

非球面精密プレス用新規低 Tg ガラスおよび 新規製法による精密ゴブ

Development of a new process for manufacturing precision gobs out of new developed low Tg optical glasses for precise molding of aspherical lenses

Rainer Jaschek, Christopher Klein, Cristian Schenk, Klaus Schneider,
Jochen Freund, Simone Ritter, Ralf Jedamzik

SCHOTT AG, Optics for Devices, Hattenbergstr. 10, D-55122 Mainz, Germany

非球面レンズの製造革命

精密プレス技術は、非球面レンズなどの光学ガラス素子の大量生産には必須で、しかも最も適した技術である^{1)~3)}。DSC, DVC やデジタルプロジェクタなどのデジタル画像機器や、光メモリなどに用いられる光学ガラス素子の分野では、すでにこの技術の利用が進められている。精密プレスでは、一つの工程で最終形状・性状の光学ガラス素子を作製することが可能であるため、従来からの研削および研磨プロセスは、徐々に置き換えられつつある。

非球面レンズは、単色収差（球面収差）を有効に除去することができるため、これを用いることにより、フォーカス精度およびコリメート精度を向上させることが可能になる。従って、複数の球面素子から構成される光学系を一つの非球面レンズで置き換えることができ、光学系の軽量化と小型化を達成することが可能になる。精密プレスは、このような複雑な光学部品

を大量生産することができる先端技術であり、技術に対する要求の高まりは、モールド材料の耐クリープ性、熱安定性、光学ガラスの低 Tg 化、失透に対する安定性、十分な化学的耐久性、さらにはプリフォームの表面特性/形状および体積の均一性といった分野での技術革新を促している。

低 Tg ガラスの特性

ガラスの精密プレスプロセスにおいては、成型温度を低くしてモールドの寿命を伸ばすことが実用上重要である。そのためには、いわゆる低 Tg（低ガラス転移温度）ガラスが不可欠である。成型温度を低くすることができれば、精密プレスに一般的に用いられるタングステンカーバイトや非酸化物系セラミックスなどの高価なモールド材料に代わり、例えば鉄系材料のような安価な材料を使用できる可能性もある。

一方で、低 Tg ガラスは、Tg が低いという特性に加え、ガラス組成に由来する特性、例えば失透に対する安定性、化学的耐久性や光透過率、そして特に重要な特性として酸化鉛や酸化ひ素など毒性物質を含まないといった、プロセ

表1 Schottの主な低 Tg ガラスとその特性

| | $n_d^{3)}$ | $v_d^{3)}$ | 内部透過率 ⁴⁾ | カラーコード 80/5 | Tg [°C] | AT [°C] | 熱膨張係数 [$10^{-6} K^{-1}$] ⁵⁾ | AR ⁶⁾ | WR ⁷⁾ | 密度 [g/cm ³] |
|------------------------|------------|------------|---------------------|----------------|------------|------------|---|------------------|------------------|----------------------------|
| P-SK57 ¹⁾ | 1.58700 | 59.60 | 0.994 | 34/31 | 493 | 522 | 8.9 | 4 | 1 | 3.01 |
| P-LASF47 ¹⁾ | 1.80610 | 40.90 | 0.967 | 39/33 | 530 | 580 | 7.3 | 3 | 1 | 4.54 |
| P-PK53 ¹⁾ | 1.52690 | 66.22 | 0.994 | 36/31 | 383 | 418 | 16.0 | 3 | 1 | 2.83 |
| P-SF67 ¹⁾ | 1.90680 | 21.20 | in development | | | | | | | |
| N-FK5 ²⁾ | 1.48749 | 70.41 | 0.998 | 30/27 | 466 | 557 | 10.0 | 5 | 4 | 2.45 |
| N-FK51A ²⁾ | 1.48656 | 84.47 | 0.997 | 34/28 | 464 | 490 | 14.8 | 3 | 1 | 3.68 |
| N-PK52A ²⁾ | 1.49700 | 81.61 | 0.997 | 34/28 | 467 | 495 | 15.0 | 4 | 1 | 3.75 |
| N-PK51 ²⁾ | 1.52855 | 76.98 | 0.994 | 34/29 | 487 | 517 | 14.1 | 3 | 1 | 3.86 |

- 1) “P-”は精密プレス用に新たに開発された硝種
- 2) 新規製法による精密ゴブの精密可能性については現在検討中
- 3) 精密アニール、即ち 2 K/h でアニールされたカタログ記載の屈折率
- 4) 10 mm 厚の試片における波長 400 nm での値
- 5) 20~300°C での値
- 6) JOGIS に基づく耐酸性
- 7) JOGIS に基づく耐水性

ス上、あるいは法的・社会的に要求される特性を備えていなければならない。独 Schott 社では数年来、このような低 Tg ガラスの開発に取り組んできた。現在では、アッベ・ダイヤグラムにある従来のガラスに加え、低 Tg バージョンがラインナップされている。

表1に、現在 Schott が提供している低 Tg ガラスの主な特性を示す。硝種コードが“P-”で始まる硝種は精密プレスのために特に開発されたものである。“N-”で始まる硝種は従来からの光学ガラスであるが、精密プロセスにも適したものである。

精密プレスにおいては、一般的な精密アニールに比べ、冷却速度が高いという点を考慮することが重要である。冷却速度が高いために、精密プレスにより製作されたレンズの屈折率は、原料となるガラスの屈折率（カタログ値）に比べ、常にかなり低い値をとる。分散についても精密プレスのパラメータに依存して変化する。インデックス・ドロップ（屈折率の低下）は標準的なアニール速度でアニールされたガラスの屈折率と、プレスされたガラスの屈折率の差と

して定義される。Schott が精密プレス用ガラスを提供する場合には、通常粗アニール品を提供するが、その検査成績書には標準的なアニール速度、即ち、2 K/h でアニールした場合の屈折率とアッベ数が記載される。精密プレスされた光学ガラスの実際の屈折率は、この値により異なってくる。

精密プレスで成型されたレンズに熱処理を施すと、表面形状が変化するので、精密プレス後に、精密アニールを施すことはできない。従って、レンズを設計するに当たっては、成型後のこれらの物性値の変化を予め考慮しておく必要がある。これらの物性値の変化は、冷却勾配や化学組成といった光学ガラスそのものの特性、および精密プレス工程におけるプロセスパラメータ、またプロセスパラメータに影響を与えるプリフォームの体積、形状および形状の公差にも依存する。

表1に示した一連の低 Tg ガラス以外にも、より高い n_d を有する新しい低 Tg ガラスの開発が進められている。

プリフォームの種類と精密ゴブの特性

今日では Schott は精密プレス用のテクニカルガラスおよび光学ガラスを用いたさまざまなプリフォームを供給している。例えばニア・ネット・シェイプの研磨プリフォーム、研磨ボール、研磨ディスク、精密ゴブなどである。ちなみに Schott は自動車のヘッドライト用レンズを成型するための精密ゴブ（硝材はテクニカルガラス“B270”）をここ数年安定的に市場に供給してきた。

これに続き、新たな精密ゴブの製造プロセスを開発し、2004年よりデジタル画像機器に使用される光学ガラス精密ゴブの供給を開始した。この精密ゴブは、光学ガラスの融体から直接成型・製造され、全面がファイア・ポリッシュの平滑な表面を有しており、重量のばらつきも極めて低く抑えられている（図1）。これにより、研磨などの後工程を施すことなく、光学素子の精密プレスに供することが可能である。

表2に、精密ゴブの品質上の主要特性と公差を示す。

実際に製造された精密ゴブ「N-SK57」の70サンプルについて、重量のばらつきを統計的に分析した結果を図1に示す。混合分布（MD：実線で表された分布曲線）の平均値は重量の製造目標値である2.524gと一致している。

このように、新たに開発されたプロセスで製造される精密ゴブの重量は、製造目標値付近に集中しており、実際の重量のばらつきは $\pm 0.5\%$ 以内であった。例えば、 $\pm 1.5\%$ のばらつきが許容できる場合、工程安定性は 6σ （ほぼ完璧に近い状態）に相当することがわかる。又、Q-DAS社の統計ソフト「qs-STAT」およびパーセントイル計算により工程安定性を計算したところ、工程能力指数はそれぞれ $cp=2.28$ 、 $cpk=2.08$ と高く、 6σ を超える工程安定性であった。このことは当社の精密ゴブ製造プロセスが品質上極めて安定したプロセスであることを示している。

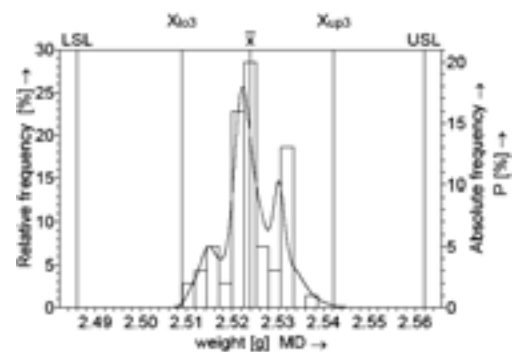


図1 精密ゴブの重量分布

表2 精密ゴブの特性値と公差

| | |
|----------------|---|
| 体積 | 120 mm ³ to 5000 mm ³ |
| 体積公差 | 0.5% to 2% |
| 屈折率公差 | ± 0.0005 |
| アッベ数公差 | $\pm 0.8\%$ |
| 直径 | 7 mm to 40 mm |
| 直径公差 | ± 0.2 mm |
| 表面品質 | 40/20 |
| 表面粗さ : rms, Ra | ≤ 1 nm |

本稿では、非球面レンズやその他の光学部品の精密プレスに適した低 Tg ガラスの特性とプリフォームを紹介した。新規に開発された製造プロセスで作られる精密ゴブは、表面粗さが1 nm (rms) をはるかに下回る表面粗さを有しており、重量のばらつきを極めて小さく抑えることができた。

参考文献

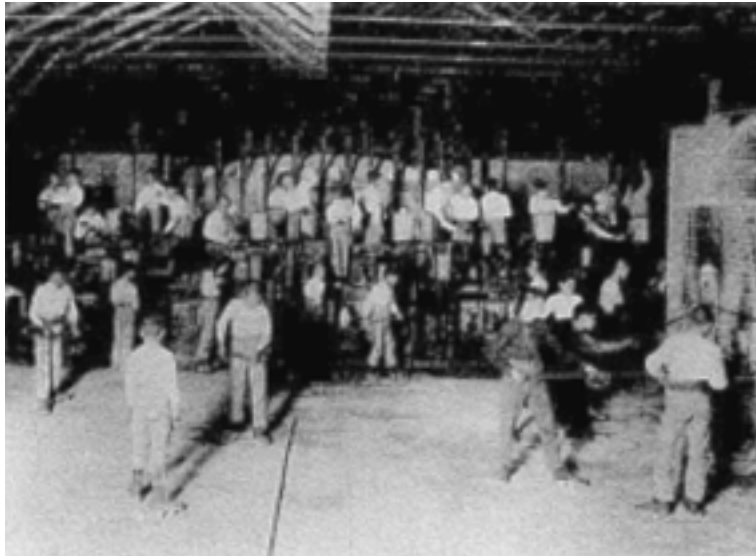
- 1) This work was partly funded by the German Government (BMBF) under the contract number 13N8469. Title: “Entwicklung eines low-cost-Verfahrens zur Herstellung von blankgepressten asphärischen optischen Bauelementen aus Spezialgläsern (Precise Pressing)”.
- 2) Klocke, Fritz: Optics-Key Technology for the

Future, Fraunhofer Institute for Production Technology IPT, Aachen, Germany, November 2004.
3) Brinksmeier, Ekkard: “Prozessketten zur Repli-

kation komplexer Optikkomponenten”, Trans-regionaler Sonderforschungsbereich SFB/TR4, Bremen, Germany December 2004.

日本の近代硝子工場の跡

明治 22 年頃の民営化後の品川硝子製造所（博物館明治村 ガイドブックより）



ガラス器製造風景