

3

眼鏡レンズの種類

-Types of spectacle lenses-

金子 弘*

はじめに

眼鏡レンズは長いあいだ、水晶やガラスで作られていたが、20世紀になって合成高分子のプラスチック素材が発明され、第二次大戦後、急激にプラスチック製の眼鏡レンズが普及するようになった。プラスチックのレンズはガラスに比べて軽く(比重は約半分)、割れにくく、カラー染色ができるなどの長所がある。しかし、ガラスに比べて軟らかく、キズが付きやすいなどの欠点もあった。ただ、これも近年、新たな硬質素材やハードコーティングの発達で十分実用に耐え得るものになっている。また屈折率の高いプラスチック素材も開発され、そのためレンズ厚はより薄く、重量も比較的軽くできるようになった。現在のところ国内では屈折率が1.76の商品まで販売されている。さらに、カラー、偏光、調光などさまざまな機能が付加され、眼鏡レンズは約95%がプラスチック製に置き換わっている。

眼鏡レンズの設計は当初、基本的な球面、円柱面、トロイダル面(トーリック面)を用いたものしかなかったが、光線追跡法などの設計手法の発展によって非球面設計のレンズが登場し、レンズはよりフラットになり、レンズ厚もより薄くできるようになった。

一方、かつては1枚のレンズ全体がひとつの屈折度数しか持たない単焦点レンズのみであったが、二焦点のような境目のある遠近両用レンズを経て、現在では屈折力が連続的に変化する境目のない累進屈折力レンズが主体となって、数多くの特徴あるレンズが発売されるようになった¹⁾²⁾。これは近年において自由曲面の加工技術が格段に進歩した賜物である。

本稿では、非球面設計、および累進屈折力レンズの種類と構造を確認するとともに、実際の臨床現場において検眼や装用テストを行う場合の注意点について検討する。また、ユニークな機能を持つニッチな最新のレンズやコーティングも合わせて紹介する。

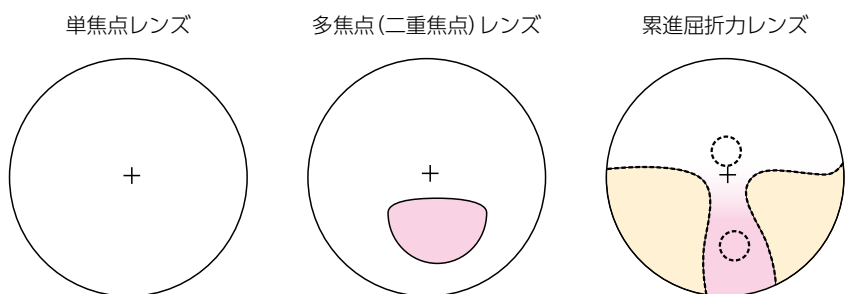
1 眼鏡レンズの種類

屈折補正に用いられる眼鏡レンズは、光学的な構造から、単焦点レンズ、多焦点レンズ、累進屈折力レンズに分類される(図1)。

単焦点レンズは、レンズ全面にひとつの屈折力しか持たない通常のレンズで、常用(もしくは遠用)眼鏡、および近見のための近用眼鏡などに用いる。

多焦点レンズは、いわゆる境目のある遠近両用レンズで、レンズ面の一部に近見または中間距離用の異なる屈折度数をもつ小玉を組み入れたレンズである。遠近の二焦点、遠中近の三焦点な

*Hiroshi KANEKO 新潟医療福祉大学視機能科学科(新潟市)
 Key words: 眼鏡レンズ, 非球面設計, 累進屈折力レンズ, 隠しマーク, 機能性レンズ, コーティング



○は度数測定円、ピンクの着色部は色が濃いほど近くが見える。黄色は非点収差領域である。

図1 眼鏡レンズの種類

どがある³⁾。

累進屈折力レンズは、いわゆる境目のない遠近両用レンズで、屈折力が連続的に変化する非回転対称面(累進面)をもつレンズである⁴⁾。1959年に販売が開始されたが、その後目覚ましい発展を遂げ、現在では用途別に遠近、中近、近々などに細分され、また収差バランスの観点からハード設計、ソフト設計、バランス設計などに分かれて、数多くの累進屈折力レンズが誕生している。

2 非球面設計のレンズ

眼鏡を装用するとき、そのレンズ面は装用者の視線とできるだけ直交させるのが最も収差が少なく理想的である。そのため、眼鏡レンズは当初、曲率半径が約10 cm以下のベースカーブをもつ、強いカーブのレンズが主流であった。これを球面設計のレンズという。カーブの強い球面設計のレンズは、レンズ厚(またはコバ厚)が厚くなり、そのため重量も重くなるのが難点であったが、レンズ厚を薄くするためにレンズカーブを浅くフラットにすると、通常の球面設計のままでは度数誤差(パワーエラー)・非点収差・歪曲収差が増大し、像のぼけや歪みが強く現れるトレードオフ(一得一失)の関係があった。

この問題に対応するために、レンズ光学中心から周辺部に向かってレンズ度数が徐々に緩やかに

なるよう、回転対称の曲面をコントロールしたのが非球面設計のレンズである²⁾⁵⁾。

すなわち非球面設計とは、レンズの薄型・軽量化を図って低ベースカーブにすることにより生じる非点収差の補正、歪曲収差の軽減、そしてレンズ周辺部の度数誤差の解消を同時に行うレンズ設計をいう。

図2に、球面設計と非球面設計のS±6.00Dのレンズの断面形状を屈折率ごとに示す。図2右の非球面設計は、凸レンズでは外面に、凹レンズでは内面に施され、光学中心から周辺部に向かうにつれてその曲率半径が徐々に大きく、カーブは緩くなっている。非球面設計のレンズは、同度数の球面設計レンズと比較してフラットになり、レンズ厚(またはコバ厚)を20~30%薄くできるのが特徴である。素材の屈折率を高くするとさらに薄くすることができる。加えて、プラスレンズでは最上段のように、装用するフレームの玉型に合わせてレンズ外径を最小に指定することにより、一段と中心厚を薄くすることができる。

最近では、レンズの両面を非球面にして、収差の最小化を目指す商品も多く開発されている。

3 累進屈折力レンズの種類と構造

累進屈折力レンズとは、レンズの一部または全体にわたって、屈折力が連続的に変化する非回転

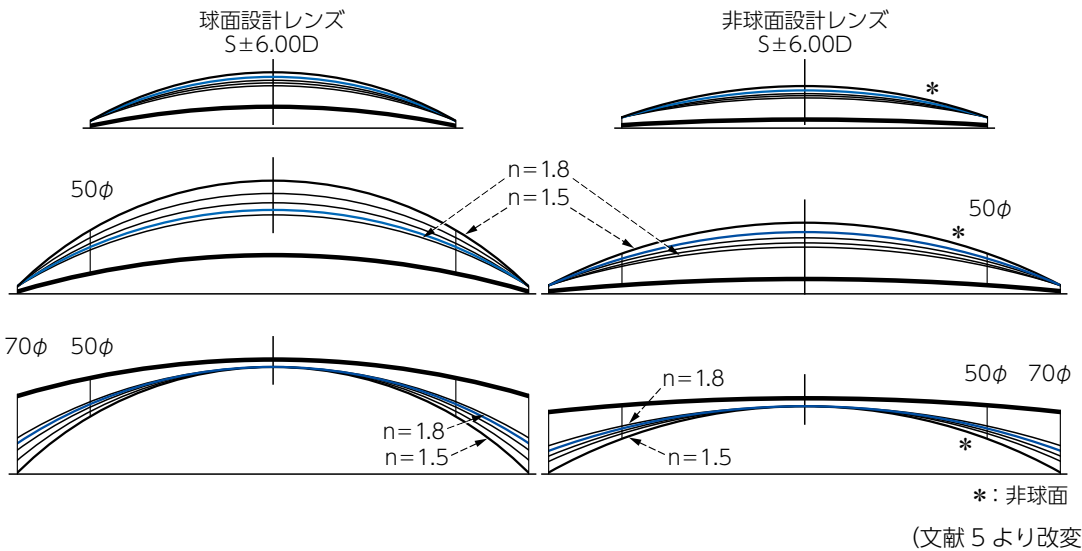


図2 球面設計と非球面設計のレンズ厚・コバ厚の比較

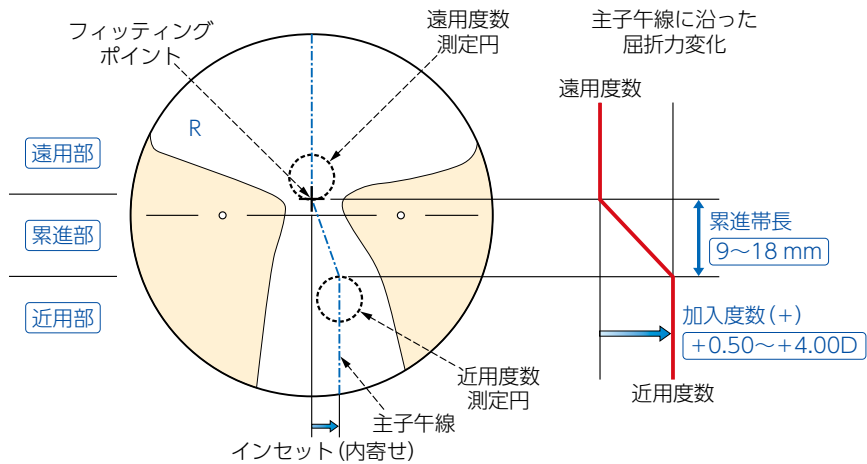


図3 代表的な遠近累進レンズの構造と主子午線に沿った屈折力変化(右眼用)

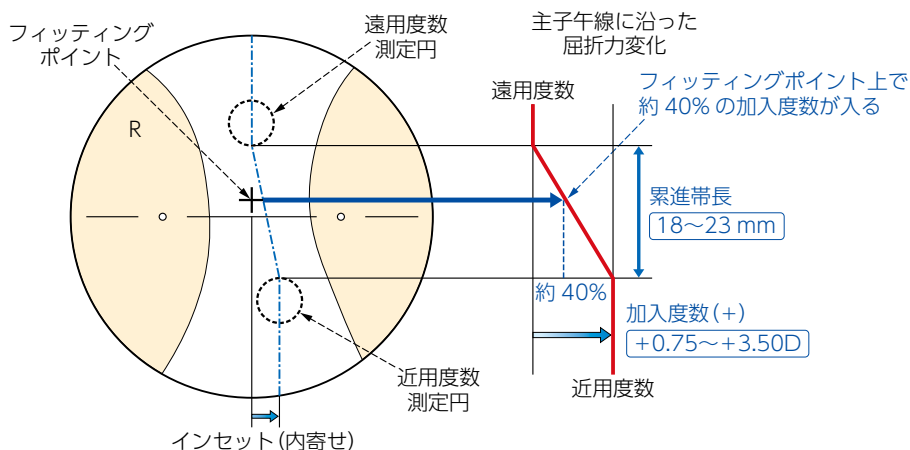
対称面(累進面)をもつレンズである。いわゆる境目のない遠近両用レンズとして、用途別に遠近累進、中近累進、近々累進などがある⁶⁾。

1 遠近累進

水平視線で無限遠方が見え、視線を下に落とすにつれて中間距離から手元までを連続して見ることができる通常の汎用タイプの累進レンズである。

枠入れ加工前の代表的な遠近累進屈折力レンズ

のレイアウトおよび主子午線に沿った屈折力の変化を図3に示す。レンズ上のフィッティングポイントは、着用者の水平視線がこの点を通るように枠入れ加工する基準点である。レンズの上半分の遠用部には遠用度数が入り、遠くの景色を見ることができる。累進部では視線を下に落とすにつれて徐々に加入度数が加わり、近用部では100%の近用度数となって手元の文字などを読む



(文献 2 をもとに作成)

図 4 代表的な中近累進レンズの構造と主子午線に沿った屈折力変化(右眼用)

ことができる。累進部側方の色のついた範囲は非点収差が集められた領域で、歪みのために遠方も近方もはっきり見ることができない。

2 中近累進

中近累進レンズのレイアウトを図 4 に示す。中近累進レンズは、遠近累進レンズの累進部を上方に長く伸ばした構造のレンズといえる。

水平視線が通るフィッティングポイントは既に累進帯の途中にあり、全体の約 40% の加入度数が入っている。したがってこのレンズをかけると正面では中間距離が見え、視線を落とすと手元の近距離が見え、逆に上目遣いで見るとある程度遠方も見ることができる。そのため、主に室内での使用に適している。

3 近々累進

近々累進レンズは、手元を見るための近用の単焦点レンズ(いわゆる老眼鏡)をもとに、少し離れたパソコン画面なども見えるように、下方に近用度数を広く配置し、上方に行くほどマイナス方向に度数が変化する累進構造をもつレンズである(図 5)。近用部から上方に向かって配置されたマイナスの加入度数は $-1.00D$ 、 $-1.50D$ などが多く、通常、上目遣いしても遠方ははっきり見え

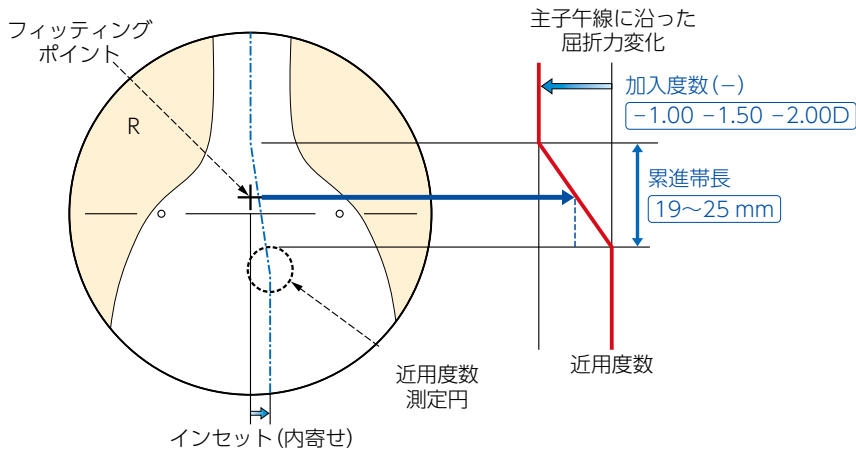
ない。デスクワークなどで、手の届く範囲のものを広い視野で見ることができる近方視主体のレンズである。

後述するように、かけ枠による検眼では、遠近累進や中近累進と異なり、近用度数にマイナス加入の近々累進テストレンズを重ねて装用テストを行う。

4 累進レンズの隠しマーク

図 6 に、眼鏡フレームに合わせて加工する前の丸生地のレンズの一例を示す。レンズ表面には、刻印とペイントによって、レンズのスペックや枠入れ加工に必要な情報が記されている。ここでは、刻印を青色で、ペイントをオレンジで記す。

中央付近のフィッティングポイントは、出来上がったメガネをかけたとき装用者の水平視線がレンズ面と交わるべきポイントである。2つの隠しマークを結ぶ水平基準線は、装用時にこれが正しく水平になるように加工するための基準となる。遠用度数と近用度数は図中の各測定円の中で測定し、プリズム度数は中央のプリズム測定基準点で測定する。2つの隠しマークの近辺には、加入度



(文献 2 をもとに作成)

図 5 代表的な近々累進レンズの構造と主子午線に沿った屈折力変化(右眼用)

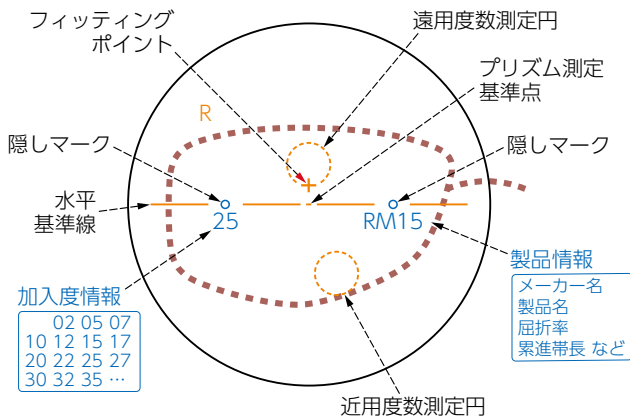


図 6 枠入れ加工前の代表的な累進レンズの隠しマークとペイント



図 7 枠入れ加工後の隠しマーク

情報およびレンズメーカーのロゴやレンズ名、屈折率などを含めた製品情報が刻印されている。加入度情報は、たとえば 25 と刻印されている場合は +2.50D を表し、27 なら +2.75D を表す。

レンズ表面のペイントは、枠入れされたあときれいにふき取られるので、通常レンズ上で読み取れるのは、図 7 のように、水平に配置された 2 つの隠しマークと加入度情報および製品情報の刻印だけにある。このうち加入度情報は通常、耳側の隠しマークの付近に小さく刻印されているので、これを正確に読み取ることが必要である。自動測

定のレンズメーターを用いて累進眼鏡の度数を測定する場合、正しく機器に置くだけで遠用度数や加入度数が左右別に測定できるが、累進面が内面か外面のどちらに設定されているかなどによって、特に加入度数の数値に誤差が出る場合があるので、この加入度情報の刻印を読み取り、正しい加入度数を確認することが望まれる。またレンズの種類やスペックなどの製品情報は、メーカーごとに多くの種類があり、それらが略字で刻印されているため、必要があれば最新のレンズメーカー一覧表と対比して調べる必要がある⁷⁾⁸⁾。

5 テスト枠による累進レンズの合わせ方

テスト枠を用いて累進屈折力レンズの装用テストを行うとき、遠近累進、中近累進の場合は、遠用瞳孔間距離 (pupillary distance : PD) のテスト枠を用いて、これに遠用度数 (球面 S および円柱 C) をセットした上に、それぞれの累進テストレンズを傾かないよう重ねて装用する。

たとえば、PD が 64 mm、正視で加入度数 +2.50D の人が装用テストを行うとき、遠近累進または中近累進の場合は、遠用 PD のかけ枠に遠用度数 (ここでは $\pm 0.00D$) をセットし、その上に (加入度数 +2.50D の) 累進テストレンズを重ねてセットする。このとき、累進テストレンズの水平マークまたは垂直マークを正しくその方向に合わせて、レンズが傾かないように注意する (図 8)。

近々累進の場合は、近用 PD のかけ枠を使用する。この例では、遠用 PD から 3~4 mm 狭いサイズのかけ枠を用いて、近用度数 (この場合は +2.50D) をセットし、その上に、(加入度数が -1.50D などの) 近々累進テストレンズを重ねて装用する (図 9)。遠近や中近の合わせ方とは異なるので注意が必要である。

6 ニッチでユニークな機能性レンズとコーティング

最近発売されたニッチでユニークな機能をもったレンズをいくつか紹介する。

1 調節サポートレンズ、疲れ目対策レンズ、スマホ専用レンズ、PC 専用レンズ

これらは +0.50~+1.50D 程度の比較的弱い加入度数をもつ累進屈折力レンズである⁹⁾。スマートフォンや PC 画面を長時間見るために疲れを感じるなど、老眼年齢に達しない 30~40 歳代までを対象として、近見時の調節疲労を少しでも軽減することを目指している。低加入度数なので非点収差による像の揺れやゆがみなどはほとんど感



図 8 遠近または中近累進の装用テスト

遠用 PD のテスト枠に遠用度数 + 累進テストレンズをセットする。



図 9 近々累進の装用テスト

近用 PD のテスト枠に近用度数 + 近々累進テストレンズをセットする。

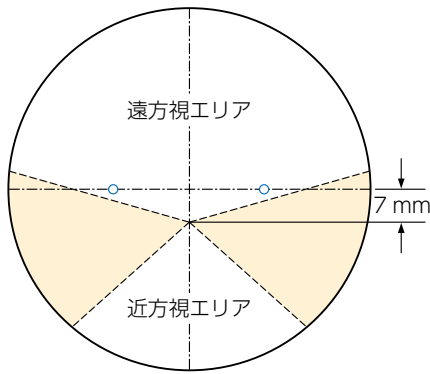
じることなく、単焦点レンズのような感覚で使用できる。メーカー別にリラクシー、ナチュラルト、スマホイージー、シフトオン、リマークなどの商品名で販売されている。

2 被写界深度延長レンズ : ES (extended surface) レンズ

通常より被写界深度が深くなるように設計されたレンズ¹⁰⁾。カメラの絞りを絞って撮影するとピントの合う範囲 (被写界深度) が広がることはよく知られているが、これを眼鏡レンズに応用し、多少のボケを許容することで焦点位置からずれたところでも一定以上の鮮明さで見ることができるよう非球面設計を採用している。そのため特に薄暮時など、視界に映る物体や背景が認識しやすくなるという。

3 輻湊不全用プリズム付きレンズ : CIF シリーズ (convergence insufficiency for perspective lens)

輻湊不全の人は近見時に Base In プリズムの



(文献 11 をもとに作成)

図 10 輻湊不全用プリズム付きレンズのレイアウト
近方視エリアに Base In プリズムが付加されている。

助けを必要とするが、これまで 1 枚のレンズ中に異なるプリズム度数を組み込むことは難しかった。このレンズは下半分のレンズ面をねじるように面設計することで、単焦点でも累進レンズでも、視界の下半分の近方視エリアに 1~6Δ のプリズム度数を組み入れることができる (図 10)。ただしそのため、遠近の境界付近では特異な像のゆがみが発生するので、それを許容できるかどうかは処方のポイントになる¹¹⁾¹²⁾。

次に、特殊な機能をもったレンズのコーティングを紹介する。

4 反射防止コート

国内で販売されるほとんどの眼鏡レンズには通常、表面反射を抑えるための反射防止コート(マルチコート)が施されている。これは光の干渉作用を利用してレンズの表面反射を約 1/20 に減弱させるもので、特に高屈折率レンズでは必須の機能である。

5 キズ防止コート

シリコン系の熱硬化型樹脂をレンズ素材にコーティングすることで、擦過キズに強い耐久性を備えたハードコーティングができる¹³⁾。最近ではガラスの硬度に匹敵する耐傷性能をもつ製品も発売されている。

6 超撥水、汚れ防止コート

特殊なフッ素化合物のコーティングでレンズ表面のすべり性能が格段に向上。水滴や油をはじくだけでなく指紋、皮脂などの汚れがつきにくくなり、ついても拭き取りやすいので、手入れが簡単になる。メーカーごとに独自の性能をアピールしている。

7 帯電防止コート

レンズに静電気がたまると花粉やほこりを吸いよせる原因となるが、導電性材料をレンズ表面にコーティングすることにより、帯電する静電気をうまく逃がしてほこり等の付着を未然に防ぐ効果がある。

8 抗菌コート

Ag⁺(銀イオン)などの無機抗菌剤をレンズ表面にコーティングしたもので、レンズ上の細菌の増殖を長時間にわたって抑制し、レンズ表面を衛生的に保つ働きがある¹⁴⁾。細菌などの微生物を一時的に死滅・除去する殺菌・除菌とは異なる。

9 曇り止め、防曇コート

マスク装着時、外出時、帰宅時など、レンズ周辺にある呼気や水蒸気がレンズで冷やされて水滴になると、レンズが曇ってやっかいである。そこで、レンズ表面に付着した水分を水滴にせず吸水する機能をもつ特殊コーティングによって、メンテナンス不要の曇り止め効果を発揮する。しかしこのコーティングを行うと、反射防止コートを施すことができなくなり、レンズ表面の反射が大きくなるという難点がある。

● おわりに

眼鏡レンズは、カメラや望遠鏡などと異なり、たった 1 枚のレンズで遠・中・近の見たいものにピントを合わせ、周辺収差を最小限に抑えて広い視野を確保し、さらに両眼の視線を正確に合わせて快適に装用できることが要求される。

そのため、眼鏡レンズはこれまでにさまざまな

機能を付加して発展を遂げてきた。特に、累進屈折力レンズの発展は目覚ましく、フレームの前傾角やそり角、頂点間距離などのデータをもとに、一人ひとりの装用状態に最適化したカスタム設計のレンズも広く普及するようになった。

これからも、より高機能なレンズを目指して、新素材や新しいレンズ設計手法の開発と同時に、コーティングや加工技術の進歩を期待したい。

文献

- 1) 金子 弘：【ポイント解説】眼鏡処方の実際眼鏡レンズの歴史と進歩. *OCULISTA* **23**：12-21, 2015
- 2) 白柳守康：レンズ種類別光学スペックと装用時光学性能. *眼鏡学ジャーナル* **22**：8-25, 2019
- 3) JIS T 7314：2006 屈折補正用多焦点眼鏡レンズ
<https://jis.eomec.com/abolished/jist73142006?abolishedid=12073142006>
- 4) JIS T 7330：2000 眼鏡レンズの用語
<https://jis.eomec.com/jist73302000>
- 5) 高橋文男：眼鏡レンズの知識. 所 敬, 梶田雅義(編)：すぐに役立つ臨床で学ぶ 眼鏡処方の実際. 85-97, 金原出版, 東京, 2010
- 6) 日本眼鏡学会 眼鏡学ハンドブック編纂委員会(編)：累進屈折力レンズ. 眼鏡学ハンドブック. 眼鏡光学出版, 東京, 2011
- 7) 各社の単焦点レンズ一覧 2021. 月刊眼鏡 2021年7月号. 112-51, 眼鏡光学出版, 東京 2021
- 8) 主要メーカーの累進屈折力&多焦点レンズ. 月刊眼鏡 2021年8月号. 90-167, 眼鏡光学出版, 東京 2021
- 9) 吉田好徳：スマートフォンを考慮したレンズタイプの選定と提案. *眼鏡学ジャーナル* **23**：10-3, 2019
- 10) 宮島泰史：被写界深度延長設計 ES レンズ. *眼鏡学ジャーナル* **21**：73-5, 2017
- 11) 宮島泰史：輻輳不全用累進設計 CIF-G レンズ. *眼鏡学ジャーナル* **21**：70-2, 2017
- 12) 野矢 正：輻輳不全用累進レンズの処方事例. *眼鏡学ジャーナル* **22**：62-4, 2018
- 13) 竹下克義：プラスチック眼鏡レンズのハードコーティング. *表面技術* **57**：401-5, 2006
- 14) 野村琢美：メガネレンズも抗菌の新時代に！ー日本初の抗菌レンズの開発ー. *眼鏡学ジャーナル* **25**：65-7, 2021

*

*