

光ディスクレンズの発展

光ディスクシステム 20 年間の発展への対応と貢献

Progress of Lenses for Optical Disk System

Contributing to Development of Optical Disk Systems for more than 20 years

小 嶋 忠*

Kojima, Tadashi

The reading and recording technologies have been used as optical disk systems for more than 20 years. And during these years, the technologies for optical disk systems have been progressing remarkably. Several kinds of lenses for optical disk systems, in particular, the aspherical plastic lenses and diffractive plastic lenses contributed to the remarkable progress of optical disk systems. The details of the progress of the lenses for optical disk systems from the technical and industrial point of view are presented. And also the future lenses for optical disk systems are briefly predicted.

1 はじめに

CD プレーヤーや DVD プレーヤーが音楽や映像の再生装置として又 CD-ROM ドライブや DVD-ROM ドライブがデータの再生装置として、更に CD-R/RW ドライブや DVD-COMBO などがデータの記録再生装置として今や日常的に利用されている。光を利用して情報の記録・再生を実現した最初の製品は 1979 年に市場に導入されたレーザーディスクであった。これより 20 年以上が経過したが、この間の光ディスクシステムの発展には目を見張るものがある。現在光ディスクシステムは音楽、映像、データの各分野で活躍し、その応用としてゲームの分野にも利用が拡大されている。この発展を支えてきた重要要素技術として光ピックアップ用のレンズ（以下、光ディスクレンズと記述する）と半導体レーザーの著しい進歩があげられる。超高性能を要求される光ディスクレンズを非球面プラスチック単レンズで実現させ、更に最近回折レンズを光ディスクレンズ分野に導入させたことが技術的にも産業的にも大きな意義があり、光ディスクレンズの社会への著しい貢献となった。光学的に見ると、たった一枚のレンズに非球面や回折面を導入させたことでレンズ設計の自由度を著しく増加させ、光ディスクレンズの高性能化、高機能化に大いに寄与した。更にレンズ素材としてプラスチック材料を選んだことで加工面、特に多量生産面で著しい貢献をはたした。レンズコストの低減にも大きく寄与し、光ディスクシステムが大普及する一つの要因を形成してきた。回折面を含む非球面プラスチックレンズの進歩は、今後の光ディスクシステム発展の中で更に威力を發揮し、半導体レーザーの進歩と共に光ディスク市場拡大の鍵を握ると予測される。

ここでは 20 年以上に渡って発展し続けてきた光ディ

* OPT カンパニー

スクシステムに対応してきた光ディスクレンズ発展の流れ、中でも非球面プラスチックレンズと回折プラスチックレンズの光ディスクシステムへの適用及び光ディスクレンズを実現する上で重要な開発要素技術の発展について記述したい。最後に光ディスクレンズの将来、更に産業面から見ての一考察などを付記したい。

2 光ディスクシステムと光ディスクレンズ発展の経緯の概要

2.1 光ディスクシステム発展の経緯

LD（レーザーディスク）に始まり CD（コンパクトディスク）、CD-ROM, MD（ミニディスク）、MO（光磁気ディスク）、CD-R, CD-RW, DVD-ROM, DVD-Video, COMBO などのリライタブルディスクが次々と開発され、大変な発展を遂げてきた。2000 年における光ディスクシステム全体の総出荷台数は約 4 億台に達したと見られている。光ディスクシステム発展の経緯は Fig.1 に示す通りである。

上記の発展の流れを見ると、当初再生専用として出発した光ディスクは記録・再生へと大きな転換を図りつつある。MO や MD で比較的早期に記録・再生を実現していたが、CD サイズで記録を実現したのは追記型の CD-R が 1995 年に、そして記録・再生型の CD-RW が 1997 年に市場に導入され、その後 DVD-RAM や DVD-COMBO, DVD±RW, DVD-DW などが続いている。もう一つの光ディスクの流れは記録情報の高密度化で、CD の 640MB（メガバイト）から始まり CD-サイズの大きさで DVD が 4.7GB（ギガバイト）、既に報道されている DVR-Blue(HD-DVD) は 22.5GB と記録密度を増加させている。

光ディスクの直径は LD や光ファイル用で 12 インチ径が開発されていたが、現在利用されているほとんどの

光ディスクは直径 12cm の CD から始まって DVD もこの値を踏襲している。僅かに 3.5"MO と MD が例外で夫々 82mm, 76mm となっている。

1979 年——LD
 1982 年——CD-AUDIO
 1984 年——CD-ROM, CD-Car
 1987 年——MO(3.5")
 1992 年——MD
 1992 年——PD
 1995 年——CD-R
 1996 年——CD-Video, DVD-Video
 1997 年——DVD-ROM, CD-RW
 1998 年——DVD-RAM
 1999 年——DVR-Red
 2001 年——COMBO, DVD±RW, DVD-DW
 などの Rewritable Disk

Fig.1 Development of optical disk system

2.2 光ディスクレンズ発展の経緯^{1-9, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 25, 31, 32, 35)}

Fig.1 に示した光ディスクシステムに合わせて光ディスク用レンズの開発が進められてきた。光ディスク用レンズの開発の歴史は、殆んどコニカにおける光ディスクレンズの開発の歴史と重なる。非球面プラスチックレンズによる光ディスクレンズが市場に出荷されて以来、1984 年から 2000 年度に至る各年のコニカの光ディスクレンズ出荷数量を Fig.2 に示す。また Fig.3 に 2000 年度におけるコニカの光ディスクレンズの各種構成比率を示す。

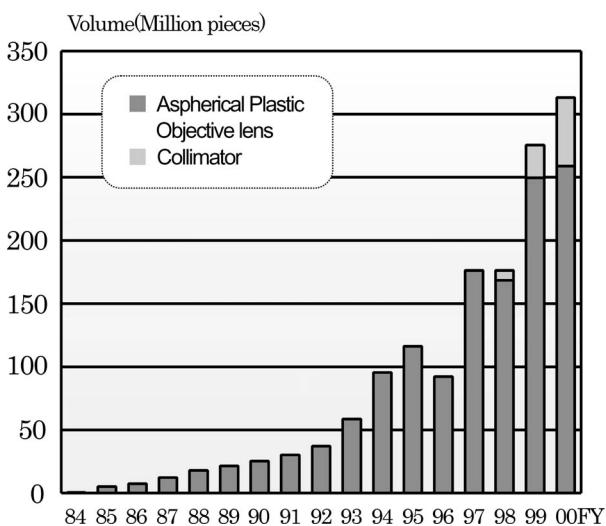


Fig.2 Annual sales of aspherical plastic lens for optical disk use at Konica

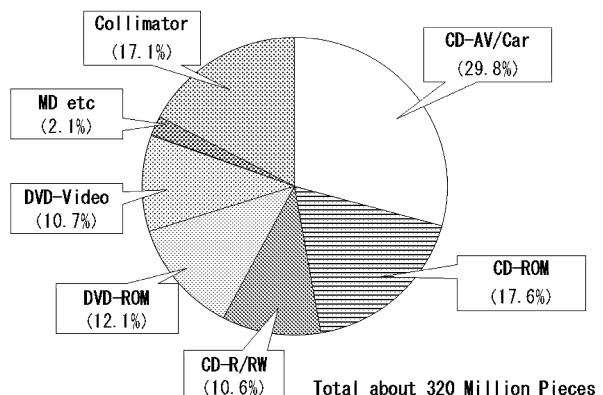


Fig.3 Sales construction of optical disk lens in 2000 year at Konica

2.2.1 光ディスクレンズ開発の歴史

1982 年の CD 開発当初の CD 用対物レンズ構成は、3 枚構成の球面ガラスレンズの組合せであった。その性能は 60 倍の顕微鏡対物レンズに匹敵するとも言われた(光ディスクの場合、波長が単波長なので一般に色収差の補正の必要は無い)。ピックアップ光学系としては、この他に 2 枚のガラス接合レンズをコリメートレンズ系として必要としていた。ガラス組合せ対物レンズの他、ガラスモールドの非球面単レンズや球面ガラスレンズの一つの面に非球面プラスチック層を接合したハイブリッド単レンズも提案され、これらはかなり長期間利用されていた。しかし圧倒的に多く利用されたのは 1986 年に開発されたコリメートレンズと一体化した有限共役仕様の非球面プラスチック単レンズであり、今日もなお多用されている。

DVD システムが発表された 1996 年頃には DVD-CD 互換ピックアップとして多くの光学系が提案された。即ち(1)2つのピックアップを有するシステム(2)2つの対物レンズを有するピックアップシステム¹³⁾(3)液晶シャッターを有する 1 ピックアップシステム¹⁷⁾(4)ホログラムレンズを用いた 1 ピックアップシステム¹⁰⁾(5)別体ホログラムを有する 1 ピックアップシステム¹⁶⁾(6)輪帯マスクを有する 1 ピックアップシステム²²⁾(7)ズーム光学系を用いた 1 ピックアップシステム²⁰⁾(8)ダイクロイックフィルターを用いた 1 ピックアップシステム²¹⁾そして我々の開発した(9)特殊対物レンズを用いた 1 ピックアップシステム^{24, 27, 29, 23)}及び(10)回折対物レンズを用いた 1 ピックアップシステム^{28, 30)}などである。これらの内、当初実際に用いられたのは(1)(2)(8)で、(8)は現在も利用されている。更に最近は新しい光学系も提案されているが、現実に利用されているのは(9)(10)が圧倒的に多い。また、最近(11)位相差を用いた互換レンズ^{33, 34)}も発表されているが、現時点ではまだ実用化はされていない。

なお、Fig. 1 に示した光ディスクシステムの発展に応じて必要な仕様・性能のレンズが非球面プラスチックレンズあるいは回折非球面プラスチックレンズによって実現され続けている。

2.2.2 光ディスク用レンズの歴史上で重要な開発

光ディスク用レンズ発展の中で特に画期的な出来事は、先ず第1に Fig. 4(b),(c)に示す1984年のCD用対物レンズのガラス組合せレンズから非球面プラスチック単レンズへの置換及び1986年の対物レンズとコリメートレンズとの一体化である。第2にはFig. 5(b),(c)に示す1997年のDVD-CD-CD/R互換の特殊対物非球面プラスチックレンズの開発及び2000年のDVD-CD-CD/R互換の2波長用回折対物非球面プラスチックレンズの開発である。

1984年の非球面プラスチックレンズの導入によって光ディスクレンズのコストを大幅に下げることが可能となり、CDを中心とする光ディスクシステムの大普及を可能にした。また1997年のDVD-CD(1波長)あるいはDVD-CD-CD/R(2波長)互換の特殊対物レンズ及び2000年のDVD-CD-CD/R(2波長)互換の回折対物非球面プラスチックレンズの開発は、ピックアップを大幅に簡素化し、DVDプレーヤーやドライブの小型化と価格低減に極めて大きな貢献をはたした。

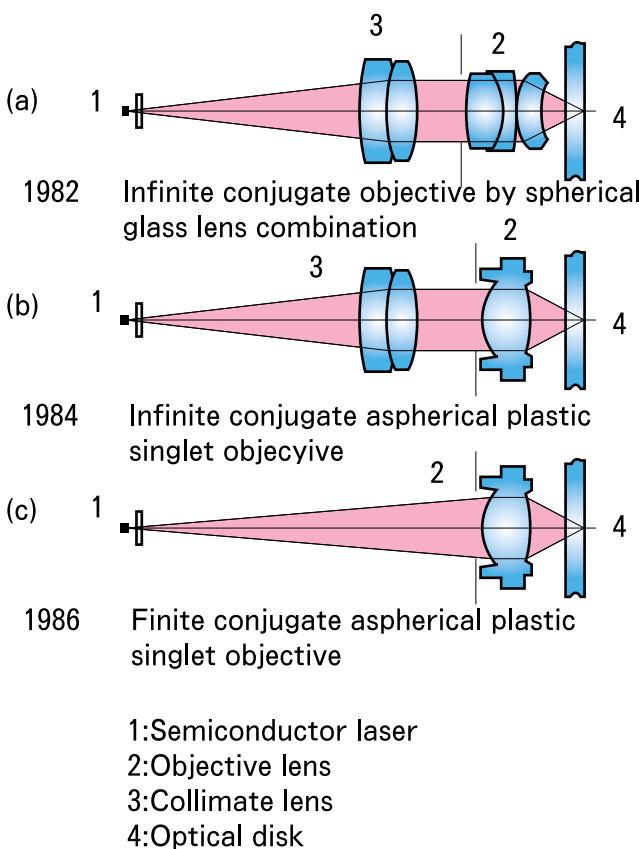
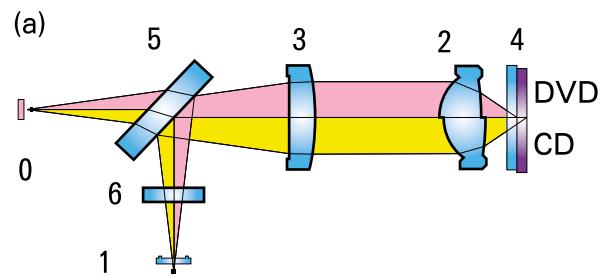
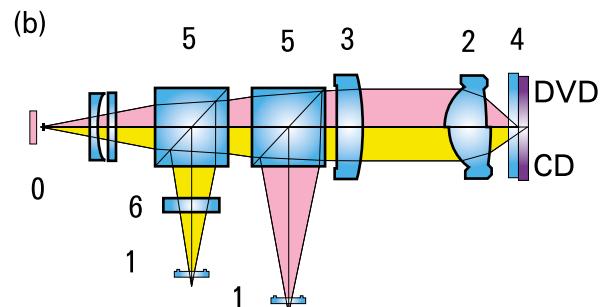


Fig. 4 Development of objective lens for CD Pick-Up



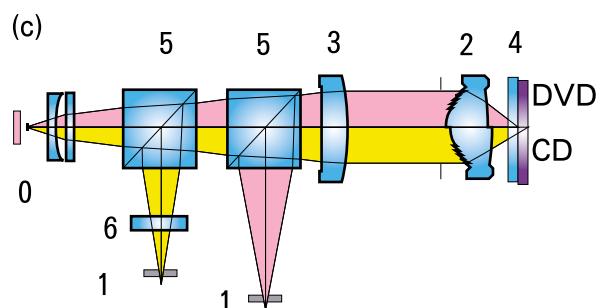
1997 DVD-CD Compatible Drive

Infinite conjugate special aspherical plastic singlet objective for 1 wave length DVD-CD use



1997 DVD-CD-CD/R Compatible Drive

Infinite conjugate special aspherical plastic singlet objective for 2 wave length DVD-CD-R use



2000 DVD-CD-CD/R Compatible Drive

Infinite conjugate diffractive aspherical plastic singlet objective for 2 wave length DVD-CD-R use

0: Photo-detector

1: Semiconductor laser

2: Objective lens

3: Collimate lens

4: Optical disk

5: Semi-transparent beam splitter

6: Diffraction grating

Fig. 5 Development of objective lens for DVD Pick-Up

2.3 光ディスクレンズの仕様・性能の変遷

光ディスクシステムの発展の経緯は(1)再生型から記録・再生型へ(2)記録密度の向上と述べてきたが、これに対応する光ディスクレンズの動きとして、レンズについて言えば再生も記録再生も殆んど変わらない（厳密に言えば記録・再生用のレンズの方が様々な制約要件が多い）ため、記録密度の向上に対応するレンズの開発が重要であった。その他レンズ性能の向上や小型、軽量化については永遠の課題として開発が続けられている。

2.3.1 記録密度向上への対応

レンズとして記録密度の向上を図るために、レンズをより明るくすること即ちNA（開口比）をより大きくすること、そして使用する光の波長をより短波長側へ移すことしかあり得ない。

1982年のCD開発当初のNAとしては、CD用にNA0.45のレンズが用いられ、1995年にCD-Rが開発されてようやくNA0.50のレンズが開発された。そして1996年のDVD開発時点ではNA0.60のレンズが要求されて対応した。DVR-Blueは次世代光ディスクシステムとして期待されており、このシステムはNA0.85のレンズの利用を前提としている。NA0.85のレンズは非球面ガラスレンズ、非球面プラスチックレンズ共に本年（2001年）に試作は完了している。

また使用波長としては、1982年に開発されたCDで780nmの波長が用いられ、現在もこの波長が使用されている。DVD用には650nmの波長が必要となり、DVD-CD互換のピックアップでは650nmの波長でCDも再生している。ただし、CD-R用にはディスクの感光特性上780nmの波長が必須となる。DVR-Blue用には22.5GBの記録密度を実現させるために405nmの波長、いわゆる青紫半導体レーザーが必須となる。

2.3.2 光ピックアップのコンパクト・軽量化への対応

コスト低減のためだけでなく光ピックアップのコンパクト化のためには光ピックアップの構成素子数の削減が重要である。レンズの立場から1986年にCD用ピックアップの対物レンズとコリメートレンズを一体化し、たった一個の非球面プラスチック単レンズ構成を実現した。

またレンズの直径はCD用の非球面プラスチック単レンズ化を達成した1984年時点で $7.4\phi\text{ mm}$ であったものが、2001年のデーターブレイ用には $1.3\phi\text{ mm}$ にまで減少してきている。同じく重量は、ガラス対物レンズで1.4gあったものが最初の非球面プラスチック単レンズでは0.14gとなり、今日1mgを割り込むところまでできている。なお、以上に述べた大きさと重量の劇的な減少度をFig.6に示す。またTable1には光ディスクレンズに関わる主要な仕様の変遷をまとめて示す。

2.3.3 光ディスクレンズに要求される性能

光ディスクレンズに要求される性能は、元来マレシャルのクライテリオンとされる回折限界性能であり、これ

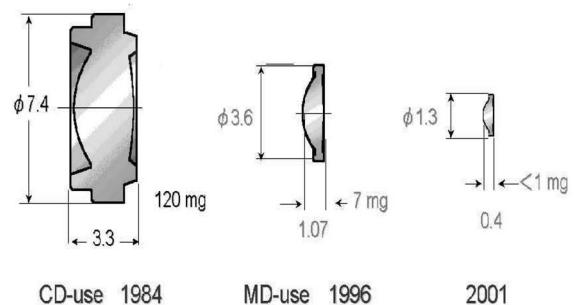


Fig. 6 Drastic change of diameter • thickness • weight for optical disk lens

Table 1 Progress of performance and improvement of related parameter

	1982	1984	1986	1997	2001
Memory Capacity (Disk)	640MB CD			4.7GB DVD	22.5GB DVR-Blue
Construction of Pick-up	CD infinite conjugate	CD infinite conjugate	CD finite conjugate	DVD infinite conjugate	DVR-Blue infinite conjugate
Construction of Lens	G3+G2	P1+G2	P1	P1+P1	?
Disk Thickness	1.2mm	1.2mm	1.2mm	0.6mm	0.1mm
NA (Objective Lens)	CD 0.45			CD-R/RW 0.5 DVD 0.6	COMBO 0.65 DVR-Blue 0.85
λ (Wavelength)	780nm	780nm		650nm	405nm
Diameter of point Image $d=0.82\lambda/NA$	$1.5\mu\text{m}$			$0.8\mu\text{m}$	$0.4\mu\text{m}$
Weight	G:1.4g	P:0.14g		MIN<3mg	MIN<1.0mg
Diameter of Lens		$\phi 7.4\text{mm}$		$\phi 3.0\text{mm}$	$\phi 1.3\text{mm}$

G: Glass Lens P: Plastic Lens

は2乗平均波面収差が 0.07λ （ λ は使用波長）とするこことであった。しかし実際にはこれ以上の性能が要求され、現実には 0.03λ 前後が必要となる。更に収差を球面収差、コマ収差、非点収差に分解して夫々の収差に対する限界値が規定される。レンズ設計的には光軸上で球面収差のみしか発生しないが、現実には偏心などのためにコマ収差や非点収差が発生する。更にレーザー自身が持つ非点収差のためにこの非点収差と相殺する非点収差をレンズ側に残留させることも要求される。信号読み取りのために光軸上即ち像高0の収差を考慮すればよいはずであるが、これもピックアップ構成やトラッキング特性確保のためにある像高、例えば0.1mm位までの性能が良好なことが必要とされる。更にフォーカシング特性を良好にするためにレンズのデフォーカス性能にも様々な要求を受ける。また記録型ディスクでは光量が重要であり、光量損失を極力避けねばならない。

2.4 光ディスクレンズへの

非球面プラスチックレンズの適用

レンズ系の光軸上の焦点位置での球面収差は、単レン

ズの1面のみを非球面化することで除去される。しかしある像高に対しても収差を除こうとすると単レンズの両面を非球面化する必要がある。従って像高0.1mm程度迄の収差を除去し、マレシャルのクライテリオン 0.07λ 以下を満たすには、両面非球面単レンズが必要となる。非球面プラスチック単レンズは、最初はCD用のNA0.45からスタートし、記録型DVD用でNA0.65を実現している。

更にDVR-BlueでNA0.85の明るさにもかかわらず非球面プラスチックレンズの適用が期待される。光ディスク用レンズとしての非球面プラスチックレンズの導入は正に画期的なことであり、現在も将来的にも光ディスクレンズの主流として非球面プラスチックレンズが利用され続けると思われる。そういう意味で1984年の無限遠共役の非球面プラスチック単レンズによる3枚構成のガラス球面組合せレンズとの置換及び1986年の有限共役の非球面プラスチック単レンズによる光ピックアップ全系との置換は、正に歴史的な転換点ともいえる(プラスチックレンズで回折限界レンズを実現すること自体不可能と考えられていた)。

もう一つ極めて重要な意味を持つのはDVD-CD-CD/R互換光学系を実現させた特殊対物非球面プラスチックレンズと回折対物非球面プラスチックレンズである。

3 DVD-CD-CD/R互換の特殊対物非球面プラスチックレンズと回折対物非球面プラスチックレンズ

3.1 DVD-CD-CD/R互換レンズ開発の背景

1995年にDVDシステムが提案された時、既にCDは10年以上の歴史によって大きな地歩を築いており、DVDシステムでCDを読み取れること、あるいは後にCD-Rも読み取れることが当然の要求であった。そこでDVD-CD互換の光学系が重要な意味を持ってきた。

DVDの高記録密度を達成させるためには、より大きなNAのレンズを利用し、使用波長を短波長に移す必要があった。光学系の立場から見た時、CDとDVDの読み取りで問題となるのは以下の3点である。

- (1)ディスク厚の違い…CDが1.2mm、DVDは0.6mmであるが、これはDVDでティルト誤差の影響を少なくするためにDVDの厚みを薄くしたものである。
- (2)波長の違い…CD-Rが780nm、DVDが650nm(CDは780nmでも650nmでも読み取りが可能)である。
- (3)NAの違い…CD-RがNA0.45、DVDがNA0.60、CDは780nmに対しNA0.45、650nmに対しNA0.37である。

なお、レンズの評価項目としては光ピックアップとのジッター値、フォーカス特性、トラッキング特性などがあげられる。レンズの球面収差などの収差がジッター値に影響を与える。

3.2 DVD-CD-CD/R互換特殊対物非球面プラスチックレンズ^{24,27,29)}

DVDシステム専用のレンズをCDシステムに用いると、CDの基板厚が厚いために球面収差がオーバーとなってしまう。CDシステムでNAの大きいところはフレアとなって影響は殆んど無いが、中間輪帯では影響が大きいため中間輪帯に段差を設けて球面収差をアンダーとする。この中間輪帯の球面収差アンダーの影響は、DVDシステムでは無視することができ、CDシステムでは適切な球面収差の値となる。DVD用に650nm、CD用に780nmの2波長を利用する時の輪帯幅のNAは0.46~0.39程度であり、650nmで1波長利用時の輪帯幅のNAは0.41~0.37程度である。1波長のDVD-CD互換システムではこの特殊対物レンズの利用が必須となる。

DVD-CD-CD/R互換特殊対物非球面プラスチックレンズの概念的な図をFig.7に示し、このレンズのDVD及びCDに対する球面収差の補正状況をFig.8に示す。

なお、1波長を対象としたDVD-CD互換の特殊対物非球面レンズの光学系の構成はFig.5の(a)に示す通りであり、DVD-CD-CD/R互換の構成はFig.5の(b)に示す。

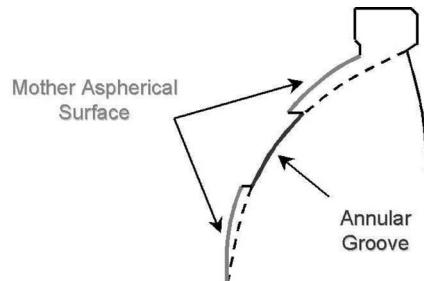


Fig.7 Conceptual figure of special aspherical plastic objective

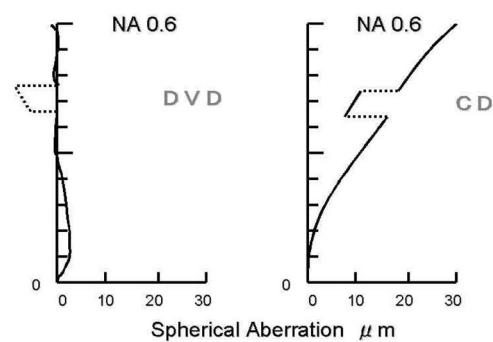


Fig.8 Spherical aberration of special aspherical plastic singlet objective

3.3 DVD-CD-CD/R 互換回折対物非球面プラスチックレンズ^{28,30)}

前述のように、屈折力のみを利用するレンズは基板厚を大きくすると球面収差がオーバーとなる。一方、回折素子は球面収差の波長依存性が大きく、波長が長くなるほど球面収差がアンダーとなる。DVD で 650nm, CD 及び CD-R で 780nm を用いると CD 及び CD-R の方がアンダーになる程度が大きい。従って、この波長差を利用して屈折系と回折系の球面収差の合計値を良好な値とすることができる。この状況を模式的に考察したのが Fig.9 である。更に CD で NA の大きい領域はフレアとすることも必要である。実際には非球面プラスチックレンズの 1 面を回折面とするものであり、更に回折面はブレーズド回折面とする。

なお、回折レンズ利用の際は加工面から回折のピッチ幅や輪帯数に制限が生じる。評価項目としては輪帯数、回折効率なども検討しなければならない。回折レンズ系は光量ロスを少なくすることができるため、今後 NA が大きいレンズになるほど、すなわち記録型になるほど重要となろう。回折レンズはまだ発展途上のレンズであり、その設計自由度は極めて大きく、また新しいレンズが開発される可能性は大きい。

なお、2 波長を対象とした DVD-CD-CD/R 互換の回折対物非球面プラスチックレンズの光学系の構成図は Fig.5(c) に示す通りである。

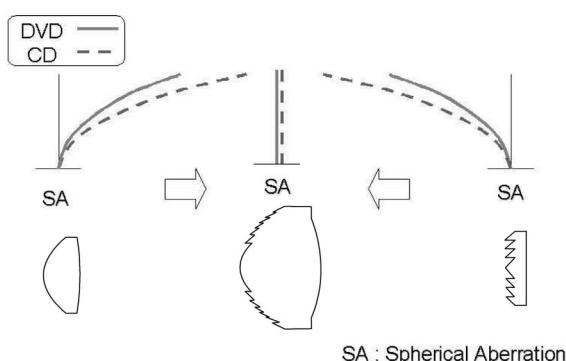


Fig.9 Conceptual figure for compensation of spherical aberration by using a refractive surface and a diffractive surface

4 非球面プラスチックレンズの開発要素技術の発展

非球面プラスチックレンズを作りあげるまでのプロセスを Fig.10 に示す。20 年間に渡る各開発要素技術の発展は著しい。

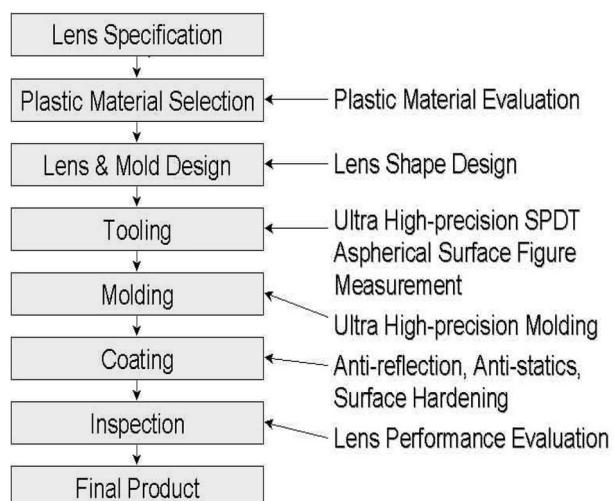


Fig.10 Development process of the aspherical plastic lens

素材については高耐熱性、低吸湿性、低複屈折性が特に重要であり、熱変形温度 100°C 以上、吸湿率 0.1% 以下、複屈折性が PMMA (ポリメチルメタクリレート) 並み、またはそれ以下が望まれる。非アクリル系のポリオレフィン系樹脂がほぼ上記の仕様を満たし、屈折率の値が低いことを除けばガラス材料にはほぼ匹敵する。

レンズ設計については、非球面プラスチックレンズから始まって特殊対物レンズ、回折対物レンズなど単レンズでありながら多くの設計パラメーターをコントロールしなければならないレンズが多くなってきた。新しい仕様のレンズ設計の課題は温度特性・誤差特性を含めてまだ数多くある。

金型加工については、超精密切削加工の精度が上がり、非球面形状の加工誤差精度が $0.05 \mu\text{m}$ 程度まで可能となった。さらに NA の値が 0.45 から 0.85 へと大きくなり、加工難度が一層上がってきた。また、特殊対物レンズや回折レンズのように表面が複雑な形状の金型加工が増加してきている。今後はピッチの小さな回折レンズの金型が必要となろう。

レンズ成形については、超精密成形の精度が上がり、特殊対物レンズや回折対物レンズのような表面形状の複雑なレンズについても正確な転写が必要となり、その対応も可能となってきた。今後は極小径レンズの成形が課題となろう。

レンズコーティングについては反射防止、帶電防止、表面硬化などが目的であるが、アクリル系に代わって非アクリル系が中心となってきた。

レンズ検査については、より高精度な干渉計の開発により、形状精度は $0.05 \mu\text{m}$ 以下、波面収差 0.01λ 以下

の測定精度が必要となってきた。

5 産業面から見た光ディスク用非球面プラスチックレンズ³¹⁾

20世紀末の約20年間における光ディスクの発展は、新しい産業分野を構築し文化の向上に貢献した。この中で、光ディスク用非球面プラスチックレンズの果した役割は大きい。それは音楽、映像、情報分野でCDやDVDの低価格化による大普及への貢献のみならず、非球面レンズ応用商品の拡大及び高精度な非球面レンズの開発の背景で化学、機械、光学要素技術の技術水準の一層の向上に大いに貢献した。この状況をFig.11にまとめる。

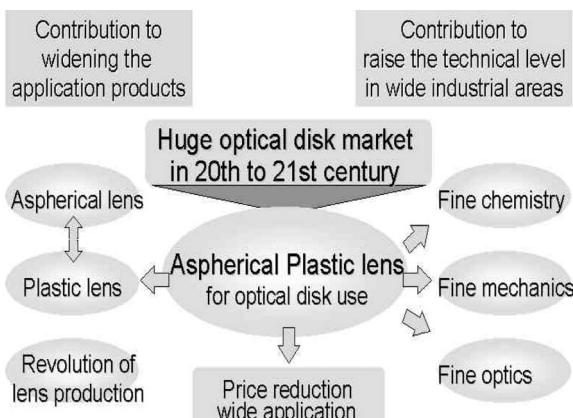


Fig.11 The influences of aspherical plastic lenses for optical disk use on our society

さて、高精度な要素技術の積み重ねによってできた光ディスクシステムが新市場を構築してきたが、その生産拠点は急速に海外（特に中国）へ移りつつある。普及拡大のためには低価格である必要も理解できるが、非常に激しい競合の中で新しい生産技術が急ピッチで海外へ移動し、日本国内では生産拠点の空洞化という問題を引き起こすと同時に中国等のローカル企業の台頭により、日本企業は次第に競争力を失って行く危険性をもはらんでいる。日本企業はより難度の高い光ディスク技術に移行しない限り生き残れなくなってきており、光ディスク用レンズの運命にも重要な影響が及ぶ可能性がある。産業的に一考察が必要ではないだろうか。国家としての産業戦略を構築し、少なくとも数年は先端技術を国内に留めるべき時期にきていると思う。

なお、光ディスク用非球面プラスチックレンズの事業²⁶⁾としての特徴は、既存コンポーネント置換のコン

ポーネント事業ということ、成長性の高い分野であるが市場変動が大きく絶えず価格低減に向けて強い要求を受けることなどである。事業成功の要因は、常に技術における強みを持ち続け、技術の一歩リードをはかること、生産変動に対する柔軟な生産体制の構築、そして品質、数量、納期、価格の絶えざる必達であろう。それにもしても光ディスクレンズの社会への貢献と対比する時、価格低減の要求がありにも強い。

6 光ディスク用レンズの将来

光ディスクはその誕生以来、記憶容量の増大、記録密度の増加の歴史であった。そして今後も同様の傾向が続くものと考えられる。このために光学系としては開口数NAのより大きなレンズと波長λのより短い光を用いることが必要となる。それはスポット径が $\lambda/2NA$ に比例しているからである。CD用としてNA=0.45からスタートしたレンズは、DVD用としてNA=0.6のレンズとなったが、今後はDVR-Blue用としてNA=0.85のレンズが予定されている。更に高記録密度化をはかるためには、近接場記録（NFR）技術によってNAが1.5あるいは更に大きなNAのレンズを使用してゆくことになる。

一方、波長については $\lambda=780nm$ からスタートして今日ではDVD用に $\lambda=650nm$ が用いられており、DVR-Blue用として $\lambda=405nm$ が予定されている。 $\lambda=405nm$ でNA0.85のレンズを使用するとDVDのディスクサイズで22.5GBの記録が可能となる。今後の記録方式の研究により、例えばNFR技術、超解像記録技術や重層記録技術などの開拓さらにはホログラフィックメモリーの利用によって、将来的には100GBから1000GB（1テラバイト）程度の記録容量に達することも可能と思われる。

7 おわりに

約20年に渡る光ディスクの歴史の中で、光ディスク用レンズは重要な役割を演じまたその責任をはたしてきたが、20年分の発展を大幅に圧縮したために重要な項目の一部を簡単にしか触れることができなかった。詳細は参考文献等を参照していただきたい。

今日大きな発展途上にあるDVD-CD-CD/R互換光学系の開発成功については、不思議な幸運を感じる。それは互換特殊対物レンズの場合、CDとDVDのディスク厚の差と球面収差の変化を巧みに活用したことであり、もしこの厚みの差がより大きかった場合、上手く補正できたであろうか。また互換回折レンズの場合は、CDとDVDのディスク厚の差による球面収差の変化を780nmと650nmという2つの波長差による球面収差の変化で上手く相殺させたことであり、もしディスク厚の差や波長差がより大きかった場合、球面収差を上手く補正できたであろうか。

光ディスクに対してはハードディスク（フラッシュメモリー等を含む）が永遠のライバルであり、ハードディスクに匹敵する開発速度で高密度記録化が達成できるかどうかが今後の光ディスクの発展の鍵となろう。その意味で、光ディスク用レンズの将来は益々重要となってくる。更にインターネット配信による情報伝達手段も、それがより高速・大容量化してゆく時、光ディスクにとって大きな脅威となってくる。

最後に、本論分をまとめにあたり、当カンパニーのOCビジネスユニットリーダーの松丸隆氏には非常に多くの助言をいただき、またOCビジネスユニット開発グループ及び光学開発センターの関係者の皆様より多くの情報をいただいたことに対し、厚く感謝の意を表したい。

●参考文献

- 1) T. Kiriki, N. Izumiya, K. Sakurai and T. Kojima, CLEO'84 conf. Digest WB3,80(1984)
- 2) 小嶋忠：光学技術コンタクト 23 [7] P465(1985)
- 3) 小嶋忠：応用物理 57 [5] P762(1988)
- 4) 小嶋忠：Konica Tech. Rep.,1,85(1988)
- 5) 小嶋忠：Konica Tech. Rep.,4,4 (1991)
- 6) 小嶋忠：O plus E No.155 P93(1992)
- 7) T. Kojima: SPIE Proceeding Reprint 1720 P293(1992)
- 8) 山根一眞：“「メタルカラー」の時代” P439, 小学館 1993
- 9) 小嶋忠、沖野芳弘著：“ナノメーターを制御する” 高分子学会編集 共立出版 1994
- 10) Y. Komma, et al."Dual Focus Optical Head for 0.6mm and 1.2mm Disks", Optical Review,1.27,1994(Hologram Lens)
- 11) 小嶋忠：光技術コンタクト 33 [7] P365 (1995)
- 12) 小嶋忠：化学と工業 48 [10] P1239 (1995)
- 13) 篠田昌久他：“ツインレンズ方式 DVD 用光ピックアップ”, 光技術コンタクト, Vol.33, P619-625,1995(Two Objectives)
- 14) 小嶋忠：第6回光メモリーエグゼクティブ、フォーラム予稿集, Fujiwara-Rothchild Ltd. Oct 28-29 (1996)
- 15) 小嶋忠：高分子 45 [1] P42 (1996)
- 16) 三浦章他：“別体ホログラム素子を用いた2焦点ピックアップ”, テレビ学技報, Vol.20, No.58, CE96-21, P63-68, Nov.1996 (Additional Hologram)
- 17) 土屋洋一他：“液晶シャッター方式光ピックアップのインパクト”, エレクトロニクス, P6-9,Jun.1996(LC Shutter)
- 18) T. Kojima: Technical Digest, plenary A2, MOC/GRIN '97 Tokyo, Japan Oct 7-9,1997
- 19) 小嶋忠：大容量光ディスクシステム P73, JOEM, 社団法人日本オプトメカトロニクス協会 Feb 27 (1997)
- 20) 八木克哉：“DVD・CD 互換光学系の開発”, Konica Tech. Rep., Vol.10, P87-90,1997(Zoom Optical System)
- 21) 笠澄研一他：“LD-PD ユニットを用いたDVD用2波長光ヘッド” 第44回応用物理学理学関係連合講演会予稿集 30p-NF-2,1997(Dichroic Filter)
- 22) Chul-Woo Lee, Et al., Jpn. J. Appl. Phys. Vol.36, P486-490,1997 (Annular Masked Objective)
- 23) J.H.Yoo, C.W.Lee, K.H.Cho, H.S.Chi, J.W.Lee, "An Optical Head with Special Annular Lens for LDP Compatible DVD Pick up", Joint MORIS/ISOM'97 Technical Digest Th-Q-04, 200,1997(2 Wave Length Special Objective by Sam-Sung)
- 24) 荒井則一：“DVD レンズ”, 光技術コンタクト Vol36, P261-268,(1998)
- 25) N. Arai : “Recent Advance of Aspherical Plastic Lenses for Optical Disk System”, Proc.ODF'98 Tokyo(1998)
- 26) 小嶋忠：“コンポーネント事業と光ディスク用非球面プラスチックレンズ”, Konica Tech. Rep., Vol.11, P4-12(1998)
- 27) 荒井則一、松丸隆：“DVD と CD それぞれに最適な NA を持つ対物レンズ” O plus E (1998) 3月号 P319-322
- 28) K. Maruyama, J. Kamikubo:"Diffractive-refractive achromats For semiconductor laser" ODF98 Tokyo, June 16, TuA 3 (1998)
- 29) 斎藤真一郎、山崎敬之 “DVD/CD 互換レンズの最近の進展”, OPTICS DESIGN No.21, P44-49(2000)
- 30) 丸山晃一：“CD, DVD 互換回折ハイブリッドレンズ” OPTICS DESIG No.20, P38-43(2000)
- 31) 小嶋忠：“光メモリー用レンズの発展と将来” –技術と産業面より–,微小光学研究会第 80 回記念講演 P29-34, 2001.5.18
- 32) 小嶋忠：“光ディスクレンズの発展” 第 26 回光学シンポジウム講演 P 1-4, 2001.6.21
- 33) 小池克宏：対物レンズ及び光ピックアップ装置 特開平 11-287948
- 34) 大井好晴他：対物レンズ 特開 2001-51192
- 35) 小倉磐夫：国産カメラ開発物語 P226-P237, 朝日選書 朝日新聞社 2001