

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-138882
(P2006-138882A)

(43) 公開日 平成18年6月1日(2006.6.1)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2B 13/24 (2006.01)	GO2B 13/24	2H087
GO2B 13/18 (2006.01)	GO2B 13/18	
GO2B 17/08 (2006.01)	GO2B 17/08	A

審査請求 未請求 請求項の数 24 O L (全 60 頁)

(21) 出願番号	特願2004-325954 (P2004-325954)	(71) 出願人	303000408 コニカミノルタオプト株式会社 東京都八王子市石川町2970番地
(22) 出願日	平成16年11月10日 (2004.11.10)	(74) 代理人	100085501 弁理士 佐野 静夫
		(74) 代理人	100111811 弁理士 山田 茂樹
		(72) 発明者	桑 富栄 東京都八王子市石川町2970番地 コニ カミノルタオプト株式会社内
		Fターム(参考)	2H087 KA06 KA07 NA11 PA05 PA08 PA18 PA19 PB06 PB10 QA02 QA07 QA12 QA22 QA25 QA26 QA33 QA38 QA42 QA45 RA05 RA06 RA12 RA13 RA32 RA42 TA01 TA04 TA06

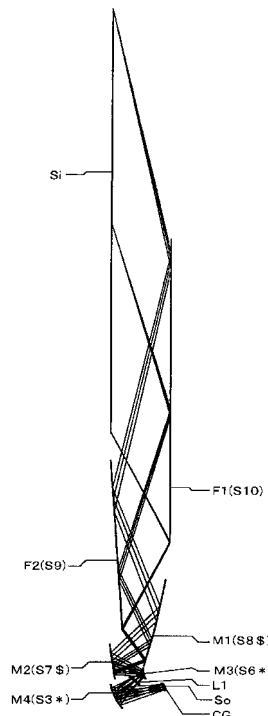
(54) 【発明の名称】 斜め投影光学系

(57) 【要約】

【課題】 良好な光学性能を保持しつつコスト面で有利であり、薄型・大画面で光学部品も軽量・コンパクトな斜め投影光学系を提供する。

【解決手段】 縮小側の1次像面S_oから拡大側の2次像面S_iへの拡大投影を行うための斜め投影光学系であって、第1～第4パワーミラーM₁～M₄を備える。第1パワーミラーM₁は、光路中最も2次像面S_i側に位置する曲面反射面S₈を有し、曲面反射面S₈中には正パワーを有する部分と負パワーを有する部分とが存在する。2次像面S_iの法線方向をX_i方向、2次像面S_iの画面短辺方向をY_i方向、2次像面S_iの中心を含むX_iY_i平面をPX_iY_i平面とすると、PX_iY_i平面の光学的延長面における曲面反射面S₈の有効光学領域の形状は、正パワーを有する凹面形状の部分と負パワーを有する凸面形状の部分とから成る。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

縮小側の 1 次像面から拡大側の 2 次像面への拡大投影を行うための斜め投影光学系であって、パワーを有する反射面を少なくとも 1 面有し、そのうちの光路中最も 2 次像面側に位置する反射面を第 1 曲面反射面とすると、その第 1 曲面反射面中に正パワーを有する部分と負パワーを有する部分とが存在することを特徴とする斜め投影光学系。

【請求項 2】

1 次像面の中心から射出して絞りの中心を通る主光線を中心主光線とすると、前記第 1 曲面反射面には前記中心主光線との交点において、正パワーを有する方向と負パワーを有する方向とが存在することを特徴とする請求項 1 記載の斜め投影光学系。

10

【請求項 3】

前記正パワーを有する方向と負パワーを有する方向とが前記交点で互いに直交した 2 方向であることを特徴とする請求項 2 記載の斜め投影光学系。

【請求項 4】

前記交点で互いに直交した 2 方向が 2 次像面の画面上下方向と画面左右方向とに一致することを特徴とする請求項 3 記載の斜め投影光学系。

【請求項 5】

2 次像面の法線方向を X_i 方向とし、2 次像面の画面短辺方向を Y_i 方向とし、2 次像面の中心を含む $X_i Y_i$ 平面を $PX_i Y_i$ 平面とすると、 $PX_i Y_i$ 平面の光学的延長面における前記第 1 曲面反射面の有効光学領域の形状が、正パワーを有する凹面形状の部分と負パワーを有する凸面形状の部分とから成ることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の斜め投影光学系。

20

【請求項 6】

パワーを有し、かつ、回転対称な形状の少なくとも一部を反射面又は屈折面に有する回転対称光学素子を少なくとも 1 つ有し、1 次像面の法線方向を X_o 方向とし、1 次像面の画面短辺方向を Y_o 方向とし、1 次像面の中心を含む $X_o Y_o$ 平面を $PX_o Y_o$ 平面とすると、少なくとも 1 つの回転対称光学素子の回転中心軸が、 $PX_o Y_o$ 平面の光学的延長面内に存在し、かつ、 X_o 方向の光学的延長方向に対して非平行であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の斜め投影光学系。

【請求項 7】

収差補正機能を有する屈折光学素子を少なくとも 1 つ有することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の斜め投影光学系。

30

【請求項 8】

前記屈折光学素子が非球面から成る屈折面を少なくとも 1 面有することを特徴とする請求項 7 記載の斜め投影光学系。

【請求項 9】

さらに 2 次像面側から光路に沿って順に平面反射面を少なくとも 2 面続けて有することを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の斜め投影光学系。

【請求項 10】

前記平面反射面のうち 2 次像面側から数えて 2 つ目の平面反射面を第 2 平面反射面とすると、その第 2 平面反射面の法線が 2 次像面の法線に対して平行でなく、垂直でもないことを特徴とする請求項 9 記載の斜め投影光学系。

40

【請求項 11】

以下の条件式 (1) を満足することを特徴とする請求項 10 記載の斜め投影光学系；

$$0 < \theta < 40 \quad \dots (1)$$

ただし、

θ : 第 2 平面反射面の法線と 2 次像面の法線とが成す角度 ($^\circ$)、

である。

【請求項 12】

回転非対称光学面を少なくとも 1 面有することを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか

50

1 項に記載の斜め投影光学系。

【請求項 1 3】

前記回転非対称光学面が回転非対称な形状の屈折面であることを特徴とする請求項 1 2 記載の斜め投影光学系。

【請求項 1 4】

前記回転非対称光学面が回転非対称な形状の反射面であることを特徴とする請求項 1 2 記載の斜め投影光学系。

【請求項 1 5】

パワーを有する反射面を少なくとも 2 面有することを特徴とする請求項 1 ~ 1 4 のいずれか 1 項に記載の斜め投影光学系。

10

【請求項 1 6】

2 次像面の法線方向を X_i 方向とし、2 次像面の画面短辺方向を Y_i 方向とし、2 次像面の中心を含む $X_i Y_i$ 平面を $PX_i Y_i$ 平面とし、 $PX_i Y_i$ 平面において 2 次像面に到達する光束のうち、2 次像面入射時に X_i 方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束を $Rays_{X_i Y_i \max}$ とし、2 次像面入射時に X_i 方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束を $Rays_{X_i Y_i \min}$ とし、 $PX_i Y_i$ 平面の光学的延長面に垂直な方向を Z_i 方向とし、パワーを有する反射面のうち 2 次像面側から数えて 2 つ目の反射面を第 2 曲面反射面とすると、その第 2 曲面反射面が以下の条件式 (2) を満足することを特徴とする請求項 1 5 記載の斜め投影光学系；

$$(CoR2Z_{\max} - CoR2Z_{\min}) > 0 \quad \dots (2)$$

ただし、

20

$CoR2Z_{\max}$: $PX_i Y_i$ 平面の光学的延長面において光束 $Rays_{X_i Y_i \max}$ が第 2 曲面反射面で反射する領域近傍での第 2 曲面反射面の Z_i 方向の曲率、

$CoR2Z_{\min}$: $PX_i Y_i$ 平面の光学的延長面において光束 $Rays_{X_i Y_i \min}$ が第 2 曲面反射面で反射する領域近傍での第 2 曲面反射面の Z_i 方向の曲率、

である。

【請求項 1 7】

2 次像面の法線方向を X_i 方向とし、2 次像面の画面短辺方向を Y_i 方向とし、2 次像面の中心を含む $X_i Y_i$ 平面を $PX_i Y_i$ 平面とし、 $PX_i Y_i$ 平面において 2 次像面に到達する光束のうち、2 次像面入射時に X_i 方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束を $Rays_{X_i Y_i \max}$ とし、2 次像面入射時に X_i 方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束を $Rays_{X_i Y_i \min}$ とし、パワーを有する反射面のうち 2 次像面側から数えて 2 つ目の反射面を第 2 曲面反射面とすると、その第 2 曲面反射面と $PX_i Y_i$ 平面の光学的延長面とが交わる線上において、光束 $Rays_{X_i Y_i \max}$ が反射する領域から光束 $Rays_{X_i Y_i \min}$ が反射する領域に沿って行くに従い、その線の曲率が一度大きくなってから小さくなる範囲が存在することを特徴とする請求項 1 5 又は 1 6 記載の斜め投影光学系。

30

【請求項 1 8】

投影光束の主光線が 2 次像面に対して成す入射角度の最大値が 65° 以上であることを特徴とする請求項 1 ~ 1 7 のいずれか 1 項に記載の斜め投影光学系。

【請求項 1 9】

以下の条件式 (3) を満足することを特徴とする請求項 1 8 記載の斜め投影光学系；

40

$$1.05 < (\max / \min) < 3 \quad \dots (3)$$

ただし、

\max : 投影光束の主光線が 2 次像面に対して成す入射角度の最大値 ($^\circ$)、

\min : 投影光束の主光線が 2 次像面に対して成す入射角度の最小値 ($^\circ$)、

である。

【請求項 2 0】

2 次像面の法線方向を X_i 方向とし、2 次像面の画面短辺方向を Y_i 方向とし、2 次像面の中心を含む $X_i Y_i$ 平面を $PX_i Y_i$ 平面とし、 $PX_i Y_i$ 平面において 2 次像面に到達する光束のうち、2 次像面入射時に X_i 方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束を $Rays_{X_i Y_i \max}$ とし、2 次像面入射時に X_i 方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束を $Rays_{X_i Y_i \min}$

50

とし、PXiYi平面の光学的延長面に垂直な方向をZi方向とすると、以下の条件式(4)を満足することを特徴とする請求項1～19のいずれか1項に記載の斜め投影光学系；

$$(\text{CoR1Zmin} - \text{CoR1Zmax}) > 0 \quad \dots (4)$$

ただし、

CoR1Zmax：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi maxが第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のZi方向の曲率、

CoR1Zmin：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi minが第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のZi方向の曲率、

である。

【請求項21】

以下の条件式(5)を満足することを特徴とする請求項20記載の斜め投影光学系；

$$(\text{CoR1Zmin} - \text{CoR1Ymin}) / (\text{CoR1Zmax} - \text{CoR1Ymax}) > 1 \quad \dots (5)$$

ただし、

CoR1Ymax：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi maxが第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のYi方向の曲率、

CoR1Ymin：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi minが第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のYi方向の曲率、

である。

【請求項22】

2次像面の法線方向をXi方向とし、2次像面の画面短辺方向をYi方向とし、2次像面の中心を含むXiYi平面をPXiYi平面とし、PXiYi平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束をRaysXiYi maxとし、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束をRaysXiYi minとすると、PXiYi平面の光学的延長面における前記第1曲面反射面の有効光学領域の形状が、光束RaysXiYi maxが反射する領域で正パワーを有する凹形状であり、光束RaysXiYi minが反射する領域で負パワーを有する凸形状であることを特徴とする請求項1～21のいずれか1項に記載の斜め投影光学系。

【請求項23】

1次像面の中心から射出して絞りの中心を通る主光線を中心主光線とし、PXiYi平面の光学的延長面と前記第1曲面反射面とが交わる線上の曲率をCoR1Yとすると、曲率CoR1Yの符号が反転する点が、前記中心主光線と前記第1曲面反射面との交点より光束RaysXiYi minが反射する領域側に位置することを特徴とする請求項22記載の斜め投影光学系。

【請求項24】

1次像面の法線方向をXo方向とし、1次像面の画面短辺方向をYo方向とし、1次像面の中心を含むXoYo平面をPXoYo平面とすると、PXoYo平面の光学的延長面とPXiYiの光学的延長面とが同一平面であることを特徴とする請求項1～23のいずれか1項に記載の斜め投影光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は斜め投影光学系に関するものであり、例えば、反射光学素子をリアプロジェクションに好適な光学構成で有し、1次像面から2次像面への斜め方向の拡大投影を行う斜め投影光学系に関するものである。

【背景技術】

【0002】

縮小側の1次像面から拡大側の2次像面への広角拡大投影を行うために反射光学素子を用いた斜め投影光学系として、例えば特許文献1～3で提案されているものが挙げられる。特許文献1～3記載の斜め投影光学系には、リアプロジェクション装置の薄型化(つまり、スクリーン面法線方向の装置厚の薄型化)を達成するために、正のパワーを有する反射光学素子や負のパワーを有する反射光学素子が用いられている。

10

20

30

40

50

【特許文献1】特開2003-161885号公報

【特許文献2】W097/01787号公報

【特許文献3】特開2003-255229号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかし、特許文献1～3に記載されているように正のパワーを有する反射光学素子や負のパワーを有する反射光学素子を用いるだけでは、歪曲収差や像面湾曲等の収差補正上の理由から、リアプロジェクション装置の薄型化を追求するにあたって限界がある。また、反射光学素子を用いた一般的な斜め投影光学系において、大きな反射光学素子を用いることにより像面湾曲や歪曲収差を小さくすることは可能であるが、大きな反射光学素子を使うことはコストアップや光学系全体の大型化の原因になる。

10

【0004】

本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであって、その目的は、良好な光学性能を保持しつつコスト面で有利であり、しかも薄型・大画面で光学部品も軽量・コンパクトな斜め投影光学系を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記目的を達成するために、第1の発明の斜め投影光学系は、縮小側の1次像面から拡大側の2次像面への拡大投影を行うための斜め投影光学系であって、パワーを有する反射面を少なくとも1面有し、そのうちの光路中最も2次像面側に位置する反射面を第1曲面反射面とすると、その第1曲面反射面中に正パワーを有する部分と負パワーを有する部分とが存在することを特徴とする。

20

【0006】

第2の発明の斜め投影光学系は、上記第1の発明において、1次像面の中心から射出して絞りの中心を通る主光線を中心主光線とすると、前記第1曲面反射面には前記中心主光線との交点において、正パワーを有する方向と負パワーを有する方向とが存在することを特徴とする。

【0007】

第3の発明の斜め投影光学系は、上記第2の発明において、前記正パワーを有する方向と負パワーを有する方向とが前記交点で互いに直交した2方向であることを特徴とする。

30

【0008】

第4の発明の斜め投影光学系は、上記第3の発明において、前記交点で互いに直交した2方向が2次像面の画面上下方向と画面左右方向とに一致することを特徴とする。

【0009】

第5の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第4のいずれか1つの発明において、2次像面の法線方向を X_i 方向とし、2次像面の画面短辺方向を Y_i 方向とし、2次像面の中心を含む X_iY_i 平面を PX_iY_i 平面とすると、 PX_iY_i 平面の光学的延長面における前記第1曲面反射面の有効光学領域の形状が、正パワーを有する凹面形状の部分と負パワーを有する凸面形状の部分とから成ることを特徴とする。

40

【0010】

第6の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第5のいずれか1つの発明において、パワーを有し、かつ、回転対称な形状の少なくとも一部を反射面又は屈折面に有する回転対称光学素子を少なくとも1つ有し、1次像面の法線方向を X_o 方向とし、1次像面の画面短辺方向を Y_o 方向とし、1次像面の中心を含む X_oY_o 平面を PX_oY_o 平面とすると、少なくとも1つの回転対称光学素子の回転中心軸が、 PX_oY_o 平面の光学的延長面内に存在し、かつ、 X_o 方向の光学的延長方向に対して非平行であることを特徴とする。

【0011】

第7の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第6のいずれか1つの発明において、収差補正機能を有する屈折光学素子を少なくとも1つ有することを特徴とする。

50

【0012】

第8の発明の斜め投影光学系は、上記第7の発明において、前記屈折光学素子が非球面から成る屈折面を少なくとも1面有することを特徴とする。

【0013】

第9の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第8のいずれか1つの発明において、さらに2次像面側から光路に沿って順に平面反射面を少なくとも2面続けて有することを特徴とする。

【0014】

第10の発明の斜め投影光学系は、上記第9の発明において、前記平面反射面のうち2次像面側から数えて2つ目の平面反射面を第2平面反射面とすると、その第2平面反射面の法線が2次像面の法線に対して平行でなく、垂直でもないことを特徴とする。

10

【0015】

第11の発明の斜め投影光学系は、上記第10の発明において、以下の条件式(1)を満足することを特徴とする。

$$0 < \theta < 40 \quad \dots (1)$$

ただし、

θ：第2平面反射面の法線と2次像面の法線とが成す角度(°)、

である。

【0016】

第12の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第11のいずれか1つの発明において、回転非対称光学面を少なくとも1面有することを特徴とする。

20

【0017】

第13の発明の斜め投影光学系は、上記第12の発明において、前記回転非対称光学面が回転非対称な形状の屈折面であることを特徴とする。

【0018】

第14の発明の斜め投影光学系は、上記第12の発明において、前記回転非対称光学面が回転非対称な形状の反射面であることを特徴とする。

【0019】

第15の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第14のいずれか1つの発明において、パワーを有する反射面を少なくとも2面有することを特徴とする。

30

【0020】

第16の発明の斜め投影光学系は、上記第15の発明において、2次像面の法線方向をXi方向とし、2次像面の画面短辺方向をYi方向とし、2次像面の中心を含むXiYi平面をPXiYi平面とし、PXiYi平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束をRaysXiYi_maxとし、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束をRaysXiYi_minとし、PXiYi平面の光学的延長面に垂直な方向をZi方向とし、パワーを有する反射面のうち2次像面側から数えて2つ目の反射面を第2曲面反射面とすると、その第2曲面反射面が以下の条件式(2)を満足することを特徴とする。

$$(CoR2Z_{max} - CoR2Z_{min}) > 0 \quad \dots (2)$$

40

ただし、

CoR2Z_max：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi_maxが第2曲面反射面で反射する領域近傍での第2曲面反射面のZi方向の曲率、

CoR2Z_min：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi_minが第2曲面反射面で反射する領域近傍での第2曲面反射面のZi方向の曲率、

である。

【0021】

第17の発明の斜め投影光学系は、上記第15又は第16の発明において、2次像面の法線方向をXi方向とし、2次像面の画面短辺方向をYi方向とし、2次像面の中心を含むXiYi平面をPXiYi平面とし、PXiYi平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入

50

射時にXi方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束をRaysXiYi_{max}とし、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束をRaysXiYi_{min}とし、パワーを有する反射面のうち2次像面側から数えて2つ目の反射面を第2曲面反射面とすると、その第2曲面反射面とPXiYi平面の光学的延長面とが交わる線上において、光束RaysXiYi_{max}が反射する領域から光束RaysXiYi_{min}が反射する領域に沿って行くに従い、その線の曲率が一度大きくなってから小さくなる範囲が存在することを特徴とする。

【0022】

第18の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第17のいずれか1つの発明において、投影光束の主光線が2次像面に対して成す入射角度の最大値が65°以上であることを特徴とする。

10

【0023】

第19の発明の斜め投影光学系は、上記第18の発明において、以下の条件式(3)を満足することを特徴とする。

$$1.05 < (\theta_{\max} / \theta_{\min}) < 3 \quad \dots (3)$$

ただし、

max：投影光束の主光線が2次像面に対して成す入射角度の最大値(°)、

min：投影光束の主光線が2次像面に対して成す入射角度の最小値(°)、

である。

【0024】

第20の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第19のいずれか1つの発明において、2次像面の法線方向をXi方向とし、2次像面の画面短辺方向をYi方向とし、2次像面の中心を含むXiYi平面をPXiYi平面とし、PXiYi平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束をRaysXiYi_{max}とし、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束をRaysXiYi_{min}とし、PXiYi平面の光学的延長面に垂直な方向をZi方向とすると、以下の条件式(4)を満足することを特徴とする。

20

$$(\text{CoR1Zmin} - \text{CoR1Zmax}) > 0 \quad \dots (4)$$

ただし、

CoR1Zmax：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi_{max}が第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のZi方向の曲率、

30

CoR1Zmin：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi_{min}が第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のZi方向の曲率、

である。

【0025】

第21の発明の斜め投影光学系は、上記第20の発明において、以下の条件式(5)を満足することを特徴とする。

$$(\text{CoR1Zmin} - \text{CoR1Ymin}) / (\text{CoR1Zmax} - \text{CoR1Ymax}) > 1 \quad \dots (5)$$

ただし、

CoR1Ymax：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi_{max}が第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のYi方向の曲率、

40

CoR1Ymin：PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi_{min}が第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のYi方向の曲率、

である。

【0026】

第22の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第21のいずれか1つの発明において、2次像面の法線方向をXi方向とし、2次像面の画面短辺方向をYi方向とし、2次像面の中心を含むXiYi平面をPXiYi平面とし、PXiYi平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束をRaysXiYi_{max}とし、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束をRaysXiYi_{min}とすると、PXiYi平面の光学的延長面における前記第1曲面反射面の有効光学領域の形状が

50

、光束RaysXiYi_{max}が反射する領域で正パワーを有する凹形状であり、光束RaysXiYi_{min}が反射する領域で負パワーを有する凸形状であることを特徴とする。

【0027】

第23の発明の斜め投影光学系は、上記第22の発明において、1次像面の中心から射出して絞りの中心を通る主光線を中心主光線とし、PXiYi平面の光学的延長面と前記第1曲面反射面とが交わる線上の曲率をCoR1Yとすると、曲率CoR1Yの符号が反転する点が、前記中心主光線と前記第1曲面反射面との交点より光束RaysXiYi_{min}が反射する領域側に位置することを特徴とする。

【0028】

第24の発明の斜め投影光学系は、上記第1～第23のいずれか1つの発明において、1次像面の法線方向をXo方向とし、1次像面の画面短辺方向をYo方向とし、1次像面の中心を含むXoYo平面をPXoYo平面とすると、PXoYo平面の光学的延長面とPXiYiの光学的延長面とが同一平面であることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0029】

本発明によれば、第1曲面反射面が光学的パワーに関して特徴的な面形状を有する構成になっているため、良好な光学性能を保持しつつコスト面で有利であって、しかも薄型・大画面で光学部品も軽量・コンパクトな斜め投影光学系を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

以下、本発明に係る斜め投影光学系の実施の形態等を、図面を参照しつつ説明する。図1～図7に、斜め投影光学系の第1～第7の実施の形態における1次像面S_oから2次像面S_iまでの投影光路全体の光学構成(光学配置、投影光路等)を、1次像面S_oの画面長辺方向に沿って見たときの光学断面でそれぞれ示し、図8～図14に、図1～図7の主要部(主に絞りやレンズ群の細かい部分)を拡大してそれぞれ示す。つまり、1次像面S_oの法線方向をx方向とし、1次像面S_oの画面短辺方向をy方向とし、1次像面S_oの画面長辺方向をz方向とする直角座標系(x,y,z)において、図1～図14は各実施の形態における投影光路全体の光学構成を直角座標系(x,y,z)におけるxy断面で示している。なお、図1～図14中、*印が付された光学面は回転対称な非球面、\$印が付された光学面は回転非対称な非球面(いわゆる自由曲面)であることを示している。

20

30

【0031】

第1～第7の実施の形態は、縮小側の1次像面S_oから拡大側の2次像面S_iへの斜め方向の拡大投影を行う、画像投影装置用の斜め投影光学系である。したがって、1次像面S_oは光強度を変調することにより2次元画像を形成する表示素子の画像形成面(例えば画像表示面)に相当し、2次像面S_iは投影像面(例えばスクリーン面)に相当する。1次像面S_oの近傍には表示素子のカバーガラスCGが位置しており、各実施の形態では表示素子としてデジタル・マイクロミラー・デバイス(digital micromirror device)を想定している。ただし、表示素子はこれに限らず、各実施の形態の斜め投影光学系に適した他の非発光・反射型(又は透過型)の表示素子(例えば液晶表示素子)を用いても構わない。表示素子としてデジタル・マイクロミラー・デバイスを用いた場合、それに入射した光は、ON/OFF状態(例えば±12°の傾き状態)の各マイクロミラーで反射されることにより空間的に強度変調される。その際、ON状態のマイクロミラーで反射した光のみが斜め投影光学系に入射してスクリーン面に投射される。なお、上記表示素子の代わりに自発光型表示素子を用いてもよい。映像表示素子として自発光型表示素子を用いれば、照明用の光源等が不要となるため、光学構成をより軽量で小型にすることができる。

40

【0032】

各実施の形態の光学構成の上下配置は、図1～図14に示されているものに限らず、上下反対でもよい。つまり、実際の装置配置や光学系配置等の都合に合わせて、図1～図14における上側を下側としてもなんら問題はない。また、各実施の形態の斜め投影光学系は、背面投写型画像投影装置(リアプロジェクター)に適した光学構成を有しているが、2

50

次像面 S_i から 1 次像面 S_o への斜め方向の縮小投影を行う斜め投影光学系として、画像読み取り装置に用いることも可能である。その場合、1 次像面 S_o は画像読み取り用の受光素子 (例えば CCD : Charge Coupled Device) の受光面に相当し、2 次像面 S_i は読み取り画像面 (例えば原稿面) に相当する。また、いずれの実施の形態も、拡大側の 2 次像面 S_i に到達する直前の反射面が平面反射面であるので、それを構成している第 1 平面ミラー F_1 (更には第 2 平面ミラー F_2) を取り除き、その結果得られる 2 次像面 S_i の位置 (つまり、平面反射面に対する 2 次像面 S_i のミラーイメージ位置) にスクリーンを配置すれば、前面投写型画像投影装置 (フロントプロジェクター) としての使用も可能である。そして、そのような形態における縮小光学系としても利用可能である。

【0033】

10

第 1 ~ 第 7 の実施の形態には、反射光学素子と屈折光学素子とが用いられている。反射光学素子としては、曲面反射面を有するパワーミラーと平面反射面を有する平面ミラーとが用いられているが、用いる反射光学素子はミラー類に限らず、例えば曲面反射面や平面反射面を有するプリズム類を用いてもよい。また、複数の反射面を有する 1 つ又は複数の反射光学素子を用いてもよく、反射面、屈折面、回折面、又はそれらを組み合わせて有する光学素子を用いてもよい。屈折光学素子としては、曲面屈折面を有する屈折レンズが用いられているが、用いる屈折光学素子は入射光線を屈折作用により偏向させる屈折型レンズ (つまり、異なる屈折率を有する媒質同士の界面で偏向が行われるタイプのレンズ) に限らない。例えば、回折作用により入射光線を偏向させる回折型レンズ、回折作用と屈折作用との組み合わせで入射光線を偏向させる屈折・回折ハイブリッド型レンズ、入射光線を媒質内の屈折率分布により偏向させる屈折率分布型レンズ等を用いてもよい。以下に、各実施の形態の光学構成を更に詳しく説明する。

20

【0034】

第 1 の実施の形態 (図 1, 図 8) では、1 次像面 S_o から 2 次像面 S_i への投影光路に沿って順に、カバーガラス CG と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S_3 を有する正パワーの第 4 パワーミラー M_4 と、絞り ST_2 と、略ノンパワーの回転非対称非球面レンズ L_1 と、絞り ST_1 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S_6 を有する負パワーの第 3 パワーミラー M_3 と、回転非対称非球面から成る曲面反射面 S_7 を有する第 2 パワーミラー M_2 と、回転非対称非球面から成る曲面反射面 S_8 を有する第 1 パワーミラー M_1 と、光路折り返し用の平面反射面 S_9 を有する第 2 平面ミラー F_2 と、光路折り返し用の平面反射面 S_{10} を有する第 1 平面ミラー F_1 と、が配置されている。なお図 8 には、屈折レンズ L_1 の前後面の有効径の位置に 2 枚の絞り ST_1 , ST_2 が配置された例を示しているが、用いる絞りは 2 枚に限らず 1 枚でも構わない。

30

【0035】

第 2 実施の形態 (図 2, 図 9) では、1 次像面 S_o から 2 次像面 S_i への投影光路に沿って順に、カバーガラス CG と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S_3 を有する正パワーの第 4 パワーミラー M_4 と、略ノンパワーの回転非対称非球面レンズ L_1 と、絞り ST_2 と、絞り ST_1 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S_6 を有する負パワーの第 3 パワーミラー M_3 と、回転非対称非球面から成る曲面反射面 S_7 を有する第 2 パワーミラー M_2 と、回転非対称非球面から成る曲面反射面 S_8 を有する第 1 パワーミラー M_1 と、光路折り返し用の平面反射面 S_9 を有する第 1 平面ミラー F_1 と、が配置されている。なお図 9 には、屈折レンズ L_1 の 2 次像面 S_i 側の位置に 2 枚の絞り ST_1 , ST_2 が配置された例を示しているが、用いる絞りは 2 枚に限らず 1 枚でも構わない。

40

【0036】

第 3 実施の形態 (図 3, 図 10) では、1 次像面 S_o から 2 次像面 S_i への投影光路に沿って順に、カバーガラス CG と、回転対称非球面レンズ L_5 と、絞り ST 、負レンズと正レンズから成る接合レンズ L_4 と、正レンズ L_3 と、負レンズ L_2 と、略ノンパワーの回転非対称非球面レンズ L_1 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S_{15} を有する第 2 パワーミラー M_2 と、回転非対称非球面から成る曲面反射面 S_{16} を有する第 1 パワーミラー M_1 と、光路折り返し用の平面反射面 S_{17} を有する第 2 平面ミラー F_2 と、光路折

50

返し用の平面反射面 S 1 8 を有する第 1 平面ミラー F 1 と、が配置されている。

【 0 0 3 7 】

第 4 実施の形態 (図 4 , 図 1 1) では、 1 次像面 S o から 2 次像面 S i への投影光路に沿って順に、カバーガラス C G と、回転対称非球面レンズ L 5 、絞り S T 2 と、負レンズと正レンズから成る接合レンズ L 4 と、絞り S T 1 と、正レンズ L 3 と、負レンズ L 2 と、略ノンパワーの回転対称非球面レンズ L 1 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S 1 4 を有する第 2 パワーミラー M 2 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S 1 5 を有する第 1 パワーミラー M 1 と、光路折り返し用の平面反射面 S 1 6 を有する第 1 平面ミラー F 1 と、が配置されている。なお図 1 1 には、接合レンズ L 4 の前後面の有効径の位置に 2 枚の絞り S T 1 , S T 2 が配置された例を示しているが、用いる絞りは 2 枚に限らず 1 枚でも構わない。

【 0 0 3 8 】

第 5 実施の形態 (図 5 , 図 1 2) では、 1 次像面 S o から 2 次像面 S i への投影光路に沿って順に、カバーガラス C G と、回転対称非球面レンズ L 5 と、絞り S T と、負レンズと正レンズから成る接合レンズ L 4 と、正レンズ L 3 と、負レンズ L 2 と、略ノンパワーの回転対称非球面レンズ L 1 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S 1 5 を有する第 2 パワーミラー M 2 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S 1 6 を有する第 1 パワーミラー M 1 と、光路折り返し用の平面反射面 S 1 7 を有する第 1 平面ミラー F 1 と、が配置されている。

【 0 0 3 9 】

第 6 実施の形態 (図 6 , 図 1 3) では、 1 次像面 S o から 2 次像面 S i への投影光路に沿って順に、カバーガラス C G と、回転対称非球面レンズ L 8 と、絞り S T 、負レンズと正レンズから成る接合レンズ L 7 と、正レンズと負レンズから成る接合レンズ L 6 と、正レンズ L 5 と、正レンズ L 4 と、正レンズと負レンズから成る接合レンズ L 3 と、負レンズ L 2 と、略ノンパワーの回転対称非球面レンズ L 1 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S 2 3 を有する第 1 パワーミラー M 1 と、光路折り返し用の平面反射面 S 2 4 を有する第 2 平面ミラー F 2 と、光路折り返し用の平面反射面 S 2 5 を有する第 1 平面ミラー F 1 と、が配置されている。第 6 の実施の形態では、略ノンパワーの回転対称非球面レンズ L 1 と第 1 パワーミラー M 1 との間に平面ミラーを配置して光路を折り返すことにより、斜め投影光学系の光学配置を変えることができる。例えば、 1 次像面 S o の画面長辺方向 (後述するローカル Z 軸方向) と 2 次像面 S i の法線方向 (後述するローカル X 軸方向) とが平行になるように、平面ミラーで光路を折り曲げることによって、斜め投影光学系を 2 次像面 S i の法線方向にコンパクト化することができる。

【 0 0 4 0 】

第 7 実施の形態 (図 7 , 図 1 4) では、 1 次像面 S o から 2 次像面 S i への投影光路に沿って順に、カバーガラス C G と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S 3 を有する正パワーの第 4 パワーミラー M 4 と、絞り S T 2 と、絞り S T 1 と、略ノンパワーの回転対称非球面レンズ L 1 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S 6 を有する負パワーの第 3 パワーミラー M 3 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S 7 を有する第 2 パワーミラー M 2 と、回転対称非球面から成る曲面反射面 S 8 を有する第 1 パワーミラー M 1 と、光路折り返し用の平面反射面 S 9 を有する第 2 平面ミラー F 2 と、光路折り返し用の平面反射面 S 1 0 を有する第 1 平面ミラー F 1 と、が配置されている。なお図 1 4 には、屈折レンズ L 1 の 1 次像面 S o 側の位置に 2 枚の絞り S T 1 , S T 2 が配置された例を示しているが、用いる絞りは 2 枚に限らず 1 枚でも構わない。

【 0 0 4 1 】

図 3 5 に、第 7 の実施の形態の斜め投影光学系を照明光学系と組み合わせて成る画像投影装置の主要光学構成を示す。照明光学系は、バンドパスフィルター B F , インテグレーションロッド R D , カラーホイール C W , プリズム P R , 屈折レンズ G 1 ~ G 5 , 光路折り返し用のミラー M R 等から成り、ランプ L U からの光を表示素子 D P に導く。表示素子 D P は光の強度を変調することにより画像を形成し、形成された画像 (1 次像面 S o に

相当する。)は前述の斜め投影光学系によりスクリーン面(2次像面 S_i の形成面に相当する。)に対して斜め方向から拡大投影される。以下に、照明光学系各部の構成を更に詳しく説明する。

【0042】

ランプLUから射出した光は、レンズG1で集光され、バンドパスフィルターBFとカラーホイールCWを透過した後、インテグレーションロッドRDの入射端面近傍で結像する。バンドパスフィルターBFとしては、例えばUV (ultraviolet ray) - IR (infrared ray)カットフィルターが用いられ、バンドパスフィルターBFにより、照明光から紫外線と赤外線がカットされる。インテグレーションロッドRDの入射端面近傍に配置されているカラーホイールCWは、表示素子DPをカラーシーケンシャル方式で照明するためのカラーフィルターから成っており、照明光透過位置のフィルター部分が回転移動することによりカラー表示のために射出光の色を時分割で変化させる。なお、カラーホイールCWの位置は、インテグレーションロッドRDの入射端面の近傍に限らない。その位置は他の光学要素の配置等に応じて設定すればよく、例えばインテグレーションロッドRDの射出端面の近傍にカラーホイールCWを配置してもよい。

10

【0043】

カラーホイールCWを透過した光は、インテグレーションロッドRDに入射する。インテグレーションロッドRDは、4枚の平面ミラーを貼り合わせて成る中空ロッド方式の光強度均一化手段であり、入射端面から入射してきた光は、インテグレーションロッドRDの側面(すなわち内壁面)で何度も繰り返し反射されることによりミキシングされ、光の空間的なエネルギー分布が均一化されて射出端面から射出する。インテグレーションロッドRDの入射端面と射出端面の形状は、表示素子DPと相似の四角形になっており、また、インテグレーションロッドRDの射出端面は表示素子DPの画像形成面(1次像面 S_o に相当する。)に対して共役になっている。上記ミキシング効果により射出端面での輝度分布が均一化されるため、表示素子DPは効率良く均一に照明されることになる。なお、インテグレーションロッドRDは中空ロッドに限らず、四角柱形状のガラス体から成るガラスロッドでもよい。また、表示素子DPの画像形成面形状と適合するならば、その側面についても4面に限らない。したがって、用いるインテグレーションロッドRDとしては、複数枚の反射ミラーを組み合わせて成る中空筒体、多角柱形状のガラス体等が挙げられる。

20

30

【0044】

インテグレーションロッドRDを射出した光は、正パワーを有する屈折レンズG2に入射する。照明光学系のフォーカス調整は、このレンズG2を光軸方向に移動させることにより行われる。屈折レンズG2を射出した光は、正パワーを有する屈折レンズG3と正レンズ及び負レンズから成る接合レンズG4を透過した後、ノンパワーでウェッジタイプのプリズムPRに入射する。プリズムPRは、入射面法線、射出面法線の少なくともいずれか一方がインテグレーションロッドRDの端面法線に対して非平行になっており、照明光学系における非対称な収差を補正するように作用する。なお、プリズムPRとしては製造容易な直角プリズムを用いるのが好ましい。

【0045】

プリズムPRを射出した光は、正パワーを有する屈折レンズG5を透過し、ミラーMRで光路が折り曲げられる。ミラーMRは平面ミラー、曲面ミラーのいずれでもよいが、光学系の低コスト化のためには安価な平面ミラーを用いるのが好ましい。また、照明領域を調整するためにミラーMRを振ることが可能な構成にしてもよい。ミラーMRで光路が折り曲げられた光は表示素子DPに導かれて、インテグレーションロッドRDの射出端面の像が表示素子DPの画像形成面上に形成される。その結像を行うためのパワーはレンズG2~G5が負担している。レンズG2~G4が共軸であれば、製造が容易になるので好ましい。さらに、レンズG2~G4に対してレンズG5が共軸であれば、製造が更に容易になるので好ましい。

40

【0046】

50

上述の照明光学系により照明された表示素子DPの画像形成面は、斜め投影光学系の第7の実施の形態によりスクリーン面に対して斜め方向から拡大投影される。第1～第6の実施の形態を用いた場合でも、第7の実施の形態と同様の拡大投影が行われる。こういった斜め拡大投影をリアプロジェクション装置に適用する場合、リアプロジェクション装置の薄型化と斜め投影光学系の光学性能とを良好にバランスさせることが重要になる。しかし、装置の薄型化を達成しながら良好な光学性能を得ようとする、光学部品の大型化を招いてしまい、それが装置全体の大型化・コストアップの原因になってしまう。

【0047】

上記問題を回避するため、各実施の形態では反射面にパワーを有する反射光学素子を少なくとも1つ用い、そのうちの光路中最も2次像面Si側に位置する反射光学素子(すなわち第1パワーミラーM1)に、正パワーを有する部分と負パワーを有する部分とが存在する特徴的な面形状を持たせている。正パワーを有する部分と負パワーを有する部分とが共存する面形状は、第5,第6の実施の形態では回転対称非球面で形成されており、第1～第4,第7の実施の形態では回転非対称非球面で形成されている。第1パワーミラーM1の反射面に正と負の両方のパワーを持たせることにより、歪曲と像面湾曲の両方を同時に収差補正する能力を高めるための自由度が上がるため、高性能化を達成することが可能となる。

【0048】

したがって、縮小側の1次像面から拡大側の2次像面への拡大投影を行うための斜め投影光学系においては、各実施の形態のようにパワーを有する反射面を少なくとも1面有し、そのうちの光路中最も2次像面側に位置する反射面を「第1曲面反射面」とすると、その第1曲面反射面中に正パワーを有する部分と負パワーを有する部分とが存在することが好ましい。第1曲面反射面の特徴的な面形状によって高性能化を達成することが可能となるため、良好な光学性能を保持しつつコスト面で有利であって、しかも薄型・大画面で光学部品も軽量・コンパクトな斜め投影光学系を実現することができる。

【0049】

さらに、1次像面の中心から射出して絞りの中心を通る主光線を「中心主光線」とすると、前記第1曲面反射面には前記中心主光線との交点において、正パワーを有する方向と負パワーを有する方向とが存在することが望ましい。斜め投影角がきつくなるにつれて(つまり、2次像面に対する入射角が大きくなるにつれて)、2次像面上の2方向における像面深度の差が大きくなる。これを補正するために正,負のパワーが有利に働くが、中心主光線の2次像面に対する入射角が55度以上となるような斜め投影光学系では特に有利になる。

【0050】

前記正パワーを有する方向と負パワーを有する方向とが前記交点で互いに直交した2方向であることが望ましい。2次像面への入射角が大きくなると、入射角の影響のみを考慮した際に、2次像面に入射する中心主光線が2次像面と最大の角度を成す平面上での像面深度とそれに直交した方向の像面深度との差が最大になる。これを補正するためには、直交した方向に正,負の各パワーを持つことが有効である。後述する実施例1～4,7では、図22,図24,図26,図28,図33に示すように、第1パワーミラーM1の反射面(すなわち第1曲面反射面)が中心主光線との交点で互いに直交した2方向に負,正のパワーをそれぞれ有している。つまり、直交座標系(X,Y,Z)において、Y方向の曲率CoYが負となっており、Z方向の曲率CoZが正となっている。

【0051】

前記交点で互いに直交した2方向は、2次像面の画面上下方向と画面左右方向とに一致することが望ましい。2次像面の法線方向をXi方向とし、2次像面の画面短辺方向をYi方向とし、2次像面の画面長辺方向をZi方向とし、2次像面の中心を含むXiYi平面をPXiYi平面とし、2次像面の中心を含むXiZi平面をPXiZi平面とすると、PXiYi平面とPXiZi平面とが直交し、かつ、PXiYi平面の光学的延長面に対して対称な光学系の場合、光学系はPXiYi平面の光学的延長面内でのみ偏芯していることになる。この場合、中心主光線が2次像

10

20

30

40

50

面と最大の角度を成す断面は PX_iY_i 平面となる。そのため、入射角のみを考慮した場合、この断面での成分の像面深度が最も浅く、この断面が第1曲面反射面(各実施の形態における第1パワーミラー M_1 の反射面)の正又は負の方向と一致すれば像面性を効果的に補正することが可能となる。なお「平面の光学的延長面」とは、パワーを持たない反射面(つまり平面反射面)で光路が折り曲げられている場合、その光路と共に折り曲げられた仮想的な平面を指している。したがって、その平面は光路が展開された状態での平面を意味する。例えば、前述の第6の実施の形態(図6)に関する説明で触れたように、略ノンパワーの回転非対称非球面レンズ L_1 と第1パワーミラー M_1 との間に平面ミラーを配置して、1次像面 S_o の画面長辺方向(後述するローカルZ軸方向)と2次像面 S_i の法線方向(後述するローカルX軸方向)とが平行になるように、平面ミラーで縮小側の光路を折り曲げた場合には、 PX_iY_i 平面の光学的延長面は、折り曲げ位置より縮小側に位置する部分で PX_iY_i 平面に対して垂直に位置することになる。

10

【0052】

2次像面の法線方向を X_i 方向とし、2次像面の画面短辺方向を Y_i 方向とし、2次像面の中心を含む X_iY_i 平面を PX_iY_i 平面とすると、 PX_iY_i 平面の光学的延長面における前記第1曲面反射面の有効光学領域の形状が、正パワーを有する凹面形状の部分と負パワーを有する凸面形状の部分とから成ることが望ましい。第1曲面反射面をこのような面形状にすることによって、斜め投影光学系を広角化しつつ像面湾曲と歪曲収差のバランスを良好に保つことが可能となる。ここでいう「広角化」とは、2次像面に入射する光線の最大入射角度を大きくすることを意味する。また、ここでは PX_iY_i 平面の光学的延長面における第1曲面反射面の有効光学領域の形状に着目しているが、いずれの実施の形態においても第1パワーミラー M_1 の有効光学領域における反射面形状に断点等は無く、その反射面は連続した滑らかな形状になっている。したがって、良好な光学性能を2次像面全域で得ることができる。

20

【0053】

後述する実施例1~7では、図22, 図24, 図26, 図28, 図30, 図32, 図33に示すように、第1パワーミラー M_1 の反射面の曲率 CoY の符号が反転している。このことから、第1パワーミラー M_1 の反射面には、正パワーを有する凹面形状の部分と負パワーを有する凸面形状の部分とが存在することが分かる。第1パワーミラー M_1 が有する第1曲面反射面の凸部分を利用することにより、最小入射角度 \min で2次像面に入射する光線の光路長を長くすることができるので、像面湾曲と歪曲収差のバランスを良好に保ちつつ効果的に画角を広げることが可能である。なかでも、2枚以上パワーミラーが存在する斜め投影光学系では特に有効である。

30

【0054】

パワーを有し、かつ、回転対称な形状の少なくとも一部を反射面又は屈折面に有する回転対称光学素子を少なくとも1つ有し、1次像面の法線方向を X_o 方向とし、1次像面の画面短辺方向を Y_o 方向とし、1次像面の中心を含む X_oY_o 平面を PX_oY_o 平面とすると、少なくとも1つの回転対称光学素子の回転中心軸が、 PX_oY_o 平面の光学的延長面内に存在し、かつ、 X_o 方向の光学的延長方向に対して非平行であることが望ましい。回転対称な形状を有する光学素子は、そうでないものに比べて製造, 評価, 調整等が比較的容易である。このため、コストも比較的低くて済む。しかし、各実施の形態のように反射光学素子を用いた広角な斜め投影光学系においては、仮にその反射面が回転対称面形状を有していたとすると、反射光路の干渉を効率良く避けることは困難である。反射光路の干渉を効率良く避けるには、その回転中心軸を1次像面や2次像面の法線に対して偏芯させることが有効である。また、平行偏芯にとどまらず傾き偏芯を加えるとより一層自由度が増すため、良好な光学性能を保ちつつプロジェクション装置の薄型化を容易に達成することが可能となる。例えば第1の実施の形態(図1, 図8)では、第3, 第4パワーミラー M_3, M_4 が上記回転対称光学素子に相当し、その配置により装置が効果的に薄型化されていることが分かる。なお「光学的延長方向」とは、パワーを持たない反射面(つまり平面反射面)で光路が折り曲げられている場合、その光路と共に折り曲げられた仮想的な方向を指しており、その

40

50

考え方は「光学的延長面」と同様である。

【0055】

各実施の形態のように、収差補正機能を有する屈折光学素子を少なくとも1つ有することが望ましい。屈折光学素子は、その相対的な屈折率の低さから、反射光学素子よりも一般的に誤差感度が低いため、製造や調整が容易である。したがって、パワーを有する反射光学素子の他に屈折光学素子に収差補正能力を持たせると、製造難易度が低くなりコスト低減が可能になる。

【0056】

例えば第1の実施の形態では、上記屈折光学素子として略ノンパワーの回転非対称非球面レンズL1が用いられている。屈折光学素子に非球面形状を持たせることにより、誤差感度は低いままで収差補正効果をより高くすることができる。また、略ノンパワーにする事で更に誤差感度が低減できる。したがって、前記屈折光学素子は非球面から成る屈折面を少なくとも1面有することが望ましい。「非球面」は、球面を除くすべての形状の面、例えば、回転対称非球面、回転非対称非球面(いわゆる自由曲面)、シリンダー面等を意味する。また、各実施の形態のような広角の偏芯光学系においては、回転非対称な収差を補正することによって光学性能をより一層良好にすることができる。したがって、前記屈折光学素子は回転非対称な形状の非球面から成る屈折面を少なくとも1面有することが更に望ましい。

【0057】

上記非球面形状を有する屈折光学素子は、絞り近傍、あるいは主光線が集まる位置の近傍に配置されることが好ましい。一般に絞り近傍に位置する光学素子は、共軸系での球面収差のように、絞り径方向の次元に感度が高い収差に大きな影響を及ぼす。したがって、その位置近傍に非球面を配置すれば、斜め投影光学系の収差量を低減することが可能となる。その非球面が屈折光学素子であれば、反射光学素子に対して誤差感度が低くなるので更に好ましい。また、第1、第2、第7の実施の形態(図8、図9、図14)のように屈折光学素子であるレンズL1を絞りST1、ST2の近傍に配置したり、あるいは主光線が集まる位置に屈折光学素子を配置したりすれば、1次像面S0を密封する枠の窓として屈折光学素子を用いることができる。それによって1次像面S0近傍へのゴミや塵の進入を遮断することができる。

【0058】

各実施の形態のような広角の投影光学系を薄型の装置に収めようとする場合、装置の厚み(Xi方向の厚み)が薄くなるように各光学素子を配置しなければならない。光学的にパワーを持たない平面ミラーを2次像面に対して傾けて配置すれば、斜め投影光学系に負荷をかけずに、斜め投影光学系を装置の厚み方向にバランス良く収めることができる。これは装置を薄型化する上で一般に有効である。しかし、平面ミラーが1枚しかない場合にその平面ミラーを傾けると、歪曲(つまり台形歪み)が発生してしまうので、斜め投影光学系に余計な歪曲補正能力が必要となる。このため、少なくとも2枚の平面ミラーが続くことが有利であり、例えば第1、第3、第6、第7の実施の形態(図1、図3、図6、図7)のように、2枚の平面ミラーF1、F2を用いることが好ましい。平面ミラーを2枚用いると薄型化を達成しつつ共役長を伸ばすことが可能となり、それによって第1曲面反射面(つまり第1パワーミラーM1)を小さくすることが可能となる。したがって、斜め投影光学系は2次像面側から光路に沿って順に平面反射面を少なくとも2面続けて有することが好ましい。

【0059】

前記平面反射面のうち2次像面側から数えて2つ目の平面反射面を「第2平面反射面」とすると、その第2平面反射面の法線が2次像面の法線に対して平行でなく、垂直でもないことが更に好ましい。図1、図3、図6、図7から分かるように、2次像面Siは拡大共役側に位置するので、第2平面ミラーF2の面積は第1平面ミラーF1より小さく、よって、第2平面ミラーF2を2次像面Siに対して傾けたときに生じるXi方向の装置厚みの変化量は、第1平面ミラーF1を同じ角度だけ傾けたときよりも小さくなる。したがっ

10

20

30

40

50

て、平面ミラーより1次像面 S_0 側に位置する光学素子を装置の厚み方向に納めるように平面ミラーを傾けるのであれば、第2平面ミラー F_2 を傾けることは装置の薄型化において有利である。また、より面積の大きい第1平面ミラー F_1 を2次像面 S_i に対して平行にした方が保持や調整が簡単であり、ミラーの撓みも少なく済むので好ましい。第1, 第3, 第6, 第7の実施の形態では、このような観点から、第2平面ミラー F_2 の平面反射面の法線が2次像面の法線に対して平行でなく、垂直でもない構成になっている。

【0060】

2次像面に対する第2平面反射面の傾きに関しては、以下の条件式(1)を満足することが望ましい。

$$0 < \theta_1 < 40 \quad \dots (1)$$

10

ただし、

θ_1 : 第2平面反射面の法線と2次像面の法線とが成す角度($^\circ$)、

である。

【0061】

条件式(1)は、プロジェクション装置を薄型化するための好ましい条件範囲を規定している。条件式(1)の下限を越えて角度 θ_1 が 0° になると、斜め投影光学系の配置の自由度が無くなってしまふ。逆に、条件式(1)の上限を越えて角度 θ_1 が 40° 以上になると、第2平面反射面の角度が強すぎて、装置の厚みを増やす方向になってしまい、装置の薄型化に関しては逆に配置の自由度が減ることになる。また、2次像面に対する第2平面反射面の傾き方向を考慮した場合、2次像面の法線方向を X_i 方向とし、2次像面の画面短辺方向を Y_i 方向とし、2次像面の中心を含む X_iY_i 平面を PX_iY_i 平面とし、 PX_iY_i 平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入射時に X_i 方向と成す角度が最も大きい主光束を持つ光束を $Rays_{X_iY_i \max}$ とし、2次像面入射時に X_i 方向と成す角度が最も小さい主光束を持つ光束を $Rays_{X_iY_i \min}$ とし、 $\theta_1 = 0$ の場合を角度 θ_1 の $+/-$ の基準として、光束 $Rays_{X_iY_i \min}$ が光束 $Rays_{X_iY_i \max}$ よりも光路長の短くなる度合いが大きくなる方向(図1~図14における左回り)を角度 θ_1 の正方向としたときに、条件式(1)を満足することが更に望ましい。

20

【0062】

いずれの実施の形態においても、回転非対称非球面が少なくとも1面用いられている。回転対称光学素子の回転対称軸を X_0 方向に対し傾斜させた時点で、回転非対称な収差が発生する。この収差を補正するには回転非対称な面形状を有する光学素子を用いるのが効果的であり、回転非対称光学面を用いることによって良好な光学性能を効果的に達成することが可能となる。また、偏芯した回転対称な光学面を複数用いることによっても回転非対称光学面と同じような収差補正効果を得ることはできるが、それによる光学素子数の増加がコストアップを招いてしまう。したがって、回転非対称光学面を少なくとも1面有することが好ましい。そして、回転非対称光学素子を用いることは、回転非対称な収差の補正だけでなくコスト低減にも有効である。

30

【0063】

前記回転非対称光学面は、回転非対称な形状の屈折面であることが好ましい。回転非対称収差を補正する回転非対称光学面が屈折面であれば、反射面に比べて屈折率の絶対値が低い分、誤差感度を低く保つことができ、製造や調整が容易になりコスト低減を図ることができる。前述した非球面形状を有する屈折光学素子の配置と同様、絞り近傍、あるいは主光束が集まる位置の近傍に回転非対称光学面を配置することが好ましい。それにより、絞り径方向の次元に感度が高い回転非対称な収差を低減して、像質を良好にすることが可能となる。また、光路の通過する順番でパワーを有する反射面と隣り合わせになるところに回転非対称屈折面を配置することが好ましい。それにより、パワーを有する反射面の収差補正機能を回転非対称屈折面に分散することができるため、各々の光学面に付加される誤差感度の絶対値を下げるができる。このような観点から、第1~第6の実施の形態(図8~図13)は回転非対称な形状の屈折面を有する構成になっている。

40

【0064】

50

前記回転非対称光学面は、回転非対称な形状の反射面であることが好ましい。誤差感度低減の観点から見て、屈折面を回転非対称光学面にすることだけが優れているとは一概には言えない。反射面においても回転非対称面形状を持たせることは有益である。反射面には色収差を発生させないという特長があり、これが第1の理由である。つまり、回転非対称な形状の反射面を用いることにより、色収差無しで回転非対称な像面補正、歪曲補正、瞳の収差補正等を行うことができる。第2の理由は製造面での有利さにある。要求される面精度や位置精度が比較的低い、光路中のより2次像面に近い位置で回転非対称反射面を使用する場合、反射面の屈折率に相当する値(= -1)の絶対値の大きさを生かして、屈折面と同じパワーをより緩やかな曲面で達成することができる。これが製造上の利点となる。緩やかでなくパワーのある屈折曲面の製造においては、肉厚量や変肉差、面の曲がり度合いのきつさから加工時間が増加し、成型品ならば成形時間が長くなってコスト高となる。また、曲がり度合いのきつい面に対し均一に反射防止膜を施すことは一般的に困難であるため、照度分布を悪化させるおそれもある。このような理由から、斜め投影光学系の反射面中に回転非対称な形状を持たせることは良好な性能を達成する上で好ましく、第1～第4、第7の実施の形態(図1～図4、図7)では回転非対称な形状の反射面を用いた構成になっている。また、反射面に回転非対称面形状を持たせる場合には、絞り近傍、あるいは主光線が集まる位置の近傍より2次像面側に回転非対称反射面を配置することが更に好ましい。

10

【0065】

第1～5、第7の実施の形態(図1～図5、図7)のように、パワーを有する反射面を少なくとも2面有することが好ましい。主に第1曲面反射面(すなわち第1パワーミラーM1の曲面反射面)の形状による像面と歪曲収差に対する影響を相殺する反射光学素子が少なくとも1つあれば、像面性と歪曲収差の両方を良好にすることができる。また、そのように反射面同士で相殺した場合でも色収差が発生しないのも効果の1つである。このため、第1曲面反射面の他に最低限存在すべきもう1つの曲面反射面は、光路中の隣り合った場所に位置することが好ましい。言い換えると、2次像面S_iから順に数えたとき、もう1つのパワーミラーは第1パワーミラーM1の次の光学素子であることが好ましい。

20

【0066】

2次像面の法線方向をX_i方向とし、2次像面の画面短辺方向をY_i方向とし、2次像面の中心を含むX_iY_i平面をPX_iY_i平面とし、PX_iY_i平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入射時にX_i方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束をRaysX_iY_i maxとし、2次像面入射時にX_i方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束をRaysX_iY_i minとし、PX_iY_i平面の光学的延長面に垂直な方向をZ_i方向とし、パワーを有する反射面のうち2次像面側から数えて2つ目の反射面を「第2曲面反射面」とすると、その第2曲面反射面が以下の条件式(2)を満足することが望ましい。

30

$$(\text{CoR}2Z_{\text{max}} - \text{CoR}2Z_{\text{min}}) > 0 \quad \dots (2)$$

ただし、

CoR2Z_{max}: PX_iY_i平面の光学的延長面において光束RaysX_iY_i maxが第2曲面反射面で反射する領域近傍での第2曲面反射面のZ_i方向の曲率(言い換えれば、PX_iY_i平面の光学的延長面と第2曲面反射面とが交わる線の近傍のZ_i方向の曲率であって、光束RaysX_iY_i maxが反射する領域の値)、

40

CoR2Z_{min}: PX_iY_i平面の光学的延長面において光束RaysX_iY_i minが第2曲面反射面で反射する領域近傍での第2曲面反射面のZ_i方向の曲率(言い換えれば、PX_iY_i平面の光学的延長面と第2曲面反射面とが交わる線の近傍のZ_i方向の曲率であって、光束RaysX_iY_i minが反射する領域の値)、

である。

【0067】

仮に、光束RaysXY_i minの主光線が2次像面に到達する点を含む2次像面の辺を下辺とし、光束RaysXY_i maxの主光線が2次像面に到達する点を含む2次像面の辺を上辺としたとき、下辺に到達する光線の光路長は上辺に到達する光線の光路長よりも短くなる。下辺

50

と上辺の位置での倍率差を少なく保つ(つまり歪曲を少なく保つ)ような投影光学系を達成するには、下辺においてより急激に光線を広げなくてはならない。このため、第1曲面反射面のZi方向の曲率は光束RaysXYi minが通過する領域近傍で大きくなり、これに対し第1曲面反射面のZi方向の曲率は光束RaysXYi maxが通過する領域近傍で小さくなる。このことにより発生する像面湾曲を相殺するために、光束RaysXYi minが通過する領域近傍での第2曲面反射面のZi方向の曲率は、光束RaysXYi maxが通過する領域近傍での第2曲面反射面のZi方向の曲率より小さいことが好ましい。すなわち、条件式(2)を満たすことが好ましい。言い換えれば、この条件式(2)の下限を下回ると、像面湾曲を良好に保つことが困難になる。なお、後述する実施例1~5, 7では、図23, 図25, 図27, 図29, 図31, 図34において、曲率CoZのラインの左端の値がCoR2Zmaxであり、右端の値がCoR2Zminである。右下がりのラインであることから、条件式(2)を満たしていることが分かる。

【0068】

2次像面の法線方向をXi方向とし、2次像面の画面短辺方向をYi方向とし、2次像面の中心を含むXiYi平面をPXiYi平面とし、PXiYi平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束をRaysXiYi maxとし、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束をRaysXiYi minとし、パワーを有する反射面のうち2次像面側から数えて2つ目の反射面を「第2曲面反射面」とすると、その第2曲面反射面とPXiYi平面の光学的延長面とが交わる線上において、光束RaysXiYi maxが反射する領域から光束RaysXiYi minが反射する領域に沿って行くに従い、その線の曲率が一度大きくなってから小さくなる範囲が存在することが望ましい。第2曲面反射面をこのような面形状にすることにより、PXiYi平面上での像面湾曲を良好にすることができる。なお、後述する実施例1~5, 7では、図23, 図25, 図27, 図29, 図31, 図34から分かるように、曲率CoYが強くなってから緩くなる範囲が存在している。

【0069】

投影光束の主光線が2次像面に対して成す入射角度の最大値が65°以上であることが望ましい。この角度は一般的な光学系で言うところの画角にあたり、大きいほど高画角で投影距離を短くすることができる。このことは小さい空間での投影が可能であることを意味するので、フロントプロジェクター、リアプロジェクターのいずれにおいても投影光束の占有面積を減らすことができる。

【0070】

投影光束の主光線が2次像面に対して成す入射角度に関しては、以下の条件式(3)を満たすことが望ましい。

$$1.05 < (\max / \min) < 3 \quad \dots (3)$$

ただし、

max: 投影光束の主光線が2次像面に対して成す入射角度の最大値(°)、

min: 投影光束の主光線が2次像面に対して成す入射角度の最小値(°)、

である。

【0071】

条件式(3)は、スクリーンに入射する主光線の最大入射角と最小入射角との好ましい比を規定している。条件式(3)に上限が存在することは、スクリーン面に対し垂直に入射する主光線が存在しない投影光学系であることを意味する。すなわち、共軸光学系例えば全画角の半分以下を用いたシフト光学系のようなタイプであることを意味する。前述した条件では最大入射角度が65°以上であるため、条件式(3)における比が3の場合には最小値 minは約21.7度以上であることも意味している。また、この条件式(3)の比が小さいことは、最小画角と最大画角との差が小さいことを意味するので、その分像面性能と歪曲性能を良好にし易く、リアプロジェクション装置の斜め投影光学系に適用する場合には、全体の光束の広がりが少ないため平面ミラー等を用いてコンパクトに折り返し易い。さらに、リアプロジェクション装置のスクリーンにフレネルレンズを用いた場合、条件式

10

20

30

40

50

(3)の比が小さければ、全反射のみを用いたフレネルレンズを用いても輝度ムラや二重像等の現象を避けることができる。条件式(3)の上限を越えて比が大きくなると、全反射と透過とを混ぜたフレネルレンズ(ハイブリッドフレネルレンズ)を用いずには上記問題(輝度ムラや二重像等の現象)を回避することが困難になり、また、そのようなハイブリッドフレネルレンズは一般的に高価であるためコスト増しになる。逆に、条件式(3)の下限を越えると、入射角度がきつすぎて光学性能が維持できなくなり、スクリーンでの対応も難しくなる。

【0072】

以下の条件式(3a)を満足することが更に望ましい。

$$1.05 < (\max / \min) < 2 \quad \dots (3a)$$

この条件式(3a)は、上記条件式(3)が規定している条件範囲のなかでも、上記観点等に基づいた更に好ましい条件範囲を規定しており、この条件式(3a)を満たすことにより更なる薄型化、高性能化等の達成が可能となる。

【0073】

2次像面の法線方向をXi方向とし、2次像面の画面短辺方向をYi方向とし、2次像面の中心を含むXiYi平面をPXiYi平面とし、PXiYi平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束をRaysXiYi maxとし、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束をRaysXiYi minとし、PXiYi平面の光学的延長面に垂直な方向をZi方向とすると、以下の条件式(4)を満足することが望ましい。

$$(\text{CoR1Zmin} - \text{CoR1Zmax}) > 0 \quad \dots (4)$$

ただし、

CoR1Zmax: PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi maxが第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のZi方向の曲率(言い換えれば、PXiYi平面の光学的延長面と第1曲面反射面とが交わる線の近傍のZi方向の曲率であって、光束RaysXiYi maxが反射する領域の値)、

CoR1Zmin: PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi minが第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のZi方向の曲率(言い換えれば、PXiYi平面の光学的延長面と第1曲面反射面とが交わる線の近傍のZi方向の曲率であって、光束RaysXiYi minが反射する領域の値)、

である。

【0074】

条件式(2)の説明で触れたように、歪曲性能を良好に保つためには、曲率CoR1Zminが曲率CoR1Zmaxよりも大きくなるべきである。逆に曲率CoR1Zmaxを曲率CoR1Zminより大きくするためには、事前に第2曲面反射面(第2パワーミラーM2)で2次像面の下辺に到達する主光線を広げなくてはならないが、この方法をとると第1曲面反射面(第1パワーミラーM1)が大きくなってコスト高になる。なお、後述する実施例1~7では、図22, 図24, 図26, 図28, 図30, 図32, 図33において、曲率CoZのラインの左端の値がCoR1Zmaxであり、右端の値がCoR1Zminである。右上がりのラインであることから、条件式(4)を満たしていることが分かる。

【0075】

以下の条件式(5)を満足することが望ましい。

$$(\text{CoR1Zmin} - \text{CoR1Ymin}) / (\text{CoR1Zmax} - \text{CoR1Ymax}) > 1 \quad \dots (5)$$

ただし、

CoR1Ymax: PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi maxが第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のYi方向の曲率(言い換えれば、PXiYi平面の光学的延長面と第1曲面反射面とが交わる線の近傍のYi方向の曲率であって、光束RaysXiYi maxが反射する領域の値)、

CoR1Ymin: PXiYi平面の光学的延長面において光束RaysXiYi minが第1曲面反射面で反射する領域近傍での第1曲面反射面のYi方向の曲率(言い換えれば、PXiYi平面の光学的延長

10

20

30

40

50

面と第1曲面反射面とが交わる線の近傍のYi方向の曲率であって、光束RaysXiYi minが反射する領域の値)、
である。

【0076】

この条件式(5)を満たすことにより、広角で像面性も歪曲収差も良好な斜め投影光学系を達成することができる。なお、後述する実施例1~7では、図22, 図24, 図26, 図28, 図30, 図32, 図33において、曲率CoY, CoZの各ラインの左端の値がCoR1Ymax, CoR1Zmaxであり、右端の値がCoR1Ymin, CoR1Zminである。ラインの左端での値の差より右端での値の差が大きいことから、条件式(5)を満たしていることが分かる。

【0077】

2次像面の法線方向をXi方向とし、2次像面の画面短辺方向をYi方向とし、2次像面の中心を含むXiYi平面をPXiYi平面とし、PXiYi平面において2次像面に到達する光束のうち、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も大きい主光線を持つ光束をRaysXiYi maxとし、2次像面入射時にXi方向と成す角度が最も小さい主光線を持つ光束をRaysXiYi minとすると、PXiYi平面の光学的延長面における前記第1曲面反射面の有効光学領域の形状が、光束RaysXiYi maxが反射する領域で正パワーを有する凹形状であり、光束RaysXiYi minが反射する領域で負パワーを有する凸形状であることが望ましい。

【0078】

光束RaysXiYi minが反射する領域で第1曲面反射面が負のパワーを有する凸形状であれば、上述したように第1パワーミラーM1の大きさを抑えつつ歪曲収差を良好にすることができる。また、光束RaysXiYi maxが反射する領域で第1曲面反射面が正のパワーを有する凹形状であれば、凸形状であるのとは異なった像面湾曲補正が可能であり、投影画像を良好にすることができる。Xi方向に対し光束RaysXiYi maxが成す角度と、Xi方向に対し光束RaysXiYi minが成す角度と、に開きがある場合、2次像面上の像面湾曲感度は(\cos)²程度の割合で変わるため(: 2次像面に対する入射角度)、Xi方向と成す角度がある程度大きくなると急激に像面補正が困難となる。そのため、Xi方向と成す角度が比較的小さい場所においては第1曲面反射面に凸形状を持たせ、その角度が大きい場所では凹形状を持たせることが好ましく、それによって歪曲収差と像面湾曲を良好に保つことができる。なお、後述する実施例1~7での第1パワーミラーM1は、図22, 図24, 図26, 図28, 図30, 図32, 図33において、曲率が正のときの第1曲面反射面は凸形状を有するので負のパワーを持ち、曲率が負のときの第1曲面反射面は凹形状を有するので正のパワーを持つ。したがって、PXiYi平面の光学的延長面における第1曲面反射面の有効光学領域の形状は、光束RaysXiYi maxが反射する領域で正パワーを有する凹形状であり、光束RaysXiYi minが反射する領域で負パワーを有する凸形状であることが分かる。

【0079】

1次像面の中心から射出して絞りの中心を通る主光線を「中心主光線」とし、PXiYi平面の光学的延長面と前記第1曲面反射面とが交わる線上の曲率をCoR1Yとすると、曲率CoR1Yの符号が反転する点が、前記中心主光線と前記第1曲面反射面との交点より光束RaysXiYi minが反射する領域側に位置することが望ましい。投影光学系が広角になるに従い、第1曲面反射面の凸形状部分で反射する光束の像面性を良好に保つことが困難となる。そのため、第1曲面反射面の凸部分は2次像面の下辺{条件式(2)の説明で触れた下辺である。}に到達する光線の近辺のみでなくては全体の性能のバランスをとることが困難になる。したがって、中心主光線の反射位置より最小入射角度 min寄りに曲率の変化点が存在するという条件を満たすことが望ましい。なお、後述する実施例1~4, 7では、図22, 図24, 図26, 図28, 図33から上記条件を満たしていることが分かる。

【0080】

1次像面の法線方向をXo方向とし、1次像面の画面短辺方向をYo方向とし、1次像面の中心を含むXoYo平面をPXoYo平面とすると、PXoYo平面の光学的延長面とPXiYiの光学的延長面とが同一平面であることが望ましい。この条件を満たす場合、光学収差補正の観点か

10

20

30

40

50

ら、斜め投影光学系はPXoYo平面(又はPXiYi平面)に対して非対称である必要はない。よって斜め投影光学系は対称面を有するものであり、対称面を有さないものより製造や調整において有利である。また、斜め投影光学系が対称面を有するがPXoYo平面とPXiYi平面とが一致しない場合には、平面反射面等で光路を折り返してそのようにする場合がある。しかし、この折り返しに用いた平面反射面に曲率誤差のような形状誤差が発生した場合、仮にその誤差が回転対称軸を持った誤差だとしても、光学収差的には結果的に回転非対称であるだけでなく、対称面も有さない誤差を発生させる。この理由からも、PXoYo平面とPXiYi平面とを同一平面とすることが有利である。

【実施例】

【0081】

以下、本発明を実施した斜め投影光学系を、コンストラクションデータ等を挙げて更に具体的に説明する。ここで挙げる実施例1~7は、前述した第1~第7の実施の形態にそれぞれ対応する数値実施例であり、各実施の形態を表す光学構成図(図1~図14, 図35)は、対応する実施例の光学配置, 投影光路等をそれぞれ示している。各実施例のコンストラクションデータは、縮小側の1次像面So(拡大投影における表示素子の画像形成面、すなわち物面に相当する。)から拡大側の2次像面Si(拡大投影におけるスクリーン面、すなわち像面に相当する。)までを含めた系の光学配置を示しており、縮小側から数えてn番目の面がSn(n=1, 2, 3, ...)である。なお、面S1, S2は1次像面Soを保護するために覆うカバーガラスCGの両面であり、斜め投影光学系の一部を成すものではない。

【0082】

各光学面の配置は、その面頂点をローカルな直交座標系(X,Y,Z)の原点(0)として、グローバルな直交座標系(x,y,z)におけるローカルな直交座標系(X,Y,Z)の原点(0)とX軸, Y軸の座標軸ベクトル(VX,VY)の座標データ(x,y,z)とで表されている(単位: mm)。ただし、座標系はすべて右手系で定義されており、グローバルな直交座標系(x,y,z)は1次像面Soのローカルな直交座標系(X,Y,Z)と一致した絶対座標系になっている。したがって、グローバルな直交座標系(x,y,z)の原点(o)は1次像面Soの中心に位置する原点(0)と同一の点であり、1次像面SoでのベクトルVXは1次像面Soの面法線と平行であり、ベクトルVYはベクトルVXに直交するとともに1次像面Soの画面短辺に平行である。また、座標データ(x,y,z)で表された光学面を先頭面として共軸系の一部を成す光学面については、直前の光学面を基準としたX方向の軸上面間隔T'(mm)で光学面の配置が表されている。

【0083】

各光学要素の面形状は、その光学面の曲率C0(mm⁻¹), 曲率半径r(mm)等で表されている。例えば、*印が付された面Snは回転対称な非球面であり、その面形状は面頂点を原点(0)とするローカルな直交座標系(X,Y,Z)を用いた以下の式(AS)で定義される。また、\$印が付された面Snは回転非対称な非球面(いわゆる自由曲面)であり、その面形状は面頂点を原点(0)とするローカルな直交座標系(X,Y,Z)を用いた以下の式(BS)で定義される。回転対称非球面データ, 回転非対称非球面データを他のデータとあわせて示す。ただし、表記の無い項の係数は0であり、すべてのデータに関してE-n = x 10⁻ⁿである。

$$X = (C0 \cdot H^2) / \{1 + (1 - C0^2 \cdot H^2)^{1/2}\} + \{A(i) \cdot H^i\} \dots (AS)$$

$$X = (C0 \cdot H^2) / \{1 + (1 - C0^2 \cdot H^2)^{1/2}\} + \{G(j,k) \cdot Y^j \cdot Z^k\} \dots (BS)$$

- ただし、式(AS),(BS)中、
- X: 高さHの位置でのX方向の基準面からの変位量(面頂点基準)、
- H: X軸に対して垂直な方向の高さ{H = (Y²+Z²)^{1/2}}、
- C0: 面頂点での曲率(+/-はローカルな直交座標系のX軸に対するものであり、正の場合その曲率中心がベクトルVX上の正方向に存在する。C0=1/r)、
- : 2次曲面パラメータ、
- A(i): i次の回転対称非球面係数、
- G(j,k): Yのj次、Zのk次の回転非対称非球面係数、
- である。

10

20

30

40

50

【0084】

各光学面の入射側に位置する媒質の d 線に対する屈折率 N 、各光学面の射出側に位置する媒質の d 線に対する屈折率 N' (その光学面が反射面の場合には負の値となる。)及び光学材料の d のアップベクトル d を他のデータとあわせて示す。また、実施例3, 5, 6の絞り ST に関しては絞り有効半径 R を示し、実施例1, 2, 4, 7に関しては仮想絞りデータ(絞り有効半径 R を含む。)を他の光学面データと同様に示す。実施例1, 2, 4, 7において、コンストラクションデータで定義される光学系を通過する光束は、1次像面 S_o から射出して円形の仮想絞りの縁を通過する光束として定義され、拡大図(図8, 図9, 図11, 図14)中の絞り ST_1 , ST_2 は実際の配置例を示している。

【0085】

実施例1~6の1次像面 S_o の画面サイズ(mm)は $LY = \pm 5.0616$, $LZ = \pm 8.892$ であり、実施例7の1次像面 S_o の画面サイズ(mm)は $LY = \pm 5.4035$, $LZ = \pm 9.351$ である。ただし、1次像面 S_o の画面形状は長方形であり、 LY は1次像面 S_o の画面短辺方向(すなわち Y 方向)の長さ、 LZ は1次像面 S_o の画面長辺方向(すなわち Z 方向)の長さである。また、実施例1の光学倍率は75.8557、実施例2の光学倍率は75.8562、実施例3の光学倍率は75.8673、実施例4の光学倍率は76.2956、実施例5の光学倍率は75.8562、実施例6の光学倍率は69.5349、実施例7の光学倍率は69.9455である。

【0086】

表1に、各条件式の対応データ及び関連データを各実施例について示す。また、第1パワーミラー M_1 の曲率の符号が反転する点($Co=0$)を通過する主光線が、1次像面 S_o を出発する点の(1次像面 S_o 上での) Y の値をあわせて示す。実施例1, 2, 5, 6, 7と実施例3, 4とではベクトル VY が逆(図でいうと逆さま)なので、実施例1, 2, 5, 6, 7と実施例3, 4とでは符号が逆になっている。

【0087】

図15~図21に、各実施例のスポットダイアグラムを示す。各スポットダイアグラムは、2次像面 S_i での結像特性(± 1 mmスケール)を3波長(450nm, 546nm, 630nm)、25個の評価ポイントについて示している。図中の座標(Y, Z)は、各評価ポイントのスポット重心の投影位置を示す2次像面 S_i のローカル座標(Y, Z ; mm)である。いずれの実施例も XY 平面に対して面对称な光学系から成っているため、スポットダイアグラムは2次像面 S_i 上での Z 方向のプラス側の半分のみを示しており、残り半分は図示省略してある。また、これらの評価ポイントは1次像面 S_o の Z 方向の半分の縦横それぞれ均等に5分割した点と共役であり、1次像面 S_o 上の点を持つローカル座標の Y と Z の値に倍率をかけた値がスポットダイアグラム上での理想結像点であり、その計算値からのズレの分が歪曲である。なお、スポットダイアグラムの出発点は1次像面 S_o の $+Z$ 側であるが、実施例1, 3, 7は反射面の数が偶数になるため、2次像面 S_i 上では Z の値は負となる。

【0088】

図22, 図24, 図26, 図28, 図30, 図32, 図33に、実施例1~7の第1パワーミラー M_1 の面形状を曲率プロットで示し、図23, 図25, 図27, 図29, 図31, 図34に、実施例1~5, 7の第2パワーミラー M_2 の面形状を曲率プロットで示す。図22~図33において、各グラフの縦軸が曲率 CoY, CoZ (mm^{-1})、横軸が2次像面 S_i での到達位置である。1次像面 S_o の XY 平面上の点から射出した主光線が第1, 第2パワーミラー M_1, M_2 に当たった位置において、 XY 平面上での曲率をプロットしたのがライン CoY であり、1次像面 S_o の XZ 平面上の点から射出した主光線が第1, 第2パワーミラー M_1, M_2 に当たった位置において、 XZ 平面に対して平行な方向の曲率をプロットしたのが CoZ である。曲率が正のとき、光学面は凸形状を有するので負のパワーを持つことを意味し、曲率が負のとき、光学面は凹形状を有するので、正のパワーを持つことを意味する。図22~図33の各グラフから分かるように、いずれの実施例においても、2次像面 S_i に対する最大入射角 θ_{max} 側の光線が入射する部分では、第1パワーミラー M_1 の曲率 CoY が負になっており、その負の曲率 CoY の部分では第1パワーミラー M_1 が凹面形状

10

20

30

40

50

となっている。

【 0 0 8 9 】

第 1 , 第 2 パワーミラー M 1 , M 2 において、CoZはその反射面がローカルXY平面と交わる線の近傍でのZ方向の曲率を示しているが、いずれの実施例の反射面においても、その線近傍の微小な領域だけでなく、少なくとも1次像面S₀上の1点から放たれた光束が包括する領域のZ方向の幅においてはCoZと同じ符号の曲率を持っている。また、いずれの実施例においても、第 1 , 第 2 パワーミラー M 1 , M 2 等の光学素子は、その有効光学領域において断点等がない連続した滑らかな面を有している。したがって、光学面の面形状がPXiYi平面の光学的延長面における有効光学領域及びその近傍で特徴的であるとしても、それに対応した領域においてのみ良好な光学性能が得られるというわけではなく、2次像面S_i全域において良好な光学性能を得ることができる。 10

【 0 0 9 0 】

《実施例1のコンストラクションデータ》

S₀ 1次像面

[座標]

0 : 0.00000 , 0.00000 , 0.00000

VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000

VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.000000000(r=)

20

N'= 1.00000

T'= 0.47

【 0 0 9 1 】

S₁ カバーガラスCGの入射側面

N = 1.00000

C0= 0.000000000(r=)

N'= 1.51872, d=64.20

T'= 3

【 0 0 9 2 】

S₂ カバーガラスCGの射出側面

30

N = 1.51872, d=64.20

C0= 0.000000000(r=)

N'= 1.00000

【 0 0 9 3 】

S₃ * 第4パワーミラーM₄

[座標]

0 : 85.59941 , -50.69170 , 0.00000

VX : 0.95161079 , -0.30730587 , 0.00000000

VY : 0.30730587 , 0.95161079 , 0.00000000

N = 1.00000

40

C0=-0.01108832(r=-90.1850)

[非球面データ]

=1.00000000

A(4)= 7.80071875E-8

A(6)= 3.97996445E-13

A(8)= 2.04365870E-15

A(10)= 1.39723412E-20

N'=-1.00000

【 0 0 9 4 】

S₄ \$ レンズL₁の入射側面

50

[座標]

O : 46.26458 , -33.36292 , 0.00000

VX :-0.91856276 , -0.39527517 , 0.00000000

VY :-0.39527517 , 0.91856276 , 0.00000000

N = 1.00000

CO= 0.00000000(r=)

[非球面データ]

=1.00000000

G(3, 0)= 8.77671782E-5

G(4, 0)= 6.04543819E-6

G(5, 0)= 3.70610540E-8

G(6, 0)= 2.41618866E-10

G(7, 0)=-4.77087390E-11

G(8, 0)=-5.28227499E-11

G(1, 2)= 0.000103696546

G(2, 2)= 1.03445797E-5

G(3, 2)= 4.23467349E-9

G(4, 2)= 1.71861256E-8

G(5, 2)= 4.03841271E-10

G(6, 2)=-5.09741872E-10

G(0, 4)= 4.03644177E-6

G(1, 4)= 1.80374040E-8

G(2, 4)= 2.15340410E-8

G(3, 4)= 3.35303784E-9

G(4, 4)=-9.55026678E-10

G(5, 4)=-1.20753017E-10

G(6, 4)= 2.72643342E-11

G(0, 6)= 2.36387167E-8

G(1, 6)=-7.46019181E-10

G(2, 6)=-2.06357284E-10

G(3, 6)=-9.08191038E-11

G(4, 6)=-3.65767984E-11

G(0, 8)=-2.79060403E-10

N' = 1.52438, d=52.20

【 0 0 9 5 】

S 5 レンズ L 1 の射出側面

[座標]

O : 44.28268 , -33.30227 , 0.00000

VX :-0.91442048 , -0.40476558 , 0.00000000

VY :-0.40476558 , 0.91442048 , 0.00000000

N = 1.52438, d=52.20

CO= 0.00000000(r=)

N' = 1.00000

【 0 0 9 6 】

S 6 * 第3パワーミラー M 3

[座標]

O : 26.02447 , -31.85209 , 0.00000

VX :-0.99285570 , 0.11932125 , 0.00000000

VY : 0.11932125 , 0.99285570 , 0.00000000

N = 1.00000

10

20

30

40

50

$C0 = 0.01355357 (r=73.7813)$

[非球面データ]

=13.5251770

$A(4) = -2.20195900E-9$

$A(6) = 1.47374708E-8$

$A(8) = -5.99205447E-11$

$A(10) = 1.60153983E-13$

$A(12) = -9.38460117E-17$

$N' = -1.00000$

【 0 0 9 7 】

10

S 7 \$ 第 2 パワーミラー M 2

[座標]

O : 69.20977 , -74.87212 , 0.00000

VX : 0.96000691 , -0.27997630 , 0.00000000

VY : 0.27997630 , 0.96000691 , 0.00000000

$N = 1.00000$

$C0 = 0.00000000 (r =)$

[非球面データ]

=1.00000000

$G(2, 0) = 0.000332981846$

20

$G(3, 0) = 6.15622428E-6$

$G(4, 0) = -9.60556133E-7$

$G(5, 0) = -1.03053717E-8$

$G(6, 0) = 2.80438222E-10$

$G(7, 0) = 6.38517733E-12$

$G(8, 0) = 4.06476918E-15$

$G(9, 0) = -1.11111282E-15$

$G(10, 0) = -1.21380104E-17$

$G(0, 2) = 0.000461036355$

$G(1, 2) = -4.67852414E-5$

30

$G(2, 2) = -1.95098452E-6$

$G(3, 2) = 7.89861068E-9$

$G(4, 2) = 1.53700471E-9$

$G(5, 2) = 2.23633556E-11$

$G(6, 2) = -1.69610257E-13$

$G(7, 2) = -4.01239853E-15$

$G(8, 2) = 7.38201899E-18$

$G(0, 4) = 8.71108208E-7$

$G(1, 4) = 7.15981436E-8$

$G(2, 4) = 2.12977196E-9$

40

$G(3, 4) = 1.83671068E-11$

$G(4, 4) = -6.86410735E-13$

$G(5, 4) = -2.26108824E-14$

$G(6, 4) = -2.04638489E-16$

$G(0, 6) = -6.87221525E-10$

$G(1, 6) = -4.51685275E-11$

$G(2, 6) = -1.11139447E-12$

$G(3, 6) = -1.60300613E-14$

$G(4, 6) = -1.22310034E-16$

$G(0, 8) = 3.09872243E-13$

50

$$G(1, 8) = 1.73546676E-14$$

$$G(2, 8) = 2.06645044E-16$$

$$G(0, 10) = 1.74293921E-17$$

$$N' = -1.00000$$

【 0 0 9 8 】

S 8 \$ 第 1 パワーミラー M 1

[座標]

$$O : 24.51416, -39.32528, 0.00000$$

$$VX : -0.99312583, 0.11705166, 0.00000000$$

$$VY : 0.11705166, 0.99312583, 0.00000000$$

10

$$N = 1.00000$$

$$CO = 0.06288945 (r=15.9009)$$

[非球面データ]

$$=-2.48198722$$

$$G(2, 0) = 0.00613902954$$

$$G(3, 0) = 0.000139732235$$

$$G(4, 0) = 1.33076421E-6$$

$$G(5, 0) = 4.09347721E-9$$

$$G(6, 0) = -3.34400691E-11$$

$$G(7, 0) = -3.29710220E-13$$

20

$$G(8, 0) = -5.61487879E-16$$

$$G(9, 0) = 3.42229868E-18$$

$$G(10, 0) = 1.16561532E-20$$

$$G(0, 2) = -0.000823391980$$

$$G(1, 2) = 1.91405995E-5$$

$$G(2, 2) = -4.46531091E-7$$

$$G(3, 2) = -2.15788892E-8$$

$$G(4, 2) = -3.15303954E-10$$

$$G(5, 2) = -2.18246270E-12$$

$$G(6, 2) = -5.92040460E-15$$

30

$$G(7, 2) = 7.56286263E-18$$

$$G(8, 2) = 5.51941208E-20$$

$$G(0, 4) = -2.18503392E-7$$

$$G(1, 4) = -1.15410651E-8$$

$$G(2, 4) = -2.36179288E-10$$

$$G(3, 4) = -2.69610956E-12$$

$$G(4, 4) = -1.91879873E-14$$

$$G(5, 4) = -8.20539155E-17$$

$$G(6, 4) = -1.60357640E-19$$

$$G(0, 6) = 2.15633363E-11$$

40

$$G(1, 6) = 7.82924827E-13$$

$$G(2, 6) = 1.16664315E-14$$

$$G(3, 6) = 7.77576639E-17$$

$$G(4, 6) = 1.92193996E-19$$

$$G(0, 8) = -8.89582345E-16$$

$$G(1, 8) = -1.00280133E-17$$

$$G(2, 8) = -3.07792400E-20$$

$$G(0, 10) = 3.32179670E-21$$

$$N' = -1.00000$$

【 0 0 9 9 】

50

S 9 第 2 平面ミラー F 2

[座 標]

O : -10.67526 , -220.84700 , 0.00000

VX : 0.93021460 , -0.36701607 , 0.00000000

VY : 0.36701607 , 0.93021460 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'=-1.00000

【 0 1 0 0 】

S 1 0 第 1 平面ミラー F 1

[座 標]

O : -249.40480 , -503.11167 , 0.00000

VX : -0.90156753 , 0.43263840 , 0.00000000

VY : 0.43263840 , 0.90156753 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'=-1.00000

【 0 1 0 1 】

S i 2 次像面

[座 標]

O : -273.00110 , -801.91454 , 0.00000

VX : 0.90156753 , -0.43263840 , 0.00000000

VY : -0.43263840 , -0.90156753 , 0.00000000

【 0 1 0 2 】

仮想絞りデータ

[座 標]

O : 100400.00000 , -25032.53150 , 0.00000

VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000

VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=) , R=14491.5

N'= 1.00000

【 0 1 0 3 】

《 実施例 2 のコンストラクションデータ 》

S o 1 次像面

[座 標]

O : 0.00000 , 0.00000 , 0.00000

VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000

VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'= 1.00000

T'= 0.47

【 0 1 0 4 】

S 1 カバーガラス C G の入射側面

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'= 1.51872, d=64.20

T'= 3

【 0 1 0 5 】

10

20

30

40

50

S 2 カバーガラスCGの射出側面

N = 1.51872, d=64.20

C0= 0.000000000(r=)

N'= 1.00000

【 0 1 0 6 】

S 3 * 第4パワーミラーM4

[座標]

O : 90.82073 , -47.59744 , 0.00000

VX : 0.96886075 , -0.24760622 , 0.00000000

VY : 0.24760622 , 0.96886075 , 0.00000000

N = 1.00000

C0=-0.01028024(r=-97.2740)

[非球面データ]

=1.07417884

A(4)= 8.08181592E-8

A(6)=-8.35222346E-13

A(8)= 1.95299128E-15

A(10)=-6.15869507E-20

N'=-1.00000

【 0 1 0 7 】

S 4 \$ レンズL1の入射側面

[座標]

O : 49.44265 , -34.28778 , 0.00000

VX :-0.85212012 , -0.52334625 , 0.00000000

VY :-0.52334625 , 0.85212012 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.000000000(r=)

[非球面データ]

=1.00000000

G(3, 0)= 3.53894224E-5

G(4, 0)= 3.13780823E-6

G(5, 0)= 7.59673717E-8

G(6, 0)= 3.71105089E-9

G(7, 0)=-2.28779877E-10

G(8, 0)=-4.02956084E-11

G(1, 2)= 4.34898435E-5

G(2, 2)= 6.74831520E-6

G(3, 2)= 1.05806103E-7

G(4, 2)= 5.99174836E-10

G(5, 2)= 5.84846859E-11

G(6, 2)=-8.59922110E-11

G(0, 4)= 3.15582019E-6

G(1, 4)= 7.14694226E-8

G(2, 4)= 1.22716694E-9

G(3, 4)= 7.85125131E-10

G(4, 4)= 1.22725702E-11

G(5, 4)=-4.27801902E-11

G(6, 4)=-1.56024078E-12

G(0, 6)= 8.26287000E-9

G(1, 6)=-4.17466643E-10

10

20

30

40

50

G(2, 6)=-7.09879830E-11

G(3, 6)=-6.77451411E-12

G(4, 6)=-7.33268170E-12

G(0, 8)=-8.30843582E-11

N' = 1.52438, d=52.20

【 0 1 0 8 】

S 5 レンズ L 1 の射出側面

[座標]

O : 47.32804 , -34.23056 , 0.00000

VX :-0.84668130 , -0.53210035 , 0.00000000

VY :-0.53210035 , 0.84668130 , 0.00000000

N = 1.52438, d=52.20

C0= 0.00000000(r=)

N' = 1.00000

【 0 1 0 9 】

S 6 * 第 3 パワーミラー M 3

[座標]

O : 26.95565 , -31.65156 , 0.00000

VX :-0.99616732 , 0.08746808 , 0.00000000

VY : 0.08746808 , 0.99616732 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00881819(r=113.4020)

[非球面データ]

=-0.515457877

A(4)= 3.29024382E-6

A(6)= 5.29040780E-9

A(8)=-1.08916294E-11

A(10)= 4.43978434E-14

A(12)=-4.74058693E-17

N' =-1.00000

【 0 1 1 0 】

S 7 \$ 第 2 パワーミラー M 2

[座標]

O : 88.59419 , -83.91127 , 0.00000

VX : 0.99831680 , -0.05799626 , 0.00000000

VY : 0.05799626 , 0.99831680 , 0.00000000

N = 1.00000

C0=-0.00090012(r=-1110.9668)

[非球面データ]

=1.00000000

G(2, 0)= 0.00254235299

G(3, 0)= 2.88707618E-5

G(4, 0)=-6.20606753E-7

G(5, 0)=-1.43550363E-8

G(6, 0)= 7.21427711E-11

G(7, 0)= 5.25092503E-12

G(8, 0)= 1.13053483E-13

G(9, 0)= 2.59725355E-15

G(10, 0)= 2.82956211E-17

G(0, 2)= 0.00360360630

10

20

30

40

50

$G(1, 2) = -2.16661651E-5$
 $G(2, 2) = -1.76582887E-6$
 $G(3, 2) = 2.11889825E-9$
 $G(4, 2) = 1.80115633E-9$
 $G(5, 2) = 4.55458805E-11$
 $G(6, 2) = 2.27980303E-13$
 $G(7, 2) = -4.94972746E-15$
 $G(8, 2) = -4.87162307E-17$
 $G(0, 4) = 1.01201569E-6$
 $G(1, 4) = 8.23527143E-8$
 $G(2, 4) = 2.28640961E-9$
 $G(3, 4) = 1.93158745E-11$
 $G(4, 4) = -8.14940953E-13$
 $G(5, 4) = -2.88038350E-14$
 $G(6, 4) = -2.74679190E-16$
 $G(0, 6) = -5.05491030E-10$
 $G(1, 6) = -4.37929713E-11$
 $G(2, 6) = -8.64052440E-13$
 $G(3, 6) = -6.95784170E-15$
 $G(4, 6) = -2.44035370E-17$
 $G(0, 8) = 9.61486343E-14$
 $G(1, 8) = 1.36462267E-14$
 $G(2, 8) = 1.62237823E-16$
 $G(0, 10) = 5.16114066E-17$

10

20

$N' = -1.00000$

【 0 1 1 1 】

S 8 \$ 第 1 パワ - ミラ - M 1

[座標]

$O : 37.00023, -59.31105, 0.00000$
 $VX : -0.99990438, -0.01382841, 0.00000000$
 $VY : -0.01382841, 0.99990438, 0.00000000$

30

$N = 1.00000$

$CO = 0.03775486 (r = 26.4867)$

[非球面データ]

$= -2.47620263$

$G(2, 0) = -0.00217207259$
 $G(3, 0) = -5.46272599E-6$
 $G(4, 0) = -6.89205056E-9$
 $G(5, 0) = -4.33308933E-11$
 $G(6, 0) = -2.07613577E-13$
 $G(7, 0) = 2.47325645E-16$
 $G(8, 0) = 5.77552058E-18$
 $G(9, 0) = 2.24696125E-20$
 $G(10, 0) = 3.55814425E-23$
 $G(0, 2) = -0.00245774936$
 $G(1, 2) = -9.36458095E-6$
 $G(2, 2) = -2.54790083E-8$
 $G(3, 2) = -1.78256782E-10$
 $G(4, 2) = -9.33072210E-13$
 $G(5, 2) = 4.08966947E-15$

40

50

G(6, 2)= 4.55031944E-17
 G(7, 2)= 1.06577993E-19
 G(8, 2)= 7.75078293E-23
 G(0, 4)= 3.82991631E-8
 G(1, 4)= 3.99493917E-10
 G(2, 4)= 2.95965113E-12
 G(3, 4)= 1.59512422E-14
 G(4, 4)= 7.88376893E-17
 G(5, 4)= 2.15068129E-19
 G(6, 4)=-7.02953496E-24
 G(0, 6)=-1.12023731E-12
 G(1, 6)=-5.54104962E-15
 G(2, 6)=-3.61753251E-17
 G(3, 6)=-5.70993343E-22
 G(4, 6)= 6.11166388E-22
 G(0, 8)= 3.31821298E-17
 G(1, 8)=-3.53456705E-20
 G(2, 8)=-2.61219155E-22
 G(0,10)=-6.16495161E-22

10

N'=-1.00000

20

【 0 1 1 2 】

S 9 第 1 平面ミラー F 1

[座標]

O : 111.09989 , -463.26146 , 0.00000
 VX : 0.99961537 , 0.02773278 , 0.00000000
 VY : -0.02773278 , 0.99961537 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'=-1.00000

【 0 1 1 3 】

S i 2 次像面

[座標]

O : -13.61638 , -727.63091 , 0.00000
 VX : -0.99961537 , -0.02773278 , 0.00000000
 VY : 0.02773278 , -0.99961537 , 0.00000000

【 0 1 1 4 】

仮想絞りデータ

[座標]

O : 100400.00000 , -25032.53150 , 0.00000
 VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000
 VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000

40

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=),R=14491.5

N'= 1.00000

【 0 1 1 5 】

《実施例 3 のコンストラクションデータ》

S o 1 次像面

[座標]

O : 0.00000 , 0.00000 , 0.00000
 VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000

50

VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'= 1.00000

T'= 0.5

【 0 1 1 6 】

S 1 カバーガラス C G の入射側面

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'= 1.51045, d=61.19

T'= 3

【 0 1 1 7 】

S 2 カバーガラス C G の射出側面

N = 1.51045, d=61.19

C0= 0.00000000(r=)

N'= 1.00000

【 0 1 1 8 】

S 3 * レンズ L 5 の入射側面

[座標]

0 : 33.20000 , 0.37770 , 0.00000

VX : 0.99970884 , -0.02412951 , 0.00000000

VY : 0.02412951 , 0.99970884 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.01163429(r=85.9528)

[非球面データ]

=1.00000000

A(4)=-3.08945486E-5

A(6)=-1.69854691E-7

A(8)= 2.98237817E-9

A(10)=-2.87260782E-11

N'= 1.77064, d=45.55

T'= 2

【 0 1 1 9 】

S 4 レンズ L 5 の射出側面

N = 1.77064, d=45.55

C0= 0.00000000(r=)

N'= 1.00000

T'= 0.759492

【 0 1 2 0 】

S 5 絞り S T

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=),R=5.99

N'= 1.00000

T'= 3.43812

【 0 1 2 1 】

S 6 レンズ L 4 の入射側面

N = 1.00000

C0=-0.01612355(r=-62.0211)

N'= 1.78478, d=26.33

T'= 3

10

20

30

40

50

【 0 1 2 2 】

S 7 レンズ L 4 の接合面

N = 1.78478, d=26.33

C0= 0.05675606(r=17.6193)

N' = 1.63912, d=56.10

T' = 4.4604

【 0 1 2 3 】

S 8 レンズ L 4 の射出側面

N = 1.63912, d=56.10

C0=-0.02877877(r=-34.7478)

N' = 1.00000

T' = 8.07107

【 0 1 2 4 】

S 9 レンズ L 3 の入射側面

N = 1.00000

C0= 0.00045619(r=2192.0700)

N' = 1.61398, d=36.44

T' = 7.9667

【 0 1 2 5 】

S 1 0 レンズ L 3 の射出側面

N = 1.61398, d=36.44

C0=-0.04527568(r=-22.0869)

N' = 1.00000

T' =30.464

【 0 1 2 6 】

S 1 1 レンズ L 2 の入射側面

N = 1.00000

C0=-0.05191988(r=-19.2604)

N' = 1.81359, d=36.44

T' = 2.5

【 0 1 2 7 】

S 1 2 レンズ L 2 の射出側面

N = 1.81359, d=36.44

C0=-0.02453932(r=-40.7509)

N' = 1.00000

T' =14.0521

【 0 1 2 8 】

S 1 3 \$ レンズ L 1 の入射側面

N = 1.00000

C0=-0.00975490(r=-102.5126)

[非球面データ]

=1.00000000

G(2, 0)=-0.000704919616

G(3, 0)= 0.000165579062

G(4, 0)=-1.06291352E-5

G(5, 0)= 2.62435599E-7

G(6, 0)= 1.14866774E-8

G(7, 0)=-5.28576420E-10

G(8, 0)=-4.20172500E-11

G(9, 0)= 2.67353071E-12

10

20

30

40

50

$G(10, 0) = -3.91365948E-14$
 $G(0, 2) = -0.000266039134$
 $G(1, 2) = 0.000138335742$
 $G(2, 2) = -8.82980350E-6$
 $G(3, 2) = -3.68763764E-7$
 $G(4, 2) = 7.77341670E-8$
 $G(5, 2) = -2.04184030E-9$
 $G(6, 2) = -2.03057180E-10$
 $G(7, 2) = 1.27216128E-11$
 $G(8, 2) = -1.97410880E-13$ 10
 $G(0, 4) = 1.78366041E-6$
 $G(1, 4) = -7.30246855E-7$
 $G(2, 4) = 8.73974571E-8$
 $G(3, 4) = -3.42298694E-9$
 $G(4, 4) = -1.35285070E-10$
 $G(5, 4) = 1.32326360E-11$
 $G(6, 4) = -2.42765133E-13$
 $G(0, 6) = -3.61547265E-9$
 $G(1, 6) = 1.51916107E-9$
 $G(2, 6) = -1.92236195E-10$ 20
 $G(3, 6) = 1.07974316E-11$
 $G(4, 6) = -2.18196579E-13$
 $G(0, 8) = -4.52104347E-13$
 $G(1, 8) = -4.89544026E-13$
 $G(2, 8) = 2.14785190E-14$
 $G(0, 10) = 4.78735733E-15$
 $N' = 1.52729, \quad d = 56.38$
 $T' = 3.4$
【 0 1 2 9 】
 S 1 4 レンズ L 1 の射出側面 30
 $N = 1.52729, \quad d = 56.38$
 $C0 = -0.01007753 (r = -99.2307)$
 $N' = 1.00000$
【 0 1 3 0 】
 S 1 5 * 第 2 パワーミラー M 2
 [座標]
 $0 : 152.55096, \quad -10.35426, \quad 0.00000$
 $VX : 0.92663209, \quad -0.37596938, \quad 0.00000000$
 $VY : 0.37596938, \quad 0.92663209, \quad 0.00000000$
 $N = 1.00000$ 40
 $C0 = -0.00483113 (r = -206.9911)$
 [非球面データ]
 $= -2.52952291$
 $A(4) = 9.55990507E-7$
 $A(6) = -2.29605438E-10$
 $A(8) = 2.79383985E-14$
 $A(10) = -1.35003718E-18$
 $N' = -1.00000$
【 0 1 3 1 】
 S 1 6 \$ 第 1 パワーミラー M 1 50

[座標]

O : 100.71219 , 31.29259 , 0.00000

VX : -0.78457167 , 0.62003814 , 0.00000000

VY : 0.62003814 , 0.78457167 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.04364309 (r=22.9131)

[非球面データ]

=-1.74036193

G(2, 0)=-0.00118376352

G(3, 0)=-7.69008628E-6

G(4, 0)= 4.06090411E-8

G(5, 0)= 2.24870471E-10

G(6, 0)=-5.45283166E-13

G(7, 0)=-7.74976957E-15

G(8, 0)= 7.99738170E-18

G(9, 0)=-3.57661273E-20

G(10, 0)= 6.22764864E-22

G(0, 2)=-0.00147418107

G(1, 2)=-2.44420714E-6

G(2, 2)=-1.44576907E-8

G(3, 2)= 9.32083655E-10

G(4, 2)=-1.23497312E-12

G(5, 2)=-3.41409000E-14

G(6, 2)= 3.36355244E-17

G(7, 2)=-3.25750939E-19

G(8, 2)= 5.23694650E-21

G(0, 4)= 3.15421469E-9

G(1, 4)= 6.34627255E-10

G(2, 4)=-5.28979445E-12

G(3, 4)=-4.39013091E-14

G(4, 4)= 3.47237906E-16

G(5, 4)= 1.53887334E-18

G(6, 4)=-9.79397825E-21

G(0, 6)=-8.50955294E-12

G(1, 6)= 1.47647924E-13

G(2, 6)=-2.92124183E-16

G(3, 6)=-1.12156633E-18

G(4, 6)=-9.86954578E-21

G(0, 8)= 1.24003124E-15

G(1, 8)=-3.13508404E-17

G(2, 8)= 1.50816722E-19

G(0,10)= 2.89628271E-20

N'=-1.00000

【 0 1 3 2 】

S 1 7 第 2 平面ミラー F 2

[座標]

O : 238.38001 , 164.43476 , 0.00000

VX : 0.83759424 , -0.54629285 , 0.00000000

VY : 0.54629285 , 0.83759424 , 0.00000000

N = 1.00000

10

20

30

40

50

C0= 0.00000000(r=)
 N'=-1.00000
 【 0 1 3 3 】
 S 1 8 第 1 平面ミラー F 1
 [座 標]
 O : 286.23334 , 464.77735 , 0.00000
 VX : -0.87063163 , 0.49193552 , 0.00000000
 VY : 0.49193552 , 0.87063163 , 0.00000000
 N = 1.00000
 C0= 0.00000000(r=) 10
 N'=-1.00000
 【 0 1 3 4 】
 S i 2 次像面
 [座 標]
 O : -13.61638 , -727.63091 , 0.00000
 VX : -0.99961537 , -0.02773278 , 0.00000000
 VY : 0.02773278 , -0.99961537 , 0.00000000
 【 0 1 3 5 】
 《 実施例 4 の コンストラクションデータ 》
 S o 1 次像面 20
 [座 標]
 O : 0.00000 , 0.00000 , 0.00000
 VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000
 VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000
 N = 1.00000
 C0= 0.00000000(r=)
 N' = 1.00000
 T' = 0.5
 【 0 1 3 6 】
 S 1 カバーガラス C G の入射側面 30
 N = 1.00000
 C0= 0.00000000(r=)
 N' = 1.51045, d=61.19
 T' = 3
 【 0 1 3 7 】
 S 2 カバーガラス C G の射出側面
 N = 1.51045, d=61.19
 C0= 0.00000000(r=)
 N' = 1.00000
 【 0 1 3 8 】 40
 S 3 * レンズ L 5 の入射側面
 [座 標]
 O : 33.20000 , -0.59011 , 0.00000
 VX : 0.99982965 , -0.01845732 , 0.00000000
 VY : 0.01845732 , 0.99982965 , 0.00000000
 N = 1.00000
 C0= 0.00824622(r=121.2676)
 [非球面データ]
 =1.00000000
 A(4)=-3.39988927E-5 50

$A(6) = -2.27240582E-8$
 $A(8) = -1.53875232E-9$
 $A(10) = 1.73416040E-11$
 $N' = 1.79806, \quad d = 42.10$
 $T' = 1.86925$
【 0 1 3 9 】
 S 4 レンズ L 5 の射出側面
 $N = 1.79806, \quad d = 42.10$
 $C0 = 0.00000000(r =)$
 $N' = 1.00000$ 10
 $T' = 2.16329$
【 0 1 4 0 】
 S 5 レンズ L 4 の入射側面
 $N = 1.00000$
 $C0 = -0.02536458(r = -39.4251)$
 $N' = 1.81264, \quad d = 25.46$
 $T' = 2.23376$
【 0 1 4 1 】
 S 6 レンズ L 4 の接合面
 $N = 1.81264, \quad d = 25.46$ 20
 $C0 = 0.04964076(r = 20.1447)$
 $N' = 1.70941, \quad d = 55.48$
 $T' = 3.42088$
【 0 1 4 2 】
 S 7 レンズ L 4 の射出側面
 $N = 1.70941, \quad d = 55.48$
 $C0 = -0.03697390(r = -27.0461)$
 $N' = 1.00000$
 $T' = 10.4902$
【 0 1 4 3 】 30
 S 8 レンズ L 3 の入射側面
 $N = 1.00000$
 $C0 = -0.00441414(r = -226.5446)$
 $N' = 1.64843, \quad d = 33.32$
 $T' = 5.78435$
【 0 1 4 4 】
 S 9 レンズ L 3 の射出側面
 $N = 1.64843, \quad d = 33.32$
 $C0 = -0.04463122(r = -22.4058)$
 $N' = 1.00000$ 40
 $T' = 37.0601$
【 0 1 4 5 】
 S 10 レンズ L 2 の入射側面
 $N = 1.00000$
 $C0 = -0.05034909(r = -19.8613)$
 $N' = 1.81345, \quad d = 34.26$
 $T' = 2$
【 0 1 4 6 】
 S 11 レンズ L 2 の射出側面
 $N = 1.81345, \quad d = 34.26$ 50

$C0 = -0.02237428$ ($r = -44.6942$)

$N' = 1.00000$

$T' = 18.7721$

【 0 1 4 7 】

S 1 2 \$ レンズ L 1 の入射側面

$N = 1.00000$

$C0 = -0.02955061$ ($r = -33.8402$)

[非球面データ]

$= 1.00000000$

$G(2, 0) = -0.00190891783$

10

$G(3, 0) = 8.91795058E-5$

$G(4, 0) = -2.14835850E-6$

$G(5, 0) = -2.37326384E-7$

$G(6, 0) = 2.04420216E-8$

$G(7, 0) = 7.75188017E-11$

$G(8, 0) = -5.21144542E-11$

$G(9, 0) = 1.34606486E-12$

$G(10, 0) = -3.99461720E-15$

$G(0, 2) = -0.00181832232$

$G(1, 2) = 0.000125424806$

20

$G(2, 2) = -4.33122168E-6$

$G(3, 2) = -4.90861704E-7$

$G(4, 2) = 3.96942191E-8$

$G(5, 2) = 1.41615512E-9$

$G(6, 2) = -1.94423978E-10$

$G(7, 2) = 3.52084628E-12$

$G(8, 2) = 3.11848767E-14$

$G(0, 4) = 3.19655196E-6$

$G(1, 4) = -7.65642982E-7$

$G(2, 4) = 5.23005937E-8$

30

$G(3, 4) = 1.02673069E-9$

$G(4, 4) = -2.02814406E-10$

$G(5, 4) = 2.67145268E-12$

$G(6, 4) = 9.87087116E-14$

$G(0, 6) = -8.13036828E-9$

$G(1, 6) = 2.25138847E-9$

$G(2, 6) = -1.65439727E-10$

$G(3, 6) = 2.58239539E-13$

$G(4, 6) = 1.51956257E-13$

$G(0, 8) = 5.15024688E-12$

40

$G(1, 8) = -2.32071445E-12$

$G(2, 8) = 1.44321783E-13$

$G(0, 10) = 4.67793604E-15$

$N' = 1.52729$, $d = 56.38$

$T' = 2.5$

【 0 1 4 8 】

S 1 3 レンズ L 1 の射出側面

$N = 1.52729$, $d = 56.38$

$C0 = -0.02949884$ ($r = -33.8996$)

$N' = 1.00000$

50

【 0 1 4 9 】

S 1 4 * 第 2 パワーミラー M 2

[座標]

O : 164.22119 , -7.53257 , 0.00000

VX : 0.97045933 , -0.24126479 , 0.00000000

VY : 0.24126479 , 0.97045933 , 0.00000000

N = 1.00000

C0=-0.00479001(r=-208.7679)

[非球面データ]

=1.00000000

A(4)= 9.33423274E-7

A(6)=-1.92121923E-10

A(8)= 2.13374894E-14

A(10)=-9.45616798E-19

N'=-1.00000

【 0 1 5 0 】

S 1 5 \$ 第 1 パワーミラー M 1

[座標]

O : 98.50163 , 21.60438 , 0.00000

VX :-0.91638973 , 0.40028722 , 0.00000000

VY : 0.40028722 , 0.91638973 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.04240525(r=23.5820)

[非球面データ]

=-1.78893763

G(2, 0)=-0.00102268052

G(3, 0)=-1.02925596E-5

G(4, 0)= 1.02602074E-7

G(5, 0)=-3.80023997E-10

G(6, 0)= 3.49116717E-13

G(7, 0)= 2.22591002E-15

G(8, 0)=-2.65599209E-18

G(9, 0)=-4.37667698E-20

G(10, 0)= 8.81280636E-23

G(0, 2)=-0.00145858338

G(1, 2)=-1.84089413E-6

G(2, 2)= 1.76285407E-9

G(3, 2)= 5.75006885E-10

G(4, 2)=-2.93017283E-12

G(5, 2)=-2.39557673E-16

G(6, 2)=-2.01658958E-17

G(7, 2)= 1.39883238E-19

G(8, 2)= 3.66316782E-22

G(0, 4)= 6.00791862E-9

G(1, 4)= 3.66027942E-10

G(2, 4)=-2.69443810E-12

G(3, 4)=-7.16547677E-15

G(4, 4)= 2.87291731E-17

G(5, 4)= 4.83552190E-19

G(6, 4)=-2.23175448E-21

10

20

30

40

50

$G(0, 6) = -1.93013432E-12$
 $G(1, 6) = 3.25306682E-15$
 $G(2, 6) = 6.46850475E-17$
 $G(3, 6) = 6.63063775E-19$
 $G(4, 6) = -2.96001045E-21$
 $G(0, 8) = 2.49205301E-16$
 $G(1, 8) = -3.40177648E-18$
 $G(2, 8) = 7.51614539E-21$
 $G(0, 10) = 3.74458663E-21$
 $N' = -1.00000$ 10
【 0 1 5 1 】
 S 1 6 第 1 平面ミラー F 1
 [座標]
 O : 179.17601 , 26.02362 , 0.00000
 VX : 0.92688579 , -0.37534349 , 0.00000000
 VY : 0.37534349 , 0.92688579 , 0.00000000
 $N = 1.00000$
 $C0 = 0.000000000(r =)$
 $N' = -1.00000$
【 0 1 5 2 】 20
 S i 2 次像面
 [座標]
 O : 275.70307 , 656.69871 , 0.00000
 VX : -0.92688579 , 0.37534349 , 0.00000000
 VY : -0.37534349 , -0.92688579 , 0.00000000
【 0 1 5 3 】
 仮想絞りデータ
 [座標]
 O : 35.72351 , 0.00000 , 0.00000
 VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000 30
 VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000
 $N = 1.00000$
 $C0 = 0.000000000(r =), R = 5.15624$
 $N' = 1.00000$
【 0 1 5 4 】
 《実施例 5 のコンストラクションデータ》
 S o 1 次像面
 [座標]
 O : 0.00000 , 0.00000 , 0.00000
 VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000 40
 VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000
 $N = 1.00000$
 $C0 = 0.000000000(r =)$
 $N' = 1.00000$
 $T' = 0.5$
【 0 1 5 5 】
 S 1 カバーガラス C G の入射側面
 $N = 1.00000$
 $C0 = 0.000000000(r =)$
 $N' = 1.51045, d = 61.19$ 50

T' = 3
 【 0 1 5 6 】
 S 2 カバーガラス C G の射出側面
 N = 1.51045, d=61.19
 C0= 0.00000000(r=)
 N' = 1.00000
 【 0 1 5 7 】
 S 3 * レンズ L 5 の入射側面
 [座標]
 0 : 33.20000 , 0.06088 , 0.00000 10
 VX : 0.99924677 , 0.03880587 , 0.00000000
 VY : -0.03880587 , 0.99924677 , 0.00000000
 N = 1.00000
 C0= 0.00844974(r=118.3469)
 [非球面データ]
 =1.00000000
 A(4)=-4.34498412E-5
 A(6)=-5.42112137E-10
 A(8)=-5.03391393E-9
 A(10)= 8.79566363E-11 20
 N' = 1.74689, d=49.33
 T' = 2
 【 0 1 5 8 】
 S 4 レンズ L 5 の射出側面
 N = 1.74689, d=49.33
 C0= 0.00000000(r=)
 N' = 1.00000
 T' = 1.43221
 【 0 1 5 9 】
 S 5 絞り S T 30
 N = 1.00000
 C0= 0.00000000(r=),R=5.16
 N' = 1.00000
 T' = 2.29803
 【 0 1 6 0 】
 S 6 レンズ L 4 の入射側面
 N = 1.00000
 C0=-0.02626016(r=-38.0805)
 N' = 1.76167, d=27.53
 T' = 0.822209 40
 【 0 1 6 1 】
 S 7 レンズ L 4 の接合面
 N = 1.76167, d=27.53
 C0= 0.04049134(r=24.6966)
 N' = 1.62032, d=63.39
 T' = 3.39389
 【 0 1 6 2 】
 S 8 レンズ L 4 の射出側面
 N = 1.62032, d=63.39
 C0=-0.04445374(r=-22.4953) 50

$N' = 1.00000$
 $T' = 10.6368$
【 0 1 6 3 】
 S 9 レンズ L 3 の入射側面
 $N = 1.00000$
 $C0 = -0.00929704 (r = -107.5612)$
 $N' = 1.70559, d = 41.15$
 $T' = 5.2254$
【 0 1 6 4 】
 S 1 0 レンズ L 3 の射出側面 10
 $N = 1.70559, d = 41.15$
 $C0 = -0.04585680 (r = -21.8070)$
 $N' = 1.00000$
 $T' = 34.9631$
【 0 1 6 5 】
 S 1 1 レンズ L 2 の入射側面
 $N = 1.00000$
 $C0 = -0.05323455 (r = -18.7848)$
 $N' = 1.67340, d = 47.20$
 $T' = 2.10901$ 20
【 0 1 6 6 】
 S 1 2 レンズ L 2 の射出側面
 $N = 1.67340, d = 47.20$
 $C0 = -0.01611080 (r = -62.0702)$
 $N' = 1.00000$
 $T' = 16.2565$
【 0 1 6 7 】
 S 1 3 \$ レンズ L 1 の入射側面
 $N = 1.00000$
 $C0 = -0.01961906 (r = -50.9708)$ 30
[非球面データ]
 $= 1.00000000$
 $G(2, 0) = -0.00254135070$
 $G(3, 0) = 0.000115295827$
 $G(4, 0) = -1.87552142E-6$
 $G(5, 0) = 1.54773685E-7$
 $G(6, 0) = 1.03041806E-9$
 $G(7, 0) = -4.36446481E-10$
 $G(8, 0) = -3.25477379E-11$
 $G(9, 0) = 2.79815832E-12$ 40
 $G(10, 0) = -4.66040823E-14$
 $G(0, 2) = -0.00189476662$
 $G(1, 2) = 0.000115821570$
 $G(2, 2) = -2.46758254E-6$
 $G(3, 2) = -1.20769090E-7$
 $G(4, 2) = 4.90506721E-8$
 $G(5, 2) = -2.91816079E-9$
 $G(6, 2) = -1.16052359E-10$
 $G(7, 2) = 1.30898836E-11$
 $G(8, 2) = -2.54224529E-13$ 50

$G(0, 4) = 1.53299406E-6$
 $G(1, 4) = -3.48039135E-7$
 $G(2, 4) = 4.23487510E-8$
 $G(3, 4) = -1.87053543E-9$
 $G(4, 4) = -1.12835080E-10$
 $G(5, 4) = 1.29658921E-11$
 $G(6, 4) = -2.87454996E-13$
 $G(0, 6) = 5.40708807E-10$
 $G(1, 6) = 6.89896599E-10$
 $G(2, 6) = -8.95551154E-11$ 10
 $G(3, 6) = 5.40969772E-12$
 $G(4, 6) = -1.26127727E-13$
 $G(0, 8) = -3.33821344E-12$
 $G(1, 8) = -5.17137706E-13$
 $G(2, 8) = 3.38951155E-14$
 $G(0, 10) = 6.05583823E-15$
 $N' = 1.52729, \quad d = 56.38$
 $T' = 3.25156$
【 0 1 6 8 】
S 1 4 レンズ L 1 の射出側面 20
 $N = 1.52729, \quad d = 56.38$
 $C0 = -0.01970268 (r = -50.7545)$
 $N' = 1.00000$
【 0 1 6 9 】
S 1 5 * 第 2 パワーミラー M 2
[座標]
O : 141.06651 , -1.86431 , 0.00000
VX : 0.94370000 , -0.33080252 , 0.00000000
VY : 0.33080252 , 0.94370000 , 0.00000000
 $N = 1.00000$ 30
 $C0 = -0.00454287 (r = -220.1249)$
[非球面データ]
=1.00000000
 $A(4) = 7.61357271E-7$
 $A(6) = -2.13761178E-10$
 $A(8) = 3.48208153E-14$
 $A(10) = -2.33392487E-18$
 $N' = -1.00000$
【 0 1 7 0 】
S 1 6 * 第 1 パワーミラー M 1 40
[座標]
O : 61.19744 , 62.94728 , 0.00000
VX : -0.81504220 , 0.57940160 , 0.00000000
VY : 0.57940160 , 0.81504220 , 0.00000000
 $N = 1.00000$
 $C0 = 0.02866923 (r = 34.8806)$
[非球面データ]
=-2.90628891
 $A(4) = -6.54902009E-8$
 $A(6) = 5.36445900E-12$ 50

$A(8) = -2.38872865E-16$
 $A(10) = 4.31974092E-21$
 $N' = -1.000000$
【 0 1 7 1 】
 S 1 7 第 1 平面ミラー F 1
 [座 標]
 O : 147.25129 , -10.02980 , 0.00000
 VX : 0.84088579 , -0.54121261 , 0.00000000
 VY : 0.54121261 , 0.84088579 , 0.00000000
 $N = 1.000000$ 10
 $C0 = 0.000000000(r =)$
 $N' = -1.000000$
【 0 1 7 2 】
 S i 2 次像面
 [座 標]
 O : 302.94739 , 531.20344 , 0.00000
 VX : -0.84088579 , 0.54121261 , 0.00000000
 VY : -0.54121261 , -0.84088579 , 0.00000000
【 0 1 7 3 】
 《 実施例 6 の コンストラクシ ョ ン デ ー タ 》 20
 S o 1 次像面
 [座 標]
 O : 0.00000 , 0.00000 , 0.00000
 VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000
 VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000
 $N = 1.000000$
 $C0 = 0.000000000(r =)$
 $N' = 1.000000$
 $T' = 0.5$
【 0 1 7 4 】 30
 S 1 カバーガラス C G の入射側面
 $N = 1.000000$
 $C0 = 0.000000000(r =)$
 $N' = 1.51045, d=61.19$
 $T' = 3$
【 0 1 7 5 】
 S 2 カバーガラス C G の射出側面
 $N = 1.51045, d=61.19$
 $C0 = 0.000000000(r =)$
 $N' = 1.000000$ 40
【 0 1 7 6 】
 S 3 * レンズ L 8 の入射側面
 [座 標]
 O : 33.20000 , 0.52376 , 0.00000
 VX : 0.99974238 , -0.02269753 , 0.00000000
 VY : 0.02269753 , 0.99974238 , 0.00000000
 $N = 1.000000$
 $C0 = -0.03120243(r = -32.0488)$
 [非球面データ]
 =1.00000000 50

$A(4) = -5.90605911E-5$
 $A(6) = -2.71749917E-7$
 $A(8) = 4.09983339E-9$
 $A(10) = -5.57568275E-11$
 $N' = 1.77638, d=27.20$
 $T' = 2.0035$
【 0 1 7 7 】
 S 4 レンズ L 8 の射出側面
 $N = 1.77638, d=27.20$
 $C0 = 0.00000000(r=)$ 10
 $N' = 1.00000$
 $T' = 0$
【 0 1 7 8 】
 S 5 絞り S T
 $N = 1.00000$
 $C0 = 0.00000000(r=), R=5.7$
 $N' = 1.00000$
 $T' = 1.31148$
【 0 1 7 9 】
 S 6 レンズ L 7 の入射側面 20
 $N = 1.00000$
 $C0 = 0.01562647(r=63.9940)$
 $N' = 1.76109, d=27.18$
 $T' = 1.20058$
【 0 1 8 0 】
 S 7 レンズ L 7 の接合面
 $N = 1.76109, d=27.18$
 $C0 = 0.04524503(r=22.1019)$
 $N' = 1.75491, d=52.14$
 $T' = 3.66711$ 30
【 0 1 8 1 】
 S 8 レンズ L 7 の射出側面
 $N = 1.75491, d=52.14$
 $C0 = -0.05766619(r=-17.3412)$
 $N' = 1.00000$
 $T' = 0.298118$
【 0 1 8 2 】
 S 9 レンズ L 6 の入射側面
 $N = 1.00000$
 $C0 = -0.02841175(r=-35.1967)$ 40
 $N' = 1.61518, d=36.31$
 $T' = 3.84278$
【 0 1 8 3 】
 S 10 レンズ L 6 の接合面
 $N = 1.61518, d=36.31$
 $C0 = -0.09316716(r=-10.7334)$
 $N' = 1.79321, d=26.06$
 $T' = 1.8$
【 0 1 8 4 】
 S 11 レンズ L 6 の射出側面 50

N = 1.79321, d=26.06
 C0= 0.00952410(r=104.9968)
 N' = 1.00000
 T' = 9.15513

【 0 1 8 5 】

S 1 2 レンズ L 5 の入射側面

N = 1.00000
 C0=-0.01079619(r=-92.6253)
 N' = 1.80927, d=25.56
 T' = 7.10731

10

【 0 1 8 6 】

S 1 3 レンズ L 5 の射出側面

N = 1.80927, d=25.56
 C0=-0.04275071(r=-23.3914)
 N' = 1.00000
 T'=13.3791

【 0 1 8 7 】

S 1 4 レンズ L 4 の入射側面

N = 1.00000
 C0= 0.01077861(r=92.7764)
 N' = 1.80681, d=28.16
 T' = 5.2

20

【 0 1 8 8 】

S 1 5 レンズ L 4 の射出側面

N = 1.80681, d=28.16
 C0=-0.00500527(r=-199.7893)
 N' = 1.00000
 T'=13.0492

【 0 1 8 9 】

S 1 6 レンズ L 3 の入射側面

N = 1.00000
 C0= 0.00038365(r=2606.5318)
 N' = 1.75386, d=52.25
 T' = 7.68826

30

【 0 1 9 0 】

S 1 7 レンズ L 3 の接合面

N = 1.75386, d=52.25
 C0=-0.03411557(r=-29.3121)
 N' = 1.77159, d=26.79
 T' = 2.94078

40

【 0 1 9 1 】

S 1 8 レンズ L 3 の射出側面

N = 1.77159, d=26.79
 C0=0.01860106(r=53.7604)
 N'=1.00000
 T'=12.6573

【 0 1 9 2 】

S 1 9 レンズ L 2 の入射側面

N = 1.00000
 C0=-0.04776031(r=-20.9379)

50

$N' = 1.79171, \quad d=26.10$

$T' = 3$

【 0 1 9 3 】

S 2 0 レンズ L 2 の射出側面

$N = 1.79171, \quad d=26.10$

$C0 = -0.02811823 (r = -35.5641)$

$N' = 1.00000$

$T' = 30.8302$

【 0 1 9 4 】

S 2 1 \$ レンズ L 1 の入射側面

$N = 1.00000$

$C0 = -0.02932993 (r = -34.0949)$

[非球面データ]

$= 1.00000000$

$G(2, 0) = 0.000531360278$

$G(3, 0) = 2.88095919E-5$

$G(4, 0) = -3.47968400E-6$

$G(5, 0) = 3.59230926E-8$

$G(6, 0) = 1.45515392E-9$

$G(7, 0) = -4.08886074E-11$

$G(8, 0) = -1.53652231E-13$

$G(9, 0) = 7.71773568E-15$

$G(10, 0) = -1.59895780E-16$

$G(0, 2) = 0.000588508687$

$G(1, 2) = 2.54697110E-5$

$G(2, 2) = -3.09115193E-6$

$G(3, 2) = -1.49555805E-7$

$G(4, 2) = 1.02398516E-8$

$G(5, 2) = -1.35351791E-10$

$G(6, 2) = -1.24601650E-12$

$G(7, 2) = -5.07736637E-14$

$G(8, 2) = 1.00923527E-15$

$G(0, 4) = -6.12497020E-7$

$G(1, 4) = -1.03030103E-7$

$G(2, 4) = 6.39027845E-9$

$G(3, 4) = 4.81182122E-11$

$G(4, 4) = -7.09442936E-12$

$G(5, 4) = -1.44507262E-13$

$G(6, 4) = 5.86327137E-15$

$G(0, 6) = 5.03036466E-10$

$G(1, 6) = 1.18773933E-10$

$G(2, 6) = -9.97153071E-12$

$G(3, 6) = 1.12788823E-13$

$G(4, 6) = 2.34108101E-15$

$G(0, 8) = -1.65200776E-12$

$G(1, 8) = -5.46121788E-14$

$G(2, 8) = 4.34100363E-15$

$G(0, 10) = 1.20305385E-15$

$N' = 1.52729, \quad d=56.38$

$T' = 5$

10

20

30

40

50

【 0 1 9 5 】

S 2 2 レンズ L 1 の射出側面

N = 1.52729, d=56.38

C0=-0.02660134(r=-37.5921)

N' = 1.00000

【 0 1 9 6 】

S 2 3 * 第 1 パワーミラー M 1

[座標]

0 : 295.52060 , -13.46506 , 0.00000

VX : 0.99861593 , -0.05259487 , 0.00000000

VY : 0.05259487 , 0.99861593 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.01236714(r=80.8595)

[非球面データ]

=-4.59296886

A(4)=-2.16422720E-8

A(6)= 1.00518643E-12

A(8)=-2.98750271E-17

A(10)= 5.04219213E-22

A(12)=-3.61772802E-27

N'=-1.00000

【 0 1 9 7 】

S 2 4 第 2 平面ミラー F 2

[座標]

0 : 257.41195 , 191.61954 , 0.00000

VX :-0.97753162 , 0.21078883 , 0.00000000

VY : 0.21078883 , 0.97753162 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'=-1.00000

【 0 1 9 8 】

S 2 5 第 1 平面ミラー F 1

[座標]

0 : 463.30474 , 360.85577 , 0.00000

VX : 0.93411159 , -0.35698114 , 0.00000000

VY : 0.35698114 , 0.93411159 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'=-1.00000

【 0 1 9 9 】

S i 2 次像面

[座標]

0 : 412.55325 , 690.26377 , 0.00000

VX :-0.93411159 , 0.35698114 , 0.00000000

VY :-0.35698114 , -0.93411159 , 0.00000000

【 0 2 0 0 】

《実施例 7 のコンストラクションデータ》

S o 1 次像面

[座標]

0 : 0.00000 , 0.00000 , 0.00000

10

20

30

40

50

VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000
 VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000

N = 1.00000

CO= 0.00000000(r=)

N' = 1.00000

T' = 0.47

【 0 2 0 1 】

S 1 カバーガラス C G の入射側面

N = 1.00000

CO= 0.00000000(r=)

N' = 1.51872, d=64.20

T' = 3

【 0 2 0 2 】

S 2 カバーガラス C G の射出側面

N = 1.51872, d=64.20

CO= 0.00000000(r=)

N' = 1.00000

【 0 2 0 3 】

S 3 * 第 4 パワーミラー M 4

[座標]

0 : 92.11141 , -65.64228 , 0.00000

VX : 0.92359231 , -0.38337611 , 0.00000000

VY : 0.38337611 , 0.92359231 , 0.00000000

N = 1.00000

CO=-0.00951851(r=-105.0585)

[非球面データ]

=1.00000000

A(4)= 2.69503344E-8

A(6)= 3.40314345E-12

A(8)=-3.49032173E-16

A(10)= 8.32026999E-20

N' =-1.00000

【 0 2 0 4 】

S 4 * レンズ L 1 の入射側面

[座標]

0 : 47.40572 , -44.58338 , 0.00000

VX :-0.92709818 , -0.37481857 , 0.00000000

VY :-0.37481857 , 0.92709818 , 0.00000000

N = 1.00000

CO= 0.00000000(r=)

[非球面データ]

=1.00000000

A(4)= 2.16101360E-6

A(6)= 1.04082924E-9

A(8)=-1.11804091E-13

A(10)=-1.34638049E-15

N'=1.52438, d=52.20

【 0 2 0 5 】

S 5 レンズ L 1 の射出側面

[座標]

10

20

30

40

50

O : 42.00821 , -38.33420 , 0.00000
 VX :-0.92245737 , -0.38609894 , 0.00000000
 VY :-0.38609894 , 0.92245737 , 0.00000000
 N = 1.52438, d=52.20
 CO= 0.00000000(r=)
 N'= 1.00000

【 0 2 0 6 】

S 6 * 第 3 パワーミラー M 3

[座標]

O : 22.28507 , -35.32351 , 0.00000
 VX :-0.99540363 , 0.09576851 , 0.00000000
 VY : 0.09576851 , 0.99540363 , 0.00000000
 N = 1.00000
 CO= 0.01083475(r=92.2956)

10

[非球面データ]

=2.98919957

A(4)= 2.03028917E-6

A(6)= 4.86059722E-9

A(8)=-1.37047460E-12

A(10)=-4.07715438E-15

A(12)= 2.47961887E-17

20

N'=-1.00000

【 0 2 0 7 】

S 7 \$ 第 2 パワーミラー M 2

[座標]

O : 80.73163 , -88.73378 , 0.00000
 VX : 0.98976601 , -0.14269985 , 0.00000000
 VY : 0.14269985 , 0.98976601 , 0.00000000
 N = 1.00000
 CO= 0.00000000(r=)

30

[非球面データ]

=1.00000000

G(2, 0)= 0.000763094324

G(3, 0)= 7.98759927E-6

G(4, 0)=-5.05072108E-7

G(5, 0)=-7.55128099E-9

G(6, 0)= 3.79654548E-11

G(7, 0)= 2.24274584E-12

G(8, 0)= 3.77608237E-14

G(9, 0)= 4.72935916E-16

G(10, 0)= 3.07837577E-18

G(0, 2)= 0.000406501254

G(1, 2)=-3.57585284E-5

G(2, 2)=-1.16602083E-6

G(3, 2)= 2.93098479E-9

G(4, 2)= 6.88481993E-10

G(5, 2)= 1.13276388E-11

G(6, 2)= 1.10778179E-14

G(7, 2)=-1.24262385E-15

G(8, 2)=-1.01910384E-17

40

50

$G(0, 4) = 5.17599222E-7$
 $G(1, 4) = 3.38689042E-8$
 $G(2, 4) = 8.45989777E-10$
 $G(3, 4) = 5.76267730E-12$
 $G(4, 4) = -1.88444408E-13$
 $G(5, 4) = -3.77447076E-15$
 $G(6, 4) = -1.43619637E-17$
 $G(0, 6) = -2.02806547E-10$
 $G(1, 6) = -1.16411195E-11$
 $G(2, 6) = -2.72639481E-13$
 $G(3, 6) = -4.73963383E-15$
 $G(4, 6) = -4.10264902E-17$
 $G(0, 8) = 5.65543016E-14$
 $G(1, 8) = 3.05481633E-15$
 $G(2, 8) = 2.85771821E-17$
 $G(0, 10) = 5.54389329E-18$

$N' = -1.00000$

【 0 2 0 8 】

S 8 \$ 第 1 パワーミラー M 1

[座標]

$O : 30.65366, -58.34461, 0.00000$
 $VX : -0.99980012, -0.01999278, 0.00000000$
 $VY : -0.01999278, 0.99980012, 0.00000000$

$N = 1.00000$

$CO = 0.03907810 (r = 25.5898)$

[非球面データ]

$= -3.45352228$

$G(2, 0) = 0.00197687882$
 $G(3, 0) = 4.88316039E-5$
 $G(4, 0) = 3.39143708E-7$
 $G(5, 0) = -3.97086811E-10$
 $G(6, 0) = -2.48852956E-11$
 $G(7, 0) = -2.05046400E-13$
 $G(8, 0) = -8.89351381E-16$
 $G(9, 0) = -2.24656044E-18$
 $G(10, 0) = -2.77658285E-21$
 $G(0, 2) = 0.000281136883$
 $G(1, 2) = 1.24916945E-5$
 $G(2, 2) = -7.43330221E-7$
 $G(3, 2) = -2.25639168E-8$
 $G(4, 2) = -2.88390511E-10$
 $G(5, 2) = -1.99117480E-12$
 $G(6, 2) = -7.12212861E-15$
 $G(7, 2) = -9.16561809E-18$
 $G(8, 2) = 6.12254049E-21$
 $G(0, 4) = -3.99009057E-7$
 $G(1, 4) = -1.38768755E-8$
 $G(2, 4) = -2.29189970E-10$
 $G(3, 4) = -2.41660769E-12$
 $G(4, 4) = -1.71522697E-14$

10

20

30

40

50

G(5, 4)=-7.33699409E-17

G(6, 4)=-1.37795656E-19

G(0, 6)= 4.10840678E-11

G(1, 6)=1.21564310E-12

G(2, 6)=1.50223192E-14

G(3, 6)= 8.80810704E-17

G(4, 6)= 1.98828477E-19

G(0, 8)=-1.47289776E-15

G(1, 8)=-2.04622983E-17

G(2, 8)=-7.03240889E-20

G(0,10)=-1.65357576E-21

10

N' = -1.00000

【 0 2 0 9 】

S 9 第 2 平面ミラー F 2

[座標]

O : 54.86538 , -251.38662 , 0.00000

VX : 0.99672931 , -0.08081267 , 0.00000000

VY : 0.08081267 , 0.99672931 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

20

N'=-1.00000

【 0 2 1 0 】

S 1 0 第 1 平面ミラー F 1

[座標]

O : -90.84794 , -503.11167 , 0.00000

VX :-0.98686332 , 0.16155739 , 0.00000000

VY : 0.16155739 , 0.98686332 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=)

N'=-1.00000

30

【 0 2 1 1 】

S i 2 次像面

[座標]

O : -29.50845 , -871.19325 , 0.00000

VX : 0.98686332 , -0.16155739 , 0.00000000

VY : -0.16155739 , -0.98686332 , 0.00000000

【 0 2 1 2 】

仮想絞りデータ

[座標]

O : 100400.00000 , -25032.53150 , 0.00000

VX : 1.00000000 , 0.00000000 , 0.00000000

VY : 0.00000000 , 1.00000000 , 0.00000000

N = 1.00000

C0= 0.00000000(r=),R=14491.5

N'= 1.00000

40

【 0 2 1 3 】

【表 1】

実施例	(1)	(2)	(3), (3a)			(4)	(5)	符号反転
	$\theta 1$	CoR2Zmax-CoR2Zmin	α_{max}	α_{min}	$\alpha_{max}/\alpha_{min}$	CoR1Zmin-CoR1Zmax	(CoR1Zmin-CoR1Ymin)/(CoR1Zmax-CoR1Ymax)	Y(Co=0)
1	4.1	0.0022	77.58	61.49	1.26	0.017	4.2	-2.531
2	—	0.0011	76.55	52.65	1.45	0.018	4.7	-2.531
3	3.6	0.0032	75.93	56.21	1.35	0.018	2.8	1.721
4	—	0.0038	75.34	48.34	1.56	0.023	2.9	1.114
5	—	0.0024	72.86	25.9	2.81	0.020	0.8	-2.531
6	8.7	—	69.9	43.66	1.60	0.006	1.4	-0.810
7	4.7	0.0022	75.86	48.34	1.57	0.015	4.0	-3.026

【図面の簡単な説明】

【0214】

【図1】第1の実施の形態(実施例1)の光学構成を示す断面図。

【図2】第2の実施の形態(実施例2)の光学構成を示す断面図。

【図3】第3の実施の形態(実施例3)の光学構成を示す断面図。

【図4】第4の実施の形態(実施例4)の光学構成を示す断面図。

【図5】第5の実施の形態(実施例5)の光学構成を示す断面図。

【図6】第6の実施の形態(実施例6)の光学構成を示す断面図。

【図7】第7の実施の形態(実施例7)の光学構成を示す断面図。

【図8】図1の要部拡大図。

【図9】図2の要部拡大図。

【図10】図3の要部拡大図。

【図11】図4の要部拡大図。

【図12】図5の要部拡大図。

【図13】図6の要部拡大図。

【図14】図7の要部拡大図。

【図15】実施例1のスポットダイアグラム。

【図16】実施例2のスポットダイアグラム。

【図17】実施例3のスポットダイアグラム。

【図18】実施例4のスポットダイアグラム。

【図19】実施例5のスポットダイアグラム。

【図20】実施例6のスポットダイアグラム。

【図21】実施例7のスポットダイアグラム。

【図22】実施例1の第1パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

【図23】実施例1の第2パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

【図24】実施例2の第1パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

【図25】実施例2の第2パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

【図26】実施例3の第1パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

【図27】実施例3の第2パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

【図28】実施例4の第1パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

【図29】実施例4の第2パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

【図30】実施例5の第1パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

【図31】実施例5の第2パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。

10

20

30

40

50

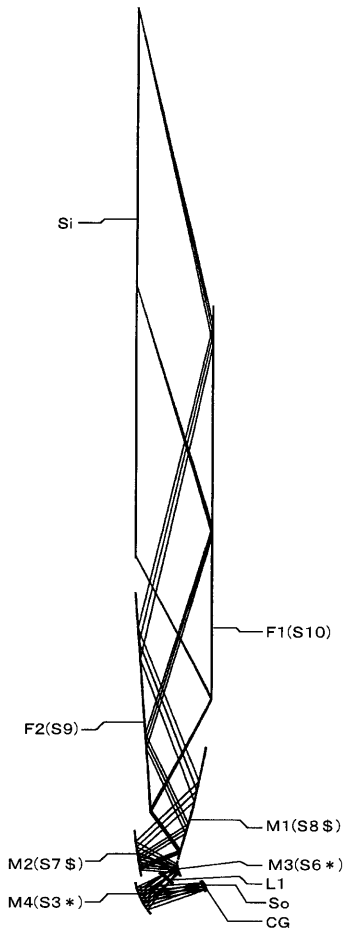
- 【図32】 実施例6の第1パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。
- 【図33】 実施例7の第1パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。
- 【図34】 実施例7の第2パワーミラーの面形状を曲率プロットで示すグラフ。
- 【図35】 第7の実施の形態(実施例7)の斜め投影光学系に照明光学系を組み合わせて成る画像投影装置の主要光学構成を示す断面図。

【符号の説明】

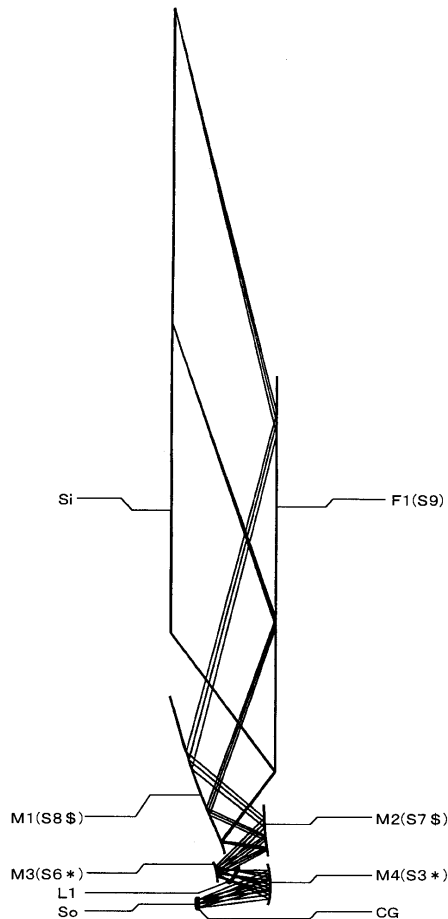
【0215】

- S o 1次像面
- S i 2次像面
- C G カバーガラス
- M 1 第1パワーミラー(第1曲面反射面を有する反射光学素子)
- M 2 第2パワーミラー(第2曲面反射面を有する反射光学素子)
- M 3 第3パワーミラー(曲面反射面を有する反射光学素子)
- M 4 第4パワーミラー(曲面反射面を有する反射光学素子)
- F 1 第1平面ミラー(第1平面反射面を有する反射光学素子)
- F 2 第2平面ミラー(第2平面反射面を有する反射光学素子)
- S T , S T 1 , S T 2 絞り
- L 1 ~ L 8 レンズ(屈折光学素子)
- D P 表示素子

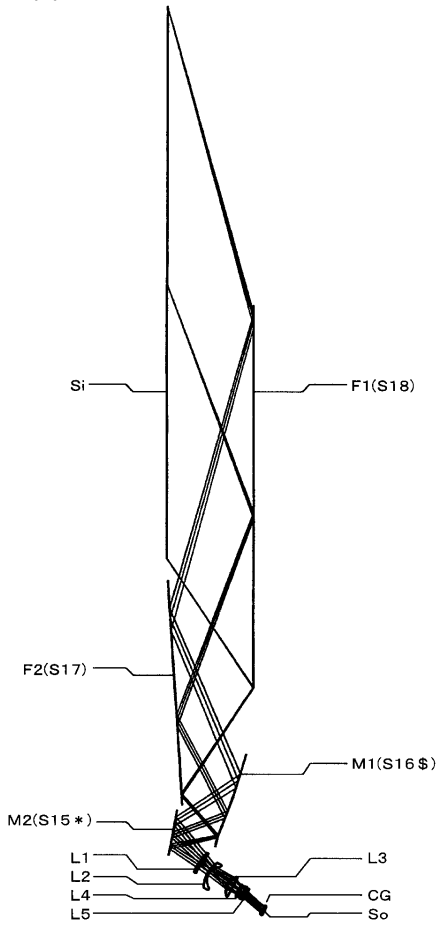
【図1】



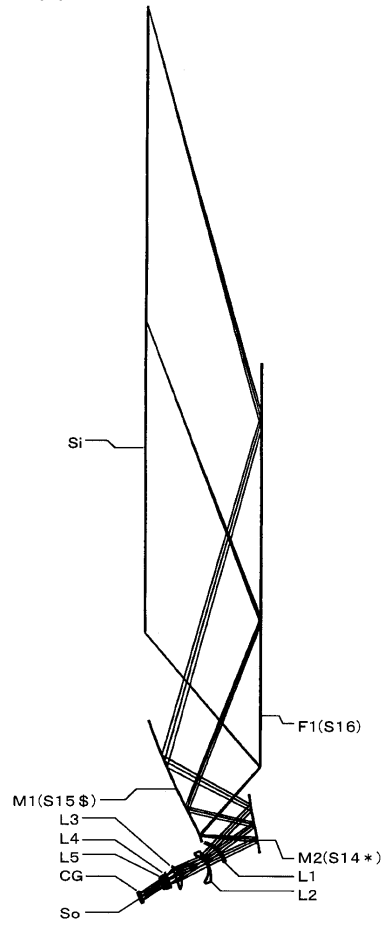
【図2】



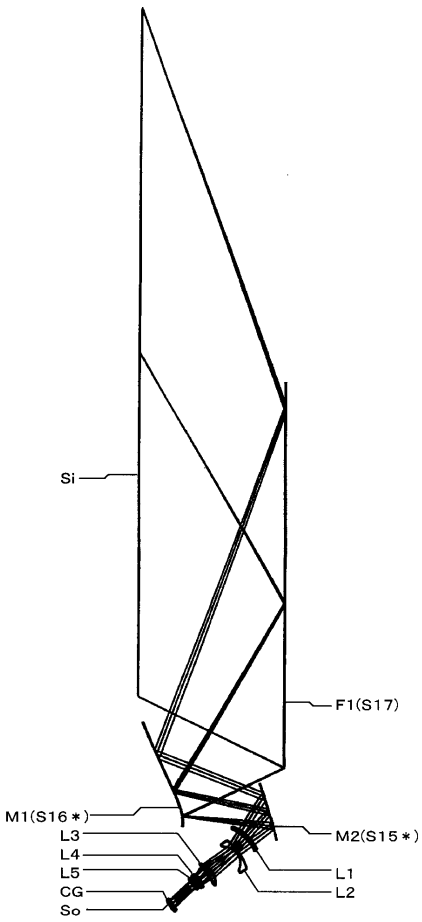
【 図 3 】



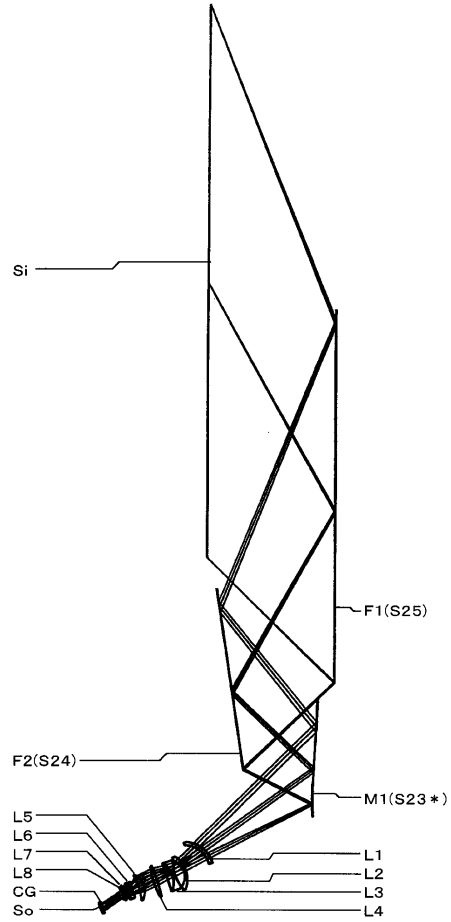
【 図 4 】



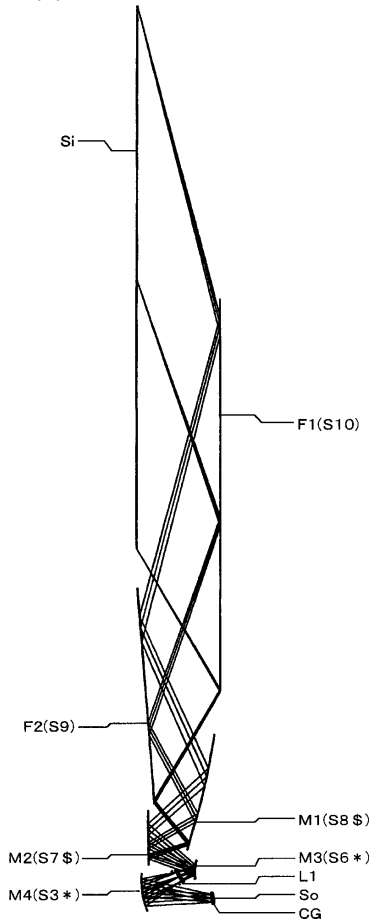
【 図 5 】



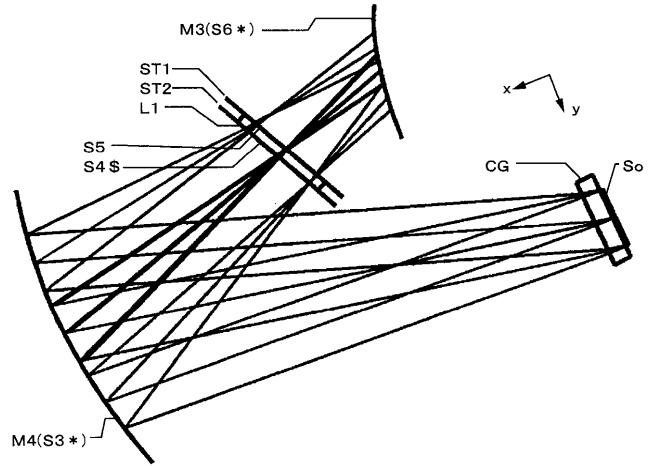
【 図 6 】



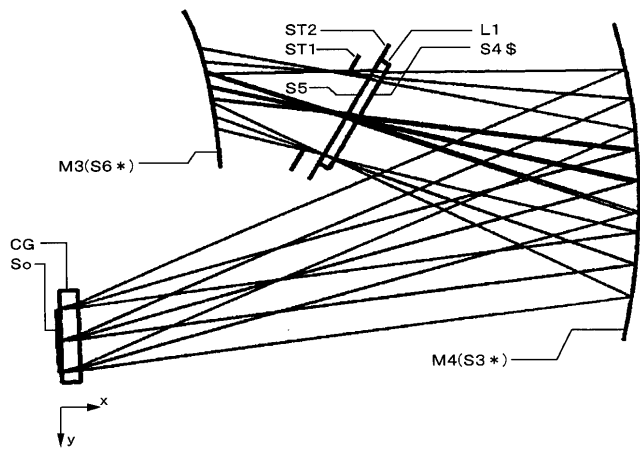
【 図 7 】



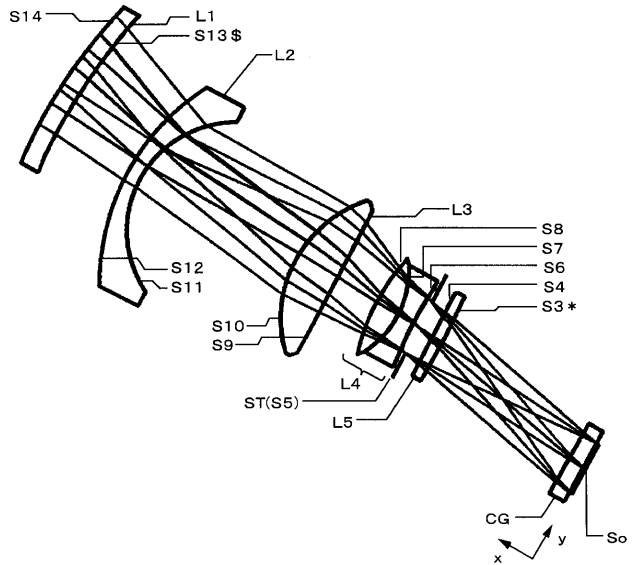
【 図 8 】



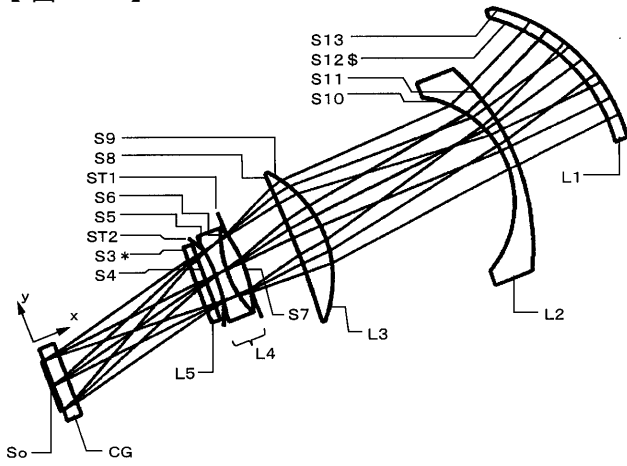
【 図 9 】



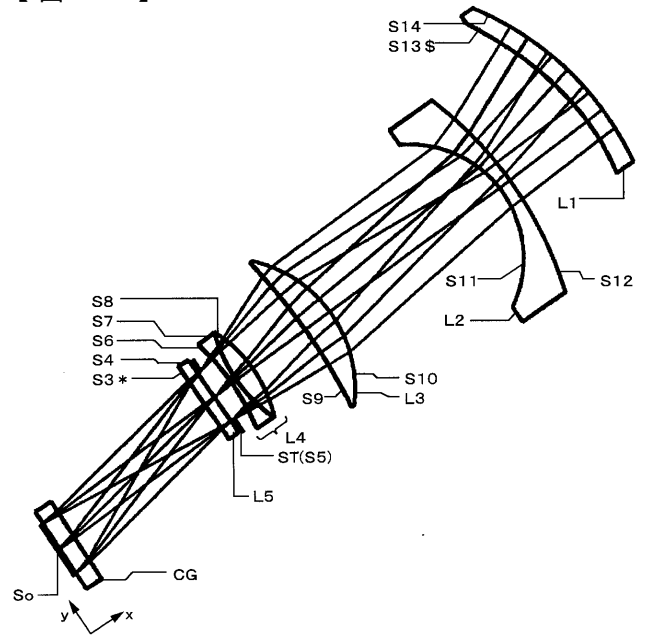
【 図 10 】



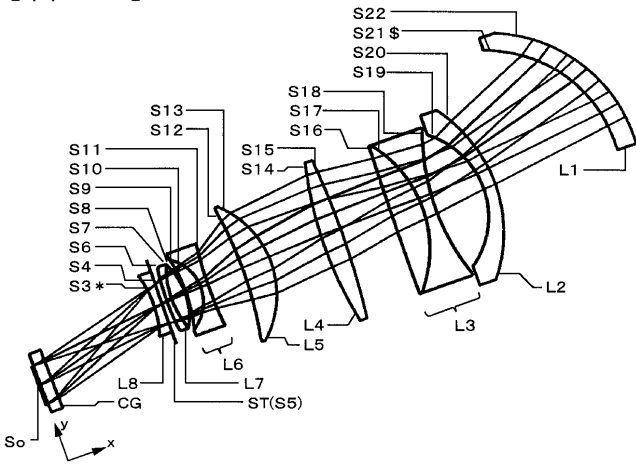
【 図 1 1 】



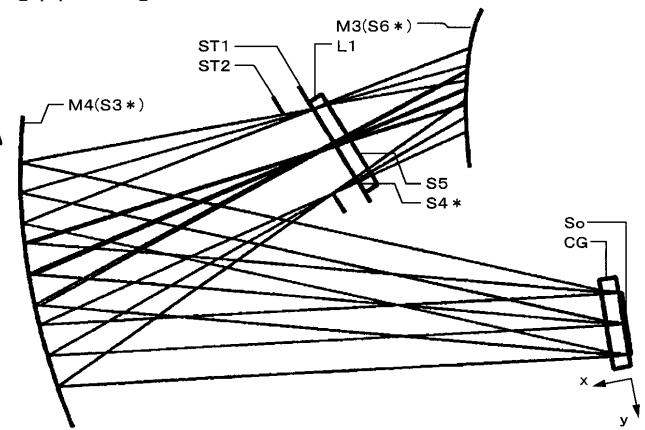
【 図 1 2 】



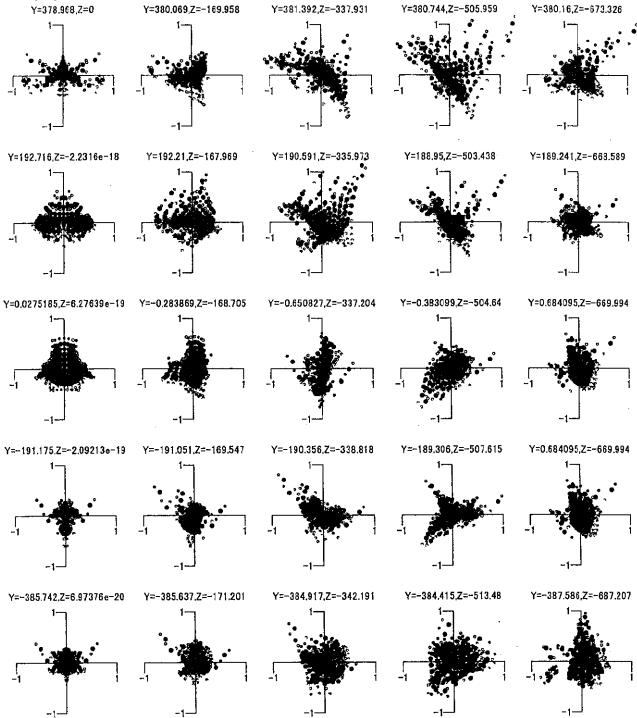
【 図 1 3 】



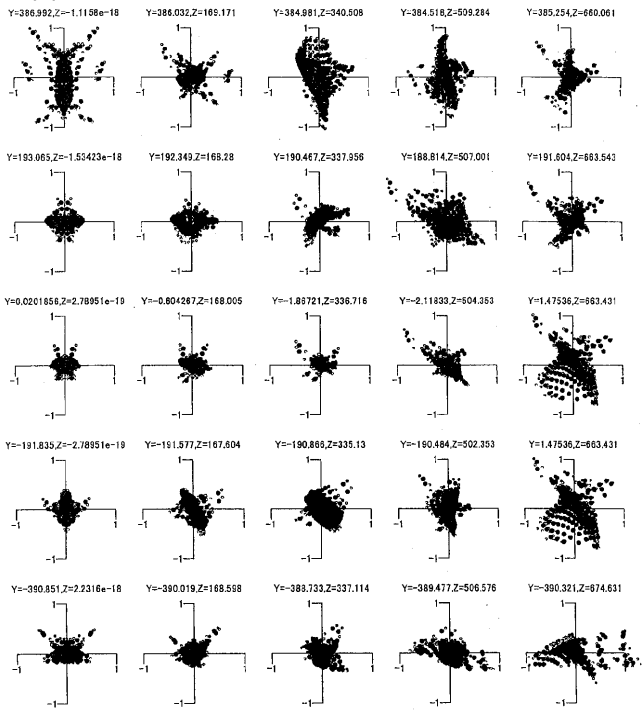
【 図 1 4 】



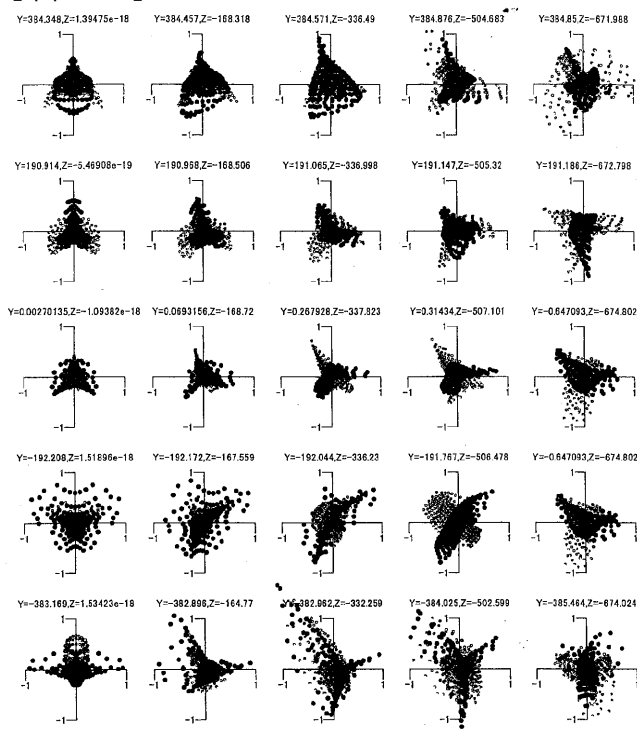
【 15 】



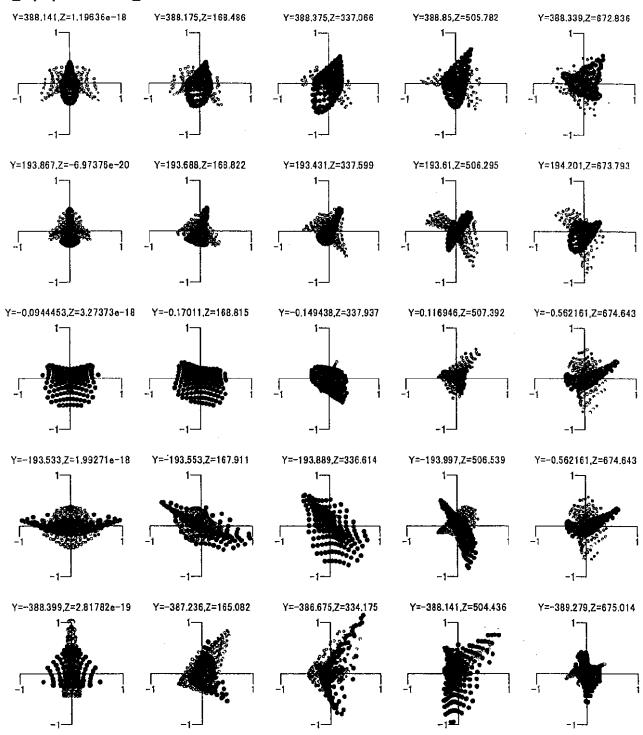
【 16 】



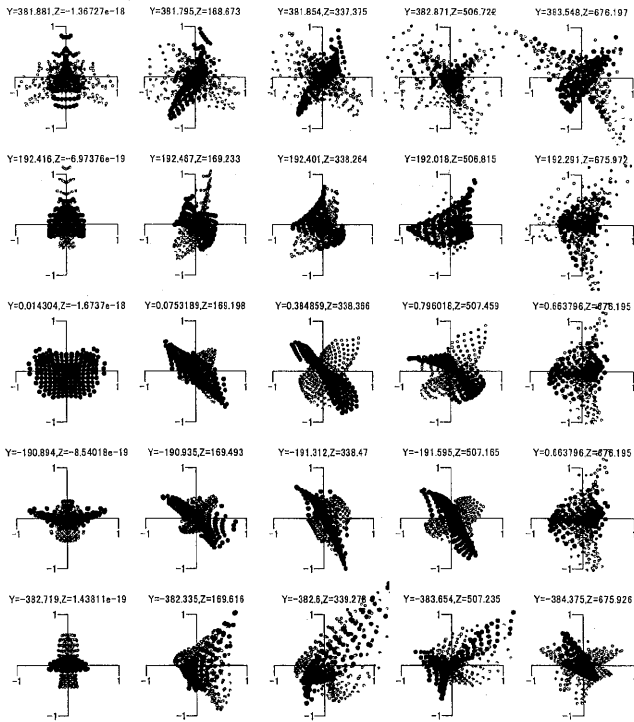
【 17 】



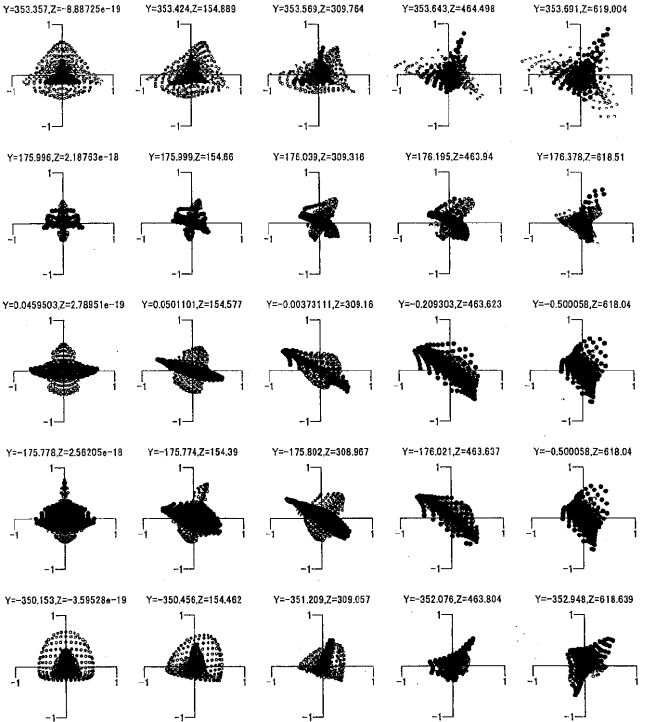
【 18 】



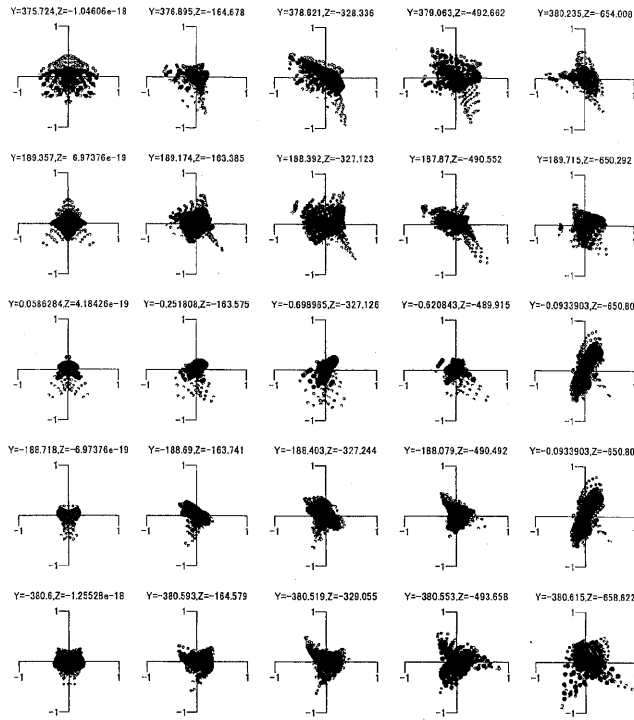
【図 19】



【図 20】

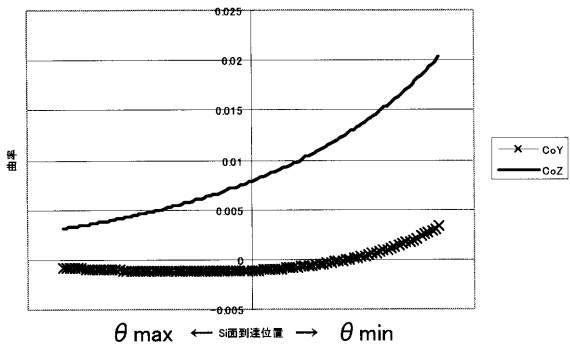


【図 21】



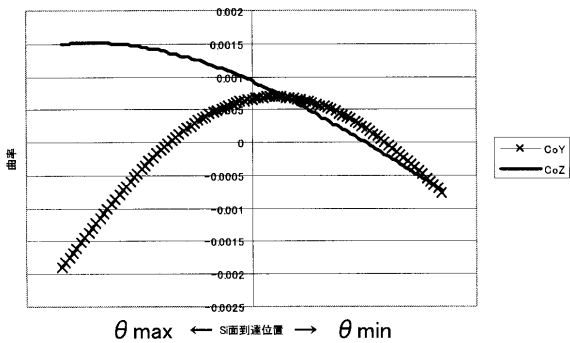
【図 22】

【実施例1の第1パワーミラーの曲率プロット】

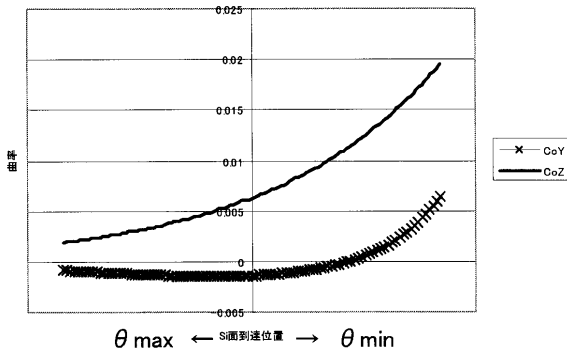


【図 23】

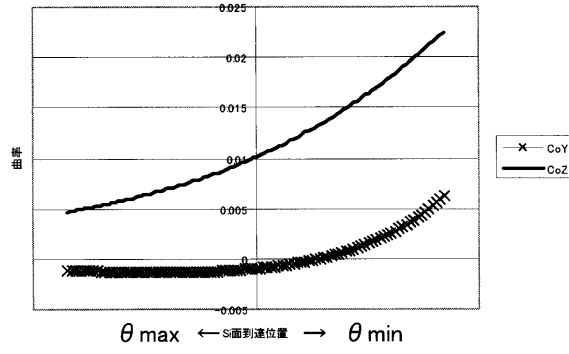
【実施例1の第2パワーミラーの曲率プロット】



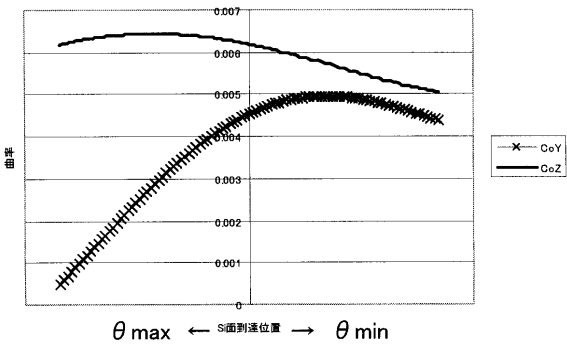
【 図 2 4 】
[実施例2の第1パワーミラーの曲率プロット]



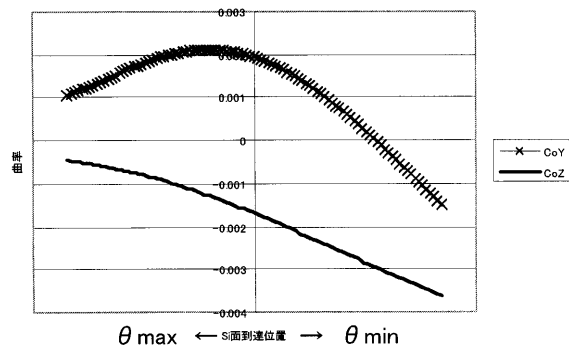
【 図 2 6 】
[実施例3の第1パワーミラーの曲率プロット]



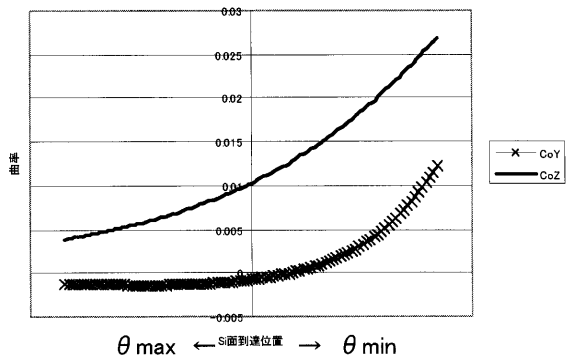
【 図 2 5 】
[実施例2の第2パワーミラーの曲率プロット]



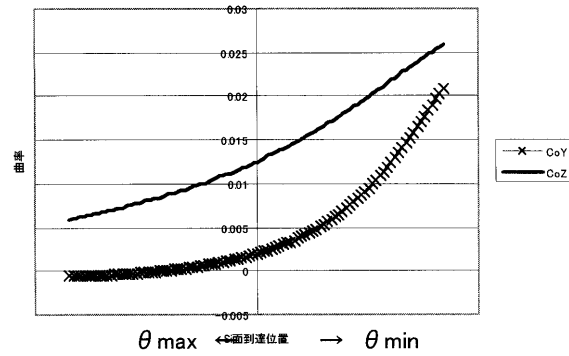
【 図 2 7 】
[実施例3の第2パワーミラーの曲率プロット]



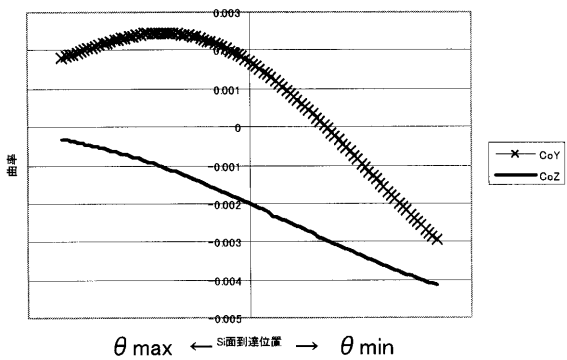
【 図 2 8 】
[実施例4の第1パワーミラーの曲率プロット]



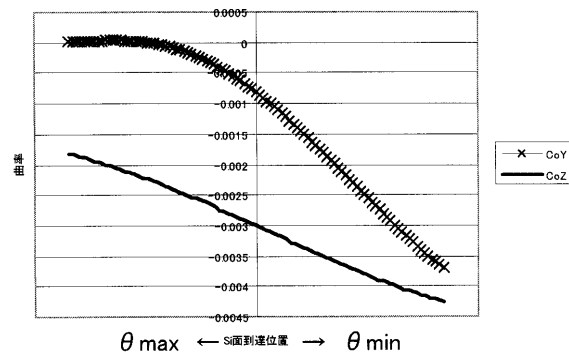
【 図 3 0 】
[実施例5の第1パワーミラーの曲率プロット]



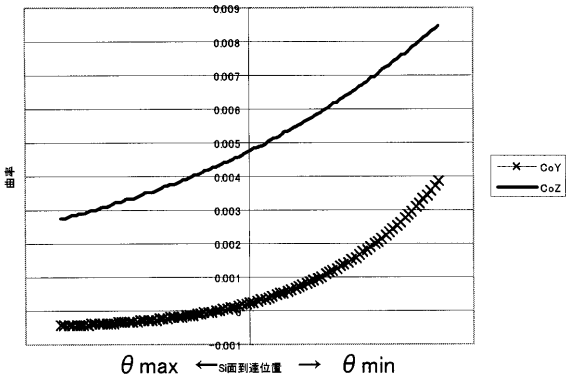
【 図 2 9 】
[実施例4の第2パワーミラーの曲率プロット]



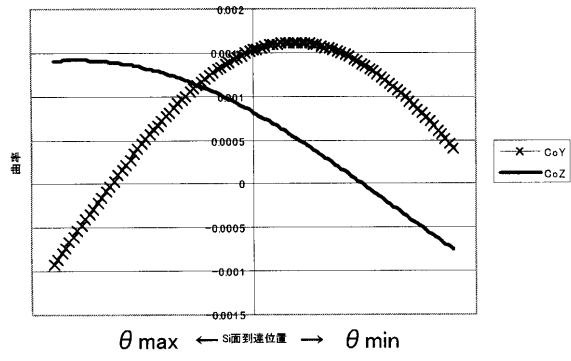
【 図 3 1 】
[実施例5の第2パワーミラーの曲率プロット]



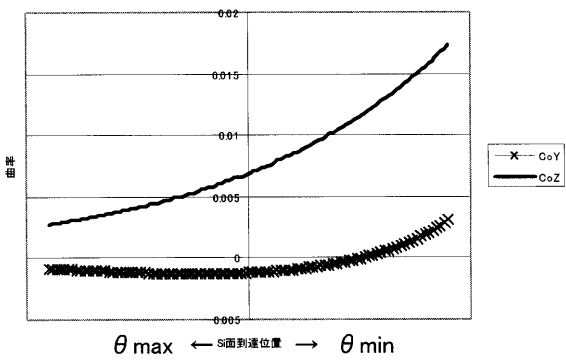
【 図 3 2 】
[実施例6の第1パワーミラーの曲率プロット]



【 図 3 4 】
[実施例7の第2パワーミラーの曲率プロット]



【 図 3 3 】
[実施例7の第1パワーミラーの曲率プロット]



【 図 3 5 】

