

(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
2018年4月12日(12.04.2018)



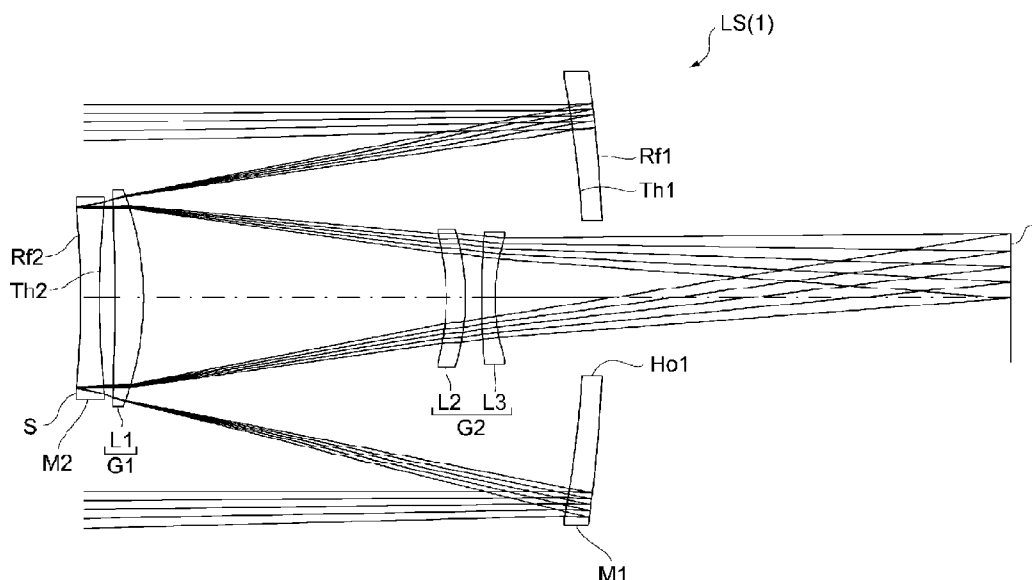
(10) 国際公開番号

WO 2018/066313 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 17/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/032660
- (22) 国際出願日: 2017年9月11日(11.09.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-195940 2016年10月3日(03.10.2016) JP
- (71) 出願人: 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 内田 健介 (UCHIDA, Kensuke); 〒1086290 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大西 正悟, 外(OHNISHI, Shogo et al.); 〒1700013 東京都豊島区東池袋3-20-3、東池袋SSビル1階 大西国際特許事務所 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: CATADIOPTRIC SYSTEM AND OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称: 反射屈折光学系および光学装置



(57) **Abstract:** A catadioptric system (LS) is provided with: a first reflecting mirror (M1) that reflects light transmitted from an object; a second reflecting mirror (M2) that reflects light reflected by the first reflecting mirror (M1); a first lens group (G1), which passes light travelling toward the second reflecting mirror (M2) after being reflected by the first reflecting mirror (M1), and which also passes light reflected by the second reflecting mirror (M2); and a second lens group (G2) that passes light passed through the first lens group (G1) after being reflected by the second reflecting mirror (M2). The catadioptric system is configured such that an image of the object is formed by means of light passed through the

[続葉有]



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：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

second lens group (G2).

(57) 要約：反射屈折光学系（L S）が、物体からの光を反射させる第1反射鏡（M 1）と、第1反射鏡（M 1）で反射した光を反射させる第2反射鏡（M 2）と、第1反射鏡（M 1）で反射して第2反射鏡（M 2）に向かう光を透過させ、且つ第2反射鏡（M 2）で反射した光を透過させる第1レンズ群（G 1）と、第2反射鏡（M 2）で反射して第1レンズ群（G 1）を透過した光を透過させる第2レンズ群（G 2）とを備え、第2レンズ群（G 2）を透過した光によって物体の像が結像されるように構成される。

明 細 書

発明の名称： 反射屈折光学系および光学装置

技術分野

[0001] 本発明は、反射屈折光学系および光学装置に関する。

背景技術

[0002] 例えば、特許文献 1 には、反射鏡とレンズを組み合わせて構成された反射屈折光学系が開示されている。このような反射屈折光学系は、製造コストの観点から簡便な構成であることが好ましい。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1：特開 2 0 1 1 - 2 4 8 1 2 2 号公報

発明の概要

[0004] 第 1 の態様に係る反射屈折光学系は、物体からの光を反射させる第 1 反射鏡と、前記第 1 反射鏡で反射した光を反射させる第 2 反射鏡と、前記第 1 反射鏡で反射して前記第 2 反射鏡に向かう光を透過させ、且つ前記第 2 反射鏡で反射した光を透過させる第 1 レンズ群と、前記第 2 反射鏡で反射して前記第 1 レンズ群を透過した光を透過させる第 2 レンズ群とを備え、前記第 2 レンズ群を透過した光によって物体の像が結像され、以下の条件式を満足している。

$$0 \leq f \angle |f_2| < 5.50$$

但し、

f ：前記反射屈折光学系の焦点距離、

$|f_2|$ ：前記第 2 レンズ群の焦点距離。

[0005] 第 2 の態様に係る光学装置は、上述の反射屈折光学系を備えている。

図面の簡単な説明

[0006] [図 1] 第 1 実施例に係る反射屈折光学系の構成図である。

[図 2] 第 1 実施例に係る反射屈折光学系の横収差図である。

[図3]第2実施例に係る反射屈折光学系の構成図である。

[図4]第2実施例に係る反射屈折光学系の横収差図である。

[図5]第3実施例に係る反射屈折光学系の構成図である。

[図6]第3実施例に係る反射屈折光学系の横収差図である。

[図7]第4実施例に係る反射屈折光学系の構成図である。

[図8]第4実施例に係る反射屈折光学系の横収差図である。

[図9]望遠鏡の模式図である。

発明を実施するための形態

[0007] 以下、本実施形態の反射屈折光学系、および光学装置について図を参照して説明する。本実施形態の反射屈折光学系を備えた光学装置としてカセグレン型の望遠鏡1が図9に示されている。望遠鏡1は、図9に示すように、鏡筒部2と、鏡筒部2の先端側に收容された反射屈折光学系LSと、鏡筒部2の基端側に收容された検出部3とを有して構成される。検出部3は、イメージセンサー等から構成される。このような望遠鏡1において、物体からの光は、反射屈折光学系LSにより集光されて検出部3に導かれ、検出部3の撮像面において結像される。反射屈折光学系LSにより集光されて結像した物体の像は、検出部3によって検出される。

[0008] 本実施形態に係る反射屈折光学系LSの一例としての反射屈折光学系LS(1)は、図1に示すように、第1反射鏡M1と、第2反射鏡M2と、第1レンズ群G1とを備えて構成される。第1反射鏡M1は、物体からの光を反射させる。第2反射鏡M2は、第1反射鏡M1で反射した光を反射させる。第1レンズ群G1は、第1反射鏡M1で反射して第2反射鏡M2に向かう光を透過させ、且つ第2反射鏡M2で反射した光を透過させる。これにより、簡便な構成で製造コストの低い反射屈折光学系LSおよび、これを備えた望遠鏡1(光学装置)を得ることが可能になる。本実施形態に係る反射屈折光学系LSは、図3に示す反射屈折光学系LS(2)でもよく、図5に示す反射屈折光学系LS(3)でもよく、図7に示す反射屈折光学系LS(4)でもよい。

[0009] 本実施形態に係る反射屈折光学系L Sにおいて、第2反射鏡M 2で反射して第1レンズ群G 1を透過した光を透過させる第2レンズ群G 2を備え、第2レンズ群G 2を透過した光によって物体の像が結像されることが好ましい。これにより、球面収差および非点収差を良好に補正することが可能になる。

[0010] 本実施形態に係る反射屈折光学系L Sにおいて、次の条件式(1)で表される条件を満足することが好ましい。

$$[0011] \quad 0 \leq f / |f_2| < 5.50 \quad \dots (1)$$

但し、

f : 反射屈折光学系L Sの焦点距離、

|f₂| : 第2レンズ群G 2の焦点距離。

[0012] 条件式(1)は、反射屈折光学系L S全系の焦点距離と第2レンズ群G 2の焦点距離との比について適切な範囲を規定する条件式である。条件式(1)を満足することで、像面湾曲およびディストーションの発生を抑えつつ、球面収差および軸上色収差を良好に補正することができる。

[0013] 条件式(1)の対応値が上限値を上回ると、像面湾曲およびディストーションの発生を抑えることが困難になり、良好な像が得られない傾向にある。本実施形態の効果を確実にするために、条件式(1)の上限値を好ましくは4.80としてもよい。

[0014] 条件式(1)の対応値が下限値を下回ると、同様に像面湾曲およびディストーションの発生を抑えることが困難になり、良好な像が得られない傾向にある。本実施形態の効果を確実にするために、条件式(1)の下限値を好ましくは0.03としてもよい。

[0015] 本実施形態に係る反射屈折光学系L Sにおいて、第1反射鏡M 1は、光の入射側に対して凹面の形状を有し、第2反射鏡M 2は、光の入射側に対して凸面の形状を有することが好ましい。これにより、物体からの光を集光して結像させることが可能になる。

[0016] 本実施形態に係る反射屈折光学系L Sにおいて、第1反射鏡M 1は、開口

部H o 1を有し、当該開口部H o 1は、第2反射鏡M 2で反射して第1レンズ群G 1を透過した光が通過可能な位置に設けられることが好ましい。例えば、開口部H o 1は、第1反射鏡M 1の中央部に設けられてもよい。これにより、焦点距離に対して全長の短い反射屈折光学系L Sを得ることができる。なお、第2反射鏡M 2で反射して第1レンズ群G 1を透過した光の全てが開口部H o 1を通過する構成としてもよく、第2反射鏡M 2で反射して第1レンズ群G 1を透過した光の少なくとも一部が開口部H o 1を通過する構成としてもよい。

[0017] 本実施形態に係る反射屈折光学系L Sにおいて、第2反射鏡M 2は、第1反射鏡M 1の開口部H o 1と対向して配置され、第1レンズ群G 1は、第1反射鏡M 1と第2反射鏡M 2との間に配置されることが好ましい。これにより、焦点距離に対して全長の短い反射屈折光学系L Sを得ることができる。

[0018] 本実施形態に係る反射屈折光学系L Sにおいて、第1反射鏡M 1は、物体からの光が透過可能な第1透過面T h 1と、第1透過面T h 1を透過した光が反射可能な第1反射面R f 1とを有する裏面鏡であり、第1透過面T h 1の曲率半径と第1反射面R f 1の曲率半径とが異なることが好ましい。これにより、球面収差とコマ収差を良好に補正することが可能になる。

[0019] 本実施形態に係る反射屈折光学系L Sにおいて、次の条件式(2)で表される条件を満足することが好ましい。

$$[0020] \quad 0.50 < RM1a / RM1b < 2.00 \quad \cdots (2)$$

但し、

RM1a : 第1透過面T h 1の曲率半径、

RM1b : 第1反射面R f 1の曲率半径。

[0021] 条件式(2)は、第1反射鏡M 1における第1透過面T h 1と第1反射面R f 1との曲率半径の比について適切な範囲を規定する条件式である。条件式(2)を満足することで、倍率色収差の発生を抑えつつ、球面収差およびコマ収差を良好に補正することができる。

[0022] 条件式(2)の対応値が上限値を上回ると、倍率色収差の発生を抑えるこ

とが困難になり、高い解像度が得られない傾向にある。本実施形態の効果を確実にするために、条件式（２）の上限値を好ましくは１．５０としてもよい。

[0023] 条件式（２）の対応値が下限値を下回ると、同様に倍率色収差を抑えることが困難になり、高い解像度が得られない傾向にある。本実施形態の効果を確実にするために、条件式（２）の下限値を好ましくは０．６０としてもよい。

[0024] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第１透過面Ｔｈ１および第１反射面Ｒｆ１が球面であることが好ましい。これにより、第１透過面Ｔｈ１および第１反射面Ｒｆ１を有する第１反射鏡Ｍ１を、非球面レンズに比べて容易に作製することができるため、製造コストの低い反射屈折光学系ＬＳを得ることが可能になる。

[0025] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第２反射鏡Ｍ２は、第１反射鏡Ｍ１からの光が透過可能な第２透過面Ｔｈ２と、第２透過面Ｔｈ２を透過した光が反射可能な第２反射面Ｒｆ２とを有する裏面鏡であり、第２透過面Ｔｈ２の曲率半径と第２反射面Ｒｆ２の曲率半径とが異なることが好ましい。これにより、球面収差およびコマ収差を良好に補正することが可能になる。

[0026] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、次の条件式（３）で表される条件を満足することが好ましい。

[0027] $-2.00 < RM2a / RM2b < -0.50 \quad \dots (3)$

但し、

RM2a：第２透過面Ｔｈ２の曲率半径、

RM2b：第２反射面Ｒｆ２の曲率半径。

[0028] 条件式（３）は、第２反射鏡Ｍ２における第２透過面Ｔｈ２と第２反射面Ｒｆ２との曲率半径の比について適切な範囲を規定する条件式である。条件式（３）を満足することで、球面収差およびコマ収差を良好に補正することができる。

[0029] 条件式（３）の対応値が上限値を上回ると、球面収差およびコマ収差の補正が困難になり、高い解像度が得られない傾向にある。本実施形態の効果を確実にするために、条件式（３）の上限値を好ましくは -0.60 としてもよい。

[0030] 条件式（３）の対応値が下限値を下回ると、同様に球面収差およびコマ収差の補正が困難になり、高い解像度が得られない傾向にある。本実施形態の効果を確実にするために、条件式（３）の下限値を好ましくは -1.50 としてもよい。

[0031] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第２透過面 T_h2 および第２反射面 R_f2 が球面であることが好ましい。これにより、第２透過面 T_h2 および第２反射面 R_f2 を有する第２反射鏡 $M2$ を、非球面レンズに比べて容易に作製することができるため、製造コストの低い反射屈折光学系ＬＳを得ることが可能になる。

[0032] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第１レンズ群 $G1$ は、１枚のレンズからなり、次の条件式（４）で表される条件を満足することが好ましい。

[0033] $-0.50 < R1a / R1b < 1.50 \quad \dots (4)$

但し、

$R1a$ ：第１レンズ群 $G1$ のレンズにおける第１反射鏡 $M1$ が配置される側のレンズ面の曲率半径、

$R1b$ ：第１レンズ群 $G1$ のレンズにおける第２反射鏡 $M2$ が配置される側のレンズ面の曲率半径。

[0034] 条件式（４）は、第１レンズ群 $G1$ のレンズにおける第１反射鏡 $M1$ が配置される側のレンズ面と第２反射鏡 $M2$ が配置される側のレンズ面との曲率半径の比について適切な範囲を規定する条件式である。条件式（４）を満足することで、コマ収差を良好に補正することができる。

[0035] 条件式（４）の対応値が上限値を上回ると、コマ収差の補正が困難になり、高い解像度が得られない傾向にある。本実施形態の効果を確実にするため

に、条件式（４）の上限値を好ましくは１．２０としてもよい。

[0036] 条件式（４）の対応値が下限値を下回ると、同様にコマ収差の補正が困難になり、高い解像度が得られない傾向にある。本実施形態の効果を確実にするために、条件式（４）の下限値を好ましくは０としてもよい。

[0037] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第１レンズ群Ｇ１は、１枚の正メニスカスレンズからなることが好ましい。これにより、コマ収差を良好に補正することが可能になる。

[0038] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第１レンズ群Ｇ１の各レンズ面が球面であることが好ましい。これにより、第１レンズ群Ｇ１を、非球面レンズに比べて容易に作製することができるため、製造コストの低い反射屈折光学系ＬＳを得ることが可能になる。

[0039] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第１反射鏡Ｍ１は、物体からの光が透過可能な第１透過面Ｔｈ１と、第１透過面Ｔｈ１を透過した光が反射可能な第１反射面Ｒｆ１とを有する裏面鏡であり、第２反射鏡Ｍ２は、第１反射鏡Ｍ１からの光が透過可能な第２透過面Ｔｈ２と、第２透過面Ｔｈ２を透過した光が反射可能な第２反射面Ｒｆ２とを有する裏面鏡であり、次の条件式（５）で表される条件を満足することが好ましい。

[0040] $0.80 < RM1b / RM2b < 2.00 \quad \dots (5)$

但し、

RM1b：第１反射面Ｒｆ１の曲率半径、

RM2b：第２反射面Ｒｆ２の曲率半径。

[0041] 条件式（５）は、第１反射鏡Ｍ１における第１反射面Ｒｆ１と第２反射鏡Ｍ２における第２反射面Ｒｆ２との曲率半径の比について適切な範囲を規定する条件式である。条件式（５）を満足することで、像面湾曲を良好に補正することができる。

[0042] 条件式（５）の対応値が上限値を上回ると、像面湾曲の補正が困難になり、画角を広げることが困難になる傾向にある。本実施形態の効果を確実にするために、条件式（５）の上限値を好ましくは１．７０としてもよい。

[0043] 条件式（５）の対応値が下限値を下回ると、同様に像面湾曲の補正が困難になり、画角を広げることが困難になる傾向にある。本実施形態の効果を確実にするために、条件式（５）の下限値を好ましくは０．９０としてもよい。

[0044] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第２レンズ群Ｇ２は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、第１正レンズと、負レンズと、第２正レンズとからなることが好ましい。これにより、球面収差および非点収差を良好に補正することができる。

[0045] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第２レンズ群Ｇ２の各レンズ面が球面であることが好ましい。これにより、第２レンズ群Ｇ２を、非球面レンズに比べて容易に作製することができるため、製造コストの低い反射屈折光学系ＬＳを得ることが可能になる。

[0046] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、第１反射鏡Ｍ１は、物体からの光が透過可能な第１透過面Ｔｈ１と、第１透過面Ｔｈ１を透過した光が反射可能な第１反射面Ｒｆ１とを有する裏面鏡であり、第２反射鏡Ｍ２は、第１反射鏡Ｍ１からの光が透過可能な第２透過面Ｔｈ２と、第２透過面Ｔｈ２を透過した光が反射可能な第２反射面Ｒｆ２とを有する裏面鏡であり、第１反射鏡Ｍ１を構成する第１透過面Ｔｈ１および第１反射面Ｒｆ１が設けられる光学素子と、第２反射鏡Ｍ２を構成する第２透過面Ｔｈ２および第２反射面Ｒｆ２が設けられる光学素子と、第１レンズ群Ｇ１および第２レンズ群Ｇ２を構成する各レンズとが同じ材料からなることが好ましい。これにより、反射屈折光学系ＬＳの熱膨張もしくは熱収縮を均一化することができるため、温度変化に伴う反射屈折光学系ＬＳの変形を抑えることができ、高温もしくは低温になる過酷な環境においても、反射屈折光学系ＬＳを使用することが可能になる。

[0047] 本実施形態に係る反射屈折光学系ＬＳにおいて、上述の材料の線熱膨張係数が $6 \times 10^{-7} / \text{K}$ 以下であることが好ましい。このように、線熱膨張係数の小さい材料を用いることで、温度変化に伴う反射屈折光学系ＬＳの変形を抑

えることができ、高温もしくは低温になる過酷な環境においても、反射屈折光学系LSを使用することが可能になる。

[0048] 本実施形態に係る反射屈折光学系LSにおいて、上述の材料の比重が $3\text{ g}/\text{cm}^3$ 以下であることが好ましい。このように、比重の小さい材料を用いることで、反射屈折光学系LSを軽くすることができ、例えば、小型の無人飛行装置にも反射屈折光学系LSを好適に搭載することが可能になる。

[0049] 本実施形態に係る反射屈折光学系LSにおいて、上述の材料が石英ガラスであることが好ましい。このように、線熱膨張係数の小さい材料を用いることで、温度変化に伴う反射屈折光学系LSの変形を抑えることができ、高温もしくは低温になる過酷な環境においても、反射屈折光学系LSを使用することが可能になる。なお、石英ガラスは、非球面等の複雑な加工において手間の掛かる硬質な材料に分類されるが、上述のように、光学面が加工の容易な球面に形成されることで、硬質な石英ガラスであっても容易に用いることが可能になる。

[0050] 本実施形態に係る反射屈折光学系LSにおいて、次の条件式(6)で表される条件を満足することが好ましい。

[0051] $|D_{exit}|/f \geq 0.3 \quad \dots (6)$

但し、

$|D_{exit}|$: 反射屈折光学系LSの像面から射出瞳までの距離。

[0052] 条件式(6)は、反射屈折光学系LSの像面から射出瞳までの距離と、反射屈折光学系LS全系の焦点距離との比について適切な範囲を規定する条件式である。条件式(6)を満足することで、反射屈折光学系LSの焦点距離、波面収差等の光学性能を計測する際、反射屈折光学系LSに対して計測装置を回転させずに計測を行うことが可能になる。そのため、反射屈折光学系LSの光学性能を計測するための装置構成を簡略化することができる。なお、反射屈折光学系LSの像面から射出瞳までの距離は、物体から像面に向かう方向の距離を正とした場合の絶対値である。

[0053] 条件式(6)の対応値が下限値を下回ると、反射屈折光学系LSの焦点距

離、波面収差等の光学性能を計測する際、反射屈折光学系LSに対して計測装置を回転させて計測を行う必要があり、反射屈折光学系LSの光学性能を計測するための装置構成が複雑になる。また、条件式(6)の上限値を6.0以下として設けるようにしてもよい。

[0054] なお、本実施形態の反射屈折光学系を備えた光学装置としてカセグレン型の望遠鏡1を例示して説明したが、これに限られるものではない。例えば、光学装置は、本実施形態の反射屈折光学系を望遠レンズとして備えた撮像装置であってもよい。

実施例

[0055] 以下、本願の各実施例を図面に基づいて説明する。図1、図3、図5、および図7に、第1～第4実施例に係る反射屈折光学系LS{LS(1)～LS(4)}の構成を示す。これら図1、図3、図5、および図7において、各反射鏡を符号Mと数字の組み合わせにより、各レンズ群を符号Gと数字の組み合わせにより、各レンズを符号Lと数字の組み合わせにより、それぞれ表している。この場合において、符号、数字の種類および数が多くなって煩雑化するのを防止するため、実施例毎にそれぞれ独立して符号と数字の組み合わせを用いてレンズ群等を表している。このため、実施例間で同一の符号と数字の組み合わせが用いられていても、同一の構成であることを意味するものではない。

[0056] 以下に表1～表4を示すが、この内、表1は第1実施例、表2は第2実施例、表3は第3実施例、表4は第4実施例における諸元の値を示す表である。各実施例では収差特性の算出対象として、d線(波長 $\lambda=587.6\text{ nm}$)、g線(波長 $\lambda=435.8\text{ nm}$)、t線(波長 $\lambda=1013.9\text{ nm}$)を選んでいる。

[0057] 各表の「諸元データ」において、fは反射屈折光学系LS全系の焦点距離を、f2は第2レンズ群G2の焦点距離を、FNOはFナンバーを、 ω は半画角(単位は「°」)を、BFはバックフォーカスを、RCは第1面(反射屈折光学系LSに対する光の入射面)における中心遮蔽径を、|Dexit

| は反射屈折光学系 L S の像面から射出瞳までの距離をそれぞれ示す。[レンズデータ] において、面番号は物体側から数えた各レンズ面の番号を、R は各レンズ面の曲率半径を、D は各レンズ面の間隔を、 n_d は d 線（波長 $\lambda = 587.6 \text{ nm}$ ）に対する屈折率を、 ν_d は d 線（波長 $\lambda = 587.6 \text{ nm}$ ）に対するアッペ数を、 ϕ は有効径をそれぞれ示す。[条件式対応値] には、各条件式の対応値をそれぞれ示す。なお、第 1 カラム（面番号）の右に付した *a は、そのレンズ面が反射面であることを示す。曲率半径の「 ∞ 」は平面又は開口を示し、空気の屈折率 $n_d = 1.000000$ の記載は省略している。曲率半径の正負については、物体側に凸面を向けたレンズ面の曲率半径を正の値とする。

[0058] なお、以下の全ての諸元値において掲載されている焦点距離 f 、曲率半径 R 、その他の長さの単位は一般に「mm」が使われるが、光学系は、比例拡大または比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、これに限られるものではない。ここまでの表の説明は全ての実施例において共通であり、以下の重複する説明は省略する。

[0059] （第 1 実施例）

まず、本願の第 1 実施例について図 1 ～図 2 および表 1 を用いて説明する。図 1 は第 1 実施例に係る反射屈折光学系 L S (1) の構成図である。第 1 実施例に係る反射屈折光学系 L S (1) は、光軸に沿って配置された、第 1 反射鏡 M 1 と、第 2 反射鏡 M 2 と、第 1 レンズ群 G 1 と、第 2 レンズ群 G 2 とから構成される。

[0060] 第 1 反射鏡 M 1 は、中央に開口部 H o 1 を有する円盤状に形成され、物体側と対向して配置される。第 1 反射鏡 M 1 は、物体からの光を第 2 反射鏡 M 2 に向けて反射させる。第 1 反射鏡 M 1 は、物体側からの光が透過可能な表側の第 1 透過面 T h 1 と、第 1 透過面 T h 1 を透過した光が反射可能な裏側の第 1 反射面 R f 1 とを有する裏面反射鏡である。第 1 透過面 T h 1 は、光の入射側（物体側）に対し凹面を向けた球面形状に形成される。第 1 反射面 R f 1 は、光の入射側（物体側）に対し凹面を向けた球面形状に形成される。

。第1反射面Rf1の曲率半径は、第1透過面Th1の曲率半径と異なっている。開口部Ho1は、第1反射鏡M1の中央部に貫通形成され、第2反射鏡M2で反射して第1レンズ群G1および第2レンズ群G2を透過する光が像面I側に向けて通過できるようになっている。

[0061] 第2反射鏡M2は、第1反射鏡M1よりも外径の小さい円盤状に形成され、第1反射鏡M1の開口部Ho1と対向して配置される。第2反射鏡M2は、第1反射鏡M1で反射した光を第1反射鏡M1の開口部Ho1に向けて反射させる。第2反射鏡M2は、第1反射鏡M1からの光が透過可能な表側の第2透過面Th2と、第2透過面Th2を透過した光が反射可能な裏側の第2反射面Rf2とを有する裏面反射鏡である。第2透過面Th2は、光の入射側（像面I側）に対し凹面を向けた球面形状に形成される。第2反射面Rf2は、光の入射側（像面I側）に対し凸面を向けた球面形状に形成される。第2反射面Rf2の曲率半径は、第2透過面Th2の曲率半径と異なっている。第2反射面Rf2には、開口絞りSが配置される。

[0062] 第1レンズ群G1は、1枚の第1レンズL1のみから構成され、第1反射鏡M1と第2反射鏡M2との間に配置される。第1レンズ群G1は、第1反射鏡M1で反射して第2反射鏡M2に向かう光を透過させ、且つ第2反射鏡M2で反射した光を透過させる。第1レンズL1は、第1反射鏡M1が配置される側（像面I側）に凸面を向けた正メニスカスレンズである。第1レンズL1における両側のレンズ面は球面である。

[0063] 第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、第2レンズL2と、第3レンズL3とから構成される。第2レンズ群G2の第2レンズL2および第3レンズL3は、第1反射鏡M1と第1レンズ群G1との間に配置される。第2レンズ群G2は、第2反射鏡M2で反射して第1レンズ群G1を透過した光を透過させる。これにより、第1レンズ群G1および第2レンズ群G2を透過した光によって物体の像が結像される。第2レンズL2は、像面I側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズである。第2レンズL2における両側のレンズ面は球面である。第3レンズL3は、物体側に凸面

を向けたメニスカス形状の負レンズである。第3レンズL3における両側のレンズ面は球面である。なお、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間に、不図示の迷光絞りが配置される。

[0064] 第1反射鏡M1を構成する第1透過面Th1および第1反射面Rf1が形成される光学素子の材料として、石英ガラスが用いられる。第2反射鏡M2を構成する第2透過面Thおよび第2反射面Rf2が形成される光学素子の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。第1レンズ群G1を構成する第1レンズL1の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。第2レンズ群G2を構成する第2レンズL2および第3レンズL3の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。石英ガラスの線熱膨張係数は、例えば0～100℃の範囲で、約 $5.1 \times 10^{-7}/K$ である。石英ガラスの比重は、約 $2.2 g/cm^3$ である。

[0065] 下の表1に、第1実施例における各諸元を示す。なお、第1面は、第1実施例に係る反射屈折光学系LS(1)に対する光の入射面(鏡筒部2の開口が設けられる面)である。

[0066] (表1)

[諸元データ]

$$f = 859.26$$

$$f_2 = -208.99$$

$$FNO = 6.6$$

$$\omega = 1.44^\circ$$

$$BF = 175.06$$

$$RC = 80.7$$

$$|Dexit| = 260.35$$

[レンズデータ]

面番号	R	D	n_d	ν_d	ϕ
1	∞	141.26			153.4
2	-403.274	6.51	1.45847	67.8	146.7

3*a	-559.404	-6.51	1.45847	67.8	147.4	
4	-403.274	-149.72			143.7	
5	-99.039	-9.76	1.45847	67.8	69.3	
6	-1003.581	-5.21			67.0	
7	304.543	-6.51	1.45847	67.8	64.5	
8*a	-371.850	6.51	1.45847	67.8	61.4	(開口絞り)
9	304.543	5.21			61.4	
10	-1003.581	9.76	1.45847	67.8	61.7	
11	-99.039	65.10			62.2	
12	∞	37.69			49.5	(迷光絞り)
13	-84.395	6.51	1.45847	67.8	43.3	
14	-78.131	5.50			43.5	
15	276.139	4.56	1.45847	67.8	41.6	
16	65.824	BF			40.3	

[条件式対応値]

$$\text{条件式 (1)} \quad f / |f_2| = 4.10$$

$$\text{条件式 (2)} \quad RM1a / RM1b = 0.72$$

$$\text{条件式 (3)} \quad RM2a / RM2b = -0.82$$

$$\text{条件式 (4)} \quad R1a / R1b = 0.10$$

$$\text{条件式 (5)} \quad RM1b / RM2b = 1.50$$

$$\text{条件式 (6)} \quad |Dexit| / f = 0.30$$

[0067] 図2は、第1実施例に係る反射屈折光学系LS(1)の横収差図である。

横収差図において、破線はd線($\lambda = 587.6 \text{ nm}$)、一点鎖線はg線($\lambda = 435.8 \text{ nm}$)、実線はt線(波長 $\lambda = 1013.9 \text{ nm}$)における収差をそれぞれ示す。横収差図において、RFHは像高比(Relative Field Height)を示す。なお、以下に示す各実施例の収差図においても、本実施例と同様の符号を用い、重複する説明は省略する。そして、横収差図より、第1実施例では、諸収差が良好に補正され、優れた結像性能を有しているこ

とがわかる。

[0068] (第2実施例)

以下、本願の第2実施例について図3～図4および表2を用いて説明する。図3は第2実施例に係る反射屈折光学系LS(2)の構成図である。第2実施例に係る反射屈折光学系LS(2)は、光軸に沿って配置された、第1反射鏡M1と、第2反射鏡M2と、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2とから構成される。第2実施例において、第1反射鏡M1、第2反射鏡M2、および第1レンズ群G1は、第1実施例と同様の構成であり、第1実施例の場合と同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0069] 第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、第2レンズL2と、第3レンズL3とから構成される。第2レンズ群G2の第2レンズL2および第3レンズL3は、第1反射鏡M1と第1レンズ群G1との間に配置される。第2レンズ群G2は、第2反射鏡M2で反射して第1レンズ群G1を透過した光を透過させる。これにより、第1レンズ群G1および第2レンズ群G2を透過した光によって物体の像が結像される。第2レンズL2は、両凸形状の正レンズである。第2レンズL2における両側のレンズ面は球面である。第3レンズL3は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズである。第3レンズL3における両側のレンズ面は球面である。なお、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間に、不図示の迷光絞りが配置される。

[0070] 第1反射鏡M1を構成する第1透過面Th1および第1反射面Rf1が形成される光学素子の材料として、石英ガラスが用いられる。第2反射鏡M2を構成する第2透過面Thおよび第2反射面Rf2が形成される光学素子の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。第1レンズ群G1を構成する第1レンズL1の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。第2レンズ群G2を構成する第2レンズL2および第3レンズL3の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。

[0071] 下の表2に、第2実施例における各諸元を示す。なお、第1面は、第2実

施例に係る反射屈折光学系 L S (2) に対する光の入射面 (鏡筒部 2 の開口が設けられる面) である。

[0072] (表 2)

[諸元データ]

$$f = 859.26$$

$$f_2 = 14802.50$$

$$F N O = 6.3$$

$$\omega = 1.44^\circ$$

$$B F = 209.26$$

$$R C = 72.3$$

$$| D e x i t | = 317.92$$

[レンズデータ]

面番号	R	D	n d	νd	ϕ	
1	∞	185.52			175.1	
2	-779.543	8.46	1.45847	67.8	166.0	
3*a	-730.348	-8.46	1.45847	67.8	166.2	
4	-779.543	-188.78			162.8	
5	-126.859	-9.76	1.45847	67.8	62.1	
6	-204.625	-8.46			58.0	
7	374.574	-6.51	1.45847	67.8	54.5	
8*a	-540.073	6.51	1.45847	67.8	51.4	(開口絞り)
9	374.574	8.46			50.9	
10	-204.625	9.76	1.45847	67.8	50.7	
11	-126.859	78.11			51.1	
12	∞	3.25			43.0	(迷光絞り)
13	606.874	7.81	1.45847	67.8	43.0	
14	-162.790	8.93			43.0	
15	207.980	5.21	1.45847	67.8	41.4	

16 77.027 BF 40.3

[条件式対応値]

$$\text{条件式 (1)} \quad f / |f_2| = 0.06$$

$$\text{条件式 (2)} \quad RM1a / RM1b = 1.07$$

$$\text{条件式 (3)} \quad RM2a / RM2b = -0.69$$

$$\text{条件式 (4)} \quad R1a / R1b = 0.62$$

$$\text{条件式 (5)} \quad RM1b / RM2b = 1.35$$

$$\text{条件式 (6)} \quad |D_{exit}| / f = 0.37$$

[0073] 図4は、第2実施例に係る反射屈折光学系LS(2)の横収差図である。

そして、横収差図より、第2実施例では、諸収差が良好に補正され、優れた結像性能を有していることがわかる。

[0074] (第3実施例)

以下、本願の第3実施例について図5～図6および表3を用いて説明する。図5は第3実施例に係る反射屈折光学系LS(3)の構成図である。第3実施例に係る反射屈折光学系LS(3)は、光軸に沿って配置された、第1反射鏡M1と、第2反射鏡M2と、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2とから構成される。第3実施例において、第1反射鏡M1および第2反射鏡M2は、第1実施例と同様の構成であり、第1実施例の場合と同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0075] 第1レンズ群G1は、1枚の第1レンズL1のみから構成され、第1反射鏡M1と第2反射鏡M2との間に配置される。第1レンズ群G1は、第1反射鏡M1で反射して第2反射鏡M2に向かう光を透過させ、且つ第2反射鏡M2で反射した光を透過させる。第1レンズL1は、第1反射鏡M1が配置される側(像面側)に凸面を向けた負メニスカスレンズである。第1レンズL1における両側のレンズ面は球面である。

[0076] 第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、第2レンズL2と、第3レンズL3と、第4レンズL4とから構成される。第2レンズ群G2の第2レンズL2および第3レンズL3は、第1反射鏡M1と第1レン

ズ群G 1 との間に配置される。第2レンズ群G 2 の第4レンズL 4 は、第1反射鏡M 1 と像面I との間に配置される。第2レンズ群G 2 は、第2反射鏡M 2 で反射して第1レンズ群G 1 を透過した光を透過させる。これにより、第1レンズ群G 1 および第2レンズ群G 2 を透過した光によって物体の像が結像される。第2レンズL 2 は、両凸形状の正レンズである。第2レンズL 2 における両側のレンズ面は球面である。第3レンズL 3 は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズである。第3レンズL 3 における両側のレンズ面は球面である。第4レンズL 4 は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズである。第4レンズL 4 における両側のレンズ面は球面である。なお、第1レンズ群G 1 と第2レンズ群G 2 との間に、不図示の迷光絞りが配置される。

[0077] 第1反射鏡M 1 を構成する第1透過面T h 1 および第1反射面R f 1 が形成される光学素子の材料として、石英ガラスが用いられる。第2反射鏡M 2 を構成する第2透過面T h および第2反射面R f 2 が形成される光学素子の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。第1レンズ群G 1 を構成する第1レンズL 1 の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。第2レンズ群G 2 を構成する第2レンズL 2 、第3レンズL 3 、および第4レンズL 4 の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。

[0078] 下の表3に、第3実施例における各諸元を示す。なお、第1面は、第3実施例に係る反射屈折光学系L S (3) に対する光の入射面（鏡筒部2の開口が設けられる面）である。

[0079] (表3)

[諸元データ]

$$f = 859.26$$

$$f_2 = 307.22$$

$$FNO = 6.3$$

$$\omega = 1.44^\circ$$

$$BF = 45.94$$

$$R C = 72.3$$

$$| D e x i t | = 5027.53$$

[レンズデータ]

面番号	R	D	n d	ν d	ϕ	
1	∞	172.50			174.4	
2	-943.552	13.02	1.45847	67.8	165.9	
3*a	-738.268	-13.02	1.45847	67.8	166.1	
4	-943.552	-175.76			161.0	
5	-80.835	-9.76	1.45847	67.8	60.4	
6	-78.932	-8.46			54.8	
7	849.598	-6.51	1.45847	67.8	53.0	
8*a	-678.636	6.51	1.45847	67.8	50.2	(開口絞り)
9	849.598	8.46			49.6	
10	-78.932	9.76	1.45847	67.8	49.2	
11	-80.835	71.60			50.6	
12	∞	56.23			44.3	(迷光絞り)
13	4145.615	7.81	1.45847	67.8	44.0	
14	-207.703	15.24			43.9	
15	409.401	5.21	1.45847	67.8	42.1	
16	81.728	121.23			41.3	
17	85.641	11.07	1.45847	67.8	51.6	
18	458.143	BF			50.6	

[条件式対応値]

$$\text{条件式 (1)} \quad f / | f 2 | = 2.80$$

$$\text{条件式 (2)} \quad R M 1 a / R M 1 b = 1.28$$

$$\text{条件式 (3)} \quad R M 2 a / R M 2 b = -1.25$$

$$\text{条件式 (4)} \quad R 1 a / R 1 b = 1.02$$

$$\text{条件式 (5)} \quad R M 1 b / R M 2 b = 1.09$$

条件式 (6) $|Dexit|/f = 5.85$

[0080] 図6は、第3実施例に係る反射屈折光学系LS(3)の横収差図である。

そして、横収差図より、第3実施例では、諸収差が良好に補正され、優れた結像性能を有していることがわかる。

[0081] (第4実施例)

以下、本願の第4実施例について図7～図8および表4を用いて説明する。図7は第4実施例に係る反射屈折光学系LS(4)の構成図である。第4実施例に係る反射屈折光学系LS(4)は、光軸に沿って配置された、第1反射鏡M1と、第2反射鏡M2と、第1レンズ群G1と、第2レンズ群G2とから構成される。第4実施例において、第1反射鏡M1は、第1実施例と同様の構成であり、第1実施例の場合と同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0082] 第2反射鏡M2は、第1反射鏡M1よりも外径の小さい円盤状に形成され、第1反射鏡M1の開口部H01と対向して配置される。第2反射鏡M2は、第1反射鏡M1で反射した光を第1反射鏡M1の開口部H01に向けて反射させる。第2反射鏡M2は、第1反射鏡M1からの光が透過可能な表側の第2透過面Th2と、第2透過面Th2を透過した光が反射可能な裏側の第2反射面Rf2とを有する裏面反射鏡である。第2透過面Th2は、光の入射側(像面側)に対し凹面を向けた球面形状に形成される。第2反射面Rf2は、光の入射側(像面側)に対し凸面を向けた球面形状に形成される。第2反射面Rf2の曲率半径は、第2透過面Th2の曲率半径と異なっている。第2透過面Th2には、開口絞りSが配置される。

[0083] 第1レンズ群G1は、1枚の第1レンズL1のみから構成され、第1反射鏡M1と第2反射鏡M2との間に配置される。第1レンズ群G1は、第1反射鏡M1で反射して第2反射鏡M2に向かう光を透過させ、且つ第2反射鏡M2で反射した光を透過させる。第1レンズL1は、第1反射鏡M1が配置される側(像面側)に凸面を向けた正メニスカスレンズである。第1レンズL1における両側のレンズ面は球面である。

[0084] 第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、第2レンズL2と、第3レンズL3と、第4レンズL4とから構成される。第2レンズ群G2の第2レンズL2および第3レンズL3は、第1反射鏡M1と第1レンズ群G1との間に配置される。第2レンズ群G2の第4レンズL4は、第1反射鏡M1と像面Iとの間に配置される。第2レンズ群G2は、第2反射鏡M2で反射して第1レンズ群G1を透過した光を透過させる。これにより、第1レンズ群G1および第2レンズ群G2を透過した光によって物体の像が結像される。第2レンズL2は、両凸形状の正レンズである。第2レンズL2における両側のレンズ面は球面である。第3レンズL3は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズである。第3レンズL3における両側のレンズ面は球面である。第4レンズL4は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズである。第4レンズL4における両側のレンズ面は球面である。なお、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間に、不図示の迷光絞りが配置される。

[0085] 第1反射鏡M1を構成する第1透過面Th1および第1反射面Rf1が形成される光学素子の材料として、石英ガラスが用いられる。第2反射鏡M2を構成する第2透過面Thおよび第2反射面Rf2が形成される光学素子の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。第1レンズ群G1を構成する第1レンズL1の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。第2レンズ群G2を構成する第2レンズL2、第3レンズL3、および第4レンズL4の材料として、同様に石英ガラスが用いられる。

[0086] 下の表4に、第4実施例における各諸元を示す。なお、第1面は、第4実施例に係る反射屈折光学系LS(4)に対する光の入射面(鏡筒部2の開口が設けられる面)である。

[0087] (表4)

[諸元データ]

$$f = 859.26$$

$$f_2 = 504.06$$

$$FNO = 6.3$$

$$\omega = 1.44^\circ$$

$$BF = 32.98$$

$$RC = 72.0$$

$$|Dexit| = 771.62$$

[レンズデータ]

面番号	R	D	n d	ν d	ϕ	
1	∞	217.18			176.3	
2	-957.090	20.75	1.45847	67.8	166.0	
3*a	-773.034	-20.75	1.45847	67.8	166.0	
4	-957.090	-181.53			166.0	
5	-119.707	-11.99	1.45847	67.8	60.3	
6	-132.217	-7.77			54.5	
7	∞	-0.66			51.6	(開口絞り)
8	506.098	-14.26	1.45847	67.8	51.6	
9*a	-636.999	14.26	1.45847	67.8	48.6	
10	506.098	8.43			51.9	
11	-132.217	11.99	1.45847	67.8	54.5	
12	-119.707	82.34			60.3	
13	∞	18.15			44.1	(迷光絞り)
14	1916.086	6.48	1.45847	67.8	44.7	
15	-167.799	21.39			44.7	
16	152.338	7.78	1.45847	67.8	42.1	
17	65.842	123.18			40.8	
18	155.591	9.72	1.45847	67.8	46.7	
19	1242.230	32.98			46.7	

[条件式対応値]

$$\text{条件式 (1)} \quad f / |f_2| = 1.70$$

条件式 (2) $RM1a / RM1b = 1.24$

条件式 (3) $RM2a / RM2b = -0.79$

条件式 (4) $R1a / R1b = 0.91$

条件式 (5) $RM1b / RM2b = 1.21$

条件式 (6) $|Dexit| / f = 0.90$

[0088] 図8は、第4実施例に係る反射屈折光学系LS(4)の横収差図である。

そして、横収差図より、第4実施例では、諸収差が良好に補正され、優れた結像性能を有していることがわかる。

[0089] 以上、各実施例によれば、簡便な構成で製造コストの低い反射屈折光学系および、これを備えた望遠鏡(光学装置)を実現することができる。

[0090] なお、以下の内容は、本実施形態の光学系の光学性能を損なわない範囲で適宜採用することが可能である。

[0091] 本実施形態の反射屈折光学系を構成するレンズ群として、2群構成のものを示したが、本願はこれに限られず、その他の群構成(例えば、3群等)にすることもできる。具体的には、本実施形態の反射屈折光学系の最も像面側にレンズ又はレンズ群を追加した構成でも構わない。

[0092] 各レンズ面の一部は、球面に限らず、非球面で形成されても構わない。非球面は、研削加工による非球面、ガラスを型で非球面形状に形成したガラスモールド非球面、ガラスの表面に樹脂を非球面形状に形成した複合型非球面のいずれでも構わない。

[0093] また、第1反射鏡M1および第2反射鏡M2を構成する各光学素子と、第1レンズ群G1および第2レンズ群G2を構成する各レンズの材料は、石英ガラスに限らず、他の(例えば、線熱膨張係数が $6 \times 10^{-7}/K$ 以下の)ガラス素材であってもよい。

符号の説明

[0094] 1 望遠鏡(光学装置)

LS 反射屈折光学系

M1 第1反射鏡

Ho1 開口部

T h 1 第 1 透過面

M 2 第 2 反射鏡

T h 2 第 2 透過面

G 1 第 1 レンズ群

I 像面

R f 1 第 1 反射面

R f 2 第 2 反射面

G 2 第 2 レンズ群

請求の範囲

- [請求項1] 物体からの光を反射させる第1反射鏡と、
 前記第1反射鏡で反射した光を反射させる第2反射鏡と、
 前記第1反射鏡で反射して前記第2反射鏡に向かう光を透過させ、
 且つ前記第2反射鏡で反射した光を透過させる第1レンズ群と、
 前記第2反射鏡で反射して前記第1レンズ群を透過した光を透過させる第2レンズ群とを備え、
 前記第2レンズ群を透過した光によって物体の像が結像され、
 以下の条件式を満足する反射屈折光学系。

$$0 \leq f / |f_2| < 5.50$$

 但し、
 f : 前記反射屈折光学系の焦点距離、
 $|f_2|$: 前記第2レンズ群の焦点距離。
- [請求項2] 前記第1反射鏡は、光の入射側に対して凹面の形状を有し、
 前記第2反射鏡は、光の入射側に対して凸面の形状を有する請求項1に記載の反射屈折光学系。
- [請求項3] 前記第1反射鏡は、開口部を有し、
 前記開口部は、前記第2反射鏡で反射して前記第1レンズ群を透過した光が通過可能な位置に設けられる請求項1または2に記載の反射屈折光学系。
- [請求項4] 前記第2反射鏡は、前記第1反射鏡の前記開口部と対向して配置され、
 前記第1レンズ群は、前記第1反射鏡と前記第2反射鏡との間に配置される請求項3に記載の反射屈折光学系。
- [請求項5] 前記第1反射鏡は、物体からの光が透過可能な第1透過面と、前記第1透過面を透過した光が反射可能な第1反射面とを有する裏面鏡であり、
 前記第1透過面の曲率半径と前記第1反射面の曲率半径とが異なる

請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

[請求項6] 以下の条件式を満足する請求項 5 に記載の反射屈折光学系。

$$0.50 < R M 1 a / R M 1 b < 2.00$$

但し、

R M 1 a : 前記第 1 透過面の曲率半径、

R M 1 b : 前記第 1 反射面の曲率半径。

[請求項7] 前記第 1 透過面および前記第 1 反射面が球面である請求項 5 または 6 に記載の反射屈折光学系。

[請求項8] 前記第 2 反射鏡は、前記第 1 反射鏡からの光が透過可能な第 2 透過面と、前記第 2 透過面を透過した光が反射可能な第 2 反射面とを有する裏面鏡であり、

前記第 2 透過面の曲率半径と前記第 2 反射面の曲率半径とが異なる請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

[請求項9] 以下の条件式を満足する請求項 8 に記載の反射屈折光学系。

$$-2.00 < R M 2 a / R M 2 b < -0.50$$

但し、

R M 2 a : 前記第 2 透過面の曲率半径、

R M 2 b : 前記第 2 反射面の曲率半径。

[請求項10] 前記第 2 透過面および前記第 2 反射面が球面である請求項 8 または 9 に記載の反射屈折光学系。

[請求項11] 前記第 1 レンズ群は、1 枚のレンズからなり、

以下の条件式を満足する請求項 1 ～ 10 のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

$$-0.50 < R 1 a / R 1 b < 1.50$$

但し、

R 1 a : 前記第 1 レンズ群の前記レンズにおける前記第 1 反射鏡が配置される側のレンズ面の曲率半径、

R 1 b : 前記第 1 レンズ群の前記レンズにおける前記第 2 反射鏡が

配置される側のレンズ面の曲率半径。

[請求項12] 前記第1レンズ群は、1枚の正メニスカスレンズからなる請求項1に記載の反射屈折光学系。

[請求項13] 前記第1レンズ群の各レンズ面が球面である請求項1～12のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

[請求項14] 前記第1反射鏡は、物体からの光が透過可能な第1透過面と、前記第1透過面を透過した光が反射可能な第1反射面とを有する裏面鏡であり、

前記第2反射鏡は、前記第1反射鏡からの光が透過可能な第2透過面と、前記第2透過面を透過した光が反射可能な第2反射面とを有する裏面鏡であり、

以下の条件式を満足する請求項1～13のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

$$0.80 < RM1b / RM2b < 2.00$$

但し、

RM1b：前記第1反射面の曲率半径、

RM2b：前記第2反射面の曲率半径。

[請求項15] 前記第2レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に並んだ、第1正レンズと、負レンズと、第2正レンズとからなる請求項1～14のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

[請求項16] 前記第2レンズ群の各レンズ面が球面である請求項1～15のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

[請求項17] 前記第1反射鏡は、物体からの光が透過可能な第1透過面と、前記第1透過面を透過した光が反射可能な第1反射面とを有する裏面鏡であり、

前記第2反射鏡は、前記第1反射鏡からの光が透過可能な第2透過面と、前記第2透過面を透過した光が反射可能な第2反射面とを有する裏面鏡であり、

前記第 1 反射鏡を構成する前記第 1 透過面および前記第 1 反射面が設けられる光学素子と、前記第 2 反射鏡を構成する前記第 2 透過面および前記第 2 反射面が設けられる光学素子と、前記第 1 レンズ群および前記第 2 レンズ群を構成する各レンズとが同じ材料からなる請求項 1 ～ 16 のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

[請求項18] 前記材料の線熱膨張係数が $6 \times 10^{-7} / \text{K}$ 以下である請求項 17 に記載の反射屈折光学系。

[請求項19] 前記材料の比重が $3 \text{ g} / \text{cm}^3$ 以下である請求項 17 または 18 に記載の反射屈折光学系。

[請求項20] 前記材料が石英ガラスである請求項 17 ～ 19 のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

[請求項21] 以下の条件式を満足する請求項 1 ～ 20 のいずれか一項に記載の反射屈折光学系。

$$|D_{\text{exit}}| / f \geq 0.3$$

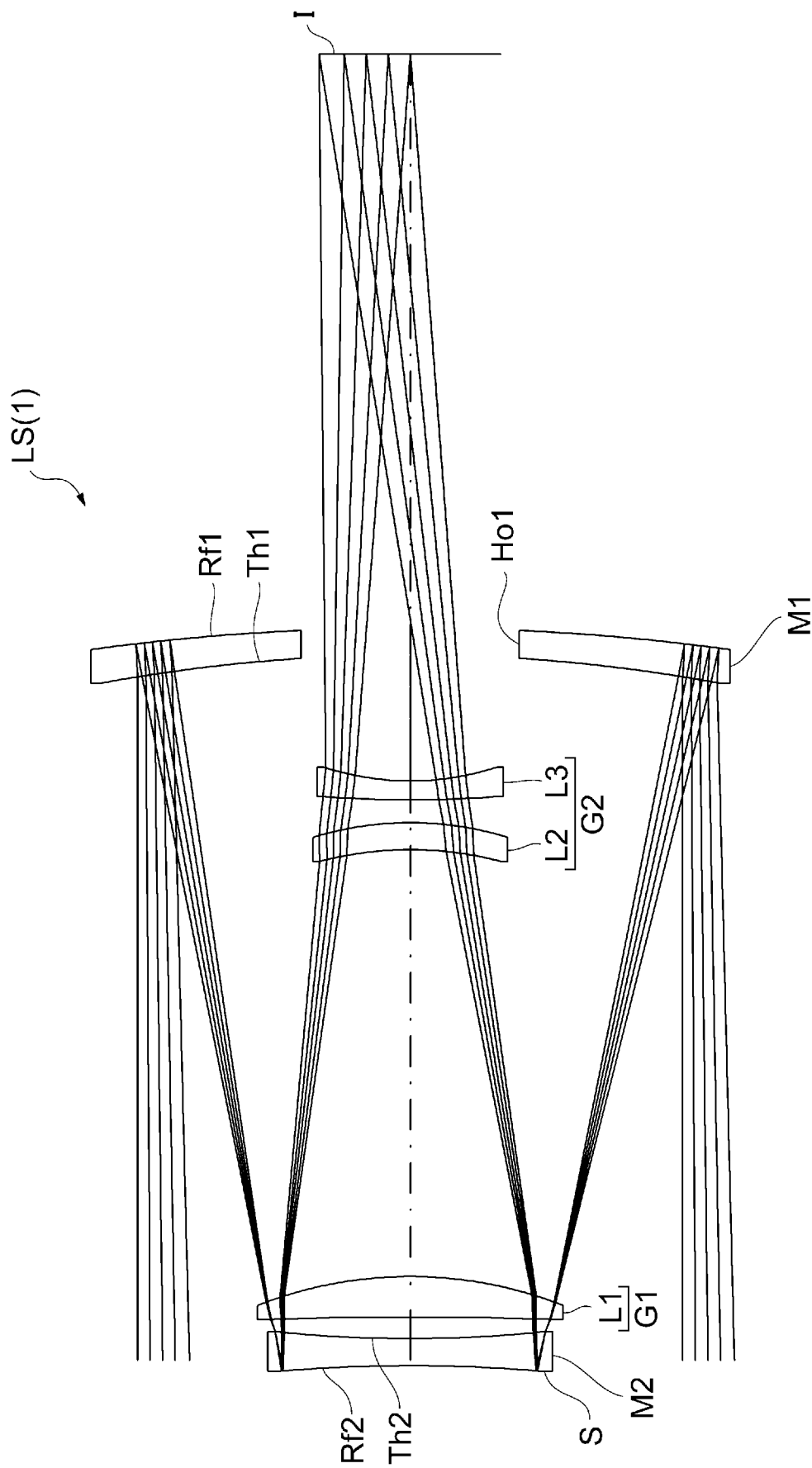
但し、

$|D_{\text{exit}}|$: 前記反射屈折光学系の像面から射出瞳までの距離

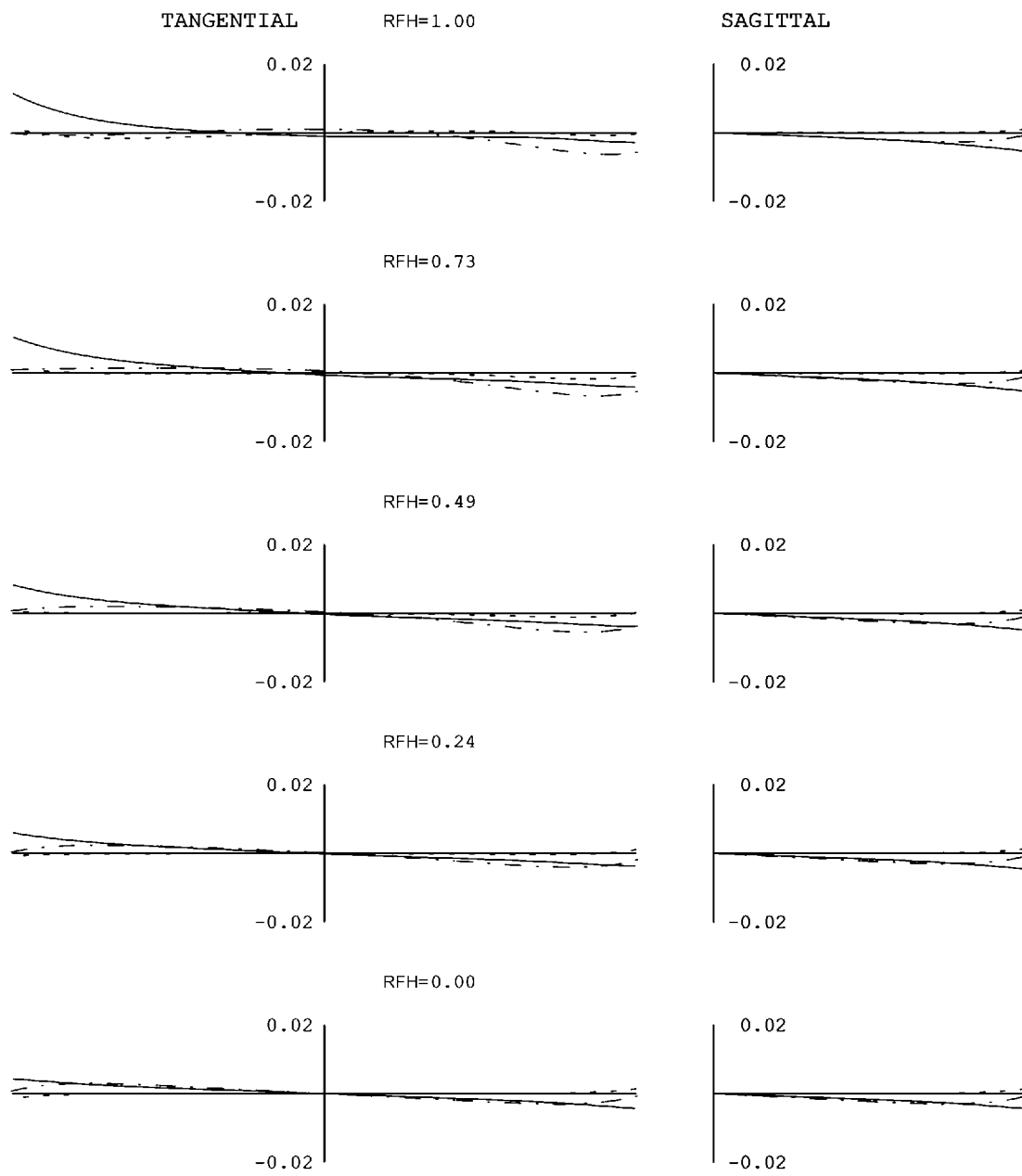
。

[請求項22] 請求項 1 ～ 21 のいずれか一項に記載の反射屈折光学系を備えることを特徴とする光学装置。

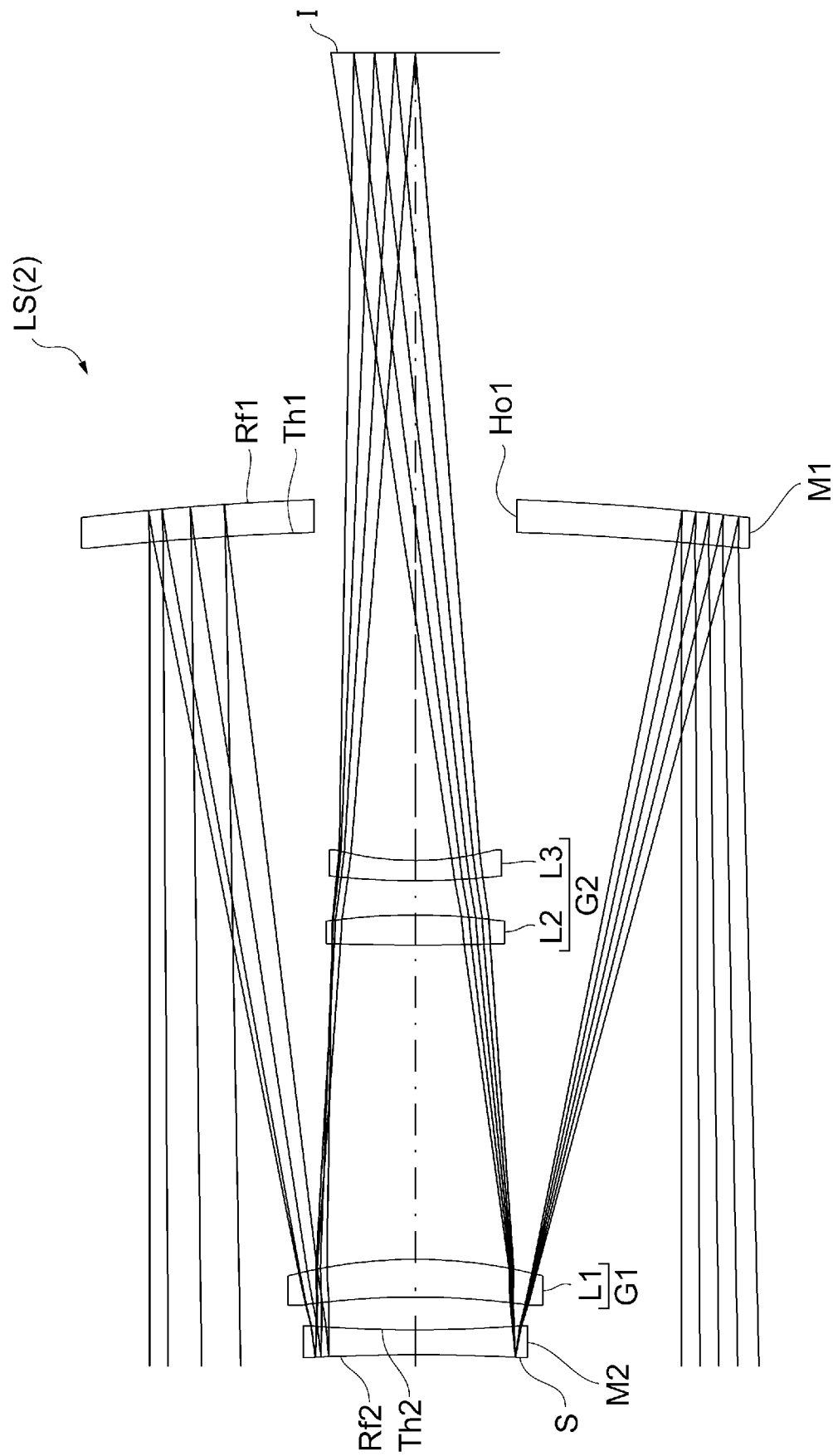
[図1]



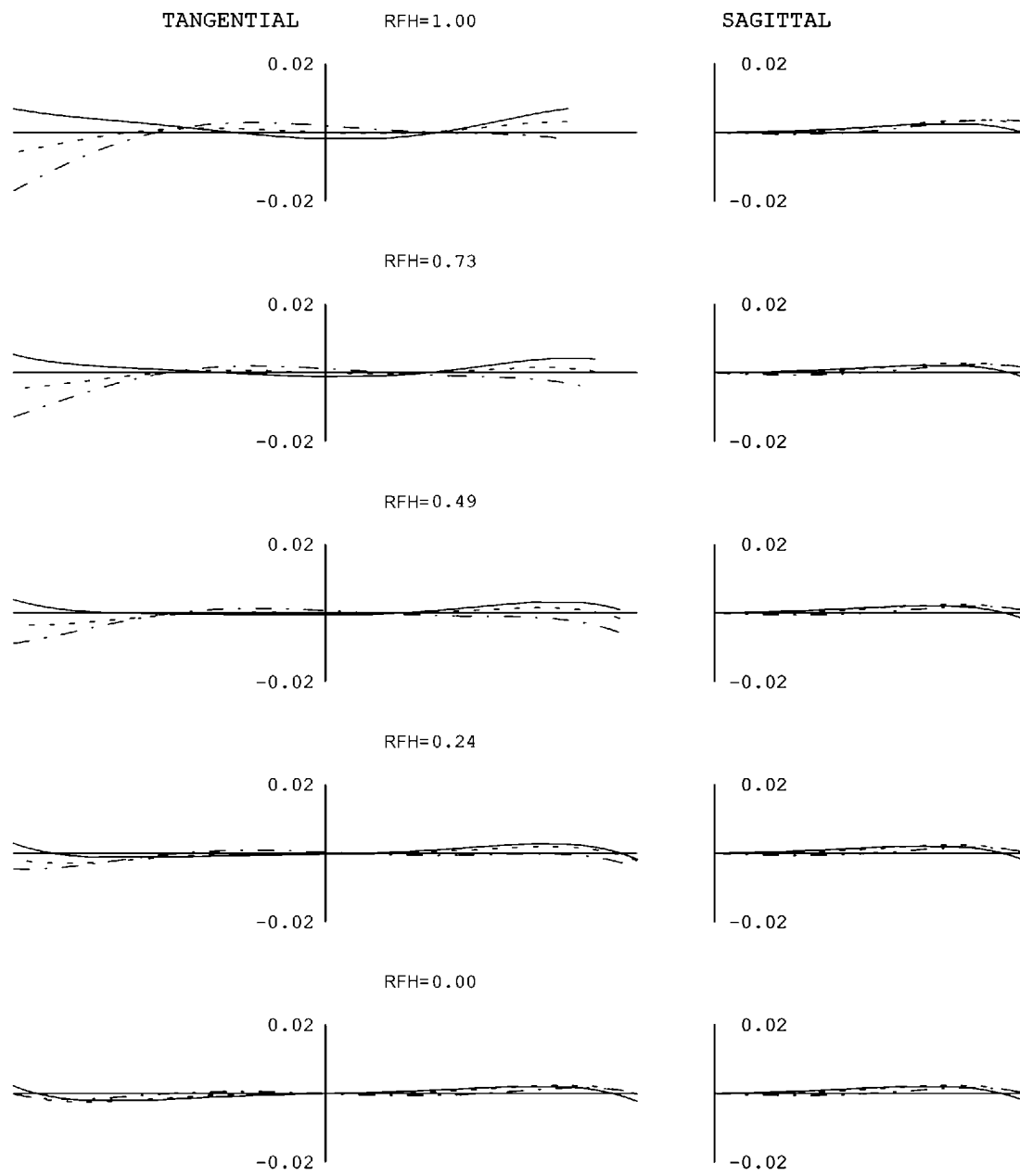
[図2]



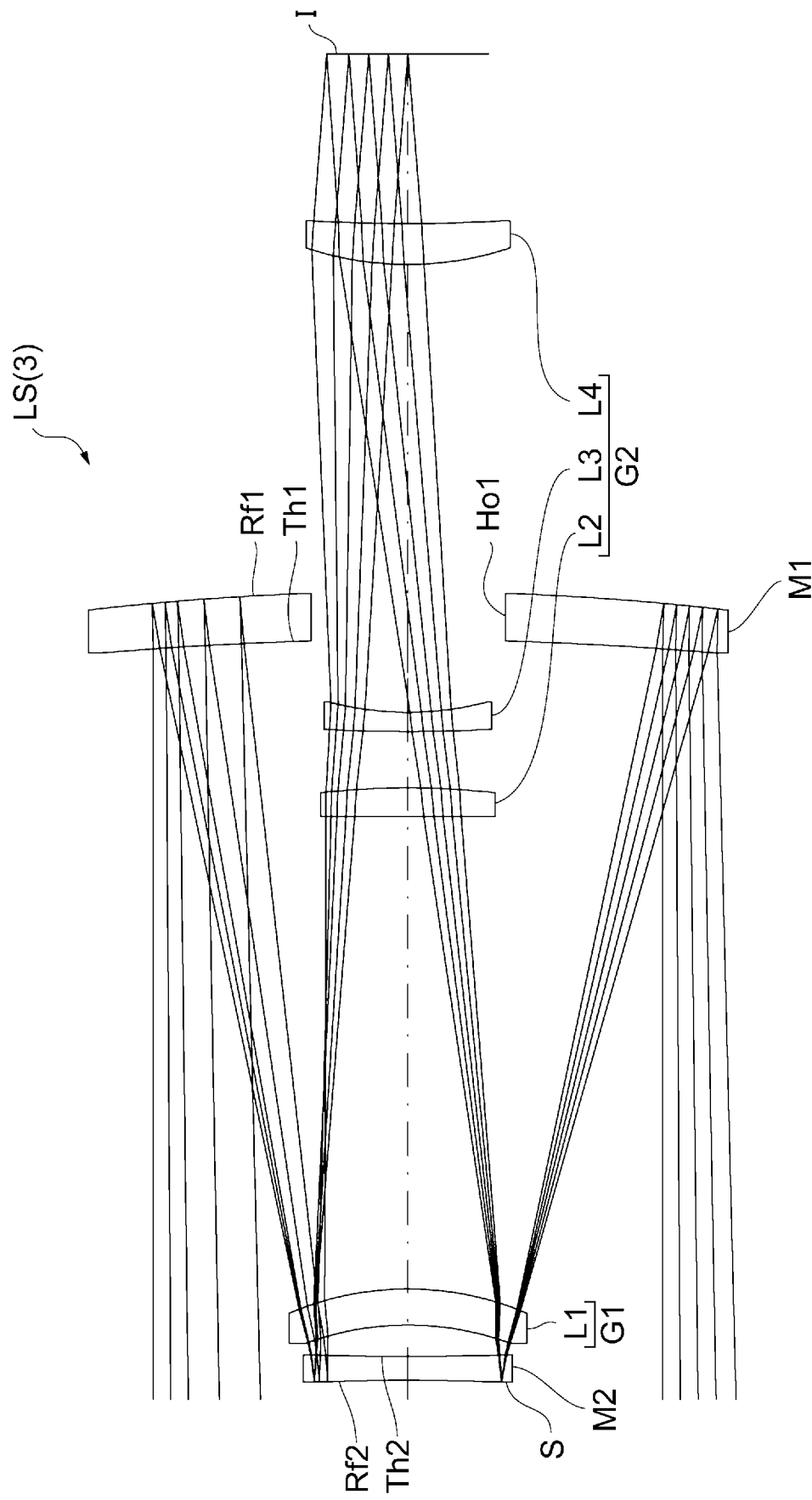
[図3]



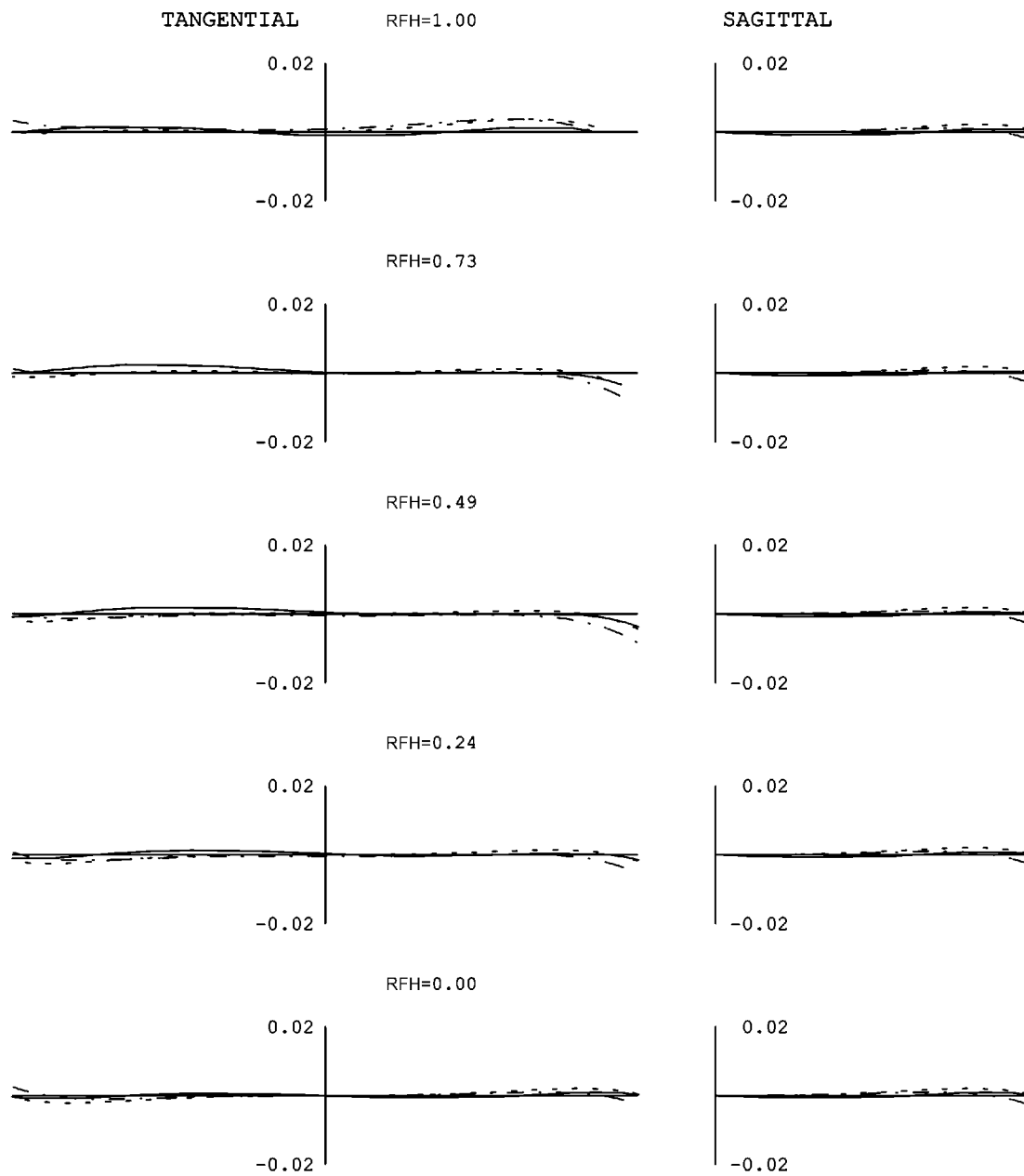
[図4]



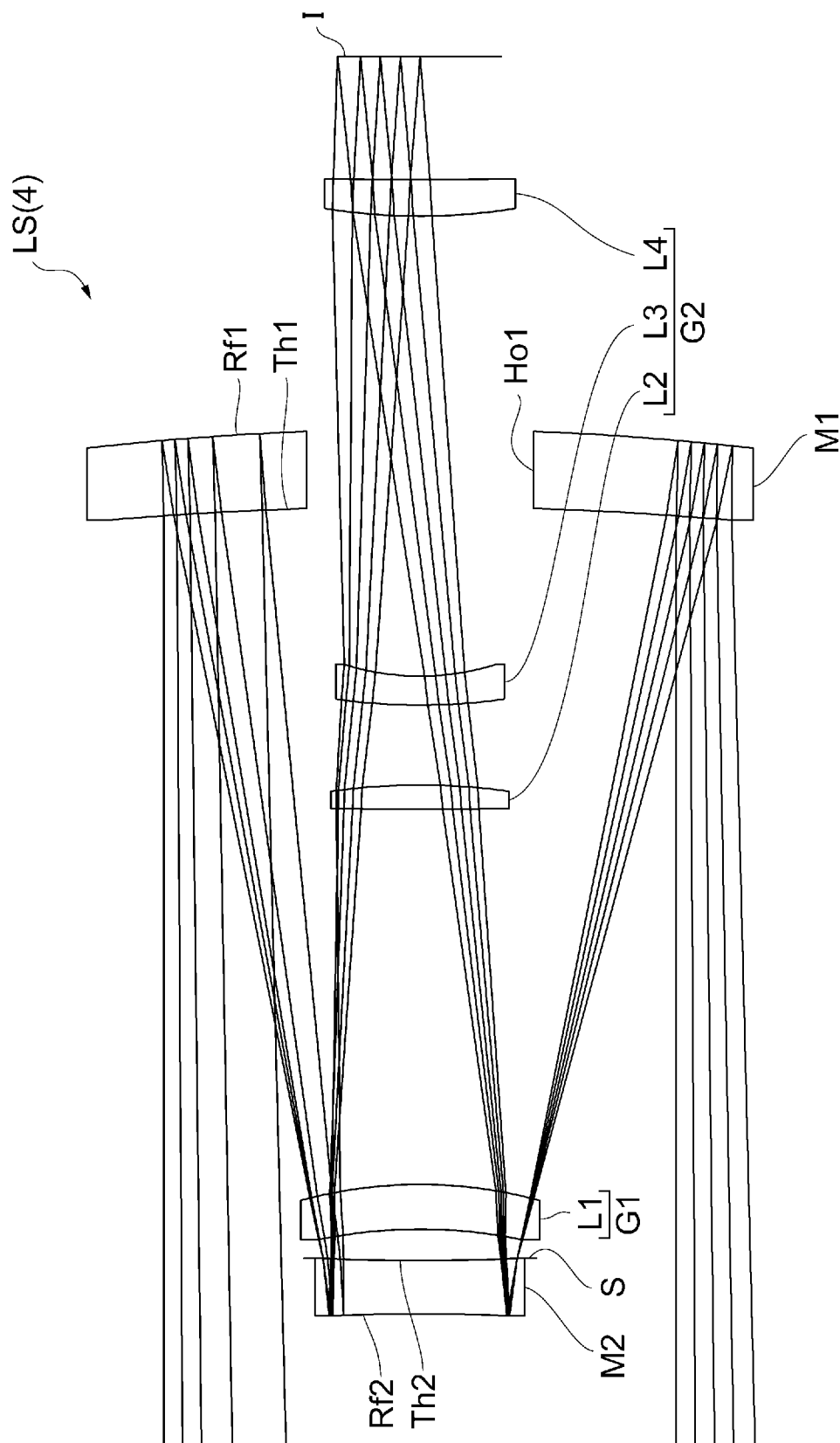
[図5]



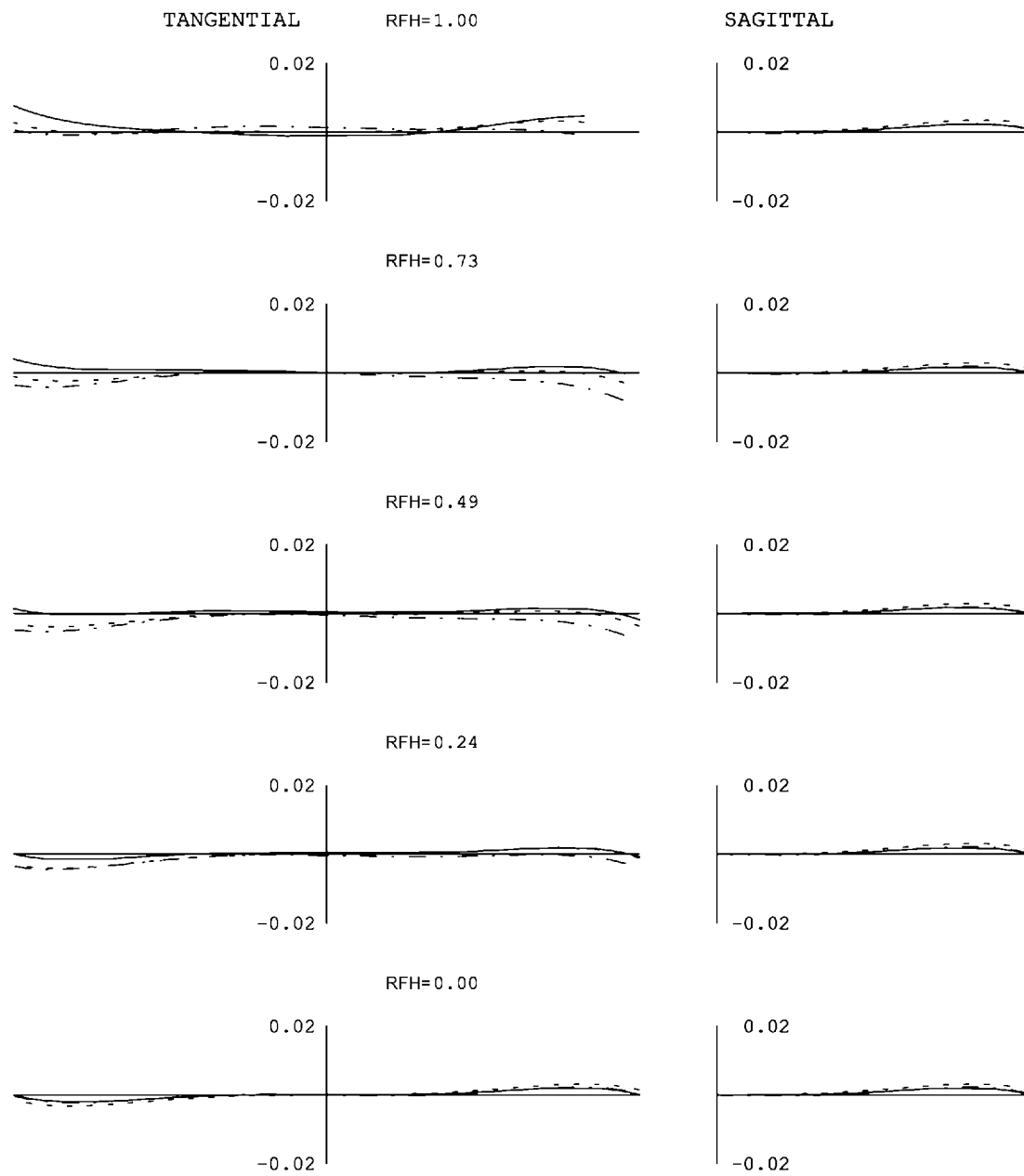
[図6]



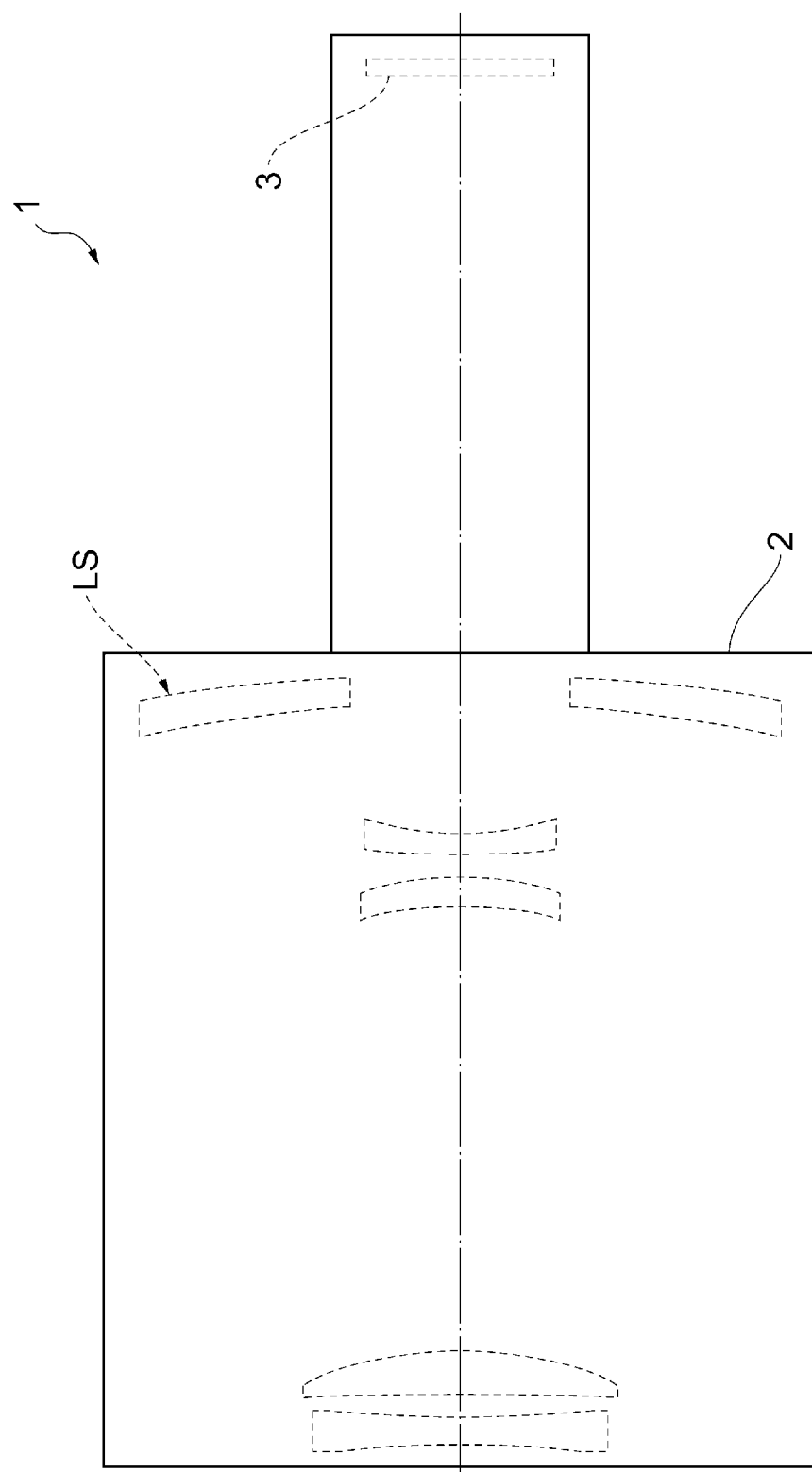
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/032660

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G02B17/08 (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)

Int.Cl. G02B17/08

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2017
Registered utility model specifications of Japan	1996-2017
Published registered utility model specifications of Japan	1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 53-76830 A (KABUSHIKI KAISHA YASHIKA) 07 July 1978, examples (Family: none)	1-11, 13, 14, 16-22 3, 4 12, 15
X Y A	JP 2013-218022 A (OLYMPUS IMAGING CORP.) 24 October 2013, examples 1-9 & US 2013/0265475 A1, examples 1-9	1, 2, 5-10, 13, 14, 16-22 3, 4 11, 12, 15

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

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
15 November 2017 (15.11.2017)

Date of mailing of the international search report
28 November 2017 (28.11.2017)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/032660

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2013-15713 A (SONY CORP.) 24 January 2013, example 3 & US 2013/0010376 A1, example 3 & CN 102866489 A	1, 2, 5-10, 13, 14, 16-22 3, 4 11, 12, 15
X Y A	JP 3-208005 A (CANON INC.) 11 September 1991, numerical example 2 (Family: none)	1, 2, 5-10, 13, 14, 16-22 3, 4 9, 14, 15
X Y A	US 2014/0049841 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 20 February 2014, first to fourth embodiments & KR 10-2014-0024647 A	1-8, 10-22 3, 4 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/032660

Claim 1 includes the wording: "... is provided with: a first reflective mirror reflecting light from an object; a second reflective mirror reflecting the light that is reflected from the first reflective mirror; a first lens group transmitting the light that is reflected from the first reflective mirror and then travels toward the second reflective mirror, and transmitting the light that is reflected from the second reflective mirror; and a second lens group transmitting the light that is reflected from the second reflective mirror and then transmitted through the first lens group", and thus is understood to include, in addition to the catadioptric system composed of the first reflective mirror, the second reflective mirror, the first lens group, and the second lens group, a catadioptric system having another reflective mirror or lens. Meanwhile, only the catadioptric system composed of the first reflective mirror, the second reflective mirror, and the first lens group, and the second lens group is described as a specific example in the description. Thus, the invention set forth in claim 1, which includes the catadioptric system having the reflective mirror or lens in addition to the first reflective mirror, the second reflective mirror, the first lens group, and the second lens group, falls outside the scope described in the description, and does not satisfy the requirement regarding support stipulated in PCT Article 6.

Therefore, as a meaningful examination could not be carried out regarding the catadioptric system having the reflective mirror or lens in addition to the first reflective mirror, the second reflective mirror, the first lens group, and the second lens group, an examination was not carried out.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B17/08(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. G02B17/08

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 53-76830 A（株式会社ヤシカ）1978.07.07, 実施例（ファミリーなし）	1-11, 13, 14, 16-22 3, 4 12, 15
X Y A	JP 2013-218022 A（オリンパスイメージング株式会社）2013.10.24, 実施例 1-9 & US 2013/0265475 A1, Examples 1-9	1, 2, 5-10, 13, 14, 16-22 3, 4 11, 12, 15

☒ 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

15.11.2017

国際調査報告の発送日

28.11.2017

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）

堀井 康司

2 V

3 7 1 3

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2013-15713 A (ソニー株式会社) 2013.01.24, 実施例 3 & US 2013/0010376 A1, Example 3 & CN 102866489 A	1, 2, 5-10, 13, 14, 16-22 3, 4 11, 12, 15
X Y A	JP 3-208005 A (キヤノン株式会社) 1991.09.11, 数値実施例 2 (ファミリーなし)	1, 2, 5-8, 10-1 3, 16-22 3, 4 9, 14, 15
X Y A	US 2014/0049841 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 2014.02.20, First-Fourth Embodiments & KR 10-2014-0024647 A	1-8, 10-22 3, 4 9

請求項 1 には、「物体からの光を反射させる第 1 反射鏡と、前記第 1 反射鏡で反射した光を反射させる第 2 反射鏡と、前記第 1 反射鏡で反射して前記第 2 反射鏡に向かう光を透過させ、且つ前記第 2 反射鏡で反射した光を透過させる第 1 レンズ群と、前記第 2 反射鏡で反射して前記第 1 レンズ群を透過した光を透過させる第 2 レンズ群とを備え・・・」と記載され、第 1 反射鏡、第 2 反射鏡、第 1 レンズ群、第 2 レンズ群から構成される反射屈折光学系以外に、他の反射鏡或いはレンズを有する反射屈折光学系も含まれると解される。一方、明細書には、具体例として、第 1 反射鏡、第 2 反射鏡、第 1 レンズ群、第 2 レンズ群から構成される反射屈折光学系が記載されているのみである。そうすると、第 1 反射鏡、第 2 反射鏡、第 1 レンズ群、第 2 レンズ群以外の反射鏡或いはレンズを有する反射屈折光学系をも含む本願請求項 1 に係る発明は、明細書に記載した範囲を超えるものであり、PCT 第 6 条に規定される裏付けに関する要件を満たしていない。

よって、第 1 反射鏡、第 2 反射鏡、第 1 レンズ群、第 2 レンズ群以外の反射鏡或いはレンズを有する反射屈折光学系については、有意義な調査を行うことができないため、調査を行わなかった。