

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2006 年 7 月 6 日 (06.07.2006)

PCT

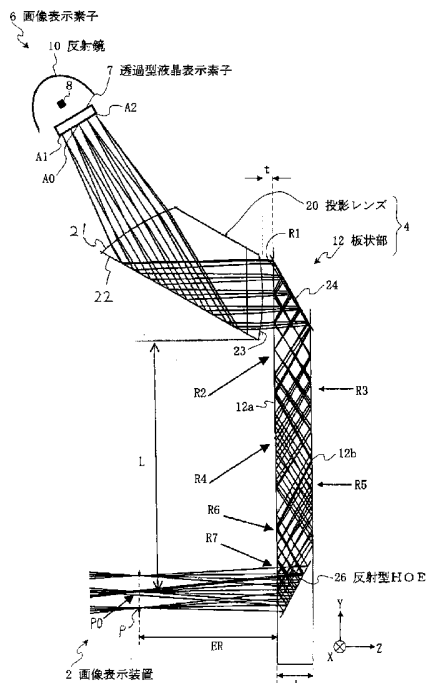
(10) 国際公開番号  
WO 2006/070723 A1

- (51) 国際特許分類:  
G02B 27/02 (2006.01) G03H 1/22 (2006.01)  
G02B 5/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/023745
- (22) 国際出願日: 2005 年 12 月 26 日 (26.12.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2004-379048  
2004 年 12 月 28 日 (28.12.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社  
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331  
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大内 由美子  
(OUCHI, Yumiko) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区  
丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン知的財産部  
内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 古谷 史旺, 外 (FURUYA, Fumio et al.); 〒  
1600023 東京都新宿区西新宿 1 丁目 1 9 番 5 号 第  
2 明宝ビル 9 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が  
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,  
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,  
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW,  
MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO,

/ 続葉有 /

(54) Title: IMAGE COMBINER AND IMAGE DISPLAY UNIT

(54) 発明の名称: イメージコンバイナ、及び画像表示装置



- 6.. IMAGE DISPLAY ELEMENT  
10.. REFLECTION MIRROR  
7.. TRANSMITTING LIQUID CRYSTAL DISPLAY ELEMENT  
20.. PROJECTION LENS  
12.. PLATE-LIKE UNIT  
26.. REFLECTION TYPE HOE  
2.. IMAGE DISPLAY UNIT

(57) Abstract: An image combiner using HOE (reflection type hologram optical element) that can be downsized with various aberrations corrected. The image combiner comprises an optical system that contain HOE and images a light incident from an image displaying means onto a specified position, the light from the image displaying means being superimposed on lights passed through the optical system but not incident from an image displaying means. A HOE phase function is determined so that a gradient-component-removed phase distribution after wave front conversion has an almost rotary symmetric shape to use a rotary-symmetric aspherical surface in the optical system. Since the above arrangement allows the wave-front shape of a reflection wave to be close to rotary-symmetric with respect to the optical axis even if an optically powered HOE is disposed eccentrically when a plane wave or a spherical wave is incident to HOE, the other optical systems can be disposed coaxially. Accordingly, since various aberrations can be corrected by a rotary-symmetric aspherical surface, a complicated aberration-correcting optical system need not be incorporated to achieve the above purposes.

(57) 要約: 本発明は、HOE (反射型ホログラム光学素子) を用いたイメージコンバイナにおいて、諸収差を補正した上で小型化することを目的とする。そのため、本発明のイメージコンバイナは、HOEを含むと共に画像表示手段から入射する光を所定位置に結像させる光学系を有し、光学系を透過する画像表示手段以外からの光に、画像表示手段からの光を重畳する。本発明では、波面変換後の位相分布の傾斜成分を除いたものが略回転対称な形状となるようにHOEの位相関数を決定し、光学系内に回転対称非球面を用いる。この構成では、光学的パワーを持つHOEを偏心配置しても、HOEに平面波または球面波を入射させたときに、反射波の波面形状は光軸に対し回転対称に近くなるので、他の光学系は共軸配置にできる。従って、回転対称非球面によって諸収差を補正できるので、収差補正用の複雑な光学系を組み込む必要がなく、上記課題を達成で

きる。



RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR,  
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,  
MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

### イメージコンバイナ、及び画像表示装置

#### 技術分野

- [0001] 本発明は、観察者の眼前に配置され、外界などの前方からの光による像に表示画像を重ねる情報表示光学系に関する。

#### 背景技術

- [0002] 従来より、観察者が外界の様子を観察しながらこれに重畳された表示画像を見ることができ、いわゆるシースルー型の頭部装着式画像表示装置（ヘッド・マウントディスプレイ）が知られている。これらの画像表示装置では、反射型ホログラム光学素子（以下、HOEと略記）を用いることで小型軽量化を図っている。これは、波長選択性が優れ、限られた波長領域の光のみを選択的に回折反射することができるというHOEの特性を利用したものである。従って、シースルー型の画像表示装置は、HOEを用いて構成することで、外界などの前方から入射する光量の損失を低減できる。また、これらの画像表示装置では、さらに小型軽量化するため、画像表示素子として液晶表示素子を用い、それを照明する光源として小型かつ安価である発光ダイオード（以下、LEDと略記）を用いている。
- [0003] 近時、液晶表示素子は小型化及び高解像化が進み、その画素サイズの微細化が進んでいる。従って、これらの画像表示装置では、画素サイズの微細化に追従して高分解能を保つためには、全画角に亘って諸収差が良好に補正される必要がある。一方、コンバイナとして用いるためには、HOEは光路に対して偏心して配置されることになる。そして、小型化のためには、HOEにも光学的パワーを持たせることが好ましい。しかしながら光学的パワーを持つ素子を偏心配置させると、偏心収差が生じる。それを防ぐためには、HOEに自由曲面的な波面変換作用を持たせる必要がある。そして理想的には、HOE自身で、その偏心配置による偏心収差を完全に打ち消す波面変換作用を持つことが好ましい。
- [0004] そこで、特許文献1の画像表示装置では、複数のレンズを偏心させて組み合わせた製造光学系を用いて作製したHOEを利用しているが、その波面変換作用は、偏

心収差を打ち消すには不十分であるため、付加レンズ面としてアナモルフィック非球面を偏心配置させ、HOEによる波面変換作用で残存した偏心収差を補正している。また、特許文献2の画像表示装置では、段落[0029]に記載のように、接眼側の光学系で発生する収差をリレー光学系における中間結像位置より像側の光学系で補正している。

特許文献1:特開2001-264682号公報

特許文献2:特開2002-311379号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1の構成では、射出瞳側から追跡して液晶表示素子上に結像される光線のスポット径は、本発明者の解析によれば532nmの単一波長で15  $\mu$  m以上となる。この値は、画素サイズの微細化に対応できる値とは言えない。なぜなら、液晶表示素子の画素サイズは、例えば0.24インチサイズのQVGAでは15  $\mu$  m、0.38インチサイズのVGAでは12  $\mu$  m、0.16インチサイズのQVGAでは11  $\mu$  mだからである。また、特許文献1の段落[0049]には、導光板における対向する反射面を平面ではなくアナモルフィック非球面にして偏心収差の低減を図る旨が記載されているが、その部分にアナモルフィック非球面を形成することは一般的には困難である。

[0006] 特許文献2の構成では、複雑なレンズ構成に加えて複数のHOEを用いることで収差補正を行うので、小型化の点では十分とは言えない。さらに、レンズ群を光軸に対して偏心させた構成になっているため、装置の組立調整が困難であり、製造コストの増大が懸念される。

本発明の目的は、HOEを用いたイメージコンバイナにおいて、表示画像の周辺部まで良好に収差を補正した上で、従来よりも小型軽量化するための技術を提供することである。

[0007] 本発明の別の目的は、上記目的に適ったイメージコンバイナにより構成される画像表示装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 以下、本発明者による従来課題の原因解析について説明後、本発明の構成を説

明する。

従来のイメージコンバイナ光学系が複雑に偏心している理由は、光学的パワーを持つHOEを偏心させて配置しているため、それにより生じる偏心収差を補正するため、光学的パワーを持つ別の光学部材が必要となるからである。ここで、眼鏡型のイメージコンバイナの場合、外界光のシースルー性を確保するため、偏心収差の補正用の光学部材の配置位置は、観察者の前方から観察者の目に向かう外界光の光路を避ける必要がある。一方、HOEは、その外界光の光路中に配置されるので、偏心収差の補正用の光学部材の配置位置は、HOEから離れる。しかし、光学的に相殺する作用を離れた位置で実現することは困難であるので、光学系全体を高分解能にするためには、複雑な偏心光学系にならざるを得なかった。

[0009] 図20は、特許文献1の実施例1の光学系における反射型HOE面の位相関数から、波面の進行方向を変換する傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。図21は、図20と同様に、特許文献2の実施例1の光学系における反射型HOE面の位相関数から、傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。

[0010] ここで、位相関数の傾斜成分は、与えられた多項式より求まるHOEの有効エリアの各座標に対する位相差の値を、例えば最小二乗法を用いて一次元の関数にフィッティングして直線の傾きを求めることにより算出可能である。また、パワー成分は、傾斜成分を差し引いた後、同様に最小二乗法を用いて、球面フィッティングし、その曲率半径を求めることにより算出可能である。図20、図21に示すように、特許文献1の構成においても、特許文献2の構成においても、光学系全体がY軸方向に非対称である。

[0011] この非対称性に着眼した本発明者は、HOEの位相関数を定義する際に、波面変換後の位相分布ができる限り回転対称な形状となるように位相係数を決定することで、HOEによる偏心収差を極力小さくする構成を捻出した。この構成では、光学的パワーを持つHOEを偏心配置しても、そのHOEに平面波または球面波を入射させたときに、反射波の波面形状を光軸に対して回転対称に近くすることができる。HOE面からの反射波の波面形状が光軸に対して回転対称に近ければ、その他の光学系は

共軸配置にすることができるので、イメージコンバイナの光学系内に球面や回転対称非球面の屈折系を配置することで、諸収差を良好に補正できる。

[0012] 眼鏡型のイメージコンバイナの光学系の場合、屈折光学系の最後の面から射出瞳までの全光路長、即ち、アイレリーフに相応する光路長（後述の空気換算距離S）が長いことが望ましい。アイレリーフに相応する光路長が長い方が、短い場合よりも板状部の長さを長く確保することができるので、観察者が外界を観察する際の見易さが向上する。しかし、この光路長を長くした上で諸収差を補正することは、一般的には困難である。そこで本発明者は、後述の実施例1～実施例3において、付加レンズに回転中心軸（光軸）付近の曲率半径よりも周辺部の曲率半径の方が大きい回転対称非球面を用いることで、その光路長が長く、諸収差が良好に補正されたイメージコンバイナを実現した。

[0013] ここで、ディストーションの観点から、回転対称非球面の望ましい形状を規定する。液晶表示素子からイメージコンバイナの光学系に入射する最軸外主光線が、回転対称非球面に入射する位置を位置Aと定義する。また、位置Aと回転対称非球面の回転中心軸との距離をhと定義する。さらに、回転対称非球面の頂点を点Bとし、回転対称非球面の内側において、点Bに表面が接する仮想の球を球Cとする。

[0014] 球Cは、その中心が光軸上に位置すると共に、その曲率半径が回転対称非球面の点Bにおける曲率半径に等しいとする。そして、位置Aから、球Cまでの回転中心軸方向に測った変位量をdxとする（後述の図6参照）。このとき、本発明者の解析結果によれば、ディストーションを良好に補正するためには次式の条件を満たすことが望ましい。

$$0.001 < |dx/h| < 0.1 \cdots (1)$$

これは、 $dx/h < 0.001$ の場合、実際の観察状態では非常に激しい糸巻き型のディストーションとなり、 $dx/h > 0.1$ の場合、実際の観察状態では非常に激しい樽型のディストーションとなるからである（詳細は後述の実施例1で述べる）。さらに本発明者は、後述の実施例1～実施例3において、屈折レンズとは逆の分散を持つHOEの色収差補正効果を利用し、単一の光学部材でも色収差が良好に補正された光学系を実現した。本発明は、以上のように画期的な技術思想に基づくものであり、以下のよう

に構成される。

[0015] 本発明のイメージコンバイナは、反射型ホログラム光学素子を含むと共に画像表示手段から入射する光を所定位置に導く光学系を有し、画像表示手段以外からその光学系に入射して透過する光と、画像表示手段からの光とを重畳して観察可能にするものである。本請求項の発明は、光学系の中に少なくとも1つの回転対称非球面を備えたことを特徴とする。

[0016] また、上記のイメージコンバイナにおいて、回転対称非球面では、回転中心軸付近の曲率半径よりも、回転中心軸から離れた周辺部の曲率半径の方が大きいことが好ましい。

また、上記のイメージコンバイナにおいて、回転対称非球面は正の光学的パワーを持つことが好ましい。

また、上記のイメージコンバイナにおいて、反射型ホログラム光学素子は体積型であることが好ましい。

[0017] また、上記のイメージコンバイナにおいて、反射型ホログラム光学素子は光学的パワーを持つことが好ましい。

また、上記のイメージコンバイナにおいて、以下の条件を満たすことが好ましい。即ち、画像表示手段からの最軸外主光線が回転対称非球面に入射する位置Aと、回転対称非球面の回転中心軸との距離を $h$ と定義し、回転対称非球面の頂点Bにおける曲率半径を有する球であって、頂点Bを通る球を球Cと定義し、位置Aから球Cまでの回転中心軸の方向の変位量を $dx$ と定義した場合、 $dx$ を $h$ で割った商の絶対値は、0.001より大きく、0.1より小さいことが好ましい。

[0018] 本発明の画像表示装置は、上記のイメージコンバイナと、画像表示手段として、表示画像を示す光束をイメージコンバイナに入射させる画像表示素子とを備えたことを特徴とする。

#### 発明の効果

[0019] 本発明では、HOEを用いたイメージコンバイナ及び画像表示装置において、波面変換後の位相分布がほぼ回転対称な形状となるようにHOEの位相関数を決定し、光学系の中に回転対称非球面を配置することで諸収差を補正する。この構成では、

光学的パワーを持つHOEを偏心配置しても、そのHOEに平面波または球面波を入射させたときに、反射波の波面形状が光軸に対して回転対称に近くなるので、その他の光学系は共軸配置にできる。従って、回転対称非球面を用いて諸収差を良好に補正できるので、収差補正用の複雑な光学系を組み込む必要がないため、従来よりも小型軽量化できる。

### 図面の簡単な説明

- [0020] [図1]実施例1の画像表示装置の構成図である。
- [図2]反射型HOEのローカル座標系の説明図である。
- [図3]実施例1の反射型HOEの位相関数を示すグラフである。
- [図4]図3の位相関数から、波面の進行方向を変換する傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。
- [図5]図4における $X=0$ の部分抽出したグラフである。
- [図6]実施例1の回転対称非球面の形状を実線で示し、頂点曲率半径の球面形状を点線で示したグラフである。
- [図7]実施例1において、横収差及びディストーションを示す収差図である。
- [図8]実施例2の画像表示装置の構成図である。
- [図9]実施例2の反射型HOEの位相関数を示すグラフである。
- [図10]図9の位相関数から、波面の進行方向を変換する傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。
- [図11]図10における $X=0$ の部分抽出したグラフである。
- [図12]実施例2の回転対称非球面の形状を実線で示し、頂点曲率半径の球面形状を点線で示したグラフである。
- [図13]実施例2において、横収差及びディストーションを示す収差図である。
- [図14]実施例3の画像表示装置の構成図である。
- [図15]実施例3の反射型HOEの位相関数を示すグラフである。
- [図16]図15の位相関数から、波面の進行方向を変換する傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。
- [図17]図16における $X=0$ の部分抽出したグラフである。

[図18]実施例3の回転対称非球面の形状を実線で示し、頂点曲率半径の球面形状を点線で示したグラフである。

[図19]実施例3において、横収差及びディストーションを示す収差図である。

[図20]特許文献1の実施例1の光学系の反射型HOE面の位相関数から、波面の進行方向を変換する傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。

[図21]特許文献2の実施例1の光学系の反射型HOE面の位相関数から、波面の進行方向を変換する傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。

### 発明を実施するための最良の形態

[0021] 以下、本発明の画像表示装置の実施形態、それを具体化した実施例1及び実施例2、その変形例である実施例3の順に、図面を参照しながら説明する。なお、各図において同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

図1は、本実施形態における画像表示装置2の構成、及びその概略の光路(画像表示素子6からの光線のみ)を示す。図に示すように、画像表示装置2は、イメージコンバイナ4と、画像表示素子6とを備えている。

[0022] 画像表示素子6は、透過型液晶表示素子7と、その背後(イメージコンバイナ4とは反対側)に配置されるLED8と、放物面鏡等の反射鏡10とを有する。透過型液晶表示素子7は、その背後から照射される光源光を空間光変調して、表示画像となる光束を透過させる。図において、点A1、A2は、透過型液晶表示素子7の全画素領域上における両端の位置をそれぞれ示し、点A0は、画素領域の中心を示す。なお、透過型液晶表示素子7の代わりに、反射型液晶表示素子や自発光型素子等を用いて画像表示素子6を構成してもよい。

[0023] イメージコンバイナ4は、ガラスやプラスチック等の光学材料を平行平板状にすることで構成された板状部(導光板)12と、本発明の特徴である投影レンズ20と、フレーム等の支持部材(図示せず)とを有する。投影レンズ20は、レンズ面21、底面22、レンズ面23を有し、レンズ面23が回転対称非球面であることが大きな特徴である。なお、請求項記載の画像表示手段は画像表示素子6に対応し、請求項記載の光学系

は投影レンズ20及び板状部12に対応する。

[0024] 板状部12は、前記支持部材を介して眼鏡と同様に観察者の頭部に装着され、観察者の眼前に配置される。図中のPは、画像表示素子6からの光に対する射出瞳を示し、P0は射出瞳Pの中心を示す。この射出瞳Pの位置が観察者の眼の瞳の位置とほぼ一致するように、イメージコンバイナ4は観察者の頭部に装着される。従って、射出瞳の中心P0の位置は、観察者の眼の瞳の中心位置とほぼ一致する。

[0025] また、画像表示素子6及び投影レンズ20も前記支持部材により支持され、画像表示素子6は例えば、観察者の眼の斜め上方或いは側方に配置される。これは、観察者が外界を観察することを妨げないようにし、観察者が画像表示装置2を装着するときに邪魔にならないようにするためである。なお、画像表示素子6を他の適切な箇所に配置し、リレー光学系によって図中の画像表示素子6の位置に表示画像を導いてもよいし、或いは、スキャン光学系を用いてその位置に空中画像を形成してもよい。この点は、本実施形態の変形例である実施例3についても同様である。

[0026] 板状部12は、その延在方向に沿った平面である面12a、12bと、反射ミラー24と、体積型の反射型HOE26とを有する。反射型HOE26は、その反射面が平面であり、画像表示装置2が観察者に装着されたときに、板状部12内において観察者の眼と対向する位置付近に配置されている。イメージコンバイナ4は、板状部12の前方から板状部12の厚みdを通過するように、即ち、面12bから入射して面12aから射出するように板状部12を透過する光(以下、外界光という)に、画像表示素子6からの光を重畳させて、観察者の眼に導く。なお、板状部12は、外界光のシースルー性をよくするため、図に示すように反射型HOE26の下方にも延在している(特許文献1の図13と同様)。

[0027] ここで、以下の説明のため、図1における座標系を一例として次のように定義する。板状部12の厚みdの方向に、射出瞳Pから板状部12側へ方向をZ軸正方向とする。板状部12の両面12a、12bの延在方向に沿って、反射型HOE26から投影レンズ20に向かう方向をY軸正方向とし、これらY軸、Z軸に直交する方向に右手系でX軸正方向を定義する。即ち、図1の紙面内の左右方向はZ軸方向であり、紙面内の上下方向はY軸方向であり、紙面に垂直に奥へ方向がX軸正方向である。

- [0028] 反射型HOE26は、画像表示素子6からの光をZ軸負方向に反射するように、X軸方向を軸として面12a、12bに対し所定角度傾けて配置されている。このような構造は、例えば反射型HOE26を板状部12と同じ材質の小片に接着させて作製後、その小片を板状部12を形成する型枠の中に配置し、板状部12の材料を溶かした状態、或いは硬化後に板状部12となる材料を樹脂前駆体の状態で型枠の中に流し込み、その後固めることによって作製可能である。
- [0029] 反射型HOE26は、所定の結像作用を持つように光学的パワーを有し、その回折効率ピークの波長は、画像表示素子6から発せられる光の波長幅の極大部と略一致する。反射型HOE26としては、外界光が板状部12を透過することを極力妨げないように、波長選択性の高いものを用いることが好ましい。また、例えば赤、緑、青の三原色を代表する狭い波長域の3波長光に対してそれぞれ波長選択性を持つ反射型HOE26を用い、結像される表示画像をカラー化してもよい。なお、反射型HOE26は、必ずしも光学的パワーを持つ必要はないが、若干の光学的パワーを持つ方が収差補正上好ましい。
- [0030] 反射型HOE26を構成するホログラム感光材料には、例えば、フォトポリマー、フォトレジスト、フォトクロミック、フォトダイクロミック、銀塩乳剤、重クロム酸ゼラチン、ダイクロメートゼラチン、プラスチック、強誘電体、磁気光学材料、電気光学材料、非晶質半導体、フォトリフラクティブ材料等を用いればよい。そして、公知の手法に従い、製造用の光学系にて2つの光源からの光を感光材料に同時に照射することによって、反射型HOE26を作製できる。
- [0031] 以下、図1を用いて画像表示装置2内の光路を説明する。透過型液晶表示素子7の画素領域上の任意の点を通過した光(表示画像の光束)は、投影レンズ20のレンズ面21から入射し、底面22で正反射し、レンズ面23(回転対称非球面)から射出する。投影レンズ20から射出した光は、板状部12の面12aの領域R1から板状部12内に入射し、反射ミラー24で図の下方へ偏向反射され、面12aの領域R2に臨界角より大きい入射角で入射し、領域R2で全反射される。
- [0032] この反射光は、板状部12の面12bの領域R3、面12aのR4、面12bのR5、面12aのR6に順次臨界角より大きい入射角で入射し、全反射を繰り返した後、反射型HO

E26に入射する。この入射光は、反射型HOE26により、反射回折作用及び結像作用を受けて反射された後、板状部12の面12aの領域R7から板状部12外へ射出する。このとき、透過型液晶表示素子7の同一箇所から出た光は、射出瞳Pから無限遠又は所定距離の位置に拡大虚像を形成するように、射出瞳Pの位置に置かれた観察者の眼の瞳に入射する。

[0033] 画像表示素子6から発せられ、反射型HOE26で回折反射された後に観察者の眼に達する光は、LED8の発光スペクトル特性と反射型HOE26の波長選択性とはに応じて、通常は1つの波長領域の成分のみを持つ。しかし、例えばLED8として白色のものを用いる場合には、反射型HOE26として前述したようなカラー対応のものを用いることにより、離散的な複数の波長領域成分を持たせることができる。

[0034] ここで、画像表示素子6から発せられ、反射型HOE26で回折反射された後に観察者の眼に到達する光の内、透過型液晶表示素子7の中心A0から発せられて射出瞳の中心P0に到達する光線について考える。波長領域が離散していない場合、この光線の波長領域の略中心波長である光線を主光線と定義し、離散的な複数の波長領域を有する場合、最も短波長側の波長領域の略中心波長である光線を主光線と定義する。そして、主光線の経路を、画像表示装置2全体の光軸と定義する。本実施形態では、光軸は1本の直線ではなく、互いに傾いた線分を連結した形状となっている。これらの点は、変形例である実施例3についても同様である。

[0035] ここで、面12aの領域R7から射出して観察者の眼の瞳の中心P0へ向かう光軸の位置を基準とし、Y軸方向に沿って、画像表示装置2の板状部12以外の部材が外界光の透過を妨げる位置までの距離をハーフボクシングサイズと定義する。ハーフボクシングサイズは、図1内の矢印で示した長さLに相当する。画像表示装置2は、観察者の眼前に配置されることを想定しており、外界光の透過を妨げないことが望ましく、そのためにはハーフボクシングサイズが長い方が望ましい。観察者が画像表示装置2を装着したときに観察者から見た上下方向をY軸方向と一致させた場合、ハーフボクシングサイズは、片側約15mm以上あれば十分である。観察者が画像表示装置2を装着したときに観察者から見た左右方向をY軸方向と一致させた場合、ハーフボクシングサイズは、片側約20mm以上あれば十分である。

[0036] また、画像表示装置2は軽い方が望ましいから、板状部12の厚さd(面12a、12bの間隔)は薄い方が好ましい。そこで、厚さdを3mm～3.5mmで固定した場合において、反射型HOE26の反射面が視線方向となす角度の適正值について考える。まず、図1の状態よりも、面12aと反射型HOE26の反射面との角度を小さくする場合、即ち、反射型HOE26の反射面の法線に対する視線の角度を小さくする場合を考える。

[0037] この場合、反射型HOE26の反射面に入射する光線の入射角と反射角が概略等しいことを考慮すれば、画像表示素子6からの光が板状部12内において繰り返し反射する際に、その光が面12a、12bに入射する入射角も小さくなる。その場合、面12a、12bで繰り返し反射する光線の全光路長は図1の状態より短くなるから、ハーフボクシングサイズが短くなる。

[0038] 反対に、図1の状態よりも、面12aと反射型HOE26の反射面との角度を大きくする場合、ハーフボクシングサイズは長くなるが、Y軸方向において反射型HOE26の有効径は小さくなる。即ち、反射型HOE26によって視線方向に反射する全光束の断面積は、小さくなる。その場合、透過型液晶表示素子7上の表示画像を投影するために必要な光束がケラれることになり、周辺光が大幅に減光する。本発明者の解析によれば、厚さdを3mm～3.5mmで固定する場合、反射型HOE26の反射面の法線に対する視線の角度を $\theta(^{\circ})$ とすれば、 $\theta$ は $25^{\circ}$ 以上 $35^{\circ}$ 以下であることが望ましい。

[0039] 本実施形態では、反射型HOE26の反射面の中心は、面12a－12bの中間に位置する。ここで、d線(587.56nm)を用いて測定した板状部12の屈折率をndとし、レンズ面23から板状部12の面12aまでの距離をtとし、面12aから射出瞳Pまでの距離をERとする。このとき、図1に示す光路では、主光線がレンズ面23から射出してから、射出瞳Pに達するまでを光軸に沿って測った空気換算距離Sは、次式で表される。

[0040] 
$$S = ER + t + [1 + \{5 / \sin(90 - 2\theta)\}] \times d / nd \cdots (2)$$

観察者の装着性を高めるためには、アイレリーフに相応する距離である空気換算距離Sが長くなるように設計する必要がある。そこで、後述の実施例1、実施例2では、上式において $ER = 13\text{mm}$ 、 $t = 1\text{mm}$ 、 $\theta = 29.2^{\circ}$ 、 $d = 3.4\text{mm}$ 、 $nd = 1.596229$

とすることで、 $S=35.5\text{mm}$ とする。なお、変形例である実施例3の空気換算距離 $S$ の式は、(2)式とは若干異なり、 $t$ の項がないが、 $ER$ 、 $\theta$ 、 $d$ 、 $n$ は上記と同じ値を用いる。

[0041] 本発明者は、米国のOptical Research Associates 社製のcode Vを光学設計プログラムとして用いて、本実施形態の画像表示装置2を実施例1、実施例2として具体化し、その変形例を実施例3として具体化した。その説明に先立って、実施例1～実施例3で共通の光学的諸量や、反射型HOE26のホログラムの定義方法、回転対称非球面の定義方法について以下に説明する。なお、実施例3は、変形例なので、上述の画像表示装置2とは対応する部材や面の符号が異なるが、ここでは図1で付した符号で説明する。

[0042] 上述のように板状部12の屈折率 $n_d$ は、1.596229とし、アッベ数  $v_d$ は、40.4とする。また、ホログラムを記録する乳剤には一例として、厚み $20\mu\text{m}$ 、屈折率1.493、屈折率変調0.0224のものを使用する。

反射型HOE26のホログラムは、作製時の露光に用いる2光束を定義することにより、一義的に規定する。2光束は、各光源からの出射ビームが収束するか、発散するかの情報と、光源の位置とで定義する。実施例1～実施例3では一例として、第1の点光源(以下、第1光源と略記)は収束、第2の点光源(以下、第2光源と略記)は発散とする。また、第1光源の座標を( $HX1, HY1, HZ1$ )、第2光源の座標を( $HX2, HY2, HZ2$ )とする(後述の表1、表4、表7を参照)。

[0043] ここで、反射型HOE26は、結像性能を最適にするため、位相関数成分を有する。位相関数は、作製時の2つの点光源により定義されるもの以外の非球面的な位相変換量を定義するものであり、光学設計プログラムcode Vでは、 $X, Y$ 軸成分の多項式係数などを用いて指定できる。反射型HOE26の反射面を $XY$ 座標面とし、座標( $X, Y$ )で表される位置に入射する光線の受ける光路差を、使用する波長で規格化した値で表す。 $m, n$ を整数とすると、位相関数は、次式で表される多項式の係数を指定することで定義できる。

[0044] [数1]

$$\sum_{m=0}^{10} \sum_{n=0}^{10} C_{mn} \cdot X^m \cdot Y^n \quad \dots (3)$$

- [0045] (3)式の係数は、65個まで指定可能であり、順にC1,C2,C3,⋯,C65と定義し、係数の順番をjという整数で表す。このとき、X座標及びY座標の次数を示す整数m,nとの間に次式の関係が成り立つように対応付ける。

$$j = \{(m+n)^2 + m + 3n\} / 2 \dots (4)$$

従って、位相関数φは、次式で示される多項式で定義される。

$$[0046] \quad \phi = C_1 X + C_2 Y + C_3 X^2 + C_4 XY + C_5 Y^2 + \dots + C_{65} Y^{10} \dots (5)$$

また、投影レンズ20のレンズ面23で用いた回転対称非球面は、その回転中心軸(光軸)をZ軸とし、回転対称非球面と光軸との交点を原点としたときのレンズ面23上の点(x,y)でのZ軸座標値、即ち、サグ量Zにより定義する。このサグ量Zは、次式で表される。

- [0047] [数2]

$$Z = \frac{CURV \cdot Y}{1 + \sqrt{1 - (1 + K) \cdot CURV^2 \cdot Y^2}} + A \cdot Y^4 + B \cdot Y^6 + C \cdot Y^8 \dots (6)$$

- [0048] (6)式において、Yは回転対称非球面上の任意の頂点と光軸の最短距離、CURVは頂点曲率、Kは円錐定数、Aは4次の非球面係数、Bは6次の非球面係数、Cは8次の非球面係数である。頂点曲率半径をRとすれば、 $CURV = 1/R$ と表される。そして、以下の実施例1～実施例3では、射出瞳Pからの距離が600mmの位置に画像表示素子6の表示画像の拡大虚像を形成し、射出瞳Pの径が3mmとなるように設計した。

#### 実施例 1

- [0049] 実施例1は、ハーフボクシングサイズLを23.6mm、空気換算距離Sを35.5mmとして設計した例であり、光路図は、図1と同じである。透過型液晶表示素子7は、0.24インチ相当で、全画素領域のサイズが3.6mm×4.8mmである(図1の点A1-A2間の長さが3.6mm、X軸方向の長さが4.8mm)。また、図1のY軸方向の視野角は10°(±5°)であり、X軸方向の視野角は±6.66°である。使用波長は約480nm～約540nmの波長幅である。

[0050] 反射型HOE26の作製時の露光波長は532nmとし、そのときの乳剤の収縮率は2%とする。さらに、実験結果に基づき、乳剤の処理(現像処理、以降、処理という)後の屈折率シフトを0.029とする。処理後の乳剤の物性変化により再生光の波長は変動し、軸上光束の再生の中心波長は519.3nmである。実施例1の光線追跡のための諸量を、以下の表1に示す。

[0051] [表1]

| 面番号 (符号)                                                                                        | 曲率半径       | 屈折率       | アッベ数  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-------|
| 1: (P)                                                                                          | INFINITY   | 1. 596229 | 40. 4 |
| 2: (12a:R7)                                                                                     | INFINITY   |           |       |
| 3: (26、HOE)                                                                                     | INFINITY   |           |       |
| 反射面                                                                                             |            |           |       |
| 二光源の定義                                                                                          |            |           |       |
| HX1:0. 000000, HY1:-0. 719109×10 <sup>20</sup> , HZ1:-0. 694897×10 <sup>20</sup>                |            |           |       |
| HX2:0. 000000, HY2:0. 162287×10 <sup>3</sup> , HZ2:-0. 159682×10 <sup>3</sup>                   |            |           |       |
| 露光波長 HWL: 532. 00nm                                                                             |            |           |       |
| 位相係数                                                                                            |            |           |       |
| C2 :6. 3481×10 <sup>-3</sup> , C3 : -3. 2393×10 <sup>-4</sup> , C5:-8. 3899×10 <sup>-4</sup> ,  |            |           |       |
| C7 :1. 2584×10 <sup>-4</sup> , C9 :2. 6560×10 <sup>-5</sup> , C10:-5. 8390×10 <sup>-5</sup> ,   |            |           |       |
| C12:-8. 8736×10 <sup>-5</sup> , C14:2. 6092×10 <sup>-5</sup> , C16:-2. 0449×10 <sup>-5</sup> ,  |            |           |       |
| C18:-1. 3551×10 <sup>-5</sup> , C20:4. 8979×10 <sup>-6</sup> , C21:8. 3955×10 <sup>-6</sup> ,   |            |           |       |
| C23:2. 5100×10 <sup>-5</sup> , C25:1. 0457×10 <sup>-5</sup> , C27:-2. 0459×10 <sup>-5</sup> ,   |            |           |       |
| C29:2. 0598×10 <sup>-6</sup> , C31:1. 8007×10 <sup>-6</sup> , C33:3. 6216×10 <sup>-6</sup> ,    |            |           |       |
| C35:-2. 4088×10 <sup>-6</sup> , C36:-5. 2921×10 <sup>-7</sup> , C38:-2. 6347×10 <sup>-6</sup> , |            |           |       |
| C40:-4. 0255×10 <sup>-6</sup> , C42:7. 4464×10 <sup>-7</sup> , C44:4. 0802×10 <sup>-6</sup> ,   |            |           |       |
| C46:-8. 1688×10 <sup>-8</sup> , C48:-6. 1952×10 <sup>-8</sup> , C50:-2. 0271×10 <sup>-7</sup> , |            |           |       |
| C52:-2. 8680×10 <sup>-7</sup> , C54:2. 2603×10 <sup>-7</sup> , C55:9. 8061×10 <sup>-9</sup> ,   |            |           |       |
| C57:8. 2452×10 <sup>-8</sup> , C59:2. 1525×10 <sup>-7</sup> , C61:1. 7004×10 <sup>-7</sup> ,    |            |           |       |
| C63:-1. 1420×10 <sup>-7</sup> , C65:-2. 7689×10 <sup>-7</sup>                                   |            |           |       |
| 4: (12a:R6)                                                                                     | INFINITY   | 反射面       |       |
| 5: (12b:R5)                                                                                     | INFINITY   | 反射面       |       |
| 6: (12a:R4)                                                                                     | INFINITY   | 反射面       |       |
| 7: (12b:R3)                                                                                     | INFINITY   | 反射面       |       |
| 8: (12a:R2)                                                                                     | INFINITY   | 反射面       |       |
| 9: (24)                                                                                         | INFINITY   | 反射面       |       |
| 10: (12a:R1)                                                                                    | INFINITY   | 1. 596229 | 40. 4 |
| 11: (23)                                                                                        | -19. 10058 |           |       |
| 回転対称非球面                                                                                         |            |           |       |
| K:0. 000000, A:0. 836080×10 <sup>-4</sup>                                                       |            |           |       |
| B:-0. 838620×10 <sup>-6</sup> , C:0. 110498×10 <sup>-7</sup>                                    |            |           |       |
| 12: (22)                                                                                        | INFINITY   | 反射面       |       |
| 13: (21)                                                                                        | -20. 29640 |           |       |
| 14: (7)                                                                                         | INFINITY   |           |       |

[0052] 表1において、光線追跡の順序(光学面の順序)は、観察者の眼の瞳面(射出瞳Pの面)から画像表示素子6への順であり、その順に1~14の面番号を付し、対応する

図1中の符号を括弧書きで示している。この表記方法は、後述する他の表についても同様である。

また、実施例1における各面の位置関係として、図1の射出瞳P(面番号1)の中心を原点 $(X,Y,Z) = (0,0,0)$ とした各面の中心の絶対位置と、X軸周りの回転量(図1で反時計周りを正として測った値)を、下記の表2に示す。

[0053] [表2]

| 面番号 (符号)   | X 座標値 | Y 座標値    | Z 座標値    | X 軸周りの<br>回転角度[degree] |
|------------|-------|----------|----------|------------------------|
| 1(P)       | 0.00  | 0.00     | 0.00     | 0.00                   |
| 2(12a:R7)  | 0.00  | 0.00     | 13.0     | 0.00                   |
| 3(26,H0E)  | 0.00  | 0.00     | 14.7     | -29.2                  |
| 4(12a:R6)  | 0.00  | 2.76331  | 13.0     | 0.00                   |
| 5(12b:R5)  | 0.00  | 8.28993  | 16.4     | 0.00                   |
| 6(12a:R4)  | 0.00  | 13.81654 | 13.0     | 0.00                   |
| 7(12b:R3)  | 0.00  | 19.34316 | 16.4     | 0.00                   |
| 8(12a:R2)  | 0.00  | 24.86978 | 13.0     | 0.00                   |
| 9(24)      | 0.00  | 27.63309 | 14.7     | 29.2                   |
| 10(12a:R1) | 0.00  | 27.63309 | 13.00    | 0.00                   |
| 11(23)     | 0.00  | 27.63309 | 12.0     | 0.00                   |
| 12(22)     | 0.00  | 27.63309 | 4.00     | 60.0                   |
| 13(21)     | 0.00  | 34.12828 | 0.250    | 120                    |
| 14(7)      | 0.00  | 43.48168 | -5.15019 | 20.0                   |

[0054] さらに、各々の面に対し、その光軸(平面ならその法線)をZ軸とすると共に、光軸とその面との交点を原点としたローカル座標 $LX, LY, LZ$ をそれぞれ定義する。主光線を追跡して、主光線が各面に到達する位置をローカル座標でそれぞれ表したものを、下記の表3に示す。

[0055] [表3]

| 面番号(符号)    | LX   | LY   | LZ   | 入射角  | 反射角  | 面の作用 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| 1(P)       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |
| 2(12a:R7)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 3(26, HOE) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.2 | 29.2 | 反射   |
| 4(12a:R6)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 5(12b:R5)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 6(12a:R4)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 7(12b:R3)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 8(12a:R2)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 9(24)      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.2 | 29.2 | 反射   |
| 10(12a:R1) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 11(23)     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 12(22)     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 60.0 | 60.0 | 反射   |
| 13(21)     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 14(7)      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |      |

[0056] 表3に示すように、主光線は、各々の面でその原点を通過し、屈折面での入射角が $0^{\circ}$ である。即ち、全ての面で、主光線がローカル座標の原点を通過する共軸配置であり、屈折面での主光線の入射角が $0^{\circ}$ となっている。ここで、ローカル座標の一例として面番号3の反射型HOE26の例を図2に示す。図2の座標系は、反射型HOE26の反射面が光軸と交わる点を原点とし、反射型HOE26の反射面の法線に沿って面12a側から面12b側の方向にZ軸正方向を定義し、右手系でX軸、Y軸を定義する。X軸は、反射型HOE26の反射面の延在方向に平行に面12a,12bの中間に

延在する線であり、X軸正方向は、紙面に垂直に奥へ方向になる。Y軸正方向は、反射型HOE26の反射面の延在方向に平行に、面12a側から面12b側へ方向である。なお、前述の説明と重複するが、図に示すように、反射型HOE26の反射面の中心は板状部12の厚さ方向に沿って面12aから1.7mmの位置にあり、反射型HOE26の反射面と面12aとの角度 $\theta$ は $29.2^\circ$ である。

[0057] 図3は、実施例1の反射型HOE26の位相関数を示しており、即ち、図3のX、Y座標は反射型HOE26の面のローカル座標のX、Y座標であり、縦軸は位相関数の値を示している。図4は、その位相関数から、波面の進行方向を変換する傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。このグラフの形状は、反射型HOE26による波面変換作用後の波面の、非球面成分を表す。図5は、図4における $X=0$ の部分抽出したグラフであり、横軸はY座標、縦軸は位相関数の値を示す。図3～図5から分かるように、実施例1の位相関数で定義された反射型HOE26で変換される波面は、進行方向変換成分と、パワー成分を除いた位相分布が、概ね対称な形状になっている。

[0058] 図6は、実施例1の回転対称非球面(レンズ面23)の形状を実線で示し、その頂点の曲率半径により表される球面の形状を点線で示したグラフである。即ち、図6は、回転対称非球面上における光軸上の点を原点とし、点線で示す球面は、原点を通り、この球面の中心は、回転対称非球面の光軸上に位置する。横軸は原点からの光軸方向の距離を示し、縦軸は光軸からの高さを示す。図に示すように、実施例1の回転対称非球面は、光軸上において最も曲率半径が小さく、光軸から離れるほど曲率半径が大きくなっている。

[0059] 図6を用いて、前述の(1)式について補足説明する。本明細書での最軸外主光線とは、透過型液晶表示素子7の全画素領域の四隅のいずれかから射出して、射出瞳の中心P0へ向かう光線である。この最軸外主光線が回転対称非球面に入射する位置Aと、光軸との距離 $h$ は、図に示すように5.14mmである。そして、最軸外主光線が球面に入射する位置から、前記位置Aまでを光軸方向に測った変位量 $dx$ は、図に示すように0.0483mmである。

[0060]  $dx/h < 0.001$ の場合、即ち、(1)式の下限値を下回る場合、射出瞳Pから画像表

示素子6へ光線追跡した際のディストーションの値は、表1～表3に示した実施例1の条件では、 $-18\%$ となる。この場合、実際の観察状態において非常に激しい糸巻き型のディストーションになってしまうので、好ましくない。反対に、実施例1の条件において、 $dx/h > 0.1$ の場合、即ち、(1)式の上限值を上回る場合、同様に光線追跡した際のディストーションの値は、 $+25\%$ となる。この場合、実際の観察状態において非常に激しい樽型のディストーションになってしまうので、好ましくない。以上の理由から、 $|dx/h|$ の望ましい値は(1)式のように定まり、実施例1では、 $|dx/h| = 0.0094$ であり、条件を満たしている。

[0061] 図7は、実施例1において、射出瞳Pから画像表示素子6へ光線追跡した場合の横収差及びディストーションを示す収差図である。図7(a)～(e)は、回折効率がピークとなる波長の横収差を実線で示し、ピークに対する半値幅の波長(回折主波長の前後約7nm)の横収差をそれぞれ点線及び一点鎖線で示したものである。前述のように画角はX方向が $\pm 6.66^\circ$ 、Y方向が $\pm 5^\circ$ であり、横軸は射出瞳P面上の位置、縦軸は像面上の位置を示す。

[0062] 図7(a)は、X方向画角 $6.66^\circ$ 、Y方向画角 $5^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を図の右側に示し、Y方向の横収差を左側に示す。同様に、図7(b)は、X方向画角 $3.33^\circ$ 、Y方向画角 $2.5^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を右側に、Y方向の横収差を左側に示す。図7(c)は、X方向画角 $0^\circ$ 、Y方向画角 $0^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を右側に、Y方向の横収差を左側に示す。図7(d)は、X方向画角 $-3.33^\circ$ 、Y方向画角 $-2.5^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を右側に、Y方向の横収差を左側に示す。図7(e)は、X方向画角 $-6.66^\circ$ 、Y方向画角 $-5^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を右側に、Y方向の横収差を左側に示す。図7(f)は、透過型液晶表示素子7の全画素領域の対角線の半分の長さを1として規格化し、中心からの距離を縦軸に、ディストーション(%)を横軸にしたグラフである。

[0063] ここで、表1に示したように、反射型HOE26の反射面の延在方向にX軸Y軸を定義した座標系において、その作製時の第1光源のY座標値とZ座標値は20乗オーダーにすることで実質的に無限遠に設定し、X座標値はゼロに設定した。その場合、実際の使用状態では、Y方向の画角によって回折主波長が変動するものとなるが、図7(a)

)～(f)から分かるように、画角内全域に亘り収差が良好に補正されている。

[0064] 以上、実施例1では、ハーフボクシングサイズLを23.6mmとしているので、図1のY軸方向を観察者の左右方向として頭部に装着しても十分なサイズを確保できる。また、(1)式を満たすように回転対称非球面(レンズ面23)を設計したので、ディストーションが大きく糸巻き型または樽型となって見えづらくなることはない。そして、図1に示したように画像表示装置2全体を簡易な構成で小型軽量化した上で、図7に示したように表示画像の周辺部まで良好に収差を補正できる。さらに、反射型HOE26の反射面以外の面は、全て光軸に回転対称な形状及び配置であるため、画像表示装置2の組み立て調整が容易である。

## 実施例 2

[0065] 図8は、実施例2における画像表示装置2の構成、及びその概略の光路を示す。図8における座標系の定義は、図1と同様である。実施例2は、ハーフボクシングサイズLを23.6mm、空気換算距離Sを35.5mmとして設計した例であり、透過型液晶表示素子7として0.16インチ型のものを使用した。透過型液晶表示素子7の全画素領域のサイズは、3.28mm×2.46mmである(図8の点A1－A2間の長さが3.28mm、X軸方向の奥行きが2.46mm)。実施例2では、露光波長を532nm、そのときの乳剤の収縮率を2%、乳剤の処理後の屈折率シフトを0.029、軸上光束の再生の中心波長を519.3nmとする。以下の表4は、実施例2の光線追跡のための諸量を、前述の表1と同様に示したものである。

[0066] [表4]

| 面番号 (符号)                                                                                        | 曲率半径      | 屈折率                                                                                                     | アッベ数 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1: (P)                                                                                          | INFINITY  |                                                                                                         |      |
| 2: (12a:R7)                                                                                     | INFINITY  | 1.596229                                                                                                | 40.4 |
| 3: (26、HOE)                                                                                     | INFINITY  | 反射面                                                                                                     |      |
| 二光源の定義                                                                                          |           |                                                                                                         |      |
| HX1:0.000000, HY1:-0.719109×10 <sup>20</sup> , HZ1:-0.694897×10 <sup>20</sup>                   |           |                                                                                                         |      |
| HX2:0.000000, HY2:0.127995×10 <sup>3</sup> , HZ2:-0.127977×10 <sup>3</sup>                      |           |                                                                                                         |      |
| 露光波長 HWL: 532.00nm                                                                              |           |                                                                                                         |      |
| 位相係数                                                                                            |           |                                                                                                         |      |
| C2 : 1.1933×10 <sup>-2</sup> , C3 : 4.5164×10 <sup>-4</sup> , C5 : -3.7833×10 <sup>-4</sup> ,   |           |                                                                                                         |      |
| C7 : 7.6259×10 <sup>-5</sup> , C9 : 9.4054×10 <sup>-6</sup> , C10: -3.5681×10 <sup>-5</sup> ,   |           |                                                                                                         |      |
| C12: -5.0710×10 <sup>-5</sup> , C14: -8.8448×10 <sup>-6</sup> , C16: -1.8772×10 <sup>-5</sup> , |           |                                                                                                         |      |
| C18: 2.3090×10 <sup>-6</sup> , C20: 4.7910×10 <sup>-6</sup> , C21: 6.7503×10 <sup>-7</sup> ,    |           |                                                                                                         |      |
| C23: 1.3222×10 <sup>-5</sup> , C25: -2.6955×10 <sup>-6</sup> , C27: -1.5770×10 <sup>-6</sup> ,  |           |                                                                                                         |      |
| C29: 3.0661×10 <sup>-6</sup> , C31: -5.7445×10 <sup>-8</sup> , C33: -6.6606×10 <sup>-8</sup> ,  |           |                                                                                                         |      |
| C35: -8.1360×10 <sup>-7</sup> , C36: 5.6833×10 <sup>-7</sup> , C38: -2.1920×10 <sup>-6</sup> ,  |           |                                                                                                         |      |
| C40: -1.6017×10 <sup>-7</sup> , C42: 6.3428×10 <sup>-7</sup> , C44: 2.8290×10 <sup>-7</sup> ,   |           |                                                                                                         |      |
| C46: -2.0162×10 <sup>-7</sup> , C48: 4.5211×10 <sup>-8</sup> , C50: 8.7839×10 <sup>-9</sup> ,   |           |                                                                                                         |      |
| C52: 2.5953×10 <sup>-8</sup> , C54: 4.2969×10 <sup>-8</sup> , C55: -6.3558×10 <sup>-8</sup> ,   |           |                                                                                                         |      |
| C57: 1.623×10 <sup>-7</sup> , C59: -1.0005×10 <sup>-7</sup> , C61: -1.0387×10 <sup>-8</sup> ,   |           |                                                                                                         |      |
| C63: -5.4874×10 <sup>-8</sup> , C65: -1.4373×10 <sup>-8</sup> ,                                 |           |                                                                                                         |      |
| 4: (12a:R6)                                                                                     | INFINITY  | 反射面                                                                                                     |      |
| 5: (12b:R5)                                                                                     | INFINITY  | 反射面                                                                                                     |      |
| 6: (12a:R4)                                                                                     | INFINITY  | 反射面                                                                                                     |      |
| 7: (12b:R3)                                                                                     | INFINITY  | 反射面                                                                                                     |      |
| 8: (12a:R2)                                                                                     | INFINITY  | 反射面                                                                                                     |      |
| 9: (24)                                                                                         | INFINITY  | 反射面                                                                                                     |      |
| 10: (12a:R1)                                                                                    | INFINITY  |                                                                                                         |      |
| 11: (23)                                                                                        | -13.54331 | 1.596229                                                                                                | 40.4 |
| 回転対称非球面                                                                                         |           | K:0.000000, A:0.114053×10 <sup>-3</sup> ,<br>B:-0.130921×10 <sup>-5</sup> , C:0.286580×10 <sup>-7</sup> |      |
| 12: (22)                                                                                        | INFINITY  | 反射面                                                                                                     |      |
| 13: (21)                                                                                        | -18.77672 |                                                                                                         |      |
| 14: (7)                                                                                         | INFINITY  |                                                                                                         |      |

[0067] 実施例1の表2と同様に、実施例2における射出瞳Pの中心を原点とした各光学面の中心の絶対位置と、X軸周りの回転量とを下記の表5に示す。

[0068] [表5]

| 面番号 (符号)    | X 座標値 | Y 座標値    | Z 座標値    | X 軸周りの<br>回転角度[degree] |
|-------------|-------|----------|----------|------------------------|
| 1 (P)       | 0.00  | 0.00     | 0.00     | 0.00                   |
| 2 (12a:R7)  | 0.00  | 0.00     | 13.0     | 0.00                   |
| 3 (26, H0E) | 0.00  | 0.00     | 14.7     | -29.2                  |
| 4 (12a:R6)  | 0.00  | 2.76331  | 13.0     | 0.00                   |
| 5 (12b:R5)  | 0.00  | 8.28993  | 16.4     | 0.00                   |
| 6 (12a:R4)  | 0.00  | 13.81654 | 13.0     | 0.00                   |
| 7 (12b:R3)  | 0.00  | 19.34316 | 16.4     | 0.00                   |
| 8 (12a:R2)  | 0.00  | 24.86978 | 13.0     | 0.00                   |
| 9 (24)      | 0.00  | 27.63309 | 14.7     | 29.2                   |
| 10 (12a:R1) | 0.00  | 27.63309 | 13.0     | 0.00                   |
| 11 (23)     | 0.00  | 27.63309 | 12.0     | 0.00                   |
| 12 (22)     | 0.00  | 27.63309 | 4.00     | 60.0                   |
| 13 (21)     | 0.00  | 34.12828 | 0.250    | 120                    |
| 14 (7)      | 0.00  | 40.57432 | -3.47162 | 120                    |

[0069] さらに、実施例1の表3と同様に、各面に対しローカル座標をそれぞれ定義し、主光線が各面に到達する位置をローカル座標で表したものを下記の表6に示す。

[0070] [表6]

| 面番号(符号)    | LX   | LY   | LZ   | 入射角  | 反射角  | 面の作用 |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| 1(P)       | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |
| 2(12a:R7)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 3(26, HOE) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.2 | 29.2 | 反射   |
| 4(12a:R6)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 5(12b:R5)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 6(12a:R4)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 7(12b:R3)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 8(12a:R2)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 9(24)      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.2 | 29.2 | 反射   |
| 10(12a:R1) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 11(23)     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 12(22)     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 60.0 | 60.0 | 反射   |
| 13(21)     | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 14(7)      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |      |

[0071] 表6から分かるように、全ての面で、主光線がローカル座標の原点を通過する共軸配置であり、屈折面での主光線の入射角が $0^{\circ}$ である。

図9は、実施例2の反射型HOEの位相関数を示すグラフである。図10は、図9の位相関数から、波面の進行方向を変換する傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。図11は、図10における $X=0$ の部分抽出したグラフであり、横軸はY座標、縦軸は位相関数の値を示す。図9～図11から分かるように、実施例2においても、反射型HOE26を定義する位相関数は、その進

行方向変換成分とパワー成分を除いた位相分布がX軸方向に対しても、Y軸方向に対しても概ね対称な形状である。

[0072] 図12は、実施例2の回転対称非球面(レンズ面23)の形状を実線で、回転対称非球面の頂点曲率半径により表される球面の形状を点線で、図6と同様に示したグラフである。図に示すように、実施例2の回転対称非球面も、実施例1と同様に、光軸上において最も曲率半径が小さく、光軸から離れるほど曲率半径が大きい。実施例2では、最軸外主光線が回転対称非球面に入射する位置Aと、光軸との距離hは、図に示すように3.71mmである。前記位置Aから回転対称非球面における光軸上の頂点の曲率半径で表される球面までを光軸方向に測った変位量dxは、図に示すように0.0192mmである。従って、条件式(1)に対応する数値は、 $|dx/h| = 0.0052$ であり、実施例2においても(1)式を満たしている。

[0073] 図13は、実施例2において射出瞳Pから画像表示素子6へ光線追跡した際の横収差及びディストーションを図7と同様に示したものである。図13(a)～(e)の実線は、回折効率がピークとなる波長であり、点線及び一点鎖線はそれぞれ、ピークに対する半値幅の波長である。画角はX方向が $\pm 4.08^\circ$ 、Y方向が $\pm 4.4^\circ$ であり、横軸は射出瞳P面上の位置、縦軸は像面上の位置を示す。

[0074] なお、図13(a)～(e)で示した画角は、前述の図7(a)～(e)とは異なり、(a)はX方向画角 $4.08^\circ$ 、Y方向画角 $4.4^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を右側に、Y方向の横収差を左側に示す。図13(b)は、X方向画角 $2.04^\circ$ 、Y方向画角 $2.72^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を右側に、Y方向の横収差を左側に示す。図13(c)は、X方向画角 $0^\circ$ 、Y方向画角 $0^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を右側に、Y方向の横収差を左側に示す。図13(d)は、X方向画角 $-2.04^\circ$ 、Y方向画角 $-2.72^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を右側に、Y方向の横収差を左側に示す。図13(e)は、X方向画角 $-4.08^\circ$ 、Y方向画角 $-4.4^\circ$ を通る主光線のX方向の横収差を右側に、Y方向の横収差を左側に示す。

[0075] 表4に示したように、反射型HOE26の作製時の第1光源のY座標値とZ座標値を実施例1と同様に実質的に無限遠に設定している。従って、実施例2においてもY方向の画角によって回折主波長が変動するものとなるが、図13(a)～(f)から分かるよう

に、画角内全域に亘り収差が良好に補正されている。以上、実施例2においても、実施例1と同様の効果が得られる。

### 実施例 3

[0076] 図14は、実施例3における画像表示装置の構成、及びその概略の光路を示す。図14における座標系の定義は、図1と同様である。実施例3と、実施例1及び実施例2との主な違いは、実施例3では投影レンズ20を用いず、板状部72に回転対称非球面72cを形成したことである。なお、実施例3でのハーフボクシングサイズLは20mmである。

図14に示すように、画像表示装置62は、イメージコンバイナ64と、画像表示素子6とを備えている。イメージコンバイナ64は、前記したフレーム等の支持部材(図示せず)と、板状部72とを有する。板状部72は、画像表示素子6側の一端が突出しており、その突出部の表面は回転対称非球面72cとして形成されている。板状部72内において回転対称非球面72cとは反対側には、実施例1、実施例2と同様に体積型の反射型HOE76が配置されている。

[0077] 以下、図14を用いて画像表示装置62内の光路を説明する。透過型液晶表示素子7の画素領域上の任意の点を通過した光(表示画像の光束)は、回転対称非球面72cから板状部72内に入射する。このとき、透過型液晶表示素子7の画素領域の中心A0から射出して射出瞳Pの中心P0へ向かう主光線は、この回転対称非球面72cの回転中心軸(光軸)に沿って板状部72内を通過する。

[0078] その後、板状部72の面72bの領域R'3、面72aの領域R'4、面72bの領域R'5、面72aの領域R'6に順次臨界角より大きい入射角で入射し、全反射を繰り返した後、反射型HOE76に入射する。この入射光は、反射型HOE76により、反射回折作用及び結像作用を受けて反射された後、板状部72の面72aの領域R'7から板状部72外へ射出される。このとき、透過型液晶表示素子7の同一箇所から射出した光は、射出瞳Pから600mmの位置に拡大虚像を形成するように、観察者の眼の瞳に入射する。

[0079] 実施例3においても、実施例1と同様に、反射型HOE76の反射面の法線に対する視線の角度を $\theta$ ( $^{\circ}$ )とし、板状部72の屈折率をnとし、板状部72の面72aから射出

瞳Pまでの距離をERとする。また、面72cの頂点から面72bの領域R'3までの光軸に沿った長さをlcとする。このとき、図14に示す実施例3の光路では、主光線が回転対称非球面72cに入射してから、射出瞳Pまでの光軸に沿って測った空気換算距離Sは、次式で表される。

[0080] 
$$S = ER + \{0.5 + 3.5 \times \sin(90 - 2\theta)\} \times (d/n) + (lc/n) \cdots (7)$$

実施例3では、上式における各値を、 $ER = 13\text{mm}$ 、 $\theta = 29.2^\circ$ 、 $d = 3.4\text{mm}$ 、 $n = 1.596229$ とし、空気換算距離 $S = 24.6\text{mm}$ とした。従って、実施例3もアイレリーフに相応する距離が十分に長くされている。また、ハーフボクシングサイズLは20mmとしているので、図14のY軸方向を観察者の左右方向として配置しても十分なサイズを確保している。

[0081] 実施例3では、透過型液晶表示素子7の全画素領域のサイズは、 $3.6\text{mm} \times 4.8\text{mm}$ である(図14の点A1-A2間の長さが3.6mm、X軸方向の長さが4.8mm)。また、実施例3では、露光波長を647nm、そのときの乳剤の収縮率を2%、乳剤の処理後の屈折率シフトを0.029、軸上光束の再生の中心波長を634.38nmとする。以下の表7は、実施例3の光線追跡のための諸量を、前述の表1と同様に示したものである。

[0082] [表7]

| 面番号 (符号)                                                                                        | 曲率半径     | 屈折率                                                                                                        | アッベ数 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1: (P)                                                                                          | INFINITY | 1.596229                                                                                                   | 40.4 |
| 2: (72a:R' 7)                                                                                   | INFINITY |                                                                                                            |      |
| 3: (76、HOE)                                                                                     | INFINITY |                                                                                                            |      |
| 反射面                                                                                             |          |                                                                                                            |      |
| 二光源の定義                                                                                          |          |                                                                                                            |      |
| HX1:0.000000, HY1:-0.719109×10 <sup>20</sup> , HZ1:-0.694897×10 <sup>20</sup>                   |          |                                                                                                            |      |
| HX2:0.000000, HY2:0.162287×10 <sup>3</sup> , HZ2:-0.159682×10 <sup>3</sup>                      |          |                                                                                                            |      |
| 露光波長 HWL: 647.00nm                                                                              |          |                                                                                                            |      |
| 位相係数                                                                                            |          |                                                                                                            |      |
| C2 : 6.2596×10 <sup>-3</sup> , C3 : -3.6637×10 <sup>-4</sup> , C5 : -8.1748×10 <sup>-4</sup> ,  |          |                                                                                                            |      |
| C7 : 8.5324×10 <sup>-5</sup> , C9 : -7.7183×10 <sup>-7</sup> , C10: 5.6679×10 <sup>-5</sup> ,   |          |                                                                                                            |      |
| C12: 7.6967×10 <sup>-5</sup> , C14: 2.0062×10 <sup>-5</sup> , C16: -1.5370×10 <sup>-5</sup> ,   |          |                                                                                                            |      |
| C18: -3.8721×10 <sup>-6</sup> , C20: 1.1478×10 <sup>-5</sup> , C21: 1.820×10 <sup>-6</sup> ,    |          |                                                                                                            |      |
| C23: 4.1900×10 <sup>-6</sup> , C25: 4.9410×10 <sup>-6</sup> , C27: 6.9339×10 <sup>-6</sup> ,    |          |                                                                                                            |      |
| C29: 1.3974×10 <sup>-6</sup> , C31: 3.0772×10 <sup>-7</sup> , C33: 1.4397×10 <sup>-7</sup> ,    |          |                                                                                                            |      |
| C35: -3.4464×10 <sup>-6</sup> , C36: -2.1906×10 <sup>-7</sup> , C38: -3.4330×10 <sup>-7</sup> , |          |                                                                                                            |      |
| C40: -1.4426×10 <sup>-6</sup> , C42: -2.8081×10 <sup>-7</sup> , C44: -1.5625×10 <sup>-6</sup> , |          |                                                                                                            |      |
| C46: -4.8204×10 <sup>-8</sup> , C48: -2.6803×10 <sup>-8</sup> , C50: 2.5466×10 <sup>-8</sup> ,  |          |                                                                                                            |      |
| C52: -6.7083×10 <sup>-9</sup> , C54: 2.8660×10 <sup>-7</sup> , C55: 8.3011×10 <sup>-9</sup> ,   |          |                                                                                                            |      |
| C57: 6.0792×10 <sup>-9</sup> , C59: 7.1653×10 <sup>-8</sup> , C61: 7.0295×10 <sup>-8</sup> ,    |          |                                                                                                            |      |
| C63: 2.3798×10 <sup>-8</sup> , C65: 1.1105×10 <sup>-7</sup> ,                                   |          |                                                                                                            |      |
| 4: (72a:R' 6)                                                                                   | INFINITY | 反射面                                                                                                        |      |
| 5: (72b:R' 5)                                                                                   | INFINITY | 反射面                                                                                                        |      |
| 6: (72a:R' 4)                                                                                   | INFINITY | 反射面                                                                                                        |      |
| 7: (72b:R' 3)                                                                                   | INFINITY | 反射面                                                                                                        |      |
| 8: (72c)                                                                                        | 11.71830 | K:0.000000, A:-0.118447×10 <sup>-3</sup> ,<br>B:0.963947×10 <sup>-7</sup> , C:-0.490337×10 <sup>-8</sup> , |      |
| 回転対称非球面                                                                                         |          |                                                                                                            |      |
| 9: (7)                                                                                          | INFINITY |                                                                                                            |      |

[0083] 実施例1の表2と同様に、実施例3における射出瞳Pの中心を原点とした各光学面の中心の絶対位置と、X軸周りの回転量とを下記の表8に示す。

[0084] [表8]

| 面番号 (符号)     | X 座標値 | Y 座標値    | Z 座標値   | X 軸周りの回転角度[degree] |
|--------------|-------|----------|---------|--------------------|
| 1 (P)        | 0.00  | 0.00     | 0.00    | 0.00               |
| 2 (72a:R' 7) | 0.00  | 0.00     | 13.0    | 0.00               |
| 3 (76, HOE)  | 0.00  | 0.00     | 14.7    | -29.2              |
| 4 (72a:R' 6) | 0.00  | 2.76331  | 13.0    | 0.00               |
| 5 (72b:R' 5) | 0.00  | 8.28993  | 16.4    | 0.00               |
| 6 (72a:R' 4) | 0.00  | 13.81654 | 13.0    | 0.00               |
| 7 (72b:R' 3) | 0.00  | 19.34316 | 16.4    | 0.00               |
| 8 (72c)      | 0.00  | 28.34196 | 10.8639 | -58.4              |
| 9 (7)        | 0.00  | 42.9951  | 1.84923 | -58.4              |

[0085] さらに、実施例1の表3と同様に、各面に対しローカル座標をそれぞれ定義し、主光線が各面に到達する位置をローカル座標で表したものを下記の表9に示す。

[0086] [表9]

| 面番号(符号)      | LX   | LY   | LZ   | 入射角  | 反射角  | 面の作用 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|
| 1 (P)        | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |
| 2 (72a:R' 7) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 3 (76, HOE)  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 29.2 | 29.2 | 反射   |
| 4 (72a:R' 6) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 5 (72b:R' 5) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 6 (72a:R' 4) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 7 (72b:R' 3) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 58.4 | 58.4 | 反射   |
| 8 (72c)      | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 屈折   |
| 9 (7)        | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |      |

[0087] 表9から分かるように、実施例3においても、全ての面で、主光線がローカル座標の原点を通過する共軸配置であり、屈折面で主光線の入射角が $0^\circ$ である。

図15は、実施例3の反射型HOEの位相関数を示すグラフである。図16は、図15の位相関数から、波面の進行方向を変換する傾斜成分を差し引いた後、波面形状変換の内のパワー成分を差し引いたグラフである。図17は、図16における $X=0$ の部分抽出したグラフであり、横軸はY座標、縦軸は位相関数の値を示す。図15～図17から分かるように、実施例3においても、反射型HOE76を定義する位相関数は、その進行方向変換成分とパワー成分を差し引いた位相分布がX軸方向に対しても、Y軸方向に対しても対称な形状である。

[0088] 図18は、実施例3の回転対称非球面72cの形状を実線で、回転対称非球面72cにおける光軸上の点での曲率半径により表される球面の形状を点線で、図6と同様に示したグラフである。図に示すように、実施例3の回転対称非球面も、実施例1と同様に、光軸上において最も曲率半径が小さく、光軸から離れるほど曲率半径が大きい。実施例3では、最軸外主光線が回転対称非球面72cに入射する位置Aと、光軸との距離hは、図に示すように4.84mmである。位置Aから、回転対称非球面における光軸上の頂点の曲率半径で表される球面までを光軸方向に測った変位量dxは、図に示すように0.0652mmである。従って、条件式(1)に対応する数値は、 $|dx/h| = 0.0135$ であり、実施例3においても(1)式を満たしている。

[0089] 図19は、実施例3において射出瞳Pから画像表示素子6へ光線追跡した際の横収差及びディストーションを図7と同様に示したものである。図19(a)～(e)の実線は、回折効率がピークとなる波長であり、点線及び一点鎖線はそれぞれ、ピークに対する半値幅の波長である。画角はX方向が $\pm 6.6^\circ$ 、Y方向が $\pm 5^\circ$ であり、横軸は射出瞳P面上の位置、縦軸は像面上の位置を示す。

[0090] 表7に示したように、反射型HOE26の作製時の第1光源のY座標値とZ座標値を実施例1と同様に実質的に無限遠に設定している。従って、実施例3においてもY方向の画角によって回折主波長が変動するが、図19(a)～(f)から分かるように、画角内全域に亘り収差が良好に補正されている。以上、実施例3においても、実施例1と同様の効果が得られる。また、実施例3では、投影レンズ20を設けずに板状部72に

回転対称非球面72cを形成したので、さらに小型軽量化できる。

[0091] なお、実施例1及び実施例2では、板状部12とは別に設けた投影レンズ20に回転対称非球面を備えて収差を補正する例を述べ、実施例3では、板状部72の表面の一部に回転対称非球面を形成して収差を補正する例を述べた。回転対称非球面の配置は、以上の形態には限定されない。回転対称非球面は、例えば、導光板12の内面に形成してもよい。また、本明細書では、1つの回転対称非球面により収差を補正する例を述べたが、複数の回転対称非球面を設けることで収差を補正してもよい。

[0092] 本明細書では、体積型の反射型HOE26(76)を用いる例を述べた。特定の波長、入射角の光のみを回折して必要次数光として結像させ、不要次数光による像ブレの発生を防ぐという点から、体積型の方が望ましいが、表面型の反射型HOEを用いてもよい。

ここで、反射型HOE26(76)における回折の色収差の発生方向は、屈折光学系の色収差の発生方向とは逆であるため、両者が相殺して、色収差補正が可能である。そのため、画像表示装置2(62)の屈折部材(板状部12(72)と投影レンズ20)を、単一の材料、あるいは光学的に等価な材料(例えば、屈折率と分散が等価なガラスと樹脂等)で構成してもよい。

#### 産業上の利用可能性

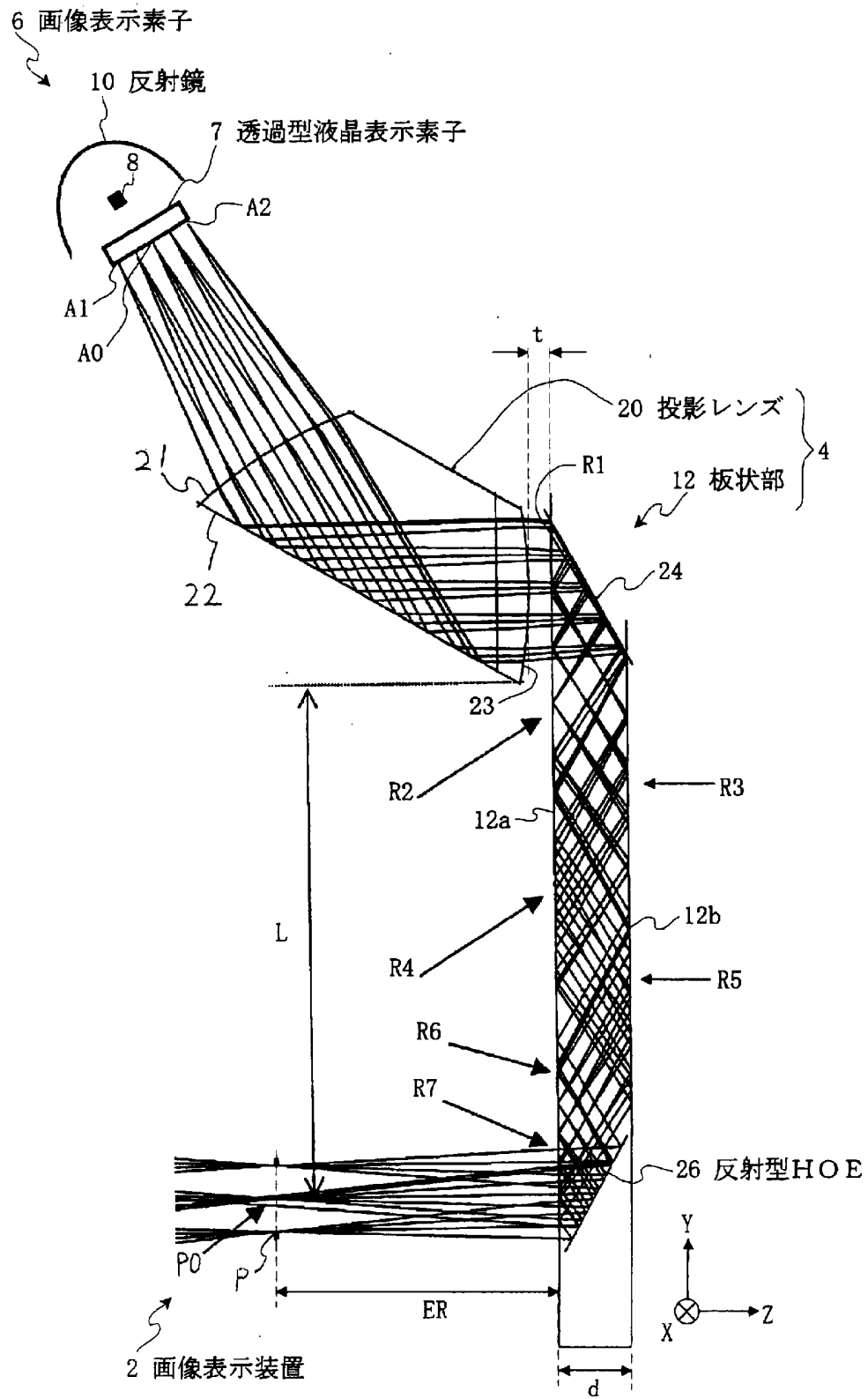
[0093] 以上詳述したように本発明は、イメージコンバイナ及び画像表示装置において大いに利用可能である。

## 請求の範囲

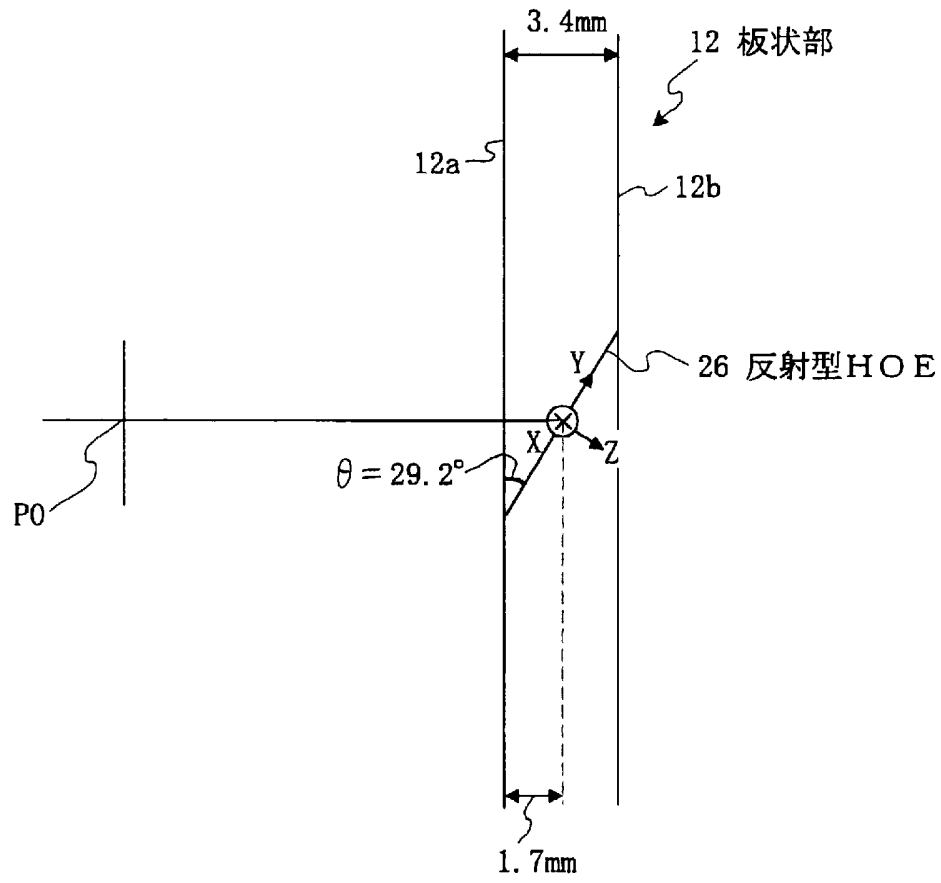
- [1] 反射型ホログラム光学素子を含むと共に画像表示手段から入射する光を所定位置に導く光学系を有し、前記画像表示手段以外から前記光学系に入射して前記光学系を透過する光と、前記画像表示手段からの光とを重畳して観察可能にするイメージコンバイナにおいて、
- 前記光学系の中に少なくとも1つの回転対称非球面を備えたことを特徴とするイメージコンバイナ。
- [2] 請求項1に記載のイメージコンバイナにおいて、
- 前記回転対称非球面は、その回転中心軸付近の曲率半径よりも、前記回転中心軸から離れた周辺部の曲率半径の方が大きいことを特徴とするイメージコンバイナ。
- [3] 請求項2に記載のイメージコンバイナにおいて、
- 前記回転対称非球面は、正の光学的パワーを持つことを特徴とするイメージコンバイナ。
- [4] 請求項1～請求項3のいずれかに記載のイメージコンバイナにおいて、
- 前記反射型ホログラム光学素子が体積型であることを特徴とするイメージコンバイナ。
- [5] 請求項1～請求項4のいずれかに記載のイメージコンバイナにおいて、
- 前記反射型ホログラム光学素子が光学的パワーを持つことを特徴とするイメージコンバイナ。
- [6] 請求項1～請求項5のいずれかに記載のイメージコンバイナにおいて、
- 前記画像表示手段からの最軸外主光線が前記回転対称非球面に入射する位置Aと、前記回転対称非球面の回転中心軸との距離を $h$ と定義し、前記回転対称非球面の頂点Bにおける曲率半径を有する球であって、前記頂点Bを通る球を球Cと定義し、前記位置Aから前記球Cまでの前記回転中心軸の方向の変位量を $dx$ と定義した場合、
- $dx$ を $h$ で割った商の絶対値は、0.001より大きく0.1より小さいことを特徴とするイメージコンバイナ。

- [7]       請求項1～請求項6のいずれかに記載のイメージコンバイナと、  
前記画像表示手段として、表示画像を示す光束を前記イメージコンバイナに入射させる画像表示素子とを備えた  
ことを特徴とする画像表示装置。

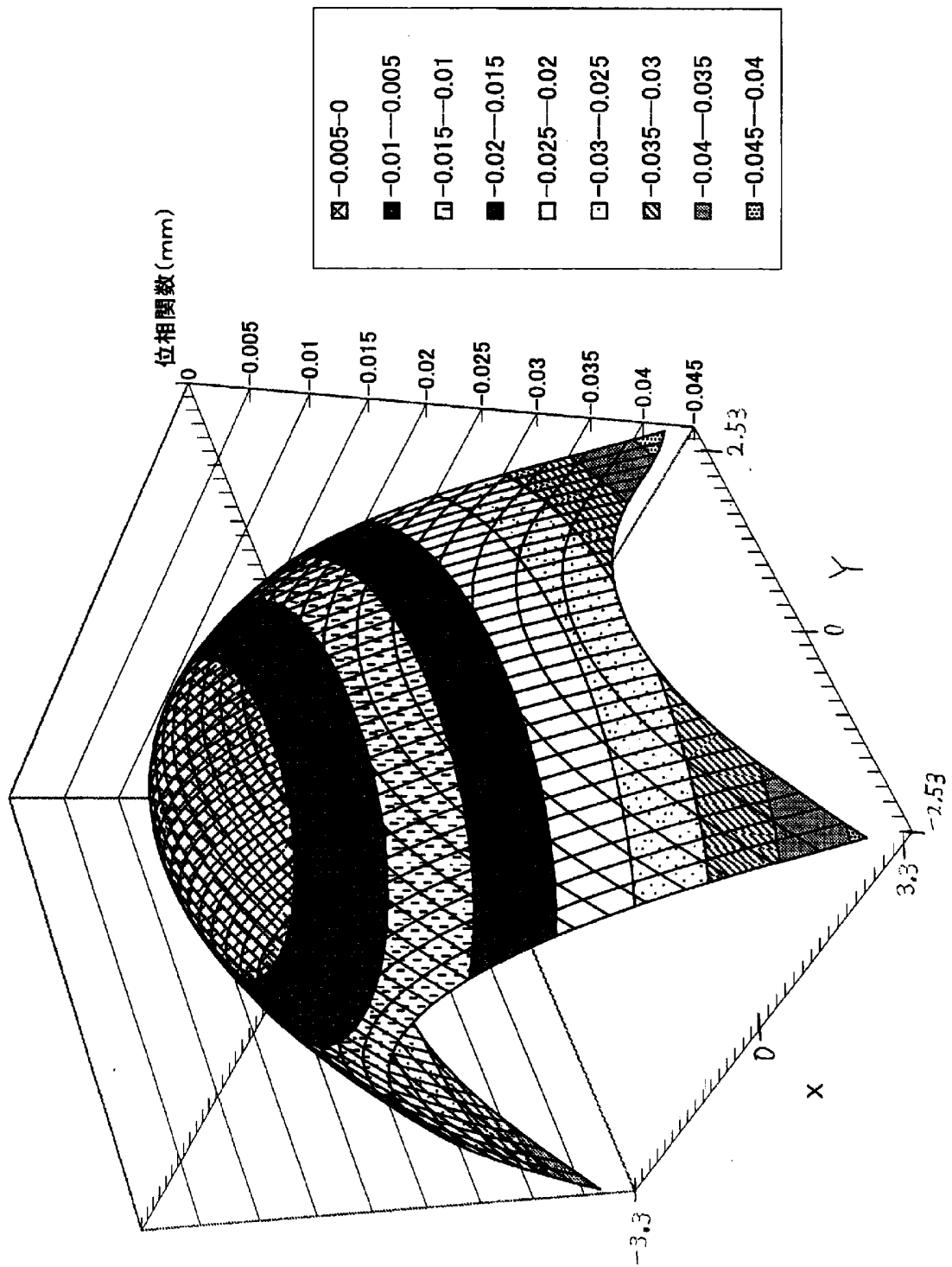
[図1]



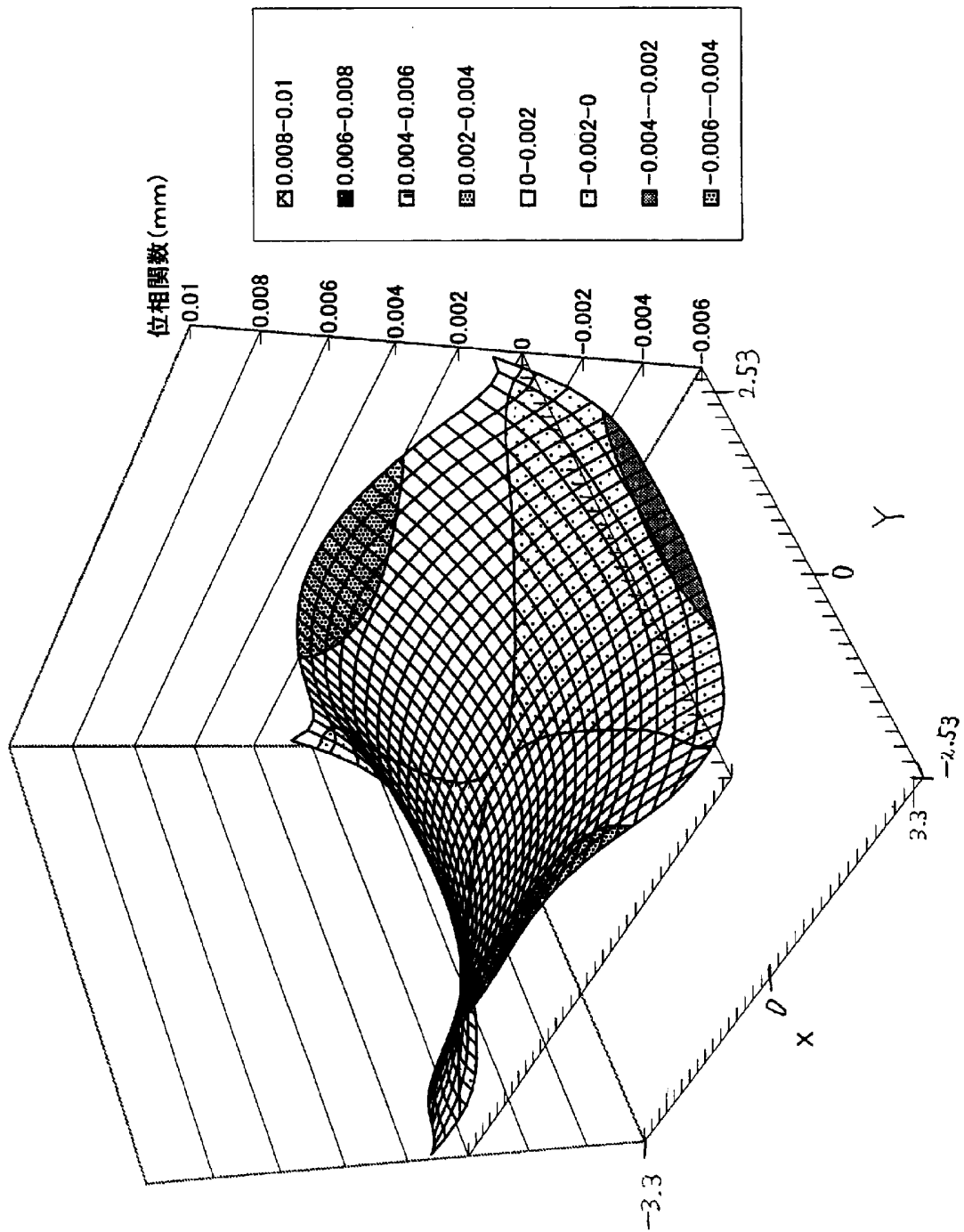
[図2]



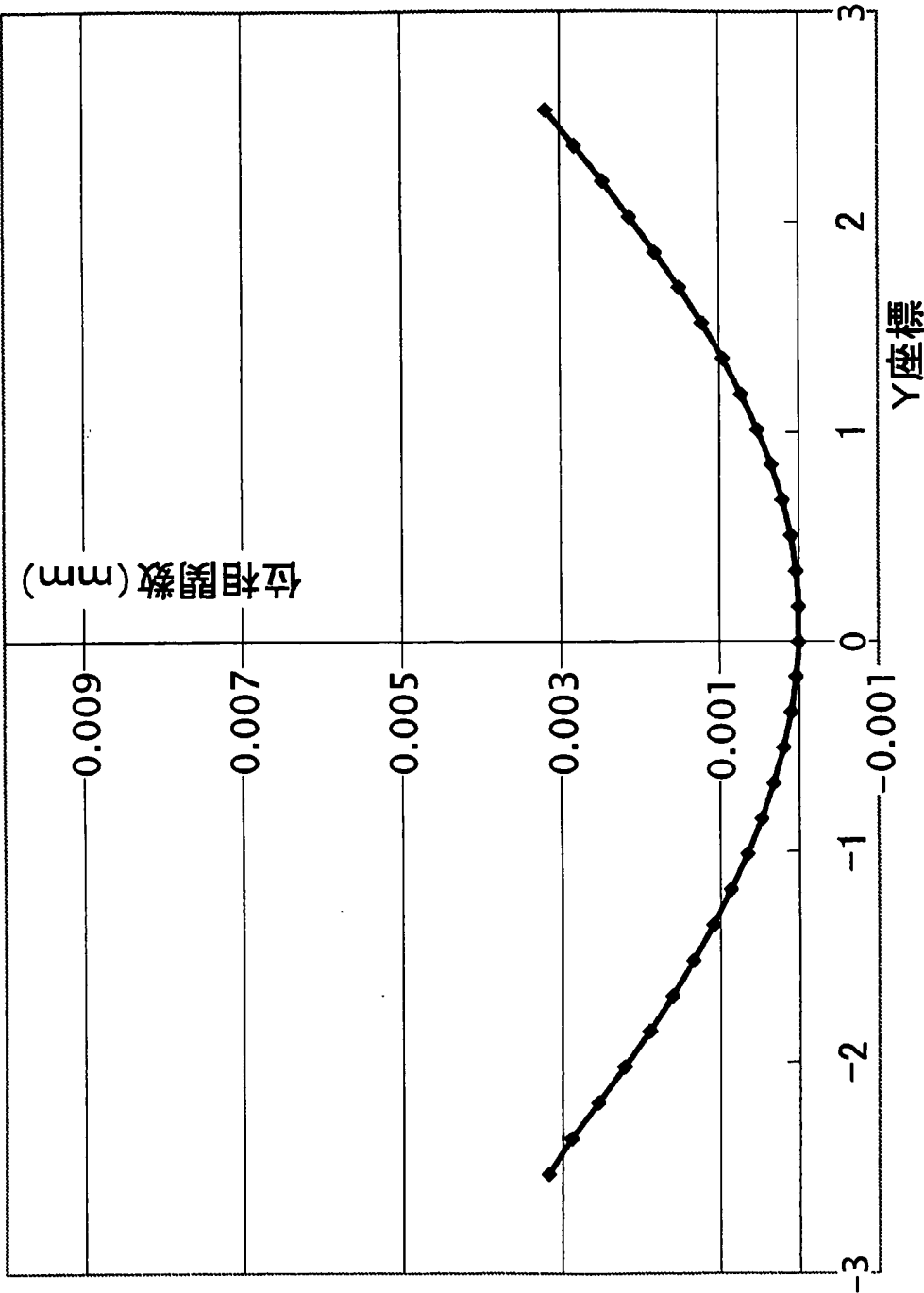
[図3]



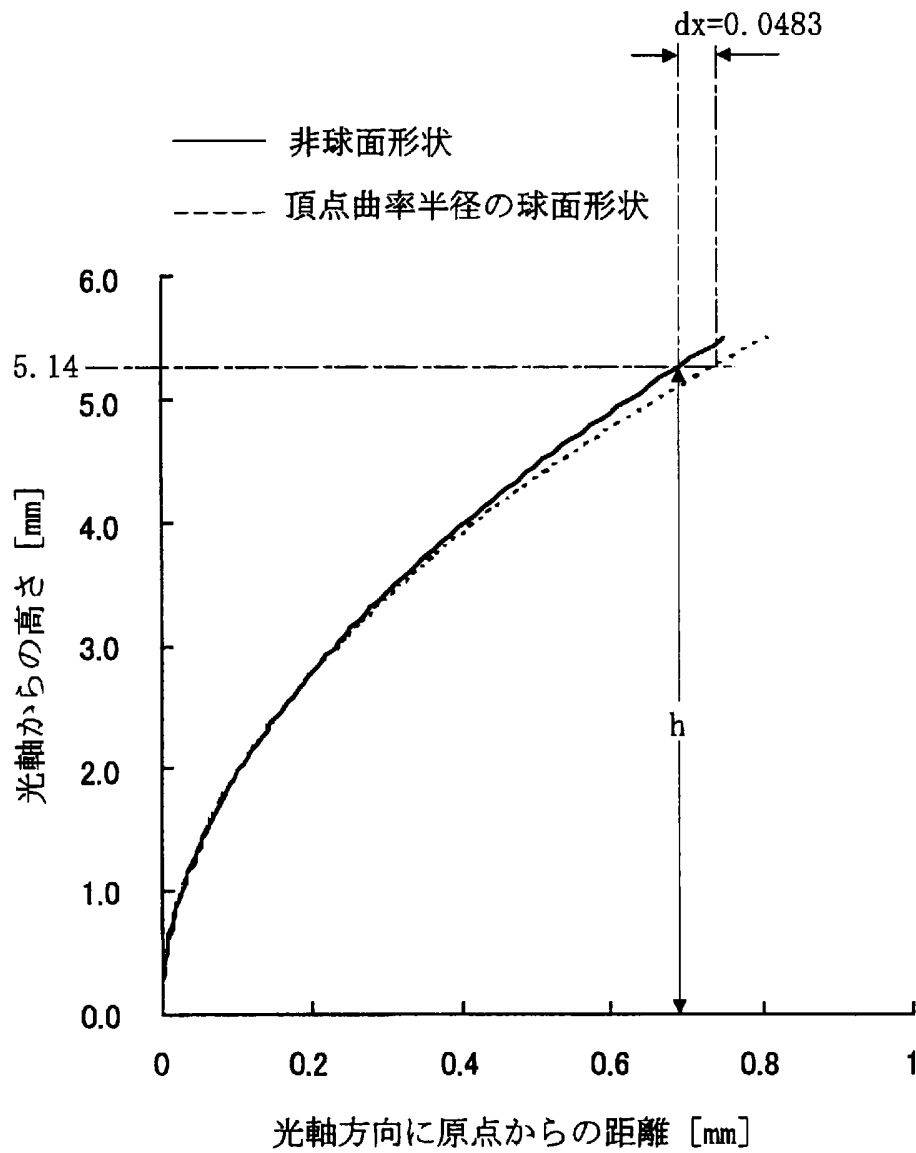
[図4]



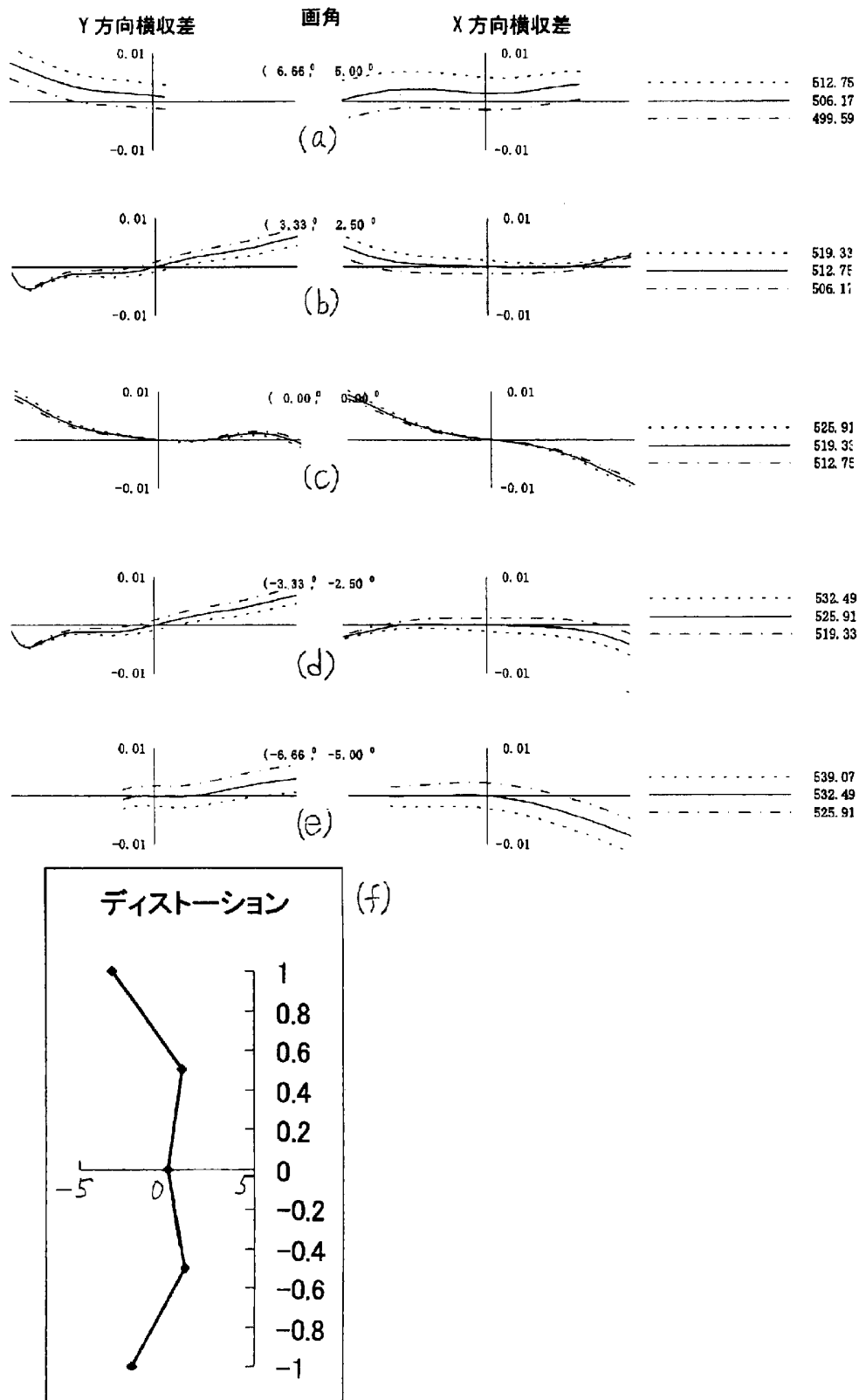
[図5]



[図6]

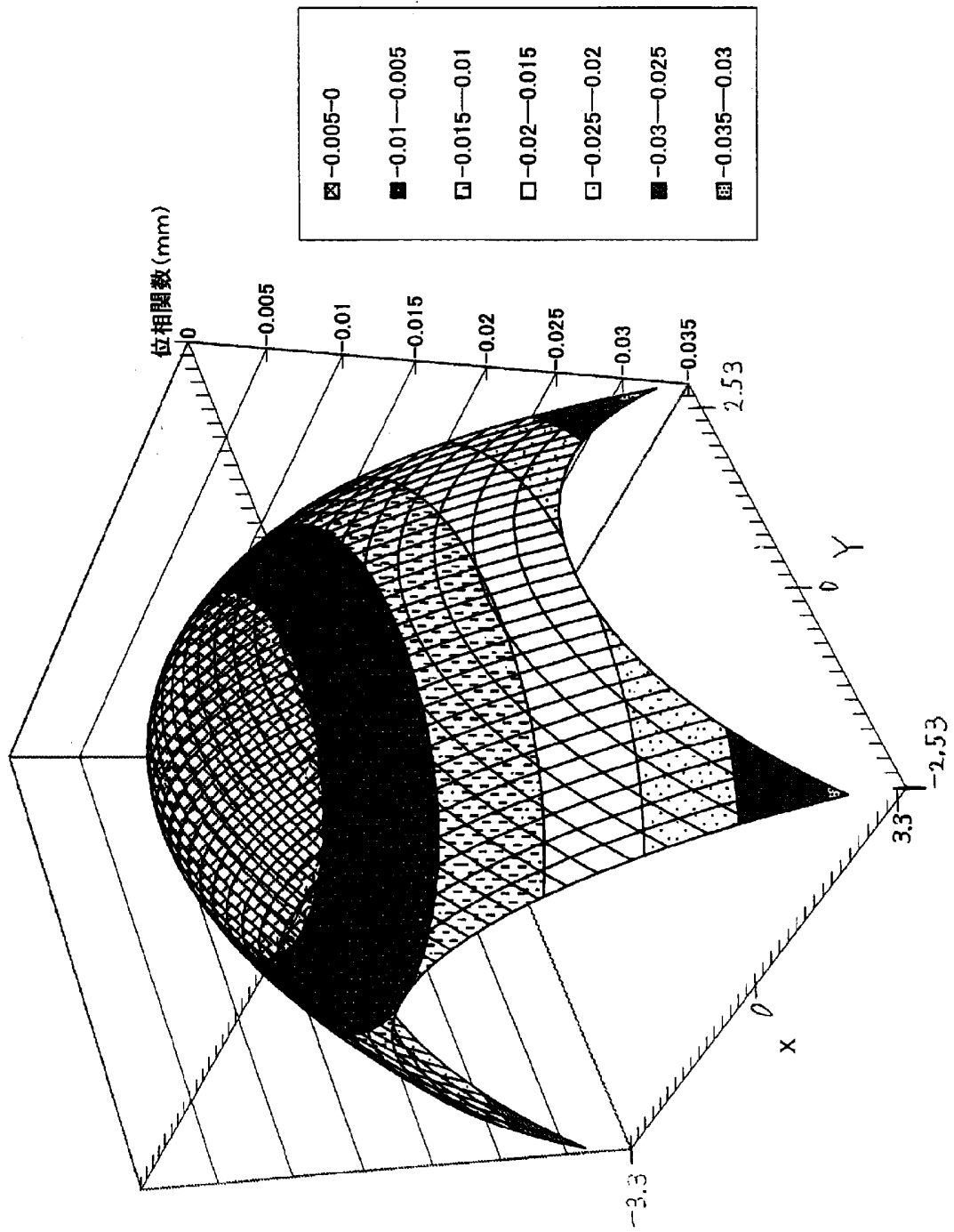


[図7]

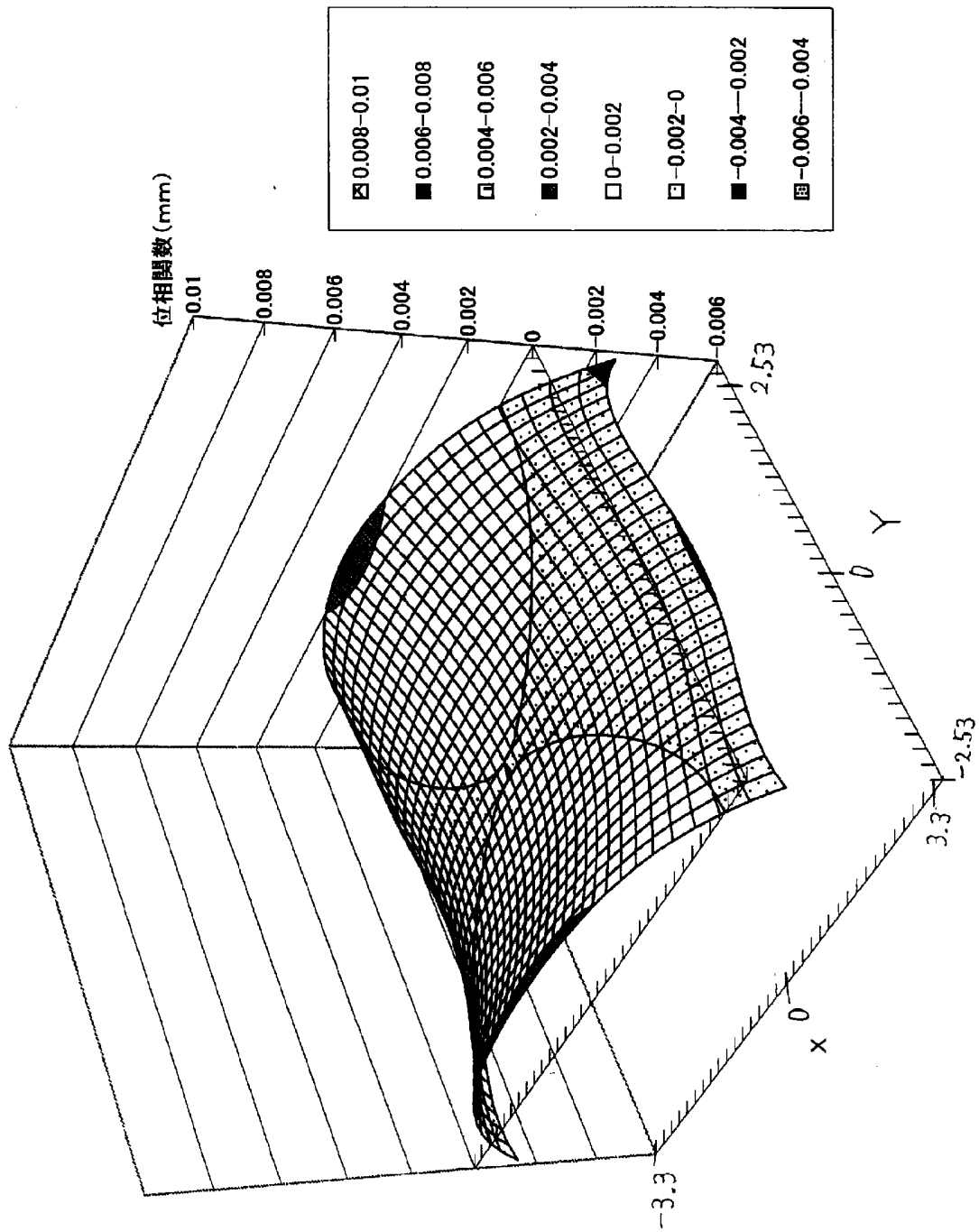




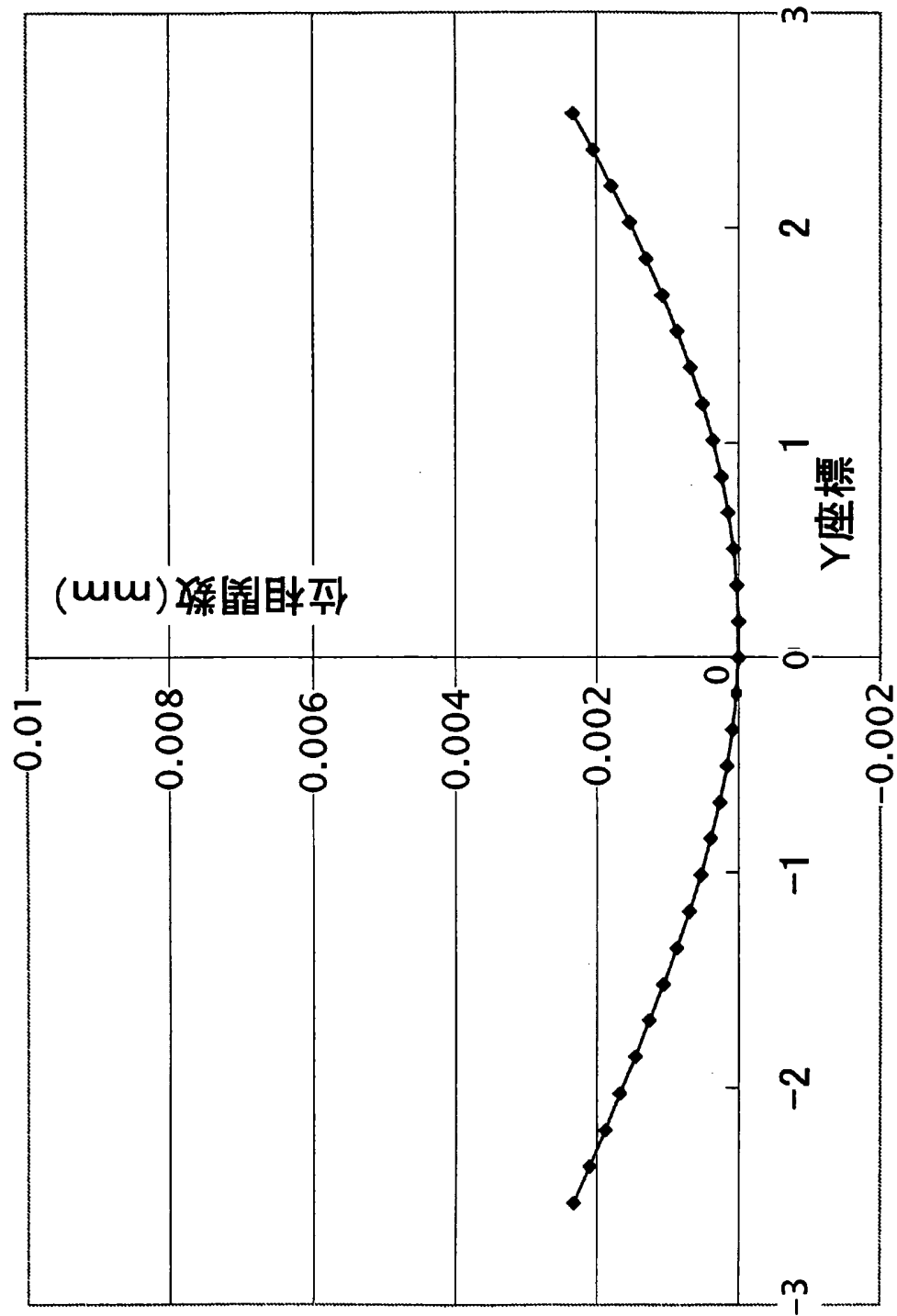
[図9]



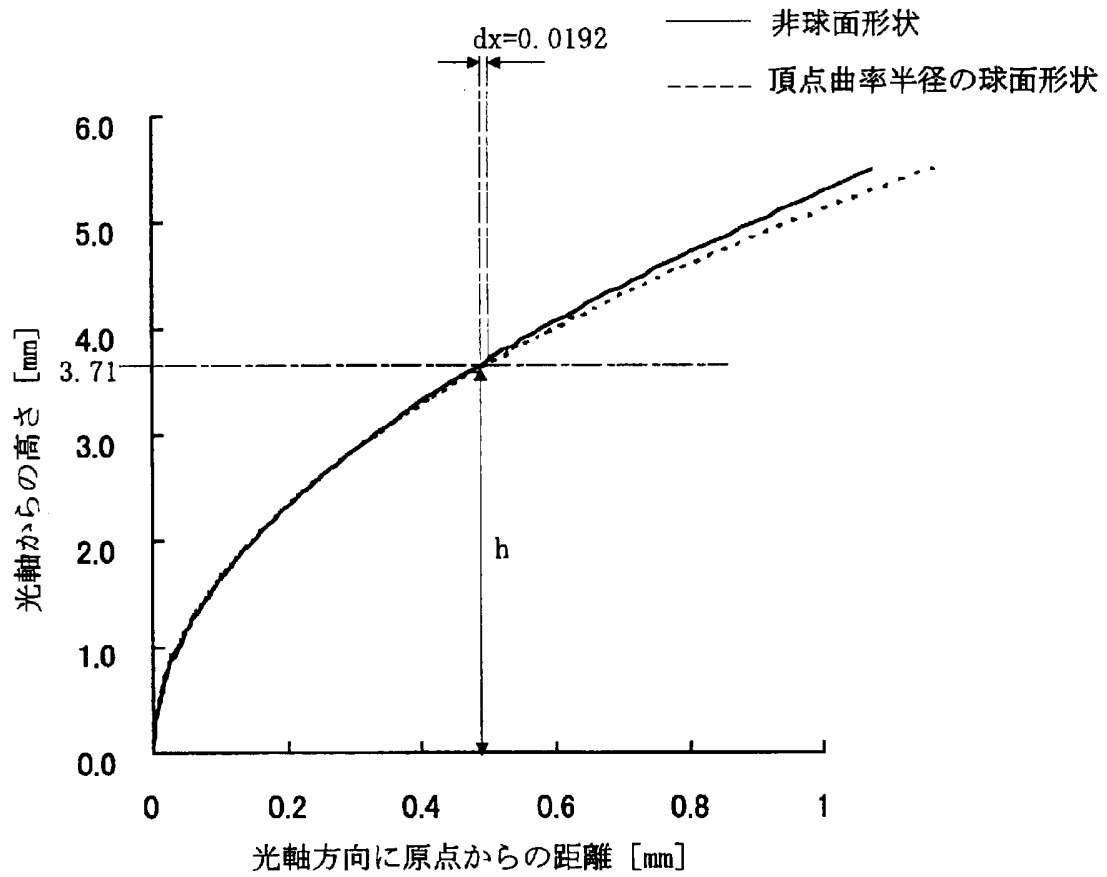
[図10]



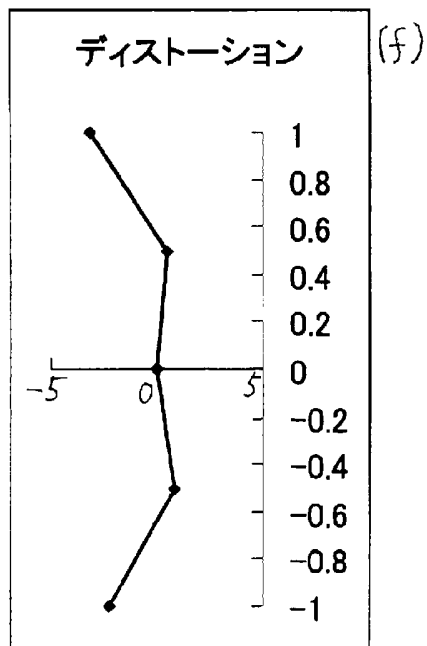
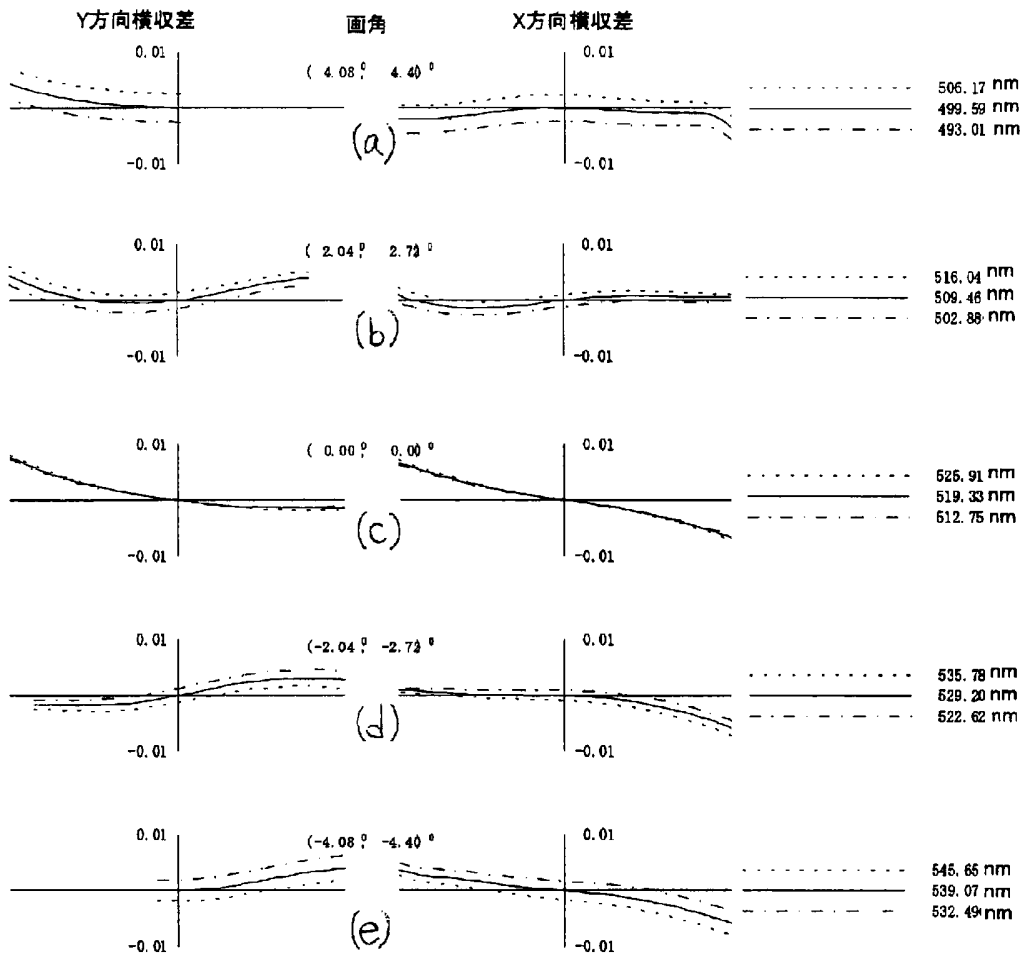
[図11]



[図12]

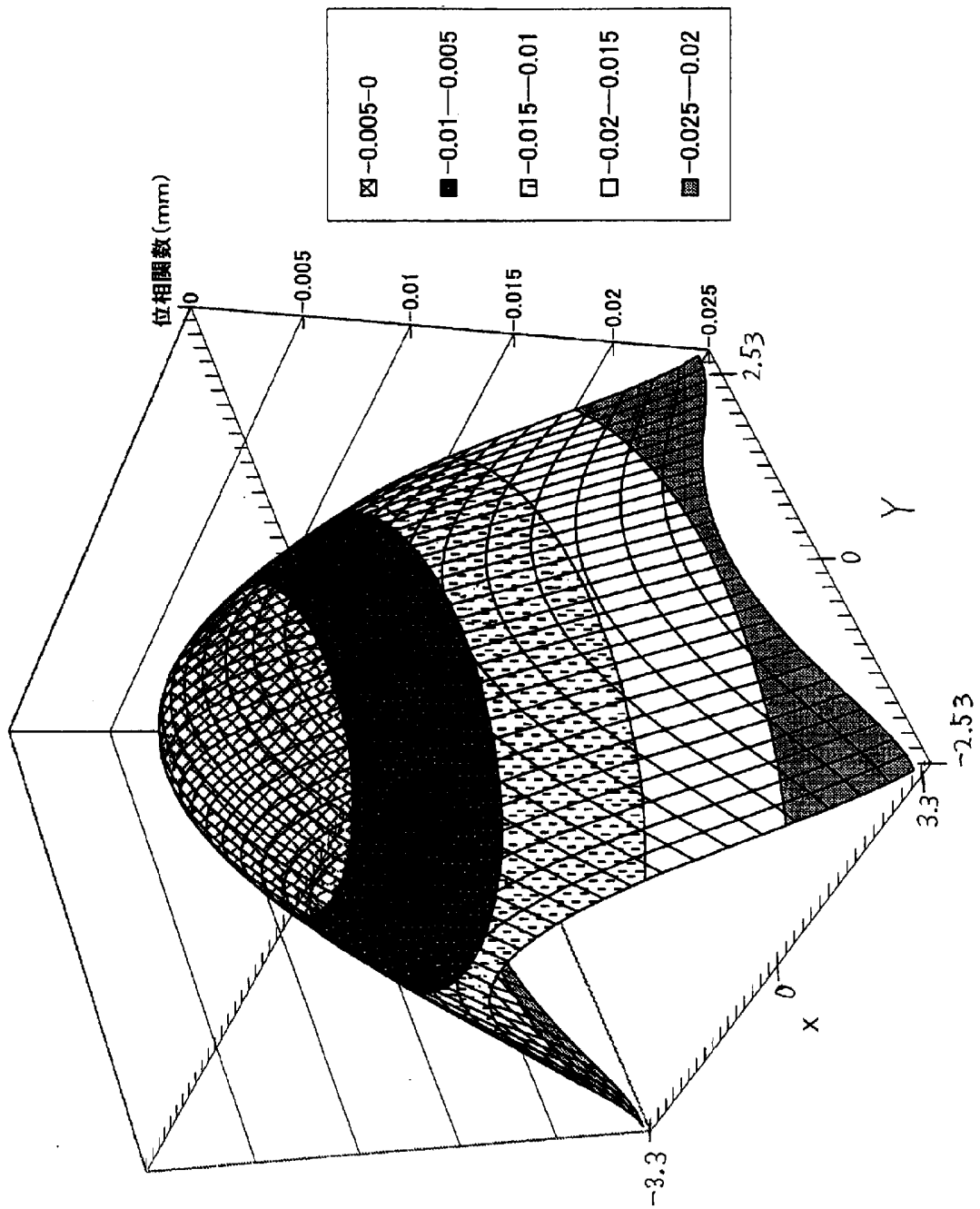


[図13]

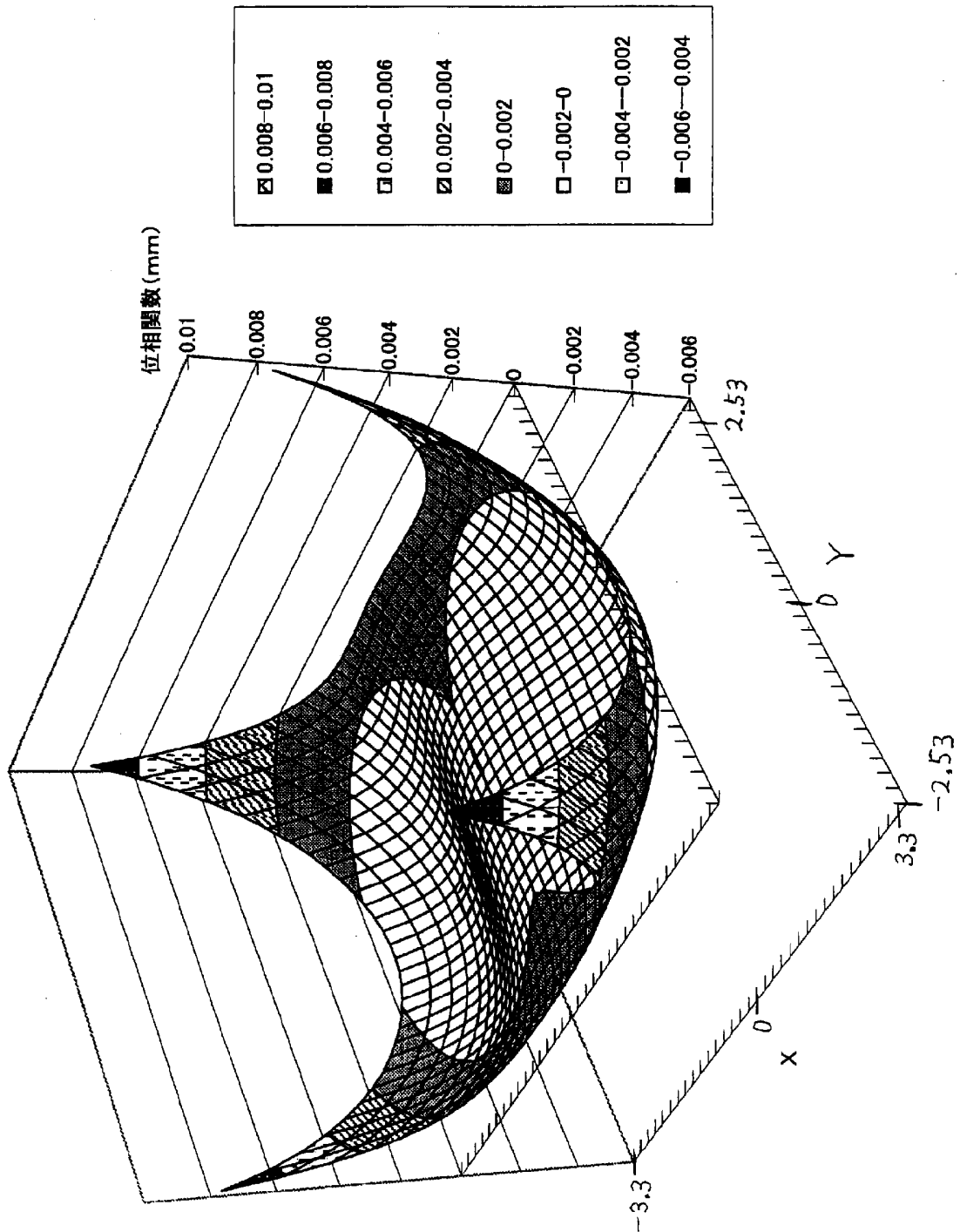




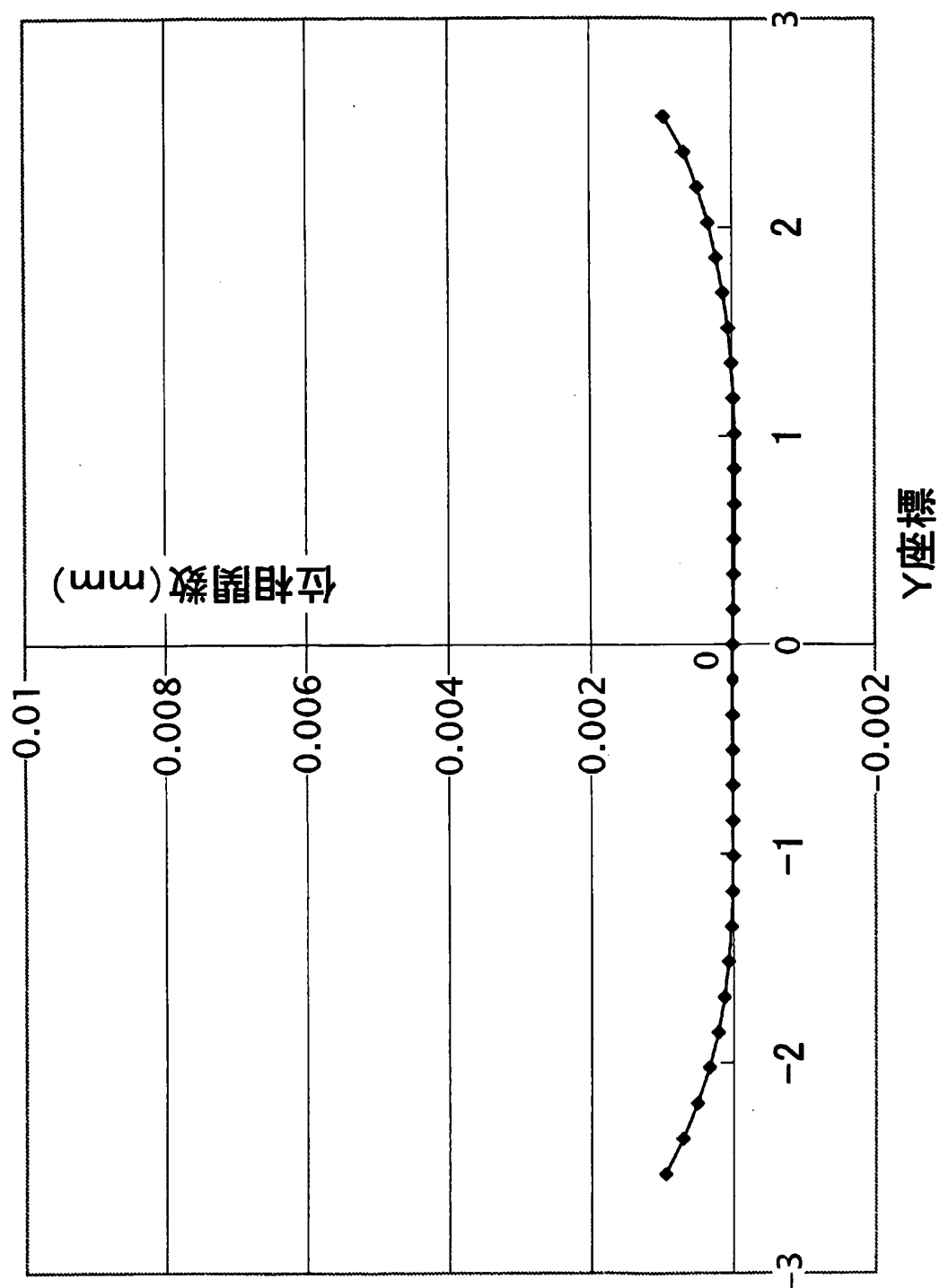
[図15]



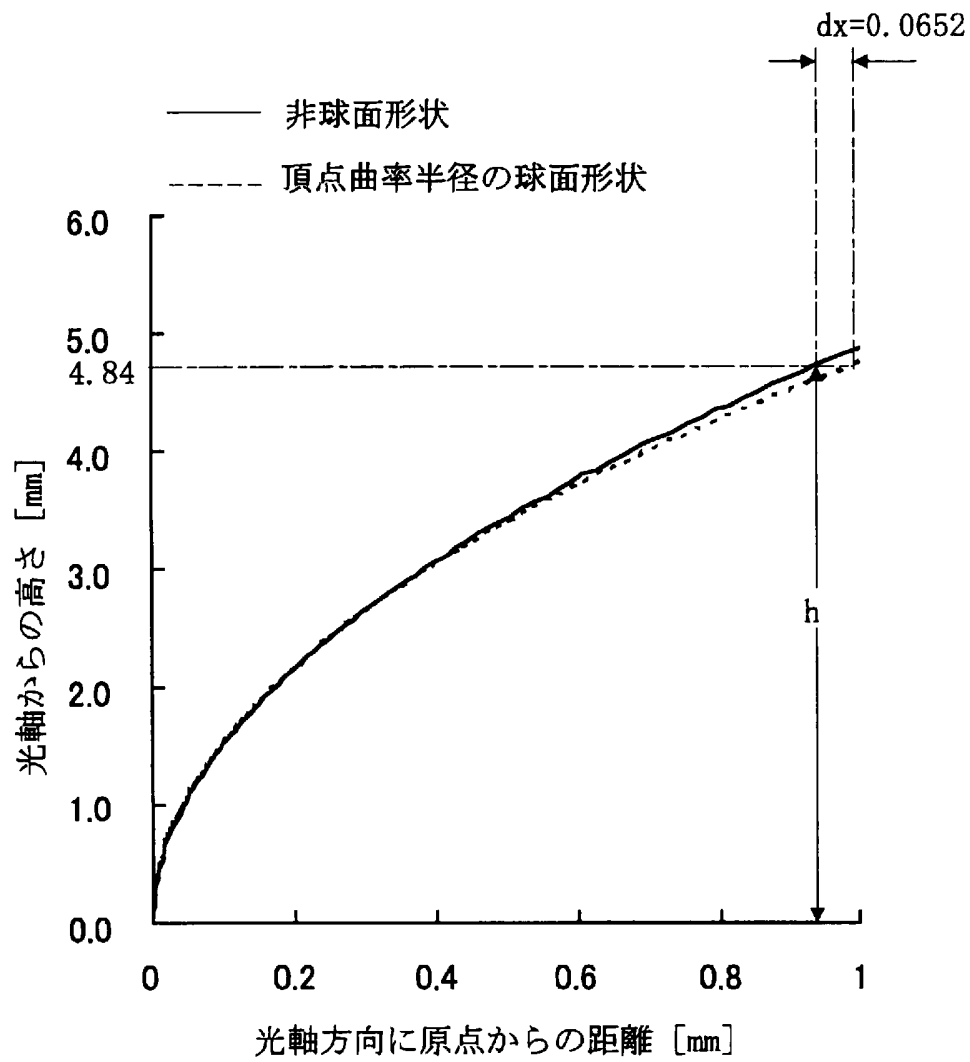
[図16]



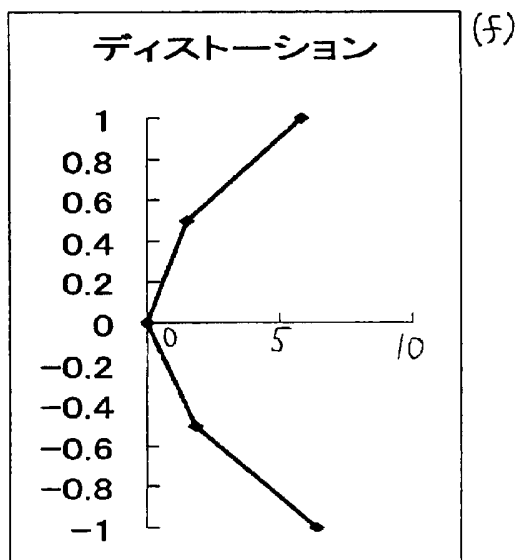
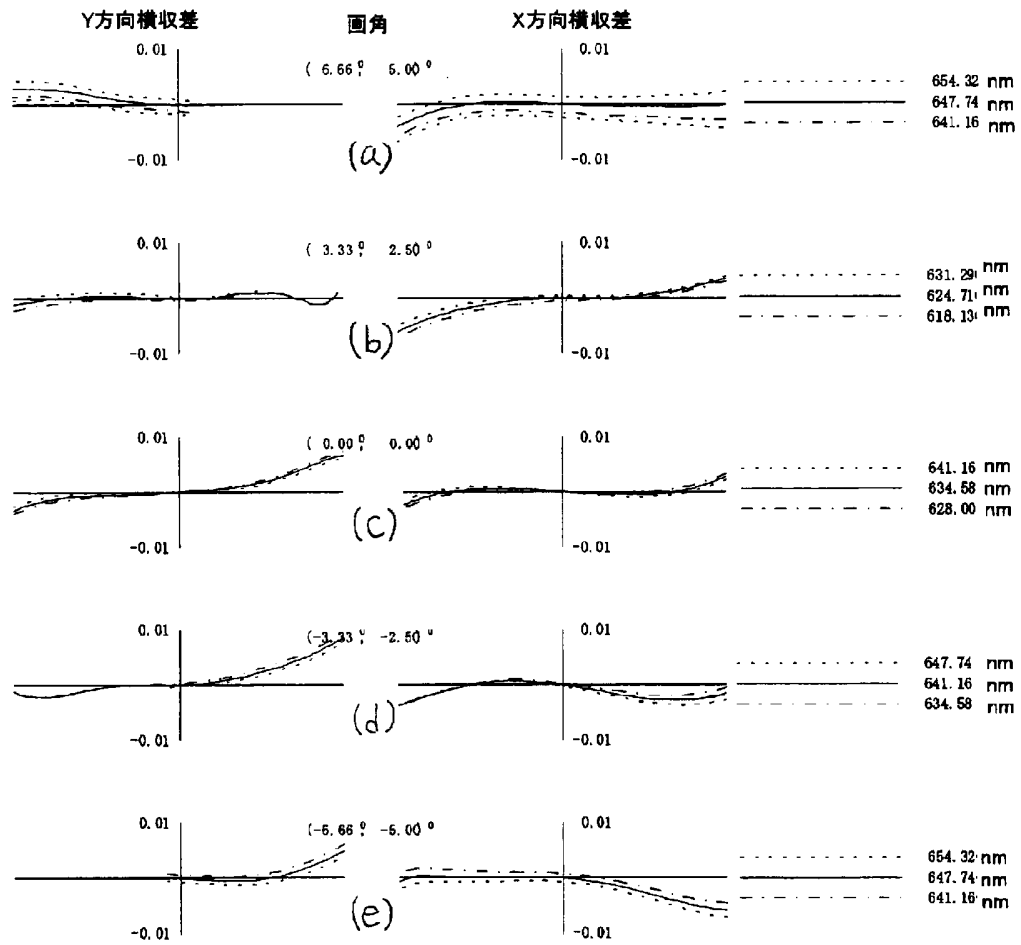
[図17]



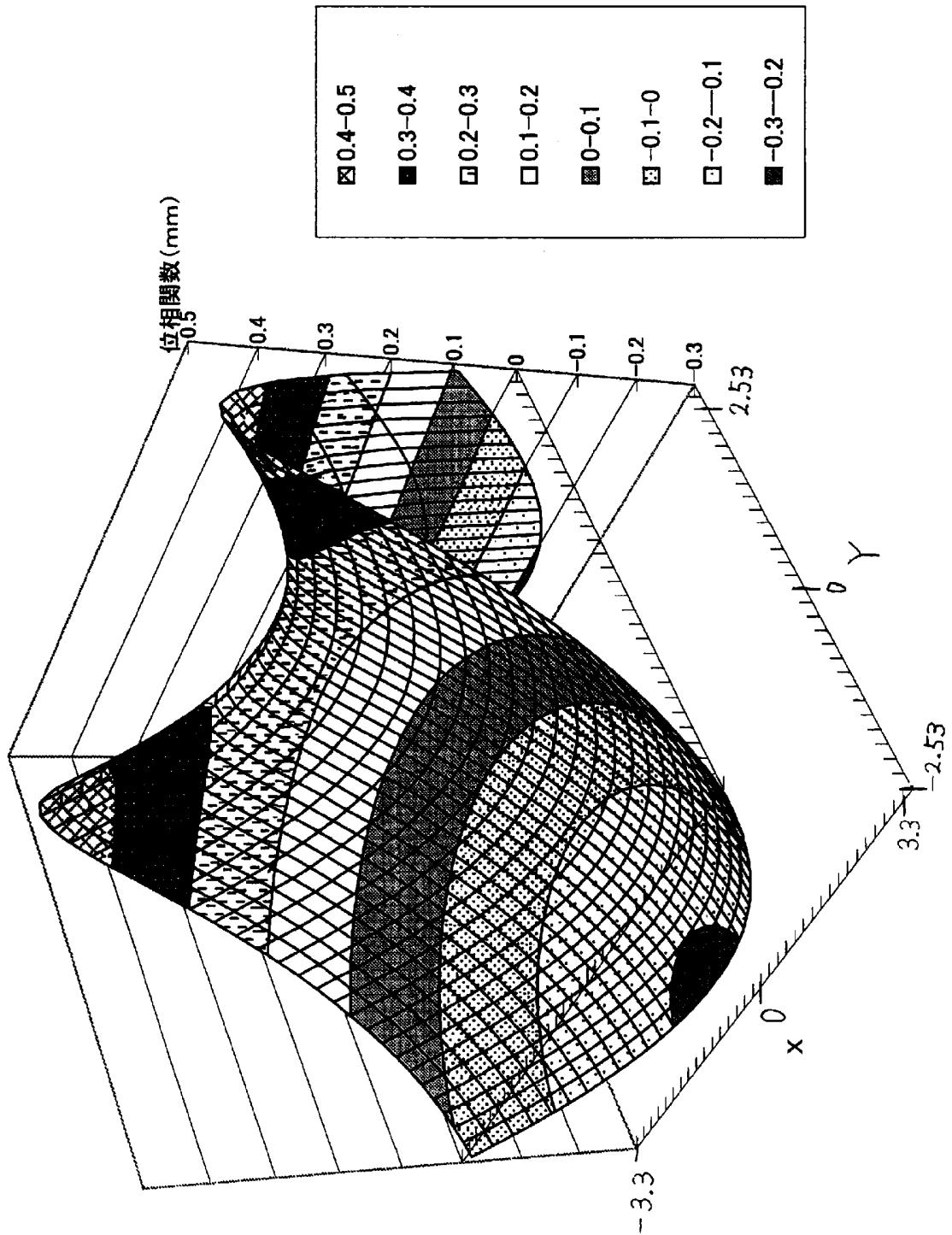
[図18]



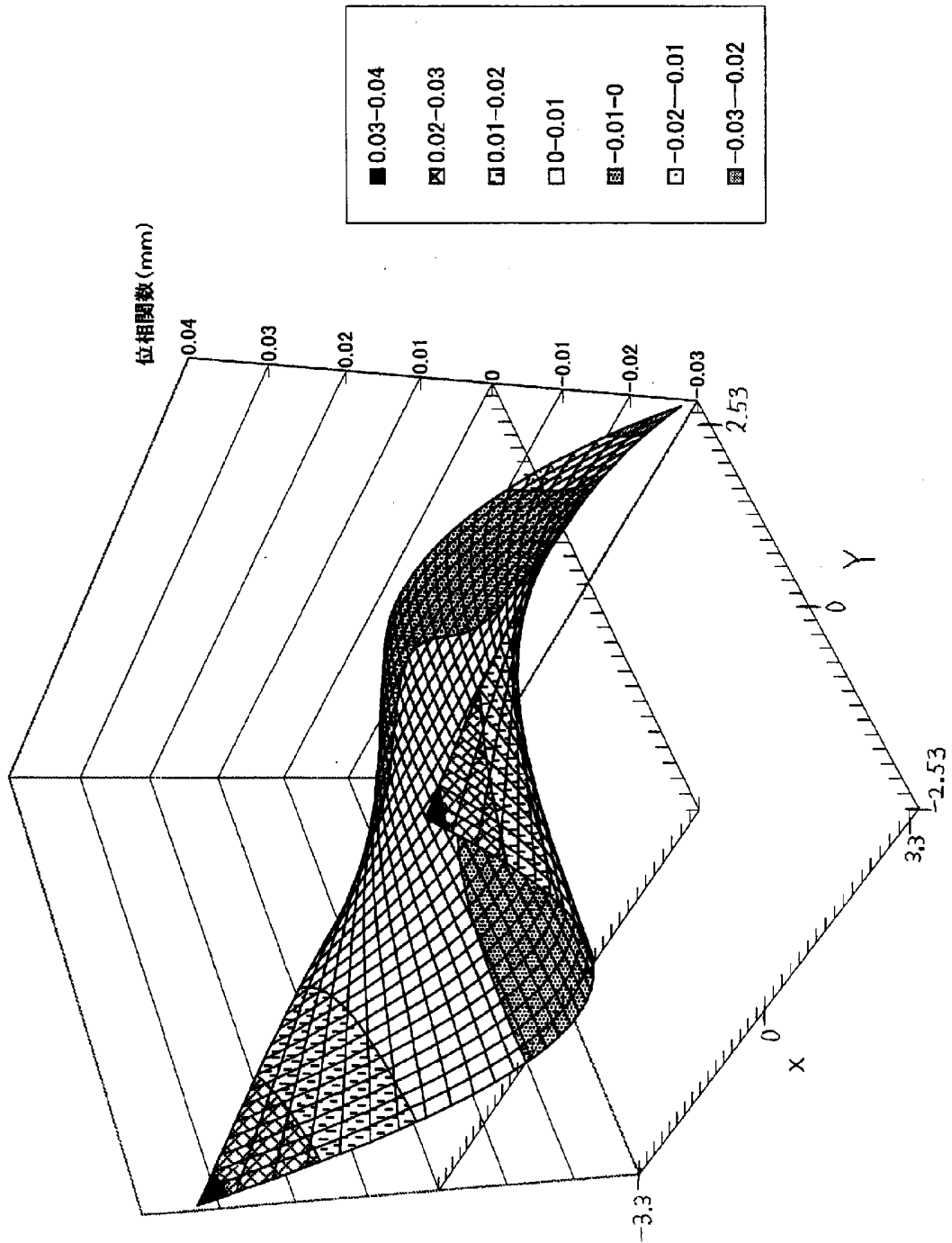
[図19]



[図20]



[図21]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/023745

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B27/02 (2006.01), G02B5/32 (2006.01), G03H1/22 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B27/02 (2006.01), G02B5/32 (2006.01), G03H1/22 (2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2006 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2006 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2006 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                         | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X<br>Y    | JP 11-326821 A (Sony Corp.),<br>26 November, 1999 (26.11.99),<br>Par. Nos. [0029] to [0031]; Fig. 3<br>(Family: none)                                      | 1-5, 7<br>6           |
| Y         | JP 10-333083 A (Olympus Optical Co., Ltd.),<br>18 December, 1998 (18.12.98),<br>Par. No. [0028]<br>& US 6097354 A<br>Column 5, line 66 to column 6, line 9 | 6                     |
| Y         | JP 10-239630 A (Olympus Optical Co., Ltd.),<br>11 September, 1998 (11.09.98),<br>Par. No. [0028]<br>& US 6028709 A<br>Column 6, lines 17 to 27             | 6                     |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Special categories of cited documents:                                                                                                                                | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention                                              |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                                                                | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone                                                                     |
| "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date                                                                               | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family                                                                                                                                                                                                    |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                  |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                  |

Date of the actual completion of the international search  
24 January, 2006 (24.01.06)

Date of mailing of the international search report  
31 January, 2006 (31.01.06)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2005/023745

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                    | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2004-69868 A (Nikon Corp.) ,<br>04 March, 2004 (04.03.04) ,<br>Full text; all drawings<br>& EP 1542062 A1                      & WO 2004/013677 A1 | 1 - 7                 |

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))  
 Int.Cl. G02B27/02 (2006. 01), G02B5/32 (2006. 01), G03H1/22 (2006. 01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))  
 Int.Cl. G02B27/02 (2006. 01), G02B5/32 (2006. 01), G03H1/22 (2006. 01)

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| 日本国実用新案公報   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 0 6 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 0 6 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 0 6 年 |

国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                              | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| X<br>Y          | JP 11-326821 A (ソニー株式会社) 1999. 11. 26, 第 29-31 段落, 図 3<br>ファミリーなし                              | 1-5, 7<br>6      |
| Y               | JP 10-333083 A (オリンパス光学工業株式会社) 1998. 12. 18, 第 28<br>段落 & US 6097354 A, 第 5 欄第 66 行-第 6 欄第 9 行 | 6                |
| Y               | JP 10-239630 A (オリンパス光学工業株式会社) 1998. 09. 11, 第 28<br>段落 & US 6028709 A, 第 6 欄第 17-27 行         | 6                |

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

|                                                               |                                                                      |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| * 引用文献のカテゴリー                                                  | の日の後に公表された文献                                                         |
| 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの                                 | 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの       |
| 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの                         | 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの                       |
| 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) | 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの |
| 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献                                      | 「&」同一パテントファミリー文献                                                     |
| 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願                                   |                                                                      |

国際調査を完了した日  
2 4 . 0 1 . 2 0 0 6

国際調査報告の発送日  
3 1 . 0 1 . 2 0 0 6

国際調査機関の名称及びあて先  
 日本国特許庁 (I S A / J P)  
 郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5  
 東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

|                                         |     |         |
|-----------------------------------------|-----|---------|
| 特許庁審査官 (権限のある職員)                        | 2 X | 9 4 1 2 |
| 三橋 健二                                   |     |         |
| 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4 |     |         |

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                       |                  |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                     | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
| A                     | JP 2004-69868 A (株式会社ニコン) 2004. 03. 04, 全文, 全図<br>& EP 1542062 A1 & WO 2004/013677 A1 | 1-7              |