

光学ガラスの進化について

HOYA株式会社 オプティクス事業部光学材料部門
立和名一雄 TACHIWANA, Kazuo
(当協会 光学素子加工技術入門講座 講師)

筆者は毎年秋に開催している JOEM 主催の技術講座「光学素子加工技術入門」にて「光学材料と加工」という項の講師を担当しており、今秋で 20 年が経過した。毎年、程良い参加人数でアットホームな雰囲気の中、活発な質疑もあり中身の濃い時間になっているのではないかと考えている。

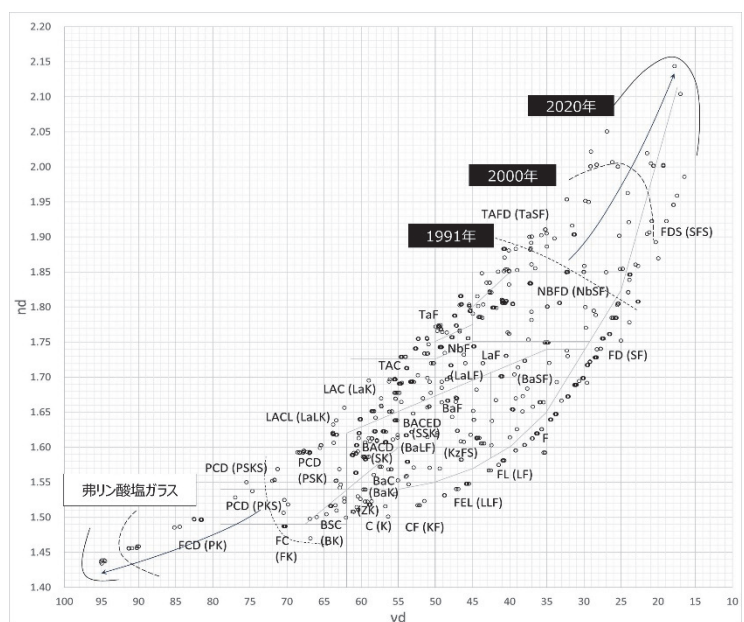
講義の内容は光学ガラスの光学特性や加工に影響する性質、この性質をもたらすガラス組成要因についての基礎的な解説である。光学ガラス業界の状況の変化については述べてこなかったが、実は多くの進化を遂げ、光学製品の高性能化、高機能化、コンパクト化、高精度化に貢献している。以下に概略を紹介する。

1. 高屈折率ガラス

下記の $nd \cdot v_d$ 図は 2020 年時点の光学ガラスメーカー各社のカタログに記載されている硝種をプロットしている。1991 年当時一般に市販されているガラスは屈折率 $nd:1.90$ が最高であったが、現時点は屈折率 $nd:2.00$ を上回る硝種も各社から複数種類販売されている。顕著な進化を遂げている。

高分散側（上記マップの右側）は以前、酸化鉛 (PbO) を主成分としていたが、環境、安全衛生面から 1990 年代に酸化チタン (TiO_2) や酸化ニオブ (Nb_2O_5) 等の成分に置き換えられた。部分分散性や透過率の変化など光学設計に対しては多大な影響をもたらしたが、軽量化や加工性の良化などもあり、変更が進められた。さらに高屈折高分散への進化はリン酸 (P_2O_5) をネットワークフォーマーにするガラス系に Nb_2O_5 を多量に含有させた特殊ガラスにより成された。生産技術の革新によりこの領域においても透過率が良化しており、幅広い使用を可能にしている。

また、高屈折率低分散領域の硝種数も増加している。透過率も比較的良好であることから、幅広い用途に使用されている。高屈折率低分散ガラスは酸化ホウ素 (B_2O_3) をガラスのネットワークフォーマーとし酸化ランタン (La_2O_3) を多量に含有する特殊な組成系のガラスであるが、高屈折率になるほど B_2O_3 含有量は低下し、溶解は高温になり、結晶化する傾向が強くなる。またプレス温度域は高く、狭い。ガラス硬度が高く冷間加工時間が長い、など様々な点で難しさがあるが、その光学的な有用性は非常に大きい。



2. 超低分散ガラス・異常部分分散ガラス

光学ガラスには様々な組成のガラスが存在するが、その中で際立って稀有な組成成分で構成される硝種群がフツリン酸塩ガラスである。

超低分散特性 ($\nu d:80 \Rightarrow 90 \Rightarrow 95$) とともに短波長域 (例えば $ng435.834nm \sim nF486.133nm$) においては分散が比較的大きい特性 (異常部分分散性) を有している。このような特性は幅広い波長範囲における色収差の補正に有効とされ、近年高精度光学系には不可欠なガラス群になっている。各光学ガラスメーカーから複数の種類の硝材が販売されている。

上記フツリン酸塩ガラスによるプラスの異常部分分散性とは逆にマイナスの異常性を持つガラスも近年重要な材料になっている。 $nd \cdot \nu d$ マップ範囲内であっても特殊な光学的性質を有するガラスの有効性が求められ、進化している。

特殊なガラス組成は熱的、機械的、化学的にも特殊な性質をもたらす。ガラス熔解、プレス、加工いずれの工程にも特殊な方法が求められる。レンズとして必要な品質を得るための生産の工夫は必須であるが、その困難さを上回る光学性能を有している材料と言える。

3. 低融点ガラス

モールドプレス温度を低下させる目的で一般の研磨加工用連材料に比べて軟化温度を低下させる組成改良を施している。非球面レンズの生産を可能にさせ、光学製品のコンパクト化、高性能化に貢献している。各ガラスメーカーから主要な nd , νd 位置に低融点硝材が販売されている。ガラスメーカーにより若干の差があるが、以下は一例である。

	研磨レンズ用硝材の転移点 T_g	低融点硝材の転移点 T_g
$nd=1.58913$, $\nu d=61.2$ 近傍	$>600^\circ C$	$<530^\circ C$
$nd=1.80610$, $\nu d=40.7$ 近傍	$>600^\circ C$	$<530^\circ C$

プレス技術の向上もあり、非球面レンズはすでに一般的になっており、レンズの口径拡大や形状拡大、生産技術向上を経て光学製品の性能向上、コンパクト化に大きく貢献している。

4. 高精度化

光学素子は光が相手なので、屈折、透過等入力数値を用いて計算で正確な設計が成される。

レンズの屈折率の設計値との整合精度はレンズ形状精度や組み立ての位置精度とともに製品の性能・精度に直接影響する。このため硝材の屈折率や分散の公差を縮小することは重要である。

ガラス熔解は $1000^\circ C$ を超えるため再現性に乏しく、標準化という作業が苦手であったが、ISO9001 の定着はこの風土を動かした。製造の精度、管理精度は向上し、例えば光学ガラスメーカー各社のカタログに記載されている標準的な屈折率 nd 公差は、 $\pm 50 \times 10^{-5} \Rightarrow \pm 30 \times 10^{-5}$, νd 標準公差は $\pm 0.8\% \Rightarrow \pm 0.5\%$ と進化している。

カメラ業界においては 1990 年以降、銀塩カメラ \Rightarrow デジタルカメラ、スマートフォン+カメラ、ミラーレス化など大きな変化があった。この中で光学ガラスは上述した特殊特性、精度の進化を図ってきた。

近年、急速に普及した車載カメラや監視カメラにおいては光学特性や加工特性に加えて使用環境に対する適性、耐性が重要な要素となり、新たな進化が求められている。また FA 関連カメラや宇宙関連光学系では一段と厳しい精度や品質向上が求められる。屈折率の温度による変化や光照射による透過率の変化、高温高湿における表面変化などは過去から測定されてきた性質であるが、これらの耐性、信頼性の重要度が高まっている。今後も進化は尽きない。