

非球面レンズ用低 Tg 光学ガラス

株式会社オハラ 研究開発部 材料開発課

上原 進

Optical glasses having low Tg for aspherical lens

Susumu Uehara

Material Development Sec. R&D Dept. OHARA Inc.

1. はじめに

非球面レンズはデジタルスチルカメラ (DSC) やカメラ付携帯電話などに使用され、これらの光学系をコンパクト化 (レンズ枚数を減少) するために必須のレンズである。最近のコンパクトタイプの DSC を例にすると、5~7 枚で構成されるレンズ枚数のうち、非球面レンズは 2~3 枚を占めている。数年前までは 1~2 枚の使用が主流であり、また、2002 年、2003 年の DSC 出荷台数が各々 66.4%、76.8% の増加率¹⁾ となっていることを考え合わせると、非球面レンズ自体の使用量は急増している。

光学系に非球面レンズを使用すると、より少ないレンズ枚数で収差補正が可能である。図 1 に模式的に示すように、球面レンズではレンズ表面が球面であることに起因して発生する収差 (球面収差) により像がにじむ。これを補正するには、例えば凹レンズを追加して 2 枚構成にする必要がある。一方で、このレンズの片面に収差が発生しないような所定の形状を付与、すなわち非球面にすることで光が 1 点に集光し、1 枚のレンズで結像可能となる。

非球面レンズはその形状が複雑なために、球面レンズ作製に適用されている研削研磨法では大量生産が困難である。通常は、モールドプレス (以下、MP とする) による生産が主流となっている。その手法は、一定の温度まで加熱して軟化させたガラスやプラスチック素材を、任意のレンズ形状の成型型を使用して加圧成形することでレンズが作製される。成型型の高精密面をそのままガラスへ転写することでレンズが作製されるため、所望のレンズ形状への一発成形が可能である。特にガラスを加圧成形する場合はガラスモールドと呼ばれる。

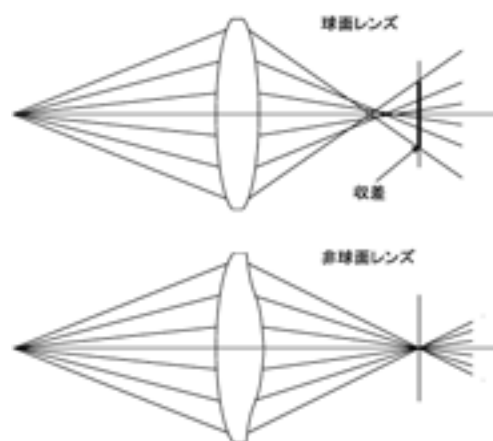


図 1 非球面レンズを利用した収差補正の模式図

〒229-1186 神奈川県相模原市小山 1-15-30
株式会社オハラ 研究開発部材料開発課
TEL 042-772-2293
FAX 042-773-7058

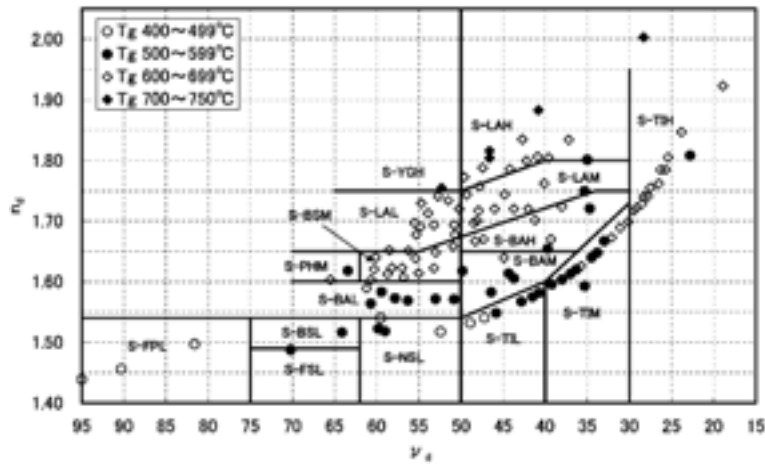


図2 一般光学ガラスの n_d - v_d 図 (T_g の範囲で分類)

MP に使用される成型型は一般に基材と表面膜から構成され、高温耐久性、鏡面加工性あるいは離型性などが求められる²⁾。MP は一般に屈伏点 (At) ~ 軟化点 (SP) 付近の温度で行われるため、成型型寿命が生産コストに大きな影響を与える。従って、成型型のメンテナンスあるいは交換回数を少なくしてコストを抑える必要がある。そのためには、加圧成形によって生じる成型型の劣化を低減させる必要があり、可能な限り低温で加圧成形することがポイントになる。このような背景から低 T_g 光学ガラスに対して強いニーズが発生している。なお、ガラスの特性点としてガラス転移点 (T_g)、屈伏点 (At)、軟化点 (SP) などがあるが、MP を行う場合、一般に T_g が熱特性の目安とされている。具体的な数値で表すと、 $T_g < 600^\circ\text{C}$ が低 T_g 光学ガラスの目安となる。

本稿では、非球面レンズ用低 T_g 光学ガラスに要求される特性の実現や課題、レンズプリフォームの種類などについて解説する。

2. 一般光学ガラスと低 T_g 光学ガラス

レンズ設計上、屈折率 (n_d) とアッペ数 (v_d) は基本的な光学特性であり、弊社では 112 種

類の光学ガラス³⁾がラインナップされている。これらを図示する場合、図2のような n_d - v_d 図を用いる。ここで v_d は式(1)で与えられ、

$$v_d = (n_d - 1) / (n_F - n_C) \quad (1)$$

屈折率の波長依存性、すなわち分散特性を示す値である。 v_d が小さいと高分散特性、大きいと低分散特性を示す。

図2では一般光学ガラス(弊社では環境対策光学ガラス⁴⁾と呼称:鉛,ヒ素フリーを意味する)を T_g の範囲で分類して示している。MPの目安とされる $T_g < 600^\circ\text{C}$ を考慮すると、 $n_d > 1.6$ では低 T_g 化が必須であることが分かる。また、 $n_d < 1.6$ においても成型型との反応性などを考慮して可能な限り低 T_g 化する必要がある。従って、一般光学ガラスはMP用途には不向きであるため、任意の光学定数 (n_d , v_d) を有する T_g の低い光学ガラスが求められている。(図6)

非球面レンズに使用される低 T_g 光学ガラスの光学定数に対するニーズを概観すると、 v_d の大きいガラス (S-BAL~S-LAL~S-LAH のライン)、あるいは v_d の小さいガラス (S-TIM~S-TIH のライン) に強いニーズがある。その中でもより屈折率の高いガラスに対するニーズが強いが、 T_g も高くなるため、大幅に T_g

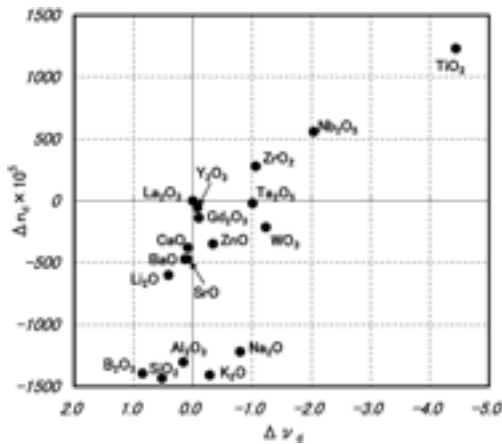


図3 La_2O_3 から各成分へ 3 wt%置換した時の屈折率とアッペ数の変化量

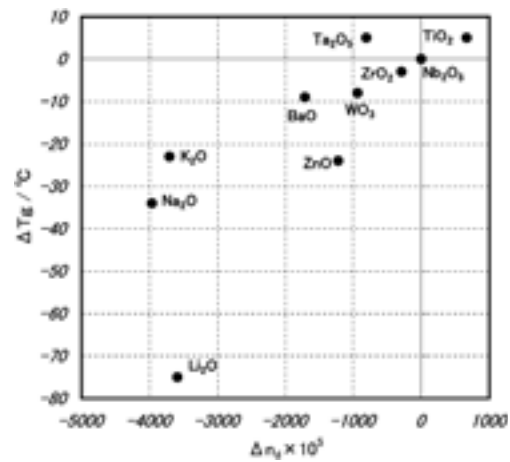


図4 Nb_2O_5 から各成分へ 3 wt%置換した時の屈折率と T_g の変化量

を下げるのが第一の課題となる。

3. 低 T_g 光学ガラスの要求特性

低 T_g 光学ガラスに要求される一般的な特性は以下の通りである。この項では各々の特性について議論する。

- 光学定数 (n_d, ν_d) : 光学設計に関係
- ガラス転移点 (T_g) : MP の成形温度に関係
- 化学的耐久性 : レンズ成膜後の長時間信頼性に関係
- 耐失透性 : レンズプリフォームの製造容易性 (安定してガラスを得られるか)
- MP 成形時の融着, ガラスの割れ易さ, 型曇り : 成型型の耐久性に関係

3.1 光学定数 (n_d, ν_d)

前述した光学ニーズに対するガラス組成面からのアプローチは次のように考える。図3に、あるガラス組成系における各成分間の屈折率 (n_d) とアッペ数 (ν_d) の変化量を示した。ガラスの基本骨格 (網目) を形成する SiO_2 や B_2O_3 などのネットワークフォーマー (NWF) は屈折率が低いため、高屈折率成分と組み合わせて光学定数を調整する必要がある。 La_2O_3 や Gd_2O_3

などの希土類酸化物成分は高屈折率低分散特性を有し、 Nb_2O_5 や TiO_2 などの成分は高屈折率高分散特性を有する。従って、NWF-希土類酸化物組成系で高屈折率低分散特性を有する光学ガラスを得ることができ、NWF-(Nb_2O_5 - TiO_2) 組成系で高屈折率高分散特性を有する光学ガラスを得ることができる。このため、高屈折率化するほど相対的にNWF成分量が少なくなり、耐失透性が低下して所望形状のガラスが得られ難くなる。すなわち、図2に示した硝種の範囲が実用的 (コスト, 環境面を考慮) な光学ガラスのガラス化物理限界を表していると捉えられる。

3.2 ガラス転移点 (T_g)

次に T_g を含めた組成面からのアプローチについて述べる。図4に、あるガラス組成系における各成分間の屈折率 (n_d) と T_g の変化量を示す。低 T_g 化に対して有効な成分は Li_2O , Na_2O , K_2O のようなアルカリ酸化物成分や ZnO 成分であるが、特に Li_2O はその効果が顕著である。しかしながらアルカリ酸化物は総じて屈折率が低い成分である。これら成分を添加して低 T_g 化した場合に所望の屈折率を維持するためには、NWF成分量を減少させて高屈折率成分

表1 一般光学ガラスと低 Tg 光学ガラスの比較

種類	光学特性		熱特性		化学的耐久性					
	n_d	n_F	Tg(°C)	ΔT(°C)	MP(%)	RA(%)	HF(%)	HF2	HF3	HF4
S-PM42	1.50213	1.484	500	500	1	2	1~2	1.2	1.0	
L-PM42	1.50213	1.484	500	500	2	4	1~2	5.2	2.0	
S-TM42	1.48093	1.471	470	470	2	1	1	1.2	1.0	
L-TM42	1.48093	1.471	504	500	2	1	1~2	1.0	1.0	
S-LAL12	1.49390	1.472	340	390	1	3	1~2	3.2	3.0	
L-LAL12	1.49390	1.472	324	370	1	4	2	3.2	4.0	
S-LAP12	1.49390	1.472	410	437	1	3	1	4.2	2.0	
L-LAP12	1.49390	1.472	540	437	1	3	2	5.2	1.2	

ΔT: 100~100°Cの平均熱膨張係数(10⁻⁶/°C)
 MP: 耐水蒸気性(100%RH, 60°C); RA: 耐水蒸気性(100%RH, 60°C); HF: 耐酸性試験
 HF 2: 耐酸性試験(20%HF, 40°C); HF 3: 耐酸性試験(30%HF, 40°C); HF 4: 耐酸性試験(40%HF, 40°C)

を増加させる必要があるが、後述するように耐失透性および化学的耐久性の低下などの問題が生じる。最大の目的となる低 Tg 化は、他の必要特性とのトレードオフの上に成立する。

3.3 化学的耐久性

表1に組成系の異なる低 Tg 光学ガラス（「L-」で表す）と光学特性が対応する一般光学ガラス（「S-」で表す）について熱特性と化学的耐久性を示す。化学的耐久性は数値が小さいほど耐久性に優れることを意味しており、同等の光学定数で比較した場合、低 Tg 光学ガラスの方が劣っていることが分かる。

化学的耐久性は水あるいは酸によるガラスの侵食と関係がある。その侵食機構は、ガラス構成成分であるアルカリ成分とプロトンとのイオン交換反応によって進行する⁵⁾。低 Tg 光学ガラスは、アルカリ酸化物を比較的多く含有しているために上記反応が進行し易くなり、化学的耐久性が劣っていると考えることができる。

低 Tg 光学ガラスで化学的耐久性が問題とされるのは、レンズプリフォームの保管およびレンズ成膜後の長時間信頼性である。レンズプリフォーム保管の観点では、W(S)が目安となる。一方、反射防止膜などを成膜した状態でレンズの長時間信頼性を判定する場合、ガラス自体の化学的耐久性と完全に相関しない。従って、レンズメーカーで実使用環境を想定した加速試験による耐環境試験を行い、使用可否を判定する必要がある。

3.4 耐失透性

耐失透性は、任意の物性を有する光学ガラス

をレンズプリフォームに具現化する際の判断基準となる重要なパラメータである。耐失透性が高いほどガラスが安定して得られるため、製造が容易であったり、レンズプリフォームの形状や大きさなどの自由度が高くなる。

一般に、耐失透性の目安としてはガラス融液の液相温度が用いられ、この温度が低いほど容易にガラス化されると言われる。光学ガラスは多いものでは10以上の成分から構成され、その組成によって液相温度は大きく変化する。一般には、多成分化するほど、あるいはNWF成分が多いほど液相温度は低くなる傾向にある。

また、光学ガラスのような内部欠陥（泡、脈理など）の少ないガラスを得るためには作業温度範囲または液相温度における粘度（範囲）も重要なパラメータとなり、これを耐失透性とする場合もある。レンズプリフォームとしてファインゴブを例にとると、成形に適した粘度範囲（ $\log \eta = 0.6 \sim 2.0$ ）が存在する⁶⁾。しかし、一般的に製造される板材よりも粘度範囲が狭いため、ファインゴブ成形の難易度は高くなり、形状や大きさが制限される。

3.5 融着、型曇り、割れ性

これらの特性はMP成形で問題となる代表的な現象であるが、成型型や成型条件によって大きく左右されるため、一概に議論できない。しかしながら、成形性や歩留りなどを左右する重要な現象であるので一般論のみ解説する。

3.5.1 融着

レンズプリフォームであるガラスとMP用成型型が反応して付着する現象である。一般には基材として超硬合金やCVD SiC、表面膜として白金などの貴金属やDLCなどが使用され²⁾、これらの組み合わせにより成型型が構成される。詳細は各社のノウハウであり、ガラスとの反応性や離型性を考慮して成型型が決定される。従って、反応性などについては一律に議論できない。

3.5.2 型曇り

MP成形時に高温に曝されたガラスから特定

成分が少しずつ揮発，あるいは反応することにより成形型の表面に曇りを生じる現象である。成形数の増加と共に顕著に現れてくる場合が多い。成形型表面をガラスに転写することによりレンズを作製するため，成形型表面に曇りが発生すると欠陥のないレンズ表面が得られなくなる。

3.5.3 割れ性

MP 成形時，あるいは成形後のレンズの割れ易さのことであり，急速冷却によって発生する熱応力に起因するものと考えられる。明確な議論はできないが，割れ性と材料特性の関係をある程度見積もることのできる方法を次に示す。一般に MP 成形は数分程度の短時間で行われるため，プレス温度から常温までの降温過程も短時間になる。この時，ガラスは熱伝導率が低いいため，大きな熱応力 σ_{ts} が発生すると考えられ，式(2)で与えられる⁷⁾。

$$\sigma_{ts} = \lambda E \alpha \Delta T / (1 - \nu) \quad (2)$$

ここで， λ : heat transfer の速さによって決まる定数， E : ヤング率， α : 熱膨張係数， ΔT : 熱衝撃の温度差， ν : ポアソン比である。MP 成形後の降温過程における温度差がどの硝種であっても同じであると仮定すると， $\lambda \Delta T$ を定数とみなして $E\alpha/(1-\nu)$ の値で熱応力の大きさを比較できる。目安として，熱応力が大きいと割れ易いガラスであるといえる。

4. レンズプリフォームの種類

ここまでは低 T_g 光学ガラスの物性面について述べてきたが，本項では実際に供給されているレンズプリフォームの種類について紹介する。MP 成形で作製されるレンズは加圧成形後に光学鏡面となっている必要があるため，そのレンズプリフォームは表面が研磨面に近い状態である必要がある。熔融ガラスから直接成形される手法，研削研磨による手法などがあるが，各々の特徴について解説する。



図5 ファインゴブ (FG) とプレスファインゴブ (PFG)

4.1 ファインゴブ

熔融ガラスを直接成形することによって得られるレンズプリフォームで，表面が自由表面であるために鏡面であることが最大の特徴である。一般にはゴブと呼ばれているが，弊社ではファインゴブと呼んでいる。図5(a), (b), (c)の左側に示したものがファインゴブであり，両凸形状で，ある程度の制限はあるが体積(大きさ)，中心肉厚，曲率を調整することが可能である。また，表面が鏡面であるために，研磨工程を省略でき，低コスト化につながる。

4.2 研削研磨による近似形状品

ファインゴブ取得が困難な硝種の場合，一般光学ガラスと同様に板材成形品を作製し，研削研磨加工を行うことにより最終的なレンズ形状の近似形状に仕上げ，MP 成形を行う手法がある。研削研磨加工を行うため工程増となるが，最終レンズ形状の近似形状から MP 成形を行うため，形状変化量を小さくできるというメリットがある。このため，ファインゴブよりも低温で MP 成形が可能で，タクトタイムの短縮にもつながる。

4.3 プレスファインゴブ

現在開発中であるが，熔融ガラスを直接プレス成形することによって得られるレンズプリフォームであり，ファインゴブ製造と異なるのは熔融ガラスをプレスする工程である。図5(a), (b), (c)の右側に示したものがプレスファインゴブであり，写真からも分かるように同一体積のファインゴブより薄い形状とすることが可能である。プレスファインゴブの開発コンセ

