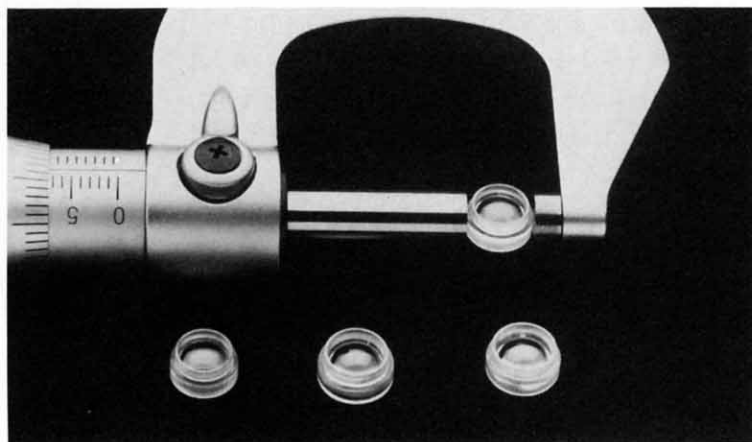


光ディスク用レンズ

Bi-aspherical Optical Disc Lenses

小嶋 忠
オプト事業推進室
光学開発センター



左 VD/CDV用 中 光磁気ディスク用 右 光ディスクDRAW用

Abstract:

Since our success in June 1984, in developing an objective lens for Compact Disc (CD) pick-ups consisting of a bi-aspherical plastic singlet, conventional sets of spherical glass lenses have been almost completely replaced by these bi-aspherical plastic singlets. Continuing from this progress, we recently developed bi-aspherical plastic singlets for Video Disc (VD), DRAW Disc, and Magneto-optics (MO) Disc objectives, objectives which require higher numerical apertures and higher performance than CD objectives.

In this paper, the kinds, specifications, and construction of optical disc lenses are first briefly explained. Then the specifications, characteristics, performance and error properties of the bi-aspherical plastic singlets developed for optical discs are presented in detail. Finally, the process of manufacturing such bi-aspherical plastic objectives for optical discs is briefly explained.

In conclusion, the performance of bi-aspherical singlet objectives for optical discs is much higher than that of conventional spherical glass objectives. As a result, bi-aspherical plastic singlets can serve as optical disc objectives in any application.

Kojima, Tadashi
Optics Development Center
Optics Division

1

はじめに

コンパクトディスク（以下CDと略す）が1982年に発売されて以来、その新商品の魅力によってCD市場は急拡大し、1986年には世界総出荷台数が早くも1,000万台を越えてしまった。CDは光ディスクの中で最初に商品化されたものである。光ディスクは高密度の情報を記録できることが特徴で、音声のみならず画像の記録や、計算機用のデータ記憶など、その用途は今後ますます増大し、これから21世紀にかけて極めて重要な記録媒体となっていくことは間違いない。CDとほぼ同時期にビデオディスク（以下VDと略す）が商品化されているが最近CDのサイズに絵と音声とを記録したCDVも発表された。一方、計算機の端末記憶装置としてのCD-ROMや光ファイル用の追記型光ディスク（以下DRAWと略す）の利用がすでに始まっているが、今後、消去可能な光磁気ディスク（以下MOと略す）が多いに期待されている。

光ディスク上に記録された信号読取り用の光ピックアップ用対物レンズには回折限界レベルの高性能なレンズが必要となる。光ディスク用レンズとして、当初球面ガラスレンズの組み合わせが用いられていたが、当社でCD用ピックアップ対物レンズを非球面プラスチック単レンズで実現できることを1984年6月に発表して以来、CD用については非球面プラスチック単レンズが圧倒的に利用されるようになった。

ここでは、当社で開発した、各種光ディスク用非球面プラスチックレンズについて、その特徴・性能および開発プロセスなどについて紹介する。

2

光ディスクレンズの種類・仕様および構成

2.1 光ディスクレンズの種類

光ピックアップの構成によって、半導体レーザーから出る光をコリメーターレンズによって平行光にして対物レンズに入射させて集光させる方式と直接対物レンズによって集光させる方式とがある。前者の方式は、物体距離が無限遠で、光ディスクレンズとしてコリメーターレンズと対物レンズとが必要となる。後者の方式は、物体距離が有限で、光ディスクレンズは対物レンズのみとなる。

光ディスクの種類に対応して、光ディスクレンズにもCD用レンズ、VD用レンズ、CDV用レンズ、DRAW用レンズおよびMO用レンズなどがある。

2.2 光ディスクレンズの仕様

信号検出のために、光ピックアップ側より、光ディス

クレンズに対して以下に示すような仕様項目が与えられる。焦点距離 (f)、開口数 (NA)、倍率 (m)、物像間距離 (U)、作動距離 (WD)、使用波長 (λ)、最大像高 (y)、対物レンズ重量 (W)、対物レンズの大きさおよび性能などである。

2.3 光ディスクレンズの構成

光ディスクレンズは回折限界という理想レンズ並みの性能を必要とすることから、元々高精度な球面ガラスレンズの組み合わせで構成されていた。しかしCDの多量普及と低価格化のために量産性のよい低価格の非球面プラスチックレンズが当社によって開発された他、非球面モールドガラスレンズ、屈折率分布型レンズ、非球面プラスチック層接着型ガラスレンズなどが開発され利用されている。

3

光ディスク用非球面プラスチックレンズ

CD用の無限遠仕様非球面プラスチックレンズを、当社において1984年6月に開発成功を発表し、直ちに量産に移行して以来、1986年春にはコリメーターレンズと対物レンズとを一体化した有限距離仕様のCDレンズを、1986年秋には耐熱特性を向上させた車載搭載用のCDレンズを、1987年春にはVD、CDV用のレンズを量産に移行した。さらに1987年夏にはDRAW用やMO用のレンズのプラスチックレンズによる開発も成功した。従って光ディスクレンズの全種類をプラスチックレンズで実現できるようになった。

3.1 光ディスク用非球面プラスチックレンズの特長

非球面プラスチックレンズを用いると、様々な利点が得られる。以下、その主なものを示す。

- (1) 単レンズの両面が非球面で構成されているとき、その基本性能は3枚構成の球面組み合わせガラスレンズよりもすぐれており、特に軸外性能が球面ガラスレンズよりも大幅に優っている。(図5参照)
- (2) 重量が極めて軽量で、ピックアップのアクチュエーターの駆動に有利である。
- (3) 鏡枠とレンズとを一体成形することができ、このことによって鏡枠部分を不要とさせることができるのみならず、光ピックアップへの取付けを容易にさせ、組立工数の低減に寄与させることができる。
- (4) プラスチックレンズ最大の欠点であるピント位置の温度や湿度による変化については、光ピックアップ自体にオートフォーカスの機能が備え付けられているので問題とはならない。
- (5) ガラスレンズと比べてヤケたり、かびが生じたり

することは無い。

(6) 多量生産時にはもっとも低廉な製造コストの実現が可能となる。

3.2 光ディスク用非球面プラスチックレンズの仕様

無限遠仕様のCD対物レンズにおいては、像高を大きくとる像高優先型の対物レンズと、レンズの傾き誤差をなるべく大きく許容する傾角優先型のレンズとが考えられる。一方、有限距離仕様のCD対物レンズにおいては、CDプレイヤーが据置き用か、ポータブル用か、あるいは車載用かなどによって異なる物像間距離や倍率が要求される。一方、半導体レーザーの光量の利用効率、集光の形状、さらにはレンズ性能の温度特性などによって最適な倍率や物像間距離が定まる。したがって、有限距離仕様の場合、多くの仕様と考えられる。

VD用、DRAW用、MO用などの対物レンズとしては、CD用より、より大きな開口数が必要であり、また球面収差をより完全に除去させる必要があり、環境変化に対す

る性能変化の許容量も厳しくなる。

当社の無限遠仕様のCD用レンズAP4545の断面図を図1に、また当社でのCD用レンズの変遷を図2に示す。表1に当社で開発された光ディスク用非球面プラスチックレンズの主要なものの一覧を示す。

3.3 光ディスク用非球面プラスチックレンズの性能

(1) 光学性能

CD用対物レンズの場合、光学性能に起因する特性はジッター値によって評価される。CDでは離散値をもつピットの組み合わせで音楽信号をコード化している。再生信号に要求される品質はパルスの位相関係やタイミングである。パルスの立ち上がり、立ち下がりタイミングの誤差をジッターと呼ぶ。光学系に収差があるとジッターが増加する。したがって、対物レンズの性能がジッター値に大きな影響を与える。他の光ディスクでも光学性能が重要な評価項目となる。光学性能の評価値として、光線収差、波面収差、点像の強度分布およびOTF値などが用

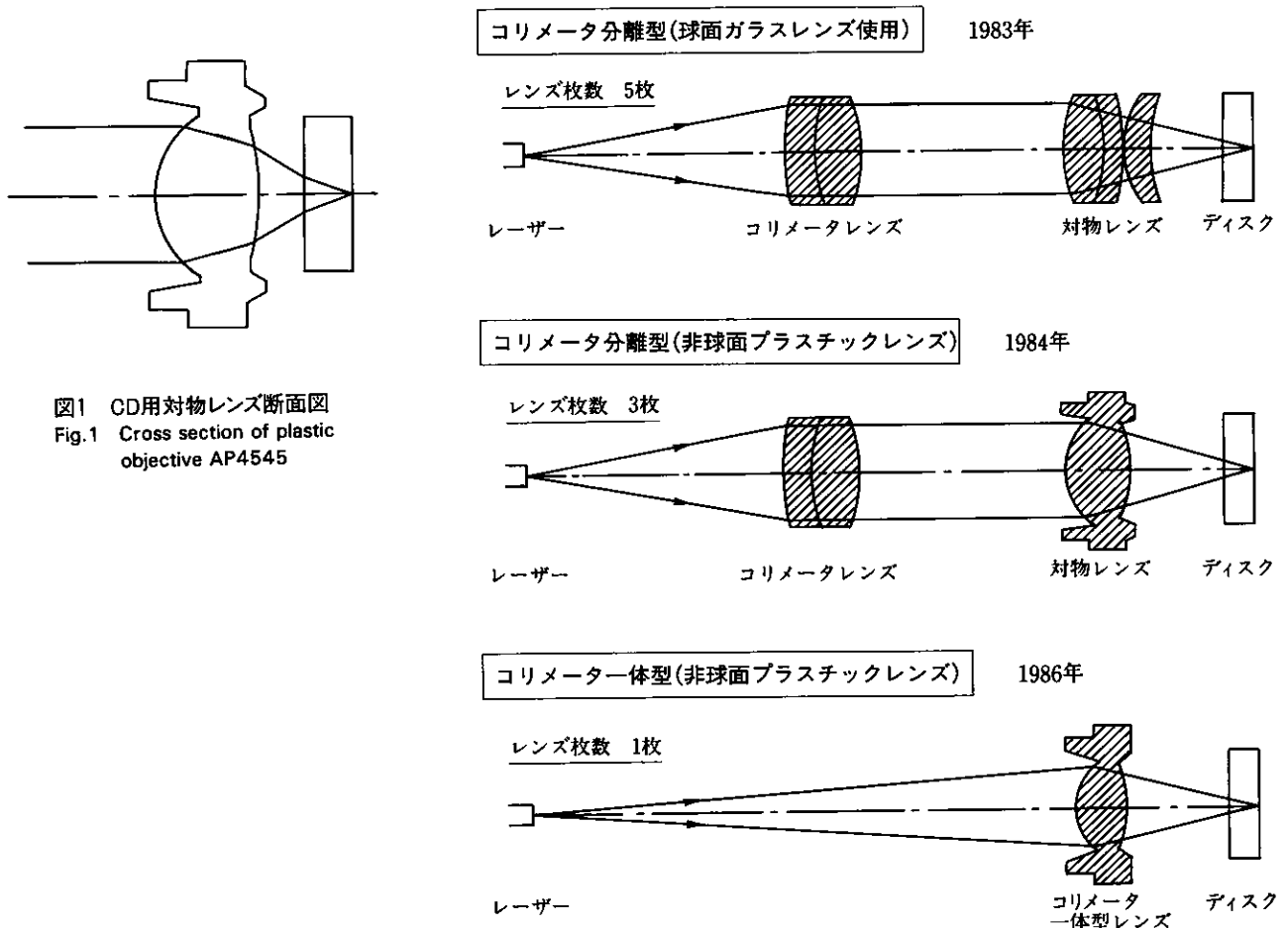


図1 CD用対物レンズ断面図
Fig.1 Cross section of plastic objective AP4545

図2 コニカCD用対物レンズの変遷
Fig.2 History of KONICA objective lens for CD

いられる。

(a)光線収差 光学系を光線追跡することによって求められる収差である。球面収差、コマ収差、非点収差および偏心によって発生する収差などがレンズ性能上特に重要である。

(b)波面収差 光線に直交する面を波面といい、収差のないとき波面は平面波あるいは球面波を形成する。平面波あるいは球面波からのずれを波面収差という。波面収差のRMS (Root Mean Square) 値やPV (Peak to Valley) 値が評価量として用いられる。RMS波面収差がMarechal's Creiterion 0.07λ 以下のとき、その光学系を回折限界の光学系といい、理想光学系扱いがなされる。

(c)点像の強度分布 点光源から出た光束の光学系による結像が点像である。点像の形状が円形からずれているとき非点収差が発生しており、また1次回折像(エアリーディスク)の強度分布が均一でないとき、コマ収差が発生している。最良像面だけでなく、デフォーカスした面での強度分布も評価する必要がある。ディスクのトラ

ック方向に対し対称的な強度分布のとき、ジッター特性への影響は少なくなる。

(d)OTF値 点像の強度分布のフーリエ変換がOTF値である。OTF値は空間用周波数に対するコントラストの伝達度を示すものでもある。

光ディスクレンズの代表例としてCD用非球面プラスチックレンズAP4545をとりあげよう。AP4545は両面非球面のプラスチックレンズであるが、この変形量を図3に示す。変形量は球面よりのずれ量のことである。

AP4545の球面収差、コマ収差および非点収差の値を図4に示す。球面収差の最大値は $0.1\mu\text{m}$ 以下、非点収差は殆ど0、コマ収差も像高 0.1mm で僅かに認められる程度である。RMS波面収差の設計値を図5に示す。参考に3枚構成の球面ガラス組み合せレンズおよび片面非球面のプラスチックレンズの値を示す。AP4545の場合、軸上でのRMS波面収差の値は 0.002λ と極めて小さい。Marechal's Creiterion 0.07λ を満たす像高範囲は 0.16mm を超える。図4よりAP4545の性能が圧倒的に良いことが明らかである。

表1 コニカ製光ディスク用光ピックアップ対物レンズ

Table 1 KONICA optical pick-up objectives for Optical Discs

名 称	AP4545	T072	T081	T060	T073	T059	AP4550	AP4255	AP4353
使用目的	CD据置きポータブル	CD据置きポータブル	CD車載用	CD据置きポータブル	CD据置きポータブル	CD据置き	VD, CD-V据置き	DRAW	MO
コリメータレンズの必要性	あり	あり	あり	なし	なし	なし	あり	あり	あり
焦点距離: f(mm)	4.5	4.5	4.5	3.3	3.9	3.7	4.5	4.2	4.3
開口数: NA	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.55	0.53
倍 率: m	0	0	0	-1/5	-1/5.5	-1/7.5	0	0	0
物体距離: U(mm)	∞	∞	∞	25.3	31.2	37.0	∞	∞	∞
作動距離: WD(mm)	1.9	1.9	1.9	1.8	2.1	1.8	1.9	1.6	1.6
波 長: λ (nm)	780	780	780	780	780	780	780	830	830
像 高: y(mm)	0.1	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.07	0.07
重 量: W(g)	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14
保存温度: T($^{\circ}\text{C}$)	-30~75	-30~75	-30~100	-30~75	-30~75	-30~80	-30~80	-30~80	-30~80
動作温度: T($^{\circ}\text{C}$)	-10~65	-10~65	-10~65	-10~65	-10~65	-10~65	-10~65	-10~65	-10~65
特 徴	像高優先	傾角優先	像高優先 耐熱素材使用				耐熱耐湿 素材使用	高NA	複屈折 なし

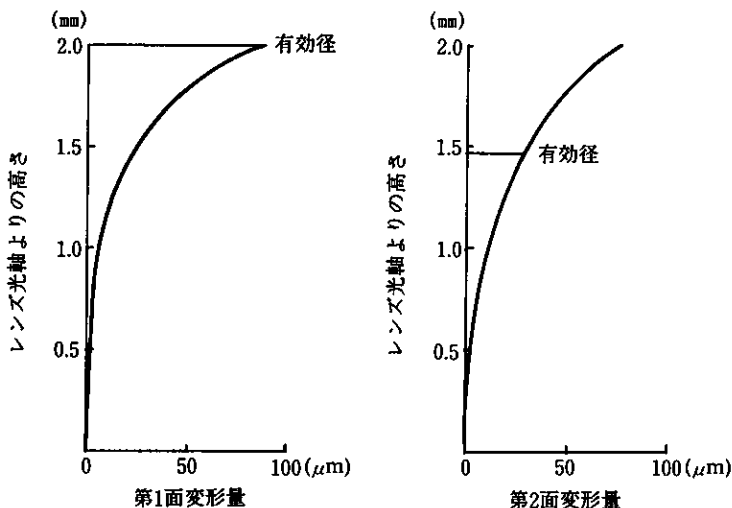


図3 AP4545の球面よりの変形量(設計値)
Fig.3 Deformation quantity to spherical surface (design value)

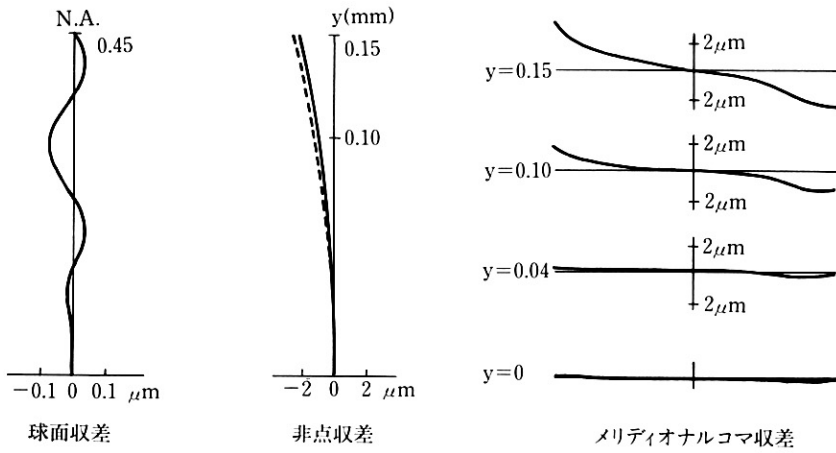


図4 AP4545収差図(設計値)
Fig.4 Spherical aberration, astigmatism and meridional comatic aberration of CD objective, AP4545

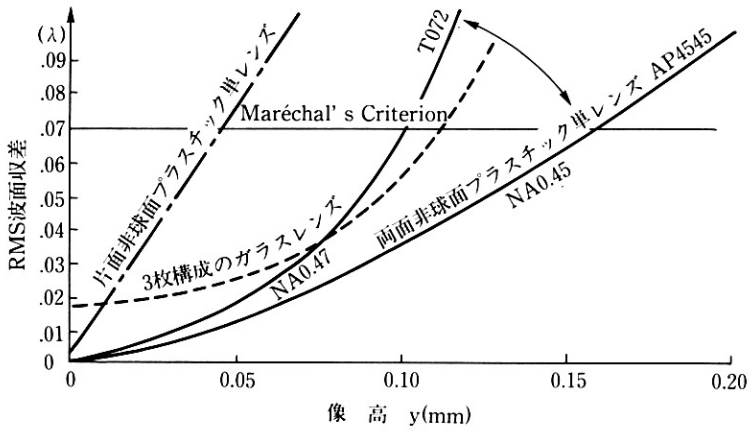


図5 AP4545とT072のRMS波面収差(設計値)
Fig.5 RMS wave-front aberration of CD objectives, AP4545 and T072 (design value)

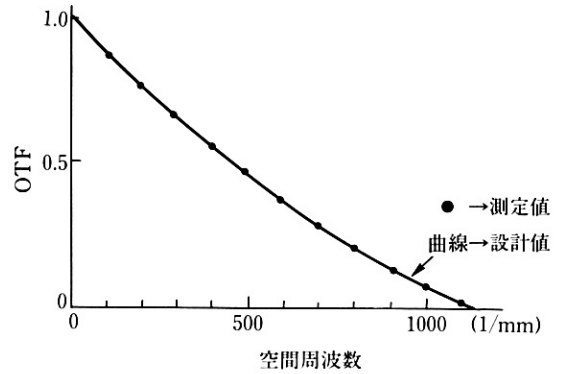
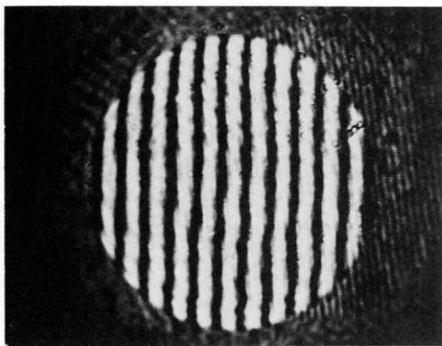


図6 AP4545のOTF値…設計値と測定値との比較
Fig.6 Designed and measured OTF value of CD objective, AP4545



RMS値 0.02078
P-V値 0.08244

図7 CD用対物レンズAP4545の干渉縞写真
Fig.7 Interference fringes of CD objective, AP4545

表2 プラスチックレンズへのコーティングの効果
Table 2 Effect of coating on plastic lenses

効果	評価法	コーティングなし	コーティング付き
反射防止	透過率	92%	97%
帯電防止	表面抵抗	$6 \sim 9 \times 10^{16} \Omega$	$1.5 \times 10^{14} \Omega$
表面硬化	鉛筆硬度テスト	H~2H	3H~4H

次にOTFの設計値および、代表的なサンプルレンズについての測定値を図6に示す。この値はほとんど完全に理想レンズといってもよい値である。カットオフ周波数は1150本/mm位である。AP4545の干渉縞の写真を図7に示す。

(e)コーティング性能 非球面プラスチックレンズの両面に、反射防止、帯電防止、表面硬化および環境性能向上を目的とした新開発の薄膜が設けられている。このコーティングの効果を表2にまとめて示す。

(f)複屈折 プラスチックレンズには、通常複屈折が残留する。光ディスク用レンズは複屈折の極力少ないことが重要である。特に複屈折のないことが必要なMO用非球面プラスチックレンズの複屈折の値を図8に示す。

(2) 信頼性性能

温度テスト、湿度テスト、熱衝撃テスト、動作テストなどが信頼性性能を評価する手段として用いられる。その結果通常のCD用レンズに対しては75°C、車載用では素材改良で100°C迄の耐熱保存温度が得られた。またVD用

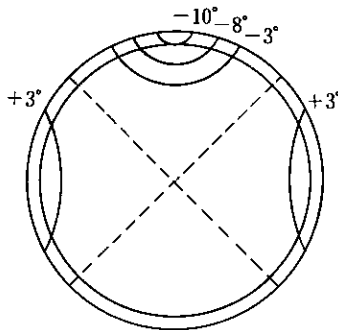


図8 MD用レンズAP4353の複屈折量
Fig.8 Birefringence of MO disc objective, AP4353

やMO用には耐湿・耐熱の両特性の改良された素材によって80°C迄の耐熱保存温度が得られた。

(3) 誤差特性

(a)結像倍率誤差 コリメーターレンズの焦点位置と対物レンズの焦点位置が合致しないとき、対物レンズの結像倍率が0からずれ、対物レンズ性能は劣化する。図9にこの状況を示す。Marechal's Criterionを満たす範囲の倍率変化はおよそ±0.03以内である。

(b)対物レンズ傾き誤差 CD用レンズAP4545およびT072について対物レンズの取り付けが傾いたときの波面収差の変化量を図10に示す。この図より、AP4545はMarechal's Criterionを満たす像高は大きい、傾き量の許容範囲は小さく、T072は丁度この逆であることがわかる。

(c)ディスクの傾き誤差 図11にディスク傾きと波面収差との関係を示すが、NA0.45の対物レンズでMarechal's Criterionを満たす傾き量は約1°である。

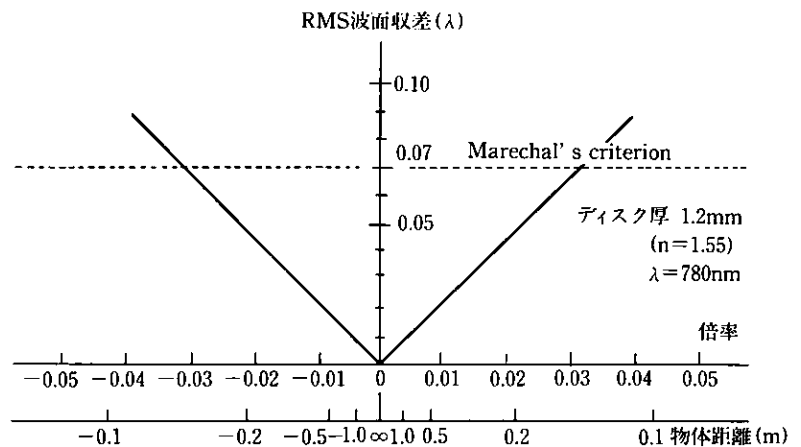


図9 結像倍率—波面収差特性 AP4545
Fig.9 RMS wave-front aberration to magnification of CD objective, AP4545

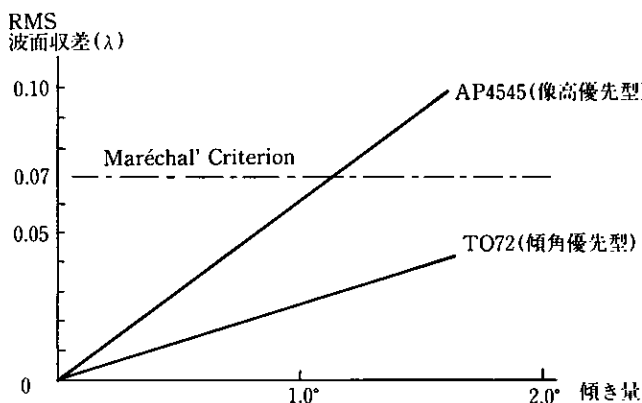


図10 無限遠仕様対物レンズ2種類 (AP4545とT072)の傾角特性
Fig.10 Inclination characteristics for 2 kinds of CD objective, AP4545 and T072

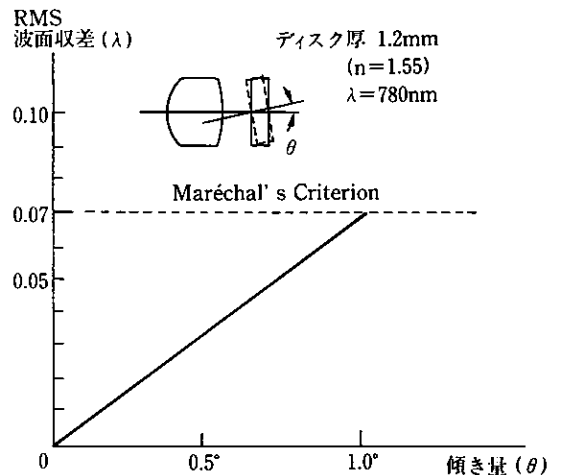


図11 ディスク傾き—波面収差特性
Fig.11 Disc inclination characteristics of NA 0.45 objective

4

光ディスク用非球面プラスチックレンズの開発

光ディスク用非球面プラスチックレンズの開発に当っては、種々の要素技術が必要となる。基礎的な要素技術として、樹脂素材、レンズ設計、金型設計、金型加工、レンズ成形、表面処理および評価技術などが必要となる。非球面レンズであることから、非球面の設計、加工、測定、評価という重要な要素技術もつけ加わる。しかもこれらの各要素技術の多くが、光ディスクレンズの開発に当っては、従来より遙かに高精度であることが要求される。特に金型加工、成形および表面処理が超精密金型加工、超精密成形および新規の多目的表面処理であることが必要となる。さらに量産を前提とするとき、このような高密度プラスチックレンズの生産技術の確立が重要となる。

上記の要素技術相互の間には、いろいろ密接な関係が

生ずる。この状況を図12に示す。例えば、樹脂に要求される物性、あるいは結果として得られる物性は、成形法、レンズ設計、表面処理法の全てと密接な関係を持つ。また、レンズ設計時点でレンズ形状を決定しなければならないが、このためには、金型設計、成形法の特徴を十分に理解しておかねばならない。

5

おわりに

先端技術の粋を集めた光ディスクの中でも、重要な要素部品である対物レンズが、すべて非球面プラスチックレンズで実現できるようになったが、今後プラスチック素材の改良を含めて、すべての要素技術の一層の高精度化によって、一層高性能、コンパクトな光ディスクレンズが得られることになろう。

●参考文献

- (1) T.Kiriki et al; Plastic Aspheric Lens for the Compact Disc System, Conf. Lasers and Electro-Optics '84 Conference Digest WB3 P80,1984.
- (2) 小島 忠; CD用非球面プラスチックレンズの開発と評価 Vol.23 No.7 P465,1985 光学技術コンタクト

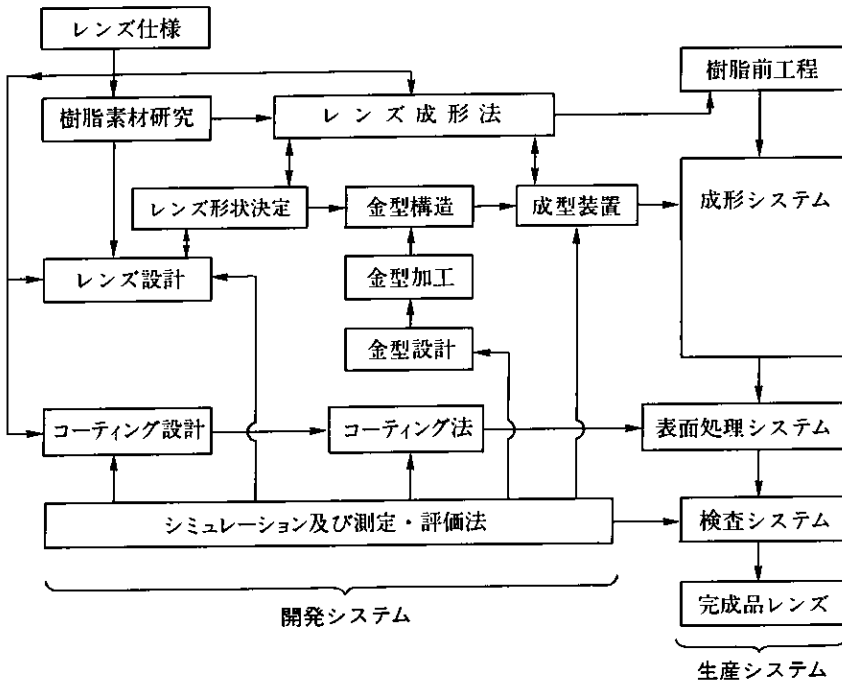


図12 プラスチックレンズの開発および生産と要素技術関連図
 Fig.12 The relations of individual technics in the development and the production of plastic lenses