

(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9月22日(22.09.2022)



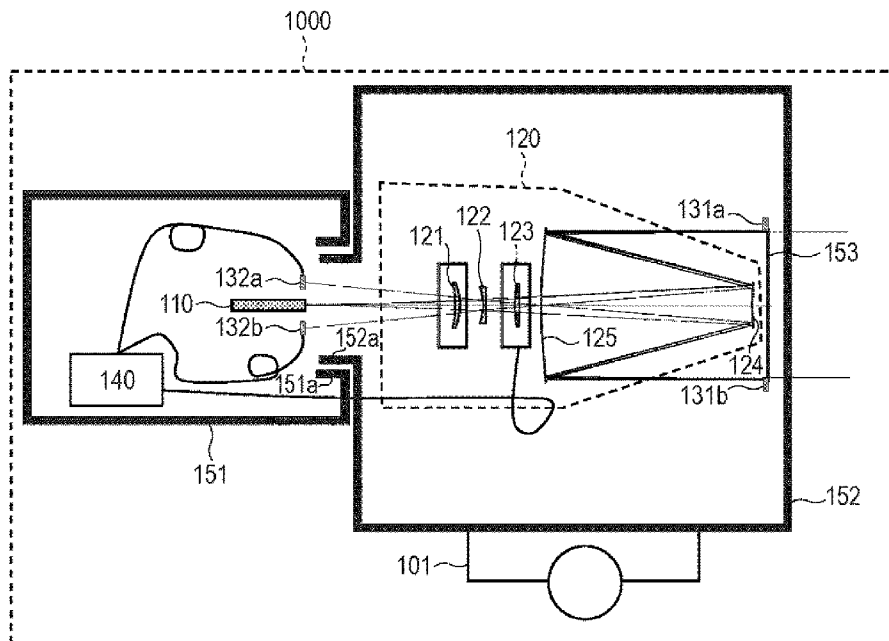
(10) 国際公開番号

**WO 2022/196337 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*H04B 10/11* (2013.01) *H04B 10/112* (2013.01)  
*G02B 27/09* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/008529
- (22) 国際出願日: 2022年3月1日(01.03.2022)
- (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 2021-042625 2021年3月16日(16.03.2021) JP  
特願 2021-042700 2021年3月16日(16.03.2021) JP
- (71) 出願人: キヤノン株式会社 (CANON KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 宮島 悠(MIYAJIMA Yu); 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内 Tokyo (JP). 富岡 雄一(TOMIOKA Yuichi); 〒1468501 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 岡部 譲, 外 (OKABE Yuzuru et al.); 〒1070062 東京都港区南青山1-1-1 新青山ビル東館8階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL,

(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION APPARATUS

(54) 発明の名称: 光伝送装置



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide an optical transmission apparatus that can be adjusted to a good divergence in order to ensure the stability of communication. The optical transmission apparatus performs optical communication between a light projection unit, which includes an emission means for emitting communication light and a light projection optical system, and a light reception unit, which includes a light reception optical system and a communication light reception means for receiving the communication light, the optical transmission apparatus being characterized in that: the light projection unit includes a detection light emission unit for emitting detection light; the light projection optical system has an adjustment optical system for changing the divergence of light flux; the light reception

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, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, 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))

unit includes a detection light reception means for receiving the detection light; and the optical transmission apparatus includes a divergence control unit for controlling the adjustment optical system on the basis of information from the detection light reception means.

(57) 要約: 通信の安定性を確保するために良好な発散度に調整可能な光伝送装置を提供することを目的とする。光伝送装置は、通信光を射出する射出手段と投光光学系とを含む投光部と、受光光学系と前記通信光を受光する通信光受光手段を含む受光部と、の間で光通信を行う光伝送装置であって、前記投光部は検出光を射出する検出光射出部を含み、前記投光光学系は光束の発散度を変化させる調整光学系を有し、前記受光部は前記検出光を受光する検出光受光手段を含み、前記光伝送装置は、前記検出光受光手段からの情報に基づいて前記調整光学系を制御する発散度制御部を備えることを特徴とする。

## 明 細 書

**発明の名称：** 光伝送装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、距離を隔てて配置され、光を送受信して情報伝送を行う光伝送装置に関する。

### 背景技術

[0002] 光伝送装置は、通信光を送信する投光部と、通信光を受信する受光部とからなる。安定した通信を行うためには、投光部の光学系と、受光部の光学系の光軸同士を揃える必要がある。

[0003] 空間光伝送装置（光伝送装置）は、設置場所の振動、大気の揺らぎ、環境温度変化などによって、通信光の向きが変化し、通信が安定しなくなるという課題がある。

[0004] 特許文献1には、受信光量（受信信号パワー）から受信テレスコープと送信テレスコープとの間の位置ずれ量を推測し、推測された位置ずれ量に応じて投光部である光ファイバを移動させて前記受信テレスコープに入射する送信されたビームの断面積を増大させることで、通信を途切れなくする技術が開示されている。

また、光伝送装置は、通信光を送信する投光部と、通信光を受信する受光部とからなる。通信を行うためには、外乱により発生する通信光線の偏心を補正する必要がある。

そのため、特に光伝送装置において、通信光線の偏心を補正することが一つの課題となる。特許文献2や3には、複数の防振機構を用いてレンズ部の振動に起因する通信光線の偏心を補正する技術が開示されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0005] 特許文献1：特開2002-164853号公報

特許文献2：特開2017-161567号公報

特許文献3：特開平07-027978号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1に開示された先行技術においては、受信光量に基づいて位置ずれ量を推測すると、光ファイバのシフト方向がわかりにくく、調整に時間を要したり、調整しきれなかったりする。そのため、必要以上に通信光を発散させてしまい、受信光量を低下させてしまう虞がある。また、光ファイバのシフト駆動で振動させることが可能な周波数が明確にならず、光ファイバのシフトで補正可能な位置ずれ量と、補正しきれない位置ずれ量とが明確でない。

特許文献2、3の従来技術のように防振機構を用いたとしても、光束の偏心を完全にゼロにすることは困難である。また光束内にも強度分布があるため受光部開口でケラレ量が変わることによって光量が変わってしまう課題がある。このように光量変動が大きい場合や光量が不足した場合には、良好な通信品質が得られない。

[0007] そこで本発明は、上記の問題点を解消し、通信の安定性を確保するために良好な発散度に調整可能な光伝送装置を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するための本発明に係る光伝送装置は、通信光を射出する射出手段と投光光学系とを含む投光部と、受光光学系と前記通信光を受光する通信光受光手段を含む受光部と、の間に光通信を行う光伝送装置であって、前記投光部は検出光を射出する検出光射出部を含み、前記投光光学系は光束の発散度を変化させる調整光学系を有し、前記受光部は前記検出光を受光する検出光受光手段を含み、前記光伝送装置は、前記検出光受光手段からの情報に基づいて前記調整光学系を制御する発散度制御部を備えることを特徴とする。

上記目的を達成するための本発明に係る光伝送装置は、第1の通信光を射出する第1の射出手段と第1の投光光学系とを含む第1の投光部と、第1の

受光光学系と前記第 1 の通信光を受光する第 1 の通信光受光手段を含む第 1 の受光部と、第 2 の通信光を射出する第 2 の射出手段と第 2 の投光光学系とを含む第 2 の投光部と、第 2 の受光光学系と前記第 2 の通信光を受光する第 2 の通信光受光手段を含む第 2 の受光部と、を有し、前記第 1 の投光部と前記第 1 の受光部の間で光通信を行い、前記第 2 の投光部と前記第 2 の受光部の間で光通信を行う光伝送装置であって、前記第 1 の投光部は、検出光を射出する検出光射出部を有し、前記第 2 の投光光学系は、光束の発散度を変化させる調整光学系を有し、前記第 1 の受光部は、前記検出光を受光する検出光受光手段を有し、前記光伝送装置は、前記検出光受光手段で得られた情報に基づき、前記調整光学系を制御する発散度制御部を有する、ことを特徴とする。

上記目的を達成するための本発明に係る光伝送装置は、第 1 の通信光を射出し、第 2 の通信光を受光する第 1 の射出受光手段と、第 1 の光学系とを含む第 1 の投受光部と、前記第 2 の通信光を射出し、前記第 1 の通信光を受光する第 2 の射出受光手段と、第 2 の光学系とを含む第 2 の投受光部と、を有し、前記第 1 及び第 2 の投受光部の間で双方向の光通信を行う光伝送装置であって、前記第 1 の投受光部は、検出光を射出する検出光射出部を有し、前記第 2 の光学系は、光束の発散度を変化させる調整光学系を有し、前記第 2 の投受光部は、前記検出光を受光する検出光受光手段を有し、前記光伝送装置は、前記検出光受光手段からの情報に基づき、前記調整光学系を制御する発散度制御部を有する、ことを特徴とする。

## 発明の効果

[0009] 以上の構成により、通信の安定性を確保するために良好な発散度に調整可能な光伝送装置を提供することができる。

## 図面の簡単な説明

[0010] [図1]実施例 1 の光伝送装置の構成図である。

[図2A]実施例 1 の投光部の構成詳細図である。

[図2B]実施例 1 の投光部の要部拡大図である。

[図3A]実施例1の受光部の構成詳細図である。

[図3B]実施例1の受光部の要部拡大図である。

[図4]実施例1の受光光学系の無限遠合焦時の波長1550nmに対する縦収差図である。

[図5]実施例1の受光光学系の無限遠合焦時の波長1550nmに対する横収差図である。

[図6]実施例1の受光光学系の開口径Dにおける受光光量の説明図である。

[図7]実施例1の追加発散角 $\beta$ の算出方法の説明図である。

[図8A]実施例1の通信距離Lに対する必要ビームウエスト $w_n$ の関係を示した図である。

[図8B]実施例1の通信距離Lに対する平行光ビームウエスト $w_p$ の関係を示した図である。

[図8C]実施例1の通信距離Lに対する発散光ビームウエスト $w_x$ の関係を示した図である。

[図9]実施例2の投光部の構成詳細図である。

[図10]実施例2の受光部の構成詳細図である。

[図11]実施例2の受光部の可換保持部材を取り外し、カメラを装着した図である。

[図12]実施例2の受光光学系の無限遠合焦時のe線に対する縦収差図である。

[図13]実施例2の受光光学系の無限遠合焦時のe線に対する横収差図である。

[図14A]実施例2の投光部開口部直後の光束の強度分布である。

[図14B]実施例2の投光部から2km離れた受光部開口部での光束の強度分布である。

[図14C]実施例2の投光部から5km離れた受光部開口部での光束の強度分布である。

[図15]実施例2の光強度変換素子の透過率分布である。

[図16A]実施例3の投光部開口部直後の光束の強度分布である。

[図16B]実施例3の投光部から2 k m離れた受光部開口部での光束の強度分布である。

[図16C]実施例3の投光部から5 k m離れた受光部開口部での光束の強度分布である。

[図17]実施例3の光強度変換素子の透過率分布である。

[図18]実施例4の投光部の構成詳細図である。

[図19]実施例5の投光部の構成詳細図である。

[図20]変形例の光強度変換素子の透過率分布である。

[図21]変形例の光強度変換素子の透過率分布である。

### 発明を実施するための形態

[0011] 以下に、具体的な実施例を用いて、本発明について説明する。説明図においては、わかりやすさのため、実際の縮尺とは異なる場合がある。

[0012] 図1は、本発明の実施例を示す光伝送装置の構成概要図である。説明は、一方向（光伝送装置1000（投光部、第1の投光部、第1の投受光部）から光伝送装置2000（受光部、第1の受光部、第2の投受光部））の通信について行うが、逆方向（光伝送装置2000から光伝送装置1000）の通信についても同様である。

[0013] 送信側の光伝送装置1000から送信された通信光は、距離を隔てた受信側の光伝送装置2000にて受信され、通信を行う。

[0014] 送信側の光伝送装置1000は、通信光を射出する投光部100が角度調整台101に積載されて構成されている。投光部100の向きは2軸で調整可能である。

[0015] 受信側の光伝送装置2000は、通信光を受信する受光部200が角度調整台（角度調整部）201に積載されて構成されている。受光部200の向きは2軸で調整可能である。

[0016] 設置時は、投光部100の有する投光光学系120（図1には記載なし）及び受光部200の有する受光光学系220（図1には記載なし）の光軸同

士を同軸に揃えるために、角度調整台 101 及び角度調整台 201 にて角度を調整する。これにより、一旦は通信が確保される。

[0017] しかし、そのままの状態では光伝送装置 1000、2000 を使用し続けると、大気揺らぎや、角度調整台 101 及び受光光学系 220 を保持している部材（不図示）の振動、環境温度変動などにより、通信光の光路などが変動し、通信が安定しない。そこで、投光部 100 が有する送信光検出部及び受光部 200 が有する受信光検出部（後述する、透過ウェッジプリズム 231 と位置検出センサ 232 とから構成される）にて、通信光の変動を把握し、通信光の光路などを補正して、通信を安定させている。具体的には、送信光制御部（発散度制御部）140、投光光学系 120 内のフォーカス機構（補正光学系、共に図 1 には記載なし）、角度調整台 201、受信光制御部（発散度制御部）240、受光光学系 220 内の像振れ補正機構（補正光学系、共に図 1 には記載なし）により、通信光の光路などを補正して、通信を安定させている。

[0018] 以下、図 2A～2I を参照しながら本発明の光伝送装置の構成を詳細に説明する。

[0019] （実施例 1）

図 2A は、光伝送装置 1000 の構成詳細図である。

投光部 100 は、通信光射出手段 110 と、投光光学系 120（第 1 の光学系）と、送信光検出部と、送信光制御部 140 と、保持部 150（不図示）とを有する。通信光射出手段（射出手段、検出光射出部、第 1 の射出受光手段）110 は通信光を射出し、投光光学系 120 は通信光射出手段 110 から出射した通信光を略平行光化して送信する。送信光検出部は投光光学系 120 から送信された通信光の状態を検出し、送信光制御部 140 は通信光の制御を行う。

[0020] 実施例 1 において、通信光射出手段 110 は光ファイバであり、不図示の他端から入射した波長 1540 nm～1560 nm の帯域における波長の通信光を射出している。また、後述する通信光受光手段 210（図 2A には記

載なし)も光ファイバであり、不図示の他端にて通信光を受信している。このように、送信側の光伝送装置1000と受信側の光伝送装置2000とは、構造が略同一であり、光ファイバ内の通信光の向きを反転すれば、送信と受信との関係が逆になる。これにより、双方向通信が成立する。

[0021] 投光光学系120は、通信光射出部側(射出手段側)から順に光路に配置された、レンズ121と、レンズ122と、レンズ123と、副鏡(反射曲面)124と、主鏡(反射曲面)125とを有している。レンズ121(可動光学部材、透過光学部材、第2の調整光学系)は像振れ補正機構(補正光学系、図中二重線枠)を有しており、光軸に垂直な方向にシフトすることで通信光の向き(通信光受光手段210への入射角)を微調整することができる。本実施例においては、像振れ補正機構(補正光学系)は1枚の光学要素であるレンズ121で構成されている。また、レンズ123(可動光学部材、透過光学部材)はフォーカス機構(補正光学系、図中二重線枠)を有しており、光軸方向にシフトすることで、通信光の発散度を微調整することができる。主鏡125は、中心部に径30mmの開口を有している。

[0022] 送信光検出部は、送信された通信光の一部を折り返す、反射プリズム131a及び131bと、折り返された光束の集光位置を検出する位置検出センサ(第2の検出光受光手段)132a及び132bとから構成される。

[0023] 図2Bは反射プリズム131a及び131bの拡大図である。頂角 $\theta_\alpha = 89.9^\circ$ のプリズムとすることで、通信光を $0.2^\circ$ だけずらして折り返している(元の向きに対し、 $180.2^\circ$ の向きとなる)。折り返された光線は、再び投光光学系120に入射し、前述の $0.2^\circ$ だけずれているために、通信光射出手段110とは異なる位置にある位置検出センサ(第2の検出光受光手段)132a及び132b上に集光される。位置検出センサ132a及び132bにて検出された結像位置(情報)から、光線の向きを計算できる。反射プリズム131a及び131bは、光軸を含む1断面において、通信光の光束の両端1mmずつ、且つ、光軸を中心とする周方向に5mmの範囲の通信光を反射するように設置されており、両端の光線の向き(情報)

から、通信光の発散度を計算することができる。

[0024] 尚、位置検出センサ 1 3 2 a 及び 1 3 2 b は、波長選択フィルターを有しており、光伝送装置 1 0 0 0 の通信光射出手段 1 1 0 にて射出した検出光の波長の光が透過し、もう一方の光伝送装置 2 0 0 0 から来る通信光或いは検出光の波長の光は遮光される。このような構成とすることで、迷光による誤検出を低減している。本実施例では、検出光の波長は通信光の波長と同じである。

[0025] 送信光制御部 1 4 0 は、位置検出センサ 1 3 2 a 及び 1 3 2 b に接続され、上記の計算を行う。また、その計算結果を、投光光学系 1 2 0 のフォーカス機構にフィードバックしている。

[0026] 保持部 1 5 0（不図示）は、可換保持部材 1 5 1 と固定保持部材 1 5 2 とを有する。通信光射出手段 1 1 0 と、送信光検出部の一部である位置検出センサ 1 3 2 a 及び 1 3 2 b と送信光制御部 1 4 0 とは、可換保持部材 1 5 1 に保持されている。投光光学系 1 2 0 と送信光検出部の一部である反射プリズム 1 3 1 a 及び 1 3 1 b とは、防塵ガラス 1 5 3 と共に、固定保持部材 1 5 2 に保持されている。可換保持部材 1 5 1 の着脱部 1 5 1 a と固定保持部材 1 5 2 の着脱部 1 5 2 a とが着脱可能な構成になっている。送信光制御部 1 4 0 からの制御信号は、着脱部 1 5 1 a と着脱部 1 5 2 a とに構成された信号の授受が可能な機構（電気接点、光学カップリングなど）による信号の授受によって、投光光学系 1 2 0 内のフォーカス機構に伝わる。固定保持部材 1 5 2 は角度調整台 1 0 1 に保持されており、これにより、光伝送装置 1 0 0 0 において、投光部 1 0 0 が角度調整台 1 0 1 に積載されている状態となる。

[0027] 図 3 A は、受信側の光伝送装置 2 0 0 0 の構成詳細図である。

受光部 2 0 0 は、通信光を取り込み、集光する受光光学系 2 2 0（第 2 の光学系）と、受光光学系 2 2 0 により集光された通信光を受光する通信光受光手段 2 1 0（第 2 の射出受光手段）と、到来した通信光の状態を検出する受信光検出部と、通信光の制御を行う受信光制御部 2 4 0 と、保持部とを有

する。保持部は、可換保持部材（受光手段保持部材）251と固定保持部材（光学系保持部材）252とからなる。

[0028] 受光光学系220は主鏡（反射曲面）225と副鏡（反射曲面）224と、レンズ223と、レンズ222と、レンズ221とを有している。レンズ221（可動光学部材、透過光学部材）は像振れ補正機構（図中二重枠）を有しており、光軸に垂直な方向にシフトすることで、通信光の向きを微調整することができる。本実施例においては、像振れ補正機構（補正光学系）は1枚の光学要素であるレンズ221で構成されている。また、レンズ223（可動光学部材、透過光学部材）はフォーカス機構（図中二重枠）を有しており、光軸方向にシフトすることで、通信光の発散度を微調整することができる。主鏡225は、中心部に径30mmの開口を有している。

[0029] 通信光受光手段210は、前述の通り光ファイバであり、不図示の他端にて通信光を受信している。通信光受光手段210の光ファイバのコア径50 $\mu$ mに対し、受光光学系220により集光された通信光のスポット径は44 $\mu$ mであり、設計時性能として、通信光の取り込みロスが発生しないようにしている。尚、通信光受光手段210は受光光学系220の光軸上に配置している。

[0030] 受信光検出部は、到来した通信光の一部を屈折させる、透光性を有する透過ウェッジプリズム231と、屈折された光束の集光位置を検出する位置検出センサ（検出光受光手段）232とから構成される。

[0031] 図3Bは透過ウェッジプリズム231の拡大図である。材質s-b l s 7（ohara社製、波長1550nmにおける屈折率 $n=1.500252$ ）、頂角 $\theta_{\beta}=0.40^{\circ}$ のプリズム形状とすることで、通信光を $0.2^{\circ}$ だけ屈折させている。屈折された光線は、受光光学系220に入射し、前述の $0.2^{\circ}$ だけずれているために、通信光受光手段210とは異なる位置にある位置検出センサ232上に集光される。位置検出センサ232にて検出された結像位置（情報）から、光線の向きを計算できる。透過ウェッジプリズム231は、光軸を含む1断面において、通信光の光束の片端3mm、且つ

、光軸を中心とする周方向に5mmの範囲の通信光を屈折するように設置されており、該光線の向きから、通信光の到来角度を計算することができる。

[0032] 尚、位置検出センサ232は、波長選択フィルターを有し、光伝送装置1000の通信光射出手段110にて射出した検出光の波長の光が透過し、もう一方の光伝送装置2000から来る通信光或いは検出光の波長の光は遮光される。このような構成とすることで、迷光による誤検出を低減している。本実施例では、検出光の波長は通信光の波長と同じである。

[0033] 受信光制御部240（光学特性制御部）は、位置検出センサ232に接続されており、上記の計算を行う。また、その計算結果を受光光学系220の像振れ補正機構と角度調整台201（調整部は図中二重線枠）とにフィードバックしている。具体的には、通信光の補正角度の変動が10Hz未満の周波数の場合は、角度調整台201にて補正を行い、10～50Hzの周波数の場合は、受光光学系220の像振れ補正機構にて補正を行う。

[0034] 受光部を保持する保持部は、可換保持部材251と固定保持部材252とからなる。通信光受光手段210と、受信光検出部の一部である位置検出センサ232とは可換保持部材251に保持されている。受光光学系220と、受信光検出部の一部である透過ウェッジプリズム231と、受信光制御部240とは、防塵ガラス253と共に、固定保持部材252に保持されている。可換保持部材251の有する着脱部251aと固定保持部材252の着脱部252aとが着脱可能な状態で結合した構成になっている。受信光制御部240からの制御信号は、着脱部151aと着脱部152aとに構成された信号の授受が可能な機構（電気接点、光学カップリングなど）による信号の授受によって、受光光学系220内のフォーカス機構と角度調整台201とに伝わる。固定保持部材252は角度調整台201に保持されており、これにより、光伝送装置2000において、受光部200が角度調整台201に積載されている状態となる。

[0035] 上述の通り、本実施例では、送信光検出部及び受信光検出部にて検出される検出光として、通信光の一部を活用している。このため、通信光射出手段

110は、検出光射出部も兼ねていることになる。また、わかりやすさのため、これまで説明してきた「通信光」が、通信を行う光のみならず、検出光を含んでいることに注意されたい。

[0036] ここで、受光光学系220の光学詳細値を以下に示す。前述の通り、対称なので、投光光学系120の光学詳細値も同様である。数値実施例において、物体側からの面（光学面）の順序である面番号*i*に対して、*r<sub>i</sub>*は物体側より第*i*番目の面の曲率半径、*d<sub>i</sub>*は物体側より第*i*番目の面と第*i*+1番目の面との間隔（光軸上）を示している。また、*nd<sub>i</sub>*、*νd<sub>i</sub>*は、第*i*番目の面と第*i*+1番目の面との間の媒質（光学部材）の屈折率、アッペ数を表している。面番号の右に付した記号\*はその面が非球面であることを示す。

[0037] 非球面形状は光軸方向にX軸、光軸と垂直方向にH軸、光の進行方向を正とし、Rを近軸曲率半径、Kを円錐常数としたとき、次式で表している。また、「*e*-Z」は「 $\times 10^{-Z}$ 」を意味する。

[数1]

$$X = \frac{H^2/R}{1 + \sqrt{1 - (1+K) (H/R)^2}} \quad (1)$$

<数値データ>

単位 mm

面データ

| 面番号   | <i>r</i> | <i>d</i> | <i>nd</i> | <i>vd</i> | 硝材              |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|-----------------|
| 1（絞り） | ∞        | 1.10     | 1.51633   | 64.1      | s-bsl7 (ohara)  |
| 2     | ∞        | 150.00   |           |           |                 |
| 3*    | -385.051 | -140.00  |           |           |                 |
| 4*    | -133.630 | 155.00   |           |           |                 |
| 5     | 1644.588 | 2.00     | 1.56883   | 56.4      | s-bal14 (ohara) |
| 6     | -104.907 | 20.00    |           |           |                 |
| 7     | -152.756 | 0.80     | 1.61800   | 63.3      | s-phm52 (ohara) |

|    |         |        |         |      |                 |
|----|---------|--------|---------|------|-----------------|
| 8  | 29.125  | 16.70  |         |      |                 |
| 9  | 38.931  | 2.50   | 1.56883 | 56.4 | s-bal14 (ohara) |
| 10 | 100.000 | 100.00 |         |      |                 |

像面  $\infty$

非球面データ

第3面

K = -1.00000e+000

第4面

K = -2.32216e+000

各種データ

焦点距離 1600.00

Fナンバー 16.00

半画角 0.53

像高 14.80

レンズ全長 308.10

[0038] 受光光学系220の無限遠合焦時の光学性能値（投光光学系120も同様）として、図4、5に通信波長（1540nm～1560nm）、焦点距離  $f = 1599.999\text{ mm}$  における縦収差図、横収差図を示す。縦収差図の非点収差図及び横収差図における実線と点線とは、各々メリディオナル像面と、サジタル像面とにおける収差を示す。縦収差図では、球面収差は0.4mm、非点収差は0.4mm、歪曲は5%のスケールで描かれている。図5に、に像高14.8000mm、像高11.1000mm、像高7.4000mm、像高3.7000mm、像高0.0000mmにおける横収差図を示す。

[0039] 図4、5に示すように、通信波長（1540nm～1560nm）における、通信光受光手段210のある中心画角にて収差を低減できている。

[0040] 以下、本発明の構成の特徴について説明する。

まず、本発明の課題と原理を説明する。

前述の通り、投光光学系から出射された通信光の向き（到来角）は、環境温度変化や、装置の振動、大気の揺らぎなどによって、変動する。概して、その変動周波数は、発生の原因によって異なる。

[0041] 環境温度変化に起因する、受光光学系や投光光学系の光学性能の変動、及び、光伝送装置の位置変動の影響は、変動周波数が10Hz以下の到来角変動となる。光伝送装置の設置環境の振動（人や車の往来などに起因する振動）の影響は、変動周波数が50Hz未満の到来角変動となる。大気の揺らぎによる影響は、変動周波数が50Hz以上の到来角変動となる。

[0042] 本実施例において、像振れ補正機構は、駆動機構の制約上、50Hz未満の変動周波数の像振れしか補正できない。故に、主として大気の揺らぎに起因する50Hz以上の到来角変動は補正できない。この影響で、受光光量が不安定になると、通信が不安定になってしまう。具体的には、到来角変動がないときの受光光量に対する、到来角変動があるときの受光光量の比（以下、受光光量変動とする）が、一定値を下回ると、受信信号を正しく処理できず、通信が不安定になる。これを低減することが、本発明の課題である。

[0043] 本発明では、前記課題の解決策として、50Hz以上の変動周波数の到来角変動について、発散度を調整することで、通信の不安定を低減する。具体的には、到来角変動量が小さいときには、発散度を下げ、到来角変動量が大きいときには、発散度を上げることで、なるべく受光光量を確保しつつ、受光光量変動を低減するようにしている。これが、本発明の原理思想である。

[0044] 以下、詳細を説明する。

まず、投光光学系から出射した平行光のガウシアンビームを考える。ガウシアンビームの強度分布 $I_t$ は、式（2）で表される。ここで、 $r$ は動径方向の距離、 $w_0$ は投光光学系を出射した直後の出射光ビームウエスト（半径）である。

[数2]

$$I_t \propto \exp\left(-\frac{2r^2}{w_0^2}\right) \quad (2)$$

上記平行光のガウシアンビームが、通信距離 $L$ だけ離間した受光光学系にて到達する際の平行光ビームウエスト $w_p$ は式（３）で表される。ここで、 $\lambda$ は通信光の波長である。

[数3]

$$w_p = w_0 \left\{ 1 + \left( \frac{\lambda L}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

更に、投光光学系にて、発散度を調整し、追加発散角（半角） $\beta$  [rad]（ $\geq 0$ ）だけ変化した場合の発散光ビームウエスト $w_x$ は、式（４）となる。

[数4]

$$w_x = w_p + L \tan \beta \cong w_p + L\beta = w_0 \left\{ 1 + \left( \frac{\lambda L}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} + L\beta \quad (4)$$

受光光学系に到達したガウシアンビームの強度分布 $I_r$ は、同様に、式（５）で表される。

[数5]

$$I_r \propto \exp \left( -\frac{2r^2}{w_x^2} \right) \quad (5)$$

ここで、像振れ補正機構で補正しきれない、50Hz以上の変動周波数を持つ到来角変動量を $\alpha$  [rad]（ $\geq 0$ ）（以下、高周波到来角変動量とする）とすると、受光光学系上の光線到達位置のずれ量 $\Delta$ は、通信距離 $L$ に対して式（６）で表される。

[数6]

$$\Delta = L \tan \alpha \approx L\alpha \quad (6)$$

[0045] 受光光学系の開口径 $D$ において受信される受光光量は、図6のようになる。光線到達位置にずれがないときの強度分布を二点鎖線、光線到達位置にずれ量 $\Delta$ が存在するときの強度分布を破線で示している。これらの強度分布に対し、開口径 $D$ の面積分をしたものが、受光光量となる。説明のため、図6では強度分布を一次元（光線の進行方向に垂直な一方向）に対する強度とし

て表示しているが、実際の強度分布は二次元（光線の進行方向に垂直な面内）に対する強度である。

[0046] ここで、到来角変動がない場合の受光光量  $A_0$  に対する、高周波到来角変動量  $\alpha$  だけ到来角変動があるときの受光光量  $A_\Delta$  の比である、受光光量変動  $\gamma$  を考える。受光光量変動  $\gamma$  は、厳密には、発散光ビームウエスト  $w_x$  と、開口径  $D$  との関係によっても変わるが、開口径  $D$  によってあまり変化しない。そのため、開口径  $D$  が極小の場合を考慮し、式（7）で表される。

[数7]

$$\gamma = \frac{A_\Delta}{A_0} \cong \frac{I_r(r = \Delta)}{I_r(r = 0)} = \exp\left(-\frac{2\Delta^2}{w_x^2}\right) \quad (7)$$

一般に、受光光量変動  $\gamma$  が 5 dB（＝31.6%）を下回ると、通信が不安定になりやすく、好ましくない。換言すると、通信が安定するための条件は、式（8）となる。

[数8]

$$\gamma = \exp\left(-\frac{2\Delta^2}{w_x^2}\right) \geq 0.316 \quad (8)$$

[数9]

$$\Delta \leq 0.759w_x \quad (9)$$

$k = 1 / 0.759 = 1.32$  として、式（10）を得る。

[数10]

$$k\Delta \leq w_x \quad (10)$$

ここで、必要ビームウエスト  $w_n$  を

[数11]

$$w_n = k\Delta = kL\alpha \quad (11)$$

と定義すると、

[数12]

$$w_n \leq w_x \cong w_p + L\beta \quad (12)$$

となる。即ち、必要ビームウエスト  $w_n$  を超えるよう、平行光ビームウエス

ト  $w_p$  に対し、追加発散角  $\beta$  を調整すれば良い。

尚、計算のため、式 (12) を式 (4) 及び (11) より式 (13) のように展開しておく。

[数13]

$$kL\alpha \leq w_0 \left\{ 1 + \left( \frac{\lambda L}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} + L\beta \quad (13)$$

[0047] ここで、図7を用いて、追加発散角  $\beta$  の算出方法を説明する。

まず、通信光出射部から投光光学系の焦点距離  $f$  だけ離れた位置にある投光光学系（一枚のレンズとして表記）を介して、出射光ビームウエスト  $w_0$  で出射している平行光の光路を、破線で示す。更に、通信光出射部が、 $\Delta Z_f$  だけシフトした場合の光路を二点鎖線で示す。図を見てわかる通り、この時のマージナル光線の光路は、通信光出射部がシフトせず、画角  $\Delta Y$  の位置に光源がある場合と同じになる。この場合のマージナル光線の向きと、主光線の向きとは互いに平行であるため、通信光出射部が  $\Delta Z_f$  だけシフトした場合の追加発散角  $\beta$  は、式 (14) になる。

[数14]

$$\beta = \frac{\Delta Y}{f} \quad (14)$$

ここで、

[数15]

$$f \gg \Delta Z_f \quad (15)$$

より、

[数16]

$$\Delta Y \cong \Delta Z_f \times \frac{w_0}{f} \quad (16)$$

となるので、

[数17]

$$\beta = \frac{\Delta Y}{f} \cong \frac{\Delta Z_f \cdot w_0}{f^2} \quad (17)$$

となる。

説明のわかりやすさのため、通信光出射部をシフトさせたが、投光光学系の焦点面のシフトとして捉えても同様である。これにより、投光光学系の焦点面のシフト量 $\Delta Z_f$ から、追加発散角 $\beta$ が算出できる。

以下、本実施例の具体的な構成で説明する。

[0048] 先の説明と重複するが、高周波到来角変動量 $\alpha$  [rad] は、天候や通信距離 $L$ などによって変動する。風の穏やかな時間帯や通信距離 $L$ が短い場合などは、高周波到来角変動量 $\alpha$ が小さく、風の強い時間帯や通信距離 $L$ が長い場合などでは、高周波到来角変動量 $\alpha$ が大きくなる。

[0049] 受信光制御部240にて、通信光の到来角度を計算し、受光光学系220の像振れ補正機構と角度調整台201とにフィードバックしている。しかし、これらのフィードバックを実施しても、高周波到来角変動量 $\alpha$ が、補正残りとして、受信光制御部240にて計算される。

[0050] この高周波到来角変動量 $\alpha$ の情報を、通信光を介して、送信光制御部140に伝達している。送信光制御部140では、高周波到来角変動量 $\alpha$ の情報を元に、追加発散角 $\beta$ を計算し、投光光学系120の有するフォーカス機構にフィードバックしている。これにより、受光光量変動を抑制し、通信の安定性を確保している。

[0051] ここで、発散度を変化させるフォーカス機構にも、駆動周波数の制限がある。高周波到来角変動量 $\alpha$ は、フォーカス機構の駆動周期における、到来角変動量の最大値としている。これにより、フォーカス機構の駆動周波数の制限も考慮して、最適な発散度を設定できる。尚、送信光制御部140で計算される追加発散角 $\beta$ は、受光光量変動の抑制や受光光量の増加など、目的に応じて増減させても構わない。

本発明で議論している光伝送装置では、下記のような仕様を想定している。

通信距離 $L \leq 30 \text{ km}$

高周波到来角変動量 $\alpha \leq 100 \mu \text{ rad}$

また、本実施例において、

出射光ビームウエスト  $w_0 = 50 \text{ mm}$

である。

[0052] 図 8 A、8 B、8 C それぞれに、高周波到来角変動量  $\alpha = 10 \mu \text{rad}$ 、 $50 \mu \text{rad}$ 、 $100 \mu \text{rad}$  時の、通信距離  $L$  に対する、必要ビームウエスト  $w_n$  と、平行光ビームウエスト  $w_p$  と、追加発散角  $\beta = 3.4 \mu \text{rad}$ 、 $58.0 \mu \text{rad}$ 、 $125 \mu \text{rad}$  時の発散光ビームウエスト  $w_x$  とを示す。  
追加発散角  $\beta$  により、 $w_x \geq w_n$  を達成し、通信の安定性を確保出来ている。

式 (16) を変形して、以下の式 (18) を得る。

[数18]

$$\Delta Z = \frac{\beta \cdot f^2}{w_0} \quad (18)$$

本実施例において、

焦点距離  $f = 1600 \text{ mm}$

出射光ビームウエスト  $w_0 = 50 \text{ mm}$

であるため、上記追加発散角  $\beta$  ( $3.4 \mu \text{rad}$ 、 $58.0 \mu \text{rad}$ 、 $125 \mu \text{rad}$ ) を確保するために必要な焦点面のシフト量  $\Delta Z$  はそれぞれ、 $0.174 \text{ mm}$ 、 $2.969 \text{ mm}$ 、 $6.411 \text{ mm}$  となる。

[0053] また、投光光学系 120 の有するフォーカス機構は、レンズを光軸方向に  $1 \text{ mm}$  シフトさせたときに、焦点面を  $4 \text{ mm}$  シフトさせる敏感度を有しているため、高周波到来角変動量  $\alpha = 100 \mu \text{rad}$  時でもレンズのシフト量は  $1.6 \text{ mm}$  であり、十分対応できる。

以上の構成により、本発明の効果が得られる。

[0054] 環境に依るが、概して、高周波到来角変動量  $\alpha$  が  $50 \mu \text{rad}$  を超える場合は少ない。そのため、高周波到来角変動量  $\alpha = 50 \mu \text{rad}$  時に、

$$w_n < w_p \quad (19)$$

を達成している場合、発散度を変化させる必要性が低く、本発明の効果が

小さいと言える。

そのため、本発明の効果を十分に得るための条件式は、式（１９）の逆で、

[数19]

$$w_n > w_p \quad (20)$$

即ち、

[数20]

$$kL\alpha > w_0 \left\{ 1 + \left( \frac{\lambda L}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

に  $k = 1.32$  と、 $\alpha = 50 \mu \text{rad}$  を代入して、

[数21]

$$0.000066 \times L > w_0 \left\{ 1 + \left( \frac{\lambda L}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

を満たす場合に本発明の効果を十分に得ることができる。

[0055] 本実施例では、図８Ｂより、広範囲の通信距離Ｌにて、式（２０）の関係が達成されていることがわかる。

本実施例では、通信光の発散度を調整する手段として、レンズ１２３及びレンズ２２３をフォーカス機構として利用している。このように、カメラなどで汎用化されている技術を活用することで安価な構成とすることができる。

また、高周波到来角変動量  $\alpha = 50 \mu \text{rad}$  までは、フォーカス機構にて発散度を調整できるようにしたい。

[数22]

$$kL\alpha \leq w_0 \left\{ 1 + \left( \frac{\lambda L}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} + L\beta \quad (13)$$

より、少なくとも、

[数23]

$$kL\alpha = L\beta \quad (23)$$

であれば、

[数24]

$$w_n \leq w_x \quad (24)$$

が達成される。

上記を加味し、

[数25]

$$\beta = \frac{\Delta Y}{f} \cong \frac{\Delta Z_f \cdot w_0}{f^2} \quad (17)$$

を変形して、

[数26]

$$\Delta Z_f = \frac{\beta f^2}{w_0} = \frac{k \alpha f^2}{w_0} \quad (25)$$

$k = 1.32$  と、 $\alpha = 50 \mu \text{rad}$  を式 (25) に代入すると、

[数27]

$$\Delta Z_f = 0.000066 \times \frac{f^2}{w_0} \quad (26)$$

となる。 $\Delta Z_{f \max}$  をフォーカス機構で調整できる最大の焦点面のシフト量だとすると、

[数28]

$$\Delta Z_{f \max} > 0.000066 \times \frac{f^2}{w_0} \quad (27)$$

を達成できるフォーカス機構が好ましい。

[0056] また、フォーカス機構の補正分解能は高い方が好ましい。具体的には、フォーカス機構の有するレンズが  $0.01 \text{ mm}$  移動 (シフト) したときの、高周波到来角変動量  $\alpha$  の補正量が、 $1 \mu \text{rad}$  以下であることが好ましい。

フォーカス機構の有するレンズが  $0.01 \text{ mm}$  移動 (シフト) したときの、焦点面のシフト量を  $\Delta Z_{fy}$  とすると

[数29]

$$\Delta Z_{fy} \leq \Delta Z_f (\alpha = 1 \mu \text{rad}) \quad (28)$$

であればよい。即ち、

[数30]

$$\Delta Z_f = \frac{k\alpha f^2}{w_0} \quad (29)$$

に、 $k = 1.32$  と、 $\alpha = 1 \mu\text{rad}$  を代入して、

[数31]

$$\Delta Z_{fy} \leq 0.00000132 \times \frac{f^2}{w_0} \quad (30)$$

を満足するフォーカス機構の補正分解能があればよい。

[0057] 本実施例においては、投光光学系120の有するフォーカス機構は、レンズを光軸方向に1mmシフトさせたときに、焦点面を4mmシフトさせる敏感度を有している。

即ち、 $\Delta Z_{fy} = 0.04\text{mm}$  に対し、

焦点距離  $f = 1600\text{mm}$

出射光ビームウエスト  $w_0 = 50\text{mm}$

より、式(30)の右辺の値は0.068mmであるため、式(30)を満足している。

[0058] 本実施例においては、フォーカス機構として、レンズ123及びレンズ223のそれぞれ1枚のみの光学部材の構成としている。このような構成とすることで、複数の光学部材を有する構成と比して、簡易で安価、且つ、発散度調整時の調整精度も向上させることが出来る。

[0059] 本実施例においては、位置検出センサ132a及び132bにて、通信光の発散度を検知している。これまで議論していなかったが、環境温度変化や振動などにより投光光学系の発散度は変化する可能性がある。このような構成とすることで、発散度調整時の調整精度を向上させることが出来る。

[0060] 尚、本実施例では、反射プリズム131a及び131bにて折り返した光線を用いて通信光の発散度を検知しているが、発散度を検知する方式はこれに限られない。

本実施例においては、通信光の向きを補正する手段として、角度調整台2

01及び、像振れ補正機構を有しており、これらで補正できない到来角変動量のみを、発散度を調整して対応している。このような構成とすることで、発散度を調整することのみで対応する構成と比して、発散度を小さく抑えることができ、受光光量を確保することが出来る。

[0061] 本実施例では、通信光の向きを調整する手段として、レンズ121及びレンズ221を光軸に垂直な方向に可動な像振れ補正機構を利用している。このように、カメラなどで汎用化されている技術を活用することで安価な構成とすることができる。

[0062] 通信光の向きを調整する手段として、MEMSミラーのような反射部材の位置や角度を変更する機構を用いても良い。この場合、透過部材を使用した場合と比して、レンズの内部反射による不要光が発生しない効果を得ることができる。また、一般には、MEMSミラーの方が、像振れ補正機構よりも高速で駆動できる効果もある。

[0063] 本実施例では、受信光制御部240（発散度制御部）にて計算される、高周波到来角変動量 $\alpha$ の情報を、通信光を介して、送信光制御部140に伝達し、投光光学系120の有するフォーカス機構にフィードバックしている。しかし、本発明はこれに限られることはない。高周波到来角変動量 $\alpha$ の情報を受光光学系220の有するフォーカス機構にフィードバックしても良い。光伝送装置は双方向で通信しており、到来角変動量は、相対的なずれであるため、通信光の高周波到来角変動量 $\alpha$ の情報は互いに略同一となる。光伝送装置同士が、互いに高周波到来角変動量 $\alpha$ を検知し、自身のフォーカス機構にフィードバックすることで、互いに発散度を最適化することになる。

[0064] 尚、これまで、理想的なガウシアンビームで議論してきたが、実際の強度分布は、厳密にはガウシアンビームではない。本実施例で言えば、副鏡124での遮光により、投光光学系120を出射した直後の通信光の強度分布は、動径方向に、中央部が欠けたドーナツ状となり、ガウシアンビームの強度分布とは異なる。しかし、概ね500m以上の長距離を伝搬する光伝送装置の使用においては、通信光の回折により、受光光学系に到達する際には、略

ガウシアンビームの強度分布となる。また、通信光が伝搬する空気中の屈折率分布や透過率分布などによっても、強度分布は大きく変わってしまうため、厳密な強度分布を考慮する必要性は低い。これらのことから、理想的なガウシアンビームを考慮したこれまでの議論で十分であり、本発明の構成とすることで、通信の安定性を確保できる。

[0065] 上記議論と同様に、理想的なガウシアンビームでない場合、出射光ビームウエスト $w_0$ を定義することが難しい場合がある。その場合は、強度分布のピークから13.5%までの動径方向の距離を、出射光ビームウエスト $w_0$ として議論して問題ない。

[0066] 本実施例では、通信光射出手段110から出射した通信光の一部を検出光として活用しているため、通信光の出射部と検出光の出射部とが同一となる。このような構成とすることで、通信光と検出光との光路がより近くなり、通信光の光学特性をより正確に検出しやすくなるという効果を得ている。

[0067] これまで、説明のため、受信側の光伝送装置2000について主に議論してきたが、前述の通り、通信光の向きを逆転しても成り立つ構成であるため、送信側の光伝送装置1000についても同様である。特に、送信光検出部と受信光検出部とは、片側ずつしか図示していないが、両装置とも有していることに注意されたい。本実施例では、反射プリズムと透過ウェッジプリズムとを、互いに光軸周りに90°回転させて設置している（図2A及び図3Aで言えば、紙面奥手前方向になる）。

[0068] 例示した実施例では、光伝送装置の投光光学系と受光光学系とが基本的には同様の構成の光学系であり、光軸も略同一となる構成であったが、本発明はこれに限られることはない。光伝送装置の投光光学系と受光光学系とが別々の構成を有する光学系であってもよく、両者の光軸が同軸でなくても構わない。

[0069] ここで、本発明で議論している「光軸」とは、射出手段から射出して投光光学系を通過する通信光の光束の中心光路、及び、受光光学系を通過して受光手段に向かう通信光の光束の中心光路を指す。一般的な共軸光学系の光軸

とは定義が異なることに注意されたい。

本実施例では、わかりやすさのために、共軸系の投光光学系の光軸上に射出手段が存在し、共軸系の受光光学系の光軸上に受光手段が存在する形態とし、これまで説明をしていた。しかし、投光光学系、及び、受光光学系の光軸上に射出手段及び受光手段が存在しない場合などは、一般的な共軸光学系の光軸同士を揃えても、通信は確立されない。また、投光光学系、及び、受光光学系が偏芯光学系の場合などは、「光軸」の明確な定義が難しい。上記の理由から、「光軸」の定義を異ならせていることを理解されたい。

[0070] 本実施形態では、検出光と通信光とが投光光学系 120 及び受光光学系 220 の全ての光学素子を同様に経由しているが、これに限られることはない。投光光学系及び受光光学系の少なくとも一部を同様に経由していれば、本発明の効果をえられる。但し、前述の通り、なるべく、同様に経由する光学素子が多い方が、通信の安定性に好ましい。また、同様に、検出光と通信光とで、投光光学系及び受光光学系として、異なる光学素子を経由しても構わない。

[0071] 本実施形態では、投光光学系 120 及び受光光学系 220 に反射光学素子と透過光学素子との両方を用いているが、これに限られることはなく、反射光学素子のみ、透過光学素子のみなどで構成されてもよい。

[0072] ここで、本実施例では、通信光射出手段 110 から出射した通信光の一部を活用し、検出を行っているが、これに限られることはない。例えば、通信光射出手段 110 の光ファイバの不図示の他端から通信光と別の波長の光を入射させ、それを検出光として用いるなど、専用の検出光を用いても良い。

[0073] 本実施例では、光ファイバから出射した通信光を光ファイバで受信する構成としたが、これに限られることはなく、例えば半導体レーザから出射した通信光をセンサで受信する構成としても構わない。

[0074] 本実施形態では、検出光受光手段として、位置検出センサを用いていたが、これに限られることはなく、例えば 2 次元センサや光量検出センサなどであっても構わない。

[0075] 例示した実施例では、光伝送装置は、互いに離間して配置された光伝送装置 1000 と光伝送装置 2000 とが、それぞれが投光手段及び受光手段として機能することが可能であり、双方向の通信が可能である構成として説明した。しかし、本発明はそれに前提されることはない。

第 1 の通信光を射出する第 1 の射出手段と第 1 の投光光学系とを含む第 1 の投光部と、第 1 の受光光学系と第 1 の通信光を受光する第 1 の通信光受光手段を含む第 1 の受光部と、第 2 の通信光を射出する第 2 の射出手段と第 2 の投光光学系とを含む第 2 の投光部と、第 2 の受光光学系と第 2 の通信光を受光する第 2 の通信光受光手段を含む第 2 の受光部と、を有し、第 1 の投光部と第 1 の受光部の間で光通信を行い、第 2 の投光部と第 2 の受光部の間で光通信を行う光伝送装置においても、本発明は同様に適用可能であり、効果を享受することができる。その構成の光伝送装置においては、第 1 の投光部は検出光を射出する検出光射出部を有し、第 2 の投光光学系は光束の発散度を変化させる調整光学系を有する。第 1 の受光部は、前記検出光を受光する検出光受光手段を有し、光伝送装置は、検出光受光手段で得られた情報に基づき、調整光学系を制御する発散度制御部を有する。この構成においては、第 1 の投光部と第 2 の受光部とは互いに隣接して配置され、第 2 の投光部と第 1 の受光部とは互いに隣接して配置される。ここで、「互いに隣接して配置される」とは、互いに離間する距離が 10 m 以下、より好ましくは 2 m 以下、さらに好ましくは、0.5 m 以下であることが好ましい。

[0076] (実施例 2)

本発明の実施例 2 に係る光伝送装置（空間光伝送装置）の構成は図 1 に示した実施例 1 の光伝送装置（空間光伝送装置）の構成と同様である。ここで、実施例 2 に係る光伝送装置の説明は、一方向の通信について行うが、逆方向の通信についても同様である。

[0077] 本発明の実施例 2 では、どのような通信距離に対しても外乱による光量変動の小さい光伝送装置を提供する。

[0078] 以下、図 9 ～ 13 を参照しながら光伝送装置（空間光伝送装置）の構成を

詳細に説明する。

図9は、図1に示した光伝送装置1000の実施例2における投光部100（不図示）の構成詳細図である。図2Aに示した実施例1における投光部1100の構成と同じ構成については、同じ参照符号を付し、説明を省略する。

投光部100は、通信光射出部（射出手段）110と、投光光学系120と、送信光検出部と、送信光制御部140と、保持部150（不図示）とを有する。

[0079] 実施例2の投光光学系120は、通信光射出部側から順に光路に配置された、レンズ121と、レンズ122と、レンズ123と、副鏡124と、主鏡125と、光強度変換素子160を有している。実施例1の投光光学系120に対して光強度変換素子160を備えることが異なる。光強度変換素子160については後述する。

[0080] 図10は、受信側の図1に示した光伝送装置2000の実施例2における受光部200（不図示）の構成詳細図である。図3Aに示した実施例1における受光部1200の構成と同じ構成については、同じ参照符号を付し、説明を省略する。

[0081] 実施例2の受光光学系220は、通信光入射側から順に光路に配置された、光強度変換素子160、主鏡（反射曲面）225と副鏡（反射曲面）224、レンズ223、レンズ222、レンズ221を有している。実施例1の受光光学系220に対して光強度変換素子160を備えることが異なる。光強度変換素子160については後述する。

[0082] 透過ウェッジプリズム231は、図3Bに拡大図で示した実施例1の透過ウェッジプリズム231と同じであるので説明を省略する。

[0083] 前述の通り、可換保持部材251の有する着脱部251aと固定保持部材252の有する着脱部252aが取り外し可能な状態で結合した構成になっている。具体的には、着脱部251aはCマウントのメス型、着脱部252aはCマウントのオス型になっている。そのため、上記の結合を外し、図1

1に示すようにCマウントのメス型351aを有し、2次元画像の撮像が可能な撮像素子352を有するカメラ装置351を結合させることが可能である。

[0084] 受光光学系220の無限遠合焦時の光学性能値（投光光学系120も同様）として、図4、5に通信波長（1540nm～1560nm）、焦点距離 $f = 1599.999\text{ mm}$ における縦収差図、横収差図を示す（実施例1と同様の光学性能値を示す）。また、図12、13に可視光波長（e線：波長546nm）、焦点距離 $f = 1602.968\text{ mm}$ における縦収差図、横収差図を示す。縦収差図の非点収差図及び横収差図における実線と点線とは、各々メリディオナル像面とサジタル像面とにおける収差を示す。縦収差図では、球面収差は0.4mm、非点収差は0.4mm、歪曲は5%のスケールで描かれている。図13に、像高14.8000mm、像高11.1000mm、像高7.4000mm、像高3.7000mm、像高0.0000mmにおける横収差図を示す。

[0085] 図4、5より、通信波長（1540nm～1560nm）における、通信光受光部210が位置する中心画角にて収差を低減できていることが分かる。また、図12、13より、APS-Cセンサ（撮像素子、2次元画像取得手段）352の画角（ $23.4 \times 16.7\text{ mm} = \text{対角} \pm 14.2\text{ mm}$ ）において、可視光波長においても、十分に収差が取れていることが分かる。

[0086] つまり、実施例2では、光伝送装置1000の設置時において、可換保持部材251に代えて可視光用のカメラ装置351を取り付け、受光光学系220の光軸上にある撮像素子で捉えられる2次元画像を見ながら受光光学系220の角度の調整ができる。この場合、カメラの光軸と受光光学系220の光軸とが同一となるため、特許文献2のようにカメラの光軸と受光光学系の光軸とのずれに起因する調整誤差の課題は解消される。

[0087] 具体的には、下記のような設置時の調整手順となる。

ステップ1 GPS等で確認し、光伝送装置1000の投光部100及び光伝送装置2000の受光部200が凡そ向かい合うように、角度調整台1

01と角度調整台201を調整する。

[0088] ステップ2 光伝送装置2000において、通信光受光部210と受信光検出部の一部である位置検出センサ232ごと可換保持部材251を固定保持部材252から取り外し、可視光用のカメラを固定保持部材252の着脱部252aに取り付ける。

[0089] ステップ3 カメラで撮像された2次元画像を確認しながら、光伝送装置1000が撮像画像の中心に来るように角度調整台201を再度調整する。

[0090] ステップ4 可視光用のカメラを固定保持部材252の着脱部252aから取り外し、可換保持部材251を着脱部252aに取り付ける。

[0091] 実施例2では、カメラのセンサの光軸方向の位置は、通信光受光部210のファイバの先端と同じ位置になるようにしているため、設計上は、ステップ4を実施した後にフォーカス調整を行う必要がない。

[0092] ここで、受信側の光伝送装置2000の説明をしたが、送信側の光伝送装置1000に対しても同様に調整を実施することができる。これにより、双方向の光軸の向きが揃い、通信が確立する。

[0093] 以下、本実施例の特徴的構成について説明する。

実施例2の光伝送装置を光通信に用いる場合、投光部と受光部との設置間隔すなわち通信距離は、設置地域の与件に依り各々異なる。例えば、ある地域では通信距離2kmで、別の地域では通信距離5kmで設置しなければならない。実施例2での各距離におけるビーム光束の強度分布を図14A、14B、14Cに示す。図14Aは、本実施例の投光部の開口位置での出射光束の光強度分布である。図14Bは、本実施例の受光部を投光部から2km離れた位置に設置した際の、受光部の開口位置での投光部からの出射光束の光強度分布である。図14Cは、本実施例の受光部を投光部から5km離れた位置に設置した際の、受光部の開口位置での投光部からの出射光束の光強度分布である。図14A、14B、14C中の実線は本実施例の光束の光強度分布である。また、点線は本発明の効果を説明するための比較例であり、本実施例の光強度変換素子（透過部材）160を用いない場合の光強度分布

である。なお、光強度については最大値で規格化した。

[0094] ここで本発明の効果を説明するために、まず比較例について説明する。図 14 B の点線から分かるように、比較例の距離 2 k m 地点に設置時は、受光部開口  $\phi$  100 より到達光束が狭く、外乱による光線の振れに対して受光部開口によるケラレ量の変動は小さく、光量変動は小さい。一方、図 14 C の点線から分かるように、比較例の距離 5 k m 地点に設置時は、受光部開口  $\phi$  100 より到達光束が広く、かつ開口端付近で強度分布も急峻である。このため、外乱による光線の振れに対して受光部開口によるケラレ量の変動が大きく、光量変動が大きくなってしまう。このように同一構成の光伝送装置を様々な通信距離で用いる際、受光部開口位置での光束強度分布が最適ではないケースが生じるため、外乱による光量変動が発生し、良好な通信品質が得られなくなる課題がある。

[0095] そこで本実施例では、通信距離に応じて図 9 に示すように光強度変換素子 160 を投光部に配設し、受光部開口位置で最適な光強度分布にすることで外乱による光量変動を低減している。図 15 は、光強度変換素子 160 の透過率分布を表したグラフである。図 15 に示すように光強度変換素子 160 面内の位置に応じて透過率を異ならせている。本実施例ではこのような光強度変換素子 160 を用いることで、図 14 C に示すように通信距離 5 k m で設置する際の受光部開口位置での光束の強度分布を広くなだらかに変換し、外乱で光束が振れた際の光量変動を低減している。本実施例では、光強度変換素子 160 の透過率を光軸から端部に向かうに連れて低下するように設定することで、受光部開口に到達する光束の径を大きくしている。

[0096] この原理については以下に簡単に説明する。物理光学空間伝播においてビームウエストの位置でのビーム径（直径）を  $w_0$ 、ビームウエストから  $x$  離れた任意の位置でのビーム径（直径）を  $w$ 、波長  $\lambda$  のガウスビームの形態に関して、次のような関係式が成立する。

[数32]

$$w = w_0 \times \left\{ 1 + \left( \frac{4\lambda x}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

本実施例では、理想のガウシアンビームではないため、 $w_0$ は定義できず、 $w$ も上記式と完全には一致しないものの、投光部開口をビームウエストの位置と仮定したとき、上記式の定性的な関係性は成り立つ。例えば、 $w_0$ 相当の投光部開口での強度分布をより狭くすると、 $x$ 離れた位置でのビーム径 $w$ を広くすることができる。投光部開口でのビームウエストの位置でのビーム径 $w_0$ は通常光源の特性値と投光光学系とによって決定されるため、設置される各通信距離に応じて最適なビーム径 $w$ に変更することは困難である。そこで本実施例では、透過率分布の変更及び取り外しが容易な光強度変換素子160にて強度分布を変換し、疑似的に投光部開口でのビームウエストの位置でのビーム径 $w_0$ を狭くしている。このとき上記の式の通り、 $x$ 離れた受光部開口位置での光束径は光強度変換素子160が無い場合に比べて大きくすることができる。

[0097] 本実施例では、安価で高精度に強度変換するために透過率に分布を持たせた透過平板で光強度変換素子160を構成したが、本発明の効果はこの構成に限定されない。また、本実施例では、光強度変換素子160の光軸から端部にかけて連続的に透過率が低下する構成としたが、本発明の効果はこれに限定されない。また本実施例は内側φ30の領域はミラーによるオブスキュレーションのため使用しない領域であるので、図15には必要領域のみの透過率の分布を描画している。よって本実施例においては使用しない内側φ30領域の透過率はそのまま透過率曲線を延長した素直な山形でもその他の形状でもよい。

[0098] また光強度変換素子160と光束との垂直な方向に対する相対位置がずれた場合、変換後の強度分布が傾くなどして良好な強度分布が得られなくなる傾向がある。このため本実施例では、光束幅が最も大きく、平行光束となり

、偏心に対する強度分布への影響が最も低い位置に光強度変換素子 160 を配置している。即ち、光源から最も遠い曲面ミラー即ち副鏡 124 のさらに下流側（光源から遠い側）に配置している。またこの位置は投光部内のパワーを有する光学素子の内で最も光源から遠い光学素子よりも下流側ともいえる。

[0099] （実施例 3）

実施例 3 は実施例 2 の変形例である。実施例 2 との違いは、光強度変換素子 160 の透過率分布を異ならせた点である。実施例 3 での各距離 0 km、2 km、5 km におけるビーム光束の強度分布を図 16 A、16 B、16 C に示す。図 16 A、16 B、16 C 中の実線は本実施例の強度分布である。また、点線は本発明の効果を説明するための比較例であり、実施例 3 の光強度変換素子 160 を用いない場合の光強度分布である。ここで、図 16 B は距離 2 km 地点に受光部設置時の強度分布であるが、設置場所の振動や空気の揺らぎなどの外乱による光線の振れが大きい地域の場合、比較例の点線では受光部開口  $\phi 100$  より到達光束がケラレて、受光光量が変動してしまう。

[0100] そこで実施例 3 では、図 17 に示すように光強度変換素子 160 の透過率を光軸から端部に向かうに連れて高くなるように設定し、空間伝播する際の発散角を小さくしている。結果、図 16 B の実線で示すように 2 km 地点の受光部開口位置での光束をより狭くし、実施例 2 よりもさらに大きな外乱が生じる地域で用いても光量変動を低減することができる。

[0101] （実施例 4）

実施例 4 は実施例 2、3 の変形例であり、実施例 2、3 との違いは、光強度変換素子 160 の置き位置を異ならせた点であり、これにより別の効果を得ている。図 18 は、本実施例の配置図である。図 18 に示す通り、本実施例 3 では、2 つの曲面ミラー即ち主鏡 125 と副鏡 124 との間に光強度変換素子 160 を配置している。これにより、光強度変換素子 160 を 2 回光線が通過するため、同様な透過率分布の素子でより強い強度変換効果を得られ

る。

[0102] (実施例5)

実施例5は実施例2、3、4の変形例である。実施例5の実施例2、3、4との違いは、光強度変換素子160の置き位置を異ならせた点であり、これにより別の効果を得ている。図19は、実施例5の配置図である。図19に示す通り、実施例5では、最も光源に近い曲面ミラー即ち主鏡125よりも光源側（上流側）に光強度変換素子160を配置している。これにより、光強度変換素子160のサイズを小さくでき、コストを低減できる。一方で小さくなった分取り付け誤差による敏感度も上がるデメリットもあるが、十分に取り付け精度が保証できる装置においては本発明の効果を得つつコストを抑えることが可能となる。

また本実施例においては、レンズ121は像振れ補正機構（図中二重線枠）を有しており、光軸に垂直な方向にシフト（可動）することで通信光の向きを微調整することができる。この調整値が大きい場合、通信光射出部110からの光束の強度分布の中心軸がレンズ121から出射した後に大きく傾き、その後の投光光学系120の光軸に対して光軸に垂直な方向に大きくシフトする。その場合、レンズ121より通信光射出部110から離れる側に光強度変換素子160を配置すると、強度分布が傾くなど正しく強度分布変換がなされなくなってしまう。そこで、実施例5では、像振れ補正機構を有するレンズ121と光源との間に光強度変換素子160を配置することで、外乱による角度ずれを大きく調整する状況においても、良好に強度分布を変換でき、光量変動を低減できる。

[0103] (変形例)

実施例2～5において、曲面ミラーを用いた投光光学系で説明してきたが、本発明は曲面ミラーを用いない投光光学系においても当然同様の効果が得られる。

図20、図21は、投光光学系に用いる光強度変換素子160の透過率分布の一例である。オブスキュレーションの無い一般的な投光光学系の場合に

においても図20、図21のような光強度変換素子160を用いれば、実施例2～5と同様に本発明の効果は得られる。

[0104] 以上の構成により、本発明の効果は得られる。

実施例では、角度調整台201に対し受光光学系220を保持する固定保持部材252を固定し、固定保持部材252に対し、通信光受光部210を保持する可換保持部材251を固定する構成となっている。このような構成とすることで、角度調整台201で受光光学系220の角度を定めることができ、且つ、カメラの着脱によりその定めた角度が変化しにくいようにしている。

[0105] ここで、本発明において、光伝送装置は、必ずしも角度調整台を有する必要はないことに注意されたい。例えば、設置時のみ角度を調整する工具を使用し、本発明の角度調整を行って受光光学系の位置を固定した後に、角度調整台を取り外すことも考えられる。この場合であっても、本発明の効果は得られる。但し、角度調整台を有していた方が、角度調整台の取り付け、取り外しの工数を低減でき、好ましい。

[0106] 実施例では、着脱部251a及び着脱部252aとしてCマウントを活用している。このように、汎用化している技術（複数のバヨネット爪部を備えるマウント部）を用いることで、着脱が容易で、市販品のカメラが装着しやすくなり、コスト高や調達難のリスクを回避できる。

[0107] 実施例は、光伝送装置2000の設置時のみ、カメラ装置を装着する構成であり、一度光軸方向の設定が完了して通信状態が確立すれば、常時カメラ装置が接続されていることを必要としない。このような構成により、光伝送装置のコストを低減できる効果を得ている。

[0108] 実施例では、可視光用のカメラを取り付ける際に、通信光受光部210と受信光検出部の一部である位置検出センサ232ごと、可換保持部材251を固定保持部材252から取り外せる構成としている。このような構成とすることで、通信光受光部210のみを取り換える構成と比して、可換保持部材251の着脱作業性が向上する効果を得ている。また、通信光受光部21

0と位置検出センサ232の相対位置が担保されるため、前述の通信光受光部210の着脱に伴う光軸に垂直な方向のずれの悪影響を回避できる効果を得ている。

[0109] 実施例では、通信光受光部210を固定保持部材252から着脱する度に通信光受光部210の位置がわずかにずれる可能性がある。光軸方向のずれに関しては、通信光の向きを逆に考えた時の、光伝送装置2000からの通信光の発散として検出され、受光光学系220の有するフォーカス機構にて補正される。つまり、フォーカス機構により、該ずれを補正できる効果を得ている。

[0110] 実施例では、通信光受光部210を固定保持部材252から着脱する度に通信光受光部210の位置がわずかにずれる可能性がある。光軸に垂直な方向のずれに関しては、通信光の角度ずれとして検出され、受光光学系220の有する像振れ補正機構にて補正される。つまり、像振れ補正機構により、該ずれを補正できる効果を得ている。

[0111] 実施例では、受光光学系220の通信波長（1540～1560nm）から可視光領域における色収差を低減することにより、市販品の可視光カメラでの視認による光軸を揃える調整を可能として作業性を向上させている。また、赤外波長から可視光波長まで広域の色収差を低減するために、反射面を有する光学系としている。仮に屈折系で実施しようとする、レンズの枚数が多くなってしまう。

[0112] これまで、説明のため、受信側の光伝送装置2000について主に議論してきたが、前述の通り、通信光の向きを逆転しても成り立つ構成であるため、送信側の光伝送装置1000についても同様である。特に、送信光検出部と受信光検出部とは、片側ずつしか図示していないが、光伝送装置1000、2000ともに送信光検出部と受信光検出部とを有していることに注意されたい。実施例では、反射プリズムと透過ウェッジプリズムとを、互いに光軸周りに90°回転させた位置に設置している（図2A、図3A、図9、及び図10で言えば、紙面奥手前方向になる）。

- [0113] 実施例では、光伝送装置の投光光学系と受光光学系とが基本的には同様の構成の光学系であり、光軸も略同一となる構成であったが、これに限られることはない。光伝送装置の投光光学系と受光光学系とが、別々の構成を有する光学系であってもよく、両者の光軸が厳密な同軸ではなくても構わない。
- [0114] ここで、本発明で議論している「光軸」とは、射出手段から射出して投光光学系を通過する通信光の光束の中心光路、及び、受光光学系を通過して受光手段に向かう通信光の光束の中心光路を指す。一般的な共軸光学系の光軸とは定義が異なることに注意されたい。
- [0115] 実施例では、わかりやすさのために、共軸系の投光光学系の光軸上に射出手段が存在し、共軸系の受光光学系の光軸上に受光手段が存在する形態とし、これまで説明をしていた。しかし、投光光学系及び受光光学系の光軸上に射出手段及び受光手段が存在しない場合などは、一般的な共軸光学系の光軸同士を揃えても通信は確立されない。また、投光光学系及び受光光学系が偏芯光学系の場合などは、「光軸」の明確な定義が難しい。上記の理由から、「光軸」の定義を異ならせていることを理解されたい。
- [0116] 実施例では、光ファイバから出射した通信光を光ファイバで受信する構成としたが、これに限られることはなく、例えば半導体レーザから出射した通信光をセンサで受信する構成としても構わない。
- [0117] 実施例では、受光部は光ファイバのみで構成され、調整用のカメラ装置はセンサのみで構成されるものとしていたが、これに限られることはなく、それぞれがレンズを有していても良い。例えば、受信部としてコリメータ付きファイバの構成にし、調整用のカメラ装置として、レンズ付きのカメラ装置の構成としても構わない。
- [0118] 実施例では、着脱部252aから調整用のカメラ装置のセンサ面までの距離と、着脱部252aから通信光受光部210ファイバの先端までの距離を揃えているが、これに限られることはなく、ずれていても構わない。
- [0119] 実施例では、通信光受光部210の画角の中心を、調整用のカメラ装置のセンサの中心に合わせているが、通信光受光部210の画角がセンサ面に収

まるように配置されれば、それに限られることはない。

[0120] 実施例では、可視光のカメラ装置にて調整を行っていたが、これに限られることはなく、通信光近傍の波長（実施例で言えば通信光の1550nmの波長に対して±200nmの範囲内にある波長）用のカメラ装置であっても構わない。可視光の波長用のカメラ装置で調整すると、目視と対応するため、認識しやすいメリットがある。一方、通信光近傍の波長用のカメラ装置であれば、受光光学系220の設計において、より容易に色収差を低減しやすいメリットがある。

[0121] 実施例では、通信光射出部110から出射した通信光の一部を装置の調整のために検出光として活用し、検出光の検出を行っているが、これに限られることはない。例えば、通信光射出部110の光ファイバの不図示の他端から通信光と別の波長の光を入射させ、それを検出光として用いる等、専用の検出光を用いても良い。

[0122] 実施例では、センサ（撮像素子）としてAPS-Cサイズのものを利用している。センササイズはなるべく大きい方が視野を広く取れるため調整が有利になる。しかし、本発明はこれに限定されることはない。

[0123] 実施例では、素子の面内の位置に応じて透過率を異ならせた光強度変換素子を用いて光束の光強度分布を変換したが、本発明はこれに限定されることはない。面内の位置に応じて反射率が異なる反射部材を光強度変換素子として用いても、本発明の効果を同様に享受することができる。

[0124] 本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、本発明の範囲を公にするために以下の請求項を添付する。

[0125] 本願は、2021年3月16日提出の日本国特許出願特願2021-042625及び2021年3月16日提出の日本国特許出願特願2021-042700を基礎として優先権を主張するものであり、その記載内容の全てをここに援用する。

## 請求の範囲

- [請求項1]           通信光を射出する射出手段と投光光学系とを含む投光部と、受光光学系と前記通信光を受光する通信光受光手段を含む受光部と、の間で光通信を行う光伝送装置であって、
- 前記投光部は検出光を射出する検出光射出部を含み、
- 前記投光光学系は光束の発散度を変化させる調整光学系を有し、
- 前記受光部は前記検出光を受光する検出光受光手段を含み、
- 前記光伝送装置は、前記検出光受光手段からの情報に基づいて前記調整光学系を制御する発散度制御部を備えることを特徴とする光伝送装置。
- [請求項2]           第1の通信光を射出する第1の射出手段と第1の投光光学系とを含む第1の投光部と、
- 第1の受光光学系と前記第1の通信光を受光する第1の通信光受光手段を含む第1の受光部と、
- 第2の通信光を射出する第2の射出手段と第2の投光光学系とを含む第2の投光部と、
- 第2の受光光学系と前記第2の通信光を受光する第2の通信光受光手段を含む第2の受光部と、
- を有し、前記第1の投光部と前記第1の受光部の間で光通信を行い、前記第2の投光部と前記第2の受光部の間で光通信を行う光伝送装置であって、
- 前記第1の投光部は、検出光を射出する検出光射出部を有し、
- 前記第2の投光光学系は、光束の発散度を変化させる調整光学系を有し、
- 前記第1の受光部は、前記検出光を受光する検出光受光手段を有し、
- 、
- 前記光伝送装置は、前記検出光受光手段で得られた情報に基づき、前記調整光学系を制御する発散度制御部を有する、

ことを特徴とする光伝送装置。

[請求項3]

第1の通信光を射出し、第2の通信光を受光する第1の射出受光手段と、第1の光学系とを含む第1の投受光部と、

前記第2の通信光を射出し、前記第1の通信光を受光する第2の射出受光手段と、第2の光学系とを含む第2の投受光部と、

を有し、前記第1及び第2の投受光部の間で双方向の光通信を行う光伝送装置であって、

前記第1の投受光部は、検出光を射出する検出光射出部を有し、

前記第2の光学系は、光束の発散度を変化させる調整光学系を有し、

、

前記第2の投受光部は、前記検出光を受光する検出光受光手段を有し、

前記光伝送装置は、前記検出光受光手段からの情報に基づき、前記調整光学系を制御する発散度制御部を有する、

ことを特徴とする光伝送装置。

[請求項4]

前記投光部から出射した直後の前記通信光のビームウエストを $w_0$

(mm)、前記通信光の波長を $\lambda$  (mm)、前記投光部と前記受光部との間隔を $L$  (mm)、としたとき、

[数1]

$$0.000066 \times L > w_0 \left\{ 1 + \left( \frac{\lambda L}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1に記載の光伝送装置。

[請求項5]

前記第2の投光部から出射した直後の前記第2の通信光のビームウエストを $w_0$  (mm)、前記第2の通信光の波長を $\lambda$  (mm)、前記第2の投光部と前記第2の受光部との間隔を $L$  (mm)、としたとき、

[数2]

$$0.000066 \times L > w_0 \left\{ 1 + \left( \frac{\lambda L}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項2に記載の光伝送装置。

[請求項6]

前記第2の投受光部から出射した直後の前記第2の通信光のビームウエストを $w_0$  (mm)、前記第2の通信光の波長を $\lambda$  (mm)、前記第1の投受光部と前記第2の投受光部との間隔を $L$  (mm)、としたとき、

[数3]

$$0.000066 \times L > w_0 \left\{ 1 + \left( \frac{\lambda L}{\pi w_0^2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項3に記載の光伝送装置。

[請求項7]

前記投光部を出射した直後の前記通信光のビームウエストを $w_0$  (mm)、前記投光光学系の焦点距離を $f$  (mm)、前記調整光学系で発散度を調整した際の前記投光光学系の焦点面のシフト量の最大値を $\Delta Z_{fmax}$  (mm)、としたとき、

[数4]

$$\Delta Z_{fmax} > 0.000066 \times \frac{f^2}{w_0}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1又は4に記載の光伝送装置。

[請求項8]

前記第2の投光部を出射した直後の前記第2の通信光のビームウエストを $w_0$  (mm)、前記第2の投光光学系の焦点距離を $f$  (mm)、前記調整光学系で発散度を調整した際の前記第2の投光光学系の焦点面のシフト量の最大値を $\Delta Z_{fmax}$  (mm)、としたとき、

[数5]

$$\Delta Z_{fmax} > 0.000066 \times \frac{f^2}{w_0}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項2又は5に記載の光伝送装置。

[請求項9] 前記第2の投受光部を出射した直後の前記第2の通信光のビームウエストを $w_0$  (mm)、前記第2の光学系の焦点距離を $f$  (mm)、前記調整光学系で発散度を調整した際の前記第2の光学系の焦点面のシフト量の最大値を $\Delta Z_{fmax}$  (mm)、としたとき、

[数6]

$$\Delta Z_{fmax} > 0.000066 \times \frac{f^2}{w_0}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項3又は6に記載の光伝送装置。

[請求項10] 前記調整光学系は可動光学部材を有し、  
前記可動光学部材が0.01mm移動したときの焦点面のシフト量を $\Delta Z_{f\gamma}$  (mm)、前記投光部を出射した直後の前記通信光のビームウエストを $w_0$  (mm)、前記投光光学系の焦点距離を $f$  (mm)、としたとき、

[数7]

$$\Delta Z_{f\gamma} \leq 0.00000132 \times \frac{f^2}{w_0}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1、4、7の何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項11] 前記調整光学系は可動光学部材を有し、  
前記可動光学部材が0.01mm移動したときの焦点面のシフト量を $\Delta Z_{f\gamma}$  (mm)、前記第2の投光部を出射した直後の前記第2の通信光のビームウエストを $w_0$  (mm)、前記第2の投光光学系の焦点距離を $f$  (mm)、としたとき、

[数8]

$$\Delta Z_{f\gamma} \leq 0.00000132 \times \frac{f^2}{w_0}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2、5、8 の何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項12] 前記調整光学系は可動光学部材を有し、

前記可動光学部材が 0.01 mm 移動したときの焦点面のシフト量を  $\Delta Z_{fy}$  (mm)、前記第 2 の投受光部を出射した直後の前記第 2 の通信光のビームウエストを  $w_0$  (mm)、前記第 2 の光学系の焦点距離を  $f$  (mm)、としたとき、

[数9]

$$\Delta Z_{fy} \leq 0.00000132 \times \frac{f^2}{w_0}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 3、6、9 の何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項13] 前記調整光学系は位置や傾きを変化させる透過光学部材を含むことを特徴とする請求項 1 から 12 までの何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項14] 前記調整光学系の可動光学部材は 1 つの光学要素で構成されることを特徴とする請求項 1 から 13 までの何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項15] 前記調整光学系を含む前記投光光学系を有する前記投光部は、前記投光部からの前記検出光を受光する第 2 の検出光受光手段を有し、  
前記発散度制御部は、前記第 2 の検出光受光手段で得られた情報に基づき、前記調整光学系を制御する、ことを特徴とする請求項 1、4、7、10 の何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項16] 前記第 1 の投光光学系は、光束の発散度を変化させる第 2 の調整光学系を有し、

前記第 2 の調整光学系を含む前記第 1 の投光光学系を有する前記第 1 の投光部は、前記第 1 の投光部からの前記検出光を受光する第 2 の検出光受光手段を有し、

前記発散度制御部は、前記第 2 の検出光受光手段で得られた情報に

基づき、前記第２の調整光学系を制御する、ことを特徴とする請求項２、５、８、１１の何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項17] 前記第１の光学系は、光束の発散度を変化させる第２の調整光学系を有し、

前記第２の調整光学系を含む前記第１の光学系を有する前記第１の投受光部は、前記第１の投受光部からの前記検出光を受光する第２の検出光受光手段を有し、

前記発散度制御部は、前記第２の検出光受光手段で得られた情報に基づき、前記第２の調整光学系を制御する、ことを特徴とする請求項３、６、９、１２の何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項18] 前記受光部は、前記受光光学系の光学特性を変化させる補正機構を有し、

前記光伝送装置は、前記検出光受光手段で得られた情報に基づき、前記補正機構を制御する光学特性制御部を有する、ことを特徴とする請求項１、４、７、１０、１５の何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項19] 前記第１の受光部は、前記第１の受光光学系の光学特性を変化させる補正機構を有し、

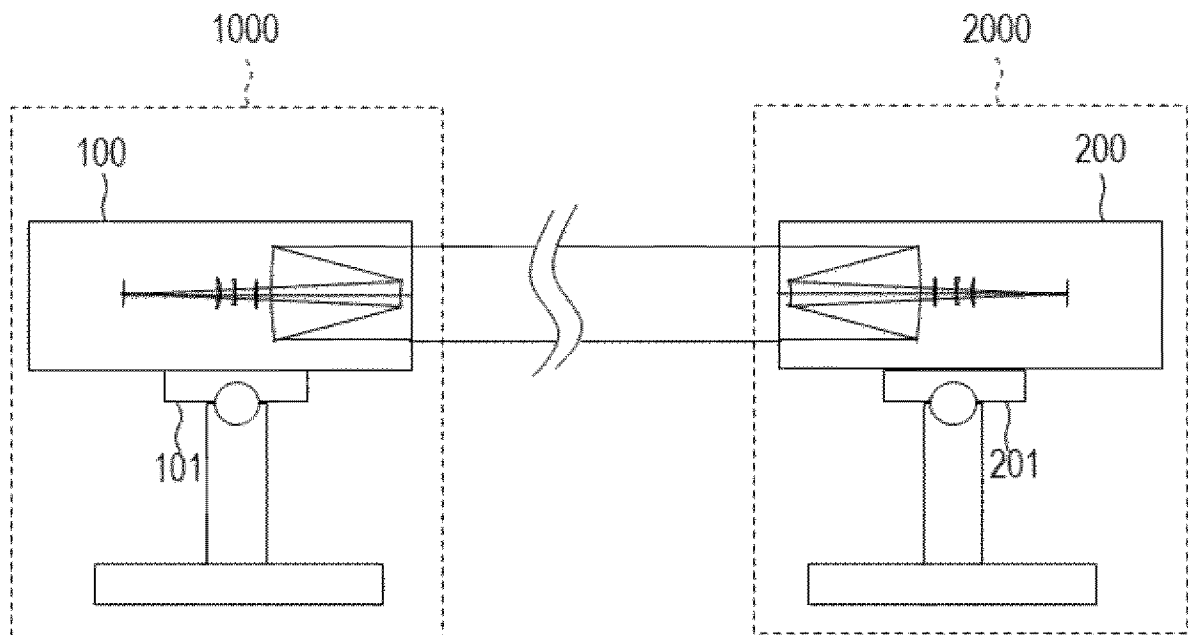
前記光伝送装置は、前記検出光受光手段で得られた情報に基づき、前記補正機構を制御する光学特性制御部を有する、ことを特徴とする請求項２、５、８、１１、１６の何れか一項に記載の光伝送装置。

[請求項20] 前記第２の投受光部は、前記第２の光学系の光学特性を変化させる補正機構を有し、

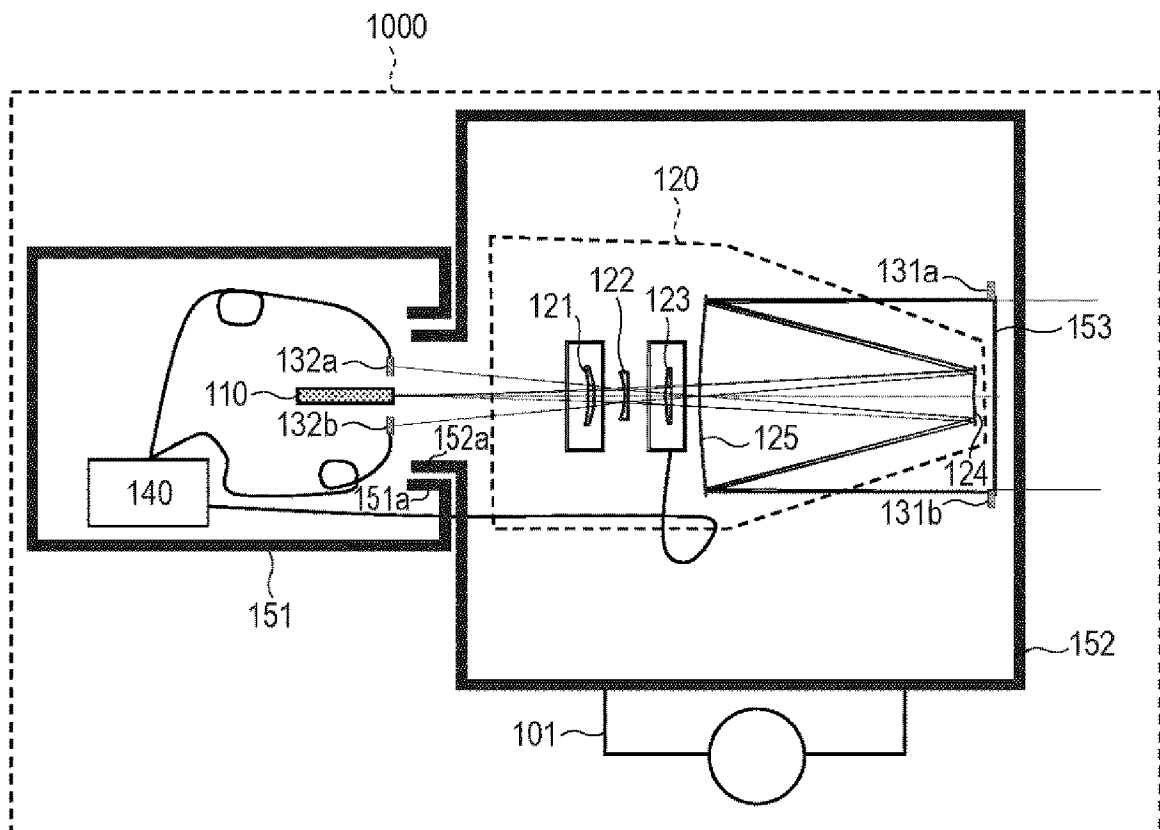
前記光伝送装置は、前記検出光受光手段で得られた情報に基づき、前記補正機構を制御する光学特性制御部を有する、ことを特徴とする請求項３、６、９、１２、１７の何れか一項に記載の光伝送装置。

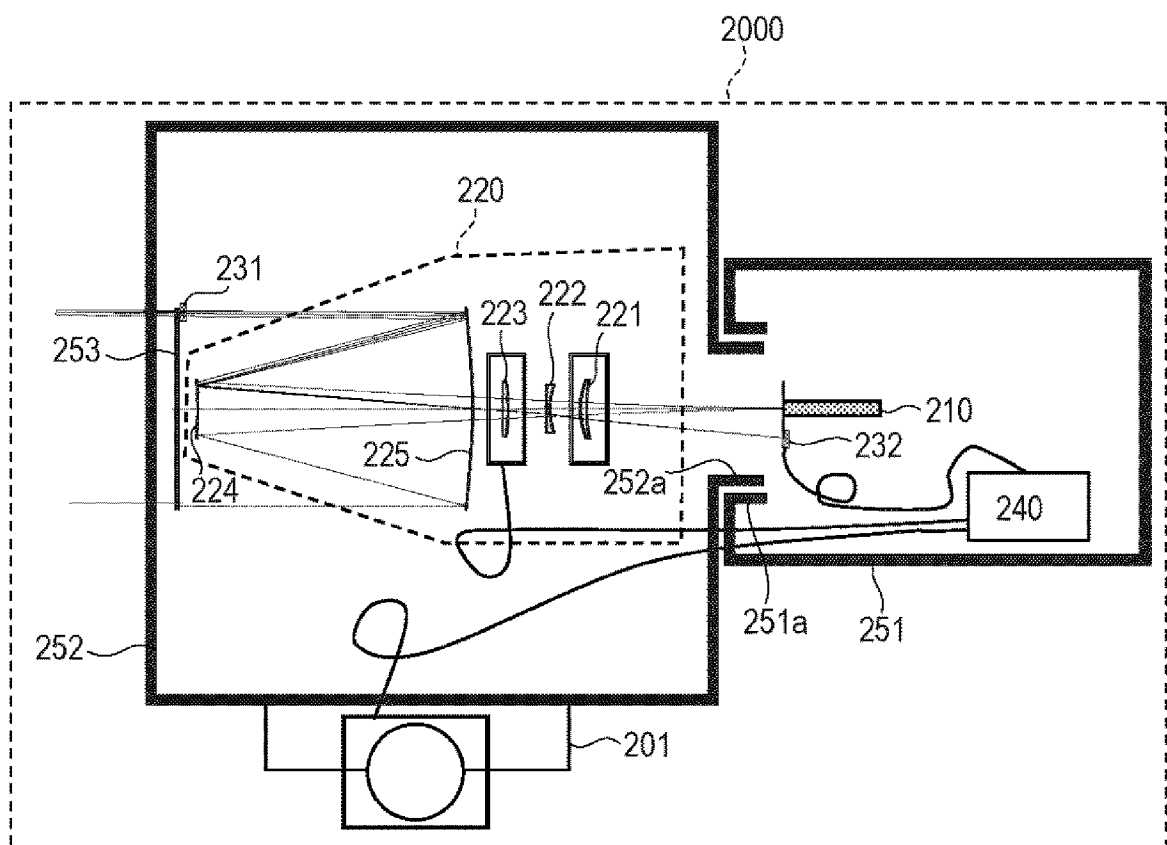
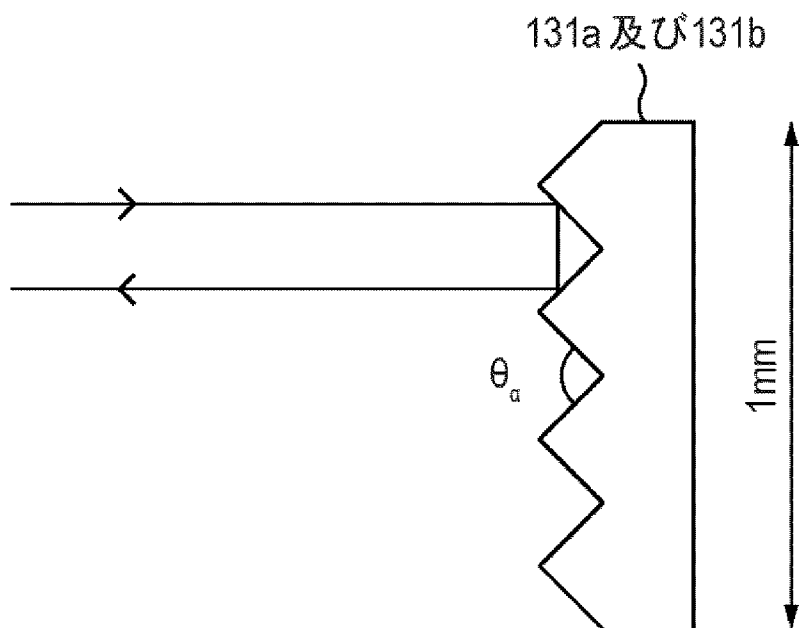
- [請求項21] 前記補正機構は、前記通信光受光手段に対する前記通信光の入射角を変化させるために、位置や傾きを変化させる、透過光学部材を含むことを特徴とする請求項18に記載の光伝送装置。
- [請求項22] 前記補正機構は、前記第1の通信光受光手段に対する前記第1の通信光の入射角を変化させるために、位置や傾きを変化させる、透過光学部材を含むことを特徴とする請求項19に記載の光伝送装置。
- [請求項23] 前記補正機構は、前記第2の射出受光手段に対する前記第1の通信光の入射角を変化させるために、位置や傾きを変化させる、透過光学部材を含むことを特徴とする請求項20に記載の光伝送装置。
- [請求項24] 前記補正機構は、前記受光光学系の向きを変化させる機構を含むことを特徴とする請求項18又は21に記載の光伝送装置。
- [請求項25] 前記補正機構は、前記第1の受光光学系の向きを変化させる機構を含むことを特徴とする請求項19又は22に記載の光伝送装置。
- [請求項26] 前記補正機構は、前記第2の光学系の向きを変化させる機構を含むことを特徴とする請求項20又は23に記載の光伝送装置。

[図1]

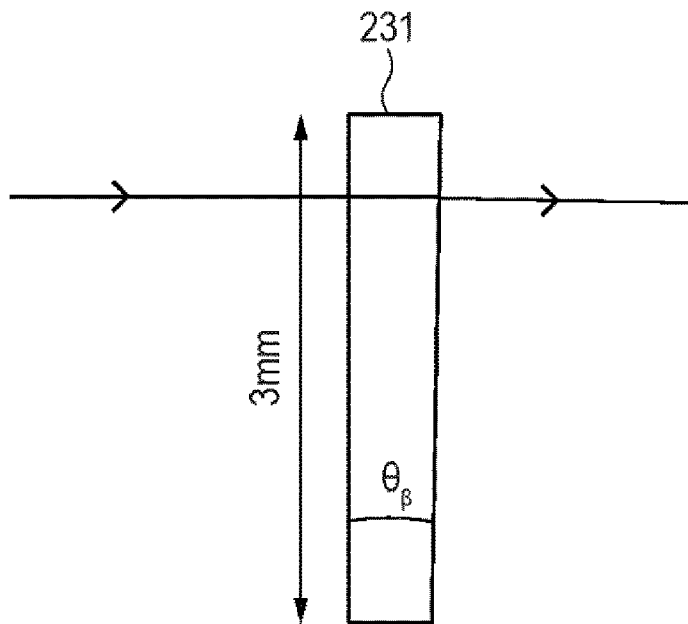


[図2A]



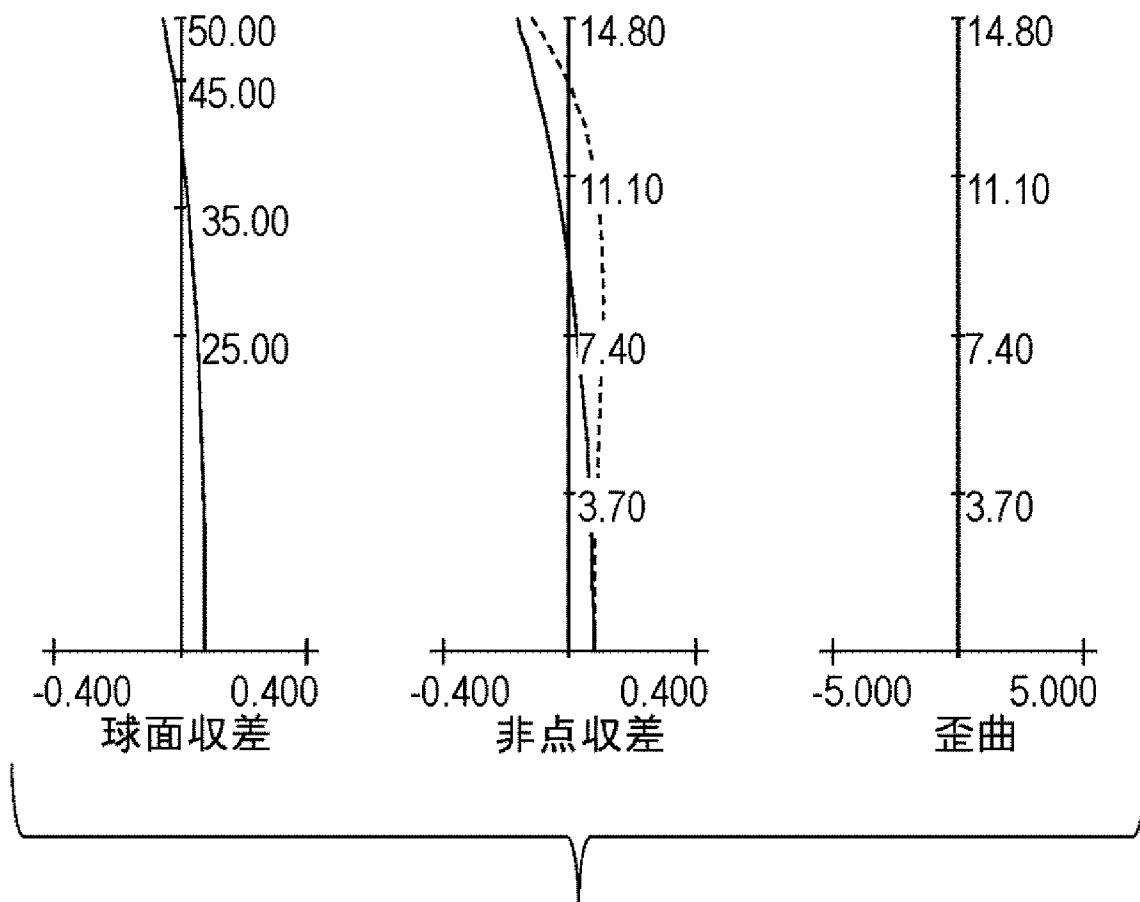


[図3B]

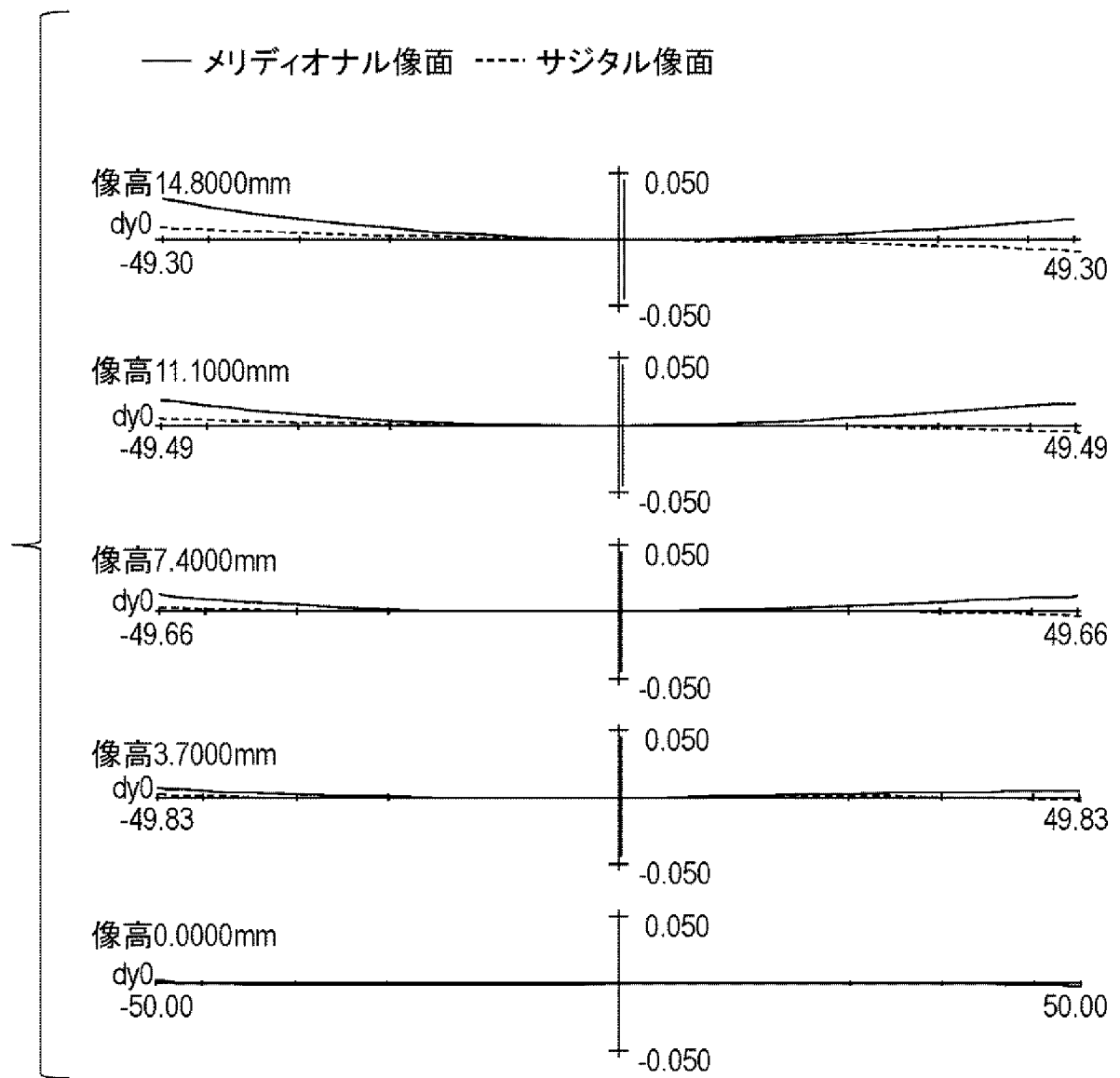


[図4]

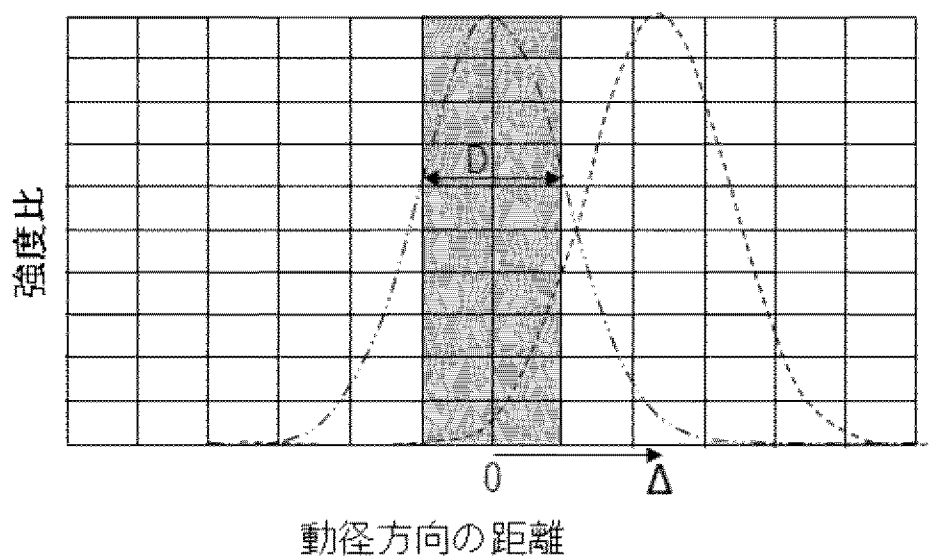
— メリディオナル像面  
----- サジタル像面



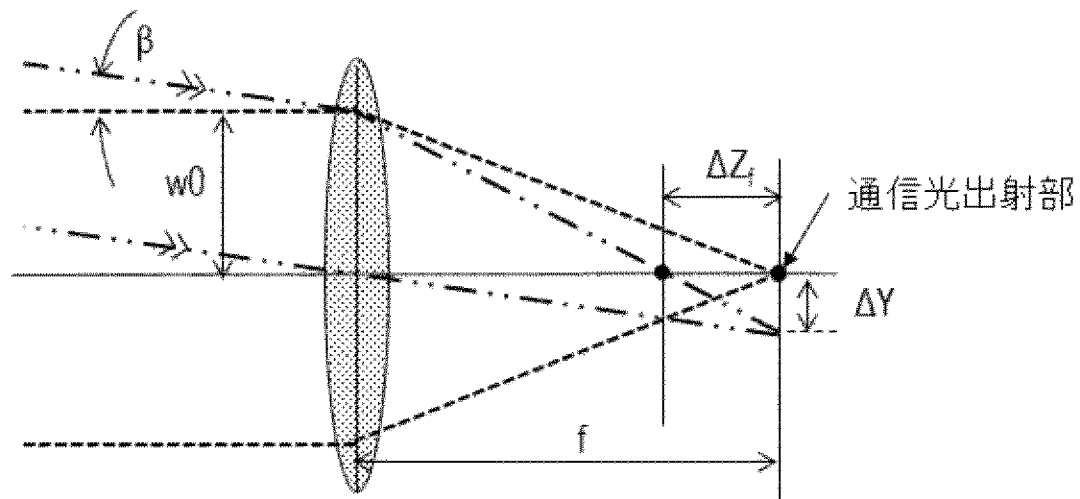
[図5]



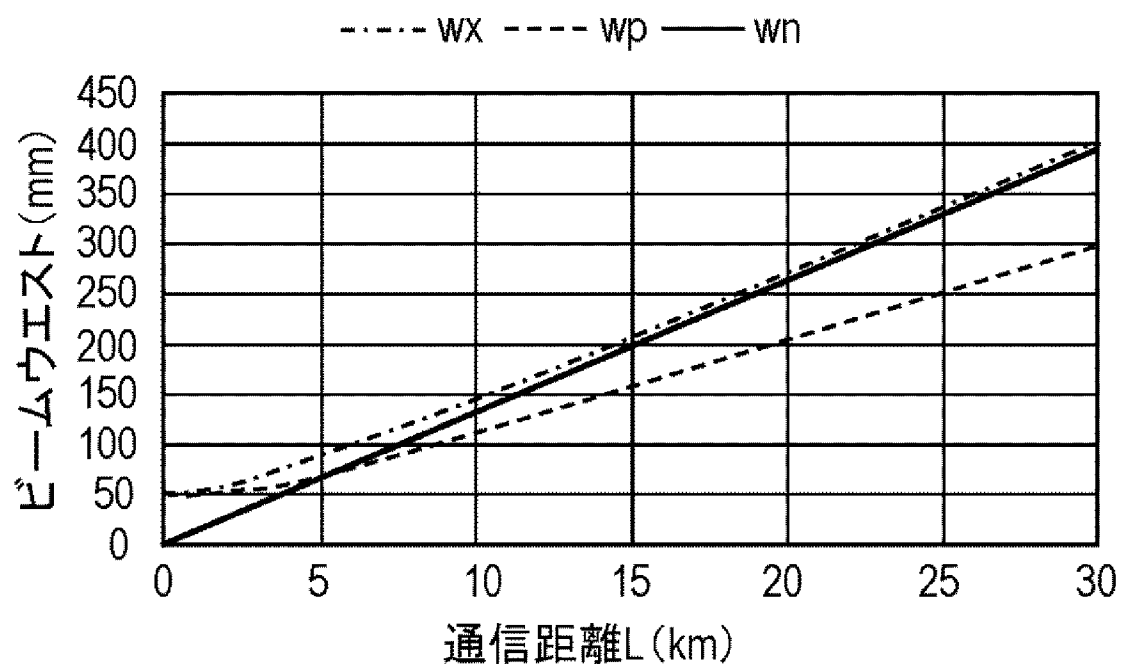
[図6]



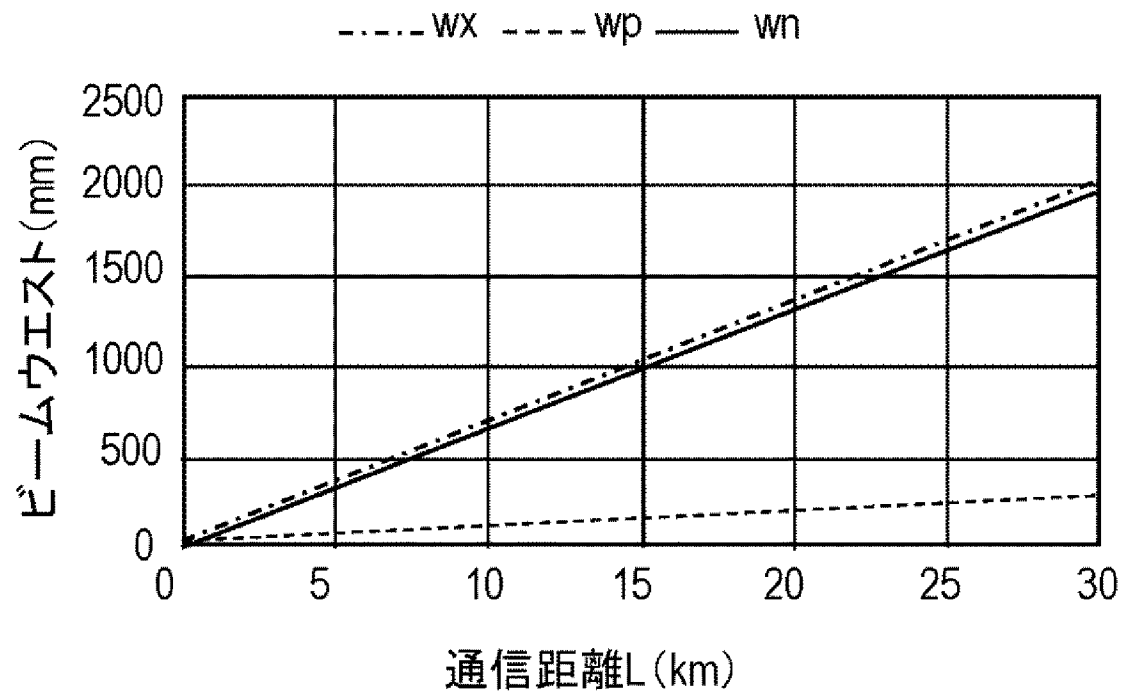
[図7]



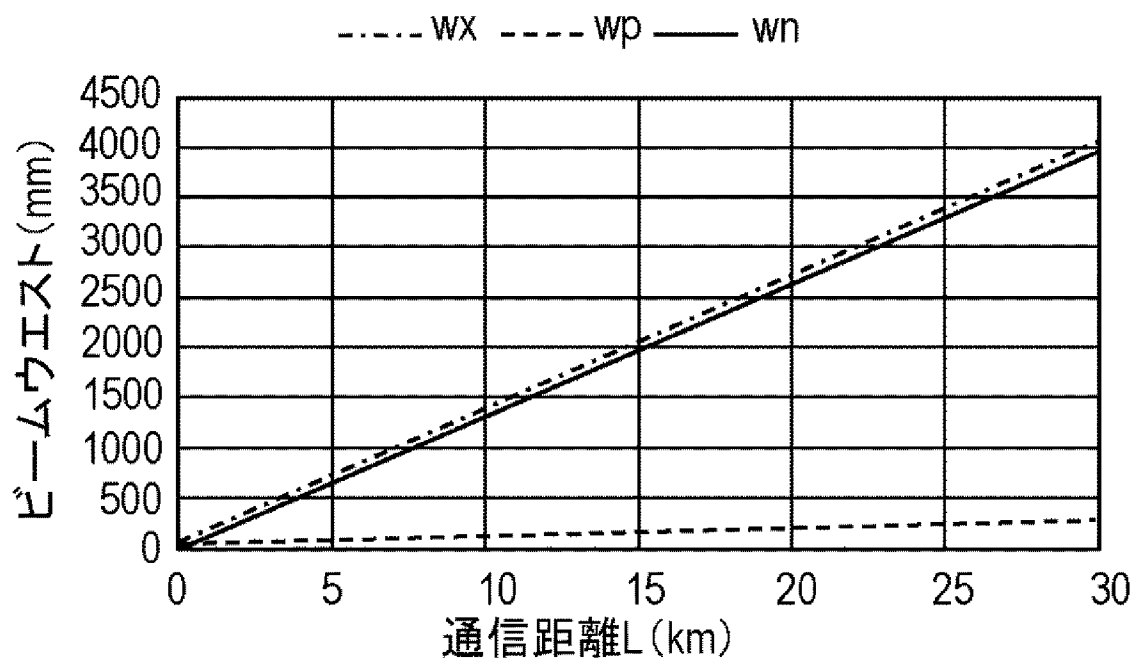
[図8A]



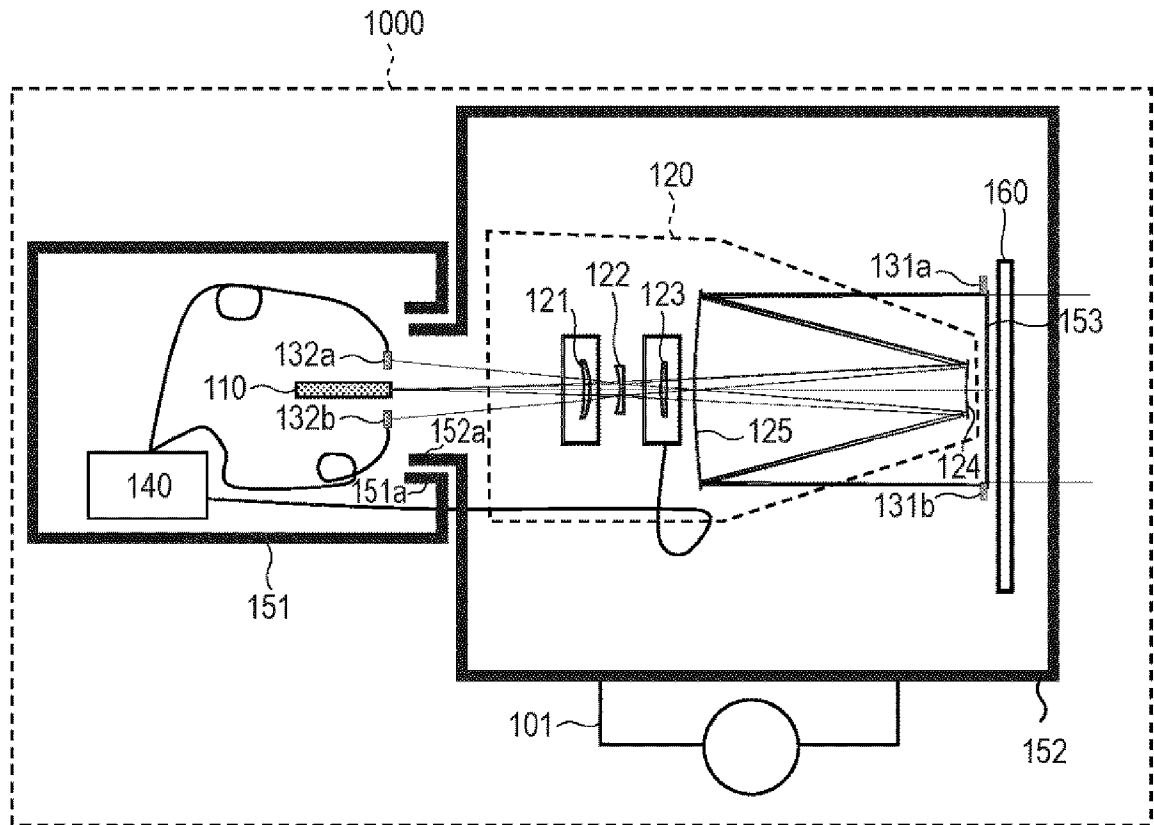
[図8B]



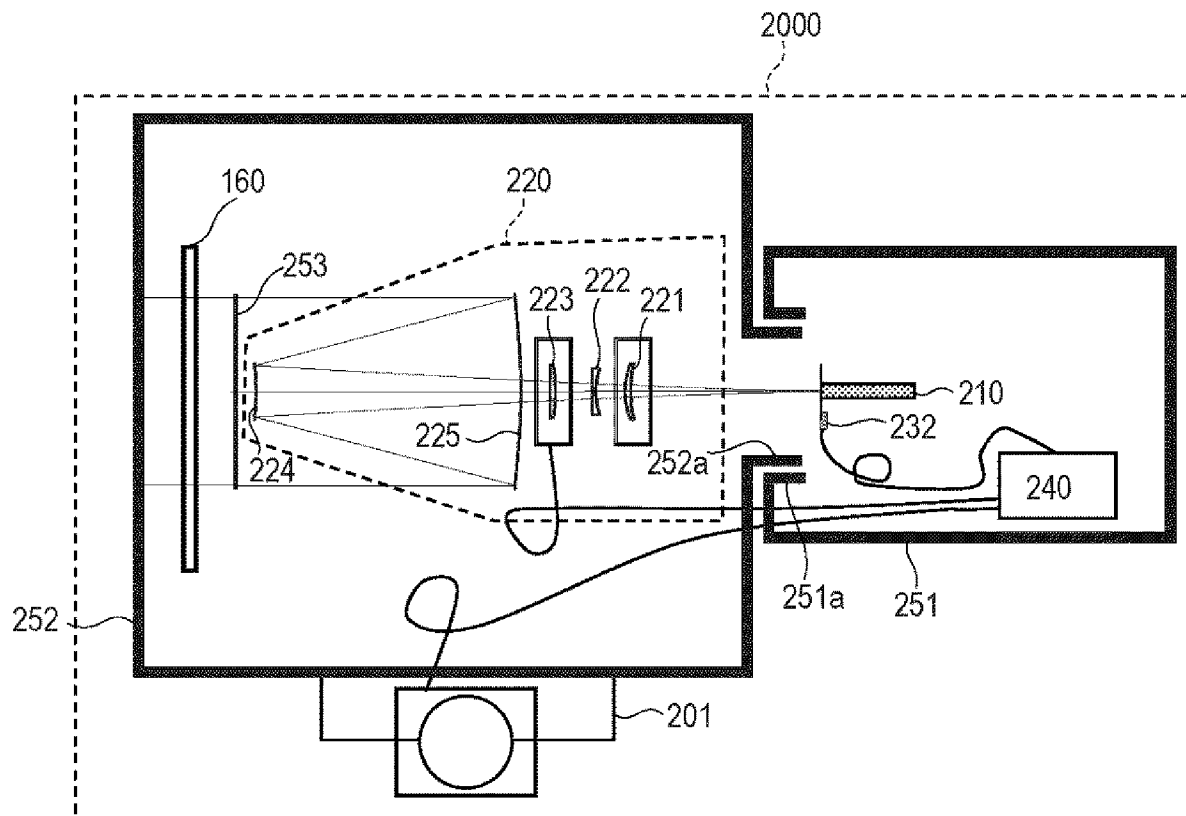
[図8C]



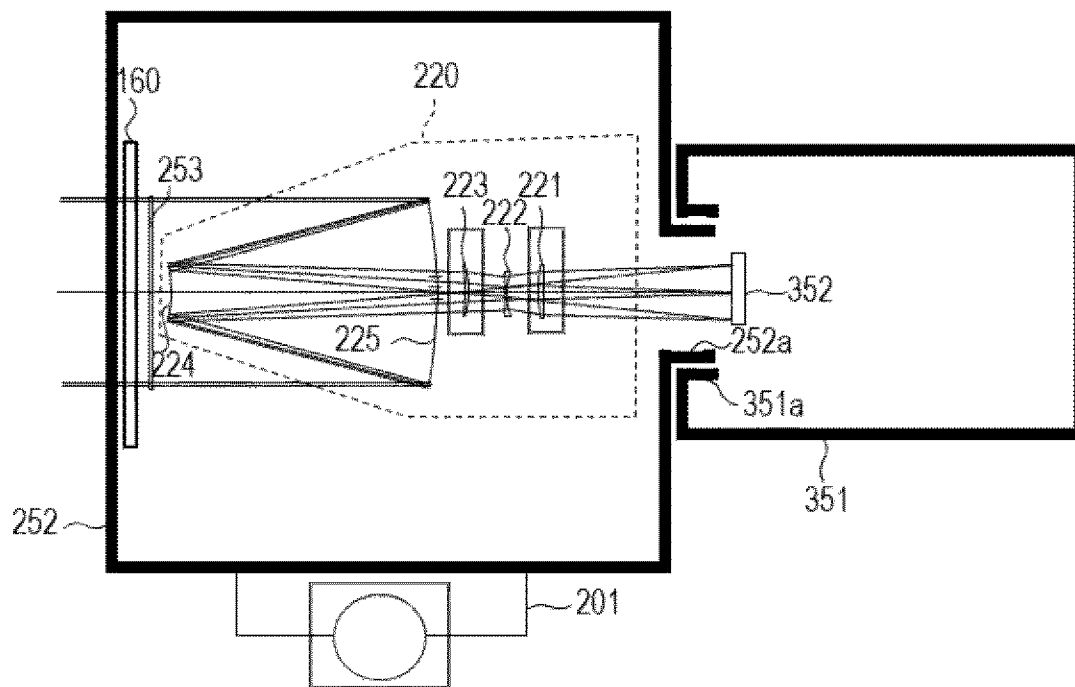
[図9]



[図10]



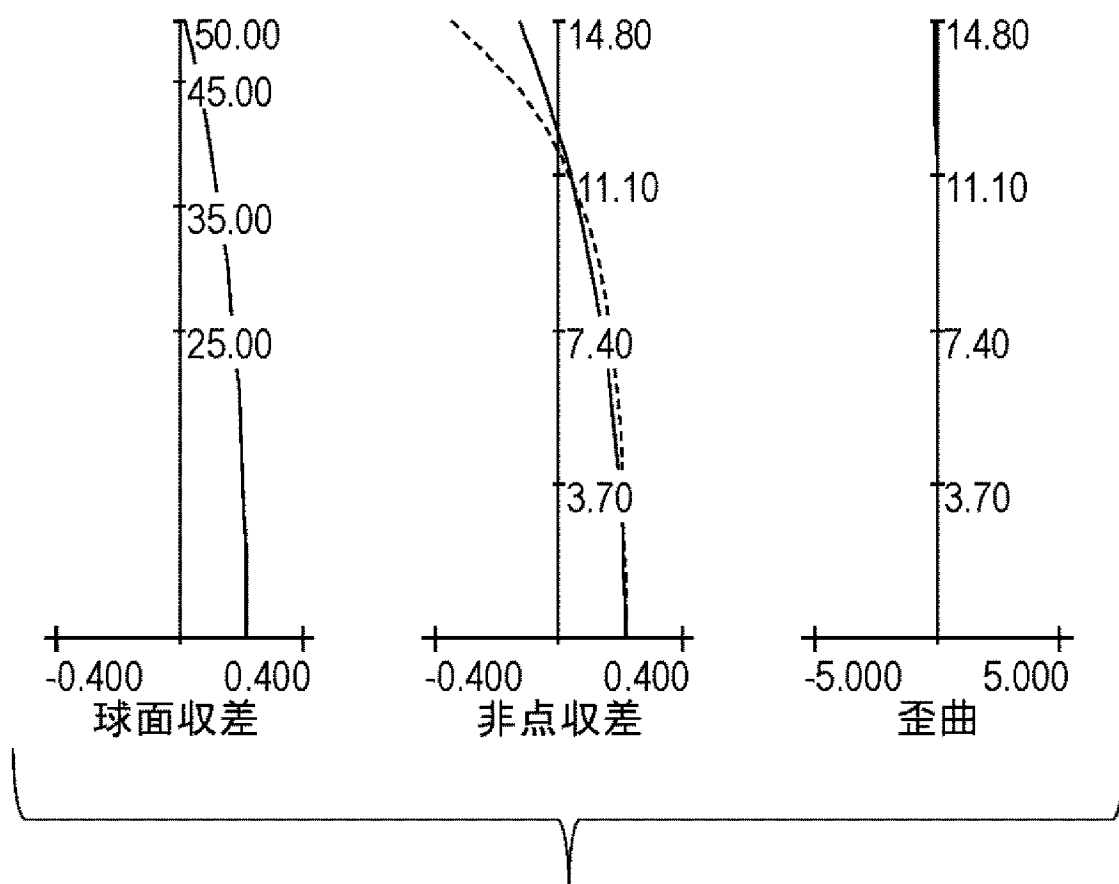
[図11]



[図12]

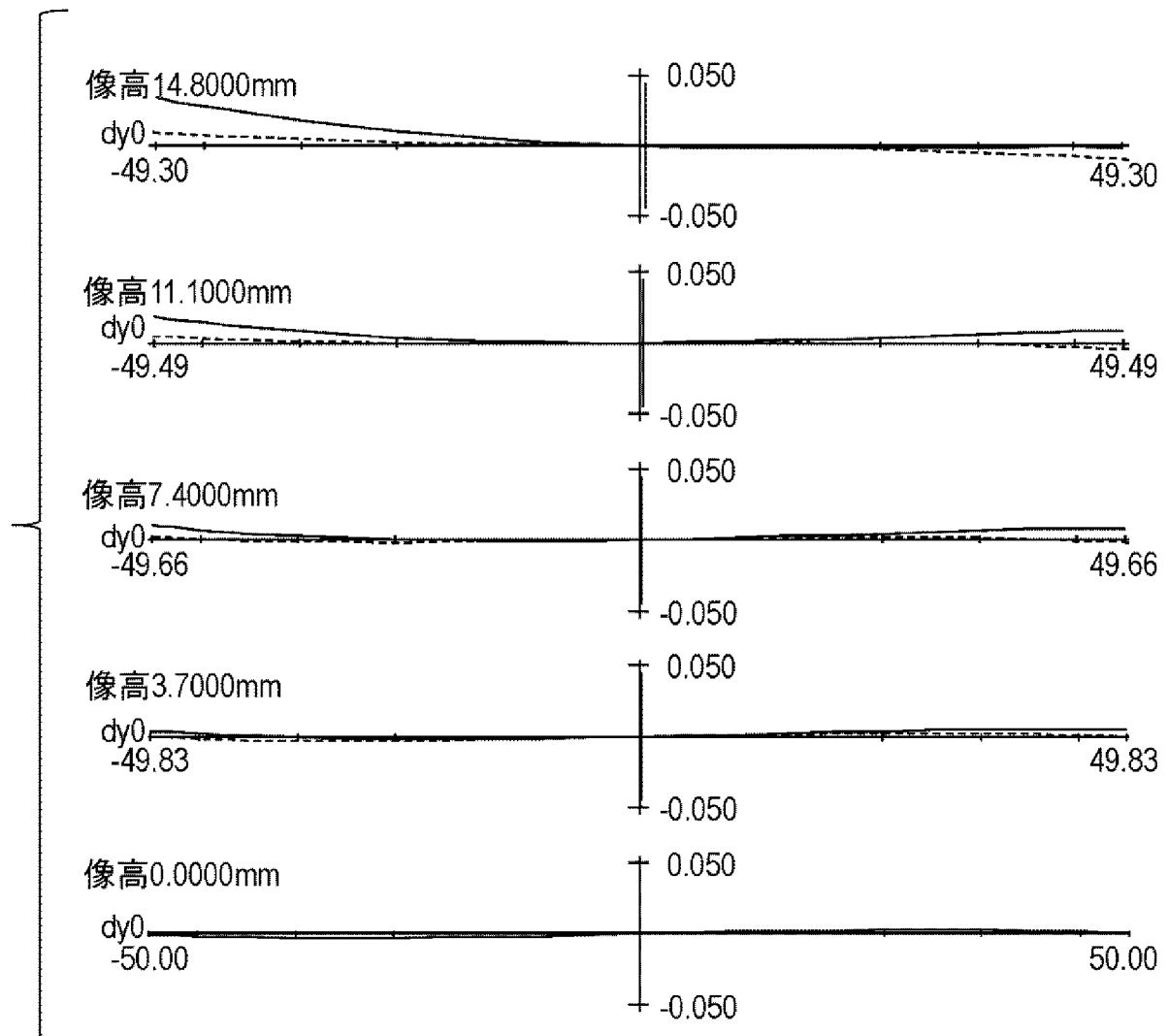
— メリディオナル像面

----- サジタル像面

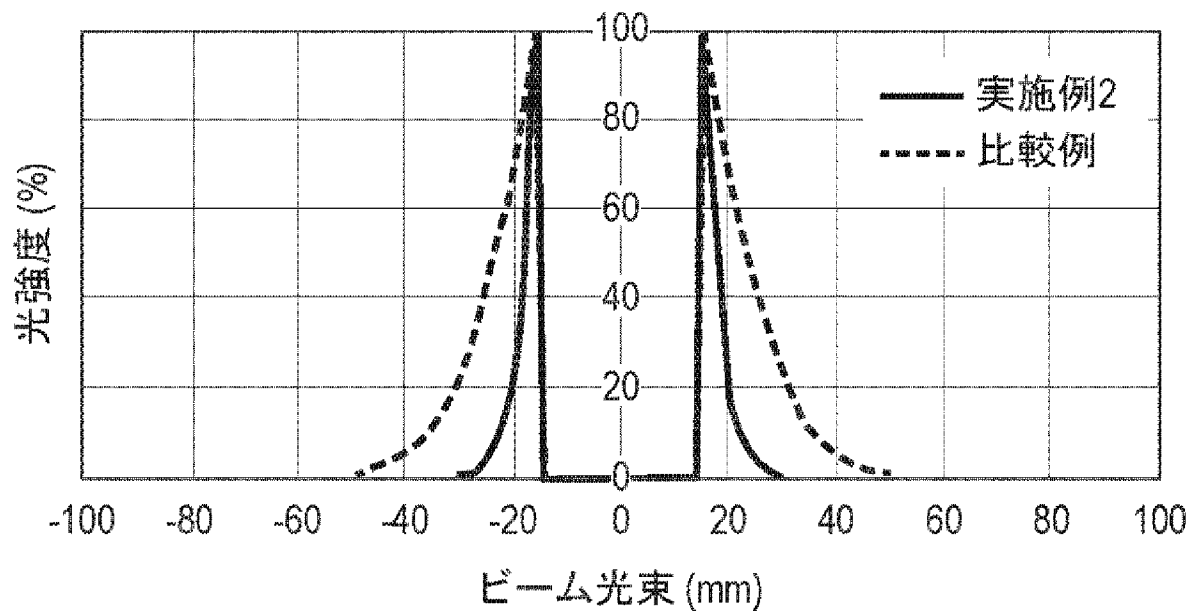


[図13]

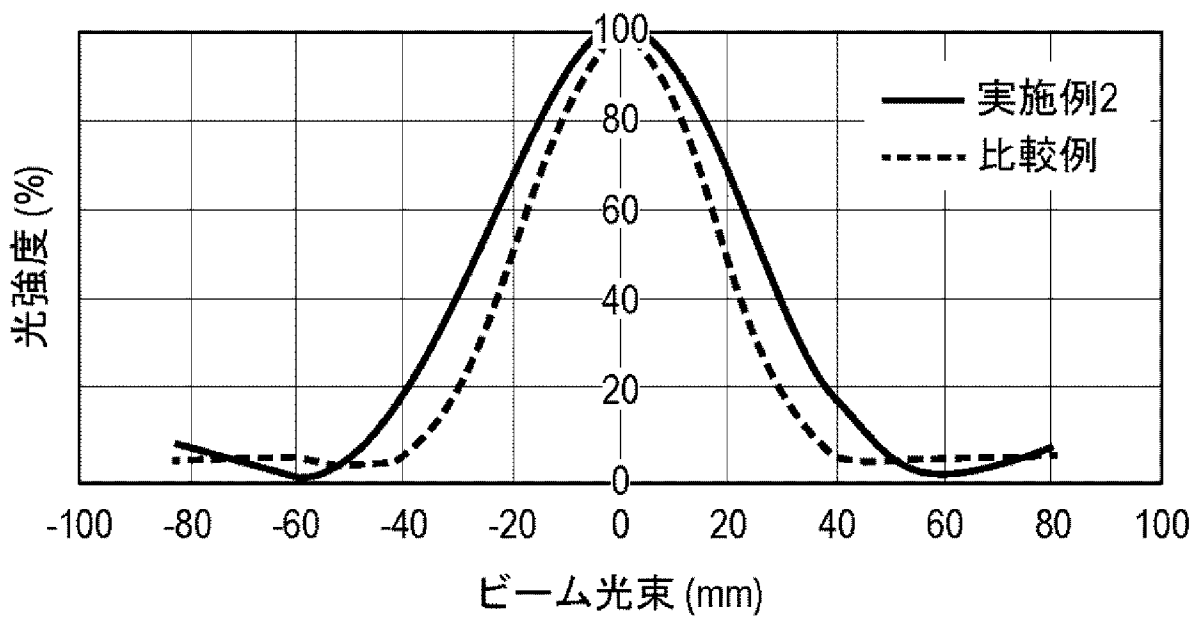
— メリディオナル像面    - - - - サジタル像面



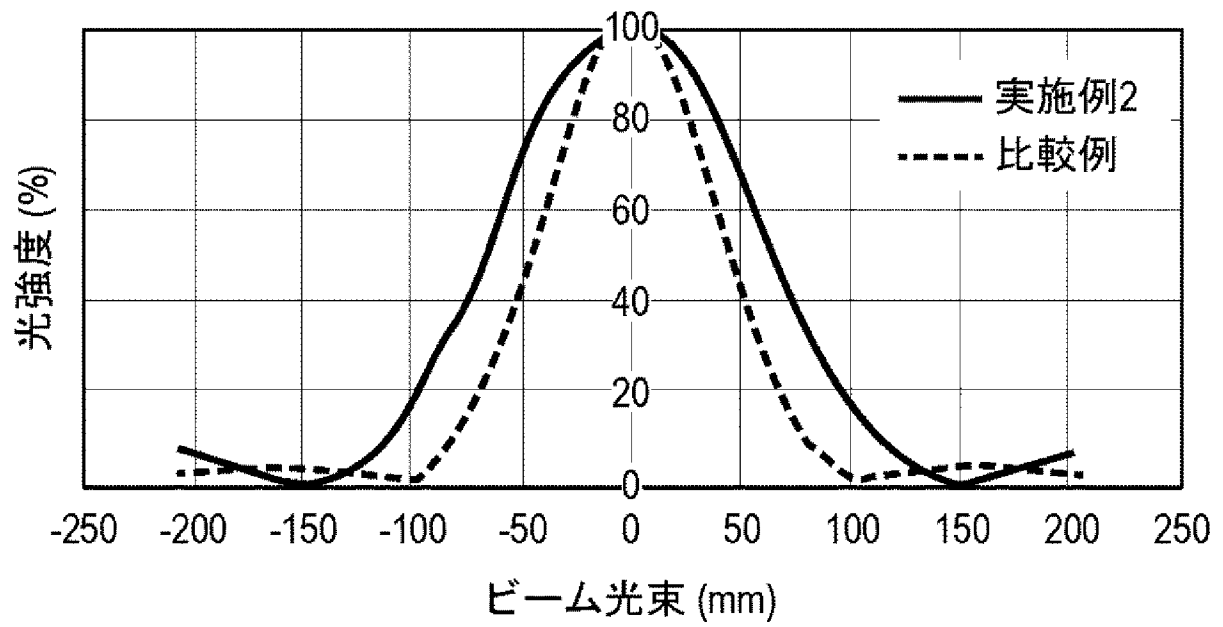
[図14A]



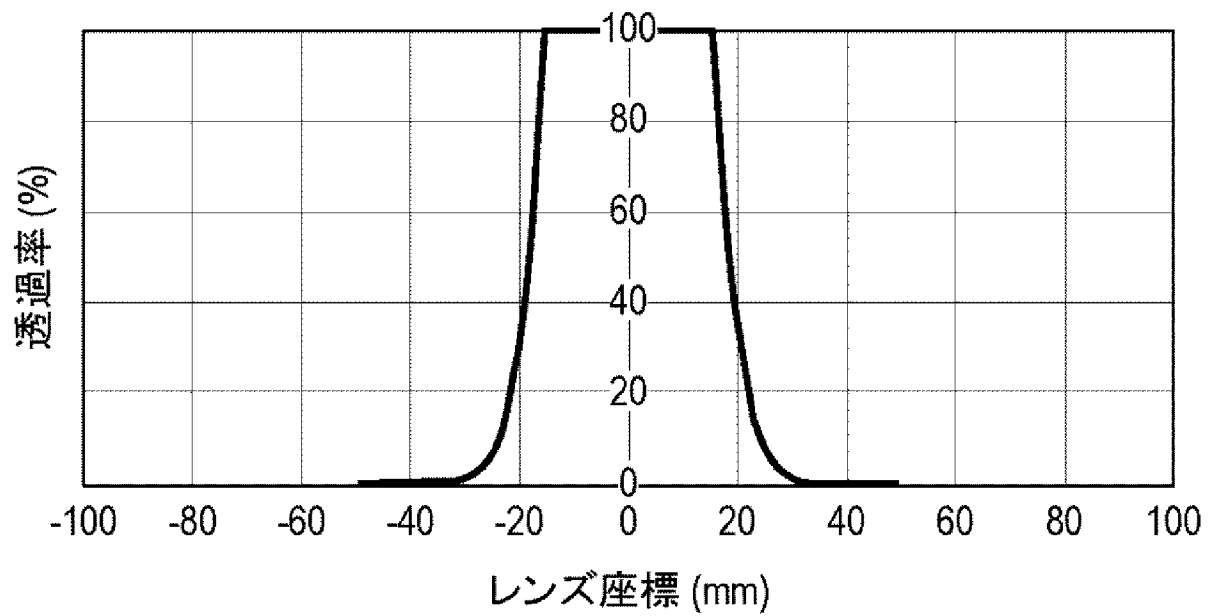
[図14B]



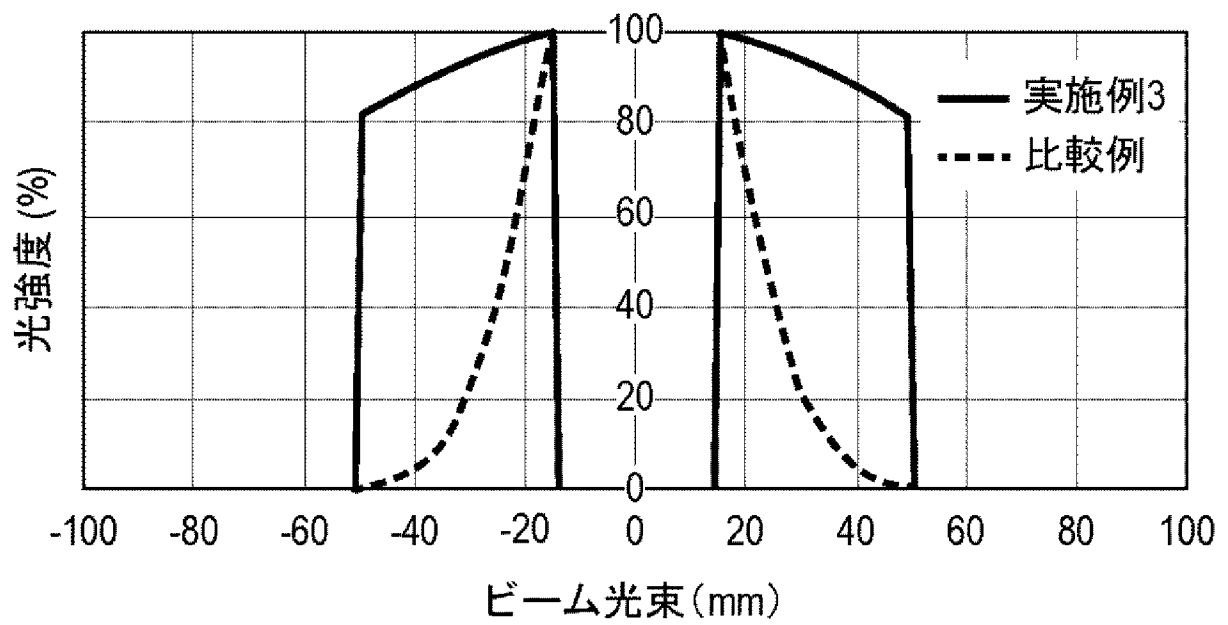
[図14C]



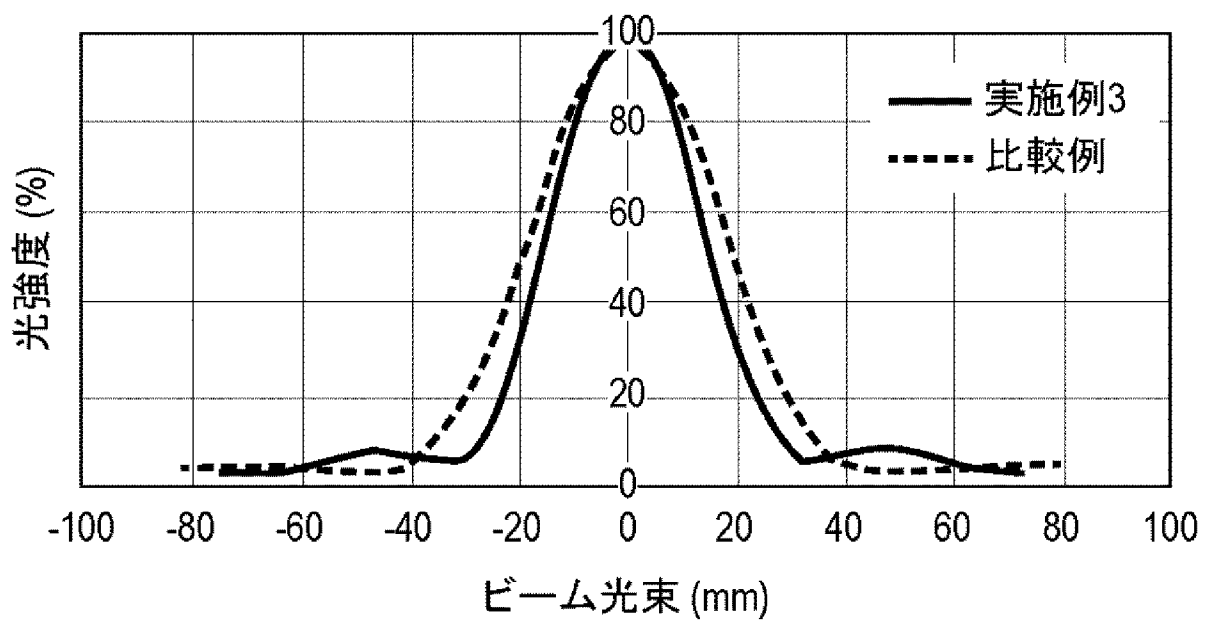
[図15]



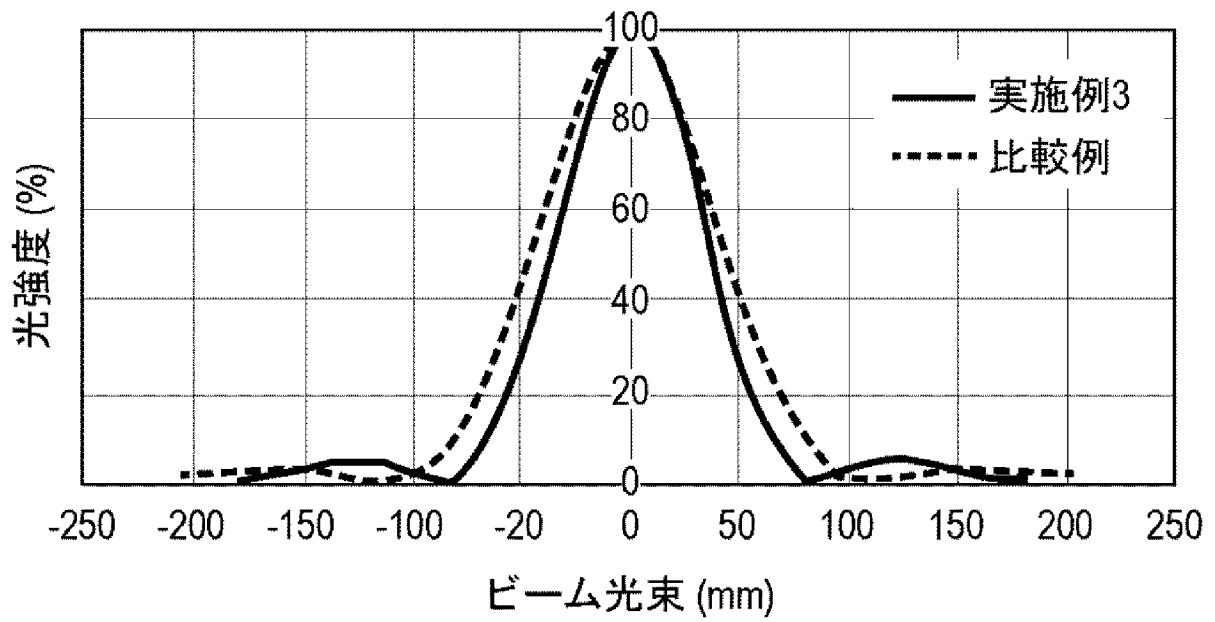
[図16A]



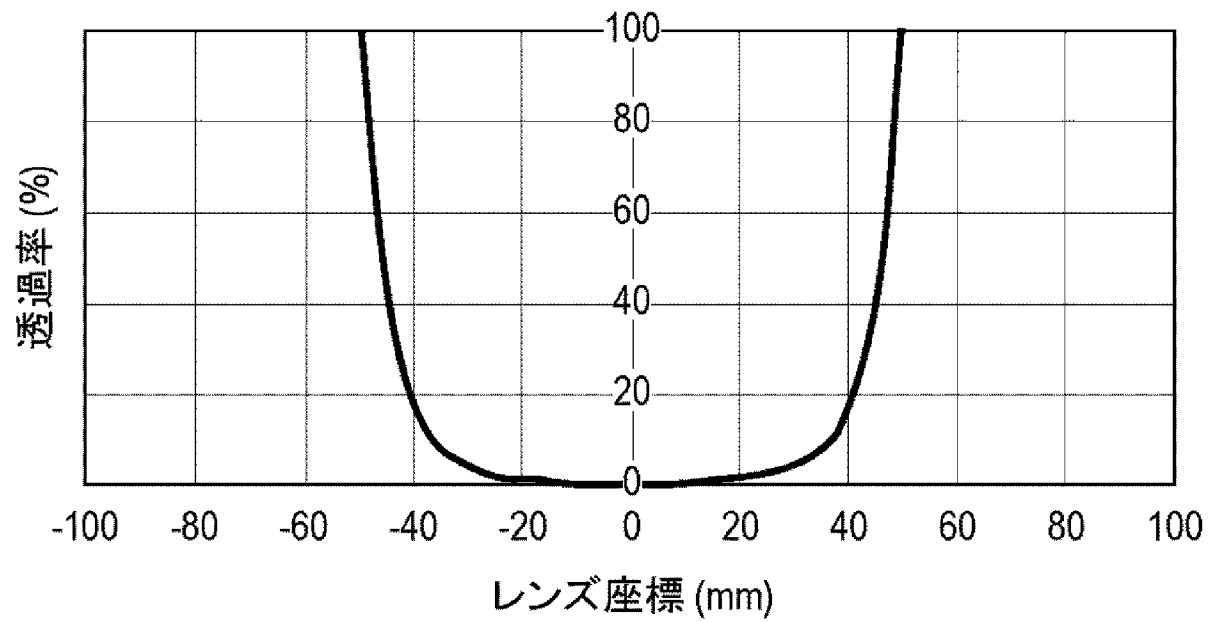
[図16B]



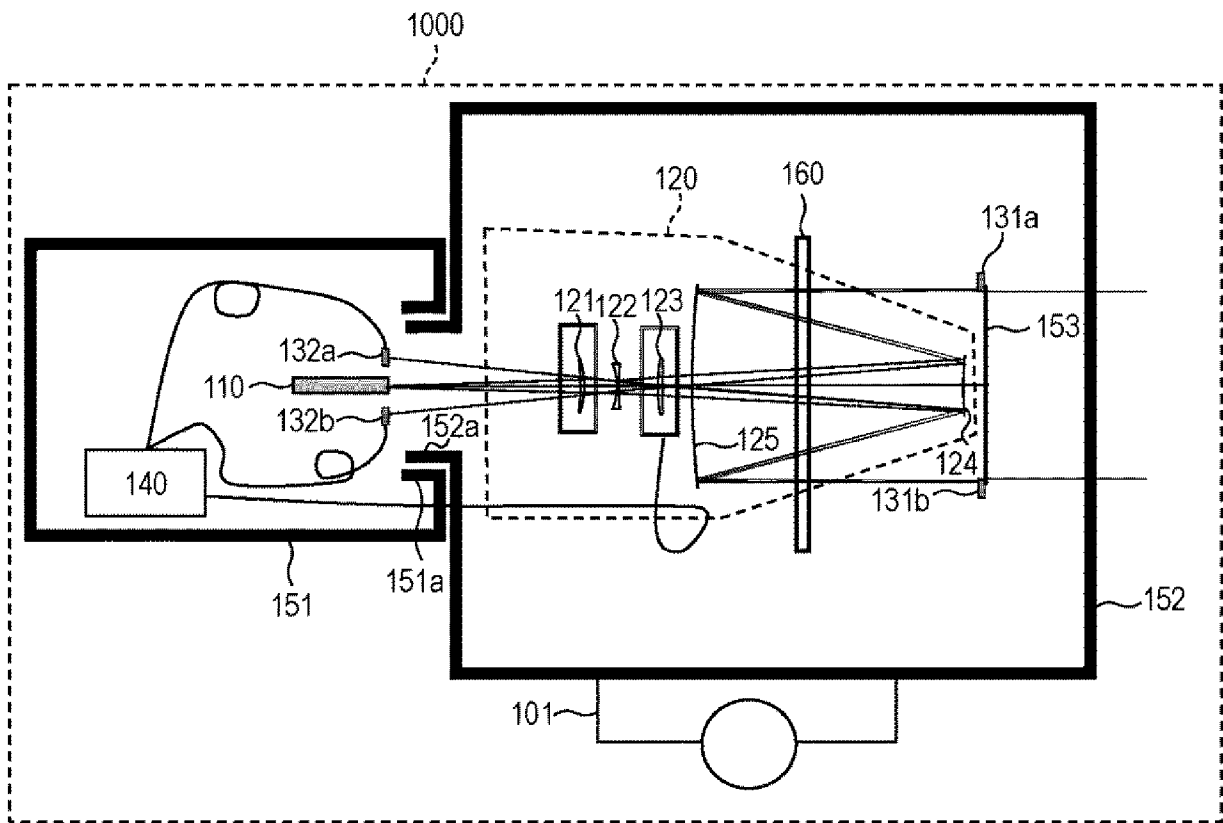
[図16C]



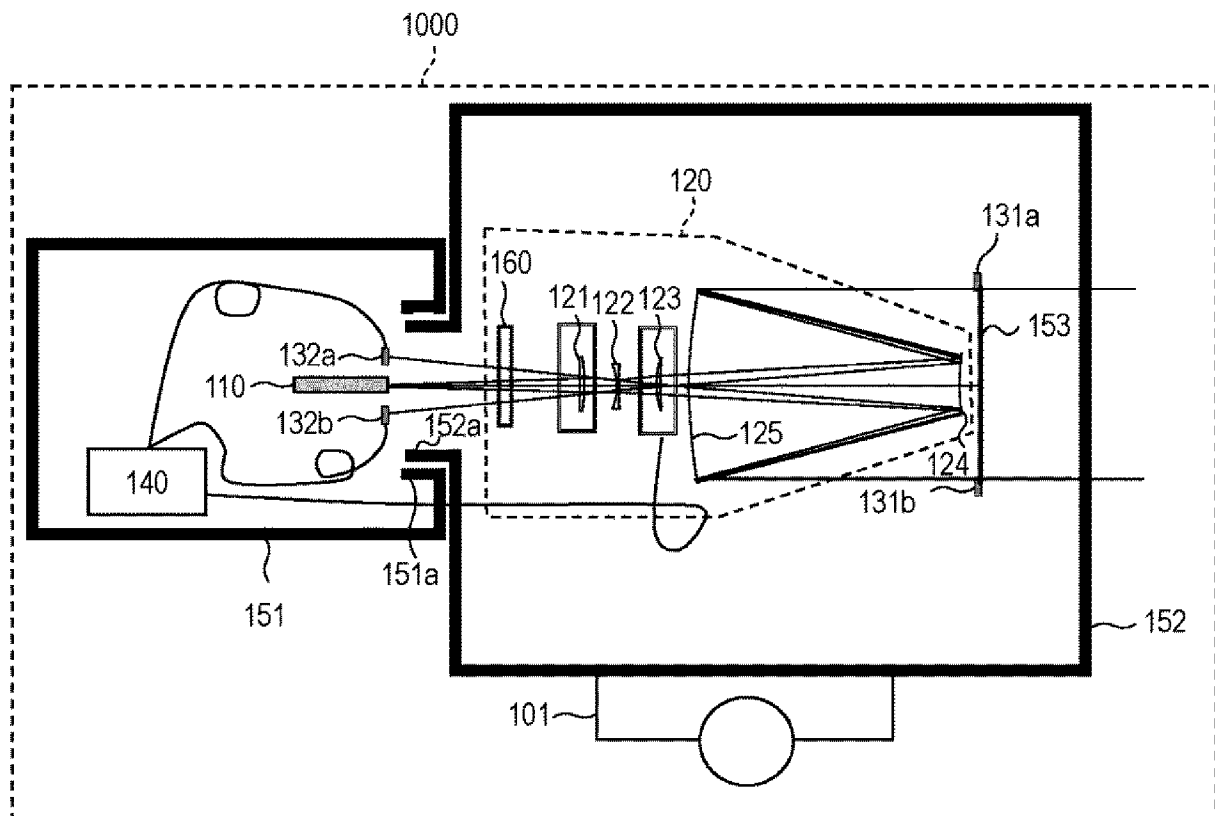
[図17]



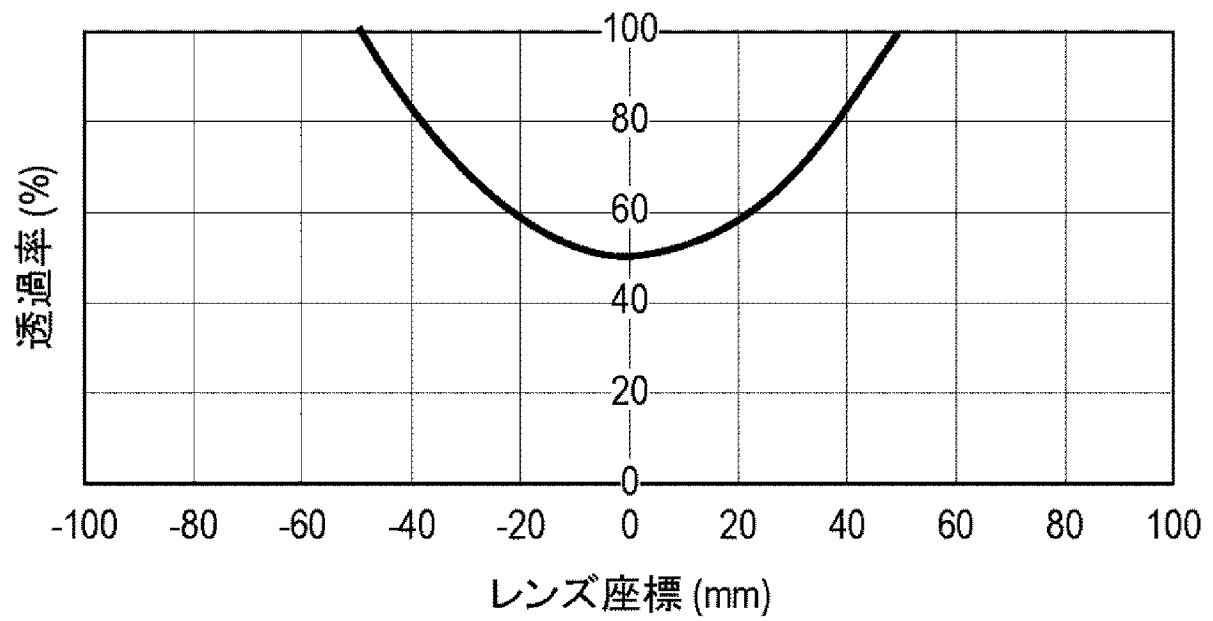
[図18]



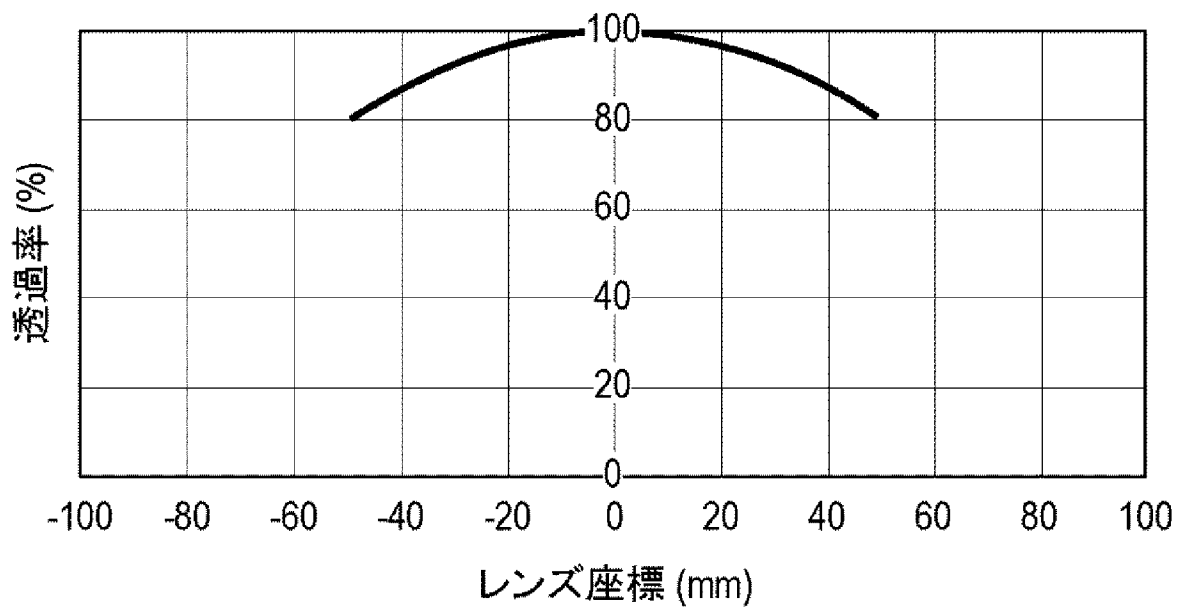
[図19]



[図20]



[図21]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/008529

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****H04B 10/11**(2013.01)i; **G02B 27/09**(2006.01)i; **H04B 10/112**(2013.01)i

FI: H04B10/11; G02B27/09; H04B10/112

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)

H04B10/11; G02B27/09; H04B10/112

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 1971-2022  
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022  
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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 2005-229253 A (OLYMPUS CORP) 25 August 2005 (2005-08-25)<br>paragraphs [0010]-[0036], fig. 1-5                | 1, 13, 14                               |
| Y         |                                                                                                                  | 1, 3, 13, 14, 18,<br>20, 21, 23, 24, 26 |
| A         |                                                                                                                  | 2, 4-12, 15-<br>17, 19, 22, 25          |
| Y         | WO 2014/181871 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 13 November 2014<br>(2014-11-13)<br>paragraphs [0036]-[0038] | 1, 13, 14, 18, 21, 24                   |
| Y         | paragraphs [0010]-[0035], fig. 1-8                                                                               | 3, 13, 14, 20, 23, 26                   |
| A         |                                                                                                                  | 2, 4-12, 15-<br>17, 19, 22, 25          |
| Y         | JP 2000-171293 A (CANON INC) 23 June 2000 (2000-06-23)<br>paragraphs [0002]-[0013], fig. 8                       | 1,13,14,18, 21, 24                      |

☒ 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

20 May 2022

Date of mailing of the international search report

07 June 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)  
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915  
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/JP2022/008529****C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                    | Relevant to claim No.  |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Y         | JP 11-205235 A (CANON INC) 30 July 1999 (1999-07-30)<br>paragraphs [0002]-[0011], fig. 8-12                                           | 18, 20, 21, 23, 24, 26 |
| Y         | JP 64-5126 A (NEC CORP) 10 January 1989 (1989-01-10)<br>p. 2, lower left column, line 12 to p. 3, lower right column, line 15, fig. 1 | 18, 20, 21, 23, 24, 26 |
| A         | JP 2009-504110 A (ITT MANUFACTURING ENTERPRISES, INC) 29 January 2009<br>(2009-01-29)                                                 | 1-26                   |
| A         | WO 99/20002 A1 (SEIKO EPSON CORPORATION) 22 April 1999 (1999-04-22)                                                                   | 1-26                   |
| A         | WO 02/073835 A1 (OPTICAL CROSSING, INC.) 19 September 2002 (2002-09-19)                                                               | 1-26                   |

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

International application No.

**PCT/JP2022/008529**

| Patent document<br>cited in search report |             |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|-------------|----|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| JP                                        | 2005-229253 | A  | 25 August 2005                       | (Family: none)          |                                      |
| WO                                        | 2014/181871 | A1 | 13 November 2014                     | US 2016/0094290 A1      | paragraphs [0040]-[0125], fig. 1-8   |
| JP                                        | 2000-171293 | A  | 23 June 2000                         | (Family: none)          |                                      |
| JP                                        | 11-205235   | A  | 30 July 1999                         | (Family: none)          |                                      |
| JP                                        | 64-5126     | A  | 10 January 1989                      | (Family: none)          |                                      |
| JP                                        | 2009-504110 | A  | 29 January 2009                      | WO 2008/048219 A2       |                                      |
| WO                                        | 99/20002    | A1 | 22 April 1999                        | US 6219133 B1           |                                      |
|                                           |             |    |                                      | CN 1166089 C            |                                      |
|                                           |             |    |                                      | KR 10-0569616 B1        |                                      |
| WO                                        | 02/073835   | A1 | 19 September 2002                    | US 2002/0131121 A1      |                                      |

| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））<br>H04B 10/11(2013.01)i; G02B 27/09(2006.01)i; H04B 10/112(2013.01)i<br>FI: H04B10/11; G02B27/09; H04B10/112                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                |                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 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））<br>H04B10/11; G02B27/09; H04B10/112                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                |                                                                      |
| 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<br>日本国実用新案公報 1922-1996年<br>日本国公開実用新案公報 1971-2022年<br>日本国実用新案登録公報 1996-2022年<br>日本国登録実用新案公報 1994-2022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<br>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<br>請求項の番号                                                       |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | JP 2005-229253 A（オリンパス株式会社）25.08.2005（2005 - 08 - 25）<br>段落[0010]-[0036], 図1-5 | 1, 13, 14                                                            |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                | 1, 3, 13, 14, 18,<br>20, 21, 23, 24, 26                              |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                | 2, 4-12, 15-<br>17, 19, 22, 25                                       |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | WO 2014/181871 A1（三菱電機株式会社）13.11.2014（2014 - 11 - 13）<br>段落[0036]-[0038]       | 1, 13, 14, 18, 21, 24                                                |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 段落[0010]-[0035], 図1-8                                                          | 3, 13, 14, 20, 23, 26                                                |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                | 2, 4-12, 15-<br>17, 19, 22, 25                                       |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | JP 2000-171293 A（キヤノン株式会社）23.06.2000（2000 - 06 - 23）<br>段落[0002]-[0013], 図8    | 1, 13, 14, 18, 21, 24                                                |
| Y                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | JP 11-205235 A（キヤノン株式会社）30.07.1999（1999 - 07 - 30）<br>段落[0002]-[0011], 図8-12   | 18, 20, 21, 23, 24, 26                                               |
| <input checked="" 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<br>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの<br>“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<br>“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）<br>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>“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<br>“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<br>“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<br>“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<br>“&” 同一パテントファミリー文献 |                                                                                |                                                                      |
| 国際調査を完了した日<br>20.05.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                | 国際調査報告の発送日<br>07.06.2022                                             |
| 名称及びあて先<br>日本国特許庁(ISA/JP)<br>〒100-8915<br>日本国<br>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）<br><br>鴨川 学 5K 6307<br><br>電話番号 03-3581-1101 内線 3556 |

| C. 関連すると認められる文献 |                                                                                                |                        |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号         |
| Y               | JP 64-5126 A (日本電気株式会社) 10.01.1989 (1989 - 01 - 10)<br>第2頁左下欄第12行-第3頁右下欄第15行, 第1図              | 18, 20, 21, 23, 24, 26 |
| A               | JP 2009-504110 A (アイティーティー マニユファクチャリング エンタープライゼー<br>ズ, インコーポレイテッド) 29.01.2009 (2009 - 01 - 29) | 1-26                   |
| A               | WO 99/20002 A1 (セイコーエプソン株式会社) 22.04.1999 (1999 - 04 - 22)                                      | 1-26                   |
| A               | WO 02/073835 A1 (OPTICAL CROSSING, INC.) 19.09.2002 (2002 - 09 - 19)                           | 1-26                   |

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/JP2022/008529

| 引用文献 |             |    | 公表日        | パテントファミリー文献           | 公表日 |
|------|-------------|----|------------|-----------------------|-----|
| JP   | 2005-229253 | A  | 25.08.2005 | (ファミリーなし)             |     |
| WO   | 2014/181871 | A1 | 13.11.2014 | US 2016/0094290 A1    |     |
|      |             |    |            | 段落[0040]-[0125], 図1-8 |     |
| JP   | 2000-171293 | A  | 23.06.2000 | (ファミリーなし)             |     |
| JP   | 11-205235   | A  | 30.07.1999 | (ファミリーなし)             |     |
| JP   | 64-5126     | A  | 10.01.1989 | (ファミリーなし)             |     |
| JP   | 2009-504110 | A  | 29.01.2009 | WO 2008/048219 A2     |     |
| WO   | 99/20002    | A1 | 22.04.1999 | US 6219133 B1         |     |
|      |             |    |            | CN 1166089 C          |     |
|      |             |    |            | KR 10-0569616 B1      |     |
| WO   | 02/073835   | A1 | 19.09.2002 | US 2002/0131121 A1    |     |