

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5960579号
(P5960579)

(45) 発行日 平成28年8月2日(2016.8.2)

(24) 登録日 平成28年7月1日(2016.7.1)

(51) Int.Cl.	F I	
G O 2 B 17/08 (2006.01)	G O 2 B 17/08	A
G O 2 B 13/14 (2006.01)	G O 2 B 13/14	
G O 2 B 13/18 (2006.01)	G O 2 B 13/18	
G O 2 B 15/16 (2006.01)	G O 2 B 15/16	
G O 3 B 21/00 (2006.01)	G O 3 B 21/00	D
請求項の数 5 (全 24 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2012-238473 (P2012-238473)
 (22) 出願日 平成24年10月30日(2012.10.30)
 (62) 分割の表示 特願2012-539901 (P2012-539901)
 の分割
 原出願日 平成24年7月5日(2012.7.5)
 (65) 公開番号 特開2013-33283 (P2013-33283A)
 (43) 公開日 平成25年2月14日(2013.2.14)
 審査請求日 平成27年7月1日(2015.7.1)
 (31) 優先権主張番号 特願2011-148942 (P2011-148942)
 (32) 優先日 平成23年7月5日(2011.7.5)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000227364
 日東光学株式会社
 長野県諏訪市大字湖南4 5 2 9番地
 (74) 代理人 100102934
 弁理士 今井 彰
 (74) 代理人 100164415
 弁理士 斉藤 翼
 (72) 発明者 松尾 恭彦
 長野県諏訪市上川1丁目1 5 3 8番地 日
 東光学株式会社上諏訪工場内
 審査官 堀井 康司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投射光学系およびプロジェクト装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

縮小側の第1の像面から拡大側の第2の像面へ投射する投射光学系であって、
複数のレンズを含む第1の光学系であって、前記縮小側から入射した光により当該第1の光学系の内部に結像される第1の中間像を当該第1の光学系よりも前記拡大側に第2の中間像として結像する第1の光学系と、

前記第2の中間像よりも前記拡大側に位置する正の屈折力の第1の反射面を含む第2の光学系とを有し、

前記第1の光学系の前記縮小側のイメージサークルICと、前記第1の光学系の最も前記拡大側のレンズの有効径LLDとが以下の条件を満たす投射光学系。

$$0.1 \leq LLD / IC \leq 2.0$$

【請求項2】

請求項1において、
前記第1の光学系の前記縮小側のイメージサークルICと、前記第1の反射面の有効径MDとが以下の条件を満たす、投射光学系。

$$1.0 \leq MD / IC \leq 6.0$$

【請求項3】

請求項1または2において、
前記第1の光学系は、前記第1の中間像を結像する第1の屈折光学系と、前記縮小側の前記第1の中間像を前記拡大側に前記第2の中間像として結像する第2の屈折光学系とを

含む、投射光学系。

【請求項 4】

請求項 3 において、前記第 1 の屈折光学系の光軸、前記第 2 の屈折光学系の光軸は共通である、投射光学系。

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の投射光学系と、
前記第 1 の像面に画像を形成する光変調器とを有する、プロジェクタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プロジェクタ装置の投射光学系に関するものである。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、投射画面の大画面化を図りつつ、投射装置外の投影空間を縮小するために、反射面を含む結像光学系を採用しつつ、色収差も補正可能な投射光学系およびこのような投射光学系を用いる画像投射装置を実現することが記載されている。そのため、特許文献 1 には、ライトバルブの投影側にライトバルブの側から第 1、第 2 の光学系を上記順序に配し、第 1 の光学系は 1 以上の屈折光学系を含み、正のパワーを有し、第 2 の光学系はパワーを有する反射面を 1 以上含み、正のパワーを有し、ライトバルブにより形成された画像を第 1 及び第 2 の光学系の光路上に中間像として結像させ、中間像をさらに拡大してスクリーン上に投射することが記載されている。

【0003】

特許文献 2 には、所望の変倍比を得つつ、倍率色収差等の諸収差の発生を抑制しコンパクトな構成の変倍光学系を実現する技術が記載されている。特許文献 2 の変倍光学系は、3 つの反射曲面を有する光学ブロック R と、その光学ブロック R よりも縮小側に配置された光学ブロック C とで構成され、光学ブロック C は移動可能な複数のレンズユニットを有し、複数のレンズユニットの移動により変倍を行う。そして、縮小側から拡大側へ光線をトレースするとき、光学ブロック C は光学ブロック R の最も縮小側の光学面（反射面）より拡大側に縮小側共役点の像を形成する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2004 - 258620 号公報

【特許文献 2】特開 2004 - 295107 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

プレゼンテーション用や学校教育用などの様々な用途において、さらにコンパクトで広角化の要求に対応できる投射光学系が要望されている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の態様の 1 つは、縮小側の第 1 の像面から拡大側の第 2 の像面へ投射する投射光学系である。投射光学系は、複数のレンズを含む第 1 の光学系であって、縮小側から入射した光により当該第 1 の光学系の内部に結像される第 1 の中間像を当該第 1 の光学系よりも拡大側に第 2 の中間像として結像する第 1 の光学系と、第 2 の中間像よりも拡大側に位置する正の屈折力の第 1 の反射面を含む第 2 の光学系とを有し、第 1 の光学系の縮小側のイメージサークル IC と、第 1 の光学系の最も拡大側のレンズの有効径 LLD とが以下の条件を満たす。

$$0.1 \leq LLD / IC \leq 2.0$$

【0007】

10

20

30

40

50

この投射光学系においては、イメージサークルICのサイズに対して第1の光学系の最も広角側のレンズ径（有効径）を小さくすることにより、第1の反射面で反射された光束（投影光）とレンズとの干渉を抑制でき、さらにコンパクトな投射光学系を提供できる。また、イメージサークルICのサイズに対して第1の反射面を小さくことができ、イメージサークルICと、第1の反射面の有効径MDとが以下の条件を満たすものであってもよい。

$$1.0 < MD / IC < 6.0$$

【0008】

この投射光学系においては、第1の光学系は、第1の中間像を結像する第1の屈折光学系と、縮小側の第1の中間像を拡大側に第2の中間像として結像する第2の屈折光学系とを含み、第1の反射光学系は、縮小側の第2の中間像を第1の反射面により第2の像面へ投射することが望ましい。

10

【0009】

この投射光学系においては、第1の屈折光学系が第1の中間像を結像し、その第1の中間像を第2の屈折光学系が拡大側に第2の中間像として結像することにより、第2の屈折光学系の拡大側のレンズ径を小さくできる。したがって、第2の屈折光学系をコンパクトにすることができ、さらに、第2の屈折光学系から第1の反射面の空気間隔（光学的距離）を短くしやすく、第1の反射面を小型化できる。

【0010】

第1の反射面において非点収差などとともに台形歪みを補正するように設計することは容易ではない。この投射光学系においては、第1の屈折光学系により非点収差などの収差を補正した第1の中間像を結像させ、第2の屈折光学系によりおもに台形歪みなどの調整を行った第2の中間像を結像させやすい。したがって、鮮明で台形補正がされた像を投射しやすい。

20

【0011】

本発明の他の態様の1つは、上記の投射光学系と、第1の像面に画像を形成する光変調器とを有するプロジェクタである。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明に係る投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示す図であり、（a）は非テレセントリックな投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示す図、（b）はテレセントリックな投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示す図、（c）は異なるテレセントリックな投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示す図。

30

【図2】第1の実施形態に係る投射光学系の概略構成を示す図。

【図3】第1の実施形態に係る投射光学系のレンズデータを示す図。

【図4】第1の実施形態に係る投射光学系の諸数値を示す図であり、（a）は基本データを示し、（b）は間隔データを示し、（c）は非球面データを示す。

【図5】第1の実施形態に係る投射光学系の中間像の近傍の平面における光束の状態を示す図であり、（a）は第1の中間像の近傍を示し、（b）は第2の中間像の近傍を示す。

40

【図6】第2の実施形態に係る投射光学系の概略構成を示す図。

【図7】第2の実施形態に係る投射光学系のレンズデータを示す図。

【図8】第2の実施形態に係る投射光学系の諸数値を示す図であり、（a）は基本データを示し、（b）は間隔データを示し、（c）は非球面データを示し、（d）はズームデータを示す。

【図9】第2の実施形態に係る投射光学系の中間像の近傍の平面における光束の状態を示す図であり、（a）は第1の中間像の近傍を示し、（b）は第2の中間像の近傍を示す。

【図10】第3の実施形態に係る投射光学系の概略構成を示す図。

【図11】第3の実施形態に係る投射光学系のレンズデータを示す図。

【図12】第3の実施形態に係る投射光学系の諸数値を示す図であり、（a）は基本デー

50

タを示し、(b)は間隔データを示し、(c)は非球面データを示し、(d)はズームデータを示す。

【図13】第3の実施形態に係る投射光学系の中間像の近傍の平面における光束の状態を示す図であり、(a)は第1の中間像の近傍を示し、(b)は第2の中間像の近傍を示す。

【図14】従来の投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0013】

図1に、本発明の実施形態に係る典型的な投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示しており、図1(a)は非テレセントリックな投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示す図、図1(b)はテレセントリックな投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示す図、図1(c)は異なるテレセントリックな投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示す図である。図14に、従来の投射光学系を用いたプロジェクタ装置の概略構成を示している。

10

【0014】

図1(a)~図1(c)に示すように、プロジェクタ(プロジェクタ装置)100は、光変調器(ライトバルブ)5と、ライトバルブ5に変調用の照明光を照射する照明光学系90と、ライトバルブ5の像面を縮小側の第1の像面とし、ライトバルブ5により形成された画像を投影光91として拡大側の第2の像面であるスクリーン9に拡大して投射する投射光学系1とを備えている。ライトバルブ5は、LCD、デジタルミラーデバイス(DMD)あるいは有機ELなどの画像を形成できるものであればよく、単板式であっても、各色の画像をそれぞれ形成する方式であってもよい。なお、上記のライトバルブ5は、反射型のLCDであっても透過型のLCDであってもよい。ライトバルブ5が透過型の場合の照明光学系90は、ライトバルブ5に対して投射光学系1の光軸101方向の反対側に配置される。さらに、スクリーン9は、壁面やホワイトボードなどであってもよい。プロジェクタ100は、フロントプロジェクタであっても、スクリーンを含むリアプロジェクタであってもよい。なお、ライトバルブ5は、ライトバルブの第1の像面の位置を示す。

20

【0015】

典型的なライトバルブ5はDMD(デジタルミラーデバイス)を採用した単板式のビデオプロジェクタである。照明光学系90は、ハロゲンランプなどの白色光源と、円盤型の回転色分割フィルタ(カラーホイール)とを備えて、DMD(パネル、ライトバルブ)5が、赤、緑、青の3原色の画像を時分割で形成するものである。投射光学系1のDMD5の側は、図1(a)に示すようにノンテレセントリックであってもよく、図1(b)に示すようにTIR(Total Internal Reflection)プリズムPrなどを用いてテレセントリックにすることも可能である。なお、DMD方式ではなく液晶方式の場合には、図1(c)に示すようにTIRプリズムPrの代わりに色合成プリズム6を用いることも可能である。反射型液晶方式の場合には、照明用プリズム若しくはワイヤーグリッドおよび色合成プリズムの両方を用いることも可能である。

30

【0016】

図1(a)~図1(c)に示すように、本発明の投射光学系1は、縮小側の第1の像面であるDMD5から拡大側の第2の像面であるスクリーン9へ投射する投射光学系である。投射光学系1は、複数のレンズを含む第1の光学系10であって、縮小側から入射した光により第1の光学系10の内部に結像される第1の中間像31を第1の光学系10よりも拡大側に第2の中間像32として結像する第1の光学系10と、第2の中間像32よりも拡大側に位置する正の屈折力の第1の反射面21aを含む第2の光学系(第1の反射光学系)20とを有する。さらに、第1の光学系10は、第1の中間像31を結像させる第1の屈折光学系11と、第1の中間像31を第2の中間像32として結像させる第2の屈折光学系12とを含むように構成できる。

40

【0017】

この投射光学系1においては、第1の中間像31、第2の中間像32および第1の反射

50

面 2 1 a で結像される像がそれぞれ反転する。したがって、DMD 5 の中心からスクリーン 9 の中心に至る光線が第 1 の光学系 1 0 および第 2 の光学系 2 0 の共通する光軸 1 0 1 と 3 回交差してスクリーン 9 に至るように投射光学系 1 をデザインできる。

【 0 0 1 8 】

DMD 5 の中心からスクリーン 9 の中心に至る光線が第 1 の屈折光学系 1 1、第 2 の屈折光学系 1 2 および第 2 の光学系 2 0 の共通する光軸 1 0 1 と 3 回交差してスクリーン 9 に至る場合、DMD 5 と第 1 の反射面 2 1 a との間では光線が光軸 1 0 1 と 2 回交差する。したがって、DMD 5 と第 1 の反射面 2 1 a とを光軸 1 0 1 に対して同方向に配置できる。すなわち、DMD 5 と第 1 の反射面 2 1 a とを光軸 1 0 1 を含む第 1 の面 1 1 1 に対して同方向の第 1 の方向 1 1 1 a (下方向)に配置できる。

10

【 0 0 1 9 】

このため、DMD 5 を照明する照明光学系 9 0 を第 1 の面 1 1 1 に対し第 1 の反射面 2 1 a と同じ第 1 の方向 1 1 1 a に配置することができる。したがって、図 1 4 に示すような従来のプロジェクタ装置 2 0 0 とは異なり、第 1 の面 1 1 1 に対し同じ第 1 の方向 1 1 1 a のスペース 1 1 1 s を照明光学系 9 0 と第 1 の反射面 2 1 a とで共有できる。このため、投射光学系 1 および照明光学系 9 0 を含めたプロジェクタ 1 0 0 の高さ(厚さ)を、従来のプロジェクタ 2 0 0 の半分以下に薄型化できる。

【 0 0 2 0 】

図 1 (a) ~ 図 1 (c) に示すように、本発明の投射光学系 1 を含むプロジェクタ 1 0 0 は、第 1 の面 1 1 1 に対して同方向の第 1 の方向 1 1 1 a のスペース 1 1 1 s に照明光学系 9 0 および第 1 の反射面 2 1 a を配置できる。このため、第 1 の反射面 2 1 a が収まる高さ(厚さ)h の中に照明光学系 9 0 を収めることができる。また、照明光学系 9 0 の厚さが大きい場合であっても、照明光学系 9 0 の厚さ h の中に第 1 の反射面 2 1 a を収めることができる。

20

【 0 0 2 1 】

第 1 の実施形態

図 2 に、第 1 の実施形態に係る投射光学系 1 を示している。この投射光学系 1 は、入射側がテレセントリックの固定焦点型の投射光学系である。投射光学系 1 は、縮小側の第 1 の像面である DMD 5 の側から順に、複数のレンズを含む第 1 の光学系 1 0 と、第 1 の光学系 1 0 から出射された光を拡大側の第 2 の像面であるスクリーン 9 に投影する正のパワーの第 1 の反射面 2 1 a を含む第 2 の光学系(第 1 の反射光学系) 2 0 とを有する。具体的には、第 1 の光学系 1 0 は、1 4 枚のレンズ L 1 ~ L 1 4 を含む。第 2 の光学系 2 0 は、1 枚の非球面形状の第 1 の反射面 2 1 a を含むミラー(凹面鏡) 2 1 を含む。本例の投射光学系 1 は、変倍を行わない単焦点(固定焦点)タイプの光学系である。この投射光学系 1 においては、第 1 の光学系 1 0 の複数のレンズ L 1 ~ L 1 4 および第 2 の光学系 2 0 のミラー 2 1 により第 2 の像面であるスクリーン 9 に投影された光により、第 1 の像面である DMD 5 に形成された画像がスクリーン 9 に拡大して投射される。

30

【 0 0 2 2 】

この投射光学系 1 の第 1 の光学系 1 0 は、DMD 5 から入射した光により第 1 の光学系 1 0 の内部に結像される第 1 の中間像 3 1 を第 1 の光学系 1 0 よりも拡大側に第 2 の中間像 3 2 として結像する。また、第 2 の光学系 2 0 の第 1 の反射面 2 1 a は、第 2 の中間像 3 2 よりも拡大側に配置されている。図 2 に示した第 1 の光学系 1 0 は鏡面を含まない屈折光学系である。この第 1 の光学系 1 0 は、DMD 5 により形成された画像を第 1 の中間像 3 1 として結像させる第 1 の屈折光学系 1 1 と、第 1 の中間像 3 1 を第 2 の中間像 3 2 として結像させる第 2 の屈折光学系 1 2 とを含む。なお、第 1 の光学系 1 0 は、適当な位置で光軸 1 0 1 を折り曲げるための鏡面を含んでいてもよい。

40

【 0 0 2 3 】

第 1 の屈折光学系 1 1 は、全体が正の屈折力を備えたレンズ系である。第 1 の屈折光学系 1 1 は、DMD 5 の側から順に配置された、両凸の正レンズ L 1 と、DMD 5 の側に凸の正メニスカスレンズ L 2 と、2 枚貼合の第 1 の接合レンズ(バルサムレンズ、ダブル

50

ト) L B 1 と、ミラー 2 1 の側 (拡大側) に凸の負メニスカスレンズ L 5 と、ミラー 2 1 の側に凸の正メニスカスレンズ L 6 と、D M D 5 の側 (縮小側) に凸の正メニスカスレンズ L 7 と、両凸の樹脂製の正メニスカスレンズ L 8 とから構成されている。第 1 の接合レンズ L B 1 は、D M D 5 の側から順に配置された両凸の正レンズ L 3 と、両凹の負レンズ L 4 とから構成されている。負メニスカスレンズ L 5 の両面、すなわち D M D 5 の側の面 S 8 およびミラー 2 1 の側の面 S 9 は非球面である。さらに、正メニスカスレンズ L 8 の両面、すなわち D M D 5 の側の面 S 1 4 およびミラー 2 1 の側の面 S 1 5 も非球面である。

【 0 0 2 4 】

第 1 の屈折光学系 1 1 の最も拡大側から 2 番目の正メニスカスレンズ L 7 は、第 1 の屈折光学系 1 1 の中で最も有効径 (口径) の大きいレンズであり、第 1 の屈折光学系 1 1 の最大有効径を与えるレンズである。同時に、この正メニスカスレンズ L 7 は、第 1 の光学系 1 0 の中で最も有効径 (口径) の大きいレンズであり、第 1 の光学系 1 0 の最大有効径は第 1 の屈折光学系 1 1 の拡大側のレンズにより与えられる。

10

【 0 0 2 5 】

負メニスカスレンズ L 5 のミラー 2 1 の側、すなわち負メニスカスレンズ L 5 および正メニスカスレンズ L 6 の間の空間には、第 1 の中間像 3 1 を形成する第 1 の開口絞り S t 1 が配置されている。第 1 の屈折光学系 1 1 の D M D 5 の側には、1 枚のガラス製のプリズム (T I R プリズム) P r が配置されており、この投射光学系 1 に入射する光はテレセントリックまたはそれに近い状態となっている。第 1 の屈折光学系 1 1 は、第 1 の屈折光学系 1 1 よりも拡大側、すなわち第 1 の屈折光学系 1 1 と第 2 の屈折光学系 1 2 との間の空間 S p 1 に、D M D 5 により形成された画像を第 1 の中間像 3 1 として結像する。本例の第 1 の中間像 3 1 は、第 1 の屈折光学系 1 1 の最も拡大側の正メニスカスレンズ L 8 から拡大側に空気間隔 (距離) 3 . 7 4 m m を隔てて結像される。

20

【 0 0 2 6 】

第 2 の屈折光学系 1 2 は、全体が、第 1 の屈折光学系 1 1 よりも焦点距離が短くパワーの強い正の屈折力を備えたレンズ系である。第 2 の屈折光学系 1 2 は、D M D 5 の側から順に配置された、D M D 5 の側に凸の樹脂製の正メニスカスレンズ L 9 と、両凸の正レンズ L 1 0 と、2 枚貼合の第 2 の接合レンズ L B 2 と、2 枚貼合の第 3 の接合レンズ L B 3 とから構成されている。第 2 の接合レンズ L B 2 は、D M D 5 の側から順に配置された両凸の正レンズ L 1 1 と、両凹の負レンズ L 1 2 とから構成されている。第 3 の接合レンズ L B 3 は、D M D 5 の側から順に配置された D M D 5 の側に凸の負メニスカスレンズ L 1 3 と、両凸の正レンズ L 1 4 とから構成されている。正メニスカスレンズ L 9 の両面、すなわち D M D 5 の側の面 S 1 6 およびミラー 2 1 の側の面 S 1 7 は非球面である。

30

【 0 0 2 7 】

第 2 の屈折光学系 1 2 の最も縮小側の正メニスカスレンズ L 9 は、第 2 の屈折光学系 1 2 の中で最も有効径 (口径) の大きいレンズであり、第 2 の屈折光学系 1 2 の最大有効径を与えるレンズとなる。第 2 の屈折光学系 1 2 のミラー 2 1 の側には、第 2 の中間像 3 2 を形成する第 2 の偏心絞り S t 2 が配置されている。本例の第 2 の偏心絞り S t 2 は、開口 (円形の開口) の中心が光軸 1 0 1 からずれており、その開口の中心の偏心量は、光軸 1 0 1 を含む第 1 の面 1 1 1 に対して下方向 (第 1 の方向) 1 1 1 a に 1 . 5 m m である。第 2 の屈折光学系 1 2 は、第 2 の屈折光学系 1 2 よりも拡大側、すなわち第 2 の屈折光学系 1 2 および第 1 の反射面 2 1 a の間の空間 S p 2 に、第 2 の中間像 3 2 を結像する。本例の第 2 の中間像 3 2 は、第 2 の偏心絞り S t 2 のミラー 2 1 の側に、第 2 の偏心絞り S t 2 から空気間隔 4 1 . 6 0 m m を隔てて結像される。

40

【 0 0 2 8 】

この投射光学系 1 は、第 1 の屈折光学系 1 1 が第 1 の光学系 1 0 の内部の空間 S p 1 に第 1 の中間像 3 1 を結像させ、第 2 の屈折光学系 1 2 が第 1 の光学系 1 0 の拡大側で、第 2 の光学系 2 0 の第 1 の反射面 2 1 a の縮小側の空間 S p 2 に第 2 の中間像 3 2 を結像させる。さらに、第 2 の光学系 2 0 の非球面の反射面 2 1 a が第 2 の中間像 3 2 をスクリー

50

ン9に投影し、スクリーン9にDMD5の画像を拡大投射する。

【0029】

この投射光学系1においては、第1の光学系10の拡大側に配置された第2の屈折光学系12が第1の光学系10の内部に結像された第1の中間像31を第2の屈折光学系12の拡大側に第2の中間像32として結像する。第1の中間像31と第2の中間像32とは光軸101に対して逆転する。したがって、第2の屈折光学系12を通過する光束は第2の屈折光学系12の光軸101と交差し、第2の屈折光学系12を通過する光束の面積は光軸101の周りに集中しやすい。このため、第1の光学系10の拡大側に位置する第2の屈折光学系12の最大有効開口径を第1の屈折光学系11に対して小さくすることができる。特に、第2の屈折光学系12の広角側のレンズ径を縮小側のレンズ径に対して小さくできる。

10

【0030】

すなわち、第1の屈折光学系11は、第1の中間像31を光軸101よりも上側半分の一方の領域(第1の領域)101aに結像させ、第2の屈折光学系12は、第1の中間像31の上下左右が反転した第2の中間像32を、領域101aとは反対側、すなわち光軸101よりも下側半分の他方の領域(第2の領域)101bに結像させる。このため、第1の中間像31から第2の中間像32に至る光束は光軸101の周りに集中し、第2の屈折光学系12および第1の反射面21aを小型化できる。

【0031】

さらに、この投射光学系1においては、DMD5に形成される第1の像面の中心からスクリーン9の第2の像面の中心に至る光線110が第1の光学系10および第2の光学系20の共通する光軸101と3回交差してスクリーン9に至る。具体的には、DMD5から射出された光線110は、光軸101に対して下方から投射光学系1に入射し、第1の屈折光学系11の内部で光軸101と交差して光軸101の上側で第1の中間像31として結像される。さらに、光線110は、第2の屈折光学系12の内部で光軸101と交差して光軸101の下側で第2の中間像32として結像される。さらに、光線110は、光軸101の下側で第1の反射面21aにより反射され、光軸101と交差してスクリーン9に投影される。なお、光軸101の上下は相対的な位置関係であり、光軸101に対する上下が入れ替わってもよく、光軸101の左右であってもよい。

20

【0032】

さらに、第1の光学系10は、内部に第1の中間像31を結像し、その第1の中間像31を拡大側に第2の中間像32として結像する。このため、拡大側に結像される第2の中間像32のための偏心絞りSt2を第1の光学系10のより拡大側に近い位置、または第1の光学系10よりも拡大側に設けることができる。したがって、第1の反射面21aの縮小側に形成される第2の中間像32と偏心絞りSt2との空気間隔を短くできる。このため、第2の中間像32のサイズに対して第2の中間像32から第1の反射面21aに至る光束の広がりを確保できる。したがって、第2の屈折光学系12の拡大側のレンズ径を小さくできるとともに、第1の反射面21aの光軸101を中心とする回転対称な面の径を小さくできる。

30

【0033】

さらに、この投射光学系は、第1の光学系10の射出瞳および第1の反射面21aの光学的距離EXPと、DMD5および第1の反射面21aの光学的距離dwとが以下の条件(1)を満たすように設計できる。

$$0.1 < EXP / dw < 0.6 \quad \dots (1)$$

【0034】

第1の光学系10の射出瞳と第1の反射面21aとの間の距離EXPを条件(1)の範囲内とすることにより、第1の光学系10の射出瞳を第1の反射面21aの側に近付けることができる。このため、第1の反射面21aを小型化できる。条件(1)の上限を超えると、第1の光学系10の拡大側のレンズと第1の反射面21aとの空気間隔が長くなり、第1の反射面21aを小型化することが困難となる。条件(1)の下限を超えると、第

40

50

1の反射面21aで反射してスクリーン9に向かう光と第2の屈折光学系12との干渉を抑制することが困難となる。条件(1)の上限は、0.4であることが望ましい。また、条件(1)の下限は、0.2であることが望ましく、0.24であることがさらに望ましい。

【0035】

さらに、第2の屈折光学系12の拡大側のレンズ径を小さくできるので、第2の屈折光学系12を、光軸101を中心とする回転対称な面を備えたレンズで形成しても第1の反射面21aで反射してスクリーン9に向かう光と第2の屈折光学系12との干渉を抑制できる。したがって、第2の屈折光学系12と第1の反射面21aとの空気間隔を短くでき、全体がコンパクトで広角化の要求に対応できる投射光学系1を提供できる。

10

【0036】

このため、この投射光学系1は、第1の光学系10の拡大側、すなわち、最もミラー21の側に配置されたレンズ(本例では正レンズL14)および第1の反射面21aの間の距離 d_n と、DMD5および第1の反射面21aの間の距離 d_w とが以下の条件(2)を満たすように設計できる。

$$0.1 < d_n / d_w < 0.3 \quad \dots (2)$$

【0037】

第1の光学系10と第1の反射面21aとの間の距離 d_n を条件(2)の範囲内とすることにより、第1の光学系10と反射面21aとの間の空間 S_p2 を小さくできる。このため、第1の光学系10の広角側のレンズ(正レンズL14)および反射面21aの機械的な損傷を抑制しやすい。条件(2)の上限を超えると、広角側のレンズL14および反射面21aの間の空間 S_p2 が相対的に大きくなり、機械的な損傷を受ける可能性が増す。条件(2)の下限を超えると、空間 S_p2 が小さくなり、第2の中間像32に第1の反射面21aが接近しすぎて十分な広角化を確保できない。条件(2)の上限は、0.26であることが望ましい。また、条件(2)の下限は、0.15であることが望ましい。

20

【0038】

さらに、投射光学系1の縮小側のイメージサークルICに対する第1の反射面21aの有効径MDの比を以下の条件(3)にすることができる。

$$1.0 \leq MD / IC \leq 6.0 \quad \dots (3)$$

条件(3)の上限は、5.0であってもよく、4.5であることがさらに好ましい。また、条件(3)の下限は、2.0であってもよく、2.5であることがさらに好ましい。イメージサークルICのサイズに対して第1の反射面21aを小さくすることができ、さらにコンパクトな投射光学系1を提供できる。

30

【0039】

また、投射光学系1の縮小側のイメージサークルICに対する第1の光学系10の最も広角側のレンズ(本例ではレンズL14)の有効径LLDとの比を以下の条件(4)にすることができる。

$$0.1 \leq LLD / IC \leq 2.0 \quad \dots (4)$$

条件(4)の上限は、1.5であってもよく、1.0であることがさらに好ましい。また、条件(4)の下限は、0.2であってもよく、0.3であることがさらに好ましい。イメージサークルICのサイズに対して第1の光学系10の最も広角側のレンズ径(有効径)を小さくすることにより、第1の反射面21aで反射された光束(投影光)とレンズとの干渉を抑制でき、さらにコンパクトな投射光学系1を提供できる。

40

【0040】

さらに、投射光学系1の第1の反射面21aの有効径MDに対する偏心絞りSt2の径STD2との比は以下の条件(5)を満たすことが望ましい。

$$1.0 \leq MD / STD2 \leq 3.0 \quad \dots (5)$$

条件(5)の上限は、2.5であってもよく、2.0であることが望ましく、1.8であることがさらに望ましい。また、条件(5)の下限は、2.0であってもよく、3.0であることが望ましく、4.0であることがさらに望ましい。投射光学系1の拡大側に偏心絞りS

50

t 2 を設けることにより第 1 の反射面 2 1 a の有効径 M D を上記の範囲に設定し、有効径 M D を小さくすることができる。

【 0 0 4 1 】

また、第 1 の屈折光学系 1 1 の最大有効径は、正メニスカスレンズ L 7 の有効径（本例では 4 9 . 0 mm）であり、第 2 の屈折光学系 1 2 の最も拡大側の正レンズ L 1 4 の有効径は、本例では 1 7 . 0 mm である。さらに、第 2 の屈折光学系 1 2 の最大有効径は、正メニスカスレンズ L 9 の有効径（本例では 3 6 . 0 mm）である。したがって、第 2 の屈折光学系 1 2 の最も拡大側のレンズ L 1 4 の有効径は第 1 の屈折光学系 1 1 の最大有効径よりも小さく、さらに、第 2 の屈折光学系 1 2 の最大有効径は第 1 の屈折光学系 1 1 の最大有効径よりも小さい。したがって、第 1 の光学系 1 0 は全体として縮小側に対して拡大側
10

【 0 0 4 2 】

さらに、第 1 の光学系 1 0 は第 1 の屈折光学系 1 1 および第 2 の屈折光学系 1 2 を含み、第 1 の中間像 3 1 を介して光線をリレーするように構成されている。したがって、それぞれの屈折光学系 1 1 および 1 2 を鮮明な像がスクリーン 9 に投影されるように構成できる。すなわち、広角側から見ると、第 1 の反射面 2 1 a は台形歪みを発生させ、第 1 の反射面 2 1 a を非点収差などとともに台形歪みを補正するように設計することは困難である。したがって、第 2 の中間像 3 2 は台形歪みを含むものとし、第 1 の屈折光学系 1 1 により像面湾曲や、非点収差、コマ収差などの収差を補正した第 1 の中間像 3 1 を形成し、その第 1 の中間像 3 1 を第 2 の屈折光学系 1 2 によりおもに台形歪みなどの調整を行った、すなわち第 1 の反射面 2 1 a が発生させる歪みと逆方向（キャンセル方向）の歪みを発生させた第 2 の中間像 3 2 を形成している。したがって、第 1 の光学系 1 0 および第 2 の光学系 2 0 を含む投射光学系 1 により鮮明で台形補正がされた像をスクリーン 9 に投影できる。
20

【 0 0 4 3 】

このように、この投射光学系 1 は、第 1 の中間像 3 1 を挟んで第 1 の中間像 3 1 よりも縮小側（D M D 5 の側）の第 1 の屈折光学系 1 1 と、第 1 の中間像 3 1 よりも拡大側（ミラー 2 1 の側）の第 2 の屈折光学系 1 2 とを含む。このため、第 1 の屈折光学系 1 1 により第 1 の中間像 3 1 を結像させることにより、像面湾曲、非点収差およびコマ収差などの諸収差を補正でき、さらに、第 2 の屈折光学系 1 2 により第 2 の中間像 3 2 を結像させることにより、台形歪みの調整を行って歪曲収差を補正できる。したがって、第 1 の中間像 3 1 を 2 つの屈折光学系 1 1 および 1 2 により挟む構成により、第 1 の屈折光学系 1 1 および第 2 の屈折光学系 1 2 のそれぞれを専用の光学系として設計できる。このため、それぞれの屈折光学系 1 1 および 1 2 の設計の自由度を向上できる。
30

【 0 0 4 4 】

第 1 の屈折光学系 1 1 の最も拡大側の第 1 の中間像 3 1 の縮小側に配置された両凸の樹脂製の正メニスカスレンズ L 8 は、パワーが弱く、両面 S 1 4 および S 1 5 は非球面である。このため、諸収差を良好に補正でき第 1 の中間像 3 1 の M T F の低下を抑制できる。また、第 2 の屈折光学系 1 2 の最も縮小側、すなわち第 1 の中間像 3 1 の拡大側に配置された、縮小側に凸の樹脂製の正メニスカスレンズ L 9 の縮小側の面 S 1 6 は、第 1 の光学系 1 0 の中で最も曲率半径が小さく（曲率が大きく）、広角側の面 S 1 7 は、面 S 1 6 に次いで曲率半径が小さい（曲率が大きい）。このため、第 1 の中間像 3 1 の台形歪みを調整し、台形歪みを含む第 2 の中間像 3 2 を結像させやすい。さらに、正メニスカスレンズ L 9 の両面 S 1 6 および S 1 7 は非球面であるため、台形歪み（歪曲収差）以外の諸収差の補正も同時に行うことができる。したがって、第 2 の屈折光学系 1 2 の最も D M D 5 の側に樹脂製の正メニスカスレンズ L 9 を配置する簡易な構成により、低コストで、台形歪み以外の諸収差を抑えた第 2 の中間像 3 2 を得ることができる。
40

【 0 0 4 5 】

図 3 に、投射光学系 1 の第 1 の光学系 1 0 の各レンズのレンズデータを示している。図
50

4に、投射光学系1の諸数値を示している。レンズデータにおいて、 R_i はDMD(ライトバルブ)5の側(縮小側)から順に並んだ各レンズ(各レンズ面)の曲率半径(mm)、 d_i はDMD5の側から順に並んだ各レンズ面の間の距離(mm)、 D_i はDMD5の側から順に並んだ各レンズ面の有効径(mm)、 n_d はDMD5の側から順に並んだ各レンズの屈折率(d線)、 d はDMD5の側から順に並んだ各レンズのアップ数(d線)を示している。図3において、Flatは平面を示している。図4(c)において、「E_n」は、「10のn乗」を意味し、たとえば、「E-06」は、「10の-6乗」を意味する。以降の実施形態においても同様である。本明細書において、第1の中間像31の位置は、光軸101上の第1の中間像31の光束の焦点位置を示している。また、第2の中間像32の位置は、第2の偏心絞りSt2から光軸101上の第2の中間像32の光学的距離 d_1 と、第2の偏心絞りSt2から最周辺(最近辺)の第2の中間像32の光学的距離 d_2 との差分の中点位置を示している。本例では、 d_1 が58.20mm、 d_2 が25.00mmであるため、第2の中間像32の位置は、第2の偏心絞りSt2から41.60mmの位置を示している。以降の実施形態においても同様である。

10

【0046】

図5に、投射光学系1の第1の中間像31および第2の中間像32の近傍の平面を横切る光束の様子をスポットダイアグラムにより示している。図5(a)に示すように、第1の中間像31の近傍では、DMD5により形成された画像が、第1の屈折光学系11により拡大された画像として上下左右を反転されている。さらに、図5(b)に示すように、第2の中間像32の近傍では、第1の中間像31が、第2の屈折光学系12により台形歪みのある画像として上下左右を反転されている。

20

【0047】

本例の投射光学系1の上述した条件(1)を与える式の値は、図4(b)に示すように、第1の光学系10の射出瞳と第1の反射面21aとの間の距離EXPが81.70mmであり、DMD5およびミラー21の間の距離 d_w が323.00mmであるため、以下のようなになる。さらに、本例の投射光学系1の上述した条件(2)を与える式の値は、図4(b)に示すように、正レンズL14およびミラー21の間の距離 d_n が75.20mmであり、DMD5およびミラー21の間の距離 d_w が323.00mmであるため、以下のようなになる。また、その他の条件(3)~(5)は以下の通りである。なお、第1の光学系10の射出瞳の位置は、縮小側の第1の絞りSt1を第1の光学系10の絞りとした場合の射出瞳の位置を示している。

30

条件(1) $EXP / d_w = 0.25$

条件(2) $d_n / d_w = 0.23$

条件(3) $MD / IC = 2.9$

条件(4) $LLD / IC = 0.6$

条件(5) $MD / STD2 = 4.7$

したがって、本例の投射光学系1は、条件(1)~(5)を満たしている。

【0048】

したがって、第1の実施形態に係る投射光学系1は、14枚のレンズL1~L14および1枚のミラー21の構成により、固定焦点でありながら最大画角(全画角)が66.67度、焦点距離が6.20と比較的広角で、F値が1.90と明るく鮮明な画像を投射できる、高性能な投射光学系1の一例である。

40

【0049】

なお、第1の屈折光学系11の負メニスカスレンズL5の両面S8およびS9と、第1の屈折光学系11の正メニスカスレンズL8の両面S14およびS15と、第2の屈折光学系12の正メニスカスレンズL9の両面S16およびS17と、第1の反射面21aとは回転対称非球面である。非球面は、Xを光軸方向の座標、Yを光軸と垂直方向の座標、光の進行方向を正、Rを近軸曲率半径とすると、図4(c)の係数K、A、B、C、D、EおよびFを用いて次式で表わされる。以降の実施形態においても同様である。

$$X = (1/R) Y^2 / [1 + \{1 - (1+K)(1/R)^2 Y^2\}^{1/2}]$$

50

$$+ A Y^4 + B Y^6 + C Y^8 + D Y^{10} + E Y^{12} + F Y^{14}$$

【 0 0 5 0 】

第 2 の実施形態

図 6 に、第 2 の実施形態に係る投射光学系 2 を示している。この投射光学系 2 は、入射側が非テレセントリックのズーム可能な投射光学系である。投射光学系 2 は、DMD 5 の側（縮小側）から順に、複数のレンズを含む第 1 の光学系 1 0 と、第 1 の光学系 1 0 から出射された光を反射してスクリーン 9 に投影する第 1 の反射面 2 1 a を含む第 2 の光学系（第 1 の反射光学系）2 0 とを有する。第 1 の光学系 1 0 は、13 枚のレンズ L 1 1 ~ L 1 3、L 2 1 ~ L 2 2 および L 3 1 ~ L 3 8 を含み、第 2 の光学系 2 0 は、非球面の第 1 の反射面 2 1 a が形成されたミラー（凹面鏡）2 1 を含む。

10

【 0 0 5 1 】

本例の投射光学系 2 は、変倍を行うズームタイプの光学系である。第 1 の光学系 1 0 は、DMD 5 の側から順に、正の屈折力を備えた第 1 のレンズ群（前群）G 1 と、正の屈折力を備えた第 2 のレンズ群（中群）G 2 と、正の屈折力を備えた第 3 のレンズ群（後群）G 3 とを含む。また、本例の第 1 の光学系 1 0 も、内部に結像された第 1 の中間像 3 1 を第 1 の光学系 1 0 よりも拡大側に第 2 の中間像 3 2 として結像する光学系である。この第 1 の光学系 1 0 は、DMD 5 により形成された画像を第 1 の中間像 3 1 として結像させる正のパワーの第 1 の屈折光学系 1 1 と、第 1 の中間像 3 1 を第 2 の中間像 3 2 として結像させる正のパワーの第 2 の屈折光学系 1 2 とを含む。第 1 の中間像 3 1 は第 3 のレンズ群 G 3 の内部に結像され、第 1 のレンズ群 G 1 と、第 2 のレンズ群 G 2 と、第 3 のレンズ群 G 3 の最初（縮小側）のレンズ L 3 1 とが第 1 の屈折光学系 1 1 を構成し、第 3 のレンズ群 G 3 の他のレンズが第 2 の屈折光学系 1 2 を構成する。

20

【 0 0 5 2 】

最も DMD 5 側（最も縮小側）の第 1 のレンズ群（前群）G 1 は、全体が正の屈折力を備えたレンズ群である。第 1 のレンズ群 G 1 は、DMD 5 の側から順に配置された、両凸の正レンズ L 1 1 と、両凹の負レンズ L 1 2 と、両凸の正レンズ L 1 3 とから構成されている。正レンズ L 1 1 の両面、すなわち DMD 5 の側の面 S 1 およびミラー 2 1 の側の面 S 2 は非球面である。正レンズ L 1 1 のミラー 2 1 の側、すなわち正レンズ L 1 1 および負レンズ L 1 2 の間の空間には、第 1 の開口絞り S t 1 が配置されている。第 1 のレンズ群 G 1 の DMD 5 の側には、1 枚のガラス製のカバーガラス C G が配置されている。

30

【 0 0 5 3 】

第 2 のレンズ群（中群）G 2 は、全体が正の屈折力を備えたレンズ群である。第 2 のレンズ群 G 2 は、2 枚貼合の第 1 の接合レンズ（バルサムレンズ、ダブルット）L B 1 から構成されている。第 1 の接合レンズ L B 1 は、DMD 5 の側から順に配置された DMD 5 の側に凸の負メニスカスレンズ L 2 1 と、DMD 5 の側に凸の正メニスカスレンズ L 2 2 とから構成されている。

【 0 0 5 4 】

最もミラー 2 1 側（拡大側）の第 3 のレンズ群（後群）G 3 は、全体が正の屈折力を備えたレンズ群である。第 3 のレンズ群 G 3 は、DMD 5 の側から順に配置された、DMD 5 の側に凸の樹脂製の正メニスカスレンズ L 3 1 と、DMD 5 の側に凸の樹脂製の正メニスカスレンズ L 3 2 と、ミラー 2 1 の側に凸の正メニスカスレンズ L 3 3 と、3 枚貼合の第 2 の接合レンズ（バルサムレンズ、トリプレット）L B 2 と、2 枚貼合の第 3 の接合レンズ（バルサムレンズ、ダブルット）L B 3 とから構成されている。

40

【 0 0 5 5 】

第 2 の接合レンズ L B 2 は、DMD 5 の側から順に配置された、両凸の正レンズ L 3 4 と、両凹の負レンズ L 3 5 と、DMD 5 の側に凸の正メニスカスレンズ L 3 6 とから構成されている。第 3 の接合レンズ L B 3 は、DMD 5 の側から順に配置された両凸の正レンズ L 3 7 と、両凹の負レンズ L 3 8 とから構成されている。正メニスカスレンズ L 3 1 の両面、すなわち DMD 5 の側の面 S 1 0 およびミラー 2 1 の側の面 S 1 1 は非球面である。さらに、正メニスカスレンズ L 3 2 の両面、すなわち DMD 5 の側の面 S 1 2 およびミ

50

ラー 2 1 の側の面 S 1 3 も非球面である。正メニスカスレンズ L 3 6 のミラー 2 1 の側、すなわち正メニスカスレンズ L 3 6 および正レンズ L 3 7 の間の空間には、第 2 の開口絞り S t 2 が配置されている。

【 0 0 5 6 】

本例の投射光学系 2 は、広角端から望遠端に変倍する際に、第 1 のレンズ群（前群）G 1 は縮小側（DMD 5 側）から拡大側（ミラー 2 1 側）へ動き、第 2 のレンズ群（中群）G 2 も縮小側から拡大側へ動き、第 3 のレンズ群（後群）G 3 は動かない。第 1 のレンズ群 G 1 はバリエータとして移動することにより変倍し、第 2 のレンズ群 G 2 はコンペンセータとして第 1 のレンズ群 G 1 の動きを補償するように動き、リレーレンズである第 3 のレンズ群 G 3 への入射光束が一定条件になるようにする。本例の投射光学系 2 は、変倍の際に動かない第 3 のレンズ群 G 3 内で焦点調整を行うフローティングフォーカスまたはインナーフォーカスタイプの光学系である。本例のフォーカシングは、第 3 のレンズ群 G 3 に含まれる 1 つ以上のレンズを動かすことにより行われる。

10

【 0 0 5 7 】

第 1 のレンズ群 G 1、第 2 のレンズ群 G 2 およびレンズ L 3 1 から構成される第 1 の屈折光学系 1 1 は、DMD 5 の側から順に配置された、正レンズ L 1 1 と、第 1 の絞り S t 1 と、負レンズ L 1 2 と、正レンズ L 1 3 と、第 1 の接合レンズ L B 1 と、正メニスカスレンズ L 3 1 とを含み、第 1 の屈折光学系 1 1 の拡大側、すなわち第 1 の屈折光学系 1 1 および第 2 の屈折光学系 1 2 の間の空間 S p 1 に第 1 の中間像 3 1 が結像される。本例の第 1 の中間像 3 1 は、正メニスカスレンズ L 3 1 から拡大側に空気間隔 1 5 . 0 0 mm を隔てて結像される。

20

【 0 0 5 8 】

レンズ L 3 1 を除いた第 3 のレンズ群 G 3 により構成される第 2 の屈折光学系 1 2 は、DMD 5 の側から順に配置された、正メニスカスレンズ L 3 2 と、正メニスカスレンズ L 3 3 と、第 2 の接合レンズ L B 2 と、第 2 の絞り S t 2 と、第 3 の接合レンズ L B 3 とを含む。第 2 の屈折光学系 1 2 の拡大側、すなわち第 2 の屈折光学系 1 2 および第 1 の反射面 2 1 a の間の空間 S p 2 に第 2 の中間像 3 2 が結像される。本例の第 2 の中間像 3 2 は、第 2 の絞り S t 2 から拡大側に空気間隔 3 7 . 4 0 mm を隔てて結像される。

【 0 0 5 9 】

この投射光学系 2 においても、第 1 の屈折光学系 1 1 が第 1 の光学系 1 0 の内部の空間 S p 1 に第 1 の中間像 3 1 を結像させ、第 2 の屈折光学系 1 2 が第 1 の光学系 1 0 よりも拡大側の空間 S p 2 に第 2 の中間像 3 2 を結像させている。入射側が非テレセントリックの投射光学系 2 においては、第 1 の屈折光学系 1 1 のパワーは、第 2 の屈折光学系 1 2 のパワーとほぼ同じ、または大きくなるようにデザインされており、本例の投射光学系 2 においては、第 1 の屈折光学系 1 1 のパワーが第 2 の屈折光学系 1 2 のパワーよりも大きい。この投射光学系 2 においても、第 1 の中間像 3 1 と第 2 の中間像 3 2 とは光軸 1 0 1 を挟んで反対側の領域 1 0 1 a および 1 0 1 b にそれぞれ形成され、第 2 の屈折光学系 1 2 を通過する光束は光軸 1 0 1 の周りに集中する。したがって、第 2 の屈折光学系 1 2 をコンパクトに形成できる。

30

【 0 0 6 0 】

また、この投射光学系 2 においても、DMD 5 に形成される第 1 の像面の中心からスクリーン 9 の第 2 の像面の中心に至る光線 1 1 0 が第 1 の光学系 1 0 および第 2 の光学系 2 0 の共通する光軸 1 0 1 と 3 回交差してスクリーン 9 に至る。さらに、第 1 の中間像 3 1 を第 1 の光学系 1 0 の内部に結像させて、その第 1 の中間像 3 1 を第 1 の光学系 1 0 の拡大側に第 2 の中間像 3 2 として結像している。このため、第 2 の中間像 3 2 を形成するための第 2 の絞り S t 2 を第 1 の光学系 1 0 の内部の拡大側に近い位置に配置できる。したがって、この投射光学系 2 においても、投射光学系 1 と同様に第 1 の光学系 1 0 の拡大側のレンズ径を小さくでき、第 1 の光学系 1 0 と第 1 の反射面 2 1 a との空気間隔を短くできる。このため、コンパクトで広角化が可能な投射光学系 2 を提供できる。

40

【 0 0 6 1 】

50

さらに、第1の屈折光学系11により像面湾曲、非点収差およびコマ収差などの諸収差を補正でき、さらに、第2の屈折光学系12により台形歪みなどの歪曲収差を補正できる。このため、高性能で変倍可能な投射光学系2を提供できる。

【0062】

第1の屈折光学系11の最も拡大側、すなわち第1の中間像31の直上流に配置された縮小側に凸の樹脂製の正メニスカスレンズL31は、本例では第1の光学系10の中で最もパワーが弱く、両面S10およびS11は非球面である。このため、正メニスカスレンズL31により諸収差を良好に調整でき、DMD5により形成された画像を拡大させた第1の中間像31をいっそう鮮明に結像できる。

【0063】

また、第1の屈折光学系11は、第1の中間像31を、像が光軸101から離れるほど、すなわち、像高が高くなるほど縮小側に傾斜し、正メニスカスレンズL32から遠くなるように結像している。さらに、第2の屈折光学系12は、最も縮小側、すなわち第1の中間像31の直下流に配置された縮小側に凸の樹脂製の正メニスカスレンズL32の両面S12およびS13は、曲率半径が小さい(曲率が大きい)。このため、第1の中間像31の台形歪みを調整しやすく、台形歪みのある第2の中間像32として結像させることができる。さらに、正メニスカスレンズL32の両面S12およびS13は非球面であるため、台形歪み(歪曲収差)以外の諸収差も良好に補正できる。さらに、正メニスカスレンズL32は、DMD5の側に凸で、両面S12およびS13の曲率半径が小さい(曲率が大きい)ため、第1の屈折光学系11から出射された光を広角に集光することができる。したがって、明るく、広画角の投射光学系2を提供できる。

【0064】

第1の屈折光学系11の最大有効径は正メニスカスレンズL31(本例では有効径54.0mm)で与えられ、正メニスカスレンズL31は第1の光学系10の最大有効径を備えている。第2の屈折光学系12の最も拡大側の負レンズL38の有効径は、本例では26.0mmであり、第1の屈折光学系11の最大有効径よりも小さい。さらに、第2の屈折光学系12の最大有効径は正メニスカスレンズL32(本例では有効径45.0mm)で与えられ、第1の屈折光学系11の最大有効径よりも小さい。このように、この投射光学系2も、第1の屈折光学系11がDMD5により形成された画像を第1の中間像31として結像させることにより、第1の中間像31よりも下流側の第2の屈折光学系12を小型化できる。

【0065】

さらに、第1の屈折光学系11は、第1の中間像31を第1の領域(一方の領域)101aに結像させ、第2の屈折光学系12は、第2の中間像32を第2の領域(他方の領域)101bに結像させている。このため、正メニスカスレンズL32の両面S12およびS13の使用領域を第1の領域101aに限定でき、ミラー21の使用領域を第2の領域101bに限定できる。

【0066】

さらに、第2の屈折光学系12は、歪みの少ない第1の中間像31を上下左右に反転させた第2の中間像32として結像させている。このため、散乱光(不要光)をカットしながら台形歪みのある第2の中間像32として結像させやすい。したがって、台形歪みが実質的にキャンセルされた鮮明かつ拡大された画像をスクリーン9に投射可能な投射光学系2を提供できる。

【0067】

図7に、投射光学系2の第1の光学系10の各レンズのレンズデータを示している。図8に、投射光学系2の諸数値を示している。また、本例では、第2の絞りSt2から光軸101上の第2の中間像32の光学的距離d1が53.30mm、第2の絞りSt2から最周辺(最近辺)の第2の中間像32の光学的距離d2が21.40mmであるため、第2の中間像32の位置は、第2の絞りSt2から37.40mmの位置を示している。なお、ズーム間隔V1はカバーガラスCGと第1のレンズ群G1との空気間隔を示し、ズー

10

20

30

40

50

△間隔 V 2 は第 1 のレンズ群 G 1 と第 2 のレンズ群 G 2 との空気間隔を示し、ズーム間隔 V 3 は第 2 のレンズ群 G 2 と第 3 のレンズ群 G 3 との空気間隔を示す。

【 0 0 6 8 】

図 9 に、投射光学系 2 の第 1 の中間像 3 1 および第 2 の中間像 3 2 の近傍の光束の様子をスポットダイアグラムにより示している。第 2 の中間像 3 2 は台形歪みを含み、第 1 の中間像 3 1 は台形歪みが補正されていることがわかる。

【 0 0 6 9 】

本例の投射光学系 2 の上述した条件 (1) ~ (5) は以下のようになる。

条件 (1) $E X P / d w = 0 . 2 8$

条件 (2) $d n / d w = 0 . 2 5$

条件 (3) $M D / \underline{I C} = 4 . 3$

条件 (4) $L L D / \underline{I C} = 1 . 0$

条件 (5) $M D / \underline{S T D 2} = \underline{1 5 . 6}$

したがって、本例の投射光学系 2 も、条件 (1) ~ (5) を満たしている。

【 0 0 7 0 】

このように、第 2 の実施形態に係る投射光学系 2 は、13 枚のレンズ L 1 1 ~ L 1 3、L 2 1 ~ L 2 2 および L 3 1 ~ L 3 8 と、1 枚のミラー 2 1 との構成により、F 値が 2 . 6 2 と比較的明るく、ズームが可能で、最大画角 (全画角) が 7 5 . 3 4 度、広角端における焦点距離が 3 . 6 3 と広角で鮮明な画像を投射できる、高性能で非テレセントリックな投射光学系である。

【 0 0 7 1 】

第 3 の実施形態

図 1 0 に、第 3 の実施形態に係る投射光学系 3 を示している。この投射光学系 3 は、入射側がテレセントリックのズーム可能な投射光学系である。投射光学系 3 は、D M D 5 の側 (縮小側) から順に、複数のレンズを含む第 1 の光学系 1 0 と、第 1 の光学系 1 0 から出射された光を反射して拡大側のスクリーン 9 に投影する第 1 の反射面 2 1 a を含む第 2 の光学系 2 0 とを有する。第 1 の光学系 1 0 は、16 枚のレンズ L 1 1、L 2 1 ~ L 2 6、L 3 1 ~ L 3 2 および L 4 1 ~ L 4 7 を含み、第 2 の光学系 2 0 は、非球面の第 1 の反射面 2 1 a を備えたミラー (凹面鏡) 2 1 を含む。

【 0 0 7 2 】

本例の第 1 の光学系 1 0 は、変倍を行う光学系であり、D M D 5 の側から順に、正の屈折力を備えた第 1 のレンズ群 G 1 と、正の屈折力を備えた第 2 のレンズ群 (前群) G 2 と、正の屈折力を備えた第 3 のレンズ群 (中群) G 3 と、正の屈折力を備えた第 4 のレンズ群 (後群) G 4 とを含む。また、本例の第 1 の光学系 1 0 も、内部に結像された第 1 の中間像 3 1 を第 1 の光学系 1 0 よりも拡大側に第 2 の中間像 3 2 として結像する光学系であり、D M D 5 により形成された画像を第 1 の中間像 3 1 として結像させる負のパワーの第 1 の屈折光学系 1 1 と、第 1 の中間像 3 1 を第 2 の中間像 3 2 として結像させる正のパワーの第 2 の屈折光学系 1 2 とを含む。第 1 の中間像 3 1 は第 4 のレンズ群 G 4 の内部に結像され、第 1 のレンズ群 G 1 と、第 2 のレンズ群 G 2 と、第 3 のレンズ群 G 3 と、第 4 のレンズ群 G 4 の最初 (縮小側) のレンズ L 4 1 とが第 1 の屈折光学系 1 1 を構成し、第 4

【 0 0 7 3 】

最も D M D 5 側 (最も縮小側) の第 1 のレンズ群 G 1 は、全体が正の屈折力を備えたレンズ群である。第 1 のレンズ群 G 1 は、拡大側に凸の正メニスカスレンズ L 1 1 から構成されている。第 1 のレンズ群 G 1 の D M D 5 の側には、D M D 5 の側から順に、1 枚のガラス製のカバーガラス C G と、1 枚のガラス製の T I R プリズム P r とが配置されており、D M D 5 からの投影光はテレセントリックまたはそれに近い状態で投射光学系 3 に入る。

【 0 0 7 4 】

第 2 のレンズ群 (前群) G 2 は、全体が正の屈折力を備えたレンズ群である。第 2 のレ

10

20

30

40

50

レンズ群 G 2 は、D M D 5 の側から順に配置された、両凸の正レンズ L 2 1 と、2 枚貼合の第 1 の接合レンズ（バルサムレンズ、ダブレット）L B 1 と、2 枚貼合の第 2 の接合レンズ L B 2 と、拡大側に凸の正メニスカスレンズ L 2 6 とから構成されている。第 1 の接合レンズ L B 1 は、D M D 5 の側から順に配置された両凸の正レンズ L 2 2 と、両凹の負レンズ L 2 3 とから構成されている。第 2 の接合レンズ L B 2 は、D M D 5 の側から順に配置された両凹の負レンズ L 2 4 と、両凸の正レンズ L 2 5 とから構成されている。正レンズ L 2 5 の拡大側の面 S 1 0 は非球面である。正レンズ L 2 5 の拡大側、すなわち正レンズ L 2 5 および正メニスカスレンズ L 2 6 の間の空間には、第 1 の開口絞り S t 1 が配置されている。

【 0 0 7 5 】

第 3 のレンズ群（中群）G 3 は、全体が正の屈折力を備えたレンズ群である。第 3 のレンズ群 G 3 は、D M D 5 の側から順に配置された、両凹の負レンズ L 3 1 と、両凸の正レンズ L 3 2 とから構成されている。

【 0 0 7 6 】

最も拡大側の第 4 のレンズ群（後群）G 4 は、全体が正の屈折力を備えたレンズ群である。第 4 のレンズ群 G 4 は、D M D 5 の側から順に配置された、両凸の樹脂製の正メニスカスレンズ L 4 1 と、D M D 5 の側に凸の樹脂製の正メニスカスレンズ L 4 2 と、両凸の正レンズ L 4 3 と、2 枚貼合の第 3 の接合レンズ L B 3 と、2 枚貼合の第 4 の接合レンズ L B 4 とから構成されている。第 3 の接合レンズ L B 3 は、D M D 5 の側から順に配置された両凸の正レンズ L 4 4 と、両凹の負レンズ L 4 5 とから構成されている。第 4 の接合レンズ L B 4 は、D M D 5 の側から順に配置された両凹の負レンズ L 4 6 と、両凸の正レンズ L 4 7 とから構成されている。正メニスカスレンズ L 4 1 の両面、すなわち縮小側の面 S 1 7 および拡大側の面 S 1 8 は非球面である。さらに、正メニスカスレンズ L 4 2 の両面 S 1 9 および S 2 0 も非球面である。第 4 のレンズ群 G 4 の拡大側には、第 2 の開口絞り S t 2 が配置されている。

【 0 0 7 7 】

本例の投射光学系 3 は、広角端から望遠端に変倍する際に、第 1 のレンズ群 G 1 は動かず、第 2 のレンズ群（前群）G 2 は縮小側から拡大側へ動き、第 3 のレンズ群（中群）G 3 は第 2 のレンズ群 G 2 の動きを補償するように拡大側から縮小側へ動き、リレーレンズである第 4 のレンズ群 G 4 への入射光束が一定条件になるようにする。第 4 のレンズ群（後群）G 4 は動かない。本例の投射光学系 3 は、変倍の際に動かない第 4 のレンズ群 G 4 内で焦点調整を行うフローティングフォーカスまたはインナーフォーカスタイプの光学系である。本例のフォーカシングは、第 4 のレンズ群 G 4 に含まれる 1 つ以上のレンズを動かすことにより行われる。

【 0 0 7 8 】

第 1 から第 3 のレンズ群 G 1 ~ G 3 およびレンズ L 4 1 から構成される第 1 の屈折光学系 1 1 は、全体が負の屈折力を備えたレンズ系であり、D M D 5 の側から順に配置された、正メニスカスレンズ L 1 1 と、正レンズ L 2 1 と、第 1 の接合レンズ L B 1 と、第 2 の接合レンズ L B 2 と、第 1 の絞り S t 1 と、正メニスカスレンズ L 2 6 と、負レンズ L 3 1 と、正レンズ L 3 2 と、正メニスカスレンズ L 4 1 とを含む。第 1 の屈折光学系 1 1 よりも拡大側、すなわち第 1 の屈折光学系 1 1 および第 2 の屈折光学系 1 2 の間の空間 S p 1 に第 1 の中間像 3 1 が結像される。本例の第 1 の中間像 3 1 は、正メニスカスレンズ L 4 1 の拡大側に、正メニスカスレンズ L 4 1 から距離 1 . 0 0 mm を隔てて結像される。

【 0 0 7 9 】

第 4 のレンズ群 G 4 の残りのレンズ L 4 2 ~ L 4 7 により構成される第 2 の屈折光学系 1 2 は、全体が正の屈折力を備えたレンズ系であり、D M D 5 の側から順に配置された、正メニスカスレンズ L 4 2 と、正レンズ L 4 3 と、第 3 の接合レンズ L B 3 と、第 4 の接合レンズ L B 4 と、第 2 の絞り S t 2 とを含む。第 2 の屈折光学系 1 2 よりも拡大側、すなわち第 2 の屈折光学系 1 2 および第 1 の反射面 2 1 a の間の空間 S p 2 に第 2 の中間像 3 2 が結像される。本例の第 2 の中間像 3 2 は、第 2 の開口絞り S t 2 の拡大側に、第 2

10

20

30

40

50

の開口絞り S t 2 から距離 33.80 mm を隔てて結像される。

【0080】

この投射光学系 3 においても、第 1 の屈折光学系 1 1 が第 1 の光学系 1 0 の内部の空間 S p 1 に第 1 の中間像 3 1 を結像させ、第 2 の屈折光学系 1 2 が第 1 の光学系 1 0 よりも拡大側の空間 S p 2 に第 2 の中間像 3 2 を結像させている。入射側がテレセントリックの投射光学系 3 においては、第 1 の屈折光学系 1 1 のパワーは第 2 の屈折光学系 1 2 のパワーよりも小さく、第 1 の中間像 3 1 と第 2 の中間像 3 2 とは非テレセントリックの投射光学系 2 よりも拡大側にシフトし、第 1 の中間像 3 1 と第 2 の中間像 3 2 とが光軸 1 0 1 を挟んで反対側の領域 1 0 1 a および 1 0 1 b にそれぞれ形成される。したがって、第 2 の屈折光学系 1 2 を通過する光束は光軸 1 0 1 の周りにさらに集中し、第 2 の屈折光学系 1 2

10

【0081】

また、この投射光学系 3 においても、DMD 5 に形成される第 1 の像面の中心からスクリーン 9 の第 2 の像面の中心に至る光線 1 1 0 が第 1 の光学系 1 0 および第 2 の光学系 2 0 の共通する光軸 1 0 1 と 3 回交差してスクリーン 9 に至る。このため、光軸 1 0 1 の周りに回転対称なレンズにより第 1 の光学系 1 0 の拡大側、すなわち、第 2 の屈折光学系 1 2 を構成しても、光軸 1 0 1 の周りに回転対称の第 1 の反射面 2 1 a に反射された投影光との干渉を抑制でき、第 1 の反射面 2 1 a から、より光軸 1 0 1 に近い光線を射出できる。すなわち、回転対称の第 1 の反射面 2 1 a の光軸 1 0 1 に近い領域まで有効に利用でき、光軸 1 0 1 に対して仰角は小さく、画角が大きな像をスクリーン 9 に拡大投影できる。

20

【0082】

さらに、第 1 の中間像 3 1 を第 1 の光学系 1 0 の内部に結像させて、その第 1 の中間像 3 1 を第 1 の光学系 1 0 の拡大側に第 2 の中間像 3 2 として結像させているので、第 2 の中間像 3 2 を形成するための第 2 の絞り S t 2 を第 1 の光学系 1 0 よりも拡大側に配置できる。したがって、この投射光学系 3 においても、投射光学系 1 と同様に第 1 の光学系 1 0 の拡大側のレンズ径を小さくでき、第 1 の光学系 1 0 と第 1 の反射面 2 1 a との空気間隔を短くできる。このため、コンパクトで広角化が可能な投射光学系 3 を提供できる。

【0083】

また、第 1 の屈折光学系 1 1 により像面湾曲、非点収差およびコマ収差などの諸収差を補正でき、さらに、第 2 の屈折光学系 1 2 により台形歪みなどの歪曲収差を補正できる、高性能で変倍可能な投射光学系 3 を提供できる。また、この第 1 の光学系 1 0 においても、第 1 の屈折光学系 1 1 の最も拡大側の両凸の樹脂製の正レンズ L 4 1 の両面 S 1 7 および S 1 8 は非球面であり、DMD 5 により形成された画像を拡大させた第 1 の中間像 3 1 として鮮明に結像できるようになっている。また、第 2 の屈折光学系 1 2 の最も縮小側に配置された縮小側に凸の正メニスカスレンズ L 4 2 の両面 S 1 9 および S 2 0 は曲率半径が小さく（曲率が大きく）、ミラー 2 1 の側の面 S 2 0 は、面 S 1 9 に次いで曲率半径が小さい（曲率が大きい）。このため、縮小側に多少傾いて形成される第 1 の中間像 3 1 を台形歪みのある第 2 の中間像 3 2 として結像させやすい光学系となっている。したがって、鮮明で台形補正がされた画像をスクリーン 9 に投影できる。

30

【0084】

また、この第 1 の屈折光学系 1 1 の正レンズ L 4 1 は有効径 49.0 mm であり、第 1 の屈折光学系 1 1 および第 1 の光学系 1 0 の最大有効径を与えるレンズとなっている。第 2 の屈折光学系 1 2 の最も拡大側の正レンズ L 4 7 の有効径は、本例では 11.0 mm であり、第 1 の屈折光学系 1 1 の最大有効径よりも小さい。さらに、第 2 の屈折光学系 1 2 の最大有効径を与える正メニスカスレンズ L 4 2 の有効径は 32.0 mm であり、第 1 の屈折光学系 1 1 の最大有効径に対して第 2 の屈折光学系 1 2 の最大有効径は小さい。

40

【0085】

さらに、第 2 の屈折光学系 1 2 は、歪みの少ない第 1 の中間像 3 1 を上下左右に反転させた第 2 の中間像 3 2 として結像させているため、散乱光（不要光）をカットしながら台形歪みのある第 2 の中間像 3 2 として結像させやすく、台形歪みが実質的にキャンセルさ

50

れた鮮明でかつ拡大された画像をスクリーン 9 に投射可能な投射光学系 3 を提供できる。

【 0 0 8 6 】

図 1 1 に、投射光学系 3 の第 1 の光学系 1 0 の各レンズのレンズデータを示している。図 1 2 に、投射光学系 3 の諸数値を示している。また、本例では、第 2 の絞り S t 2 から光軸 1 0 1 上の第 2 の中間像 3 2 の光学的距離 d_1 が 5 9 . 0 0 mm、第 2 の絞り S t 2 から最周辺（最近辺）の第 2 の中間像 3 2 の光学的距離 d_2 が 8 . 5 0 mm であるため、第 2 の中間像 3 2 の位置は、第 2 の絞り S t 2 から 3 3 . 8 0 mm の位置を示している。なお、ズーム間隔 $V_1 \sim V_3$ は、それぞれ第 1 のレンズ群 G 1 と第 2 のレンズ群 G 2 と、第 2 のレンズ群 G 2 と第 3 のレンズ群 G 3 と、第 3 のレンズ群 G 3 と第 4 のレンズ群 G 4 との間の空気間隔を示す。図 1 3 に、投射光学系 3 の第 1 の中間像 3 1 および第 2 の中間像 3 2 の近傍の平面における光束の様子を示している。

10

【 0 0 8 7 】

本例の投射光学系 3 の上述した条件 (1) ~ (5) は、以下のようになる。

条件 (1) $E X P / d w = 0 . 3 4$

条件 (2) $d n / d w = 0 . 2 5$

条件 (3) $M D / \underline{I C} = 3 . 9$

条件 (4) $L L D / \underline{I C} = 0 . 4$

条件 (5) $M D / \underline{S T D 2} = 8 . 8$

したがって、本例の投射光学系 3 も、条件 (1) ~ (5) を満たしている。

20

【 0 0 8 8 】

したがって、第 3 の実施形態に係る投射光学系 3 は、1 6 枚のレンズ L 1 1、L 2 1 ~ L 2 6、L 3 1 ~ L 3 2 および L 4 1 ~ L 4 7 と、1 枚のミラー 2 1 との構成により、F 値が 2 . 4 3 と比較的明るく、ズームが可能で、最大画角（全画角）が 7 5 . 3 2 度、広角端における焦点距離が 3 . 4 6 と広角で鮮明な画像を投射できる、高性能でテレセントリックな投射光学系である。

【 0 0 8 9 】

なお、本発明はこれらの実施形態に限定されず、特許請求の範囲に規定されたものを含む。上記に記載の光学系は一例であり、投射光学系に含まれるレンズの面および/または鏡面（反射面）は回転対称の球面または非球面であってもよく、非対称な面、たとえば、自由曲面であってもよい。さらに、第 1 の光学系に含まれるレンズの少なくとも何れかおよび/または第 2 の光学系に含まれる反射面は、光軸から偏心していてもよい。その場合、各光学系の光軸は主たる光学素子の光軸を含む。また、第 1 の光学系の光軸と第 2 の光学系の光軸は共通であってもよく、偏心（シフト）していてもよい。また、ライトバルブ 5 は、白色光源をダイクロイックフィルタ（ミラー）などにより 3 色に分離させる 3 板式の光変調器 5 であってもよく、光変調器 5 は LCD（液晶パネル）や、自発光型の有機 EL などであってもよい。また、第 1 の光学系 1 0 および第 2 の光学系 2 0 は光路を折り曲げるプリズムあるいはミラーをさらに備えていてもよい。たとえば、第 1 の反射面 2 1 a の縮小側および/または拡大側に 1 または複数のミラーまたはプリズムが配置されていてもよい。また、第 2 の光学系 2 0 の拡大側にさらに屈折光学系を備えていてもよい。

30

40

【 0 0 9 0 】

本発明の態様の 1 つは、縮小側の第 1 の像面から拡大側の第 2 の像面へ投射する投射光学系である。この投射光学系は、複数のレンズを含み、縮小側から入射した光により拡大側に第 1 の中間像を結像する第 1 の屈折光学系と、複数のレンズを含み、縮小側の第 1 の中間像を拡大側に第 2 の中間像として結像する第 2 の屈折光学系と、第 2 の中間像よりも拡大側に位置する正の屈折力の第 1 の反射面を含む第 1 の反射光学系とを有する。

【 0 0 9 1 】

50

この投射光学系においては、第1の屈折光学系が第1の中間像を結像し、その第1の中間像を第2の屈折光学系が拡大側に第2の中間像として結像することにより、第2の屈折光学系の拡大側のレンズ径を小さくできる。したがって、第2の屈折光学系をコンパクトにすることができ、さらに、第2の屈折光学系から第1の反射面の空気間隔（光学的距離）を短くしやすく、第1の反射面を小型化できる。

【0092】

第1の反射面において非点収差などとともに台形歪みを補正するように設計することは容易ではない。この投射光学系においては、第1の屈折光学系により非点収差などの収差を補正した第1の中間像を結像させ、第2の屈折光学系によりおもに台形歪みなどの調整を行った第2の中間像を結像させやすい。したがって、鮮明で台形補正がされた像を投射しやすい。

10

【0093】

この投射光学系においては、第1の中間像、第2の中間像および第1の反射面で結像される像がそれぞれ反転する。したがって、第1の屈折光学系が、第1の像面に形成された画像を第1の中間像として結像する場合、第1の像面の中心から第2の像面の中心に至る光線が第1の屈折光学系の光軸、第2の屈折光学系の光軸および第1の反射光学系の光軸のいずれかと3回交差して第2の像面に至るように投射光学系をデザインできる。

【0094】

第1の像面の中心から第2の像面の中心に至る光線が、第1の屈折光学系の光軸、第2の屈折光学系の光軸および第1の反射光学系の光軸が共通の場合はその共通の光軸と、光軸がシフトしている場合はそれらのいずれかと3回交差して第2の像面に至る場合、第1の像面と第1の反射面との間では光線が光軸と2回交差する。したがって、第1の像面と第1の反射面とを光軸に対して同方向に配置できる。すなわち、第1の像面と第1の反射面とを光軸を含む第1の面に対して同方向に配置できる。このため、第1の像面を照明する照明光学系を第1の面に対し第1の反射面と同じ方向に配置することができる。したがって、第1の面に対し同じ方向のスペースを照明光学系と第1の反射面とで共有できる。このため、投射光学系および照明光学系を含めたプロジェクタを薄型にできる。

20

【0095】

拡大側の第2の屈折光学系の最も拡大側のレンズの有効径は、縮小側の第1の屈折光学系の最大有効径よりも小さいことが好ましい。さらに、拡大側の第2の屈折光学系の最大有効径は、縮小側の第1の屈折光学系の最大有効径よりも小さいことがいっそう好ましい。第1の反射面に至る光線と、第1の反射面により反射される光線との干渉を抑制でき、コンパクトな投射光学系を提供できる。

30

【0096】

また、第1の屈折光学系は等倍または拡大光学系であることが望ましい。第1の中間像は縮小された像であってもよいが、第1の中間像を等倍または拡大することにより第1の屈折光学系よりも拡大側の光学系における倍率を相対的に抑制でき、収差補正が容易になる。したがって、第1の屈折光学系により像面湾曲、非点収差およびコマ収差などの諸収差を補正でき、さらに、第2の屈折光学系により台形歪みなどの歪曲収差を補正できる。

【0097】

また、この投射光学系は、第1の像面および第1の中間像の間に配置された第1の絞りと、第1の中間像および前記第2の中間像の間に配置された第2の絞りとを含むことが望ましい。第2の屈折光学系の拡大側のサイズをいっそうコンパクトにできる。さらに、第2の屈折光学系と第1の反射面との空気間隔を短縮できるので第1の反射面のサイズもいっそうコンパクトにできる。

40

【0098】

すなわち、この投射光学系は、第1の屈折光学系および第2の屈折光学系を含む第1の光学系を有し、第1の光学系の内部に第1の中間像を結像させて、第1の光学系を第1の屈折光学系と第2の屈折光学系とに分割することにより、第1の光学系の射出瞳を第1の反射面の側に近付けることができる。このため、第1の反射面を小型化できる。この場合

50

、第1の像面と第1の中間像との間に配置された第1の絞りを第1の光学系の絞りとしたときの射出瞳および第1の反射面の光学的距離 $E \times P$ と、第1の像面および第1の反射面の光学的距離 d_w とが以下の条件(1)を満たすことが望ましい。

$$0.1 < E \times P / d_w < 0.6 \quad \dots (1)$$

【0099】

さらに、第1の光学系の内部に第1の中間像を結像させて、第1の光学系を第1の屈折光学系と第2の屈折光学系とに分割することにより、第1の中間像および第2の中間像との間に第2の絞りを配置して光束を絞ることができる。このため、第1の光学系の拡大側のレンズサイズ、特に第2の屈折光学系の拡大側のレンズサイズを小型化することができる。第2の絞りは、第2の屈折光学系の内部に配置してもよい。第2の絞りは偏心絞りであることが好ましく、フレアやゴーストの原因となる散乱光を遮断できる。

10

【0100】

また、第1の光学系の拡大側、すなわち第2の屈折光学系の拡大側のレンズサイズを小さくできるので、光軸を中心とした回転対称なレンズを用いても第1の反射面からの光線とレンズとの干渉を抑制できる。このため、第2の屈折光学系と第1の反射面との距離を確保するために第2の屈折光学系の拡大側に負のパワーのレンズを配置しなくてもよい。したがって、第2の屈折光学系の最も拡大側のレンズは正レンズあるいは正のメニスカスレンズであってもよく、さらに、接合レンズであってもよい。

【0101】

さらに、第2の屈折光学系の最も拡大側のレンズおよび第1の反射面の光学的距離 d_n と、第1の像面および第1の反射面の光学的距離 d_w とが以下の条件(2)を満たすことが望ましい。

20

$$0.1 < d_n / d_w < 0.3 \quad \dots (2)$$

第2の屈折光学系に含まれるレンズと第1の反射面との間の空間を小さくできるので、レンズおよび第1の反射面との間の投影光を射出するための開口部が小さくなる。したがって、いっそうコンパクトなプロジェクタを提供でき、開口部から侵入するチリやホコリなどの要因によるレンズおよび反射面の損傷のリスクを低減できる。

【0102】

この投射光学系において、典型的には第1の中間像と第2の中間像とは光軸を挟んで反対側に結像される。第1の光学系は、第1の中間像の縮小側に1または複数の中間像が形成されるものであってもよい。また、第1の反射光学系は第1の反射面の前後に1または複数の反射面を含んでいてもよい。また、投射光学系は、第1の反射光学系の拡大側にさらに屈折光学系を含んでいてもよい。

30

【0103】

また、第1の光学系は変倍光学系であってもよい。第1の光学系は、縮小側から順に、正の屈折力を備えた前群と、正の屈折力を備えた中群と、正の屈折力を備えた後群とを含み、広角端から望遠端に変倍する際に、前群は縮小側から拡大側へ動き、中群は前群の動きを補償するように動き、後群は固定され、前記第1の中間像は後群の内部に結像されることが望ましい。中群により後群への入射光束を一定状態に補償でき、変倍中の第1の中間像の動きを抑制できる。したがって、第1の中間像および第2の中間像の位置をほとんど動かさずに第2の像面に投影される像をズームできる。

40

【0104】

また、広角端から望遠端に変倍する際に、前群の移動により主に第1の中間像の倍率を変更でき、中群の移動により像面湾曲、非点収差およびコマ収差などの諸収差を補正できる。このため、収差変動および第1の中間像の位置変動を抑えた変倍光学系を含む高解像の投射光学系を提供できる。

【0105】

本発明の他の態様の1つは、上記の投射光学系と、第1の像面に画像を形成する光変調器とを有するプロジェクタである。このプロジェクタは、第1の像面を照明する照明光学系であって、光軸を含む第1の面に対して第1の反射面と同方向に配置された照明光学系

50

【図 8】

(a)

焦点距離(広角端)	F値	最大画角	変倍比	イメージサークル
3.63	2.62	75.34	1.1	25.52

(b)

間隔		
ライトバルブ~第1の反射面	300.01	
ライトバルブ~L38	225.01	
屈折光学系	217.01	
L31~第1の中間像	15.00	
S12~第2の中間像	37.40	
L38~第1の反射面	75.00	
ライトバルブ~第1の中間像	133.77	
第1の中間像~第1の反射面	168.24	
第1の光学系の射出瞳~第1の反射面	84.40	

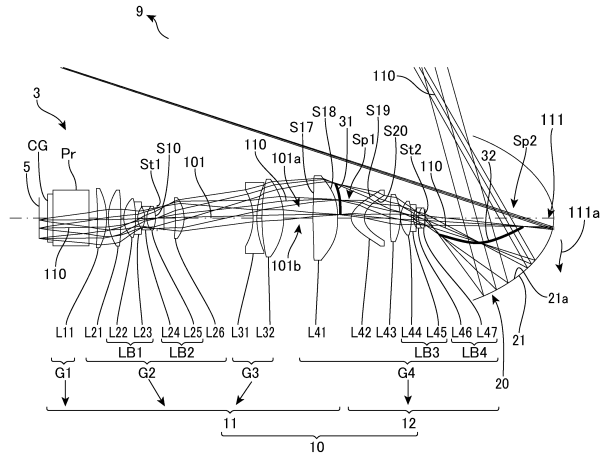
(c)

	K	A	B	C	D
S1	0.0000	-7.1940E-05	-5.0600E-07	-2.8620E-09	-1.6980E-10
S2	0.0000	-1.8340E-06	-5.7570E-07	-3.4590E-09	-1.0390E-10
S11	-0.1330	-2.0050E-05	-1.6660E-09	2.6710E-11	-3.0960E-14
S12	0.0000	-4.8210E-05	3.6240E-08	-2.1840E-12	-2.3130E-14
S13	-0.5940	-2.5050E-05	7.5870E-08	-2.0240E-10	1.2480E-13
S14	0.0000	5.5910E-07	7.1730E-08	-3.0370E-10	4.1550E-13
第1の反射面	-0.7330	2.0080E-06	-5.9310E-10	1.7690E-13	-2.1360E-17

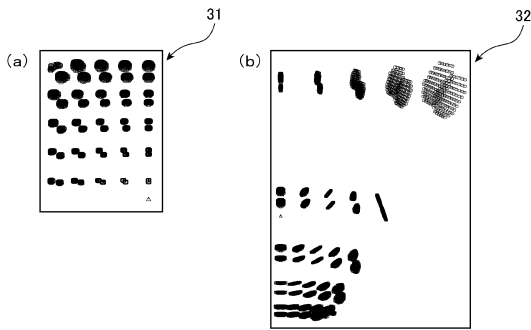
(d)

ズーム間隔	広角端	望遠端
V1	17.50	19.12
V2	1.00	27.42
V3	29.04	1.00

【図 10】



【図 9】



【図 11】

レンズ面番号	曲率半径 (R)	間隔 (d)	有効径 (D)	屈折率 (nd)	アッベ数 (vd)	レンズ名	焦点距離	群	光学系	材料
ライトバルブ	Flat	5.00								
カバーガラス	Flat	3.00		1.48749	70.2					S-FSL5
プリズム	Flat	21.00		1.51680	64.2					BK7
	Flat	5.00								
1	-227.86	5.31	34.0	1.74320	49.3	L11	70.7		70.7	S-LAM60
2	-43.26	V1	34.0							
3	33.73	7.34	32.0	1.84666	23.8	L21	33.9			S-TIH53
4	-185.02	1.67	31.0							
5	17.62	6.93	22.0	1.59522	67.7	L22	23.0	-32.3		S-FPM2
6	-52.57	1.20	18.0	1.80518	25.4	L23	-11.1			S-TIH6
7	11.02	4.10	13.0							
8	-14.96	1.20	13.0	1.75520	27.5	L24	-8.7	-126.0		S-TIH4
9	12.26	5.05	13.0	1.74320	49.3	L25	10.9		48.6	S-LAM60
10	-19.90	5.00	13.0						-154.2	
第1の絞り	Flat	6.70	15.0			St1				
11	-91.11	4.99	22.0	1.80100	35.0	L26	34.4			S-LAM66
12	-21.80	V2	23.0							
13	-36.60	2.20	35.0	1.48749	70.2	L31	-44.1			S-FSL5
14	53.63	2.95	41.0							
15	115.04	12.66	43.0	1.74320	49.3	L32	42.0		160.5	S-LAM60
16	-41.01	V3	45.0							
17	167.58	14.37	49.0	1.53113	55.8	L41	110.5			Plastic
18	-88.10	7.96	49.0							
19	6.40	7.61	32.0	1.53113	55.8	L42	21.4			Plastic
20	8.54	14.97	28.0							
21	154.06	6.00	27.0	1.74320	49.3	L43	40.7			SLAM60
22	-37.16	0.20	26.0							
23	16.77	0.26	19.0	1.81600	46.6	L44	15.5	-1508.6		SLAH59
24	-43.18	1.20	15.0	1.69895	30.1	L45	-12.2		37.9	STIM35
25	10.82	1.84	11.0							
26	-443.31	1.20	11.0	1.65412	39.7	L46	-17.5	29.2		SNBH5
27	11.85	3.59	10.0	1.81600	46.6	L47	11.3		32.0	SLAH59
28	-36.37	0.20	11.0							
第2の絞り	Flat	75.00	11.0			St2				
第1の反射面	-30.88	-510.00	97.0							
スクリーン	Flat									

【図 12】

(a)

焦点距離(広角端)	F値	最大画角	変倍比	イメージサークル
3.46	2.43	75.32	1.1	25.11

(b)

間隔		
ライトバルブ~第1の反射面	300.01	
ライトバルブ~L47	224.81	
屈折光学系	191.01	
L41~第1の中間像	1.00	
S12~第2の中間像	33.80	
L47~第1の反射面	75.20	
ライトバルブ~第1の中間像	174.98	
第1の中間像~第1の反射面	125.03	
第1の光学系の射出瞳~第1の反射面	100.60	

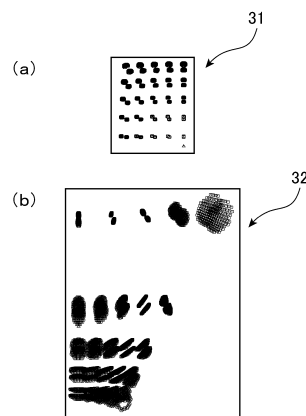
(c)

	K	A	B	C	D	E	F
S10	-1.5850	-8.2680E-06	3.8170E-07	-1.9920E-08	6.7190E-10	-1.1630E-11	8.2140E-14
S17	0.0000	-1.0360E-05	3.3870E-08	-6.8450E-11	5.1720E-14		
S18	0.0000	-4.3270E-05	1.0400E-07	-1.3810E-10	7.7230E-14		
S19	-1.5260	8.7670E-05	-2.8140E-07	5.0460E-10	-8.2370E-13		
S20	-0.7980	-2.2560E-05	2.4480E-08	-8.8150E-10	-4.2400E-13		
第1の反射面	-0.7220	1.6810E-06	-5.6840E-10	1.5020E-13	-1.0280E-17		

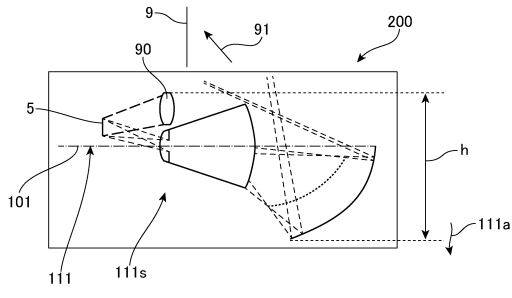
(d)

ズーム間隔	広角端	望遠端
V1	1.00	4.32
V2	40.23	32.69
V3	17.08	21.30

【図 13】



【 14 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 3 B 21/14 (2006.01) G 0 3 B 21/14 Z

(56)参考文献 特開2012-108267(JP,A)
米国特許出願公開第2011/0267687(US,A1)
特開2010-244017(JP,A)
特開2007-011248(JP,A)
特開2009-116149(JP,A)
特開2008-116688(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 2 B 9 / 0 0 - 1 7 / 0 8
G 0 2 B 2 1 / 0 2 - 2 1 / 0 4
G 0 2 B 2 5 / 0 0 - 2 5 / 0 4