

解説

光ディスク用ピックアップの小型・軽量・簡素化

—光学設計の立場から—

久保田 重夫

ソニー(株)技術研究所 〒108 東京都港区港南 1-7-4

(1987年4月7日受理)

Small, Light, and Simple Pickups for Optical Disk Systems

Shigeo KUBOTA

Audio/Video Technology Center, Sony Corporation,
1-7-4, Kohnan, Minato-ku, Tokyo 108

1. はじめに

1982年に商品化された compact disk (CD) システムは、1984年に低コストのポータブル・モデルが導入されたことが契機になって、1986年には全世界で年間700万台の市場規模に成長した。このポータブル・モデルには従来のガラス組レンズに代わって画期的な非球面プラスチック対物レンズ¹⁻³⁾を採用した光ピックアップが装備されており、同時に据え置きモデルに比べ著しい小型・軽量化が図られていた。

現在、耐熱・耐湿特性を改善した非球面プラスチック・レンズのほかに非球面ガラス・モールドレンズも実用化され、より信頼性が向上されており、部品の構成、配置を簡素化、あるいは高密度化することによっていっそうの小型化が達成されている(図1)。はじめに最も普及しているサーボ方式に基づく光ピックアップの光学系の基本設計について概略を説明したのち、これを簡素化するための要素技術について述べる。ピックアップを簡素化するために最もキーとなる技術はレンズの単玉非球面化であり、十分な収差論上の裏付けに基づいて非球面レンズが導入されていることを示してみたい。

2. 光学系の基本設計

光ディスクシステムには、ディスクのそり等に起因する回転中のトラックの上下方向の振動と、ディスクの中心穴の偏心等に起因するトラックの半径方向の振動にスポットを精密に追従させるため、フィードバック制御系

が用いられている。この制御系に対する入力信号はトラックとスポットの位置の間の誤差信号である。誤差信号を光学的に検出する方法はいろいろ提案がなされているが⁴⁾、光学式 video disk や compact disk のような再生専用の光ピックアップに最も普及している焦点誤差信号検出方式は非点収差法であり、ラディアル誤差信号検出方式は twin beam 法である。

両サーボ方式についての原理説明は省略するが、すでに He-Ne レーザーを用いた video disk プレーヤーで実績のあった両方式を半導体レーザーを用いた光学系にいかにか適合させるかが compact disk 用光ピックアップの開発時の一つの課題であった。具体的には twin spot を形成するためのコンパクトな往路の光路設計と、光学誤差信号を得るためのコンパクトな検出系の光路設計である。

He-Ne レーザーを用いた初期の video disk の構成は図2(a)に示すように古典的な光学顕微鏡と厳密な対応関係を保っていた。一般に光ディスク用ピックアップは集光・再生を兼ねた走査光学系であるが、まず再生光学系として考える。図で倍率 $m=20\times$ 、焦点距離 $f_1=8.25\text{ mm}$ の対物レンズ l_1 の後側焦点の約 10 mm 後方に射出瞳が位置する (g')。いまトラックの実像を焦点距離 $f_2=15.4\text{ mm}$ のアイピース l_2 の前側焦点上に形成すると、 l_2 によるトラックの像は無限遠にできることになり、一方、He-Ne レーザーは理想的な点光源で、その光源位置は事実上無限遠にある ($s\rightarrow\infty$) から、ディスクと光源は共役関係にある。

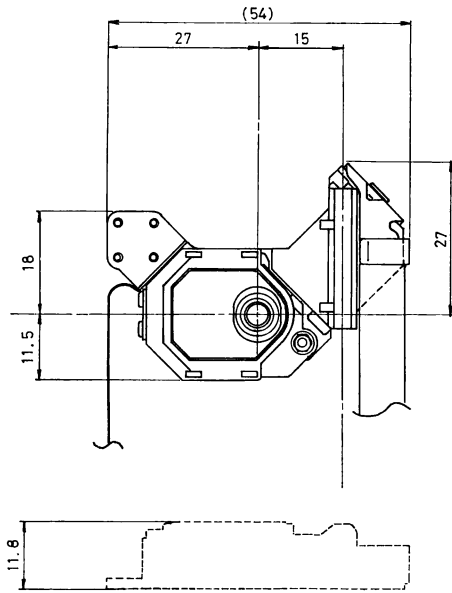


図1 ポータブルタイプ・コンパクトディスクプレーヤー

つぎに集光光学系として考えると、レーザーから射出される平行光束中に回折格子を置く位置には任意性があるが、いま回折格子の l_2 による像が l_1 の射出瞳上にあるように、 l_2 の 17 mm 手前とすると (l_2 の入射瞳位置)、レーザーからみて l_2 の射出瞳を l_1 の入射瞳を重ねることになり、光束が対物レンズに対して変位しても、各次の回折波のケラレが同等になって好ましい。前述のように回折光のスペクトラム面はトラックの共役面上にあるから、対物レンズによるスペクトラムの像がトラック上に形成される。

CD システムの開発において、小型化のため光源として GaAlAs レーザー ($\lambda=0.78 \mu\text{m}$) を使用することが前提であった。トラック密度を、video disk ($\lambda=0.633 \mu\text{m}$, $\text{NA}=0.4$) と同等にするには、 λ/NA を同等にする必要がある。 $\lambda=0.78 \mu\text{m}$ を代入すると $\text{NA}=0.5$ が得られるが、あまり NA が大きいとデフォーカスやコマが発生しやすくなるので、実験のすえ $\text{NA}=0.45$ を採用した。このとき

$$\lambda/\text{NA}=1.75 \mu\text{m} \quad (1)$$

となる⁵⁾。

一方、半値全角で $10^\circ \times 30^\circ$ のビーム開き角をもつ半導体レーザーを効率的に取り込むには $\text{NA}>0.1$ のコリメート・レンズが必要である。このとき、再生光学系の倍率は $m<4.5\times$ となり、 $20\times$ の video disk に比べてかなり小型化される。ちなみに、図2(b)、(c) は標準的な CD の光学系である⁶⁾。図2(a) の video disk に対して長さ方向に5倍に拡大して表示してある。またアフォーカル系にすることによって、対物レンズを二次元に並進させてトラックに追従する技術が開発されてい

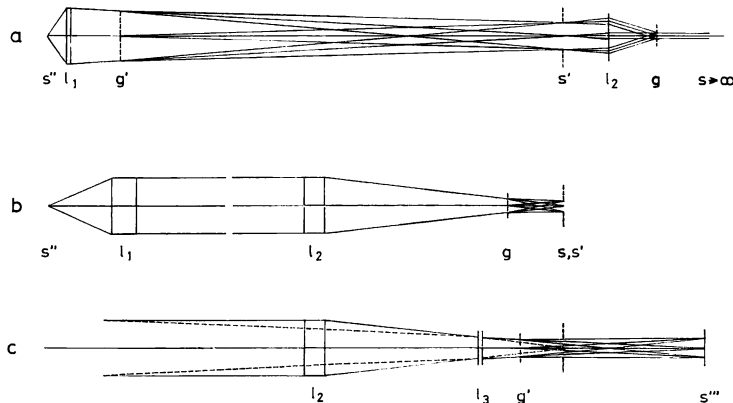


図2 (a) He-Ne レーザーを用いた video disk プレーヤーのピックアップのガウス光学系の設計例, (b) 半導体レーザーを用いた compact disk プレーヤーのピックアップのガウス光学系の設計例 (往きの光路), (c) 同, 戻りの光路

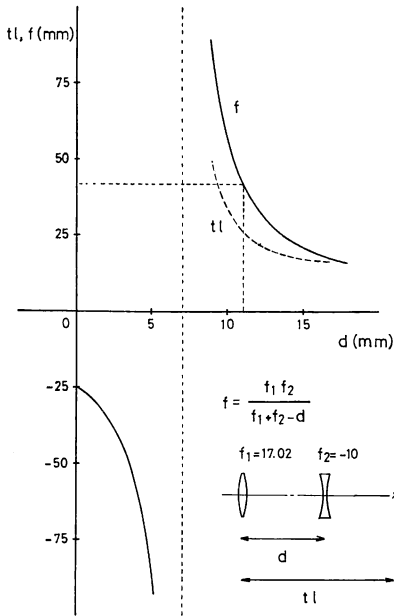


図 3 望遠タイプのレンズ配置

た. 二次元アクチュエータで駆動する負荷は軽いほうがよいが, 対物レンズの質量は f^3 に比例する. そこで当初, 4.6 mm やがて 4.5 mm の短焦点レンズが開発された. このときコリメータの焦点距離は 17 mm 付近が適当である ($m=3.7\times$, 実効 $NA=0.12$).

図 2 (a) の video disk と図 2 (b) の CD の再生光学系を比較すると, 後者の場合光源や回折格子のスペクトラム像 (実像) を作るアイピース l_2 に相当するレンズがないことに気づく. すなわち前者の l_1 を, 後者では l_1 と l_2 に分割し, l_2 と光源 s の間に回折格子 g を挿入している. Compact disk の場合 g のスペクトラム像 s' は光源 s 上に虚像として形成される. しかし, g

の l_2 による像を l_1 の入射瞳上に形成するのはもはや不可能である. さらに, 図 2 (c) に示すように, 戻り光路に凹レンズ l_3 を挿入し, 検出系の倍率を変倍する. すなわち, 正のパワー (f_1) と負のパワー (f_2) を空気間隔 (d) をおいて配置すると, 図 3 に示すように合成焦点距離 f を f_1 に比べて長くし, かつ, 全長 (tl) を f に比べて短くすることができる (望遠レンズ構成?). このとき l_3 による回折格子 g の像は g' にできる.

3. 光学部品の簡素化

焦点誤差検出法として非点収差法を用いるときには, l_3 の後にアナモルフィックな光学素子を挿入し, 光束に非対称な収束特性を与える. このような非点収差を発生させる素子には円筒レンズの他に光軸に対して法線を傾けた平行平板が考えられる. いま, 開口数 $\sin \alpha$ の収束光束中に板厚 t , 屈折率 N の平行平板をその法線が光軸に対して角 θ をなすようにして挿入するとき発生する非点隔差は

$$\Delta z = -t \frac{(N^2 - 1) \sin^2 \theta}{(N^2 - \sin^2 \theta)^{3/2}} \quad (2)$$

である⁸⁾. 同時に発生するコマは

$$W_{31} = \frac{t}{2} \frac{(N^2 - 1) N^2 \sin \theta \cos \theta}{(N^2 - \sin^2 \theta)^{5/2}} \sin^3 \alpha \quad (3)$$

である. あきらかにコマは θ に対して奇関数であり, 非点収差は θ に対して偶関数であるから, t を二等分して, おのおの傾角 $\theta, -\theta$ を与えて収束光束中に挿入することによりコマの発生を防止することができる (図 4).

また, レーザーから (l_2, l_1) を経てディスクに至る往きの光路と, ディスクより (l_1, l_2) を経て光検出器に至る戻りの光路を分離するビームスプリッタ BS の挿入位置は l_2 と g の間にあることが好ましい. このとき BS

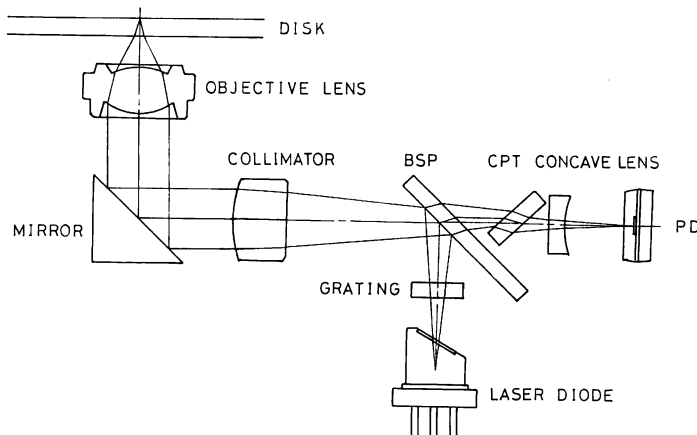


図 4 Compact disk プレーヤーのピックアップの光学系の設計例

の分光反射率・透過率特性を l_2 の開口数の範囲の入射角に対して保証する必要がある。反射率・透過率の偏光依存性のない光学薄膜を無偏光膜というが、無偏光膜は多層偏光膜⁹⁾ に比べて格段に少ない層数で実現することができる¹⁰⁾。この設計は BS プリズムをプレート化することによってさらに容易になり、部品単価も低減される。

しかし、無偏光化に伴いレーザーの射出パワーの最大25%がレーザー端面に戻ることに、半導体レーザーのノイズ特性が劣化するとともに、レーザー端面で反射された光束が回折格子によって回折され、光検出器上で干渉する結果、サーボ信号にオフ・セットを発生させるので対策が必要である¹¹⁾。

4. 非球面对物レンズによる光学系の簡素化と収差に対する考察

1984年に開発されたプラスチック非球面単玉レンズ¹⁻³⁾ は焦点距離 4.5 mm, 開口数 0.45, 作動距離 2.0 mm で、回折限界の性能(軸上波面収差の平均値 0.04 RMS λ) を有するもので、すみやかに普及し、現在 CD 市場の主流の地位を占めている。

プラスチック非球面単玉レンズの開発がトリガーになって、モールドガラス非球面単玉レンズ¹²⁾, 屈折率分布

型レンズ¹³⁾, さらにマイクロフレネルレンズ¹⁴⁾ や光導波路レンズ¹⁵⁾ の開発がさかんに行なわれているが、光学性能と生産性の両面でプラスチック、ガラス非球面単玉レンズは優位に立っており、今後、他の光ディスクの分野にも普及していくものと考えられる。

デジタル型の光ディスクへの応用に関していうと、すべての収差のうちでとくに、球面収差とコマが良好に補正されている、つまり完全アプラナートな性能が要求される。完全アプラナートを単玉レンズで実現するには両面を非球面化する必要がある、経験的に完全アプラナート単玉レンズの第1面は回転楕円面で、第2面は回転双曲面で近似されることが知られている¹⁶⁾。またこのような両面非球面単玉レンズの第1面と第2面の球面収差の補正量のバランスをとることによって偏心誤差感度を著しく改善できることが解析の結果確認されている¹⁷⁾。

4.1 新しい設計思想に基づく無限共役型非球面単玉レンズ

最近、厳密なアプラナティック条件をやや崩すことにより、光ディスク光学系としては振動が加わってもコマが発生しにくいという興味深い特徴をもった単玉非球面レンズが試作されている。まず、次の二つの単玉非球面レンズの設計例 (a), (b) を比較しよう¹⁸⁾。設計例

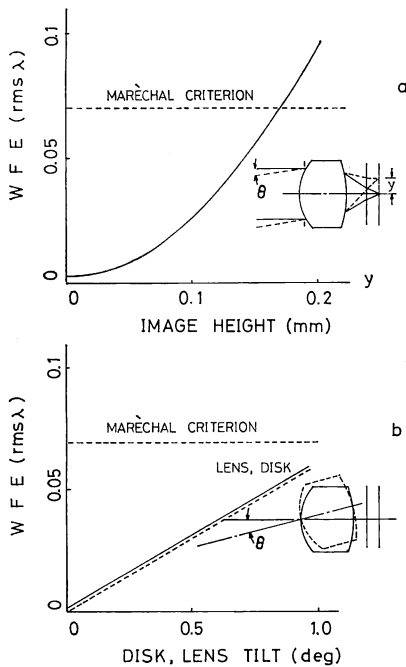


図5 (a) 完全アプラナート単玉非球面レンズ(設計例 a) の視野特性, (b) 同レンズが傾いたとき発生するコマとディスクが傾いたとき発生するコマ

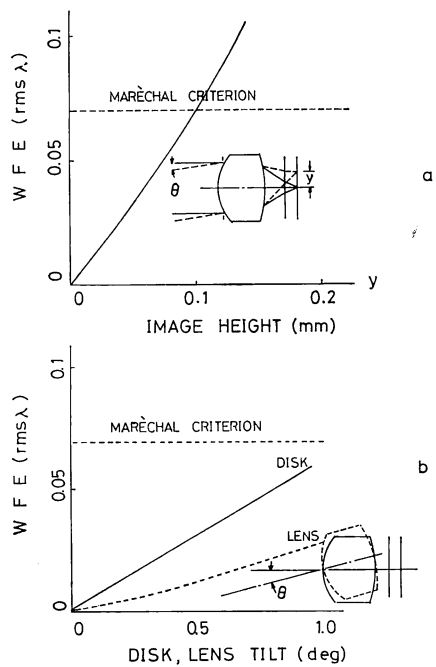


図6 (a) 異なる設計思想に基づく単玉非球面レンズ(設計例 b) の視野特性, (b) 同レンズが傾いたとき発生するコマとディスクが傾いたとき発生するコマ

表 1 対物レンズA, Bの仕様と1次光学諸量

	A	B
f (mm)	4.5	4.5
NA	0.45	0.45
WD (mm)	2.05	2.05
BF (mm)	2.82	2.82
Δ (mm)	0.755	0.651
Δ' (mm)	1.681	1.678
t (mm)	3.2	3.1
r_1 (mm)	2.81	2.72

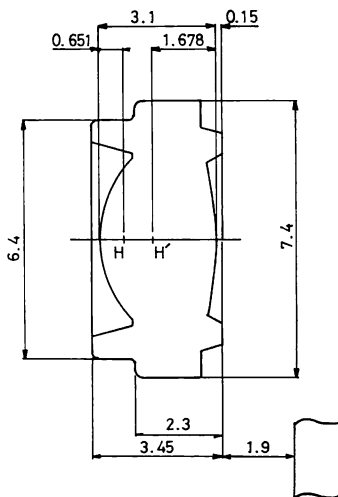


図 7 単玉非球面レンズの1次光学諸量の定義

(a) は図 5 に示すように、軸上、軸外収差が良好に補正されたいわゆる完全アプラナート単玉非球面レンズで、軸外収差は像高 y に対してはほぼ2次関数的に増加するので、低次の非点収差が支配的である。一方、設計例 (b) では図 6 に示すように軸上収差は良好に補正されているが、軸外収差は像高 y に比例して増加するため、コマが支配的である。

表 1 のように両者のレンズ仕様はまったく同様であるにもかかわらず、レンズの中心厚 (t)、主平面位置 (Δ , Δ')、第 1 面の曲率半径 r_1 等が異なる (図 7 参照)。これより設計 (b) は設計 (a) を bending (焦点距離を保ちながら第 1 面の曲率半径を変化) させたものになっていることがわかる。

よく知られているように、薄肉単レンズ (球面系) を bending するとき、第 1 面の曲率 $cv_1 (=1/r_1)$ に対して図 8 のように球面収差 (LA)、正弦条件不満足量 (OSC) は変化する⁷⁾。すなわち LA の極小点の近傍で OSC はゼロになる。ここで h を無限共役系における入射光線

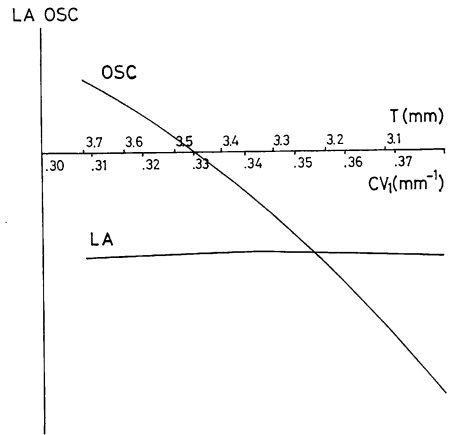


図 8 単玉レンズの第 1 面の曲率 (cv_1) と球面収差 (LA) と正弦条件不満足量 (OSC)

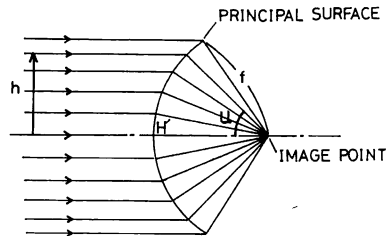


図 9 主表面の定義

高, u を出射光線傾角とすると、 OSC は

$$OSC = h/\sin u - f \quad (4)$$

で定義される。したがって、 $OSC=0$ のとき $h=f \sin u$ となり、入射光線、出射光線の延長の交点の軌跡は像点を中心とする球面となって (主表面)、各輪帯光線の交点から像点までの距離 (輪帯光線の焦点距離) は一定値 f をとる (図 9)。この状態から単レンズを左方に bending し ($cv_1 \rightarrow$ 小), 交点の軌跡を球面から平面に近づけると、輪帯光線の焦点距離 $h/\sin u$ は f より大きくなり、 $OSC > 0$ となる。一方、単レンズを右方に bending すると ($cv_1 \rightarrow$ 大), $OSC < 0$ となる。球欠後面のコマは像高を y とするとき

$$\text{coma} = y \cdot OSC \quad (5)$$

であるから、正弦条件が満足されていない系 ($OSC \neq 0$) では像高 y に比例したコマが発生する。よって設計例 (a) は正弦条件が満足されているレンズ、設計例 (b) は正弦条件が完全には満足されていないレンズということが了解される。

ここで振動としてディスクやレンズが傾いたとき発生するコマについて考える。まず図 5 の実線は、設計例 (a) の球面収差が良好に補正され正弦条件を満足する

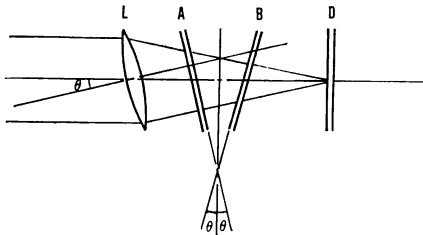


図 10 レンズの傾きによって発生するコマの説明図

レンズが傾いたとき発生するコマを、レンズの傾き角 θ に対してプロットしたものである。これはディスクが傾いたとき発生するコマを傾き角 θ に対してプロットした破線とほとんど一致する¹⁸⁾。この理由を合理的に説明するため図 10 のように、光軸に対して法線が、おのおの、 θ 、 $-\theta$ だけ傾いた 2 枚の同厚のディスク A、B を補って考える。前述のようにディスク A、B を収束光束が通過するとき発生するコマは等量、異符号であるから打ち消しあい、コマに関するかぎり追加した 2 枚のディスクは存在しないに等しい。いまレンズ L とディスク A を組み合わせて考えると、両者は平行であるから、ここで光線束の状況は集光光学系に平行光束が θ だけ傾いて斜入射した状況とまったく等価となり、発生する収差は球面収差とコマが補正されたアプラナティックなレンズ (a) の軸外収差、つまり非点収差のみということになる。したがってこれが無視できる程度の傾角においては、全系の収差はこの $-\theta$ だけ傾いたディスク B で発生するコマということになる。

つぎに図 6 の破線は、設計例 (b) の球面収差が良好に補正されているが、正弦条件は満足されていないレンズが傾いたとき発生するコマを、レンズの傾き角 θ に対してプロットしたものである¹⁸⁾。図 5 の場合と異なり、これはディスクが傾いたとき発生するコマを傾き角 θ に対してプロットしたもの (実線) に比べ小さい。前例と同様に、図 10 においてレンズ L とディスク A を組み合わせて考えると、発生する収差は非アプラナティックなレンズ (b) の軸外収差、つまりコマである。この場合像高 $y = -f \cdot \tan \theta < 0$ であるから、 $OSC < 0$ のとき発生するコマは式 (5) より $coma-l > 0$ となる。一方、 $-\theta$ だけ傾いたディスク B で発生するコマは式 (3) より $coma-d < 0$ となる。 $coma-d$ も θ に比例するから、

$$coma-l + coma-d < coma-l \quad (6)$$

とすることが可能である。したがって原理的にはレンズを傾けても収差が発生しないレンズを設計することが可能であるが、過度にレンズの OSC を大きくすると、むしろレンズの光軸がディスク面に垂直なときに入射平行

光束が斜入射することによって発生する軸外収差のコマが問題になる。

ピックアップの製造上の誤差としては、ディスクに対して平行光束が傾く誤差と、レンズの光軸が傾く誤差がある。レンズ設計を像高優先にするのがよいか、傾角優先にするのがよいかは二次元アクチュエータの構造によって決定されるが、設計例 (b) は軸外収差によって発生するコマとレンズの傾きによって発生するコマの間で図られた合理的な妥協点と解釈される。

ここで注意を喚起したいのは、このように球面収差と正弦条件不満足量をおる程度自由にコントロールできる自由度は単玉レンズを両面非球面化することによってはじめて得られているという点で、これは単玉レンズを完全アプラナート化するのに必要な自由度と同じ性質のものである。

4.2 一体化非球面単レンズ (有限共役型単玉非球面レンズ)

従来のコリメータレンズと無限共役型非球面単玉レンズの機能を一体化した有限共役型非球面単玉レンズが開発されている^{12,16)}。ところでディスクの上下方向、ラディアル方向の振動に対して走査スポットを追従させるために対物レンズを一般に二次元アクチュエータによって駆動する。無限共役型の場合、レンズのラディアル変位によって入射光束分布の非対称性は生ずるが、原理的に二次元駆動による結像性能の劣化はない (図 4)。

これに対して、有限共役型の場合二次元駆動による結像性能の劣化が生ずる。すなわち、ラディアル変位に対して軸外収差が、縦変位に対して倍率変化による球面収差の変動が生ずる。倍率変化に伴う単玉レンズの球面収差の変動は非球面化によって防止するのは困難であるので有限共役型非球面レンズの仕様を決定する際には配慮が必要である。

いま、集光光学系としての規準の倍率 (あるいは縮小率) に対して球面収差が良好に補正されたレンズの物体距離をやや増加させ倍率を増加させると、一般に球面収差は補正過剰となり、逆に、物体距離をやや減少させ倍率を減少させると、一般に球面収差は補正不足となる。物体距離の変化 (Δs) に伴う三次の球面収差の変動は

$$I = 1/\kappa^4 \{I - \delta(3 II + V^2) + O(\delta^2) + \dots\} \quad (7)$$

と表わすことができる¹⁹⁾。ここに I 、 II は正規化された球面収差、およびコマ収差係数で、 V^2 は瞳の歪曲収差係数と呼ばれる。また、

$$\kappa = (1 + \Delta s/g_1)/(1 + \Delta s/g_2) \quad (8)$$

$$\delta = -N_1 \Delta s / (g_1)^2 / (1 + \Delta s/g_1) \quad (9)$$

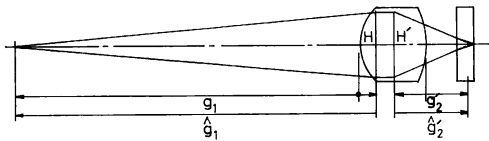


図 11 有限共役型単玉非球面レンズ

である。ただし、 N_1 は物空間の屈折率である (図 11)。

例として典型的な $f=3.9\text{ mm}$, $NA=0.45$, $WD=2\text{ mm}$, $m=0.22$ (再生光学系としては $5.4\times$) の仕様をもつ有限共役非球面単玉レンズをとりあげることにする。この仕様と公表されているレンズの中心厚, 屈折率のデータ $t=4.2\text{ mm}$, $N=1.68$ より

$$\hat{g}_1 = -21.627$$

$$g_1 = -20.577$$

である(ただし非正規)。これらを式(8), (9)に代入し

$$\kappa = 1 + 2.36 \times 10^{-3} \Delta s$$

$$\delta = -2.138 \times 10^{-3} N_1 \Delta s / (1 - 4.86 \times 10^{-2} \Delta s)$$

を得る。これらの結果は非正規であり, 正規化された球面収差の変動を評価するときには Δs も正規化する必要がある。それには κ はそのまま, δ は $\delta \rightarrow f\delta$ のように変換すればよい。 $N_1=1$, $\Delta s = \pm 1\text{ mm}$ に対して κ と δ を計算する。正規化の結果, $1/\kappa^4 = 1 - (\pm) 9.44 \times 10^{-3}$ $\delta = -7.95 \times 10^{-3}$, 8.76×10^{-3} となる。したがって $\delta \ll 1$ であるから $O(\delta^2)$ 以降は無視でき, よって, 球面収差の変動は

$$I = 1/\kappa^4 \{I - \delta(3II + V)\} \quad (10)$$

を用いて良好に近似できることがわかる。上式で δ の項は通常 1 に比べて小さいので無視できるが, 非球面を用いて球面収差 I とコマ II を良好に補正したときには無視できず, V が倍率変化に対する球面収差の変動のふるまいを決定すると考えられる。

ところでサフィックス s のついた収差係数は「瞳の収差係数」とよばれ, 入射瞳面上の点の理想像点からどれだけずれた射出瞳面上の点を光線が通過するかを記述するもので, 5次収差係数の計算や, 物体位置の変化による収差係数の変動を評価するのに有用である¹⁹⁾。瞳面(第1面)で瞳収差のうち, I_s , II_s , III_s はゼロになる。一方, 補助量: $P_s = \varphi_s / N_s N'_s$ は平面以外ではゼロにならないから, 瞳面においても $IV_s \equiv III_s + P_s \neq 0$ であり, その結果, $V_s \neq 0$ となる。ここで $\varphi_s = (N_s - N'_s)/r_s$ である。

$P = \sum P_s$ はベッツパールの和とよばれ, 構成している各面のパワー φ_s に結びついている。したがって bending を行なっても, 全系のパワーが一定に保たれているかぎり P もほぼ一定に保たれる。また, 当然, 非球面を導入しても改善されないから, 特別な事情がないかぎり単玉レンズの V_s はかなり大きい値をもつであろうことが了解される。

実際に上記のレンズの正規化した三次収差係数を計算すると表 2 のようになる。表中 * は非球面の寄与を表わす。非球面の補正項は $I_s = II_s = 0$ になるように決定した。これより正規化された球面収差の変動は

表 2 有限共役型対物レンズの正規化三次収差係数

#	I	II	III	IV	V
1	0.60841 -0.71417*	0.49550 0.0*	0.40353	0.87587	0.71331
2	0.50016 -0.34507*	-0.14900 -0.39875*	0.04439	0.29453	-0.08775
3	-0.18744	0.17561	-0.16452	-0.16452	0.15413
4	0.13513	-0.12660	0.11861	0.11861	-0.11112
	-0.00298	-0.00325 (total)			
#	I_s	II_s	III_s	IV_s	V_s
1	0.0	0.0	0.0	0.47234	0.57998
2	-0.03293	-0.11054	-0.37105	-0.10911	0.40586
3	0.17811	-0.19011	0.20293	0.20293	-0.21660
4	-0.21841	0.23313	-0.24884	-0.24884	0.26561
			(subtotal)		1.03484
					-0.39875*
			(total)		0.63609

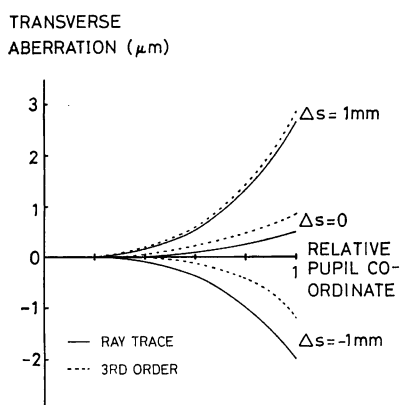


図12 有限共役型単玉非球面レンズの倍率変動によって発生する球面収差

$$I = -0.00803 \quad (\Delta s = -1 \text{ mm})$$

$$I = 0.00248 \quad (\Delta s = 1 \text{ mm})$$

ただし

$$I = -0.00298 \quad (\Delta s = 0)$$

となる。つぎに r を主平面における光束半径とすると、 I を非正規化横収差係数に換算すると

$$\begin{aligned} \Delta y &= -r^4/f^3 I \\ &= 2.85 \mu\text{m} \quad (\Delta s = -1 \text{ mm}) \\ &= -0.88 \mu\text{m} \quad (\Delta s = 1 \text{ mm}) \\ &= 1.06 \mu\text{m} \quad (\Delta s = 0) \end{aligned}$$

となる(図12)。 $\Delta s = 0$ における Δy を基準にすると、 $\Delta s = \pm 1 \text{ mm}$ のとき $|\Delta y| = 2 \mu\text{m}$ だけ変化し、波面収差係数に換算すると $\Delta W_{40} = 0.25 \text{ NA} |\Delta y| = 0.274 \lambda$ になる(ただし $\lambda = 0.78 \mu\text{m}$)。これはRMS波面収差で約 0.02λ に相当し、一方、実際に報告されている値は 0.03λ である¹²⁾。両者の差は高次の球面収差の変動に基づくものと考えられる。

まとめると有限共役型対物レンズにおける倍率変動の球面収差に対する影響は、そのベッツバール和、つまりは対物レンズのパワー($1/f$)に依存する。したがって、光学系の小型化と倍率変動に対する球面収差の安定化の要請は一般に対立する。よって有限共役型系においては対物レンズの二次元駆動と作動距離の確保という前提条件のもとに設計上で妥協点を求める必要があることを強調したい。

5. ま と め

CD用ピックアップのガウス光学系の設計よりはじめて光学部品を簡素化するための技術、完全アプラナート単玉非球面レンズとこの正弦条件をやや崩すことにより

二次元アクチュエータに対する取付精度を緩和した単玉非球面レンズについて言及した。最後に、対物レンズとコリメーターを一体化した有限共役型単玉非球面レンズの倍率変動が球面収差に及ぼす影響について検討し、仕様決定や設計上の配慮点を明確にした。

おわりにあたり、貴重な資料を提供していただき、かつ、快く議論に応じていただいた、小西六写真工業光学開発センター荒井則一氏と松下電器産業無線研究所田中康弘氏に感謝します。

文 献

- 1) K. Shintani and S. Kubota: "Evaluation of a diffraction-limited plastic bi-aspheric lens," CLEO '84, WB 2, Anaheim, CA. (1984).
- 2) T. Kiriki, N. Izumiya, K. Sakurai and T. Kojima: "Plastic aspheric lens for compact disk systems," CLEO '84, WB 3, Anaheim, CA. (1984).
- 3) T. Kiriki, N. Izumiya, K. Sakurai and T. Kojima: "Plastic aspheric lens for compact disk systems," ICO-13, C6-3, Sapporo (1984).
- 4) G. Bouwhuis, J. Braat, A. Huijser, J. Pasma, G. Van Rosmalen and K. S. Immink: *Principles of Optical Disk Systems* (Adam Hilger, Bristol and Boston, 1985) Chap. 2.
- 5) Sony Corp. and N. V. Philips: General Information of Compact Disc Digital Audio, Sept. (1980).
- 6) 久保田重夫, 新谷賢司: 特開昭 61-216132.
- 7) R. Kingslake: *Lens Design Fundamentals* (Academic Press, New York, 1978) Chap. 3, 5, 13.
- 8) W. J. Smith: *Modern Optical Engineering* (McGraw-Hill Book Co., New York, 1966) p. 84.
- 9) 久木民治: 特公昭 55-9683.
- 10) T. Kobayashi, et al.: U. S. Patent No. 4,627,688.
- 11) 福本 敦, 大里 深, 久保田重夫, 山田隆俊, 新谷賢司: "光ディスク・ピックアップ・トラッキング信号の戻り光によるDC変動", 昭和60年度春応用物理学会予稿集(1985) p. 107.
- 12) 田中康弘, 長岡良富, 上田昌明: "CD用完全一体型プレスガラスレンズ", 光メモリシンポジウム'86 論文集(1986) p. 99.
- 13) H. Nishi and M. Toyama: "Design of an aplanatic GRIN singlet for the compact disk system," SPIE Proc., 554, Int. Lens Des. Conf., Tub5, Cherry Hill, New Jersey (1985) p. 301.
- 14) 田草川幸次, 二里木孝, 末光尚志, 西尾 隆, 鈴木進一: "マイクロフレネルレンズによるCD用対物レンズ", 第20回微小光学研究会講演論文集(1986) p. 23.
- 15) 裏 升吾, 栖原利明, 西原 浩, 小山次郎: "光ディスクピックアップの光集積回路化", 信学論, J69-c, (1986) 609-615.
- 16) S. Kubota: "The design of aplanatic aspheric lens for optical disk uses," OSA '84, TuS2, San Diego, CA. (1984).
- 17) S. Kubota: "A lens design for optical disk systems," SPIE Proc., 554, Int. Lens Des. Conf., Tub1, Cherry Hill, New Jersey (1985) p. 282.
- 18) 小西六写真工業オプト事業推進室公表資料.
- 19) 松居吉哉: レンズ設計法(共立出版, 東京, 1972) 2章, 4章.