

(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  
2022年3月3日(03.03.2022)



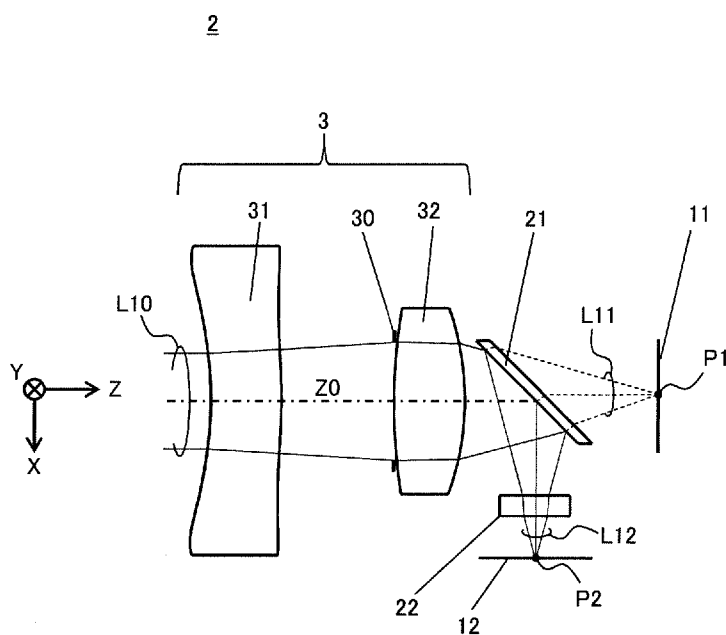
(10) 国際公開番号

WO 2022/044398 A1

- (51) 国際特許分類:  
G02B 13/14 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/010288
- (22) 国際出願日: 2021年3月15日(15.03.2021)
- (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 2020-140727 2020年8月24日(24.08.2020) JP
- (71) 出願人: パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 黒崎 諒 (KUROSAKI, Ryo). 難波 亨 (NANBA, Toru). 村田 淳 (MURATA, Jun). 鈴木 哲也 (SUZUKI, Tetsuya).
- (74) 代理人: 山尾 憲人, 外 (YAMAO, Norihito et al.); 〒5300017 大阪府大阪市北区角田町8番1号梅田阪急ビルオフィスタワー 青山特許事務所 Osaka (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, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: OPTICAL SYSTEM, IMAGING DEVICE, AND IMAGING SYSTEM

(54) 発明の名称: 光学系および撮像装置、撮像システム



(57) Abstract: An optical system (2) that forms an image at a first image formation position (P1) by first light (L11) in a visible range, and forms an image at a second image formation position (P2) by second light (L12) in a far-infrared range is provided with a lens group (3) and an optical division element (21). The lens group has an optical axis extending from the front on which the first and the second light are incident to the rear from which the first and the second light are emitted, the focal length of the first light, and the focal length of the second light. The optical division element is disposed at the rear of the lens group, divides the first and the second light from the lens group from each other, guides the first light to the first image formation position, and guides the second light to the second image formation position. The



WO 2022/044398 A1

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,  
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,  
US, UZ, VC, VN, WS, 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))

---

lens group comprises lens elements that transmit the first and the second light such that the first image formation position corresponds to the focal length of the first light, and separately from the first image formation position, the second image formation position corresponds to the focal length of the second light.

(57) 要約: 可視域における第1の光(L 1 1)により第1の結像位置(P 1)に結像し、遠赤外域における第2の光(L 1 2)により第2の結像位置(P 2)に結像する光学系(2)は、レンズ群(3)と、光分岐素子(2 1)とを備える。レンズ群は、第1及び第2の光が入射する前方から出射する後方に延びた光軸と、第1の光の焦点距離と、第2の光の焦点距離とを有する。光分岐素子は、レンズ群の後方に配置され、レンズ群からの第1及び第2の光を互いに分岐して、第1の光を第1の結像位置に導光すると共に第2の光を第2の結像位置に導光する。レンズ群は、第1の結像位置を第1の光の焦点距離に対応させ、第1の結像位置とは別に第2の結像位置を第2の光の焦点距離に対応させるように、第1及び第2の光を透過するレンズ素子で構成される。

## 明 細 書

**発明の名称**：光学系および撮像装置、撮像システム

### 技術分野

[0001] 本開示は、可視域における撮像と遠赤外域における撮像とを行う光学系および撮像装置、撮像システムに関する。

### 背景技術

[0002] 特許文献1は、熱画像カメラが可視光線と遠赤外線帯域を同時に撮影して鮮やかな画像を獲得することを目的とした、熱画像カメラ用の一軸型レンズモジュールを開示している。レンズモジュールは、被写体と相対する対物レンズと、対物レンズの後側に位置して、対物レンズを透過する光から遠赤外線は反射して可視光線は透過する光束分離器と、光束分離器の後側に位置する可視光線結像レンズと、遠赤外線結像レンズとを備える。可視光線結像レンズは、後側に位置するCCDセンサに、光束分離器からの可視光線で結像する。遠赤外線結像レンズは、光学像を熱画像信号に変換して出力する遠赤外線検出器に、光束分離器からの遠赤外線で結像する。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2011-80976号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 本開示は、可視域における撮像と遠赤外域における撮像との両立を行い易くすることができる光学系および撮像装置、撮像システムを提供する。

#### 課題を解決するための手段

[0005] 本開示における光学系は、可視域における波長を有する第1の光により第1の結像位置に結像し、遠赤外域における波長を有する第2の光により第2の結像位置に結像する光学系である。光学系は、レンズ群と、光分岐素子とを備える。レンズ群は、第1及び第2の光が入射する前方から出射する後方

に延びた光軸と、第1の光の焦点距離と、第2の光の焦点距離とを有する。光分岐素子は、レンズ群の後方に配置され、レンズ群からの第1及び第2の光を互いに分岐して、第1の光を第1の結像位置に導光すると共に第2の光を第2の結像位置に導光する。レンズ群は、第1の結像位置を第1の光の焦点距離に対応させ、第1の結像位置とは別に第2の結像位置を第2の光の焦点距離に対応させるように、第1及び第2の光を透過するレンズ素子で構成される。

[0006] 本開示における撮像装置は、上記の光学系と、第1の撮像部と、第2の撮像部とを備える。第1の撮像部は、第1の結像位置に配置され、第1の光による画像を撮像する。第2の撮像部は、第2の結像位置に配置され、第2の光による画像を撮像する。

[0007] 本開示における撮像システムは、上記の撮像装置と、撮像装置において撮像された画像を解析する制御部とを備える。

### 発明の効果

[0008] 本開示の光学系および撮像装置によると、可視域における撮像と遠赤外域における撮像との両立を行い易くすることができる。

### 図面の簡単な説明

[0009] [図1]本開示の実施形態1に係る撮像装置及び撮像システムを説明するための図

[図2]実施形態1に係る光学系の構成を示す図

[図3]光学系のバックフォーカスにおける可視光の光路を例示する図

[図4]光学系のバックフォーカスにおける遠赤外光の光路を例示する図

[図5]光学系における各種のレンズ材料のデータを例示する図

[図6]実施形態1の光学系の結像性能のシミュレーション結果を示すグラフ

[図7]実施形態1の光学系における可視光のMTFを例示するグラフ

[図8]実施形態1の光学系における遠赤外光のMTFを例示するグラフ

[図9]実施形態1の光学系の数値実施例1を示す図表

[図10]実施形態1の光学系の数値実施例2を示す図表

- [図11]実施形態1の光学系の数値実施例3を示す図表
- [図12]実施形態2に係る光学系の構成を示す図
- [図13]実施形態2の光学系の結像性能のシミュレーション結果を示すグラフ
- [図14]実施形態2の光学系の数値実施例1を示す図表
- [図15]実施形態2の光学系の数値実施例2を示す図表
- [図16]実施形態2の光学系の数値実施例3を示す図表
- [図17]実施形態3に係る光学系の構成を示す図
- [図18]実施形態3の光学系の結像性能のシミュレーション結果を示すグラフ
- [図19]実施形態3の光学系の数値実施例1を示す図表
- [図20]実施形態3の光学系の数値実施例2を示す図表
- [図21]実施形態3の光学系の数値実施例3を示す図表
- [図22]実施形態4に係る光学系の構成を示す図
- [図23]実施形態4の光学系の結像性能のシミュレーション結果を示すグラフ
- [図24]実施形態4の光学系の数値実施例1を示す図表
- [図25]実施形態4の光学系の数値実施例2を示す図表
- [図26]実施形態4の光学系の数値実施例3を示す図表
- [図27]実施形態1の光学系の変形例を示す図

### 発明を実施するための形態

- [0010] 以下、適宜図面を参照しながら、実施の形態を詳細に説明する。但し、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の構成に対する重複説明を省略する場合がある。これは、以下の説明が不必要に冗長になるのを避け、当業者の理解を容易にするためである。
- [0011] なお、出願人は、当業者が本開示を十分に理解するために添付図面および以下の説明を提供するのであって、これらによって特許請求の範囲に記載の主題を限定することを意図するものではない。
- [0012] (実施形態1)
- 以下、本開示の実施形態1について、図面を参照しながら説明する。本実

施形態では、可視域における撮像と遠赤外域における撮像を両立する撮像装置とその光学系について説明する。

[0013] 1. 撮像装置について

図1は、本実施形態に係る撮像装置1及び撮像システム20を説明するための図である。本実施形態の撮像システム20は、撮像装置1と、制御部15とを備える。

[0014] 本実施形態において、撮像装置1は、例えば図1に示すように、光学系2と、可視撮像センサ11と、遠赤外撮像センサ12と備える。本実施形態の撮像装置1は、可視域における撮像すなわち可視撮像と、遠赤外域における撮像すなわち遠赤外撮像とを、光学系2によって同軸で行うカメラデバイスである。例えば、可視域は波長400nm～750nmであり、遠赤外域は波長3 $\mu$ m～20 $\mu$ mである。例えばこうした可視域の一部と遠赤外域の一部とが、撮像装置1による可視撮像と遠赤外撮像との対象となる。例えば遠赤外域は7 $\mu$ m～12 $\mu$ mであってもよい。

[0015] 本実施形態の撮像装置1は、例えば遠赤外撮像を利用した熱画像化、人感センサ或いは暗視等と、可視撮像とを組み合わせるような種々の用途に適用可能である。例えば本システム20において、人物等の被写体10を検温して、同じ被写体10に個人認識を行うなどの画像解析が適用できる。本システム20の撮像装置1は、モバイル端末などの各種電子機器に組み込まれたり、ドローン又は車両等の移動体に搭載されたり、監視カメラ等のように設置されたりする等の各種適用例が考えられる。こうした種々の適用例において、撮像装置1の小型化が有用である。

[0016] 本実施形態の撮像装置1において、光学系2は、被写体10から入射する光L10を集光し、入射光L10における可視光L11を可視撮像センサ11に導光すると共に、入射光L10における遠赤外光L12を遠赤外撮像センサ12に導光する。こうした光学系2によると、撮像装置1における鏡筒が1つといった小型の装置構成が提供できる。本実施形態の光学系2は、更なる小型化が可能な構成を備える。光学系2の構成については後述する。

[0017] 可視撮像センサ11は、例えばCCD又はCMOSイメージセンサといった、可視域に受光感度を有するアモルファスシリコン等の材料で構成された各種の撮像素子である。可視撮像センサ11は、複数の画素が所定のピッチで配置された撮像面を有する。可視撮像センサ11の画素ピッチは、例えば3 $\mu$ m程度である。可視撮像センサ11は、可視光L11が光学系2を介して入射することにより撮像面に結像した画像を撮像して、可視域における撮像画像すなわち可視画像Im1を示す画像信号を生成する。可視撮像センサ11は、本実施形態における第1の撮像部の一例である。

[0018] 遠赤外撮像センサ12は、例えばボロメータ、サーモパイル又はSOIダイオードなど、遠赤外域に受光感度を有する撮像素子である。遠赤外撮像センサ12は、複数の画素が所定のピッチで配置された撮像面を有する。遠赤外撮像センサ12の画素ピッチは、例えば10 $\mu$ m~300 $\mu$ mである。遠赤外撮像センサ12は、遠赤外光L12が光学系2を介して入射することにより撮像面に結像した画像を撮像して、遠赤外域における撮像画像すなわち遠赤外画像Im2を示す画像信号を生成する。遠赤外撮像センサ12は、本実施形態における第2の撮像部の一例である。

[0019] 以上のように構成される撮像装置1によると、可視画像Im1と遠赤外画像Im2とが、光学系2を用いた同軸の撮像結果として出力される。よって、本実施形態の撮像装置1によると、例えば可視画像Im1と遠赤外画像Im2の間で被写体10の像ズレを抑制でき、可視撮像と遠赤外撮像とを組み合わせる各種用途において解析し易い画像出力を得ることができる。

[0020] 本システム20において、制御部15は、撮像装置1から画像信号を受信して、受信した画像信号が示す各種画像Im1, Im2に基づき各種の画像解析を行う。制御部15は、例えば内部メモリに格納されたプログラムを実行することで種々の機能を実現するCPU又はMPU等を含む。制御部15は、所望の機能を実現するように設計された専用のハードウェア回路を含んでもよい。制御部15は、CPU、MPU、GPU、DSP、FPGA又はASIC等を含んでもよい。

[0021] 例えば、本システム20の制御部15は、撮像装置1における可視撮像センサ11によって撮像された可視画像1m1に基づき被写体10の個人認識を行い、遠赤外撮像センサ12によって撮像された遠赤外画像1m2に基づき被写体10の温度を認識する。又、制御部15は、例えば各画像1m1, 1m2における被写体10の位置に基づいて、可視画像1m1からの認識結果と遠赤外画像1m2からの認識結果とを互いに関連付けて、解析結果の情報として管理する。本システム20によると、撮像装置1の光学系2によって可視画像1m1と遠赤外画像1m2の間で同じ被写体10の像ズレを抑制できることから、制御部15は、上記のような情報管理を容易に実行できる。

[0022] 本実施形態では、上記のように撮像装置1を小型化でき、且つ可視光L11と遠赤外光L12との双方で精度良く結像を行える光学系2を提供する。以下、本実施形態の光学系2の構成を説明する。

[0023] 2. 光学系について

図2は、実施形態1に係る光学系2の構成を示す図である。光学系2は、外部からの入射光L10が入射する光軸Z0を有するレンズ群3と、レンズ群3からの入射光L10を可視光L11と遠赤外光L12とに分岐する光分岐素子21と、遠赤外透過フィルタ22とを備える。以下、光学系2におけるレンズ群3の光軸Z0の方向をZ方向とし、Z方向に直交する2方向をX, Y方向とする。又、Z方向において光学系2から外部に向いた物体側を-Z側または前方とし、反対の像面側を+Z側または後方とする。

[0024] 光学系2は、+Z側すなわち後方において、可視光L11により結像する結像位置P1と、遠赤外光L12により結像する結像位置P2とを有する。可視撮像センサ11の撮像面は、光学系2による可視光L11の結像位置P1に配置される。遠赤外撮像センサ12の撮像面は、遠赤外光L12の結像位置P2に配置される。光学系2において、光分岐素子21は、レンズ群3と各撮像センサ11, 12との間に設けられる。遠赤外透過フィルタ22は、光分岐素子21と遠赤外撮像センサ12との間に設けられる。



[0025] 本実施形態の光学系2は、光分岐素子21と各撮像センサ11, 12との間には、例えば屈折力を有するレンズ素子を設けないように構成される。この構成により、光学系2の全長又は部品点数等の観点から小型化ができ、光分岐後のレンズの調心工程が減り低コスト化ができる。本実施形態では、こうした小型構成において可視撮像と遠赤外撮像とを両立するために、光分岐素子21よりも-Z側（即ち前方）のレンズ群3が、入射光L10に含まれる可視光L11と遠赤外光L12との各々の結像光学系を構成する。換言すると、各結像位置P1, P2がレンズ群3の焦点距離に対応して設定される。

[0026] 光学系2におけるレンズ群3は、可視域と遠赤外域との双方において光透過性を有するレンズ材料で構成される。レンズ材料の屈折率の波長依存性より、レンズ群3の焦点距離は、結像の対象とする光の波長に応じて変動し得る。レンズ群3は、外部からの入射光L10に、焦点距離に応じた屈折力を作用させて、結像光学系として機能する。レンズ群3を透過後の入射光L10は、可視光L11及び遠赤外光L12を含み、光分岐素子21に入射する。可視光L11及び遠赤外光L12は、それぞれ本実施形態における第1及び第2の光の一例である。

[0027] 実施形態1の光学系2において、レンズ群3は、2枚のレンズ素子31, 32と、絞り30とを備える。レンズ群3においては、前方から順番に第1レンズ素子31と第2レンズ素子32とが、光軸Z0に沿って配置される。実施形態1では、レンズ材料の一例として、第1レンズ素子31がカルコハライドA（CHA）で構成され、第2レンズ素子32が硫化亜鉛（ZnS）で構成される（図5参照）。なお、図5では、別々の組成を有するカルコハライドガラスの3種類を例示しており、それぞれカルコハライドA, B, Cと称している。レンズ群3におけるレンズ材料は上記に限らず、可視域において可視撮像に用いる可視光L11の波長帯と、遠赤外域において遠赤外撮像に用いる遠赤外光L12の波長帯とを透過する各種材料であってもよい。例えば、レンズ材料が透過する波長帯は $0.4\mu\text{m}\sim 12\mu\text{m}$ であってもよ

い。

[0028] 絞り30は、例えば開口絞りであり、入射光L10における可視光L11及び遠赤外光L12の光量を制限する。絞り30は、実施形態1では第1及び第2レンズ素子31, 32の間に配置される。絞り30は、レンズ群3のどの位置に配置されても良く、必ずしも光学系2に設けられなくてもよい。

[0029] 光分岐素子21は、例えば図2に示すように、-Z側からの入射光L10において、可視光L11を透過して+Z側に出射する一方、遠赤外光L12を反射して+X側に出射するように構成される。例えば、光分岐素子21は、光を選択的に透過する特定の波長帯（即ち透過帯）を有し、透過帯以外の光を反射する光学特性のバンドパスフィルタにおいて、予め可視光L11の波長帯を透過帯に設定して構成される。

[0030] 遠赤外透過フィルタ22は、例えば図2の構成例において光分岐素子21よりも+X側に配置され、遠赤外光L12を選択的に透過する。遠赤外透過フィルタ22は、例えば予め遠赤外光L12の波長帯を透過帯に設定したバンドパスフィルタなど、各種のフィルタ素子で構成される。

[0031] 以上のような本実施形態の光学系2においては、レンズ群3の後方で可視光L11と遠赤外光L12とがそれぞれ光分岐素子21等を介して各結像位置P1, P2に到るまでのバックフォーカスを考慮して、結像光学系としてのレンズ群3が光学設計される。

[0032] 2-1. バックフォーカスについて

本実施形態の光学系2におけるバックフォーカスについて、図3, 4を用いて説明する。以下では、レンズ群3による可視光L11の焦点距離を「F<sub>v i s</sub>」とし、遠赤外光L12の焦点距離を「F<sub>i r</sub>」とする。

[0033] 図3は、レンズ群3の後方位置P3からの可視光L11の光路を例示する。後方位置P3は、レンズ群3において最も後方のレンズ面における光軸Z0上の位置である。図3の光路では、レンズ群3において光軸Z0上の可視光L11が、後方位置P3から+Z方向に出射して、光分岐素子21に入射する。さらに、入射した可視光L11は、光分岐素子21内部を透過し、光

分岐素子 21 から +Z 方向に出射して、結像位置 P1 に到る。こうした光路の空気換算光路長すなわち空気換算長  $L_{vis}$  は、レンズ群 3 による可視光 L11 の焦点距離  $F_{vis}$  と対応している。

[0034] 例えば光学系 2 の無限遠合焦状態においては、結像位置 P1 がレンズ群 3 の焦点に位置することから、空気換算長  $L_{vis}$  と焦点距離  $F_{vis}$  間の差分は、レンズ群 3 の後方位置 P3 と主点間の距離差で表される。又、有限の被写体距離による合焦状態においては、被写体距離が短いほど可視光 L11 の結像位置 P1 がレンズ群 3 の焦点から遠ざかり、その分だけバックフォーカスの空気換算長  $L_{vis}$  が延長する。

[0035] 図 4 は、レンズ群 3 の後方位置 P3 からの遠赤外光 L12 の光路を例示する。当該光路では、レンズ群 3 において光軸 Z0 上の遠赤外光 L12 が、後方位置 P3 から可視光 L11 と同様に光分岐素子 21 に入射すると、光分岐素子 21 から +X 方向に反射する。反射した遠赤外光 L12 は、遠赤外透過フィルタ 22 を透過して結像位置 P2 に到る。こうした光路の空気換算長  $L_{ir}$  と、レンズ群 3 による遠赤外光 L12 の焦点距離  $F_{ir}$  とは、上述した可視光 L11 の場合と同様の対応関係を有する。

[0036] 本実施形態の光学系 2 においては、図 3, 4 に示すようなバックフォーカスの各光路について、可視光 L11 の空気換算長  $L_{vis}$  が、遠赤外光 L12 の空気換算長  $L_{ir}$  よりも短くなるように、レンズ群 3 が構成される。これにより、上述した小型構成の光学系 2 において、レンズ材料等の波長依存性を利用して、可視域と遠赤外域との双方で精度良く結像する性能を得やすい。

[0037] 2-1-1. バックフォーカスの最適化

更に、本実施形態における実施例 1 の光学系 2 では、以下の条件式 (1) を満たすようにレンズ群 3 が構成される。

$$0.13 < (L_{ir} - L_{vis}) / F_{ir} < 0.23 \quad \dots (1)$$

[0038] 上式 (1) の評価にあたり、可視光 L11 の波長としては、可視域の基準波長として一般的に用いられる d 線の波長  $\lambda_{vis} = 587 \text{ nm}$  を用いる。

又、遠赤外光L12の波長としては、各種用途で利用し易いいわゆる大気の窓の中にあり、また常温の物質が遠赤外域で放出する光のピーク波長でもある波長 $\lambda_{ir} = 10 \mu\text{m}$ を用いる。以下、上式(1)における中辺 $(L_{ir} - L_{vis}) / F_{ir}$ を因子Lfという場合がある。

[0039] 上式(1)を満たす光学系2によると、上述した小型構成においてバックフォーカスを最適化して、可視域と遠赤外域との双方の結像性能を向上することができる。条件式(1)についての知見を、図5を用いて説明する。

[0040] 図5は、各種のレンズ材料のデータを例示する図である。図5では、光学系2に適用可能な各種レンズ材料の例示として、各々の名称と、組成と、各波長 $\lambda_{vis}$ ,  $\lambda_{ir}$ の屈折率 $n_{vis}$ ,  $n_{ir}$ と、後述する比率Nrとを示す。

[0041] 可視光L11の屈折率 $n_{vis}$ と遠赤外光L12の屈折率 $n_{ir}$ とは、それぞれ図5に示すように、種々のレンズ材料において様々な値を有する。これに対して、上式(1)は、下記の知見のように、様々な波長依存性のレンズ材料において共通に見られる普遍的な特性を利用しており、レンズ材料及び枚数などに限定されない各種の光学系に適用可能である。

[0042] まず、上式(1)の因子Lfにおける空気換算長の差 $(L_{ir} - L_{vis})$ について、レンズ群3における主点の位置は、例えば波長別には殆ど変化しないと考えられる。このことから、空気換算長の差 $(L_{ir} - L_{vis})$ は、次式(11)のように、可視光L11の焦点距離 $F_{vis}$ と、遠赤外光L12の焦点距離 $F_{ir}$ との間の差分で近似できる。

$$L_{ir} - L_{vis} \doteq F_{ir} - F_{vis} \quad \dots (11)$$

[0043] また、各焦点距離 $F_{vis}$ ,  $F_{ir}$ は、レンズ群3を薄肉のレンズと見なした場合におけるレンズメーカーの公式に基づき、次式(12)のように近似することができる。なお、Cはレンズの曲率によって規定される定数である。

$$F_{vis} \doteq C / (n_{vis} - 1)$$

$$F_{ir} \doteq C / (n_{ir} - 1) \quad \dots (12)$$

[0044] 上式 (11), (12) によると、条件式 (1) の因子  $L_f$  は、可視光  $L_{11}$  と遠赤外光  $L_{12}$  についての各屈折率  $n_{vis}$ ,  $n_{ir}$  を用いて、次式 (13) のように近似できる。

$$L_f \doteq (n_{vis} - 1) / (n_{ir} - 1) - 1 \quad \dots (13)$$

[0045] 上式 (13) の右辺において、各屈折率  $n_{vis}$ ,  $n_{ir}$  は、比率  $N_r = (n_{vis} - 1) / (n_{ir} - 1)$  として含まれる。比率  $N_r$  は、例えば真空の屈折率  $n = 1$  からの、遠赤外光  $L_{12}$  の屈折率  $n_{ir}$  のずれと可視光  $L_{11}$  の屈折率  $n_{vis}$  のずれとの間の比率を示し、遠赤外域と可視域に亘る屈折率の変化といった大域的な物理特性と考えられる。

[0046] 上式 (13) のような各屈折率  $n_{vis}$ ,  $n_{ir}$  の比率  $N_r$  によると、図 5 に示すように、様々なレンズ材料におけるバラツキが、各屈折率  $n_{vis}$ ,  $n_{ir}$  自体のバラツキよりも格段に小さい。このように、大域的な物理特性の比率  $N_r$  は、様々なレンズ材料において殆ど変わらず、ひいては比率  $N_r$  に基づく条件式 (1) が普遍的に適用できると考えられる。

[0047] 図 5 における上式 (13) の右辺の最小値は、カルコハライド CHA による「0.139」である。上式 (13) は、光学系 2 を薄肉のレンズと見なす近似を用いている。実際の光学系 2 における上式 (13) の左辺は、上記近似のような理想的な場合 (すなわち上式 (13) の右辺) よりも大きくなる傾向がある。上式 (1) の数値範囲は、レンズ材料および枚数等の光学系の各種差異による実用上のバラツキを考慮して見出された。

[0048] 2-1-2. 結像性能のシミュレーション

以上のような条件式 (1) による結像性能の効果が確認された光学系 2 の数値シミュレーションについて、図 6~8 を用いて説明する。

[0049] 図 6 は、実施形態 1 における光学系 2 の結像性能のシミュレーション結果を示すグラフである。図 6 において、横軸は条件式 (1) における因子  $L_f$  ( $= (L_{ir} - L_{vis}) / F_{ir}$ ) の設定値であり、縦軸は平均 MTF (変調伝達関数) の評価値である。平均 MTF は、後述するように可視光  $L_{11}$  の MTF と遠赤外光  $L_{12}$  の MTF の平均値である。

- [0050] 図6の数値シミュレーションは、実施形態1における光学系2の構成において、上式(1)の因子 $L_f$ を様々な値に設定し、各々の設定値において光学設計の最適化を行った。この際、Synopsys社のソフトウェアCODE Vを用いた。また、設計された光学系2における可視光 $L_{11}$ の結像性能と遠赤外光 $L_{12}$ の結像性能との双方を評価する観点から、平均MTFを用いた。
- [0051] 図6のグラフにおける各々のプロット点は、実施形態1の光学系2において異なった光学設計による別々の実施例に対応している。実施例1は、条件式(1)に規定された範囲内の因子 $L_f$ ( $=0.172$ )のプロット点 $p_{11}$ に対応する。実施例2は同式(1)の下限値を下回る因子 $L_f$ ( $=0.124$ )のプロット点 $p_{12}$ に対応し、実施例3は上限値を上回る因子 $L_f$ ( $=0.260$ )のプロット点 $p_{13}$ に対応する。因子 $L_f$ の設定変更は、遠赤外光 $L_{12}$ の焦点距離 $F_{ir}$ 及び空気換算長 $L_{ir}$ を固定しながら、可視光 $L_{11}$ の空気換算長 $L_{vis}$ を変化させる光学設計により行った。
- [0052] 実施例1の平均MTFにおける可視光 $L_{11}$ のMTFと遠赤外光 $L_{12}$ のMTFとをそれぞれ図7, 8に例示する。各図7, 8において、横軸は像高を百分率で示し、縦軸は各々のMTFの算出値を示す。また、各図7, 8では、サジタル方向のMTF曲線と、タンジェンシャル方向のMTF曲線と、回折限界の境界線とを図示している。
- [0053] 図7に例示する可視光 $L_{11}$ のMTFでは、上述したd線の波長 $\lambda_{vis}$ と、高周波の空間周波数 $30\text{ lp/mm}$ とを用いた( $\text{lp} : \text{line pairs}$ )。図8に例示する遠赤外光 $L_{12}$ のMTFでは、上述した波長 $\lambda_{ir}$ と、低周波の空間周波数 $10\text{ lp/mm}$ とを用いた。こうした空間周波数の設定には、各撮像センサ11, 12の画素ピッチを考慮した。即ち、遠赤外撮像センサ12の画素ピッチは、物理限界として可視撮像センサ11の画素ピッチよりも大きくなると考えられることから、遠赤外MTFの空間周波数を可視MTFの空間周波数よりも低周波に設定した。
- [0054] 各図7, 8のように得られる可視光 $L_{11}$ のMTFと遠赤外光 $L_{12}$ のM

T Fとにおいて、それぞれサジタル方向及びタンジェンシャル方向についての像高0%、30%、60%、100%の平均演算により、平均MTFを算出した。こうした平均MTFが大きいほど、可視光L11と遠赤外光L12の結像性能が高いと考えられる。

[0055] 図6のグラフによると、条件式(1)の数値範囲を包含する次式(1a)のような数値範囲において、山状に盛り上がったグラフ形状を有する。

$$0.08 < (L_{ir} - L_{vis}) / F_{ir} < 0.28 \quad \dots (1a)$$

上式(1a)の範囲の中でも、条件式(1)を満たす実施例1の光学系2における平均MTFが、条件式(1)を満たさない実施例2, 3の平均MTFよりも顕著に大きい。以上のように、条件式(1)によって可視光L11と遠赤外光L12の結像性能を向上できる効果が確認できた。

[0056] 2-2. 数値実施例

以上のような実施形態1の光学系2の実施例1~3を示す数値実施例1~3について、図9~11を用いて説明する。

[0057] 図9は、実施形態1の光学系2の数値実施例1を示す図表である。図9の図表は、本実施形態における実施例1の光学系2の面データD11aと、非球面データD11bと、各種データD11cとを含む。

[0058] 面データD11aは、物体側から光学系2において順番に並ぶ各面S1~S11について、各々の面の形状と、曲率半径と、面間隔と、材質とを示し、備考欄を付している。例えば、面番号S2は第1レンズ素子31の物体側のレンズ面であり、非球面形状を有する。なお、面番号S1は、無限遠に位置する被写体10等の物体を表す(備考欄参照)。又、図9の面データD11aでは、面番号S7が光分岐素子21の物体側の面であり、この面以降は、可視光L11の光路が通る面と遠赤外光L12の光路が通る面とをそれぞれ示す(図3, 4参照)。

[0059] 非球面データD11bは、面データD11aにおける非球面形状の各面S2, S3について、非球面の形状を規定する次式(2)の各種係数を示す。

[0060]

[数1]

$$z = \frac{h^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa)(h/r)^2}} + \sum A_n h^n \quad \dots(2)$$

[0061] 上式(2)において、 $h$ は径方向の高さであり、 $\kappa$ はコーニック定数であり、 $A_n$ は $n$ 次の非球面係数である。上式(2)の右辺第2項において、例えば $n$ は4以上20以下の偶数であり、各 $n$ についての総和が取られる。上式(2)によると、対象とする面上の径方向の高さ $h$ におけるサグ量 $z$ が、回転対称に規定される。

[0062] 各種データD11cは、光学系2における絞り30のFナンバーと、全角度と、遠赤外光L12の焦点距離F<sub>ir</sub>とを示す。又、本実施例の光学系2は、可視光L11の焦点距離F<sub>vis</sub>=5.8mmを有する。

[0063] 上記の数値実施例によると、実施形態1の実施例1の光学系2は、バックフォーカスにおいて可視光L11の空気換算長L<sub>vis</sub>=6.550mm及び遠赤外光L12の空気換算長L<sub>ir</sub>=7.721mmを有する。これにより、条件式(1)の因子L<sub>f</sub>及び平均MTFが、図6のプロット点p11に示したように得られる。

[0064] 図10は、実施形態1の光学系2の数値実施例2を示す図表である。図10の図表は、本実施形態における実施例2の光学系2の面データD12aと、非球面データD12bと、各種データD12cとを含む。各データD12a~D12cは、本実施形態の実施例2の光学系2について、実施例1の各データD11a~D11cと同様の情報を示す。

[0065] 本実施形態の実施例2では、実施例1よりも可視光L11の空気換算長L<sub>vis</sub>を延長するべく、図10に示すように、面データD12aの面番号S8についての面間隔を図9から変更して、面形状などの光学設計を最適化した。実施形態1の実施例2の光学系2において、遠赤外光L12の空気換算長L<sub>ir</sub>及び焦点距離F<sub>ir</sub>は実施例1と同じであり、可視光L11につい



ては空気換算長 $L_{vis} = 6.879$  mmである。これにより、これにより、図6のプロット点 $p_{12}$ に示した因子 $L_f$ 及び平均MTFが得られる。

[0066] 図11は、実施形態1の光学系2の数値実施例3を示す図表である。図11の図表は、本実施形態における実施例3の光学系2の面データ $D_{13a}$ と、非球面データ $D_{13b}$ と、各種データ $D_{13c}$ とを含む。各データ $D_{13a} \sim D_{13c}$ は、本実施形態の実施例3の光学系2について、実施例1の各データ $D_{11a} \sim D_{11c}$ と同様の情報を示す。

[0067] 本実施形態の実施例3では、実施例2とは逆行して、実施例1よりも可視光 $L_{11}$ の空気換算長 $L_{vis}$ を短縮して光学設計を最適化した。実施形態1の実施例3の光学系2において、遠赤外光 $L_{12}$ の空気換算長 $L_{ir}$ 及び焦点距離 $F_{ir}$ は実施例1と同じであり、可視光 $L_{11}$ については空気換算長 $L_{vis} = 5.950$  mmである。これにより、これにより、図6のプロット点 $p_{13}$ に示した因子 $L_f$ 及び平均MTFが得られる。

[0068] 以上のような各実施例1～3の光学系2によると、図6に示すように、実施例1のプロット点 $p_{11}$ だけでなく実施例2, 3のプロット点 $p_{12}$ ,  $p_{13}$ においても、因子 $L_f = 0$ の場合よりも高い平均MTFが得られている。よって、本実施形態の実施例1～3の光学系2によると、遠赤外光 $L_{12}$ の空気換算長 $L_{ir}$ よりも可視光 $L_{11}$ の空気換算長 $L_{vis}$ を短くすることにより、可視光 $L_{11}$ と遠赤外光 $L_{12}$ との双方の結像性能を向上できる。

[0069] 3. まとめ

以上のように、本実施形態における光学系2は、可視域における波長を有する第1の光の一例としての可視光 $L_{11}$ により、第1の結像位置の一例である結像位置 $P_1$ に結像する。光学系2は、遠赤外域における波長を有する第2の光の一例としての遠赤外光 $L_{12}$ により、第2の結像位置の一例である結像位置 $P_2$ に結像する。光学系2は、レンズ群3と、光分岐素子2とを備える。レンズ群3は、可視光 $L_{11}$ 及び遠赤外光 $L_{12}$ が入射する前方から出射する後方に延びた光軸 $Z_0$ と、可視光 $L_{11}$ の焦点距離 $F_{vis}$ と、

遠赤外光 $L_{12}$ の焦点距離 $F_{ir}$ とを有する。光分岐素子 $21$ は、レンズ群 $3$ の後方に配置され、レンズ群 $3$ からの可視光 $L_{11}$ 及び遠赤外光 $L_{12}$ を互いに分岐して、可視光 $L_{11}$ を結像位置 $P_1$ に導光すると共に遠赤外光 $L_{12}$ を結像位置 $P_2$ に導光する。レンズ群 $3$ は、結像位置 $P_1$ を可視光 $L_{11}$ の焦点距離 $F_{vis}$ に対応させ、当該結像位置 $P_1$ とは別に結像位置 $P_2$ を遠赤外光 $L_{12}$ の焦点距離 $F_{ir}$ に対応させるように、可視光 $L_{11}$ 及び遠赤外光 $L_{12}$ を透過するレンズ素子 $31, 32$ で構成される。

[0070] 以上の光学系 $2$ によると、可視光 $L_{11}$ の結像位置 $P_1$ と遠赤外光 $L_{12}$ の結像位置 $P$ とが、レンズ群 $3$ の各焦点距離 $F_{vis}, F_{ir}$ にそれぞれ対応して設定され、光分岐素子 $2$ よりも前方のレンズ群 $3$ が双方の結像光学系を構成する。これにより、光学系 $2$ において光分岐素子 $2$ 後方のバックフォーカスの構成を簡素化でき、撮像装置 $2$ の小型化など、可視撮像と遠赤外撮像との両立を行い易くすることができる。

[0071] 本実施形態の光学系 $2$ において、可視光 $L_{11}$ がレンズ群 $3$ における後端の位置すなわち後方位置 $P_3$ から結像位置 $P_1$ まで通過する第 $1$ の空気換算長の一例である空気換算長 $L_{vis}$ は、遠赤外光 $L_{12}$ が後方位置 $P_3$ から結像位置 $P_2$ まで通過する第 $2$ の空気換算長の一例である空気換算長 $L_{ir}$ よりも短い。これにより、可視光 $L_{11}$ の結像性能と遠赤外光 $L_{12}$ の結像性能との双方をレンズ群 $3$ により確保し易い。

[0072] 本実施形態における光学系 $2$ は、バックフォーカスにおける可視光 $L_{11}$ の空気換算長 $L_{vis}$ と、遠赤外光 $L_{12}$ の空気換算長 $L_{ir}$ と、遠赤外光 $L_{12}$ の焦点距離 $F_{ir}$ とに基づいて、条件式(1)を満たしてもよい。これにより、光学系 $2$ におけるバックフォーカスを最適化して、可視光 $L_{11}$ の結像性能と遠赤外光 $L_{12}$ の結像性能との双方を向上できる。又、本実施形態における光学系 $2$ は、条件式(1)の代わりに、上式(1a)の数値範囲を満たしてもよい。

[0073] 本実施形態における光学系 $2$ は、可視光 $L_{11}$ の波長が $\lambda_{vis} = 587 \text{ nm}$ であり、遠赤外光 $L_{12}$ の波長が $\lambda_{ir} = 10 \mu\text{m}$ である場合に条件式

(1) を満たしてもよい。こうした波長 $\lambda_{vis}$ ,  $\lambda_{vis}$ は、それぞれ可視撮像及び遠赤外撮像において有用である。

[0074] 本実施形態における光学系2は、光分岐素子2の後方にはレンズ素子が設けられず、光分岐素子2の前方にレンズ群3のレンズ素子31, 32が設けられる。これにより、光学系2を小型化することができる。

[0075] 本実施形態の光学系2において、レンズ群3における第1レンズ素子31は、カルコハライドガラスで構成される。これにより、可視域と遠赤外域とに光透過性を有する光学系2が、各種用途において取り扱い易い材質で提供できる。カルコハライド材料のレンズ素子は、特に第1レンズ素子31に限らない。また、第1レンズ素子31は、カルコハライド材料でないレンズ材料で構成されてもよい。

[0076] 本実施形態の光学系2において、光分岐素子21は、可視光L11を透過し、遠赤外光L12を反射する光学特性を有する。これにより、光学系2のバックフォーカスにおいて、可視光L11の光路よりも長い場合が考えられる遠赤外光L12の光路を屈曲させ(図3, 4参照)、光学系2を小型化し易くすることができる。

[0077] 本実施形態において、撮像装置1は、光学系2と、第1の撮像部の一例である可視撮像センサ11と、第2の撮像部の一例である遠赤外撮像センサ12とを備える。可視撮像センサ11は、光学系2による可視光L11の結像位置P1に配置され、可視光L11による画像を撮像する。遠赤外撮像センサ12は、光学系2による遠赤外光L12の結像位置P2に配置され、遠赤外光L12による画像を撮像する。本実施形態の撮像装置1によると、光学系2により、可視撮像と遠赤外撮像を両立する構成を小型化したり、双方の結像性能を良くしたりでき、こうした両立を行い易くすることができる。

[0078] 本実施形態において、撮像システム20は、撮像装置1と、撮像装置1において撮像された各種画像 $Im1$ ,  $Im2$ を解析する制御部15とを備える。本システム20によると、撮像装置1の光学系2により、可視画像 $Im1$ の解析と遠赤外画像 $Im2$ の解析との両立を行い易くすることができる。

## [0079] (実施形態2)

以下、図12～16を用いて実施形態2を説明する。実施形態1では、光学系2における2枚のレンズ素子31、32間でレンズ材料が異なる例を説明した。実施形態2では、レンズ材料が同じレンズ素子で構成される光学系について説明する。

[0080] 以下、実施形態1に係る光学系2及び撮像装置1と同様の構成、動作の説明は適宜、省略して、本実施形態に係る光学系を説明する。

[0081] 図12は、実施形態2に係る光学系2Aの構成を示す。実施形態1では、第2レンズ素子32のレンズ材料として硫化亜鉛を例示した。本実施形態に係る光学系2Aでは、実施形態1の光学系2と同様の構成において、第2レンズ素子32Aのレンズ材料が、第1レンズ素子31と同じカルコハライドガラスで構成される。本実施形態の光学系2Aによると、生産性や加工性の高いガラスでレンズ群3Aを構成でき、各種用途において利用し易い。

[0082] 図13は、本実施形態の光学系2Aの結像性能のシミュレーション結果のグラフを示す。図13の数値シミュレーションは、実施形態2の光学系2Aについて、実施形態1の図6と同様に因子 $L_f$ を様々な値に設定して光学設計を最適化した。実施形態2の実施例1、2、3は、それぞれ図13のグラフにおけるプロット点 $p_{21}$ 、 $p_{22}$ 、 $p_{23}$ に対応する。

[0083] 図14は、実施形態2の光学系2Aの数値実施例1を、実施形態1と同様に示す。具体的に、図14における面データ $D_{21a}$ と、非球面データ $D_{21b}$ と、各種データ $D_{21c}$ とが、それぞれ本実施形態における実施例1の光学系2Aについての情報を、図9の各データ $D_{11a}$ ～ $D_{11c}$ と同様に示す。本実施例の光学系2Aは、図13のプロット点 $p_{21}$ に示すように、条件式(1)を満たす因子 $L_f$ を有する。

[0084] 図15は、実施形態2の光学系2Aの数値実施例2を、上記実施例と同様に示す。図15における面データ $D_{22a}$ と、非球面データ $D_{22b}$ と、各種データ $D_{22c}$ とが、それぞれ本実施形態における実施例2の光学系2Aについての情報を示す。本実施例の光学系2Aは、図13のプロット点 $p_{22}$

2に示すように、条件式(1)の下限值を下回る因子 $L_f$ を有する。

[0085] 図16は、実施形態2の光学系2Aの数値実施例3を、上記実施例と同様に示す。図16における各データ $D_{23a}$ 、 $D_{23b}$ 、 $D_{23c}$ が、それぞれ本実施形態における実施例3の光学系2Aについての情報を示す。本実施例の光学系2Aは、図13のプロット点 $p_{23}$ に示すように、実施例1を上回る因子 $L_f$ を有する。

[0086] 本実施形態の各実施例1～3の光学系2Aにおける可視光 $L_{11}$ と遠赤外光 $L_{12}$ 間の平均MTFは、図13に示すように、因子 $L_f$ が条件式(1)によって規定される範囲内で特に高くなっている。本実施形態の光学系2Aによっても、実施形態1と同様に、小型構成において可視光 $L_{11}$ と遠赤外光 $L_{12}$ との双方の結像性能を良くすることができる。

[0087] (実施形態3)

以下、図17～21を用いて実施形態3を説明する。実施形態1, 2では、レンズ群3におけるレンズ枚数が2枚で焦点距離 $F_{ir} = 6.8\text{ mm}$ の例を説明したが、本開示はこれに限定されない。実施形態3では、レンズ枚数が3枚で焦点距離 $F_{ir} = 15\text{ mm}$ の例を説明する。

[0088] 以下、実施形態1, 2と同様の説明は適宜、省略して、本実施形態に係る光学系を説明する。

[0089] 図17は、実施形態3に係る光学系2Bの構成を示す。本実施形態に係る光学系2Bは、実施形態1の光学系2と同様の構成に加えて、レンズ群3において第2レンズ素子32の後方に配置された第3レンズ素子33をさらに備える。第3レンズ素子33は、例えばカルコハライドCHA等、可視光 $L_{11}$ 及び遠赤外光 $L_{12}$ を透過するレンズ材料で構成される。こうした本実施形態の光学系2Bについても、実施形態1, 2と同様に各種実施例の数値シミュレーションを行った。

[0090] 図18は、本実施形態の光学系2Bの結像性能のシミュレーション結果のグラフを示す。実施形態3の実施例1, 2, 3では、図18のグラフにおけるプロット点 $p_{31}$ 、 $p_{32}$ 、 $p_{33}$ に示すように、それぞれ因子 $L_f = 0$

、182mm、0.111mm、0.260mmに設定した。

[0091] 図19は、実施形態3の光学系2Bの数値実施例1を、上記各実施形態と同様に示す。図19における面データD31aと、非球面データD31bと、各種データD31cとが、それぞれ本実施形態における実施例1の光学系2Bについての情報を示す。本実施例の光学系2Bは、バックフォーカスにおいて可視光L11の空気換算長 $L_{vis} = 15.159$ mm及び遠赤外光L12の空気換算長 $L_{ir} = 17.889$ mmを有し、条件式(1)を満たす。

[0092] 図20, 21は、それぞれ実施形態3の光学系2Bの数値実施例2, 3を、上記実施例と同様に示す。図20, 21における各データD32a~D32c, D33a~D33cが、それぞれ本実施形態における実施例2, 3の光学系2Bについての情報を示す。実施例2の光学系2Bは、実施例1と同じ遠赤外光L12の空気換算長 $L_{ir}$ と、可視光L11の空気換算長 $L_{vis} = 16.219$ mmとを有し、条件式(1)の下限值を下回る。実施例3の光学系2Bは、可視光L11の空気換算長 $L_{vis} = 16.829$ mmと、遠赤外光L12の空気換算長 $L_{ir} = 20.724$ mmとを有し、条件式(1)の上限値を上回る。

[0093] 本実施形態の各実施例1~3の光学系2Bにおける平均MTFも、図18に示すように、因子 $L_f$ が条件式(1)の範囲内で特に高くなっている。本実施形態の光学系2Bによっても、上記各実施形態と同様に可視光L11と遠赤外光L12との双方の結像性能を良くすることができる。

[0094] (実施形態4)

以下、図22~26を用いて実施形態4を説明する。実施形態4では、実施形態3よりも更にレンズ枚数が多い例を説明する。

[0095] 以下、実施形態1~3と同様の説明は適宜、省略して、本実施形態に係る光学系を説明する。

[0096] 図22は、実施形態4に係る光学系2Cの構成を示す。本実施形態に係る光学系2Cは、実施形態3の光学系2Bと同様の構成に加えて、レンズ群3

において第1レンズ素子31の後方に配置された第4レンズ素子34をさらに備える。第4レンズ素子34は、可視光L11及び遠赤外光L12を透過するレンズ材料で構成される。こうした本実施形態の光学系2Cについても、実施形態1～3と同様に各種実施例の数値シミュレーションを行った。

[0097] 図23は、本実施形態の光学系2Cの結像性能のシミュレーション結果のグラフを示す。実施形態4の実施例1, 2, 3では、図18のグラフにおけるプロット点p41, p42, p43に示すように、それぞれ因子 $L_f = 0.196\text{ mm}$ ,  $0.096\text{ mm}$ ,  $0.255\text{ mm}$ に設定した。

[0098] 図24～26は、それぞれ実施形態4の光学系2Cの数値実施例1～3を、上記各実施形態と同様に示す。図24, 25, 26における各データD41a～D41c, D42a～D42c, D43a～D43cが、それぞれ本実施形態における実施例1, 2, 3の光学系2Cについての情報を示す。

[0099] 本実施形態において、実施例1の光学系2Cは、バックフォーカスにおいて可視光L11の空気換算長 $L_{vis} = 12.750\text{ mm}$ 及び遠赤外光L12の空気換算長 $L_{ir} = 15.695\text{ mm}$ を有し、条件式(1)を満たす。実施例2の光学系2Cは、実施例1と同じ遠赤外光L12の空気換算長 $L_{ir}$ と、可視光L11の空気換算長 $L_{vis} = 14.260\text{ mm}$ とを有し、条件式(1)の下限値を下回る。実施例3の光学系2Cは、実施例1と同じ遠赤外光L12の空気換算長 $L_{ir}$ と、可視光L11の空気換算長 $L_{vis} = 11.863\text{ mm}$ とを有し、条件式(1)の上限値を上回る。

[0100] 本実施形態の各実施例1～3の光学系2Cにおける平均MTFも、図23に示すように、因子 $L_f$ が条件式(1)の範囲内で特に高くなっている。本実施形態の光学系2Cによっても、上記各実施形態と同様に可視光L11と遠赤外光L12との双方の結像性能を良くすることができる。又、図23では、図6等と比較して、条件式(1)の範囲内でグラフ形状が平坦化している。本実施形態によると、レンズ枚数を増やして結像性能を向上し易くできる。

[0101] 以上の説明では、光学系2Cのレンズ群3におけるレンズ枚数が4枚以下

の例を説明したが、レンズ枚数は5枚以上であってもよい。この場合においても、上記各実施形態と同様に結像性能を向上できる。

[0102] (他の実施形態)

以上のように、本出願において開示する技術の例示として、実施形態1～4を説明した。しかしながら、本開示における技術は、これに限定されず、適宜、変更、置換、付加、省略などを行った実施の形態にも適用可能である。また、上記各実施形態で説明した各構成要素を組み合わせ、新たな実施の形態とすることも可能である。そこで、以下、他の実施形態を例示する。

[0103] 上記の各実施形態では、光分岐素子21が可視光L11を透過して遠赤外光L12を反射する光学系2, 2A～2Cを例示したが、本開示はこれに限定されない。この点の変形例について、図27を用いて説明する。

[0104] 図27は、実施形態1の変形例の光学系2Dの構成を例示する。本変形例の光学系2Dは、例えば実施形態1と同様の構成において、図2の光分岐素子21の代わりに、可視光L11を反射し、遠赤外光L12を透過する光分岐素子23を備える。例えば、本変形例の光分岐素子23は、予め遠赤外光L12の波長帯が透過帯に設定されたバンドパスフィルタで構成される。また、本変形例の光学系2Dにおいて、遠赤外透過フィルタ22は、例えば光分岐素子23よりも+Z側に配置される。

[0105] 本変形例の光学系2Dでは、レンズ群3から+Z方向に出射した入射光L10において、可視光L11は光分岐素子23により反射して+X方向に出射する一方、遠赤外光L12は光分岐素子23を透過して+Z方向に出射する。本変形例では、こうした可視光L11の光路の空気換算長 $L_{vis}$ と、遠赤外光L12の光路の空気換算長 $L_{ir}$ とにより、上述した条件式(1)が満たされてもよい。本変形例の光学系2Dによっても、上記と同様に、可視撮像と遠赤外撮像とを両立する撮像装置1を実現し易くすることができる。

[0106] 上記の各実施形態では、光分岐素子21, 23がバンドパスフィルタで構成される例を説明した。本実施形態において、光分岐素子21, 23はバン



ドパスフィルタに限らず、各種のバンドスプリッタで構成でき、例えばハイパスフィルタ又はローパスフィルタで構成されてもよい。

[0107] 上記の各実施形態では、光学系 2, 2A~2D に遠赤外透過フィルタ 22 が設けられる例を説明した。本実施形態において、遠赤外透過フィルタ 22 は、遠赤外撮像センサ 12 又は光分岐素子 21 と一体的に設けられてもよい。遠赤外透過フィルタ 22 は、光学系 2, 2A~2D から省略されてもよい。

[0108] 上記の各実施形態では、光分岐素子 21, 23 と各結像位置 P1, P2 との間に、遠赤外透過フィルタ 22 以外の光学素子が配置されない例を説明したが、本開示はこれに限定されない。本実施形態において、光分岐素子 21, 23 と各結像位置 P1, P2 との間に各種の光学素子が配置されてもよく、例えば各種の波長フィルタ、偏光フィルタ、偏光板、及びミラー等が配置されてもよい。また、本実施形態では、必ずしも、光分岐素子 21, 23 と各結像位置 P1, P2 との間に配置できる光学素子から、レンズ素子を除外しなくてもよく、例えば屈折力の小ささに依ってはレンズ素子も配置可能である。

[0109] 上記の各実施形態では、非球面のレンズ面を含む光学系 2, 2A~2D を例示した。本実施形態の光学系は、非球面のレンズ面を含まなくてもよく、例えばレンズ群 3 に含まれるレンズ素子の全てが球面レンズであってもよい。また、本実施形態の光学系は、回転対称でない自由曲面を有するレンズ素子をレンズ群 3 に含んでもよい。

[0110] 以上のように、本開示における技術の例示として、実施の形態を説明した。そのために、添付図面および詳細な説明を提供した。

[0111] したがって、添付図面および詳細な説明に記載された構成要素の中には、課題解決のために必須な構成要素だけでなく、上記技術を例示するために、課題解決のためには必須でない構成要素も含まれ得る。そのため、それらの必須ではない構成要素が添付図面や詳細な説明に記載されていることをもって、直ちに、それらの必須ではない構成要素が必須であるとの認定をするべ

きではない。

[0112] また、上述の実施の形態は、本開示における技術を例示するためのものであるから、特許請求の範囲またはその均等の範囲において、種々の変更、置換、付加、省略などを行うことができる。

#### **産業上の利用可能性**

[0113] 本開示は、可視撮像と遠赤外撮像とを組み合わせる各種の用途に適用可能である。

## 請求の範囲

[請求項1] 可視域における波長を有する第1の光により第1の結像位置に結像し、遠赤外域における波長を有する第2の光により第2の結像位置に結像する光学系であって、

前記第1及び第2の光が入射する前方から出射する後方に延びた光軸と、前記第1の光の焦点距離と、前記第2の光の焦点距離とを有するレンズ群と、

前記レンズ群の後方に配置され、前記レンズ群からの第1及び第2の光を互いに分岐して、前記第1の光を前記第1の結像位置に導光すると共に前記第2の光を前記第2の結像位置に導光する光分岐素子とを備え、

前記レンズ群は、前記第1の結像位置を前記第1の光の焦点距離に対応させ、前記第1の結像位置とは別に前記第2の結像位置を前記第2の光の焦点距離に対応させるように、前記第1及び第2の光を透過するレンズ素子で構成される光学系。

[請求項2] 前記第1の光が前記レンズ群における後端の位置から前記第1の結像位置まで通過する第1の空気換算長は、前記第2の光が前記後端の位置から前記第2の結像位置まで通過する第2の空気換算長よりも短い

請求項1に記載の光学系。

[請求項3] 前記第1の空気換算長 $L_{vis}$ と、前記第2の空気換算長 $L_{ir}$ と、前記第2の光の焦点距離 $F_{ir}$ とに基づいて、以下の式(1)を満たす、

$$0.13 < (L_{ir} - L_{vis}) / F_{ir} < 0.23 \quad \dots (1)$$

請求項2に記載の光学系。

[請求項4] 前記第1の光の波長が587nmであり、前記第2の光の波長が10 $\mu$ mである場合に、前記式(1)を満たす

請求項3に記載の光学系。

[請求項5] 前記光分岐素子の後方にはレンズ素子が設けられず、前記光分岐素子の前方に前記レンズ群のレンズ素子が設けられた

請求項1～4のいずれか1項に記載の光学系。

[請求項6] 前記レンズ群における少なくとも1枚のレンズ素子は、カルコハライドガラスで構成される

請求項1～5のいずれか1項に記載の光学系。

[請求項7] 前記光分岐素子は、前記第1の光を透過し、前記第2の光を反射する光学特性を有する

請求項1～6のいずれか1項に記載の光学系。

[請求項8] 請求項1～7のいずれか1項に記載の光学系と、

前記第1の結像位置に配置され、前記第1の光による画像を撮像する第1の撮像部と、

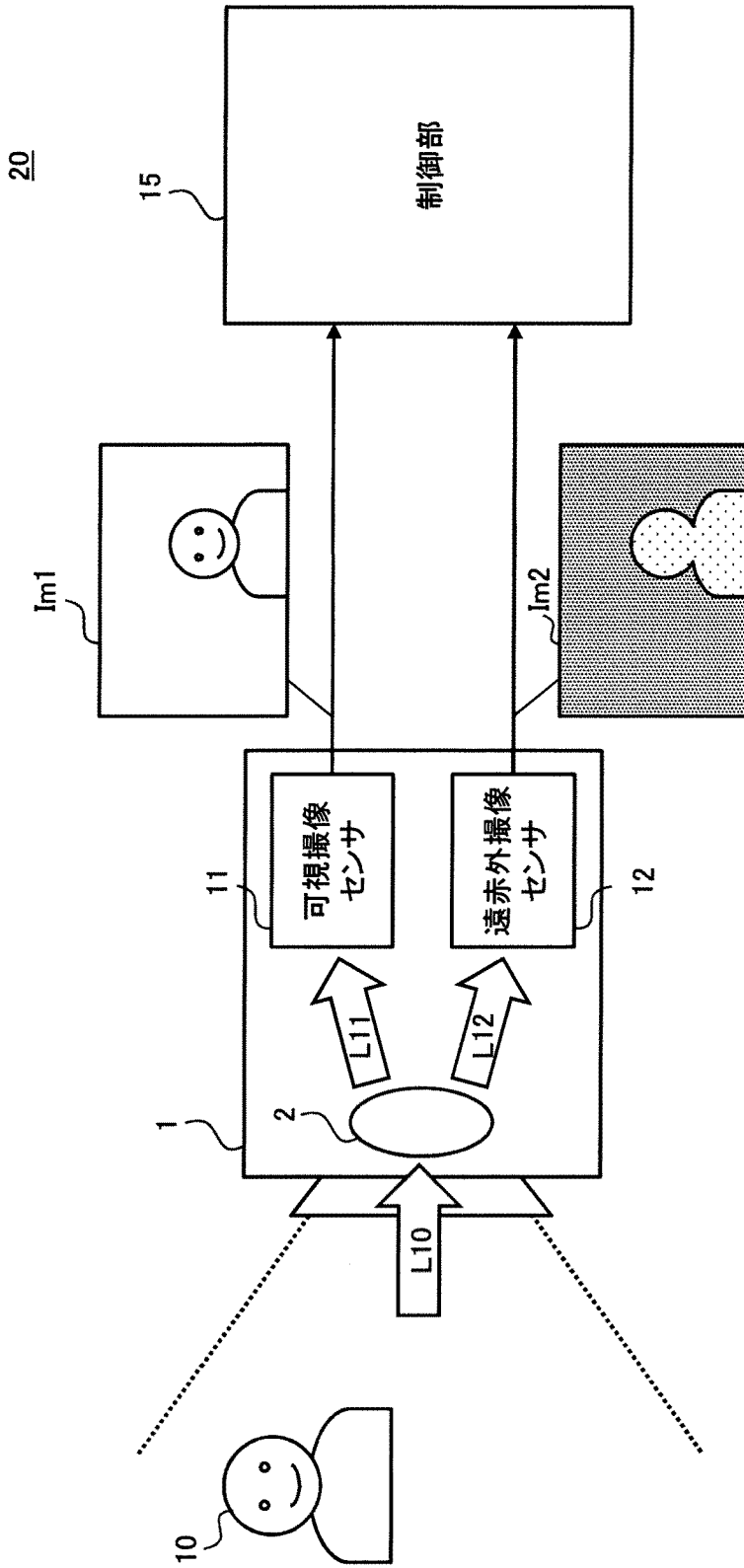
前記第2の結像位置に配置され、前記第2の光による画像を撮像する第2の撮像部と

を備えた撮像装置。

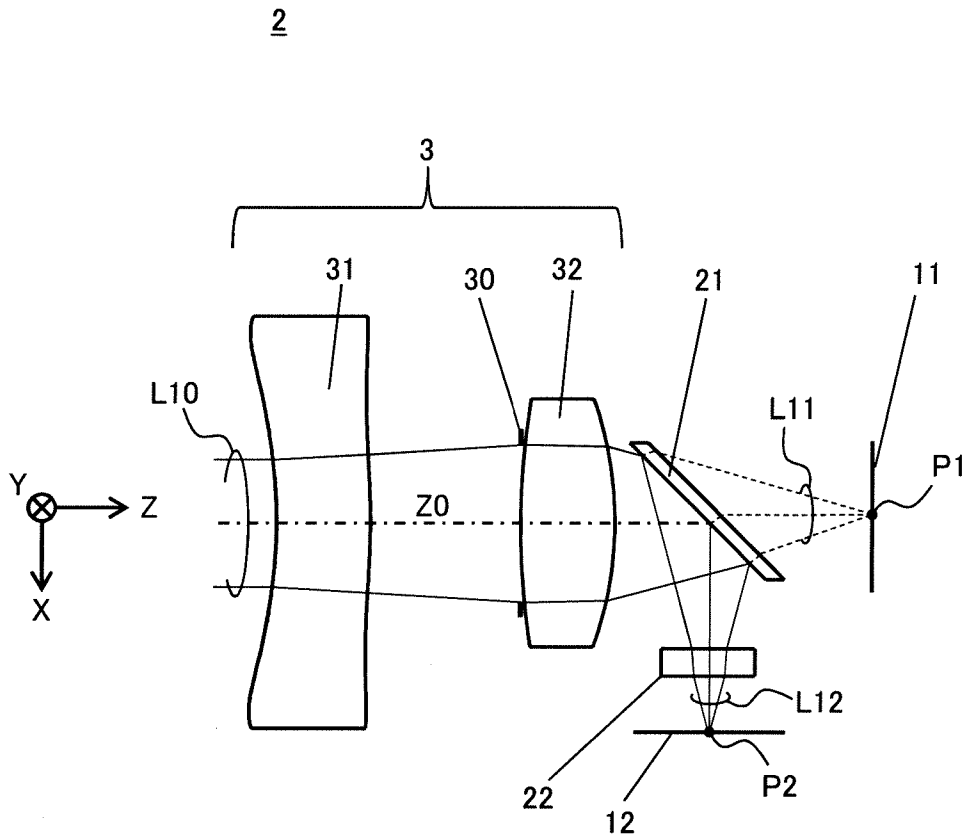
[請求項9] 請求項8に記載の撮像装置と、

前記撮像装置において撮像された画像を解析する制御部とを備える撮像システム。

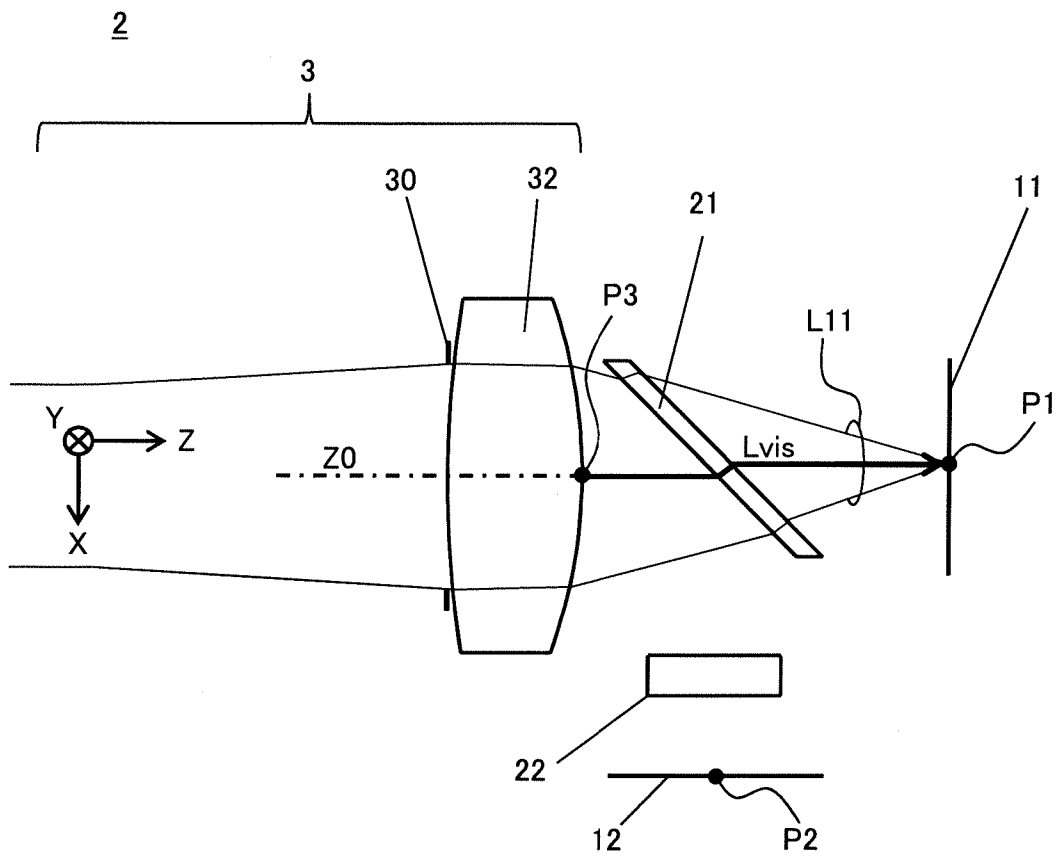
[図1]



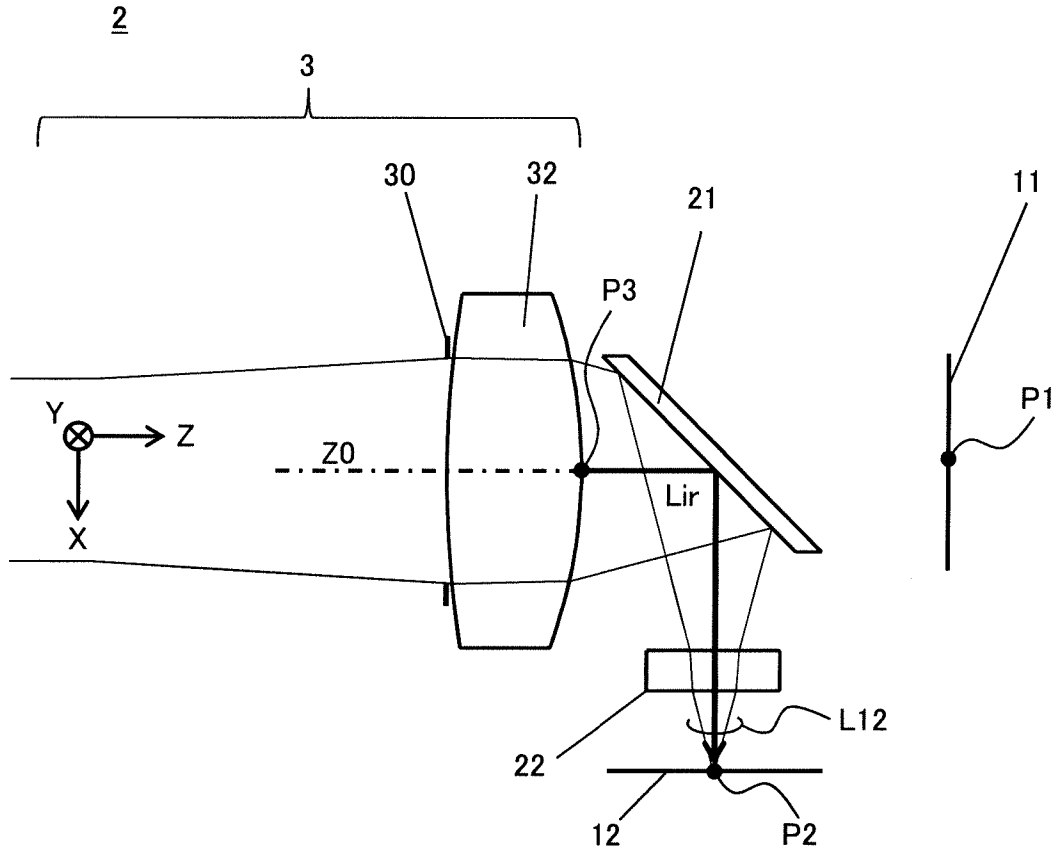
[図2]



[図3]



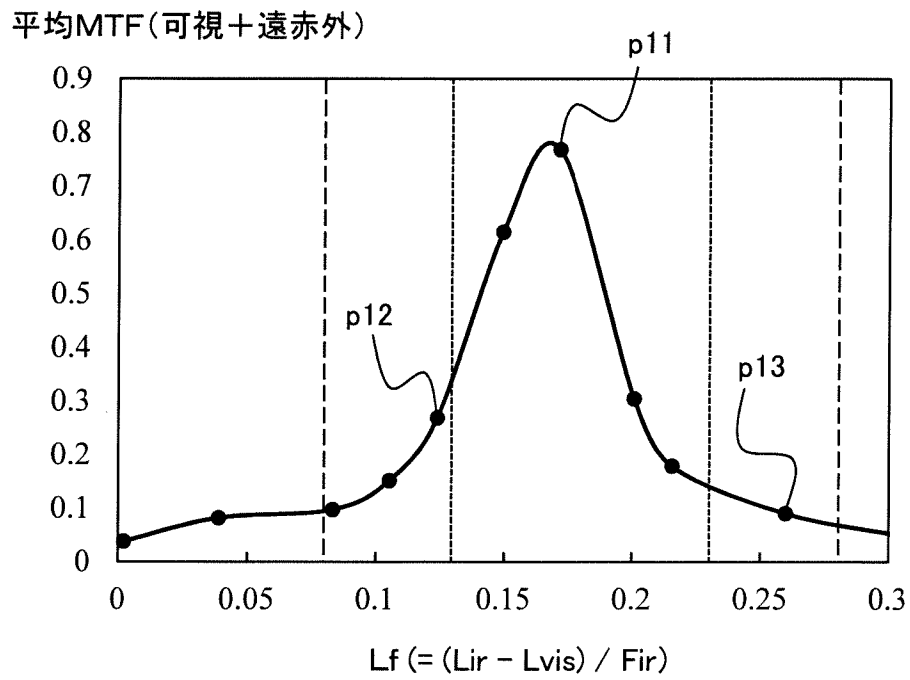
[図4]



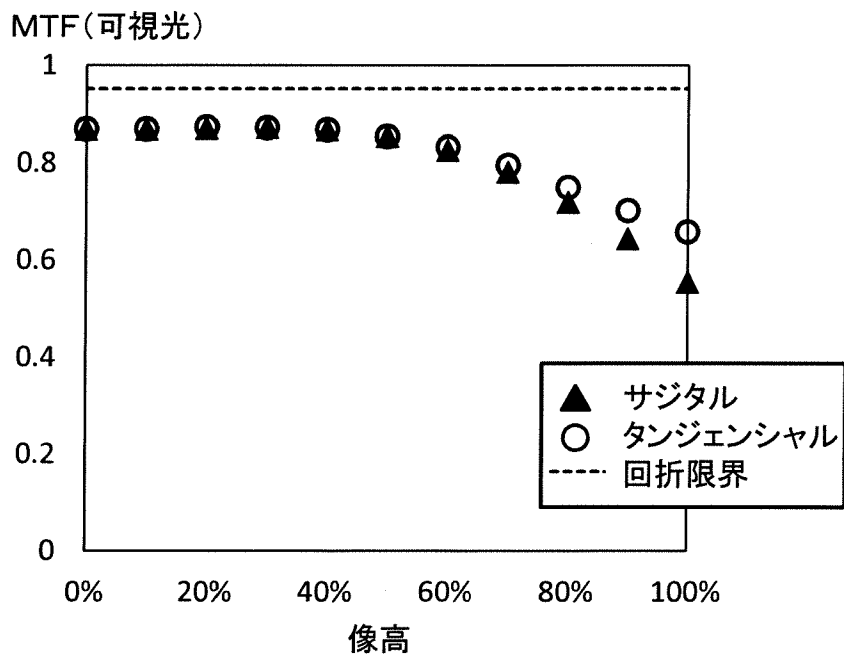
[図5]

名称	組成	屈折率		Nr
		nvis	nir	
カルコハライドA (CHA)	Ge,Ga,Cs,S,Br	2.108	1.975	1.139
カルコハライドB (CHB)	Ge,Sb,Cs,S,Cl	2.292	2.121	1.152
カルコハライドC (CHC)	Ge,Ga,Cs,S,I	2.071	1.922	1.162
硫化亜鉛 (ZnS)	ZnS	2.372	2.201	1.142
セレン化亜鉛 (ZnSe)	ZnSe	2.626	2.407	1.156

[図6]

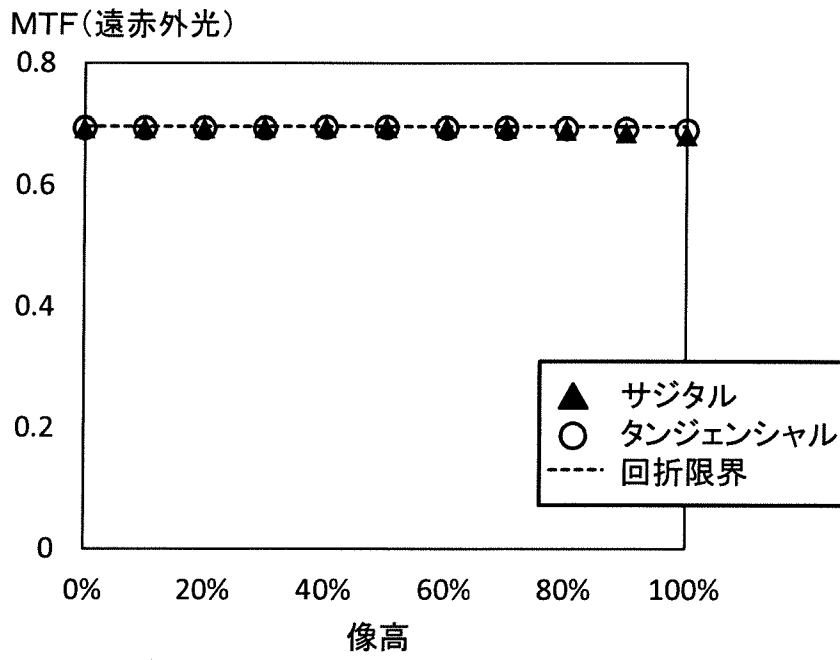


[図7]





[図8]



[図9]

実施形態1の実施例1									
遠赤外光用					可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-12.806	2.500	CHA	共通				
S3	非球面	-19.282	4.000		共通				
S4	球	$\infty$	0.000		共通				絞り
S5	球	20.264	2.500	ZnS	共通				
S6	球	-9.963	2.500		共通				
S7	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S8	球	$\infty$	3.500		球	$\infty$	3.717		
S9	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S10	球	$\infty$	1.500						
S11	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S3
k	0	0
A4	2.64.E-04	9.73.E-04
A6	1.71.E-06	1.91.E-05
A8	3.87.E-07	-8.87.E-07

Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	28
焦点距離Fir (mm)	6.8

D11b

D11a

D11c

[図10]

実施形態1の実施例2									
遠赤外光用					可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-12.802	2.500	CHA	共通				
S3	非球面	-15.105	4.000		共通				
S4	球	$\infty$	0.000		共通				絞り
S5	球	-56.411	2.500	ZnS	共通				
S6	球	-7.869	2.500		共通				
S7	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S8	球	$\infty$	3.500		球	$\infty$	4.046		
S9	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S10	球	$\infty$	1.500						
S11	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S3
k	0	0
A4	3.27.E-03	4.23.E-03
A6	-2.17.E-04	-1.99.E-04
A8	4.52.E-06	3.11.E-06

Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	28
焦点距離Fir (mm)	6.8

D12b

D12a

D12c

[図11]

実施形態1の実施例3									
遠赤外光用					可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				備考 物体
S2	非球面	-12.266	2.500	CHA	共通				
S3	非球面	-18.477	4.000		共通				
S4	球	$\infty$	0.000		共通				絞り
S5	球	9.044	2.500	ZnS	共通				
S6	球	-332.639	2.500		共通				
S7	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S8	球	$\infty$	3.500		球	$\infty$	3.117		
S9	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S10	球	$\infty$	1.500						
S11	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

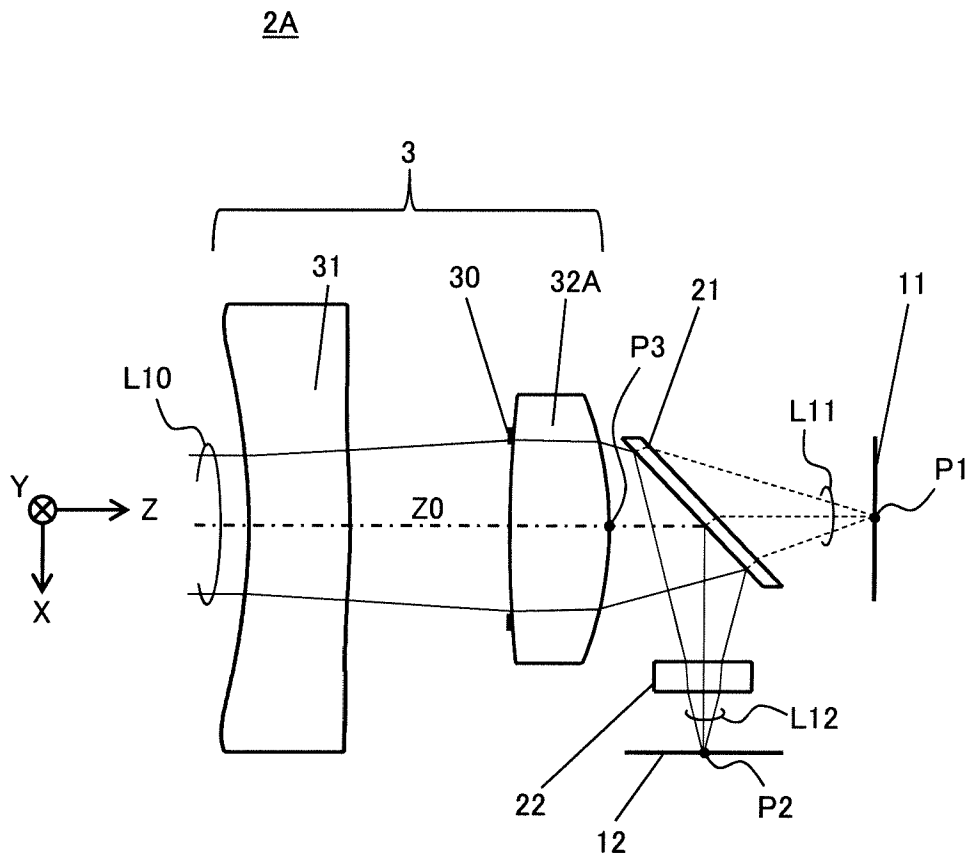
  

	S2	S3
k	0	0
A4	-3.48.E-03	-2.50.E-03
A6	3.48.E-04	2.92.E-04
A8	-6.90.E-06	-6.18.E-06

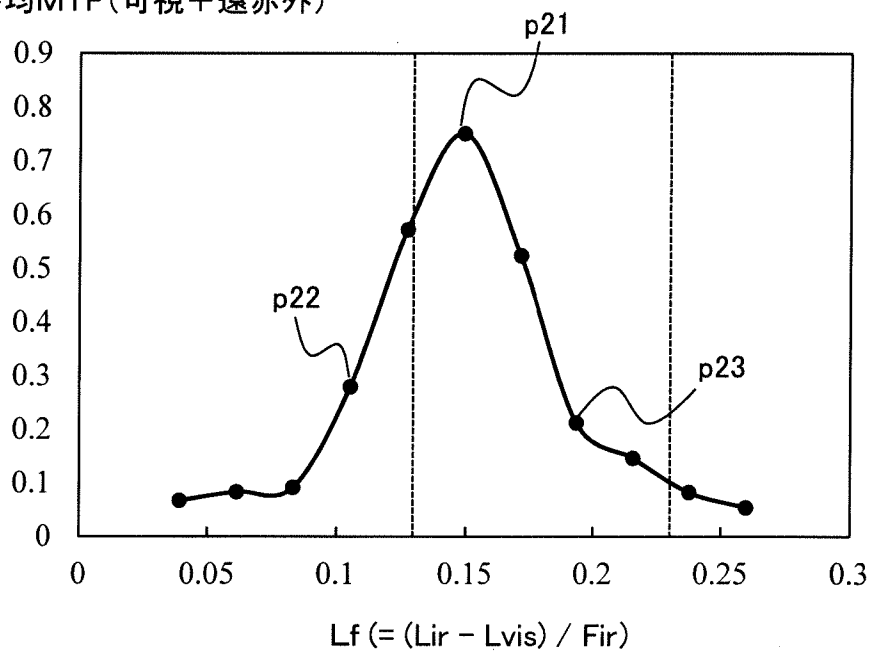
Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	28
焦点距離Fir (mm)	6.8

[図12]



[図13]

平均MTF(可視+遠赤外)



[図14]

実施形態2の実施例1									
遠赤外光用					可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-12.354	2.500	CHA	共通				
S3	非球面	-18.501	4.000		共通				
S4	球	$\infty$	0.000		共通				絞り
S5	球	17.833	2.500	CHA	共通				
S6	球	-10.659	2.500		共通				
S7	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S8	球	$\infty$	3.500		球	$\infty$	3.867		
S9	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S10	球	$\infty$	1.500						
S11	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S3
k	0	0
A4	3.16.E-04	1.18.E-03
A6	9.53.E-06	8.18.E-06
A8	1.45.E-07	-7.08.E-07

Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	28
焦点距離Fir (mm)	6.8

D21b

D21a

D21c

[図15]

実施形態2の実施例2									
	遠赤外光用				可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-12.850	2.500	CHA	共通				
S3	非球面	-16.475	4.000		共通				
S4	球	$\infty$	0.000		共通				絞り
S5	球	222.465	2.500	CHA	共通				
S6	球	-7.354	2.500		共通				
S7	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S8	球	$\infty$	3.500		球	$\infty$	4.196		
S9	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S10	球	$\infty$	1.500						
S11	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S3
k	0	0
A4	3.16.E-03	4.29.E-03
A6	-2.14.E-04	-2.16.E-04
A8	4.49.E-06	3.51.E-06

Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	28
焦点距離Fir (mm)	6.8

[図16]

実施形態2の実施例3									
遠赤外光用					可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-12.1757	2.500	CHA	共通				
S3	非球面	-19.8556	4.000		共通				
S4	球	$\infty$	0.000		共通				絞り
S5	球	-9.782	2.500	CHA	共通				
S6	球	-21.074	2.500		共通				
S7	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S8	球	$\infty$	3.500		球	$\infty$	3.267		
S9	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S10	球	$\infty$	1.500						
S11	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S3
k	0	0
A4	-1.31.E-03	-5.19.E-04
A6	1.64.E-04	1.31.E-04
A8	-3.13.E-06	-3.01.E-06

Fナンバー	2.0
全画角(deg.)	28
焦点距離Fir (mm)	6.8

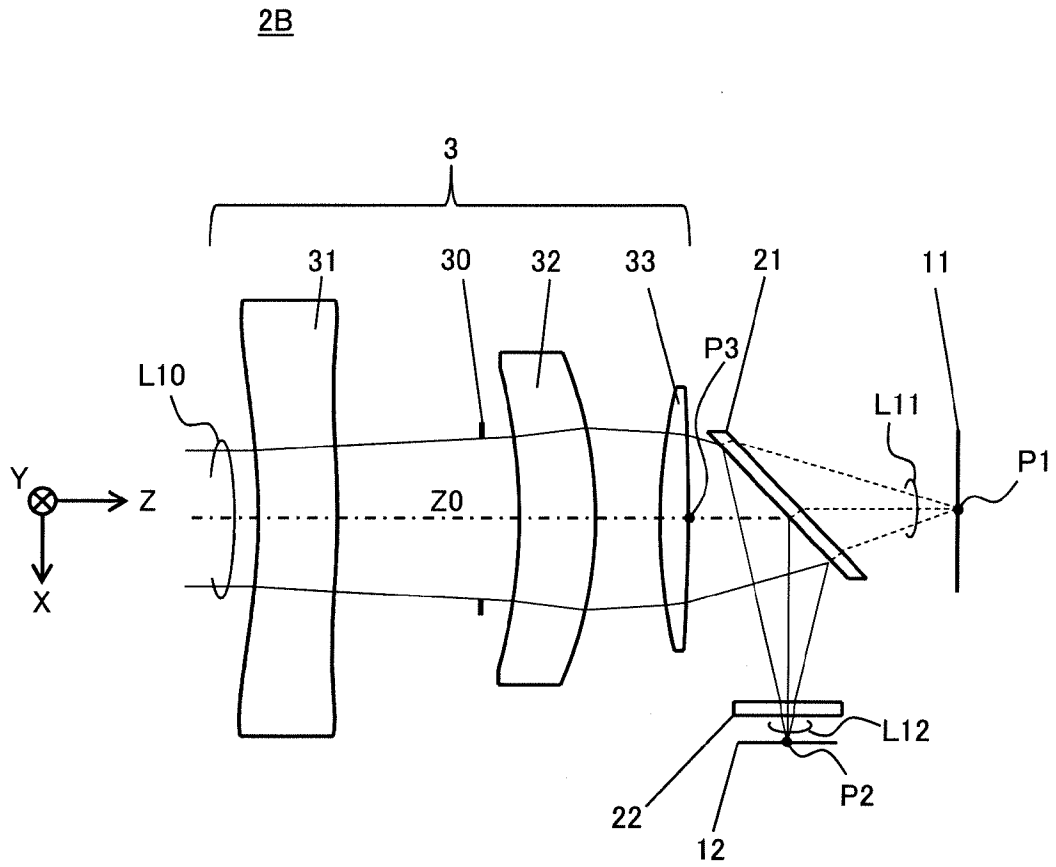
D23b

D23a

D23c

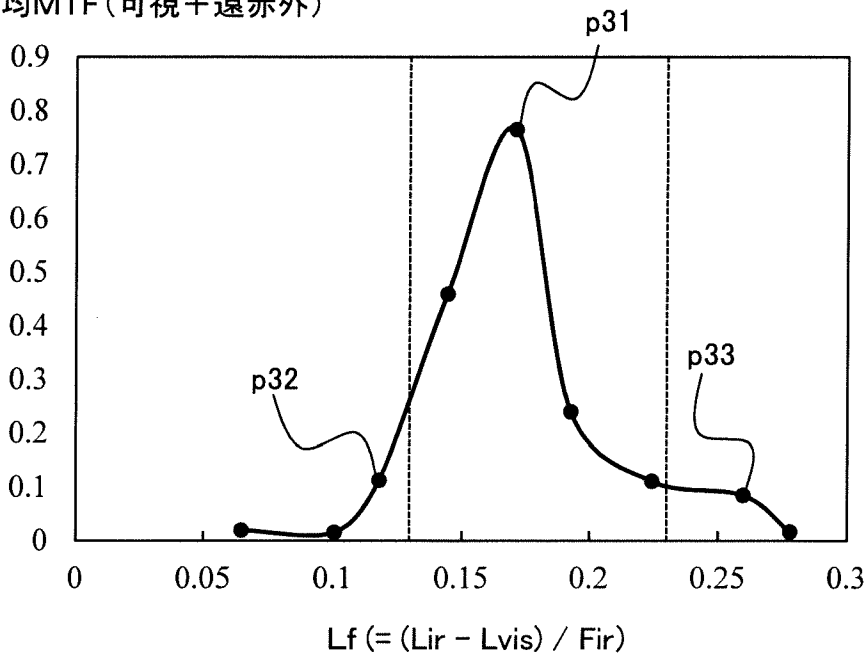


[図17]



[図18]

平均MTF(可視+遠赤外)



[図19]

実施形態3の実施例1									
遠赤外光用					可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-29.602	4.842	CHA	共通				
S3	非球面	-41.845	8.819		共通				
S4	球	$\infty$	2.299		共通				絞り
S5	球	-28.641	4.707	ZnS	共通				
S6	球	-21.354	3.988		共通				
S7	球	28.957	1.716	CHA	共通				
S8	球	-119.947	6.160		共通				
S9	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S10	球	$\infty$	10.009		球	$\infty$	8.852		
S11	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S12	球	$\infty$	1.500						
S13	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S3
k	0	0
A4	1.14.E-04	1.43.E-04
A6	-8.34.E-07	-1.58.E-07
A8	3.76.E-09	-2.09.E-09

Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	13
焦点距離Fir (mm)	15

[図20]

実施形態3の実施例2									
遠赤外光用					可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-29.185	4.720	CHA	共通				
S3	非球面	-42.807	8.297		共通				
S4	球	$\infty$	2.299		共通				絞り
S5	球	-19.771	2.471	ZnS	共通				
S6	球	-16.665	4.939		共通				
S7	球	19.143	1.763	CHA	共通				
S8	球	101.895	6.160		共通				
S9	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S10	球	$\infty$	10.009		球	$\infty$	9.912		
S11	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S12	球	$\infty$	1.500						
S13	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S3
k	0	0
A4	1.21.E-04	1.39.E-04
A6	-8.34.E-07	-1.51.E-07
A8	3.59.E-09	-2.03.E-09

Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	13
焦点距離Fir (mm)	15

[図21]

実施形態3の実施例3									
No.	遠赤外光用				可視光用				備考
	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-27.494	4.844	CHA	共通				
S3	非球面	-41.756	8.815		共通				
S4	球	$\infty$	2.295		共通				絞り
S5	球	-18.642	6.802	ZnS	共通				
S6	球	-16.682	3.987		共通				
S7	球	16.826	6.078	CHA	共通				
S8	球	29.195	8.995		共通				
S9	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S10	球	$\infty$	10.009		球	$\infty$	7.687		
S11	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S12	球	$\infty$	1.500						
S13	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S3
k	0	0
A4	1.11.E-04	1.44.E-04
A6	-9.33.E-07	-1.64.E-07
A8	4.70.E-09	-2.07.E-09

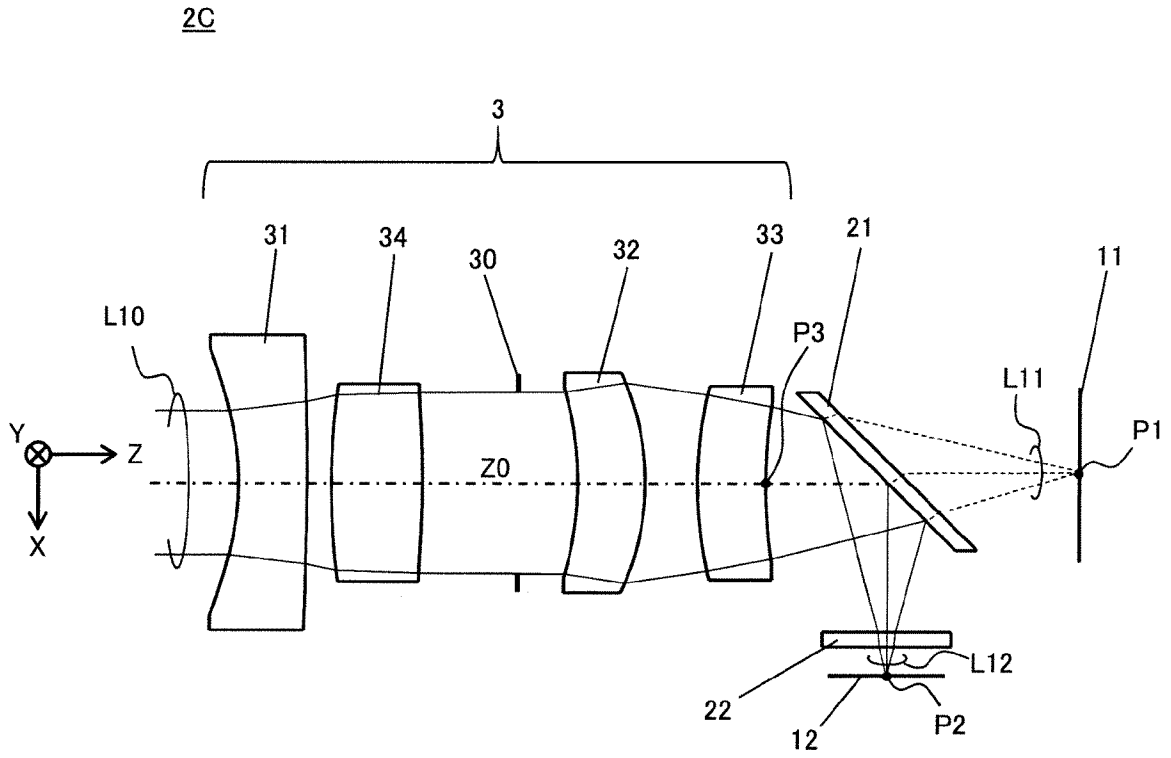
Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	13
焦点距離Fir (mm)	15

D33b

D33a

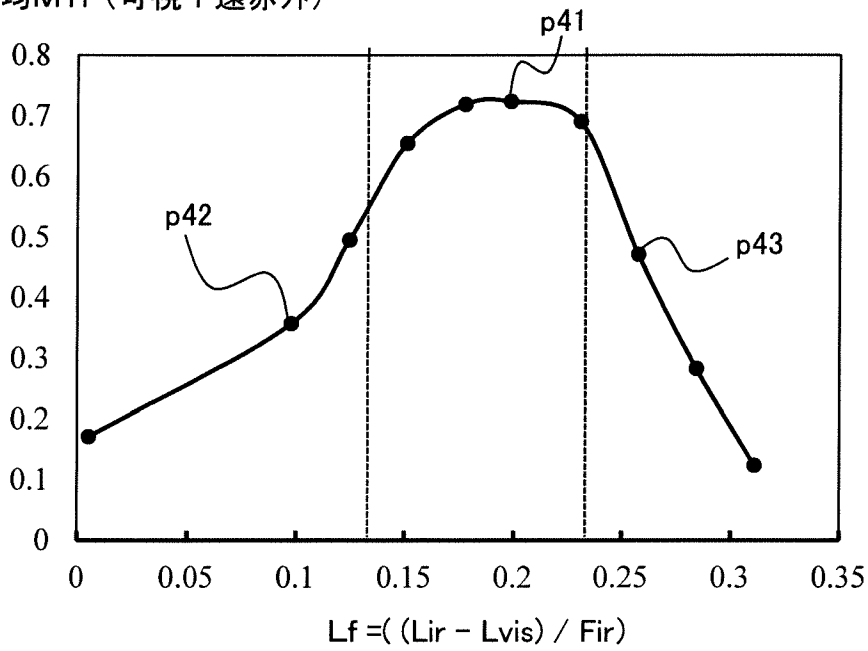
D33c

[図22]



[図23]

平均MTF(可視+遠赤外)



[図24]

実施形態4の実施例1									
遠赤外光用					可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-13.615	3.500	CHC	共通				
S3	球	-180.399	1.247		共通				
S4	球	38.014	4.598	ZnS	共通				
S5	非球面	-48.259	4.867		共通				
S6	球	$\infty$	3.078		共通				絞り
S7	球	-17.350	3.500	CHB	共通				
S8	球	-13.452	2.676		共通				
S9	球	21.910	3.500	ZnSe	共通				
S10	球	29.261	6.167		共通				
S11	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S12	球	$\infty$	7.807		球	$\infty$	6.250		
S13	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S14	球	$\infty$	1.500						
S15	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S5
k	0	0
A4	1.63.E-04	1.22.E-04
A6	-2.17.E-08	-3.45.E-08
A8	2.71.E-09	7.35.E-09

Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	13
焦点距離Fir (mm)	15

D41b

D41a

D41c

[図25]

実施形態4の実施例2									
No.	遠赤外光用				可視光用				備考
	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	
S1	球	$\infty$	$\infty$		共通				物体
S2	非球面	-13.929	3.500	CHC	共通				
S3	球	-198.969	1.247		共通				
S4	球	36.808	4.598	ZnS	共通				
S5	非球面	-43.783	4.799		共通				
S6	球	$\infty$	3.078		共通				絞り
S7	球	62.516	3.500	CHB	共通				
S8	球	-15.849	0.000		共通				
S9	球	-21.293	3.501	ZnSe	共通				
S10	球	-51.578	6.167		共通				
S11	球	$\infty$	0.000	ミラー	球	$\infty$	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S12	球	$\infty$	7.807		球	$\infty$	7.760		
S13	球	$\infty$	0.750	Si	球	$\infty$	0		撮像面 (可視光)
S14	球	$\infty$	1.500						
S15	球	$\infty$	0.000						撮像面 (遠赤外光)

	S2	S5
k	0	0
A4	1.29.E-04	1.06.E-04
A6	-2.51.E-08	4.91.E-07
A8	3.03.E-09	1.15.E-09

Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	13
焦点距離Fir (mm)	15

[図26]

実施形態4の実施例3									
	遠赤外光用				可視光用				
No.	形状	曲率半径	面間隔	材質	形状	曲率半径	面間隔	材質	備考
S1	球	∞	∞		共通				物体
S2	非球面	-13.521	3.500	CHC	共通				
S3	球	-169.895	1.247		共通				
S4	球	-66.506	4.598	ZnS	共通				
S5	非球面	-25.184	4.000		共通				
S6	球	∞	2.491		共通				絞り
S7	球	-15.115	3.500	CHB	共通				
S8	球	-11.254	10.319		共通				
S9	球	12.814	3.501	ZnSe	共通				
S10	球	12.423	6.167		共通				
S11	球	∞	0.000	ミラー	球	∞	0.5	BK7	光分岐素子 (45° 傾斜)
S12	球	∞	7.807		球	∞	5.362		
S13	球	∞	0.750	Si	球	∞	0		撮像面 (可視光)
S14	球	∞	1.500						
S15	球	∞	0.000						撮像面 (遠赤外光)

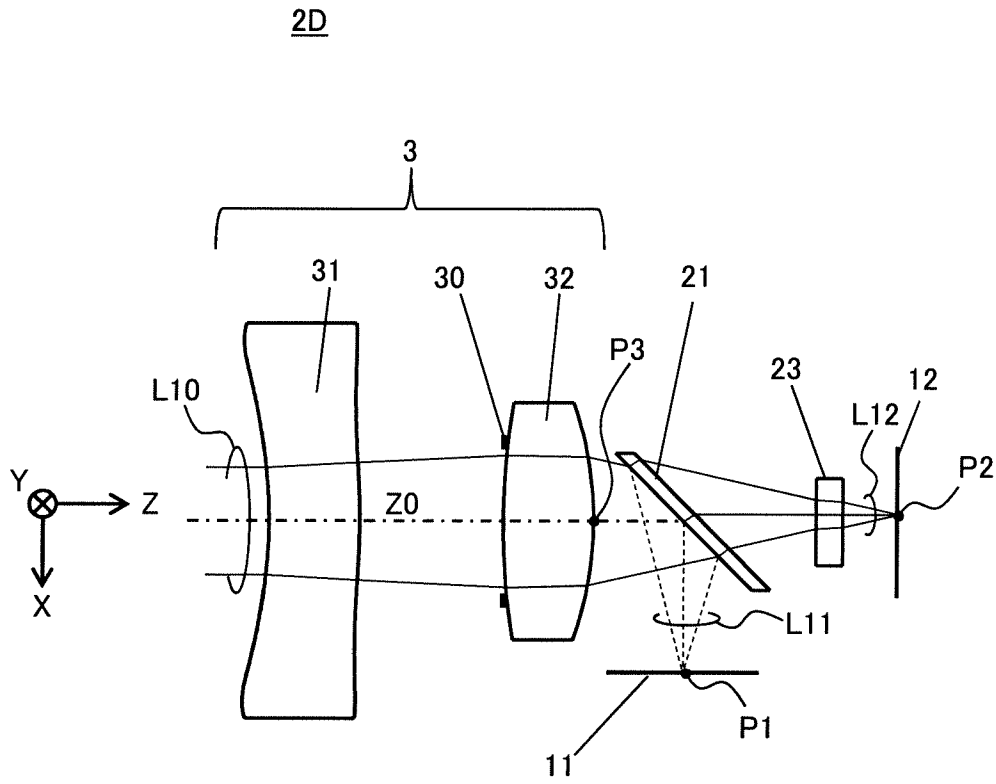
	S2	S5
k	0	0
A4	1.86.E-04	1.60.E-04
A6	-5.39.E-08	1.46.E-06
A8	2.51.E-09	2.16.E-08

Fナンバー	2.0
全画角 (deg.)	13
焦点距離Fir (mm)	15



[図27]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2021/010288

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int. Cl. G02B13/14 (2006.01) i  
FI: G02B13/14

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. G02B13/14

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 1971-2021  
Registered utility model specifications of Japan 1996-2021  
Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

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	JP 2014-185917 A (NIKON CORP.) 02 October 2014	1-4, 7-9
A	(2014-10-02), paragraphs [0002]-[0013], [0051]-	5
Y	[0065], fig. 1, 4, paragraphs [0002]-[0013],	6
	[0051]-[0065], fig. 1, 4, paragraphs [0002]-	
	[0013], [0051]-[0065], fig. 1, 4	
Y	WO 2020/071071 A1 (PANASONIC CORP.) 09 April 2020	6
	(2020-04-09), paragraph [0064]	
X	CN 109407273 A (LUOYANG ELECTRO OPTICAL EQUIPMENT	1-5, 7-9
Y	RESEARCH INSTITUTE OF AVIATION INDUSTRY CORP	6
	CHINA) 01 March 2019 (2019-03-01), paragraphs	
	[0004]-[0028], fig. 1, paragraphs [0004]-[0028],	
	fig. 1	

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  
19.05.2021

Date of mailing of the international search report  
01.06.2021

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/JP2021/010288

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	CN 108761733 A (UNION OPTECH CO., LTD.) 06 November 2018 (2018-11-06), paragraphs [0014]- [0032], fig. 1, paragraphs [0014]-[0032], fig. 1	1-3, 5-9 4
Y	JP 59-69711 A (LOCKHEED MISSILES & SPACE CO., INC.) 20 April 1984 (1984-04-20), p. 23, upper left column, line 19 to upper right column, line 7	1-3, 5-9

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/JP2021/010288

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2014-185917 A	02.10.2014	(Family: none)	
WO 2020/071071 A1	09.04.2020	(Family: none)	
CN 109407273 A	01.03.2019	(Family: none)	
CN 108761733 A	06.11.2018	(Family: none)	
JP 59-69711 A	20.04.1984	US 4702569 A column 2, lines 46-54 US 4704008 A US 4761064 A US 4762404 A US 4765727 A US 4790637 A US 5020889 A US 5210646 A US 5204782 A EP 106471 A2 CA 1247906 A IL 69243 D	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 13/14(2006.01)i FI: G02B13/14		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02B13/14		
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 - 2021年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2021年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2021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	JP 2014-185917 A (株式会社ニコン) 02.10.2014 (2014 - 10 - 02) [0002]-[0013], [0051]-[0065], 図1, 図4	1-4, 7-9
A	[0002]-[0013], [0051]-[0065], 図1, 図4	5
Y	[0002]-[0013], [0051]-[0065], 図1, 図4	6
Y	WO 2020/071071 A1 (パナソニック株式会社) 09.04.2020 (2020 - 04 - 09) [0064]	6
X	CN 109407273 A (LUOYANG ELECTRO OPTICAL EQUIPMENT RES INST AVIATION IND CORP CHINA) 01.03.2019 (2019 - 03 - 01) [0004]-[0028]、図1	1-5, 7-9
Y	[0004]-[0028]、図1	6
Y	CN 108761733 A (UNION OPTTECH CO LTD) 06.11.2018 (2018 - 11 - 06) [0014]-[0032], 図1	1-3, 5-9
A	[0014]-[0032], 図1	4
Y	JP 59-69711 A (ロッキード・ミサイルズ・アンド・スペース・コンパニー・インコ ーポレーテッド) 20.04.1984 (1984 - 04 - 20) 第23頁左上欄第19行-右上欄第7行	1-3, 5-9
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> 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抵触するものではなく、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  19.05.2021	国際調査報告の発送日  01.06.2021	
名称及びあて先  日本国特許庁 (ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  瀬戸 息吹 2V 5362  電話番号 03-3581-1101 内線 3271	

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/010288

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2014-185917 A	02.10.2014	(ファミリーなし)	
WO 2020/071071 A1	09.04.2020	(ファミリーなし)	
CN 109407273 A	01.03.2019	(ファミリーなし)	
CN 108761733 A	06.11.2018	(ファミリーなし)	
JP 59-69711 A	20.04.1984	US 4702569 A 第2欄第46-54行	
		US 4704008 A	
		US 4761064 A	
		US 4762404 A	
		US 4765727 A	
		US 4790637 A	
		US 5020889 A	
		US 5210646 A	
		US 5204782 A	
		EP 106471 A2	
		CA 1247906 A	
		IL 69243 D	