

眼鏡レンズ（ARコート）

（1970 代前半～現在）

Key-words：眼鏡レンズ、ARコート（反射防止膜）

注1 眼鏡レンズは光の屈折や反射などを応用した光学レンズであり、主に視力補正、眼位補正、目の保護などの機能を得る為に、設計、素材、表面処理（反射防止膜等）など各要素技術を組み合わせ、かつ、ファッション性も含めたフレームに眼鏡レンズ形状を合わせ、1枚のレンズの中に、要求される諸性能を全て構成し、最終的に眼鏡（メガネ）として完成していく製品である。

一般的に眼鏡（メガネ）は、眼鏡レンズとフレームの2つから構成され、眼鏡レンズは主に視力補正、眼位補正、目の保護を行う目的で、光の屈折や反射などを応用した光学レンズであり、フレームに挿入されることで眼鏡レンズ光学系と眼球光学系の2つのレンズシステムを相互位置に配置・構成し、一つの光学系とし機能させ、眼鏡となる。眼鏡レンズの歴史は古く、中世の欧州にまで遡ると言われているが、主にレンズ素材、設計、表面処理などの要素技術で構成され、レンズ素材は、ガラスとプラスチックがあり、設計では、単焦点レンズ、多焦点レンズ、累進屈折力レンズがある。表面処理は、反射防止、耐擦傷性などを目的にレンズ表面処理を行い、日本では、ARコート眼鏡レンズが一般的であり、8割以上と非常に高く、1970年代から製品化され、更に機能（例えば、撥水性や耐擦傷性）向上している。眼鏡レンズへの要求は、今後ますます高度化、多様化、低価格化してきており、世の中のビジョンケアの大半を担う製品であり続けることが期待される光学レンズである。

1. 製品適用分野

眼鏡及び眼鏡レンズ

2. 適用分野の背景

一般的に眼鏡は、眼鏡レンズ^{注1}とフレームの2つから構成され、この眼鏡は視力補正、眼位補正、目の保護などを目的として、これまで使用されてきたが、最近ではファッション性にも注目され、特にフレームのデザインが多種多様となってきている。眼鏡レンズ

は主に視力補正、眼位補正、目の保護を行う為に、光の屈折や反射などを応用した光学レンズであり、フレームに挿入され、眼鏡となる。眼鏡レンズを機能別に大別すると4つあり、①視力補正として、屈折異常補正用レンズ（近視・遠視・乱視）と焦点調整異常補正用レンズがあり、②眼位補正として、眼位異常補正用レンズ（斜位・斜視用プリズム）がある。③目の保護として、有害光除去・減光用レンズ、遮光・防眩用レンズ、明視用レンズ、調光レンズ、偏光レンズがあり、④特殊レンズとして、弱視治療用レンズ、望遠レンズ、フレネル膜レンズなどがある。このように眼鏡レンズの種類は多く、フレーム、設計、素材、表面処理等の組み合わせで、限りなく多様化しており、カスタマイズ製品といえる。

1) 設計

眼鏡レンズは用途別に設計から区分すると、単焦点レンズ、多焦点レンズ、累進屈折力レンズの3つに大別されるが、この中の累進屈折力レンズは、他分野の光学レンズとは異なり、1枚のレンズ内に遠用視野領域から近用視野領域までの間に境目がなく度数が変化しているレンズである。以下(図1)に設計での分類例を示す。

2) 素材

素材は、ガラスとプラスチックが一般的であり、均質で透明度が良い（透過率を含む）、屈折率・アッペ数・比

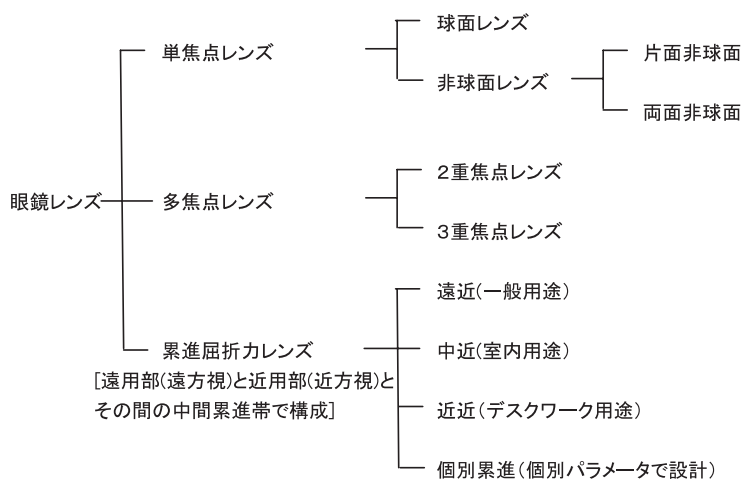


図1 眼鏡レンズの設計による分類

図に示すように、眼鏡レンズは用途別に設計から区分すると、単焦点レンズ、多焦点レンズ、累進屈折力レンズの3つに大別される。単焦点レンズは近視補正用のマイナスイレンズ、または遠視・老視補正用のプラスレンズである。この設計としては、球面設計と非球面設計があり、非球面設計の中には片面非球面設計と両面非球面設計がある。多焦点レンズは2重焦点レンズと3重焦点レンズに分けられ、2重焦点レンズは遠用視野領域に近視または遠視補正用の度数が入っており、近用視野領域では老視用の加入度数が入っているレンズである。3重焦点はさらに中間視野領域に中間の加入度数が入っている。累進屈折力レンズは、眼鏡レンズとしては一番高性能な光学設計による眼鏡レンズであり、遠用視野領域から近用視野領域までの間に境目がなく度数が変化している。この累進屈折力レンズとして代表的なものは遠近タイプであるが、最近では汎用の遠近タイプだけでなく、室内用途での中近タイプやデスクワーク用途での近近タイプ、消費者個別に最適化された個別累進タイプなど、眼鏡を使う環境等を考慮した累進屈折力レンズも製品化され、様々な設計がある。

重のバランスが良い、耐候性、耐久性、加工性等が優れているなどが重要である。以下(図2)に代表的な眼鏡レンズ素材の屈折率とアッベ数を示すが、一般的に屈折率が高いほど、レンズが薄くでき、アッベ数は高いほど明瞭な視界を得ることができ、屈折率とアッベ数は相反関係にある。また、近年はガラス素材からプラスチック素材への移行が進んでいる。

3) 表面処理

レンズ素材本体の光学特性を補う重要な要素としてコート技術などの表面処理が挙げられる。これは、表面硬度を補強するハードコート、光の反射率を低減するARコート^{注2)}、調光性能や偏光性能などを付加する機能性膜コートの3つに大別される。また、この中に染色も含まれ、種々のカラーレンズに対応している。コート技術などの表面処理はいずれも各レンズ素材との相性(密着性など)が重要であり、その目的・用途に応じて、膜構成や成膜特性(耐擦傷性、耐熱性など)で様々な製品がある。一般消費者からの表面処理に関する要望としては、汚れにくい、傷がつきにくい、熱に強い、安価などがあり、これまでのコート技術は、ハードコート、ARコート、撥水コートが主であったが、最近では、耐擦傷性・傷のつきにくいコート、衝撃吸収、防曇、防汚、帯電防止、耐熱、有機複合物コートなどが製品化され、多機能・多様化している。

3. 製品の特徴(ARコート)

眼鏡レンズの性能は多々あるが、ARコートについて

て述べると、光がレンズに入る時に、その殆どは透過するが一部分は表面と裏面で反射する。以下図(図3)のように、空气中を直進してきた光は、眼鏡レンズを透過するとき屈折と同時に反射する。ARコートが施されていないレンズでは、レンズ面で反射した光がゴースト(虚像)と呼ばれる二重像を作ったり、チラついていたりして鮮明な視界を得ることができない。

レンズの屈折率(n)と反射率(R)については、表面反射を表すフレネルの法則 $R = (n - 1/n + 1)^2$ から導

注2 ARとはAnti reflection (反射防止)の略。

ARコートは光の干渉原理を利用し、レンズ表面の反射率を減少し透過光を増やすとともに、チラついて鮮明な視界が得ることができない、レンズ面で反射した光がゴースト(虚像)と呼ばれる二重像を作るなどの種々の不具合を取り除く為に、単層膜もしくは多層膜で構成されたコートのこと。

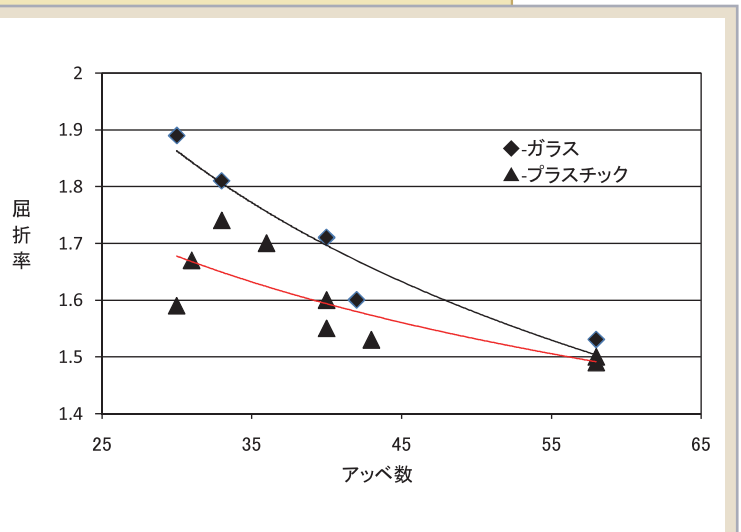


図2 代表的な眼鏡レンズにおける屈折率とアッベ数

この図に示すように、眼鏡レンズ素材には、ガラスとプラスチックがあり、眼鏡レンズ素材も他の光学レンズと同様に、屈折率が高くなるほど、アッベ数が低下する傾向がある。

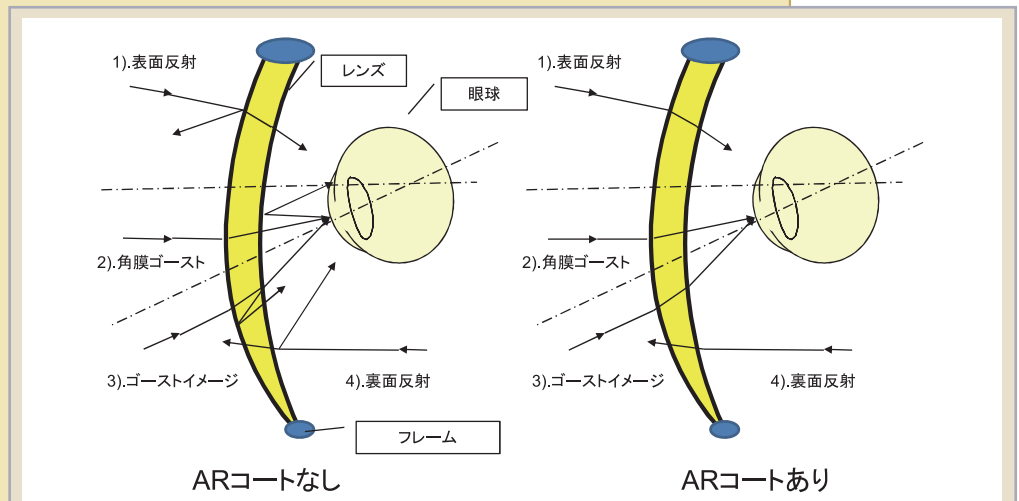


図3

空气中を直進してきた光は、レンズを透過するとき屈折と同時に反射する。ARコートが施されていないレンズでは、レンズ面で反射した光がゴースト(虚像)と呼ばれる二重像を作ったり、チラついていたりして鮮明な視界を得ることができない。また、レンズ面に反射が起こると、見られた時の印象を損なうことがある。

注3 位相の条件とは $N1d = \lambda / 4$ ($N1$ ；薄膜の屈折率, d ；薄膜の厚さ, λ ；波長) で表され, 薄膜の光学的厚さが反射を防止しようとする光の波長の $1/4$ でなければならない。これを位相の条件という。

注4 振幅の条件は $N1 = \sqrt{NL}$ ($N1$ ；薄膜の屈折率, \sqrt{NL} ；レンズの屈折率のルート) で表され, 薄膜表面での反射光の振幅と薄膜裏面での反射の振幅が等しくなければならない。これを振幅の条件という。

かれ, この AR コートの原理は, “光の干渉” という性質を利用している。以下 (図4) に示したように, 屈折率 NL のレンズ表面に屈折率 $N1$ で厚さ d の薄膜を成膜したものに於いて, 光が膜面に垂直に入射し, 薄膜表面で反射した光の波 $R1$ 及び薄膜裏面で反射した光の波 $R2$ とする。(図において光線は便宜上斜めに図示してある) 入射光の波長 λ の $1/4$ の厚さで成膜すると, 反射光は2つの波の群, $R1$ 及び $R2$ に分かれるが, $R1$ と $R2$ が互いに逆位相となり, 山と谷が打ち消し合い, 干渉して2つの条件(位相の条件^{注3)} $N1d = \lambda / 4$ (λ ；波長) と振幅の条件^{注4)} $N1 = \sqrt{NL}$ を満たす時に消えてしまう。AR コートは, 昔は単層膜コートが主流であったが, 近年は多層膜コートが主流になり, 無機酸化物の多層膜を施すことにより反射率を低減させている。レンズ素材の反射率は屈折率により異なるが概ね8~12%程度あり, AR コートすることにより0.5~4%程度に低減されている。現在眼鏡レンズにおけるARコートとしては反射率で0.5%前後, 1%前後, 2%前後, 4%前後のものがあり, 限りなく裸眼での見え方に近づいている。また, このARコートに, 反射防止以外の機能(例えば, 撥水性や耐擦傷性)なども付加した表面処理技術も登場している。

4. 製法

この眼鏡レンズはプロセスの違いから, ストック(在庫)レンズを生産する工程と, 受注対応する特注レンズの生産を行う工程と, 眼鏡を完成する為に, これら加工, 表面処理された眼鏡レンズをフレームに枠入れる工程の主に3つの工程がある。眼鏡レンズは素材別に大別すると, ガラスとプラスチックに大別され, 設計, 素材, 成形, 加工, 表面処理(ハードコート・ARコート・調光・偏光・染色)などの各要素技術により構成される。ガラスは, 主に調合・溶融・成形で生産され, プラスチックは2つに大別され, 熱硬化性プラスチックは注型重合法, 熱可塑性プラスチックは射出成形法などで生産される。ユーザーからの処方箋をもとに, この素材に, 各加工(切削・研削・研磨・形状加工等)や表面処理などを行い, 眼鏡レンズができる。図5に代表的な眼鏡及び眼鏡レンズを示す。

特に, 光の反射率を低減させる為に行うARコートについてその製法を述べると, この表面処理方式は, 真空蒸着法が代表的であり, これ以外にスピコートもある。この真空蒸着法は真空槽内で蒸着物質を, 抵抗加熱方式もしくは電子ビーム方式で加熱蒸発させ, その蒸発物質をレンズ表面に透明な薄膜として成膜さ

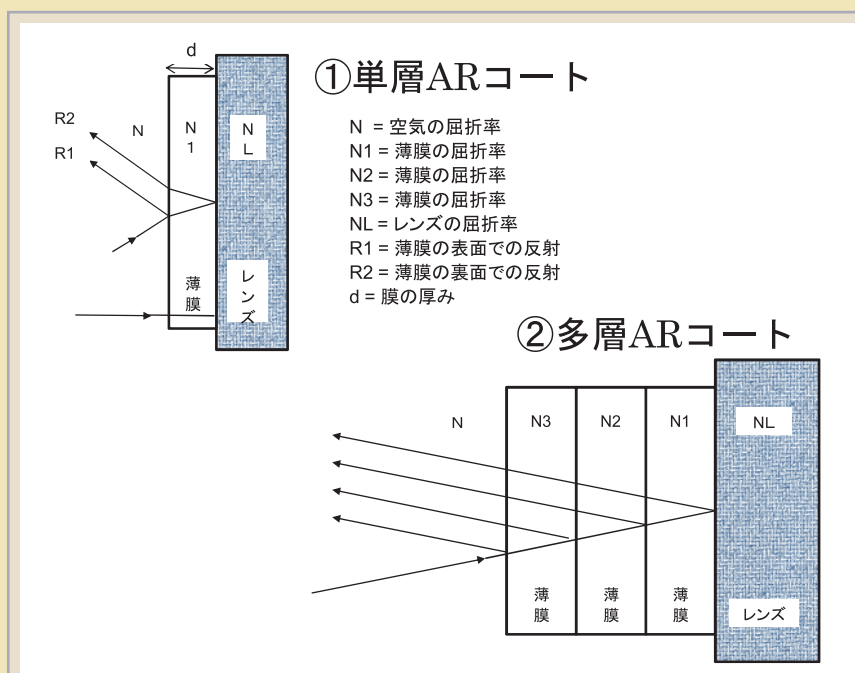


図4 AR コートの原理

①及び②に示すように, 屈折率 NL のレンズ表面に屈折率 $N1$ で厚さ d の薄膜を成膜したものに於いて, 光が膜面に垂直に入射し, 膜の両面における反射光を $R1$ 及び $R2$ とする。反射光は2つの波の群, $R1$ 及び $R2$ に分かれるが, 重なり合い, 干渉して2つの条件(位相の条件 $N1d = \lambda / 4$ (λ ；波長) と振幅の条件 $N1 = \sqrt{NL}$) を満たす時に完全に消えてしまう。

注) 図は判別しやすいように, 光線を垂直より少し傾けてある。

せる方法であり、近年では、素材の屈折率や反射防止などの機能を考慮し、異なった屈折率の被膜を数層重ねた多層膜コートが主になってきている。

5. 将来展望

今後は、先進諸国における高齢化と、発展途上国では中間所得層の増加と眼鏡に対する関心が高まり、眼鏡の低価格化も進むと予想される。この眼鏡レンズへの要求は日本、米国、欧州、アジアなど各地域でも異なり、ユーザー要求の高度化、多様化、低価格化などに対応すべく、眼鏡レンズの要素技術の革新や生産技術の向上を図っていく必要があり、世の中のビジョ

ンケアの大半を担う製品であり続けることが期待される光学レンズである。

文献

- 1) 築島謙次監修；メガネの科学 21 基礎編 HOYA 株式会社 ビジョンケアカンパニー（2002）
- 2) 糸井素一，他；眼鏡 メディカル薬出版（2001）
- 3) 高橋浩二，他；LCD / 光学材料における偏光・複屈折の制御・測定と応用 技術情報協会（2008）pp.195-211

〔寄稿者〕 高橋 浩二
HOYA 株式会社 ビジョンケア部門



図5 代表的な眼鏡及び眼鏡レンズ

図に示すように、眼鏡はフレームとフレームに合わせ形状加工された眼鏡レンズにより、構成される。眼鏡レンズには、薄いレンズを、フレームに合わせ形状加工し、組み入れるだけで完成するストックレンズと、厚いレンズを、表面加工、形状加工して完成するセミフィニッシュレンズがあり、また、透明な眼鏡レンズだけでなく、染色などの表面処理を施した眼鏡レンズがある。