

光学ガラスの熔解と製造工程

(株)オハラ 製造部

松本 覚

Melting and Processing of Optical Glass

Satoru Matsumoto

Product Div, Ohara Inc.

1. はじめに

通常，ガラス製品と言って連想されるのは，建築用，自動車用，容器・ビン，理化学用，液晶ディスプレイ用といったものであろう。光学ガラスは，これらの製品に比べて，一般消費者にとってなじみが薄く，マーケットの規模が小さいために，その独特の熔解の方法や製造工程を紹介する機会が少ないと感じている。

今回，機会を頂いたので，弊社で行われている光学ガラスの製造工程を紹介させていただきたい。

2. 光学ガラスに要求される物性

光学ガラスは，当然，ほかのガラス製品同様に，内部に欠陥がないことなどが要求されるが，

ここでは光学ガラス独特の要求物性をいくつか紹介する。

2-1. 着色度（透過率）

光学ガラスの光透過性を表す指標として，表面反射を除去したガラスそのものの透過性（内部透過率）とは別に，80%の透過率の波長と，5%の透過率の波長を「着色度」と称して，製品工程を管理している。光学ガラスは，図1に示すように，非常に透過率の良いものが多い。

着色度を悪化させる原因は，次のものがある。

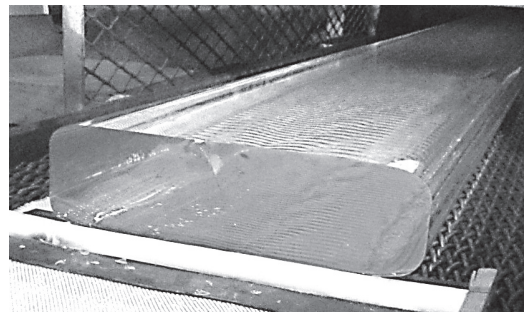


図1 バー状の光学ガラス。(25m先のバーナーの光が透過して赤色に見える)

〒 252-5286

神奈川県相模原市中央区小山 1-15-30

TEL 042-772-2101(代表)

FAX 042-774-1071

E-mail: mat@ohara-inc.co.jp

- ①酸化チタンや酸化ビスマスなどガラス成分そのものに起因する
- ②白金やレンガなど、炉材や坩堝との反応や侵食からくる着色
- ③原料不純物や工程汚染により、遷移金属（鉄、ニッケル、クロムなど）の混入が原因
- ④熔解中、あるいはアニール中の酸化還元状態による着色

特に光学ガラスの製造工程では③の汚染には神経を使っており、原料の不純物は ppm オーダーで管理し、工程内でも可能な限り金属類との接触は避けている。

2-2. 屈折率

光学設計上、最も重要な物性である。通常の保証範囲は d 線で $\pm 30 \times 10^{-5}$ 以内である。屈折率が変化する要因は、次のものが挙げられる。

- ①原料の純度により、原料中の有効成分量が変化
- ②熔解中の成分揮発（フッ素やホウ素、アルカリ成分など）
- ③熔解中に飛散する原料
- ④炉材（石英坩堝など）の侵食による、ガラス中への溶け込み
- ⑤アニールの条件

屈折率の制御が困難な工程は、原料の管理から、ガラス化反応までの間が多い。逆に言うと、いったんガラス化したものは、小ロットであっても再溶融したときの屈折率の制御は比較的容易である。

そこで、弊社では、原料の管理や保管方法に注力しながらも、一次熔解と二次熔解の2度に分けた熔解を行うことが多い。

2-3. 分散（アッペ数）

ガラスの屈折率は波長により異なる。この度合いを「分散」という。分散の異なるガラスを組み合わせることで色収差を解消することができるため、光学設計上、非常に重要な特性になる。そこで、光学ガラスの種類を表すのに、

図2のように横軸に分散、縦軸に屈折率で表現することが多い。

3. 光学ガラスの製造工程

図2にプロットされている各点が現在製造されている光学ガラスの種類であり150種以上に及ぶ。組成系はもちろん多岐にわたり、熔解温度、粘度、失透性なども様々である。しかも各々のガラスの需要は決して多くはなく、専用の大型炉の構築は難しい。小型で、しかもある程度の種類のガラスをカバーできるような熔解、製造装置が求められる。

多品種で、小ロットの生産に対応しながらも、精密な屈折率の制御を要求されるため、大半の種類の光学ガラスは、図3で示すような製造工程をたどる。ここでは特徴的なくつかの工程を抜粋して紹介する。

3-1. 一次熔解

バッチを熔解していったんガラス化（カレット）する工程である。原料純度の不安定さ、熔解時のバッチ飛散や成分揮発の不確定さがある程度容認して、屈折率を目安として $\pm 100 \times 10^{-5}$ 以内に入るように熔解する。

熔解は1ポット方式で、坩堝材料には白金または石英を使用する。白金を使用する場合は着色度への影響や欠陥としての混入を、また石英の場合は侵食による劣化や屈折率の変化を考慮して、ガラスの種類ごとに決定する。

1ポットの容量は、おおむね150～1000kg程度である。

3-2. 二次熔解

一次熔解で作製したカレットを、狙いの屈折率になるように数種類を調合して再熔解する。例えば、 $+80 \times 10^{-5}$ と -40×10^{-5} の2種類のカレットを使う場合、1:2で配合する、といった具合である。

二次熔解では、通常、図1のようなバー状に成形し、屈折率以外にも、泡などの内部欠陥や

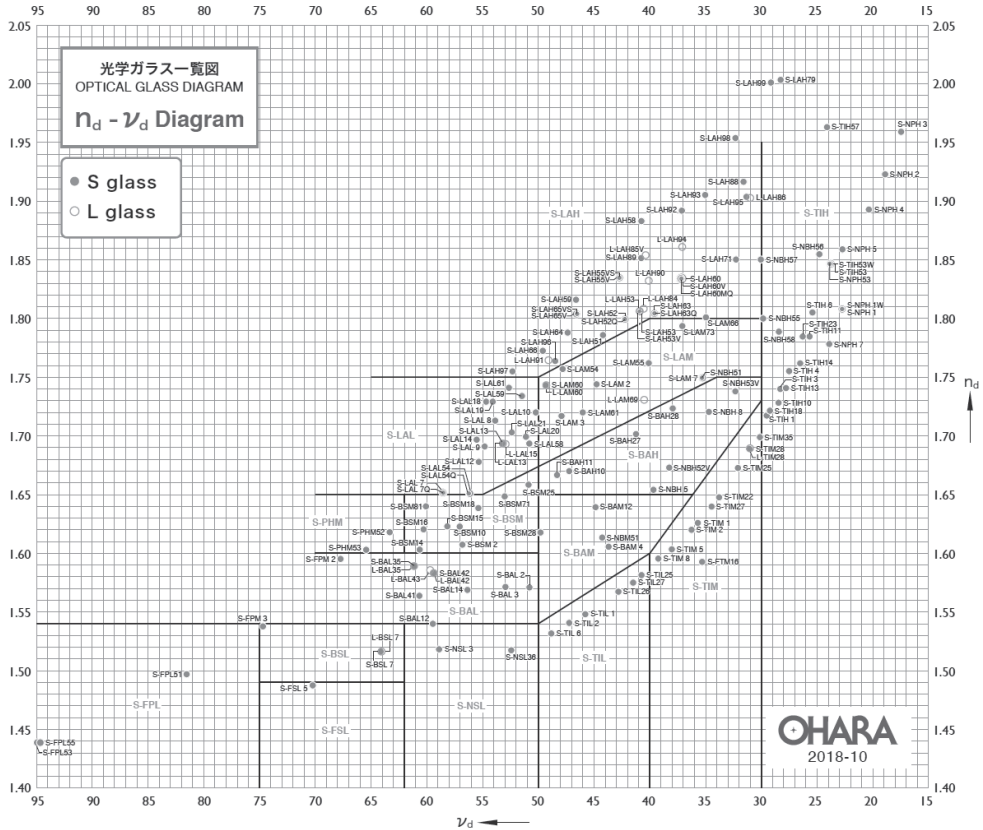


図2 光学ガラスの分散（横軸）と屈折率（縦軸）

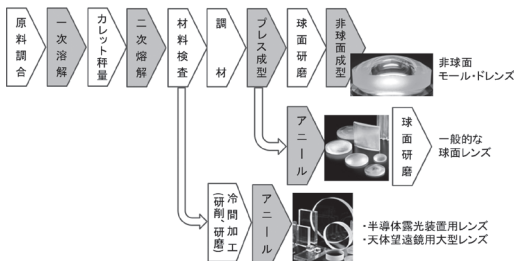


図3 光学ガラスの製造工程例（着色した工程は、加熱工程）

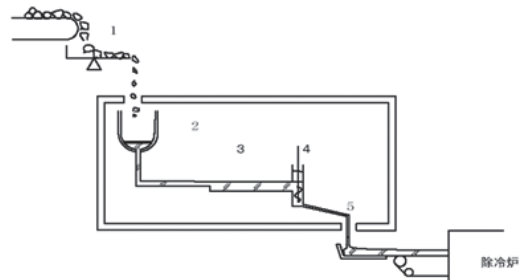


図4 二次熔解炉

脈理、屈折率分布の保証などは、基本的にはこの段階で行う。

二次熔解は、連続熔解炉が主流で、図4にあるような一般的なメルティング、リファイニング、クーリング、ブレンディングの各槽に分かれている。スタラーを含め、ほとんどが白金でできており、250～2000kg/day 程度のプル・

アウトの炉を各種生産に使用しているが、ガラスの種類によっても、デザインは大きく異なる。

3-3. アニール

光学ガラスの製造におけるアニールは、単に除歪するだけでなく、屈折率の最終調整を行う工程でもある。降温過程で、冷却速度が速いと

屈折率は低めに、遅いと高めに誘導できる。場合によっては、一般保証範囲よりも1桁精密な制御が可能な場合もある。

二次熔解後の屈折率の結果でいくつかのグループに分けて、グループごとに冷却速度を変えて、ニーズに合わせた屈折率にするため、アニールは、バッチ式の熱風循環炉で行う。

4. 近年の傾向

近年は従来の光学的な性能だけでなく、これまでになかった特性を要求されることがある。そのうちのいくつかの例を紹介したい。

屈折率の温度依存性, 耐候性の向上	屋外での常設カメラ
特異な異常分散性, 高透過率, 屈折率や分散の精密管理, 内部欠陥の極端な改善	4K, 8K テレビ・カメラ
低比重	駆動装置への負荷軽減
低 Tg 化	非球面モールドレンズ用材料として

また、弊社では1988年という早い時期から「結晶化ガラス」の生産を始めている。

弊社での二次熔解における高均質な屈折率分布を実現する熔解方法は結晶成分の均質な分散に繋がり、精密な屈折率制御を実現するアニール工程は結晶化熱処理の高度な温度制御を実現させた。

その結果が、現在の弊社の結晶化ガラス製品群である「LICGC (リチウムイオン電導性ガラスセラミックス)」や「クリアセラム (ゼロ膨張ガラスセラミックス)」、「ナノセラム (高強度ガラスセラミックス)」の事業化につながったと言える。

5. 最後に

光学ガラス業界は、研究分野はともかく、製造技術においては開放的では無かったかもしれない。今後は、小ロット、多品種の熔解に対応できるという特徴を活かして、同業はもちろんのこと、異業種他社との連携を積極的に行っていきたいと考える。