

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4978831号
(P4978831)

(45) 発行日 平成24年7月18日 (2012. 7. 18)

(24) 登録日 平成24年4月27日 (2012. 4. 27)

(51) Int. Cl.

F 1

G O 2 B 13/16 (2006. 01)

G O 2 B 13/16

G O 3 B 21/14 (2006. 01)

G O 3 B 21/14

A

G O 2 B 5/18 (2006. 01)

G O 2 B 5/18

請求項の数 7 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2006-196567 (P2006-196567)
 (22) 出願日 平成18年7月19日 (2006. 7. 19)
 (65) 公開番号 特開2008-26440 (P2008-26440A)
 (43) 公開日 平成20年2月7日 (2008. 2. 7)
 審査請求日 平成21年6月30日 (2009. 6. 30)

(73) 特許権者 000004112
 株式会社ニコン
 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
 (74) 代理人 100092897
 弁理士 大西 正悟
 (72) 発明者 鈴木 憲三郎
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
 式会社ニコン内
 審査官 井上 信

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プロジェクタ光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表示素子の像を投写して実像を形成するプロジェクタに用いられるプロジェクタ光学系であって、

投写側から順に、

開口絞りと、

正の屈折力を有し、内部、若しくは、投写側又は表示素子側のレンズ面に、2個の回折素子要素に形成された回折格子が対向して配置された複層型回折光学素子により形成される回折光学面を有する第1レンズ群と、

前記第1レンズ群の表示素子側に正の屈折力を有する最終レンズ群とにより、実質的に2個のレンズ群から構成され、

光軸上の全長をLとし、前記開口絞りから前記第1レンズ群の最も投写側の面までの光軸上の距離をKとしたとき、次式

$$0.1 < K/L < 1.0$$

を満足し、且つ、前記2個の回折素子要素の主波長（d線）に対する屈折率の差をNdとしたとき、次式

$$0.01 < Nd < 0.45$$

を満足するプロジェクタ光学系。

【請求項 2】

前記回折光学素子が、前記回折格子が密着した密着複層型で構成され、

10

20

前記 2 個の回折素子要素のアッペ数の差を d としたとき、次式
 $50 < d / Nd < 2000$
 を満足する請求項 1 に記載のプロジェクタ光学系。

【請求項 3】

前記回折光学面の主波長（ d 線）の回折効率設計値を E_d とし、前記主波長に対する短波長（ g 線）での回折効率設計値を E_g とし、前記主波長に対する長波長（ C 線）での回折効率設計値を E_C としたとき、次式
 $(E_g + E_C) / 2 > 0.85 \times E_d$
 を満足する請求項 1 または 2 に記載のプロジェクタ光学系。

【請求項 4】

光軸に対して対称で、最大像高の主光線が前記第 1 レンズ群に形成された前記回折光学面を通過するときの光線の角度が 10 度以下になるように構成され、
 前記回折光学面の有効径を C とし、全系の焦点距離を f としたとき、次式
 $0.2 < C / f < 2.0$
 を満足する請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載のプロジェクタ光学系。

【請求項 5】

前記回折光学面を形成する前記回折格子の格子高さを h とし、前記回折素子要素のうち光軸上の軸上厚さが小さい方の厚さを d としたとき、次式
 $0.02 < h / d < 0.9$
 を満足することを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載のプロジェクタ光学系。

【請求項 6】

d 線、 g 線、 C 線、 F 線スペクトルの光軸方向の広がり幅を Δ とし、全系の焦点距離を f としたとき、次式
 $0.001 < \Delta / f < 0.03$
 を満足することを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載のプロジェクタ光学系。

【請求項 7】

前記第 1 レンズ群の表示素子側に正の屈折力を有する最終レンズ群を有し、
 前記最終レンズ群の焦点距離を f_L としたとき、次式
 $0.3 < f_L / L < 5.0$
 を満足することを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載のプロジェクタ光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プロジェクタに用いられ、表示素子の像をスクリーン等に拡大投写するプロジェクタ光学系に関する。

【背景技術】

【0002】

プロジェクタは、液晶デバイス（LCD, LCOS）や DMD 等の表示素子をライトバルブとして用い、その表示画像をプロジェクタ光学系によりスクリーン等に拡大投写する装置である。近年では、表示素子の高性能化（高画素化）に伴い、解像力が高く、諸収差が十分補正された高性能なプロジェクタ光学系を備える種々のプロジェクタが提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

【特許文献 1】特開 2004 - 279958 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、高性能なプロジェクタ光学系は、レンズの枚数が多くなり、その結果、サイズも大きくなってしまい、プロジェクタ全体の小型化を妨げるという課題がある。

【0005】

10

20

30

40

50

本発明はこのような課題に鑑みてなされたものであり、回折光学素子を利用して、良好な結像性能と小型化を達成したプロジェクタ光学系を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

前記課題を解決するために、本発明に係るプロジェクタ光学系は、表示素子の像を投写して実像を形成するものであり、投写側から順に、開口絞りと、正の屈折力を有し、内部、若しくは、投写側又は表示素子側のレンズ面に、2個の回折素子要素に形成された回折格子が対向して配置された複層型回折光学素子により形成される回折光学面を有する第1レンズ群と、第1レンズ群の表示素子側に正の屈折力を有する最終レンズ群とにより、実質的に2個のレンズ群から構成される。そして、光軸上の全長をLとし、開口絞りから第1レンズ群の最も投写側の面までの光軸上の距離をKとしたとき、次式

$$0.1 < K/L < 1.0$$

を満足し、且つ、2個の回折素子要素の主波長（d線）に対する屈折率の差をNdとしたとき、次式

$$0.01 < Nd < 0.45$$

を満足するように構成される。

【0007】

このような本発明に係るプロジェクタ光学系において、回折光学素子が、回折格子が密着した密着複層型で構成され、2個の回折素子要素のアップベ数の差をdとしたとき、次式

$$50 < d/Nd < 2000$$

を満足することが好ましい。

【0008】

また、回折光学面の主波長（d線）の回折効率設計値をEdとし、主波長に対する短波長（g線）での回折効率設計値をEgとし、主波長に対する長波長（C線）での回折効率設計値をEcとしたとき、次式

$$(Eg + Ec) / 2 > 0.85 \times Ed$$

を満足することが好ましい。

【0009】

また、光軸に対して対称で、最大像高の主光線が第1レンズ群に形成された回折光学面を通過するときの光線の角度が10度以下になるように構成され、回折光学面の有効径（直径）をCとし、全系の焦点距離をfとしたとき、次式

$$0.2 < C/f < 2.0$$

を満足することが好ましい。

【0010】

また、回折光学面を形成する回折格子の格子高さをhとし、回折素子要素のうち光軸上の軸上厚さが小さい方の厚さをdとしたとき、次式

$$0.02 < h/d < 0.9$$

を満足することが好ましい。

【0011】

また、d線、g線、C線、F線スペクトルの光軸方向の広がり幅をとし、全系の焦点距離をfとしたとき、次式 $0.001 < /f < 0.03$ を満足することが好ましい。

また、前記第1レンズ群の表示素子側に正の屈折力を有する最終レンズ群を有し、前記最終レンズ群の焦点距離をfLとしたとき、次式 $0.3 < fL/L < 5.0$ を満足することが好ましい。

【発明の効果】

【0012】

本発明に係るプロジェクタ光学系を以上のように構成すると、第1レンズ群に回折光学面を設けることにより、少ないレンズ枚数でも良好な結像性能を得ることができ、このブ

10

20

30

40

50

ロジェクタ光学系全体を小型化することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明の好ましい実施形態について図面を参照して説明する。プロジェクタに用いられるプロジェクタ光学系は、表示素子に対して照明光を照射し、この表示素子から反射もしくは透過した光線の像を実像として拡大投写するものであり、一般的に、明るさの確保のためFナンバーが小さく、画像の色ずれが小さいよう色収差が小さいことが求められる。そして、小型のモバイル機器等に搭載するために、小型で軽量であることも重要である。それでは、図1および図2を用いて本発明に係るプロジェクタ光学系PSの構成について説明する。

10

【0014】

このプロジェクタ光学系PSは、投写側から順に、開口絞りS、および、正の屈折力を有する第1レンズ群G1を有し、表示素子20から出射した光線を拡大投写するように構成されている。なお、この図1および図2に示すプロジェクタ光学系PSは、表示素子20として反射型液晶デバイス(LCOS(Liquid Crystal on Silicon)パネル)を用いた場合を示している。そのため、第1レンズ群G1と表示素子20との間には、偏光ビームスプリッタプリズムP(以下、「プリズムP」と呼ぶ)が配置され、光源30(例えば、白色LED)から放射される白色光をコンデンサレンズ40で集光し、側方(図1, 図2においては下方)からこのプリズムPに入射させ、右方に反射させて照明光として表示素子20に照射するように構成されている。なお、表示素子20にDMD(Digital Micromirror Device)を用いても良いし、或いは、表示素子20に透過型液晶デバイス(LCD(Liquid Crystal Display)パネル)を用いて、照明光を、この表示素子20を透過させるように構成しても良い。

20

【0015】

また、表示素子20としてこのような反射型の液晶デバイスや透過型の液晶デバイスを用いる場合には、照明光を効率的に用いるために、表示素子20に対してはなるべくテレセントリックとなるように凸フィールドレンズを配置することが好ましい。そのため、表示素子20へのテレセントリック性を向上させるために、このプロジェクタ光学系PSの最も表示素子20に近い位置に正の屈折力を有する最終レンズ群(凸フィールドレンズ)GLが配置されている。この最終レンズ群GLは、図1に示すように、第1レンズ群G1の直後に配置しても良いし、図2に示すように、表示素子20に最も近い位置、すなわち、プリズムPの表示素子20側の面に凸パワーを持たせるように配置しても良い。図1に示すように配置することにより、色収差をより良好に補正することができ、図2に示すように配置することにより、フィールドレンズとしての効果をより良く発揮させることができる。さらに、このプロジェクタ光学系PSにおいては、図1に示すように、表示素子20とプリズムPとの間に、この表示素子20を保護するための保護ガラス若しくはフィルタFを配置することができる。

30

【0016】

以上のように、このプロジェクタ光学系PSにおいては、プリズムPを介して照射された照明光が表示素子20で反射し、この表示素子20から出射した光線は最終レンズ群GLおよび第1レンズ群G1により拡大され、開口絞りSを通過してスクリーン等を実像として投写される。なお、第1レンズ群G1および最終レンズ群GLは、図1の第1レンズ群G1に示すように複数のレンズL1, L2から構成することもできるし、図2の第1レンズ群G1に示すように単レンズL10で構成することもできる。

40

【0017】

このプロジェクタ光学系PSを構成する第1レンズ群G1には、色収差を補正するために、内部若しくは前後のレンズ面のいずれかに、回折光学面Dが形成されている。図1に示す第1レンズ群G1には、平凸レンズL1, L2の間に挟まれて回折光学面Dを形成した場合を示しており、図2に示す第1レンズ群G1には、単レンズ(両凸レンズ)L10の表示素子20側の面に回折光学面Dを形成した場合を示している。

50

【 0 0 1 8 】

一般に、光線を曲げる方法は屈折と反射が知られているが、第3番目の方法として回折が知られている。回折光学素子とは、光の回折現象を利用した光学素子であって、屈折や反射とは異なる振る舞いを示すことが知られている。具体的には回折格子やフレネルゾーンプレートが従来から知られている。本実施例においては、ガラスやプラスチック等の光学部材の表面に回折格子やフレネルゾーンプレートのように回折現象を応用して光線を曲げる作用を有する面を創製して、その作用により良好な光学性能を得ようというものであり、このように回折現象を応用して光線を曲げる作用を有する面を回折光学面と呼ぶことにする。そして、このような面を有する光学素子を回折光学素子と一般に呼んでいる。

【 0 0 1 9 】

この回折光学面の性質として、正屈折力でありながら負の分散値を有しており、色収差補正に極めて有効であることが知られている。このため、通常ガラスでは達成し得ない良好な色収差補正が可能となることや、高価な特殊低分散ガラスでしか達成し得ないような良好な色収差補正が可能であることが知られている。

【 0 0 2 0 】

この回折光学素子を光学系に組み込み、利用するにあたり、素子としての光学設計上の特性を挙げると、負分散、異常分散性や非球面作用を有している。また、ペッツバル和を0にすることができ、光の分岐、合波が容易である。さらに、屈折力の温度変化が小さく、薄型化が可能である。特に、プロジェクタ光学系への応用に際し、注目されるのは次の点である。第1に、負の分散値（アッペ数 = - 3 . 4 5 3）を持ち、分散が大きく、また異常分散性（部分分散比 = 0 . 2 9 5 6）が強いため、強力な色収差補正能力を有している点である。ガラスのアッペ数は通常30 ~ 80程度であるため、回折光学素子のアッペ数の大きさはその1 / 10倍以下である。換言すると、回折光学素子においては長い波長の光ほど大きく曲がる。このため、通常のガラスでは達成し得ない良好な色収差補正が可能となる。第2に、この回折光学素子を用いることにより、プロジェクタ光学系の小型化・軽量化が可能となる点である。回折格子の段差構造や強い色消し作用で接合レンズを減らすことができるため、薄型化が可能となる。

【 0 0 2 1 】

但し、副作用として、特定の次数・画角・波長以外の回折光がフレアとなって画質を低下させるので、ピックアップレンズのような単色の応用に限られていた。しかし、近年の研究で、回折格子を複数重ねることによって広い波長域で回折効率を大幅に向上できることが明らかになり、プロジェクタ光学系等への応用の道が拓けてきた。図3に2個の光学素子要素のそれぞれに回折格子を形成し、この回折格子を対向させて配置した複層型回折光学素子の例を示す。図3（a）は2個の回折素子要素50a, 50bのそれぞれに回折格子を形成し、この回折格子を密着させて構成した密着複層型を示し、図3（b）は、回折格子が所定の間隔を有して対向するように2個の回折素子要素50a, 50bを配置した分離型を示している。なお、本実施例において、第1レンズ群G1に設けられている回折光学面Dは、密着複層型の回折光学素子により構成した場合を示している。

【 0 0 2 2 】

ここで、密着複層型回折光学素子の回折効率について検討する。主波長（d線であって $d = 587.6 \text{ nm}$ ）に対する基準屈折率をNdとし、主分散をNF - NC（NFはF線（ $F = 486.1 \text{ nm}$ ）に対する屈折率、NCはC線（ $C = 656.3 \text{ nm}$ ）に対する屈折率）とすると、密着型回折光学素子を構成する2個の回折素子要素（格子材料）の基準屈折率の差 Ndと、主分散NF - NCの差（NF - NC）が、次の式の関係を満たせば、d線、F線、C線での回折効率を100%とすることができ、広帯域化を達成することができる。

【 0 0 2 3 】

$$\begin{aligned} Nd / (NF - NC) &= d / (F - C) \\ &= - 3 . 4 5 3 \end{aligned}$$

【 0 0 2 4 】

すなわち、図 4 に示すように、ガラスマップ上の適切な格子材料の選び方は、密着複層型回折光学素子を形成する 2 個の格子材料を結ぶ直線 X の勾配が回折格子のアップベ数 (= - 3 . 4 5 3) となれば良いことを示している。さらには、この直線 X 上であれば格子材料はどこから選択しても良く、実用上は多少この直線 X から外れても回折効率を十分高くすることができる。

【 0 0 2 5 】

さて、一般に、光学系の回折光学面を通過する光線角度は、できるだけ小さいことが好ましい。一般に、格子の段差（壁）部分は面に略垂直となっていることが多いため、回折光学面を通過する光線の角度が大きくなると回折光学面によるフレア（ブレイズした所定次数以外の光が有害光となって投影面に達する現象）が発生し易くなり、画質を損ねてしまうからである。そのため、回折光学面で発生するフレアがあまり影響を及ぼさずに良好な画像を得るためには、本プロジェクタ光学系 P S の場合、回折光学面 D を通過する光線の角度を 1 0 度以下とすることが望ましい。このような条件を満たすことができれば、回折光学面 D は第 1 レンズ群 G 1 のどこに配置しても良いが、物体側（すなわち、表示素子 2 0 側）に凸な面に形成するとこのような条件を満足することが容易になるので好ましい。さらに、その効果を十分に得るには、回折光学面 D を通過する光線の角度を 5 度以下とすることがより好ましい。このフレアに対しては、複層型回折光学素子を用いて複数の回折格子を重ねることにより、波長広帯域で回折効率を向上させ、フレアを減ずることができるので、カメラやプロジェクタ用途には好適である。

【 0 0 2 6 】

それでは、本実施例に係るプロジェクタ光学系 P S を構成するための条件について、以下に説明する。このプロジェクタ光学系 P S は、光学全長（開口絞り S から表示素子 2 0 までの光軸上の長さ）を L とし、開口絞り S から第 1 レンズ群 G 1 の最も投影側の面までの光軸上の長さを K としたとき、次の条件式（ 1 ）を満足するように構成されている。また、回折光学面 D を形成している複層型回折光学素子の 2 個の回折素子要素の基準屈折率 Nd の屈折率差を ΔNd とすると、次の条件式（ 2 ）を満足するように構成されている。

【 0 0 2 7 】

$$0.1 < K / L < 1.5 \quad \dots (1)$$

$$0.015 < \Delta Nd < 0.45 \quad \dots (2)$$

【 0 0 2 8 】

条件式（ 1 ）は、開口絞り S の位置の適正なる範囲を規定するものであり、収差バランスを整え、良い結像性能を得るために重要である。この条件式（ 1 ）の上限を上回ると、K が大きくなりすぎ、開口絞り S より撮像素子 2 0 側の光学系の径が大きくなりすぎ、このプロジェクタ光学系 P S を小型化することができなくなる。また、図 1 および図 2 において、主光線より上側の光線にコマ収差が発生し易くなり、不都合である。一方、条件式（ 1 ）の下限を下回ると、K が小さくなりすぎ、主光線より下側の光線にコマ収差が発生し易くなり、ディストーションが正側に大きくなる傾向が強まり、不都合である。

【 0 0 2 9 】

条件式（ 2 ）は、第 1 レンズ群 G 1 に用いられる回折光学素子の誤差感度の適正なる範囲を規定するものであり、この条件式（ 2 ）を満足すると、製造誤差感度を緩めることができ、また、界面でのフレネル反射を減じることができる。この条件式（ 2 ）の上限を上回ると、屈折率差 ΔNd が大きくなりすぎてしまい、回折格子の格子高さや面粗さの誤差感度が大きくなりすぎてしまう不都合が生じる。また、条件式（ 2 ）の下限を下回ると、格子高さが高くなりすぎてしまい、格子の段差部分によるフレアが大きくなってしまい、不都合が生じる。なお、この条件式（ 2 ）の効果を十分に発揮させるためには、上限を 0.3 とすることが好ましく、さらに発揮させるためには上限を 0.2 とすることが好ましい。

【 0 0 3 0 】

なお、この第 1 レンズ群 G 1 に形成される回折光学面 D を、密着複層型の回折光学素子により形成すると、分離型の回折光学素子に比べて一方の格子高さが設計値よりずれても

、もう一方の高さが自動的に同じ高さになるため、回折効率の劣化が防止される。また、密着複層型は格子界面の屈折率差が小さいので、格子界面粗さの影響は小さく（一般に散乱は屈折率差の二乗に比例すると考えられるため）、また、原理的に２個の回折素子要素の偏心が発生しないことから、両格子の位置合わせ精度も良好である（このため、回折効率の低下は少ない）。

【 0 0 3 1 】

また、本実施例においては、第１レンズ群 G １ に設けられた回折光学面 D を密着複層型回折光学素子で構成したときに、上述の条件式に加えて、以下の条件式（３）～（５）を満足することが望ましい。なお、この条件式（３）において、 d は密着複層型回折光学素子を形成する２個の格子材料のアップベ数の差を示す。また、条件式（４）において、 E_d は主波長（ d 線）に対する回折効率設計値、 E_g は主波長に対する短波長（ g 線、 $g = 435.8 \text{ nm}$ ）での回折効率設計値、 E_C は主波長に対する長波長（ C 線）での回折効率設計値を示す。さらに、条件式（５）において、 C は回折光学面 D の有効径（直径）を示し、 f はこのプロジェクタ光学系 P S の全系の焦点距離を示す。

【 0 0 3 2 】

$$50 < d / Nd < 2000 \quad \dots (3)$$

$$(E_g + E_C) / 2 > 0.85 \times E_d \quad \dots (4)$$

$$0.2 < C / f < 2.0 \quad \dots (5)$$

【 0 0 3 3 】

条件式（３）は、高い回折効率を所定の波長域にわたって得るために、密着複相型回折光学素子を構成する高屈折率低分散の材料と低屈折率高分散の材料の光学媒質の適切な範囲を規定するための条件である。これは、回折光学面における１次回折光の回折効率を $\text{SINC}^2(-1)$ と表わすと、密着型は、 $(N_1 - N_2)h / \lambda$ となるので、格子材料の分散性を利用して略一定とし、ブレイズ条件が光波長域で成り立つように構成したものとみることができる。この条件式（３）の上限を上回ると、波長広帯域にわたっての高い回折効率は得られない。反対に条件式（３）下限を下回ると、同様に波長広帯域にわたっての高い回折効率は得られない。なお、この条件式（３）の効果を十分に発揮するためには、上限を 1000、下限を 100 とすることが望ましい。

【 0 0 3 4 】

条件式（４）は、広帯域化した際の、 d 線、 g 線、 C 線での回折効率のバランスの適切な範囲を規定している。この範囲内であれば、 g 線から C 線の波長にわたり十分に高く且つバランスされた実用的な回折効率を得ることができる。この条件式（４）の上下限のいずれかを超えると、短波長、長波長のいずれかで回折効率が低回してしまい、回折フレアが大きくなり画質を損ねてしまう。なお、この条件式（４）の効果を十分に発揮するには、右辺の数値（ E_d に乗算される係数）の下限を 0.9 とすることが望ましい。

【 0 0 3 5 】

条件式（５）は、回折光学面 D の有効径（直径）の適切な範囲を規定している。この条件式（５）の範囲であれば、製造しやすくコストアップも避けられ、且つ、害光によるフレアなどの問題も回避できる。この条件式（５）の上限を上回ると、径が大きくなりすぎ、回折光学面の製作が困難となりコストアップにつながる。また、回折光学面に外部からの有害光が入りやすくなり、フレア等による画質低下を招きやすくなる。反対に、条件式（５）の下限を下回ると、回折光学面 D を有するレンズ（本実施例においては第１レンズ群 G １）の適切な有効径が小さくなりすぎて、回折光学面の格子ピッチが小さくなる傾向が強まり、回折光学面の製作が困難となりコストアップに繋がるばかりか、回折光学面の格子によるフレア発生が大きくなり画質低下を招きやすくなる。なお、この条件式（５）の効果を十分に発揮するには、上限を 0.3、下限を 1.0 とすることが望ましい。

【 0 0 3 6 】

さらに、本実施例においては、以下に示す条件式（６）～（８）を満たすことが好ましい。このとき、条件式（６）において、 h は、回折光学面 D を形成する回折格子の格子高さを示し、 d は、２つの回折素子要素（50a, 50b）のうち、光軸上の厚さが薄い方

10

20

30

40

50

のこの厚さを示す。また、条件式(7)において、 h はd線、g線、C線、F線スペクトルの光軸方向の広がり幅を示す。さらに、条件式(8)において、 f_L は、回折光学面Dを含む第1レンズ群G1より表示素子20側に配設された凸レンズ成分(すなわち、最終レンズ群GL)の焦点距離を示す。

【0037】

$$0.02 < h/d < 0.9 \quad \dots (6)$$

$$0.001 < \quad / f < 0.03 \quad \dots (7)$$

$$0.3 < f_L/L < 5.0 \quad \dots (8)$$

【0038】

条件式(6)は、薄い格子を形成する際の適正なる格子高さ h と、厚さ d の関係を示している。条件式(6)の範囲内であれば、格子高さが過度に高くなり、そのため製造し易くなり、且つ、格子の段差部分による影の効果(回折効率の低下)、散乱によるフレアを防ぐことができる。この条件式(6)の上限を上回ると、相対的に格子が高くなりすぎ、格子形状が作りづらくなるばかりか、格子段差部分が大きくなり段差部分に当たった光による散乱等で迷光が発生し易くなる不都合が生じる。反対に、条件式(6)の下限を下回ると、相対的に格子を形成する光学材料が厚くなりすぎ、やはり格子形状を作りづらくなるばかりか、材料の内部吸収が増えてしまい、光学系全体の透過率が劣化したり、色付きが起きやすくなる不都合が発生する。この条件式(6)の効果を十分に発揮するには、上限を0.5、下限を0.035とすることが望ましい。

【0039】

条件式(7)は、適切なる軸上色収差の補正範囲の条件を規定している。条件式(7)の範囲内であれば、軸上色収差が十分に補正され色ずれの少ない優れた画像を得ることができる。この条件式(7)の上限を上回ると、色収差が大きくなりすぎてしまい、色付いた画像となって画質を大きく損ねてしまう。反対に、条件式(7)の下限を下回ると、格子ピッチが小さくなりすぎる傾向となって製造しづらくなるばかりか、狭ピッチの格子によるフレア発生が大きくなり画質を損ねてしまう。なお、この条件式(7)の効果を十分に発揮するには、上限を0.02、下限を0.002とすることが望ましい。

【0040】

条件式(8)は、最終レンズ群GLの適切なる焦点距離の補正範囲の条件を規定している。この条件式(8)を満たすことにより、結像性能の向上と瞳位置の最適化を図ることができる。この条件式(8)の上限を上回ると、 f_L が大きくなりすぎ、瞳が近くなる傾向となって不都合である。また、条件式(8)の下限を下回ると、最終レンズ群GLのパワーが小さくなりすぎ、収差バランスが崩れやすくなる。そのため、ディストーションが負側に大きくなる傾向となって不都合である。この条件式(8)の効果を十分に発揮するには、上限を3.0、下限を0.8とすることが望ましい。

【0041】

このようなプロジェクタ光学系PSをプロジェクタに適用する場合は、以下に示す構成的要件を更に満たすことが望ましい。まず、回折光学面Dは、開口絞りSに対して同心であるような球面に配置することが好ましい。そして、回折光学面Dの両側をガラスや樹脂等の光学材料で封止する構造を取れば、耐久性が向上するので好ましい。また、良好な色収差補正のために、第1レンズ群G1は貼り合わせレンズとしても良い。その際に、平凸レンズと平凸レンズとの貼り合わせレンズとしても良いし、また、両凸レンズと凹メニスカスレンズの貼り合わせレンズとしても良い。ここで、図1においては、第1レンズ群G1を、平凸レンズと平凸レンズとを貼り合わせて構成し、これらのレンズ接合面に回折光学面Dが形成されている。すなわち、回折光学面Dが2つのレンズL1、L2で挟まれるように配置されており、耐久性や堅牢性が増すように構成されている。なお、このプロジェクタ光学系PSにおいては、近距離物体へのフォーカシング(合焦)は、第1レンズ群G1を物体側(投写面側)に繰り出すいわゆるフロントフォーカス方式で行うのが最も簡素な方式である。

【0042】

また、本実施例に係るプロジェクタ光学系 P S は、このプロジェクタ光学系 P S を構成するレンズのブレを検出するブレ検出手段と、ブレ検出手段からの信号とプロジェクタの作動シーケンスの制御を行う制御手段からの信号とに基づいて適正なブレ補正量を定めるブレ制御装置と、ブレ補正量に基づき防振レンズ群を移動させる駆動機構とを組み合わせ、防振レンズシステムを構成することで、このプロジェクタ光学系 P S が搭載されたプロジェクタを手で持って拡大投写するように構成することもできる。防振のために実際に可動とするのは、第 1 レンズ群 G 1 であっても、プリズム P であっても、表示素子 2 0 であっても構わない。

【 0 0 4 3 】

また、第 1 レンズ群 G 1 において、回折光学面 D を形成する回折素子要素（図 3 における回折素子要素 5 0 a , 5 0 b ）は、成形性を良好に保ち、優れた量産性を確保するために、一方の回折素子要素を構成する材料の粘度（未硬化物粘度）は、少なくとも 4 0 以上であることが好ましい。この粘度が 4 0 以下であると、成形中に樹脂が流れやすくなってしまうので、精密形状を成形することが困難となってしまう不都合が生じる。また、もう一方の回折素子要素を構成する材料の粘度は、逆に少なくとも 2 0 0 0 以上であることが好ましい。さらには、回折光学面 D を形成する回折素子要素は少なくとも一方が UV 硬化型樹脂で構成されることが、生産効率がアップするので、生産上好ましい。この場合、工数が削減でき、コストダウンにもつながり好都合である。また、両方の回折素子要素を UV 硬化樹脂で構成することにより、さらに生産効率をアップさせることができる。

【 0 0 4 4 】

実際に回折光学面を創製するには、レンズの表面にフレネルゾーンプレートのように、光軸に対して回転対称な格子構造を作ることが製作上容易であって、まず、好ましい。この際、通常の非球面レンズを製作するのと同じく、精研削でも、ガラスモールドでも可能である。さらには、レンズ表面に薄い樹脂層で格子構造を形成しても良い。また、格子にはキノホーム等の単純な単層構造に限らず、複数の格子構造を重ねることにより、回折効率の波長特性や画角特性を向上させることができるので、好都合である。

【 0 0 4 5 】

ここで、回折光学面 D を形成する回折格子の段差部分は、必ずしも光軸に対して平行にする必要はなく、光束が通過する方向に倣って角度を付けても良い。この時、例えば、その段差部分は光学系の瞳を向くようにすれば、フレアを軽減できることが期待できる。なお、格子を形成する片側の回折素子要素（光学材料）による面を非球面とし、収差補正の自由度として活用することもできる。また、格子を形成する回折素子要素に、UV カットののための色素を混入させ、光学系中に特別なフィルタ部材を配設せずに、フィルタ効果を持たせた画質改善を行うこともできる。

【 0 0 4 6 】

なお、本実施例に係るプロジェクタ光学系 P S を構成する各レンズに対して、屈折率分布型レンズ等をさらに用いることにより、さらに良好な光学性能を得ることができることは言うまでもない。また、上述の光源 3 0 から出射した光線を集光するコンデンサレンズ 4 0 を、フレネルレンズとすれば、このプロジェクタ光学系 P S が用いられるプロジェクタをさらに小型で且つ薄型とすることができる。

【 0 0 4 7 】

また、以上の説明においては、表示素子 2 0 に反射型の L C O S を用い、光源 3 0 から出射した白色光をプリズム P で表示素子 2 0 に照射し、反射した光線を投射するように構成した場合について説明したが、赤・青・緑の三色の光源とこの三色の光源に対応した表示素子とを設け、それぞれの表示素子から出射した光線をプリズム P で合成した後、本実施例に係るプロジェクタ光学系 P S で投写するように構成することも可能である。さらには、反射または透過で用いる液晶素子のみでなく、自発光タイプの表示素子にも使用可能である。

【 実施例 】

【 0 0 4 8 】

以下に、本発明に係るプロジェクタ光学系 P S の 2 つの実施例を示すが、各実施例において、第 1 レンズ群 G 1 に形成された回折光学面 D の位相差は、通常の屈折率と後述する非球面式 (a) とを用いて行う超高屈折率法により計算した。超高屈折率法とは、非球面形状と回折光学面の格子ピッチとの間の一定の等価関係を利用するものであり、本実施例においては、回折光学面を超高屈折率法のデータとして、すなわち、後述する非球面式 (a) およびその係数より示している。なお、本実施例では収差特性の算出対象として、d 線、g 線、C 線、および、F 線を選んでいる。本実施例において用いられたこれら d 線、g 線、C 線、および、F 線の波長と、各スペクトル線に対して設定した超高屈折率法の計算に用いられるための屈折率の値を下の表 1 に示す

【 0 0 4 9 】

(表 1)

	波長	屈折率 (超高屈折率法による)
d 線	587.562 n m	10001
g 線	435.835 n m	7418.6853
C 線	656.273 n m	11170.4255
F 線	486.133 n m	8274.7311

【 0 0 5 0 】

各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、高さ y における各非球面の頂点の接平面から各非球面までの光軸に沿った距離 (サグ量) を S (y) とし、基準球面の曲率半径を r とし、近軸曲率半径を R とし、円錐係数を とし、n 次の非球面係数を C_n としたとき、以下の数式 (a) , (b) で表わされる。

【 0 0 5 1 】

$$S(y) = (y^2 / r) / \{ 1 + (1 - \cdot y^2 / r^2)^{1/2} \} + C_2 \cdot y^2 + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + \dots \quad (a)$$

$$R = 1 / \{ (1 / r) + 2 C_2 \} \quad (b)$$

【 0 0 5 2 】

なお、各実施例において、回折光学面が形成されたレンズ面には、表中の面番号の右側に * 印を付しており、非球面式 (a) は、この回折光学面の性能の諸元を示している。

【 0 0 5 3 】

レンズデータ中の係数 C₂ は、回折光学面の近軸パワーを示すものであり、色消しのためには、重要な量である。本実施例においては、 $| 1 \times 10^{-10} | < C_2 < | 1 \times 10^{-4} |$ の範囲とすることが好ましい。この範囲を超えると、良好な色消しが得られなくなる。また、波長広帯域にわたって、良好な回折効率を得るためには、 $Nd / (NF - NC)$ の値が所定の範囲であることが望ましく、本実施例においては、 $-15 < Nd / (NF - NC) < -2$ の範囲にあることが好ましい。この範囲を超えると、良好な回折効率が波長広帯域にわたって得られなくなる。

【 0 0 5 4 】

(第 1 実施例)

上述の説明で用いた図 1 は、本発明に係るプロジェクタ光学系 P S の第 1 実施例を示しており、投写側から照射した光線を表示素子 10 に結像させた場合 (すなわち、逆光線追跡の場合) を示している。そして、このように図 1 に示した第 1 実施例に係るプロジェクタ光学系 P S の諸元を表 2 に示す。この表 1 において、第 1 欄 m は投写側からの各光学面の番号 (右の * は回折光学面として形成されているレンズ面) であって、図 1 に示した面番号 1 ~ 13 に対応している。また、第 2 欄 r は各光学面の曲率半径 (回折光学面の場合は、ベースとなる非球面の基準となる球面の曲率半径)、第 3 欄 d は各光学面から次の光学面までの光軸上の距離、さらに第 4 欄 n d、第 5 欄 n g、第 6 欄 n C、および、第 7 欄 n F はそれぞれ d 線、g 線、C 線、および、F 線に対する屈折率を示している。また、非球面データにおいて、0 (ゼロ) となる n 次の非球面係数 C_n は省略している。さらに、表には前記条件式 (1) ~ (8) に対応する値、すなわち、条件対応値も示している。以上の表の説明は他の実施例においても同様である。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 5 】

なお、以下の全ての諸元において掲載される曲率半径 r 、面間隔 d その他長さの単位は、特記の無い場合、一般に「mm」が使われるが、光学系は比例拡大又は比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、単位は「mm」に限定されることはなく、他の適当な単位を用いることもできる。

【 0 0 5 6 】

(表 2)

m	r	d	n d	n g	n C	n F	
1	0.00000	12.00000	1.000000				
2	28.79601	2.81000	1.524700	1.536490	1.521960	1.531290	10
3	0.00000	0.20000	1.518900	1.538000	1.514400	1.528900	
4*	0.00000	0.00000	10001	7418.6853	11170.4255	8274.7311	
5	0.00000	0.20000	1.556900	1.570900	1.553600	1.564700	
6	0.00000	3.13000	1.524700	1.536490	1.521960	1.531290	
7	-28.78899	0.10000	1.000000				
8	25.95000	2.50000	1.516800	1.526690	1.514320	1.522380	
9	0.00000	4.53300	1.000000				
10	0.00000	10.00000	1.516330	1.521910	1.526210	1.513860	
11	0.00000	2.90960	1.000000				
12	0.00000	0.70000	1.522160	1.533190	1.519460	1.528340	20
13	0.00000	0.70016	1.000000				

非球面データ

第 2 面 $= -1.2440$ $C_4 = 4.75000 \times 10^{-5}$ $C_6 = -1.24690 \times 10^{-6}$
 $C_8 = 1.36500 \times 10^{-8}$ $C_{10} = -6.23160 \times 10^{-11}$
 第 5 面 $= 1.0000$ $C_2 = 1.49600 \times 10^{-7}$ $C_4 = -1.47720 \times 10^{-9}$
 $C_6 = 4.37060 \times 10^{-11}$ $C_8 = -5.33850 \times 10^{-13}$ $C_{10} = 2.28480 \times 10^{-15}$
 第 7 面 $= -9.3788$ $C_4 = -7.74480 \times 10^{-6}$ $C_6 = -5.16060 \times 10^{-7}$
 $C_8 = 5.51070 \times 10^{-9}$ $C_{10} = -2.62390 \times 10^{-11}$

条件対応値

K = 12 30
 L = 39.78276
 d = 14.38
 Nd = 0.038
 Eg = 94.372
 EC = 96.490
 Ed = 99.706
 C = 9
 f = 17.844
 h = 0.015
 d = 0.2 40
 = 0.0931
 f L = 50.213
 (1) K / L = 0.3016
 (2) Nd = 0.038
 (3) d / Nd = 378.42
 (4) (Eg + EC) / 2 = 95.431
 0 . 8 5 × Ed = 84.750
 (5) C / f = 0.5044
 (6) h / d = 0.075
 (7) / f = 0.0052 50

$$(8) fL/L = 1.2622$$

【0057】

このように、第1実施例では上記条件式(1)～(8)は全て満たされていることが分かる。図5にこの第1実施例の球面収差、非点収差、歪曲収差、コマ収差、および、倍率色収差、すなわち、無限遠合焦状態での諸収差図を示す。各収差図において、NAは開口数を、Yは像高をそれぞれ示している。なお、球面収差図では最大口径に対するNAの値、非点収差図と歪曲収差図では像高の最大値をそれぞれ示し、コマ収差図では各像高の値を示す。また、非点収差図では実線はサジタル像面を示し、破線はメリディオナル像面を示している。以上の収差図の説明は、他の実施例においても同様である。この図5中の各収差図から明らかなように、第1実施例では、諸収差が良好に補正され、優れた結像性能が確保されていることが分かる。

10

【0058】

(第2実施例)

次に第2実施例として、上述の説明で用いた図2に示すプロジェクタ光学系PSについて説明する。この図2においても、投写側から照射した光線を表示素子10に結像させた逆光線追跡の場合を示している。この図2に示した第2実施例に係るプロジェクタ光学系PSの諸元を表3に示す。なお、表3に示す面番号は図2に示した面番号1～9と一致している。

【0059】

(表3)

20

m	r	d	n d	n g	n C	n F
1	0.00000	5.00000	1.000000			
2	9.50000	2.00000	1.524700	1.536490	1.521960	1.531290
3	-9.50000	0.10000	1.527600	1.547700	1.523300	1.538500
4*	-9.50000	0.00000	10001	7418.6853	11170.4255	8274.7311
5	-9.50000	0.10000	1.556900	1.571100	1.553700	1.564800
6	-9.50000	1.00000	1.000000			
7	0.00000	5.50000	1.516800	1.526690	1.514320	1.522380
8	0.00000	0.50000	1.491080	1.501900	1.488540	1.497070
9	-20.00000	2.87208	1.000000			

30

非球面データ

$$\text{第2面} \quad = -1.2440 \quad C_4 = 1.32180 \times 10^{-3} \quad C_6 = -3.18610 \times 10^{-4}$$

$$C_8 = 3.32800 \times 10^{-8} \quad C_{10} = -1.28000 \times 10^{-6}$$

$$\text{第4面} \quad = -11.0000 \quad C_4 = -2.15510 \times 10^{-4} \quad C_6 = -1.31870 \times 10^{-4}$$

$$C_8 = 1.29310 \times 10^{-5} \quad C_{10} = -5.65350 \times 10^{-7}$$

$$\text{第5面} \quad = -11.0000 \quad C_2 = -4.46000 \times 10^{-7} \quad C_4 = -2.15510 \times 10^{-4}$$

$$C_6 = -1.31870 \times 10^{-4} \quad C_8 = 1.29310 \times 10^{-5} \quad C_{10} = -5.65350 \times 10^{-7}$$

$$\text{第3面} \quad = -11.0000 \quad C_4 = -2.15510 \times 10^{-4} \quad C_6 = -1.31870 \times 10^{-4}$$

$$C_8 = 1.29310 \times 10^{-5} \quad C_{10} = -5.65350 \times 10^{-7}$$

$$\text{第6面} \quad = -11.0000 \quad C_4 = -2.15510 \times 10^{-4} \quad C_6 = -1.31870 \times 10^{-4}$$

$$C_8 = 1.29310 \times 10^{-5} \quad C_{10} = -5.65350 \times 10^{-7}$$

40

条件対応値

$$K = 5$$

$$L = 17.072$$

$$d = 15.46$$

$$Nd = 0.0293$$

$$Eg = 98.221$$

$$Ec = 98.233$$

$$Ed = 99.999$$

$$C = 5.49$$

50

$$f = 8.134$$

$$h = 0.02$$

$$d = 0.1$$

$$= 0.0289$$

$$f L = 40.727$$

$$(1) K / L = 0.2929$$

$$(2) Nd = 0.0293$$

$$(3) d / Nd = 527.65$$

$$(4) (Eg + EC) / 2 = 98.227$$

$$0.85 \times Ed = 84.999$$

$$(5) C / f = 0.6749$$

$$(6) h / d = 0.2$$

$$(7) / f = 0.0036$$

$$(8) f L / L = 2.3856$$

【0060】

このように、第2実施例においても上記条件式(1)～(8)は全て満たされていることが分かる。図6にこの第2実施例に係るプロジェクタ光学系PSの無限遠合焦状態での球面収差、非点収差、歪曲収差、コマ収差、および、倍率色収差を示すが、各収差図から明らかなように、この第2実施例でも、収差が良好に補正され、優れた結像性能が確保されていることが分かる。

【0061】

以上説明したように、第1および第2実施例に係るプロジェクタ光学系PSは、第1レンズ群G1に回折光学面Dを設けることにより、少ないレンズ枚数でも良好な結像性能を得ることができ、このプロジェクタ光学系PS全体を小型化することができる。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】第1実施例に係るプロジェクタ光学系のレンズ構成を示す図である。

【図2】第2実施例に係るプロジェクタ光学系のレンズ構成を示す図である。

【図3】複層型回折光学素子を説明するための説明図であり、(a)は密着型を示し、(b)は分離型を示す。

【図4】複層型回折光学素子を構成する2個の回折素子要素のガラスマップ上の分布を説明するための説明図である。

【図5】第1実施例に係るプロジェクタ光学系の諸収差図である。

【図6】第2実施例に係るプロジェクタ光学系の諸収差図である。

【符号の説明】

【0063】

PS プロジェクタ光学系 S 開口絞り

G1 第1レンズ群 GL 最終レンズ群 D 回折光学面

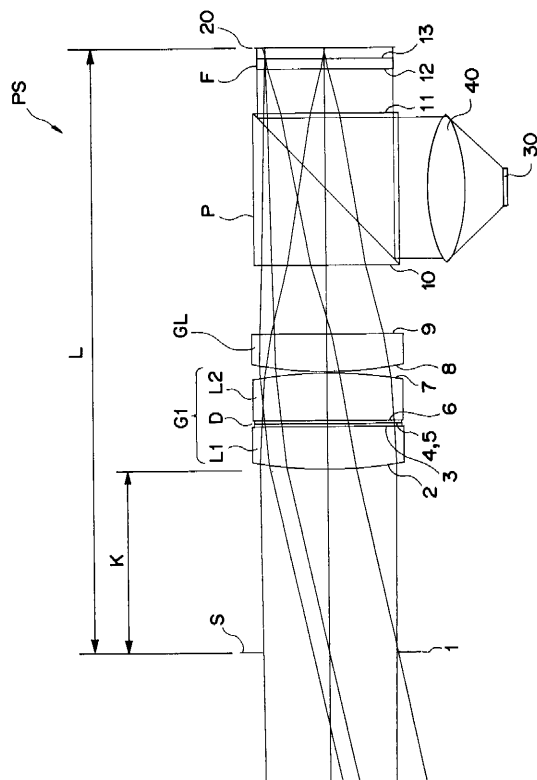
10 表示素子 50a, 50b 回折素子要素

10

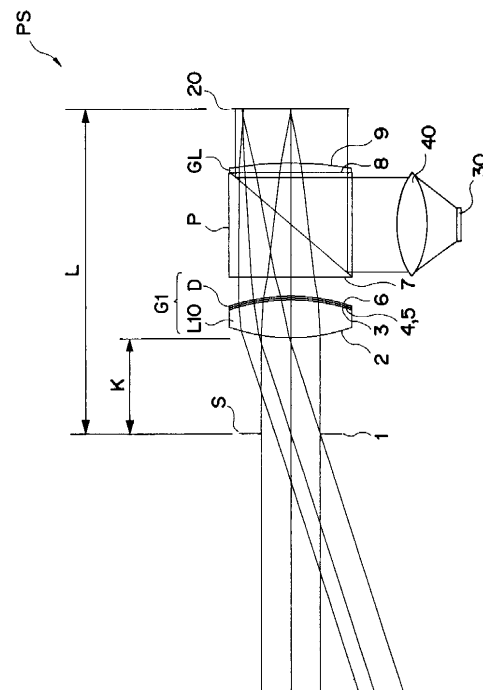
20

30

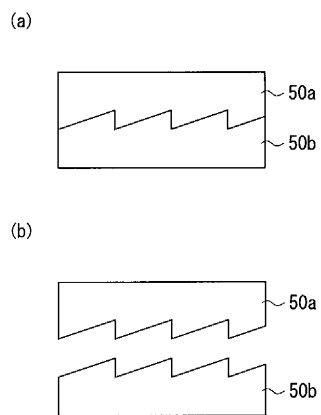
【図 1】



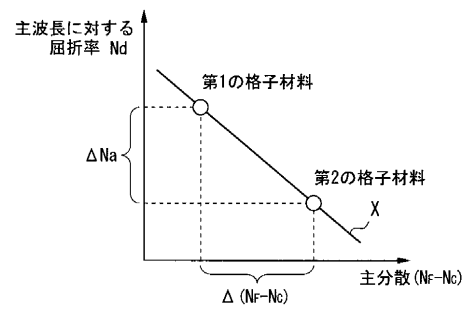
【図 2】



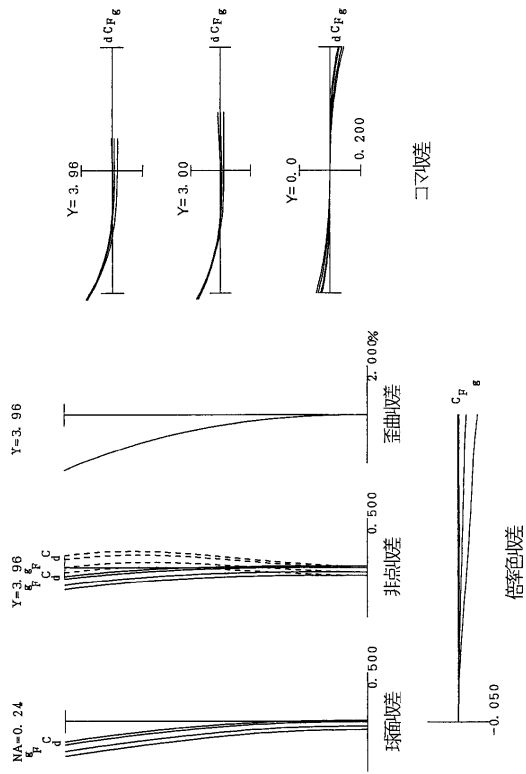
【図 3】



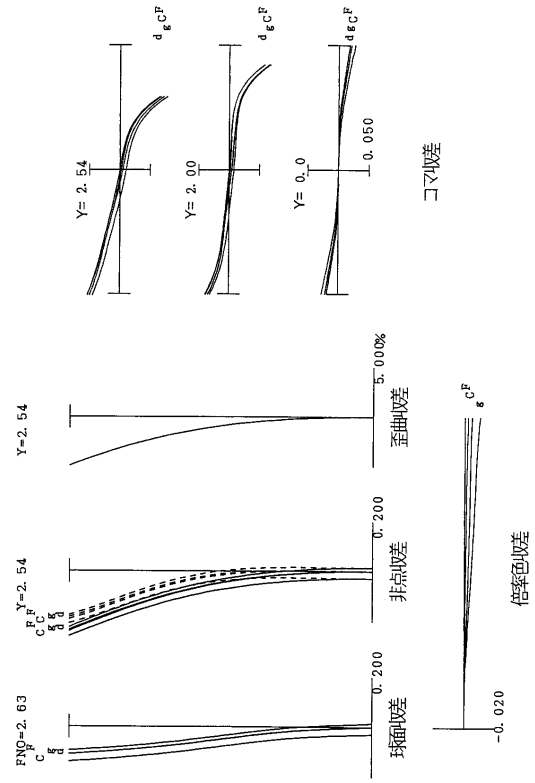
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 1 1 - 1 8 3 7 9 4 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 1 8 2 1 1 0 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 0 6 7 2 6 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
G 0 2 B 1 3 / 0 0 - 1 3 / 2 6