

(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9月22日(22.09.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/147501 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 15/167 (2006.01) *G02B 23/24* (2006.01)
A61B 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/084350
- (22) 国際出願日: 2015年12月8日(08.12.2015)
- (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 2015-054601 2015年3月18日(18.03.2015) 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: 藤原 和人(FUJIWARA, Kazuto); 〒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: 上田 邦生, 外(UEDA, Kunio et al.); 〒2208137 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-2-1 横浜ランドマークタワー37F Kanagawa (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, JP, 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), ヨーロッパ (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).

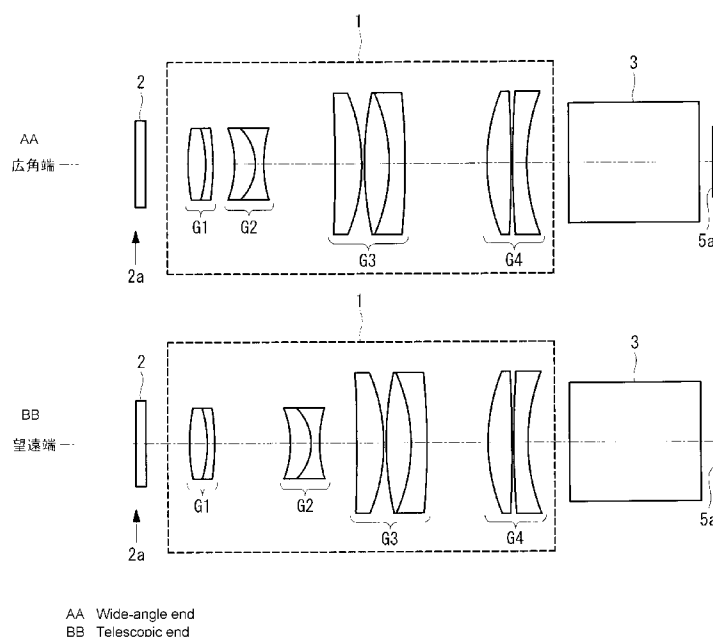
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: IMAGE PICKUP OPTICAL SYSTEM

(54) 発明の名称: 撮像光学系

[図2]



(57) Abstract: Image pickup optical system (1) has a variable magnification ratio of 1.5x or higher, comprises, in order from the object side toward the image side, a first lens group (G1) having positive refractive power, a second lens group (G2) having a negative refractive power, a third lens group (G3) having a positive refractive power, and a fourth lens group (G4) having a positive refractive power, and satisfies conditional expressions (1) and (2). In the formulas, ffw is the forward focal position at the wide-angle end with the barrel attachment surface (2a) as the origin, fwt is the focal distance of the entire system at the wide-angle end, ftt is the forward focal position at the telescopic end with the barrel attachment surface (2a) as the origin, ftt is the focal distance of the entire system at the telescopic end, h is the maximum image height at the imaging surface (5a), and D is the exit pupil position of a rigid endoscope with the barrel attachment surface (2a) as the origin. (1) $|(ffw-D)/fw^2| \leq 0.052/h$ (2) $|(ftt-D)/ft^2| \leq 0.052/h$

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/147501 A1



撮像光学系（１）は、１．５倍以上の変倍比を有するとともに、物体側から像側へ向かって順に、正の屈折力の第１レンズ群（Ｇ１）と、負の屈折力の第２レンズ群（Ｇ２）と、正の屈折力の第３レンズ群（Ｇ３）と、正の屈折力の第４レンズ群（Ｇ４）とからなり、条件式（１）および（２）満足する。 f は胴付面（２ａ）を原点とした広角端での前側焦点位置、 f_w は広角端における全系の焦点距離、 f_{ft} は胴付面（２ａ）を原点とした望遠端での前側焦点位置、 f_t は望遠端における全系の焦点距離、 h は結像面（５ａ）における最大像高、 D は胴付面（２ａ）を原点とした硬性内視鏡の射出瞳位置である。（１） $\left| (f_{fw} - D) / f_w^2 \right| \leq 0.052 / h$ （２） $\left| (f_{ft} - D) / f_t^2 \right| \leq 0.052 / h$

明 細 書

発明の名称：撮像光学系

技術分野

[0001] 本発明は、撮像光学系に関し、特に、硬性内視鏡用のカメラヘッドに搭載される撮像光学系に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、硬性内視鏡の観察像を撮影してモニタに表示するために硬性内視鏡用のカメラヘッドが使用されている。カメラヘッドは、撮像素子と、硬性内視鏡の基端に設けられた接眼レンズから射出された光を撮像素子の撮像面に結像する撮像光学系とを備え、硬性内視鏡の基端に接続して使用される。このような撮像光学系として、ズーム機能を備えたものが知られている（例えば、特許文献1および2参照。）。

[0003] 一方、近年、内視鏡用の撮像装置として、画質および色再現性に優れた3板式の撮像装置が使用されることが多くなっている。3板式の撮像装置は、入射光をR、G、Bの3色の光に分割するダイクロイックプリズムと、該ダイクロイックプリズムによって分割された3色の光を撮影する3個の撮像素子とを備えている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開平11-125770号公報

特許文献2：特許第4043587号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1、2に記載の撮像光学系は、3板式の撮像装置に適用したときに、変倍に伴って発生する色シェーディングを抑制することが難しいという問題がある。すなわち、硬性内視鏡に内視鏡用カメラヘッドを接続した状態において、硬性内視鏡の射出瞳位置が撮像光学系の入射瞳位

置となる。したがって、撮像光学系によって変倍したときに、撮像光学系の入射瞳位置は一定であり、撮像光学系の射出瞳位置が移動する。この撮像光学系の射出瞳位置の移動に伴って、撮像光学系からダイクロイックプリズムへ入射する光線の入射角が変化し、光線が光軸に対して傾いてダイクロイックプリズムへ入射する。

[0006] ダイクロイックプリズムは、入射光を3色の光に分解するために、特定の波長の光を選択的に透過させて他の波長の光を反射する多層干渉膜からなる反射面を有する。反射面への光線の入射角が変化すると、多層干渉膜の内部における光線の光路長が変化するため、反射面の透過波長が変化する。したがって、撮像光学系からダイクロイックプリズムへの光線の入射角が変倍に伴って傾くと、ダイクロイックプリズムから射出される光の色も変化し、その結果、モニタに表示される内視鏡画像には、上部と下部とで色が異なる色シェーディングが垂直方向に発生する。

[0007] 撮像光学系の変倍比が大きい程、変倍時の射出瞳位置の移動量が大きくなるため、色シェーディングの発生量も大きくなる。特許文献1, 2には大きな変倍比を有する撮像光学系が開示されているが、これらの撮像光学系は変倍時の射出瞳位置の移動量が大きいため、3板式の撮像装置と組み合わせたときに、ダイクロイックプリズムへの光線の入射角の変化を抑制することができず、色シェーディングを抑制することができない。

[0008] 本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであって、大きな変倍比を有しつつ変倍時の色シェーディングを抑制することができる撮像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

[0009] 上記目的を達成するため、本発明は以下の手段を提供する。

本発明は、硬性内視鏡の接眼レンズを含むアイピース部の基端面に胴付面が突き当たるように前記硬性内視鏡の基端に接続されるカメラヘッドに内蔵され、前記接眼レンズから入射した光を結像する撮像光学系であって、広角端と望遠端との間で変倍可能であり、1.5倍以上の変倍比を有するとともに

に、物体側から像側へ向かって順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負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レンズ群とからなり、下記の条件式（1）および（2）満足する撮像光学系を提供する。

$$(1) \quad \left| (f f_w - D) / f_w^2 \right| \leq 0.052 / h$$

$$(2) \quad \left| (f f_t - D) / f_t^2 \right| \leq 0.052 / h$$

ただし、 $f f_w$ は、前記胴付面を原点とした広角端での前記撮像光学系の前側焦点位置、 f_w は、広角端における前記撮像光学系の全系の焦点距離、 $f f_t$ は、前記胴付面を原点とした望遠端での前記撮像光学系の前側焦点位置、 f_t は、望遠端における前記撮像光学系の全系の焦点距離、 h は、前記撮像光学系の結像面における最大像高、 D は、前記胴付面を原点とした前記硬性内視鏡の射出瞳位置であり、物体側から像側へ向かう光軸方向を正とする。

[0010] 本発明の撮像光学系は、物体側に硬性内視鏡が位置し、結像面に撮像素子の撮像面が位置するように、硬性内視鏡と撮像素子との間に配置して使用され、硬性内視鏡の接眼レンズから射出された光を撮像素子の撮像面に結像する。

この場合に、広角端と望遠端との間で変倍したときに、撮像光学系の射出瞳位置が光軸上を移動することによって、撮像光学系から結像面へ入射する光線が撮像光学系の光軸と成す入射角が変化する。

[0011] ここで、条件式（1）は、広角端において、最大像高における主光線の結像面への入射角が $\pm 3^\circ$ 以内となるように、硬性内視鏡の射出瞳位置に対する撮像光学系の前側焦点位置のずれ量を規定したものである。条件式（2）は、望遠端において、最大像高における主光線の結像面への入射角が $\pm 3^\circ$ 以内となるように、硬性内視鏡の射出瞳位置に対する撮像光学系の前側焦点位置とのずれ量を規定したものである。

[0012] 条件式（1）および（2）を満足することによって、広角端および望遠端の両方において、結像面への入射角は $\pm 3^\circ$ 以内となる。したがって、本発

明の撮像光学系を3板式の撮像装置に適用した場合に、変倍に伴って生じる、撮像光学系からダイクロイックプリズムへの光線の入射角の変化を抑制し、色シェーディングを抑制することができる。

[0013] 上記発明においては、下記の条件式(3)を満足していてもよい。

$$(3) \quad 0.18 < h/f_w < 0.23$$

条件式(3)は、広角端における倍率を規定したものである。条件式(3)を満足することによって、撮像素子によって取得された内視鏡画像の全体をモニタの画面上に適切な大きさで表示することができる。 h/f_w が0.18以下である場合、画面における内視鏡画像の寸法が大きくなり、内視鏡画像の端部が画面からはみ出してしまう可能性がある。 h/f_w が0.23以上である場合、画面に対して内視鏡画像が小さ過ぎて観察に適さない。

[0014] 上記発明においては、下記の条件式(4)を満足してもよい。

$$(4) \quad 0.3 < \beta_4 < 1$$

ただし、 β_4 は、第4レンズ群の近軸横倍率である。

第4レンズ群は、収差補正および射出瞳位置の調整を担う群である。条件式(4)を満足することで、第4レンズ群が有する収斂作用の強さが適切となり、収差を良好に補正し、かつ、射出瞳位置を適切に調整することができる。

[0015] β_4 が0.3以下である場合、第4レンズ群の前側主点位置が物体側に寄り過ぎるか、または、第4レンズ群の屈折力が強くなり過ぎるため、射出瞳位置の調整が困難となる。さらに、第4レンズ群の収斂作用が強くなり過ぎるため、収差の補正が困難となる。 β_4 が1以上である場合、第4レンズ群の前側主点位置が像面側に寄り過ぎるため、射出瞳位置の調整が困難となり、さらに他の群の屈折力が相対的に強くなって収差の補正が困難となる。

[0016] 上記発明においては、前記第1レンズ群および前記第4レンズ群が、変倍時に固定であり、前記広角端から前記望遠端への変倍時に、前記第2レンズ群が、物体側から像側へ一方向に移動し、前記第3レンズ群が、物体側から像側へ移動し、その後に物体側から像側へ移動してもよい。

第2レンズ群および第3レンズ群の両方の近軸横倍率が等倍である場合、変倍時の入射角の変動を抑制することが難しい。そこで、第2レンズ群の近軸横倍率を等倍とし、第3レンズ群をコンペンセータとして機能させることによって、変倍時の入射角の変動をさらに効果的に抑制することができる。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、大きな変倍比を有しつつ変倍時の色シェーディングを抑制することができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の一実施形態に係る撮像光学系を備えるカメラヘッドと、該カメラヘッドが接続される硬性内視鏡の全体構成図である。

[図2]本発明の一実施形態に係る撮像光学系の広角端（上段）および望遠端（下段）における全体構成図である。

[図3]条件式（1）および（2）を説明する図である。

[図4]条件式（3）と、画面に表示される内視鏡画像の寸法との関係を説明する図である。

[図5]条件式（3）と、画面に表示される内視鏡画像の寸法との関係を説明する図である。

[図6]条件式（3）と、画面に表示される内視鏡画像の寸法との関係を説明する図である。

[図7]本発明の実施例1に係る撮像光学系の広角端（上段）、途中状態（中段）および望遠端（下段）におけるレンズ断面図である。

[図8]図7の撮像光学系の広角端における各種収差図である。

[図9]図7の撮像光学系の望遠端における各種収差図である。

[図10]本発明の実施例2に係る撮像光学系の広角端（上段）、途中状態（中段）および望遠端（下段）におけるレンズ断面図である。

[図11]図10の撮像光学系の広角端（上段）、途中状態（中段）および望遠端（下段）における各レンズ群の主点位置を示す図である。

[図12]図10の撮像光学系の広角端における各種収差図である。

[図13]図10の撮像光学系の望遠端における各種収差図である。

[図14]本発明の実施例3に係る撮像光学系の広角端（上段）、途中状態（中段）および望遠端（下段）におけるレンズ断面図である。

[図15]図14の撮像光学系の広角端（上段）、途中状態（中段）および望遠端（下段）における各レンズ群の主点位置を示す図である。

[図16]図14の撮像光学系の広角端における各種収差図である。

[図17]図14の撮像光学系の望遠端における各種収差図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下に、本発明の一実施形態に係る撮像光学系1について図1から図6を参照して説明する。

まず、本実施形態の撮像光学系1が搭載されるカメラヘッド10および該カメラヘッド10が適用される硬性内視鏡20の概要について説明する。カメラヘッド10は、図1に示されるように、硬性内視鏡20の基端に接続して使用されるものである。硬性内視鏡20は、先端側から順に、物体からの光を結像する対物レンズ21と、リレーレンズ22と、対物レンズ21によって形成された像を拡大する接眼レンズ23とを備えている。物体から対物レンズ21に入射した光は、リレーレンズ22によって対物レンズ21から接眼レンズ23までリレーされ、硬性内視鏡20の基端に設けられたアイピース部24の接眼レンズ23から射出される。

[0020] カメラヘッド10には、接眼レンズ23から射出された光を撮影するための撮像装置が内蔵されている。撮像装置は、先端側（物体側）から基端側（像側）へ向かって順に、カバーガラス2と、接眼レンズ23からカバーガラス2を介してカメラヘッド10内に入射した光を結像させる撮像光学系1と、該撮像光学系1から射出された光をR（赤）、G（緑）およびB（青）の光に分割するダイクロイックプリズム3とを備えている。さらに、撮像装置は、ダイクロイックプリズム3から射出された3色の光の結像面に撮像面4a、5a、6aがそれぞれ配置された3個の撮像素子4、5、6を備えている。

[0021] カメラヘッド10は、硬性内視鏡20の基端に接続される際に、接眼レンズ23を含むアイピース部24の基端面と構造的に突き当たる胴付面2aを有している。本実施形態においては、カバーガラス2の物体側面と胴付面2aとが同一平面上に配置されているが、カバーガラス2と胴付面2aとの光軸方向の相対位置はこれに限定されるものではない。カメラヘッド10が硬性内視鏡20に接続された状態において、撮像光学系1の光軸は、接眼レンズ23の光軸の延長線上に位置するようになっている。

[0022] ダイクロイックプリズム3は、分解した3色の光を互いに異なる方向に射出する。撮像面4a, 5a, 6aは、3色の光の射出位置にそれぞれ配置されている。撮像面4a, 5a, 6aに入射した光は、撮像素子4, 5, 6によってそれぞれ光電変換された後、画像処理装置30において合成されてカラーの内視鏡画像9としてモニタ40に表示されるようになっている。

なお、撮像装置は、3個の撮像素子を備える3板式に限定されるものではなく、2個の撮像素子を備える2板式、または、単一の撮像素子を備える単板式であってもよい。

[0023] 次に、本実施形態に係る撮像光学系1について説明する。

撮像光学系1は、図2に示されるように、物体側から像側へ向かって順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、負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とからなる。図2において、ダイクロイックプリズム3は簡略化して示し、3つの撮像面4a, 5a, 6aのうち、撮像光学系1の光軸上に位置する撮像面5aのみを代表して示している。撮像光学系1は、4個のレンズ群G1, G2, G3, G4に加えて、実質的に屈折力を有さない任意の光学素子をさらに備えていてもよい。

[0024] 撮像光学系1は、広角端と望遠端との間で変倍するズーム機能を有し、1.5倍以上の変倍比（＝望遠端における全系の焦点距離 f_t ／広角端における全系の焦点距離 f_w ）を有している。変倍の際に、第2レンズ群G2および第3レンズ群G3が光軸方向に移動し、第1レンズ群G1および第4レン

ズ群G 4は固定である。

[0025] 第1レンズ群G 1は、接眼レンズ2 3から撮像光学系1に入射した光を集光させるフォーカシングレンズとして機能する。

第2レンズ群G 2は、変倍機能を担うバリエータレンズとして機能する。第2レンズ群G 2は、広角位置と、該広角位置よりも像側の望遠位置との間で光軸上を移動可能に設けられている。撮像光学系1は、第2レンズ群G 2が広角位置に配置されているときに、焦点距離が最も短い広角端となり、第2レンズ群G 2が望遠位置に配置されているときに、焦点距離が最も長い望遠端となる。

[0026] 第3レンズ群G 3は、第2レンズ群G 2の光軸上の位置によらずに結像面の位置が一定となるように、結像位置を調整するためのコンペンセータとして機能する。第3レンズ群G 3は、光軸上を移動可能に設けられており、第2レンズ群G 2の移動に伴う像の移動に追従して移動する。具体的には、第2レンズ群G 2が広角位置から望遠位置に移動する過程において、第2レンズ群G 2が形成する像は、まず、物体側から像側へ移動し、その後に物体側へ折り返すような軌跡を辿る。したがって、第3レンズ群G 3は、広角端から望遠端に変倍する際に、まずは物体側から像側へ移動し、その後に物体側へ折り返すように移動する。

[0027] 撮像光学系1は、条件式(1)および(2)を満足している。

$$(1) \quad | (f f w - D) / f w^2 | \leq 0.052 / h$$

$$(2) \quad | (f f t - D) / f t^2 | \leq 0.052 / h$$

ただし、 $f f w$ は、胴付面2 aを原点とした広角端での撮像光学系1の前側焦点位置（胴付面2 aから前側焦点までの距離）、 $f w$ は、広角端における撮像光学系1の焦点距離、 $f f t$ は、胴付面2 aを原点とした望遠端での撮像光学系1の前側焦点位置（胴付面2 aから前側焦点までの距離）、 $f t$ は、望遠端での撮像光学系1の焦点距離、 h は、結像面（撮像面）における最大像高、 D は、胴付面2 aを原点とした硬性内視鏡2 0の射出瞳位置（胴付面2 aから射出瞳までの距離）である。 $f f w$ 、 $f f t$ および D は、物

体側（カバーガラス側）から像側（撮像素子側）へ向かう方向を正としている。また、 $f_f w$ 、 f_w 、 $f_f t$ 、 f_t 、 h および D の単位は、mmである。

[0028] 図3は、条件式（1）および（2）を説明する図である。条件式（1）において、 $f_f w - D$ は、硬性内視鏡2の射出瞳Pと撮像光学系1の広角端における前側焦点F Fとの間の距離 Δ を表している。条件式（1）は、広角端において最大像高における主光線Rの撮像面（結像面）への入射角 θ が -3° 以上 $+3^\circ$ 以下となるように、 $f_f w - D$ を規定したものである。条件式（2）において、 $f_f t - D$ は、硬性内視鏡2の射出瞳Pと撮像光学系1の望遠端における前側焦点F Fとの間の距離 Δ を表している。条件式（2）は、望遠端において最大像高における主光線Rの撮像面（結像面）への入射角 θ が -3° 以上 $+3^\circ$ 以下となるように、 $f_f t - D$ を規定したものである。

[0029] 入射角 θ の符号に関して、撮像光学系1の射出瞳位置が撮像面に対して+（図3において撮像面よりも右側）であり撮像面に光が収束光束として入射する場合に、入射角 θ の符号を+としている。一方、撮像光学系1の射出瞳位置が撮像面に対して-（図3において撮像面よりも左側）であり撮像面に光が発散光束として入射する場合に、入射角 θ の符号を-としている。

[0030] 条件式（1）および（2）は、以下のようにして導かれる。

一般に、硬性内視鏡20の接眼レンズ23の射出瞳P位置は、接眼レンズ23よりも10mm程突出した位置に配され、枠の構造上の制約から接眼レンズ23から胴付面2aまでは3mm程度の間隔が空く。そのため、硬性内視鏡20の射出瞳P位置は撮像光学系1の内部に7mm程入った位置にある。撮像光学系1の入射瞳位置は硬性内視鏡20の射出瞳P位置となるため、テレセントリック光学系を構成するためには、撮像光学系1の前側焦点F F位置を硬性内視鏡20の射出瞳P位置と一致させればよい。

[0031] 撮像光学系1の前側焦点F F位置が硬性内視鏡20の射出瞳P位置と一致しているときには、撮像光学系1から射出された主光線Rは、撮像光学系1

の光軸に平行にダイクロイックプリズム 3 へ沿って入射し、撮像面 4 a に垂直に入射する（すなわち、入射角 $\theta = 0^\circ$ である。）。一方、撮像光学系 1 の前側焦点 F F 位置が射出瞳 P 位置からずれているときには、図 3 に示されるように、撮像光学系 1 から射出された主光線 R は、光軸に対して斜めにダイクロイックプリズム 3 に入射し、撮像面 4 a にも斜めに入射する。このときに、撮像素子 4, 5, 6 によって取得されたカラーの内視鏡画像 9 には色シェーディングが発生する。

[0032] ここで、第 2 レンズ群 G 2 の移動によって広角端と望遠端との間で変倍する際に、撮像光学系 1 の前側焦点 F F が光軸上を移動し、射出瞳 P に対する前側焦点 F F の位置が変化する。そして、射出瞳 P 位置と前側焦点 F F 位置との光軸方向の差 Δ が大きくなると、撮像面 4 a への光の入射角 θ が大きくなり、色シェーディングの発生量も大きくなる。したがって、色シェーディングを抑制するためには、広角端および望遠端における差 Δ および入射角 θ を制限すればよい。

[0033] 図 3 において、差 Δ は下式 (a) で表される。

$$\Delta = (f^2 / h) \tan \theta \quad \dots (a)$$

広角端および望遠端の両方において、主光線 R の撮像面への入射角 θ が $-3^\circ \leq \theta \leq +3^\circ$ を満足すれば、入射角 θ の変動をほとんど生じることなく広角端と望遠端との間で変倍することができ、変倍に伴う色シェーディングの発生を抑制することができる。式 (a) において $\theta = 3^\circ$ とすると、下式 (a') が得られる。

$$\Delta = 0.052 (f^2 / h) \quad \dots (a')$$

[0034] また、前側焦点 F F 位置は、下式 (b) を満たす必要がある。

$$D - \Delta \leq f \leq D + \Delta \quad \dots (b)$$

式 (b) に式 (a') を代入すると、下式 (b') が得られる。

$$D - 0.052 (f^2 / h) \leq f \leq D + 0.052 (f^2 / h) \quad \dots (b')$$

さらに、式 (b') は下式 (b'') のように変形することができる。

$$|(f/f - D)/f^2| \leq 0.052/h \cdots (b'')$$

[0035] このように、本実施形態に係る撮像光学系 1 およびこれを備える撮像装置によれば、条件式 (1) および (2) を満足することで、ダイクロイックプリズム 3 への光の入射角をほとんど変化させることなく、広角端と望遠端との間で変倍することができる。これにより、広角端および望遠端の両方において色シェーディングが抑制された内視鏡画像 9 を取得することができるという利点がある。さらに、第 3 レンズ群 G 3 にコンペンセータとしての機能をのみを付与し、変倍の際に固定である第 4 レンズ群 G 4 を備えることによって、第 3 レンズ群 G 3 の屈折力を弱くすることができ、第 2 レンズ群 G 2 の移動に伴う主光線 R の入射角 θ の変化を第 3 レンズ群 G 3 によって効果的に抑制することができるという利点がある。

[0036] なお、本実施形態においては、撮像光学系 1 が条件式 (3) をさらに満足していることが好ましい。

$$(3) \quad 0.18 < h/f_w < 0.23$$

モニタ 40 の画面 41 に表示される内視鏡画像 9 には、図 4 に示されるように、丸い開口部 8a を有し、内視鏡画像 9 の周囲を覆うマスク 8 が施される。特に細径の硬性内視鏡 20 を使用する場合、内視鏡画像 9 を可能な限り大きく、かつ、内視鏡画像 9 の端部が欠けることなく、画面 41 に表示したいというニーズがある。条件式 (3) は、倍率が大きい広角端においても内視鏡画像 9 の全体が画面 41 内に適切な大きさで表示されるように、広角端における倍率を規定したものである。

[0037] 特に関節鏡のような細径の硬性内視鏡と組み合わせる場合、図 4 に示されるように、開口部 8a の直径寸法を、画面 41 の縦寸法の 90% 程度にするためには、 h/f_w が 0.18 となる。図 5 に示されるように、開口部 8a の直径寸法を、画面 41 の縦寸法の 65% 程度にするためには、 h/f_w が 0.23 となる。したがって、条件式 (3) を満足することで、画面 41 上において内視鏡画像 9 を適切な大きさで表示することができ、画面 41 の中心に対して内視鏡画像 9 が偏心したとしても、内視鏡画像 9 が欠けてしまう

ことを防止することができる。

[0038] h/f_w が 0.18 以下である場合、図 6 に示されるように、画面 4 1 上に表示されるマスク 8 の開口部 8 a の直径寸法が画面 4 1 の寸法よりも大きくなって内視鏡画像 9 の一部が欠けてしまい、内視鏡画像 9 の一部を画面 4 1 上で観察できなくなる。 h/f_w が 0.23 以上である場合、画面 4 1 上に表示される内視鏡画像 9 が小さ過ぎて観察に適さない。

[0039] 本実施形態においては、撮像光学系 1 が条件式 (4) をさらに満足していることが好ましい。

$$(4) \quad 0.3 < \beta_4 < 1$$

ただし、 β_4 は、第 4 レンズ群 G 4 の近軸横倍率である。

条件式 (4) は、第 4 レンズ群 G 4 の収斂作用の強さを規定したものである。条件式 (4) を満足することで、第 4 レンズ群 G 4 に適度な収斂作用を持たせることができ、第 4 レンズ群 G 4 によって、撮像光学系 1 の射出瞳位置を適切に調整することができるとともに、収差を良好に補正することができる。

[0040] β_4 が 0.3 以下である場合、第 4 レンズ群 G 4 の前側主点位置が物体側に寄り過ぎるか、または、第 4 レンズ群 G 4 の屈折力が強過ぎることにより、撮像光学系 1 の射出瞳位置を適切な位置に調整することができなくなるとともに、収差を補正することが困難となる。 β_4 が 1 以上である場合、第 4 レンズ群 G 4 の前側主点位置が像面側に寄り過ぎるため、撮像光学系 1 の射出瞳位置を適切な位置に調整することができなくなるとともに、他のレンズ群 G 1, G 2, G 3 の屈折力が相対的に強くなって収差を補正することが困難となる。

実施例

[0041] 次に、上述した実施形態の実施例 1 から 3 について、図 7 から図 17 を参照して以下に説明する。

各実施例のレンズデータにおいて、 r は曲率半径 (mm)、 d は面間隔 (mm)、 n は d 線に対する屈折率、 ν は d 線に対するアッペ数を示している

。また、レンズデータにおいて、第1面（ r_1 ）は、胴付面である。各種データに記載の f （全系の焦点距離）、 f_w 、 f_t 、 D および h の単位は、 mm である。

[0042] 図7、10、14のレンズ断面図において、「 d_{13} 最小」は、広角端から望遠端に変倍する過程において第3レンズ群が最も像側に配置されるとき途中状態を示している。同図の d_{13} 最小および望遠端において、図面が複雑になるのを防ぐために、 d_5 、 d_8 および d_{13} 以外の符号は省略している。

[0043] 図8、9、12、13、16、17の球面収差、倍率色収差、歪曲収差およびコマ収差において、C線（656.27nm）、d線（587.56nm）、e線（546.07nm）、F線（486.13nm）およびg線（435.83nm）における収差曲線を示している。同図の非点収差において、Mはメリジオナル像面を、Sはサジタル像面をそれぞれ示している。

[0044]（実施例1）

本発明の実施例1に係る撮像光学系のレンズ構成図を図7に示す。図8は広角端における各種収差図を示し、図9は望遠端における各種収差図を示している。本実施例のレンズデータおよび各種データは以下に示す通りである。

本実施例においては、第3レンズ群の像側に第4レンズ群を設けて正の屈折力を第3レンズ群と第4レンズ群とに分配し、第3レンズ群の屈折力を低減している。これにより、第3レンズ群の移動に伴うダイクロイックプリズムおよび撮像面への入射角の変動を抑制し、色シェーディングの発生を抑制することができる。

[0045] レンズデータ

面番号	r	d	n	ν
1	∞	1.00	1.7682	71.70
2	∞	4.11		
3	13.9269	1.70	1.5174	52.43

4	-9.9392	0.80	1.8467	23.78
5	17.7120	d5		
6	-6.7073	2.00	2.0033	28.27
7	-3.7327	0.90	1.7550	52.32
8	11.2572	d8		
9	-122.9665	2.60	1.7200	50.23
10	-14.4474	0.30		
11	26.5017	2.40	1.7200	50.23
12	-13.0641	1.50	1.8467	23.78
13	-56.3052	d13		
14	13.6920	2.30	1.7550	52.32
15	-143.6449	0.20		
16	80.2604	1.40	1.8467	23.78
17	14.2074	4.03		

[0046] 各種データ

	広角端	d13最小	望遠端
d5	2.08	5.78	7.66
d8	6.89	5.31	2.25
d13	8.04	5.92	7.10
f	14.0132 (fw)	19.9332	9.0920 (ft)
ffw=8.593			
fft=-2.678			
D=7.00			
h=3.00			

[0047] 本実施例において、

$$|(ffw - D) / fw^2| = 0.008$$

$$|(fft - D) / ft^2| = 0.011$$

$$0.052 / h = 0.017$$

$$h/f_w = 0.214$$

$$\beta_4 = 0.629$$

であり、条件式（１），（２），（３），（４）を満足している。

[0048] （実施例２）

本発明の実施例２に係る撮像光学系のレンズ構成図を図１０に示す。図１１は、変倍時における各レンズ群Ｇ１、Ｇ２、Ｇ３、Ｇ４の主点位置の移動軌跡を示している。図１２は、広角端における各種収差図を示し、図１３は、望遠端における各種収差図を示している。本実施例のレンズデータおよび各種データは以下に示す通りである。

[0049] 本実施例においては、第３レンズ群の像側に第４レンズ群を設けて正の屈折力を第３レンズ群と第４レンズ群とに分配し、第３レンズ群の屈折力を低減している。これにより、第３レンズ群の移動に伴うダイクロイックプリズムおよび撮像面への入射角の変動を抑制し、色シェーディングの発生を抑制することができる。さらに、本実施例において、第４レンズ群は、物体側から順に負レンズと正レンズとからなる。これにより、第４レンズ群の主点位置が第３レンズ群よりも像面側に位置し、望遠端において撮像面への光の入射角をさらに小さくすることができる。

[0050] レンズデータ

面番号	r	d	n	ν
1	∞	1.00	1.7682	71.70
2	∞	4.01		
3	13.8071	1.70	1.5174	52.43
4	-8.7503	0.80	1.8467	23.78
5	-14.9447	d5		
6	-6.3998	2.40	2.0033	28.27
7	-3.5952	0.90	1.7550	52.32
8	10.3248	d8		
9	67.5335	2.90	1.7880	47.37

1 0	- 1 7 . 6 9 1 7	0 . 3 0		
1 1	2 4 . 5 5 0 5	3 . 6 0	1 . 7 2 9 2	5 4 . 6 8
1 2	- 1 1 . 4 4 3 3	1 . 5 0	1 . 8 4 6 7	2 3 . 7 8
1 3	- 5 8 . 5 8 9 0	d 1 3		
1 4	- 1 2 . 5 7 5 8	1 . 4 0	1 . 7 5 5 2	2 7 . 5 1
1 5	- 5 3 . 6 6 5 9	0 . 2 0		
1 6	1 1 7 . 2 4 3 0	2 . 0 0	1 . 7 5 5 0	5 2 . 3 2
1 7	- 1 5 . 5 1 9 9	4 . 0 3		

[0051] 各種データ

	広角端	d 1 3 最小	望遠端
d 5	2 . 4 2	5 . 1 2	6 . 8 8
d 8	6 . 5 1	5 . 9 7	7 . 4 4
d 1 3	9 . 6 9	7 . 4 4	9 . 3 5
f	1 5 . 9 1 2 0 (f w)	1 9 . 9 1 2 0	3 1 . 6 0 6 0 (f t)
f f w	= 1 0 . 5 8 5		
f f t	= 3 . 8 4 1		
D	= 7 . 0 0		
h	= 3 . 0 0		

[0052] 本実施例において、

$$| (f f w - D) / f w^2 | = 0.014$$

$$| (f f t - D) / f t^2 | = 0.003$$

$$0.052 / h = 0.017$$

$$h / f w = 0.189$$

$$\beta 4 = 0.908$$

であり、条件式 (1), (2), (3), (4) を満足している。

[0053] (実施例 3)

本発明の実施例 3 に係る撮像光学系のレンズ構成図を図 1 4 に示す。図 1 5 は、変倍時における各レンズ群の主点位置の移動軌跡を示している。図 1

6は、広角端における各種収差図を示し、図17は、望遠端における各種収差図を示している。本実施例のレンズデータおよび各種データは以下に示す通りである。

[0054] 本実施例においては、第3レンズ群の像側に第4レンズ群を設けて正の屈折力を第3レンズ群と第4レンズ群とに分配し、第3レンズ群の屈折力を低減している。これにより、第3レンズ群の移動に伴うダイクロイックプリズムおよび撮像面への入射角の変動を抑制し、色シェーディングの発生を抑制することができる。さらに、本実施例において、第4レンズ群は、物体側から順に正レンズと負レンズとからなる。これにより、第4レンズ群の主点位置が第3レンズ群よりも物体側に位置し、広角端において撮像面への光の入射角をさらに小さくすることができる。また、本実施例においては、第3レンズ群のレンズ面の内、最も物体側の面（面番号9）および最も像側の面（面番号）13が平面であるので、レンズの加工コストを低減することができる。

[0055] レンズデータ

面番号	r	d	n	ν
1	∞	1.00	1.7682	71.70
2	∞	4.22		
3	14.9070	1.70	1.5174	52.43
4	-8.8350	0.80	1.8467	23.78
5	-15.2980	d5		
6	-7.2990	2.40	2.0033	28.27
7	-4.0210	0.90	1.7550	52.32
8	11.6530	d8		
9	∞	2.90	1.7292	54.68
10	-16.6830	0.30		
11	19.0230	3.60	1.7292	54.68
12	-19.0230	1.50	1.8467	23.78

1 3	∞	d 1 3		
1 4	- 1 6 . 3 9 8 0	2 . 3 0	1 . 7 2 9 2	5 4 . 6 8
1 5	∞	1 . 4 0	1 . 8 4 6 7	2 3 . 7 8
1 6	2 1 . 0 9 5 0	4 . 0 3		

[0056] 各種データ

	広角端	d 1 3 最小	望遠端
d 5	2 . 4 9	4 . 6 2	6 . 8 0
d 8	7 . 6 2	6 . 8 7	2 . 3 2
d 1 3	7 . 2 1	5 . 8 5	8 . 2 2
f	1 5 . 9 4 1 (f w)	1 9 . 1 2 9	3 1 . 3 0 9 (f t)
f f w	= 7 . 9 4 4		
f f t	= - 9 . 9 0 4		
D	= 7 . 0 0		
h	= 3 . 0 0		

[0057] 本実施例において、

$$| (f f w - D) / f w^2 | = 0 . 0 0 4$$

$$| (f f t - D) / f t^2 | = 0 . 0 1 7$$

$$0 . 0 5 2 / h = 0 . 0 1 7$$

$$h / f w = 0 . 1 8 8$$

$$\beta 4 = 0 . 8 0 4$$

であり、条件式 (1) , (2) , (3) , (4) を満足している。

符号の説明

- [0058] 1 撮像光学系
 2 カバーガラス
 3 ダイクロイックプリズム
 4, 5, 6 撮像素子
 4 a, 5 a, 6 a 撮像面
 8 マスク

- 8 a 開口部
- 9 内視鏡画像
- 1 0 カメラヘッド
- 2 0 硬性内視鏡
- 2 3 接眼レンズ
- 3 0 画像処理装置
- 4 0 モニタ
- 4 1 画面
- 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

請求の範囲

[請求項1] 硬性内視鏡の接眼レンズを含むアイピース部の基端面に胴付面が突き当たるように前記硬性内視鏡の基端に接続されるカメラヘッドに内蔵され、前記接眼レンズから入射した光を結像する撮像光学系であって、

広角端と望遠端との間で変倍可能であり、1.5倍以上の変倍比を有するとともに、

物体側から像側へ向かって順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負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レンズ群とからなり、

下記の条件式(1)および(2)満足する撮像光学系。

$$(1) \quad | (f f w - D) / f w^2 | \leq 0.052 / h$$

$$(2) \quad | (f f t - D) / f t^2 | \leq 0.052 / h$$

ただし、

$f f w$ は、前記胴付面を原点とした広角端での前記撮像光学系の前側焦点位置、

$f w$ は、広角端における前記撮像光学系の全系の焦点距離、

$f f t$ は、前記胴付面を原点とした望遠端での前記撮像光学系の前側焦点位置、

$f t$ は、望遠端における前記撮像光学系の全系の焦点距離、

h は、前記撮像光学系の結像面における最大像高、

D は、前記胴付面を原点とした前記硬性内視鏡の射出瞳位置であり、物体側から像側へ向かう光軸方向を正とする。

[請求項2] 下記の条件式(3)を満足する請求項1の撮像光学系。

$$(3) \quad 0.18 < h / f w < 0.23$$

[請求項3] 下記の条件式(4)を満足する請求項1または請求項2に記載の撮像光学系。

$$(4) \quad 0.3 < \beta 4 < 1$$

ただし、

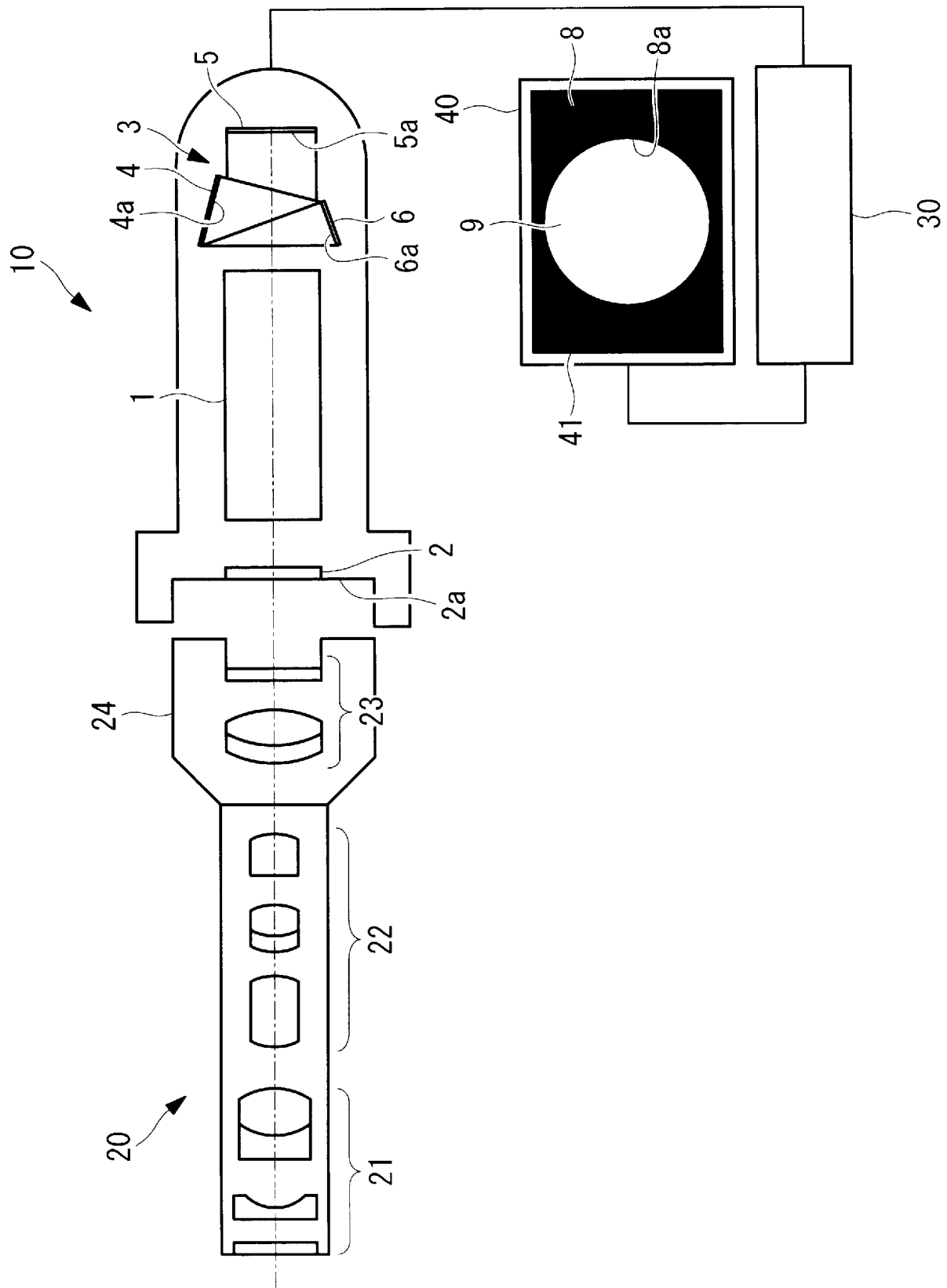
$\beta 4$ は、前記第 4 レンズ群の近軸横倍率

である。

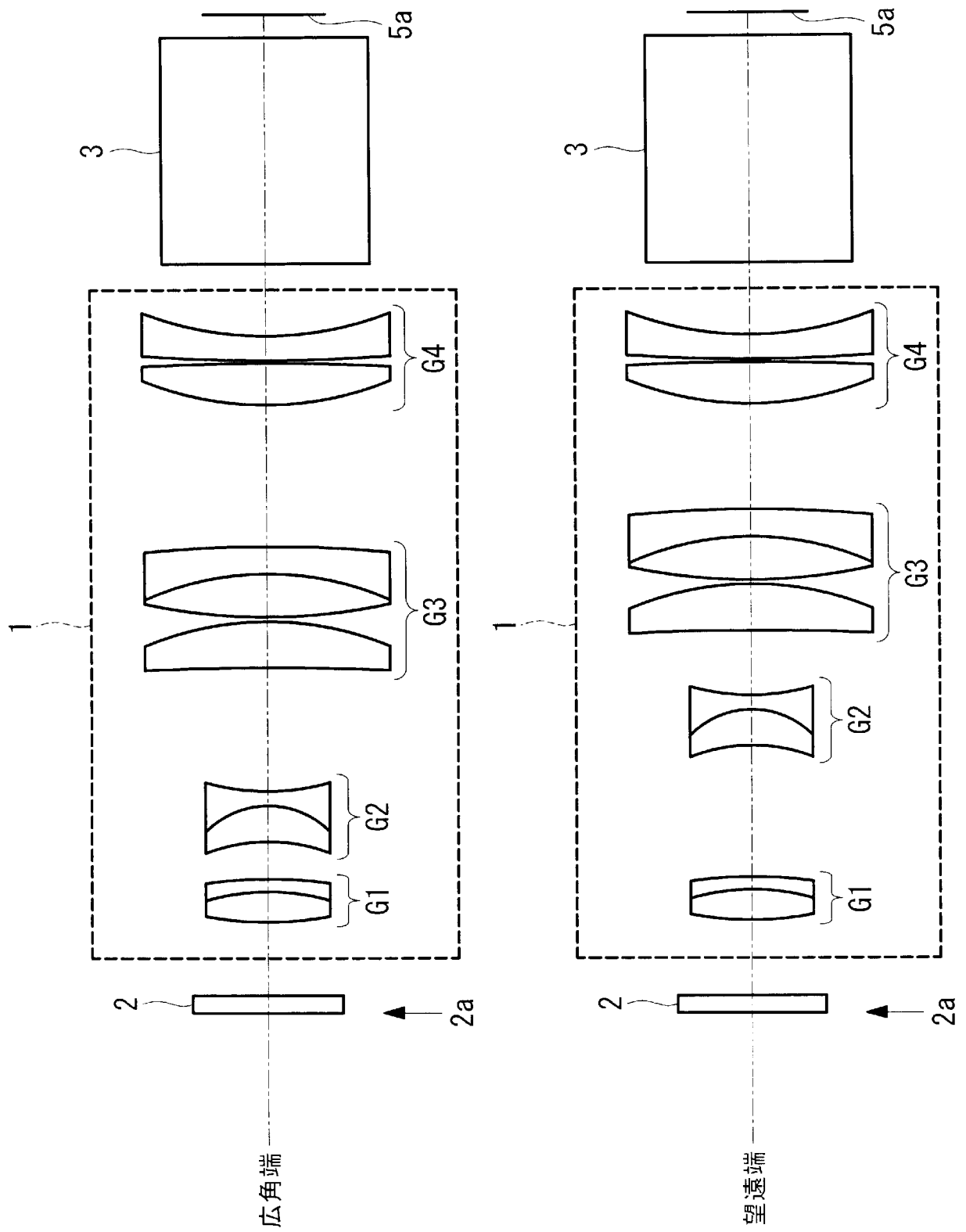
[請求項4] 前記第 1 レンズ群および前記第 4 レンズ群が、変倍時に固定であり、

前記広角端から前記望遠端への変倍時に、前記第 2 レンズ群が、物体側から像側へ一方向に移動し、前記第 3 レンズ群が、物体側から像側へ移動し、その後に物体側から像側へ移動する請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の撮像光学系。

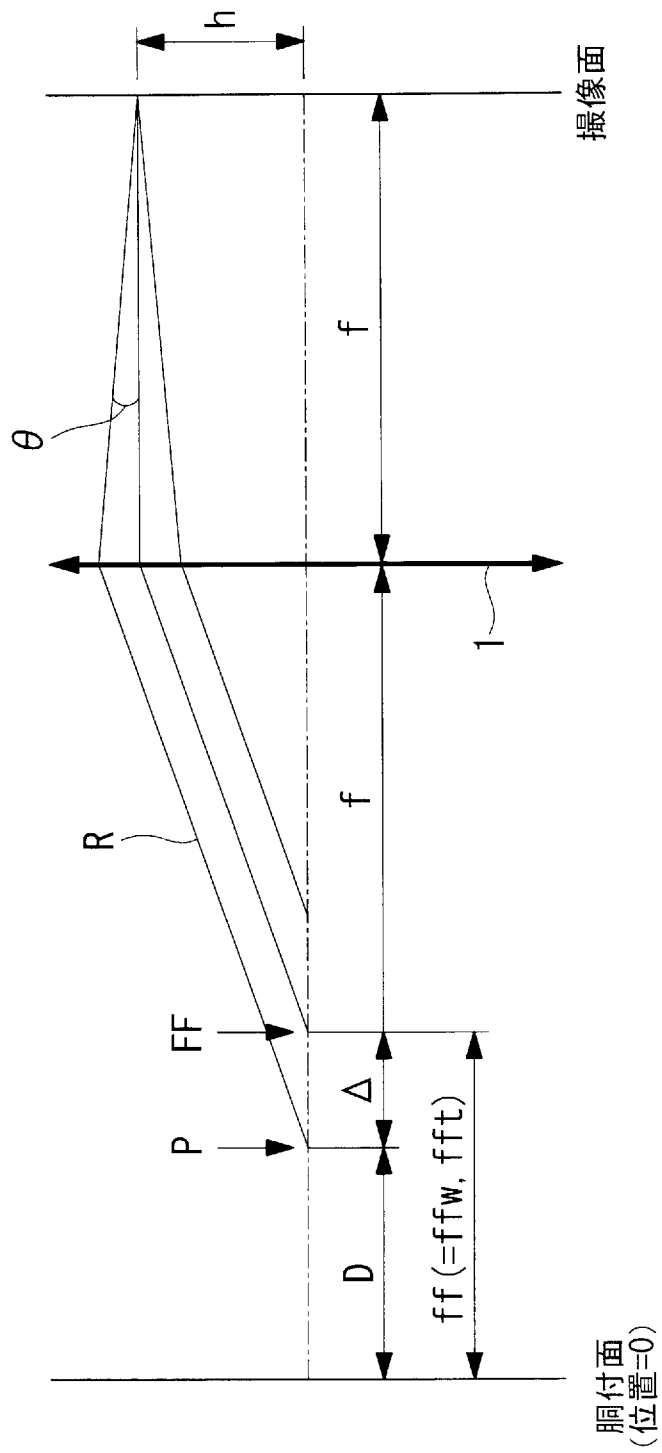
[図1]



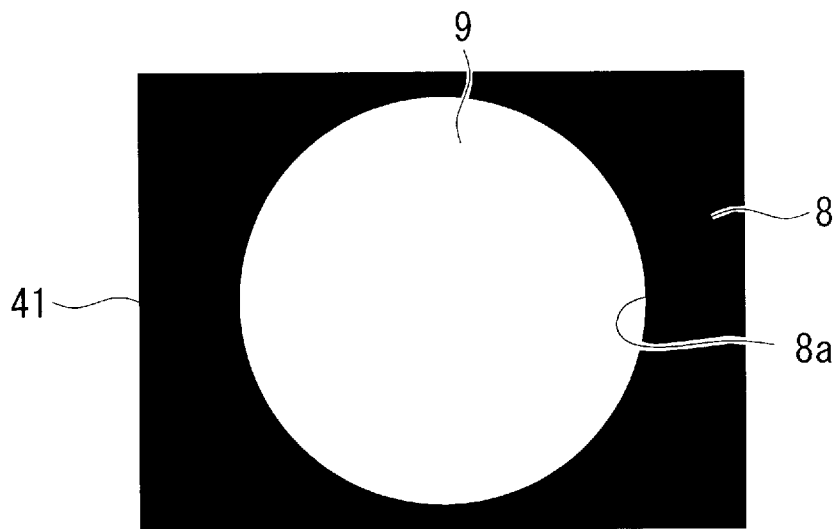
[図2]



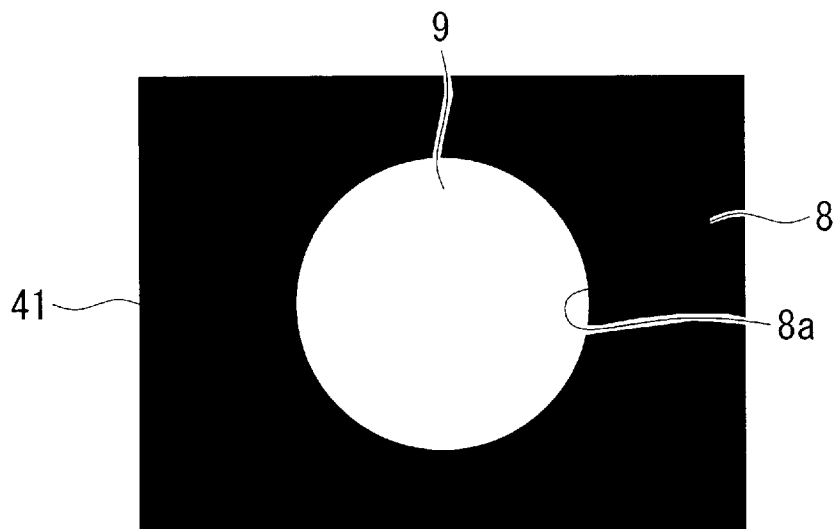
[図3]



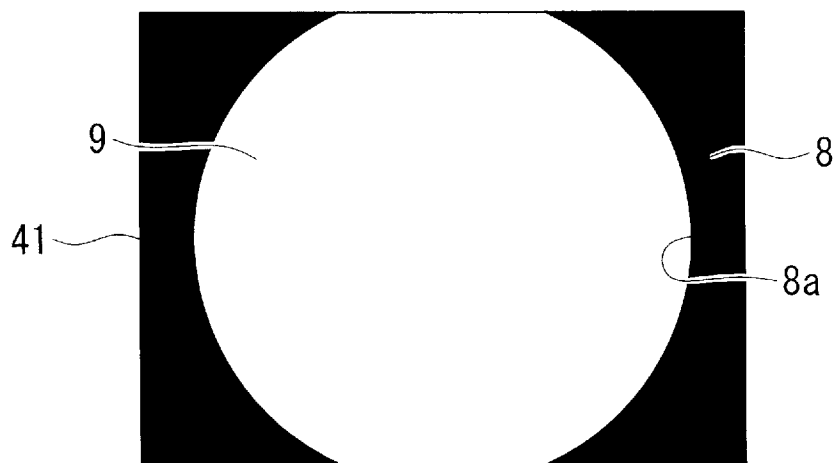
[図4]



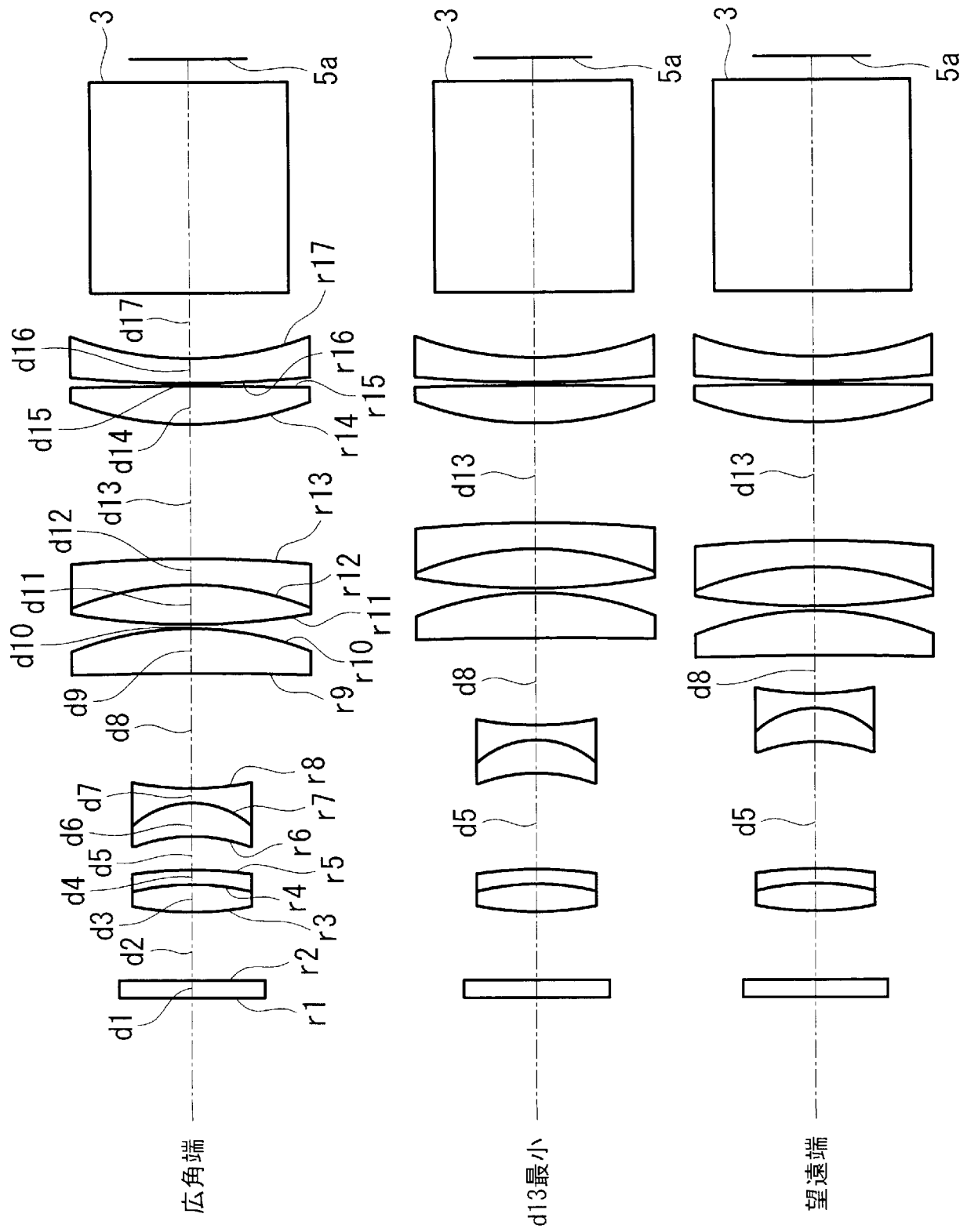
[図5]



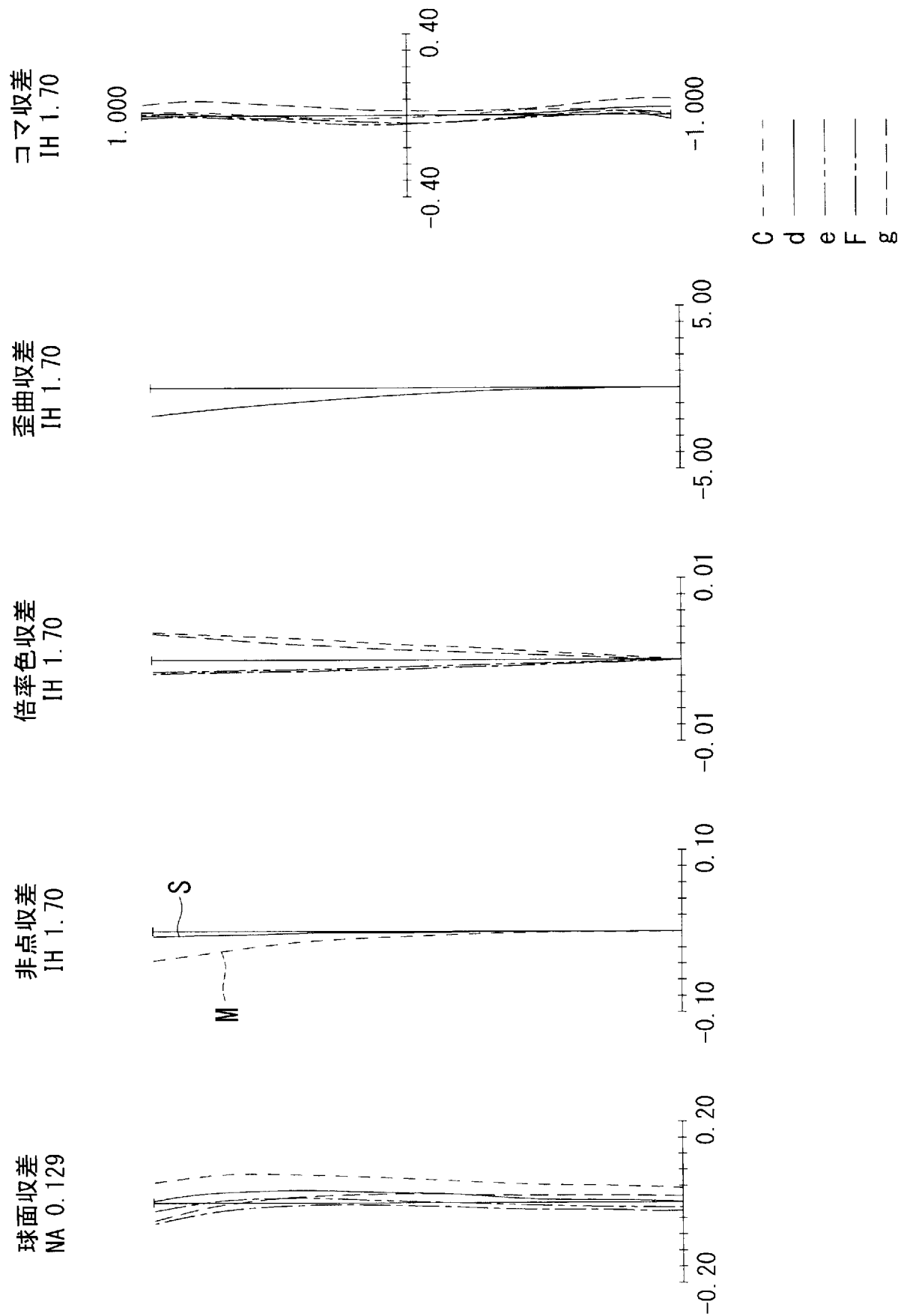
[図6]



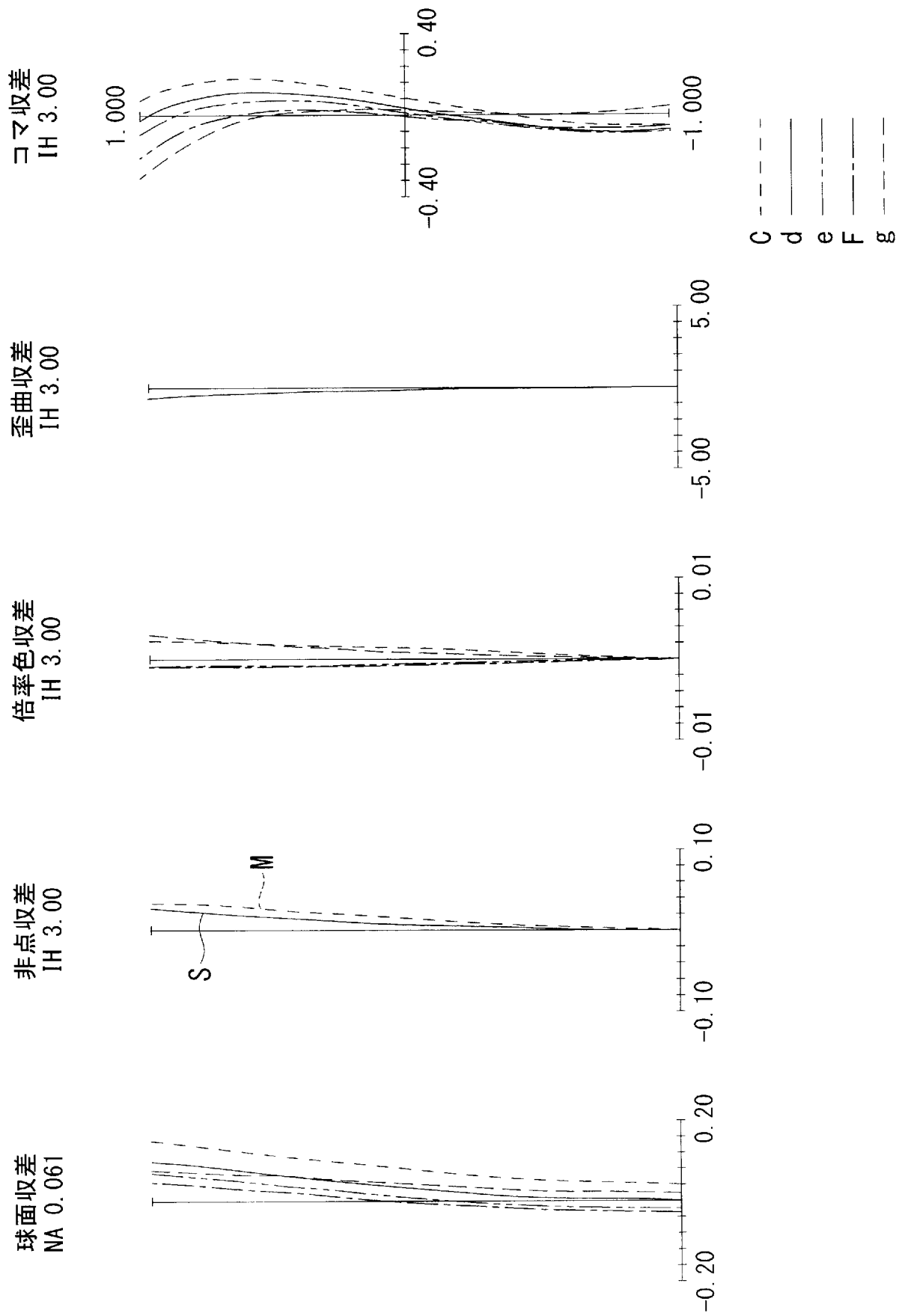
[図7]



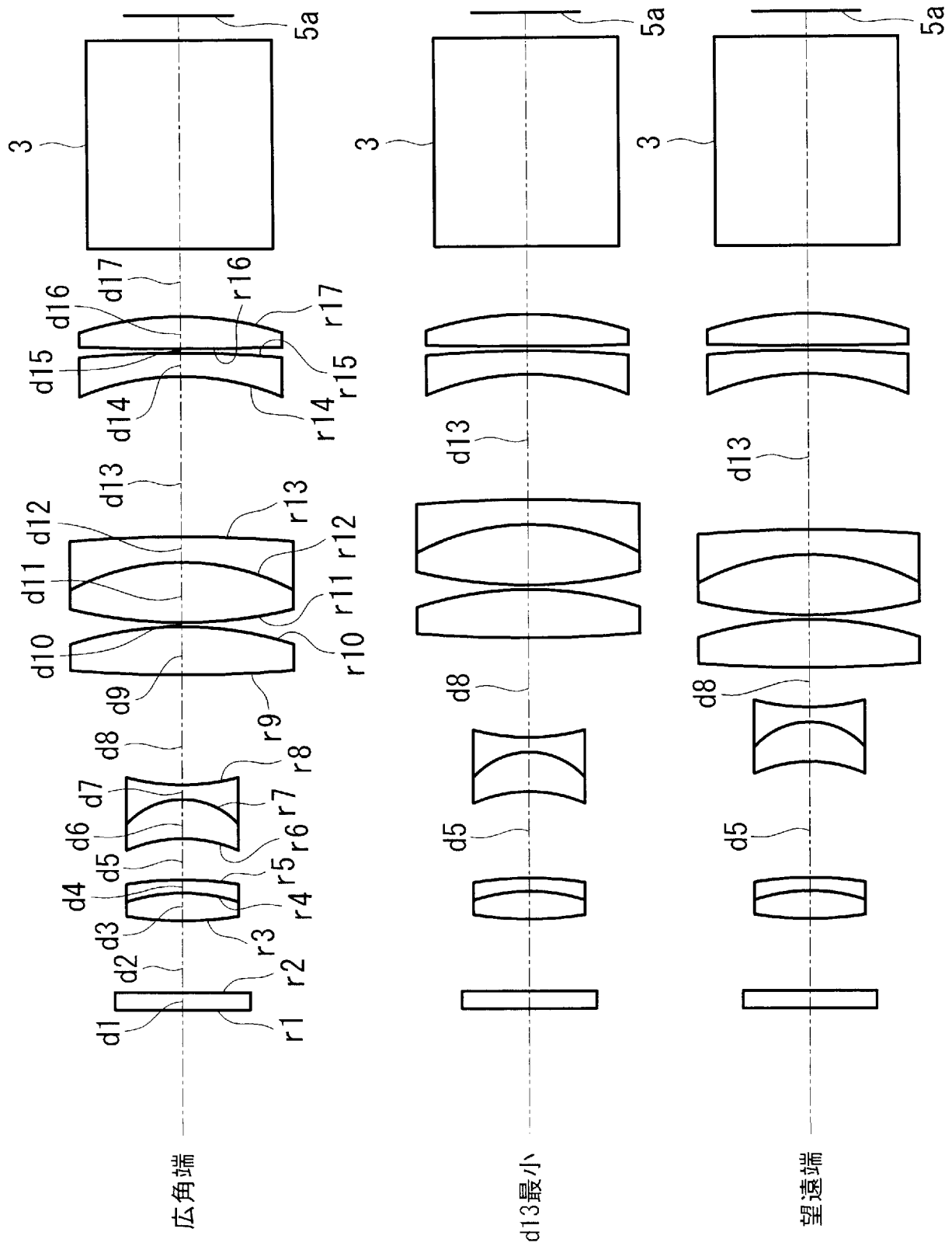
[図8]



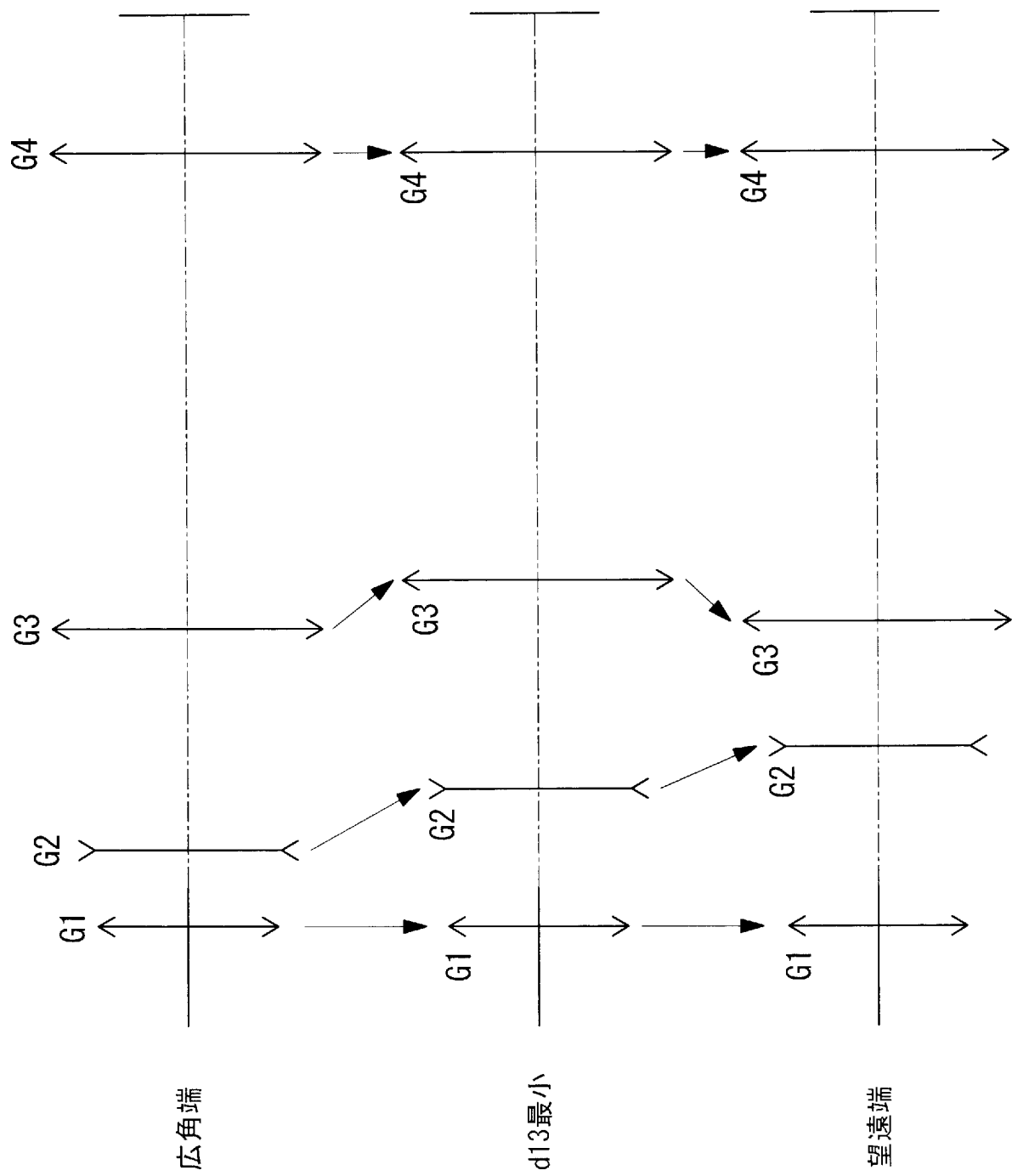
[図9]



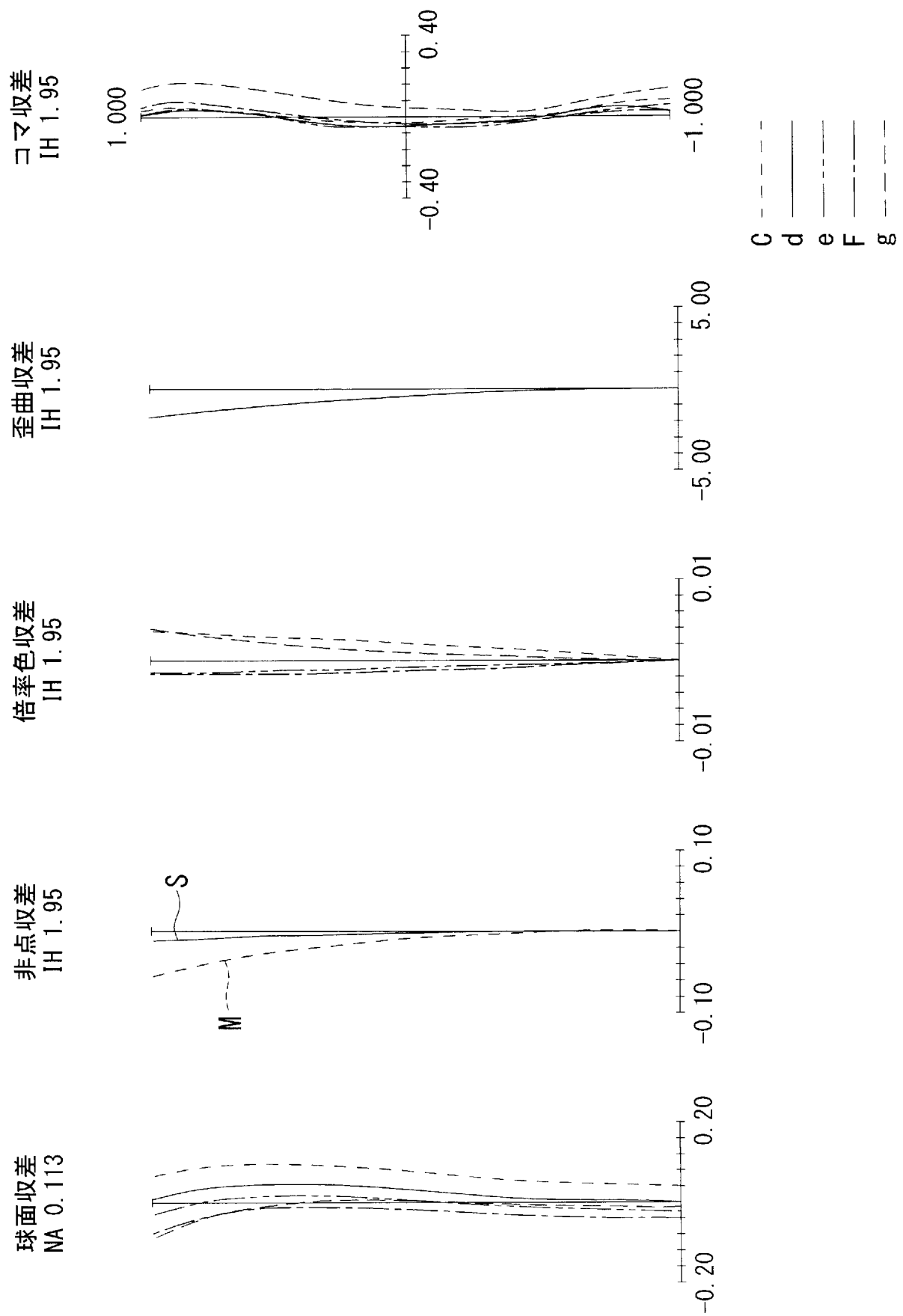
[図10]



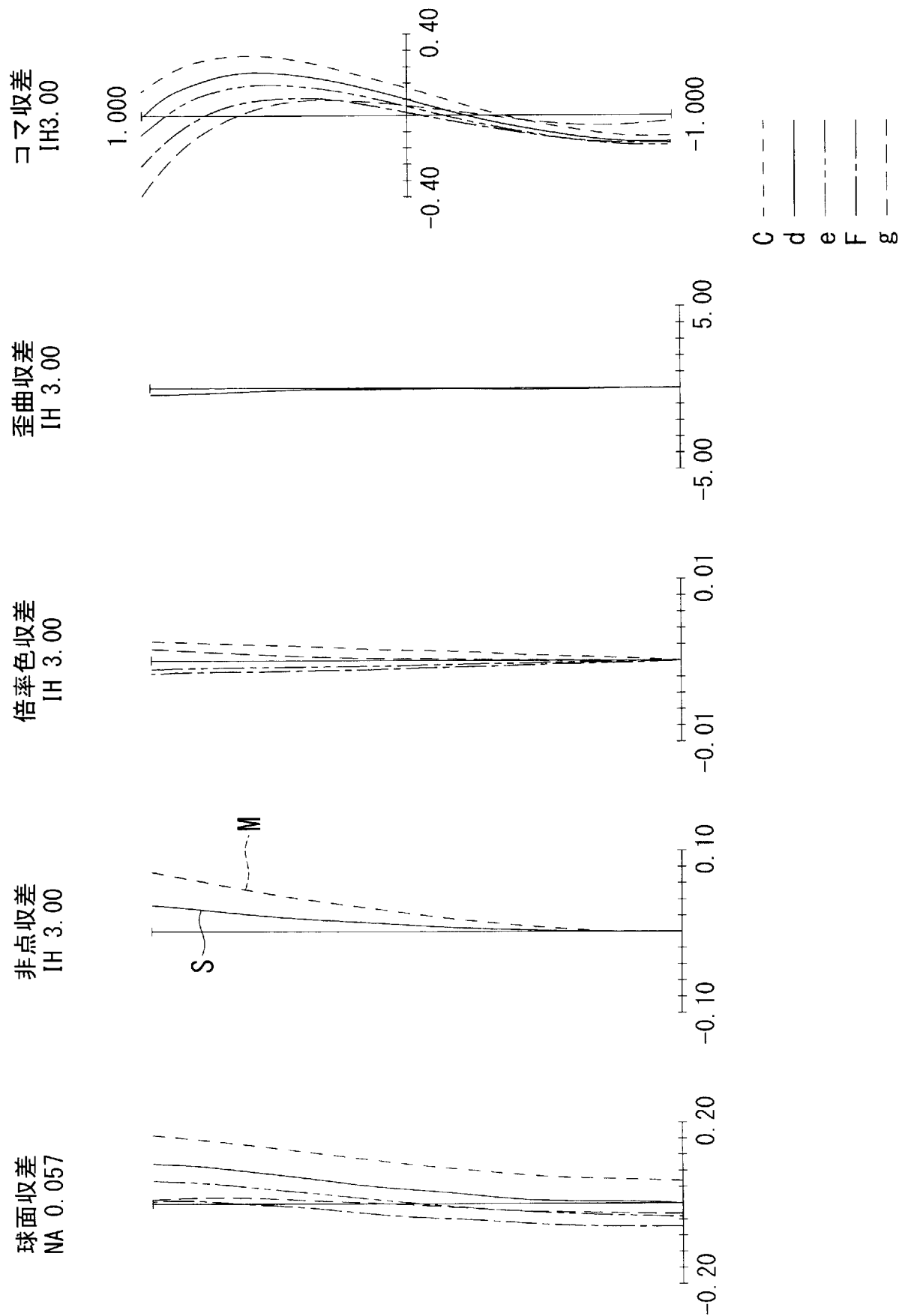
[図11]



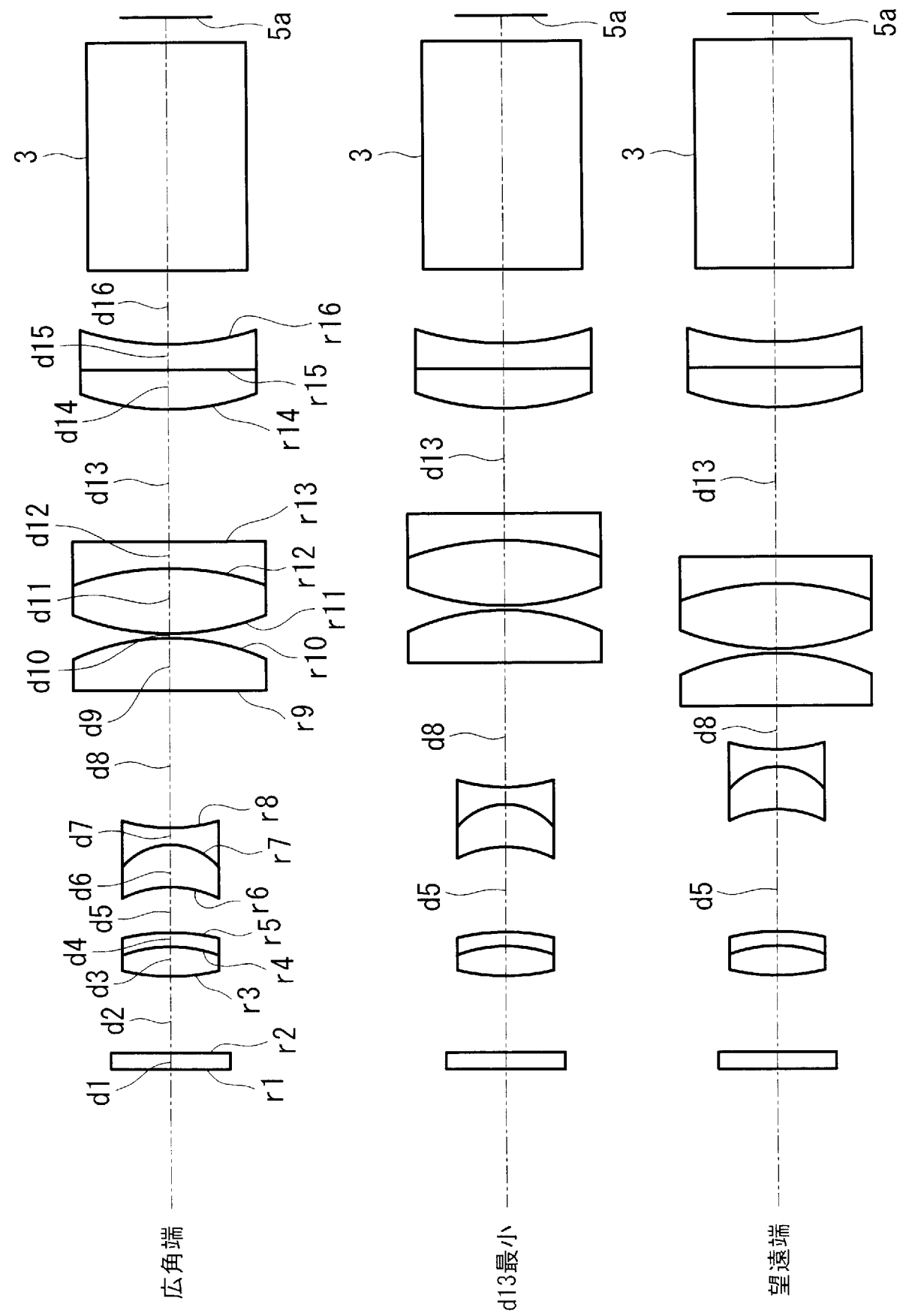
[図12]



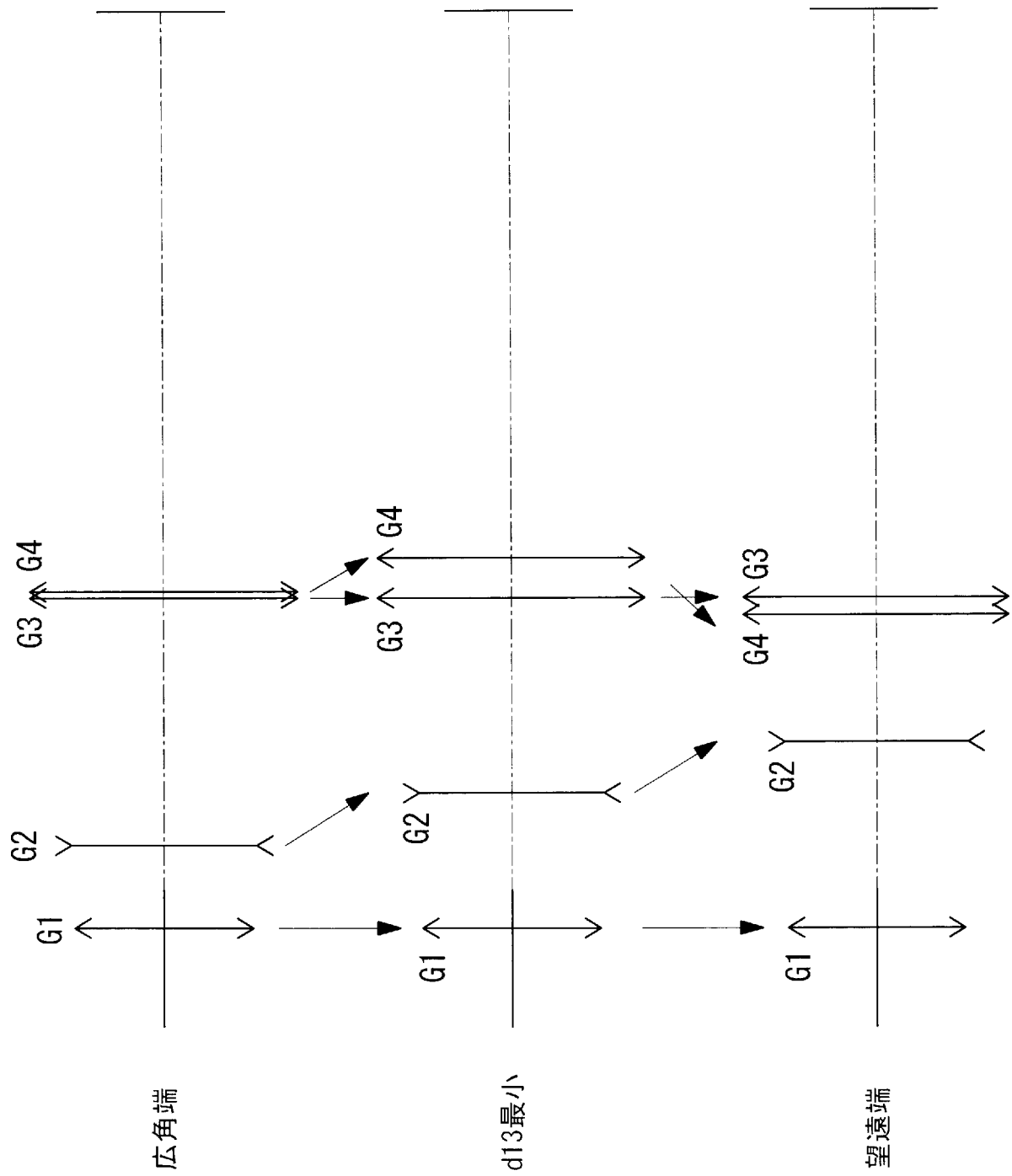
[図13]



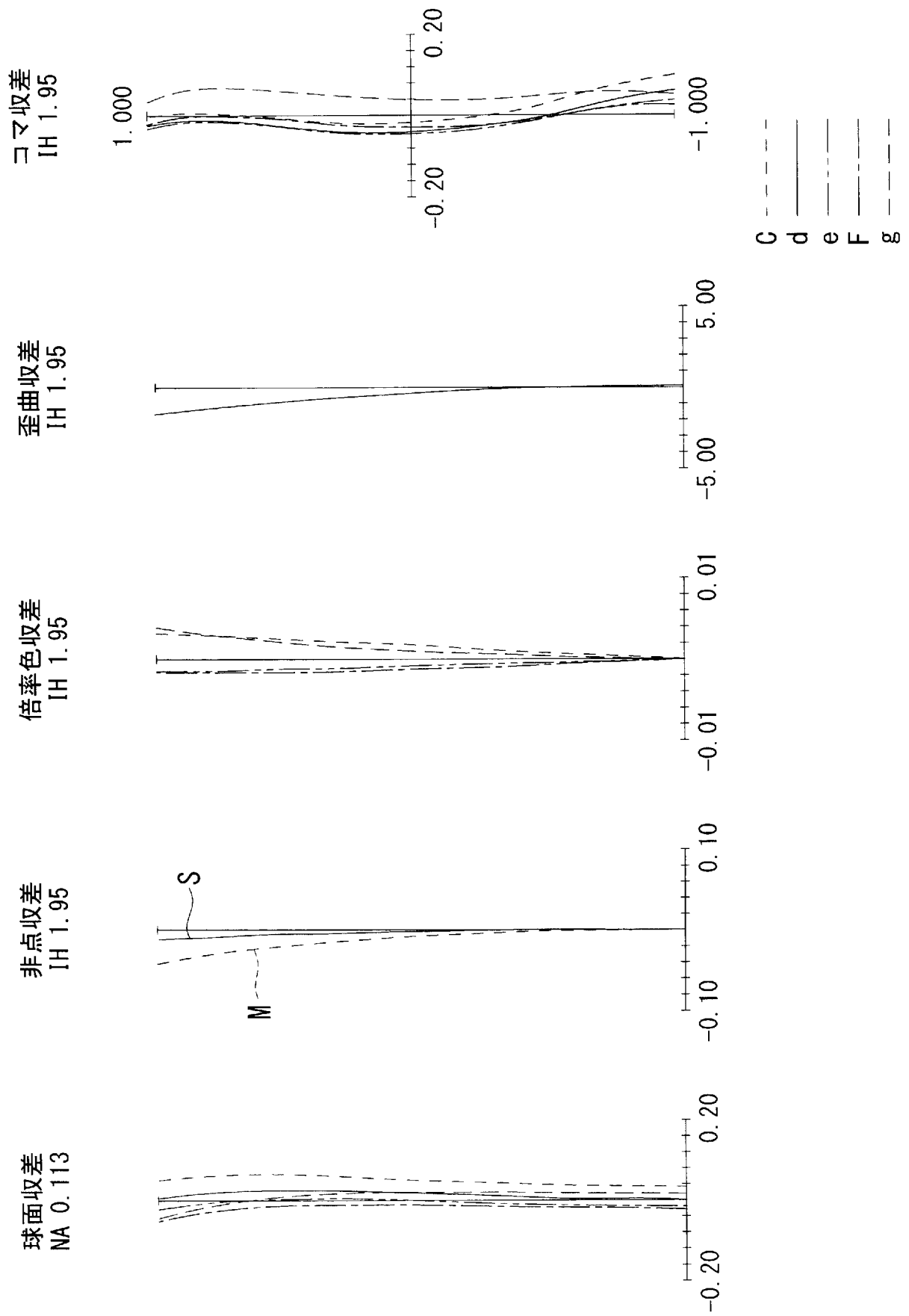
[図14]



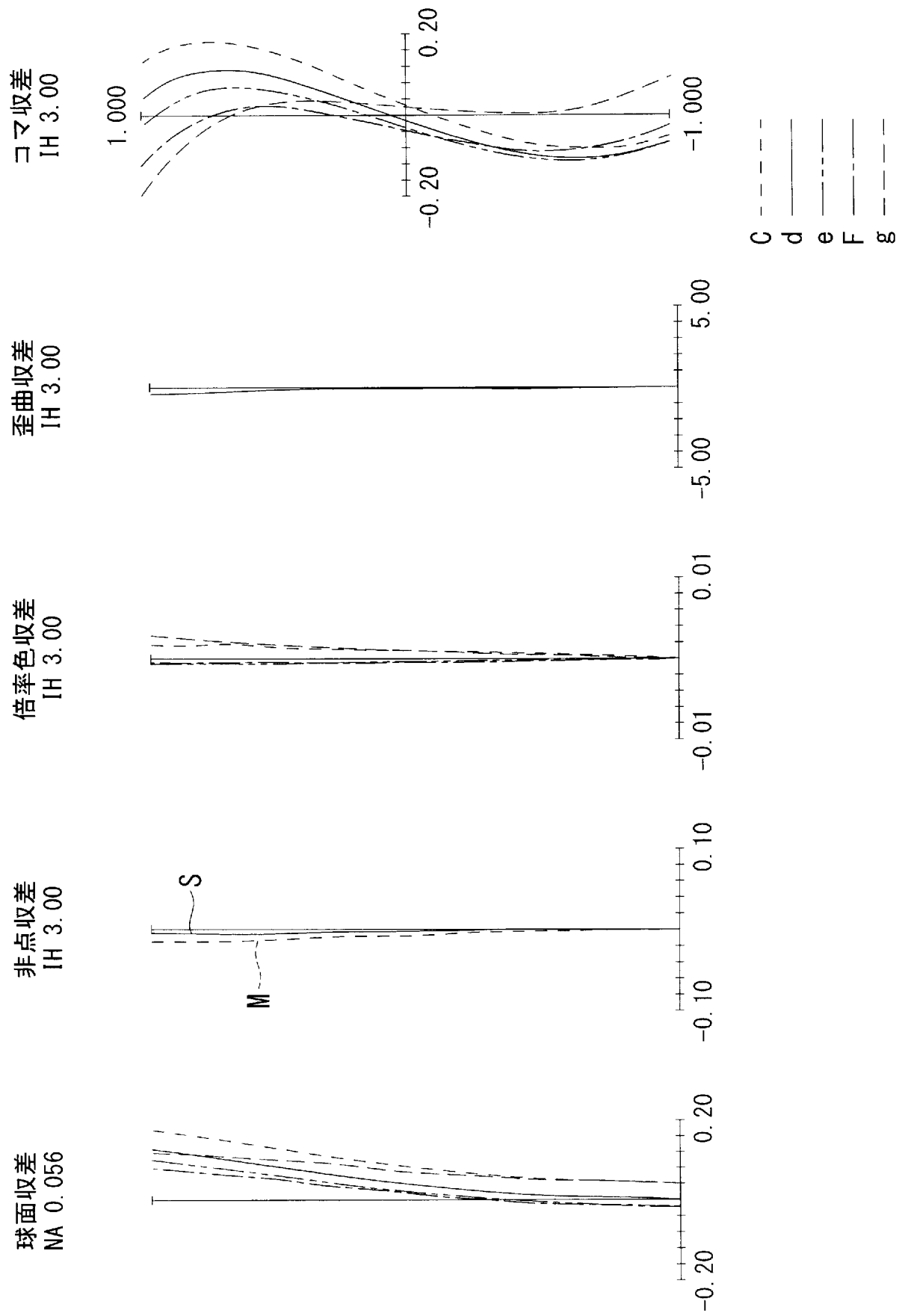
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/084350

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B15/167(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, G02B23/24(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)

G02B9/00-17/08, G02B21/02-21/04, G02B23/24-23/26, A61B1/00-A61B1/40

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
Y	JP 11-125770 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 11 May 1999 (11.05.1999), entire text; all drawings; particularly, examples 1 to 2 (Family: none)	1-4
Y	JP 8-179207 A (Canon Inc.), 12 July 1996 (12.07.1996), entire text; all drawings; particularly, paragraphs [0005] to [0006], [0023] to [0025]; fig. 2 (Family: none)	1-4

☒ 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
28 January 2016 (28.01.16)

Date of mailing of the international search report
09 February 2016 (09.02.16)

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/JP2015/084350

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 5-45584 A (Asahi Optical Co., Ltd.), 23 February 1993 (23.02.1993), entire text; all drawings; particularly, paragraphs [0003] to [0005]; example 1; fig. 1 & US 5504625 A entire text; all drawings; particularly, column 1, lines 12 to 35; Embodiment 1; fig. 1 & JP 3100693 B2	1-4
Y	WO 2010/137238 A1 (Olympus Medical Systems Corp.), 02 December 2010 (02.12.2010), entire text; all drawings; particularly, claims 1, 4, 6; example 1; fig. 1 & EP 2437094 A1 entire text; all drawings; particularly, claims 1, 4, 6; example 1; fig. 1 & US 2011/0235192 A1 & US 8164836 B2 & CN 102428401 A & CN 102428401 B & JP 4834799 B2	4

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B15/167(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, G02B23/24(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. G02B9/00-17/08, G02B21/02-21/04, G02B23/24-23/26, A61B1/00-A61B1/40

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
Y	JP 11-125770 A（オリンパス光学工業株式会社）1999.05.11, 全文、全図、特に、実施例1-実施例2（ファミリーなし）	1-4
Y	JP 8-179207 A（キヤノン株式会社）1996.07.12, 全文、全図、特に、段落[0005]-[0006]、[0023]-[0025]、図2（ファミリーなし）	1-4

☑ 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

28.01.2016

国際調査報告の発送日

09.02.2016

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）

森内 正明

2 V

9222

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
Y	JP 5-45584 A (旭光学工業株式会社) 1993.02.23, 全文、全図、特に、段落[0003]-[0005]、実施例1、図1 & US 5504625 A、全文、全図、特に、第1欄第12行-第35行、Embodiment 1、FIG. 1 & JP 3100693 B2	1-4
Y	WO 2010/137238 A1 (オリンパスメディカルシステムズ株式会社) 2010.12.02, 全文、全図、特に、請求項1, 4, 6、実施例1、図1 & EP 2437094 A1、全文、全図、特に、Claims 1, 4, 6、Example 1、Fig. 1 & US 2011/0235192 A1 & US 8164836 B2 & CN 102428401 A & CN 102428401 B & JP 4834799 B2	4