

(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)



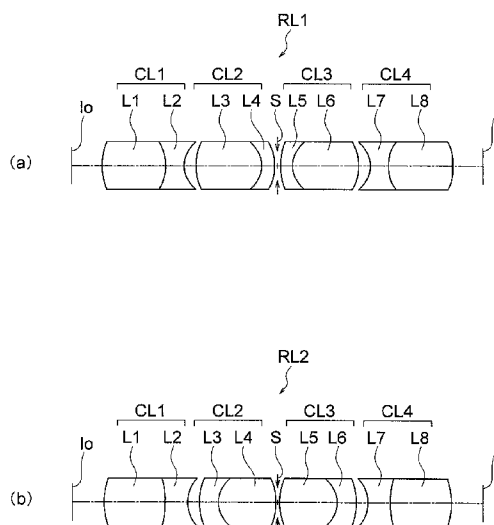
(10) 国際公開番号

WO 2017/199613 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 13/00 (2006.01) *G02B 13/18* (2006.01)
A61B 1/00 (2006.01) *G02B 23/26* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/014121
- (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 2016-101270 2016年5月20日(20.05.2016) 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: 牛尾恭章 (USHIO Yasuaki); 〒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1-4-1-3 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, 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: RELAY OPTICAL SYSTEM AND HARD MIRROR PROVIDED THEREWITH

(54) 発明の名称: リレー光学系及びそれを備えた硬性鏡



(57) Abstract: The present invention provides a relay optical system satisfactorily corrected for field curvature, spherical aberration and chromatic aberration, and a hard mirror provided therewith. A relay optical system comprises in order from the object side: a first cemented lens CL1; a second cemented lens CL2 having positive refractive power; a third cemented lens CL3 that is plane-symmetric to the second cemented lens CL2; and a fourth cemented lens CL4 that is plane-symmetric to the first cemented lens CL1. The relay optical system is characterized in that the first cemented lens CL1 comprises a first lens L1 having positive refractive power, and a second lens L2 having negative refractive power, the second cemented lens CL2 comprises a third lens L3 and a fourth lens L4, the shape of the first lens L1 is a biconvex shape, the shape of the second lens L2 is a biconcave shape, and the following conditional expression (1) is satisfied. $-0.4 < f_2/f_{CL12} < -0.1$ (1)

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：像面湾曲、球面収差及び色収差が良好に補正されたリレー光学系及びそれを備えた硬性鏡を提供する。物体側から順に、第1の接合レンズCL1と、正の屈折力を有する第2の接合レンズCL2と、第2の接合レンズCL2と面对称な第3の接合レンズCL3と、第1の接合レンズCL1と面对称な第4の接合レンズCL4と、を有し、第1の接合レンズCL1は、正の屈折力を有する第1のレンズL1と、負の屈折力を有する第2のレンズL2と、を有し、第2の接合レンズCL2は、第3のレンズL3と、第4のレンズL4と、を有し、第1のレンズL1の形状は、両凸形状であり、第2のレンズL2の形状は、両凹形状であり、下記の条件式(1)を満足することを特徴とする。 $-0.4 < f_2 / f_{CL12} < -0.1$ (1)

明 細 書

発明の名称： リレー光学系及びそれを備えた硬性鏡

技術分野

[0001] 本発明は、リレー光学系及びそれを備えた硬性鏡に関する。

背景技術

[0002] 近年、硬性鏡を用いた診断では、診断精度の向上が望まれている。この要求に応えるために、硬性鏡には、高解像度で物体（対象物）を観察できることや、高画質で物体の画像を取得できることが望まれている。

[0003] 物体の観察や物体の画像の取得は、硬性鏡内に配置された観察光学系を介して行われる。物体の画像の取得では、例えば、観察光学系にカメラヘッドが接続される。カメラヘッドには、撮像素子として、例えば、CCD (Charge Coupled Devices) やC-MOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) が用いられる。

[0004] 観察光学系は、対物レンズと、接眼レンズと、複数のリレー光学系と、を有する。複数のリレー光学系は、対物レンズと接眼レンズの間に配置されている。

[0005] 対物レンズによって、物体の像（以下、「1次像」という）が形成される。1次像は倒立像、すなわち、物体を上下方向に倒置した像になる。リレー光学系では、1次像のリレーが行われる。リレー光学系で形成される像も倒立像である。1次像が倒立像で、リレーされた像も倒立像である。よって、リレーが1回行われた後の像は、正立像になる。硬性鏡では、通常、正立像を観察又は撮像する。1次像が倒立像なので、リレー光学系の数は奇数となる。

[0006] 特許文献1、特許文献2及び特許文献3には、リレー光学系が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特表2007-522507号公報

特許文献2：特開2000-010024号公報

特許文献3：特開2015-118136号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 撮像素子の多画素化と小型化に伴い、撮像素子の画素ピッチが年々小さくなっている。画素ピッチが小さくなると、画素の面積が小さくなる。

[0009] 物体の一点をレンズで結像すると、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、高画質な画像を得ることができない。

[0010] 点像を小さくするためには、光学系の開口数を大きくすれば良い。しかしながら、開口数を大きくすると、一般的に収差の発生量が増大する。収差を良好に補正するためには、例えば、レンズの枚数を増やさなくてはならない。そうすると、光学系が大型化してしまう。

[0011] 硬性鏡の観察光学系には、リレー光学系が複数配置されている。この場合、観察光学系の大部分は、リレー光学系によって占められることになる。そのため、リレー光学系の結像性能は、観察光学系の結像性能に対して非常に大きな影響を及ぼす。このようなことから、リレー光学系では、諸収差が良好に補正されていることが重要になる。

[0012] リレー光学系は、通常、大きな正の屈折力を有する。正の屈折力が大きい光学系では、像面湾曲の量も大きくなる。そのため、複数のリレー光学系で像のリレーを行うと、最終的に発生する像面湾曲の量は、1つのリレー光学系における像面湾曲の量に、リレー回数を掛け合わせた量になる。その結果、最終的に形成される像では、非常に大きな像面湾曲が発生する。従って、リレー光学系では、像面湾曲が良好に補正されていることが重要となる。

[0013] また、1つのリレー光学系における光量損失が大きいと、複数のリレー光学系で像のリレーを行った場合に、最終的に形成される像が暗くなる。最終

的に形成される像を明るくするには、開口数を大きくすれば良い。しかしながら、開口数を大きくすると、球面収差が大きくなる。そのため、リレー光学系では、球面収差が良好に補正されていることも重要になる。

[0014] 更に、リレー光学系では、色収差が良好に補正されていることも重要である。

[0015] 特許文献1のリレー光学系では、2つの正レンズの間に負レンズを配置することで、像面湾曲を補正している。しかしながら、像面湾曲がどの程度まで補正されているかは不明である。また、球面収差や色収差の補正の程度についても不明である。

[0016] 特許文献2のリレー光学系では、開口数が小さくならないようしている。しかしながら、リレー光学系における正の屈折力が大きいいため、像面湾曲が十分に補正されているとは言い難い。

[0017] 特許文献3のリレー光学系では、諸収差が補正され、有効口径が小さい光学系になっている。しかしながら、開口数が大きいとは言い難い。

[0018] 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、像面湾曲、球面収差及び色収差が良好に補正されたリレー光学系及びそれを備えた硬性鏡を提供することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

[0019] 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リレー光学系は、

物体側から順に、

第1の接合レンズと、

正の屈折力を有する第2の接合レンズと、

第2の接合レンズと面对称な第3の接合レンズと、

第1の接合レンズと面对称な第4の接合レンズと、を有し、

第1の接合レンズは、正の屈折力を有する第1のレンズと、負の屈折力を有する第2のレンズと、を有し、

第2の接合レンズは、第3のレンズと、第4のレンズと、を有し、

第1のレンズの形状は、両凸形状であり、

第2のレンズの形状は、両凹形状であり、

下記の条件式(1)を満足することを特徴とする。

$$-0.4 < f_2 / f_{CL12} < -0.1 \quad (1)$$

ここで、

f_2 は、第2レンズの焦点距離、

f_{CL12} は、第1の接合レンズと第2の接合レンズとの合成焦点距離、
である。

[0020] また、本発明の硬性鏡は、
上述のリレー光学系を有することを特徴とする。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、像面湾曲、球面収差及び色収差が良好に補正されたリレー光学系及びそれを備えた硬性鏡を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]本実施形態のリレー光学系の基本的な構成を示すレンズ断面図である。

[図2]実施例1のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図3]実施例2のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図4]実施例3のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図5]実施例4のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図6]実施例5のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図7]実施例6のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図8]実施例7のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図9]実施例8のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図10]実施例9のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図11]実施例10のリレー光学系のレンズ断面図と収差図である。

[図12]硬性鏡を示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、本実施形態に係るリレー光学系について、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、以下の実施形態に係るリレー光学系により、この発明が限定されるものではない。

[0024] リレー光学系は、像をリレーするために用いられる。リレー光学系でリレーされる像は、例えば、対物レンズによって形成される。対物レンズは、物体とリレー光学系との間に配置される。対物レンズによって1次像が形成される。リレー光学系は、この1次像をリレーして、像を形成する。以下の説明における物体側とは、1次像側を意味している。

[0025] 本実施形態のリレー光学系は、物体側から順に、第1の接合レンズと、正の屈折力を有する第2の接合レンズと、第2の接合レンズと面对称な第3の接合レンズと、第1の接合レンズと面对称な第4の接合レンズと、を有し、第1の接合レンズは、正の屈折力を有する第1のレンズと、負の屈折力を有する第2のレンズと、を有し、第2の接合レンズは、第3のレンズと、第4のレンズと、を有し、第1のレンズの形状は、両凸形状であり、第2のレンズの形状は、両凹形状であり、下記の条件式(1)を満足することを特徴とする。

$$-0.4 < f_2 / f_{CL12} < -0.1 \quad (1)$$

ここで、

f_2 は、第2レンズの焦点距離、

f_{CL12} は、第1の接合レンズと第2の接合レンズとの合成焦点距離、

である。

[0026] 図1に、本実施形態のリレー光学系の基本的な構成を示す。図1(a)は構成例1におけるレンズ断面図、図1(b)は構成例2におけるレンズ断面図である。構成例1と構成例2は多くの点で共通している。よって、以下では、構成例1を用いて説明し、構成例2については、構成例1と相違する点を説明する。

[0027] 構成例1では、リレー光学系RL1は、第1の接合レンズCL1と、第2の接合レンズCL2と、第3の接合レンズCL3と、第4の接合レンズCL4と、からなる。第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3との間

に、開口絞り S が配置されている。

[0028] 図 1 において、紙面内の左方向を物体側、右方向を像側とする。リレー光学系 R L 1 の物体側には、対物レンズ（不図示）が配置されている。対物レンズによって、1 次像 I o が形成される。リレー光学系 R L 1 では、1 次像 I o のリレーが行われる。その結果、リレー光学系 R L 1 の像側に、リレーされた像 I が形成される。

[0029] リレー光学系 R L 1 では、2 組の接合レンズが、面对称に配置されている。1 組目の接合レンズは、第 1 の接合レンズ C L 1 と第 4 の接合レンズ C L 4 とからなる。第 4 の接合レンズ C L 4 は、第 1 の接合レンズ C L 1 の形状と面对称な形状を有する。第 4 の接合レンズ C L 4 は、第 1 の接合レンズ C L 1 と面对称な位置に配置されている。

[0030] 2 組目の接合レンズは、第 2 の接合レンズ C L 2 と第 3 の接合レンズ C L 3 とからなる。第 3 の接合レンズ C L 3 は、第 2 の接合レンズ C L 2 の形状と面对称な形状を有する。第 3 の接合レンズ C L 3 は、第 2 の接合レンズ C L 2 と面对称な位置に配置されている。

[0031] リレー光学系 R L 1 では、開口絞り S に対して、第 1 の接合レンズ C L 1 と第 4 の接合レンズ C L 4 とが対称になっている。また、開口絞り S に対して、第 2 の接合レンズ C L 2 と第 3 の接合レンズ C L 3 とが対称になっている。リレー光学系 R L 1 では、開口絞り S の位置に、対称面が存在している。

[0032] このように、リレー光学系 R L 1 は、面对称になっている 1 組の接合レンズを、光学系内に複数有している。そのため、コマ収差や倍率色収差を良好に補正することができる。

[0033] 第 1 の接合レンズ C L 1 は、第 1 のレンズ L 1 と、第 2 のレンズ L 2 と、を有する。第 1 のレンズ L 1 は正の屈折力を有し、第 2 のレンズ L 2 は負の屈折力を有する。これにより、第 1 の接合レンズでは、主に、像面湾曲を良好に補正することができる。

[0034] 第 2 の接合レンズ C L 2 は、第 3 のレンズ L 3 と、第 4 のレンズ L 4 と、

を有する。リレー光学系 R L 1 では、第 3 のレンズ L 3 は正の屈折力を有し、第 4 のレンズ L 4 は負の屈折力を有する。リレー光学系 R L 2 では、第 3 のレンズ L 3 は負の屈折力を有し、第 4 のレンズ L 4 は正の屈折力を有する。

[0035] 第 2 の接合レンズ C L 2 の位置では、第 1 の接合レンズ C L 1 の位置に比べて、軸上光線の高さが高くなる。第 2 の接合レンズ C L 2 を 2 つのレンズで構成することで、色収差や球面収差を良好に補正することができる。

[0036] 第 1 のレンズ L 1 の形状は、両凸形状になっている。そのため、第 1 のレンズ L 1 に入射した光線は、光軸方向に向かって屈折される。これにより、入射光束線の径を小さくできる。その結果、レンズの有効口径を小さくできる。

[0037] 第 2 のレンズ L 2 の形状は、両凹形状になっている。このようにすることで、像面湾曲や球面収差を良好に補正できる。

[0038] 第 2 のレンズ L 2 の形状を両凹形状にすると、第 2 のレンズ L 2 に大きな負の屈折力を持たせやすくなる。第 2 のレンズ L 2 の負の屈折力を大きくできると、リレー光学系全体におけるペッツバル和を小さくすることができる。その結果、特に、像面湾曲を良好に補正することができる。

[0039] 構成例 1 や構成例 2 では、リレー光学系中に開口絞り S が配置されている。開口絞り S としては、例えば、開口が設けられた金属板が用いられる。開口の大きさで、光束径が決まる。開口絞り S を用いなくても光束径を決めることができるのであれば、リレー光学系中に開口絞り S が配置されている必要はない。

[0040] 本実施形態のリレー光学系は、構成例 1 又は構成例 2 を備え、上述の条件式 (1) を満足する。

[0041] 条件式 (1) 式を満足することで、第 2 のレンズに適切な大きさの負の屈折力を持たせることができる。その結果、像面湾曲を良好に補正しつつ、色収差や球面収差も良好に補正することが可能となる。

[0042] 条件式 (1) の下限値を下回ると、第 2 のレンズにおける負の屈折力が小

さくなる。この場合、像面湾曲が増大するので、像の周辺における結像性能が劣化する。条件式（１）の上限値を上回ると、第２のレンズにおける負の屈折力が大きくなる。この場合、色収差や球面収差が増大するので、像の中心から周辺までの広い範囲で良好な結像性能を得ることができなくなる。

[0043] 光学系の開口数を大きくすると、収差の発生量が増大しやすくなる。本実施形態のリレー光学系は、諸収差を補正する能力が高い光学系になっている。よって、本実施形態のリレー光学系では、開口数を大きくしても、像面湾曲の増大、球面収差の増大及び色収差の増大を抑えることができる。このように、本実施形態のリレー光学系よれば、開口数が大きく、高い結像性能を有するリレー光学系を実現できる。

[0044] 条件式（１）に代えて、以下の条件式（１'）又は（１''）を満足することが好ましい。

$$-0.4 < f_2 / f_{CL12} < -0.13 \quad (1')$$

$$-0.38 < f_2 / f_{CL12} < -0.15 \quad (1'')$$

[0045] 本実施形態のリレー光学系では、第３のレンズは正の屈折力を有し、第４のレンズは負の屈折力を有するか、又は、第３のレンズは負の屈折力を有し、第４のレンズは正の屈折力を有することが好ましい。

[0046] このようにすることで、軸上光線高がより高くなっている位置で、色収差を補正することができる。そのため、色収差をより良好に補正できる。

[0047] 本実施形態のリレー光学系では、第３のレンズの物体側のレンズ面は、非球面であることが好ましい。

[0048] 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。すなわち、開口数を大きくしても高い結像性能が維持できる。その結果、解像度が高い像を形成することができる。

[0049] 本実施形態のリレー光学系は、以下の条件式（２）を満足することが好ましい。

$$3 < PS \times TL < 8 \quad (2)$$

ここで、

P S は、ペッツバル和、
 T L は、リレー光学系の全長、
 である。

[0050] リレー光学系では、全体の屈折力は正の屈折力である。リレー光学系は、正レンズと負レンズとを含んでいる。よって、リレー光学系全体の屈折力は、正レンズの屈折力の大きさと負レンズの屈折力の大きさで決まることになる。

[0051] 条件式（２）を満足することで、リレー光学系全体の屈折力に占める負の屈折力の割合を大きくすることができる。その結果、像面湾曲を良好に補正することが可能となる。

[0052] 条件式（２）の上限値を上回ると、リレー光学系全体の屈折力に占める負の屈折力の割合が小さくなる。そのため、像面湾曲の補正が十分にできなくなる。条件式（２）の下限値を下回ると、球面収差が良好に補正できなくなる。

[0053] 条件式（２）に代えて、以下の条件式（２'）又は（２''）を満足することが好ましい。

$$3.5 < P S \times T L < 7.5 \quad (2')$$

$$3.5 < P S \times T L < 7 \quad (2'')$$

[0054] 本実施形態のリレー光学系は、以下の条件式（３）を満足することが好ましい。

$$0.5E-5 < |(f_{CL2}/f_{CL1}) \times (\theta_{gF3} - \theta_{gF4}) / (\nu_{d3} - \nu_{d4})| < 1.0E-5 \quad (3)$$

ここで、

f_{CL1}は、第１の接合レンズの焦点距離、

f_{CL2}は、第２の接合レンズの焦点距離、

θ_{gF3}は、第３のレンズの部分分散比、

θ_{gF4}は、第４のレンズの部分分散比、

ν_{d3}は、第３のレンズのアッベ数、

$\nu d4$ は、第4のレンズのアッベ数である。

[0055] $(f_{CL2} \times (\theta_{gF3} - \theta_{gF4}) / (\nu d3 - \nu d4))$ は、第2の接合レンズにおける2次スペクトル、具体的には、F線に対するg線の残存色収差量を表している。また、「 $E-5$ 」は「 10^{-5} 」を表している。

[0056] 条件式(3)を満足することで、2次スペクトルを良好に補正することができる。その結果、解像度が高い像を形成することができる。

[0057] 硬性鏡では、複数のリレー光学系によって、像のリレーが複数回行われる。この場合、最終的に発生する2次スペクトルの量は、1つのリレー光学系における2次スペクトルの量に、リレー回数を掛け合わせた量になる。よって、1つのリレー光学系における2次スペクトルの量は、できるだけ小さくすることが好ましい。

[0058] 上述のように、本実施形態のリレー光学系は、2次スペクトルが良好に補正されている。よって、本実施形態のリレー光学系を硬性鏡の光学系に使用しても、最終的に発生する2次スペクトルの量を少なくすることができる。その結果、解像度が高い像を形成することができる。

[0059] 条件式(3)の上限値を上回ると、2次スペクトルが大きくなるので、解像度が高い像を形成することが困難となる。条件式(3)の下限値を下回ると、球面収差が良好に補正できなくなる。

[0060] 条件式(3)に代えて、以下の条件式(3')又は(3'')を満足することが好ましい。

$$1E-5 < |(f_{CL2}/f_{CL1}) \times (\theta_{gF3} - \theta_{gF4}) / (\nu d3 - \nu d4)| < 80E-5 \quad (3')$$

$$1E-5 < |(f_{CL2}/f_{CL1}) \times (\theta_{gF3} - \theta_{gF4}) / (\nu d3 - \nu d4)| < 30E-5 \quad (3'')$$

[0061] 本実施形態のリレー光学系は、以下の条件式(4)を満足することが好ましい。

$$-0.5 < f2/f_{CL2} < -0.2 \quad (4)$$

ここで、

f_2 は、第2のレンズの焦点距離、

f_{CL2} は、第2の接合レンズの焦点距離、

である。

[0062] 条件式(4)を満足することで、リレー光学系全体の屈折力に占める負の屈折力の割合を大きくすることができる。その結果、像面湾曲を良好に補正しつつ、色収差や球面収差を良好に補正することが可能となる。

[0063] 条件式(4)の下限値を下回ると、リレー光学系全体の屈折力に占める負の屈折力の割合が小さくなる。この場合、像面湾曲が悪化するので、像の周辺部における結像性能の劣化につながる。条件式(4)の上限値を上回ると、球面収差や色収差が悪化する。そのため、解像度が高い像を形成することが困難になる。

[0064] 条件式(4)に代えて、以下の条件式(4')又は(4'')を満足することが好ましい。

$$-0.5 < f_2 / f_{CL2} < -0.23 \quad (4')$$

$$-0.47 < f_2 / f_{CL2} < -0.26 \quad (4'')$$

[0065] 本実施形態のリレー光学系は、以下の条件式(5)を満足することが好ましい。

$$0.25 < f_1 / f_{CL12} < 1 \quad (5)$$

ここで、

f_1 は、第1レンズの焦点距離、

f_{CL12} は、第1の接合レンズと第2の接合レンズとの合成焦点距離、

である。

[0066] 条件式(5)を満足することで、第1レンズの正の屈折力を適切な大きさにすることができる。これにより、第2レンズの負の屈折力も適切な大きさにすることができる。その結果、像面湾曲を良好に補正しつつ、色収差や球面収差も良好に補正することが可能となる。

[0067] 条件式(5)に代えて、以下の条件式(5')又は(5'')を満足するこ

とが好ましい。

$$0.28 < f_1 / f_{CL12} < 0.7 \quad (5')$$

$$0.3 < f_1 / f_{CL12} < 0.5 \quad (5'')$$

[0068] 本実施形態のリレー光学系は、以下の条件式(6)を満足することが好ましい。

$$0.07 < NA \quad (6)$$

ここで、

NAは、リレー光学系の開口数、

である。

[0069] 条件式(6)を満足することで、明るく、解像度の高い像を形成することができる。

[0070] 条件式(6)に代えて、以下の条件式(6')又は(6'')を満足することが好ましい。

$$0.09 < NA \quad (6')$$

$$0.105 < NA \quad (6'')$$

[0071] 本実施形態の硬性鏡は、本実施形態のリレー光学系を有することを特徴とする。

[0072] 本実施形態の硬性鏡は、複数のリレー光学系を有している。そして、本実施形態の硬性鏡では、複数のリレー光学系の少なくとも1つに、本実施形態のリレー光学系が用いられている。本実施形態のリレー光学系では、ペッツバル和が小さくなるので、像面湾曲を小さくできる。そのため、本実施形態のリレー光学系を少なくとも1つ用いることで、解像度が高い像を形成することが可能になる。

[0073] このように、本実施形態の硬性鏡によれば、解像度が高い像を得ることができる。また、解像度が高い像を撮像することで、高画質の画像を取得することができる。

[0074] 本実施形態の硬性鏡は、対物レンズと、接眼レンズと、対物レンズと接眼レンズとの間に配置されたりレー光学系と、を有し、リレー光学系の総数は

7以上であり、本実施形態のリレー光学系の総数が3以上であることが好ましい。

[0075] 本実施形態のリレー光学系では、ペッツバル和が小さくなるので、像面湾曲を小さくできる。そのため、リレー光学系の総数が7以上の場合、本実施形態のリレー光学系の総数を3以上にすることで、解像度が高い像を形成することが可能になる。その結果、本実施形態の硬性鏡によれば、解像度が高い像を得ることができる。また、解像度が高い像を撮像することで、高画質の画像を取得することができる。

[0076] 硬性鏡光学系が、対物レンズと、接眼レンズと、複数のリレー光学系で構成されているとする。この場合、対物レンズ、接眼レンズ及びリレー光学系の各々で、像側の開口数が本実施形態のリレー光学系の開口数と同等以上であることが望ましい。

[0077] このようにすることで、収差が良好に補正されるので、明るく、高解像度な像を形成することができる。また、解像度が高い像を撮像することで、高画質の画像を取得することができる。

[0078] 図12は、硬性鏡を示す図である。図12では、硬性鏡の観察光学系が概略的に示されている。そのため、観察光学系を構成する光学要素は単レンズで示されている。

[0079] 観察光学系10は、硬性管（不図示）の内部に配置されている。観察光学系10は、物体側から順に、対物レンズ1と、リレー光学系2と、リレー光学系3と、リレー光学系4と、接眼レンズ5と、を有する。

[0080] 対物レンズ1は、像面6に1次像を形成する。1次像は、リレー光学系2によって像側にリレーされる。これにより、像面7に第1のリレー像が形成される。第1のリレー像は、リレー光学系3によって像側にリレーされる。これにより、像面8に第2のリレー像が形成される。第2のリレー像は、リレー光学系4によって像側にリレーされる。これにより、像面9に第3のリレー像が形成される。

[0081] 第3のリレー像は、接眼レンズ5で観察することができる。接眼レンズ5

の像側（右側）に、撮像素子を含んだカメラヘッド光学系を配置しても良い。このようにすることで、物体の画像を取得することができる。

[0082] 図12に示す観察光学系10では、リレー光学系の数は3であるが、これに限られない。例えば、リレー光学系の総数を7以上にすることができる。

[0083] リレー光学系の総数を増やすと、硬性管の全長が長くなる。硬性管の全長が長くなると、操作性が悪くなる。このようなことから、硬性管の全長は限られた長さになる。限られた長さの中でリレー光学系の総数を増やすためには、一つのリレー光学系の全長を短くすれば良い。これは、一つのリレー光学系における焦点距離が短くなることを意味する。

[0084] 有効口径の値は変わらずに焦点距離が短くなると、開口数が大きくなる。よって、リレー光学系における焦点距離が短くなると、リレー光学系における開口数は大きくなる。

[0085] 上述のように、光学系の開口数を大きくすると、収差の発生量が増大しやすくなる。しかしながら、本実施形態のリレー光学系は、諸収差を補正する能力が高い光学系になっている。よって、本実施形態のリレー光学系では、開口数を大きくしても、諸収差の増大を抑えることができる。すなわち、リレー光学系の総数を増やしても、高い結像性能の維持と明るい像の形成とを行うことができる。

[0086] リレー光学系の総数を7以上にする場合、本実施形態のリレー光学系の総数を3以上にすることで、像面湾曲の増大、球面収差の増大及び色収差の増大を抑えることができる。よって、本実施形態の硬性鏡によれば、解像度が高い像を得ることができる。また、解像度が高い像を撮像することで、高画質の画像を取得することができる。

[0087] 以下、実施例について説明する。各収差図において、横軸は収差量を表している。球面収差と非点収差については、収差量の単位はmmである。NAは開口数、IHは像高である。収差曲線の波長の単位はnmである。

[0088] 各実施例では、リレー光学系中に開口絞りSが配置されている。ただし、開口絞りSを用いなくても光束径を決めることができるのであれば、リレー

光学系中に開口絞り S が配置されていなくても良い。

[0089] (実施例 1)

実施例 1 に係るリレー光学系について説明する。図 2 (a) は、実施例 1 に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図 2 (b)、(c) は実施例 1 に係るリレー光学系の収差図であって、(b) は球面収差 (SA) を示し、(c) は非点収差 (AS) を示している。

[0090] 実施例 1 のリレー光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 の接合レンズ CL 1 と、正の屈折力を有する第 2 の接合レンズ CL 2 と、正の屈折力を有する第 3 の接合レンズ CL 3 と、正の屈折力を有する第 4 の接合レンズ CL 4 と、からなる。開口絞り S は、第 2 の接合レンズ CL 2 と第 3 の接合レンズ CL 3 との間に配置されている。

[0091] 第 1 の接合レンズ CL 1 は、両凸正レンズ L 1 と、両凹負レンズ L 2 と、からなる。第 2 の接合レンズ CL 2 は、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。第 3 の接合レンズ CL 3 は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 5 と、両凸正レンズ L 6 と、からなる。第 4 の接合レンズ CL 4 は、両凹負レンズ L 7 と、両凸正レンズ L 8 と、からなる。

[0092] 実施例 1 のリレー光学系では、2 組の接合レンズが、面对称に配置されている。1 組目の接合レンズは、第 1 の接合レンズ CL 1 と第 4 の接合レンズ CL 4 とからなる。第 4 の接合レンズ CL 4 は、第 1 の接合レンズ CL 1 の形状と面对称な形状を有する。第 4 の接合レンズ CL 4 は、第 1 の接合レンズ CL 1 と面对称な位置に配置されている。

[0093] 2 組目の接合レンズは、第 2 の接合レンズ CL 2 と第 3 の接合レンズ CL 3 とからなる。第 3 の接合レンズ CL 3 は、第 2 の接合レンズ CL 2 の形状と面对称な形状を有する。第 3 の接合レンズ CL 3 は、第 2 の接合レンズ CL 2 と面对称な位置に配置されている。

[0094] 実施例 1 のリレー光学系では、開口絞り S に対して、第 1 の接合レンズ CL 1 と第 4 の接合レンズ CL 4 とが対称になっている。また、開口絞り S に

対して、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とが対称になっている。実施例1のリレー光学系では、開口絞りSの位置に、対称面が存在している。

[0095] (実施例2)

実施例2に係るリレー光学系について説明する。図3(a)は、実施例2に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図3(b)、(c)は実施例2に係るリレー光学系の収差図であって、(b)は球面収差(SA)を示し、(c)は非点収差(AS)を示している。

[0096] 実施例2のリレー光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1の接合レンズCL1と、正の屈折力を有する第2の接合レンズCL2と、正の屈折力を有する第3の接合レンズCL3と、正の屈折力を有する第4の接合レンズCL4と、からなる。開口絞りSは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3との間に配置されている。

[0097] 第1の接合レンズCL1は、両凸正レンズL1と、両凹負レンズL2と、からなる。第2の接合レンズCL2は、両凸正レンズL3と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と、からなる。第3の接合レンズCL3は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL5と、両凸正レンズL6と、からなる。第4の接合レンズCL4は、両凹負レンズL7と、両凸正レンズL8と、からなる。

[0098] 実施例2のリレー光学系では、2組の接合レンズが、面对称に配置されている。1組目の接合レンズは、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とからなる。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1の形状と面对称な形状を有する。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1と面对称な位置に配置されている。

[0099] 2組目の接合レンズは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とからなる。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2の形状と面对称な形状を有する。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2と面对称な位置に配置されている。

[0100] 実施例2のリレー光学系では、開口絞りSに対して、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とが対称になっている。また、開口絞りSに対して、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とが対称になっている。実施例2のリレー光学系では、開口絞りSの位置に、対称面が存在している。

[0101] (実施例3)

実施例3に係るリレー光学系について説明する。図4(a)は、実施例3に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図4(b)、(c)は実施例3に係るリレー光学系の収差図であって、(b)は球面収差(SA)を示し、(c)は非点収差(AS)を示している。

[0102] 実施例3のリレー光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1の接合レンズCL1と、正の屈折力を有する第2の接合レンズCL2と、正の屈折力を有する第3の接合レンズCL3と、正の屈折力を有する第4の接合レンズCL4と、からなる。開口絞りSは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3との間に配置されている。

[0103] 第1の接合レンズCL1は、両凸正レンズL1と、両凹負レンズL2と、からなる。第2の接合レンズCL2は、両凸正レンズL3と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と、からなる。第3の接合レンズCL3は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL5と、両凸正レンズL6と、からなる。第4の接合レンズCL4は、両凹負レンズL7と、両凸正レンズL8と、からなる。

[0104] 実施例3のリレー光学系では、2組の接合レンズが、面对称に配置されている。1組目の接合レンズは、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とからなる。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1の形状と面对称な形状を有する。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1と面对称な位置に配置されている。

[0105] 2組目の接合レンズは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とからなる。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2の形状

と面对称な形状を有する。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2と面对称な位置に配置されている。

[0106] 実施例3のリレー光学系では、開口絞りSに対して、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とが対称になっている。また、開口絞りSに対して、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とが対称になっている。実施例3のリレー光学系では、開口絞りSの位置に、対称面が存在している。

[0107] 非球面は、両凸正レンズL3の物体側面と、両凸正レンズL6の像側面と、の合計2面に設けられている。

[0108] (実施例4)

実施例4に係るリレー光学系について説明する。図5(a)は、実施例4に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図5(b)、(c)は実施例4に係るリレー光学系の収差図であって、(b)は球面収差(SA)を示し、(c)は非点収差(AS)を示している。

[0109] 実施例4のリレー光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1の接合レンズCL1と、正の屈折力を有する第2の接合レンズCL2と、正の屈折力を有する第3の接合レンズCL3と、正の屈折力を有する第4の接合レンズCL4と、からなる。開口絞りSは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3との間に配置されている。

[0110] 第1の接合レンズCL1は、両凸正レンズL1と、両凹負レンズL2と、からなる。第2の接合レンズCL2は、両凸正レンズL3と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と、からなる。第3の接合レンズCL3は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL5と、両凸正レンズL6と、からなる。第4の接合レンズCL4は、両凹負レンズL7と、両凸正レンズL8と、からなる。

[0111] 実施例4のリレー光学系では、2組の接合レンズが、面对称に配置されている。1組目の接合レンズは、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とからなる。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1の

形状と面对称な形状を有する。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1と面对称な位置に配置されている。

[0112] 2組目の接合レンズは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とからなる。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2の形状と面对称な形状を有する。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2と面对称な位置に配置されている。

[0113] 実施例4のリレー光学系では、開口絞りSに対して、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とが対称になっている。また、開口絞りSに対して、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とが対称になっている。実施例4のリレー光学系では、開口絞りSの位置に、対称面が存在している。

[0114] (実施例5)

実施例5に係るリレー光学系について説明する。図6(a)は、実施例5に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図6(b)、(c)は実施例5に係るリレー光学系の収差図であって、(b)は球面収差(SA)を示し、(c)は非点収差(AS)を示している。

[0115] 実施例5のリレー光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1の接合レンズCL1と、正の屈折力を有する第2の接合レンズCL2と、正の屈折力を有する第3の接合レンズCL3と、正の屈折力を有する第4の接合レンズCL4と、からなる。開口絞りSは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3との間に配置されている。

[0116] 第1の接合レンズCL1は、両凸正レンズL1と、両凹負レンズL2と、からなる。第2の接合レンズCL2は、両凸正レンズL3と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と、からなる。第3の接合レンズCL3は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL5と、両凸正レンズL6と、からなる。第4の接合レンズCL4は、両凹負レンズL7と、両凸正レンズL8と、からなる。

[0117] 実施例5のリレー光学系では、2組の接合レンズが、面对称に配置されて

いる。1組目の接合レンズは、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とからなる。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1の形状と面对称な形状を有する。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1と面对称な位置に配置されている。

[0118] 2組目の接合レンズは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とからなる。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2の形状と面对称な形状を有する。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2と面对称な位置に配置されている。

[0119] 実施例5のリレー光学系では、開口絞りSに対して、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とが対称になっている。また、開口絞りSに対して、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とが対称になっている。実施例5のリレー光学系では、開口絞りSの位置に、対称面が存在している。

[0120] 非球面は、両凸正レンズL3の物体側面と、両凸正レンズL6の像側面と、の合計2面に設けられている。

[0121] (実施例6)

実施例6に係るリレー光学系について説明する。図7(a)は、実施例6に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図7(b)、(c)は実施例6に係るリレー光学系の収差図であって、(b)は球面収差(SA)を示し、(c)は非点収差(AS)を示している。

[0122] 実施例6のリレー光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1の接合レンズCL1と、正の屈折力を有する第2の接合レンズCL2と、正の屈折力を有する第3の接合レンズCL3と、正の屈折力を有する第4の接合レンズCL4と、からなる。開口絞りSは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3との間に配置されている。

[0123] 第1の接合レンズCL1は、両凸正レンズL1と、両凹負レンズL2と、からなる。第2の接合レンズCL2は、両凸正レンズL3と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と、からなる。第3の接合レンズCL3は、

物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 5と、両凸正レンズL 6と、からなる。第4の接合レンズCL 4は、両凹負レンズL 7と、両凸正レンズL 8と、からなる。

[0124] 実施例6のリレー光学系では、2組の接合レンズが、面对称に配置されている。1組目の接合レンズは、第1の接合レンズCL 1と第4の接合レンズCL 4とからなる。第4の接合レンズCL 4は、第1の接合レンズCL 1の形状と面对称な形状を有する。第4の接合レンズCL 4は、第1の接合レンズCL 1と面对称な位置に配置されている。

[0125] 2組目の接合レンズは、第2の接合レンズCL 2と第3の接合レンズCL 3とからなる。第3の接合レンズCL 3は、第2の接合レンズCL 2の形状と面对称な形状を有する。第3の接合レンズCL 3は、第2の接合レンズCL 2と面对称な位置に配置されている。

[0126] 実施例6のリレー光学系では、開口絞りSに対して、第1の接合レンズCL 1と第4の接合レンズCL 4とが対称になっている。また、開口絞りSに対して、第2の接合レンズCL 2と第3の接合レンズCL 3とが対称になっている。実施例6のリレー光学系では、開口絞りSの位置に、対称面が存在している。

[0127] 非球面は、両凸正レンズL 3の物体側面と、両凸正レンズL 6の像側面と、の合計2面に設けられている。

[0128] (実施例7)

実施例7に係るリレー光学系について説明する。図8(a)は、実施例7に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図8(b)、(c)は実施例7に係るリレー光学系の収差図であって、(b)は球面収差(SA)を示し、(c)は非点収差(AS)を示している。

[0129] 実施例7のリレー光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1の接合レンズCL 1と、正の屈折力を有する第2の接合レンズCL 2と、正の屈折力を有する第3の接合レンズCL 3と、正の屈折力を有する第4の接合レンズCL 4と、からなる。開口絞りSは、第2の接合レンズCL 2と第3

の接合レンズCL3との間に配置されている。

[0130] 第1の接合レンズCL1は、両凸正レンズL1と、両凹負レンズL2と、からなる。第2の接合レンズCL2は、両凸正レンズL3と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と、からなる。第3の接合レンズCL3は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL5と、両凸正レンズL6と、からなる。第4の接合レンズCL4は、両凹負レンズL7と、両凸正レンズL8と、からなる。

[0131] 実施例7のリレー光学系では、2組の接合レンズが、面对称に配置されている。1組目の接合レンズは、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とからなる。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1の形状と面对称な形状を有する。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1と面对称な位置に配置されている。

[0132] 2組目の接合レンズは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とからなる。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2の形状と面对称な形状を有する。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2と面对称な位置に配置されている。

[0133] 実施例7のリレー光学系では、開口絞りSに対して、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とが対称になっている。また、開口絞りSに対して、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とが対称になっている。実施例7のリレー光学系では、開口絞りSの位置に、対称面が存在している。

[0134] 非球面は、両凸正レンズL3の物体側面と、両凸正レンズL6の像側面と、の合計2面に設けられている。

[0135] (実施例8)

実施例8に係るリレー光学系について説明する。図9(a)は、実施例8に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図9(b)、(c)は実施例8に係るリレー光学系の収差図であって、(b)は球面収差(SA)を示し、(c)は非点収差(AS)を示している。

[0136] 実施例8のリレー光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1の接合レンズCL1と、正の屈折力を有する第2の接合レンズCL2と、正の屈折力を有する第3の接合レンズCL3と、正の屈折力を有する第4の接合レンズCL4と、からなる。開口絞りSは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3との間に配置されている。

[0137] 第1の接合レンズCL1は、両凸正レンズL1と、両凹負レンズL2と、からなる。第2の接合レンズCL2は、物体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、からなる。第3の接合レンズCL3は、両凸正レンズL5と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL6と、からなる。第4の接合レンズCL4は、両凹負レンズL7と、両凸正レンズL8と、からなる。

[0138] 実施例8のリレー光学系では、2組の接合レンズが、面对称に配置されている。1組目の接合レンズは、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とからなる。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1の形状と面对称な形状を有する。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1と面对称な位置に配置されている。

[0139] 2組目の接合レンズは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とからなる。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2の形状と面对称な形状を有する。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2と面对称な位置に配置されている。

[0140] 実施例8のリレー光学系では、開口絞りSに対して、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とが対称になっている。また、開口絞りSに対して、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とが対称になっている。実施例8のリレー光学系では、開口絞りSの位置に、対称面が存在している。

[0141] 非球面は、負メニスカスレンズL3の物体側面と、負メニスカスレンズL6の像側面と、の合計2面に設けられている。

[0142] (実施例9)

実施例 9 に係るリレー光学系について説明する。図 10 (a) は、実施例 9 に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図 10 (b)、(c) は実施例 9 に係るリレー光学系の収差図であって、(b) は球面収差 (SA) を示し、(c) は非点収差 (AS) を示している。

[0143] 実施例 9 のリレー光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 の接合レンズ CL 1 と、正の屈折力を有する第 2 の接合レンズ CL 2 と、正の屈折力を有する第 3 の接合レンズ CL 3 と、正の屈折力を有する第 4 の接合レンズ CL 4 と、からなる。開口絞り S は、第 2 の接合レンズ CL 2 と第 3 の接合レンズ CL 3 との間に配置されている。

[0144] 第 1 の接合レンズ CL 1 は、両凸正レンズ L 1 と、両凹負レンズ L 2 と、からなる。第 2 の接合レンズ CL 2 は、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。第 3 の接合レンズ CL 3 は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 5 と、両凸正レンズ L 6 と、からなる。第 4 の接合レンズ CL 4 は、両凹負レンズ L 7 と、両凸正レンズ L 8 と、からなる。

[0145] 実施例 9 のリレー光学系では、2 組の接合レンズが、面对称に配置されている。1 組目の接合レンズは、第 1 の接合レンズ CL 1 と第 4 の接合レンズ CL 4 とからなる。第 4 の接合レンズ CL 4 は、第 1 の接合レンズ CL 1 の形状と面对称な形状を有する。第 4 の接合レンズ CL 4 は、第 1 の接合レンズ CL 1 と面对称な位置に配置されている。

[0146] 2 組目の接合レンズは、第 2 の接合レンズ CL 2 と第 3 の接合レンズ CL 3 とからなる。第 3 の接合レンズ CL 3 は、第 2 の接合レンズ CL 2 の形状と面对称な形状を有する。第 3 の接合レンズ CL 3 は、第 2 の接合レンズ CL 2 と面对称な位置に配置されている。

[0147] 実施例 9 のリレー光学系では、開口絞り S に対して、第 1 の接合レンズ CL 1 と第 4 の接合レンズ CL 4 とが対称になっている。また、開口絞り S に対して、第 2 の接合レンズ CL 2 と第 3 の接合レンズ CL 3 とが対称になっている。実施例 9 のリレー光学系では、開口絞り S の位置に、対称面が存在

している。

[0148] 非球面は、両凸正レンズL 3の物体側面と、両凸正レンズL 6の像側面と、の合計2面に設けられている。

[0149] (実施例10)

実施例10に係るリレー光学系について説明する。図11(a)は、実施例10に係るリレー光学系のレンズ断面図である。また、図11(b)、(c)は実施例10に係るリレー光学系の収差図であって、(b)は球面収差(SA)を示し、(c)は非点収差(AS)を示している。

[0150] 実施例10のリレー光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有する第1の接合レンズCL1と、正の屈折力を有する第2の接合レンズCL2と、正の屈折力を有する第3の接合レンズCL3と、負の屈折力を有する第4の接合レンズCL4と、からなる。開口絞りSは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3との間に配置されている。

[0151] 第1の接合レンズCL1は、両凸正レンズL1と、両凹負レンズL2と、からなる。第2の接合レンズCL2は、両凸正レンズL3と、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL4と、からなる。第3の接合レンズCL3は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL5と、両凸正レンズL6と、からなる。第4の接合レンズCL4は、両凹負レンズL7と、両凸正レンズL8と、からなる。

[0152] 実施例10のリレー光学系では、2組の接合レンズが、面对称に配置されている。1組目の接合レンズは、第1の接合レンズCL1と第4の接合レンズCL4とからなる。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1の形状と面对称な形状を有する。第4の接合レンズCL4は、第1の接合レンズCL1と面对称な位置に配置されている。

[0153] 2組目の接合レンズは、第2の接合レンズCL2と第3の接合レンズCL3とからなる。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2の形状と面对称な形状を有する。第3の接合レンズCL3は、第2の接合レンズCL2と面对称な位置に配置されている。

[0154] 実施例 10 のリレー光学系では、開口絞り S に対して、第 1 の接合レンズ CL 1 と第 4 の接合レンズ CL 4 とが対称になっている。また、開口絞り S に対して、第 2 の接合レンズ CL 2 と第 3 の接合レンズ CL 3 とが対称になっている。実施例 10 のリレー光学系では、開口絞り S の位置に、対称面が存在している。

[0155] 非球面は、両凸正レンズ L 3 の物体側面と、両凸正レンズ L 6 の像側面と、の合計 2 面に設けられている。

[0156] 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、記号は、 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。また、各種データにおいて、 NA は開口数、 l_H は像高、 TL はリレー光学系の全長、 θ_{gF3} と θ_{gF4} は部分分散比、 PS はペッツバル和である。リレー光学系の全長は、2 つの像の間の距離（面データにおける物体面から像面までの距離）である。

[0157] 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} 、 A_{12} …としたとき、次の式で表される。

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + k) (y / r)^2\}^{1/2}] \\ + A_4 y^4 + A_6 y^6 + A_8 y^8 + A_{10} y^{10} + A_{12} y^{12} + \dots$$

また、「 $E - n$ 」（ 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。

[0158] 数値実施例 1

単位 mm

面データ

面番号	r	d	n_e	ν_d
物体面	∞	1.6920		
1	4.3492	3.4484	1.88815	40.76
2	-2.3878	0.9814	1.67718	38.15

3	1.5712	0.6227		
4	2.8873	3.5804	1.49846	81.54
5	-1.6244	0.6768	1.51825	64.14
6	-3.3614	0.1692		
7(絞り)	∞	0.1692		
8	3.3614	0.6768	1.51825	64.14
9	1.6244	3.5804	1.49846	81.54
10	-2.8873	0.6227		
11	-1.5712	0.9814	1.66718	38.15
12	2.3878	3.4484	1.88815	40.76
13	-4.3492	1.6920		
像面	∞			

各種データ

N A	0.1000
I H	1.000
T L	22.34
θ g F 3	0.5375
θ g F 4	0.5353
P S	0.1810

[0159] 数値実施例 2

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	ν d
物体面	∞	1.6920		
1	4.3492	3.4484	1.88815	40.76
2	-2.3878	0.9814	1.67718	38.15

3	1.5712	0.6227		
4	2.8873	3.5804	1.49846	81.54
5	-1.6244	0.6768	1.51825	64.14
6	-3.3614	0.1692		
7(絞り)	∞	0.1692		
8	3.3614	0.6768	1.51825	64.14
9	1.6244	3.5804	1.49846	81.54
10	-2.8873	0.6227		
11	-1.5712	0.9814	1.66718	38.15
12	2.3878	3.4484	1.88815	40.76
13	-4.3492	1.6920		
像面	∞			

各種データ

N A	0.0794
I H	1.000
T L	22.34
θ g F 3	0.5375
θ g F 4	0.5353
P S	0.1810

[0160] 数値実施例3

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	ν d
物体面	∞	1.4989		
1	5.5468	3.9128	2.01169	28.27
2	-3.4156	0.6815	1.62409	36.26

3	1.7079	0.5501		
4*	2.6173	4.0384	1.43985	94.93
5	-1.6017	0.5039	1.51825	64.14
6	-2.9709	0.1004		
7(絞り)	∞	0.1004		
8	2.9709	0.5039	1.51825	64.14
9	1.6017	4.0384	1.43985	94.93
10*	-2.6173	0.5501		
11	-1.7079	0.6815	1.62409	36.26
12	3.4156	3.9128	2.01169	28.27
13	-5.5468	1.4989		
像面	∞			

非球面データ

第4面

K=1.3352

A4=-7.8861E-03

第10面

K=1.3352

A4=7.8861E-03

各種データ

N A 0.126

I H 1.000

T L 22.57

θ_{gF3} 0.534

θ_{gF4} 0.5353

P S 0.2193

[0161] 数値実施例 4

単位 m m

面データ

面番号	r	d	ne	νd
物体面	∞	1.3469		
1	5.5824	3.8133	2.01169	28.27
2	-4.3058	0.6304	1.62409	36.26
3	2.0846	0.4326		
4	3.3001	4.5940	1.43985	94.93
5	-1.6484	0.3877	1.51825	64.14
6	-2.8785	0.0852		
7(絞り)	∞	0.0852		
8	2.8785	0.3877	1.51825	64.14
9	1.6484	4.5940	1.43985	94.93
10	-3.3001	0.4326		
11	-2.0846	0.6304	1.62409	36.26
12	4.3058	3.8133	2.01169	28.27
13	-5.5824	1.3469		
像面	∞			

各種データ

N A	0.1246
I H	1.000
T L	22.58
$\theta g F 3$	0.534
$\theta g F 4$	0.5353
P S	0.2454

[0162] 数値実施例 5

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	νd
物体面	∞	1.8167		
1	19.5954	5.0378	2.01169	28.27
2	-3.2960	2.2706	1.62409	36.26
3	3.9954	1.5727		
4*	3.6196	4.8760	1.43985	94.93
5	-2.6864	0.4529	1.69979	55.53
6	-5.0412	0.6291		
7(絞り)	∞	0.6291		
8	5.0412	0.4529	1.69979	55.53
9	2.6864	4.8760	1.43985	94.93
10*	-3.6196	1.5727		
11	-3.9954	2.2706	1.62409	36.26
12	3.2960	5.0378	2.01169	28.27
13	-19.5954	1.8167		
像面	∞			

非球面データ

第4面

K=0.0343

A4=-2.8223E-03

第10面

K=0.0343

A4=2.8223E-03

各種データ

N A	0.1546
I H	1.000
T L	33.31
θ g F 3	0.534
θ g F 4	0.5434
P S	0.1840

[0163] 数値実施例 6

単位 m m

面データ

面番号	r	d	ne	ν d
物体面	∞	1.7935		
1	19.9317	4.8199	2.01169	28.27
2	-3.3856	2.2765	1.62409	36.26
3	4.0449	1.5636		
4*	3.5769	5.1751	1.43985	94.93
5	-2.7738	0.5759	1.69979	55.53
6	-5.1694	0.5347		
7(絞り)	∞	0.5347		
8	5.1694	0.5759	1.69979	55.53
9	2.7738	5.1751	1.43985	94.93
10*	-3.5769	1.5636		
11	-4.0449	2.2765	1.62409	36.26
12	3.3856	4.8199	2.01169	28.27
13	-19.9317	1.7935		
像面	∞			

非球面データ

第4面

$K=0.0323$

$A4=-3.4447E-03$

第10面

$K=0.0323$

$A4=3.4447E-03$

各種データ

N A 0.1524

I H 1.000

T L 33.48

θ_{gF3} 0.534

θ_{gF4} 0.5434

P S 0.1841

[0164] 数値実施例7

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	νd
物体面	∞	1.7893		
1	15.3350	4.7990	2.01169	28.27
2	-3.8708	2.1366	1.62409	36.26
3	4.0920	1.5293		
4*	3.9257	5.0818	1.43985	94.93
5	-2.6180	0.5884	1.65425	58.55
6	-4.8779	0.7316		

7(絞り)	∞	0.7316		
8	4.8779	0.5884	1.65425	58.55
9	2.6180	5.0818	1.43985	94.93
10*	-3.9257	1.5293		
11	-4.0920	2.1366	1.62409	36.26
12	3.8708	4.7990	2.01169	28.27
13	-15.3350	1.7893		
像面	∞			

非球面データ

第4面

K=0.5062

A4=-3.3438E-03

第10面

K=0.5062

A4=3.3438E-03

各種データ

N A 0.13

I H 1.000

T L 33.31

θ_{gF3} 0.534

θ_{gF4} 0.5424

P S 0.1881

[0165] 数値実施例8

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	νd
物体面	∞	1.6672		
1	3.8459	3.3078	1.88815	40.76
2	-6.4323	1.1905	1.72538	34.71
3	1.7657	0.6553		
4*	3.5464	0.9993	1.51825	64.06
5	1.5741	3.1690	1.49846	81.54
6	-3.0729	0.0948		
7(絞り)	∞	0.0948		
8	3.0729	3.1690	1.49846	81.54
9	-1.5741	0.9993	1.51825	64.06
10*	-3.5464	0.6553		
11	-1.7657	1.1905	1.72538	34.71
12	6.4323	3.3078	1.88815	40.76
13	-3.8459	1.6672		
像面	∞			

非球面データ

第4面

K=2.1601

A4=-1.2021E-02

第10面

K=2.1601

A4=1.2021E-02

各種データ

N A 0.125

I H 1.000

T L	22.17
$\theta_g F3$	0.5333
$\theta_g F4$	0.5375
P S	0.1819

[0166] 数値実施例 9

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	νd
物体面	∞	1.5203		
1	5.0823	2.9710	1.88815	40.76
2	-3.2361	1.4800	1.61669	44.27
3	1.9643	0.8708		
4*	3.7520	3.7050	1.49846	81.54
5	-2.0323	0.6446	1.61669	44.27
6	-3.4301	0.0941		
7(絞り)	∞	0.0941		
8	3.4301	0.6446	1.61669	44.27
9	2.0323	3.7050	1.49846	81.54
10*	-3.7520	0.8708		
11	-1.9643	1.4800	1.61669	44.27
12	3.2361	2.9710	1.88815	40.76
13	-5.0823	1.5203		
像面	∞			

非球面データ

第4面

K=0.7292

A4=-4.0535E-03

第1 O 面

K=0.7292

A4=4.0535E-03

各種データ

N A	0.125
I H	1.000
T L	22.57
θ g F 3	0.5375
θ g F 4	0.5633
P S	0.2034

[0167] 数値実施例1 O

単位 mm

面データ

面番号	r	d	ne	ν d
物体面	∞	1.7096		
1	24.7277	4.5913	2.01169	28.27
2	-2.5922	1.1081	1.62409	36.26
3	2.7376	1.5000		
4*	2.8362	6.5368	1.43985	94.93
5	-2.3436	0.5671	1.69979	55.53
6	-4.6762	0.8560		
7(絞り)	∞	0.8560		
8	4.6762	0.5671	1.69979	55.53
9	2.3436	6.5368	1.43985	94.93
10*	-2.8362	1.5000		

11	-2.7376	1.1081	1.62409	36.26
12	2.5922	4.5913	2.01169	28.27
13	-24.7277	1.7095		
像面	∞			

非球面データ

第4面

$K = -0.3449$

$A4 = -2.4423E-03$

第10面

$K = -0.3449$

$A4 = 2.4423E-03$

各種データ

$N_A = 0.140$

$I_H = 1.000$

$TL = 33.74$

$\theta_{gF3} = 0.534$

$\theta_{gF4} = 0.5434$

$PS = 0.1523$

[0168] 次に、各実施例における条件式の値を以下に示す。

条件式

(1) $f2/f_{CL12}$

(2) $PS \times TL$

(3) $| (f_{CL2}/f_{CL1}) \times (\theta_{gF3} - \theta_{gF4}) / (\nu_{d3} - \nu_{d4}) |$

(4) $f2/f_{CL2}$

(5) $f1/f_{CL12}$

条件式	実施例 1	実施例 2	実施例 3
(1)	-0.178	-0.178	-0.258
(2)	4.043	4.043	4.949
(3)	2.833E-05	2.833E-05	1.102E-05
(4)	-0.311	-0.311	-0.393
(5)	0.321	0.321	0.398

条件式	実施例 4	実施例 5	実施例 6
(1)	-0.318	-0.321	-0.324
(2)	5.541	6.130	6.162
(3)	1.48E-05	8.6E-05	8.096E-05
(4)	-0.444	-0.372	-0.378
(5)	0.437	0.390	0.392

条件式	実施例 7	実施例 8	実施例 9
(1)	-0.343	-0.232	-0.248
(2)	6.266	4.032	4.591
(3)	8.538E-05	7.267E-05	25.2E-05
(4)	-0.406	-0.423	-0.372
(5)	0.415	0.411	0.372

条件式	実施例 10
(1)	-0.246
(2)	5.139
(3)	4.105E-06
(4)	-0.317
(5)	0.316

[0169] 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。

産業上の利用可能性

[0170] 本発明は、像面湾曲、球面収差及び色収差が良好に補正されたリレー光学系及びそれを備えた硬性鏡に有用である。

符号の説明

[0171] R L 1、R L 2 リレー光学系
 L 1 ～ L 8 レンズ
 C L 1 ～ C L 4 接合レンズ
 S 開口絞り
 I o 1次像
 I 像面
 1 対物レンズ
 2、3、4 リレー光学系
 5 接眼レンズ
 6、7、8、9 像面
 10 観察光学系

請求の範囲

[請求項1]

物体側から順に、
第1の接合レンズと、
正の屈折力を有する第2の接合レンズと、
前記第2の接合レンズと面对称な第3の接合レンズと、
前記第1の接合レンズと面对称な第4の接合レンズと、を有し、
前記第1の接合レンズは、正の屈折力を有する第1のレンズと、負の屈折力を有する第2のレンズと、を有し、
前記第2の接合レンズは、第3のレンズと、第4のレンズと、を有し、
前記第1のレンズの形状は、両凸形状であり、
前記第2のレンズの形状は、両凹形状であり、
下記の条件式(1)を満足することを特徴とするリレー光学系。
$$-0.4 < f_2 / f_{CL12} < -0.1 \quad (1)$$

ここで、
 f_2 は、前記第2レンズの焦点距離、
 f_{CL12} は、前記第1の接合レンズと前記第2の接合レンズとの合成焦点距離、
である。

[請求項2]

前記第3のレンズは正の屈折力を有し、前記第4のレンズは負の屈折力を有することを特徴とする請求項1に記載のリレー光学系。

[請求項3]

前記第3のレンズは負の屈折力を有し、前記第4のレンズは正の屈折力を有することを特徴とする請求項1に記載のリレー光学系。

[請求項4]

前記第3のレンズの物体側のレンズ面は、非球面であることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載のリレー光学系。

[請求項5]

以下の条件式(2)を満足することを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載のリレー光学系。

$$3 < PS \times TL < 8 \quad (2)$$

ここで、
 P S は、ペッツバル和、
 T L は、前記リレー光学系の全長、
 である。

[請求項6] 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5のいずれか一項に記載のリレー光学系。

$$0.5E-5 < |(f_{CL2}/f_{CL1}) \times (\theta_{gF3} - \theta_{gF4}) / (\nu_{d3} - \nu_{d4})| < 1.00E-5 \quad (3)$$

ここで、
 f_{CL1} は、前記第1の接合レンズの焦点距離、
 f_{CL2} は、前記第2の接合レンズの焦点距離、
 θ_{gF3} は、前記第3のレンズの部分分散比、
 θ_{gF4} は、前記第4のレンズの部分分散比、
 ν_{d3} は、前記第3のレンズのアッベ数、
 ν_{d4} は、前記第4のレンズのアッベ数
 である。

[請求項7] 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6のいずれか一項に記載のリレー光学系。

$$-0.5 < f_2/f_{CL2} < -0.2 \quad (4)$$

ここで、
 f_2 は、前記第2のレンズの焦点距離、
 f_{CL2} は、前記第2の接合レンズの焦点距離、
 である。

[請求項8] 請求項1から7のいずれか一項に記載のリレー光学系を有することを特徴とする硬性鏡。

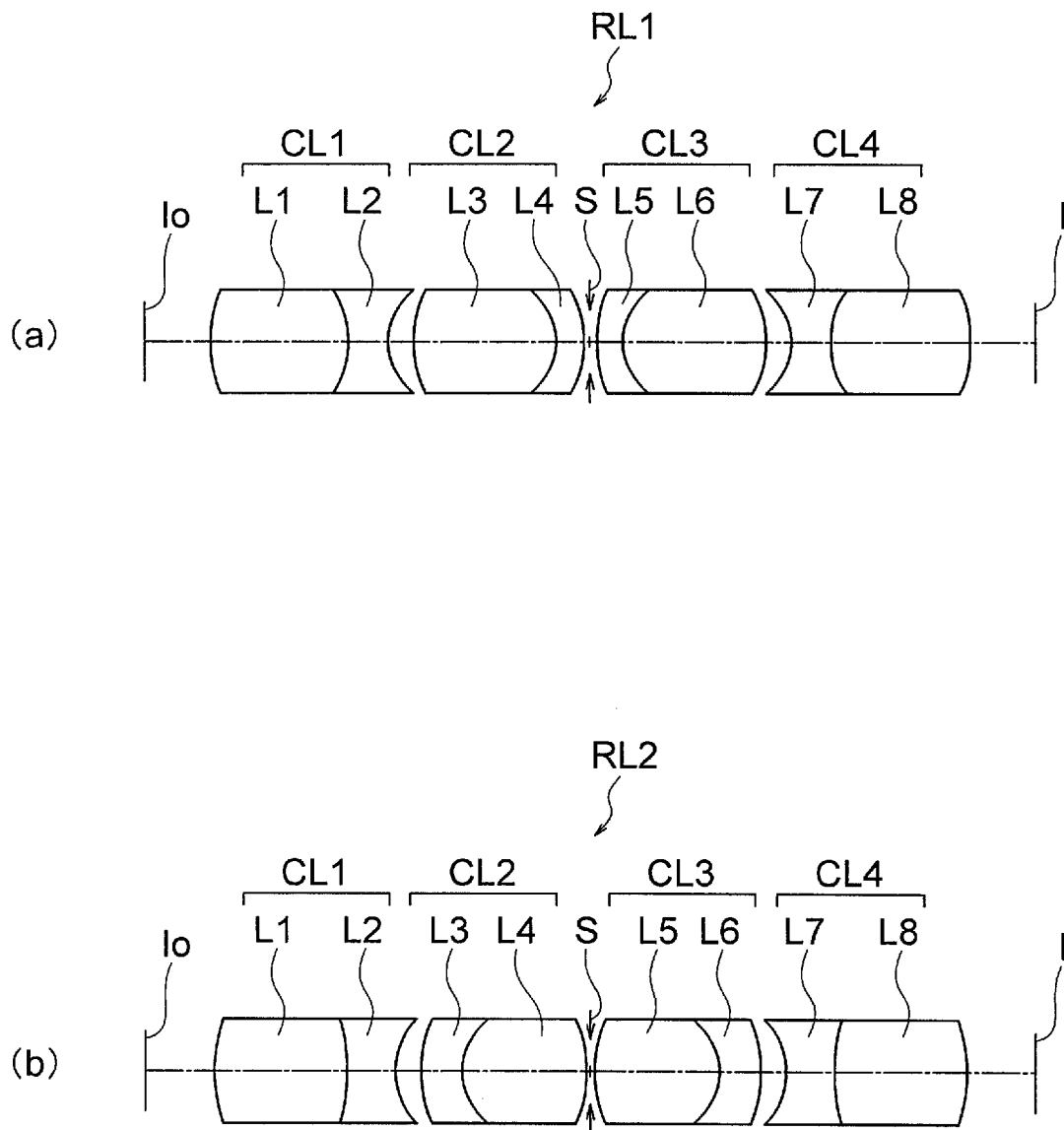
[請求項9] 対物レンズと、
 接眼レンズと、
 前記対物レンズと前記接眼レンズとの間に配置されたりレー光学系

と、を有し、

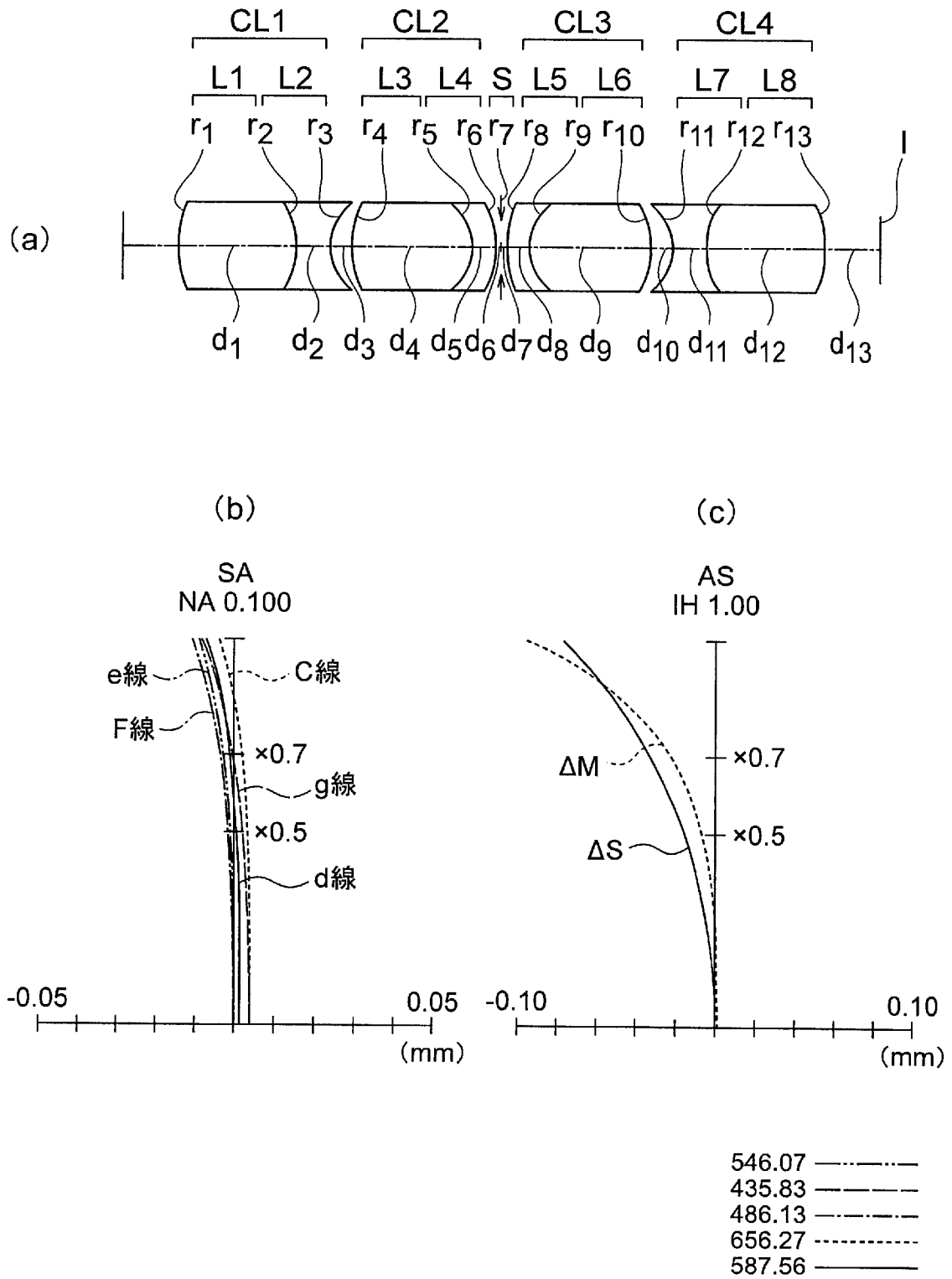
前記リレー光学系の総数は 7 以上であり、

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載のリレー光学系の総数が 3 以上であることを特徴とする請求項 8 に記載の硬性鏡。

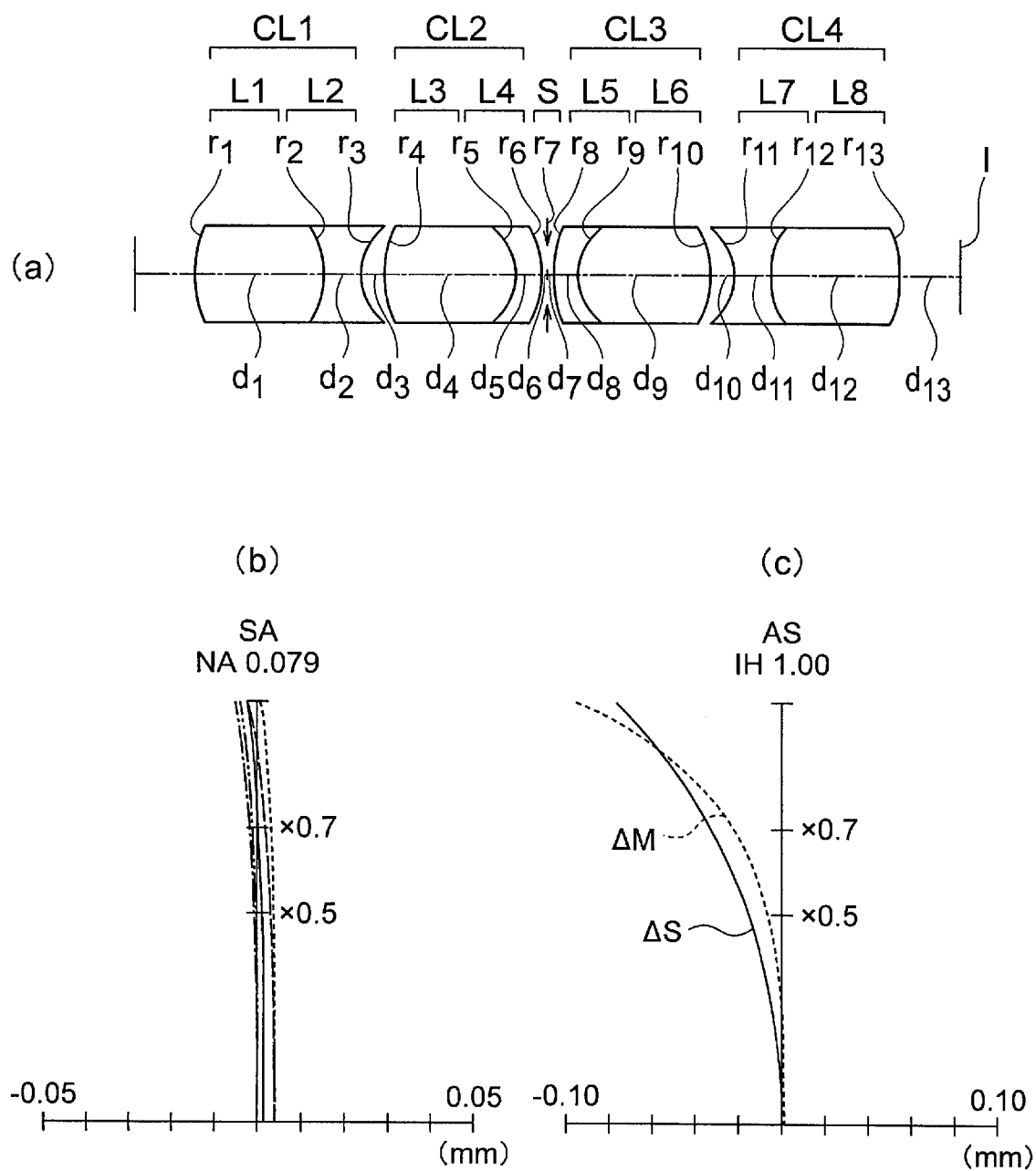
[図1]



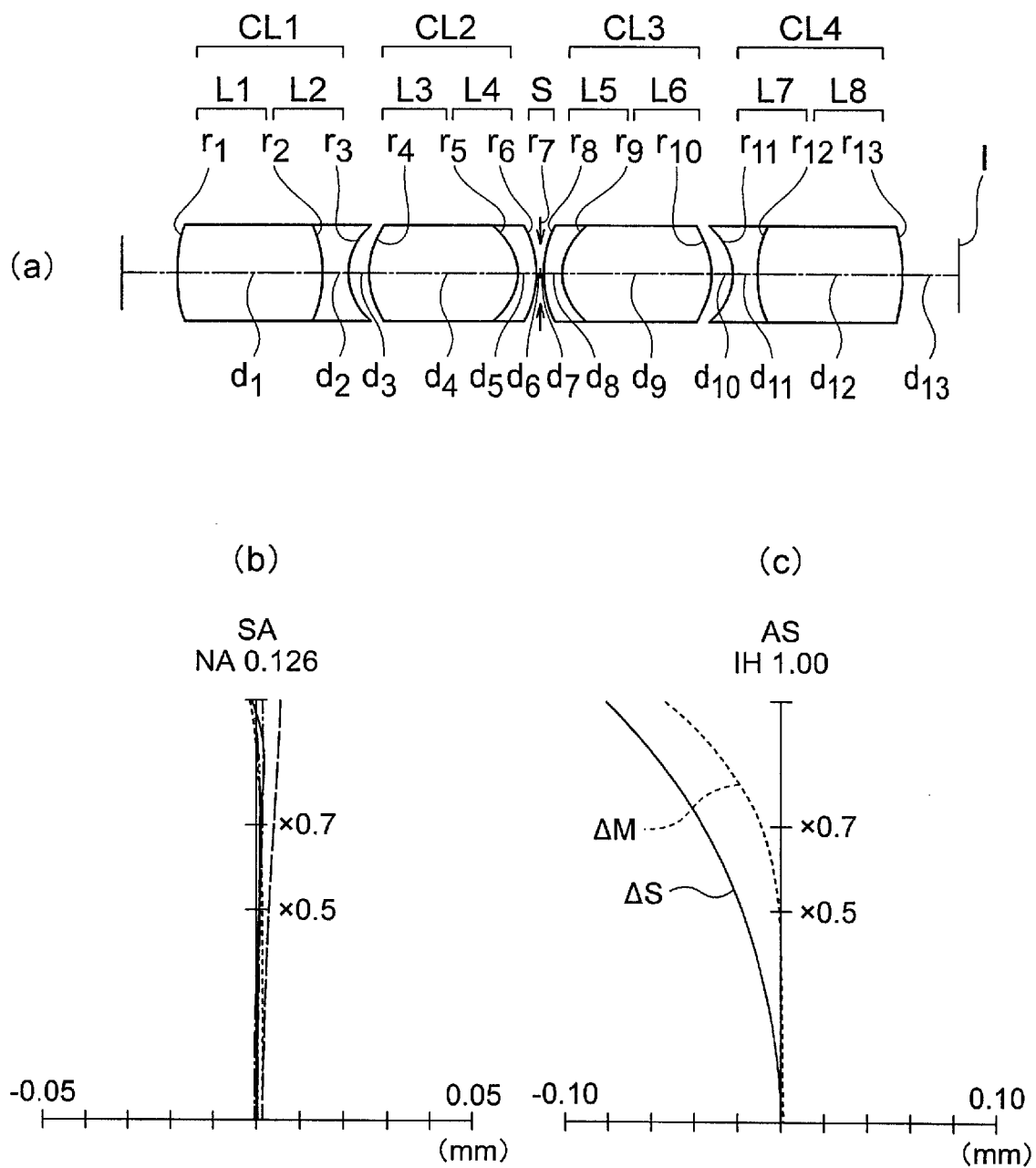
[図2]



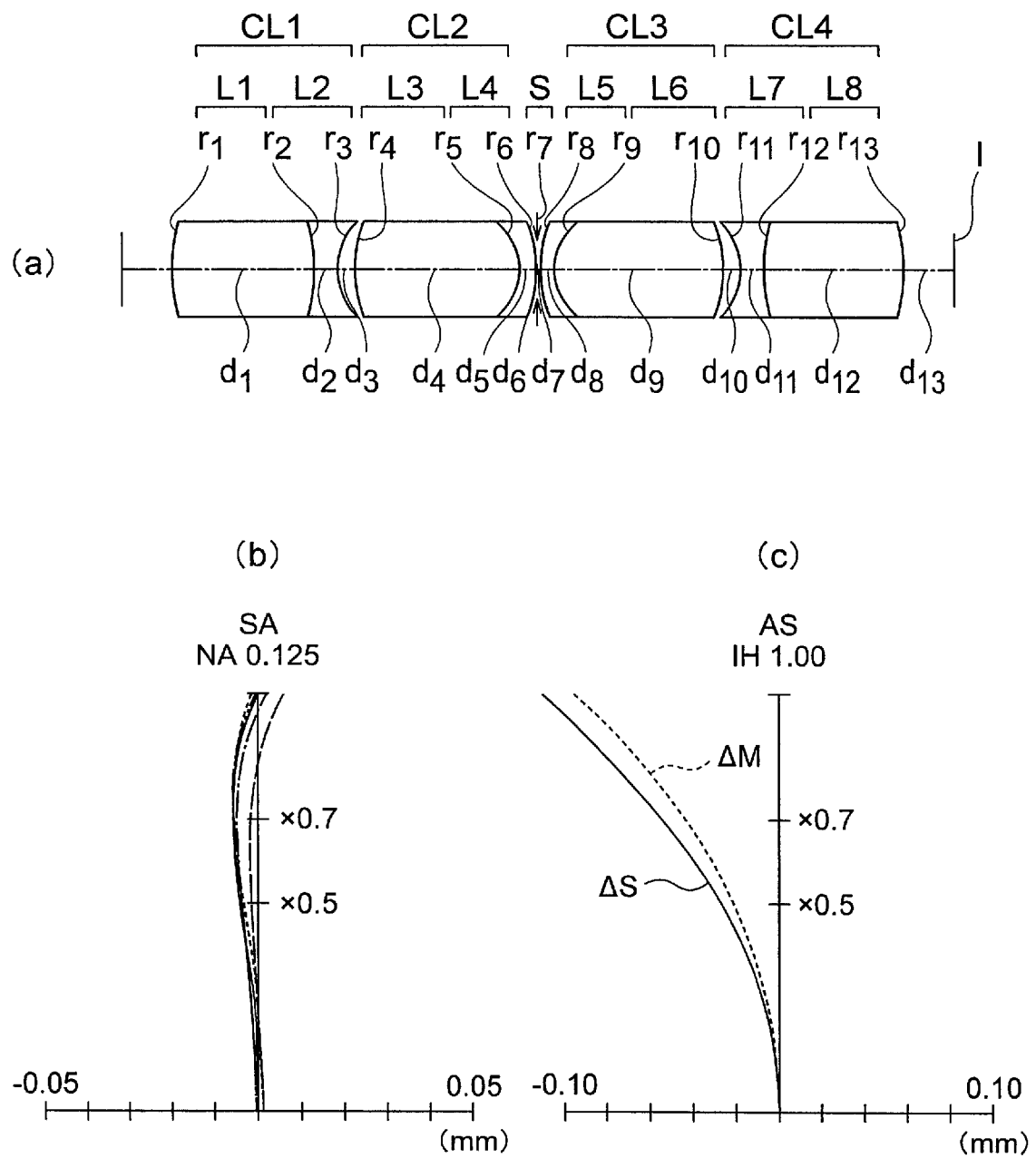
[図3]



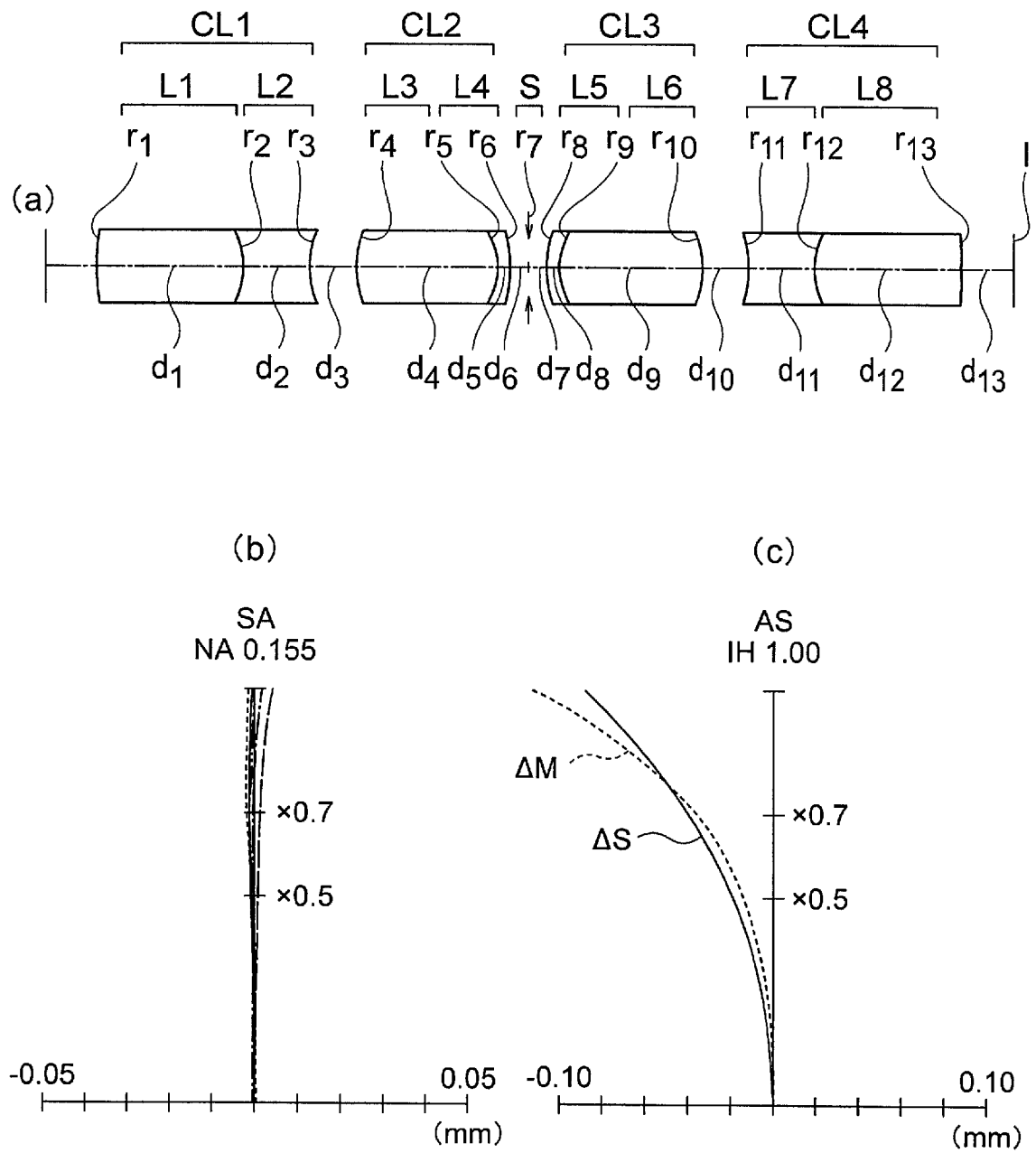
[図4]



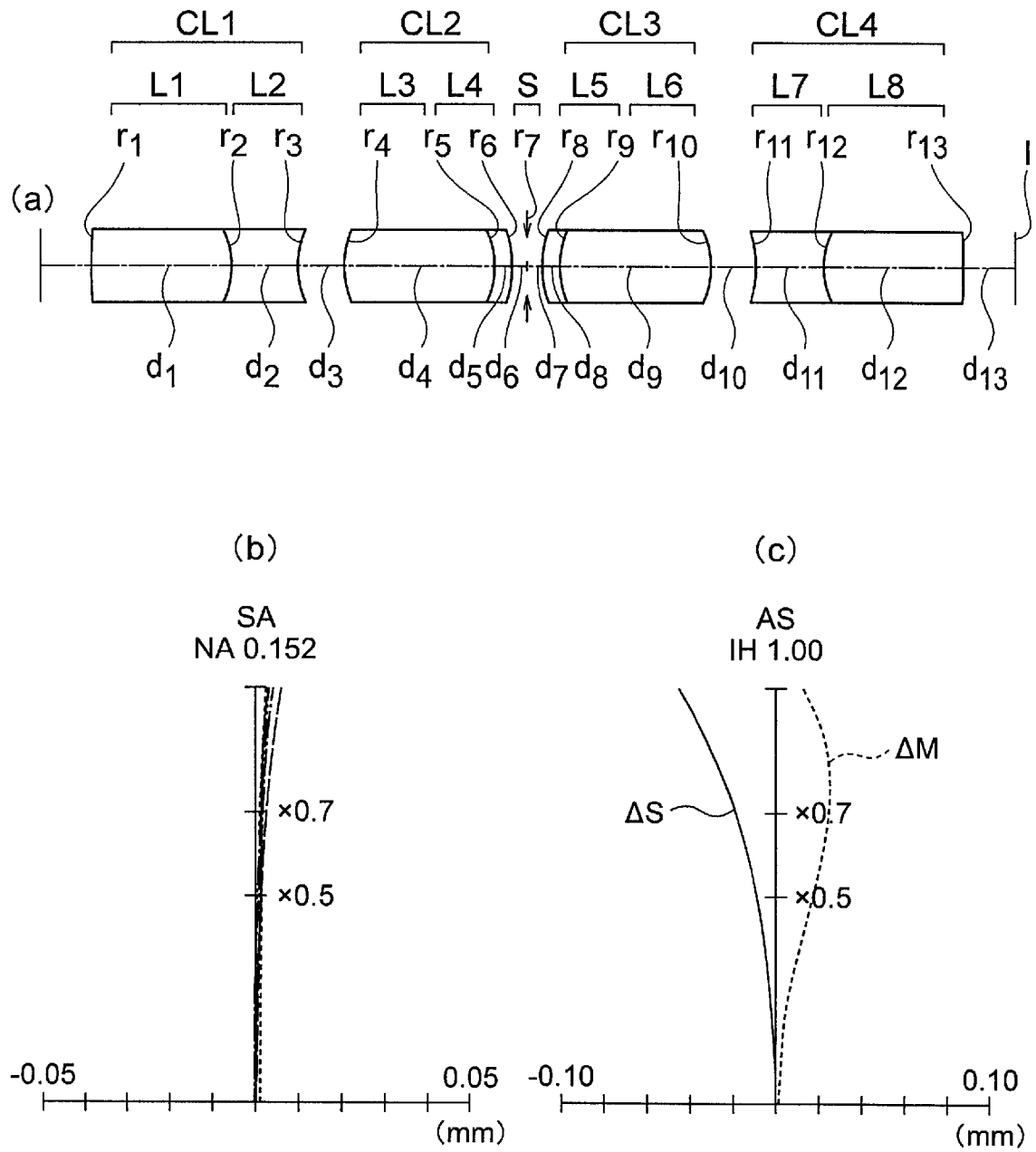
[図5]



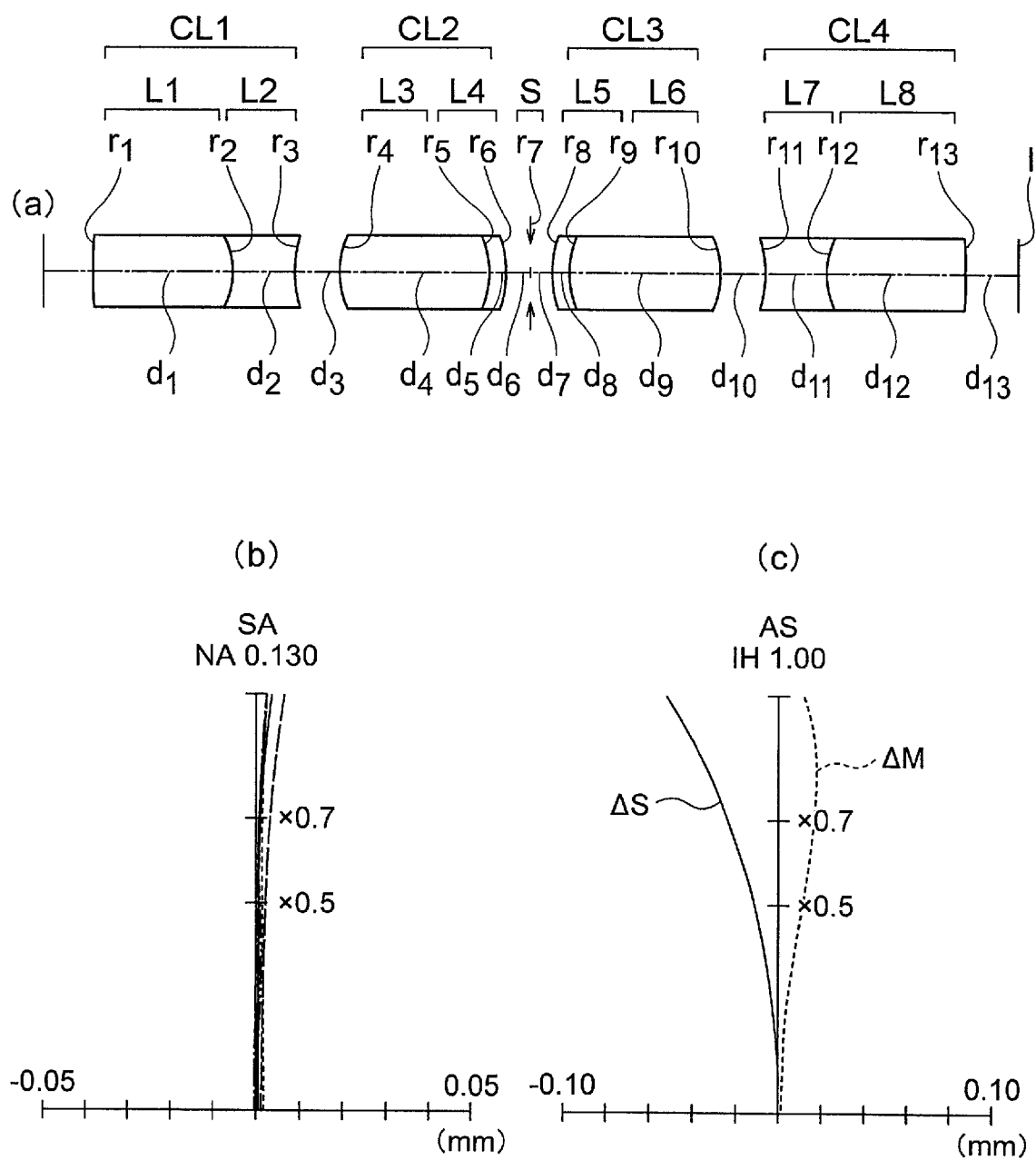
[図6]



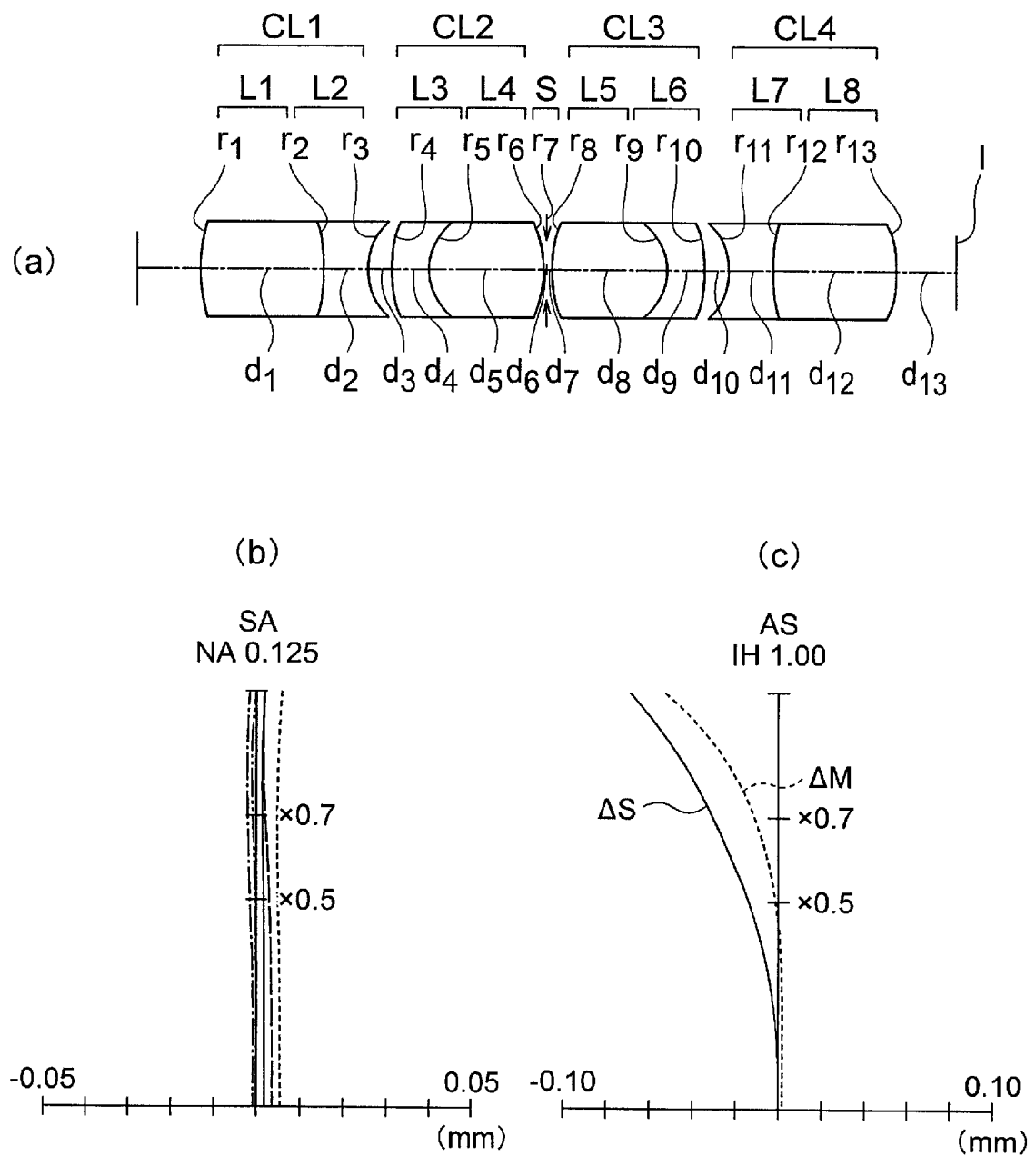
[図7]



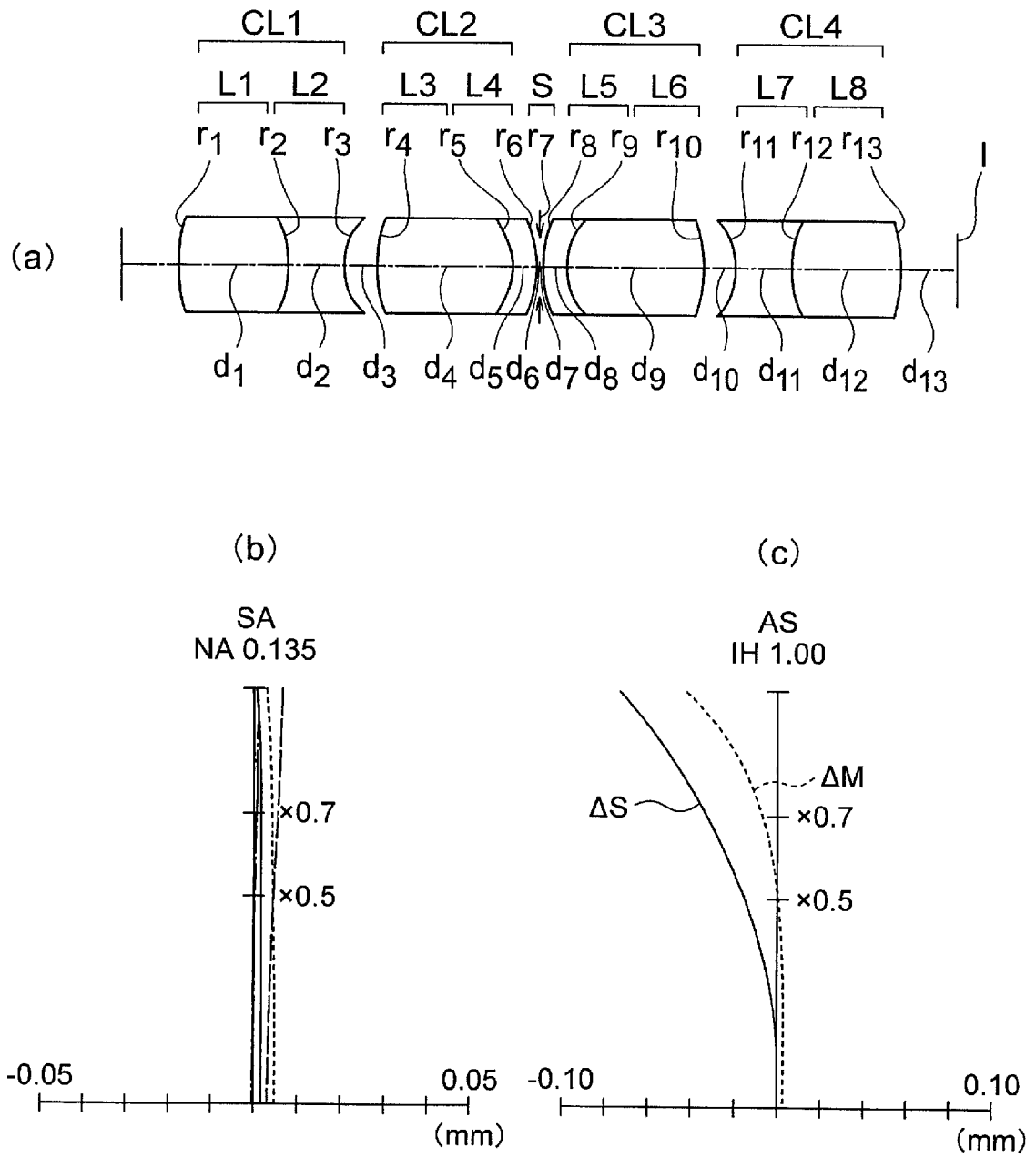
[図8]



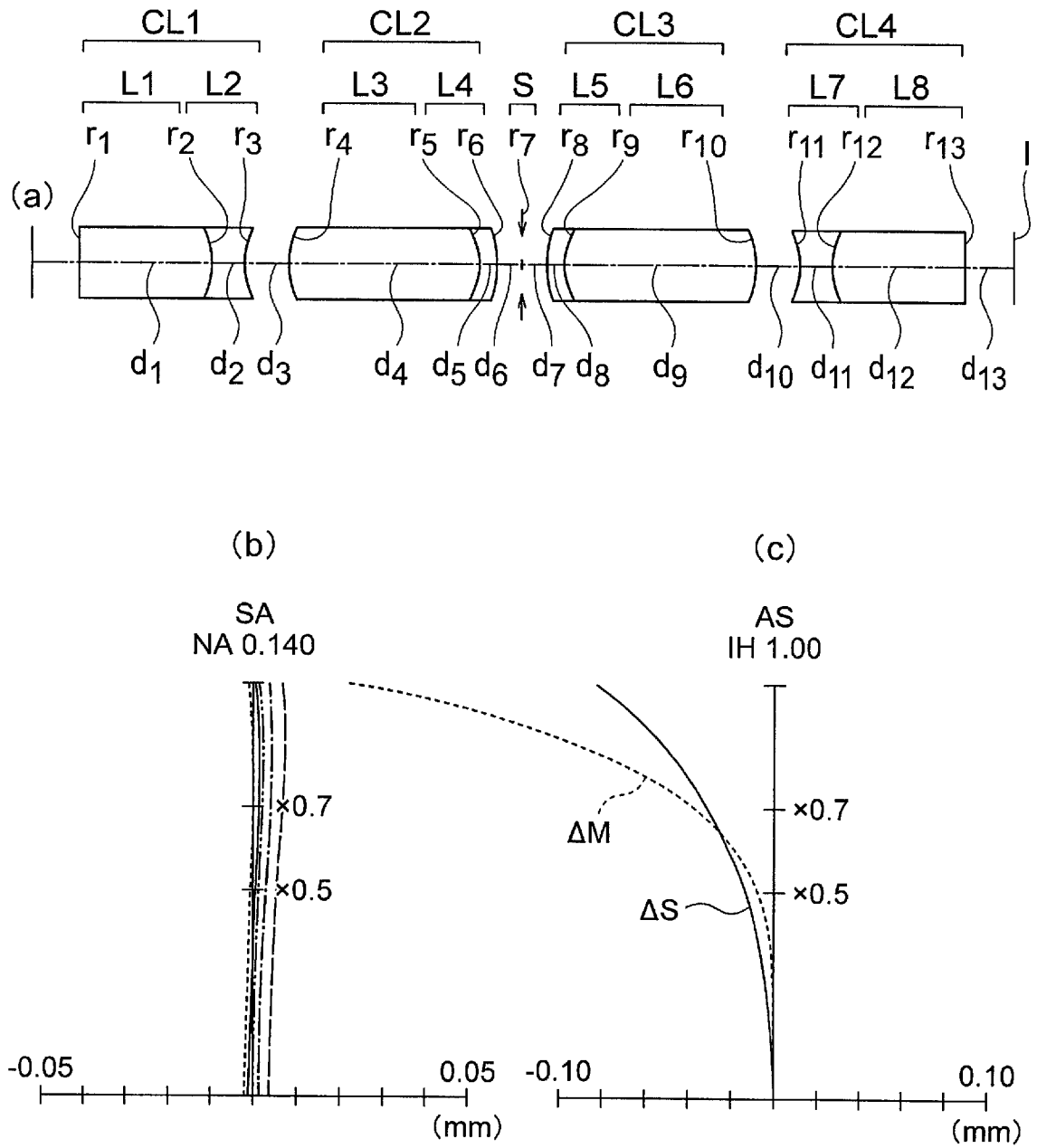
[図9]



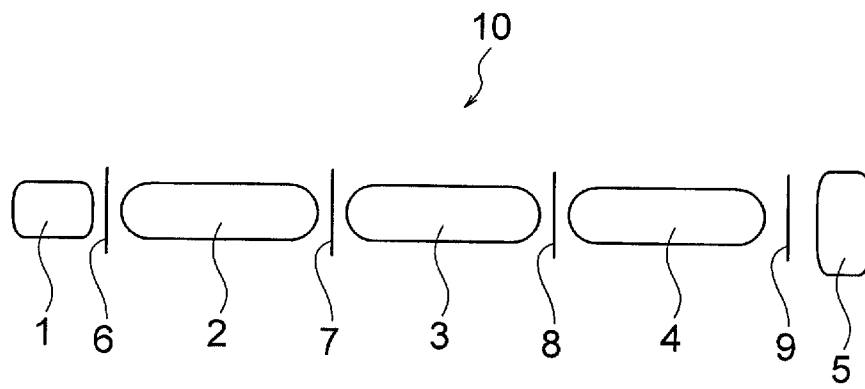
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/014121

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B13/00(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, G02B13/18(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)

G02B13/00, A61B1/00, G02B13/18, 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	JP 57-207215 A (Tele Syn Optics Inc.), 18 December 1982 (18.12.1982), entire text; all drawings & US 4545652 A & US 4575195 A & DE 3220350 A1	1-9
A	JP 61-184513 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 18 August 1986 (18.08.1986), entire text; all drawings & US 4676606 A & DE 3535028 A1	1-9
P, A	JP 6029159 B1 (Tamron Co., Ltd.), 28 October 2016 (28.10.2016), entire text; all drawings (Family: none)	1-9



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

"I" 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
20 June 2017 (20.06.17)

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.

[Object to be covered by this search]

Regarding "(a third cemented lens that is) plane-symmetric" and "a fourth cemented lens that is) plane-symmetric)", which are described in claim 1, in the description of this international application, there are mentions of "plane-symmetric shapes" and "plane-symmetric positions". However, there is no other specific mention of what kinds of aspects are included in the specified wording "plane-symmetric".

Described as specific examples in the description are only examples of a relay optical system disclosed as one having the "plane-symmetric" cemented lenses, which can be understood to be defined as being "plane-symmetric" on condition that they have the same refractive index, Abbe number, that is, the same material in addition to the abovementioned shape and position (although in "numerical data" of each of "numerical example 1" and "numerical example 2", "refractive indexes of an e-line" of "L2" and "L7" are described as "1.67718" and "1.66718", respectively, this is a typographical error, judging from the calculation result of "a Petzval sum" "PS" ("1.67718" in "L2" is typographical error for "1.66718"), and the same material is considered to be used therefor (Incidentally, there is no typographical error in "numerical example 3" to "numerical example 10", and these numerical examples are each described as a relay optical system that is "plane-symmetric", including material)).

Therefore, regarding the aspect of "plane-symmetric" described in claim 1, ones described in the description as ones that satisfy the requirement of support under PCT Article 6 are considered to have the same material in addition to the shape and the position.

Therefore, the search for claim 1 and claims 2-9 referring thereto of this international application was carried out on one provided with a configuration (as the aspect of "plane symmetry" of the relay optical system, a configuration in which the shapes, positions and materials are the same) within the scope supported by and disclosed in the description.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B13/00(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, G02B13/18(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. G02B13/00, A61B1/00, G02B13/18, 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	JP 57-207215 A（テルーシノーオペイツクス・インコーポレーテッド） 1982.12.18, 全文、全図 & US 4545652 A & US 4575195 A & DE 3220350 A1	1-9
A	JP 61-184513 A（オリンパス光学工業株式会社） 1986.08.18, 全文、全図 & US 4676606 A & DE 3535028 A1	1-9
P, A	JP 6029159 B1（株式会社タムロン） 2016.10.28, 全文、全図 （ファミリーなし）	1-9

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

20.06.2017

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）

小倉 宏之

2 V

4 4 6 4

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

[調査の対象について]

請求項1に記載されている「面对称（な第3の接合レンズ）」と「面对称（な第4の接合レンズ）」とについて、この国際出願の明細書には、「面对称な形状」や「面对称な位置」との記載がなされてはいるものの、それ以外に、「面对称」との記載が具体的にどのような態様のものまでを含ませる意図で特定されたものなのかを説明する記載が見当たらない。そして、前記明細書において、具体例として当該「面对称」な接合レンズを有するものとして開示されているリレー光学系の実施例は、上記形状や位置に加えて、屈折率やアッベ数、つまり材料が同じものをもってして「面对称」と規定されると理解できるものが記載されているのみである（「数値実施例1」と「数値実施例2」の「数値データ」においては、いずれも、「L2」と「L7」との「e線の屈折率」がそれぞれ「1.67718」と「1.66718」と記載されているが、これは「ペッツバル和」「PS」の計算結果からして誤記であり（「L2」に関する記載を「1.66718」とすべきところを「1.67718」と記載した誤記である。）、それらにはやはり同じ材料が使用されているとみなされる（なお、「数値実施例3」－「数値実施例10」については誤記がなく、それらは材料も含めて「面对称」なリレー光学系として記載されている。）。したがって、請求項1に記載されている「面对称」の態様につき、PCT第6条に規定される裏付けに関する要件を満足するものとして明細書に記載されているものは、形状や位置に加えて材料も同じものであると認められる。

よって、この国際出願の請求項1とこれを引用する請求項2－9とに係る調査は、前記明細書に裏付けられ、開示されている範囲の構成（リレー光学系における「面对称」の態様として、形状、位置そして材料が同じ構成）を備えるものを対象として行った。