離 (f) (mm)	虚像と物体間距離 (x) (mm)
1.32	1.25	7.0	24.0	800.0	233.2
1.6	2.50	7.0	24.0	400.0	116.5
1.85	3.50	10.5	20.5	285.7	146.0

表4 3種類のハズキルーペの回旋倍率

表示倍率 (×)	光心間距離/2 (d) (mm)	焦点距離 (f) (mm)	虚像と物体間距離 (x) (mm)	回旋倍率 (×)
1.32	24.0	800.0	233.2	1.28
1.6	24.0	400.0	116.5	1.27
1.85	20.5	285.7	146.0	1.46

表5 表示倍率と商用倍率

表示倍率 (x)	屈折力 (D)	焦点距離 (mm)	商用倍率 (屈折力/4)+1 (x)
1.32	1.25	800.0	1.313
1.6	2.50	400.0	1.625
1.85	3.50	285.7	1.875

表6 近用眼鏡倍率×回旋倍率

表示倍率 (x)	近用眼鏡 倍率 (x)	回旋倍 率 (x)	近用眼鏡倍率 ×回旋倍率
1.32	1.02	1.28	1.31
1.6	1.05	1.27	1.33
1.85	1.07	1.46	1.56

IV. ハズキルーペの倍率表示の根拠を探る

ハズキルーペの表示倍率と眼鏡レンズの屈折力を4で割った数値に1を加えた商用倍率⁵⁾と比較した結果は表5の通りでありほぼ等しいので、ハズキルーペの表示倍率は商用倍率と考えられる。しかし、ハズキルーペを装用したときに感じる拡大は商用倍率ではないため、倍率に疑問を持つ利用者は多いであろう。

単眼で見る場合には近用眼鏡倍率と回旋倍率の積が実際に見える感覚に近いと考えて計算すると、表示倍率1.32、1.6、1.85×の製品はそれぞれ1.31、1.33、1.56×のようになった(表6)。近用眼鏡倍率と回旋倍率に加え、両眼で見ると輻輳角が減少し遠くに見えるため拡大効果がでていいる。しかし、単眼視するロービジョン者にとってはたとえ回旋倍率による効果があっても拡大が実感しにくいと考えられる。

V. ハズキルーペの原型

ハズキルーペにはその原型があり、屈折力:2.50D、光心間距離:48mm、近方視用に内側に反りが入ったペアルーペという商品があった(図7、8)。実際に装用すると頂点間距離は50mm、鼻でずらしていくと80mm位になる(図9)。



図7 ハズキルーペの原型
ペアルーペと説明書。写真は宝田明さんらしい

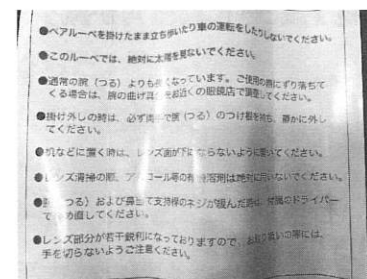


図8 ペアルーペ注意書き



図9 ペアルーペを装用した状態

眼鏡倍率をだすためには頂点間距離は長くする必要があるので、ペアルーペは理論に忠実に作られていた。

VI. ハズキルーペが有効であったロービジョン者の症例

【症例】年齢28歳の女性。身体障害者手帳の等級は2級で、「網膜色素変性症による周辺視野角度の総和が左右眼それぞれ80°以下かつ両眼中心視野角度が28°以下」。視力はR:0.8(C -1.00 Ax 120 1.0△基底180, L:0.8(C -1.00 Ax 60 1.0△基底270 PD 58)で、東海光学CCP 400FLで眼鏡を作成している。新聞は裸眼で30cmの視距離で普通に読めるが、パソコン作業をするときなどは疲れてくるという訴えがあったため、ハズキルーペ1.32×を試用した。

【経過】ハズキルーペを裸眼で装用すると視距離30cm、常用眼鏡の上にハズキルーペを装用すると視距離40cmで書物を読むことができた。パソコン作業に関しては実際の作業場面で使ってもらうために貸し出しをして様子を見ることにした。約2週間実際に使ってみた結果、パソコン作業が楽になったとの報告を受け、その後購入に至った。就職も決定しており、事務での就労に使うことになった。

VII. そのほかのプリズム眼鏡

Eschenbach社製Bino comfortは高屈折力の両眼ルーペである。図10は屈折力+8.0D、光心間距離44mmのロービジョン用プリズム眼鏡である。

ホプニック研究所からは通常的眼鏡に接着剤なしで貼り付けられるNeotac prismが発売された。老眼鏡に貼り付ければ近方視するときには輻輳角が減少する。



図10 Prismatic bino comfort

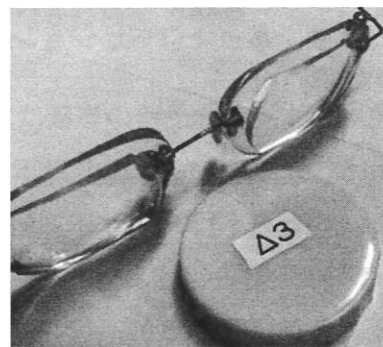


図11 Neotac prism

VIII. まとめ

ハズキルーペはテレビコマーシャルによる宣伝効果もあり、ルーペをおしゃれに掛けられる意味では大衆化された画期的な商品であるがゆえに、誰でも購入することができ、利用者に合った光学的補助具であるかどうかの助言を受けられないことが多い。その設計思想は両眼で装用するプリズム眼鏡であり、単眼で見ることが多いロービジョン者には適合していない。しかし輻輳可能なロービジョン者にとっては有効である。

Appendix 1

図6に示したように、レンズの焦点距離を f 、光心間距離/2を d 、瞳孔と光心のずれを e 、物体と無限遠の虚像間距離を x として一般式で表すと以下のようになった。

三角形の相似の関係より、

$$\frac{z}{d} = \frac{z+x}{e+d} \dots \textcircled{1}$$

三平方の定理より

$$z = \sqrt{f^2 - d^2} \dots \textcircled{2}$$

②式を①式に代入

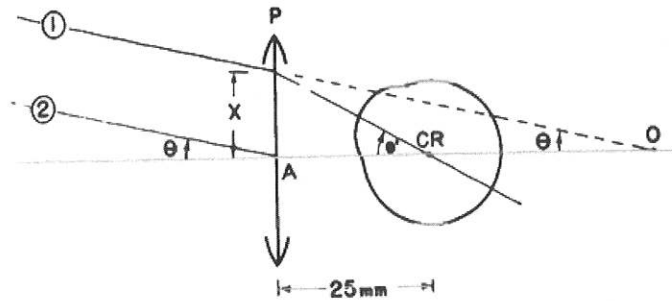
$$x = e \sqrt{\frac{f^2}{d^2} - 1}$$

Appendix 2 回旋倍率 (臨床医のための光学より引用)⁴⁾

レンズを通して軸外の物体を見上げるにはどれくらい目の回旋が必要なのかを見て、この回旋を同じ物体をレンズなしで見するのに必要な回旋と比較してみましょう。この比較は百分率が使われるので拡大として見られる可能性もあります一だから横倍率、角倍率、そして縦倍率に加え、回旋倍率もあるのです。このタイプは他と関連性はなく、重要な考えではありません。実際は(生じる

徴候を中心に話せば) 患者にとって眼鏡レンズの角倍率と同じくらいかそれ以上に重要かもしれません。

下の図を見て下さい



目は角膜が約15mm離れるように矯正レンズの後ろに典型的に置かれます。目の回旋点CRはおおよそ目の“中心”に当たり、角膜からたぶん12mm後ろになります。だから回旋点はおおよそレンズの後方25mmになります。(2mmの違いにけちをつけてはいけません。それを無視すると算数が簡単になります！)

無限遠の物体からの光線1はレンズ(ここではプラスレンズです)に突き当たります。この光線は屈折の後目の回旋点で軸と交わるように選ばれました。それが軸と作る角は θ' です。これはレンズを通して無限遠の軸外物体を見るために目が回旋しなければならない角です。レンズなしではこの目は同じ物体を見るためには角 θ だけ回旋しなければならないだけです(ここでは θ はレンズの節点を通る光線2で表されています。)

光線1は光線2と平行です。だから、もし私たちが光線1を進め続けるなら(レンズを通過しますが、それによる屈折はありません)、それも角 θ で軸を横切るでしょう。光線1のこの直進は点Oで軸と交わるでしょう。

しばらくの間、無限遠にある1つの物点から光線1と2両方が生じる事実を無視して、光線1を見ましょう。それと軸は2本の光線を表すことができ、両方はOに向かっていきます。その時、それらは共にレンズの虚の物点として点Oの位置を固定しますから、回旋点是对応する像点となることが分かるでしょう。ゆえに、軸上点Oと回旋点は共役であり、レンズからOまでの距離は距離uとなり、レンズから回旋点までの距離(ここでは25mm)はvです。

$$U+P=V; \quad \text{また } V=1/0.025=+40D$$

$$\text{ゆえに、} \quad U=40-P$$

$$u=1/(40-P); \quad \text{また } v=1/40$$

微小な角において示されているレンズ面の長さxでは、

$$\theta' = x/v = x/(1/40) = 40x$$

$$\theta = x/u = x/(1/(40-P)) = (40-P)x$$

$$\text{回旋倍率} = \theta'/\theta = 40/(40-P)$$

この関係は眼鏡レンズ面に位置するどんな矯正レンズ(プラスもしくはマイナス)でも真です。無水晶体眼用レンズの+12Dでは回旋倍率は

つまり、143%

Appendix 3 (図6参照)

θ 、 θ' が微小な角とすると、近方視の場合の回旋倍率は

$$M_{rot} = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{z+x+32}{y} \times \frac{y}{z+32} = \frac{z+x+32}{z+32}$$

式②を代入。

$$\begin{aligned} &= \frac{\sqrt{f^2-d^2}+x+32}{\sqrt{f^2-d^2}+32} = \frac{(\sqrt{f^2-d^2}-32)(\sqrt{f^2-d^2}+x+32)}{(\sqrt{f^2-d^2}-32)(\sqrt{f^2-d^2}+32)} \\ &= \frac{f^2-d^2+(x+32)\sqrt{f^2-d^2}-32\sqrt{f^2-d^2}-32(x+32)}{f^2-d^2-32^2} \end{aligned}$$

$$= \frac{f^2-d^2+x\sqrt{f^2-d^2}+32\sqrt{f^2-d^2}-32\sqrt{f^2-d^2}-32x-1024}{f^2-d^2-1024}$$

$$= \frac{f^2-d^2+x\sqrt{f^2-d^2}-32x-1024}{f^2-d^2-1024}$$

$$= 1 + \frac{x(\sqrt{f^2-d^2}-32)}{f^2-d^2-1024}$$

引用文献

- 1) 田邊正明：ハズキルーペはロービジョン者に有効か？：日本ロービジョン学会誌21：S19, 2020.
- 2) 田邊正明：ハズキルーペがロービジョン者に有効であった一症例：日本ロービジョン学会誌22：S21, 2021.
- 3) 築島謙次, 石田みさ子編：ロービジョンケアマニュアル. 南江堂, 54-55, 2000.
- 4) Melvin L. Rubin 著, 田邊正明訳：臨床医のための光学. TANABE, 206-208, 2002.
- 5) 鶴田匡夫：光の鉛筆 読書用ルーペ1 倍率と解像力. O plus E 新技術コミュニケーションズ 28: 510-511, 2006.