

(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
2017年11月23日(23.11.2017)



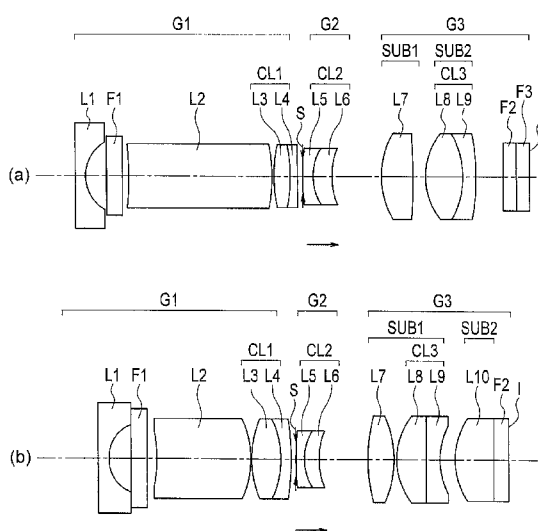
(10) 国際公開番号

WO 2017/199614 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 13/04 (2006.01) *G02B 23/26* (2006.01)
A61B 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/014122
- (22) 国際出願日: 2017年4月4日(04.04.2017)
- (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 2016-098172 2016年5月16日(16.05.2016) JP
- (71) 出願人: オリンパス株式会社 (OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 高頭英泰 (TAKATO Hideyasu); 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 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 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ,

(54) Title: OBJECTIVE OPTICAL SYSTEM

(54) 発明の名称: 対物光学系



(57) Abstract: Provided is an objective optical system that is hardly susceptible to various errors and favorably corrects each type of aberration. The objective optical system comprises in order from an object a first lens group G1 having a positive refractive power, a second lens group G2 having a negative refractive power, and a third lens group G3 having a positive refractive power. The second lens group G2 is moved in order to carry out focusing. The third lens group G3 includes at least a positive lens L7 and a cemented lens CL3. The cemented lens CL3 in the third lens group G3 includes a positive lens L8 and a negative lens L9. A first sub-lens group SUB1 of the third lens group G3 is positioned closer to the object than a prescribed air gap, and a second sub-lens group SUB2 of the third lens group G3 is positioned closer to an image than the prescribed air gap, the prescribed air gap being the maximum air gap among the air gaps of the third lens group G3. The objective optical system satisfies the following conditional expressions (1) and (2): $1.21 < f_p / f < 2.42$ (1) $0.35 < t_t / f < 0.6$ (2)

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：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：様々な誤差による影響を受けにくく、諸収差が良好に補正された対物光学系を提供する。対物光学系は、物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、負屈折力の第2レンズ群G2と、正屈折力の第3レンズ群G3と、で構成され、第2レンズ群G2を動かすことにより合焦を行い、第3レンズ群G3は、正レンズL7と、接合レンズCL3と、を少なくとも含み、第3レンズ群G3の接合レンズCL3は、正レンズL8と、負レンズL9と、を有し、第3レンズ群G3の第1副レンズ群SUB1は、所定の空気間隔よりも物体側に位置し、第3レンズ群G3の第2副レンズ群SUB2は、所定の空気間隔よりも像側に位置し、所定の空気間隔は、第3レンズ群G3における空気間隔のなかで最大の空気間隔であり、以下の条件式(1)、(2)を満足する。 $1.21 < f_p / f < 2.42$ (1) $0.35 < t_t / f < 0.6$ (2)

明 細 書

発明の名称：対物光学系

技術分野

[0001] 本発明は、合焦機能を有する対物光学系に関し、特に、拡大観察が可能な内視鏡対物光学系や、その他の民生用の小型カメラ等の対物光学系に関する。

背景技術

[0002] 一般的な内視鏡用の対物レンズは、広い被写界深度を有している。一般的な内視鏡用の対物レンズでは、被写界深度は、例えば、5 mm～100 mmになる。このような対物レンズを搭載した内視鏡では、撮像素子によって物体像が撮像され、これにより物体の画像の提供が行われる。撮像素子としては、例えば、CCD (Charge Coupled Devices) やC-MOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) が用いられる。

[0003] 近年、内視鏡を用いた診断では、診断の精度を向上させるために、画像の高画質化が求められている。この要求に応えるために、撮像素子では多画素化が進んでいる。多画素化が進んだ撮像素子、すなわち、高精細な撮像素子では、画素の面積が小さくなる。

[0004] 物体の一点を対物レンズで結像すると、対物レンズの像面に点像が形成される。この点像は、回折の影響によってある程度の広がりを持つ。そのため、画素の面積が小さくなると、それに合わせて点像を小さくしなければ、高精細な撮像素子を用いても画質の高い画像を得ることができない。点像を小さくするためには、対物レンズのFナンバーを小さくする必要がある。

[0005] 撮像素子のサイズが同じ場合、画素の面積を小さくすることで、画素数を多くすることができる。ただし、画素数を大幅に増加させると、画素の面積を小さくしても、撮像素子のサイズが大きくなる。撮像素子のサイズが大きくなると、対物レンズの焦点距離を長くする必要がある。

[0006] 対物レンズのFナンバーが小さくなるか、又は、対物レンズの焦点距離が

長くなると、対物レンズの被写界深度が狭くなる。このように、従来の画質よりも高い画質を得ようとする、対物レンズの被写界深度が狭くなる。

[0007] 被写界深度は、鮮明な物体像が得られる範囲を、物体側の範囲で表したものである。対物レンズの被写界深度が狭くなると、鮮明な物体像が得られる範囲が狭くなる。従来並みの被写界深度を確保するためには、対物レンズに合焦機能を持たせれば良い。このようなことから、合焦機能を持つ対物レンズの必要性が増してきている。

[0008] また、近年、医療用内視鏡の分野では、病変部の質的診断が行われるようになってきた。この診断では、病変部を拡大観察することが必要になる。このようなことから、医療用内視鏡では、拡大機能を持つ対物レンズ（以下、「拡大内視鏡対物レンズ」という）の必要性が強まってきている。

[0009] 病変部を拡大観察するためには、病変部を見つける必要がある。拡大観察では観察範囲が狭いため、拡大観察で病変部を見つけることは容易ではない。このようなことから、拡大内視鏡対物レンズでは、拡大観察における観察範囲よりも広い範囲を、観察することが必要になる。

[0010] 拡大観察では、対物レンズから物体位置までの距離（以下、「物体距離」という）は、例えば、1 mm～3 mm程度である。一方、上述のような広い範囲の観察（以下、「通常観察」という）では、物体距離は、3 mmよりもはるかに長い。

[0011] 通常観察時の物体位置と対物レンズの合焦位置とが一致するように、光学系を構成すると、通常観察における物体像（以下、「通常像」という）は、ピントの合った像になる。

[0012] 一方、拡大観察時の物体位置は、通常観察時の物体位置から離れている。また、拡大観察時の物体位置は、対物レンズの被写界深度内に含まれない。そのため、通常像にピントが合った状態の光学系では、拡大観察における物体像（以下、「拡大像」という）は、ピントの合った像にはならない。

[0013] 拡大観察でもピントの合った拡大像を得るためには、対物レンズに合焦機能を持たせれば良い。対物レンズが合焦機能を持つことで、通常像と拡大像

の両方を、ピントの合った状態で観察することができる。このようなことから、合焦機能を持つ対物レンズの必要性が増してきている。

[0014] 拡大内視鏡対物レンズとして、3つのレンズ群で構成された対物レンズが特許文献1乃至8に開示されている。

[0015] 特許文献1乃至5に開示された対物レンズは、物体側から順に、正の屈折力を有するレンズ群と、負の屈折力を有するレンズ群と、正の屈折力を有するレンズ群と、を有する。

[0016] 特許文献6に開示された対物レンズは、物体側から順に、負の屈折力を有するレンズ群と、正の屈折力を有するレンズ群と、負の屈折力を有するレンズ群と、を有する。

[0017] 特許文献7、8に開示された対物レンズは、物体側から順に、負の屈折力を有するレンズ群と、正の屈折力を有するレンズ群と、正の屈折力を有するレンズ群と、を有する。

[0018] 特許文献8には、上述の対物レンズとは別の対物レンズが開示されている。別の対物レンズは、正の屈折力を有するレンズ群と、正の屈折力を有するレンズ群と、負の屈折力を有するレンズ群と、を有する。更に別の対物レンズは、負の屈折力を有するレンズ群と、負の屈折力を有するレンズ群と、正の屈折力を有するレンズ群と、を有する。

[0019] 特許文献1乃至5に記載の対物レンズでは、拡大観察時の物体への合焦が可能である。よって、これらの対物レンズは、病変部の質的診断を行うのに必要な拡大倍率で観察が可能である。特許文献6乃至8に開示された対物レンズでは、レンズが撮像面側に配置されている。このレンズは、いわゆる、フィールドレンズである。

先行技術文献

特許文献

[0020] 特許文献1：特公昭61-044283号公報

特許文献2：特開平06-317744号公報

特許文献3：特開平11-316339号公報

特許文献4：特開2009-294496号公報

特許文献5：特開2012-32576号公報

特許文献6：特開2000-267002号公報

特許文献7：特許3765500号公報

特許文献8：特公平4-3851号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0021] 拡大観察ができる内視鏡（以下、「拡大内視鏡」という）においても、多画素化された撮像素子が使用されている。そして、多画素化された撮像素子では、年々、小型化が進んでいる。そのため、拡大内視鏡対物レンズも、撮像素子の小型化に対応する必要がある。

[0022] ただし、従来の対物レンズを単に小型化すると、製造誤差に対する感度が高くなる。対物レンズでは、製造誤差の量に応じて、収差量が変化する。製造誤差に対する感度が高いと、誤差の量が小さくても収差量が大きく変化する。

[0023] 従来の対物レンズを単に小型化すると、製造誤差に対する感度が高くなる。製造誤差に対する感度が高いと、誤差の量が少なくても収差量が大きく変化する。このように、従来の対物レンズを単に小型化すると、結像性能への影響が大きくなる。

[0024] 特許文献1乃至8に開示されている対物レンズは、Fナンバーが十分に小さい対物レンズとは言い難い。そのため、これらの対物レンズは、小型で高精細な撮像素子に対応した結像性能を持っているとは言い難い。

[0025] 高精細な撮像素子に対応するためには、これらの対物レンズでFナンバーを小さくすることが考えられる。しかしながら、Fナンバーを小さくしたとしても、所望の結像性能の達成が難しいことは、容易に予測できる。そのため、Fナンバーを小さくしても、その対物レンズは、高精細な撮像素子に対応した対物レンズとは言い難い。

[0026] また、内視鏡では、組立時に、像位置の調整が行われる。像位置の調整で

は、例えば、通常観察時に、通常像が対物レンズの像位置に形成されるようにする。対物レンズの像位置には、撮像素子の撮像面が位置している。よって、像位置の調整では、通常像が撮像面上に形成されるように、例えば、対物レンズ全体を移動させる調整、又は対物レンズの一部のレンズを移動させる調整が行われる。

[0027] 従来の対物レンズを単に小型化すると、像位置の調整時におけるレンズの調整量に対する像の移動量の比率（以下、「調整感度」という）が高くなる。

[0028] 加えて、撮像素子が小型で高精細な場合、像位置の調整も高精度化する必要がある。そのため、撮像素子が小型で高精細だと、像位置の調整を短時間で簡単に行うことが難しくなる。また、調整感度が高くなると、製造誤差による被写界深度のばらつきが大きくなるといった問題が生じやすい。

[0029] 調整感度は、撮像素子側、例えば、撮像面の直前にレンズを配置することで低くできる。特許文献6乃至8の対物レンズでは、撮像素子側にレンズが配置されている。このレンズはフィールドレンズであって、主に撮像面へ入射する主光線が略光軸と平行となるようにするために配置されている。このレンズの屈折力はそれほど大きくはないので、調整感度を十分に低くすることは難しい。

[0030] 本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、様々な誤差による影響を受けにくく、諸収差が良好に補正された対物光学系を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0031] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る対物光学系は、

物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群と、負屈折力の第2レンズ群と、正屈折力の第3レンズ群と、で構成され、
第2レンズ群を動かすことにより合焦を行い、
第3レンズ群は、正レンズと、接合レンズと、を少なくとも含み、

第3レンズ群の接合レンズは、正レンズと、負レンズと、を有し、
第3レンズ群の第1副レンズ群は、所定の空気間隔よりも物体側に位置し、
、
第3レンズ群の第2副レンズ群は、所定の空気間隔よりも像側に位置し、
所定の空気間隔は、第3レンズ群における空気間隔のなかで最大の空気間隔であり、

以下の条件式（1）、（2）を満足することを特徴とする。

$$1.21 < f_p / f < 2.42 \quad (1)$$

$$0.35 < t_t / f < 0.6 \quad (2)$$

ここで、

f_p は、第1レンズ群から第1副レンズ群までの合成焦点距離、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

t_t は、所定の空気間隔、

である。

発明の効果

[0032] 本発明の一実施形態に係る対物光学系は、様々な誤差による影響を受けにくく、諸収差が良好に補正された対物光学系を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]本実施形態の対物光学系の具体的な構成を示す断面図である。

[図2]実施例1の対物光学系の断面図である。

[図3]実施例1の対物光学系の収差図である。

[図4]実施例2の対物光学系の断面図である。

[図5]実施例2の対物光学系の収差図である。

[図6]実施例3の対物光学系の断面図である。

[図7]実施例3の対物光学系の収差図である。

[図8]実施例4の対物光学系の断面図である。

[図9]実施例4の対物光学系の収差図である。

[図10]実施例5の対物光学系の断面図である。

[図11]実施例5の対物光学系の収差図である。

発明を実施するための形態

[0034] 以下、本実施形態に係る対物光学系について、図面を用いて、このような構成をとった理由と作用を説明する。なお、以下の実施形態によりこの発明が限定されるものではない。

[0035] 本実施形態に係る対物光学系は、例えば、内視鏡の対物レンズに用いることができる。この場合、本実施形態に係る対物光学系は、内視鏡観察において、一つの光学系で通常観察と拡大観察とを行うことができる。そのために、対物光学系を複数のレンズ群で構成し、その複数のレンズ群の少なくとも1つのレンズ群が光軸上を移動する。これにより、遠距離物点に合焦した場合に通常観察を行うことができ、近距離物点に合焦した場合に拡大観察を行うことができる。すなわち、拡大観察の延長という形で顕微鏡観察と同等レベルの観察、より高い倍率での拡大観察ができる。

[0036] 本実施形態に係る対物光学系の基本構成について説明する。基本構成では、対物光学系は、物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群と、負屈折力の第2レンズ群と、正屈折力の第3レンズ群と、で構成され、第2レンズ群を動かすことにより、合焦を行い、第3レンズ群は、正レンズと、接合レンズと、を少なくとも含み、第3レンズ群の接合レンズは、正レンズと、負レンズと、を有し、第3レンズ群の第1副レンズ群は、所定の空気間隔よりも物体側に位置し、第3レンズ群の第2副レンズ群は、所定の空気間隔よりも像側に位置している。所定の空気間隔は、第3レンズ群における空気間隔のなかで最大の空気間隔である。

[0037] 基本構成では、対物光学系は、物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群と、負屈折力の第2レンズ群と、正屈折力の第3レンズ群と、で構成されている。このようにすることで、合焦時の収差変動を、最小限に抑えることができるだけでなく、光学系全体の小型化を実現しやすくなる。

[0038] 通常観察時と拡大観察時とでは、物点距離が異なる。また、通常観察時から拡大観察時までの間では、物点距離が連続的に変化する。観察では、物点

距離が変化しても、鮮明な像が形成されること好ましい。そのためには、レンズ群を少なくとも1つ動かす必要がある。

[0039] 対物光学系が複数のレンズ群で構成されている場合、合焦のために移動させるレンズ群は、どのレンズ群であっても良い。また、移動させるレンズ群の数は、1つでも複数でも良い。

[0040] 移動させるレンズ群の数は、少ないほうが好ましい。移動させるレンズ群の数を1つにすると、駆動機構を簡略化できるという効果を奏する。

[0041] また、複数のレンズ群を移動させる場合も、移動させるレンズ群の数は少ないほうが好ましい。例えば、対物光学系の全体を移動させる場合、全てのレンズ群を移動させることになる。この場合、移動させるレンズ群の重量が大きくなる。このため、駆動機構にかかる負担が大きくなり、また、駆動機構も大型化する。よって、全てのレンズ群を移動させることは、好ましくない。

[0042] また、レンズ群は固定しておき、その代わりに、撮像素子を移動させることもできる。しかしながら、撮像素子を移動させる場合も、駆動機構が必要になる。撮像素子を移動させる場合、駆動機構の構造が複雑化する。そのため、駆動機構の重量が大きくなる。また、駆動機構にかかる負担も大きくなり、また、駆動機構も大型化する。よって、撮像素子を移動させることは、好ましくない。

[0043] 上述のように、基本構成では、第2レンズ群を移動させて合焦を行っている。移動させるレンズ群の数が1つなので、合焦機構を簡略化できる。

[0044] 基本構成の具体的な構成例を説明する。図1は、本実施形態に係る対物光学系の具体的な構成を示す断面図であって、(a)は構成例1の断面図、(b)は構成例2の断面図である。

[0045] 構成例1では、対物光学系は、物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、負屈折力の第2レンズ群G2と、正屈折力の第3レンズ群G3と、で構成されている。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間に、開口絞りSが配置されている。

- [0046] 第1レンズ群G1は、物体側から順に、負の第1レンズL1と、正の第2レンズL2と、正の第3レンズL3と、負の第4レンズL4と、を有している。第3レンズL3と第4レンズL4は接合され、接合レンズCL1を構成している。
- [0047] 第2レンズ群G2は、物体側から順に、負の第5レンズL5と、正の第6レンズL6と、を有している。第5レンズL5と第6レンズL6は接合され、接合レンズCL2を構成している。第2レンズ群G2の屈折力は負の屈折力なので、接合レンズCL2の屈折力は負の屈折力である。
- [0048] 構成例1では、第2レンズ群G2を移動することで、合焦を行っている。図1(a)は、遠距離物点に合焦した状態を示している。近距離物点への合焦では、第2レンズ群G2は像側に移動する。
- [0049] 第3レンズ群G3は、物体側から順に、正の第7レンズL7と、正の第8レンズL8と、負の第9レンズL9と、を有している。第8レンズL8と第9レンズL9は接合され、接合レンズCL3を構成している。
- [0050] 第3レンズ群G3は、第1副レンズ群SUB1と、第2の副レンズ群SUB2と、を有する。第1副レンズ群SUB1は、所定の空気間隔よりも物体側に位置している。第2副レンズ群SUB2は、所定の空気間隔よりも像側に位置している。
- [0051] 所定の空気間隔は、第3レンズ群G3における空気間隔のなかで最大の空気間隔である。この所定の空気間隔は、隣り合うレンズの間の空気間隔である。
- [0052] 構成例1では、隣り合うレンズの間の空気間隔の数は1つである。この空気間隔は、第7レンズL7と第8レンズL8との間の空気間隔である。よって、第7レンズL7と第8レンズL8との間の空気間隔が、所定の空気間隔になる。第1副レンズ群SUB1は、第7レンズL7で構成され、第2副レンズ群SUB2は、第8レンズL8と第9レンズL9とで構成されている。
- [0053] 第1レンズL1と第2レンズL2との間に、第1の平行平板F1が配置されている。第1の平行平板F1は、対物光学系中の任意の位置に配置するこ

とができる。第9レンズL 9の像側に、第2の平行平板F 2と第3の平行平板F 3が配置されている。第2の平行平板F 2と第3の平行平板F 3は接合されている。

[0054] 第2の平行平板F 2と第3の平行平板F 3は、撮像素子のカバーガラスである。第3の平行平板F 3の像側には、撮像素子(不図示)が配置されている。第3の平行平板F 3の像側面は、像面Iになっている。撮像素子の撮像面は、第3の平行平板F 3の像側面と一致している。

[0055] 構成例2では、対物光学系は、物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G 1と、負屈折力の第2レンズ群G 2と、正屈折力の第3レンズ群G 3と、で構成されている。第1レンズ群G 1と第2レンズ群G 2との間に、開口絞りSが配置されている。

[0056] 第1レンズ群G 1は、物体側から順に、負の第1レンズL 1と、正の第2レンズL 2と、正の第3レンズL 3と、負の第4レンズL 4と、を有している。第3レンズL 3と第4レンズL 4は接合され、接合レンズC L 1を構成している。

[0057] 第2レンズ群G 2は、物体側から順に、負の第5レンズL 5と、正の第6レンズL 6と、を有している。第5レンズL 5と第6レンズL 6は接合され、接合レンズC L 2を構成している。第2レンズ群G 2の屈折力は負の屈折力なので、接合レンズC L 2の屈折力は負の屈折力である。

[0058] 構成例2では、第2レンズ群G 2を移動することで、合焦を行っている。図1 (b)は、遠距離物点に合焦した状態を示している。近距離物点への合焦では、第2レンズ群G 2は像側に移動する。

[0059] 第3レンズ群G 3は、物体側から順に、正の第7レンズL 7と、正の第8レンズL 8と、負の第9レンズL 9と、正の第10レンズL 10と、を有している。第8レンズL 8と第9レンズL 9は接合され、接合レンズC L 3を構成している。

[0060] 第3レンズ群G 3は、第1副レンズ群S U B 1と、第2の副レンズ群S U B 2と、を有する。第1副レンズ群S U B 1は、所定の空気間隔よりも物体

側に位置している。第2副レンズ群SUB2は、所定の空気間隔よりも像側に位置している。

[0061] 構成例2では、隣り合うレンズの間の空気間隔の数は2つである。1つ目の空気間隔は、第7レンズL7と第8レンズL8との間の空気間隔である。2つ目の空気間隔は、第9レンズL9と第10レンズL10との間の空気間隔である。

[0062] このうち、2つ目の空気間隔の方が1つ目の空気間隔よりも大きい。よって、第9レンズL9と第10レンズL10との間の空気間隔が、所定の空気間隔になる。第1副レンズ群SUB1は、第7レンズL7、第8レンズL8及び第9レンズL9で構成され、第2副レンズ群SUB2は、第10レンズL10で構成されている。

[0063] 第1レンズL1と第2レンズL2との間に、第1の平行平板F1が配置されている。第1の平行平板F1は、対物光学系中の任意の位置に配置することができる。第10レンズL10の像側に、第2の平行平板F2が配置されている。第2の平行平板F2は、第10レンズL10と接合されている。

[0064] 第2の平行平板F2は、撮像素子のカバーガラスである。第2の平行平板F2の像側には、撮像素子(不図示)が配置されている。第2の平行平板F2の像側面は、像面1になっている。撮像素子は、撮像面が第2の平行平板F2の像側面と一致するように配置されている。

[0065] 第10レンズL10の像側面を、像面1にしても良い。このようにすると、第10レンズL10を撮像面に直接貼り付けることができる。撮像ユニットが対物光学系と撮像素子とで構成されている場合、このようにすることで、撮像ユニットを短縮化することができる。

[0066] 構成例2では、第2副レンズ群SUB2は、第2の平行平板F2と接合されている。そのため、第2副レンズ群SUB2の像側面は平面に限定されてしまう。

[0067] 一方、構成例1では、第2副レンズ群SUB2と第2の平行平板F2とは、空気間隔を挟んで配置されている。この場合、第2副レンズ群SUB2の

像側面は、平面以外の形状にすることができる。そのため、構成例 1 では、第 2 副レンズ群 SUB 2 の屈折力の大きさを自由に設定することができる。その結果、構成例 1 では、収差補正能力を構成例 2 よりも向上させることができる。このように、構成例 1 は、画像の高画質化に有利となる。

[0068] ただし、構成例 1 では、構成例 2 に比べて、光学系の全長が長くなる。光学系の全長を短くしたい場合には、対物光学系の構成を、構成例 2 のようにすることが望ましい。

[0069] 構成例 1 と構成例 2 では、第 2 レンズ群 G 2 の物体側に、明るさ絞り S が配置されている。第 2 レンズ群 G 2 の近傍に明るさ絞り S を配置することで、第 2 レンズ群 G 2 を通過する光線の高さを低くすることができる。その結果、第 2 レンズ群 G 2 の外径を小型化することができる。

[0070] 第 2 レンズ群 G 2 は合焦時に移動する。第 2 レンズ群 G 2 が移動することで、遠距離から近距離までの間のどこに物点が位置していても、合焦することができる。遠距離物点に合焦した場合に通常観察を行うことができ、近距離物点に合焦した場合に拡大観察を行うことができる。

[0071] 第 2 レンズ群 G 2 を光軸方向に動かすためには、移動機構が必要になる。上述のように、基本構成では、第 2 レンズ群 G 2 を小型化することができるので、移動機構を第 2 レンズ群 G 2 の周囲に容易に配置することが可能になる。

[0072] また、移動するレンズ群の数が 1 つなので、移動するレンズ群の重量も小さくできる。よって、移動機構にかかる負荷を低減することができる。更に、移動機構を簡素にすることができる。

[0073] 移動機構としては、例えば、アクチュエーターがある。アクチュエーターは第 2 レンズ群 G 2 を保持するレンズ枠に接続され、これによりレンズ枠に駆動力が与えられる。

[0074] 第 3 レンズ群 G 3 は、正レンズと接合レンズとを少なくとも含んでいる。これにより、球面収差と色収差を良好に補正することができる。正レンズと接合レンズは、各々複数であっても良い。

[0075] 構成例１と構成例２では、第１レンズ群Ｇ１中に第１の平行平板Ｆ１が配置されている。第１の平行平板Ｆ１は特定の波長、例えば、ＹＡＧレーザのレーザ光（波長１０６０ｎｍの光）、半導体レーザのレーザ光（波長８１０ｎｍの光）、あるいは近赤外領域の波長の光をカットするためのフィルタである。

[0076] 本実施形態に係る対物光学系は、上述の基本構成を備えると共に、以下の条件式（１）を満足する。

$$1.21 < f_p / f < 2.42 \quad (1)$$

ここで、

f_p は、第１レンズ群から第１副レンズ群までの合成焦点距離、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

である。

[0077] 像位置の調整では、最良像面が像位置（撮像面）と一致するように調整が行われる。本実施形態に係る対物光学系は、高精細で小型の撮像素子に対応した対物光学系である。このような対物光学系では、最小錯乱円径が非常に小さく、又、調整感度が高くなってしまう。そのため、像位置の調整時、対物光学系全体を光軸に沿って移動すると、像位置の調整が難しくなる。

[0078] そこで、本実施形態に係る対物光学系では、像位置の調整時、対物光学系の一部のレンズ（以下、「調整群」という）を光軸に沿って移動させている。このようにすることで、対物光学系全体の屈折力は、調整群と、残りのレンズ（以下、「固定群」という）とに分けられる。すなわち、調整群の屈折力を、対物光学系全体の屈折力よりも小さくすることができる。その結果、調整感度を低くすることができる。

[0079] 調整感度を低くできることで、調整群の移動量（以下、「調整量」という）をある程度大きくできる。よって、レンズを移動させる機構を複雑にすることなく、正確にレンズを移動させることができる。すなわち、高い精度で像位置の調整を行うことができる。また、調整感度が低いと、調整後の対物光学系での誤差発生に対しても諸収差に影響への影響が小さく、高い結像性

能を保ったままの対物光学系を実現できる。

[0080] 調整群は、固定群よりも物体側に位置するレンズによって構成されていることが好ましい。このようなことから、本実施形態に係る対物光学系では、第1レンズ群から第1副レンズ群までを、調整群としている。

[0081] 条件式(1)は、対物光学系を、像位置の調整に最も適した光学系とするための条件式である。

[0082] 条件式(1)の下限値を下回ると、調整群の屈折力と対物光学系全体の屈折力との差がほとんど無くなる。この場合、調整感度を低くする効果が薄れるので、高い精度で像位置の調整を行うことが困難になる。そのため、調整後の対物光学系で、諸収差の発生が抑制された状態を実現することが困難になる。

[0083] また、対物光学系全体の屈折力を、調整群と固定群に分けた意味がほとんどなくなってしまう。よって、条件式(1)の下限値を下回することは好ましくない。

[0084] 条件式(1)の上限値を上回ると、調整群の屈折力が小さくなりすぎる。この場合、調整感度は低くできるが、相対的に固定群の焦点距離が短くなる。固定群の焦点距離が短くなると、固定群での球面収差の発生量が増大する。そのため、高精細な撮像素子に対応した対物光学系を実現することが困難になる。

[0085] 条件式(1)に代えて、以下の条件式(1')を満足することが好ましい。

$$1. \quad 3 < f_p / f < 2.2 \quad (1')$$

[0086] 条件式(1')を満足することで、上述の効果がより一層大きくなる。そのため、調整感度を低くすることが可能となる。条件式(1)や(1')を満足することで、どのような構成の光学系であっても、高い精度で像位置の調整を行うことができる。よって、高い結像性能持つ対物光学系を実現できる。

[0087] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式(2)を満足することが好

ましい。

$$0.35 < t_t / f < 0.6 \quad (2)$$

ここで、

t_t は、所定の空気間隔、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

である。

[0088] 上述のように、像位置の調整では、調整群を光軸に沿って移動させる。調整群の調整量は、所定の間隔で決まる。よって、条件式(2)は、この調整量に関する条件式を表している。

[0089] 条件式(2)の下限値を下回ると、所定の間隔を十分に確保するのが困難となる。この場合、調整量を十分に確保できなくなる。そのため、製造誤差が大きくなると、像位置の調整を行うことができなくなる。

[0090] 条件式(2)の上限値を上回ると、調整量は十分に確保できる。しかしながら、調整量が大きくなるため、光学系の全長が長くなる。また、レンズを保持する枠部材の大型化を招いてしまう。よって、条件式(2)の上限値を上回することは好ましくない。

[0091] 所定の空気間隔は、調整群が移動可能な範囲と見なすことができる。この場合、移動可能な範囲は、調整に必要な範囲(調整量)よりも広くなる。条件式(2)の上限値を上回ると、必要以上に所定の間隔が広くなるので、光学系の全長が更に長くなる。

[0092] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式(3)を満足することが好ましい。

$$-1.5 < f_{G2} / f < -5 \quad (3)$$

ここで、

f_{G2} は、第2レンズ群の焦点距離、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

である。

[0093] 物体距離が変化してもピントの合った像を形成するために、本実施形態の

対物光学系は合焦機能を備えている。合焦では、物体距離の変化に応じて、第2レンズ群を移動させている。物体距離と合焦時の第2レンズ群の光軸方向の位置との関係は、設計時に決まる。よって、合焦を行う場合は、物体距離に応じて第2レンズ群を移動させ、設計時の位置で第2レンズ群を静止させれば良い。

[0094] この時、第2レンズ群の静止位置と設計時の位置とは、一致することが好ましい。しかしながら、実際には、第2レンズ群の静止位置と設計時の位置との間には、誤差が生じる。この誤差の量に対するピントのずれ量の比率（以下、「合焦時の誤差感度」という）が高いと、誤差の量が小さくても、像位置にピントの合った像が形成されない。

[0095] 条件式（3）を満足することにより、合焦時の誤差感度を低くでき、また、合焦時の収差変動も抑えることができる。

[0096] 条件式（3）の下限値を下回ると、第2レンズ群の移動に伴う像面湾曲の変動が大きくなる。この場合、通常観察時における像面位置と近接観察時における像面位置との間に著しい差が出てくる。そのため、条件式（3）の下限値を下回することは好ましくない。

[0097] 条件式（3）の上限値を上回ると、第2レンズ群の屈折力が大きくなる。この場合、合焦時の誤差感度が高くなる。

[0098] また、第2レンズ群において偏心、例えば、チルトやシフトが生じていることがある。合焦時の誤差感度が高い場合、レンズ群の偏心量が僅かであっても、結像性能の劣化が顕著になる。このようなことから、条件式（3）の上限値を上回することは好ましくない。

[0099] 本実施形態に係る対物光学系では、通常観察と拡大観察が行える。そのため、物体側における合焦範囲が広い。このような対物光学系では、通常観察から拡大観察に切り替えた時の像面位置の変動を、より抑える必要がある。

[0100] 像面位置の変動を抑えるためには、通常観察から拡大観察に切り替えた時の像面湾曲の変動を、より一層小さくすれば良い。このようなことから、条件式（3）に代えて、以下の条件式（3'）を満足することが好ましい。

$$-1.1 < f_{G2} / f < -5 \quad (3')$$

[0101] 条件式(3')を満足することで、合焦時の像面位置の変動を、更に軽減することができる。

[0102] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式(4)を満足することが好ましい。

$$0.7 < f_{G3SUB1} / f_{G3SUB2} < 1.4 \quad (4)$$

ここで、

f_{G3SUB1} は、第1副レンズ群の焦点距離、

f_{G3SUB2} は、第2副レンズ群の焦点距離、

である。

[0103] 像位置の調整では、第2副レンズ群は、像位置に対して固定となっている。そして、第1レンズ群から第1副レンズ群までを移動させる。よって、像位置の調整では、第1副レンズ群と第2副レンズ群との間の間隔が変化する。この間隔を変化させたときに収差変動が大きいと、像位置の調整時に結像性能の劣化が生じることになる。像位置の調整時に生じる収差変動、特に像面湾曲の変動は、第1副レンズ群の屈折力と第2副レンズ群の屈折力を適切にすることで最小限に抑えることができる。

[0104] 条件式(4)は、第1副レンズ群の屈折力と第2副レンズ群の屈折力との比の条件式である。条件式(4)を満足することで、第1副レンズ群の屈折力と第2副レンズ群の屈折力を、共に適切にすることができる。そのため、像位置の調整時に、収差の変動、特に像面湾曲の変動を小さくすることができる。

[0105] 条件式(4)の下限値を下回ると、像面湾曲がオーバーになり過ぎる。また、条件式(4)の上限値を上回ると、像面湾曲がアンダーになり過ぎる。いずれの場合も、像面湾曲の発生量が大きいため、像位置の調整時に、像面湾曲の変動が大きくなる。

[0106] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式(5)を満足することが好ましい。

$$-6 < f_{G2} / f_{G1} < -2 \quad (5)$$

ここで、

f_{G2} は、第2レンズ群の焦点距離、

f_{G1} は、第1レンズ群の焦点距離、

である。

[0107] 条件式(5)は、第2レンズ群の屈折力を適切な大きさの屈折力にするための条件式である。条件式(5)を満足することで、第2レンズ群の屈折力を適切な大きさにすることができる。その結果、合焦時における像面位置の変動を抑えることができ、また、光学系の小型化することができる。

[0108] 条件式(5)の下限値を下回ると、第2レンズ群の屈折力が小さくなる。この場合、合焦時の第2レンズ群の移動量が、大きくなりすぎてしまう。そのため、光学系が大型化する。

[0109] 条件式(5)の上限値を上回ると、合焦に伴う像面湾曲の変動が大きくなる。この場合、通常観察時における像位置と拡大観察時における像位置との間に、著しい差が出てしまう。よって、条件式(5)の上限値を上回ることとは好ましくない。

[0110] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式(6)を満足することが好ましい。

$$-7.6 < f_{G2} / f_{G3} < -2.4 \quad (6)$$

ここで、

f_{G2} は、第2レンズ群の焦点距離、

f_{G3} は、第3レンズ群の焦点距離、

である。

[0111] 条件式(6)は、像面湾曲の補正に関する条件式である。条件式(6)を満足することで、像面湾曲を良好に補正することができる。

[0112] 条件式(6)の下限値を下回ると、像面湾曲がオーバーになり過ぎる。条件式(6)の上限値を上回ると、像面湾曲がアンダーになり過ぎる。いずれの場合も、像面が傾いてしまうので、像の中心部と周辺部のどちらかで、ピ

ントを合わせることができない。

[0113] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式（７）を満足することが好ましい。

$$1. \quad 0 < f_{G3} / f_{G1} < 2. \quad 0 \quad (7)$$

ここで、

f_{G3} は、第３レンズ群の焦点距離、

f_{G1} は、第１レンズ群の焦点距離、

である。

[0114] 条件式（７）は、倍率色収差の補正に関する条件式である。条件式（７）を満足することで、倍率色収差を良好に補正することができる。

[0115] 条件式（７）の下限値を下回ると、Ｃ線における倍率色収差とＦ線における倍率色収差との差が補正過剰となる。また、軸上色収差では、各波長における収差量のバランスが崩れる。よって、条件式（７）の下限値を下回るとは好ましくない。

[0116] 条件式（７）の上限値を上回ると、倍率色収差が補正不足となる。よって、条件式（７）の上限値を上回るとはため好ましくない。

[0117] 条件式（７）を満足しない場合は、像の周辺部で色にじみが発生する。そのため、像の周辺部でコントラストの低下を招いてしまう。

[0118] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式（８）を満足することが好ましい。

$$1. \quad 4 < (t_{12} + t_{23}) / f < 3. \quad 2 \quad (8)$$

ここで、

t_{12} は、遠距離物点合焦時の第１レンズ群と第２レンズ群との間隔、

t_{23} は、遠距離物点合焦時の第２レンズ群と第３レンズ群との間隔、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

である。

[0119] 条件式（８）は、合焦時のレンズ群の移動量に関する条件式である。

[0120] 条件式（８）の下限値を下回ると、第１レンズ群と第３レンズ群との間隔

が短くなる。そのため、第2レンズ群の移動に必要なスペースの確保が困難となる。

[0121] 拡大観察では、物体距離が2 mm前後になる。内視鏡の対物光学系では、このような近距離に位置する物体まで合焦できることが必要になる。そのため、第2レンズ群の移動に必要なスペースを確保できないと、近距離に位置する物体にフォーカシングできなくなる。その結果、高倍率での拡大観察が困難となる。

[0122] 第2レンズ群の移動に必要なスペースを十分に確保できないと、狭いスペースで第2レンズ群を移動させなくてはならない。そのためには、第2レンズ群の屈折力を大きくしなくてはならない。

[0123] 上述のように、合焦時の第2レンズ群の静止位置は、設計時に決まっている。第2レンズ群の屈折力が大きいと、第2レンズ群の静止位置と設計時の位置との差が小さくても、像位置にピントの合った像が形成されない。

[0124] さらに、このスペースに収まるように第2レンズ群の移動量を小さくした場合、合焦時の誤差感度が高くなる。また、製造誤差による不具合、例えば、第2レンズ群の位置ずれに対する像面位置ずれが大きくなるといったことが生じやすくなる。

[0125] 条件式(8)の上限値を上回ると、第1レンズ群と第3レンズ群との間隔が大きくなりすぎる。この場合、第2レンズ群の移動に必要なスペースを確保することはできるが、光学系が大型化してしまう。

[0126] 条件式(8)に代えて、以下の条件式(8')を満足することが好ましい。

$$1.8 < (t_{12} + t_{23}) / f < 2.9 \quad (8')$$

[0127] 条件式(8')を満足することで、第2レンズ群の移動に必要な最小限のスペースの確保と、光学系の十分な小型化とを実現することができる。

[0128] 本実施形態に係る対物光学系は、第1レンズ群は第1レンズを有し、以下の条件式(9)を満足することが好ましい。

$$-0.8 < f_{L1} / f_{G1} < -0.5 \quad (9)$$

ここで、

f_{L1} は、第1レンズの焦点距離、

f_{G1} は、第1レンズ群の焦点距離、

である。

[0129] 条件式(9)は、画角に関する誤差感度の低減に係わる条件式である。第1レンズと第2レンズとの間の空気間隔(以下、「間隔 L_{12} 」という)の誤差は、他のレンズ間隔における誤差に比べて、画角の変動に大きく寄与する。条件式(9)を満足するように、第1レンズの焦点距離を設定することで、製造誤差に強い対物光学系を実現できる。

[0130] 条件式(9)の下限値を下回ると、第1レンズの屈折力が小さくなる。この場合、画角に関する誤差感度は低減される。しかしながら、間隔 L_{12} を変化させて画角を適正な画角になるように調整しようとした場合、調整量、すなわち、間隔 L_{12} の値が大きくなり過ぎる。そのため、光学系の全長が長くなる。よって、条件式(9)の下限値を下回することは、好ましくない。

[0131] 条件式(9)の上限値を上回ると、第1レンズの屈折力が大きくなりすぎる。この場合、画角に関する誤差感度が大きくなる。間隔 L_{12} を変化させて画角を適正な画角になるように調整しようとする際に、調整が困難になる。

[0132] また、第2レンズ群は合焦時に移動する。第2レンズ群の静止位置に誤差が生じると、製造時に画角調整ができていても、使用時に画角は大きく変化してしまう。このように、調整後に誤差が発生した場合、誤差による画角の変化も大きくなる。よって、条件式(9)の上限値を上回することは好ましくない。

[0133] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式(10)を満足することが好ましい。

$$1.8 < r_{G3SUB2F} / f < 5.2 \quad (10)$$

ここで、

$r_{G3SUB2F}$ は、第2副レンズ群において最も物体側に位置するレンズ面の曲

率半径、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、
である。

[0134] 条件式 (10) は、像面へ入射する主光線の角度（以下、「入射角度」という）を適切にするための条件式である。この角度は、主光線と光軸とのなす角度である。撮像素子で像の撮像を行う場合、撮像素子の撮像面が像面の代わりになる。よって、ここでは、撮像面へ入射する主光線の角度も、入射角度という。

[0135] 撮像素子では、入射角度が大きくなるほど、画素で検出される光量が少なくなる。入射角度が同じであっても、画素の面積が小さいほど、検出される光量も少なくなる。小型で高精細な撮像素子では、画素の面積が小さい。よって、小型で高精細な撮像素子では、入射角度を、ある程度小さくしておく必要がある。

[0136] 像面の最も近くに配置されたレンズでは、主光線は光軸に近づくように屈折される。条件式 (10) の下限値を下回ると、主光線が大きく屈折される。この場合、対物光学系は、テレセントリックな光学系となる。テレセントリックな光学系では、入射角度は小さくなる。よって、小型で高精細な撮像素子を用いても、明るい画像を取得できる。

[0137] しかしながら、光線高が大きくなるため、レンズが大径化してしまう。また、像面の最も近くに配置されたレンズの入射面で、球面収差の発生量が大きくなってしまう。

[0138] 条件式 (10) の上限値を上回ると、入射角度が大きくなる。この場合、撮像面の周辺に位置する画素ほど、検出される光量が少なくなる。その結果、撮像された画像には、周辺減光が生じる。

[0139] 更に、条件式 (10) の上限値を上回ると、条件式 (1) を満足できなくなる。そのため、調整感度を低くする効果が薄れてしまう。

[0140] 条件式 (10) に代えて、以下の条件式 (10') を満足することが好ましい。

$$2.3 < r_{G3SUB2F} / f < 4.9 \quad (10')$$

[0141] 条件式(10')を満足することで、光学系のより一層の小型化と、調整感度をより低くすることができる。

[0142] 本実施形態に係る対物光学系では、第3レンズ群は、物体側から順に、正レンズと、接合レンズと、からなることが好ましい。

[0143] このようにすると、接合レンズが像側に位置する。そのため、軸上色収差の発生と倍率色収差の発生を小さくすることができる。

[0144] この場合、第1副レンズ群は正レンズからなり、第2副レンズ群は接合レンズからなる。

[0145] 本実施形態に係る対物光学系では、第3レンズ群は、更に、別の接合レンズを有し、別の接合レンズは、正レンズと負レンズとを有することが好ましい。

[0146] このようにすることで、色収差をより良好に補正できる。

[0147] 本実施形態に係る対物光学系では、第3レンズ群は、物体側から順に、正レンズと、接合レンズと、別の接合レンズと、からなることが好ましい。

[0148] このようにすると、2つの接合レンズが最も像側に位置する。そのため、軸上色収差の発生と倍率色収差の発生を、一層小さくすることができる。

[0149] この場合、第1副レンズ群は正レンズからなり、第2副レンズ群は接合レンズと別の接合レンズとからなることが好ましい。

[0150] あるいは、第1副レンズ群は正レンズと接合レンズとからなり、第2副レンズ群は別の接合レンズからなることが好ましい。

[0151] 本実施形態に係る対物光学系では、第3レンズ群は、更に、別の正レンズを有することが好ましい。

[0152] このようにすることで、球面収差をより良好に補正できる。

[0153] 本実施形態に係る対物光学系では、第3レンズ群は、物体側から順に、正レンズと、別の正レンズと、接合レンズと、からなることが好ましい。

[0154] このようにすると、接合レンズが最も像側に位置する。そのため、軸上色収差の発生と倍率色収差の発生を小さくすることができる。

[0155] また、別の正レンズと接合レンズとで、球面収差を小さく抑えることが可能となる。そのため、像位置の調整の際の収差変動を低減することができる。

[0156] この場合、第1副レンズ群SUB1は正レンズからなり、第2副レンズ群SUB2は正レンズと、接合レンズと、からなることが好ましい。

[0157] 本実施形態に係る対物光学系では、第3レンズ群は、物体側から順に、正レンズと、接合レンズと、別の正レンズと、からなることが好ましい。

[0158] このようにすると、接合レンズが像側に位置する。そのため、軸上色収差の発生と倍率色収差の発生を小さくすることができる。

[0159] この場合、第1副レンズ群は正レンズと、接合レンズと、からなり、第2副レンズ群は接合レンズからなることが好ましい。

[0160] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式(11)を満足することが好ましい。

$$4. \quad 0 < f_{G3SUB2F} / f < 6.5 \quad (11)$$

ここで、

$f_{G3SUB2F}$ は、所定のレンズ面の焦点距離、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

所定のレンズ面は、第2副レンズ群の最も物体側に位置するレンズ面、である。

[0161] 条件式(11)は、調整感度の低減に係わる条件式である。

[0162] 製造時に生じる部品単体や光学系における偏心に対する周辺性能の低下量の比率（以下「周辺性能に関する誤差感度」という）が高いと、像の周辺における結像性能が低下する。

[0163] 条件式(11)の下限を下回ると、周辺性能に関する誤差感度が高くなる。また、偏角への影響も大となる。よって、条件式(11)の下限を下回るとは好ましくない。

[0164] 構成例2のような対物光学系では、調整感度は低減できる。しかしながら、レンズの屈折力を決めるレンズ面が1面しかいないため、レンズ面の曲率半

径が小さくなる。その結果、周辺性能に関する誤差感度が高くなる。また、偏角への影響も顕著となる。

[0165] 条件式 (11) の上限を上回ると、光学系第2副レンズ群の屈折力が小さくなるため、相対的に、移動群の屈折力が大きくなる。この場合、調整感度が高くなる。そのため、像位置の調整が難しくなる。

[0166] 条件式 (11) に代えて、以下の条件式 (11') 又は (11'') を満足することが好ましい。

$$4.5 < f_{3GF} / f < 6.5 \quad (11')$$

$$4.5 < f_{3GF} / f < 5.5 \quad (11'')$$

[0167] 条件式 (11') や (11'') を満足することで、調整感度を更に低減することができる。その結果、製造コストの低減を行うことができる。

[0168] 本実施形態に係る対物光学系では、第3レンズ群の最も像側に位置するレンズは、平凸レンズであり、平凸レンズの物体側面が物体側に凸の面であることが好ましい。

[0169] このようにすることで、像面に入射する光線を、光軸に近づくように屈折させることができる。

[0170] 平凸レンズの像側面が平面であるので、撮像面と貼り合わせることや、撮像素子のカバーガラスを張り合わせることができる。

[0171] 本実施形態に係る対物光学系は、所定の接合レンズを有し、所定の接合レンズは、明るさ絞りの物体側に、明るさ絞りと隣り合うように配置されていることが好ましい。

[0172] 高精細の撮像素子に対応するためには、軸上色収差の補正が重要となる。上述のようにすることで、明るさ絞りの直前に接合レンズが配置される。これにより、軸上色収差の十分な補正が可能となる。その結果、高精細の撮像素子に対応することができる。

[0173] 本実施形態に係る対物光学系では、所定の接合レンズは、第1レンズ群中で最も像側に配置され、両凸レンズと像側に凸面を向けた負メニスカスレンズとから構成されていることが好ましい。

[0174] 本実施形態に係る対物光学系は、以下の条件式（１２）を満足することが好ましい。

ここで、

$$-3.0 < f_{G1CL} / r_{G1CL} < -0.7 \quad (12)$$

f_{G1CL} は、所定の接合レンズの焦点距離、

r_{G1CL} は、所定の接合レンズの接合面の曲率半径、

である。

[0175] 条件式（１２）は、軸上色収差の補正に関する条件式である。

[0176] 条件式（１２）の下限値を下回ると、軸上色収差が補正過剰になり、加えて、球面収差がアンダーになると共に、倍率色収差も大きくなる。よって、条件式（１２）の下限値を下回することは好ましくない。

[0177] 条件式（１２）の上限値を上回ると、軸上色収差が補正不足となる。その結果、像のコントラストが低減する。よって、条件式（１２）の上限値を上回することは好ましくない。

[0178] 本実施形態に係る対物光学系では、第１レンズ群は、物体側から順に、像側に凹面を向けた平凹レンズと、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと、両凸レンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、を少なくとも有することが好ましい。

[0179] このようにすることで、軸上色収差の補正と倍率色収差補正とがバランスのとれた状態にできる。加えて、像面湾曲も良好に補正できる。

[0180] 本実施形態に係る対物光学系では、両凸レンズと像側に凸面を向けた負メニスカスレンズとが接合されていることが好ましい。

[0181] 接合レンズを構成する正レンズの形状が両凸形状であると、球面収差を良好に補正することができる。

[0182] 本実施形態に係る対物光学系では、第１レンズ群は、物体側から順に、像側に凹面を向けた平凹レンズと、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、両凸レンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、を少なくとも有することが好ましい。

[0183] 本実施形態に係る対物光学系では、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズとが接合されていることが好ましい。

[0184] このようにすることで、軸上色収差をより十分に補正することができる。

[0185] また、本実施形態に係る対物光学系は、内視鏡以外の光学機器にも使用することができる。

[0186] 例えば、デジタルカメラの撮像光学系に、本実施形態に係る対物光学系を使用することができる。デジタルカメラの撮影では、等倍を超えるようなマクロ撮影を行う場合がある。このような場合には、レンズの繰り出し量が大きくなることもあって、マクロコンバータレンズを装着することが多い。しかしながら、本実施形態の対物光学系を撮像光学系として用いることによって、マクロコンバータレンズを装着することなく、今までにない高倍率のマクロ撮影を行うことができる。

[0187] また、一般的に、マクロレンズは、第1レンズ群を物体側に繰り出し、なお且つ複数のレンズ群のフローティングによって合焦を行う。一方、本実施形態の対物光学系を用いると、インナーフォーカスでのマクロ撮影が可能となる。そのため、ワーキングディスタンスを決めてから撮影する場合には有利である。

[0188] さらに、携帯型機器、例えば、携帯電話のカメラの撮像光学系に、本実施形態に係る対物光学系を使用することもできる。このようにすることで、手軽にマクロ撮影が楽しめるようになる。

[0189] (実施例1)

実施例1に係る対物光学系について説明する。図2は、実施例1に係る対物光学系のレンズ断面図であって、(a)は通常観察状態における断面図、(b)は拡大観察状態における断面図である。

[0190] 実施例1の対物光学系は、図2に示すように、物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、負屈折力の第2レンズ群G2と、正屈折力の第3レンズ群G3と、からなる。

- [0191] 第1レンズ群G1は、物体側が平面である平凹負レンズL1と、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズL2と、両凸正レンズL3と、像側が平面である平凹負レンズL4と、からなる。ここで、両凸正レンズL3と平凹負レンズL4とで、接合レンズを形成している。
- [0192] 第2レンズ群G2は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL5と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL6と、からなる。ここで、負メニスカスレンズL5と正メニスカスレンズL6とで、接合レンズを形成している。
- [0193] 明るさ絞りSは、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間に配置されている。より詳しくは、明るさ絞りSは、第2レンズ群G2において最も物体側に配置されている。
- [0194] 第3レンズ群G3は、両凸正レンズL7と、両凸正レンズL8と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL9と、からなる。ここで、両凸正レンズL8と負メニスカスレンズL9とで、接合レンズを形成している。
- [0195] 第1副レンズ群SUB1は、両凸正レンズL7で構成されている。第2副レンズ群SUB2は、両凸正レンズL8と負メニスカスレンズL9とで構成されている。
- [0196] 平凹負レンズL1の像側には平行平板F1が配置されている。第3レンズ群G3の像側には、平行平板F2と、平行平板F3と、が配置されている。
- [0197] 合焦時、第2レンズ群G2と明るさ絞りSとが一体となって移動する。遠距離物点に合焦した状態から近距離物点に合焦するとき、第2レンズ群G2と明るさ絞りSは像側に移動する。
- [0198] 実施例1の対物光学系は、上述の基本構成を備えると共に、条件式(1)から(12)をいずれも満足している。
- [0199] 図3(a)、(b)、(c)及び(d)は、それぞれ、実施例1の通常観察状態における球面収差(SA)、非点収差(AS)、歪曲収差(DT)、倍率色収差(CC)の収差図である。図3(e)、(f)、(g)及び(h

）は、それぞれ、実施例１の拡大観察状態における球面収差（ＳＡ）、非点収差（ＡＳ）、歪曲収差（ＤＴ）、倍率色収差（ＣＣ）の収差図である。

[0200] 各収差図において、横軸は収差量を表している。球面収差、非点収差及び倍率収差については、収差量の単位はmmである。また、歪曲収差については、収差量の単位は％である。また、 ω は半画角で単位は $^{\circ}$ （度）、FNOはFナンバーである。また、収差曲線の波長の単位はnmである。これらは、他の実施例でも同じである。

[0201] （実施例２）

実施例２に係る対物光学系について説明する。図４は、実施例２に係る対物光学系のレンズ断面図であって、（a）は通常観察状態における断面図、（b）は拡大観察状態における断面図である。

[0202] 実施例１の対物光学系は、図４に示すように、物体側から順に、正屈折力の第１レンズ群G１と、負屈折力の第２レンズ群G２と、正屈折力の第３レンズ群G３と、からなる。

[0203] 第１レンズ群G１は、物体側が平面である平凹負レンズL１と、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズ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、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL５と、からなる。ここで、正メニスカスレンズL２と負メニスカスレンズL３とで、接合レンズを形成している。両凸正レンズL４と負メニスカスレンズL５とで、接合レンズを形成している。

[0204] 第２レンズ群G２は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL６と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL７と、からなる。ここで、負メニスカスレンズL６と正メニスカスレンズL７とで、接合レンズを形成している。

[0205] 明るさ絞りSは、第１レンズ群G１と第２レンズ群G２との間に配置されている。より詳しくは、明るさ絞りSは、第２レンズ群G２において最も物体側に配置されている。

[0206] 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L８と、

両凸正レンズL 9と、両凹負レンズL 10と、両凸正レンズL 11と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 12と、からなる。ここで、両凸正レンズL 9と両凹負レンズL 10とで、接合レンズを形成している。両凸正レンズL 11と負メニスカスレンズL 12とで、接合レンズを形成している。

[0207] 第1副レンズ群SUB 1は、正メニスカスレンズL 8で構成されている。第2副レンズ群SUB 2は、平両凸正レンズL 9、両凹負レンズL 10、両凸正レンズL 11及び負メニスカスレンズL 12で構成されている。

[0208] 平凹負レンズL 1の像側には平行平板F 1が配置されている。第3レンズ群G 3の像側には、平行平板F 2が配置されている。

[0209] 合焦時、第2レンズ群G 2と明るさ絞りSとが一体となって移動する。遠距離物点に合焦した状態から近距離物点に合焦するとき、第2レンズ群G 2と明るさ絞りSは像側に移動する。

[0210] 実施例2の対物光学系は、上述の基本構成を備えると共に、条件式(1)から(12)をいずれも満足している。

[0211] 図5(a)、(b)、(c)及び(d)は、それぞれ、実施例2の通常観察状態における球面収差(SA)、非点収差(AS)、歪曲収差(DT)、倍率色収差(CC)の収差図である。図5(e)、(f)、(g)及び(h)は、それぞれ、実施例2の拡大観察状態における球面収差(SA)、非点収差(AS)、歪曲収差(DT)、倍率色収差(CC)の収差図である。

[0212] (実施例3)

実施例3に係る対物光学系について説明する。図6は、実施例3に係る対物光学系のレンズ断面図であって、(a)は通常観察状態における断面図、(b)は拡大観察状態における断面図である。

[0213] 実施例3の対物光学系は、図6に示すように、物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G 1と、負屈折力の第2レンズ群G 2と、正屈折力の第3レンズ群G 3と、からなる。

[0214] 第1レンズ群G 1は、物体側が平面である平凹負レンズL 1と、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 2と、像側に凸面を向けた負メニスカスレ

ンズL 3と、両凸正レンズL 4と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 5と、からなる。ここで、正メニスカスレンズL 2と負メニスカスレンズL 3とで、接合レンズを形成している。両凸正レンズL 4と負メニスカスレンズL 5とで、接合レンズを形成している。

[0215] 第2レンズ群G 2は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 6と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 7と、からなる。ここで、負メニスカスレンズL 6と正メニスカスレンズL 7とで、接合レンズを形成している。

[0216] 明るさ絞りSは、第1レンズ群G 1と第2レンズ群G 2との間に配置されている。より詳しくは、明るさ絞りSは、第2レンズ群G 2において最も物体側に配置されている。

[0217] 第3レンズ群G 3は、両凸正レンズL 8と、両凸正レンズL 9と、両凸正レンズL 10と、両凹負レンズL 11と、からなる。ここで、両凸正レンズL 10と両凹負レンズL 11とで、接合レンズを形成している。

[0218] 第1副レンズ群SUB 1は、正メニスカスレンズL 8で構成されている。第2副レンズ群SUB 2は、平両凸正レンズL 9、両凸正レンズL 10及び両凹負レンズL 11で構成されている。

[0219] 平凹負レンズL 1の像側には平行平板F 1が配置されている。第3レンズ群G 3の像側には、平行平板F 2が配置されている。

[0220] 合焦時、第2レンズ群G 2と明るさ絞りSとが一体となって移動する。遠距離物点に合焦した状態から近距離物点に合焦するとき、第2レンズ群G 2と明るさ絞りSは像側に移動する。

[0221] 実施例3の対物光学系は、上述の基本構成を備えると共に、条件式(1)から(12)をいずれも満足している。

[0222] 図7(a)、(b)、(c)及び(d)は、それぞれ、実施例3の通常観察状態における球面収差(SA)、非点収差(AS)、歪曲収差(DT)、倍率色収差(CC)の収差図である。図7(e)、(f)、(g)及び(h)は、それぞれ、実施例3の拡大観察状態における球面収差(SA)、非点

収差（A S）、歪曲収差（D T）、倍率色収差（C C）の収差図である。

[0223] （実施例 4）

実施例 4 に係る対物光学系について説明する。図 8 は、実施例 4 に係る対物光学系のレンズ断面図であって、（a）は通常観察状態における断面図、（b）は拡大観察状態における断面図である。

[0224] 実施例 4 の対物光学系は、図 8 に示すように、物体側から順に、正屈折力の第 1 レンズ群 G 1 と、負屈折力の第 2 レンズ群 G 2 と、正屈折力の第 3 レンズ群 G 3 と、からなる。

[0225] 第 1 レンズ群 G 1 は、物体側が平面である平凹負レンズ L 1 と、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 2 と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 3 と、両凸正レンズ L 4 と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 5 と、からなる。ここで、両凸正レンズ L 4 と負メニスカスレンズ L 5 とで、接合レンズを形成している。

[0226] 第 2 レンズ群 G 2 は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 6 と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 7 と、からなる。ここで、負メニスカスレンズ L 6 と正メニスカスレンズ L 7 とで、接合レンズを形成している。

[0227] 明るさ絞り S は、第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 との間に配置されている。より詳しくは、明るさ絞り S は、第 2 レンズ群 G 2 において最も物体側に配置されている。

[0228] 第 3 レンズ群 G 3 は、両凸正レンズ L 8 と、両凸正レンズ L 9 と、両凹負レンズ L 10 と、両凸正レンズ L 11 と、両凹負レンズ L 12 と、からなる。ここで、両凸正レンズ L 9 と両凹負レンズ L 10 とで、接合レンズを形成している。両凸正レンズ L 11 と両凹負レンズ L 12 とで、接合レンズを形成している。

[0229] 第 1 副レンズ群 S U B 1 は、正メニスカスレンズ L 8、平両凸正レンズ L 9 及び両凹負レンズ L 10 で構成されている。第 2 副レンズ群 S U B 2 は、凸正レンズ L 11 と両凹負レンズ L 12 とで構成されている。

[0230] 平凹負レンズL 1の像側には平行平板F 1が配置されている。第3レンズ群G 3の像側には、平行平板F 2と平行平板F 3とが配置されている。

[0231] 合焦時、第2レンズ群G 2と明るさ絞りSとが一体となって移動する。遠距離物点に合焦した状態から近距離物点に合焦するとき、第2レンズ群G 2と明るさ絞りSは像側に移動する。

[0232] 実施例4の対物光学系は、上述の基本構成を備えると共に、条件式(1)から(12)をいずれも満足している。

[0233] 図9(a)、(b)、(c)及び(d)は、それぞれ、実施例4の通常観察状態における球面収差(SA)、非点収差(AS)、歪曲収差(DT)、倍率色収差(CC)の収差図である。図9(e)、(f)、(g)及び(h)は、それぞれ、実施例4の拡大観察状態における球面収差(SA)、非点収差(AS)、歪曲収差(DT)、倍率色収差(CC)の収差図である。

[0234] (実施例5)

実施例5に係る対物光学系について説明する。図10は、実施例5に係る対物光学系のレンズ断面図であって、(a)は通常観察状態における断面図、(b)は拡大観察状態における断面図である。

[0235] 実施例5の対物光学系は、図10に示すように、物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G 1と、負屈折力の第2レンズ群G 2と、正屈折力の第3レンズ群G 3と、からなる。

[0236] 第1レンズ群G 1は、物体側が平面である平凹負レンズL 1と、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 2と、両凸正レンズL 3と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 4と、からなる。ここで、両凸正レンズL 3と負メニスカスレンズL 4とで、接合レンズを形成している。

[0237] 第2レンズ群G 2は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 5と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 6と、からなる。ここで、負メニスカスレンズL 5と正メニスカスレンズL 6とで、接合レンズを形成している。

- [0238] 明るさ絞りSは、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間に配置されている。より詳しくは、明るさ絞りSは、第2レンズ群G2において最も物体側に配置されている。
- [0239] 第3レンズ群G3は、両凸正レンズL7と、両凸正レンズL8と、両凹負レンズL9と、像側が平面である平凸正レンズL10と、からなる。ここで、両凸正レンズL8と負メニスカスレンズL9とで、接合レンズを形成している。
- [0240] 第1副レンズ群SUB1は、両凸正レンズL7、両凸正レンズL8及び両凹負レンズL9で構成されている。第2副レンズ群SUB2は、平凸正レンズL10で構成されている。
- [0241] 平凹負レンズL1の像側には平行平板F1が配置されている。第3レンズ群G3の像側には、平行平板F2が配置されている。
- [0242] 合焦時、第2レンズ群G2と明るさ絞りSとが一体となって移動する。遠距離物点に合焦した状態から近距離物点に合焦するとき、第2レンズ群G2と明るさ絞りSは像側に移動する。
- [0243] 実施例5の対物光学系は、上述の基本構成を備えると共に、条件式(1)から(12)をいずれも満足している。
- [0244] 図11(a)、(b)、(c)及び(d)は、それぞれ、実施例5の通常観察状態における球面収差(SA)、非点収差(AS)、歪曲収差(DT)、倍率色収差(CC)の収差図である。図11(e)、(f)、(g)及び(h)は、それぞれ、実施例5の拡大観察状態における球面収差(SA)、非点収差(AS)、歪曲収差(DT)、倍率色収差(CC)の収差図である。
- [0245] 以下に、上記各実施例の数値データを示す。面データにおいて、rは各レンズ面の曲率半径、dは各レンズ面間の間隔、 n_e は各レンズのe線の屈折率、 ν_d は各レンズのアッベ数、である。
- [0246] 各種データにおいて、fはe線における焦点距離、FnoはFナンバー、 ω は半画角、IHは像高、OBJは物点距離である。近接観察状態では、拡

大観察を行うことができる。

[0247] 数値実施例 1

単位 m m

面データ

面番号	r	d	ne	νd
1	∞	0.380	1.88815	40.76
2	1.4587	0.799		
3	∞	0.600	1.52300	65.13
4	∞	0.207		
5	-18.6140	5.430	1.75453	35.33
6	-4.1342	0.035		
7	6.6210	0.602	1.77621	49.60
8	-7.1500	0.305	1.93429	18.90
9	∞	可変		
10(絞り)	∞	0.018		
11	16.0613	0.383	1.48915	70.23
12	1.8136	0.718	1.59667	35.31
13	2.3792	可変		
14	3.1450	1.187	1.48915	70.23
15	-25.8393	0.470		
16	2.5943	1.393	1.49846	81.54
17	-3.2345	0.478	1.93429	18.90
18	-10.6398	1.042		
19	∞	0.500	1.51825	64.14
20	∞	0.500	1.51825	64.14
21(撮像面)	∞			

各種データ

	通常観察状態	近接観察状態
f	1.078	1.273
F n o	2.97	3.07
O B J	25.0	2.4
d9	0.161	1.756
d13	1.850	0.255
2 ω	160.5	
I H	1.0	

[0248] 数値実施例 2

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	ν d
1	∞	0.380	1.88815	40.76
2	1.5663	1.000		
3	∞	0.480	1.52300	65.13
4	∞	0.123		
5	-8.8662	1.643	1.51825	64.14
6	-2.4040	2.890	1.79192	25.68
7	-4.7427	0.032		
8	6.8671	0.612	1.74678	49.34
9	-7.1946	0.239	1.93429	18.90
10	-12.1150	可変		
11(絞り)	∞	0.016		
12	8.6769	0.319	1.48915	70.23
13	2.0266	0.363	1.59667	35.31
14	2.7096	可変		

15	3.8880	1.018	1.49846	81.54
16	338.4541	0.522		
17	4.7770	1.262	1.77621	49.60
18	-5.0132	0.478	1.93429	18.90
19	11.7885	0.032		
20	3.5786	1.805	1.48915	70.23
21	-3.1896	0.287	1.70442	30.13
22	-21.0502	0.274		
23	∞	0.880	1.51825	64.14
24(撮像面)	∞			

各種データ

	通常観察状態	近接観察状態
f	1.025	1.195
F n o	2.78	2.80
O B J	24.0	2.30
d10	0.175	2.185
d14	2.432	0.422
2 ω	160.5	
I H	1.0	

[0249] 数値実施例3

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	νd
1	∞	0.380	1.88815	40.76
2	1.7011	1.720		
3	∞	0.500	1.52300	65.13

4	∞	0.426		
5	-5.5510	4.268	1.80642	34.97
6	-1.7758	0.319	1.77621	49.60
7	-6.1467	0.064		
8	8.6816	0.955	1.74678	49.34
9	-3.1980	0.367	1.93429	18.90
10	-9.3464	可変		
11(絞り)	∞	0.020		
12	4.7361	0.367	1.48915	70.23
13	1.7836	0.510	1.59667	35.31
14	2.3291	可変		
15	5.0948	1.037	1.49846	81.54
16	-21.8928	0.518		
17	3.7908	1.435	1.53947	74.70
18	-8.4992	0.032		
19	72.4876	1.276	1.77621	49.60
20	-3.0891	0.478	1.93429	18.90
21	17.8264	0.827		
22	∞	0.550	1.51825	64.14
23(撮像面)	∞			

各種データ

	通常観察状態	近接観察状態
f	1.032	1.148
F n o	3.52	3.39
O B J	27.5	3.39
d10	0.161	2.586
d14	2.691	0.266

2 ω 159.9

1 H 1.0

[0250] 数值実施例 4

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	νd
1	∞	0.380	1.88815	40.76
2	1.4628	0.788		
3	∞	0.400	1.52300	65.13
4	∞	0.312		
5	-4.4644	1.099	1.51825	64.14
6	-3.5574	0.241		
7	-6.0332	4.489	1.79192	25.68
8	-7.8612	0.037		
9	9.3035	0.545	1.74678	49.34
10	-6.9466	0.311	1.93429	18.90
11	-9.4719	可変		
12(絞り)	∞	0.319		
13	7.6703	0.319	1.48915	70.23
14	1.8775	0.410	1.59667	35.31
15	2.7199	可変		
16	2.9238	1.100	1.49846	81.54
17	-17.0596	0.153		
18	7.1193	1.201	1.48915	70.23
19	-2.9030	0.478	1.93429	18.90
20	19.7236	0.511		
21	3.0590	1.960	1.70442	30.13

22	-2.1384	0.283	1.77621	49.60
23	15.9445	0.266		
24	∞	0.630	1.51825	64.14
25	∞	0.470	1.51825	64.14
26(撮像面)	∞			

各種データ

	通常観察状態	近接観察状態
f	1.071	1.235
F n o	3.80	3.83
O B J	25.5	2.40
d11	0.163	2.459
d15	2.757	0.461
2 ω	149.6	
I H	1.0	

[0251] 数値実施例 5

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	ν d
1	∞	0.390	1.88815	40.76
2	1.4328	0.844		
3	∞	0.650	1.52300	65.13
4	∞	0.355		
5	-5.0442	3.505	1.75453	35.33
6	-3.4362	0.033		
7	4.0546	1.080	1.48915	70.23
8	-3.5697	0.395	1.93429	18.90

9	-6.4779	可変		
10(絞り)	∞	0.020		
11	11.8662	0.329	1.48915	70.23
12	1.9770	0.536	1.59667	35.31
13	2.2723	可変		
14	6.4662	0.992	1.53947	74.70
15	-3.7887	0.107		
16	2.4798	1.132	1.48915	70.23
17	-61.1928	0.493	1.93429	18.90
18	3.0984	0.565		
19	2.7725	1.480	1.51825	64.14
20	∞	0.575	1.50000	60.00
21(撮像面)	∞			

各種データ

	通常観察状態	近接観察状態
f	1.046	1.207
F n o	3.00	3.05
O B J	26.3	2.45
d9	0.165	1.475
d13	1.800	0.498
2 ω	144.0	
I H	1.0	

[0252] 以下、実施例1～実施例5に係る対物光学系における条件式(1)～(12)の数値を示す。

条件式	実施例1	実施例2	実施例3
(1) fp/f	1.819	2.116	1.940
(2) tt/f	0.436	0.509	0.502

(3) fG2/f	-6.207	-9.445	-13.023
(4) fG3SUB1/fG3SUB2	0.882	1.270	1.134
(5) fG2/fG1	-2.821	-3.618	-4.671
(6) fG2/fG3	-1.981	-2.585	-3.361
(7) fG3/fG1	1.424	1.400	1.390
(8) (t12+t23)/f	1.882	2.559	2.782
(9) fL1/fG1	-0.693	-0.659	-0.665
(10) rG3SUB2F/f	2.407	4.660	3.672
(11) f3GF/f	4.829	6.005	6.806
(12) fG1CL/rG1CL	-1.457	-0.885	-2.505

条件式	実施例 4	実施例 5
(1) fp/f	1.853	1.327
(2) tt/f	0.477	0.540
(3) fG2/f	-10.447	-6.103
(4) fG3SUB1/fG3SUB2	1.345	0.780
(5) fG2/fG1	-3.914	-2.935
(6) fG2/fG3	-2.602	-1.985
(7) fG3/fG1	1.504	1.479
(8) (t12+t23)/f	3.023	1.906
(9) fL1/fG1	-0.576	-0.742
(10) rG3SUB2F/f	2.855	2.651
(11) f3GF/f	4.053	5.116
(12) fG1CL/rG1CL	-0.964	-2.026

[0253] 以上、本発明の種々の実施形態について説明したが、本発明は、これらの実施形態のみに限られるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲で、これら実施形態の構成を適宜組合せて構成した実施形態も本発明の範疇となるものである。

[0254] (付記)

なお、これらの実施例から以下の構成の発明が導かれる。

(付記項 1)

物体側から順に、正屈折力の第 1 レンズ群と、負屈折力の第 2 レンズ群と、正屈折力の第 3 レンズ群と、で構成され、

第 2 レンズ群を動かすことにより合焦を行い、

第 3 レンズ群は、正レンズと、接合レンズと、を少なくとも含み、

第 3 レンズ群の接合レンズは、正レンズと、負レンズと、を有し、

第 3 レンズ群の第 1 副レンズ群は、所定の空気間隔よりも物体側に位置し、

第 3 レンズ群の第 2 副レンズ群は、所定の空気間隔よりも像側に位置し、
所定の空気間隔は、第 3 レンズ群における空気間隔のなかで最大の空気間隔であり、

以下の条件式 (1)、(2) を満足することを特徴とする対物光学系。

$$1.21 < f_p / f < 2.42 \quad (1)$$

$$0.35 < t_t / f < 0.6 \quad (2)$$

ここで、

f_p は、第 1 レンズ群から第 1 副レンズ群までの合成焦点距離、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

t_t は、所定の空気間隔、

である。

[0255] (付記項 2)

以下の条件式 (3) を満足することを特徴する付記項 1 に記載の対物光学系。

$$-1.5 < f_{G2} / f < -5 \quad (3)$$

ここで、

f_{G2} は、第 2 レンズ群の焦点距離、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

である。

[0256] (付記項 3)

以下の条件式 (4) を満足することを特徴する付記項 1 又は 2 に記載の対物光学系。

$$0.7 < f_{G3SUB1} / f_{G3SUB2} < 1.4 \quad (4)$$

ここで、

f_{G3SUB1} は、第 1 副レンズ群の焦点距離、

f_{G3SUB2} は、第 2 副レンズ群の焦点距離、

である。

[0257] (付記項 4)

以下の条件式 (5) から (9) のいずれか 1 つを満足することを特徴する付記項 1 から 3 のいずれか一項に記載の対物光学系。

$$-6 < f_{G2} / f_{G1} < -2 \quad (5)$$

$$-7.6 < f_{G2} / f_{G3} < -2.4 \quad (6)$$

$$1.0 < f_{G3} / f_{G1} < 2.0 \quad (7)$$

$$1.4 < (t_{12} + t_{23}) / f < 3.2 \quad (8)$$

$$-0.8 < f_{L1} / f_{G1} < -0.5 \quad (9)$$

ここで、

f_{G1} は、第 1 レンズ群の焦点距離、

f_{G2} は、第 2 レンズ群の焦点距離、

f_{G3} は、第 3 レンズ群の焦点距離、

t_{12} は、遠距離物点合焦時の第 1 レンズ群と第 2 レンズ群との間隔、

t_{23} は、遠距離物点合焦時の第 2 レンズ群と第 3 レンズ群との間隔、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

f_{L1} は、第 1 レンズの焦点距離、

である。

[0258] (付記項 5)

以下の条件式 (10) を満足することを特徴する付記項 1 から 4 のいずれ

か一項に記載の対物光学系。

$$1. \quad 8 < r_{G3SUB2F} / f < 5.2 \quad (10)$$

ここで、

$r_{G3SUB2F}$ は、第2副レンズ群において最も物体側に位置するレンズ面の曲率半径、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、である。

[0259] (付記項6)

第3レンズ群は、物体側から順に、正レンズと、接合レンズと、からなることを特徴する付記項1から5のいずれか一項に記載の対物光学系。

[0260] (付記項7)

第3レンズ群は、更に、別の正レンズを有し、

第3レンズ群は、物体側から順に、正レンズと、接合レンズと、別の正レンズと、からなることを特徴する付記項1から5のいずれか一項に記載の対物光学系。

[0261] (付記項8)

第3レンズ群は、更に、別の接合レンズを有し、

別の接合レンズは、正レンズと負レンズとを有し、

第3レンズ群は、物体側から順に、正レンズと、接合レンズと、別の接合レンズと、からなることを特徴する付記項1から5のいずれか一項に記載の対物光学系。

[0262] (付記項9)

以下の条件式(11)を満足することを特徴する付記項1から8のいずれか一項に記載の対物光学系。

$$4. \quad 0 < f_{G3SUB2F} / f < 6.5 \quad (11)$$

ここで、

$f_{G3SUB2F}$ は、所定のレンズ面の焦点距離、

f は、遠距離物点合焦時の対物光学系全系の焦点距離、

所定のレンズ面は、第2副レンズ群の最も物体側に位置するレンズ面、である。

[0263] (付記項 1 0)

第3レンズ群の最も像側に位置するレンズは、平凸レンズであり、平凸レンズの物体側面が物体側に凸の面であることを特徴する付記項 1 から 9 のいずれか一項に記載の対物光学系。

[0264] (付記項 1 1)

以下の条件式 (1 2) を満足することを特徴する付記項 1 から 1 0 のいずれか一項に記載の対物光学系。

ここで、

$$-3.0 < f_{G1CL} / r_{G1CL} < -0.7 \quad (1\ 2)$$

f_{G1CL} は、所定の接合レンズの焦点距離、

r_{G1CL} は、所定の接合レンズの接合面の曲率半径、

である。

[0265] (付記項 1 2)

第1レンズ群は、物体側から順に、像側に凹面を向けた平凹レンズと、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと、両凸レンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、を少なくとも有し、

両凸レンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、が接合されていることを特徴する付記項 1 から 1 1 のいずれか一項に記載の対物光学系。

[0266] (付記項 1 3)

第1レンズ群は、物体側から順に、像側に凹面を向けた平凹レンズと、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、両凸レンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、を少なくとも有し、

像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、が接合され、

両凸レンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズと、が接合されて

いることを特徴する付記項 1 から 11 のいずれか一項に記載の対物光学系。

産業上の利用可能性

[0267] 以上のように、本発明は、様々な誤差による影響を受けにくく、諸収差が良好に補正された対物光学系に有用である。

符号の説明

[0268] G 1 第 1 レンズ群
G 2 第 2 レンズ群
G 3 第 3 レンズ群
SUB 1 第 1 副レンズ群
SUB 2 第 2 副レンズ群
L 1 ～ L 12 レンズ
CL 1、CL 2、CL 3 接合レンズ
S 明るさ絞り
F 1、F 2、F 3 平行平板
I 像面

請求の範囲

[請求項1] 物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群と、負屈折力の第2レンズ群と、正屈折力の第3レンズ群と、で構成され、
 前記第2レンズ群を動かすことにより合焦を行い、
 前記第3レンズ群は、正レンズと、接合レンズと、を少なくとも含み、
 前記第3レンズ群の前記接合レンズは、正レンズと、負レンズと、を有し、
 前記第3レンズ群の第1副レンズ群は、所定の空気間隔よりも物体側に位置し、
 前記第3レンズ群の第2副レンズ群は、前記所定の空気間隔よりも像側に位置し、
 前記所定の空気間隔は、前記第3レンズ群における空気間隔のなかで最大の空気間隔であり、
 以下の条件式(1)、(2)を満足することを特徴とする対物光学系。

$$1.21 < f_p / f < 2.42 \quad (1)$$

$$0.35 < t_t / f < 0.6 \quad (2)$$

ここで、

f_p は、前記第1レンズ群から前記第1副レンズ群までの合成焦点距離、

f は、遠距離物点合焦時の前記対物光学系全系の焦点距離、

t_t は、前記所定の空気間隔、

である。

[請求項2] 以下の条件式(3)を満足することを特徴する請求項1に記載の対物光学系。

$$-1.5 < f_{G2} / f < -5 \quad (3)$$

ここで、

f_{G2} は、前記第2レンズ群の焦点距離、

f は、遠距離物点合焦時の前記対物光学系全系の焦点距離、
である。

[請求項3] 以下の条件式（4）を満足することを特徴する請求項1又は2に記載の対物光学系。

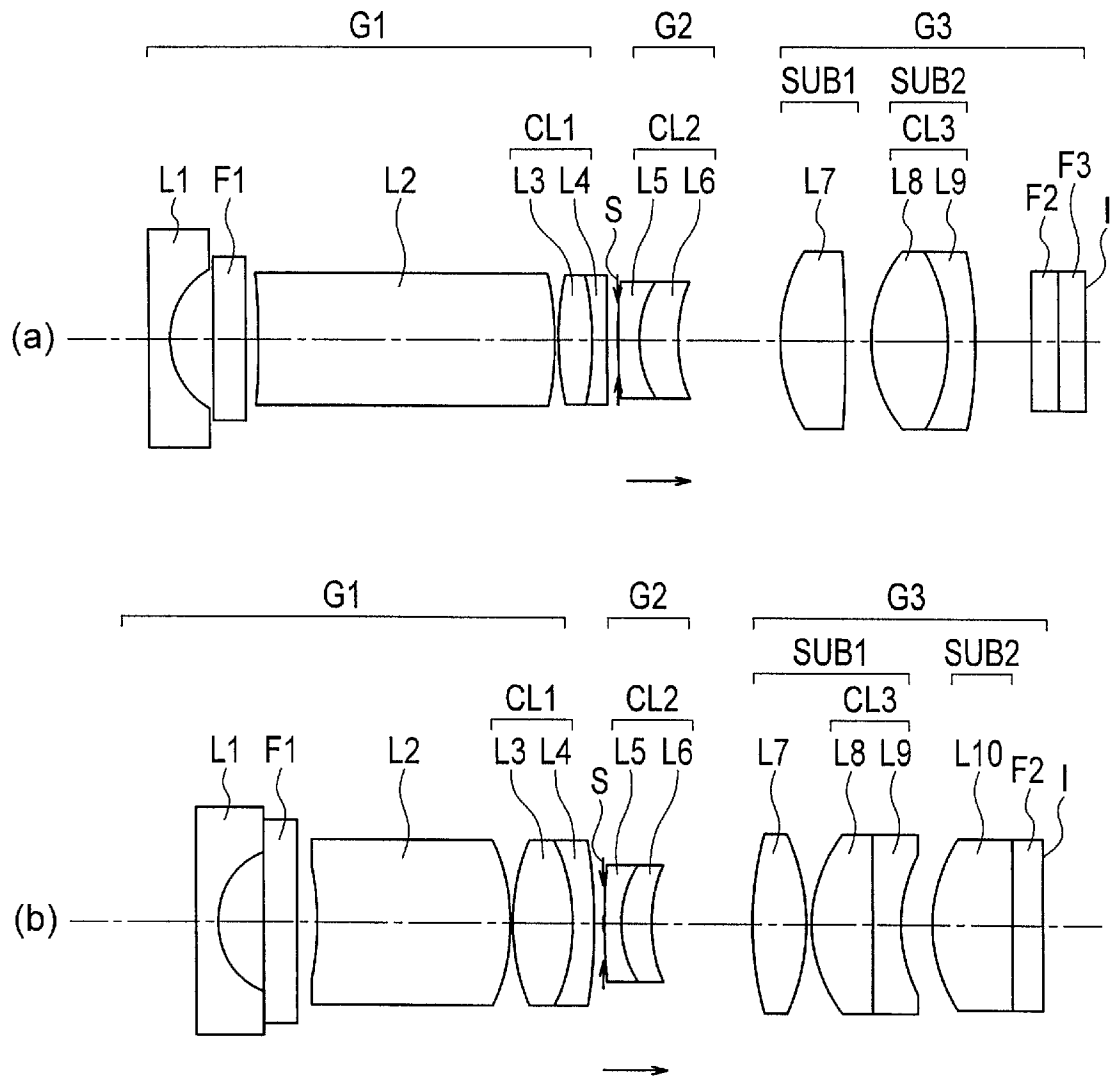
$$0.7 < f_{G3SUB1} / f_{G3SUB2} < 1.4 \quad (4)$$

ここで、

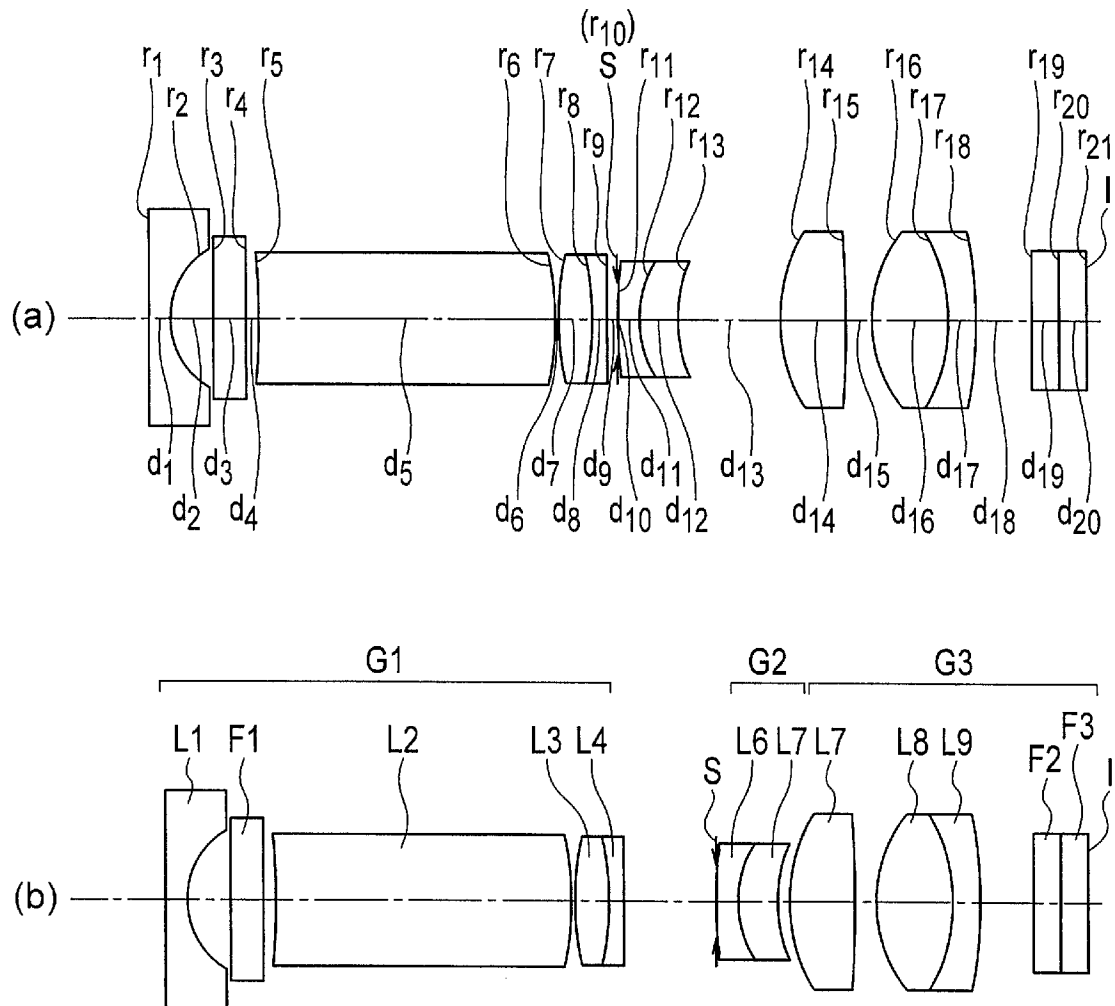
f_{G3SUB1} は、前記第1副レンズ群の焦点距離、

f_{G3SUB2} は、前記第2副レンズ群の焦点距離、
である。

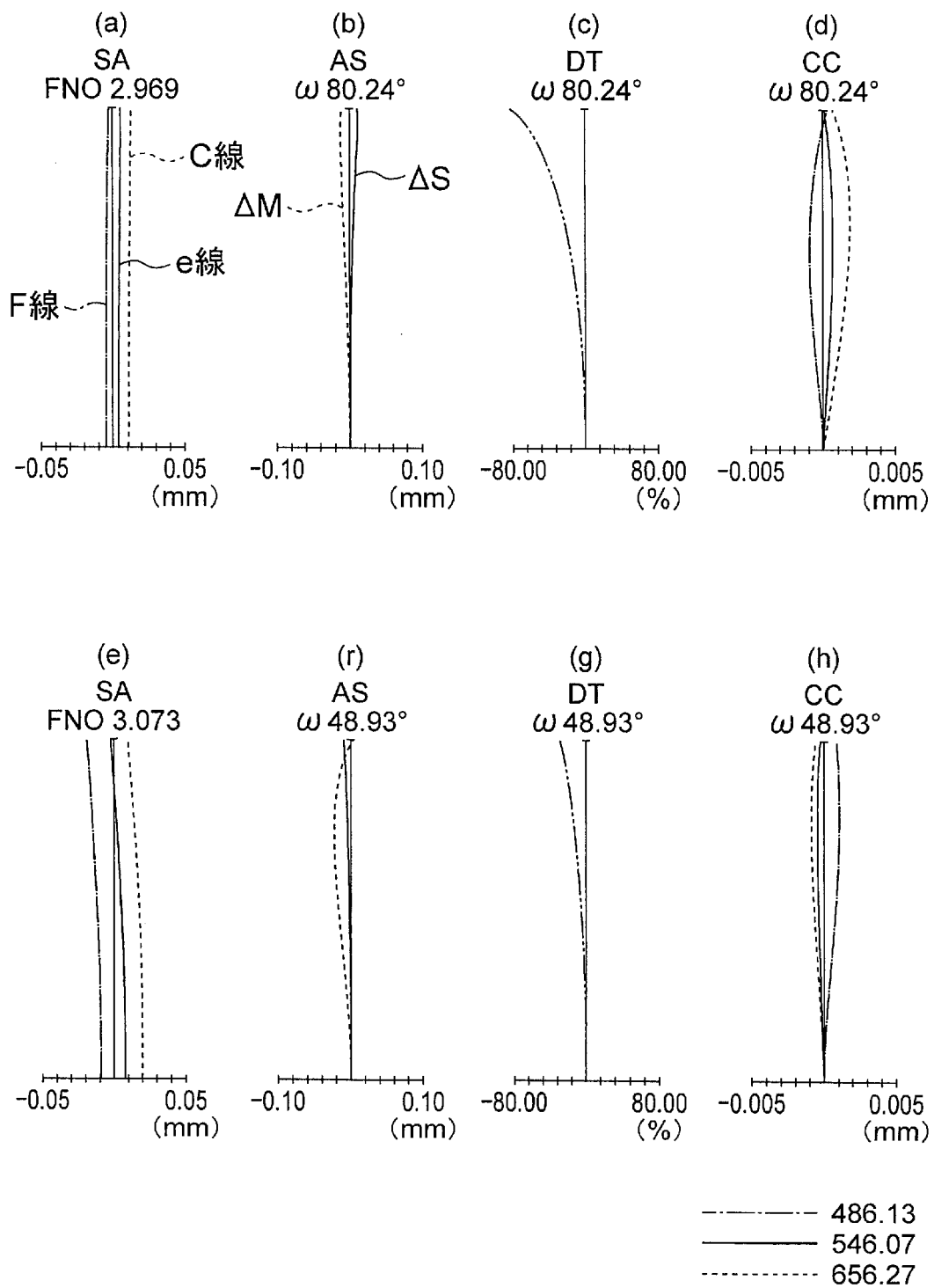
[図1]



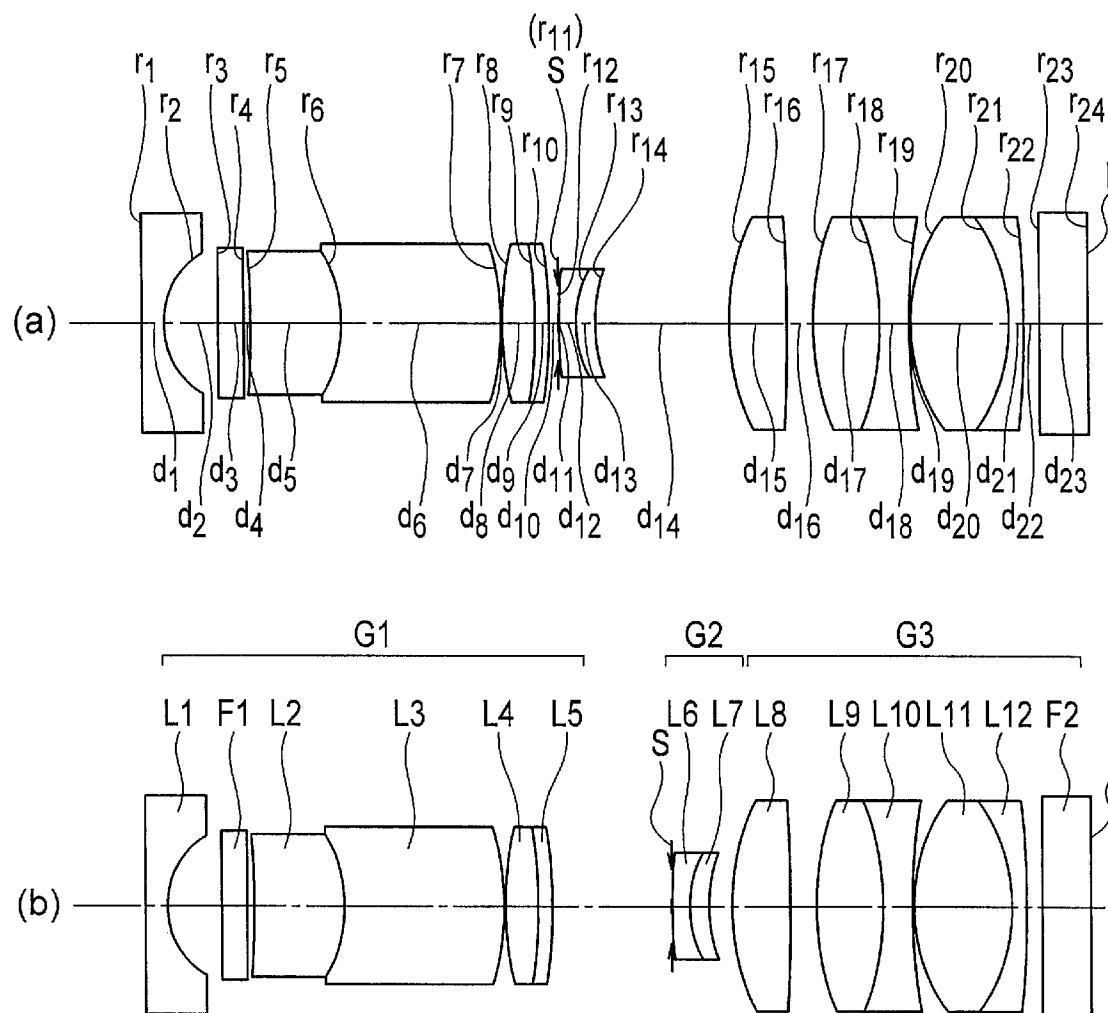
[図2]



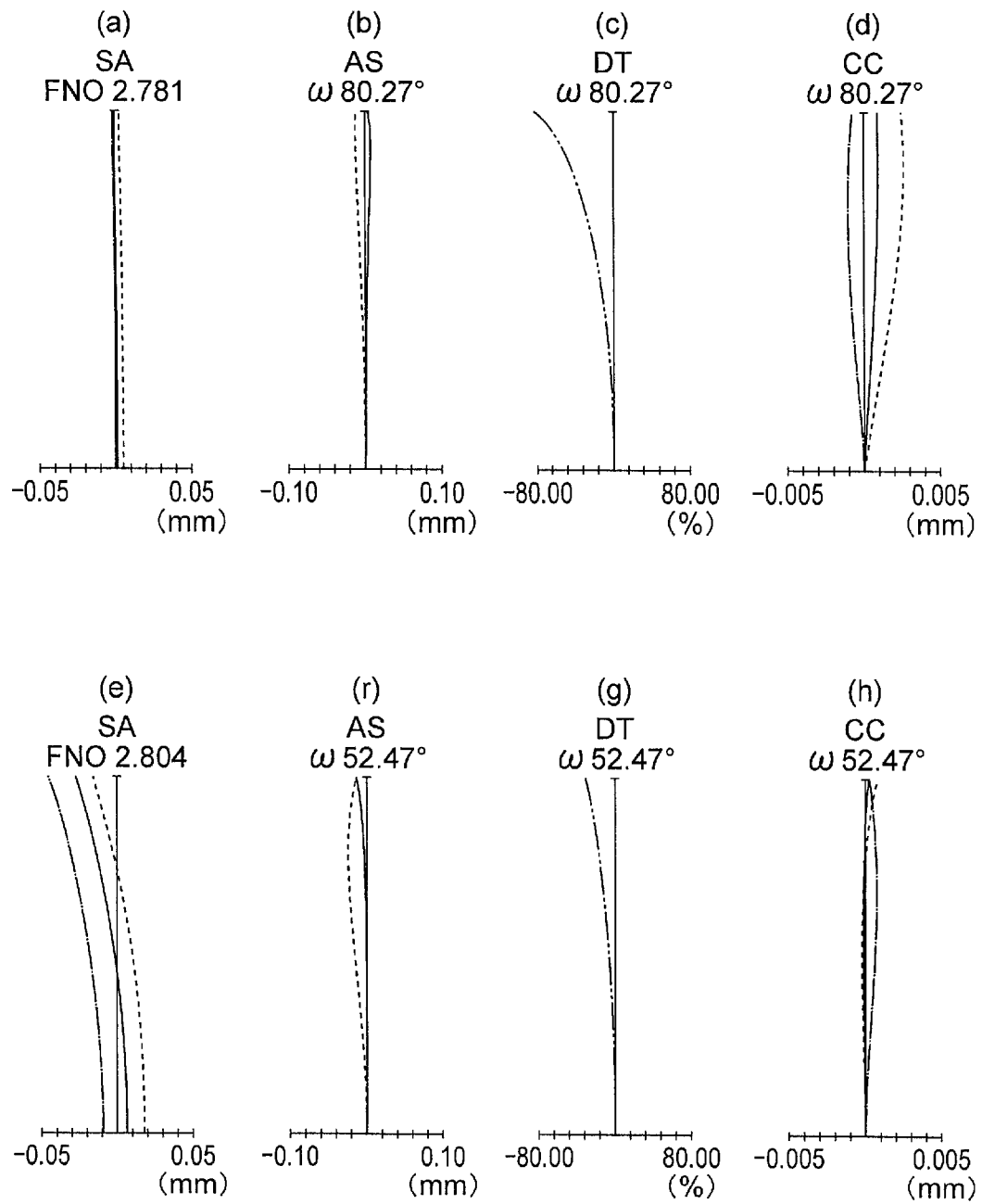
[図3]



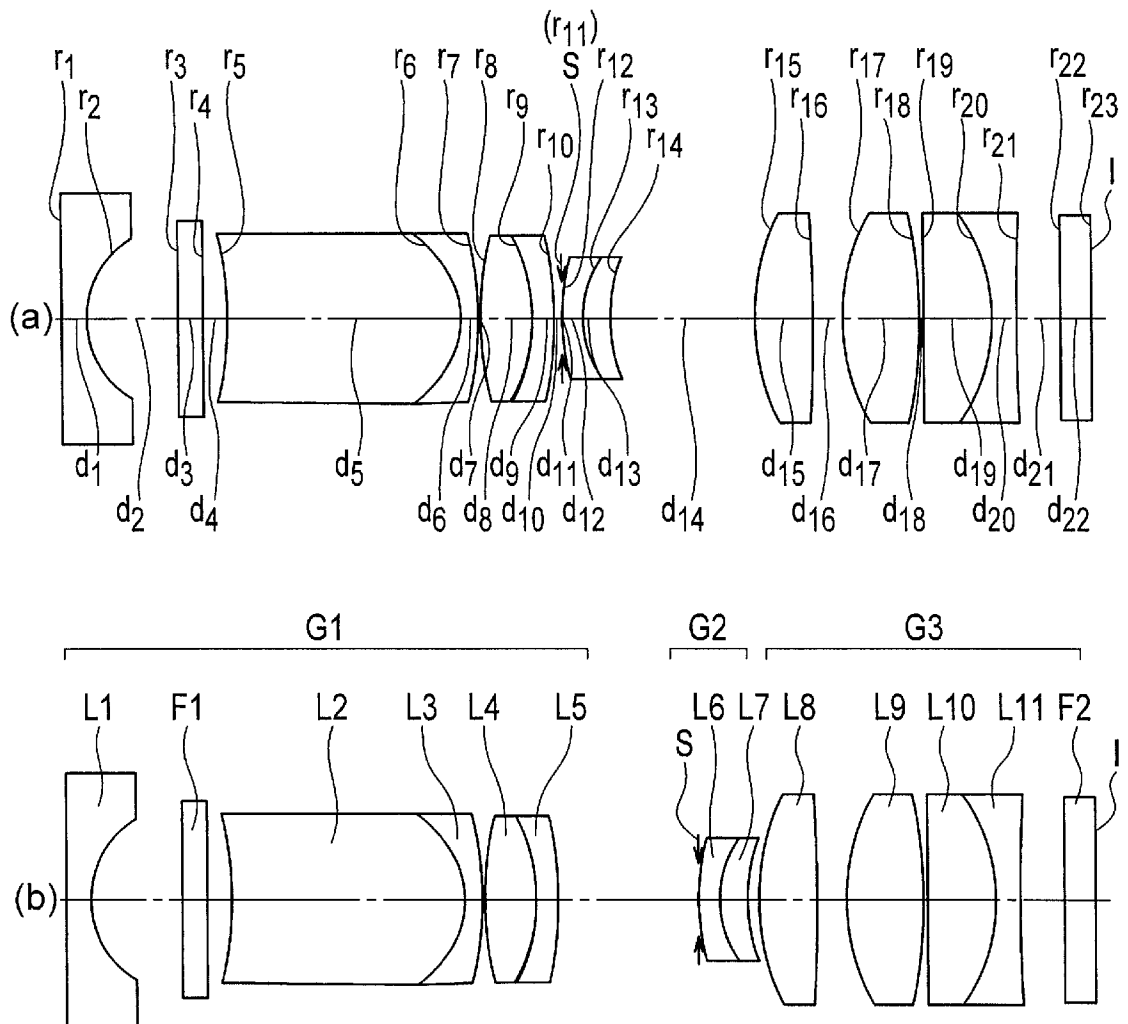
[図4]



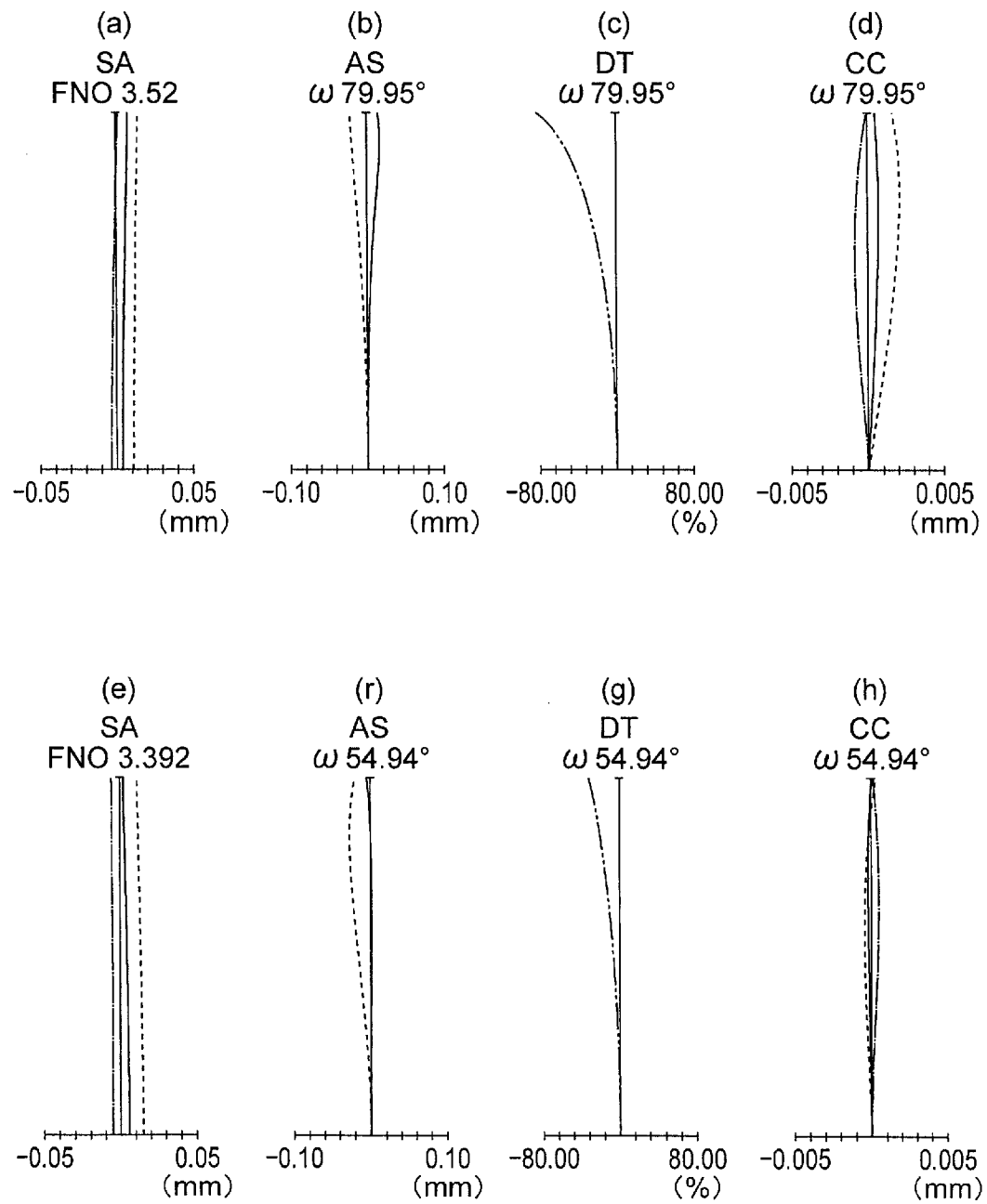
[図5]



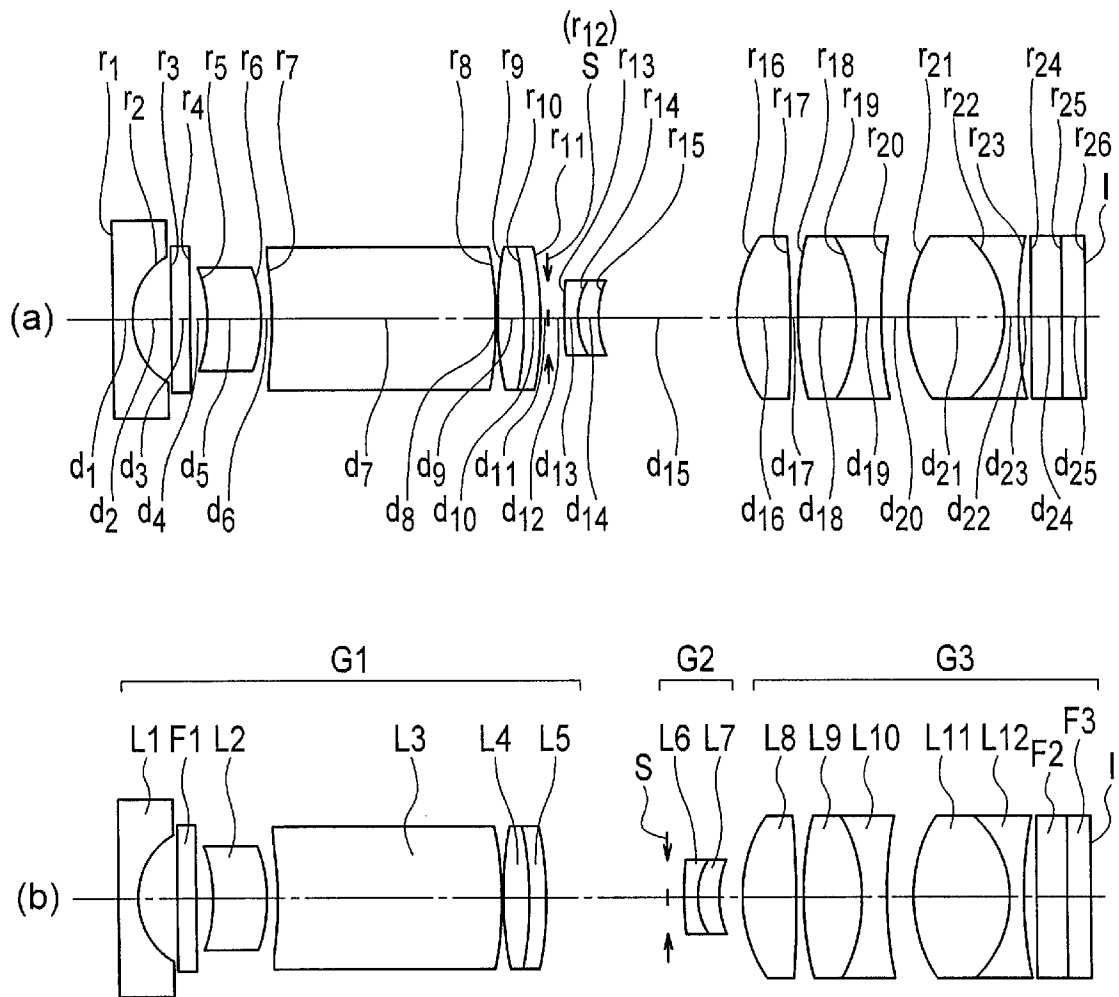
[図6]



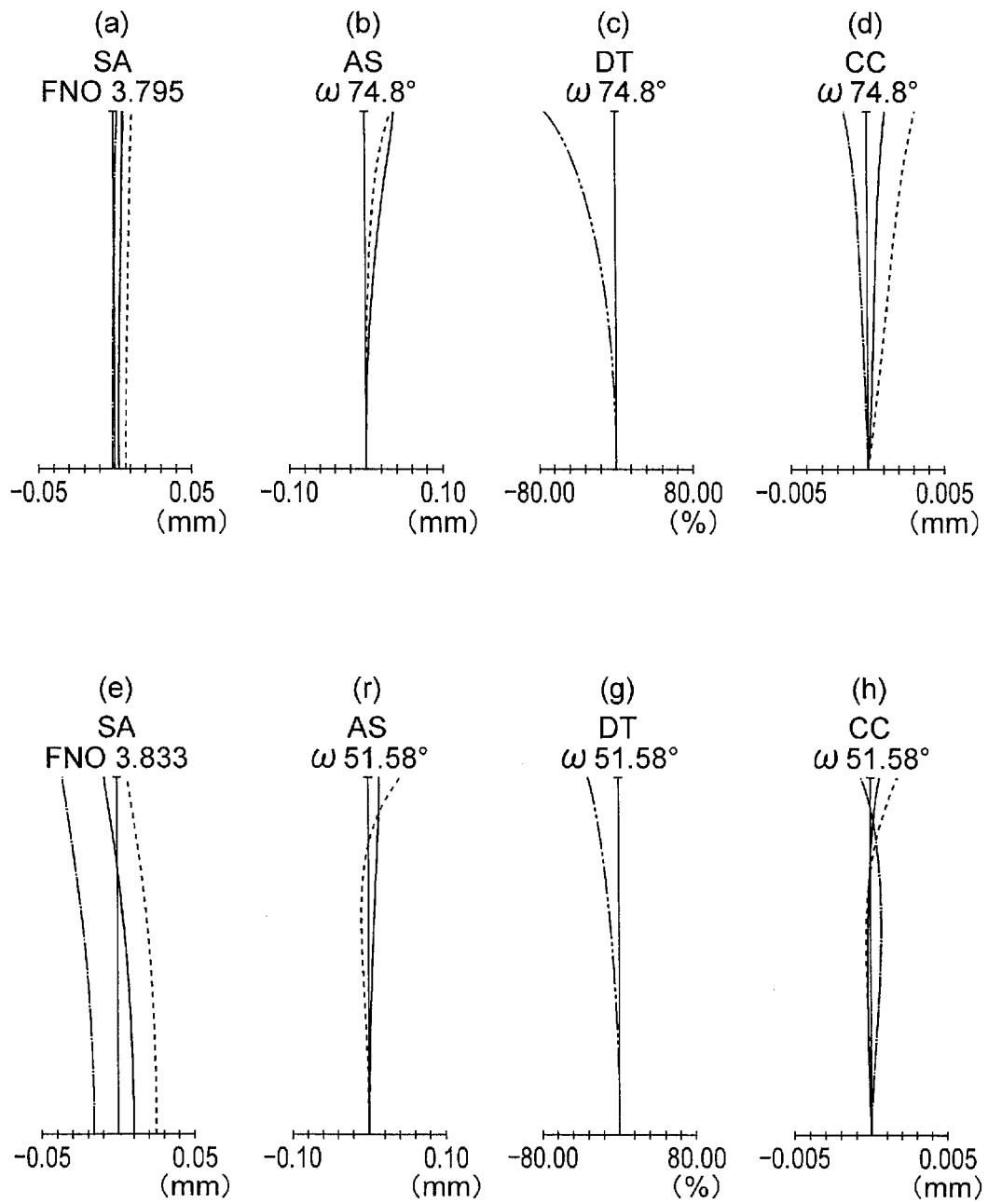
[図7]



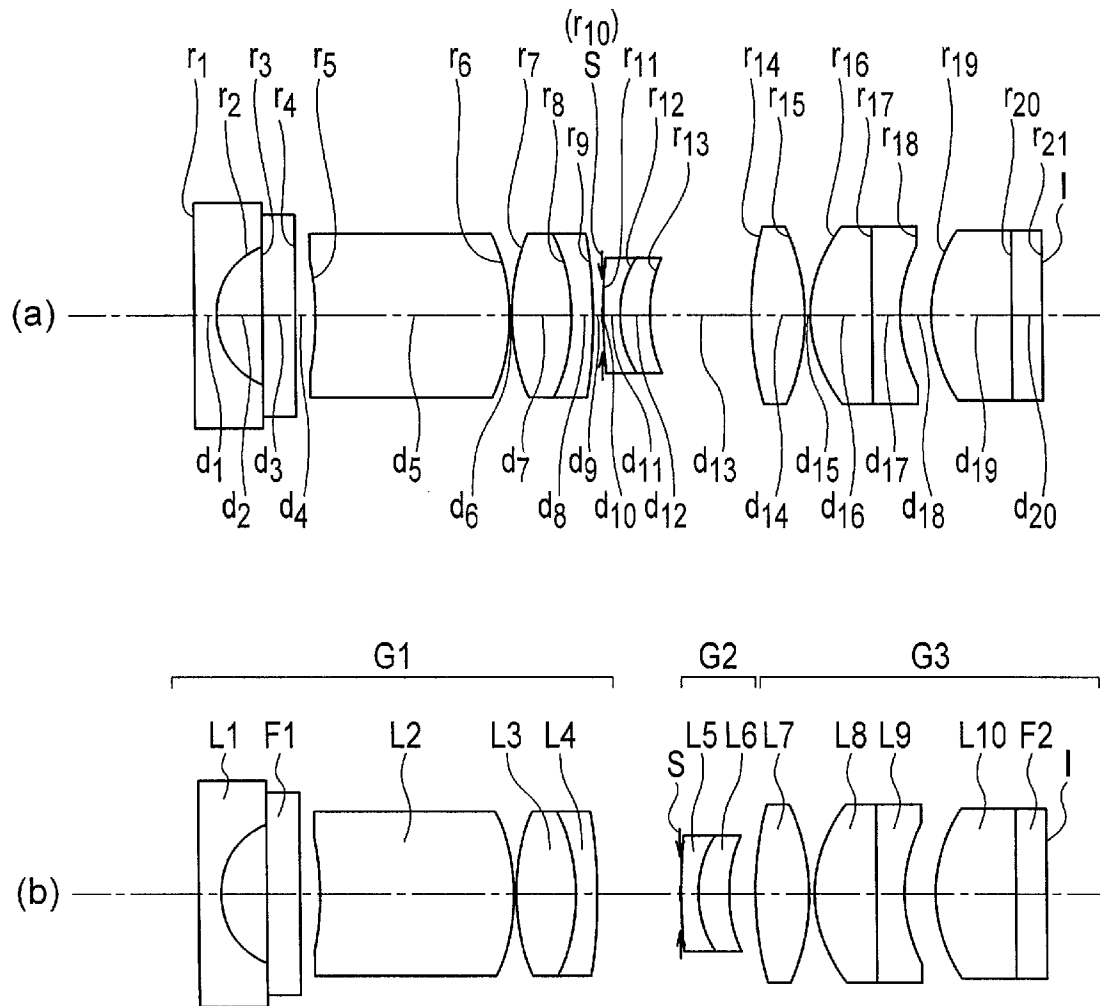
[図8]



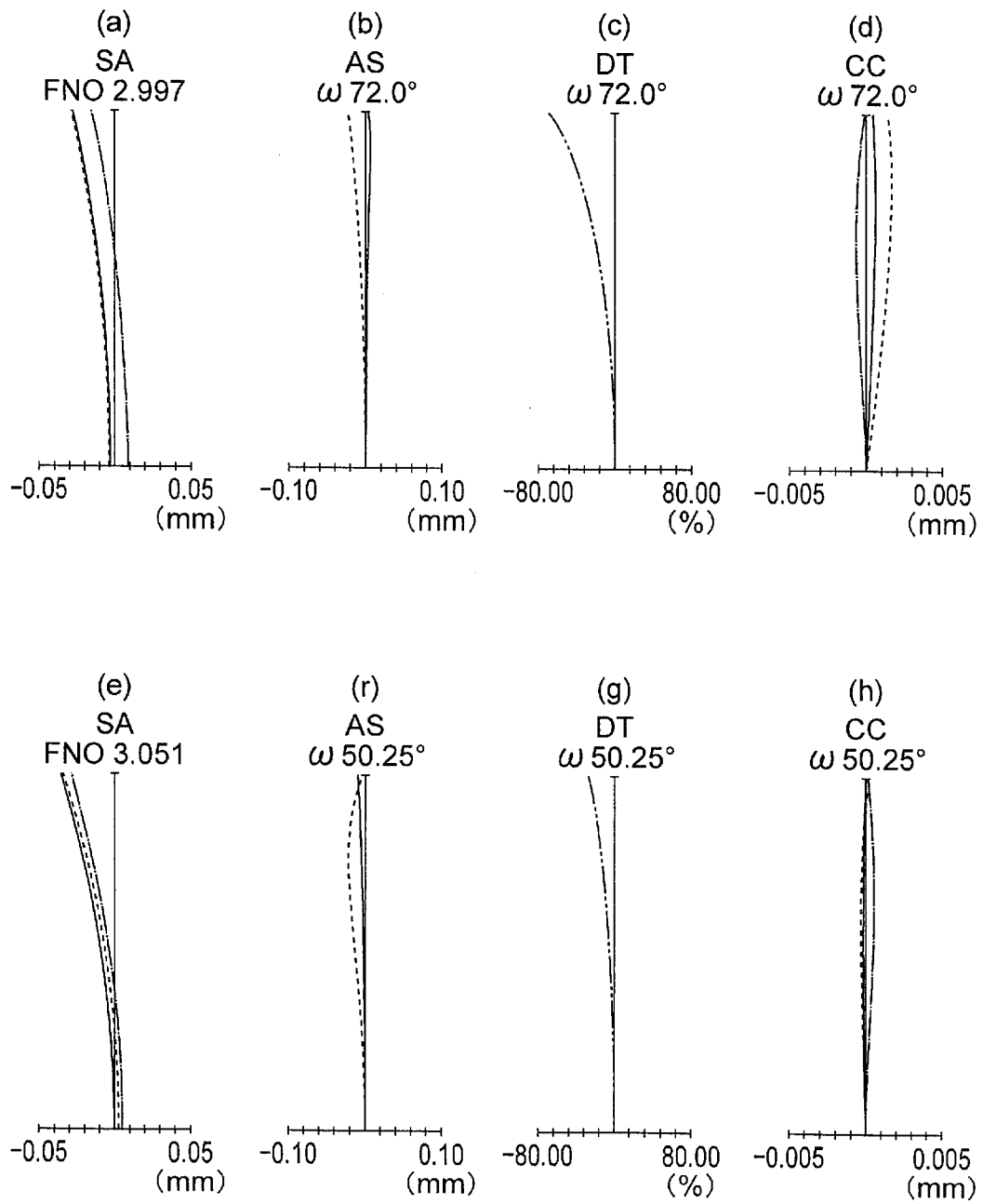
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/014122

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B13/04(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, G02B23/26(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)

G02B13/04, A61B1/00, G02B23/26

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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	WO 2016/056447 A1 (Olympus Corp.), 14 April 2016 (14.04.2016), entire text; all drawings & US 2017/0052359 A1 entire text; all drawings & CN 106455915 A	1-3
A	WO 2016/006486 A1 (Olympus Corp.), 14 January 2016 (14.01.2016), entire text; all drawings & US 2016/0370558 A1 entire text; all drawings & EP 3168668 A1 & CN 106062609 A	1-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search
23 June 2017 (23.06.17)

Date of mailing of the international search report
04 July 2017 (04.07.17)

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/JP2017/014122

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2014/132494 A1 (Olympus Corp.), 04 September 2014 (04.09.2014), entire text; all drawings & US 2015/0103418 A1 entire text; all drawings & EP 2963473 A1 & CN 104937470 A	1-3
A	JP 6-317744 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 15 November 1994 (15.11.1994), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 11-316339 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 16 November 1999 (16.11.1999), entire text; all drawings & US 6252723 B1	1-3
A	JP 61-44283 B2 (Olympus Optical Co., Ltd.), 02 October 1986 (02.10.1986), entire text; all drawings & JP 55-90928 A & US 4312572 A entire text; all drawings & DE 2951820 A1	1-3
A	JP 2015-121649 A (Tamron Co., Ltd.), 02 July 2015 (02.07.2015), entire text; all drawings (Family: none)	1-3

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B13/04(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, G02B23/26(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（IPC））

Int.Cl. G02B13/04, A61B1/00, G02B23/26

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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	WO 2016/056447 A1（オリンパス株式会社）2016.04.14, 全文全図 & US 2017/0052359 A1, 全文全図 & CN 106455915 A	1-3
A	WO 2016/006486 A1（オリンパス株式会社）2016.01.14, 全文全図 & US 2016/0370558 A1, 全文全図 & EP 3168668 A1 & CN 106062609 A	1-3

☒ 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	「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
「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	「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
「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）	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日

23.06.2017

国際調査報告の発送日

04.07.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

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 03-3581-1101 内線 3271

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	WO 2014/132494 A1 (オリンパス株式会社) 2014. 09. 04, 全文全図 & US 2015/0103418 A1, 全文全図 & EP 2963473 A1 & CN 104937470 A	1-3
A	JP 6-317744 A (オリンパス光学工業株式会社) 1994. 11. 15, 全文全図 (ファミリーなし)	1-3
A	JP 11-316339 A (オリンパス光学工業株式会社) 1999. 11. 16, 全文全図 & US 6252723 B1	1-3
A	JP 61-44283 B2 (オリンパス光学工業株式会社) 1986. 10. 02, 全文全図 & JP 55-90928 A & US 4312572 A, 全文全図 & DE 2951820 A1	1-3
A	JP 2015-121649 A (株式会社タムロン) 2015. 07. 02, 全文全図 (ファミリーなし)	1-3