

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6736366号
(P6736366)

(45) 発行日 令和2年8月5日(2020.8.5)

(24) 登録日 令和2年7月17日(2020.7.17)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 17/08

(2006.01)

G02B 17/08

A

G02B 13/18

(2006.01)

G02B 13/18

G03B 21/14

(2006.01)

G03B 21/14

D

請求項の数 9 (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願2016-117815 (P2016-117815)

(22) 出願日

平成28年6月14日 (2016.6.14)

(65) 公開番号

特開2017-10023 (P2017-10023A)

(43) 公開日

平成29年1月12日 (2017.1.12)

審査請求日

平成31年4月9日 (2019.4.9)

(31) 優先権主張番号

特願2015-123493 (P2015-123493)

(32) 優先日

平成27年6月19日 (2015.6.19)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

日本国 (JP)

(73) 特許権者 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100110412

弁理士 藤元 亮輔

(74) 代理人 100104628

弁理士 水本 敦也

(74) 代理人 100121614

弁理士 平山 優也

(72) 発明者 大出 隆史

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ

ヤノン株式会社内

(72) 発明者 猪子 和宏

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ

ヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 結像光学系、光学機器および画像投射装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

縮小側共役面から拡大側共役面に向かって順に配置された屈折光学系と反射光学系を有し、

前記屈折光学系は、該屈折光学系の内部に中間実像を形成し、

前記反射光学系は、最も前記拡大側共役面の側に設けられた凸面鏡を備えており、

前記屈折光学系の焦点距離を f_L 、前記反射光学系の焦点距離を f_M 、前記屈折光学系のうち前記反射光学系と前記中間実像との間に配置された第1の部分屈折光学系の焦点距離を f_{11} とし、前記中間実像と前記縮小側共役面との間に配置された第2の部分屈折光学系の焦点距離を f_{12} とするとき、0.01 f_L / f_M 0.500.56 f_{11} / f_{12} 0.8

なる条件を満足することを特徴とする結像光学系。

【請求項 2】

前記反射光学系は前記凸面鏡から構成されていることを特徴とする請求項1に記載の結像光学系。

【請求項 3】

前記縮小側共役面上の像と前記中間実像との間の横倍率を < -1.0 とし、前記中間実像が前記縮小側共役面上の像より大きいときの前記横倍率を < -1.0 とするとき、

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の結像光学系。

【請求項 4】

0 . 5 6 f_{11} / f_{12} 0 . 6

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項 5】

前記屈折光学系のうち最も前記拡大側共役面の側に配置されたレンズを第 1 レンズとするとき、前記第 1 レンズが非球面形状を有することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の結像光学系。

【請求項 6】

前記第 1 レンズの有効径を G_1 とし、前記屈折光学系のうち前記第 1 レンズ以外で最も有効径が大きいレンズの有効径を G_{max} とするとき、

$0 . 2$ G_1 / G_{max} 2 . 0

なる条件を満足することを特徴とする請求項 5 に記載の結像光学系。

【請求項 7】

前記反射光学系と前記第 1 レンズの間隔を D 、該結像光学系の全長を TL とするとき、

$0 . 0 1$ D / TL 0 . 3 0

なる条件を満足することを特徴とする請求項 5 または 6 に記載の結像光学系。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の結像光学系を有することを特徴とする光学機器。

【請求項 9】

光を変調する光変調素子と、

該光変調素子からの光を被投射面に投射する請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の結像光学系を有することを特徴とする画像投射装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像装置や画像投射装置等の光学機器に好適な結像光学系に関する。

【背景技術】

【0002】

上記のような結像光学系として、特に広角化を実現するために屈折光学系に反射光学系を組み合わせたものがある。特許文献 1 には、レトロフォーカスタイルの屈折光学系に反射光学系としての凸面鏡を組み合わせた結像光学系が開示されている。また、特許文献 2 には、レトロフォーカスタイルの屈折光学系に反射光学系として正のパワーを有する凹面鏡を組み合わせた結像光学系が開示されている。

【0003】

ただし、これら特許文献 1, 2 にて開示されたような結像光学系では、広角化に伴って軸外光線を強く曲げなければならないことから大きな歪曲収差が発生し易い。そして、これを良好に補正するために、大口径のミラーやレンズを用いる必要がある。

このような問題に対して、特許文献 3 にて開示された結像光学系では、屈折光学系の内部に中間実像を形成することで、最も拡大側共役面側に配置される凸面鏡を小径化している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特許第 3727543 号公報

【特許文献 2】特許第 4223936 号公報

【特許文献 3】特許第 5484098 号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献3にて開示された結像光学系では、屈折光学系と凸面鏡とのパワー比が適切に設定されていないために、歪曲収差、像面湾曲および倍率色収差等の諸収差を良好に補正することが困難である。

本発明は、屈折光学系と反射光学系（凸面鏡）を有する結像光学系であって、反射光学系を小径化するとともに諸収差を良好に補正できるようにした結像光学系およびこれ用いた光学機器等を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

10

本発明の一側面としての結像光学系は、縮小側共役面から拡大側共役面に向かって順に配置された屈折光学系と反射光学系を有し、屈折光学系は該屈折光学系の内部に中間実像を形成し、反射光学系は最も前記拡大側共役面の側に設けられた凸面鏡を備えている。屈折光学系の焦点距離を f_L 、前記反射光学系の焦点距離を f_M 、前記屈折光学系のうち前記反射光学系と前記中間実像との間に配置された第1の部分屈折光学系の焦点距離を f_{11} とし、前記中間実像と前記縮小側共役面との間に配置された第2の部分屈折光学系の焦点距離を f_{12} とするとき、

$$\begin{array}{ccc} 0.01 & f_L / f_M & 0.50 \\ 0.56 & f_{11} / f_{12} & 0.8 \end{array}$$

なる条件を満足することを特徴とする。

20

【0007】

なお、上記結像光学系を有する光学機器や、光変調素子により変調された光を被投射面に投射する上記結像光学系を有する画像投射装置も、本発明の他の一側面を構成する。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、内部に中間実像を形成する屈折光学系と凸面鏡とにより構成される広画の結像光学系あって、屈折光学系と凸面鏡のパワー比の適切な設定により小型の凸面鏡を用いつつ諸収差を良好に補正することができる結像光学系を実現することができる。そして、このような結像光学系を用いることで、小型で光学性能が高い画像投射装置等の光学機器を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施例1である結像光学系の断面図。

【図2】実施例1の結像光学系の縦収差図。

【図3】本発明の実施例2である結像光学系の断面図。

【図4】実施例2の結像光学系の縦収差図。

【図5】本発明の実施例3である結像光学系の断面図。

【図6】実施例3の結像光学系の縦収差図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

40

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。

まず、後述する各実施例に共通する事項について説明する。各実施例の結像光学系は、拡大側共役面および縮小側共役面のうち一方の共役面上の像を他方の共役面に結像させる光学系であり、縮小側共役面から拡大側共役面に向かって順に配置された屈折光学系と反射光学系とにより構成されている。

【0011】

屈折光学系は、その内部に、上記一方の共役面の像の中間実像を形成する。屈折光学系は、この中間実像が形成される位置を中間結像位置とするとき、反射光学系と中間結像位置との間に配置された第1の部分屈折光学系と、中間結像位置と縮小側共役面との間に配

50

置された第2の部分屈折光学系とを有する。このように、各実施例における屈折光学系は、再結像型の屈折光学系である。また、反射光学系は、凸面鏡により構成されている。

【0012】

各実施例では、凸面鏡と第1および第2の部分屈折光学系を含む屈折光学系の全系（以下、全屈折光学系という）のパワー比および中間実像の横倍率をそれぞれ適切な範囲に設定することで歪曲収差、像面湾曲および倍率色収差等の諸収差を良好に補正する。

中間結像位置を挟んで拡大側共役面側に配置された第1の部分屈折光学系と縮小側共役面側に配置された第2の部分屈折光学系とが収差補正を分担する。そして、この結像光学系のうち最も拡大側共役面側に凸面鏡を配置することで、第2の部分屈折光学系の収差補正に対する負担を軽減しつつ、さらに良好な収差補正を可能としている。このとき、凸面鏡のパワーを適切な範囲に設定することが主として軸外で発生する収差を良好に補正することにつながる。10

【0013】

凸面鏡等のミラーは色収差を発生させないという利点を有するが、パワーを強めすぎると軸外の収差である歪曲収差が大きく発生し、この歪曲収差を第2の部分屈折光学系で補正することが困難となる。したがって、凸面鏡と全屈折光学系のパワー比と中間実像の横倍率とを適切に設定することで、像面湾曲、歪曲収差および倍率色収差といった軸外の収差を良好に補正することが可能となる。

【0014】

以下、凸面鏡と全屈折光学系のパワー比および中間実像の横倍率が満足すべき条件について具体的に説明する。各実施例では、最も拡大側共役面側に適切なパワーを有する凸面鏡を配置することで倍率色収差を発生させずに、軸外主光線の高い位置で発生する収差を良好に補正する。ここで、全屈折光学系の焦点距離を f_L とし、凸面鏡（反射光学系）の焦点距離を f_M とする。このとき、 f_L と f_M は、20

$$0.01 \leq f_L / f_M \leq 0.50 \quad (1)$$

なる条件を満足する。式(1)の条件は、全屈折光学系の内部に中間実像を形成する再結像型屈折光学系と凸面鏡とを組み合わせたときのこれら再結像型屈折光学系と凸面鏡の広角化に対する寄与率に関する条件である。 f_L / f_M が式(1)の上限値を超えると、広角化に対する凸面鏡の負担が大きくなり過ぎ、凸面鏡で発生する大きな像面湾曲を全屈折光学系のレンズによって十分に補正できなかったり歪曲が大きく発生したりするので、好みたくない。また、 f_L / f_M が式(1)の下限値を下回ると、収差補正に対する凸面鏡の負担が極端に少くなり、凸面鏡が殆ど広角化に寄与しなくなるので、好みたくない。30

【0015】

式(1)の数値範囲を以下の式(1)のようにするとより好ましい。

$$0.02 \leq f_L / f_M \leq 0.25 \quad (1)$$

また、縮小側共役面上の像と中間実像との間の横倍率（第2の部分屈折光学系が縮小側共役面上の像を中間実像として結像させる際の倍率）を f_M とし、中間実像が縮小側共役面上の像より大きいときの横倍率 f_M を $-1.0 < f_M < 0$ とする。このとき、 f_M は、

$$-2.0 \leq f_M \leq -0.5 \quad (2)$$

なる条件を満足する。なお、中間実像が縮小側共役面上の像より縮小されるときの f_M は $-1 < f_M < 0$ である。が式(2)の範囲にあることで、良好な色収差補正を行うことができる。が式(2)の下限値を下回ると、の二乗で加算される縮小側共役面上での軸上色収差が大きくなるので、好みたくない。一方、が式(2)の上限値を超えると、中間実像を形成する軸外主光線の高さが高くなり、この結果レンズ径が大きくなるので、好みたくない。40

【0016】

式(2)の数値範囲を以下の式(2)のようにするとより好ましい。

$$-1.5 \leq f_M \leq -0.7 \quad (2)$$

この式(2)の下限値を -1.30 としてもよいし、上限値を -1.01 としてもよい。50

【0017】

上記式(1), (2)の条件に加えて、以下の条件を満足することが、さらなる良好な収差補正を行う上で好ましい。

【0018】

第1の部分屈折光学系の焦点距離を f_{11} とし、第2の部分屈折光学系の焦点距離を f_{12} とする。このとき、 f_{11} と f_{12} は、

$$0.3 \quad f_{11} / f_{12} \quad 0.8 \quad (3)$$

なる条件を満足するのが好ましい。式(3)の条件は、第1の部分屈折光学系と第2の部分屈折光学系と広角化の分担比に関する条件である。 f_{11} / f_{12} が式(3)の範囲を逸脱すると、第1および第2の部分屈折光学系のいずれかの広角化に対する負担が大きくなり過ぎ、一方の部分屈折光学系で発生した歪曲収差を他方の部分屈折光学系で補正することができなくなる。この結果、良好な収差補正が行えなくなるので、好ましくない。また、一方の部分屈折光学系のパワーが強くなり過ぎて、この部分屈折光学系により球面収差を良好に補正することが困難となるので、好ましくない。

【0019】

式(3)の数値範囲を以下の式(3)のようにするとより好ましい。

$$0.4 \quad f_{11} / f_{12} \quad 0.6 \quad (3)$$

また、各実施例では、全屈折光学系において、最も凸面鏡側(反射光学系側)に配置されたレンズから順に、第1レンズ、第2レンズ、第3レンズ…と呼ぶ。このとき、最も凸面鏡側に配置された第1レンズに非球面形状を与えることで、歪曲収差の発生を抑制することができる。また、中間実像に近いレンズに非球面形状かつ負のパワーを与えることで、歪曲収差の補正を行うことができる。さらに、最も縮小側共役面側に配置されたレンズに非球面形状を与えることでも、歪曲収差の発生を抑制することができる。

【0020】

また、各実施例では、第1レンズの有効径を G_1 とし、全屈折光学系のうち第1レンズ以外で最も有効径が大きいレンズの有効径を G_{max} とする。このとき、 G_1 と G_{max} が、

$$0.2 \quad G_1 / G_{max} \quad 2.0 \quad (4)$$

なる条件を満足すると、倍率色収差を良好に補正することができるので、好ましい。 G_1 / G_{max} が式(4)の下限値を下回ると、全屈折光学系に対して第1レンズの有効径が極端に小さくなり、これにより軸外光線の各像高における光束がオーバーラップしてしまう。この結果、第1レンズに非球面を用いても、歪曲収差の補正が困難となるので好ましくない。また、 G_1 / G_{max} が式(4)の上限値を超えると、第1レンズを通るそれぞれの像高の光が互いに重ならなくなって軸外収差を良好に補正できるものの、第1レンズの有効径が大きくなるので、好ましくない。

【0021】

式(4)の数値範囲を以下の式(4)のようにするとより好ましい。

$$0.5 \quad G_1 / G_{max} \quad 1.2 \quad (4)$$

さらに、各実施例では、凸面鏡と第1レンズとの間隔を D とし、結像光学系全系の全長(最も縮小側共役面側のレンズから最も凸面鏡側のレンズまでの距離)を TL とする。このとき、 D と TL は、

$$0.01 \quad D / TL \quad 0.30 \quad (5)$$

なる条件を満足することが好ましい。 D / TL が式(5)の上限値を超えると、結像光学系全系の長さに対して凸面鏡と第1レンズとの間隔が広がり過ぎる。このことで、 f_M 、 f_{11} および f_{12} を上記条件を満足するように設定した場合の凸面鏡の有効径を大きくななければならなくなる。一方、 D / TL が式(5)の下限値を下回ると、凸面鏡に入射した光に対して凸面鏡で大きな画角を与えつつ反射させることが必要となる。つまり、凸面鏡のパワーを強くしなければならず、これにより大きな軸外収差が発生するので、好ましくない。

【0022】

10

20

30

40

50

式(5)の数値範囲を以下の式(5)のようにするとより好ましい。

0.05 D / T L 0.20 (5)

その他、第1レンズと凸面鏡との間において、凸面鏡における最大反射角の光と最小反射角の光とが互いに交差しないようにすることができる。これにより歪曲収差の発生を抑制することができる。

【0023】

各実施例で説明する結像光学系は、光学機器の1つとしての画像投射装置用の投射光学系として用いられたり、他の光学機器としての撮像装置（画像読み取り装置）の撮像光学系として用いられたりすることができる。各実施例は、光源からの光を変調する光変調素子とともに、該光変調素子からの光をスクリーン等の被投射面に投射する結像光学系（投射光学系）の例を示している。

10

【実施例1】

【0024】

図1には、実施例1の結像光学系としての広角投射光学系の構成を示している。このような広角投射光学系を用いることで、短い投射距離（画像投射装置と被投射面との間の距離）で大きなサイズの画像を投射することができる。

【0025】

図1において、縮小側共役面に配置された光変調素子Lから出射した光は、全屈折光学系Lを第2の部分屈折光学系L2、第1の部分屈折光学系L1の順に通過して凸面鏡Mで反射され、不図示の拡大側共役面に向かう。全屈折光学系Lのうち最も凸面鏡側に配置されたレンズから順に、第1レンズG1、第2レンズG2、…と呼ぶとき、第1レンズG1から第8レンズG8によって第1の部分屈折光学系L1が構成される。また、第9レンズG9から第17レンズG17によって第2の部分屈折光学系L2が構成される。

20

さらに、第8レンズG8と第9レンズG9の間に中間結像位置MMがあり、ここに中間実像が形成される。STOは絞りであり、Bはプリズム等の光学ブロックである。これらの符号の説明は、後述する他の実施例でも同じである。

なお、本実施例においては、絞りをレンズとは独立した部材として構成しているが、この限りではない。具体的には、レンズの保持部を絞りの代わりとして用いても構わない。例えば数値実施例1においては、レンズ面22（または21）のレンズ保持部あるいはレンズ面24（または25）のレンズ保持部が絞りを兼ねてもよい。

30

【0026】

また、本実施例と同じ構成を有する撮像光学系を撮像装置に用いることもできる。撮像装置では、拡大側共役面上の被写体を、縮小側共役面に配置されたCCDセンサやCMOSセンサ等の撮像素子により撮像する。このような撮像装置により、撮像距離（撮像装置と被写体面との間の距離）を短くしつつ大きなサイズの被写体を撮像することができる。

【0027】

表1には、本実施例の数値例を示す。表中において、面番号は拡大側共役面から縮小側共役面に向かって順に凸面鏡と各レンズの面に付した番号である。Rは曲率半径を、dは面間隔（互いに隣り合う面間の実空間距離）、n_dおよび_dはそれぞれ、レンズのガラス材料のd線に対する屈折率およびアッベ数を示している。はe aはミラーまたはレンズの有効径（光学作用に寄与する有効領域の直径）である。また、面番号の左側に*印が付されている面は、以下の関数（A）に従う非球面形状を有することを示す。xは結像光学系（屈折光学系L）の光軸AXLに平行な方向での座標であり、yは光軸AXLからの距離（高さ）である。Rは曲率半径であり、Kは円錐定数である。A, B, C, D, Eは非球面係数である。表には関数中の非球面係数を示している。「E-M」は、「×10^{-M}」を意味する。yは径方向の座標であり、xは光軸方向での座標を示す。OBは拡大側共役面、IMは縮小側共役面である。fは焦点距離、FNOはFナンバーである。表の説明は、後述する他の実施例でも同じである。

40

$$x = (y^2 / R) / [1 + \{1 - (1 + K)(y^2 / R^2)\}^{1/2}] + A y^4 + B y^6 + C y^8 + D y^{10} + E y^{12} + F y^{14} \quad (A)$$

50

(表1)

面番号	R [mm]	d [mm]	nd	ν d	Φea [mm]
OB		360.00			
*1	349.38	-17.86	REF	REF	101.60
*2	-28.99	-2.22	1.69	53.20	27.70
*3	-5.82	-12.23			16.08
4	11.26	-2.92	1.49	70.24	13.51
5	11.79	-9.29			13.58
*6	-69.61	-6.71	1.50	81.56	16.98
*7	13.51	-0.10			18.62
8	33.79	-2.25	1.89	20.36	18.97
9	-26.84	-7.18	1.49	70.24	21.25
10	36.84	-4.93			23.85
11	-75.52	-9.45	1.50	81.55	32.69
12	33.35	-28.22			34.02
13	-42.15	-7.75	1.89	20.36	37.95
14	701.05	-1.06			36.73
15	-17.56	-5.00	1.89	20.36	28.87
16	-22.07	-9.41			26.07
*17	14.88	-2.00	1.50	81.56	20.36
*18	-19.53	-18.64			17.94
19	52.73	-2.80	1.89	20.36	17.47
20	25.07	-10.34			17.74
21	-23.23	-1.97	1.89	20.36	12.49
22	162.94	-0.10			12.20
(STO)23	∞	-5.58			12.09
24	19.54	-2.00	1.72	29.23	10.38
25	-30.58	-3.35	1.69	54.82	10.49
26	16.55	-3.00			10.77
27	14.73	-1.70	1.81	25.46	10.74
28	-18.91	-3.67	1.52	64.14	12.53
29	27.50	-3.94			13.99
30	-24.74	-5.98	1.50	81.55	21.84
31	36.36	-0.94			22.24
*32	1000.00	-4.08	1.50	81.56	22.31
*33	23.15	-1.84			22.74
34	∞	-28.95	1.72	47.93	21.87
35	∞	-2.48			19.02
IM					18.60

10

20

30

40

面	1	2	3	6	7	17	18	32	33
K	-53.67101	0	-0.551623	0	0	0	0	0	0
A	-2.02E-07	-5.02E-05	0.0001042	2.29E-07	-5.01E-05	-0.000348	-0.000114	7.12E-05	2.38E-05
B	-1.58E-11	5.10E-07	1.62E-08	-4.56E-08	-2.10E-07	2.52E-06	2.14E-06	4.32E-07	2.24E-07
C	2.05E-14	-1.97E-09	-8.06E-09	1.15E-09	1.14E-10	-1.32E-08	-1.87E-08	-5.11E-09	-7.73E-10
D	-3.11E-18	2.31E-12	1.08E-09	-8.78E-12	-1.72E-12	2.61E-11	6.05E-11	4.32E-11	-2.26E-11
E	0	-1.46E-15	-8.39E-12	4.25E-14	-5.36E-15	-4.24E-15	8.40E-15	-1.98E-13	3.17E-13
F	0	3.63E-19	-7.57E-15	0	0	0	0	-6.96E-16	-2.23E-15
G	0	4.08E-20	4.14E-17	0	0	0	0	4.24E-18	4.65E-18

10

【 0 0 2 9 】

f [mm]	4.97
FNO	2.31
画角 [deg]	61.6

【 0 0 3 0 】

図 2 には、本実施例の投射光学系の縦収差（球面収差、非点収差、歪曲および倍率色収差）を示している。

【 0 0 3 1 】

20

表 2 には、本実施例における式（1）～（5）中の値を示す。
(表 2)

fM [mm]	-174.69
fL [mm]	5.69
fL1 [mm]	6.56
fL2 [mm]	11.74
fL / fM	0.033
β	-1.11
fL1 / fL2	0.56
$\Phi G1 / \Phi Gmax$	0.73
D/TL	0.100

30

【 実施例 2 】

【 0 0 3 2 】

40

図 3 には、実施例 2 の結像光学系としての投射光学系の構成を示している。この投射光学系は、実施例 1 の投射光学系の画角を 72° に増加させたものである。本実施例の投射光学系を用いることで、実施例 1 の投射光学系を用いる場合に比べてさらに投射距離を短くすることができる。また、撮像装置に同じ構成を有する撮像光学系を用いれば、撮像距離をより短くすることができる。

【 0 0 3 3 】

表 3 には、本実施例の数値例を示す。
(表 3)

面番号	R [mm]	d [mm]	nd	νd	Φ_{ea} [mm]
OB		360.00			
*1	53.93	-15.93	REF	REF	102.52
*2	-20.27	-2.97	1.69	53.20	28.85
*3	-5.26	-18.76			17.16
4	9.21	-2.93	1.49	70.24	11.82
5	10.68	-0.95			14.60
*6	-115.92	-6.87	1.50	81.56	19.23
*7	13.09	-0.20			20.66
8	35.88	-2.20	1.89	20.36	21.10
9	-27.61	-5.75	1.49	70.24	23.56
10	36.45	-3.19			24.46
11	-73.01	-8.01	1.50	81.55	31.54
12	30.64	-29.11			32.29
13	-39.28	-7.49	1.89	20.36	36.22
14	385.73	-0.44			35.08
15	-18.73	-5.00	1.89	20.36	28.04
16	-23.52	-8.90			24.72
*17	12.11	-2.20	1.50	81.56	19.57
*18	-25.26	-13.70			18.45
19	28.29	-2.36	1.89	20.36	19.93
20	17.93	-15.65			20.36
21	-18.87	-2.10	1.89	20.36	11.95
22	256.32	-0.10			11.38
(STO)23	∞	-4.39			11.19
24	15.72	-2.00	1.72	29.23	9.91
25	-937.41	-2.41	1.69	54.82	10.50
26	13.70	-3.00			10.96
27	11.51	-2.73	1.81	25.46	11.50
28	-19.37	-6.11	1.52	64.14	15.07
29	16.94	-0.10			17.34
30	-27.27	-5.00	1.50	81.55	21.91
31	125.32	-3.31			22.42
*32	268.69	-5.86	1.50	81.56	22.86
*33	16.23	-1.10			24.14
34	∞	-28.95	1.72	47.93	22.46
35	∞	-2.50			18.93
IM					18.60

【 0 0 3 4 】

面	1	2	3	6	7	17	18	32	33
K	-17.10312	0	-0.792845	0	0	0	0	0	0
A	-1.66E-07	-3.94E-05	9.61E-05	-1.72E-06	-5.53E-05	-0.000376	4.04E-06	6.92E-05	6.78E-07
B	-1.16E-11	5.51E-07	-2.11E-06	-4.64E-08	-1.95E-07	2.05E-06	1.52E-06	4.59E-07	2.83E-07
C	1.72E-14	-1.86E-09	9.28E-09	1.34E-09	-2.36E-10	-1.27E-08	-2.66E-08	-3.84E-09	-3.55E-10
D	-2.83E-18	2.38E-12	6.54E-10	-1.62E-11	-9.74E-13	1.21E-11	1.10E-10	5.15E-11	-1.83E-11
E	0	-2.41E-15	-8.09E-12	7.45E-14	-3.59E-14	-2.99E-15	6.80E-14	-2.16E-13	3.39E-13
F	0	-1.28E-18	-7.57E-15	0	0	0	0	-6.96E-16	-2.23E-15
G	0	4.08E-20	4.14E-17	0	0	0	0	4.24E-18	4.65E-18

10

【 0 0 3 5 】

f [mm]	2.98
FNO	2.31
画角	71.8

【 0 0 3 6 】

図4には、本実施例の投射光学系の縦収差（球面収差、非点収差、歪曲および倍率色収差）を示している。

20

表4には、本実施例における式（1）～（5）中の値を示す。

（表4）

fM [mm]	-26.96
fL [mm]	5.66
f1 [mm]	6.50
f2 [mm]	11.63
fL / fM	0.210
β	-1.06
f1 / f2	0.56
$\Phi G1 / \Phi Gmax$	0.80
D/TL	0.092

30

【 実施例 3 】

【 0 0 3 7 】

図5には、実施例3の結像光学系としての投射光学系の構成を示している。この投射光学系は、実施例1の投射光学系に対して1.5倍のスケーリングを行った後、光学系全長と物体距離を短くし、さらにレンズ（G1～G15）の数を削減したものである。この投射光学系を用いれば、光変調素子を光軸に直交する方向に大きくシフトさせることができるようになり、被投射面に対する画像投射装置の設置場所の自由度を高めることができる。同様に、撮像装置に同じ構成を有する撮像光学系を用いれば、撮像素子を光軸に直交する方向に大きくシフトさせることができ、被写体に対する撮像装置の設置場所の自由度を高めることができる。

40

【 0 0 3 8 】

50

表 5 には、本実施例の数値例を示す。
(表 5)

面番号	R [mm]	d [mm]	nd	νd	Φea [mm]
OB		500.00			
*1	664.18	-35.33	REF	REF	193.42
*2	-35.31	-2.94	1.69	53.20	42.18
*3	-7.88	-34.05			24.29
*4	-64.49	-7.85	1.50	81.55	24.00
*5	18.33	-0.10			25.12
6	39.79	-2.40	1.85	23.78	25.31
7	-34.14	-8.73	1.50	81.55	28.30
8	36.93	-0.10			30.34
9	-58.93	-5.83	1.50	81.55	35.47
10	77.20	-36.90			35.77
11	-50.73	-6.91	1.92	18.90	46.24
12	1922.87	-3.90			45.81
13	-22.09	-8.00	1.92	18.90	35.80
14	-35.00	-7.40			31.71
*15	26.72	-3.00	1.50	81.56	28.72
*16	-15.60	-21.88			22.38
17	36.38	-2.57	1.92	18.90	19.81
18	27.10	-9.56			20.26
19	-46.80	-2.11	1.92	18.90	17.11
20	112.29	-0.12			16.96
(STO)21	∞	-19.16			16.80
22	44.44	-4.42	1.52	64.14	17.87
23	15.15	-2.40	1.92	18.90	18.94
24	-161.94	-6.12	1.70	55.53	23.61
25	26.95	-0.10			25.80
26	-44.26	-5.00	1.52	64.14	30.70
27	-827.58	-2.95			31.19
*28	1000.00	-6.58	1.69	31.16	31.53
*29	34.69	-1.75			33.35
30	∞	-47.76	1.72	47.93	32.40
31	∞	-4.06			28.74
IM					28.20

【 0 0 3 9 】

面	1	2	3	4	5	15	16	28	29
K	-3.11E+02	0.00E+00	-0.700936	0	0	0	0	0	0
A	1.49E-08	-6.48E-06	-9.03E-06	1.01E-06	-1.78E-05	-0.000101	-1.03E-05	1.91E-05	7.49E-06
B	-3.82E-12	4.34E-08	-9.81E-08	-4.61E-08	-4.32E-08	2.84E-07	2.41E-07	4.16E-08	2.87E-08
C	2.72E-16	-5.61E-11	-7.46E-10	3.46E-10	-2.19E-10	-2.68E-10	-6.92E-10	-1.21E-10	-2.17E-11
D	-7.09E-21	3.70E-14	1.73E-11	-1.39E-12	1.02E-12	-1.01E-12	5.77E-12	4.92E-13	-1.78E-13
E	0	-1.38E-18	-3.87E-14	2.63E-15	-2.41E-15	1.98E-15	-3.51E-14	-5.99E-16	1.47E-15
F	0	-3.33E-20	-2.52E-17	0	0	0	0	-3.99E-19	-3.39E-18
G	0	3.62E-23	2.26E-20	0	0	0	0	1.39E-21	2.93E-21

10

【 0 0 4 0 】

f [mm]	7.03
FNO	2.31
画角 [deg]	63.2

【 0 0 4 1 】

図 6 には、本実施例の投射光学系の縦収差（球面収差、非点収差、歪曲および倍率色収差）を示している。

20

【 0 0 4 2 】

表 6 には、本実施例における式（1）～（5）中の値を示す。
(表 6)

fM [mm]	-332.09
fL [mm]	8.00
fl1 [mm]	8.36
fl2 [mm]	14.99
fL / fM	0.024
β	-1.09
fl1 / fl2	0.56
$\Phi G1 / \Phi Gmax$	0.91
D/TL	0.167

30

【 0 0 4 3 】

(比較例)

表 7 には、特許文献 3 の実施例 1（比較例 1 とする）および実施例 2（比較例 2 とする）に開示された投射光学系の諸数値と式（1）～（5）中の値を示す。これら比較例 1, 2 ではいずれも、式（1）, (3) および (5) で示した条件が満足されておらず（表 7 に × でしめす）、式（2）および（4）で示した条件については不明である。

40

(表 7)

	実施例	比較例1	比較例2	
fL		-16.4	-17.604	
fM		-11.592	-11.436	
β		不明	不明	
f11		51.8	45.0265	
f12		23.6	27.5543	
$\phi G1$		不明	不明	
ϕG_{max}		不明	不明	
D		192.09	181.74	
TL		542.09	531.74	
fL/fM	0.01 < ~ < 0.5	1.41	1.54	×
β	-2.0 < ~ < -0.5	不明	不明	
f11 / f12	0.3 < ~ < 0.8	2.19	1.63	×
$\phi G1 / \phi G_{max}$	0.2 < ~ < 2.0	不明	不明	
D/TL	0.01 < ~ < 0.30	0.35	0.34	×

【0044】

以上説明した各実施例は代表的な例にすぎず、本発明の実施に際しては、各実施例に対して種々の変形や変更が可能である。例えば、光変調素子と光変調素子からの光を被投射面に投射する結像光学系とを有する画像投射装置が、撮像素子と被投射面上の像を撮像素子上に形成する撮影光学系とを有する撮像装置をさらに備えてよい。

【0045】

さらに、反射光学系は最も拡大側共役面の側に凸面鏡を備える構成であればよく、各実施例に記載のように反射光学系が凸面鏡のみを備える構成であってもよい。さらに、反射光学系が複数のミラーを備え、複数のミラーのうち最も拡大側共役面の側のミラーが凸面鏡になっている構成であってもよい。

【符号の説明】

【0046】

- L 屈折光学系（全系）
- L 1 第1の部分屈折光学系
- L 2 第2の部分屈折光学系
- M 凸面鏡
- MM 中間結像位置

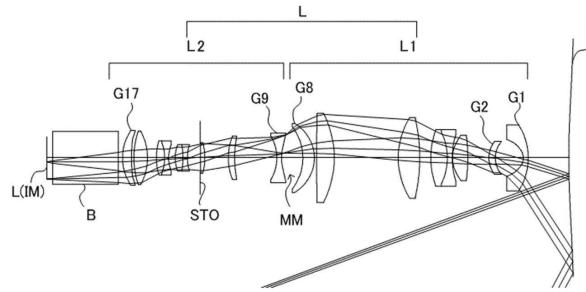
10

20

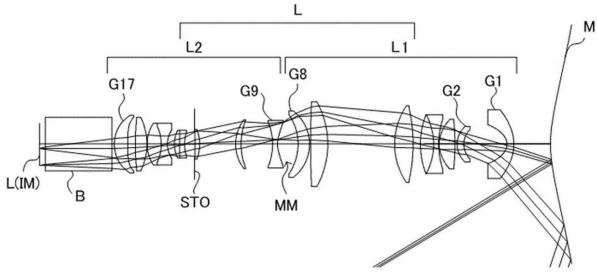
30

40

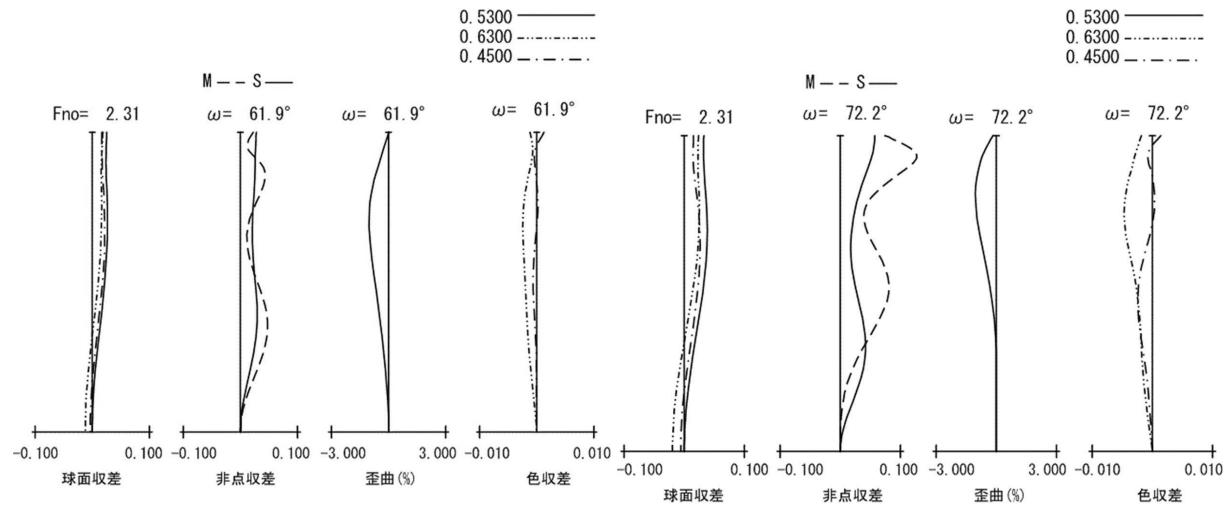
【図1】



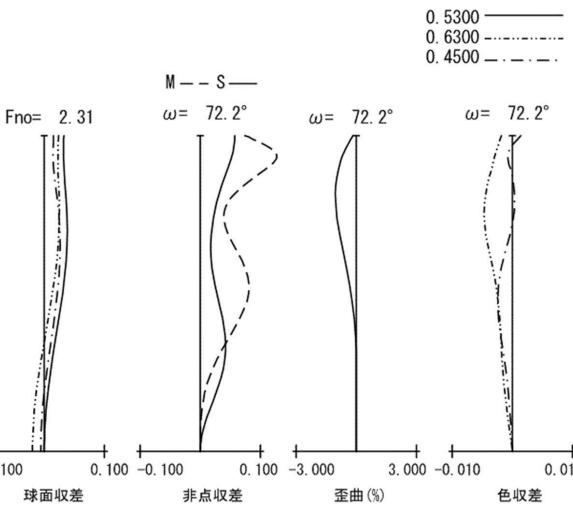
【図3】



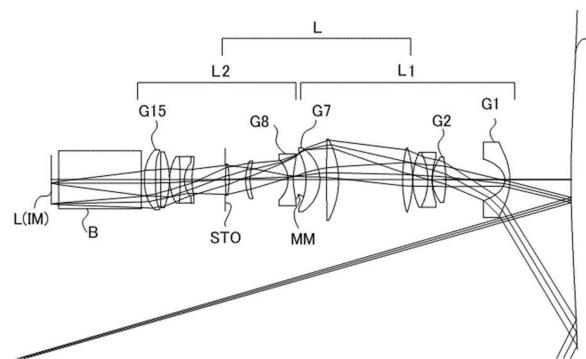
【図2】



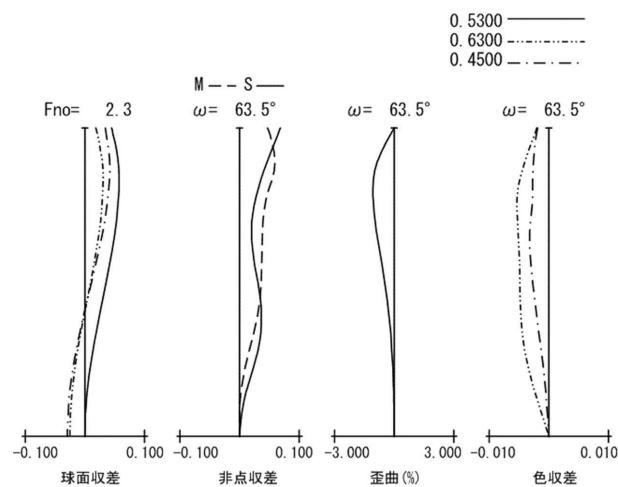
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

審査官 森内 正明

(56)参考文献 特開2006-91867(JP, A)
特開2010-244017(JP, A)
特開2013-242594(JP, A)
特開2012-108267(JP, A)
特開2013-29787(JP, A)
米国特許出願公開第2006/0203362(US, A1)
独国特許出願公開第102013003551(DE, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B	9 / 0 0	-	1 7 / 0 8
G 02 B	2 1 / 0 2	-	2 1 / 0 4
G 02 B	2 5 / 0 0	-	2 5 / 0 4
G 03 B	2 1 / 0 0	-	2 1 / 1 0
G 03 B	2 1 / 1 2	-	2 1 / 1 3
G 03 B	2 1 / 1 3 4	-	2 1 / 3 0