

(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
2015年7月23日(23.07.2015)



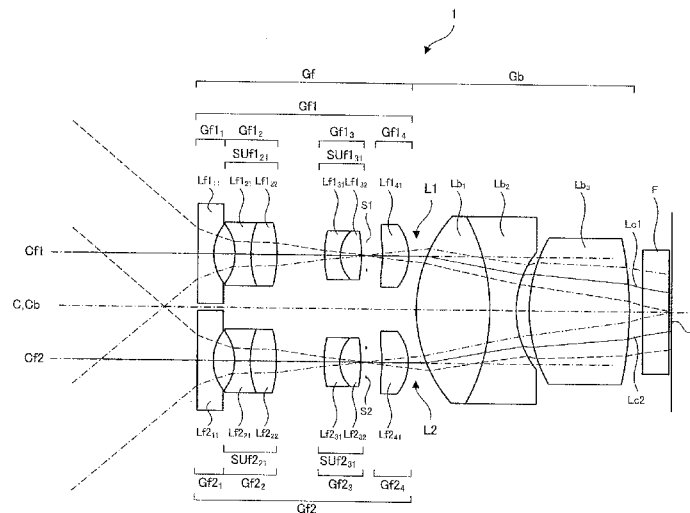
(10) 国際公開番号

WO 2015/107733 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 13/04 (2006.01) *G02B 23/26* (2006.01)
A61B 1/00 (2006.01) *G03B 35/08* (2006.01)
G02B 13/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/076968
- (22) 国際出願日: 2014年10月8日(08.10.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-005019 2014年1月15日(15.01.2014) JP
- (71) 出願人: オリンパス株式会社(OLYMPUS CORPORATION) [JP/JP]; 〒1510072 東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 研野 孝吉(TOGINO, Takayoshi); 〒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: 小山 卓志, 外(KOYAMA, Takashi et al.); 〒1100005 東京都台東区上野3丁目1番3号 上野鈴木ビル7階 梓特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 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: OPTICAL SYSTEM, STEREOSCOPIC IMAGE PICKUP DEVICE, AND ENDOSCOPE

(54) 発明の名称: 光学系、立体撮像装置、及び内視鏡



(57) Abstract: Provided are: an optical system, which is compact, and by which a stereoscopic image can be obtained at high resolution and wide observation view angle; a stereoscopic image pickup device; and an endoscope. This optical system (1) is characterized in being sequentially provided, from the object side, with: a front group (Gf) that has a first front group (Gf1) having a first front group center axis (Cf1) at the center, and a second front group (Gf2) having a second front group center axis (Cf2) at the center, said second front group center axis being a rotation symmetry axis in parallel to the first front group center axis (Cf1); and a rear group (Gb) that has a single rear group center axis (Cb) at the center. The optical system is also characterized in that a center main light beam of a first luminous flux (L1) passed through the first front group (Gf1), and a center main light beam of a second luminous flux (L2) passed through the second front group (Gf2) do not intersect each other until the beams reach an image surface after being outputted from the rear group (Gb).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2015/107733 A1



小型で高解像な観察画角の広い立体像を得ることが可能な光学系、立体撮像装置、及び内視鏡を提供する。光学系(1)は、物体側から順に、第1前群中心軸(C f 1)を中心とする第1前群(G f 1)及び第1前群中心軸(C f 1)に並列した回転対称軸である第2前群中心軸(C f 2)を中心とする第2前群(G f 2)を有する前群(G f)と、単一の後群中心軸(C b)を中心とする後群(G b)と、を備え、第1前群(G f 1)を通過した第1光束(L 1)の中心主光線及び第2前群(G f 2)を通過した第2光束(L 2)の中心主光線は、後群(G b)を射出後、像面に到達するまで互いに交差しないことを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：光学系、立体撮像装置、及び内視鏡

技術分野

[0001] 本発明は、光学系、立体撮像装置、及び内視鏡に関する。

背景技術

[0002] 従来、立体視用に視差の異なる2つの画像を略同一の平面上に結像させて撮像する方法が開示されている（特許文献1乃至4参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平8－122665号公報

特許文献2：特許4248771号公報

特許文献3：特許4093503号公報

特許文献4：特開2001－147382号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1乃至3に記載された技術は、物体側が2光軸で、像側が1光軸の光学系で構成されている。また、特許文献4に記載された技術は、物体から像まで2光軸で構成されている。これらの技術は、どちらも近年の高解像化に対応することができていないものである。

[0005] 本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであって、小型で高解像な観察画角の広い立体像を得ることが可能な光学系、立体撮像装置、及び内視鏡を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の一実施形態である光学系は、
物体側から順に、

第1前群中心軸を中心とする第1前群及び前記第1前群中心軸に並列する第2前群中心軸を中心とする第2前群を有する前群と、

単一の後群中心軸を中心とする後群と、
を備え、

前記第 1 前群を通過した第 1 光束の中心主光線及び前記第 2 前群を通過した第 2 光束の中心主光線は、前記後群を射出後、像面に到達するまで互いに交差しない
ことを特徴とする。

[0007] 本発明の一実施形態である光学系では、
前記第 1 光束及び前記第 2 光束は、前記後群を射出後、前記像面に到達するまで互いに交差しない収束光である。

[0008] 本発明の一実施形態である光学系では、
前記第 1 前群中心軸と前記第 2 前群中心軸の間隔は、前記像面での前記第 1 光束の中心と前記像面での前記第 2 光束の中心の間隔より広い。

[0009] 本発明の一実施形態である光学系では、
前記後群と前記像面の間に配置され、前記第 1 光束及び前記第 2 光束を偏向する後偏向群を有し、

前記後偏向群は、前記後群を射出した後の前記第 1 光束及び前記第 2 光束の収束を緩和し、前記第 1 光束及び前記第 2 光束の前記像面への入射角の絶対値が前記後偏向群への入射角の絶対値より小さくなるように偏向する。

[0010] 本発明の一実施形態である光学系では、
前記後偏向群は、前記第 1 光束を偏向する第 1 後偏向群と、前記第 2 光束を偏向する第 2 後偏向群と、を含む。

[0011] 本発明の一実施形態である光学系では、
前記後偏向群は、後偏向部材を含み、
前記後偏向部材は、前記後中心軸に対して外周側に向かうにつれて、前記後中心軸方向の厚さが厚い光学素子である。

[0012] 本発明の一実施形態である光学系では、
前記後偏向部材は、楔プリズム形状の光学素子である

[0013] 本発明の一実施形態である光学系では、

前記後偏向部材は、曲面を含む。

[0014] 本発明の一実施形態である光学系では、
前記後偏向群は、回折光学素子を含む。

[0015] 本発明の一実施形態である光学系では、
前記第 1 前群及び前記第 2 前群は、前記物体側から前記像面側へ順に、それぞれ

負の屈折力を有する前 1 群と、
正の接合レンズを含む前 2 群と、
を有する。

[0016] 本発明の一実施形態である光学系では、
前記前 1 群は、物体側に平面を向けた平凹負レンズからなり、
前記前 2 群の接合レンズは、物体側に凸面を向けた正の接合メニスカス
レンズからなる。

[0017] 本発明の一実施形態である光学系は、
前記第 1 前群及び前記第 2 前群は、それぞれ、前記第 2 群の前記後群側に
前記第 2 群とは異なる正の接合レンズを含む前 3 群
を有する。

[0018] 本発明の一実施形態である光学系は、
以下の条件式 (1) を満足する。

$$F A b / f < 5.0 \quad (1)$$

ただし、

$F A b$ は、前記前群最終面から前記前群を射出する光束が結像する結像位置までの距離、

f は、光学系全系の焦点距離
である。

[0019] 本発明の一実施形態である光学系は、
以下の条件式 (2) を満足する。

$$L b / f < 5 \quad (2)$$

ただし、

l_b は、前記後群最終面から前記像面までの距離、

f は、光学系全系の焦点距離

である。

[0020] 本発明の一実施形態である光学系は、

第 1 前群に配置され前記第 1 光束を遮光する遮光部材と、

第 2 前群に配置され前記第 2 光束を偏向する瞳分割部材と、

を備える。

[0021] 本発明の一実施形態である光学系は、

前記偏向部材は、

前記第 2 光束のうち一部を偏向せずに結像させる第 1 の瞳と、

前記第 2 光束のうち他部を前記第 1 の瞳により結像する位置と同一面の異なる位置に結像させる第 2 の瞳と、

を有する。

[0022] 本発明の一実施形態である光学系は、

前記瞳分割部材は、正の屈折力を有し、

前記瞳分割部材を使用しない近点の結像位置と、前記瞳分割部材を使用する遠点の結像位置と、が同一である。

[0023] 本発明の一実施形態である光学系は、

前記遮光部材及び前記瞳分割部材は、前記第 1 前群と第 2 前群の相対的にそれぞれ対応するレンズ間に配置される。

[0024] 本発明の一実施形態である立体撮像装置は、前記光学系と、撮像素子と、を備える。

[0025] 本発明の一実施形態である立体撮像装置では、前記撮像素子は、単一の素子からなる。

[0026] 本発明の一実施形態である内視鏡は、前記立体撮像装置を備える。

発明の効果

[0027] 本発明の一実施形態である光学系、立体撮像装置、及び内視鏡によれば、

小型で高解像な観察画角の広い立体像を得ることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]本発明に係る一実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

[図2]本発明に係る一実施形態の光学系1の像面付近を示す図である。

[図3]本発明に係る後偏向群を有する一実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

[図4]本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向部材L b vを楔プリズム形状とした一例を示す図である。

[図5]本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向部材L b vが曲面を含む一例を示す図である。

[図6]本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向群G b vに含まれる回折格子の一例を示す図である。

[図7]本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向群G b vに含まれる楔プリズムに回折格子を取り付けた一例を示す図である。

[図8]本発明に係る一実施形態の光学系1の前群G fのみで形成される像の位置を説明する図である。

[図9]本発明に係る一実施形態の光学系1の焦点距離fを説明する図である。

[図10]本発明に係る一実施形態の光学系1のフィルタFを取り除いた状態の像の位置を説明する図である。

[図11]本発明に係る他の実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

[図12]瞳分割部材3を示す図である。

[図13]実施例1の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。

[図14]実施例1の光学系1の横収差図である。

[図15]実施例2の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。

[図16]実施例2の光学系1の横収差図である。

[図17]実施例3の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。

[図18]実施例3の光学系1の横収差図である。

[図19]実施例4の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。

[図20]実施例4の光学系1の横収差図である。

[図21]実施例5の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。

[図22]実施例5の光学系1の横収差図である。

[図23]実施例6の遠点観察時の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。

[図24]実施例6の近点観察時の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。

[図25]実施例6の遠点観察時の光学系1の横収差図である。

[図26]実施例6の近点観察時の光学系1の第1の瞳E1を通過する偏向第1光束L1'に対する横収差図である。

[図27]実施例6の近点観察時の光学系1の第2の瞳E2を通過する偏向第2光束L2'に対する横収差図である。

[図28]実施例7の遠点観察時の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。

[図29]実施例7の近点観察時の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。

[図30]実施例7の遠点観察時の光学系1の横収差図である。

[図31]実施例7の近点観察時の光学系1の第1の瞳E1を通過する偏向第1光束L1'に対する横収差図である。

[図32]実施例7の近点観察時の光学系1の第2の瞳E2を通過する偏向第2光束L2'に対する横収差図である。

[図33]実施例8の光学系1の第1前群中心軸Cf1及び第2前群中心軸Cf2を含む断面図である。

[図34]図33に直交する方向から見た図である。

[図35]実施例8の光学系1の横収差図である。

[図36]実施例8の光学系1の横収差図である。

[図37]実施例9の光学系1の第1前群中心軸Cf1及び第2前群中心軸Cf2を含む断面図である。

[図38]図37に直交する方向から見た図である。

[図39]実施例8の光学系1の横収差図である。

[図40]実施例8の光学系1の横収差図である。

[図41]実施例10の光学系1の第1前群中心軸C f 1及び第2前群中心軸C f 2を含む断面図である。

[図42]図41に直交する方向から見た図である。

[図43]実施例8の光学系1の横収差図である。

[図44]実施例8の光学系1の横収差図である。

[図45]本実施形態の光学系を自動車の撮像装置として用いた例を示す図である。

[図46]本実施形態の光学系を内視鏡先端の撮影光学系として用いた例を示す図である。

[図47]参考例としての光学系の像面付近を示す図である。

発明を実施するための形態

[0029] 本実施形態の光学系1について説明する。

[0030] 図1は、本発明に係る一実施形態の光学系1の中心軸Cに沿ってとった断面図である。

[0031] 本実施形態の光学系1は、物体側から順に、第1前群中心軸C f 1を中心とする第1前群G f 1及び第1前群中心軸C f 1に並列した第2前群中心軸C f 2を中心とする第2前群G f 2を有する前群G f と、単一の後群中心軸C bを中心とする後群G bと、を備え、第1前群G f 1を通過した第1光束L 1の中心主光線及び第2前群G f 2を通過した第2光束L 2の中心主光線は、後群G bを射出後、像面Iに到達するまで互いに交差しない収束光であることが好ましい。

[0032] 本実施形態の光学系1は、第1光束L 1及び第2光束L 2は、後群G bを射出後、像面Iに到達するまで互いに交差しない収束光であることが好ましい。

[0033] 立体撮像系は、以下の4つのパターンが存在する。

1. 完全に独立した2つの中心軸からなる光学系。
2. 物体側から1つの中心軸の前群と2つの中心軸の後群からなる光学系。

3. 物体側から2つの中心軸の前群と1つの中心軸の後群からなる光学系。

4. 全体は1つの中心軸で瞳分割により視差を得る光学系。

[0034] 1. の光学系は、2つの中心軸のそれぞれに撮像素子が必要となり、装置として大型になってしまう。2. と4. の光学系は、画角を広く取ろうとすると、強い負のレンズを物体側に配置する必要があり、これにより基線長を長く取れない欠点がある。3. の光学系は、小型の立体撮像装置に良く採用されるタイプであるが、全長が長くなる欠点がある。

[0035] 近年、小型で高画素数の撮像素子が実用化されるようになったため、像高が小さくても高解像な撮像が可能になった。そこで本実施形態では、小型の撮像素子を用いることを想定し、小型で高解像な観察画角の広い立体像を得ることが可能な光学系を提供するものである。

[0036] 図2は、本発明に係る一実施形態の光学系1の像面付近を示す図である。また、図47は、参考例としての光学系の像面付近を示す図である。なお、図2及び図47では、後群G_bを模式的に示している。

[0037] 図2に示した本実施形態の光学系1と図47に示した参考例の光学系100は、物体側から順に、図示しない前群と、後群G_bと、からなる。なお、図2及び図47において、左側を前側、右側を後側とする。

[0038] 光束は、図示しない2光軸の前群から並行に後群G_bに入射する。そして、第1光束L₁及び第2光束L₂の並行な第1中心主光線L_{c1}及び第2中心主光線L_{c2}は後群G_bを通過した後、後群G_bより後側の位置で交差する。これは入射する第1光束L₁及び第2光束L₂の焦点位置f₀が後群G_bの後側の位置だからである。そして、前群を射出する軸上光束L₁₀、L₂₀のそれぞれが平行光だと、第1光束L₁及び第2光束L₂の像は後群G_bの後側の焦点位置f₀に重なって結像されてしまい、立体撮像することができない。

[0039] 図47に示した参考例の光学系100は、前群を射出した軸上光束L₁₀、L₂₀のそれぞれを発散させることによって、焦点位置f₀よりさらに後ろに結像する構成にすることによって、第1結像面I₁及び第2結像面I₂を並

べる構成にしている。この方法は、像の大きさを比較的大きくしたい場合には効果があり、後群G bから結像面 l_1 、 l_2 までの距離を長くとることによって像をいくらでも大きく結像することが可能となる。その場合光路が交差しているので、光学系100の外径を太くすること無く大きな結像面を確保することが可能となる。

[0040] 本実施形態では、上記発想とは逆に、後群G bの後側の焦点位置 f_0 より前に結像することにより、左右の映像を並べて結像することに成功したものである。図2に示すように、図示しない前群を出た第1中心主光線 L_{c1} 及び第2中心主光線 L_{c2} は、図47に示した参考例と同様に、後群G bより後側の焦点位置 f_0 で交差する。

[0041] 本実施形態では、焦点位置 f_0 より後群G bに近い位置で結像させることにより、第1結像面 l_1 及び第2結像面 l_2 より前では光路は交差しなくなる。後群G bの後側の焦点位置 f_0 より前側で結像させるためには、図30に示した参考例とは逆に、前群を射出する軸上光束 L_{10} 、 L_{20} のそれぞれを収束するようにすることが重要である。

[0042] 後群G bより後側の焦点位置 f_0 より後群G bに近い位置で結像させる配置により、結像面 l_1 、 l_2 の大きさを小さくすることが可能となり、近年の小型高精細撮像素子との相性がよくなる。さらに、後群G bから結像面 l_1 、 l_2 までの距離を従来技術に比べて大幅に短くすることが可能となり、光学系1及び光学系1を用いた装置全体の長さを短くすることが可能となる。

[0043] また、本実施形態では、図1に示すように、第1前群中心軸 C_{f1} と第2前群中心軸 C_{f2} の間隔は、像面Iでの第1光束 L_1 の第1中心主光線 L_{c1} と像面Iでの第2光束 L_2 の第2中心主光線 L_{c2} の間隔より広い。言い換えれば、光学系の入射瞳間隔よりも像中心間隔の方が狭いことが好ましい。

[0044] 数ミリから数百ミリの物点距離で立体視をする場合、自然に見える立体映像を得るためには、通常時に人間が両眼で観察する際の視差量を与えることが好ましい。例えば、50cm離れて眼幅6cmの観察者が立体視をする場

合の輻輳角は約 7° となるので、 15 mm 離れて拡大観察する立体撮像光学系で同様の輻輳角を得るためには光軸間隔を約 1.8 mm に近づける必要がある。

[0045] しかしながら、中心軸の間隔を 1.8 mm 以下として第1前群 $Gf1$ と第2前群 $Gf2$ を並べると、光学系の Fno が大きくなり、高解像度の撮像をすることが困難であった。また、像面 I に小さい撮像素子を離間させて配置することは、組立調整等を考慮すると、困難であった。そこで、本実施形態では、小型で高画素数の撮像素子に対応できるように、入射瞳間隔よりも像中心間隔の方を狭くしたものである。このような構成によって、光学系を小型に形成することが可能となる。

[0046] 図3は、本発明に係る後偏向群を有する一実施形態の光学系1の中心軸 C に沿ってとった断面図である。

[0047] 本実施形態では、後群 G_b と像面 I の間に配置され、第1光束 $L1$ 及び第2光束 $L2$ を偏向する後偏向群 Gbv を有し、後偏向群 Gbv は、後群 G_b を射出した後の第1光束 $L1$ 及び第2光束 $L2$ の収束を緩和し、第1光束 $L1$ 及び第2光束 $L2$ の像面 I への入射角の絶対値が後偏向群 Gbv への入射角の絶対値より小さくなるように偏向することが好ましい。

[0048] 本実施形態では、第1光束 $L1$ 及び第2光束 $L2$ が各前群 Gf を収束気味に射出し、各焦点位置の手前にある像面 I で結像するので、第1光束 $L1$ 及び第2光束 $L2$ は、像面 I に斜めに入射することとなる。近年のマイクロレンズアレーを使用した高解像で高感度な撮像素子は入射角特性を有しているので、像面 I の入射角特性に光学系1の射出特性を対応させないと、像周辺の光量不足や色にじみ等の問題が発生するおそれがある。そこで、後群中心軸 C_b に近づく方向に傾いた第1光束 $L1$ 及び第2光束 $L2$ を後群中心軸 C_b から離れる方向に偏向する後偏向群を配置する。このような構成によって、小型で高解像な光学系を得ることが可能となる。

[0049] また、本実施形態では、後偏向群 Gbv は、第1光束 $L1$ を偏向する第1後偏向群と、第2光束 $L2$ を偏向する第2後偏向群と、を含んでもよい。

- [0050] 第1光束 L_1 と第2光束 L_2 のそれぞれに対応する第1後偏向群と第2後偏向群を別体に形成することで、各偏向群を後群中心軸 C_b に垂直な平面内でそれぞれ回転させることができ、偏向を微少量で変化させることが可能となる。したがって、像面 I 内での像中心の微少な移動ができ、第1光束 L_1 の中心と第2光束 L_2 の中心の微調整が可能となる。
- [0051] 図4は、本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向部材 L_{bv} を楔プリズム形状とした一例を示す図である。
- [0052] 本実施形態では、後偏向群 G_{bv} は、後偏向部材 L_{bv} を含み、後偏向部材 L_{bv} は、後群中心軸 C_b に対して外周側に向かうにつれて、後群中心軸 C_b 方向の厚さが厚い光学素子であることが好ましい。
- [0053] 屈折作用を有する後偏向部材 L_{bv} によって後偏向群 G_{bv} を構成することにより、研磨加工や成型によって後偏向群 G_{bv} を形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。
- [0054] また、本実施形態では、後偏向部材 L_{bv} は、楔プリズム形状の光学素子であることが好ましい。
- [0055] 後偏向部材 L_{bv} を楔プリズム形状とすることで、後偏向部材 L_{bv} の両面を平面で形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。
- [0056] 図5は、本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向部材 L_{bv} が曲面を含む一例を示す図である。
- [0057] また、本実施形態では、後偏向群 G_{bv} は、曲面を有する光学素子を含むことが好ましい。
- [0058] 後偏向部材 L_{bv} が曲面を含むことで、像面に入射する光束の角度をより自由に設定することが可能となる。また、後群 G_b を射出した後の各像高の主光線のテレセントリック性及び像面湾曲を改善することが可能となる。さらに、好ましくは、曲面は球面、トーリック面、アナモルフィック面、又は自由曲面でもよい。
- [0059] 図6は、本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向群 G_{bv} に含まれる

回折格子の一例を示す図である。

[0060] また、本実施形態では、後偏向群 G_{bv} は、回折光学素子 d_a を含んでもよい。図6に示すように、回折光学素子 d_a は、任意の形状でよい。このように、後偏向群 G_{bv} が回折光学素子 d_a を含むことによって、像面の傾きとコマ収差の発生が少なくなり、後群 G_b での収差補正の負担が低減されると共に、光学系をさらに小型化することが可能となる。

[0061] 図7は、本発明に係る一実施形態の光学系1の後偏向群 G_{bv} に含まれる楔プリズムに回折格子を取り付けた一例を示す図である。

[0062] 図7に示すように、楔形プリズム状光学素子 L_{bv} と回折光学素子 d_a は、接合されて用いられてもよい。また、図6に示したように、回折光学素子 d_a は、任意の形状でよい。

[0063] 楔形プリズム状光学素子 L_{bv} と回折光学素子 d_a を用いることによって、色収差の発生を抑制し、解像力を向上させることが可能となると共に、立体撮像光学系1の全長を短くすることが可能となる。

[0064] また、本実施形態の光学系1は、図1に示すように、第1前群 G_{f1} 及び第2前群 G_{f2} は、物体側から順に、それぞれ平凹負レンズ L_{f1_1} , L_{f2_1} を含む第1群 G_{f1_1} , G_{f2_1} と、正の接合レンズ $SU_{f1_{21}}$, $SU_{f2_{21}}$ を含む第2群 G_{f1_2} , G_{f2_2} と、を有することが好ましい。

[0065] 図2に示すように、前群 G_f を射出した軸上光束 L_{10} , L_{20} を収束させるためには、前群 G_f への負担が大きくなる。つまり広画角の物点からの光束を取り込み、収差発生をさせることなく、収束光束にするため、強い正の屈折力と高度な収差補正が前群 G_f に要求されることになる。そのためには、図1に示すように、広画角の光束を取り込み、軸外主光線の角度を少なくするための強い負の屈折力を有する前1群 G_{f1_1} , G_{f2_1} と、前1群 G_{f1_1} , G_{f2_1} で発生する倍率色収差を強力に補正する正の接合レンズを含む前2群 G_{f1_2} , G_{f2_2} で構成されることが好ましい。例えば、平凹負レンズ L_{f1_1} , L_{f2_1} からなる前1群 G_{f1_1} , G_{f2_1} と、物体側に凹面を向けた接合メニスカスレンズ $SU_{f1_{21}}$, $SU_{f2_{21}}$ からなる前2群 G_{f1_2} , G_{f2_2} と

、を含む構成とすることが好ましい。

[0066] また、本実施形態の光学系 1 は、第 1 前群 G f 1 及び第 2 前群 G f 2 は、それぞれ、前 2 群 G f 1₂, G f 2₂の後群 G b 側に前 2 群 G f 1₂, G f 2₂とは異なる正の接合レンズ S U f 1₃₁, S U f 2₃₁を含む前 3 群 G f 1₃, G f 2₃を有することが好ましい。

[0067] 前群 G f の前 1 前群 G f 1₁, G f 2₁と前 2 群 G f 1₂, G f 2₂で画角を小さく変換された光束は、前群 G f の前 3 群 G f 1₃, G f 2₃で収束光束になる。そのため、前群 G f には高い負担がかかるので、少なくとも接合レンズで軸上色収差を補正する前 3 群 G f 1₃, G f 2₃を有することが好ましい。さらに、単体の正レンズからなる前 4 群 G f 1₄, G f 2₄を有することが好ましい。

[0068] 図 8 は、本発明に係る一実施形態の光学系 1 の前群 G f のみで形成される像の位置を説明する図である。図 9 は、本発明に係る一実施形態の光学系 1 の焦点距離 f を説明する図である。

[0069] 本実施形態の光学系 1 は、以下の条件式 (1) を満足することが好ましい。

$$F A b / f < 5.0 \quad (1)$$

ただし、

F A b は、前群 G f の最終面から前群 G f を射出する光束が結像する結像位置までの距離、

f は、光学系全系の焦点距離、
である。

[0070] 本実施形態では、図 8 に示すように、前群 G f の最終面から前群 G f を射出する光束が結像する結像位置 l f までの距離を F A b とする。また、図 9 に示すように、光学系 1 の全系の焦点距離を f とする。光学系 1 が偏心光学系の場合には、偏心を取り除いて、無限遠から並行光束を光学系 1 に入射させ、光学系 1 に入射した軸上マージナル光線 L 1' が、光学系 1 を通過後に射出され、仮想的に屈曲する位置 A から像面 l までの距離をこの光学系 1 の

焦点距離 f とする。

[0071] 条件式 (1) の上限を上回ると、後群 G b から結像位置までの距離が長くなり、光学系 1 の全長も長くなってしまう。

[0072] なお、本実施形態の光学系 1 は、以下の条件式 (1') を満足することがさらに好ましい。

$$F A b / f < 1.0 \quad (1')$$

[0073] 条件式 (1') を満足することで、後群 G b から結像位置までの距離がさらに短くなり、光学系 1 の全長もさらに短くなる。

[0074] 図 10 は、本発明に係る一実施形態の光学系 1 のフィルタ F を取り除いた状態の像の位置を説明する図である。

[0075] 本実施形態の光学系 1 は、以下の条件式 (2) を満足することが好ましい。

$$L b / f < 5 \quad (2)$$

ただし、

$L b$ は、後群 G b の最終面から像面 I までの距離、

f は、光学系 1 の全系の焦点距離、

である。

[0076] 条件式 (2) の上限を上回ると、後群 G b から結像位置までの距離が長くなり、光学系 1 の全長も長くなってしまう。

[0077] なお、本実施形態の光学系 1 は、以下の条件式 (2') を満足することがさらに好ましい。

$$L b / f < 3 \quad (2')$$

[0078] 条件式 (2') を満足することで、後群 G b から結像位置までの距離がさらに短くなり、光学系 1 の全長もさらに短くなる。

[0079] なお、本実施形態の光学系 1 は、以下の条件式 (2'') を満足することがさらに好ましい。

$$L b / f \leq 2 \quad (2'')$$

[0080] 条件式 (2'') を満足することで、後群 G b から結像位置までの距離がさ

らに短くなり、光学系 1 の全長もさらに短くなる。

- [0081] 図 1 1 は、本発明に係る他の実施形態の光学系 1 の中心軸 C に沿ってとった断面図である。図 1 2 は、瞳分割部材 3 を示す図である。
- [0082] 本発明にかかる他の実施形態である光学系 1 は、第 1 前群 G f 1 に配置され第 1 光束 L 1 を遮光する遮蔽部材 2 と、第 2 前群 G f 2 に配置され第 2 光束 L 2 を偏向する瞳分割部材 3 と、を備えることが好ましい。
- [0083] 日常、我々は立体観察をしている。立体観察時の物点距離は、無限遠から 30 cm であり、ディオプトリーにすると、 $0 \sim 3 \text{ m}^{-1}$ である。しかし、拡大光学系の場合、物点距離は 20 mm $\sim$ 1 mm となり、同じくディオプトリーにすると、 $50 \sim 1000 \text{ m}^{-1}$ となる。このため、基線長を変えないと立体観察に対応できなくなる。
- [0084] 本実施形態の光学系 1 は、このように大きく物点距離が変化する立体拡大光学系の基線長を変える機構に関するものである。遠点観察の場合、一般的な 2 光路の光学系 1 で立体撮像を行う。また、近点観察の場合には、その 2 光路のうち第 1 の光路を通る第 1 光束 L 1 を遮蔽部材 2 により遮蔽し、他の第 2 の光路に瞳を分割する瞳分割素子である瞳分割部材 3 を挿入して瞳分割により第 2 光束 L 2 を偏向第 1 光束 L 1' 及び偏向第 2 光束 L 2' に分割して立体撮像する。したがって、大きく異なる物点距離に対応して基線長を切り替えることにより、自然な立体感を得ることが可能となる。
- [0085] また、本発明に係る他の実施形態である光学系 1 では、瞳分割部材 3 は、第 2 光束 L 2 のうち一部を偏向せずに結像させる第 1 の瞳 E 1 と、第 2 光束 L 2 のうち他部を第 1 の瞳 E 1 により結像する位置と同一面の異なる位置に結像させる第 2 の瞳 E 2 と、を形成することが好ましい。
- [0086] 瞳を分割する瞳分割部材 3 は、第 1 の瞳 E 1 に対応する平行平板部 3₁ と、第 2 の瞳 E 2 に対応する楔状プリズム部 3₂ と、を有する。瞳分割部材 3 は、楔状プリズム部 3₂ が偏向作用を有し、第 1 の瞳 E 1 を通る偏向第 1 光束 L 1' の結像位置から同一面内の隣接する位置に第 2 の瞳 E 2 を通る偏向第 2 光束 L 2' の結像位置を移動する作用を有する。このような瞳分割部材 3 を設

置し、基線長の短い瞳分割をすることにより、遠点を撮像する際に用いた撮像素子をそのまま使用して、近点に対して自然な立体撮像を行うことが可能となる。

[0087] また、本発明にかかる他の実施形態である光学系 1 では、瞳分割部材 3 は、正の屈折力を有し、瞳分割部材 3 を使用しない場合の遠点観察時の結像位置と、瞳分割部材 3 を使用する場合の近点観察時の結像位置と、が同一又は略同一であることが好ましい。

[0088] 近点観察時の場合、基線長を短くする必要があるが、同時にピント位置も補正した方が好ましい。そこで、瞳分割部材 3 に弱い正のパワーと与えることにより、近点観察時でのピント移動を補正することが可能となる。

[0089] また、本発明にかかる他の実施形態である光学系 1 では、遮蔽部材 2 及び瞳分割部材 3 は、第 1 前群 $G f 1$ と第 2 前群 $G f 2$ の相対的にそれぞれ対応するレンズ間に配置されることが好ましい。

[0090] 遮蔽部材 2 及び瞳分割部材 3 を光学系 1 内に同時に移動させることが容易になる。

[0091] また、図 11 に示すように、第 1 前 1 群 $G f 1_1$ の平凹負レンズ $L f 1_{11}$ は、第 2 前群 $G f 2$ 側を一部切り欠いた第 1 切り欠き部 $4 1_1$ が形成され、第 2 前 1 群 $G f 2_1$ の平凹負レンズ $L f 2_{11}$ は、第 1 前群 $G f 1$ 側を一部切り欠いた第 2 切り欠き部 $4 1_2$ が形成されてもよい。

[0092] 第 1 切り欠き部 $4 1_1$ と第 2 切り欠き部 $4 1_2$ は、当接されることが好ましい。第 1 切り欠き部 $4 1_1$ と第 2 切り欠き部 $4 1_2$ が当接されることによって、第 1 前群 $G f 1$ の第 1 光軸と第 2 前群 $G f 2$ の第 2 光軸との距離を縮めることができ、光学系 1 を小型化することが可能となる。

[0093] なお、切り欠き部は、第 1 前 1 群 $G f 1_1$ 及び第 2 前 1 群 $G f 2_1$ に限らず、例えば、第 1 前 2 群 $G f 1_2$ 及び第 2 前 2 群 $G f 2_2$ 、第 1 前 3 群 $G f 1_3$ 及び第 2 前 3 群 $G f 2_3$ 等の他の第 1 前群 $G f 1$ と第 2 前群 $G f 2$ のレンズに形成し、それぞれ当接させてもよい。

[0094] また、第 1 切り欠き部 $4 1_1$ と第 2 切り欠き部 $4 1_2$ との間に遮光部材 5 を設

置してもよい。遮光部材5を設置することにより、基線長を短くしても、第1前群G f 1と第2前群G f 2の間でそれぞれのフレアー光が入射してしまうおそれを低減させることが可能となる。

[0095] さらに好ましくは、瞳分割部材3で偏向した場合に発生する像の色ズレは、電子的に補正することも可能である。さらに好ましくは、撮像素子に入射する光線角度が大きくなる場合に発生するシェーディングは電子的に補正することも可能である。

[0096] 以下に、本実施形態にかかる光学系1の実施例1～10を説明する。なお、実施例1～10の数値データは、後述する。

[0097] 図13は、実施例1の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図14は、実施例1の光学系1の横収差図である。

[0098] 横収差図において、中央に示された角度は、（垂直方向の画角）を示し、その画角におけるY方向（メリジナル方向）とX方向（サジタル方向）の横収差を示す。なお、マイナスの画角は、X軸正方向を向いて右回りの角度を意味する。以下、実施例1～10の横収差図に関して同様である。

[0099] 実施例1の光学系1は、図13に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸C f 1を有する第1前群G f 1、及び、第1前群中心軸C f 1と並列に配置された第2前群中心軸C f 2を有する第2前群G f 2を有する前群G f と、単一の後群中心軸C bを有する後群G bと、を備える。

[0100] 第1前群G f 1及び第2前群G f 2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

[0101] 第1前群G f 1は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL f 1₁₁を有する第1前1群G f 1₁と、両凹負レンズL f 1₂₁と両凸正レンズL f 1₂₂の接合レンズS U f 1₂₁を有する第1前2群G f 1₂と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 1₃₁と両凸正レンズL f 1₃₂の接合レンズS U f 1₃₁を有する第1前3群G f 1₃と、第1絞りS 1と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズL f 1₄₁を有する第1前4群G f 1₄と、を備えることが好ましい。

[0102] 第2前群G f 2は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL f 2₁₁を有する第

2前1群 $G f 2_1$ と、両凹負レンズ $L f 2_{21}$ と両凸正レンズ $L f 2_{22}$ の接合レンズ $S U f 2_{21}$ を有する第2前2群 $G f 2_2$ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 2_{31}$ と両凸正レンズ $L f 2_{32}$ の接合レンズ $S U f 2_{31}$ を有する第2前3群 $G f 2_3$ と、第2絞り $S 2$ と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズ $L f 2_{41}$ を有する第2前4群 $G f 2_4$ と、を備えることが好ましい。

[0103] 後群 $G b$ は、両凸正レンズ $L b_1$ と両凹負レンズ $L b_2$ の接合レンズ $S U b 1_1$ を有する後1群 $G b 1$ と、両凸正レンズ $L b_3$ を有する後2群 $G b 2$ と、を備える。

[0104] また、像面 I の手前には、フィルタを配置する。

[0105] 図示しない第1物体面から第1前群 $G f 1$ に入射した第1光束 $L 1$ は、第1前1群 $G f 1_1$ の平凹負レンズ $L f 1_{11}$ 、第1前2群 $G f 1_2$ の接合レンズ $S U f 1_{21}$ 、第1前3群 $G f 1_3$ の接合レンズ $S U f 1_{31}$ 、第1絞り $S 1$ 、及び、第1前4群 $G f 1_4$ の正メニスカスレンズ $L f 1_{41}$ を通過して、第1前群 $G f 1$ を射出し、その後、後群 $G b$ に入射する。

[0106] 図示しない第2物体面から第2前群 $G f 2$ に入射した第2光束 $L 2$ は、第2前1群 $G f 2_1$ の平凹負レンズ $L f 2_{11}$ 、第2前2群 $G f 2_2$ の接合レンズ $S U f 2_{21}$ 、第2前3群 $G f 2_3$ の接合レンズ $S U f 2_{31}$ 、第2絞り $S 2$ 、及び、第2前4群 $G f 2_4$ の正メニスカスレンズ $L f 2_{41}$ を通過して、第2前群 $G f 2$ を射出し、その後、後群 $G b$ に入射する。

[0107] 後群 $G b$ に入射した第1光束 $L 1$ 及び第2光束 $L 2$ は、それぞれ後1群 $G b 1$ の接合レンズ $S U b 1_1$ 、後2群 $G b 2$ の両凸正レンズ $L b_3$ 、及び、フィルタ F を通過して像面に入射する。

[0108] 図15は、実施例2の光学系1の中心軸 C に沿った断面図である。図16は、実施例2の光学系1の横収差図である。

[0109] 実施例2の光学系1は、図15に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸 $C f 1$ を有する第1前群 $G f 1$ 、及び、第1前群中心軸 $C f 1$ と並列に配置された第2前群中心軸 $C f 2$ を有する第2前群 $G f 2$ を有する前群 $G f$ と、単一の後群中心軸 $C b$ を有する後群 $G b$ と、を備える。

[0110] 第1前群G f 1及び第2前群G f 2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

[0111] 第1前群G f 1は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL f 1₁₁を有する第1前1群G f 1₁と、両凹負レンズL f 1₂₁と両凸正レンズL f 1₂₂の接合レンズS U f 1₂₁を有する第1前2群G f 1₂と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 1₃₁と両凸正レンズL f 1₃₂の接合レンズS U f 1₃₁を有する第1前3群G f 1₃と、第1絞りS 1と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズL f 1₄₁を有する第1前4群G f 1₄と、を備えることが好ましい。

[0112] 第2前群G f 2は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL f 2₁₁を有する第2前1群G f 2₁と、両凹負レンズL f 2₂₁と両凸正レンズL f 2₂₂の接合レンズS U f 2₂₁を有する第2前2群G f 2₂と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 2₃₁と両凸正レンズL f 2₃₂の接合レンズS U f 2₃₁を有する第2前3群G f 2₃と、第2絞りS 2と、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズL f 2₄₁を有する第2前4群G f 2₄と、を備えることが好ましい。

[0113] 後群G bは、両凸正レンズL b₁と両凹負レンズL b₂の接合レンズS U b 1₁を有する後1群G b 1と、両凸正レンズL b₃を有する後2群G b 2と、を備える。

[0114] 像面Iの手前には、フィルタを配置する。

[0115] 第1前1群G f 1₁の平凹負レンズL f 1₁₁は、第2前群G f 2側を一部切り欠いた第1前1群第1切り欠き部4₁₁が形成され、第2前1群G f 2₁の平凹負レンズL f 2₁₁は、第1前群G f 1側を一部切り欠いた第2前1群第2切り欠き部4₁₂が形成されている。

[0116] また、第1前2群G f 1₂の両凹負レンズL f 1₂₁と両凸正レンズL f 1₂₂の接合レンズS U f 1₂₁は、第2前群G f 2側を一部切り欠いた第1前2群第1切り欠き部4₂₁が形成され、第2前2群G f 2₂の両凹負レンズL f 2₂₁と両凸正レンズL f 2₂₂の接合レンズS U f 2₂₁は、第1前群G f 1側を一部切り欠いた第2前2群第2切り欠き部4₂₂が形成されている。

[0117] なお、第1前群G f 1と第2前群G f 2の当接するそれぞれの切り欠き部

の間に遮光部材 5 を設置してもよい。

- [0118] 図示しない第 1 物体面から第 1 前群 $G f 1$ に入射した第 1 光束 $L 1$ は、第 1 前 1 群 $G f 1_1$ の平凹負レンズ $L f 1_{11}$ 、第 1 前 2 群 $G f 1_2$ の接合レンズ $S U f 1_{21}$ 、第 1 前 3 群 $G f 1_3$ の接合レンズ $S U f 1_{31}$ 、第 1 絞り $S 1$ 、及び、第 1 前 4 群 $G f 1_4$ の正メニスカスレンズ $L f 1_{41}$ を通過して、第 1 前群 $G f 1$ を射出し、その後、後群 $G b$ に入射する。
- [0119] 図示しない第 2 物体面から第 2 前群 $G f 2$ に入射した第 2 光束 $L 2$ は、第 2 前 1 群 $G f 2_1$ の平凹負レンズ $L f 2_{11}$ 、第 2 前 2 群 $G f 2_2$ の接合レンズ $S U f 2_{21}$ 、第 2 前 3 群 $G f 2_3$ の接合レンズ $S U f 2_{31}$ 、第 2 絞り $S 2$ 、及び、第 2 前 4 群 $G f 2_4$ の正メニスカスレンズ $L f 2_{41}$ を通過して、第 2 前群 $G f 2$ を射出し、その後、後群 $G b$ に入射する。
- [0120] 後群 $G b$ に入射した第 1 光束 $L 1$ 及び第 2 光束 $L 2$ は、それぞれ後 1 群 $G b 1$ の接合レンズ $S U b 1_1$ 、後 2 群 $G b 2$ の両凸正レンズ $L b_3$ 、及び、フィルタ F を通過して像面に入射する。
- [0121] 図 1 7 は、実施例 3 の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。図 1 8 は、実施例 3 の光学系 1 の横収差図である。
- [0122] 実施例 3 の光学系 1 は、図 1 7 に示すように、物体側から像側へ順に、第 1 前群中心軸 $C f 1$ を有する第 1 前群 $G f 1$ 、及び、第 1 前群中心軸 $C f 1$ と並列に配置された第 2 前群中心軸 $C f 2$ を有する第 2 前群 $G f 2$ を有する前群 $G f$ と、単一の後群中心軸 $C b$ を有する後群 $G b$ と、を備える。
- [0123] 第 1 前群 $G f 1$ 及び第 2 前群 $G f 2$ を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。
- [0124] 第 1 前群 $G f 1$ は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $L f 1_{11}$ を有する第 1 前 1 群 $G f 1_1$ と、両凹負レンズ $L f 1_{21}$ と両凸正レンズ $L f 1_{22}$ の接合レンズ $S U f 1_{21}$ を有する第 1 前 2 群 $G f 1_2$ と、第 1 絞り $S 1$ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 1_{31}$ と両凸正レンズ $L f 1_{32}$ の接合レンズ $S U f 1_{31}$ を有する第 1 前 3 群 $G f 1_3$ と、を備えることが好ましい。
- [0125] 第 2 前群 $G f 2$ は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $L f 2_{11}$ を有する第

2 前 1 群 $G f 2_1$ と、両凹負レンズ $L f 2_{21}$ と両凸正レンズ $L f 2_{22}$ の接合レンズ $S U f 2_{21}$ を有する第 2 前 2 群 $G f 2_2$ と、第 2 絞り $S 2$ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 2_{31}$ と両凸正レンズ $L f 2_{32}$ の接合レンズ $S U f 2_{31}$ を有する第 2 前 3 群 $G f 2_3$ と、を備えることが好ましい。

[0126] 後群 $G b$ は、両凸正レンズ $L b_1$ と両凹負レンズ $L b_2$ の接合レンズ $S U b 1_1$ を有する後 1 群 $G b 1$ と、両凸正レンズ $L b_3$ を有する後 2 群 $G b 2$ と、を備える。

[0127] また、像面 I の手前には、フィルタを配置する。

[0128] 第 1 前 1 群 $G f 1_1$ の平凹負レンズ $L f 1_{11}$ は、第 2 前群 $G f 2$ 側を一部切り欠いた第 1 前 1 群第 1 切り欠き部 4_{11} が形成され、第 2 前 1 群 $G f 2_1$ の平凹負レンズ $L f 2_{11}$ は、第 1 前群 $G f 1$ 側を一部切り欠いた第 2 前 1 群第 2 切り欠き部 4_{12} が形成されている。

[0129] なお、第 1 前群 $G f 1$ と第 2 前群 $G f 2$ の当接する切り欠き部の間に遮光部材を設置してもよい。

[0130] 図示しない第 1 物体面から第 1 前群 $G f 1$ に入射した第 1 光束 $L 1$ は、第 1 前 1 群 $G f 1_1$ の平凹負レンズ $L f 1_{11}$ 、第 1 前 2 群 $G f 1_2$ の接合レンズ $S U f 1_{21}$ 、第 1 絞り $S 1$ 、及び、第 1 前 3 群 $G f 1_3$ の接合レンズ $S U f 1_{31}$ を通過して、第 1 前群 $G f 1$ を射出し、その後、後群 $G b$ に入射する。

[0131] 図示しない第 2 物体面から第 2 前群 $G f 2$ に入射した第 2 光束 $L 2$ は、第 2 前 1 群 $G f 2_1$ の平凹負レンズ $L f 2_{11}$ 、第 2 前 2 群 $G f 2_2$ の接合レンズ $S U f 2_{21}$ 、第 2 絞り $S 2$ 、及び、第 2 前 3 群 $G f 2_3$ の接合レンズ $S U f 2_{31}$ を通過して、第 2 前群 $G f 2$ を射出し、その後、後群 $G b$ に入射する。

[0132] 後群 $G b$ に入射した第 1 光束 $L 1$ 及び第 2 光束 $L 2$ は、それぞれ後 1 群 $G b 1$ の接合レンズ $S U b 1_1$ 、後 2 群 $G b 2$ の両凸正レンズ $L b_3$ 、及び、フィルタ F を通過して像面に入射する。

[0133] 図 19 は、実施例 4 の光学系 1 の中心軸 C に沿った断面図である。図 20 は、実施例 4 の光学系 1 の横収差図である。

[0134] 実施例 4 の光学系 1 は、図 19 に示すように、物体側から像側へ順に、第

1 前群中心軸 $C f 1$ を有する第 1 前群 $G f 1$ 、及び、第 1 前群中心軸 $C f 1$ と並列に配置された第 2 前群中心軸 $C f 2$ を有する第 2 前群 $G f 2$ を有する前群 $G f$ と、単一の後群中心軸 $C b$ を有する後群 $G b$ と、を備える。

[0135] 第 1 前群 $G f 1$ 及び第 2 前群 $G f 2$ を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

[0136] 第 1 前群 $G f 1$ は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $L f 1_{11}$ を有する第 1 前 1 群 $G f 1_1$ と、両凹負レンズ $L f 1_{21}$ と両凸正レンズ $L f 1_{22}$ の接合レンズ $S U f 1_{21}$ を有する第 1 前 2 群 $G f 1_2$ と、第 1 絞り $S 1$ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 1_{31}$ と両凸正レンズ $L f 1_{32}$ の接合レンズ $S U f 1_{31}$ を有する第 1 前 3 群 $G f 1_3$ と、を備えることが好ましい。

[0137] 第 2 前群 $G f 2$ は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $L f 2_{11}$ を有する第 2 前 1 群 $G f 2_1$ と、両凹負レンズ $L f 2_{21}$ と両凸正レンズ $L f 2_{22}$ の接合レンズ $S U f 2_{21}$ を有する第 2 前 2 群 $G f 2_2$ と、第 2 絞り $S 2$ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 2_{31}$ と両凸正レンズ $L f 2_{32}$ の接合レンズ $S U f 2_{31}$ を有する第 2 前 3 群 $G f 2_3$ と、を備えることが好ましい。

[0138] 後群 $G b$ は、両凸正レンズ $L b_1$ と両凹負レンズ $L b_2$ の接合レンズ $S U b 1_1$ を有する後 1 群 $G b 1$ と、両凸正レンズ $L b_3$ を有する後 2 群 $G b 2$ と、を備える。

[0139] また、像面 I の手前には、フィルタを配置する。

[0140] 第 1 前 1 群 $G f 1_1$ の平凹負レンズ $L f 1_{11}$ は、第 2 前群 $G f 2$ 側を一部切り欠いた第 1 前 1 群第 1 切り欠き部 4_{11} が形成され、第 2 前 1 群 $G f 2_1$ の平凹負レンズ $L f 2_{11}$ は、第 1 前群 $G f 1$ 側を一部切り欠いた第 2 前 1 群第 2 切り欠き部 4_{12} が形成されている。

[0141] また、第 1 前 3 群 $G f 1_3$ の物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 1_{31}$ と両凸正レンズ $L f 1_{32}$ の接合レンズ $S U f 1_{31}$ は、第 2 前群 $G f 2$ 側を一部切り欠いた第 1 前 3 群第 1 切り欠き部 4_{31} が形成され、第 2 前 3 群 $G f 2_3$ の物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $L f 2_{31}$ と両凸正レンズ $L f 2_{32}$ の接合レンズ $S U f 2_{31}$ は、第 1 前群 $G f 1$ 側を一部切り欠いた第 2 前 3 群第 2

切り欠き部 4_{32} が形成されている。

[0142] なお、第1前群 $Gf1$ と第3前群 $Gf3$ の当接するそれぞれの切り欠き部の間に遮光部材5を設置してもよい。

[0143] 図示しない第1物体面から第1前群 $Gf1$ に入射した第1光束 $L1$ は、第1前1群 $Gf1_1$ の平凹負レンズ $Lf1_{11}$ 、第1前2群 $Gf1_2$ の接合レンズ $SUf1_{21}$ 、第1絞り $S1$ 、及び、第1前3群 $Gf1_3$ の接合レンズ $SUf1_{31}$ を通過して、第1前群 $Gf1$ を射出し、その後、後群 Gb に入射する。

[0144] 図示しない第2物体面から第2前群 $Gf2$ に入射した第2光束 $L2$ は、第2前1群 $Gf2_1$ の平凹負レンズ $Lf2_{11}$ 、第2前2群 $Gf2_2$ の接合レンズ $SUf2_{21}$ 、第2絞り $S2$ 、及び、第2前3群 $Gf2_3$ の接合レンズ $SUf2_{31}$ を通過して、第2前群 $Gf2$ を射出し、その後、後群 Gb に入射する。

[0145] 後群 Gb に入射した第1光束 $L1$ 及び第2光束 $L2$ は、それぞれ後1群 $Gb1$ の接合レンズ $SUb1_1$ 、後2群 $Gb2$ の両凸正レンズ Lb_3 、及び、フィルタ F を通過して像面に入射する。

[0146] 図21は、実施例5の光学系1の中心軸 C に沿った断面図である。図22は、実施例5の光学系1の横収差図である。

[0147] 実施例5の光学系1は、図21に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸 $Cf1$ を有する第1前群 $Gf1$ 、及び、第1前群中心軸 $Cf1$ と並列に配置された第2前群中心軸 $Cf2$ を有する第2前群 $Gf2$ を有する前群 Gf と、単一の後群中心軸 Cb を有する後群 Gb と、を備える。

[0148] 第1前群 $Gf1$ 及び第2前群 $Gf2$ を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

[0149] 第1前群 $Gf1$ は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $Lf1_{11}$ を有する第1前1群 $Gf1_1$ と、両凹負レンズ $Lf1_{21}$ と両凸正レンズ $Lf1_{22}$ の接合レンズ $SUf1_{21}$ を有する第1前2群 $Gf1_2$ と、第1絞り $S1$ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ $Lf1_{31}$ と両凸正レンズ $Lf1_{32}$ の接合レンズ $SUf1_{31}$ を有する第1前3群 $Gf1_3$ と、を備えることが好ましい。

[0150] 第2前群 $Gf2$ は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ $Lf2_{11}$ を有する第

2前1群G f 2₁と、両凹負レンズL f 2₂₁と両凸正レンズL f 2₂₂の接合レンズS U f 2₂₁を有する第2前2群G f 2₂と、第2絞りS 2と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL f 2₃₁と両凸正レンズL f 2₃₂の接合レンズS U f 2₃₁を有する第2前3群G f 2₃と、を備えることが好ましい。

[0151] 後群G bは、像面側に凸面を向けた正メニスカスレンズL b₁を有する後1群G b 1と、両凸正レンズL b₂と両凹負レンズL b₃の接合レンズS U b 2₁を有する後2群G b 2と、を備える。

[0152] また、像面Iの手前には、フィルタを配置する。

[0153] 第1前1群G f 1₁の平凹負レンズL f 1₁₁は、第2前群G f 2側を一部切り欠いた第1前1群第1切り欠き部4₁₁が形成され、第2前1群G f 2₁の平凹負レンズL f 2₁₁は、第1前群G f 1側を一部切り欠いた第2前1群第2切り欠き部4₁₂が形成されている。

[0154] なお、第1前群G f 1と第3前群G f 3の当接するそれぞれの切り欠き部の間に遮光部材を設置してもよい。

[0155] 図示しない第1物体面から第1前群G f 1に入射した第1光束L 1は、第1前1群G f 1₁の平凹負レンズL f 1₁₁、第1前2群G f 1₂の接合レンズS U f 1₂₁、第1絞りS 1、及び、第1前3群G f 1₃の接合レンズS U f 1₃₁を通過して、第1前群G f 1を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0156] 図示しない第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、第2前1群G f 2₁の平凹負レンズL f 2₁₁、第2前2群G f 2₂の接合レンズS U f 2₂₁、第2絞りS 2、及び、第2前3群G f 2₃の接合レンズS U f 2₃₁を通過して、第2前群G f 2を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0157] 後群G bに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ後1群G b 1の正メニスカスレンズL b₁、後2群G b 2の接合レンズS U b 2₁、及び、フィルタFを通過して像面に入射する。

[0158] 図23は、実施例6の遠点観察時の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図24は、実施例6の近点観察時の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図25は、実施例6の遠点観察時の光学系1の横収差図である。

図26は、実施例6の近点観察時の光学系1の第1の瞳E1を通過する偏向第1光束L1'に対する横収差図である。図27は、実施例6の近点観察時の光学系1の第2の瞳E2を通過する偏向第2光束L2'に対する横収差図である。

[0159] 実施例6の光学系1は、図23に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸Cf1を有する第1前群Gf1、及び、第1前群中心軸Cf1と並列に配置された第2前群中心軸Cf2を有する第2前群Gf2を有する前群Gfと、単一の後群中心軸Cbを有する後群Gbと、を備える。

[0160] 第1前群Gf1及び第2前群Gf2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

[0161] 第1前群Gf1は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf1₁₁を有する第1前1群Gf1₁と、両凹負レンズLf1₂₁と両凸正レンズLf1₂₂の接合レンズSUf1₂₁を有する第1前2群Gf1₂と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf1₃₁と両凸正レンズLf1₃₂の接合レンズSUf1₃₁を有する第1前3群Gf1₃と、第1絞りS1と、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf1₄₁を有する第1前4群Gf1₄と、を備えることが好ましい。

[0162] 第2前群Gf2は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf2₁₁を有する第2前1群Gf2₁と、両凹負レンズLf2₂₁と両凸正レンズLf2₂₂の接合レンズSUf2₂₁を有する第2前2群Gf2₂と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf2₃₁と両凸正レンズLf2₃₂の接合レンズSUf2₃₁を有する第2前3群Gf2₃と、第2絞りS2と、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf2₄₁を有する第2前4群Gf2₄と、を備えることが好ましい。

[0163] 後群Gbは、両凸正レンズLb₁と両凹負レンズLb₂の接合レンズSUB1₁を有する後1群Gb1と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズLb₃を有する後2群Gb2と、を備える。

[0164] また、像面Iの手前には、フィルタを配置する。

[0165] 図示しない第1物体面から第1前群Gf1に入射した第1光束L1は、第1前1群Gf1₁の平凹負レンズLf1₁₁、第1前2群Gf1₂の接合レンズS

U f 1₂₁、第1前3群G f 1₃の接合レンズS U f 1₃₁、第1絞りS 1、及び、第1前4群G f 1₄の負メニスカスレンズL f 1₄₁を通過して、第1前群G f 1を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0166] 図示しない第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、第2前1群G f 2₁の平凹負レンズL f 2₁₁、第2前2群G f 2₂の接合レンズS U f 2₂₁、第2前3群G f 2₃の接合レンズS U f 2₃₁、第2絞りS 2、及び、第2前4群G f 2₄の負メニスカスレンズL f 2₄₁を通過して、第2前群G f 2を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0167] 後群G bに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ後1群G b 1の接合レンズS U b 1₁、後2群G b 2の正メニスカスレンズL b₃、及び、フィルタFを通過して像面に入射する。

[0168] 実施例6の光学系1は、図24に示すように、遮蔽部材2及び瞳分割部材3を設置して、近点観察を行うことが可能である。

[0169] 遮蔽部材2は、図23に示した第1光束L 1を遮蔽するものである。図24に示した例では、遮蔽部材2を後群G bの後1群G b 1と後2群G b 2の間に設置したが、遮蔽部材2は、第1前群G f 1のいずれかのレンズ間に設置してもよい。また、遮蔽部材2は、前群G f と後群G bの間に設置してもよい。

[0170] 瞳分割部材3は、図23に示した第2光束L 2のうち一部を偏向せずに結像させる第1の瞳E 1と、第2光束L 2のうち他部を第1の瞳により結像する位置と同一面の異なる位置に結像させる第2の瞳E 2と、を形成する。

[0171] 瞳を分割する瞳分割部材3は、第1の瞳E 1に対応する平行平板部3₁と、第2の瞳E 2に対応する楔状プリズム部3₂と、を有する。瞳分割部材3は、楔状プリズム部3₂が偏向作用を有し、第1の瞳E 1を通る偏向第1光束L 1'の結像位置から同一面内の隣接する位置に第2の瞳E 2を通る偏向第2光束L 2'の結像位置を移動する作用を有する。

[0172] 図28は、実施例7の遠点観察時の光学系1の中心軸Cに沿った断面図である。図29は、実施例7の近点観察時の光学系1の中心軸Cに沿った断面

図である。図30は、実施例7の遠点観察時の光学系1の横収差図である。図31は、実施例7の近点観察時の光学系1の第1の瞳E1を通過する偏向第1光束L1'に対する横収差図である。図32は、実施例7の近点観察時の光学系1の第2の瞳E2を通過する偏向第2光束L2'に対する横収差図である。

[0173] 実施例7の光学系1は、図28に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸Cf1を有する第1前群Gf1、及び、第1前群中心軸Cf1と並列に配置された第2前群中心軸Cf2を有する第2前群Gf2を有する前群Gfと、単一の後群中心軸Cbを有する後群Gbと、を備える。

[0174] 第1前群Gf1及び第2前群Gf2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

[0175] 第1前群Gf1は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf1₁₁を有する第1前1群Gf1₁と、両凹負レンズLf1₂₁と両凸正レンズLf1₂₂の接合レンズSUf1₂₁を有する第1前2群Gf1₂と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf1₃₁と両凸正レンズLf1₃₂の接合レンズSUf1₃₁を有する第1前3群Gf1₃と、第1絞りS1と、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf1₄₁を有する第1前4群Gf1₄と、を備えることが好ましい。

[0176] 第2前群Gf2は、物体側に平面を向けた平凹負レンズLf2₁₁を有する第2前1群Gf2₁と、両凹負レンズLf2₂₁と両凸正レンズLf2₂₂の接合レンズSUf2₂₁を有する第2前2群Gf2₂と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf2₃₁と両凸正レンズLf2₃₂の接合レンズSUf2₃₁を有する第2前3群Gf2₃と、第2絞りS2と、像面側に凸面を向けた負メニスカスレンズLf2₄₁を有する第2前4群Gf2₄と、を備えることが好ましい。

[0177] 後群Gbは、両凸正レンズLb₁と両凹負レンズLb₂の接合レンズSUB1₁を有する後1群Gb1と、両凸正レンズLb₃を有する後2群Gb2と、を備える。

[0178] また、像面Iの手前には、フィルタを配置する。

[0179] 図示しない第1物体面から第1前群Gf1に入射した第1光束L1は、第

第1前1群G f 1₁の平凹負レンズL f 1₁₁、第1前2群G f 1₂の接合レンズS U f 1₂₁、第1前3群G f 1₃の接合レンズS U f 1₃₁、第1絞りS 1、及び、第1前4群G f 1₄の負メニスカスレンズL f 1₄₁を通過して、第1前群G f 1を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0180] 図示しない第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、第2前1群G f 2₁の平凹負レンズL f 2₁₁、第2前2群G f 2₂の接合レンズS U f 2₂₁、第2前3群G f 2₃の接合レンズS U f 2₃₁、第2絞りS 2、及び、第2前4群G f 2₄の負メニスカスレンズL f 2₄₁を通過して、第2前群G f 2を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0181] 後群G bに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ後1群G b 1の接合レンズS U b 1₁、後2群G b 2の両凸正レンズL b₃、及び、フィルタFを通過して像面に入射する。

[0182] 実施例7の光学系1は、図29に示すように、遮蔽部材2及び瞳分割部材3を設置して、近点観察を行うことが可能である。

[0183] 遮蔽部材2は、図28に示した第1光束L 1を遮蔽するものである。図29に示した例では、遮蔽部材2を第1前3群G f 1₃と第1前4群G f 1₄の間の第1絞りS 1の近傍に設置した。

[0184] 瞳分割部材3は、図28に示した第2光束L 2のうち一部を偏向せずに結像させる第1の瞳E 1と、第2光束L 2のうち他部を第1の瞳により結像する位置と同一面の異なる位置に結像させる第2の瞳E 2と、を形成する。

[0185] 瞳を分割する瞳分割部材3は、第1の瞳E 1に対応する平行平板部3₁と、第2の瞳E 2に対応する楔状プリズム部3₂と、を有する。瞳分割部材3は、楔状プリズム部3₂が偏向作用を有し、第1の瞳E 1を通る偏向第1光束L 1'の結像位置から同一面内の隣接する位置に第2の瞳E 2を通る偏向第2光束L 2'の結像位置を移動する作用を有する。

[0186] 実施例7の光学系1では、遮光部材2は、第1前3群G f 1₃と第1前4群G f 1₄の間の第1絞りS 1近傍に配置され、瞳分割部材3は、第2前3群G f 2₃と第2前4群G f 2₄の間の第2絞りS 2近傍に配置される。すなわち、

遮光部材 2 及び瞳分割部材 3 は、第 1 前群 G f 1 と第 2 前群 G f 2 の相対的にそれぞれ対応するレンズ間に配置される。

[0187] 図 3 3 は、実施例 8 の光学系 1 の第 1 前群中心軸 C f 1 及び第 2 前群中心軸 C f 2 を含む断面図である。図 3 4 は、図 3 3 に直交する方向から見た図である。図 3 5 及び図 3 6 は、実施例 8 の光学系 1 の横収差図である。

[0188] 実施例 8 の光学系 1 は、図 3 3 に示すように、物体側から像側へ順に、第 1 前群中心軸 C f 1 を有する第 1 前群 G f 1、及び、第 1 前群中心軸 C f 1 と並列に配置された第 2 前群中心軸 C f 2 を有する第 2 前群 G f 2 を有する前群 G f と、単一の後群中心軸 C b を有する後群 G b と、後群 G b と像面 I の間に配置される後偏向群 G b v と、を備える。

[0189] 第 1 前群 G f 1 及び第 2 前群 G f 2 を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

[0190] 第 1 前群 G f 1 は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 1₁₁ を有する第 1 前 1 群 G f 1₁ と、両凹負レンズ L f 1₂₁ と両凸正レンズ L f 1₂₂ の接合レンズ S U f 1₂₁ を有する第 1 前 2 群 G f 1₂ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 1₃₁ と両凸正レンズ L f 1₃₂ の接合レンズ S U f 1₃₁ を有する第 1 前 3 群 G f 1₃ と、第 1 絞り S 1 と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズ L f 1₁₁ の像側の面は、非球面である。

[0191] 第 2 前群 G f 2 は、物体側に平面を向けた平凹負レンズ L f 2₁₁ を有する第 2 前 1 群 G f 2₁ と、両凹負レンズ L f 2₂₁ と両凸正レンズ L f 2₂₂ の接合レンズ S U f 2₂₁ を有する第 2 前 2 群 G f 2₂ と、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L f 2₃₁ と両凸正レンズ L f 2₃₂ の接合レンズ S U f 2₃₁ を有する第 2 前 3 群 G f 2₃ と、第 2 絞り S 2 と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズ L f 2₁₁ の像側の面は、非球面である。

[0192] 後群 G b は、両凸正レンズ L b₁ と、両凹負レンズ L b₂ と、を有する後 1 群 G b 1 を備えることが好ましい。

[0193] 後偏向群 G b v は、後群 G b と像面 I の間に配置され、第 1 光束 L 1 及び第 2 光束 L 2 を偏向する後偏向部材 L b v を有する。後偏向部材 L b v は、

後群G bを射出した後の第1光束L 1及び第2光束L 2の収束を緩和し、第1光束L 1及び第2光束L 2の像面Iへの入射角の絶対値が後偏向群G b vへの入射角の絶対値より小さくなるように偏向することが好ましい。

[0194] 第1物体面から第1前群G f 1に入射した第1光束L 1は、第1前1群G f 1₁の平凹負レンズL f 1₁₁、第1前2群G f 1₂の接合レンズS U f 1₂₁、第1前3群G f 1₃の接合レンズS U f 1₃₁、及び、第1絞りS 1を通過して、第1前群G f 1を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0195] 第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、第2前1群G f 2₁の平凹負レンズL f 2₁₁、第2前2群G f 2₂の接合レンズS U f 2₂₁、第2前3群G f 2₃の接合レンズS U f 2₃₁、及び、第2絞りS 2を通過して、第2前群G f 2を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0196] 後群G bに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ後1群G b 1の両凸正レンズL b₁、両凹負レンズL b₂、及び、後偏向群G b vの後偏向部材L b vを通過して像面に入射する。

[0197] 実施例8の光学系1では、図33に示すように、後偏向群G b vは、後偏向部材L b vを含み、後偏向部材L b vは、後群中心軸C bに対して外周側に向かうにつれて、後群中心軸C b方向の厚さが厚い光学素子である。

[0198] 屈折作用を有する後偏向部材L b vによって後偏向群G b vを構成することにより、研磨加工や成型によって後偏向群G b vを形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

[0199] また、実施例8では、後偏向部材L b vは、楔プリズム形状の光学素子である。

[0200] 後偏向部材L b vを楔プリズム形状とすることで、後偏向部材L b vの両面を平面で形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

[0201] 図37は、実施例9の光学系1の第1前群中心軸C f 1及び第2前群中心軸C f 2を含む断面図である。図38は、図37に直交する方向から見た図である。図39及び図40は、実施例9の光学系1の横収差図である。

[0202] 実施例9の光学系1は、図37に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸C f 1を有する第1前群G f 1、及び、第1前群中心軸C f 1と並列に配置された第2前群中心軸C f 2を有する第2前群G f 2を有する前群G f と、単一の後群中心軸C bを有する後群G bと、後群G bと像面Iの間に配置される後偏向群G b vと、を備える。

[0203] 第1前群G f 1及び第2前群G f 2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

[0204] 第1前群G f 1は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL f 1₁₁を有する第1前1群G f 1₁と、両凹負レンズL f 1₂₁と両凸正レンズL f 1₂₂の接合レンズS U f 1₂₁を有する第1前2群G f 1₂と、両凹負レンズL f 1₃₁と両凸正レンズL f 1₃₂の接合レンズS U f 1₃₁を有する第1前3群G f 1₃と、両凸正レンズL f 1₄₁を有する第1前4群G f 1₄と、第1絞りS 1と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズL f 1₁₁の像側の面は、非球面である。

[0205] 第2前群G f 2は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL f 2₁₁を有する第2前1群G f 2₁と、両凹負レンズL f 2₂₁と両凸正レンズL f 2₂₂の接合レンズS U f 2₂₁を有する第2前2群G f 2₂と、両凹負レンズL f 2₃₁と両凸正レンズL f 2₃₂の接合レンズS U f 2₃₁を有する第2前3群G f 2₃と、両凸正レンズL f 2₄₁を有する第2前4群G f 2₄と、第2絞りS 2と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズL f 2₁₁の像側の面は、非球面である。

[0206] 後群G bは、両凸正レンズL b₁と両凹負レンズL b₂の接合レンズS U b 1₁を有する後1群G b 1を備えることが好ましい。

[0207] 後偏向群G b vは、後群G bと像面Iの間に配置され、第1光束L 1及び第2光束L 2を偏向する後偏向部材L b vを有する。後偏向部材L b vは、後群G bを射出した後の第1光束L 1及び第2光束L 2の収束を緩和し、第1光束L 1及び第2光束L 2の像面Iへの入射角の絶対値が後偏向群G b vへの入射角の絶対値より小さくなるように偏向することが好ましい。

[0208] 第1物体面から第1前群G f 1に入射した第1光束L 1は、第1前1群G f 1₁の平凹負レンズL f 1₁₁、第1前2群G f 1₂の接合レンズS U f 1₂₁、第

第1前群G f 1₃の接合レンズS U f 1₃₁、及び、第1絞りS 1を通過して、第1前群G f 1を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0209] 第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、第2前1群G f 2₁の平凹負レンズL f 2₁₁、第2前2群G f 2₂の接合レンズS U f 2₂₁、第2前3群G f 2₃の接合レンズS U f 2₃₁、及び、第2絞りS 2を通過して、第2前群G f 2を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0210] 後群G bに入射した第1光束L 1及び第2光束L 2は、それぞれ後1群G b 1の接合レンズS U b 1₁₁、及び、後偏向群G b vの後偏向部材L b vを通過して像面に入射する。

[0211] 実施例9の光学系1では、図37に示すように、後偏向群G b vは、後偏向部材L b vを含み、後偏向部材L b vは、後群中心軸C bに対して外周側に向かうにつれて、後群中心軸C b方向の厚さが厚い光学素子である。

[0212] 屈折作用を有する後偏向部材L b vによって後偏向群G b vを構成することにより、研磨加工や成型によって後偏向群G b vを形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

[0213] また、実施例9では、後偏向部材L b vは、楔プリズム形状の光学素子である。

[0214] 後偏向部材L b vを楔プリズム形状とすることで、後偏向部材L b vの両面を平面で形成することができ、制作性を格段に向上させることが可能となる。

[0215] 図41は、実施例10の光学系1の第1前群中心軸C f 1及び第2前群中心軸C f 2を含む断面図である。図42は、図41に直交する方向から見た図である。図43及び図44は、実施例10の光学系1の横収差図である。

[0216] 実施例10の光学系1は、図41に示すように、物体側から像側へ順に、第1前群中心軸C f 1を有する第1前群G f 1、及び、第1前群中心軸C f 1と並列に配置された第2前群中心軸C f 2を有する第2前群G f 2を有する前群G f と、単一の後群中心軸C bを有する後群G bと、後群G bと像面Iの間に配置される後偏向群G b vと、を備える。

[0217] 第1前群G f 1及び第2前群G f 2を並列に配置することにより、立体観察が可能となる。

[0218] 第1前群G f 1は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL f 1₁₁を有する第1前1群G f 1₁と、両凹負レンズL f 1₂₁と両凸正レンズL f 1₂₂の接合レンズS U f 1₂₁を有する第1前2群G f 1₂と、両凹負レンズL f 1₃₁と両凸正レンズL f 1₃₂の接合レンズS U f 1₃₁を有する第1前3群G f 1₃と、両凸正レンズL f 1₄₁を有する第1前4群G f 1₄と、第1絞りS 1と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズL f 1₁₁の像側の面は、非球面である。

[0219] 第2前群G f 2は、物体側に平面を向けた平凹負レンズL f 2₁₁を有する第2前1群G f 2₁と、両凹負レンズL f 2₂₁と両凸正レンズL f 2₂₂の接合レンズS U f 2₂₁を有する第2前2群G f 2₂と、両凹負レンズL f 2₃₁と両凸正レンズL f 2₃₂の接合レンズS U f 2₃₁を有する第2前3群G f 2₃と、両凸正レンズL f 2₄₁を有する第2前4群G f 2₄と、第2絞りS 2と、を備えることが好ましい。なお、平凹負レンズL f 2₁₁の像側の面は、非球面である。

[0220] 後群G bは、両凸正レンズL b₁と像面I側に凸面を向けた負メニスカスレンズL b₂の接合レンズS U b 1₁₁を有する後1群G b 1を備えることが好ましい。

[0221] 後偏向群G b vは、後群G bと像面Iの間に配置され、第1光束L 1及び第2光束L 2を偏向する後偏向部材L b vを有する。後偏向部材L b vは、後群G bを射出した後の第1光束L 1及び第2光束L 2の収束を緩和し、第1光束L 1及び第2光束L 2の像面Iへの入射角の絶対値が後偏向群G b vへの入射角の絶対値より小さくなるように偏向することが好ましい。

[0222] 第1物体面から第1前群G f 1に入射した第1光束L 1は、第1前1群G f 1₁の平凹負レンズL f 1₁₁、第1前2群G f 1₂の接合レンズS U f 1₂₁、第1前3群G f 1₃の接合レンズS U f 1₃₁、及び、第1絞りS 1を通過して、第1前群G f 1を射出し、その後、後群G bに入射する。

[0223] 第2物体面から第2前群G f 2に入射した第2光束L 2は、第2前1群G f 2₁の平凹負レンズL f 2₁₁、第2前2群G f 2₂の接合レンズS U f 2₂₁、第

2 前群 $G f 2_3$ の接合レンズ $S U f 2_{31}$ 、及び、第 2 絞り $S 2$ を通過して、第 2 前群 $G f 2$ を射出し、その後、後群 $G b$ に入射する。

[0224] 後群 $G b$ に入射した第 1 光束 $L 1$ 及び第 2 光束 $L 2$ は、それぞれ後 1 群 $G b 1$ の接合レンズ $S U b 1_{11}$ 、及び、後偏向群 $G b v$ の後偏向部材 $L b v$ を通過して像面に入射する。

[0225] 実施例 10 の光学系 1 では、図 4 1 に示すように、後偏向群 $G b v$ は、曲面を有する光学素子を含む。

[0226] 後偏向部材 $L b v$ が曲面を含むことで、像面に入射する光束の角度をより自由に設定することが可能となる。また、後群 $G b$ を射出した後の各像高の主光線のテレセントリック性及び像面湾曲を改善することが可能となる。さらに、好ましくは、曲面は球面、トーリック面、アナモルフィック面、又は自由曲面でもよい。

[0227] なお、後偏向部材 $L b v$ は、どの実施例にも配置することが可能である。

[0228] 以下に、上記実施例 1 ～実施例 10 の構成パラメータを示す。

[0229] 座標系は、面ごとに定義される。その面が定義される座標系の原点 O から各中心軸で像面に向かう方向を Z 軸正方向とする。また、同じ面上で第 2 前群中心軸 $C f 2$ から第 1 前群中心軸 $C f 1$ へ向かう方向を X 軸正方向とする。さらに、 Y 軸正方向は、右手系の座標系で定義する。

[0230] 各実施例の光学系を構成する光学作用面の中、特定の面とそれに続く面が共軸光学系を構成する場合には面間隔が与えられており、その他、面の曲率半径、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。

[0231] 偏心面については、その面が定義される座標系の原点 O からの偏心量 (X 軸方向、 Y 軸方向、 Z 軸方向をそれぞれ X 、 Y 、 Z) と、原点 O に定義される座標系の X 軸、 Y 軸、 Z 軸それぞれを中心とする各面を定義する座標系の傾き角 (それぞれ α 、 β 、 γ ($^\circ$)) とが与えられている。その場合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 γ の正は Z 軸の正方向に対して時計回りを意味する。なお、面の中心軸の α 、 β 、 γ の回転のさせ方は、各面を定義する座標系を光学系の原点に定義される座標系のまず X

軸の回りで反時計回りに α 回転させ、次に、その回転した新たな座標系のY軸の回りで反時計回りに β 回転させ、次いで、その回転した別の新たな座標系のZ軸の回りで時計回りに γ 回転させるものである。

[0232] 屈折率、アッベ数については、d線（波長587.56nm）に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。各面の偏心は、上記のように、基準面からの偏心量で表わす。曲率半径に記載する“ ∞ ”は、無限大であることを示している。

[0233] 本実施形態で用いられる非球面データには、面データ中、非球面形状としたレンズ面に関するデータが示されている。非球面形状は、zを光の進行方向を正とした光軸とし、yを光軸と直交する方向にとると以下の式（a）にて表される。

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + K) \cdot (y / r)^2\}^{1/2}] + A4y^4 + A6y^6 + A8y^8 + A10y^{10} \dots \quad (a)$$

[0234] ただし、rは近軸曲率半径、Kは円錐係数、A4、A6、A8はそれぞれ4次、6次、8次の非球面係数である。なお、記号“e”は、それに続く数値が10を底にもつ、べき指数であることを示している。例えば「1.0e-5」は「1.0×10⁻⁵」であることを意味している。

[0235] また、本実施形態で用いられる自由曲面FFSの形状は、以下の式（b）で定義されるものである。なお、その定義式のZが自由曲面FFSのZ軸となる。なお、データの記載されていない係数項は0である。

$$[0236] \quad Z = (r^2 / R) / [1 + \sqrt{1 - (1 + k) (r / R)^2}]$$

66

$$+ \sum_{j=1} C_j X^m Y^n \dots \quad (b)$$

ここで、（a）式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

また、球面項中、

R：頂点の曲率半径

k：コーニック定数（円錐定数）

$$r = \sqrt{(X^2 + Y^2)}$$

である。

[0237] 自由曲面項は、

66

$$\sum_{j=1} C_j X^m Y^n$$

j=1

$$= C_1$$

$$+ C_2 X + C_3 Y$$

$$+ C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2$$

$$+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3$$

$$+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4$$

$$+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4$$

$$+ C_{21} Y^5$$

$$+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4$$

$$+ C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6$$

$$+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4$$

$$+ C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7$$

.....

ただし、 C_j (j は 1 以上の整数) は係数である。

[0238] また、上記定義式 (b) は、前述のように 1 つの例として示したものであり、本発明の自由曲面は、回転非対称な面を用いることで偏心により発生する回転非対称な収差を補正し、同時に製作性も向上させるということが特徴であり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

[0239] 実施例 1

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	16.000			
1	∞	0.600		1.8830	40.7

2	1.780	0.805		
3	-1.761	0.600	1.8830	40.7
4	3.212	1.000	1.9229	18.9
5	-4.531	1.816		
6	4.215	0.600	1.8830	40.7
7	1.261	0.800	1.4875	70.2
8	-4.965	0.200		
9	絞り面	0.600		
10	-4.839	1.000	1.4875	70.2
11	-1.839	0.300		
12	基準面	0.000	偏心(1)	
13	5.239	2.800	1.8467	23.8
14	-7.173	1.000	1.9229	18.9
15	3.535	0.500		
16	5.438	3.779	1.8830	40.7
17	-13.184	0.500		
18	∞	1.000	1.5163	64.1
19	∞	0.100		
像 面	∞		偏心(2)	

偏心[1]

X 2.00 Y 0.00 Z 0.00

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心[2]

X -0.70 Y -0.00 Z 0.00

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

仕様

基線長（入射瞳間隔） 4mm

画角（対角） 140°

絞り径	$\phi 1.0\text{mm}$
像の大きさ	$\phi 1.00\text{mm}$
焦点距離	1.105mm
有効Fno	5.07

[0240] 実施例 2

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	16.000			
1	∞	0.600		1.8830	40.7
2	2.078	1.760			
3	-3.800	0.600		1.8830	40.7
4	4.946	0.800		1.9229	18.9
5	-5.853	3.717			
6	6.030	0.600		1.8830	40.7
7	1.228	0.800		1.4875	70.2
8	-4.995	0.200			
9	絞り面	0.600			
10	-5.355	0.800		1.4875	70.2
11	-1.740	0.300			
12	基準面	0.000	偏心(1)		
13	4.806	1.908		1.8467	23.8
14	-19.258	1.000		1.9229	18.9
15	3.473	0.290			
16	6.706	4.035		1.8830	40.7
17	-79.279	0.500			
18	∞	1.000		1.5163	64.1
19	∞	0.100			
像 面	∞		偏心(2)		
	偏心[1]				

X 1.50 Y 0.00 Z 0.00

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心[2]

X -0.70 Y 0.00 Z 0.00

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

仕様

基線長（入射瞳間隔） 3mm

画角（対角） 140°

絞り径 ϕ 1.0mm

像の大きさ ϕ 1.00mm

焦点距離 1.035mm

有効Fno 4.67

[0241] 実施例3

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	16.000			
1	∞	0.600		1.8830	40.7
2	1.646	1.515			
3	-6.519	0.600		1.8830	40.7
4	1.829	1.000		1.9229	18.9
5	-129.380	5.136			
6	絞り面	0.00			
7	2.007	0.600		1.8830	40.7
8	1.216	1.000		1.4875	70.2
9	-5.462	0.200			
10	基準面	0.000	偏心(1)		
11	6.267	1.200		1.8973	22.4
12	-6.950	1.000		1.9229	18.9
13	4.982	0.467			

14	18.257	4.437	1.9229	18.9
15	-19.936	0.500		
16	∞	1.000	1.5163	64.1
17	∞	0.100		
像 面	∞		偏心(2)	

偏心[1]

X	1.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心[2]

X	-0.70	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

仕様

基線長（入射瞳間隔）	2mm
画角（対角）	140°
絞り径	$\phi 1.0\text{mm}$
像の大きさ	$\phi 1.00\text{mm}$
焦点距離	1.046mm
有効Fno	5.82

[0242] 実施例 4

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	16.000			
1	∞	0.600		1.8830	40.7
2	1.407	2.216			
3	-72.977	0.500		1.8830	40.7
4	2.693	1.000		1.8081	22.8
5	-4.310	0.692			
6	絞り面	0.544			
7	6.678	0.500		1.9229	18.9

8	1.719	0.800	1.7880	47.3
9	-3.971	0.200		
10	基準面	0.000	偏心(1)	
11	3.866	1.200	1.6204	60.3
12	-222.046	1.000	1.8830	40.7
13	3.239	0.400		
14	5.702	1.000	1.8830	40.7
15	-38.833	0.200		
16	∞	1.000	1.5163	64.1
17	∞	0.100		

像 面 ∞ 偏心(2)

偏心[1]

X	1.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心[2]

X	-0.70	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

仕様

基線長（入射瞳間隔）	2mm
画角（対角）	120°
絞り径	$\phi 0.9\text{mm}$
像の大きさ	$\phi 1.00\text{mm}$
焦点距離	1.104mm
有効Fno	3.80

[0243] 実施例 5

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	16.000			
1	∞	0.600		1.8830	40.7

2	1.246	1.495		
3	-10.577	0.500	1.8830	40.7
4	1.366	0.800	1.8081	22.8
5	-2.947	0.505		
6	絞り面	0.100		
7	25.912	0.500	1.9229	18.9
8	1.481	0.800	1.8348	42.7
9	-2.651	0.800		
10	基準面	0.000	偏心(1)	
11	-3.172	1.400	1.8830	40.7
12	-3.593	0.100		
13	5.111	2.000	1.7620	40.1
14	-3.683	0.800	1.8467	23.8
15	58.674	0.500		
16	∞	1.000	1.5163	64.1
17	∞	0.100		

像 面 ∞ 偏心(2)

偏心[1]

X	1.00	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心[2]

X	-0.70	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

仕様

基線長（入射瞳間隔） 2mm

画角（対角） 120°

絞り径 $\phi 0.9\text{mm}$

像の大きさ $\phi 1.00\text{mm}$

焦点距離 1.107mm

有効Fno 3.560

[0244] 実施例 6

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	16.000			
1	∞	0.600		1.8830	40.7
2	2.255	1.167			
3	-4.055	0.600		1.8830	40.7
4	3.656	1.600		1.9229	18.9
5	-6.965	12.026			
6	100.005	0.600		1.5481	45.8
7	1.473	1.200		1.5400	59.4
8	-7.807	0.200			
9	絞り面	0.300	偏心(1)	硝材(1)	
10	∞	0.300	偏心(2)		
11	-3.278	0.800		1.9229	18.9
12	-3.472	0.300			
13	基準面	0.000	偏心(3)		
14	11.239	5.000	偏心(3)	1.6400	60.1
15	-4.949	0.800		1.6398	34.5
16	33.704	5.707			
17	5.562	2.200		1.9229	18.9
18	151.444	0.500			
19	∞	1.000		1.5163	64.1
20	∞	0.100			
像 面	∞		偏心(4)		

8面の面間隔

分割無し 第1の瞳E1 第2の瞳E2

d8 0.20 0.20 0.10

9面の面間隔

分割無し 第 1 の瞳 E 1 第 2 の瞳 E 2

d9 0.30 0.30 0.40

10面の曲率半径

分割無し 第 1 の瞳 E 1 第 2 の瞳 E 2

R10 ∞ -202.184 -202.184

9面の硝材 (1)

分割無し 第 1 の瞳 E 1 第 2 の瞳 E 2

屈折率 9 1.0000 1.8830 1.8830

アッベ数 9 40.7 40.7

偏心[1]

分割無し 第 1 の瞳 E 1 第 2 の瞳 E 2

X 0.00 0.50 -0.50

β 0.00 0.00 -13.67

偏心[2]

分割無し 第 1 の瞳 E 1 第 2 の瞳 E 2

X 0.00 0.50 -0.50

β 0.00 0.00 -2.12

偏心[3]

X 3.00 Y 0.00 Z 0.00

β 0.00 β 0.00 γ 0.00

偏心[4]

X -0.70 Y 0.00 Z 0.00

β 0.00 β 0.00 γ 0.00

仕様

第 1 の瞳 E 1 第 2 の瞳 E

基線長（入射瞳間隔）	6mm	0.135mm	
画角（対角）	140°		
絞り径	$\phi 2.0\text{mm}$	$\phi 1.0\text{mm}$	$\phi 1.0\text{mm}$
像の大きさ	$\phi 1.00$		
焦点距離	1.040mm	1.057mm	1.058mm
有効Fno	3.85	7.84	8.07

[0245] 実施例 7

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	16.000			
1	∞	0.600		1.8830	40.7
2	1.684	0.900			
3	-3.162	0.600		1.8830	40.7
4	2.965	1.600		1.9229	18.9
5	-4.780	5.255			
6	16.321	0.600		1.6668	33.0
7	1.575	1.600		1.5638	60.6
8	-3.483	0.200			
9	絞り面	0.300	偏心(1)	硝材(1)	
10	∞	0.300	偏心(2)		
11	-2.604	0.800		1.9229	18.9
12	-2.726	0.300			
13	基準面	0.000	偏心(3)		
14	8.115	2.800		1.6935	53.2
15	-3.245	0.800		1.6889	31.1
16	6.452	2.914			
17	4.652	1.600		1.9229	18.9
18	-66.351	0.500			
19	∞	1.000		1.5163	64.1

20	∞	0.100
像 面	∞	偏心(4)

8面の面間隔

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
d8	0.20	0.10	0.20

9面の面間隔

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
d9	0.30	0.40	0.30

10面の曲率半径

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
d10	∞	-202.184	-202.184

9面の硝材 (1)

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
屈折率 9	1.0000	1.8830	1.8830
アッベ数 9		40.7	40.7

偏心[1]

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
X	0.00	0.50	-0.50
β	0.00	0.00	-13.666

偏心[2]

	分割無し	第 1 の瞳 E 1	第 2 の瞳 E 2
X	0.00	0.50	-0.50
β	0.00	0.00	-2.120

偏心[3]

X	1.50	Y	0.00	Z	0.00
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心[4]

X	-0.70	Y	0.00	Z	0.00
---	-------	---	------	---	------

α 0.00 β 0.00 γ 0.00

仕様

第 1 の瞳 E 1 第 2 の瞳 E

2

基線長（入射瞳間隔）	3mm	0.152mm	
画角（対角）	140°		
絞り径	ϕ 1.6mm	ϕ 0.8mm	ϕ 0.8mm
像の大きさ	ϕ 1.00		
焦点距離	1.032mm	1.029mm	1.033mm
有効Fno	3.40	6.83	6.94

[0246] 実施例 8

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	20.000			
1	∞	0.500		1.8830	40.7
2	非球面[1]	1.439			
3	-39.792	0.500		1.8830	40.7
4	1.534	0.900		1.7847	25.7
5	-4.963	0.100			
6	4.316	0.500		1.9229	18.9
7	1.596	0.900		1.5831	59.4
8	-1.806	0.050			
9	絞り面	0.000			
10	基準面	0.000	偏心(1)		
11	2.834	1.200		1.5831	59.4
12	-46.290	0.878			
13	-40.929	0.600		1.9229	18.9
14	5.915	0.383			
15	∞	1.100	偏心(2)	1.5163	64.1

16 ∞ 0.150 偏心(3)
 像 面 ∞ 偏心(3)

非球面[1]

曲率半径 0.717

k -2.2311e-001

偏心[1]

X 1.000 Y 0.000 Z 0.000

α 0.000 β 0.000 γ 0.000

偏心[2]

X -0.600 Y 0.000 Z 0.000

α 0.000 β 19.443 γ 0.000

偏心[3]

X -0.600 Y 0.000 Z 0.000

α 0.000 β 0.000 γ 0.000

仕様

基線長（入射瞳間隔） 2.0mm

画角（対角） 90°

絞り径 ϕ 1.05mm

像の大きさ ϕ 1.41mm(1.00×1.00)

焦点距離 0.809mm

有効Fno 3.422

[0247] 実施例 9

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	20.000			
1	∞	0.500		1.8830	40.7
2	非球面[1]	0.286			
3	-3.513	0.500		1.8830	40.7
4	1.534	0.900		1.8591	20.1

5	-2.632	0.434		
6	-1.826	0.500	1.8927	31.6
7	1.534	0.900	1.4875	70.4
8	-1.664	0.050		
9	16.256	0.800	1.5589	64.0
10	-1.792	0.000		
11	絞り面	0.000		
12	基準面	0.000	偏心(1)	
13	3.533	1.500	1.6204	60.3
14	-3.617	0.800	1.5739	37.6
15	7.980	1.580		
16	∞	1.100	偏心(2)	1.5163 64.1
17	∞	0.150	偏心(3)	
像 面	∞		偏心(3)	

非球面[1]

曲率半径 0.989

k 7.8037e-001

偏心[1]

X	1.100	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[2]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	18.532	γ	0.000

偏心[3]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

仕様

基線長（入射瞳間隔） 2.2mm

画角（対角）	90°
絞り径	$\phi 1.15\text{mm}$
像の大きさ	$\phi 1.41\text{mm}(1.00 \times 1.00)$
焦点距離	0.828mm
有効Fno	3.55

[0248] 実施例 10

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	20.000			
1	∞	0.500		1.8830	40.7
2	非球面[1]	0.310			
3	-13.875	0.500		1.8830	40.7
4	1.534	0.900		1.9229	18.9
5	-2.178	0.100			
6	-1.493	0.500		1.8952	29.8
7	1.534	0.900		1.5714	63.1
8	-1.727	0.050			
9	17.392	0.800		1.4983	69.2
10	-1.738	0.000			
11	絞り面	0.000			
12	基準面	0.000	偏心(1)		
13	4.077	1.500		1.5539	64.4
14	-2.378	0.800		1.5659	42.4
15	-23.139	1.298			
16	FFS[1]	1.100	偏心(2)	1.5163	64.1
17	∞	0.150	偏心(3)		
像 面	∞		偏心(3)		

非球面[1]

曲率半径 0.851

k -7.6361e-002

FFS[1]

C4	2.0964e-001	C6	1.6540e-001	C7	4.9915e-024
C9	5.6305e-023	C67	8.0000e+000		

偏心[1]

X	1.100	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

偏心[2]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	11.462	γ	0.000

偏心[3]

X	-0.600	Y	0.000	Z	0.000
α	0.000	β	0.000	γ	0.000

仕様

基線長（入射瞳間隔）	2.2mm
画角（対角）	90°
絞り径	ϕ 1.15mm
像の大きさ	ϕ 1.41mm(1.00×1.00)
撮像面の大きさ	ϕ 2.42
焦点距離	0.914mm
有効Fno	3.37

[0249] 上記実施例1～10について、条件式（1）及び（2）の値を下記に示しておく。

[0250] 条件式	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4
(1) $F A b / f$	15.723	12.444	7.805	36.816
(2) $L b / f$	1.448	1.546	1.530	1.538
[0251] 条件式	実施例5	実施例6	実施例7	実施例8
(1) $F A b / f$	12.491	4.524	4.459	9.951

	(2) L_b / f	1.551	0.871	1.144	2.019
[0252]	条件式	実施例 9	実施例 10		
	(1) $F A_b / f$	11.964	9.239		
	(2) L_b / f	3.418	2.788		

[0253] 以下に、本実施形態の光学系 1 の適用例を説明する。

[0254] 図 4 5 は、本実施形態の光学系を自動車の撮像装置として用いた例を示す図である。

[0255] 図 4 5 (a) は、自動車 130 の前方に撮像装置として本実施形態にかかる光学系 1 を取り付けて、車内の表示装置に各光学系 1 を経て撮影された画像を、画像処理を施して歪みを補正して同時に表示するようにした例を示す図であり、図 4 5 (b) は、自動車 130 の各コーナやヘッド部のポールの頂部に撮像装置として本実施形態にかかる光学系 1 を複数取り付けて、車内の表示装置に各光学系 1 を経て撮影された画像を、画像処理を施して歪みを補正して同時に立体的に表示するようにした例を示す図である。

[0256] 図 4 6 は、本実施形態の光学系を内視鏡先端の撮影光学系として用いた例を示す図である。

[0257] 図 4 6 は、内視鏡先端の撮影光学系として本実施形態にかかる光学系 1 を用いた例を示すための図である。図 4 6 (a) は、硬性内視鏡 110 の先端に本実施形態にかかる光学系 1 を取り付けて 360° 全方位の画像を立体的に撮像観察する例である。図 4 6 (b) にその先端の概略の構成を示す。また、図 4 6 (c) は、軟性電子内視鏡 113 の先端に本発明による本実施形態にかかる光学系 1 を同様に取り付けて、撮影された画像を、表示装置 114 に画像処理を施して歪みを補正して立体的に表示するようにした例である。

[0258] 図 4 6 に示すように、内視鏡に光学系 1 を用いることにより、全方位の画像を立体的に撮像観察することができ、従来と異なる角度から様々な部位を立体的に撮像観察することができる。

[0259] 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、それぞれの実施形態の構成を適宜組み合わせ構成した実施形態も本発明の範疇となるものである。

符号の説明

[0260] 1 …光学系

G f …前レンズ群

G b …後レンズ群

S 1 …第1 絞り

S 2 …第2 絞り

I …像面

請求の範囲

- [請求項1] 物体側から像面側へ順に、
- 第1前群中心軸を中心とする第1前群及び前記第1前群中心軸に並列する第2前群中心軸を中心とする第2前群を有する前群と、
- 単一の後群中心軸を中心とする後群と、
- を備え、
- 前記第1前群を通過した第1光束の中心主光線及び前記第2前群を通過した第2光束の中心主光線は、前記後群を射出後、前記像面に到達するまで互いに交差しない
- ことを特徴とする光学系。
- [請求項2] 前記第1光束及び前記第2光束は、前記後群を射出後、前記像面に到達するまで互いに交差しない収束光である請求項1に記載の光学系。
- [請求項3] 前記第1前群中心軸と前記第2前群中心軸の間隔は、前記像面での前記第1光束の中心と前記像面での前記第2光束の中心の間隔より広い
- 請求項1又は2に記載の光学系。
- [請求項4] 前記後群と前記像面の間に配置され、前記第1光束及び前記第2光束を偏向する後偏向群を有し、
- 前記後偏向群は、前記後群を射出した後の前記第1光束及び前記第2光束の収束を緩和し、前記第1光束及び前記第2光束の前記像面への入射角の絶対値が前記後偏向群への入射角の絶対値より小さくなるように偏向する
- 請求項1乃至3のいずれか1つに記載の光学系。
- [請求項5] 前記後偏向群は、前記第1光束を偏向する第1後偏向群と、前記第2光束を偏向する第2後偏向群と、を含む
- 請求項4に記載の光学系。
- [請求項6] 前記後偏向群は、後偏向部材を含み、

前記後偏向部材は、前記後中心軸に対して外周側に向かうにつれて、前記後中心軸方向の厚さが厚い光学素子である請求項 4 又は 5 に記載の光学系。

[請求項 7] 前記後偏向部材は、楔プリズム形状の光学素子である請求項 6 に記載の光学系。

[請求項 8] 前記後偏向部材は、曲面を含む請求項 6 に記載の光学系。

[請求項 9] 前記後偏向群は、回折光学素子を含む請求項 4 乃至 8 のいずれか 1 つに記載の光学系。

[請求項 10] 前記第 1 前群及び前記第 2 前群は、前記物体側から前記像面側へ順に、それぞれ負の屈折力を有する前 1 群と、正の接合レンズを含む前 2 群と、を有する請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 つに記載の光学系。

[請求項 11] 前記前 1 群は、物体側に平面を向けた平凹負レンズからなり、前記前 2 群の接合レンズは、物体側に凸面を向けた正の接合メニスカスレンズからなる請求項 10 に記載の光学系。

[請求項 12] 前記第 1 前群及び前記第 2 前群は、それぞれ、前記前 2 群の前記後群側に前記前 2 群とは異なる正の接合レンズを含む前 3 群を有することを特徴とする請求項 10 又は 11 に記載の光学系。

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

$$F A b / f < 50 \quad (1)$$

ただし、

$F A b$ は、前記前群最終面から前記前群を射出する光束が結像する結像位置までの距離、

f は、光学系全系の焦点距離、
である。

[請求項14] 以下の条件式（2）を満足することを特徴とする請求項1乃至13のいずれか1つに記載の光学系。

$$Lb / f < 5 \quad (2)$$

ただし、

Lb は、前記後群最終面から前記像面までの距離、
f は、光学系全系の焦点距離、
である。

[請求項15] 第1前群に配置され前記第1光束を遮光する遮光部材と、
第2前群に配置され前記第2光束を偏向する瞳分割部材と、
を備える
ことを特徴とする請求項1乃至請求項14のいずれか1つに記載の光学系。

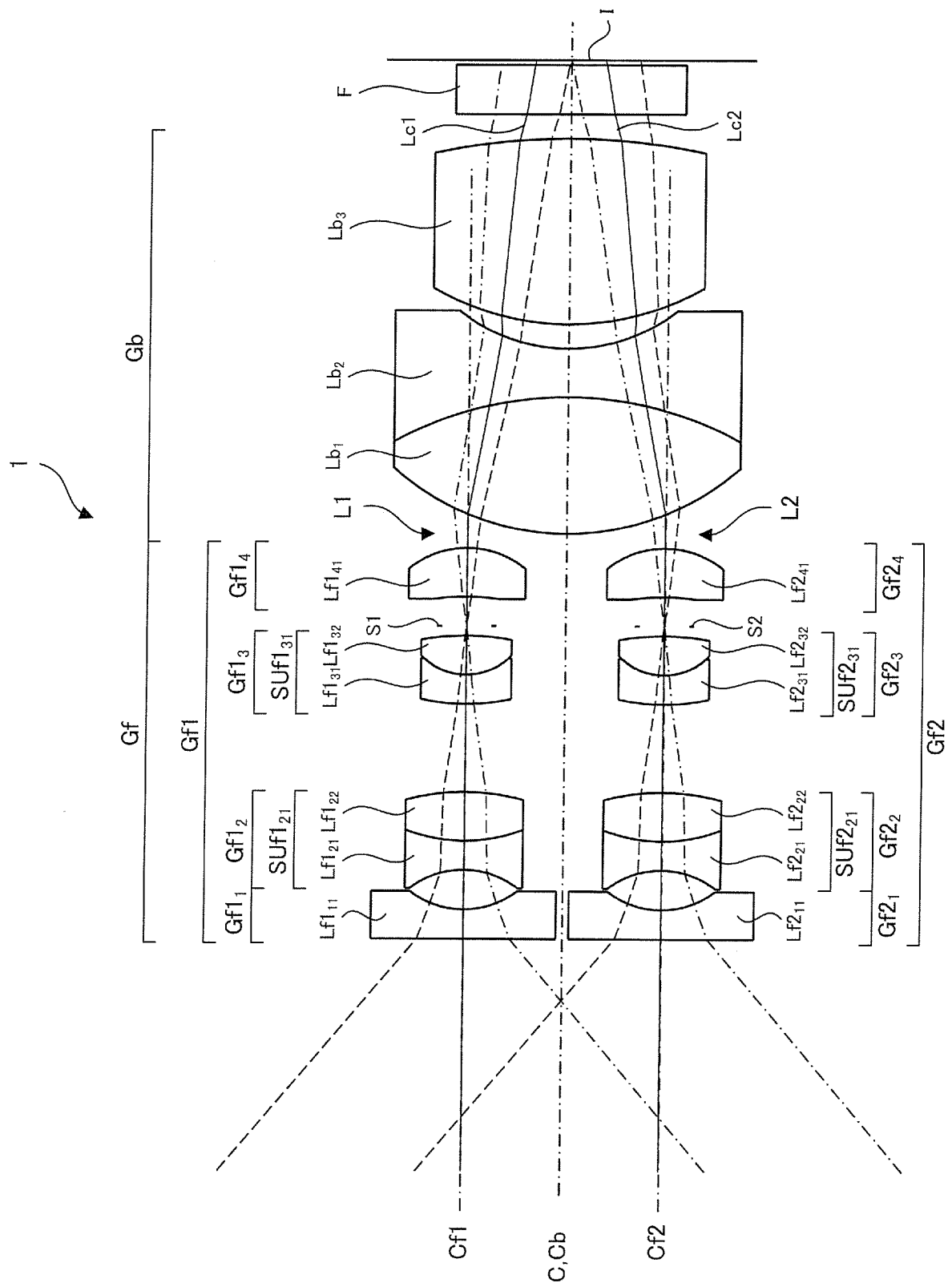
[請求項16] 前記瞳分割部材は、
前記第2光束のうち一部を偏向せずに結像させる第1の瞳と、
前記第2光束のうち他部を前記第1の瞳により結像する位置と同一面の異なる位置に結像させる第2の瞳と、
を有する
ことを特徴とする請求項15に記載の光学系。

[請求項17] 前記瞳分割部材は、正の屈折力を有し、
前記瞳分割部材を使用しない近点の結像位置と、前記瞳分割部材を使用する遠点の結像位置と、が同一である
ことを特徴とする請求項15又は16に記載の光学系。

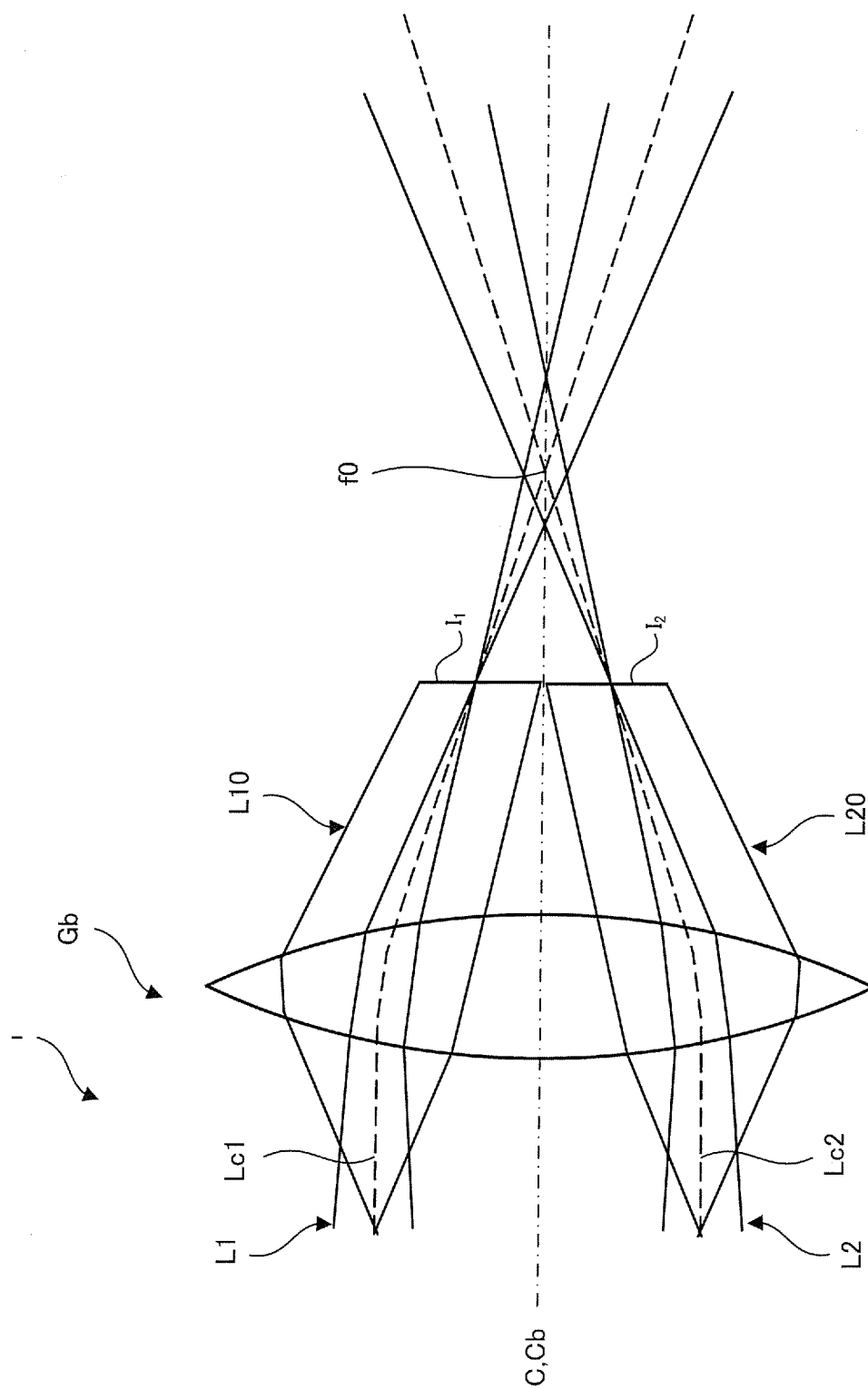
[請求項18] 前記遮光部材及び前記瞳分割部材は、前記第1前群と第2前群の相対的にそれぞれ対応するレンズ間に配置される
ことを特徴とする請求項15乃至17のいずれか1つに記載の光学系。
。

- [請求項19] 請求項1乃至請求項18のいずれか1項に記載の光学系と、撮像素子と、を備える立体撮像装置。
- [請求項20] 前記撮像素子は、単一の素子からなる請求項19に記載の立体撮像装置。
- [請求項21] 請求項19又は20に記載の立体撮像装置を備えることを特徴とする内視鏡。

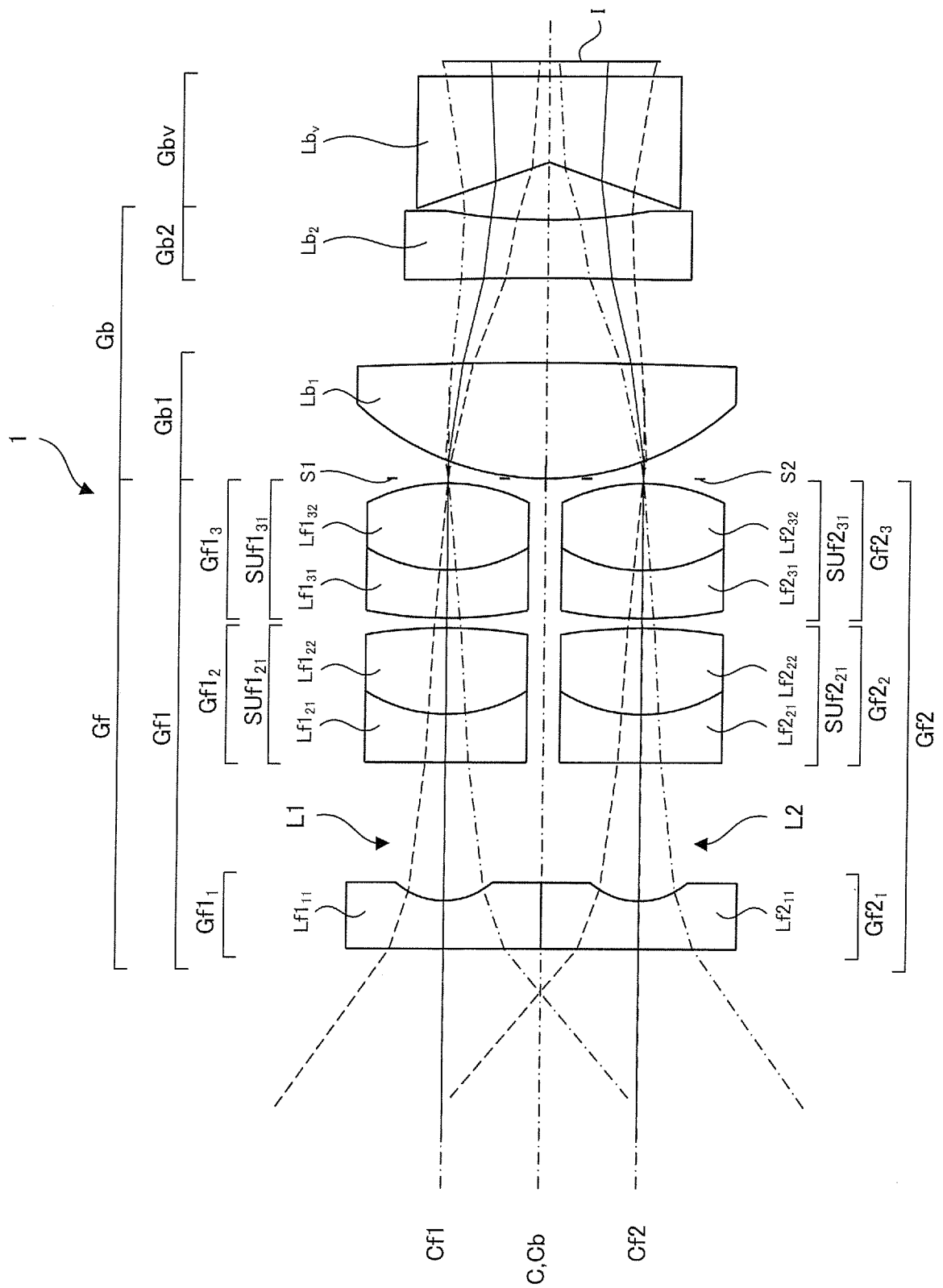
[図1]



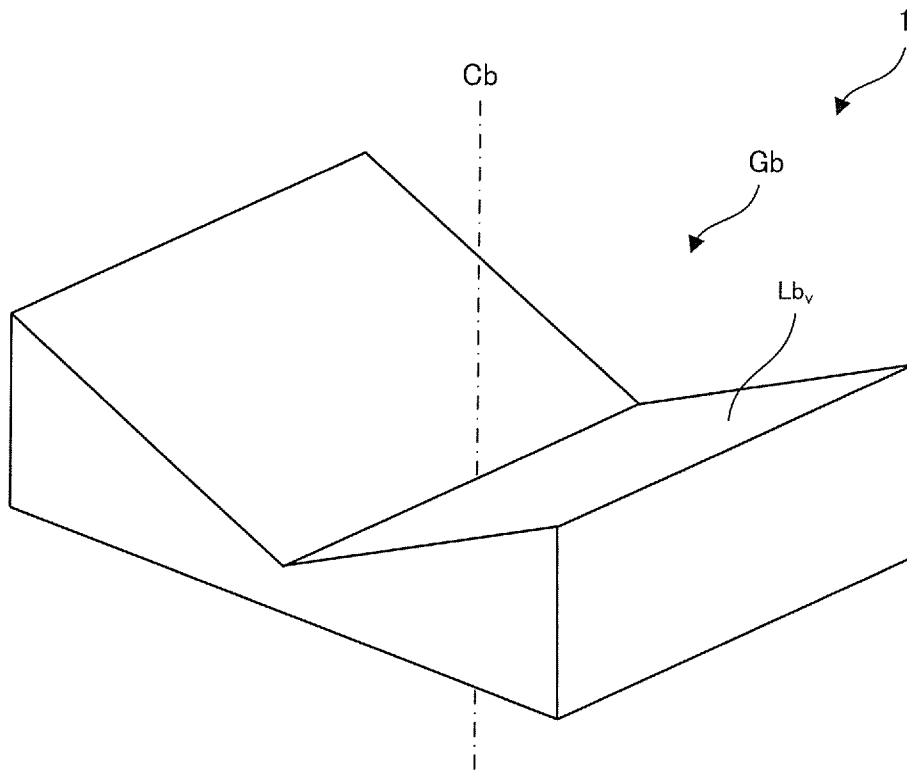
[図2]



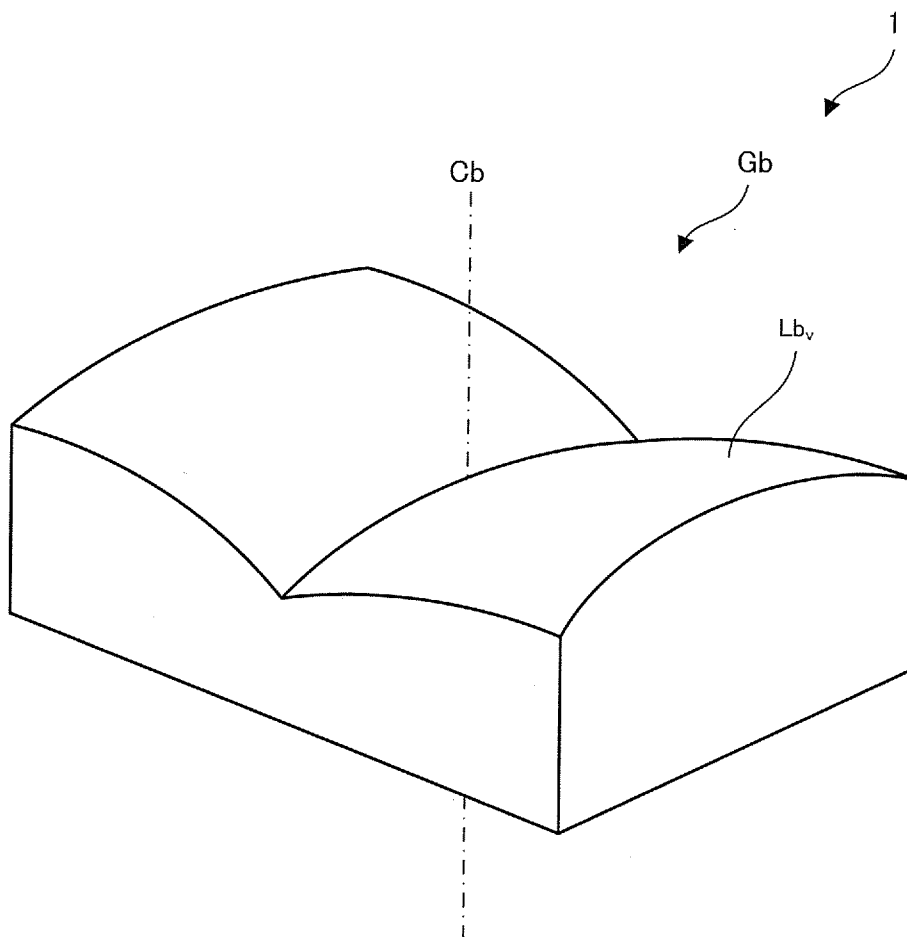
[図3]



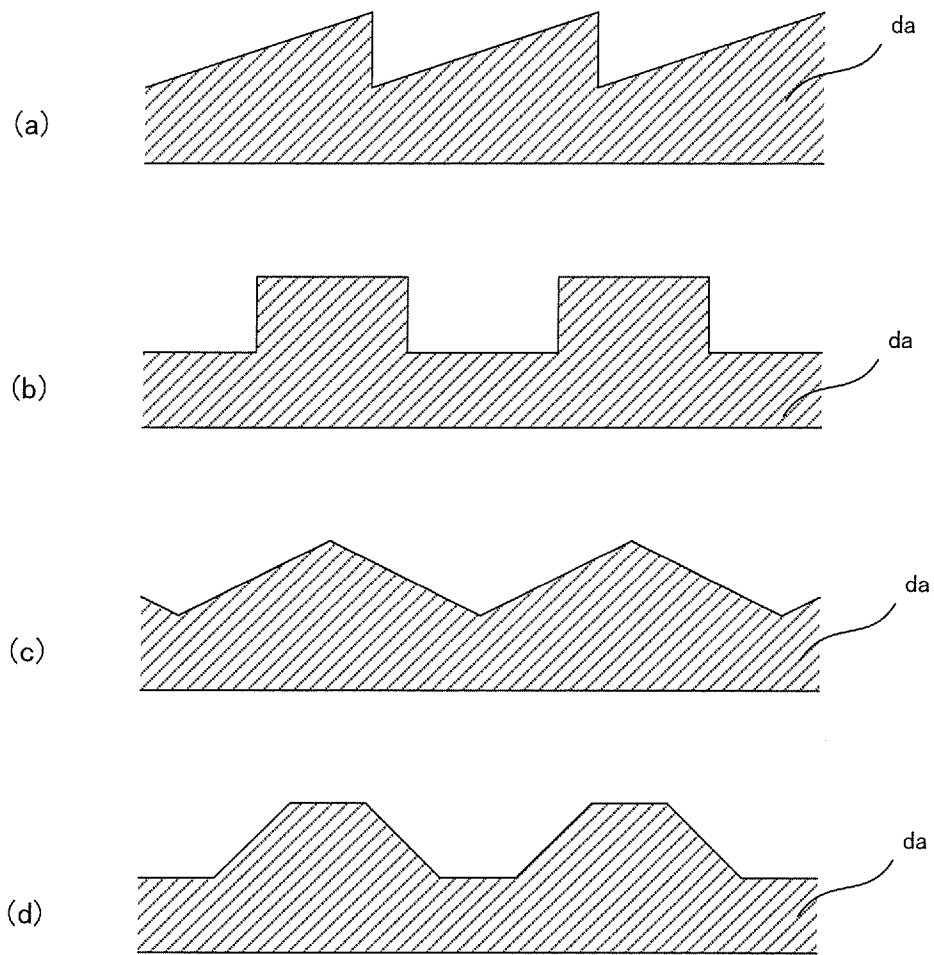
[図4]



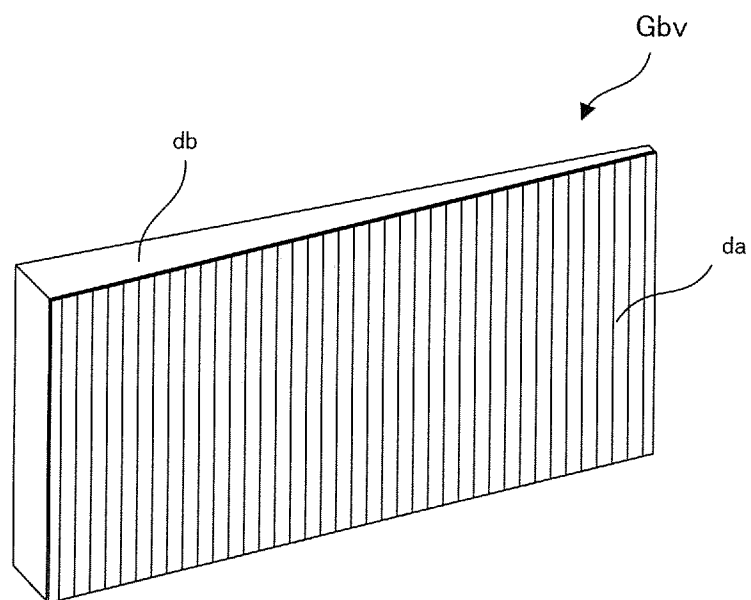
[図5]



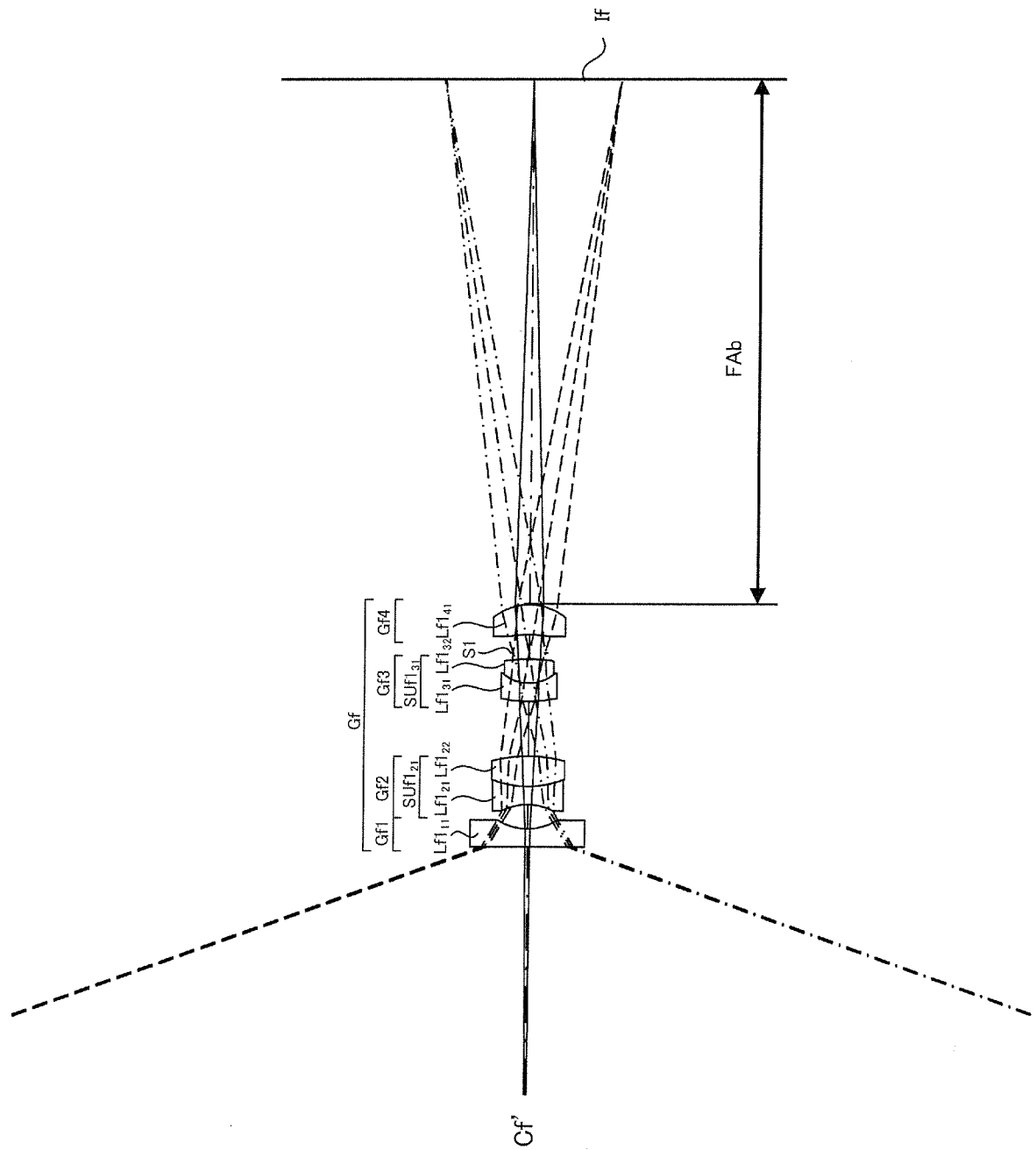
[図6]



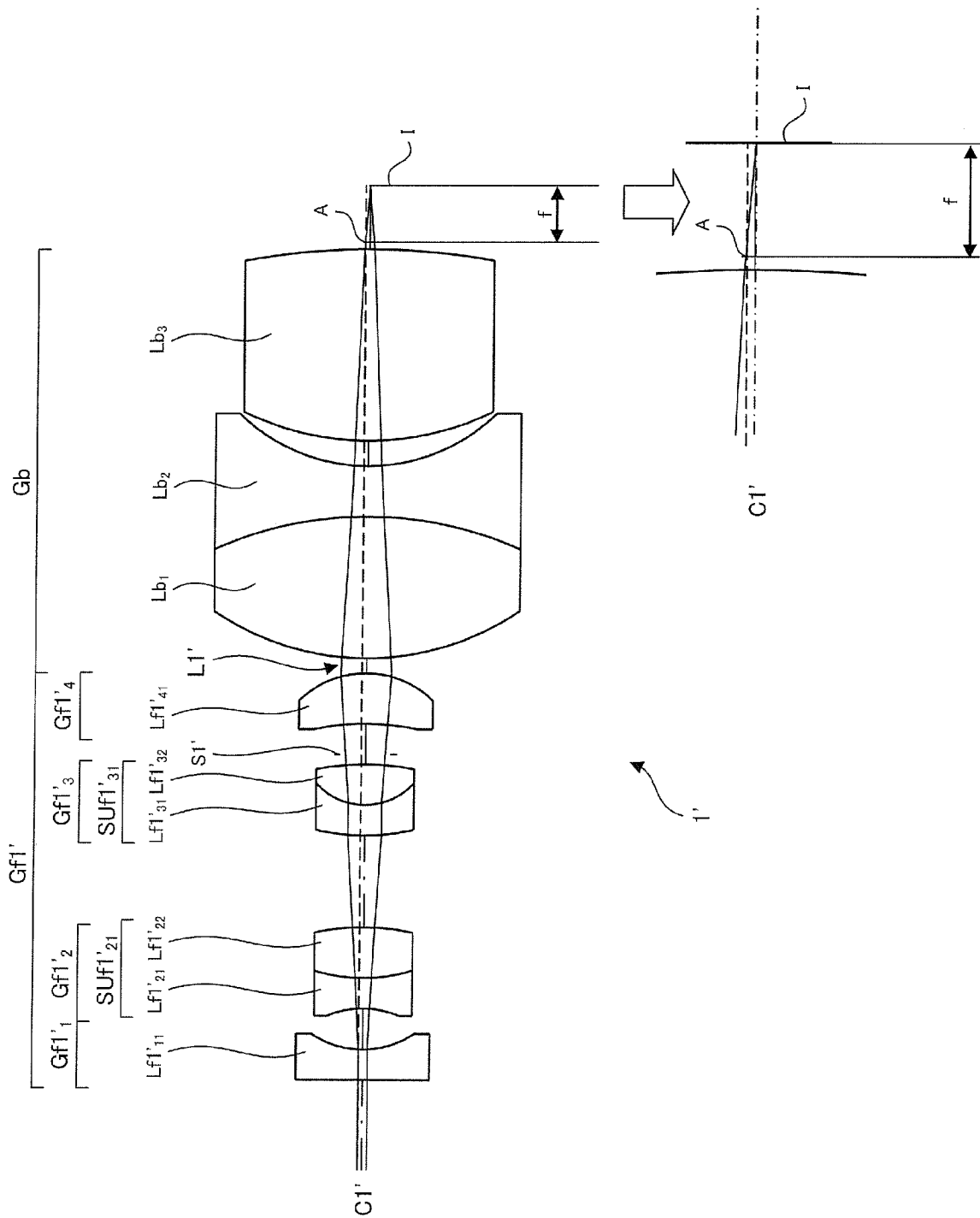
[図7]



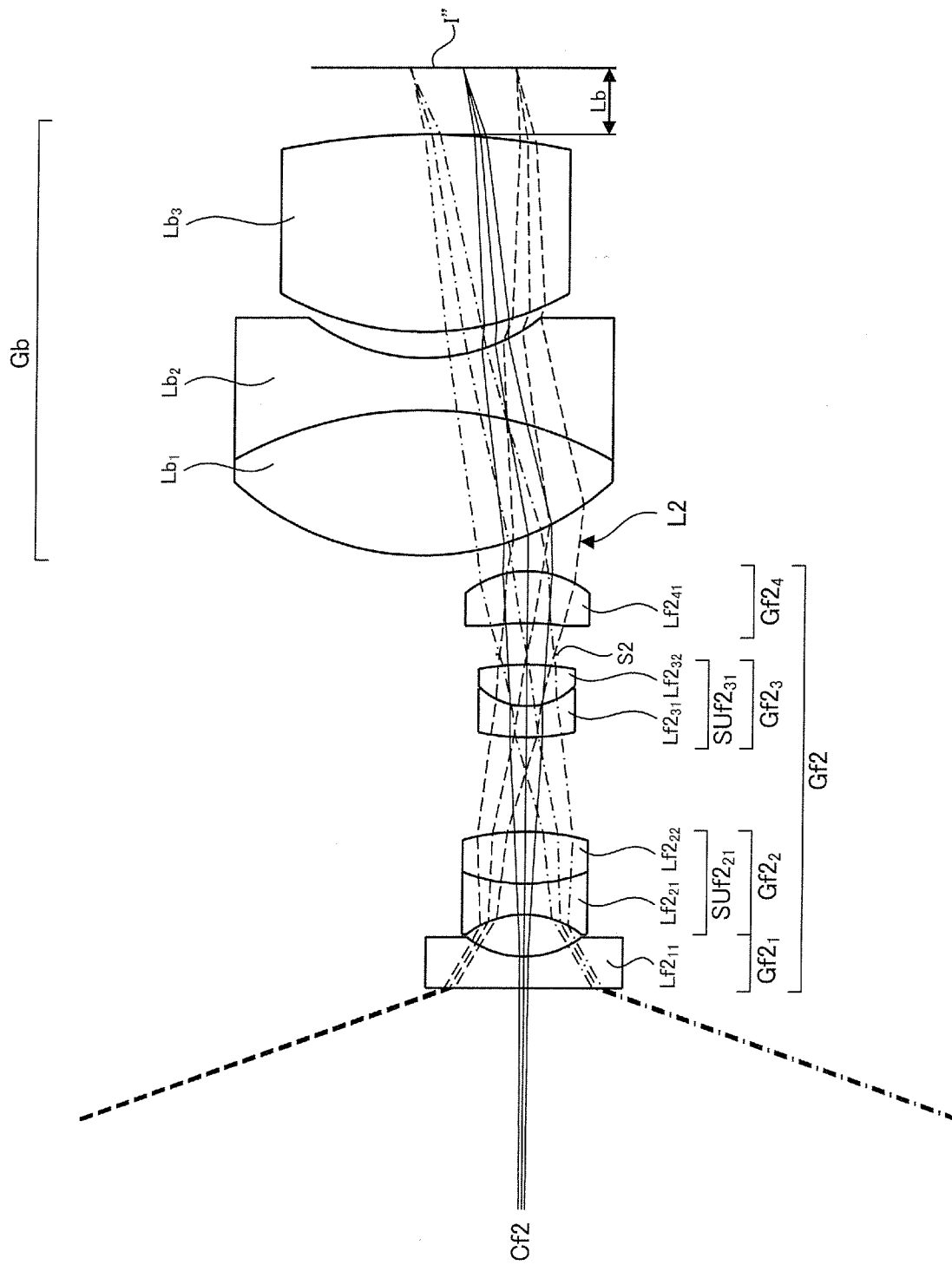
[図8]



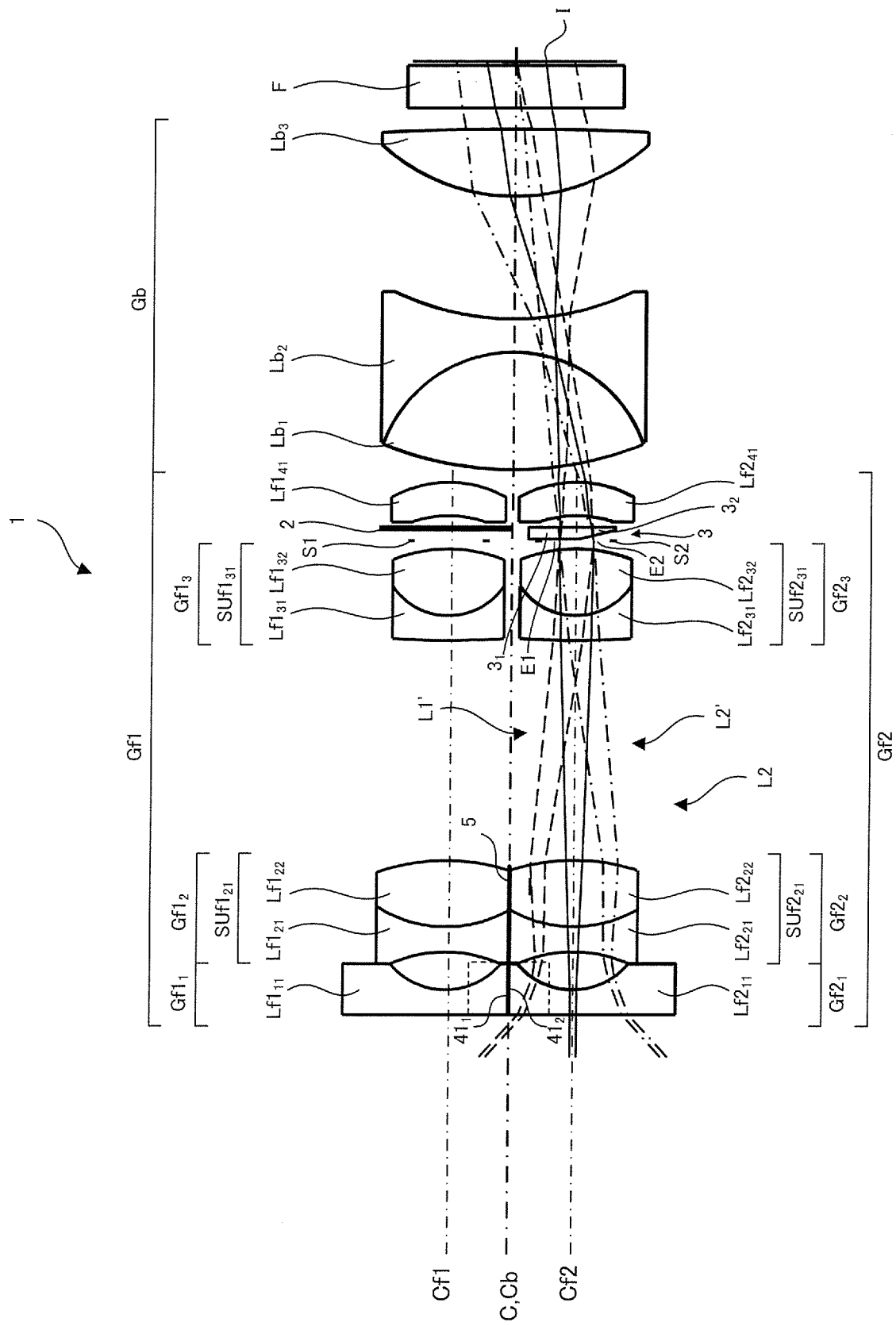
[図9]



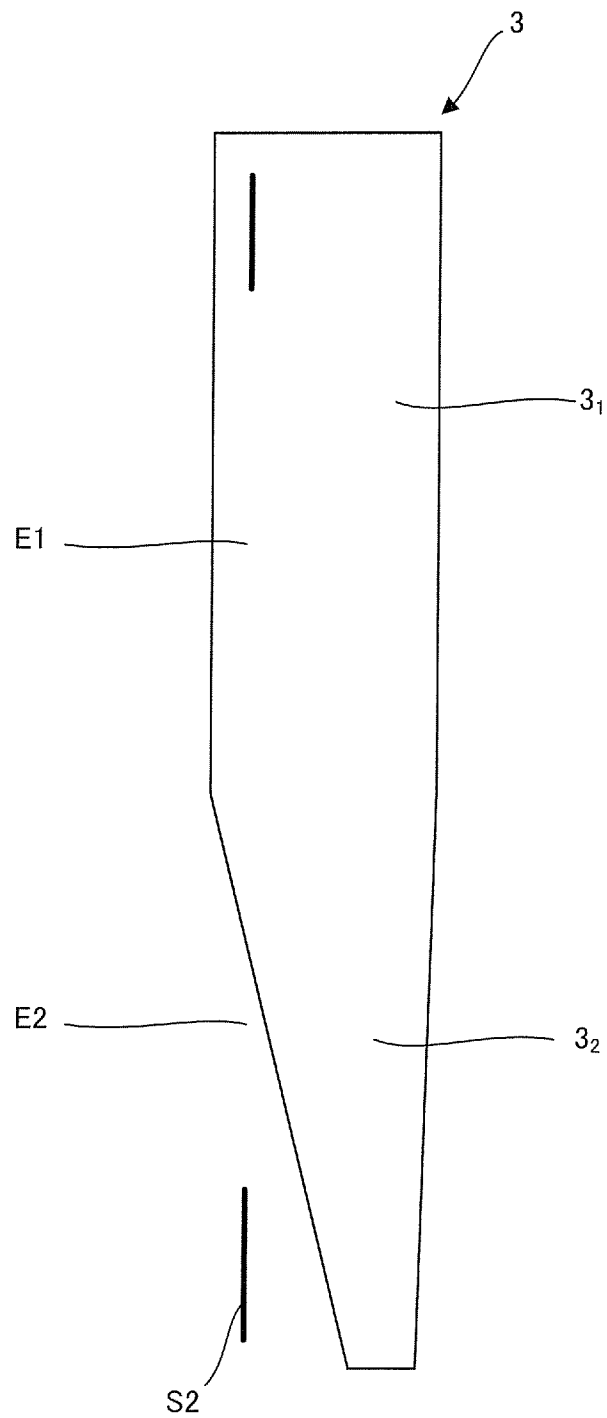
[図10]



[図11]

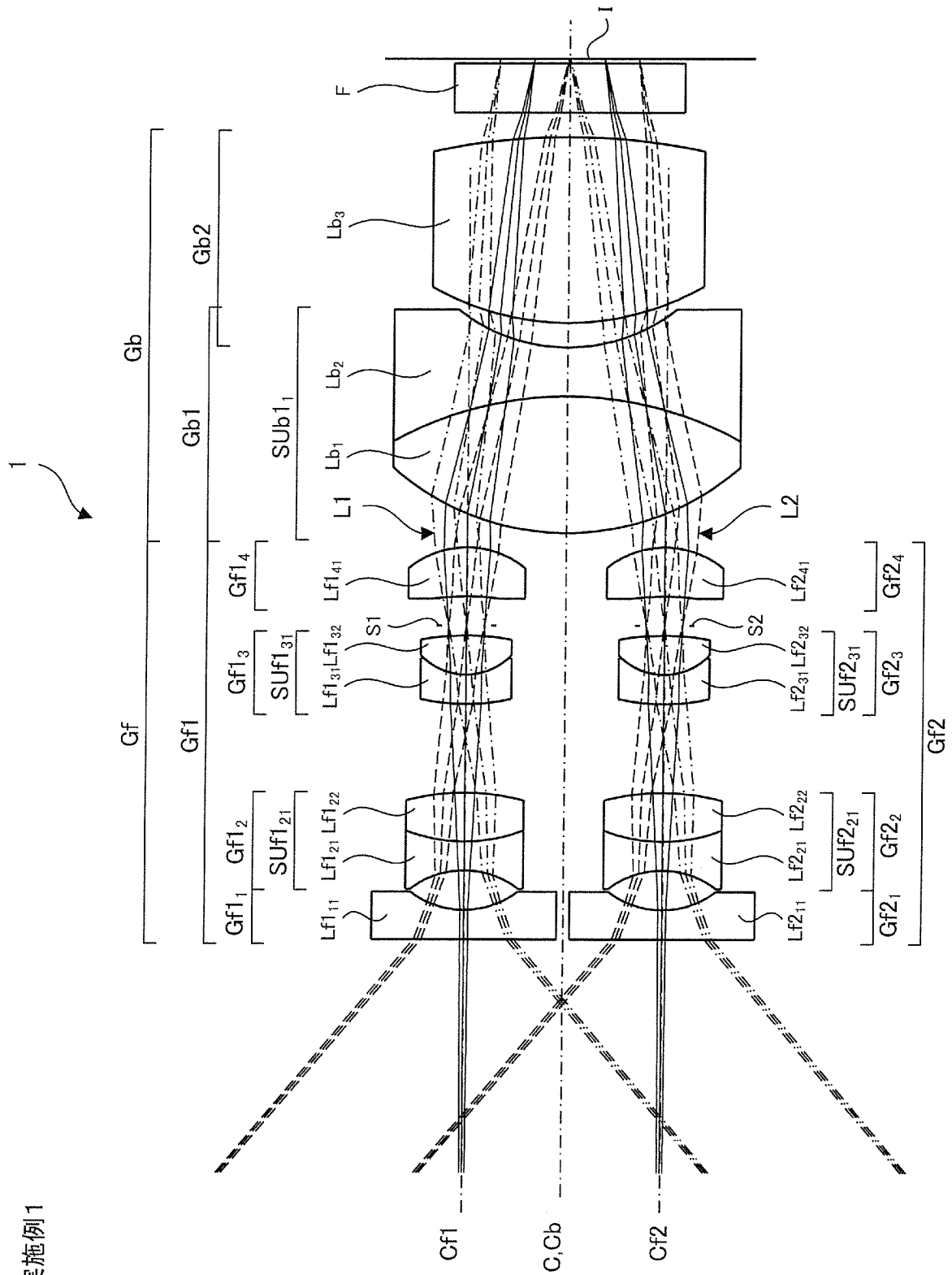


[図12]



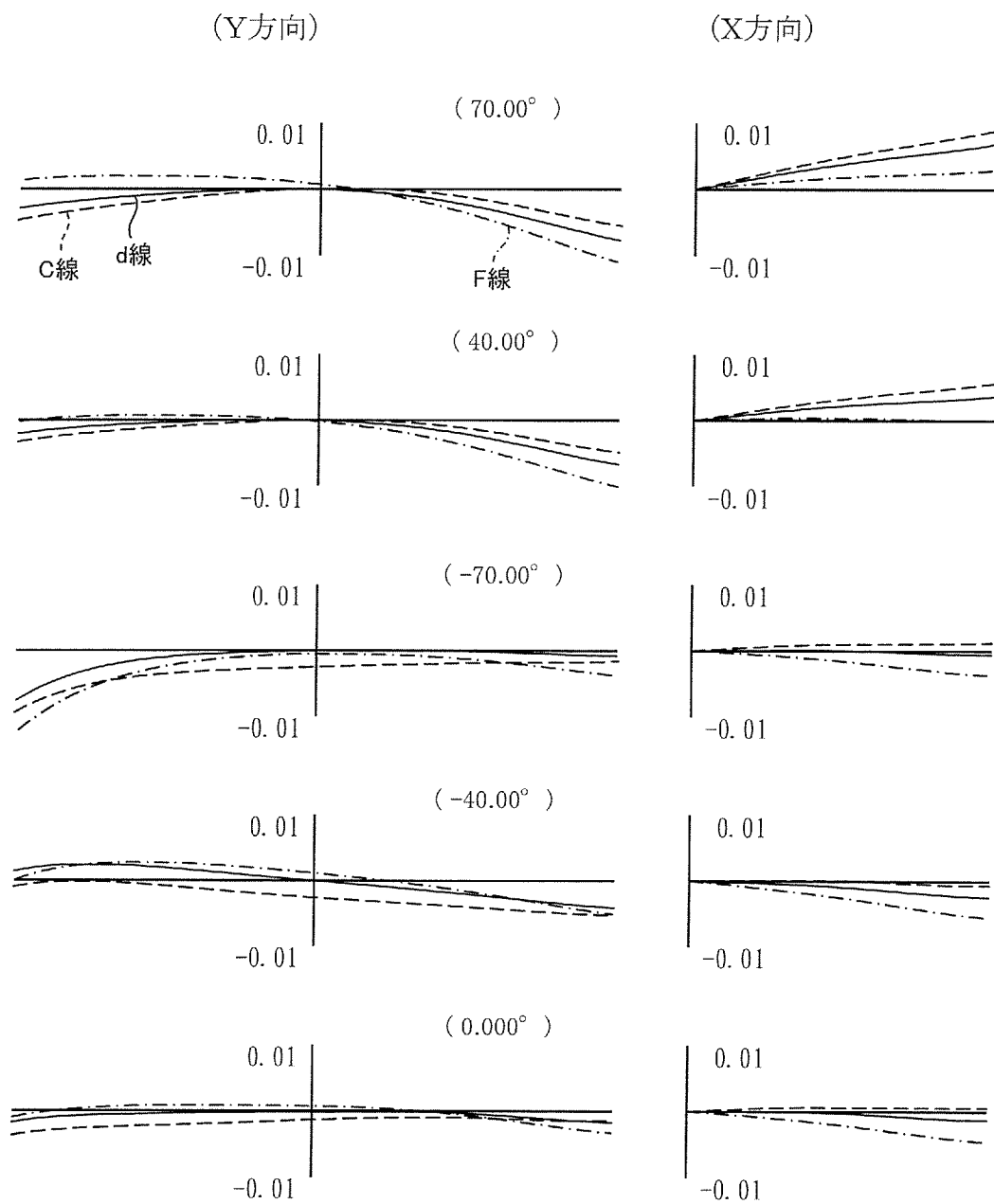
[図13]

実施例 1



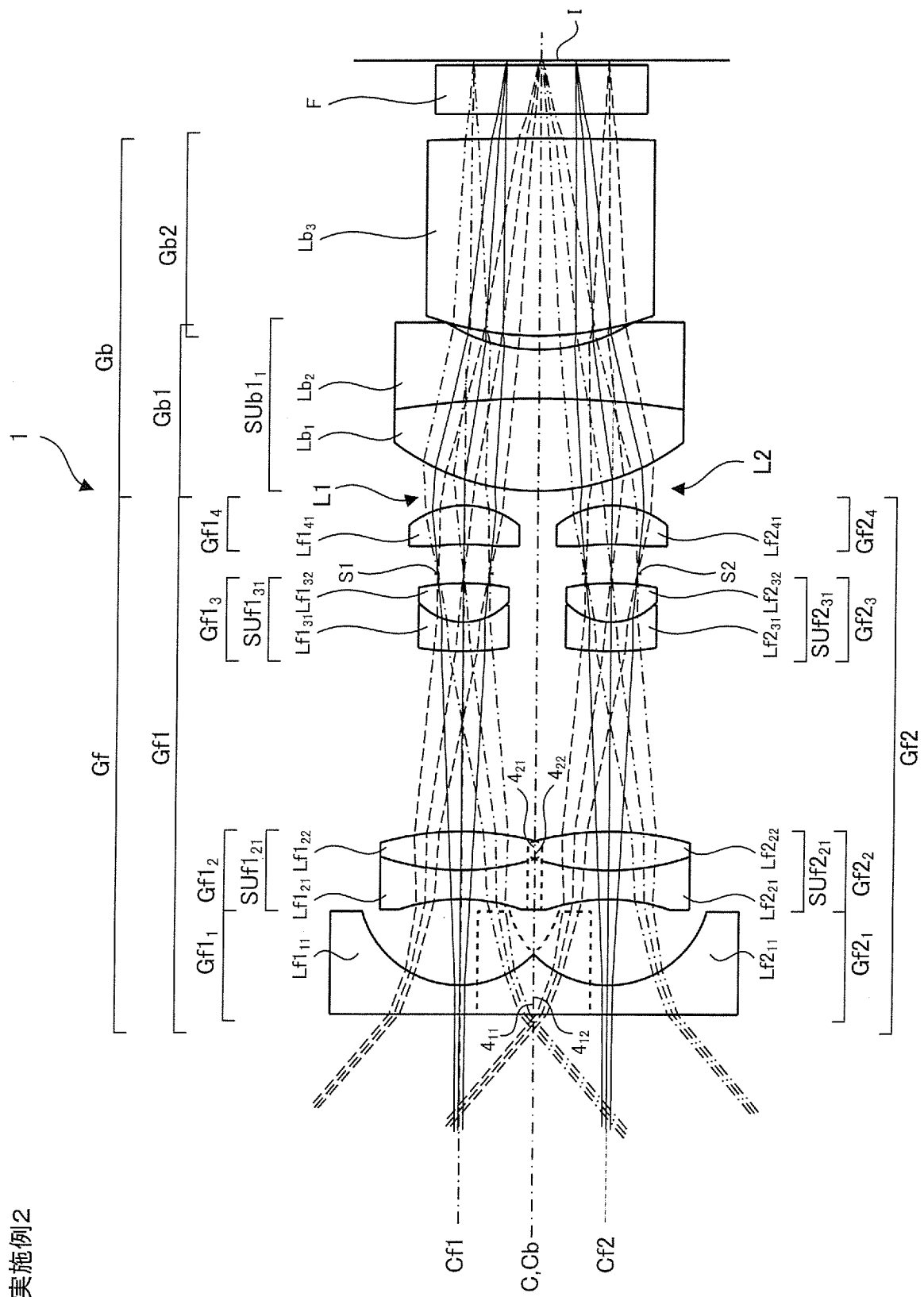
[図14]

実施例1



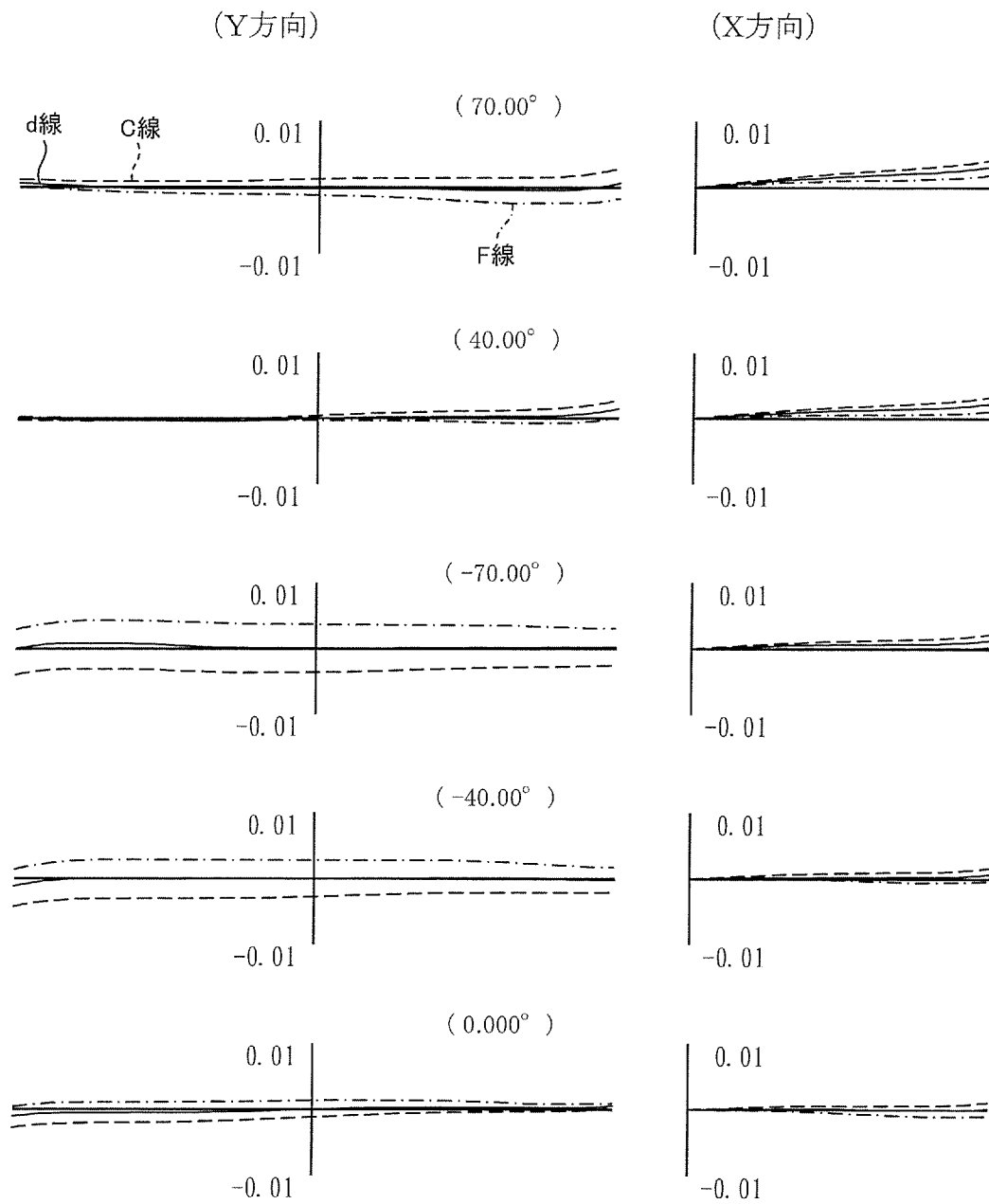
[図15]

実施例2

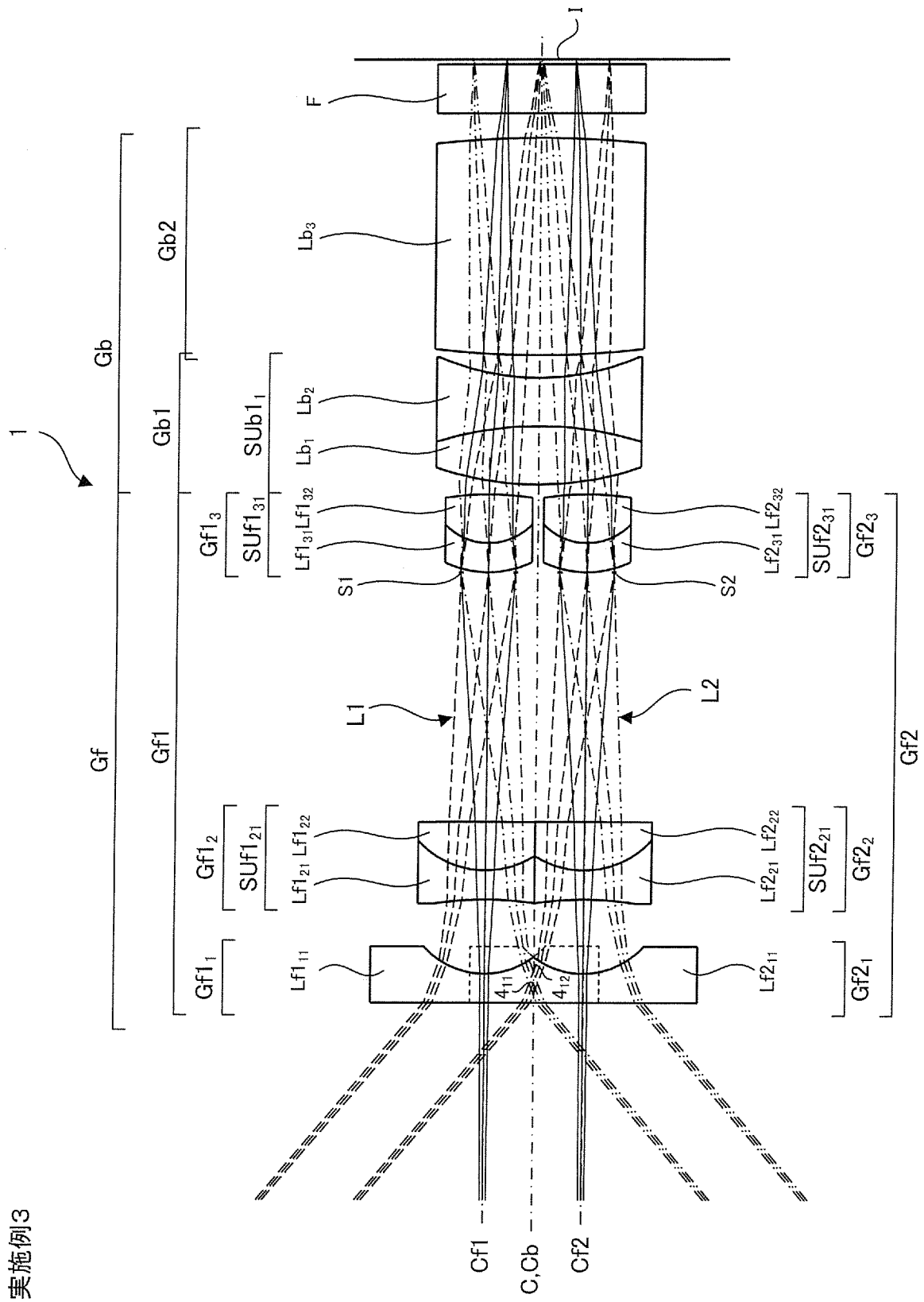


[図16]

実施例2

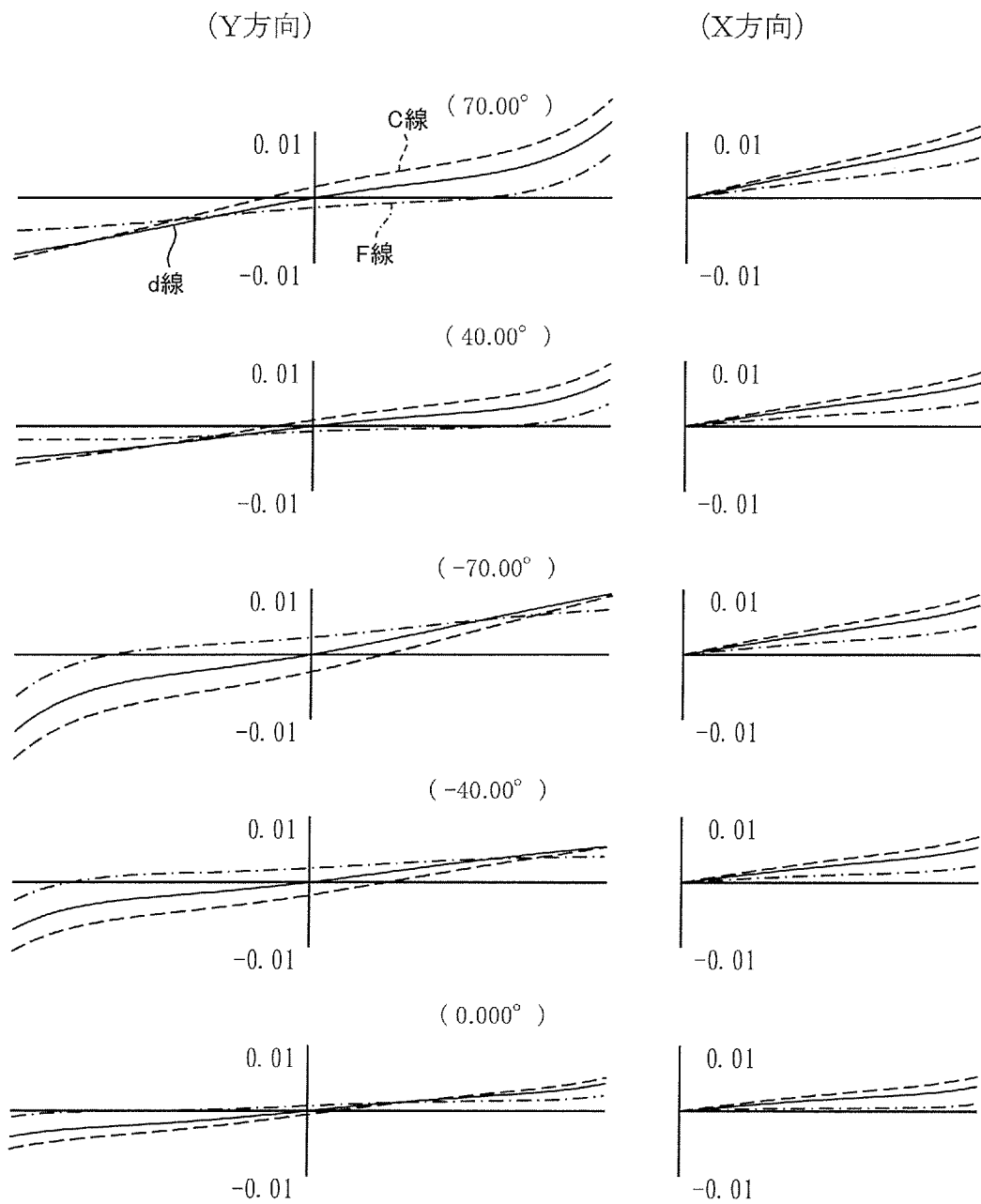


[図17]

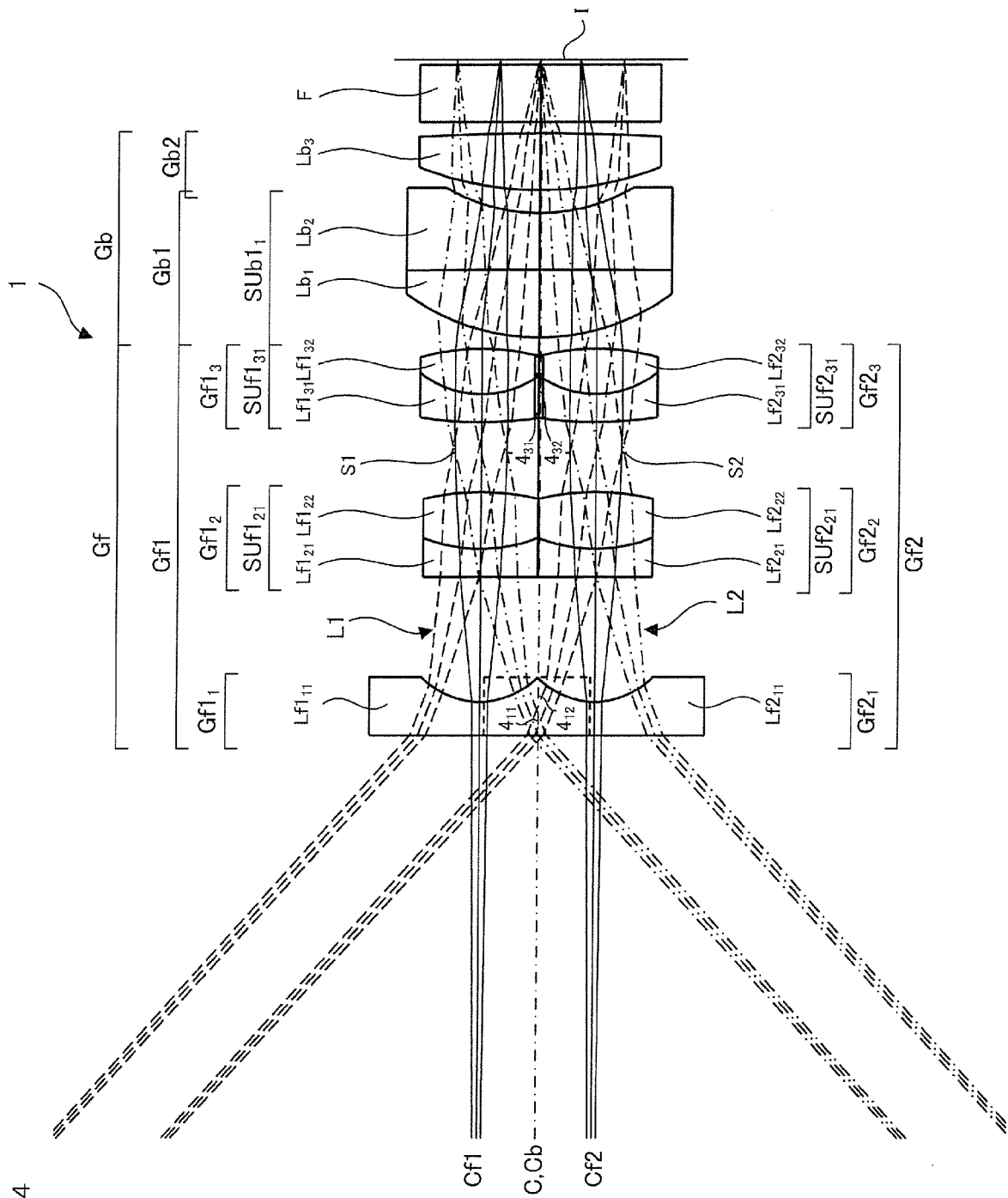


[図18]

実施例3



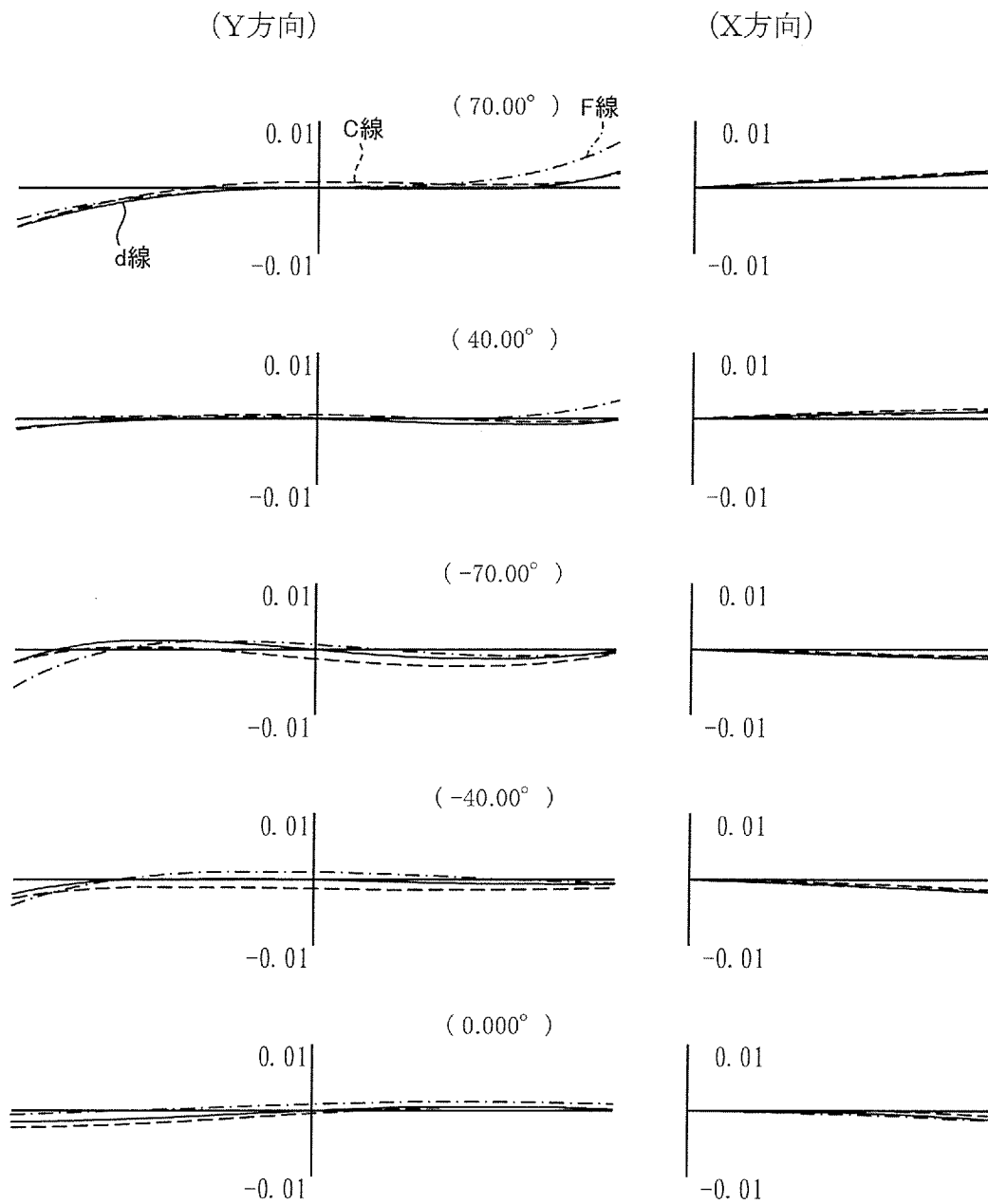
[図19]



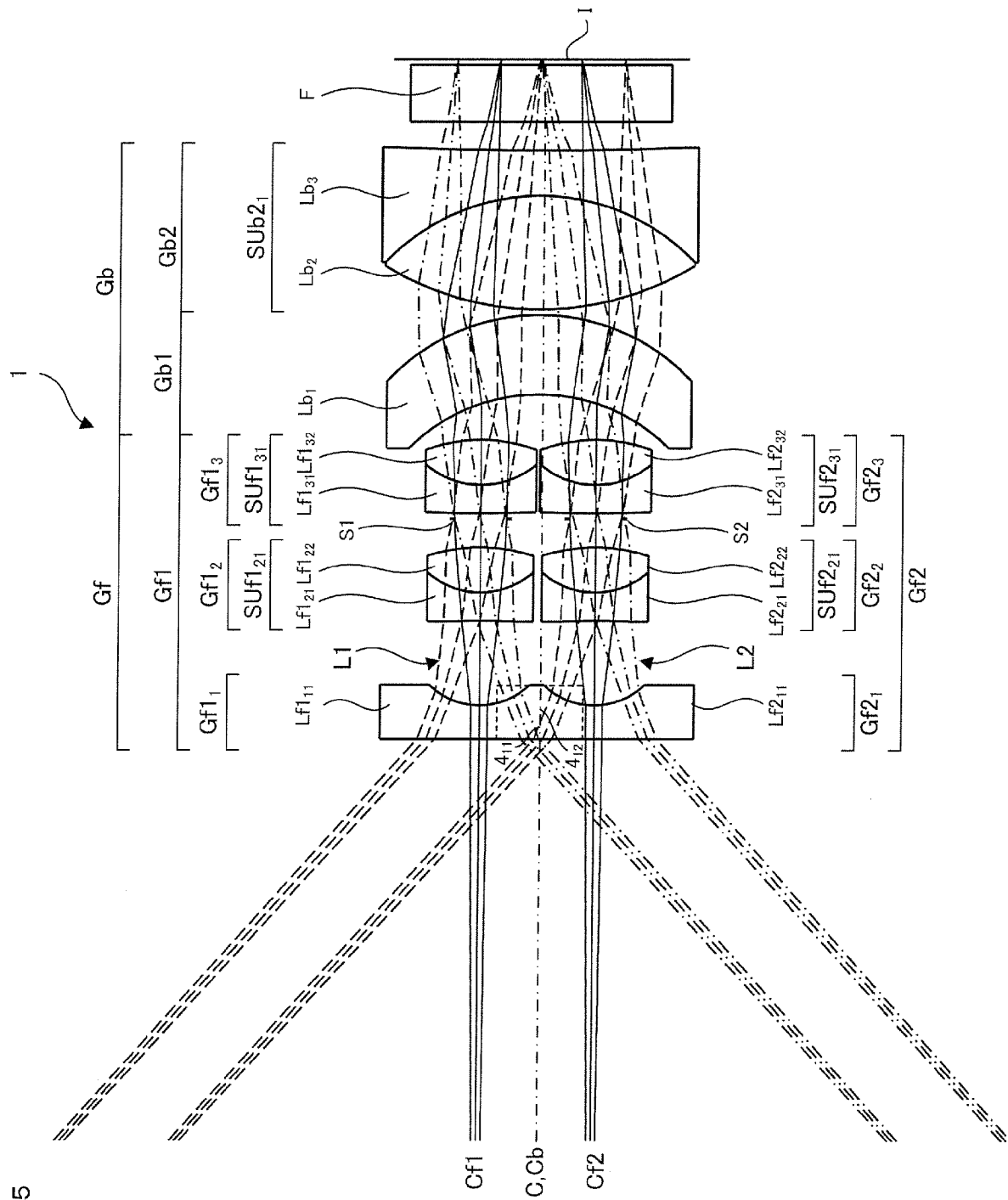
実施例4

[図20]

実施例4



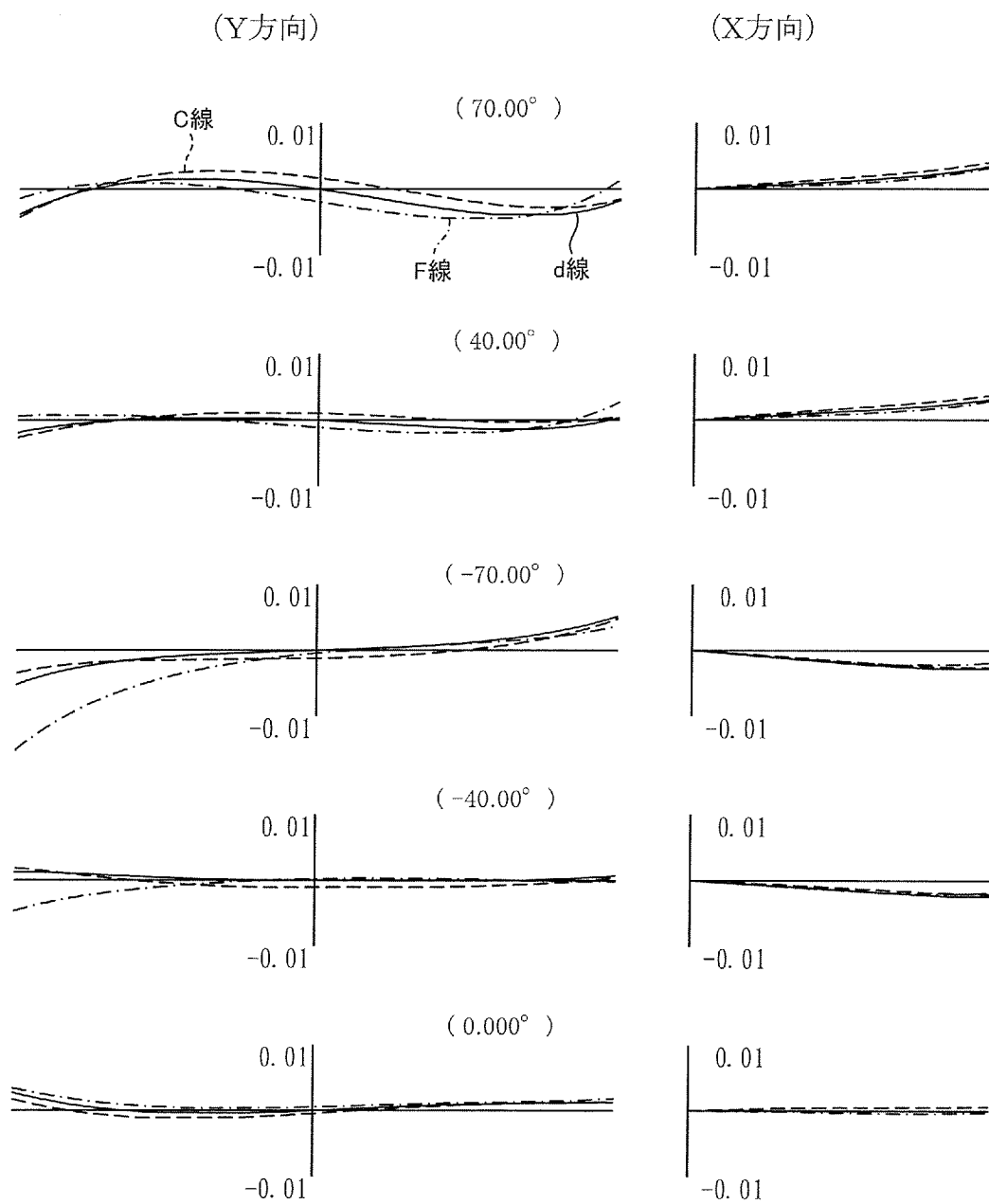
[図21]



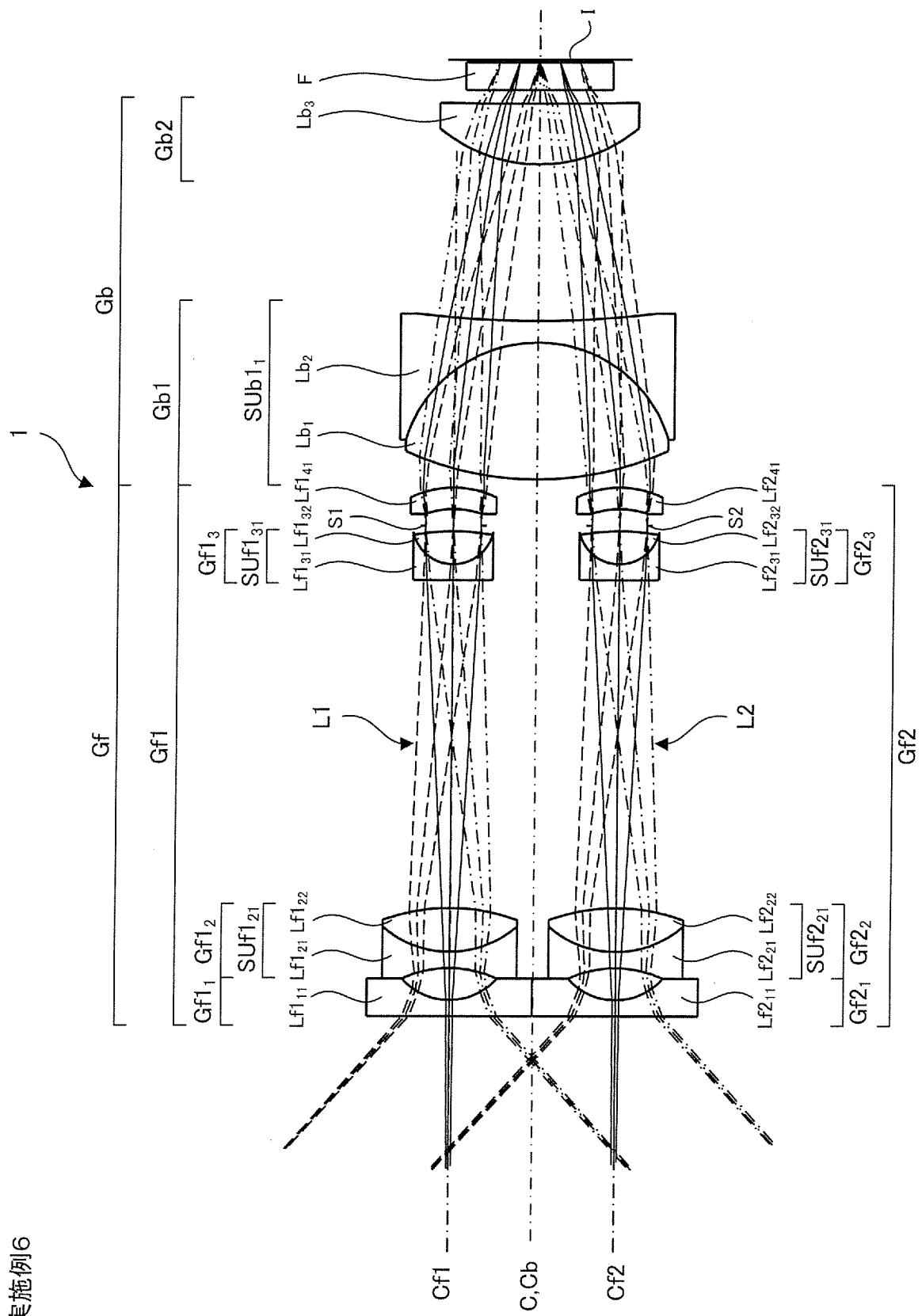
実施例5

[図22]

実施例5

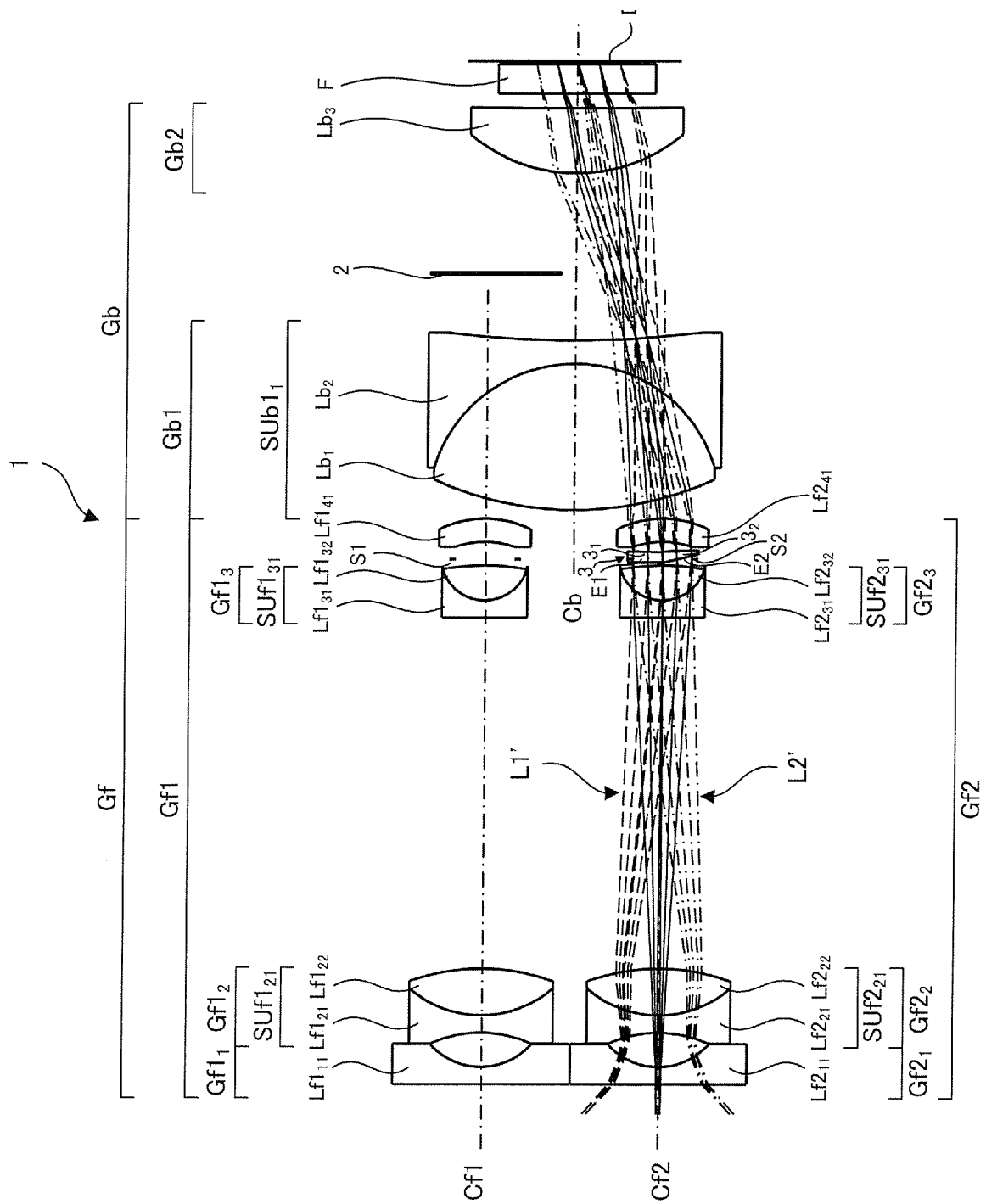


[図23]



実施例6

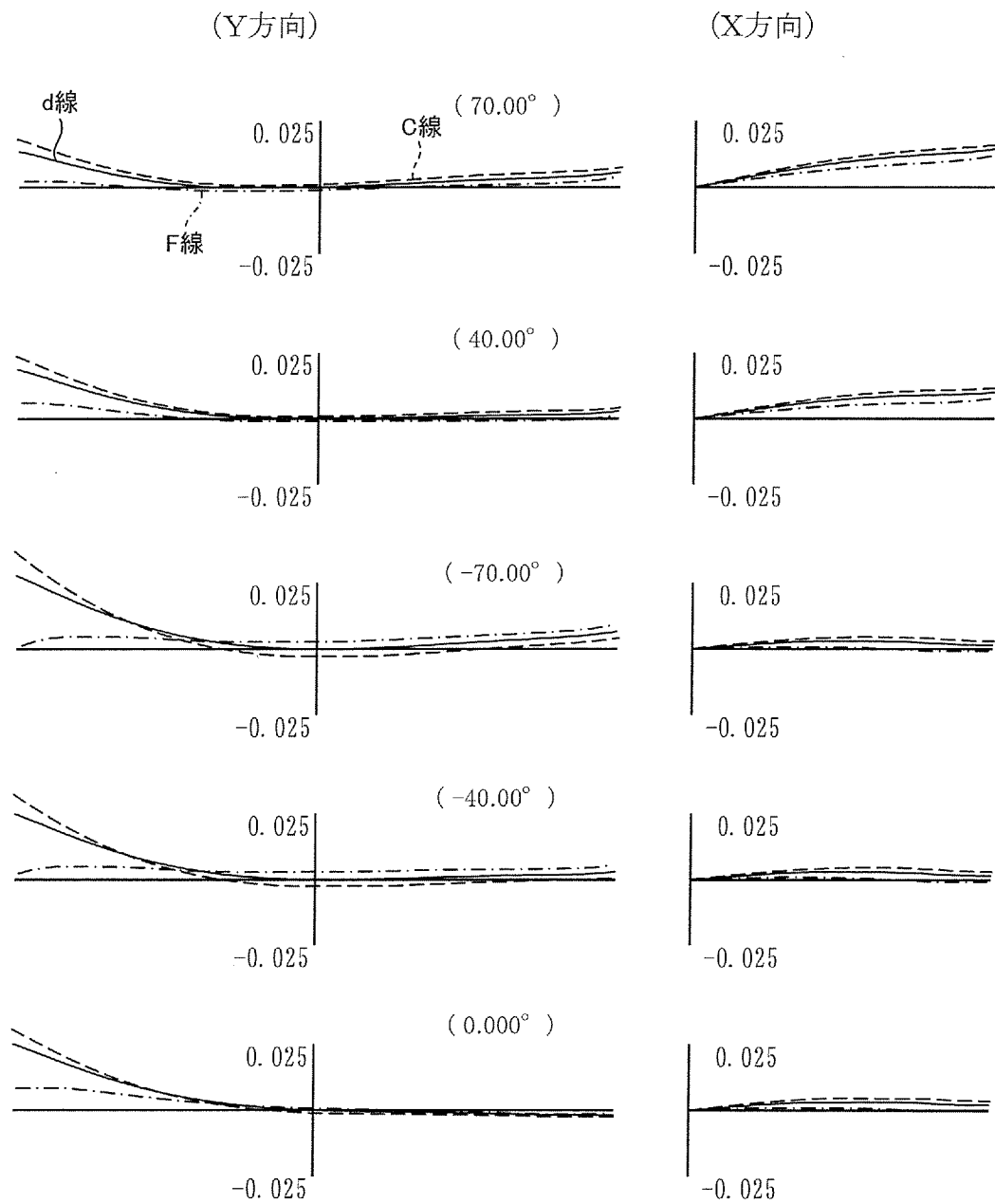
[図24]



実施例6

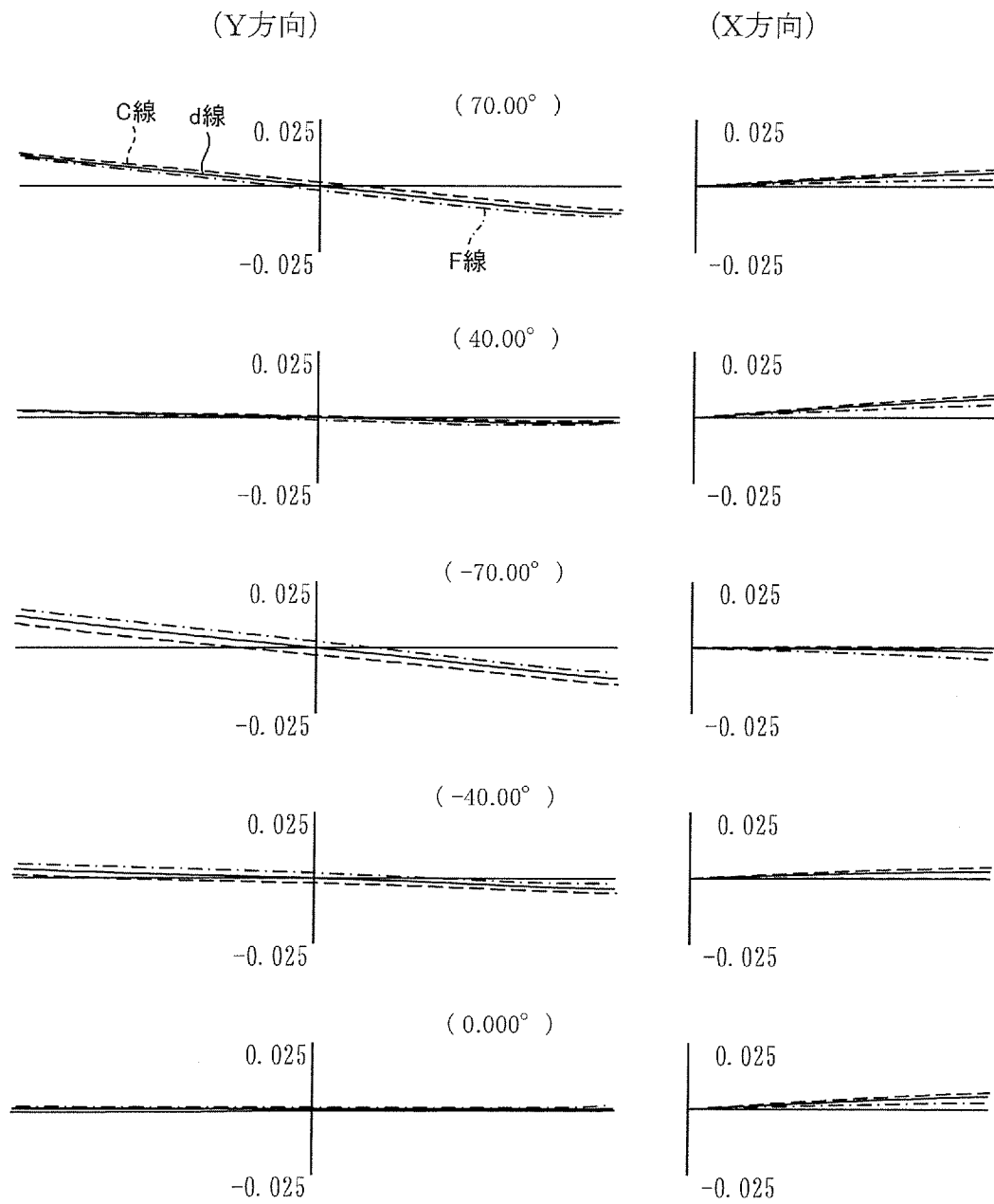
[図25]

実施例6



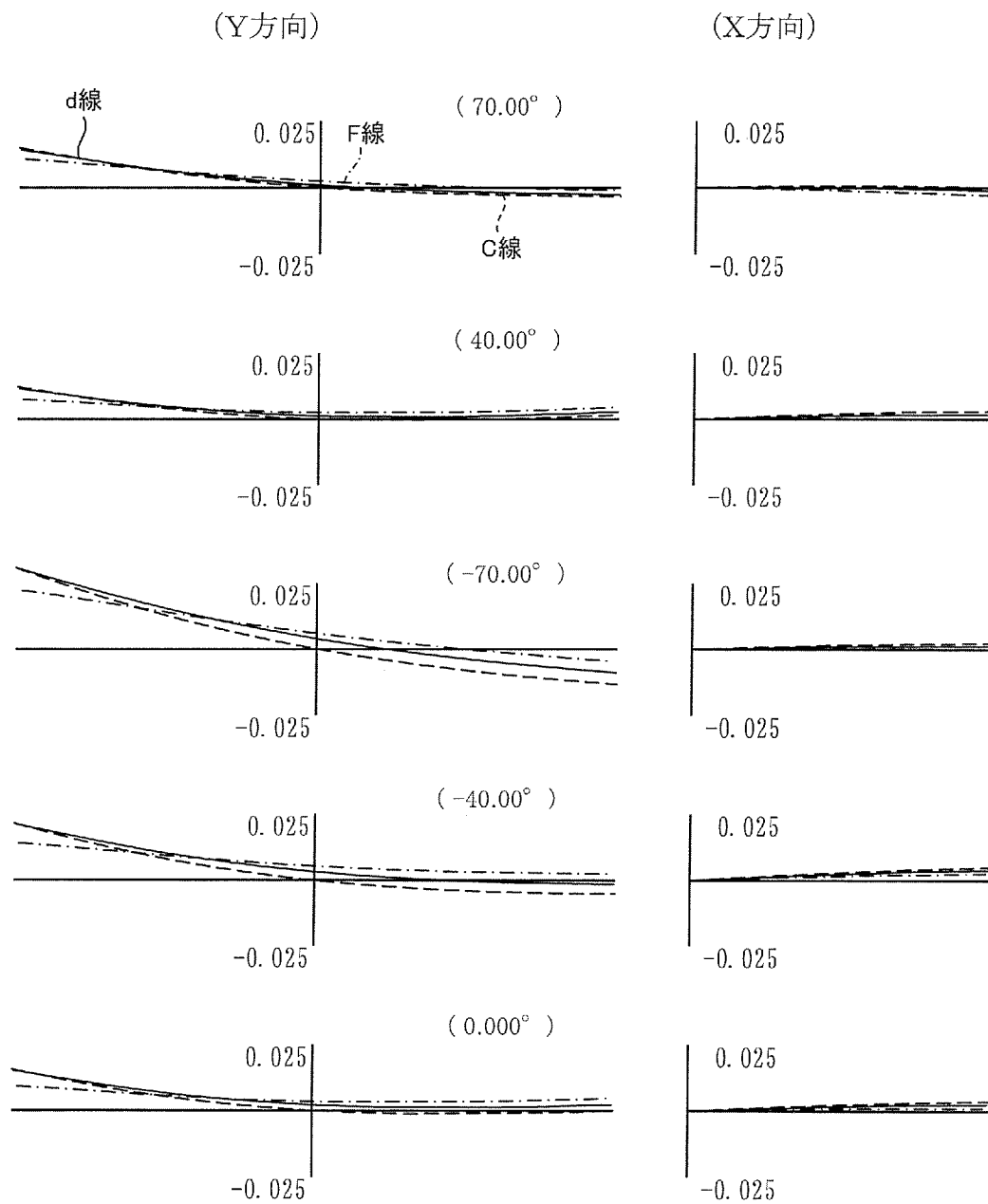
[図26]

実施例6

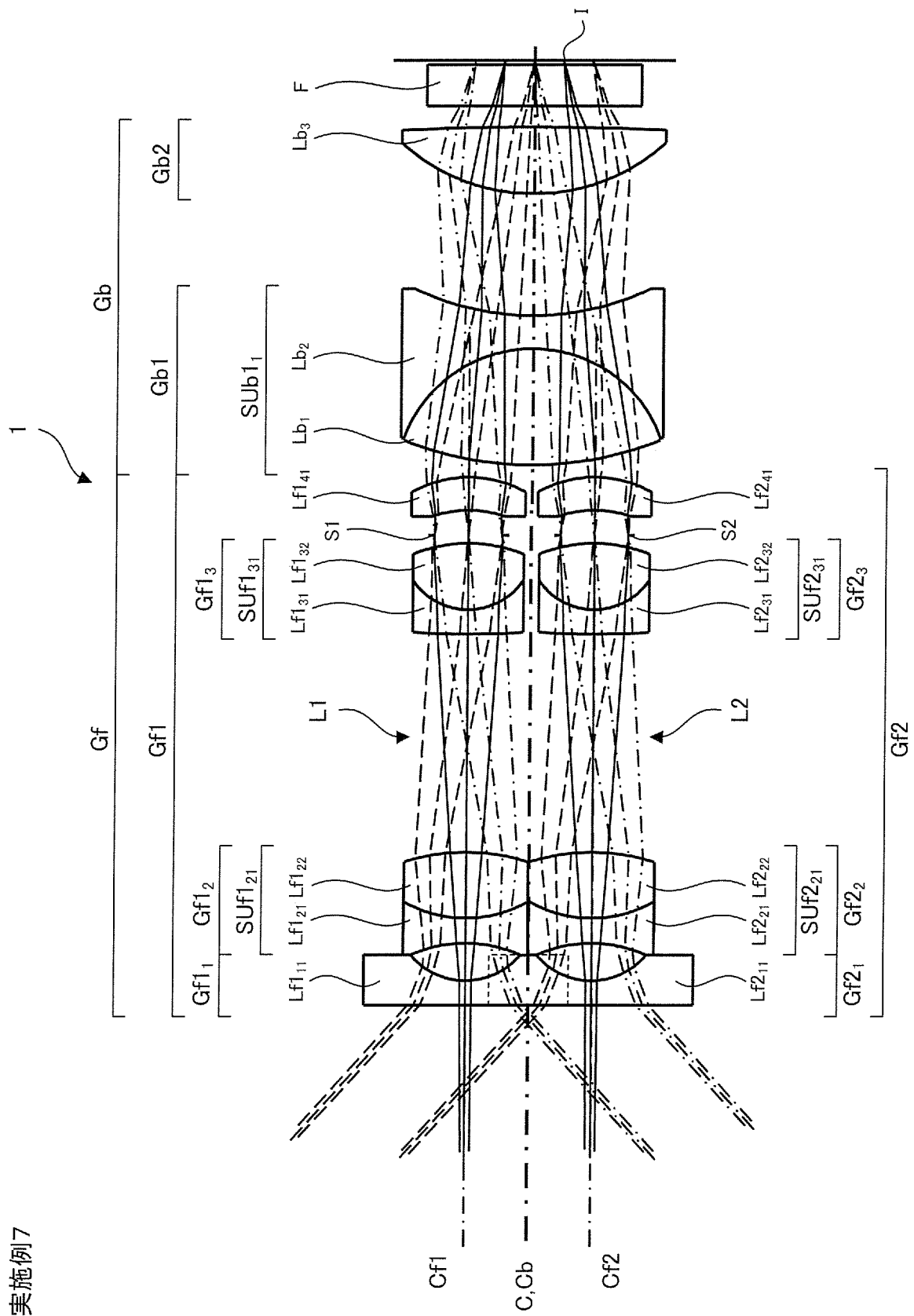


[図27]

実施例6

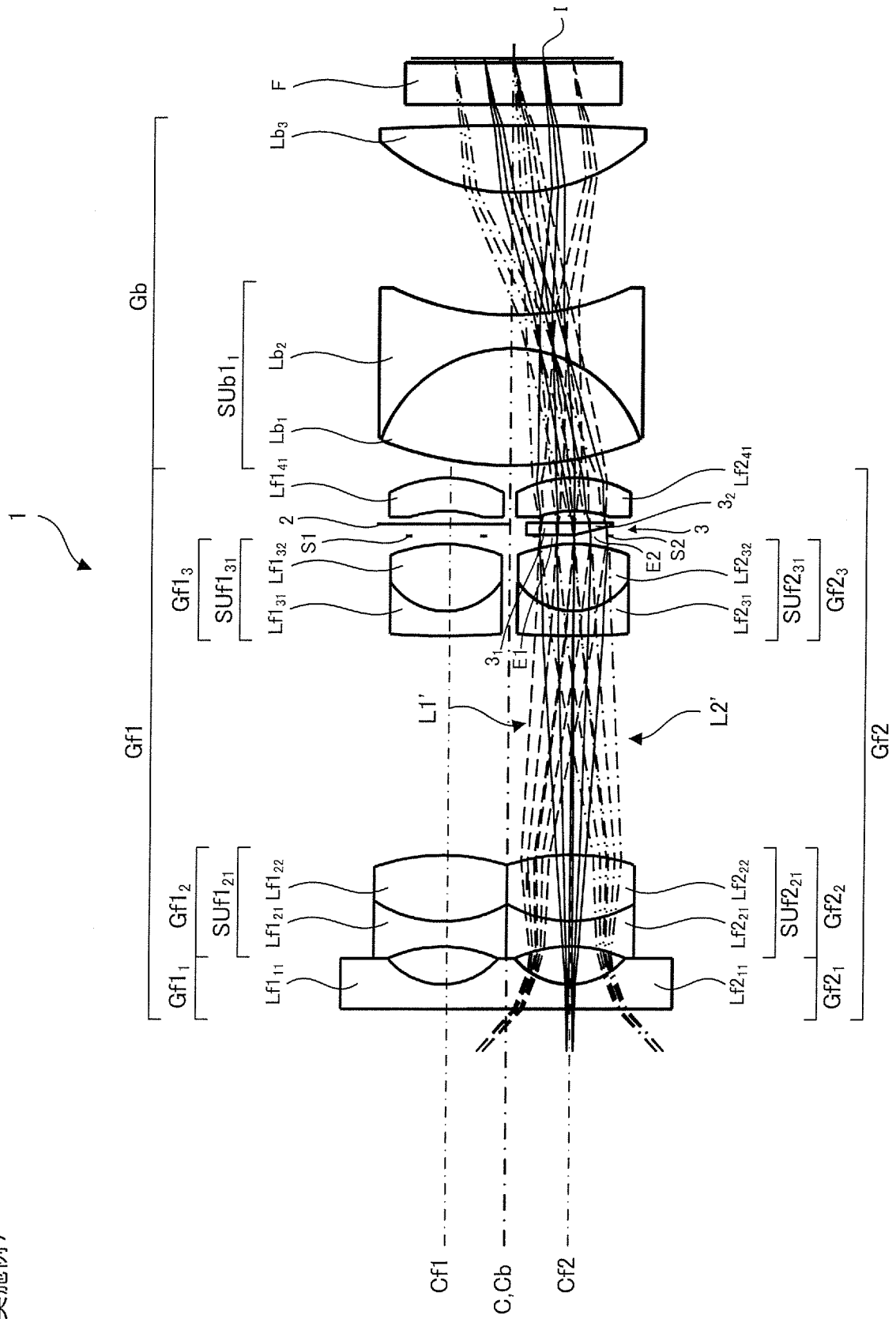


[図28]



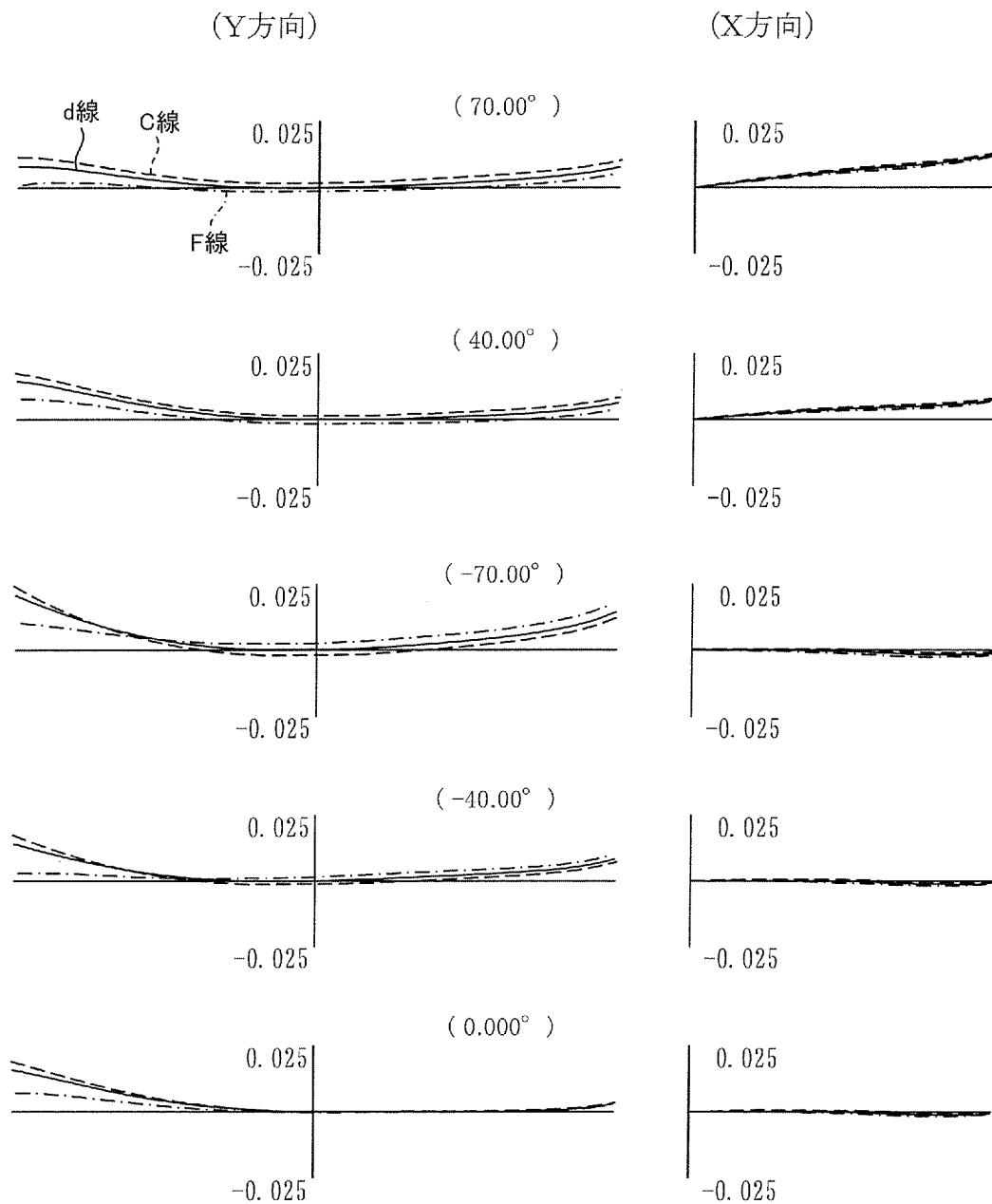
[図29]

実施例7



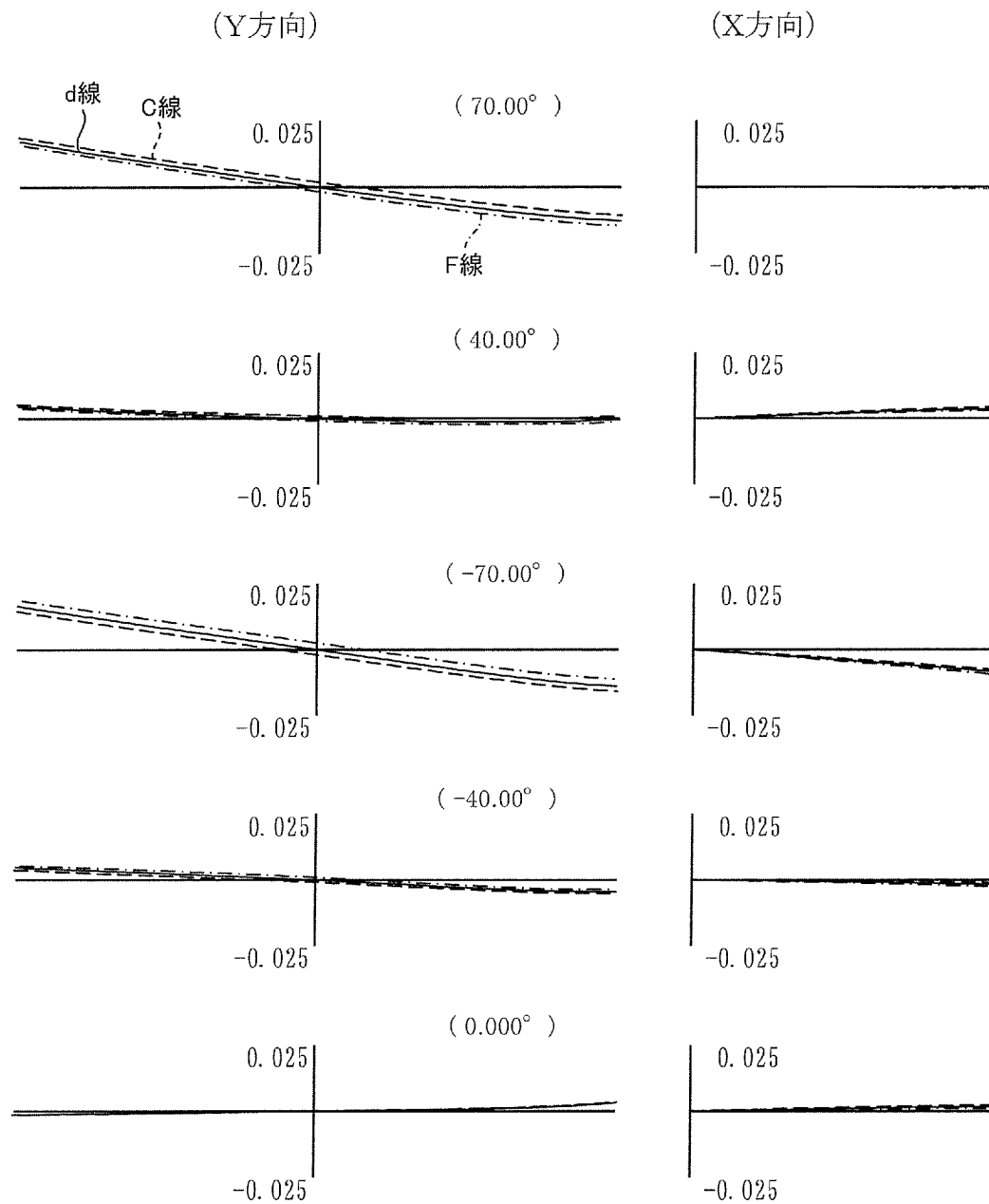
[図30]

実施例7



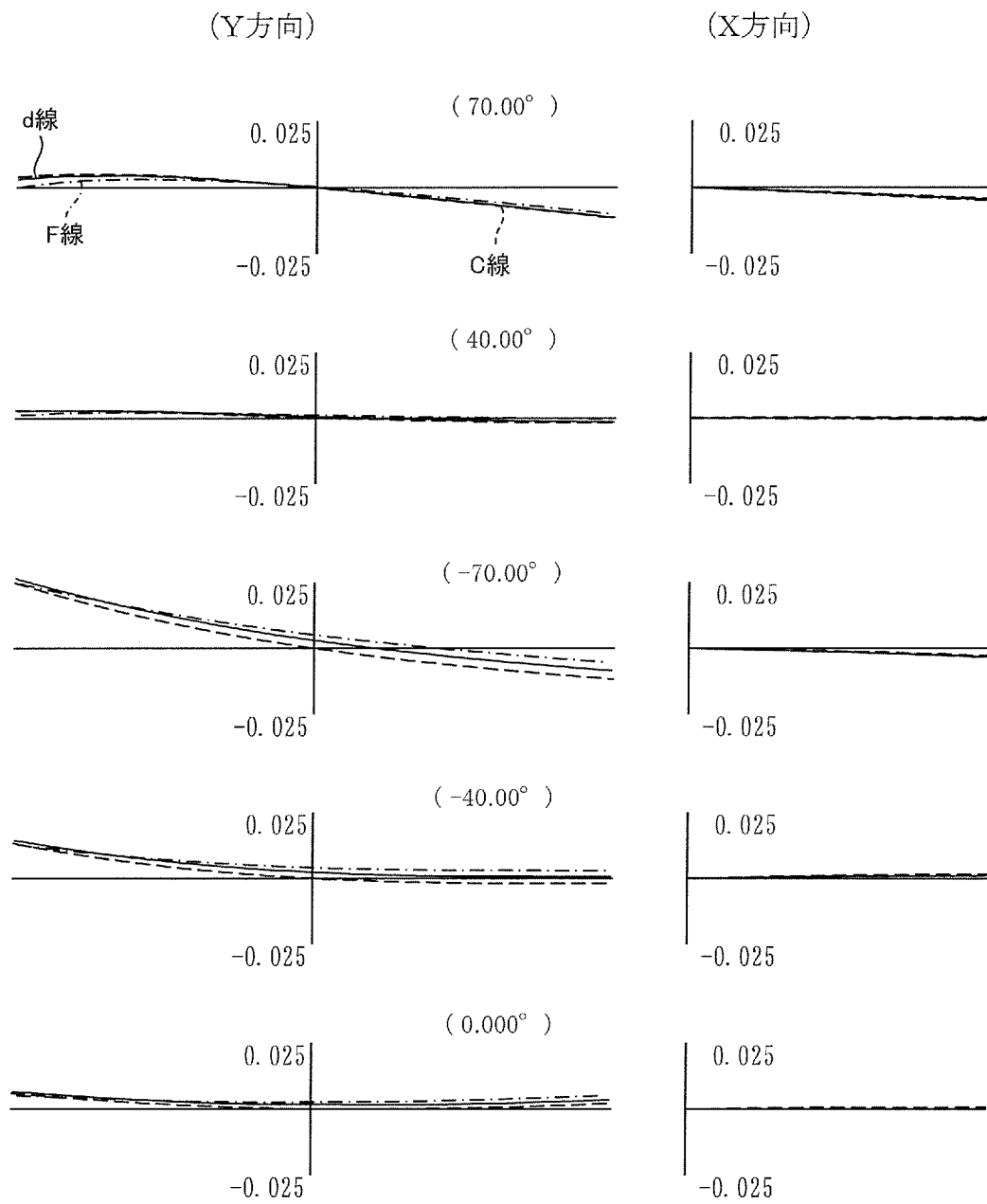
[図31]

実施例7

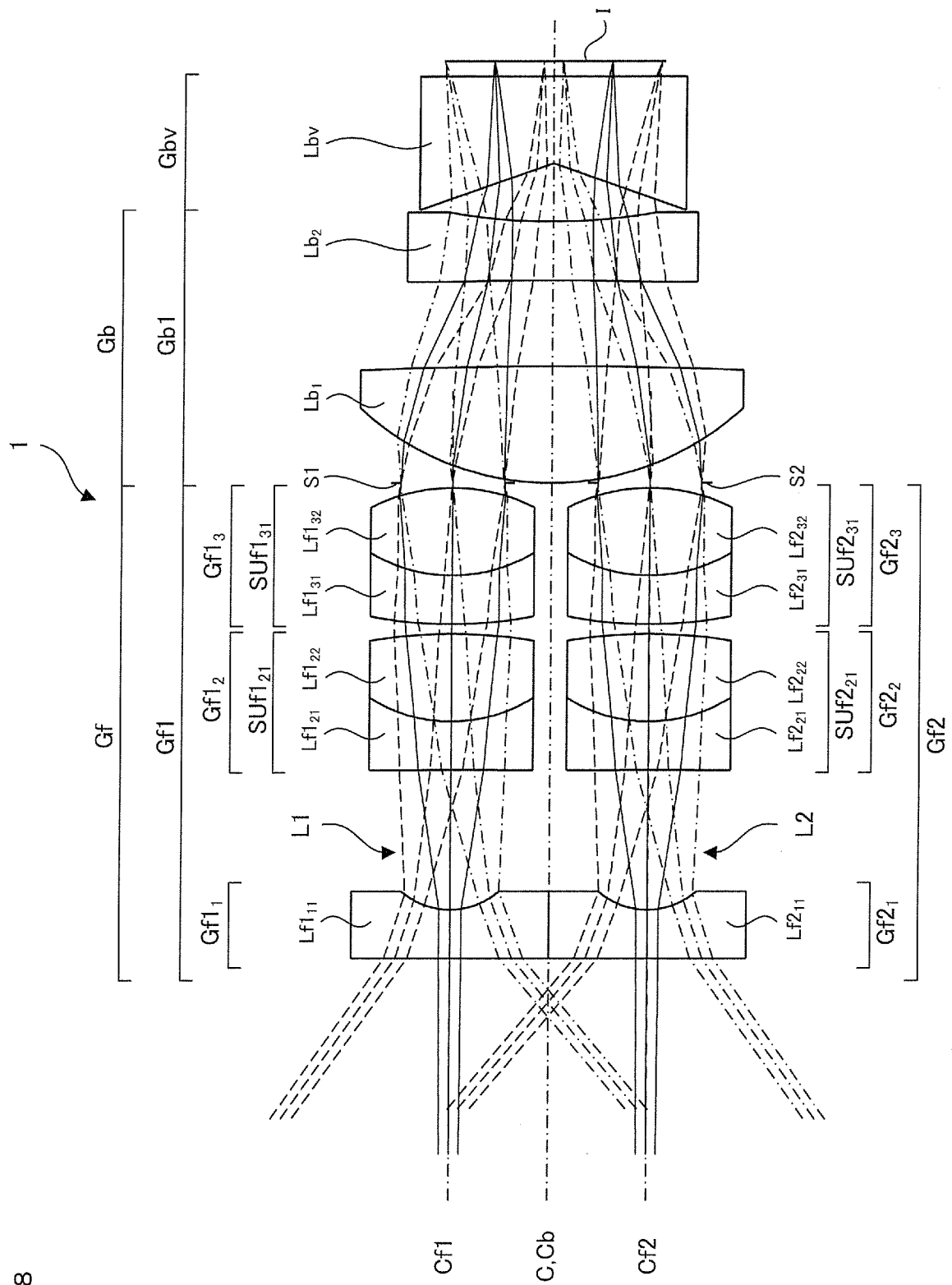


[図32]

実施例7



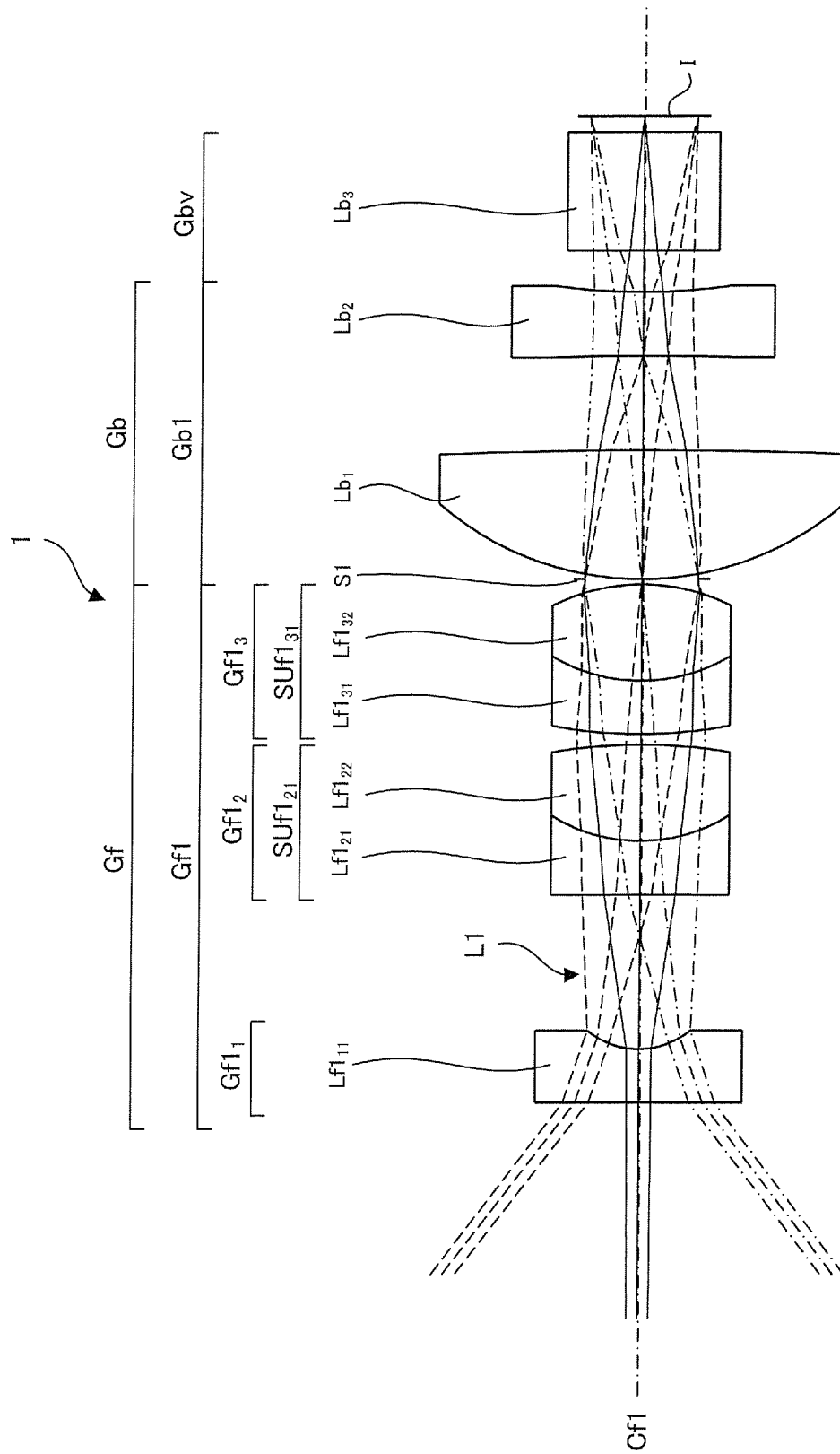
[図33]



実施例8

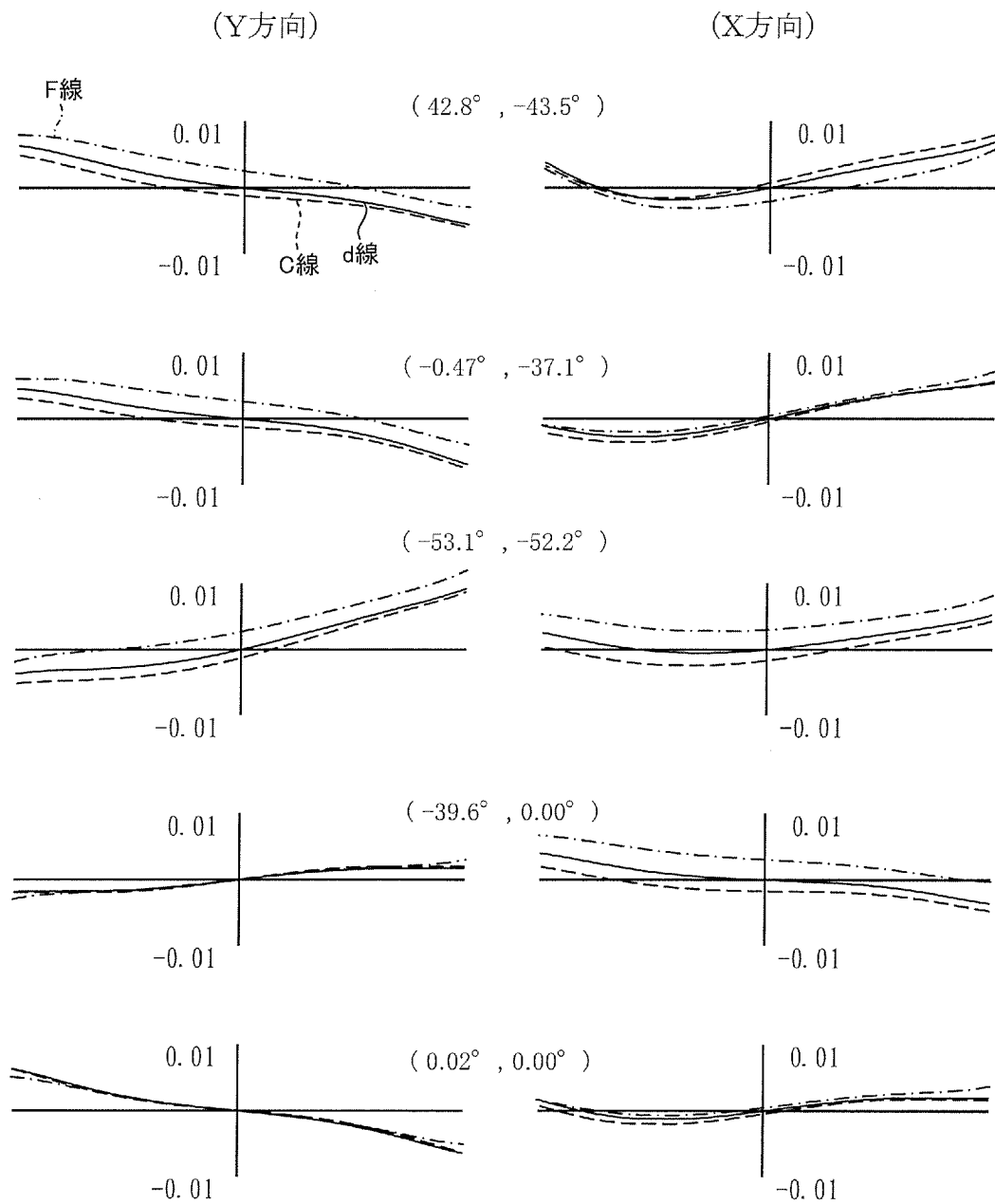
[図34]

実施例8



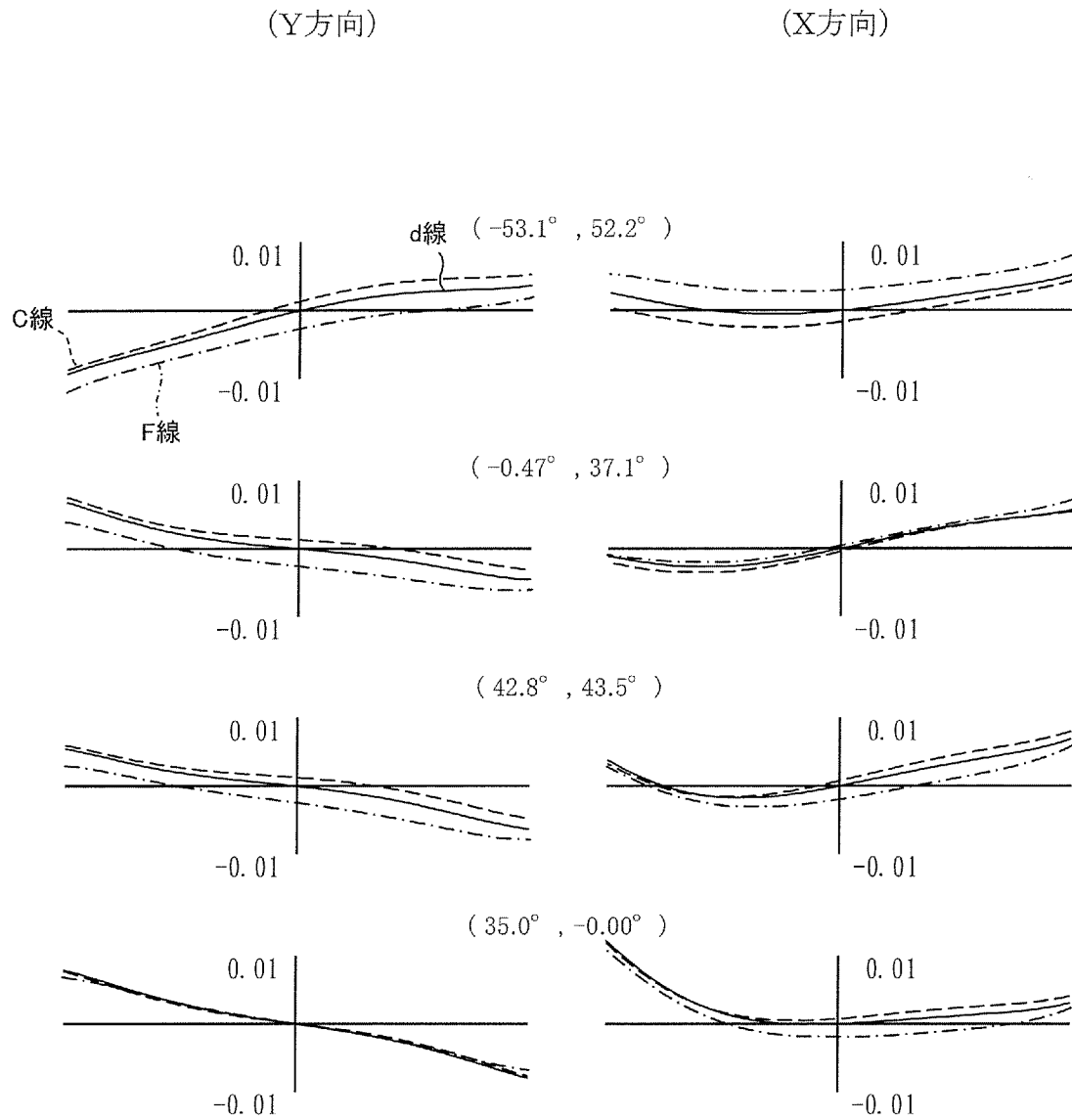
[図35]

実施例8

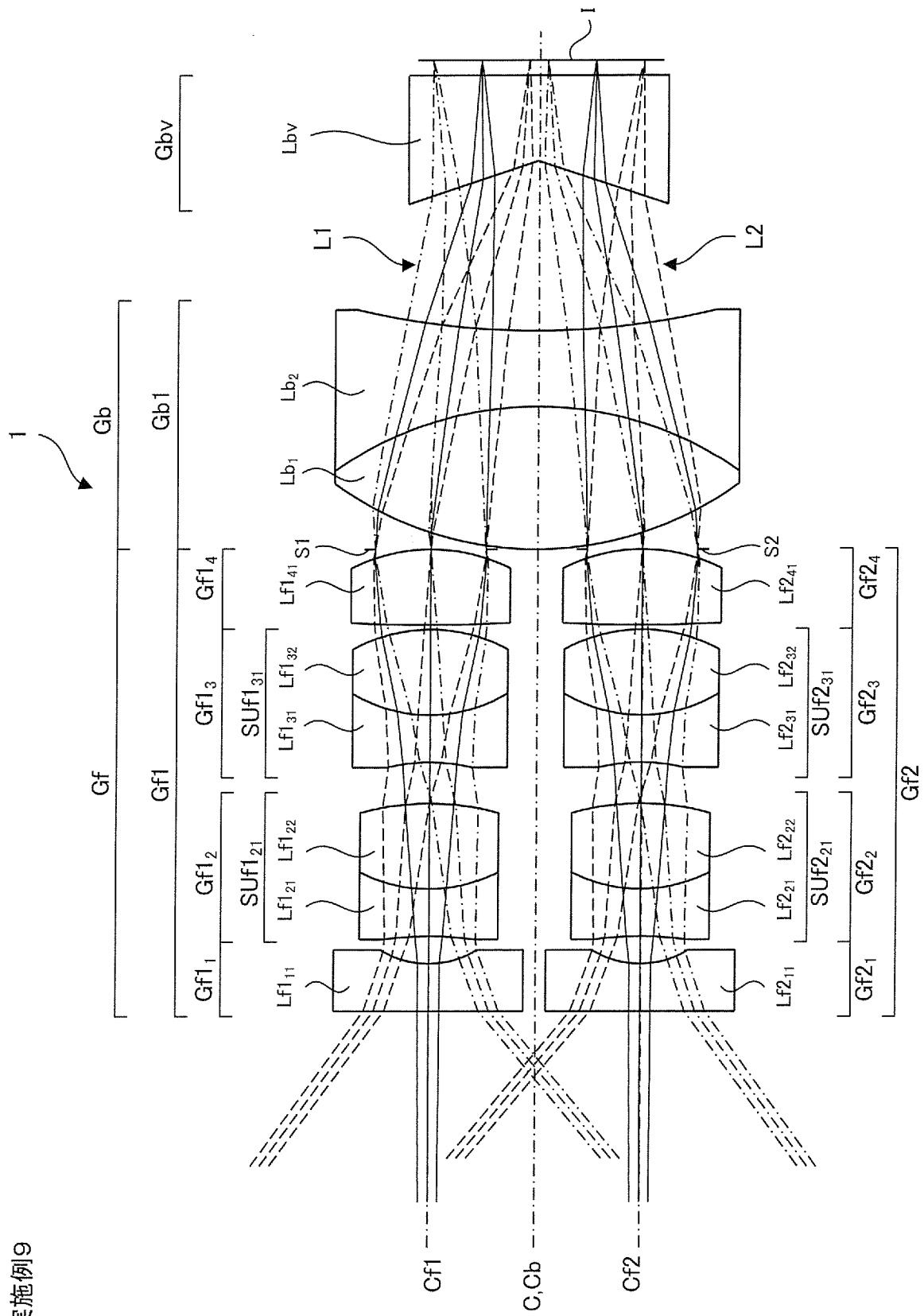


[図36]

実施例8

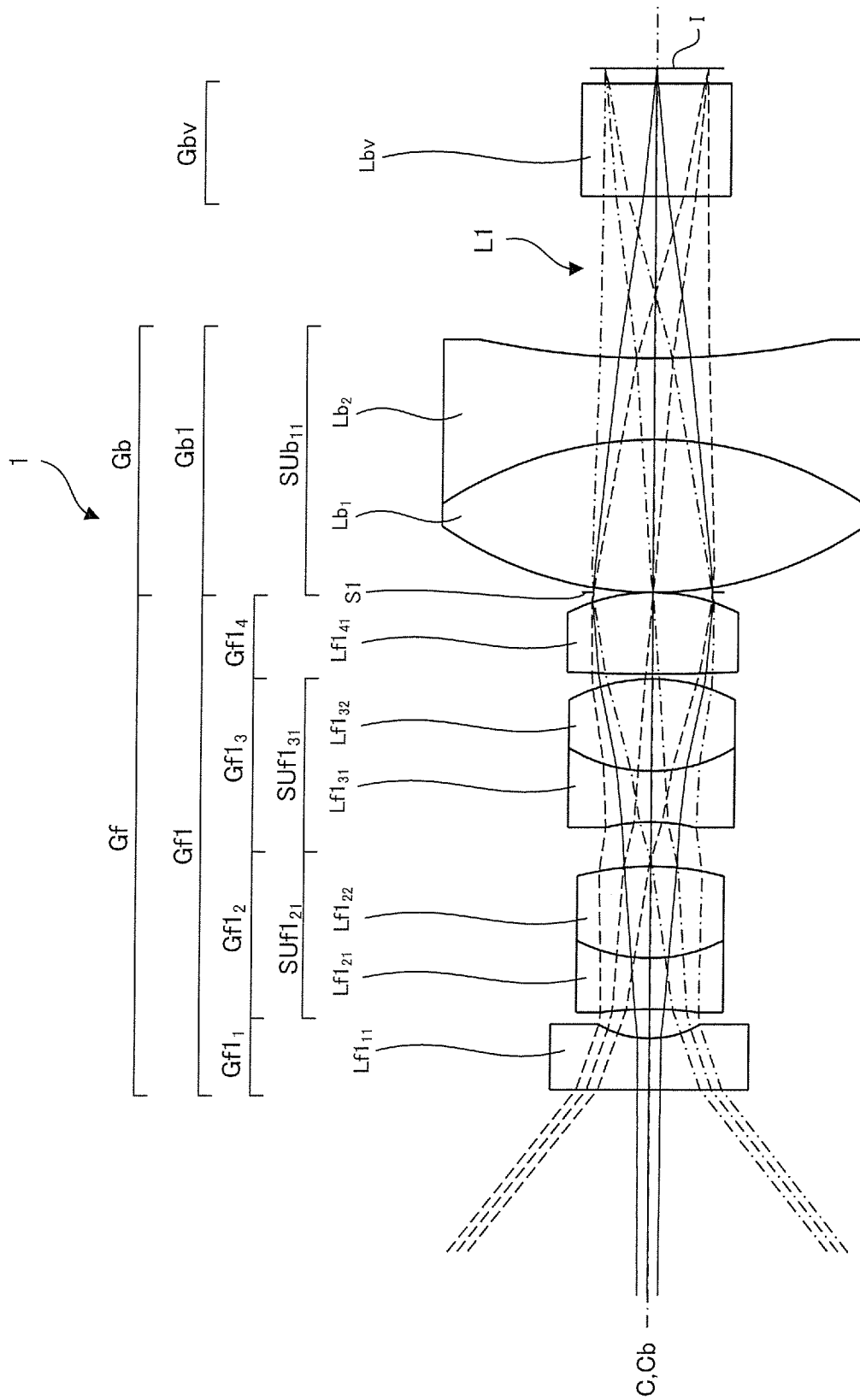


[図37]



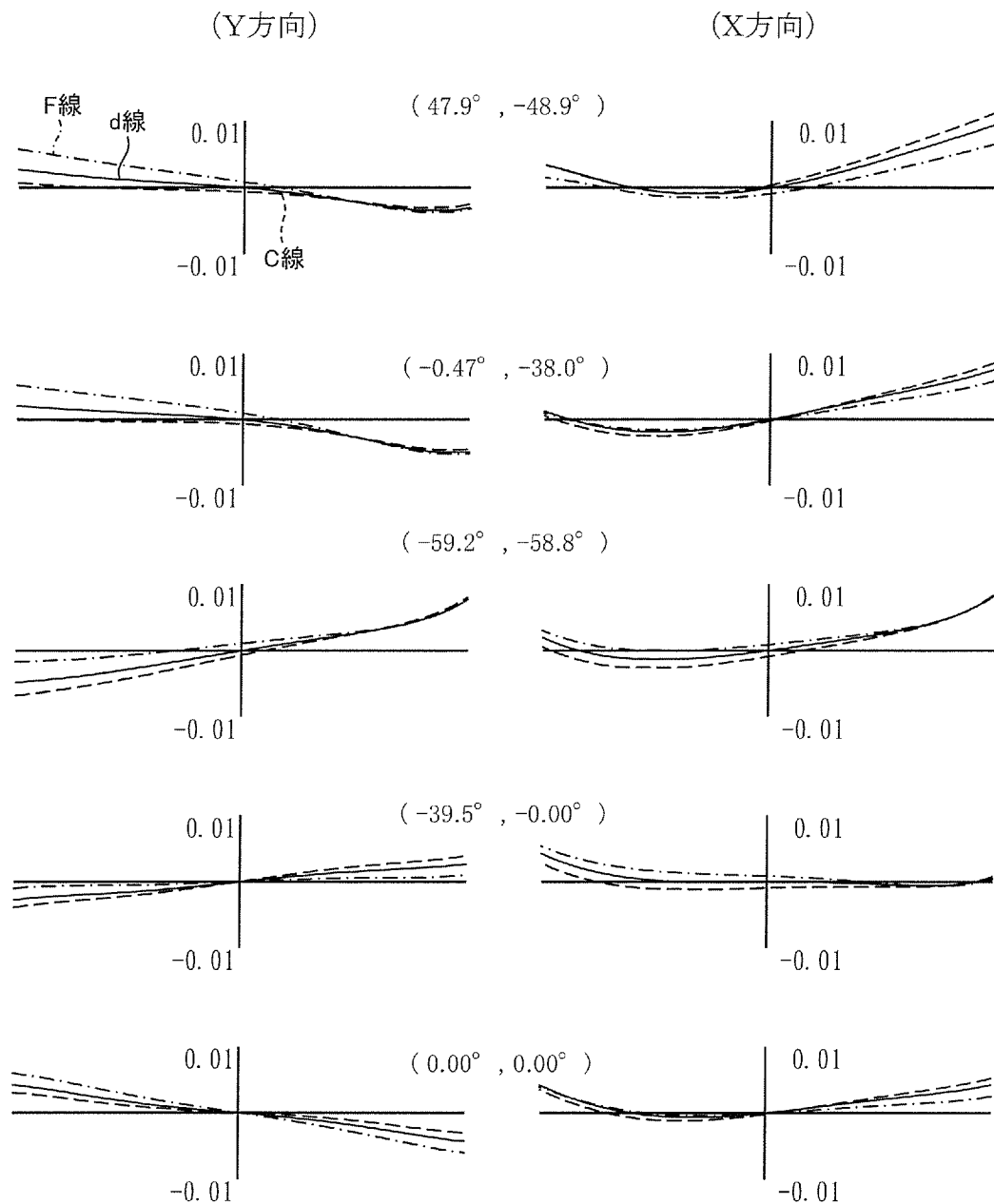
[図38]

実施例9



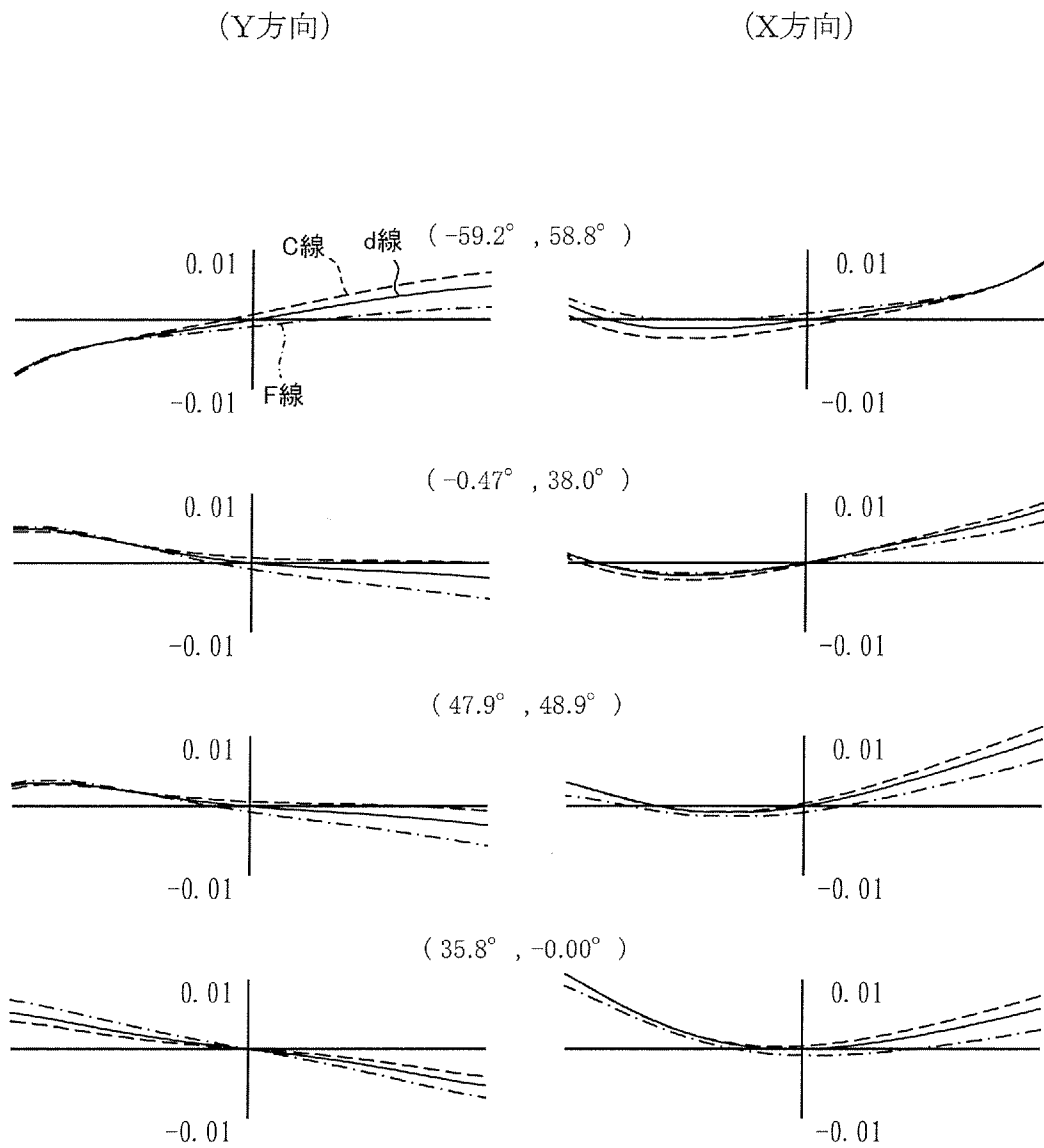
[図39]

実施例9

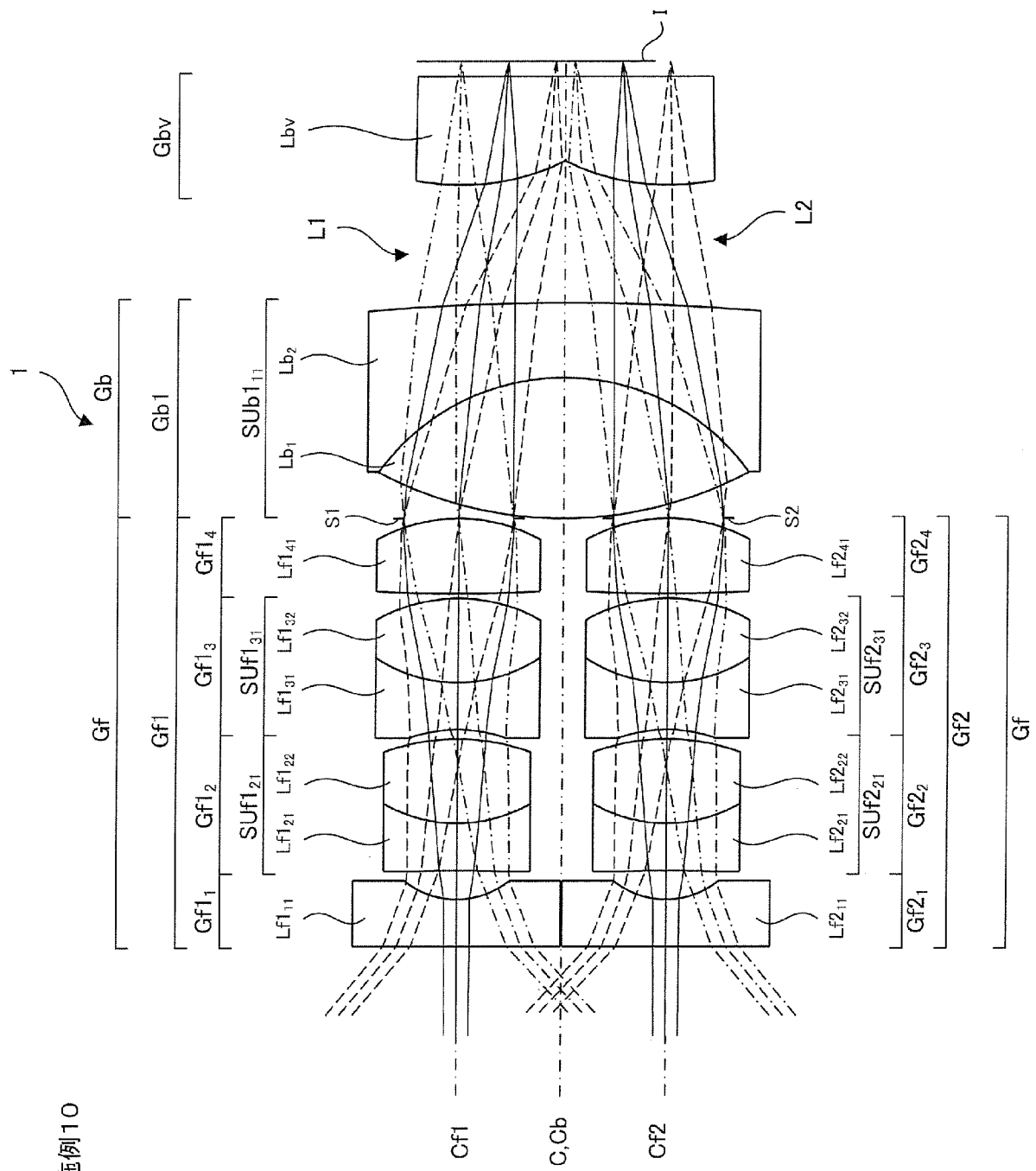


[図40]

実施例9



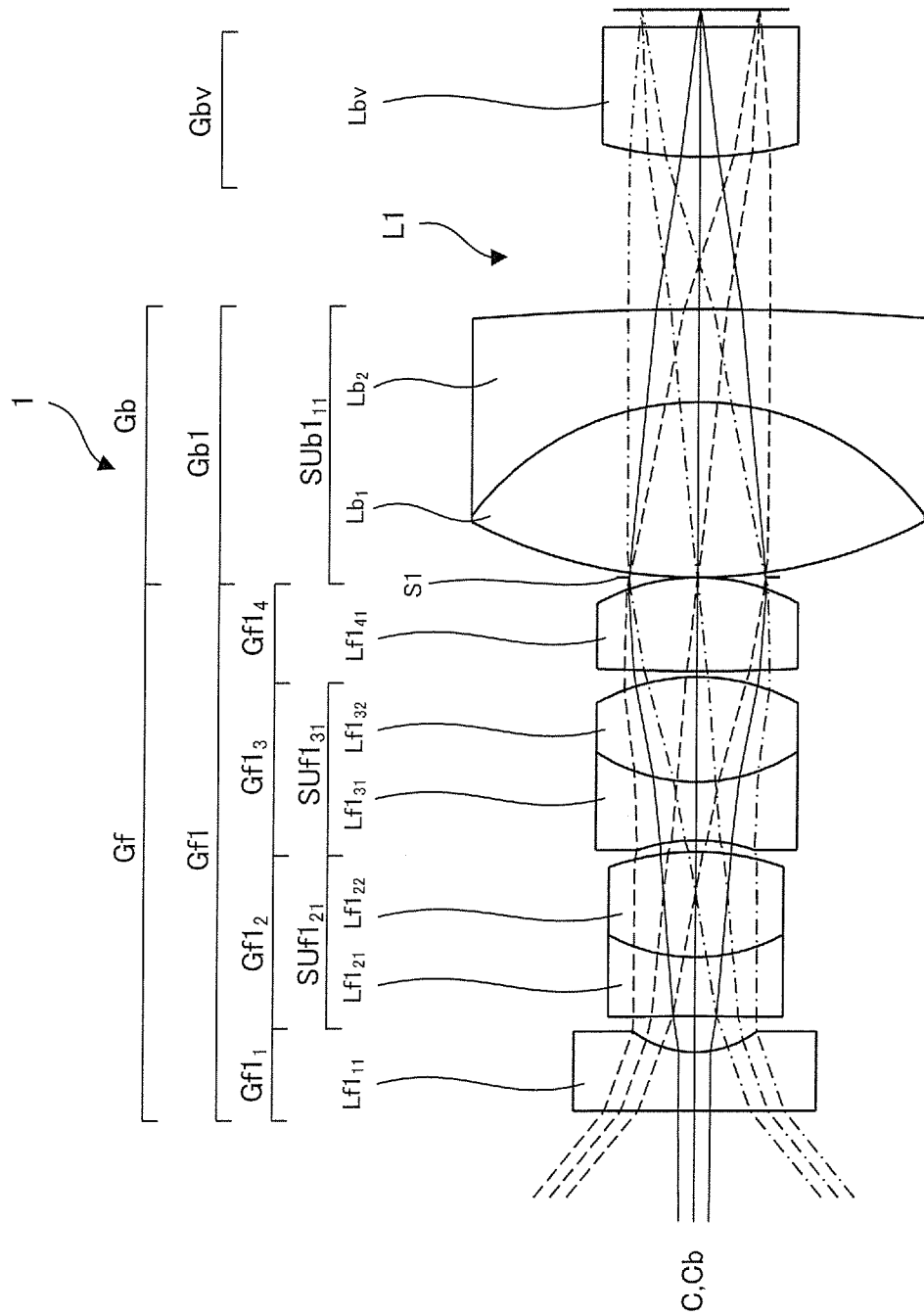
[図41]



実施例10

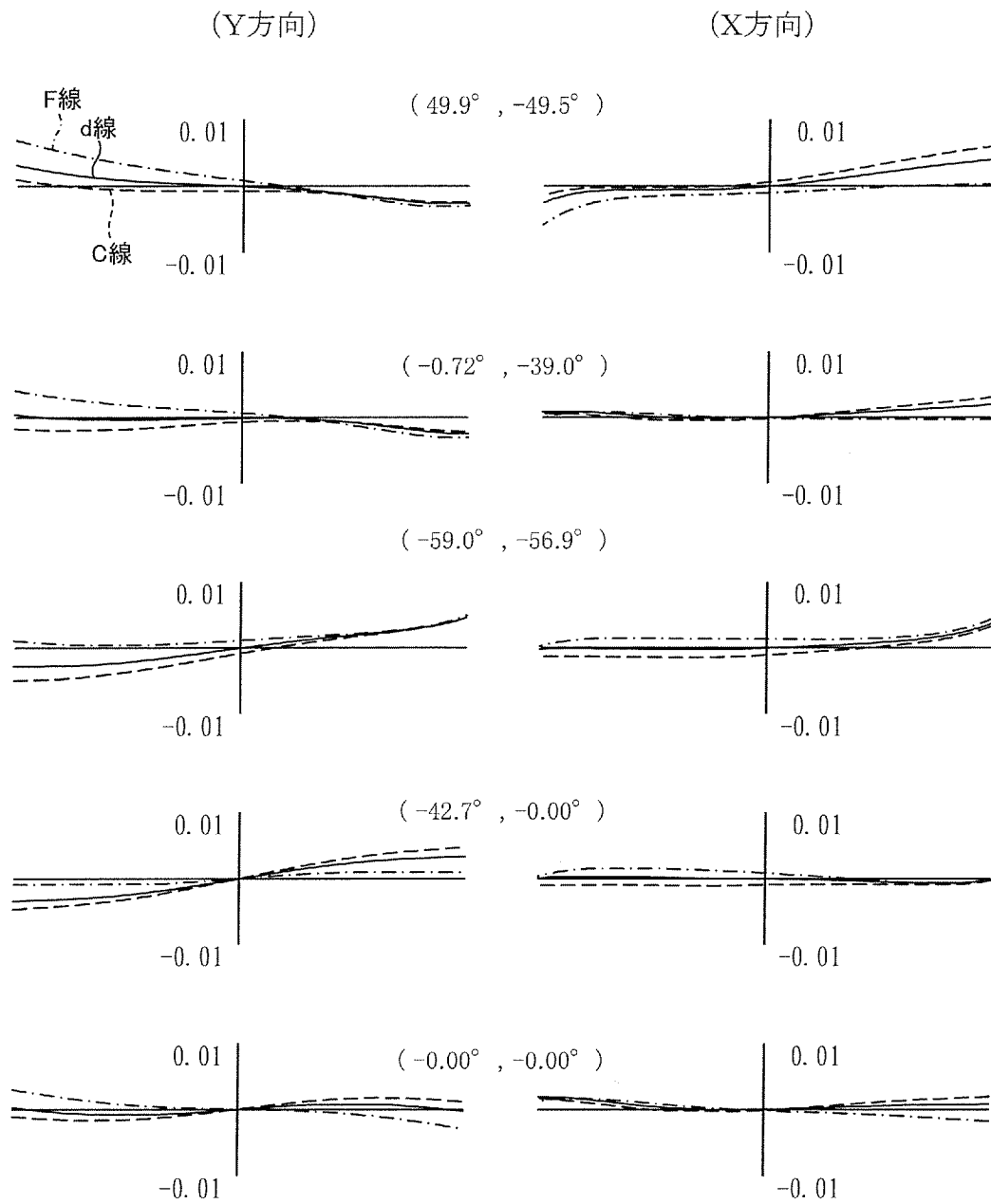
[図42]

実施例10



[図43]

実施例10

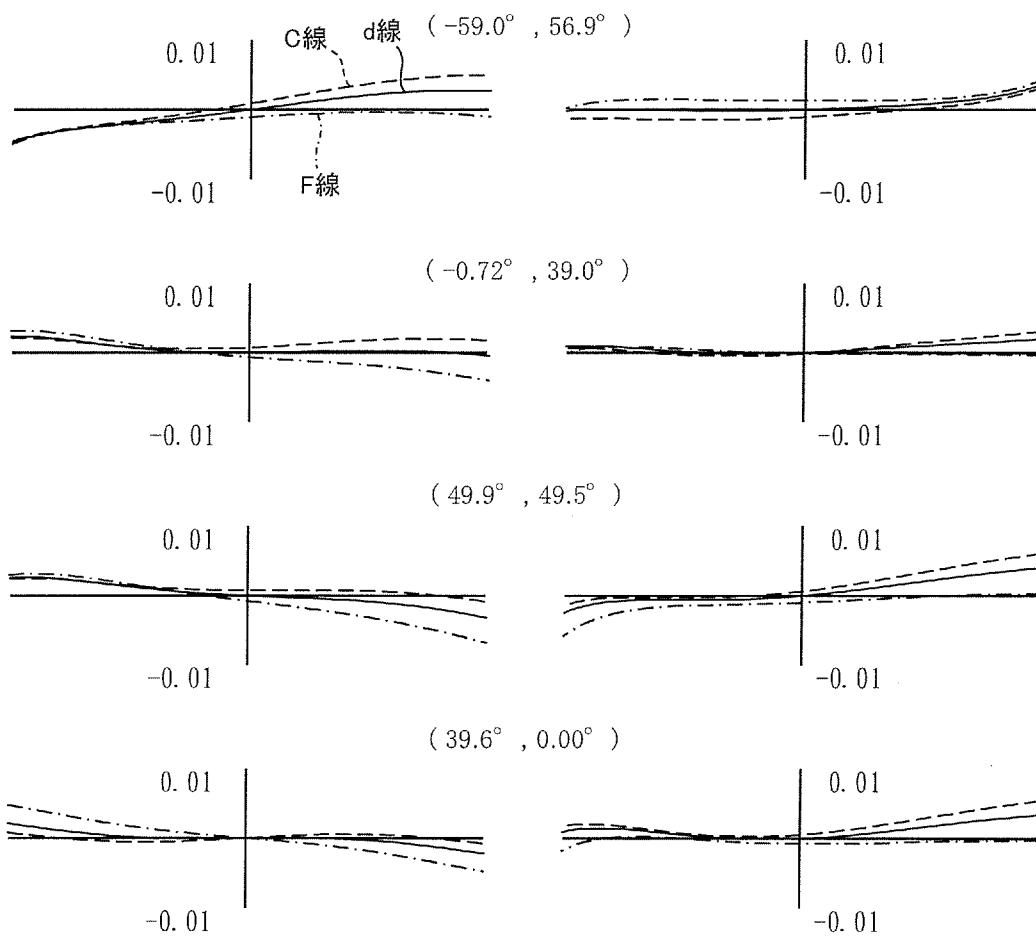


[図44]

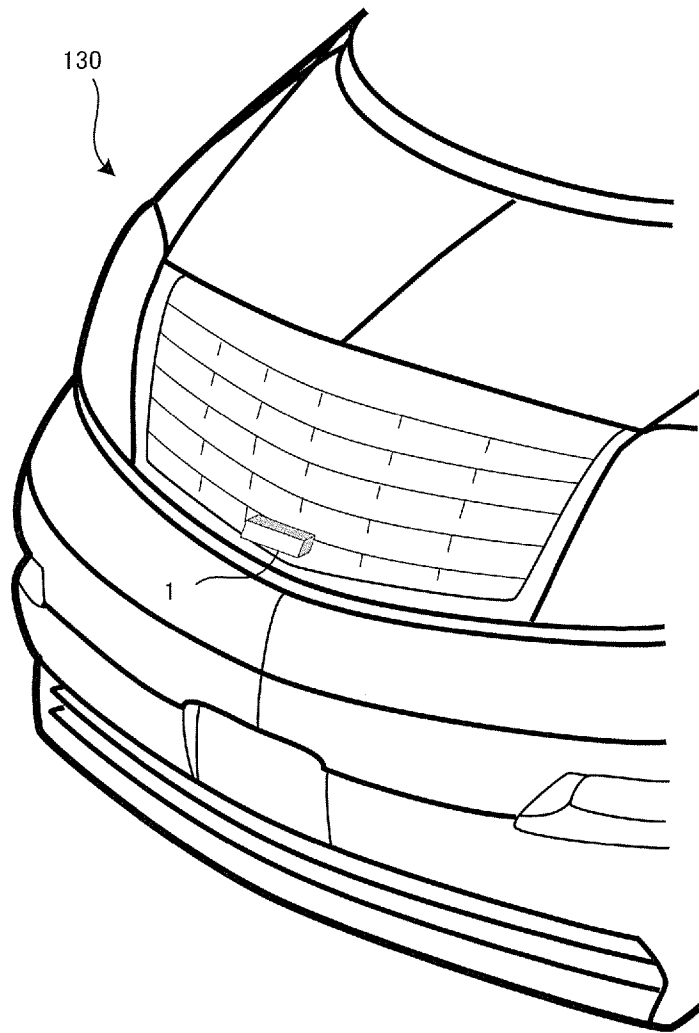
実施例10

(Y方向)

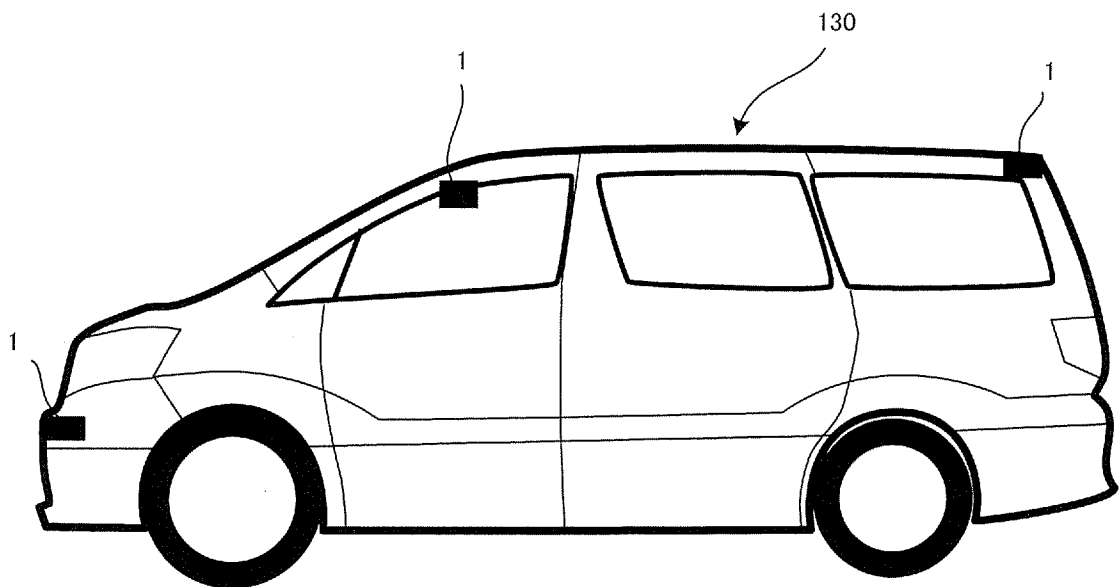
(X方向)



[図45]

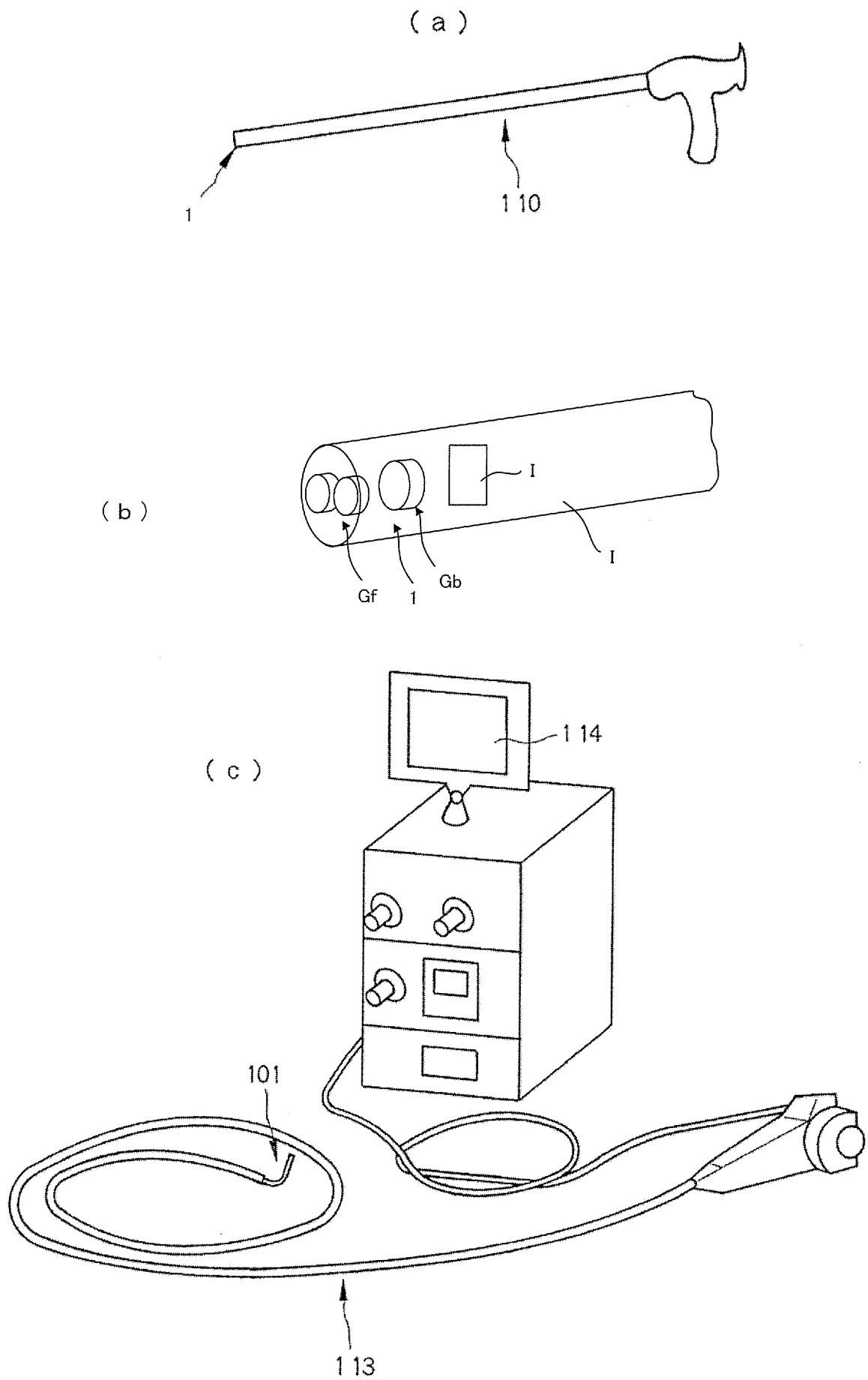


(a)

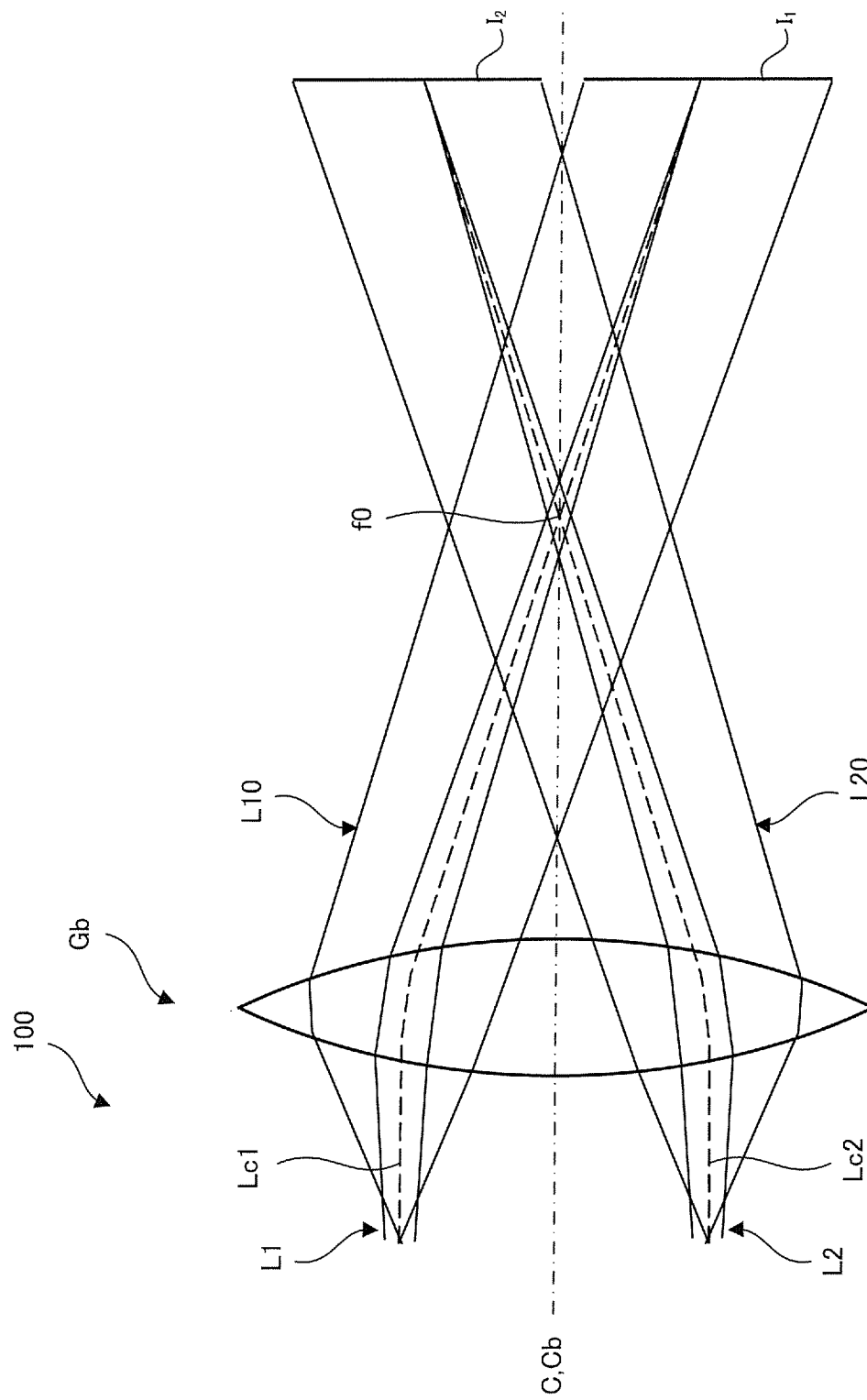


(b)

[図46]



[図47]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/076968

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B13/04(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i, G02B23/26(2006.01)i, G03B35/08(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, G02B13/18, G02B23/26, G03B35/08

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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.
X A	JP 2003-5096 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 08 January 2003 (08.01.2003), entire text; all drawings; particularly, 1st to 3rd examples (Family: none)	1, 3, 13-14, 19-21 2, 4-12, 15-18
X A	JP 8-56891 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 05 March 1996 (05.03.1996), entire text; all drawings; particularly, claims 1 to 2; paragraphs [0058] to [0063], [0070] to [0074], [0081]; fig. 6 to 7 (Family: none)	1-2, 13-14, 19-21 3-12, 15-18

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

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 December 2014 (16.12.14)

Date of mailing of the international search report
06 January 2015 (06.01.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/076968

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X P,A	WO 2014/147856 A1 (Olympus Corp.), 25 September 2014 (25.09.2014), entire text; all drawings; particularly, claims 1, 3, 6, 8, 17 to 18; examples 6 to 8, 10 to 14 (paragraphs [0156] to [0185], [0197] to [0227], [0228] to [0236], [0242] to [0244], [0246] to [0250]; fig. 29 to 46, 55 to 61) (Family: none)	1-2, 10, 12-14, 19-21 3-9, 11, 15-18

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B13/04(2006.01)i, A61B1/00(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i, G02B23/26(2006.01)i, G03B35/08(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B13/04, A61B1/00, G02B13/18, G02B23/26, G03B35/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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
X A	JP 2003-5096 A（オリンパス光学工業株式会社）2003.01.08, 全文、全図、特に、第1実施例から第3実施例（ファミリーなし）	1, 3, 13-14, 19-21 2, 4-12, 15-18
X A	JP 8-56891 A（オリンパス光学工業株式会社）1996.03.05, 全文、全図、特に、請求項1-2、段落[0058]-[0063]、[0070]-[0074]、[0081]、図6-図7（ファミリーなし）	1-2, 13-14, 19-21 3-12, 15-18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 6 . 1 2 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 6 . 0 1 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号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

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

2 V

9 2 2 2

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
P, X P, A	WO 2014/147856 A1 (オリンパス株式会社) 2014. 09. 25, 全文、全図、 特に、請求項 1, 3, 6, 8, 17-18、実施例 6-8, 10-14 (段落[0156]-[0185]、 [0197]-[0227]、[0228]-[0236]、[0242]-[0244]、[0246]-[0250]、 図 29-図 46、図 55-図 61) (ファミリーなし)	1-2, 10, 12-14 , 19-21 3-9, 11, 15-18