

# BD/DVD/CD互換プラスチック対物レンズの開発

Development of a BD/DVD/CD-Compatible Plastic Objective Lens

中村 健太郎\*      木村 徹\*      大 利 祐一郎\*  
Kentarō NAKAMURA      Tohru KIMURA      Yuichiro ORI

## 要旨

現在のBD/DVD/CD互換光ピックアップ装置では、BD専用対物レンズとDVD/CD互換対物レンズを搭載した2レンズ方式が主流であるが、更なる小型化やコストダウンの要求は強く、BD/DVD/CDを1枚のレンズで互換可能な対物レンズに対する期待が高まっている。このニーズに応えるべく、我々は単玉のプラスチックで構成した3波長互換対物レンズを開発した。

3波長互換対物レンズとしては、量産実績のあるプラスチックの回折光学素子(DOE)とガラスモールド(GM)の単レンズの組み合わせによるものがあるが、今回それを一枚構成とするため、これまでの開発・量産で得た知見を活かしながら複数の設計タイプを比較検討した。

本稿では、それら3波長互換対物レンズの互換原理や設計特性について報告する。

## Abstract

In current BD/DVD/CD-compatible optical pickup devices, the mainstream is a two-lens system incorporating an objective lens specifically for BD and a DVD/CD-compatible objective lens. However, the demand for further downsizing and lower cost has been increasing, and a BD/DVD/CD-compatible optical pickup device consisting of a single objective lens has been awaited with great expectation. To meet this demand, an objective lens compatible with three wavelengths but constituted with a single plastic lens was developed.

This three-wavelength-compatible objective lens has an objective lens assembly which is a combination of a plastic diffractive optical element (DOE) and a glass molded (GM) single lens, both of which have been mass-produced. But to make an assembly with a single lens, a plurality of designed types were fabricated and evaluated by comparing each to the other. This comparison was facilitated by the knowledge and experience we had obtained from our previous development and mass production.

Reported here are the principle and the design characteristics of this three-wavelength-compatible objective lens.

\* コニカミノルタオプト(株)  
光学事業本部 オプティカルコンポーネント事業部 開発部

## 1 はじめに

### 1.1 市場予測

近年、地上波デジタル放送などに代表されるハイビジョンエンターテインメントの普及に伴い、より記録密度の高いBlu-ray Disc (BD) に対応するプレーヤーやレコーダーなどが普及している。昨今では、これらの再生/記録装置に搭載される光ピックアップ装置には更なる小型化、コストダウンの要求が高まってきている。

BD再生系の光ピックアップ装置に搭載されるレンズとしては、現状BD専用のガラスレンズとプラスチックレンズが主流であるが、我々の予測としては、2010年頃から3波長互換対物レンズが導入され始め、2012年以降はBD再生系市場のおよそ6～7割程度を占めるようになるかと予測している。

### 1.2 光ディスクと光ピックアップ装置

光ディスクには青紫色半導体レーザーを用いたBDと、DVD (Digital Versatile Disc), CD (Compact Disc) の3種類がある。Table 1に各ディスクの規格を示す。

普及期に入ってきたBDに対応する製品には、CDの次に登場したDVDがCDとの互換を求められたように、DVD/CDとの互換が強く求められている。その要求に対応した光ピックアップ光学系の方式として現在主流な

Table 1 Optical disc specifications

Optical disc	BD	DVD	CD
Wavelength	405nm	660nm	785nm
Numerical aperture	0.85	0.60~0.65	0.45~0.53
Cover glass thickness	0.1mm	0.6mm	1.2mm
Memory capacity of single layer	25GB	4.7GB	0.7GB

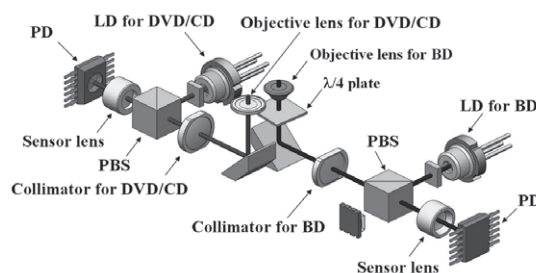


Fig.1 Two-lens optical pickup system

のは、Fig.1 に示した1つの装置内に2つの対物レンズを有する2レンズ方式と呼ばれるものである。

この方式では、BD専用対物レンズとDVD/CD互換対物レンズが1つのアクチュエーターに搭載され、レーザーやセンサー周りの部品はBD系とDVD/CD系で別々に構成されている。この場合、各光学部品はBDまたはDVD/CDに特化できるためピックアップとしての性能が出し易いというメリットはあるものの、部品点数は非常に多くなる。

一方、1レンズ方式と呼ばれる光ピックアップ光学系は、Fig.2 に示すように2レンズ方式に比べて部品点数がおおよそ半分になり、非常にシンプルな光学系とすることができる。1レンズ方式になると、全ての光学部品が3波長対応となるため、光ピックアップを構成する光学部品の中にはコストアップするものもあるが、トータルで考えると2レンズ方式よりコストが抑えられ、且つ光ピックアップ装置の小型化も実現し易い。そのため、特にコストダウン要求が厳しい再生系の光ピックアップでは、プラスチック1枚によるBD/DVD/CD互換対物レンズを用いて究極の姿を目指す動きが強い。

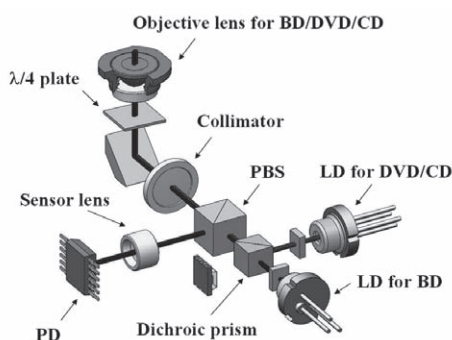


Fig.2 Single-lens optical pickup system

## 2 光学設計

### 2.1 BD専用対物レンズ

BDの最大の特徴は、レンズの明るさを示す開口数 (Numerical Aperture, NA) を大きくし、光源波長を短くしたことである。これにより光ディスク上に集光するスポットサイズを大幅に縮小することができ、単位面積当たりの記録容量を増加させている。対物レンズとしてはNAが大きくなることにより、レンズの厚みが増し、特にS1面は傾斜の急な非球面形状となり、製造する上で重要なS1面とS2面の偏芯やチルト感度が極端に大き



Fig.3 Optical surface shape comparison among objective lenses of differing NA

くなった。Fig.3 にCD用、DVD用、BD用の代表的なレンズ形状を示す。BD専用対物レンズは今でこそガラス、プラスチックいずれも大量生産が可能となっているが、この量産化には生産技術の革新が必要であった。

### 2.2 プラスチック対物レンズに求められる性能

ピックアップ対物レンズに求められる基本的な性能としては、対物レンズに光束が斜入射した時の特性を示す画角特性、レンズが光軸に対してチルトした時の特性を示すレンズチルト特性、光軸に対してシフトした時のトラッキング特性が挙げられる。

ガラスレンズでは考慮しないプラスチック特有の特性としては、温度変動時の屈折率変化により発生する球面収差、いわゆる温度特性がある。BD系の光ピックアップ装置における一般的な球面収差補正手段としては、コリメーターを光軸方向に移動させて、対物レンズに入射する光を発散、あるいは収束させることにより、対物レンズの倍率変化を利用する手法が取られている。そのため温度特性が大きいと、温度変化時の球面収差補正量が大きくなってしまい、コリメーターの駆動量が大きくなる。つまりコリメーターの可動範囲を長くとる必要があり、ピックアップ装置としての小型化に不利となるため、温度特性はできる限り小さく抑えるのが望ましい。

### 2.3 3波長互換対物レンズの必要条件

3波長互換対物レンズに求められる最も基本的な性能はTable 1 に示した3種類のディスク規格において球面収差が十分に抑えられていることである。一般的な球面収差の補正手段としては、2.2で触れた倍率変化も含め以下の3つが挙げられる。

1. 非球面 (屈折)
2. 有限光入射 (倍率変化)
3. 位相構造 (回折)

更に位相構造にはFig.4 に示すように鋸歯形状の「ブレイズ型」、階段形状の「マルチレベル型」の2種類のタイプがある。

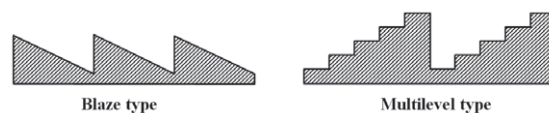


Fig.4 Blaze and multilevel diffraction structures

3種類のディスク規格に対して球面収差を補正するには、連立方程式を解くのと同じで、3つの手段が必要である。つまり上記3つの球面収差補正手段から3つを選択し、それらを組み合わせて設計すればよい。

例えば1つの設計解として「非球面+マルチレベル+マルチレベル」という組み合わせが考えられる。この設計を具現化した例としては、我々が過去に量産した3波長互換対物レンズ<sup>1)</sup>がある。これはBDに最適化された

ガラスモールドの単レンズとプラスチック製の回折光学素子を鏡枠で一体化したものであり、その構成例をFig.5に示す。プラスチックからなる回折光学素子は波長を選択的に回折させる波長選択性を有しており、BDの波長では回折せずに平板として機能し、DVD/CDではBD専用対物レンズで発生する球面収差をキャンセルする逆極性の球面収差を発生する位相構造をそれぞれS1、S2面に設けている。このような構成により、BD、DVD、CDの3つの光ディスク上に最適なスポットを形成する3波長互換対物レンズが実現されている。

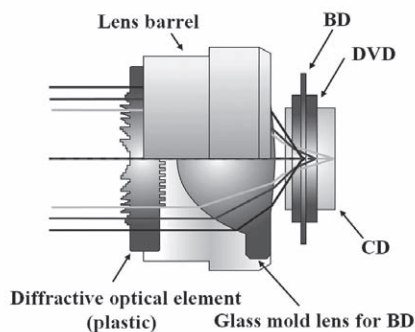


Fig.5 BD/DVD/CD compatible lens

互換レンズにおいては光ディスク規格によりNAが異なるため、ディスク上に集光されるスポットが用途ごとに所望のNAとなるように開口制限を行う必要がある。開口制限とはレーザー光がレンズに入射した際、ある光軸高さまでの領域に入射した光はディスク上に結像し、それ以外の領域に入射した光は結像しないようにすることである。そのためには光学面を3領域に分割し、それぞれ異なる位相構造を用いて設計する必要がある。3波長互換対物レンズの場合はFig.6に示すように内側から外側に向かって3波長互換領域、2波長互換領域、1波長専用領域という構成<sup>2)</sup>にする必要がある。

このように、互換レンズにおいては位相構造による回折現象を利用することが必須となるが、この際問題となるのは回折効率である。使用波長毎の絶対的な回折効率の数値は勿論のこと、更に重要となるのは使用波長が設計波長からシフトした時、及び環境温度が設計温度からシフトした時の変動率である。この変動率が大きいと、ピックアップ装置の環境温度が変動した際にセンサーに

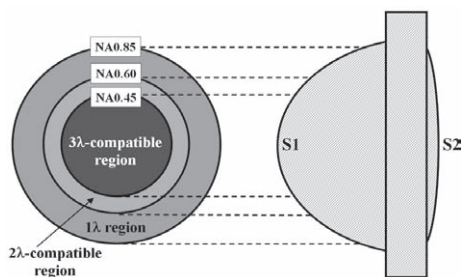


Fig.6 Surface 1 structure of a BD/DVD/CD-compatible objective lens

戻って来る光の強度が変動してしまい、信号処理に不具合を生じる。この変動率を決定するパラメーターは位相構造の段差の深さであり、段差が深いほど回折効率の変動が大きくなるため、いかに段差の浅い位相構造で互換を達成するかが互換レンズ設計におけるキーポイントとなる。

### 3 BD/DVD/CD互換レンズの開発

ここまでの設計ポイントを踏まえ、我々が過去量産していた機種から、試行錯誤を重ねながら辿り着いた最新の設計タイプに至るまでの経緯を報告する。

#### 3.1 設計Type0

まずは代表的な3波長互換対物レンズの例として、先に述べたGM単レンズとプラスチックの波長選択回折素子による組合せレンズ (Type0) のスペックをTable 2に示す。

Table 2 Type 0 specifications

Optical disc	BD	DVD	CD
Wavelength	405nm	658nm	785nm
Numerical aperture	0.85	0.65	0.51
Focal length	2.20mm	2.28mm	2.45mm
Magnification	0	0	0
Diffractive efficiency (theoretical value)	100%	88%	40%

このレンズの互換方式は先に述べた通り「非球面+マルチレベル+マルチレベル」である。その回折効率はBD：100%、DVD：88%、CD：40%という値に設定してあり、BD、DVDの効率に重きを置いた設計となっている。GMレンズを用いているため温度変動による屈折率変化は小さく、温度特性も十分小さい。課題としては部品点数が3点で、1点がガラスレンズであるため重量が重くアクチュエーターに負荷がかかることである。またレンズ2枚の組合せであるため調芯・組立てという工程が必要であり、1枚の対物レンズに比べてコスト的に不利と言える。

#### 3.2 設計Type1

Type1の互換方式は「非球面+位相構造1+位相構造2」である。その回折効率はBD：99%、DVD：92%、CD：40%という値に設定してあり、Type0と同様BD、DVDの回折効率に重きを置いた設計となっている。Type1では上記3つの球面収差補正手段に加えて、もう1つ別の位相構造を使用して温度特性を補正している。スペックはTable 3に示す通りであり、温度特性は同スペックのBD専用プラスチックノーマル対物レンズの温度特性 (0.160 λ rms) と比較して約1/3 (0.056 λ rms) に抑えた設計となっている。

Table 3 Type 1 specifications

Optical disc	BD	DVD	CD
Wavelength	405nm	660nm	785nm
Numerical aperture	0.85	0.60	0.45
Focal length	2.20mm	2.28mm	2.53mm
Magnification	0	0	0
Diffractive efficiency (theoretical value)	99%	92%	40%
Temperature performance (+30deg.,dλ,dT=0.05nm/deg.)	0.056λrms	—	—

Type1は、段差の深い位相構造を用いて温度特性の補正を重視したため、回折効率の温度変動が大きすぎるという課題が残った。

### 3.3 設計Type2

Type2の互換方式は「非球面+位相構造+有限光入射」である。スペックはTable 4に示す通りで、回折効率はBD:92%, DVD:61%, CD:57%であり、Type1に比べてDVD, CDの回折効率をバランスさせた設計となっている。Type2ではDVD, CDにおいて有限光入射を用いているが、ほぼ無限光入射と同等と考えて問題ないレベルの有限度であるため、レンズシフト時に発生する収差としては十分小さい。

Type2は、温度特性を補正せず回折効率の温度変動を抑えることを目指した。結果として、BD/CDでは改善が見られたが、DVDでは十分なレベルまで温度変動を抑えることができないという課題が残った。

Table 4 Type 2 specifications

Optical disc	BD	DVD	CD
Wavelength	405nm	660nm	785nm
Numerical aperture	0.85	0.60	0.45
Focal length	2.20mm	2.36mm	2.46mm
Magnification	0	-1/60	-1/100
Diffractive efficiency (theoretical value)	92%	59%	57%
Temperature performance (+30deg.,dλ,dT=0.05nm/deg.)	0.160λrms	—	—
Wave front aberration at lens shift 0.3mm	—	0.010λrms	0.009λrms

### 3.4 設計Type3

上に述べた課題を両立する設計解として様々な組み合わせを検討した結果がType3である。Type3の互換方式は「非球面+位相構造1+位相構造2」であるが、先のType1とは種類の異なる位相構造の組合せとなっている。スペックはTable 5に示す通りで、回折効率はBD:87%, DVD:75%, CD:61%という3波長で回折効率をバランスさせた設計となっている。温度特性はBD専用レンズの略2/3程度(0.106λrms)に抑えられている。また、段差の浅い位相構造を用いることにより回折効率の温度変動は3波長ともに非常に小さく抑えることができた。

Table 5 Type 3 specifications

Optical disc	BD	DVD	CD
Wavelength	405nm	660nm	785nm
Numerical aperture	0.85	0.60	0.47
Focal length	2.20mm	2.28mm	2.53mm
Magnification	0	0	0
Diffractive efficiency (theoretical value)	87%	75%	61%
Temperature performance (+30deg.,dλ,dT=0.05nm/deg.)	0.106λrms	—	—

Type3は3波長全てにおいて回折効率が高く、温度による効率変動も小さい。また温度特性も比較的小さく抑えられており、これまで述べた課題を解決した設計解である。Fig.7にそれぞれの波長での干渉縞を、Fig.8に実際のレンズ写真を示す。収差性能はBDで0.027λrms, DVDで0.013λrms, CDで0.008λrmsと3波長共に良好な性能が得られている。

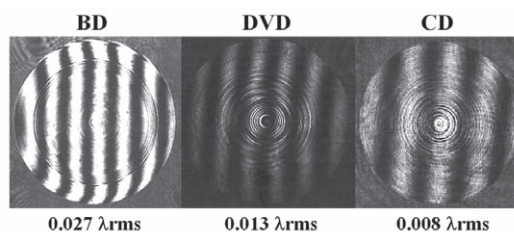


Fig.7 Type 3 interferograms



Fig.8 BD/DVD/CD compatible plastic objective lenses

## 4 まとめ

本稿ではBDピックアップに用いられる3波長互換対物レンズについて、そのスペックや特性の観点から様々な設計タイプについて報告した。DVD/CD互換対物レンズと同様に、3つの異なるディスク規格に対応するには、位相構造を有する回折レンズの機能が不可欠となっている。

光源の短波長化やレンズの高NA化に伴い、対物レンズに要求される精度は従来に比べ一段と厳しくなっている。3波長の互換は、単に対応する波長が1つ増えたというレベルではなく、位相構造やその求められる機能も複雑化している。これからも光学設計・シミュレーション技術、生産技術、評価技術などあらゆる分野で更なる技術革新を進めていく必要がある。それによって様々なニーズに対応できる光ピックアップ用互換対物レンズを実用化し、BD市場の更なる発展に貢献していければと考えている。

### ●参考文献

- 1) 大利祐一郎：オプトロニクス, 26 (6), pp.121-124 (2007)
- 2) 木村徹：特許第4062742号