

プラスチックレンズの屈折率*

桐木 俊彦

小西六写真工業(株) 〒192 八王子市石川町 2970

(1983年8月8日受理)

Refractive Index of Plastic Lens

Toshihiko KIRIKI

Hachioji Plant, Konishiroku Photo Industrial Co., Ltd.,
2970, Ishikawacho, Hachioji 192

In recent years, plastic lenses have been applied to the high-quality optical systems. But the refractive index of plastic lens is not so stable as that of glass lens. In this paper we introduce our measurement method for refractive index of plastic lens and discuss the fluctuation of the indexes obtained.

1. 序

プラスチックレンズは、近年、非球面レンズに対するニーズ、および、レンズの軽量化、原価低減などに対するニーズにより、見直しが図られてきている。また、技術的にみても、金型加工技術や成形技術等の進歩によってプラスチックレンズを、従来に比べて、より高精度な光学系へ適用していこうという動きが見られる。

ところが一方、プラスチックレンズを素材の物性面での安定という観点からながめると、やはり、屈折率・寸法関係ともに、ガラスレンズに比べると不安定で、今後プラスチックレンズをより高精度な光学系へ適用していくためには、この欠点をいかに克服していくかが技術的な課題となってくる。

今回は、そのなかでプラスチックレンズの屈折率の問題に焦点をあてて、屈折率の測定法を紹介し、プラスチックレンズの屈折率・物性の変動についてさぐっていくことにする。

2. 研究の目的

一般に、光学ガラスの屈折率は、三角プリズム等の試料を作成して、最小偏角法¹⁾により測定するのが一般的であり、測定精度も小数点以下5桁の精度をもつ方法として広く用いられている。そして、このような屈折率の測定方法は、実際のレンズ系として組まれた光学部品も被測定物と同じ屈折率をもつという仮定の下に使用され

ている。このような仮定は、光学ガラスの場合は、ガラス材料をロットごとに管理することによって比較的問題なく成立していた。

ところが、プラスチックレンズの場合は、屈折率が成形条件や温湿度の変化により小数点以下3桁目まで変動する 경우가多く、ガラスレンズのようにダミーとしての三角プリズムを用いた測定は不向きで、レンズ現物で屈折率測定をしたい、という要求がでてくる。レンズ形状をした光学材料の屈折率を測定する方法としては、レンズ両面の曲率半径、光軸上の厚みおよび焦点距離を測定してこれから屈折率を算出する方法があるが、この方法は焦点距離を測定する際、球面収差のために測定データの精密さを欠き、算出された屈折率も、小数点以下3桁程度までしか保証できないようなデータであることが多い。

そこで、レンズ現物で屈折率を測定し、かつ測定精度も小数点以下4桁程度の精度をもつ測定法としてここでは液浸による干渉計を用いた測定法について報告する。

3. プラスチックレンズ素材物性一般

プラスチックレンズに用いられる主な素材の物性を、Table 1 に示す²⁻⁵⁾。

Table 1 に示された数値について、若干、説明を加えておく。まず、 d 線の屈折率であるが、プラスチックレンズの場合、温度を20℃と限定しても、だいたい小数点以下3桁目の数字が ± 2 程度しか確定的なことがいえない、というのが現状のようである。同様に、 n 値(アッペ数)に関しても ± 2 程度の幅は測定誤差も含めて存

* 第8回光学シンポジウム(1983年6月20日、東京)において講演

Table 1 Characteristics of materials for plastic lenses.

	PMMA	SAN	PC	(BK 7)
N_d (at 20°C)	1.492	1.567	1.586	1.5163
Abbe number	57	35	31	64
Coefficient of linear expansion (at 20°C)	7×10^{-5}	7×10^{-5}	7×10^{-5}	7×10^{-6}
Water absorption (be saturated)	2.0%	0.8%	0.4%	
Length change by water absorption (be saturated)	0.4%	0.15%	0.04%	

在するようである。

次に、寸法関係の物性をみると、線膨張係数が、BK 7 に比べて約 10 倍になっているのがわかる。屈折率の温度変化は、ローレンツ・ローレンツの式から、屈折率 n を温度 t で微分して

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{(n^2+2)(n^2-1)}{6n} \left\{ (-3\alpha) + \frac{1}{[R]} \frac{\partial [R]}{\partial t} \right\} \quad (1)$$

α : 線膨張係数, $[R]$: 分子屈折

で表わされる⁶⁾が、プラスチックレンズ用素材の場合は一般に(1)式の第1項に比べて第2項の寄与は小さくて、線膨張係数から屈折率の温度変化をだいたい算出できる。PMMA の場合、 $\alpha = 7 \times 10^{-5}$ で、(1)式に入れて換算すると、 $\partial n / \partial t = -1.2 \times 10^{-4}$ となり、実測値とほぼ一致する。

さらに、プラスチックレンズ素材でやっかいな問題として吸湿性の問題がある。Table 1 に飽和吸水率(乾燥時と飽和吸水時の重量変化率)と、飽和吸水による寸法変化率とを掲げてあるが、現在、プラスチックレンズとして最もよく用いられている PMMA はこの吸水性が大きい。変化のオーダーをみても、温度変化よりもむしろ大きく、これに伴って屈折率の湿度変化も起こることが予想される。

4. 屈折率測定装置

今回、試作した屈折率測定装置を Fig. 1 に示す。

全体としては、マッハ・ツェンダーの干渉計になっていて、一光束を平面波の参照光として使い、もう一光束中に被験レンズを、被験レンズと屈折率がほぼ等しい液体中に浸してセットする。さらに、屈折率参照用として、被験レンズに屈折率の近い、屈折率既知のガラス試料(三角プリズム等の形状がよい)も同時に液浸してセットする。この液浸装置の部分のみの図を Fig. 2 に示すが、このような液浸装置をマッハ・ツェンダー干渉計

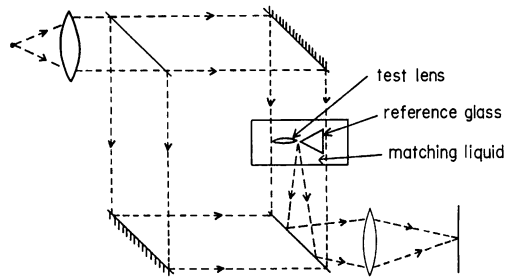


Fig. 1 Optical set-up for measuring the refractive index.

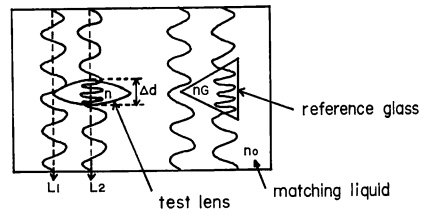


Fig. 2 Apparatus of matching liquid.

の一光束中に置くことにより、屈折率のわずかに違う媒質中を光が通過すると光の波長がわずかに変化することを利用して、光路差を示す干渉縞を解析し、被験レンズの屈折率を求めていくことになる。なお、被験レンズと並べて、屈折率既知のガラス試料も同時に液浸して、ガラス試料の屈折率の値を基準にしようとする理由は、液浸液の屈折率が温度等で不安定なためである。

参照用ガラス試料、液浸液、被験レンズの屈折率をそれぞれ n_g , n_0 , n とすると、まず、参照用ガラス試料の断面上に形成される干渉縞観測で

$$n_0 = n_g \pm \frac{N_1 \lambda}{\Delta d_1} \quad (2)$$

λ : 光の波長, N_1 : 観測される干渉縞本数, Δd_1 : N_1 本の干渉縞を生ずる部分の試料の光軸方向の厚みの差。

により、液浸液の屈折率が求められる。さらに、被験レンズ面上に形成される干渉縞観測で

$$n = n_0 \pm \frac{N_2 \lambda}{\Delta d_2} \quad (3)$$

λ : 光の波長, N_2 : 観測される干渉縞本数, Δd_2 : N_2 本の干渉縞を生ずる部分の試料の光軸方向の厚みの差。

により、被験レンズの屈折率が求められることになる。

この測定法の測定精度について少し吟味してみると、(3)式において、測定精度は、被験レンズの偏肉量 Δd_2 に反比例する。例として、 $\Delta d_2 = 1 \text{ mm}$ のとき、干渉縞

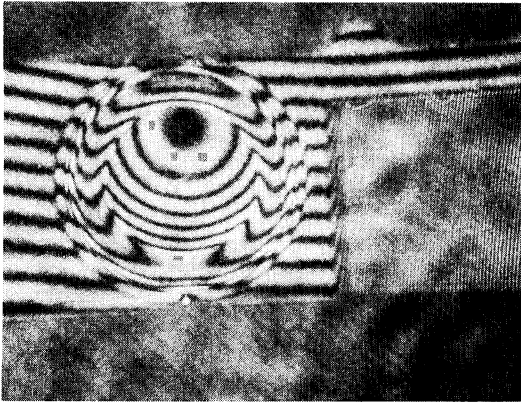


Fig. 3 Interference pattern of optical path difference.

の曲がりの読み取り精度を 0.1 本とすると、 $\lambda=0.5 \mu\text{m}$ で n の測定精度 5×10^{-5} になる。

この測定で実際に観測された干渉縞写真を Fig. 3 に示す (ただし、この写真は、被験レンズや参照ガラス面にピントを合わせたものではなく、スリガラスに投影された像を写したもので、回折による干渉縞の乱れが少し見られる)。

5. 本測定装置の特徴と用途

この屈折率測定装置の特徴を挙げてみると次のようになる。

- (1) 光源に各波長のレーザーを用いることにより、屈折率の分散を出せる。
- (2) 本測定装置を応用して、プラスチックレンズの屈折率のばらつき、温度変化、湿度変化のデータが取れる。そのデータをもとにして、プラスチックレンズ生産管理、およびレンズ設計のほうへもフィードバックが可能である。

上記のうち、とくに(2)の用途は重要であると思われる。以下、いくつかデータ例を紹介していくことにする。

Fig. 4 は、PMMA レンズの屈折率分散を Ar レーザー (457.9~514.5 nm まで 6 波長)、He-Ne レーザー (632.8 nm)、および半導体レーザー (780 nm) の各光源を使って、測定した例である。参照用ガラス試料には、PMMA に屈折率・分散の近い BK 9 を用いている。

ここで、複屈折のことに少し触れておく。

射出成形されたプラスチックレンズは、Fig. 5 の模式図で示したように、高分子の分子配向による配向歪を生じており、光学的には異方性をもっているために光が

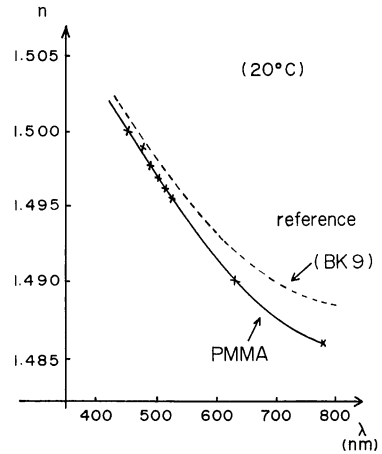


Fig. 4 Refractive index dispersion.

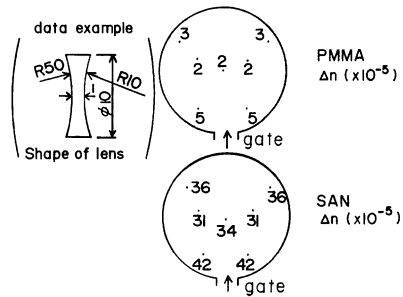
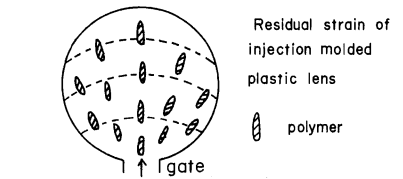


Fig. 5 Birefringence.

入射すると複屈折を生じる。この複屈折の大きさは、素材の種類・成形条件・レンズ形状によって大きく変わるものであるが、データ例として、直径 10 mm、中心厚 1 mm 程度のレンズで、PMMA レンズと SAN レンズのサンプルの場合の複屈折の値の例を示しておく。一般に、スチレン系統の素材は、MMA 系統の素材より複屈折が 1 桁大きくなるようであるが、成形条件によってもかなり変化する。

次に、屈折率の温度変化については、本測定装置で浸漬装置を恒温槽化することにより、データ取りが可能になる。Fig. 6 は、PMMA レンズを試料にして、 $\lambda=496.5 \text{ nm}$ (Ar レーザー) での、20~40°C での屈折率変化のデータを示している。

さらに、屈折率の湿度変化については、Fig. 7 のよ

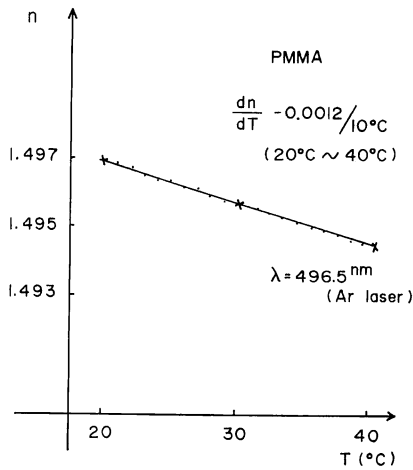


Fig. 6 Refractive index change by temperature.

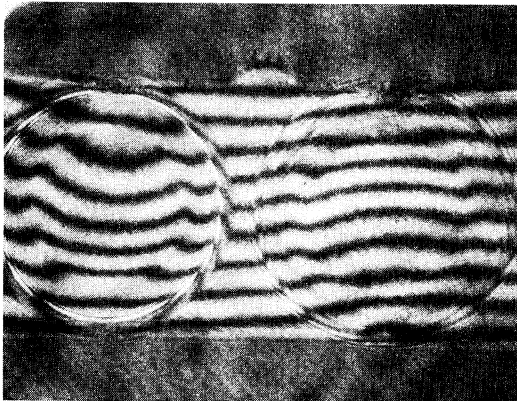


Fig. 7 Refractive index change by humidity.

うに同じロットの成形レンズを、乾燥状態しておいたものと吸湿状態しておいたものを2個並べて液浸して、干渉縞の曲がり进行比较することにより、屈折率の変化量を求めることができる。ただし、本測定法は、透過光の光路差から屈折率を算出する方法で、屈折率の断面的な構造はわからず、断面的平均的な屈折率を示しているにすぎないので、注意を要する。

屈折率の湿度変化は、素材が吸湿性を持ち、吸水による重量変化や、吸水膨潤による寸法変化をおこすことに起因している。

Fig. 8を見るとわかるとおり、素材の吸湿は、レスポンスはかなりゆっくりしているが、飽和吸水量としてはオーダーが大きく、したがって屈折率の湿度変化もこれに伴った変化をすることが予想される。この屈折率の湿度変化に関して、細かいデータは本報告では省略する

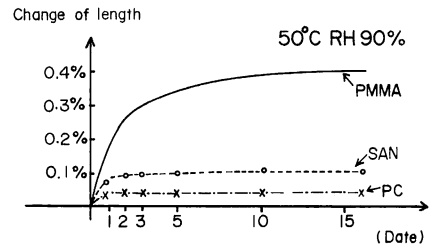
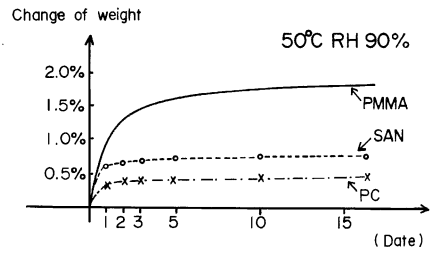


Fig. 8 Change of weight and length by absorbing water.

が、Fig. 7の写真の例でも、PMMAで乾燥状態と吸湿状態とで屈折率が、小数点以下3桁目が少しふれる程度の変化がある、ということがいえる。

6. まとめと今後の課題

プラスチックレンズの屈折率について、その測定法と変動に対するチェックの面から述べてきたが、実際、このような方法を使って屈折率の変動範囲をチェックしておくことは、生産管理上、大切なことであり、今後の設計上も、プラスチックレンズを適材適所、配していくための基礎データにもなりうる。

なお、今回は、すべて、コートをしていないレンズを試料にしているが、今後の課題としては、素材とコート膜の相互作用が与える、屈折率の変動に対する影響などにも注目する必要があると思われる。

文 献

- 1) コールラウシュ: 実験物理学, Vol. 3, 光学 (商工出版社, 1956) p. 42.
- 2) R. M. Altman and J. D. Lytle: Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., 237 (1980) 380.
- 3) 山内克介: 光学技術コンタクト, 17 (1979) 33.
- 4) U. S. Precision Lens: The Handbook of Plastic Optics (1973).
- 5) B. Welham: Applied Optics and Optical Engineering, Vol. 7 (Academic Press, New York, 1979) p. 79.
- 6) 小倉磐夫: 「第20回サマーセミナー」テキスト (1982).