

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年2月11日(11.02.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/021228 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 13/00 (2006.01) *G02B 13/18* (2006.01)
G02B 13/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/059055
- (22) 国際出願日: 2015年3月25日(25.03.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-159875 2014年8月5日(05.08.2014) JP
- (71) 出願人: オリンパス株式会社 (OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 市川啓介 (ICHIKAWA Keisuke); 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 斎藤圭介, 外 (SAITO Keisuke et al.); 〒1010051 東京都千代田区神田神保町1-4-1-3 駿河台下MKビル6階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

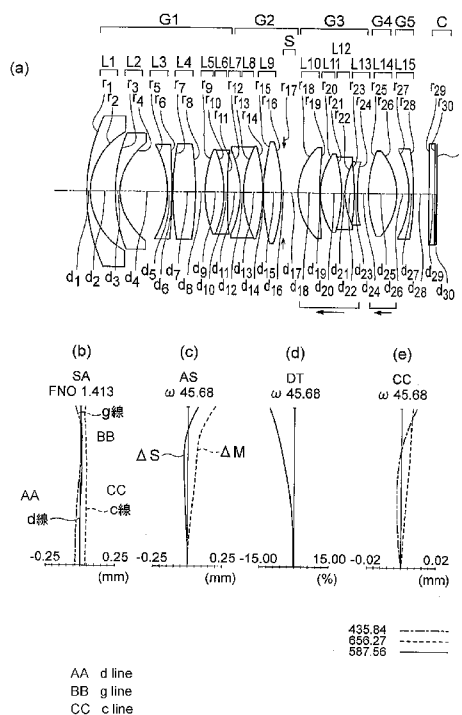
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))
- 補正された請求の範囲及び説明書 (条約第19条(1))

(54) Title: IMAGE-FORMING OPTICAL SYSTEM AND OPTICAL DEVICE PROVIDED WITH SAME

(54) 発明の名称: 結像光学系及びそれを備えた光学装置



(57) Abstract: An image-forming optical system is configured from: a first lens group G1 having a negative refractive power; a second lens group G2 having a positive refractive power; a third lens group G3 having a positive refractive power; a fourth lens group G4; and a fifth lens group G5. The image-forming optical system comprises an optical stop S within the second lens group G2. The first lens group G1 comprises a first negative lens and a first cemented lens. The second lens group G2 comprises a second cemented lens and one or a plurality of positive lens components. The third lens group G3 comprises one or a plurality of positive lens components and a third cemented lens. The first cemented lens has a negative lens on the side thereof that is farthest to the reduction side and comprises a concave surface that faces the reduction side. The second cemented lens has a positive refractive power and comprises a concave surface that faces the enlargement side. The third cemented lens has a positive refractive power and comprises a negative lens on the reduction side thereof.

(57) 要約: 結像光学系は、負の屈折力を有する第1レンズ群G1と、正の屈折力を有する第2レンズ群G2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G3と、第4レンズ群G4と、第5レンズ群G5と、から構成され、第2レンズ群G2内に、開口絞りSを有し、第1レンズ群G1は、第1の負レンズと、第1の接合レンズと、を有し、第2レンズ群G2は、第2の接合レンズと、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、を有し、第3レンズ群G3は、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、第3の接合レンズと、を有し、第1の接合レンズは最も縮小側に負レンズを有し、縮小側に凹面を向けており、第2の接合レンズは正の屈折力を有し、拡大側に凹面を向けており、第3の接合レンズは正の屈折力を有し、縮小側に負レンズを有す

明 細 書

発明の名称：結像光学系及びそれを備えた光学装置

技術分野

[0001] 本発明は、結像光学系及びそれを備えた光学装置に関する。

背景技術

[0002] 60°前後から50°前後の画角を有する撮影レンズとして、広角レンズや標準レンズ（以下、「広角撮影レンズ」という）がある。広角撮影レンズの光学系には、従来、レトロフォーカスタイプの光学系又はガウスタイプの光学系が広く用いられてきた。

[0003] レトロフォーカスタイプの光学系は、負の屈折力を有する前群と正の屈折力を有する後群とから構成されている。レトロフォーカスタイプの光学系は、十分な長さのバックフォーカスが確保できるという特徴を有している。

[0004] 一方、ガウスタイプの光学系は、特徴的な一組の接合レンズを有する。一方の接合レンズは、最も像側に負レンズを有し、最も像側の面が像側に凹面を向けている。また、他方の接合レンズは、最も物体側の面が物体側に凹面を向けている。

[0005] ガウスタイプの光学系を2つの群に分けると、一方の接合レンズから物体側の群（以下、「物体側群」という）と他方の接合レンズから像側の群（以下、「像側群」という）とに分けることができる。

[0006] なお、ガウスタイプの光学系では、屈折力の重心が光学系の像側寄りにある。すなわち、ガウスタイプの光学系では、物体側群の屈折力と像側群の屈折力は共に正の屈折力であるが、物体側群よりも像側群の方で屈折力が大きくなっている。

[0007] 従来の広角撮影レンズの光学系では、画角が広くなるほど、屈折力配置が非対称になる傾向が強くなる。そのため、従来の広角撮影レンズの光学系では、画角が広くなるほど、コマ収差、非点収差及び倍率色収差が悪化し易い。なお、屈折力配置とは、正の屈折力と負の屈折力の並び方のことである。

[0008] また、従来の広角撮影レンズの光学系では、Fナンバーが小さくなるほど、相対的にレンズ面の曲率が大きくなる。そのため、従来の広角撮影レンズの光学系では、Fナンバーが小さくなるほど、球面収差、コマ収差及び軸上色収差が多く発生する傾向があった。

[0009] また、従来の広角撮影レンズの光学系では、正の屈折力を有する後群の有効口径が大型化するという問題もあった。

[0010] これらの問題を解決した広角撮影レンズが、各種提案されている。提案されている広角撮影レンズでは、Fナンバーが1.4程度になっている。画角が広くFナンバーが小さい広角撮影レンズの光学系として、特許文献1～6に開示された光学系がある。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：特開2012-226309号公報

特許文献2：特開2004-101880号公報

特許文献3：特開2009-109723号公報

特許文献4：特開2010-039340号公報

特許文献5：特開2010-097207号公報

特許文献6：特開2011-059290号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 特許文献1や特許文献2の光学系ではFナンバーが1.24であるため、Fナンバーが小さい光学系が実現できている。しかしながら、画角が63.6°であるため、特許文献1や特許文献2の光学系では、画角が十分に広い光学系が実現できていない。

[0013] また、特許文献3、特許文献4、特許文献5及び特許文献6の光学系では、Fナンバーが1.4であるが、これ以上Fナンバーを小さくしようとするか、又は画角を広くしようとするか、上述した諸収差の補正がさらに困難と

なる。

[0014] 本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであって、広い画角と小さいFナンバーを有しながらも、諸収差が良好に補正された結像光学系及びそれを備えた光学装置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

[0015] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の結像光学系は、距離が長い方の拡大側の共役点と距離が短い方の縮小側の共役点との共役関係を形成する結像光学系であって、

結像光学系は、拡大側から順に、

負の屈折力を有する第1レンズ群と、

正の屈折力を有する第2レンズ群と、

正の屈折力を有する第3レンズ群と、

第4レンズ群と、

第5レンズ群と、から構成され、

第2レンズ群内に、開口絞りを有し、

第1レンズ群は、最も拡大側に位置する第1の負レンズと、最も縮小側に位置する第1の接合レンズと、を有し、

第2レンズ群は、拡大側から順に、第2の接合レンズと、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、を有し、

第3レンズ群は、拡大側から順に、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、第3の接合レンズと、を有し、

レンズ成分は、光路中にて拡大側面と縮小側面のみが空気に接するレンズブロックであって、

第1の接合レンズは最も縮小側に負レンズを有し、最も縮小側の面が縮小側に凹面を向けており、

第2の接合レンズは正の屈折力を有し、最も拡大側の面が拡大側に凹面を向けており、

第3の接合レンズは正の屈折力を有し、縮小側に負レンズを有することを

特徴とする。

- [0016] また、本発明の光学装置は、
光学系と、縮小側に配置された撮像素子と、を有し、
撮像素子は撮像面を有し、且つ光学系によって撮像面上に形成された像を
電気信号に変換し、
光学系が上述の結像光学系であることを特徴とする。

- [0017] また、本発明の光学装置は、
光学系と、縮小側に配置された表示素子と、を有し、
表示素子は表示面を有し、
表示面上に表示された画像は、光学系によって拡大側に投影され、
光学系が上述の結像光学系であることを特徴とする。

発明の効果

- [0018] 本発明によれば、広い画角と小さいFナンバーを有しながらも、諸収差が
良好に補正された結像光学系及びそれを備えた光学装置を提供することがで
きる。

図面の簡単な説明

- [0019] [図1]実施例1に係る結像光学系の断面図と収差図であって、(a)は、無限
遠物体合焦時のレンズ断面図、(b)、(c)、(d)及び(e)は、無限
遠物体合焦時の収差図である。
[図2]実施例2に係る結像光学系の断面図と収差図であって、(a)は、無限
遠物体合焦時のレンズ断面図、(b)、(c)、(d)及び(e)は、無限
遠物体合焦時の収差図である。
[図3]撮像装置の断面図である。
[図4]撮像装置の外観を示す前方斜視図である。
[図5]撮像装置の後方斜視図である。
[図6]撮像装置の主要部の内部回路の構成ブロック図である。
[図7]投影装置の断面図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下に、本発明に係る結像光学系及びそれを備えた光学装置の実施形態及び実施例を、図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態及び実施例によりこの発明が限定されるものではない。

[0021] 本実施形態の結像光学系は、距離が長い方の拡大側の共役点と距離が短い方の縮小側の共役点との共役関係を形成する結像光学系であって、結像光学系は、拡大側から順に、負の屈折力を有する第1レンズ群と、正の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、第4レンズ群と、第5レンズ群と、から構成され、第2レンズ群内に、開口絞りを有し、第1レンズ群は、最も拡大側に位置する第1の負レンズと、最も縮小側に位置する第1の接合レンズと、を有し、第2レンズ群は、拡大側から順に、第2の接合レンズと、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、を有し、第3レンズ群は、拡大側から順に、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、第3の接合レンズと、を有し、レンズ成分は、光路中にて拡大側面と縮小側面のみが空気に接するレンズブロックであって、第1の接合レンズは最も縮小側に負レンズを有し、最も縮小側の面が縮小側に凹面を向けており、第2の接合レンズは正の屈折力を有し、最も拡大側の面が拡大側に凹面を向けており、第3の接合レンズは正の屈折力を有し、縮小側に負レンズを有することを特徴とする。なお、レンズ成分の概念には、単レンズ、接合レンズ、複合レンズが含まれる。

[0022] 本実施形態の結像光学系の説明では、所定のレンズ群を用いて説明する。所定のレンズ群は、負の屈折力を有し、最も拡大側に位置するレンズから第1の接合レンズまでの間にあるすべてのレンズで構成されている。よって、所定のレンズ群は第1レンズ群に対応する。

[0023] 本願実施形態の結像光学系とガウスタイプの光学系とを比較しながら、本願実施形態の結像光学系について説明する。以下の説明では、拡大側に物体側が対応し、縮小側に像側が対応する。

[0024] 上述のように、ガウスタイプの光学系は、特徴的な一組の接合レンズを備えている。ここで、一方の接合レンズは、最も像側に負レンズを有し、最も

像側の面が像側に凹面を向けている。

[0025] 一方、本実施形態の結像光学系も、特徴的な一組の接合レンズ、すなわち、第1の接合レンズと第2の接合レンズとを備えている。ここで、第1の接合レンズは最も縮小側に負レンズを有し、最も縮小側の面が縮小側に凹面を向けている。よって、第1の接合レンズが一方の接合レンズに対応する。

[0026] また、ガウスタイプの光学系では、物体側群が一方の接合レンズを含んでいる。これに対して、本実施形態の結像光学系では、所定のレンズ群が第1の接合レンズを含んでいる。よって、所定のレンズ群が物体側群に対応する。

[0027] 上述のように、ガウスタイプの光学系では、物体側群よりも像側群の方で屈折力が大きくなっている。ただし、物体側群の屈折力も像側群の屈折力も、共に正の屈折力である。

[0028] これに対して、本実施形態の結像光学系では、所定のレンズ群は負の屈折力を有している。屈折力の配分状態をガウスタイプの光学系で例えると、本実施形態の結像光学系では、物体側群に負の屈折力が配分されている状態になっている。

[0029] このように、所定のレンズ群は、ガウスタイプの光学系において、正の屈折力から負の屈折力に屈折力をシフトさせたときの物体側群ということができる。なお、シフトさせる屈折力は、弱い正の屈折力であっても良い。但し、この場合の屈折力は、ガウスタイプの光学系における物体側群の屈折力よりも弱い屈折力である。

[0030] また、ガウスタイプの光学系は、画角が 50° 程度までであれば、Fナンバーが1.4程度であっても収差補正のポテンシャルが極めて高い光学系である。この収差補正に対するポテンシャルの高さは、特徴的な一組の接合レンズに基づいている。

[0031] ここで、本実施形態の結像光学では、ガウスタイプの光学系に対して、物体側群における屈折力シフトと像側群における正の屈折力の増大を行った構成を採用している。そのため、本実施形態の結像光学はガウスタイプの光学

系とは異なる。

[0032] しかしながら、本実施形態の結像光学系も、特徴的な一組の接合レンズを備えている。よって、本実施形態の結像光学系は、収差補正のポテンシャルが極めて高い光学系をベースにしている。そのため、本実施形態の結像光学系では、諸収差を良好に補正しつつ、(1) Fナンバーを小さくすること、すなわち、光学系において十分な明るさを確保すること、(11) 十分な長さのバックフォーカスを確保しつつ、結像光学系全系の焦点距離を短くすること、(111) 十分な広さの画角を確保すること、ができる。

[0033] なお、物体側群における屈折力シフトとは、ガウスタイプの光学系において、物体側群の屈折力を、本来の正の屈折力から負の屈折力にシフトさせることである。また、像側群における正の屈折力の増大とは、ガウスタイプの光学系において、像側群の正の屈折力を本来の屈折力より大きくすることである。

[0034] また、物体側群における屈折力シフトを実施すると、像側群で主光線の高さが著しく高くなる。その結果、像側群での収差が悪化する。この収差の悪化を避けるためには、他方の接合レンズよりも像側に、開口絞りを移動させることが好ましい。

[0035] 上述のように、本実施形態の結像光学系でも、所定のレンズ群が負の屈折力を有している。そこで、像側群での収差が悪化を避けるために、本実施形態の結像光学系においても、第2の接合レンズよりも縮小側に、開口絞りを位置させることが好ましい。

[0036] 上述のように、本実施形態の結像光学系は、ガウスタイプの光学系をベースにしている。よって、本実施形態の結像光学系も、収差補正のポテンシャルが極めて高い光学系になっている。このようなことから、第2の接合レンズよりも縮小側に開口絞りを位置させても、収差の悪化をある程度は防ぐことができる。

[0037] しかしながら、第2の接合レンズよりも縮小側に開口絞りを位置させると、特徴的な一組の接合レンズに対する開口絞りの位置が、ガウスタイプの光

学系と異なってしまふ。そのため、第2の接合レンズよりも縮小側に開口絞りを位置させた場合、収差をより高いレベルで補正することは難しい。

[0038] そこで、本実施形態の結像光学系では、第3の接合レンズを新たに設けている。この第3の接合レンズは、縮小側に負レンズを有する。例えば、この負レンズに正レンズを組み合わせることで、第3の接合レンズにアプラナティック色消しレンズの役目を持たせることができる。

[0039] このように、第1の接合レンズと第2の接合レンズに加え、第3の接合レンズを設けることで、本実施形態の結像光学系では、特に収差補正が困難となる球面収差、コマ収差、軸上色収差及び倍率色収差を、満足できるレベルまで補正することができる。

[0040] その結果、本実施形態の結像光学系によれば、広い画角と小さいFナンバーを有しながらも、諸収差が良好に補正された結像光学系を実現することができる。なお、広い画角とは、例えば70°以上の画角で、小さいFナンバーとは、例えば、1.2程度である。

[0041] なお、上述のように、本実施形態の結像光学系は、収差補正のポテンシャルが極めて高い光学系である。本実施形態の結像光学系では、以下の構成を備えることで、この極めて高い収差補正のポテンシャルを得ている。第1レンズ群は、最も拡大側に位置する第1の負レンズと、最も縮小側に位置する第1の接合レンズと、を有する。第2レンズ群は、拡大側から順に、第2の接合レンズと、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、を有する。第3レンズ群は、拡大側から順に、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、第3の接合レンズと、を有する。

[0042] また、本実施形態の結像光学系では、第2の接合レンズよりも縮小側に、開口絞りを位置させている。具体的には、開口絞りを第2レンズ群内に配置している。

[0043] また、本実施形態の結像光学系のより具体的な構成は以下になる。結像光学系は、拡大側から順に、負の屈折力を有する第1レンズ群と、正の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、第4

レンズ群と、第5レンズ群と、から構成されている。そして、第1レンズ群の屈折力を、ガウスタイプの光学系における正の屈折力から負の屈折力にシフトさせる一方で、第2レンズ群と第3レンズ群に、ガウスタイプの光学系に比べて、より大きな正の屈折力を与えている。

[0044] また、第1の接合レンズは最も縮小側に負レンズを有し、最も縮小側の面が縮小側に凹面を向けている。また、第2の接合レンズは正の屈折力を有し、最も拡大側の面が拡大側に凹面を向けている。また、第3の接合レンズは正の屈折力を有し、縮小側に負レンズを有する。また、レンズ成分は、光路中にて拡大側面と縮小側面のみが空気に接するレンズブロックである。

[0045] なお、各接合レンズのより好ましい構成は、次のとおりである。第1の接合レンズは、拡大側から順に、正レンズと負レンズとで構成され、最も縮小側の面が縮小側に凹面を向けている。第2の接合レンズは、負レンズと正レンズとで構成され、最も拡大側の面が拡大側に凹面を向けている。また、第3の接合レンズは、拡大側から順に、正レンズと負レンズとで構成されている。

[0046] また、本実施形態の結像光学系では、以下の条件式(1)を満足することが好ましい。

$$0.1 < M_{5\ 3G} / M_{5\ 4G} < 5 \quad (1)$$

ここで、

$M_{5\ 3G}$ は、第3レンズ群の無限遠物体合焦時の横倍率、

$M_{5\ 4G}$ は、第4レンズ群の無限遠物体合焦時の横倍率、

である。

[0047] 上述のように、本実施形態の結像光学では、ガウスタイプの光学系に対して、物体側群における屈折力シフトと像側群における正の屈折力の増大を行った構成を採用している。ここで、特に、口径比が大きい光学系ならではの要求として、球面収差、コマ収差および非点収差に関する高いレベルでの補正がある。

[0048] そこで、この高いレベルでの収差補正を実現するために、所定のレンズ群

よりも縮小側を、正の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、正の屈折力を有する第4レンズ群と、負の屈折力を有する第5レンズ群とで構成している。このように、最も縮小側のレンズ群が明確な負の屈折力を有する、という形に分割している。

[0049] そして、光学系全体として、負の屈折力、正の屈折力、正の屈折力、正の屈折力及び負の屈折力の5つのレンズ群からなる構成をとっている。その結果、広い画角と小さいFナンバーを有しながらも、諸収差が良好に補正された結像光学系を実現できる。

[0050] そして、負の屈折力を有する第3レンズ群と正の屈折力を有する第4レンズ群との関係において、条件式(1)を満足することが好ましい。

[0051] 条件式(1)の上限値を上回ると、球面収差、コマ収差及び非点収差のそれぞれを、満足できるレベルまで補正することが困難になる。一方、条件式(1)の下限値を下回ると、必要な長さのバックフォーカスを確保することが困難になる。

[0052] なお、条件式(1)に代えて、以下の条件式(1')を満足すると良い。

$$0.2 < M_{5\ 3G} / M_{5\ 4G} < 2 \quad (1')$$

さらに、条件式(1)に代えて、以下の条件式(1'')を満足するとなお良い。

$$0.4 < M_{5\ 3G} / M_{5\ 4G} < 1 \quad (1'')$$

[0053] また、本実施形態の結像光学系では、以下の条件式(2)を満足することが好ましい。

$$-1.0 < (R_{2GF} + R_{2GR}) / (R_{2GF} - R_{2GR}) < -0.1 \quad (2)$$

ここで、

R_{2GF} は、第2レンズ群において最も拡大側に位置する面の近軸曲率半径、

R_{2GR} は、第2レンズ群において最も縮小側に位置する面の近軸曲率半径、

である。

[0054] 所定のレンズ群よりも縮小側に、ガウスタイプの光学系に比べて、より大きな正の屈折力を与えると、所定のレンズ群よりも縮小側での球面収差やコ

マ収差の補正が困難になる。

[0055] そこで、所定のレンズ群よりも縮小側を、第2レンズ群から第5レンズ群までの4つのレンズ群で構成する。そして、第2レンズ群が、拡大側から順に、第2の接合レンズと、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、を含むようにする。更に、ガウスタイプの光学系において、他方の接合レンズに対して像側へ開口絞りを移動させた場合と同じになるように、第2の接合レンズよりも縮小側に、開口絞りを位置させると良い。

[0056] そして、条件式(2)を満たすことが好ましい。条件式(2)を満足することで、軸上収差の悪化と軸外収差の悪化を防止することができる。

[0057] 条件式(2)の上限値を上回ると、球面収差やコマ収差が悪化し易い。よって、条件式(2)の上限値を上回ることが好ましくない。一方、条件式(2)の下限値を下回ると、非点収差が悪化し易い。

[0058] なお、条件式(2)に代えて、以下の条件式(2')を満足すると良い。

$$-8 < (R_{2GF} + R_{2GR}) / (R_{2GF} - R_{2GR}) < -1 \quad (2')$$

さらに、条件式(2)に代えて、以下の条件式(2'')を満足するとなお良い。

$$-4.5 < (R_{2GF} + R_{2GR}) / (R_{2GF} - R_{2GR}) < -3.5 \quad (2'')$$

[0059] また、本実施形態の結像光学系では、第2の接合レンズに対して最も近くに位置する第1の正レンズを有し、以下の条件式(3)を満足することが好ましい。

$$0.001 < (R_{P1F} + R_{P1R}) / (R_{P1F} - R_{P1R}) < 5 \quad (3)$$

ここで、

R_{P1F} は、第1の正レンズの拡大側面の近軸曲率半径、

R_{P1R} は、第1の正レンズの縮小側面の近軸曲率半径、

である。

[0060] 所定のレンズ群よりも縮小側に、ガウスタイプの光学系に比べて、より大きな正の屈折力を与えると、所定のレンズ群よりも縮小側での球面収差やコマ収差の補正が困難になる。

[0061] そこで、所定のレンズ群よりも縮小側を、第2レンズ群から第5レンズ群までの4つのレンズ群で構成する。そして、第2レンズ群が、拡大側から順に、第2の接合レンズと、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、を含むようにする。更に、ガウスタイプの光学系において、他方の接合レンズ対して像側へ開口絞りを移動させた場合と同じになるように、第2の接合レンズよりも縮小側に、開口絞りを位置させると良い。

[0062] そして、条件式(3)を満たすことが好ましい。条件式(3)を満足することで、軸上収差の悪化と軸外収差の悪化を防止することができる。

[0063] 条件式(3)の上限値を上回ると、球面収差とコマ収差が悪化しやすい。よって、条件式(3)の上限値を上回ることは好ましくない。一方、条件式(3)の下限値を下回ると、非点収差が悪化し易い。

[0064] なお、条件式(3)に代えて、以下の条件式(3')を満足すると良い。

$$0.01 < (R_{P1F} + R_{P1R}) / (R_{P1F} - R_{P1R}) < 1 \quad (3')$$

さらに、条件式(3)に代えて、以下の条件式(3'')を満足するとなお良い。

$$0.05 < (R_{P1F} + R_{P1R}) / (R_{P1F} - R_{P1R}) < 0.6 \quad (3'')$$

[0065] なお、本実施形態の結像光学系は、ガウスタイプの光学系を原形としている。そして、仕様に合わせて、物体側群や像側群において、屈折力の正負や屈折力の絶対値を変化させ、高い結像性能を確保すべく詳細な構成を変えることを行なっている。

[0066] ここで、ガウスタイプの光学系は、物体側群と像側群からなり、全体として6枚のレンズ又は7枚のレンズで構成されている。その構成は、例えば、物体側から順に、正・正負・S・負正・正、もしくは、正・正負・S・負正・正・正で表される。ここで、「正」は正レンズ、「負」は負レンズ、「正負」と「負正」は接合レンズ、「S」は開口絞り、「・」は空気間隔を表している。また、開口絞りSを境にして、物体側群と像側群に分けることができる。また、像側群に、更に正レンズを配置する構成もある。

[0067] また、本実施形態の結像光学系では、フォーカスの際、第3レンズ群から

第5レンズ群までの間の空気間隔が変化することが好ましい。

[0068] フォーカスを行なうと光学系の中での光線の通り方が変わるため、通常は収差が変化する。特に、大口径比で高い光学性能を持つ光学系の場合、球面収差、コマ収差及び非点収差については、その変動が像面で生じることはほとんど許容できない。したがって、インナーフォーカスを用いる場合、フォーカスの際の空気間隔の変化は、各収差の変動が小さい部位で行なうことになる。

[0069] 本実施形態の結像光学系では、各収差の変動が小さい部位は、第3レンズ群から第5レンズ群までの間の空気間隔である。そこで、フォーカスの際、第3レンズ群から第5レンズ群までの間の空気間隔を変化させることで、球面収差、コマ収差及び非点収差について、像面で生じる変動を許容できるレベルに抑えることができる。

[0070] また、本実施形態の結像光学系では、以下の条件式（4）を満足することが好ましい。

$$-8 < (R_{5GF} + R_{5GR}) / (R_{5GF} - R_{5GR}) < -0.1 \quad (4)$$

ここで、

R_{5GF} は、第5レンズ群において最も拡大側に位置する面の近軸曲率半径、

R_{5GR} は、第5レンズ群において最も縮小側に位置する面の近軸曲率半径、である。

[0071] ガウスタイプの光学系の像側群に相当する部分、すなわち、所定のレンズ群よりも縮小側を、本実施形態の結像光学系では4つのレンズ群で構成している。そして、屈折力配置を、拡大側から順に、正の屈折力、正の屈折力、正の屈折力、負の屈折力としている。ただし、このような屈折力配置だけでは、口径比が大きい光学系では、残存する球面収差、コマ収差及び非点収差を、同時に、満足できるレベルまで補正することは困難である。

[0072] そこで、条件式（4）を満足することで、残存する球面収差、コマ収差及び非点収差を、同時に、満足できるレベルに補正することができる。なお、条件式（4）は最も縮小側に位置するレンズ群の条件式である。本実施形態

の結像光学系では、最も縮小側に位置するレンズ群が第5レンズ群なので、条件式（4）は第5レンズ群に関する条件式になっている。

[0073] 条件式（4）の上限値を上回ると、非点収差が大きくなり易い。よって、条件式（4）の上限値を上回るとは好ましくない。一方、条件式（4）の下限値を下回ると、球面収差とコマ収差が悪化し易い。

[0074] なお、条件式（4）に代えて、以下の条件式（4'）を満足すると良い。

$$-4 < (R_{5GF} + R_{5GR}) / (R_{5GF} - R_{5GR}) < -0.5 \quad (4')$$

さらに、条件式（4）に代えて、以下の条件式（4''）を満足するとなお良い。

$$-2.5 < (R_{5GF} + R_{5GR}) / (R_{5GF} - R_{5GR}) < -1.7 \quad (4'')$$

[0075] また、本実施形態の結像光学系では、第4レンズ群は1枚のレンズで構成され、1枚のレンズは、第2の正レンズであって、以下の条件式（5）を満足することが好ましい。

$$0.01 < (R_{P2F} + R_{P2R}) / (R_{P2F} - R_{P2R}) < 2 \quad (5)$$

ここで、

R_{P2F} は、第2の正レンズの拡大側面の近軸曲率半径、

R_{P2R} は、第2の正レンズの縮小側面の近軸曲率半径、

である。

[0076] ガウスタイプの光学系の像側群に相当する部分、すなわち、所定のレンズ群よりも縮小側を、本実施形態の結像光学系では4つのレンズ群で構成している。そして、屈折力配置を、拡大側から順に、正の屈折力、正の屈折力、正の屈折力、負の屈折力としている。ただし、このような屈折力配置だけでは、口径比が大きい光学系では、残存する球面収差、コマ収差及び非点収差を、同時に、満足できるレベルまで補正することは困難である。

[0077] そこで、第4レンズ群を1枚のレンズで構成すると共に、条件式（5）を満足することで、残存する球面収差、コマ収差及び非点収差を、同時に、満足できるレベルに補正することができる。

[0078] 条件式（5）の上限値を上回ると、球面収差とコマ収差が悪化し易い。一

方、条件式（５）の下限値を下回ると、非点収差が大きくなり易い。よって、条件式（５）の下限値を下回することは好ましくない。

[0079] なお、条件式（５）に代えて、以下の条件式（５'）を満足すると良い。

$$0.1 < (R_{P2F} + R_{P2R}) / (R_{P2F} - R_{P2R}) < 1 \quad (5')$$

さらに、条件式（５）に代えて、以下の条件式（５''）を満足するとなお良い。

$$0.25 < (R_{P2F} + R_{P2R}) / (R_{P2F} - R_{P2R}) < 0.5 \quad (5'')$$

[0080] また、本実施形態の結像光学系では、第１の負レンズはメニスカスレンズであることが好ましい。

[0081] 上述のように、本実施形態の結像光学系では、所定のレンズ群に負の屈折力を持たせている。そのためには、特に最も拡大側に位置するレンズを負レンズにすることが好ましい。ただし、最も拡大側に配置した負レンズは、他の位置に配置した負レンズに比べて、軸外収差の発生量に対する影響が大きい。そこで、負レンズの形状をメニスカス形状にすることで、軸外収差の悪化を防止することができる。その結果、広い画角と小さいＦナンバーを有しながらも、諸収差が良好に補正された結像光学系を実現できる。

[0082] また、本実施形態の結像光学系では、以下の条件式（６）を満足することが好ましい。

$$0.1 < (R_{N1F} + R_{N1R}) / (R_{N1F} - R_{N1R}) < 6 \quad (6)$$

ここで、

R_{N1F} は、第１の負レンズの拡大側面の近軸曲率半径、

R_{N1R} は、第１の負レンズの縮小側面の近軸曲率半径、

である。

[0083] 条件式（６）を満足することで、軸外収差の悪化を防止することができる。

[0084] 条件式（６）の上限値を上回ると、非点収差又はコマ収差が悪化し易い。一方、条件式（６）の下限値を下回ると、樽型歪曲収差が大きくなり易い。よって、条件式（６）の下限値を下回することは好ましくない。

[0085] なお、条件式（６）に代えて、以下の条件式（６'）を満足すると良い。

$$1 < (R_{N1F} + R_{N1R}) / (R_{N1F} - R_{N1R}) < 4 \quad (6')$$

さらに、条件式（６）に代えて、以下の条件式（６' '）を満足するとなお良い。

$$2.15 < (R_{N1F} + R_{N1R}) / (R_{N1F} - R_{N1R}) < 2.75 \quad (6'')$$

[0086] また、本実施形態の結像光学系では、第３レンズ群は、第３の接合レンズよりも縮小側に負レンズ成分を有し、第４レンズ群は正の屈折力を有すると共に、正レンズ成分を有し、第５レンズ群は負の屈折力を有すると共に、負レンズ成分を有することが好ましい。

[0087] 結像光学系をこのように構成することで、広い画角と小さいＦナンバーを有しながらも、諸収差が良好に補正された結像光学系を実現することができる。加えて、光学性能を向上させるためにレンズ枚数を増やした場合であっても、適切な主点位置を確保することができる。また、所定のレンズ群よりも縮小側に、ガウスタイプの光学系に比べて、より大きな正の屈折力を与えても、球面収差、コマ収差、軸上色収差及び倍率色収差満足できるレベルまで補正することができる。

[0088] また、本実施形態の結像光学系では、以下の条件式（７）を満足することが好ましい。

$$0.1 < D_{3G} / D_{4G} < 4.5 \quad (7)$$

ここで、

D_{3G} は、フォーカスの際の第３レンズ群の移動量、

D_{4G} は、フォーカスの際の第４レンズ群の移動量、

である。

[0089] フォーカスを行なうと光学系の中での光線の通り方が変わるため、通常は収差が変化する。特に、大口径比で高い光学性能を持つ光学系の場合、球面収差、コマ収差及び非点収差については、その変動が像面で生じることはほとんど許容できない。したがって、インナーフォーカスを用いる場合、フォーカスの際の空気間隔の変化は、各収差の変動が小さい部位で行なうことに

なる。

[0090] 本実施形態の結像光学系では、各収差の変動が小さい部位は、第3レンズ群から第5レンズ群までの間の空気間隔である。そこで、フォーカスの際、第3レンズ群から第5レンズ群までの間の空気間隔を変化させることで、球面収差、コマ収差及び非点収差について、像面で生じる変動を許容できるレベルに抑えることができる。

[0091] さらに、条件式(7)を満足することで、球面収差、コマ収差及び非点収差について、像面で生じる変動を、より抑えることができる。

[0092] 条件式(7)の上限値を上回るか、又は下限値を下回ると、球面収差、コマ収差及び非点収差について、像面で生じる変動を許容できるレベルに抑えることが困難となる。

[0093] なお、条件式(7)に代えて、以下の条件式(7')を満足すると良い。

$$0.5 < D_{3G} / D_{4G} < 3.5 \quad (7')$$

さらに、条件式(7)に代えて、以下の条件式(7'')を満足するとなお良い。

$$0.7 < D_{3G} / D_{4G} < 3.2 \quad (7'')$$

[0094] また、本実施形態の結像光学系では、第3レンズ群は、拡大側から順に、正レンズ成分と、第3の接合レンズと、負レンズ成分と、からなり、第3の接合レンズは、拡大側から順に、正レンズと負レンズとで構成され、第3レンズ群の負レンズ成分の形状が、両凹形状であることが好ましい。

[0095] 第3レンズ群をこのように構成することで、広い画角と小さいFナンバーを有しながらも、諸収差が良好に補正された結像光学系を実現することができる。加えて、光学性能を向上させるためにレンズ枚数を増やした場合であっても、適切な主点位置を確保することができる。また、所定のレンズ群よりも縮小側に、ガウスタイプの光学系に比べて、より大きな正の屈折力を与えても、球面収差、コマ収差、軸上色収差及び倍率色収差満足できるレベルまで補正することができる。

[0096] また、本実施形態の結像光学系では、以下の条件式(A)を満足すること

が好ましい。

$$0 < f / e_{N1F} < 2 \quad (A)$$

ここで、

f は、無限遠物体合焦時の結像光学系全系の焦点距離、

e_{N1F} は、第 1 の負レンズの拡大側面の最大有効口径、

である。

[0097] 条件式 (A) の上限値を上回ると、画角を広げることが困難になる。すなわち、画角を広げようとする、球面収差、歪曲収差及び非点収差が発生し易い。一方、条件式 (A) の下限値を下回ると、光学系が径方向に大型化し易い。

[0098] なお、条件式 (A) に代えて、以下の条件式 (A') を満足すると良い。

$$0.1 < f / e_{N1F} < 1.5 \quad (A')$$

さらに、条件式 (A) に代えて、以下の条件式 (A'') を満足するとなお良い。

$$0.2 < f / e_{N1F} < 1 \quad (A'')$$

[0099] また、本実施形態の結像光学系では、以下の条件式 (B) を満足することが好ましい。

$$0 < (f / e_{AS}) / Fno < 2 \quad (B)$$

ここで、

f は、無限物体合焦時の結像光学系全系の焦点距離、

e_{AS} は、開口絞りの最大直径、

Fno は、無限物体合焦時の結像光学系全系の F ナンバー、

である。

[0100] 条件式 (B) の上限値を上回ると、画角を広くすることが困難になる。すなわち、画角を広げようとする、球面収差と色収差の補正が困難になる。一方、条件式 (B) の下限値を下回ると、光学系が径方向に大型化し易い。

[0101] なお、条件式 (B) に代えて、以下の条件式 (B') を満足すると良い。

$$0.2 < (f / e_{AS}) / Fno < 1 \quad (B')$$

さらに、条件式 (B) に代えて、以下の条件式 (B'') を満足するとなお良い。

$$0.3 < (f / e_{AS}) / Fno < 0.9 \quad (B'')$$

[0102] また、本実施形態の結像光学系では、以下の条件式 (C) を満足することが好ましい。

$$0 < T_{air\ max} / \Sigma d \leq 0.27 \quad (C)$$

ここで、

$T_{air\ max}$ は、結像光学系の最も拡大側に位置する面から最も縮小側に位置する面までの間で最も大きい軸上空気間隔、

Σd は、結像光学系の最も拡大側に位置する面から最も縮小側に位置する面までの軸上距離、

である。

[0103] 条件式 (C) は、高い光学性能の確保、光学系の全長の短縮化及び結像系の外径の小径化に有利となる条件式である。

[0104] レンズ同士の空気間隔を適度に広くすることは、光学性能の向上に繋がる。ただし、 Σd 、すなわち、結像光学系の最も拡大側に位置するレンズ面から最も縮小側に位置するレンズ面までの軸上距離に対して、レンズ同士の空気間隔を過剰に広げて光学性能を確保することは、光学系の全長の増加と光学系の大口径化につながり易い。

[0105] そこで、条件式 (C) を満足することで、光学系の全長の短縮化と小径化を行いつつ、高い光学性能の実現に必要なレンズ枚数の確保に有利となる。

[0106] なお、条件式 (C) に代えて、以下の条件式 (C') を満足すると良い。

$$0.03 < T_{air\ max} / \Sigma d \leq 0.2 \quad (C')$$

さらに、条件式 (C) に代えて、以下の条件式 (C'') を満足するとなお良い。

$$0.07 < T_{air\ max} / \Sigma d \leq 0.16 \quad (C'')$$

[0107] また、本実施形態の光学装置は、光学系と、縮小側に配置された撮像素子と、を有し、撮像素子は撮像面を有し、且つ光学系によって撮像面上に形成

された像を電気信号に変換し、光学系が上述の結像光学系であることを特徴とする。

[0108] 本実施形態の光学装置によれば、広い撮影範囲を、低ノイズ、高解像度で撮像することができる。

[0109] また、本実施形態の光学装置は、光学系と、縮小側に配置された表示素子と、を有し、表示素子は表示面を有し、表示面上に表示された画像は、光学系によって拡大側に投影され、光学系が上述の結像光学系であることを特徴とする。

[0110] 本実施形態の光学装置によれば、広い投影範囲に、低ノイズ、高解像度で像を投影することができる。

[0111] なお、上述の結像光学系や光学装置は、複数の構成を同時に満足してもよい。このようにすることが、良好な結像光学系や光学装置を得る上で好ましい。また、好ましい構成の組み合わせは任意である。また、各条件式について、より限定した条件式の数値範囲の上限値又は下限値のみを限定しても構わない。

[0112] 以下に、結像光学系の実施例を、図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施例によりこの発明が限定されるものではない。

[0113] 以下、結像光学系の実施例 1、2 を図面に基づいて説明する。実施例 1、2 の結像光学系は、いずれも F ナンバーが 1.5 を下回る結像光学系である。

[0114] 図 1 (a)、図 2 (a) は、各実施例の結像光学系におけるレンズ断面図を示している。なお、レンズ断面図は、無限遠物体合焦時のレンズ断面図である。

[0115] また、図 1 (b)、図 2 (b) は、各実施例の結像光学系における球面収差 (SA) を示し、図 1 (c)、図 2 (c) は非点収差 (AS) を示し、図 1 (d)、図 2 (d) は歪曲収差 (DT) を示し、図 1 (e)、図 2 (e) は歪曲収差 (DT) を示している。なお、各収差図は、無限遠物体合焦時の収差図である。また " ω " は半画角を表している。

- [0116] また、各実施例のレンズ断面図では、第1レンズ群をG1、第2レンズ群をG2、第3レンズ群をG3、第4レンズ群をG4、第5レンズ群をG5、カバーガラスをC、像面をIで示してある。なお、各実施例の結像光学系は、前群と後群とに分けることができる。この場合、第1レンズ群G1が前群に対応し、残りのレンズ群が後群に対応する。
- [0117] また、図示しないが、第5レンズ群G5と像面Iとの間に、ローパスフィルタを構成する平行平板が配置されていても良い。なお、平行平板の表面に、赤外光を制限する波長域制限コートを施しても良い。また、カバーガラスCの表面に波長域制限用の多層膜を施してもよい。また、そのカバーガラスCにローパスフィルタ作用を持たせるようにしてもよい。
- [0118] また、結像光学系を撮像に用いる場合、像面Iには撮像素子が配置される。一方、結像光学系を投影に用いる場合、像面Iには表示素子が配置される。各実施例の構成の説明では、結像光学系を撮像に用いることを前提に説明する。よって、拡大側を物体側、縮小側を像側とする。
- [0119] 実施例1に係る結像光学系について説明する。図1(a)は、実施例1に係る結像光学系のレンズ断面図である。図1(b)、(c)、(d)及び(e)は実施例1に係る結像光学系の収差図である。
- [0120] 実施例1に係る結像光学系は、図1(a)に示すように、物体側から順に、負の屈折力を有する第1レンズ群G1と、正の屈折力を有する第2レンズ群G2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G3と、正の屈折力を有する第4レンズ群G4と、負の屈折力を有する第5レンズ群G5と、で構成されている。第2レンズ群G2は開口絞りSを含んでいる。
- [0121] 第1レンズ群G1は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL1と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL2と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL3と、両凸正レンズL4と、両凸正レンズL5と、両凹負レンズL6と、で構成されている。ここで、両凸正レンズL5と両凹負レンズL6とが接合されている。
- [0122] 第2レンズ群G2は、両凹負レンズL7と、両凸正レンズL8と、両凸正

レンズL 9と、で構成されている。ここで、両凹負レンズL 7と両凸正レンズL 8とが接合されている。

[0123] 第3レンズ群G 3は、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 10と、両凸正レンズL 11と、両凹負レンズL 12と、両凹負レンズL 13と、で構成されている。ここで、両凸正レンズL 11と両凹負レンズL 12とが接合されている。

[0124] 第4レンズ群G 4は、両凸正レンズL 14で構成されている。

[0125] 第5レンズ群G 5は、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 15で構成されている。

[0126] ここで、第1レンズ群G 1が所定のレンズ群である。また、両凸正レンズL 5と両凹負レンズL 6とで、第1の接合レンズが構成されている。また、両凹負レンズL 7と両凸正レンズL 8とで、第2の接合レンズが構成されている。また、両凸正レンズL 11と両凹負レンズL 12とで、第3の接合レンズが構成されている。

[0127] また、無限遠物体から近距離物体への合焦時に、正メニスカスレンズL 10、両凸正レンズL 11、両凹負レンズL 12及び両凹負レンズL 13が一体となって光軸に沿って物体側に移動すると共に、両凸正レンズL 14が光軸に沿って物体側へ移動する。

[0128] 非球面は、負メニスカスレンズL 2の両面と、正メニスカスレンズL 10の両面と、両凹負レンズL 13の像側面と、の合計5面に設けられている。

[0129] 次に、実施例2に係る結像光学系について説明する。図2（a）は、実施例2に係る結像光学系のレンズ断面図である。図2（b）、（c）、（d）及び（e）は実施例2に係る結像光学系の収差図である。

[0130] 実施例2に係る結像光学系は、図2（a）に示すように、物体側から順に、負の屈折力を有する第1レンズ群G 1と、正の屈折力を有する第2レンズ群G 2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G 3と、正の屈折力を有する第4レンズ群G 4と、負の屈折力を有する第5レンズ群G 5と、で構成されている。第2レンズ群G 2は開口絞りSを含んでいる。

- [0131] 第1レンズ群G1は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL1と、両凹負レンズL2と、両凸正レンズL3と、両凸正レンズL4と、両凹負レンズL5と、で構成されている。ここで、両凹負レンズL2と両凸正レンズL3とが接合されている。また、両凸正レンズL4と両凹負レンズL5とが接合されている。
- [0132] 第2レンズ群G2は、両凹負レンズL6と、両凸正レンズL7と、両凸正レンズL8と、で構成されている。ここで、両凹負レンズL6と両凸正レンズL7とが接合されている。
- [0133] 第3レンズ群G3は、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL9と、両凸正レンズL10と、両凹負レンズL11と、両凹負レンズL12と、で構成されている。ここで、両凸正レンズL10と両凹負レンズL11とが接合されている。
- [0134] 第4レンズ群G4は、両凸正レンズL13で構成されている。
- [0135] 第5レンズ群G5は、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL14で構成されている。
- [0136] ここで、第1レンズ群G1が所定のレンズ群である。また、両凸正レンズL4と両凹負レンズL5とで、第1の接合レンズが構成されている。また、両凹負レンズL6と両凸正レンズL7とで、第2の接合レンズが構成されている。また、両凸正レンズL10と両凹負レンズL11とで、第3の接合レンズが構成されている。
- [0137] また、無限遠物体から近距離物体への合焦時に、正メニスカスレンズL9、両凸正レンズL10、両凹負レンズL11及び両凹負レンズL12が一体となって光軸に沿って物体側に移動すると共に、両凸正レンズL13が光軸に沿って物体側へ移動する。
- [0138] 非球面は、負メニスカスレンズL1の両面と、正メニスカスレンズL9の両面と、両凹負レンズL12の像側面と、の合計5面に設けられている。
- [0139] 次に、上記各実施例の結像光学系を構成する光学部材の数値データを掲げる。なお、各実施例の数値データにおいて、 r_1 、 r_2 、…は各レンズ面の

曲率半径、 d_1 、 d_2 、…は各レンズの肉厚または空気間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} 、…は各レンズの d 線での屈折率、 ν_{d1} 、 ν_{d2} 、…は各レンズのアッベ数、*印は非球面である。また、各種データにおいて、 f は結像光学系全系の焦点距離、 FNO はFナンバー、 ω は半画角、 lH は像高、 FB はバックフォーカスである。なお、全長は、レンズ最前面からレンズ最終面までの距離にバックフォーカスを加えたものである。バックフォーカスは、レンズ最終面から近軸像面までの距離を空気換算して表したものである。また、角度の単位は°（度）である。また、無限遠は無限遠物体合焦時、近距離は近距離物体合焦時である。また、近距離における値は、物体から像までの距離である。

[0140] また、非球面形状は、光軸方向を z 、光軸に直交する方向を y にとり、円錐係数を k 、非球面係数を A_4 、 A_6 、 A_8 、 A_{10} としたとき、次の式で表される。

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + k) (y / r)^2\}^{1/2}] + A_4 y^4 + A_6 y^6 + A_8 y^8 + A_{10} y^{10}$$

また、非球面係数において、「 $e-n$ 」（ n は整数）は、「 10^{-n} 」を示している。なお、これら諸元値の記号は後述の実施例の数値データにおいても共通である。

[0141] 数値実施例 1

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	νd
物面	∞	∞		
1	80.982	1.55	1.48749	70.23
2	31.093	11.04		
3*	70.066	2.06	1.49700	81.61
4*	23.874	20.90		

5	-44.198	2.00	1.58267	46.42
6	-364.034	0.41		
7	121.274	10.00	1.84666	23.78
8	-143.318	4.33		
9	53.195	8.29	1.69680	55.53
10	-49.889	1.51	1.80518	25.42
11	231.869	5.78		
12	-45.268	1.52	1.69895	30.13
13	46.454	8.54	1.49700	81.61
14	-77.694	0.40		
15	90.149	8.00	1.84666	23.78
16	-78.759	1.20		
17(絞り)	∞	可変		
18*	29.688	9.46	1.49700	81.61
19*	155.316	0.40		
20	32.436	9.37	1.43875	94.93
21	-61.296	1.50	1.64769	33.79
22	31.260	4.02		
23	-106.774	1.50	1.88202	37.22
24*	543.118	可変		
25	54.280	12.50	1.43875	94.93
26	-30.008	可変		
27	-41.745	2.00	1.68893	31.07
28	-130.259	6.91		
29	∞	2.40	1.51633	64.14
30	∞	1.00		
像面	∞			

非球面データ

第3面

$$k=0.000$$

$$A4=-5.73100e-07, A6=7.04995e-10, A8=-1.97070e-13, A10=2.50300e-16$$

第4面

$$k=-0.552$$

第18面

$$k=0.000$$

$$A4=8.41210e-07, A6=-6.21950e-10, A8=2.00464e-12, A10=-4.10109e-17$$

第19面

$$k=0.000$$

$$A4=-2.36410e-07, A6=-7.81928e-09, A8=9.23546e-12, A10=-3.63943e-15$$

第24面

$$k=0.000$$

$$A4=2.16711e-05, A6=2.40883e-08, A8=5.51538e-11, A10=-1.85095e-13$$

各種データ

f	24.48
---	-------

F N O.	1.41
--------	------

2 ω	91.37
------------	-------

I H	22.50
-----	-------

F B (in air)	9.49
--------------	------

全長 (in air)	154.18
-------------	--------

	無限遠	近距離 (145 mm)
d17	6.06	3.30
d24	4.81	4.50
d26	5.54	8.61

群焦点距離

$f1=-172.31$ $f2=97.49$ $f3=412.37$ $f4=46.13$ $f5=-90.00$

[0142] 数値実施例 2

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	ν d
物面	∞	∞		
1*	72.832	2.06	1.51633	64.14
2*	33.439	16.38		
3	-53.919	2.00	1.64769	33.79
4	83.979	8.11	2.00069	25.46
5	-107.153	1.97		
6	58.391	11.82	1.69680	55.53
7	-43.427	1.50	1.74077	27.79
8	97.492	10.12		
9	-40.473	1.50	1.69895	30.13
10	82.697	8.74	1.43875	94.93
11	-70.821	0.76		
12	221.816	8.63	1.84666	23.78
13	-65.844	1.20		
14(絞り)	∞	可変		
15*	35.187	12.00	1.49700	81.61
16*	157.338	0.44		
17	32.095	12.00	1.43875	94.93
18	-270.555	2.59	1.64769	33.79
19	37.108	4.29		

20	-140.818	2.00	1.88202	37.22
21*	282.542	可変		
22	178.092	5.96	1.65160	58.55
23	-63.320	可変		
24	-50.420	2.00	1.84666	23.78
25	-126.917	13.95		
26	∞	2.40	1.51633	64.14
27	∞	1.00		
像面	∞			

非球面データ

第1面

k=0.000

A4=1.16574e-06, A6=-1.51769e-09, A8=1.19325e-12

第2面

k=0.000

A4=7.45073e-07, A6=-1.98214e-09, A8=5.16275e-13

第15面

k=0.000

A4=1.21497e-06, A6=3.62905e-10, A8=1.07171e-12

第16面

k=0.000

A4=1.75742e-07, A6=-1.99527e-09, A8=5.36732e-13

第21面

k=0.000

A4=1.26443e-05, A6=1.21726e-08, A8=1.20869e-11, A10=2.14183e-14

各種データ

f	49.00
$FNO.$	1.41
2ω	48.78
IH	22.50
FB (in air)	16.53
全長 (in air)	154.18

	無限遠	近距離 (295 mm)
d_{14}	12.67	3.30
d_{21}	4.50	10.72
d_{23}	4.43	7.58

群焦点距離

$$f1=-1257.02 \quad f2=158.49 \quad f3=170.47 \quad f4=72.39 \quad f5=-100.00$$

[0143] 次に、各実施例における条件式(1)～(7)、(A)～(C)の値を掲げる。

条件式	実施例 1	実施例 2
(1) $M_{5\ 3G}/M_{5\ 4G}$	0.927	0.537
(2) $(R_{2GF}+R_{2GR})/(R_{2GF}-R_{2GR})$	-3.703	-4.191
(3) $(R_{P1F}+R_{P1R})/(R_{P1F}-R_{P1R})$	0.067	0.542
(4) $(R_{5GF}+R_{5GR})/(R_{5GF}-R_{5GR})$	-1.943	-2.318
(5) $(R_{P2F}+R_{P2R})/(R_{P2F}-R_{P2R})$	0.288	0.475
(6) $(R_{N1F}+R_{N1R})/(R_{N1F}-R_{N1R})$	2.247	2.698
(7) D_{3G}/D_{4G}	0.899	2.972
(A) f/e_{N1F}	0.366	0.913
(B) $(f/e_{AS})/Fno$	0.40	0.67
(C) $T_{air\ max}/\Sigma d$	0.14	0.12

[0144] 本実施形態の光学装置としては、例えば、撮像装置や投影装置がある。以

下、撮像装置と投影装置の具体例を説明する。

[0145] 図3は、撮像装置としての一眼ミラーレスカメラの断面図である。図3において、一眼ミラーレスカメラ1の鏡筒内には撮影光学系2が配置される。マウント部3は、撮影光学系2を一眼ミラーレスカメラ1のボディに着脱可能とする。マウント部3としては、スクリュタイプのマウントやバヨネットタイプのマウント等が用いられる。この例では、バヨネットタイプのマウントを用いている。また、一眼ミラーレスカメラ1のボディには、撮像素子面4、バックモニタ5が配置されている。なお、撮像素子としては、小型のCCD又はCMOS等が用いられている。

[0146] そして、一眼ミラーレスカメラ1の撮影光学系2として、例えば上記実施例1、2に示した結像光学系が用いられる。

[0147] 図4、図5は、撮像装置の構成の概念図を示す。図4は撮像装置としての一眼ミラーレスカメラ40の外観を示す前方斜視図、図5は同後方斜視図である。この一眼ミラーレスカメラ40の撮影光学系41に、上記実施例1、2に示した結像光学系が用いられている。

[0148] この実施形態の一眼ミラーレスカメラ40は、撮影用光路42上に位置する撮影光学系41、シャッターボタン45、液晶表示モニター47等を含み、一眼ミラーレスカメラ40の上部に配置されたシャッターボタン45を押圧すると、それに連動して撮影光学系41、例えば実施例1の結像光学系を通して撮影が行われる。撮影光学系41によって形成された物体像が、結像面近傍に設けられた撮像素子（光電変換面）上に形成される。この撮像素子で受光された物体像は、処理手段によって電子画像としてカメラ背面に設けられた液晶表示モニター47に表示される。また、撮影された電子画像は記憶手段に記録することができる。

[0149] 図6は、一眼ミラーレスカメラ40の主要部の内部回路を示すブロック図である。なお、以下の説明では、前述した処理手段は、例えばCDS／ADC部24、一時記憶メモリ17、画像処理部18等で構成され、記憶手段は、記憶媒体部19等で構成される。

- [0150] 図6に示すように、一眼ミラーレスカメラ40は、操作部12と、この操作部12に接続された制御部13と、この制御部13の制御信号出力ポートにバス14及び15を介して接続された撮像駆動回路16並びに一時記憶メモリ17、画像処理部18、記憶媒体部19、表示部20、及び設定情報記憶メモリ部21を備えている。
- [0151] 上記の一時記憶メモリ17、画像処理部18、記憶媒体部19、表示部20、及び設定情報記憶メモリ部21は、バス22を介して相互にデータの入力、出力が可能とされている。また、撮像駆動回路16には、CCD49とCDS／ADC部24が接続されている。
- [0152] 操作部12は、各種の入力ボタンやスイッチを備え、これらを介して外部（カメラ使用者）から入力されるイベント情報を制御部13に通知する。制御部13は、例えばCPUなどからなる中央演算処理装置であって、不図示のプログラムメモリを内蔵し、プログラムメモリに格納されているプログラムにしたがって、一眼ミラーレスカメラ40全体を制御する。
- [0153] CCD49は、撮像駆動回路16により駆動制御され、撮影光学系41を介して形成された物体像の画素ごとの光量を電気信号に変換し、CDS／ADC部24に出力する撮像素子である。
- [0154] CDS／ADC部24は、CCD49から入力する電気信号を増幅し、かつ、アナログ／デジタル変換を行って、この増幅とデジタル変換を行っただけの映像生データ（バイヤーデータ、以下RAWデータという。）を一時記憶メモリ17に出力する回路である。
- [0155] 一時記憶メモリ17は、例えばSDRAM等からなるバッファであり、CDS／ADC部24から出力されるRAWデータを一時的に記憶するメモリ装置である。画像処理部18は、一時記憶メモリ17に記憶されたRAWデータ又は記憶媒体部19に記憶されているRAWデータを読み出して、制御部13にて指定された画質パラメータに基づいて歪曲収差補正を含む各種画像処理を電氣的に行う回路である。
- [0156] 記憶媒体部19は、例えばフラッシュメモリ等からなるカード型又はステ

ック型の記録媒体を着脱自在に装着して、これらのフラッシュメモリに、一時記憶メモリ 17 から転送される RAW データや画像処理部 18 で画像処理された画像データを記録して保持する。

[0157] 表示部 20 は、液晶表示モニター 47 などにて構成され、撮影した RAW データ、画像データや操作メニューなどを表示する。設定情報記憶メモリ部 21 には、予め各種の画質パラメータが格納されている ROM 部と、操作部 12 の入力操作によって ROM 部から読み出された画質パラメータを記憶する RAM 部が備えられている。

[0158] このように構成された一眼ミラーレスカメラ 40 では、撮影光学系 41 として本発明の結像光学系を採用することで、広い撮影範囲を、低ノイズ、高解像度で撮像することができる。なお、本発明の結像光学系は、クイックリターンミラーを持つタイプの撮像装置にも用いることができる。

[0159] 図 7 は、投影装置としてのプロジェクタの断面図である。図 7 に示すように、プロジェクタ 100 は、光源部 110 と、照明部 120 と、画像形成部 130 と、投射部 140 と、を有する。

[0160] 光源部 110 は、光源 111 と反射部材 112 とを有する。光源 111 からは照明光が出射する。照明光は白色光である。照明光は反射部材 112 で反射され、照明部 120 に入射する。

[0161] 照明部 120 は、第 1 のダイクロイックミラー 121 と、第 2 のダイクロイックミラー 122 と、第 3 のダイクロイックミラー 123 と、第 1 の反射部材 124 と、第 2 の反射部材 125 と、を有する。

[0162] 第 1 のダイクロイックミラー 121 では、赤色の波長域の光（以下、「赤色光」という）が透過され、それ以外の波長域の光は反射される。第 2 のダイクロイックミラー 122 では、緑色の波長域の光（以下、「緑色光」という）が反射され、それ以外の波長域の光は透過される。第 3 のダイクロイックミラー 123 では、青色の波長域の光（以下、「青色光」という）が反射され、それ以外の波長域の光は透過される。赤色光、緑色光および青色光は、画像形成部 130 に入射する。なお、第 3 のダイクロイックミラー 123

の代わりに、通常の平面反射鏡を用いても良い。

[0163] 画像形成部 130 は、第 1 の表示素子 131 と、第 2 の表示素子 132 と、第 3 の表示素子 133 と、を有する。

[0164] 第 1 の表示素子 131 には、第 1 の反射部材 124 を介して赤色光が照射される。第 2 の表示素子 132 には緑色光が照射される。第 3 の表示素子 133 には、第 2 の反射部材 125 を介して青色光が照射される。

[0165] ここで、第 1 の表示素子 131、第 2 の表示素子 132 及び第 3 の表示素子 133 には、同じ画像が表示されている。よって、第 1 の表示素子 131 では赤色の画像が表示され、第 2 の表示素子 132 では緑色の画像が表示され、第 3 の表示素子 133 では青色の画像が表示される。

[0166] 第 1 の表示素子 131、第 2 の表示素子 132 及び第 3 の表示素子 133 から出射した光は、投射部 140 に入射する。

[0167] 投射部 140 は、ダイクロイックプリズム 141 と、投影光学系 142 と、を有する。

[0168] 第 1 の表示素子 131、第 2 の表示素子 132 及び第 3 の表示素子 133 から出射した光は、ダイクロイックプリズム 141 で合成される。上述のように、画像形成部 130 では、赤色の画像、緑色の画像及び青色の画像が表示されている。ダイクロイックプリズム 141 によって、3つの画像が合成される。

[0169] 投影光学系 142 は、合成された 3つの画像を所定の位置に投影する。この投影光学系 142 に、例えば上記実施例 1、2 に示した結像光学系が用いられている。

[0170] なお、画像形成部 130 は、DMD（デジタルミラーデバイス）等のライトバルブとしても良い。この場合、光源部 110 からの光をライトバルブで反射させ、ライトバルブからの画像を、投射部 140 にて拡大投影するように構成すれば良い。

[0171] このように構成されたプロジェクタ 100 では、投影光学系 142 として本発明の結像光学系を採用することで、広い投影範囲に、低ノイズ、高解像

度で像を投影することができる。

産業上の利用可能性

[0172] 以上のように、本発明に係る結像光学系は、広い画角と小さいFナンバーを有しながらも、諸収差が良好に補正された結像光学系に適している。また、本発明に係る光学装置は、広い撮影範囲を、低ノイズ、高解像度で撮像する撮像装置や、広い投影範囲に、低ノイズ、高解像度で像を投影する投影装置に適している。

符号の説明

- [0173]
- G 1 第1レンズ群
 - G 2 第2レンズ群
 - G 3 第3レンズ群
 - G 4 第4レンズ群
 - G 5 第5レンズ群
 - S 明るさ（開口）絞り
 - I 像面
 - 1 一眼ミラーレスカメラ
 - 2 撮影光学系
 - 3 鏡筒のマウント部
 - 4 撮像素子面
 - 5 バックモニタ
 - 1 2 操作部
 - 1 3 制御部
 - 1 4、1 5 バス
 - 1 6 撮像駆動回路
 - 1 7 一時記憶メモリ
 - 1 8 画像処理部
 - 1 9 記憶媒体部
 - 2 0 表示部

- 2 1 設定情報記憶メモリ部
- 2 2 バス
- 2 4 CDS／ADC部
- 4 0 一眼ミラーレスカメラ
- 4 1 撮影光学系
- 4 2 撮影用光路
- 4 5 シャッターボタン
- 4 7 液晶表示モニター
- 4 9 CCD
- 1 0 0 プロジェクタ
- 1 1 0 光源部
- 1 1 1 光源
- 1 1 2 反射部材
- 1 2 0 照明部
- 1 2 1 第1のダイクロイックミラー
- 1 2 2 第2のダイクロイックミラー
- 1 2 3 第3のダイクロイックミラー
- 1 2 4 第1の反射部材
- 1 2 5 第2の反射部材
- 1 3 0 画像形成部
- 1 3 1 第1の表示素子
- 1 3 2 第2の表示素子
- 1 3 3 第3の表示素子
- 1 4 0 投射部
- 1 4 1 ダイクロイックプリズム
- 1 4 2 投影光学系

請求の範囲

- [請求項1] 距離が長い方の拡大側の共役点と距離が短い方の縮小側の共役点との共役関係を形成する結像光学系であって、
- 前記結像光学系は、拡大側から順に、
- 負の屈折力を有する第1レンズ群と、
- 正の屈折力を有する第2レンズ群と、
- 正の屈折力を有する第3レンズ群と、
- 第4レンズ群と、
- 第5レンズ群と、から構成され、
- 前記第2レンズ群内に、開口絞りを有し、
- 前記第1レンズ群は、最も拡大側に位置する第1の負レンズと、最も縮小側に位置する第1の接合レンズと、を有し、
- 前記第2レンズ群は、拡大側から順に、第2の接合レンズと、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、を有し、
- 前記第3レンズ群は、拡大側から順に、1枚又は複数枚の正レンズ成分と、第3の接合レンズと、を有し、
- 前記レンズ成分は、光路中にて拡大側面と縮小側面のみが空気に接するレンズブロックであって、
- 前記第1の接合レンズは最も縮小側に負レンズを有し、最も縮小側の面が縮小側に凹面を向けており、
- 前記第2の接合レンズは正の屈折力を有し、最も拡大側の面が拡大側に凹面を向けており、
- 前記第3の接合レンズは正の屈折力を有し、縮小側に負レンズを有することを特徴とする結像光学系。
- [請求項2] 以下の条件式（1）を満足することを特徴とする請求項1に記載の結像光学系。

$$0.1 < M_{5\ 3G} / M_{5\ 4G} < 5 \quad (1)$$

ここで、

$M_{5\ 3G}$ は、前記第3レンズ群の無限遠物体合焦時の横倍率、
 $M_{5\ 4G}$ は、前記第4レンズ群の無限遠物体合焦時の横倍率、
 である。

[請求項3] 以下の条件式(2)を満足することを特徴とする請求項1又は2に記載の結像光学系。

$$-1.0 < (R_{2GF} + R_{2GR}) / (R_{2GF} - R_{2GR}) < -0.1 \quad (2)$$

ここで、

R_{2GF} は、前記第2レンズ群において最も拡大側に位置する面の近軸曲率半径、

R_{2GR} は、前記第2レンズ群において最も縮小側に位置する面の近軸曲率半径、

である。

[請求項4] 前記第2の接合レンズに対して最も近くに位置する第1の正レンズを有し、

以下の条件式(3)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1項に記載の結像光学系。

$$0.001 < (R_{P1F} + R_{P1R}) / (R_{P1F} - R_{P1R}) < 5 \quad (3)$$

ここで、

R_{P1F} は、前記第1の正レンズの拡大側面の近軸曲率半径、

R_{P1R} は、前記第1の正レンズの縮小側面の近軸曲率半径、

である。

[請求項5] フォーカスの際、前記第3レンズ群から前記第5レンズ群までの間の空気間隔が変化することを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の結像光学系。

[請求項6] 以下の条件式(4)を満足することを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の結像光学系。

$$-8 < (R_{5GF} + R_{5GR}) / (R_{5GF} - R_{5GR}) < -0.1 \quad (4)$$

ここで、

R_{5GF} は、前記第5レンズ群において最も拡大側に位置する面の近軸曲率半径、

R_{5GR} は、前記第5レンズ群において最も縮小側に位置する面の近軸曲率半径、

である。

[請求項7]

前記第4レンズ群は1枚のレンズで構成され、

前記1枚のレンズは、第2の正レンズであって、

以下の条件式(5)を満足することを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の結像光学系。

$$0.01 < (R_{P2F} + R_{P2R}) / (R_{P2F} - R_{P2R}) < 2 \quad (5)$$

ここで、

R_{P2F} は、前記第2の正レンズの拡大側面の近軸曲率半径、

R_{P2R} は、前記第2の正レンズの縮小側面の近軸曲率半径、

である。

[請求項8]

前記第1の負レンズはメニスカスレンズであることを特徴とする請求項1から7のいずれか1項に記載の結像光学系。

[請求項9]

以下の条件式(6)を満足することを特徴とする請求項1から8のいずれか1項に記載の結像光学系。

$$0.1 < (R_{N1F} + R_{N1R}) / (R_{N1F} - R_{N1R}) < 6 \quad (6)$$

ここで、

R_{N1F} は、前記第1の負レンズの拡大側面の近軸曲率半径、

R_{N1R} は、前記第1の負レンズの縮小側面の近軸曲率半径、

である。

[請求項10]

前記第3レンズ群は、前記第3の接合レンズよりも縮小側に負レンズ成分を有し、

前記第4レンズ群は正の屈折力を有すると共に、正レンズ成分を有し、

前記第5レンズ群は負の屈折力を有すると共に、負レンズ成分を有

することを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

[請求項11] 以下の条件式 (7) を満足することを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

$$0.1 < D_{3G} / D_{4G} < 4.5 \quad (7)$$

ここで、

D_{3G} は、フォーカスの際の前記第 3 レンズ群の移動量、

D_{4G} は、フォーカスの際の前記第 4 レンズ群の移動量、

である。

[請求項12] 前記第 3 レンズ群は、拡大側から順に、前記正レンズ成分と、前記第 3 の接合レンズと、負レンズ成分と、からなり、

前記第 3 の接合レンズは、拡大側から順に、正レンズと前記負レンズとで構成され、

前記第 3 レンズ群の前記負レンズ成分の形状が、両凹形状であることを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

[請求項13] 以下の条件式 (A) を満足することを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

$$0 < f / e_{NIF} < 2 \quad (A)$$

ここで、

f は、無限遠物体合焦時の前記結像光学系全系の焦点距離、

e_{NIF} は、前記第 1 の負レンズの拡大側面の最大有効口径、

である。

[請求項14] 以下の条件式 (B) を満足することを特徴とする請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

$$0 < (f / e_{AS}) / Fno < 2 \quad (B)$$

ここで、

f は、無限物体合焦時の前記結像光学系全系の焦点距離、

e_{AS} は、前記開口絞りの最大直径、

F_{no} は、無限物体合焦時の前記結像光学系全系のFナンバー、
である。

[請求項15] 以下の条件式 (C) を満足することを特徴とする請求項 1 から 14 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

$$0 < T_{air\ max} / \Sigma d \leq 0.27 \quad (C)$$

ここで、

$T_{air\ max}$ は、前記結像光学系の最も拡大側に位置する面から最も縮小側に位置する面までの間で最も大きい軸上空気間隔、

Σd は、前記結像光学系の最も拡大側に位置する面から最も縮小側に位置する面までの軸上距離、
である。

[請求項16] 光学系と、縮小側に配置された撮像素子と、を有し、
前記撮像素子は撮像面を有し、且つ前記光学系によって前記撮像面上に形成された像を電気信号に変換し、
前記光学系が請求項 1 から 15 のいずれか 1 項に記載の結像光学系であることを特徴とする光学装置。

[請求項17] 光学系と、縮小側に配置された表示素子と、を有し、
前記表示素子は表示面を有し、
前記表示面上に表示された画像は、前記光学系によって拡大側に投影され、
前記光学系が請求項 1 から 15 のいずれか 1 項に記載の結像光学系であることを特徴とする光学装置。

補正された請求の範囲
[2015年7月15日(15.07.2015)国際事務局受理]

- [請求項 1] 距離が長い方の拡大側の共役点と距離が短い方の縮小側の共役点との共役関係を形成する結像光学系であって、
- 前記結像光学系は、拡大側から順に、
- 負の屈折力を有する第 1 レンズ群と、
- 正の屈折力を有する第 2 レンズ群と、
- 正の屈折力を有する第 3 レンズ群と、
- 第 4 レンズ群と、
- 第 5 レンズ群と、から構成され、
- 前記第 2 レンズ群内に、開口絞りを有し、
- 前記第 1 レンズ群は、最も拡大側に位置する第 1 の負レンズと、最も縮小側に位置する第 1 の接合レンズと、を有し、
- 前記第 2 レンズ群は、拡大側から順に、第 2 の接合レンズと、1 枚又は複数枚の正レンズ成分と、を有し、
- 前記第 3 レンズ群は、拡大側から順に、1 枚又は複数枚の正レンズ成分と、第 3 の接合レンズと、を有し、
- 前記レンズ成分は、光路中にて拡大側面と縮小側面のみが空気に接するレンズブロックであって、
- 前記第 1 の接合レンズは最も縮小側に負レンズを有し、最も縮小側の面が縮小側に凹面を向けており、
- 前記第 2 の接合レンズは正の屈折力を有し、最も拡大側の面が拡大側に凹面を向けており、
- 前記第 3 の接合レンズは正の屈折力を有し、縮小側に負レンズを有することを特徴とする結像光学系。
- [請求項 2] 以下の条件式 (1) を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の結像光学系。

$$0.1 < M_{5_3G} / M_{5_4G} < 5 \quad (1)$$

ここで、

M_{5_3G} は、前記第3レンズ群の無限遠物体合焦時の横倍率、
 M_{5_4G} は、前記第4レンズ群の無限遠物体合焦時の横倍率、
 である。

[請求項3] 以下の条件式(2)を満足することを特徴とする請求項1又は2に記載の結像光学系。

$$-1.0 < (R_{2GF} + R_{2GR}) / (R_{2GF} - R_{2GR}) < -0.1 \quad (2)$$

ここで、

R_{2GF} は、前記第2レンズ群において最も拡大側に位置する面の近軸曲率半径、

R_{2GR} は、前記第2レンズ群において最も縮小側に位置する面の近軸曲率半径、

である。

[請求項4] 前記第2の接合レンズに対して最も近くに位置する第1の正レンズを有し、

以下の条件式(3)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1項に記載の結像光学系。

$$0.001 < (R_{PIF} + R_{PIR}) / (R_{PIF} - R_{PIR}) < 5 \quad (3)$$

ここで、

R_{PIF} は、前記第1の正レンズの拡大側面の近軸曲率半径、

R_{PIR} は、前記第1の正レンズの縮小側面の近軸曲率半径、

である。

[請求項5] フォーカスの際、前記第3レンズ群から前記第5レンズ群までの間の空気間隔が変化することを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の結像光学系。

[請求項6] 以下の条件式(4)を満足することを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の結像光学系。

$$-8 < (R_{5GF} + R_{5GR}) / (R_{5GF} - R_{5GR}) < -0.1 \quad (4)$$

ここで、

R_{5GF} は、前記第5レンズ群において最も拡大側に位置する面の近軸曲率半径、

R_{5GR} は、前記第5レンズ群において最も縮小側に位置する面の近軸曲率半径、
である。

[請求項7] 前記第4レンズ群は1枚のレンズで構成され、
前記1枚のレンズは、第2の正レンズであって、
以下の条件式(5)を満足することを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の結像光学系。

$$0.01 < (R_{P2F} + R_{P2R}) / (R_{P2F} - R_{P2R}) < 2 \quad (5)$$

ここで、

R_{P2F} は、前記第2の正レンズの拡大側面の近軸曲率半径、

R_{P2R} は、前記第2の正レンズの縮小側面の近軸曲率半径、
である。

[請求項8] 前記第1の負レンズはメニスカスレンズであることを特徴とする請求項1から7のいずれか1項に記載の結像光学系。

[請求項9] 以下の条件式(6)を満足することを特徴とする請求項1から8のいずれか1項に記載の結像光学系。

$$0.1 < (R_{N1F} + R_{N1R}) / (R_{N1F} - R_{N1R}) < 6 \quad (6)$$

ここで、

R_{N1F} は、前記第1の負レンズの拡大側面の近軸曲率半径、

R_{N1R} は、前記第1の負レンズの縮小側面の近軸曲率半径、
である。

[請求項10] 前記第3レンズ群は、前記第3の接合レンズよりも縮小側に負レンズ成分を有し、

前記第4レンズ群は正の屈折力を有すると共に、正レンズ成分を有し、

前記第5レンズ群は負の屈折力を有すると共に、負レンズ成分を

有することを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

[請求項 1 1] 以下の条件式 (7) を満足することを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

$$0.1 < D_{3G} / D_{4G} < 4.5 \quad (7)$$

ここで、

D_{3G} は、フォーカスの際の前記第 3 レンズ群の移動量、

D_{4G} は、フォーカスの際の前記第 4 レンズ群の移動量、

である。

[請求項 1 2] 前記第 3 レンズ群は、拡大側から順に、前記正レンズ成分と、前記第 3 の接合レンズと、負レンズ成分と、からなり、

前記第 3 の接合レンズは、拡大側から順に、正レンズと前記負レンズとで構成され、

前記第 3 レンズ群の前記負レンズ成分の形状が、両凹形状であることを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

[請求項 1 3] 以下の条件式 (A) を満足することを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

$$0 < f / e_{NIF} < 2 \quad (A)$$

ここで、

f は、無限遠物体合焦時の前記結像光学系全系の焦点距離、

e_{NIF} は、前記第 1 の負レンズの拡大側面の最大有効口径、

である。

[請求項 1 4] 以下の条件式 (B) を満足することを特徴とする請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

$$0 < (f / e_{AS}) / Fno < 2 \quad (B)$$

ここで、

f は、無限物体合焦時の前記結像光学系全系の焦点距離、

e_{AS} は、前記開口絞りの最大直径、
 Fno は、無限物体合焦時の前記結像光学系全系のFナンバー、
 である。

[請求項15] 以下の条件式 (C) を満足することを特徴とする請求項1から14のいずれか1項に記載の結像光学系。

$$0 < T_{air_max} / \Sigma d \leq 0.27 \quad (C)$$

ここで、

T_{air_max} は、前記結像光学系の最も拡大側に位置する面から最も縮小側に位置する面までの間で最も大きい軸上空気間隔、

Σd は、前記結像光学系の最も拡大側に位置する面から最も縮小側に位置する面までの軸上距離、
 である。

[請求項16] 光学系と、縮小側に配置された撮像素子と、を有し、
 前記撮像素子は撮像面を有し、且つ前記光学系によって前記撮像面上に形成された像を電気信号に変換し、
 前記光学系が請求項1から15のいずれか1項に記載の結像光学系であることを特徴とする光学装置。

[請求項17] 光学系と、縮小側に配置された表示素子と、を有し、
 前記表示素子は表示面を有し、
 前記表示面上に表示された画像は、前記光学系によって拡大側に投影され、
 前記光学系が請求項1から15のいずれか1項に記載の結像光学系であることを特徴とする光学装置。

[請求項18] (追加) フォーカスに際して、
 前記第2レンズ群と前記第3レンズ群との間の距離と、
 前記第3レンズ群と前記第4レンズ群との間の距離と、
 前記第4レンズ群と前記第5レンズ群との間の距離は変化することを特徴とする請求項1から15のいずれか1項に記載の結像光学

系。

[請求項 19] (追加) 前記開口絞りが前記第 2 レンズ群中の最も縮小側に配置され、

前記第 4 レンズ群は 1 つのレンズ成分からなり、

前記第 5 レンズ群は 1 つのレンズ成分からなることを特徴とする

請求項 1 から 15 のいずれか 1 項に記載の結像光学系。

[請求項 20] (追加) 前記フォーカスの際、

前記第 3 レンズ群が移動し、

前記第 3 レンズ群と前記第 4 レンズ群との間の距離と、

前記第 4 レンズ群と前記第 5 レンズ群との間の距離は変化すること

を特徴とする請求項 5 に記載の結像光学系。

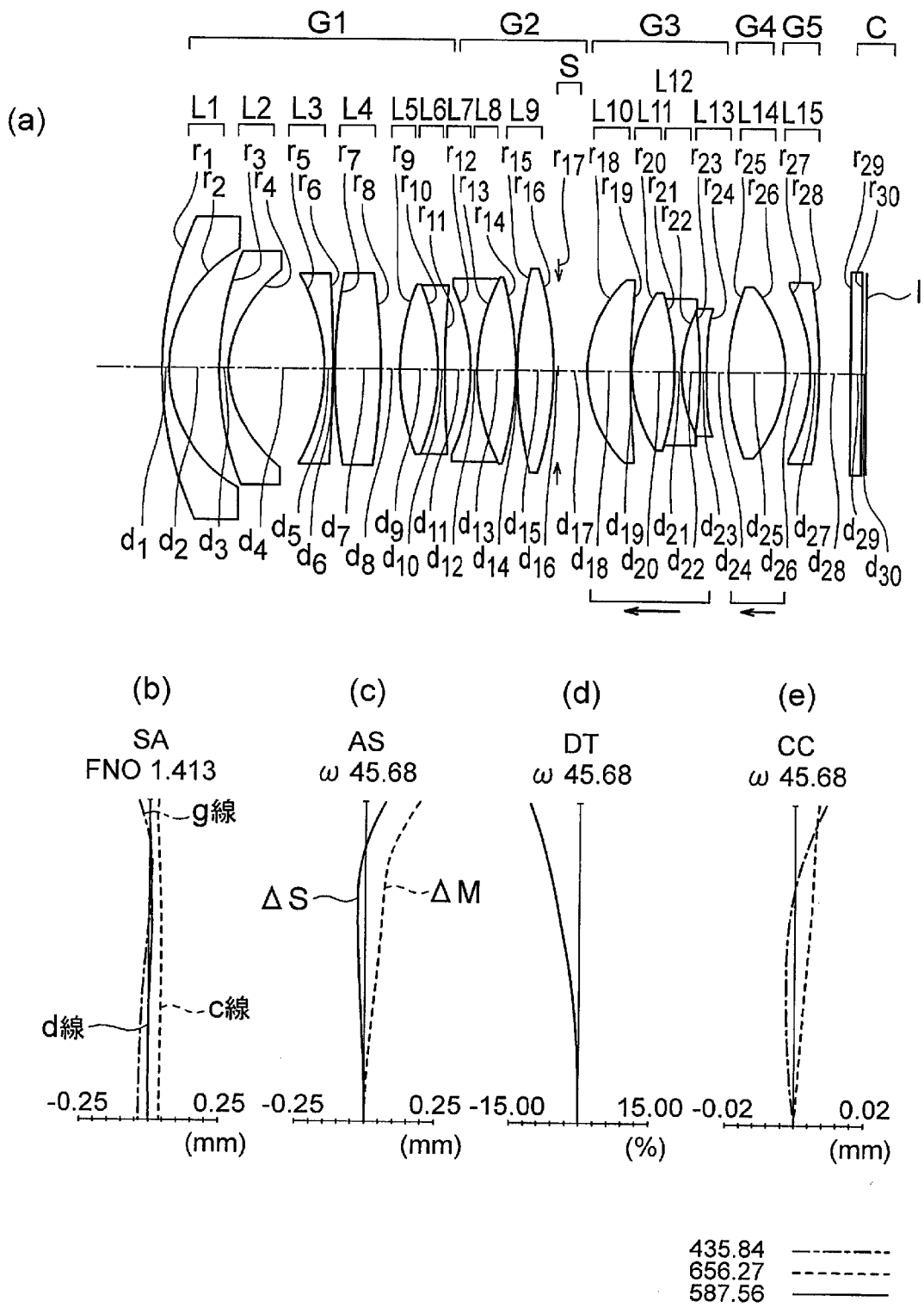
条約第19条（1）に基づく説明書

請求の範囲第18項は、新規に作成した請求項である。

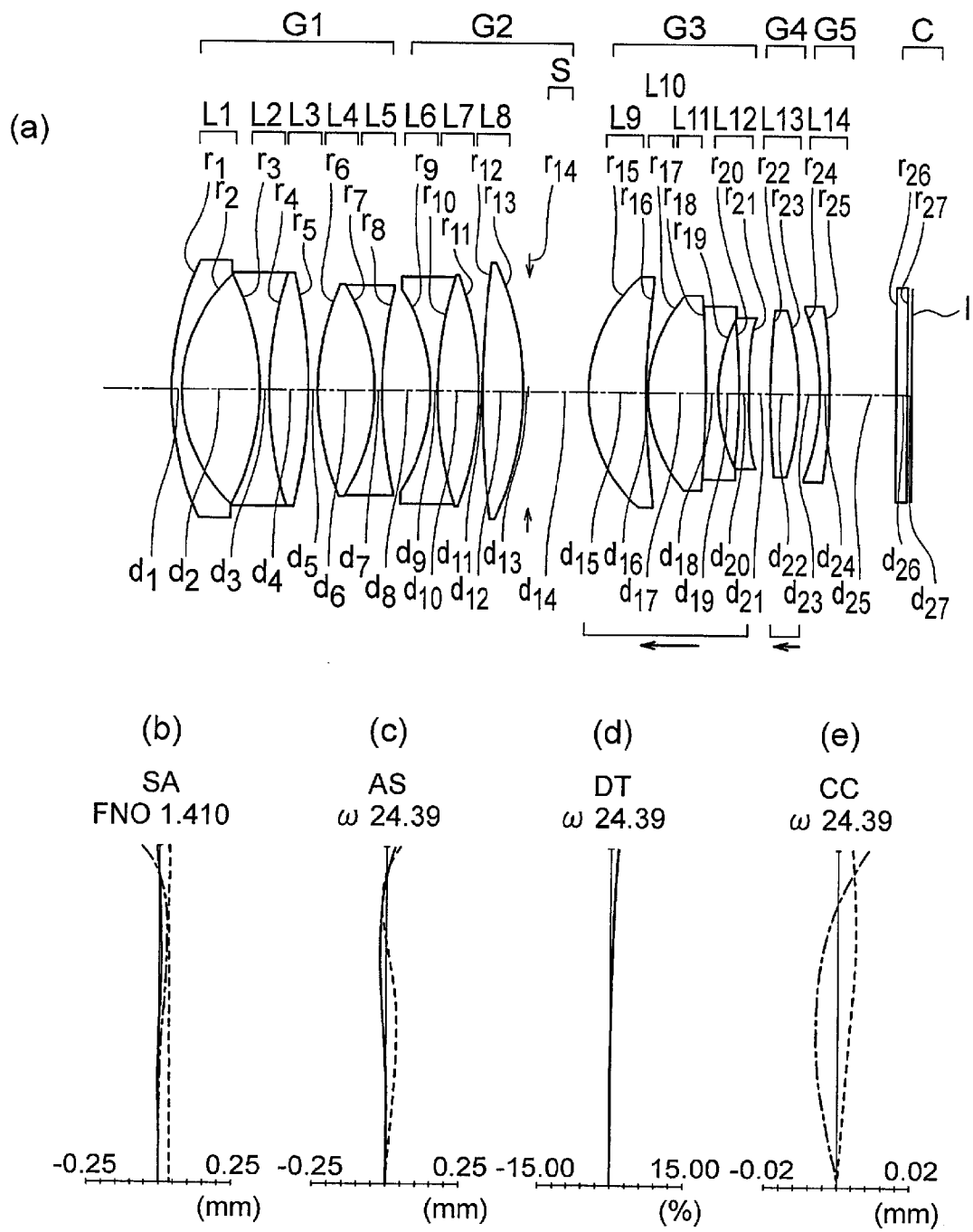
請求の範囲第19項は、新規に作成した請求項である。

請求の範囲第20項は、新規に作成した請求項である。

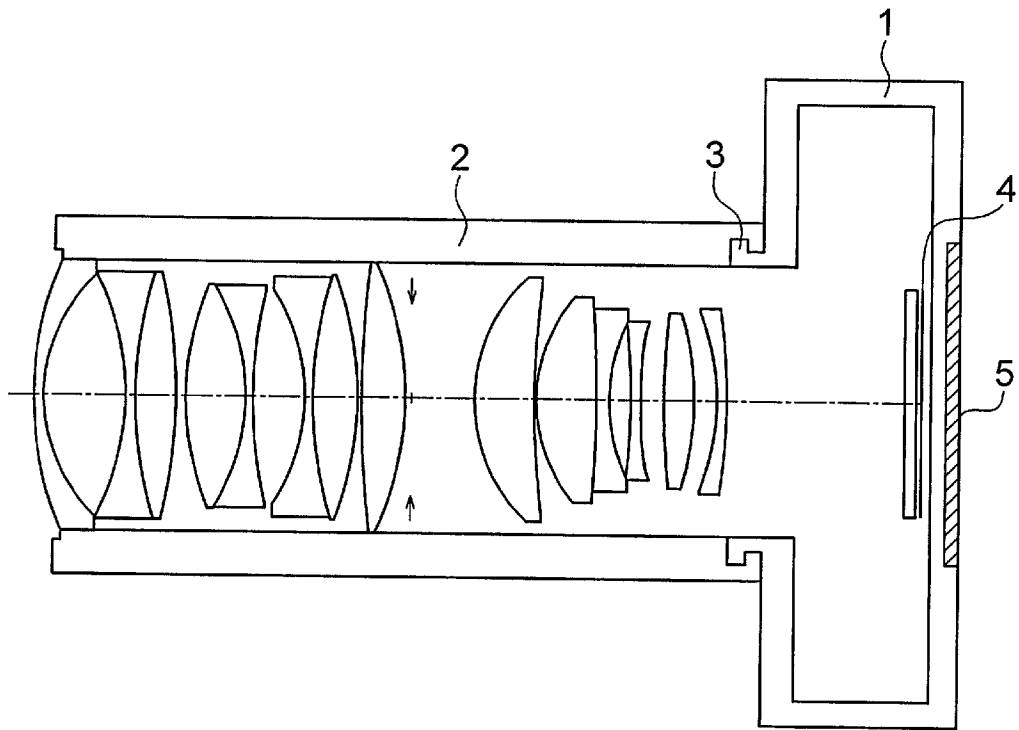
[図1]



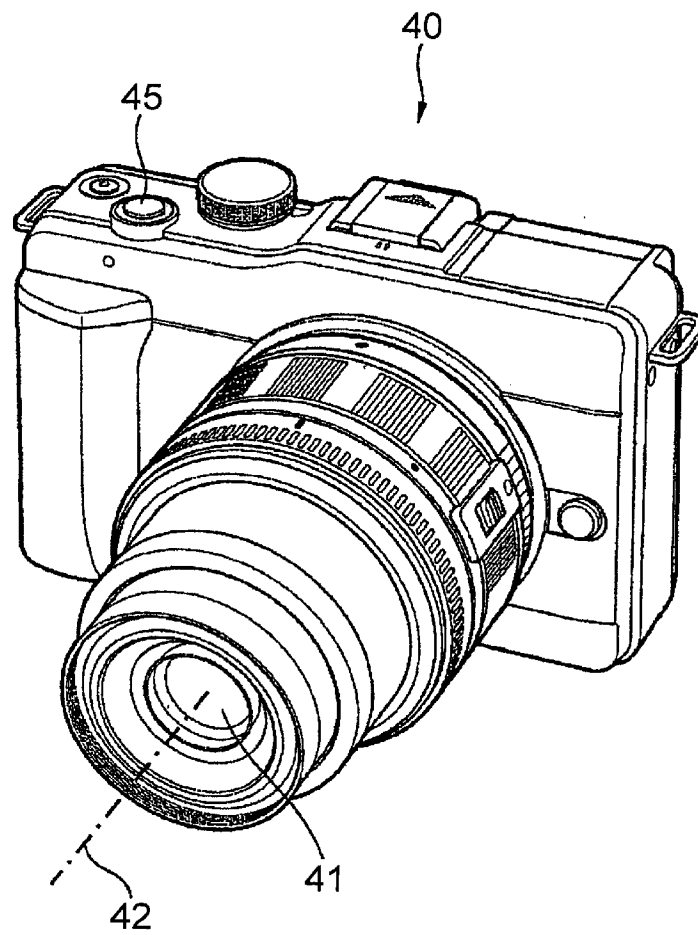
[図2]



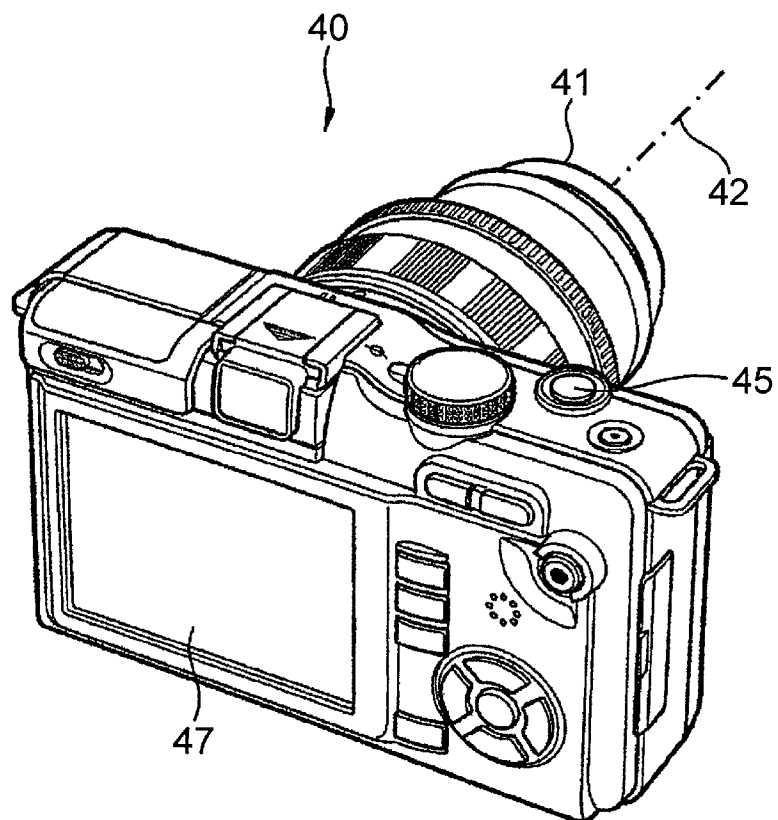
[図3]



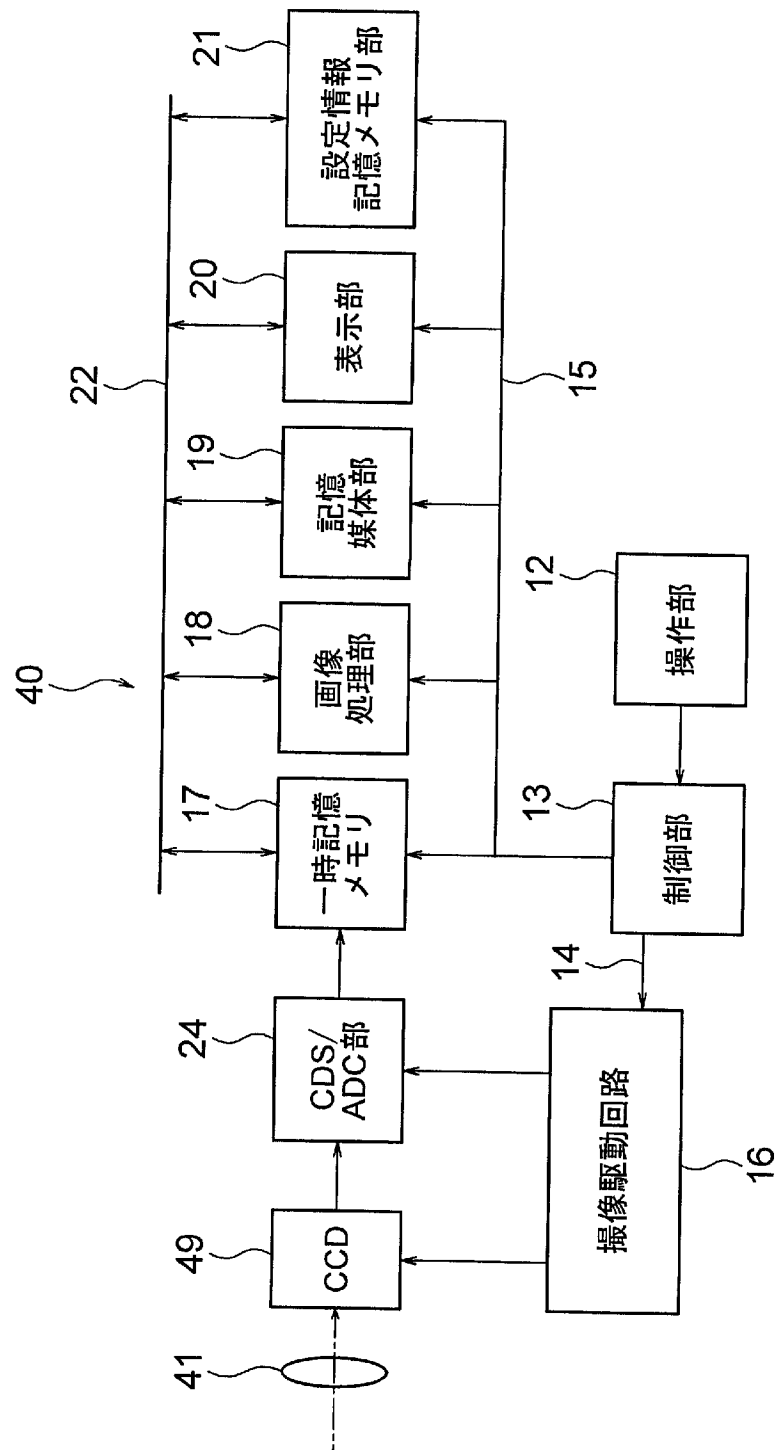
[図4]



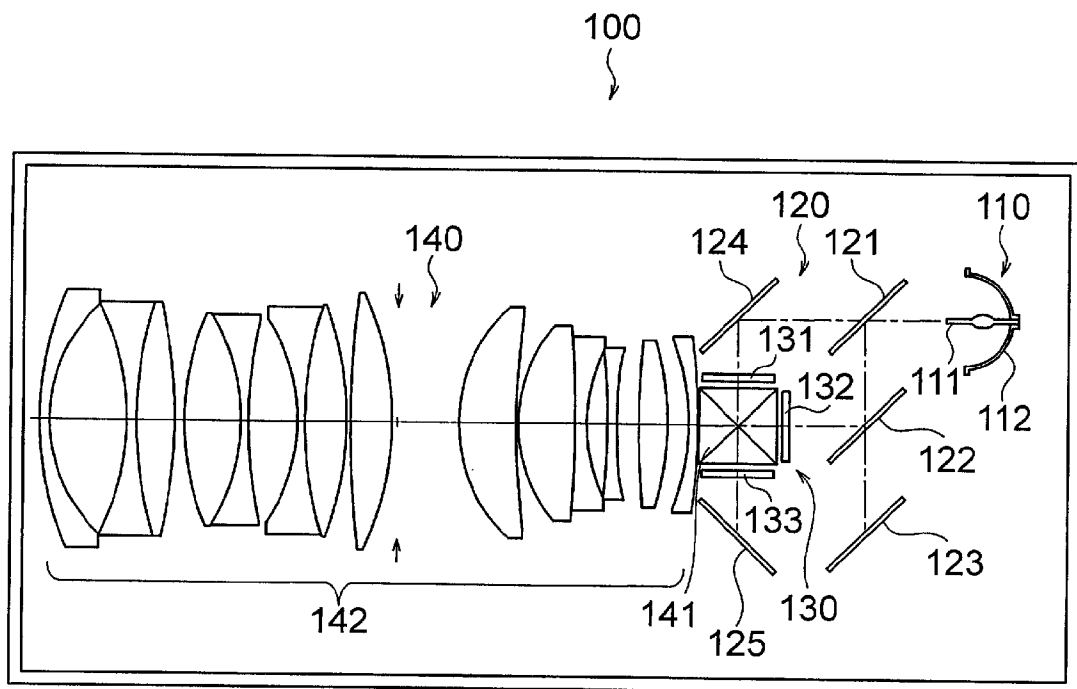
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/059055

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B13/00(2006.01)i, G02B13/16(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B13/00, G02B13/16, G02B13/18

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-48488 A (Sigma Corp.), 17 March 2014 (17.03.2014), entire text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 2013-83781 A (Nikon Corp.), 09 May 2013 (09.05.2013), entire text; all drawings & US 2012/0127594 A1 & CN 102540412 A	1-17
A	JP 2012-83703 A (Nikon Corp.), 26 April 2012 (26.04.2012), entire text; all drawings & US 2012/0069440 A1 & CN 102411189 A	1-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 June 2015 (16.06.15)

Date of mailing of the international search report
23 June 2015 (23.06.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/059055

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-7954 A (Nikon Corp.), 10 January 2013 (10.01.2013), entire text; all drawings & US 2012/0069440 A1 & CN 102411189 A	1-17
A	JP 2012-27451 A (Nikon Corp.), 09 February 2012 (09.02.2012), entire text; all drawings & US 2011/0317282 A1 & US 2013/0265653 A1 & CN 102298197 A	1-17

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B13/00(2006.01)i, G02B13/16(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B13/00, G02B13/16, G02B13/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2014-48488 A（株式会社シグマ）2014.03.17, 全文全図（ファミリーなし）	1-17
A	JP 2013-83781 A（株式会社ニコン）2013.05.09, 全文全図 & US 2012/0127594 A1 & CN 102540412 A	1-17
A	JP 2012-83703 A（株式会社ニコン）2012.04.26, 全文全図 & US 2012/0069440 A1 & CN 102411189 A	1-17

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 6 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 3 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

堀井 康司

2 V

3 7 1 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 1

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2013-7954 A (株式会社ニコン) 2013.01.10, 全文全図 & US 2012/0069440 A1 & CN 102411189 A	1-17
A	JP 2012-27451 A (株式会社ニコン) 2012.02.09, 全文全図 & US 2011/0317282 A1 & US 2013/0265653 A1 & CN 102298197 A	1-17