

(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
2017 年 3 月 2 日(02.03.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/033445 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 17/08 (2006.01) **G03B 21/14** (2006.01)
G02B 13/18 (2006.01) **G03B 21/00** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/003789
- (22) 国際出願日: 2016 年 8 月 19 日(19.08.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-163476 2015 年 8 月 21 日(21.08.2015) JP
- (71) 出願人: セイコーエプソン株式会社 (SEIKO EPSON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1608801 東京都新宿区新宿四丁目 1 番 6 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 峯藤 延孝 (MINEFUJI, Nobutaka); 〒3928502 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号セイコーエプソン株式会社内 Nagano (JP).
- (74) 代理人: 渡辺 和昭, 外 (WATANABE, Kazuaki et al.); 〒3998702 長野県松本市寿小赤 2 0 7 0 セイコーエプソン株式会社 知的財産本部内 Nagano (JP).

- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

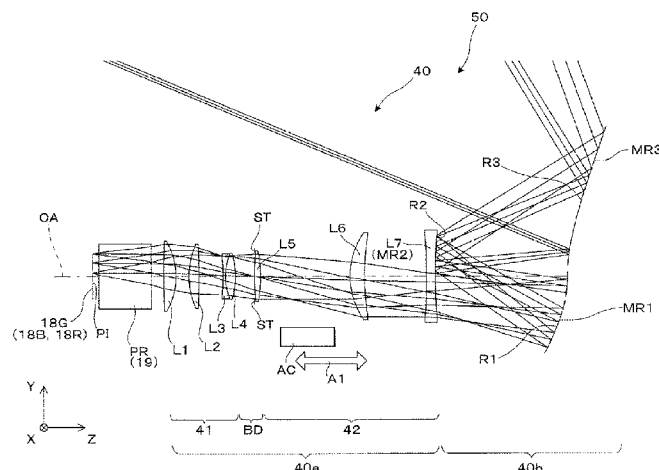
添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: PROJECTION OPTICAL SYSTEM AND PROJECTOR

(54) 発明の名称: 投射光学系及びプロジェクター

[図3]



(57) Abstract: To provide a projection optical system capable of performing proximity projection while being compact, and a projector that is provided with the projection optical system. A projection optical system 40 is provided with a first optical group 40a that is a refractive optical system, and a second optical group 40b that is a reflection optical system. The second optical group 40b includes first to third reflection optical systems MR1-MR3, which respectively have a first reflecting surface having a concave shape, a second reflecting surface having a curved shape, and a third reflecting surface having a convex shape. The first to third reflection optical systems MR1-MR3 satisfy conditional formula (1) relating to focal point distance. Image light outputted from the first optical group 40a is reflected by the second optical group 40b, and is projected to a surface to which the light is to be projected.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2017/033445 A1



コンパクトながら近接投射が可能な投射光学系、及び当該投射光学系を備えたプロジェクターを提供すること。投射光学系40は、屈折光学系である第1光学群40aと反射光学系である第2光学群40bとを備えている。第2光学群40bは、凹面形状を有する第1反射面、曲面形状を有する第2反射面及び凸面形状を有する第3反射面をそれぞれ有する第1～第3反射光学系MR1～MR3を含む。第1～第3反射光学系MR1～MR3は、焦点距離に関する条件式(1)を満たす。第1光学群40aから射出された画像光は第2光学群40bによって反射され、被投射面に投射される。

明 細 書

発明の名称： 投射光学系及びプロジェクター

技術分野

[0001] 本発明は、画像表示素子の画像を拡大投影するプロジェクターへの組み込みに適した投射光学系及びこれを用いたプロジェクターに関する。

背景技術

[0002] 近年、近距離から投射して大画面を得ることが可能なプロジェクター用の投射光学系として、例えば屈折光学系と１枚の非球面反射面とを用いるものが提案されている（例えば特許文献１等参照）。

[0003] しかしながら、例えば特許文献１（特開２００８－２５０２９６号）では、屈折光学系に非球面レンズを含み、また、再結像させるための非球面反射面が１枚であるため、屈折光学系にかなり負担がかかる。例えば、Ｆナンバーを明るくして、広い変倍範囲に対応しようとする、例えば複数の強い非球面を含めても１０数枚のレンズを必要とするといったことになる可能性がある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献１：特開２００８－２５０２９６号公報

発明の概要

[0005] 本発明は、上記背景に鑑みてなされたものであり、コンパクトながら近接投射が可能な投射光学系、及び当該投射光学系を備えたプロジェクターを提供することを目的とする。

[0006] 上記目的を達成するため、本発明に係る第１の投射光学系は、縮小側から順に設けられた、複数のレンズからなり正のパワーを有する屈折光学系と、反射光学系と、を備えた投射光学系であって、反射光学系は、屈折光学系から射出された光の光路上に屈折光学系側から順に設けられた第１反射光学系と第２反射光学系と第３反射光学系とを含み、第１反射光学系は、凹面形状

を有する第1反射面を含み、第2反射光学系は、曲面形状を有する第2反射面を含み、第3反射光学系は、凸面形状を有する第3反射面を含み、第1反射面、第2反射面及び第3反射面のうち少なくとも2つは非球面形状を有し、第1反射光学系の焦点距離を f_1 、第2反射光学系の焦点距離を f_2 、第3反射光学系の焦点距離を f_3 、としたとき、 f_1 、 f_2 、 f_3 が条件式(1)を満足することを特徴とする。

$$|f_2| > |f_3| > |f_1| \dots (1)$$

[0007] 上記投射光学系は、凹面形状を有する第1反射面、曲面形状を有する第2反射面及び凸面形状を有する第3反射面をそれぞれ有する第1～第3反射光学系を備えている。また、第1～第3反射光学系は条件式(1)を満たす。したがって、上記投射光学系はコンパクトながら近接投射が可能である。なお、第1～第3反射光学系のパワーを ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 とすると、条件式(1)を、

$$\phi_2 < \phi_3 < \phi_1 \quad (\phi_k = |1/f_k|) \quad k = 1, 2, 3$$

ただし、 f_k は条件式(1)に示す各反射光学系の焦点距離と表記することもできる。すなわち、第2反射光学系のパワーが最も弱く、第1反射光学系のパワーが最も強く、第3反射光学系のパワーがその中間である。

[0008] 本発明の具体的な側面によれば、全系の焦点距離を F 、屈折光学系の焦点距離を FL とすると、条件式(2)を満足する。

$$0.05 < F/FL < 0.15 \dots (2)$$

この場合、バックフォーカスを長くとりながら、装置全体の小型化を達成することができる。

[0009] 本発明の別の側面によれば、前記複数のレンズが全て回転対称系である。

[0010] 本発明のさらに別の側面によれば、前記複数のレンズ及び第1～第3反射光学系の全ての面は、回転対称面で構成され、同一の光軸を有する共軸光学系である。

[0011] 本発明のさらに別の側面によれば、前記複数のレンズは、屈折光学系の一

部として機能する光透過領域と第2反射面として機能する光反射領域とを有する光透過反射光学系を含む。この場合、屈折光学系のレンズのレンズ面の一部と反射光学系の反射面とを共有面として構成することが可能となる。

[0012] 本発明のさらに別の側面によれば、光透過反射光学系は、屈折光学系において最も拡大側に配置されており、投射距離の変更に伴う変倍時のフォーカスの際、固定されている。

[0013] 本発明のさらに別の側面によれば、屈折光学系は、変倍時に少なくとも1つの移動するレンズ群を有し、最も縮小側の可変間隔を境にして、縮小側から順に正のパワーを有する第1-1レンズ群と、正のパワーを有する第1-2レンズ群とから構成され、第1-1レンズ群の焦点距離を F_{1-1} 、第1-2レンズ群の焦点距離を F_{1-2} とするとき、条件式(3)を満足する。

$$0.0 < |F_{1-1}/F_{1-2}| < 1.0 \dots (3)$$

この場合、像面湾曲や歪曲収差を補正することが可能となる。

[0014] 本発明のさらに別の側面によれば、物体側の開口数は0.27以上である。

[0015] 本発明のさらに別の側面によれば、縮小側は略テレセントリックである。

[0016] 本発明のさらに別の側面によれば、変倍範囲が1.4倍以上ある。

[0017] 上記目的を達成するため、本発明に係る第2の投射光学系は、縮小側から順に設けられた、複数のレンズからなり正のパワーを有する屈折光学系と、少なくとも3面の反射面を有する反射光学系と、を備えた投射光学系であって、屈折光学系を構成する複数のレンズは、屈折光学系の一部として機能する光透過領域と反射光学系の反射面として機能する光反射領域とを有する光透過反射光学系を含む。

[0018] 上記投射光学系において、光透過反射光学系に屈折レンズとしての機能と反射ミラーとしての機能とを兼用させることで、コンパクトながら近接投射を可能なものとすることができる。

[0019] 上記目的を達成するため、本発明に係るプロジェクターは、光源と、光源からの光を変調して画像光を形成する光変調素子と、画像光を投射する上記

いずれかの投射光学系とを備える。プロジェクターは上記いずれかの投射光学系を備えることで、コンパクトながら近接投射を可能なものとすることができる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]実施形態の投射光学系を組み込んだプロジェクターの概略構成を示す図である。

[図2]実施形態又は実施例1の投射光学系における物体面から投射面までの構成および光線図である。

[図3]図2のうち、物体面から凹面反射ミラーまでの一部拡大図である。

[図4]実施例1の投射光学系の構成を示す図である。

[図5] (A) ~ (C) は、実施例1の投射光学系の縮小側収差図である。

[図6] (A) ~ (E) は、図5 (A) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図7] (A) ~ (E) は、図5 (B) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図8] (A) ~ (E) は、図5 (C) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図9]実施例2の投射光学系の構成を示す図である。

[図10] (A) ~ (C) は、実施例2の投射光学系の縮小側収差図である。

[図11] (A) ~ (E) は、図10 (A) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図12] (A) ~ (E) は、図10 (B) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図13] (A) ~ (E) は、図10 (C) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図14]実施例3の投射光学系の構成を示す図である。

[図15] (A) ~ (C) は、実施例3の投射光学系の縮小側収差図である。

[図16] (A) ~ (E) は、図15 (A) に対応する投射光学系の横収差図で

ある。

[図17] (A) ~ (E) は、図 1 5 (B) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図18] (A) ~ (E) は、図 1 5 (C) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図19] 実施例 4 の投射光学系の構成を示す図である。

[図20] (A) ~ (C) は、実施例 4 の投射光学系の縮小側収差図である。

[図21] (A) ~ (E) は、図 2 0 (A) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図22] (A) ~ (E) は、図 2 0 (B) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図23] (A) ~ (E) は、図 2 0 (C) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図24] 実施例 5 の投射光学系の構成を示す図である。

[図25] (A) ~ (C) は、実施例 5 の投射光学系の縮小側収差図である。

[図26] (A) ~ (E) は、図 2 5 (A) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図27] (A) ~ (E) は、図 2 5 (B) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図28] (A) ~ (E) は、図 2 5 (C) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図29] 実施例 6 の投射光学系の物体面から凹面反射ミラーまでの構成および光線図である。

[図30] 実施例 6 の投射光学系の構成を示す図である。

[図31] (A) ~ (C) は、実施例 6 の投射光学系の縮小側収差図である。

[図32] (A) ~ (E) は、図 3 1 (A) に対応する投射光学系の横収差図である。

[図33] (A) ~ (E) は、図 3 1 (B) に対応する投射光学系の横収差図で

ある。

[図34] (A) ~ (E) は、図31 (C) に対応する投射光学系の横収差図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下に図面を参照して、本発明の実施形態に係る投射光学系について詳細に説明する。

[0022] 図1に示すように、本発明の一実施形態に係る投射光学系を組み込んだプロジェクター2は、画像光を投射する光学系部分50と、光学系部分50の動作を制御する回路装置80とを備える。

[0023] 光学系部分50において、光源10は、例えば超高圧水銀ランプであって、R光、G光、及びB光を含む光を射出する。ここで、光源10は、超高圧水銀ランプ以外の放電光源であってもよいし、LEDやレーザーのような固体光源であってもよい。第1インテグレーターレンズ11及び第2インテグレーターレンズ12は、アレイ状に配列された複数のレンズ素子を有する。第1インテグレーターレンズ11は、光源10からの光束を複数に分割する。第1インテグレーターレンズ11の各レンズ素子は、光源10からの光束を第2インテグレーターレンズ12のレンズ素子近傍にて集光させる。第2インテグレーターレンズ12のレンズ素子は、重畳レンズ14と協働して、第1インテグレーターレンズ11のレンズ素子の像を液晶パネル18R、18G、18Bに形成する。このような構成により、光源10からの光が液晶パネル18R、18G、18Bの表示領域の全体を略均一な明るさで照明する。

[0024] 偏光変換素子13は、第2インテグレーターレンズ12からの光を所定の直線偏光に変換させる。重畳レンズ14は、第1インテグレーターレンズ11の各レンズ素子の像を、第2インテグレーターレンズ12を介して液晶パネル18R、18G、18Bの表示領域上で重畳させる。

[0025] 第1ダイクロイックミラー15は、重畳レンズ14から入射したR光を反射させ、G光及びB光を透過させる。第1ダイクロイックミラー15で反射

されたR光は、反射ミラー16及びフィールドレンズ17Rを経て、光変調素子である液晶パネル18Rへ入射する。液晶パネル18Rは、R光を画像信号に応じて変調することにより、R色の画像を形成する。

[0026] 第2ダイクロイックミラー21は、第1ダイクロイックミラー15からのG光を反射させ、B光を透過させる。第2ダイクロイックミラー21で反射されたG光は、フィールドレンズ17Gを経て、光変調素子である液晶パネル18Gへ入射する。液晶パネル18Gは、G光を画像信号に応じて変調することにより、G色の画像を形成する。第2ダイクロイックミラー21を透過したB光は、リレーレンズ22、24、反射ミラー23、25、及びフィールドレンズ17Bを経て、光変調素子である液晶パネル18Bへ入射する。液晶パネル18Bは、B光を画像信号に応じて変調することにより、B色の画像を形成する。

[0027] クロスダイクロイックプリズム19は、光合成用のプリズムであり、各液晶パネル18R、18G、18Bで変調された光を合成して画像光とし、投射光学系40へ進行させる。

[0028] 投射光学系40は、各液晶パネル18G、18R、18Bによって変調されクロスダイクロイックプリズム19で合成された画像光を不図示のスクリーン上に拡大投射する投射用ズームレンズである。

[0029] 回路装置80は、ビデオ信号等の外部画像信号が入力される画像処理部81と、画像処理部81の出力に基づいて光学系部分50に設けた液晶パネル18G、18R、18Bを駆動する表示駆動部82と、投射光学系40に設けた駆動機構（不図示）を動作させて投射光学系40の状態を調整するレンズ駆動部83と、これらの回路部分81、82、83等の動作を統括的に制御する主制御部88とを備える。

[0030] 画像処理部81は、入力された外部画像信号を各色の諧調等を含む画像信号に変換する。なお、画像処理部81は、外部画像信号に対して歪補正や色補正等の各種画像処理を行うこともできる。

[0031] 表示駆動部82は、画像処理部81から出力された画像信号に基づいて液

晶パネル 18 G, 18 R, 18 B を動作させることができ、当該画像信号に対応した画像又はこれに画像処理を施したものに対応する画像を液晶パネル 18 G, 18 R, 18 B に形成させることができる。

[0032] レンズ駆動部 83 は、主制御部 88 の制御下で動作し、投射光学系 40 を構成する一部の光学要素をアクチュエーター AC を介して光軸 OA に沿って適宜移動させることにより、投射光学系 40 によるスクリーン上への画像の投射において変倍に伴うフォーカス（変倍時のフォーカス）を行うことができる。なお、レンズ駆動部 83 は、投射光学系 40 全体を光軸 OA に垂直な上下方向に移動させるアオリの調整により、スクリーン上に投射される画像の縦位置を変化させることもできる。

[0033] 以下、図 2 及び図 3 等を参照して、実施形態の投射光学系 40 について具体的に説明する。なお、図 2 等で例示した投射光学系 40 は、後述する実施例 1 の投射光学系 40 と同一の構成となっている。便宜上、+Y 方向を上方向とし、-Y 方向を下方向とする。

[0034] 実施形態の投射光学系 40 は、液晶パネル 18 G（18 R, 18 B）に形成された画像を不図示のスクリーン上に投射する。ここで、投射光学系 40 と液晶パネル 18 G（18 R, 18 B）との間には、図 1 のクロスダイクロイックプリズム 19 に相当するプリズム PR が配置されている。

[0035] 投射光学系 40 は、縮小側から順に、複数のレンズからなり正のパワーを有する屈折光学系である第 1 光学群 40 a と、複数のミラーからなり種々の曲面形状の反射面を有する反射光学系である第 2 光学群 40 b とからなる。

第 1 光学群 40 a は、含まれるレンズ間に形成される空間のうち、レンズの移動により可変となる間隔のうち最も縮小側の可変間隔 BD を境にして、縮小側に設けられ、正のパワーを有する第 1-1 レンズ群 41 と、拡大側に設けられ、第 1-1 レンズ群 41 のパワーと比較して弱い正のパワーを有する第 1-2 レンズ群 42 と、からなる屈折光学系である。

[0036] 第 2 光学群 40 b は、第 1 光学群 40 a から射出された光の光路上に第 1 光学群 40 a 側から順に設けられた第 1 反射光学系 MR 1 と、第 2 反射光学

系MR 2と、第3反射光学系MR 3とを含む反射光学系である。

[0037] ここで、図示の例では、第1光学群40aと第2光学群40bとは、一部の要素（レンズL 7または第2反射光学系MR 2とする）を共有している。言い換えると、当該一部の要素は、レンズL 7と見れば、屈折光学系である第1光学群40aの一部として機能し、第2反射光学系MR 2と見れば、反射光学系である第2光学群40bの一部として機能する光透過反射光学系である。ここでは、レンズL 7（あるいは第2反射光学系MR 2）の下側領域が、光を透過屈折させるレンズ（屈折レンズ）としての機能を有する光透過領域となっている。一方、第2反射光学系MR 2（あるいはレンズL 7）の上側領域が、光を反射するミラー（ミラーレンズ）としての機能を有する光反射領域となっている。従って、図1に示す場合、液晶パネル18G（18R, 18B）からプリズムPRを経て投射される画像光の光線は、第1光学群40aを経て第2光学群40bに射出されるに際して、第1光学群40aの最も拡大側に配置されるレンズL 7（あるいは第2反射光学系MR 2）の下側を通過する。また、当該光線は、第2光学群40bの第1反射光学系MR 1で反射された後、再び第2反射光学系MR 2（あるいはレンズL 7）に入射する。この際、当該光線は、第2反射光学系MR 2（あるいはレンズL 7）の上側で第3反射光学系MR 3に向けて反射される。

[0038] 以下、屈折光学系である第1光学群40aについて、詳細に説明する。

[0039] 第1光学群40aのうち、第1-1レンズ群41は開口絞りSTを有し、開口絞りSTよりも縮小側にレンズ群（レンズL 1～L 4）を有する。レンズL 1～L 4は、投射距離の変更に伴う変倍時のフォーカスの際に、固定されている。

[0040] 第1-2レンズ群42は、開口絞りSTよりも拡大側に配置されるレンズ群（レンズL 5～L 7）を有する。これらのうち、レンズL 5, L 6はフォーカス群を構成している。レンズL 5, L 6はそれぞれ、投射距離の変更に伴う変倍時のフォーカスの際に、アクチュエーターACにより、光軸OAに沿った方向A 1（光軸方向）に移動する。ここでは、レンズL 5とレンズL

6とは独立して移動可能となっているものとする。これにより、広い変倍域においても、最終的に良好な画像を得られるような1次像を作ることができる。なお、アクチュエーターACによる移動のさせ方については、変倍時のフォーカスの態様により種々の態様が可能であり、例えば各レンズをまったく独立に移動させてもよいし、カム機構等を利用して互いに連動させて移動させてもよい。一方、第1光学群40aにおいて最も拡大側に配置されているレンズL7（あるいは第2反射光学系MR2）は、上記変倍に伴うフォーカスの際に、固定されている。

[0041] 以下、第1光学群40aを構成する各レンズについて縮小側から順に説明する。第1-1レンズ群41は、既述のように、4枚のレンズL1～L4で構成され、レンズL1、L2は、正レンズであり、レンズL3とレンズL4とは接合レンズである。第1-2レンズ群42は、既述のように、3枚のレンズL5～L7で構成され、レンズL5は、正レンズであり、レンズL6は、正のメニスカスレンズであり、レンズL7は、両面非球面の負レンズである。すなわち、第1光学群40aは、全体で7枚のレンズL1～L7で構成されている。レンズL1～L7各々は、光軸OAについて軸対称な円形状である。言い換えると、屈折光学系である第1光学群40aを構成する複数のレンズL1～L7が全て回転対称系である。また、レンズL7以外は、全てガラス製の球面レンズである。レンズL7は両面非球面レンズであり、比較的レンズ径も大きいことから、樹脂レンズとすることが安価で好ましい。しかし、レンズL7は軸対称な円形状であり、一部を反射面しても使用することから、精度を確保しやすいガラス非球面レンズとしてもよい。

[0042] 以下、第2光学群40bについて、詳細に説明する。

[0043] 第2光学群40bのうち、第1反射光学系MR1は、第1光学群40aの射出側（拡大側）、すなわち第2光学群40bにおける最も縮小側に配置され、凹面形状を有する第1反射面R1を含む。第1反射光学系MR1は、第1反射面R1での反射により、第1光学群40aから射出された光線を第2反射光学系MR2に向けて射出する。

[0044] 第2反射光学系MR 2は、光路上、第1反射光学系MR 1の拡大側に配置され、曲面形状を有する第2反射面R 2を含む。ここでは、既述のように、第2反射光学系MR 2（あるいはレンズL 7）は、第1光学群40 aを構成するレンズL 7のうち屈折レンズとしては利用されない一部分に光反射領域を形成していることで、第2反射面R 2を有するものとなっている。また、上記のように、第2反射面R 2を設ける対象となっているレンズが両面非球面の負レンズであることに伴い、その一部の面である第2反射面R 2も非球面となっている。見方を変えると、第2反射光学系MR 2は、非球面ミラーである。第2反射光学系MR 2は、第2反射面R 2での反射により、第1反射光学系MR 1から射出された光線を第3反射光学系MR 3に向けて射出する。

[0045] 第3反射光学系MR 3は、光路上、第2反射光学系MR 2の拡大側、すなわち最も拡大側に配置され、凸面形状を有する第3反射面R 3を含む。第3反射光学系MR 3は、第3反射面R 3での反射により、第2反射光学系MR 2から射出された光線を被照射面であるスクリーンに向けて射出する。

[0046] 以下、第2光学群40 bを構成する各ミラー（反射光学系MR 1～MR 3）の特性について説明する。まず、第1～第3反射光学系MR 1～MR 3の全ての反射面R 1～R 3は、非球面形状をそれぞれ有し、かつ、回転対称面で構成され、同一の光軸を有する。

[0047] また、第1反射光学系MR 1の焦点距離を f_1 、第2反射光学系MR 2の焦点距離を f_2 、第3反射光学系MR 3の焦点距離を f_3 、としたとき、 f_1 、 f_2 、 f_3 が下記の条件式（1）を満足する。

$$|f_2| > |f_3| > |f_1| \dots (1)$$

なお、上記要件に関して、第1～第3反射光学系MR 1～MR 3のパワーを ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 とすると、条件式（1）を、

$$\phi_2 < \phi_3 < \phi_1 \quad (\phi_k = |1/f_k|) \quad k = 1, 2, 3$$

ただし、 f_k は条件式（1）に示す各反射光学系の焦点距離と表記することもできる。

[0048] 条件式(1)は、3つの反射面R1～R3の焦点距離 f_1 、 f_2 、 f_3 に関する条件であり、各反射面R1～R3のパワー ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 を適切に設定することで、第2光学群40bの小型化を図り、かつ、第1光学群40aで作られた収差を含む1次像を効率よく収差の十分に補正された2次像としてスクリーン上に結像させるための条件である。仮に、第1反射面R1の焦点距離 f_1 の絶対値が第3反射面R3の焦点距離 f_3 の絶対値よりも大きくなり、すなわち正のパワーが弱くなりすぎると、第1反射面R1のサイズが大きくなるとともに、第2反射面R2のサイズも大きくなり小型化という点で好ましくないものになってしまう。これに対して、第1反射面R1を他の2枚の反射面R2、R3よりもパワーの強い面とすることで、第2反射面R2に入射する光束の位置を低い位置とすることができ、第1、第2反射面R2、R3を小型化することが可能となる。

[0049] また、例えば第2反射面R2の焦点距離 f_2 の絶対値を、反射面R1の焦点距離 f_1 の絶対値および反射面R3の焦点距離 f_3 の絶対値よりも大きくする、すなわちパワーの弱い面とすることで、第1反射面R1の正のパワーと、第3反射面R3の負のパワーをバランスよく設定することができ、諸収差をバランスよく補正することが可能となる。また、第2反射面R2のパワーを弱くすることで、上記のような第1光学群40a（屈折光学系）のレンズ（レンズL7）のレンズ面の一部と反射面（第2反射面R2）とを共有面として構成することが可能となる。

[0050] また、以上の投射光学系40の場合、結果的に第1光学群40a（屈折光学系）を構成する複数のレンズL1～L7、及び、第2光学群40b（反射光学系）を構成する第1～第3反射光学系MR1～MR3の全ての面は、回転対称面で構成され、同一の光軸を有する共軸光学系となっている。

[0051] また、上記構成の投射光学系40において、全系の焦点距離をF、第1光学群40a（屈折光学系）の焦点距離をFLとすると、投射光学系40は、下記の条件式(2)を満足する。

$$0.05 < F/FL < 0.15 \dots (2)$$

[0052] 条件式(2)は、全系の焦点距離と第1レンズ群の焦点距離の比に関する条件で、バックフォーカスを長くとりながら、装置全体の小型化を達成するための条件である。

[0053] この種の超広角投射光学系では、焦点距離が非常に短く、色合成プリズムPRなどを入れるための長いバックフォーカスを得るためには、1次像を作る役割をもつ第1光学群40a(屈折光学系)の焦点距離を長くすることが必要となる。

[0054] 条件式(2)の上限を超えて、第1光学群40aの焦点距離が短くなり過ぎると、諸収差の補正が困難となり、レンズ枚数もそれに伴い多くする必要があるが好ましくない。また、必要なバックフォーカスを確保することも困難になる。逆に、条件式(2)の下限を超えて、第1光学群40aの焦点距離が長くなり過ぎると、収差補正は容易になるが、レンズ全長が長くなることになり小型化という点で好ましくない。条件式(2)を満足するものとすることで、バックフォーカスを長くとりながらも、装置全体の小型化を達成することが可能となる。

[0055] さらに、第1-1レンズ群41の焦点距離を F_{1-1} 、第1-2レンズ群42の焦点距離を F_{1-2} とすると、投射光学系40は、下記の条件式(3)を満足する。

$$0.0 < |F_{1-1}/F_{1-2}| < 1.0 \dots (3)$$

[0056] 本実施形態のような超広角投射光学系では、非常に広い画角を有するため、一般的な投射光学系(例えば半画角30°程度の投射光学系)と比較すると、投射距離による収差の変化量が非常に大きい。投射距離を変化させると、焦点距離が非常に短いため、低像高位置での焦点変化が少ないのに比較して、高像高位置の画面周辺部での像面湾曲や歪曲収差が大きく変化する。したがって、本実施形態の投射光学系では、変倍に伴うフォーカスに際して、主に画面周辺部での像面湾曲変化や歪曲変化を補正している。条件式(3)は、第1光学群40a内でのフォーカス時における固定群と移動群との焦点距離の比に関する条件であり、簡単な構成でフォーカスを行うための条件で

あると言える。フォーカス群の焦点距離を長くして、パワーを小さくすることで、低像高位置での焦点変化を少なくし、高像高位置での像面湾曲や歪曲収差を補正することが可能となる。

[0057] 条件式(3)の上限を超えて、フォーカス群の焦点距離が短くなり、パワーが強くなり過ぎるとフォーカスの際に、周辺部の像面湾曲や歪曲を補正する為の移動量が大きくなり過ぎ好ましくない。逆に、条件式(3)の下限を超えて、フォーカス群のパワーが弱くなりすぎると、レンズ群を移動させたときに、光軸近傍での焦点位置も動いてしまい、低像高位置と高像高位置での焦点位置を一致させるために、複数のレンズ群を精度良く移動させることが必要となり、枠構成上も難しくなるため好ましくない。条件式(3)を満足するものとするすることで、変倍に伴うフォーカスに際して、像面湾曲や歪曲収差を十分に抑制する補正が可能となっている。

[0058] なお、上記のように、第1光学群40aを構成するレンズL1～L7各々は、光軸OAについて軸対称な円形状となっている。最も大きくなりやすい拡大側のレンズL7も円形である。これにより、製造過程における誤差を極力抑えることができる。また、全てのレンズL1～L7を円形状にできる。比較例として、例えば第2光学群40bを1枚の凹面ミラーで構成する投射光学系を考えると、当該投射光学系では、当該凹面ミラーで反射された光束が屈折光学系と干渉するため、ミラー側に配置されるレンズ(第1光学群40aのうち最も拡大側のレンズ)は、非円形状にカットする必要性が生じる可能性がある。レンズを非円形状とすると、レンズを収納する鏡枠構造が複雑となり、コストアップとなってしまう。これに対して本実施形態では、最も拡大側に位置するレンズL7において、レンズ面の一部を反射面として機能させることで、レンズL1～L7各々を全て円形状として、一般的なレンズ鏡枠構造をとることができ、低コスト化と同時に精度向上を達成することが可能となる。

[0059] また、図示のように、投射光学系40において、縮小側は、略テレセントリックである。これにより、例えば上記のように、クロスダイクロイックプ

リズム 19 において各液晶パネル 18 R、18 G、18 B で変調された光を合成して画像光とする場合において、組み立てのバラツキを吸収しやすいものとすることができる。

[0060] 近接投射光学系では、一般に、スクリーンまでの距離が非常に近い。投射光学系 40 では、液晶パネル 18 G (18 R, 18 B) のパネル面 P1 に形成された画像を、一旦、第 1 光学群 40 a によって第 2 光学群 40 b のミラーの手前で結像させ、第 2 光学群 40 b によって画像をスクリーンに再結像させることで、近接投射が行なわれる。つまり、第 1 光学群 40 a は、第 2 光学群 40 b の手前で 1 次像 (中間像) を作る。上記のような近接投写光学系では、変倍時の収差変動が比較的大きいため、あまり変倍範囲を大きく取れない可能性がある。従って、第 1 光学群 40 a により形成される 1 次像は、投射倍率を変化させても、良好な画像が得られるように最適化されていることが好ましい。また、一般的な近接投射光学系では、像面湾曲、非点収差の変動によるコントラスト低下が大きい。また、変倍時の歪曲収差の変化も通常レンズ系よりも大きくなる傾向が高い。

[0061] しかし、本実施形態の投射光学系 40 は、上述のように、第 1 光学群 40 a で作られた 1 次像を第 2 光学群 40 b で再結像させるにあたって、第 2 光学群 40 b の構成を色収差の発生しない 3 枚のミラー (反射光学系 MR1 ~ MR3) とすることで、光学系全体での色収差の発生を極力低減し、かつ、光を複数回反射させて実質的な光路長を長くすることで、各光学要素のパワー低減できる。その結果、第 1 光学群 40 a の負担を減らすことができる。したがって、強い非球面を有するレンズを使用しなくても、第 1 光学群 40 a の構成枚数を少なくし、広い変倍範囲に対応できるような投射光学系を構成し、低コスト化、コンパクト化を達成することができる。

[0062] また、本実施形態では、第 2 光学群 40 b を構成するミラーの枚数を奇数枚としている。この場合、投射光を光源側に返すように構成する、すなわち近接投射に際して光源側にスクリーンを配置するようにして、プロジェクターの設置において、一般的な反射ミラーを使わない方式や偶数枚の反射ミラ

ーで折り返す場合に比べて、プロジェクターを壁面に設置するためのアームを短くすることができ、強度的にも小さくてすむようにできる。

[0063] さらに、上記のような構成とすることにより、物体側の開口数を0.27以上、すなわちFナンバーが1.8程度の明るさを有しながら、1.4倍以上（さらには1.5倍以上、1.6倍以上）の高い変倍範囲を確保し、高解像度の画像表示素子にも十分対応可能な性能を有するものとなっている。

[0064] また、本願発明とは別の考えとして、樹脂で成形された非球面レンズを屈折光学系に適用することも考えられる。しかしながら、樹脂で成形された非球面レンズは、両面を精度よく成形しなければならず、中心部と周辺部の厚みの比、すなわち偏肉比が大きいと成形時に内部歪が生じやすい。特に、大きなレンズに非球面を利用する場合には、製造の観点から形状的制限が生じる。非球面レンズと比較すると、非球面ミラーの樹脂成形の場合、片面のみの成形ですみ、表面反射を利用することから内部歪の影響も少なく、ミラー厚も成形しやすい厚さで均一にできるため、非球面レンズよりも精度が出しやすい。また、さらに別の考えとして、ミラーのみで投射光学系を構成することも考えられる。しかし、反射のみに頼ると、反射した光路と反射面の干渉という問題が生じやすくなり、この問題を解決するために、自由曲面ミラーや偏芯の要素を入れてしまうと、製造上非常に難しくなる。本実施形態では、比較的製造を容易としつつも、高精度でコンパクトな構成とすることができる。

[0065] [実施例]

以下、投射光学系40の具体的な実施例について説明する。以下に説明する実施例1～4に共通する諸元の意味を以下にまとめた。

f	全系の焦点距離
ω	半画角
NA	開口数
R	曲率半径
D	軸上面間隔（レンズ厚又はレンズ間隔）

N d d 線の屈折率

V d d 線のアッベ数

[0066] 非球面は、以下の多項式（非球面式）によって特定される。

$$z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (k+1)c^2h^2}} + A_4h^4 + A_6h^6 + A_8h^8 + A_{10}h^{10} + A_{12}h^{12}$$

ただし、

c : 曲率（1 / R）

h : 光軸からの高さ

k : 非球面の円錐係数

A i : 非球面の高次非球面係数

なお、O B J は、パネル面 P I を意味し、S T O は開口絞り S T を意味し、I M G は、スクリーン上の像面（被投射面）を意味する。また、面番号の前に「*」が記載されている面は、非球面形状を有する面である。

[0067] （実施例 1）

実施例 1 のレンズ面のデータを以下の表 1 に示す。

〔表 1〕

f	4.002
ω	69.9°
NA	0.278

	R	D	Nd	Vd
OBJ	Infinity	3.000	-	-
1	Infinity	25.750	1.51633	64.14
2	Infinity	6.000	-	-
3	500.000	6.000	1.48749	70.24
4	-33.595	6.437	-	-
5	38.183	5.000	1.48749	70.24
6	-231.380	11.756	-	-
7	-89.984	1.200	1.83400	37.16
8	30.366	4.800	1.48749	70.24
9	-42.809	可変間隔	-	-
STO	Infinity	0.000	-	-
11	154.620	3.000	1.48749	70.24
12	-54.531	可変間隔	-	-
13	37.909	7.000	1.48749	70.24
14	121.783	可変間隔	-	-
*15	-2040.867	4.500	1.53116	56.04
*16	259.706	65.000	-	-
*17	-54.241	-65.000	-	反射面
*18	259.706	65.000	-	反射面
*19	76.677	可変間隔	-	反射面
IMG	Infinity	-	-	-

以上の表 1 及び以下の表において、10 のべき乗数（例えば $1.00 \times 10^{+18}$ ）を E（例えば $1.00E+18$ ）を用いて表すものとする。

[0068] 以下の表 2 は、実施例 1 のレンズ面の非球面係数である。

[表 2]

非球面係数

	K	A04	A06	A08	A10	A12
15	0.000	-3.5564E-06	2.2000E-09	-8.3247E-12	2.1223E-15	0.0000E+00
16	-53.570	2.8784E-08	1.6122E-11	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
17	0.530	2.2300E-06	-1.4861E-11	5.6323E-13	-3.3721E-16	1.5459E-19
18	-53.570	2.8784E-08	1.6122E-11	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
19	-7.265	-2.6013E-08	1.2573E-12	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

[0069] 以下の表3は、投射倍率126倍、投射倍率162倍及び投射倍率110倍において、表1中の可変間隔9, 12, 14, 19の値を示している。

〔表3〕

可変間隔	126x	162x	110x
9	9.334	11.486	7.885
12	43.758	42.278	44.052
14	30.200	29.187	31.014
19	-475.000	-639.126	-405.207

[0070] 図4は、実施例1の投射光学系40の断面図である。図4の投射光学系40は、実施形態1の投射光学系40に相当する。図4において、投射光学系40は、パネル面P1上の像をスクリーンまでの距離に応じた倍率で拡大投射するものである。縮小側から順に、投射光学系40のうち、第1光学群40aは、第1-1レンズ群41を構成するレンズL1～L4と、第1-2レンズ群42を構成するレンズL5～L7との7枚のレンズL1～L7を有する。また、第2光学群40bは、3枚の非球面ミラーである第1～第3反射光学系MR1～MR3を有する。なお、第2反射光学系MR2以外の非球面ミラーについて、図4では切り欠かずにそのまま描いているが、実際の光学系では、円形状から一部切り欠いた形状となる（図3参照）。

[0071] 各光学要素について光路順に詳しく説明すると、屈折光学系である第1光学群40aは、縮小側から順に両凸形状の正の第1レンズ（レンズL1）、両凸形状の正の第2レンズ（レンズL2）、両凹形状の負の第3レンズ（レンズL3）と両凸形状の正の第4レンズ（レンズL4）との接合レンズ、開口絞りST、両凸形状の第5レンズ（レンズL5）、縮小側に凸面を向けたメニスカス形状の正の第6レンズ（レンズL6）、両凹形状で両面に非球面が施された負の第7レンズ（レンズL7）の7枚のレンズで構成される。第1光学群40aから射出された光線束は、第1光学群40aと第2光学群40bの第1反射光学系MR1との間で、1次結像したあと、第1反射光学系

MR 1 の非球面凹反射面 R 1 で反射される。第 1 反射光学系 MR 1 で反射された光線束は、第 1 光学群 4 0 a 側に戻り、第 1 光学群 4 0 a の最も拡大側に配置される第 7 レンズ（レンズ L 7）のレンズ面の上半分に設けられた第 2 反射光学系 MR 2 の非球面凹反射面 R 2 で反射される。なお、第 1 光学群 4 0 a の最も拡大側の屈折面と、第 2 反射光学系 MR 2 の反射面 R 2 は同一面形状で構成され、光軸 O A をはさんで略半分が透過面、残りの半分は反射面となっている。第 2 反射光学系 MR 2 で反射された光線束は、第 3 反射光学系 MR 3 の非球面凸反射面 R 3 で反射され、スクリーン上に結像する。

[0072] 投射距離を変更して変倍する場合には、第 1 - 2 レンズ群 4 2 のうち、第 5 レンズ（レンズ L 5）と第 6 レンズ（レンズ L 6）とをフローティングにより移動することでフォーカスを行う。なお、第 2 反射光学系 MR 2 と兼用している最も拡大側の第 7 レンズ（レンズ L 7）は固定である。また、第 1 - 1 レンズ群 4 1 及び第 2 光学群 4 0 b も固定である。

[0073] 図 5（A）は、投射倍率 1 2 6 倍の時の投射光学系の縮小側収差図（球面収差、非点収差、歪曲収差）であり、図 5（B）は、投射倍率 1 6 2 倍の時の投射光学系の縮小側収差図であり、図 5（C）は、投射倍率 1 1 0 倍の時の投射光学系の縮小側収差図である。また、図 6（A）～6（E）は、図 5（A）に対応する投射光学系の横収差図である。図 6（A）～6（E）はそれぞれ、像高 1 0 0 %、8 0 %、6 0 %、4 0 %、1 5 %における横収差を示している。図 6（A）は、最大画角の場合に対応する。同様に、図 7（A）～7（E）は、図 5（B）に対応する投射光学系の横収差図であり、図 8（A）～8（E）は、図 5（C）に対応する投射光学系の横収差図である。

[0074]（実施例 2）

実施例 2 のレンズ面のデータを以下の表 4 に示す。

[表 4]

f	4.029
ω	69.8°
NA	0.278

	R	D	Nd	Vd
OBJ	Infinity	3.000	—	—
1	Infinity	25.750	1.51633	64.15
2	Infinity	6.000	—	—
3	275.481	5.000	1.48749	70.24
4	-51.033	7.170	—	—
5	31.359	5.000	1.48749	70.24
6	154.035	12.005	—	—
7	-1189.534	1.200	1.83400	37.16
8	25.026	5.400	1.48749	70.24
9	-50.108	可変間隔	—	—
STO	Infinity	1.000	—	—
11	50.553	4.500	1.48749	70.24
12	-73.676	可変間隔	—	—
*13	20.761	4.500	1.53116	56.04
*14	19.593	可変間隔	—	—
15	150.632	4.500	1.48749	70.24
16	475.035	65.000	—	—
*17	-57.867	-65.000	—	反射面
18	475.035	65.000	—	反射面
*19	83.144	可変間隔	—	反射面
IMG	Infinity	—	—	—

[0075] 以下の表 5 は、実施例 2 のレンズ面の非球面係数である。

[表 5]

非球面係数

	K	A04	A06	A08	A10	A12
13	-2.3028	2.2111E-06	-4.9741E-08	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
14	-1.0905	-2.0101E-05	-2.8503E-08	-3.3262E-11	8.2831E-14	0.0000E+00
17	0.7179	2.0389E-06	-1.6612E-10	7.3513E-13	-4.9826E-16	1.9223E-19
19	-7.8729	-1.9238E-08	-3.4818E-12	8.4485E-16	-4.9184E-20	0.0000E+00

[0076] 以下の表 6 は、投射倍率 1 2 5 倍、投射倍率 1 6 1 倍及び投射倍率 1 1 0 倍において、表 4 中の可変間隔 9, 1 2, 1 4, 1 9 の値を示している。

〔表 6〕

可変間隔	125x	161x	110x
9	13.010	13.367	12.737
12	40.292	41.372	39.565
14	35.732	34.295	36.732
19	-475.000	-625.034	-410.197

〔0077〕 図 9 は、実施例 2 の投射光学系 40 の断面図である。図 9 において、投射光学系 40 は、パネル面 P1 上の像をスクリーンまでの距離に応じた倍率で拡大投射するものである。縮小側から順に、投射光学系 40 のうち、第 1 光学群 40a は、第 1-1 レンズ群 41 を構成するレンズ L1～L4 と、第 1-2 レンズ群 42 を構成するレンズ L5～L7 との 7 枚のレンズ L1～L7 を有する。また、第 2 光学群 40b は、3 枚の非球面ミラーである第 1～第 3 反射光学系 MR1～MR3 を有する。なお、第 2 反射光学系 MR2 以外の非球面ミラーについて、図 9 では切り欠かずにそのまま描いているが、実際の光学系では、円形状から一部切り欠いた形状となる。

〔0078〕 各光学要素について光路順に詳しく説明すると、屈折光学系である第 1 光学群 40a は、縮小側から順に両凸形状で正の第 1 レンズ（レンズ L1）、縮小側に凸面を向けたメニスカス形状の正の第 2 レンズ（レンズ L2）、両凹形状で第 3 レンズ（レンズ L3）と両凸形状で正の第 4 レンズ（レンズ L4）との接合レンズ、開口絞り ST、両凸形状で正の第 5 レンズ（レンズ L5）、縮小側に凸面を向けたメニスカス形状で両面に非球面が施された負の第 6 レンズ（レンズ L6）、縮小側に凸面を向けたメニスカス形状で正の第 7 レンズ（レンズ L7）の 7 枚のレンズで構成される。第 1 光学群 40a から射出された光線束は、第 1 光学群 40a と第 2 光学群 40b の第 1 反射光学系 MR1 との間で、1 次結像したあと、第 1 反射光学系 MR1 の凹反射面 R1 で反射される。第 1 反射光学系 MR1 で反射された光線束は、第 1 光学群 40a 側に戻り、第 1 光学群 40a の最も拡大側に配置される第 7 レンズ

(レンズL 7) のレンズ面の上半分に設けられた第2反射光学系MR 2の凹面反射面R 2で反射される。なお、第1光学群4 0 aの最も拡大側の屈折面と、第2反射光学系MR 2の反射面R 2は同一面形状で構成され、光軸O Aをはさんで略半分が透過面、残りの半分は反射面となっている。第2反射光学系MR 2で反射された光線束は、第3反射光学系MR 3の非球面凸反射面R 3で反射され、スクリーンに結像する。

[0079] 実施例2では、第2反射光学系MR 2の凹面反射面R 2と共有される第1光学群4 0 aの最も拡大側のレンズ(レンズL 7)は、球面レンズとして構成されている。仮に、この面を非球面とするとこのような大口径レンズは樹脂レンズとするのが一般的であるが、球面レンズは硝子で高精度に加工することが可能となるので、性能のバラツキなどを防ぐ為には、非常に有効となる。

[0080] 投射距離を変更して変倍する場合には、第1-2レンズ群4 2のうち、第5レンズ(レンズL 5)と第6レンズ(レンズL 6)とをフローティングにより移動することでフォーカスを行う。なお、第2反射光学系MR 2と兼用している最も拡大側の第7レンズ(レンズL 7)は固定である。また、第1-1レンズ群4 1及び第2光学群4 0 bも固定である。

[0081] 図1 0 (A)は、投射倍率1 2 5倍の時の投射光学系の縮小側収差図(球面収差、非点収差、歪曲収差)であり、図1 0 (B)は、投射倍率1 6 1倍の時の投射光学系の縮小側収差図であり、図1 0 (C)は、投射倍率1 1 0倍の時の投射光学系の縮小側収差図である。また、図1 1 (A)~1 1 (E)は、図1 0 (A)に対応する投射光学系の横収差図である。図1 1 (A)~1 1 (E)はそれぞれ、像高1 0 0 %、8 0 %、6 0 %、4 0 %、1 5 %における横収差を示している。図1 1 (A)は、最大画角の場合に対応する。同様に、図1 2 (A)~1 2 (E)は、図1 0 (B)に対応する投射光学系の横収差図であり、図1 3 (A)~1 3 (E)は、図1 0 (C)に対応する投射光学系の横収差図である。

[0082] (実施例3)

実施例 3 のレンズ面のデータを以下の表 7 に示す。

[表 7]

f 3.977

ω 69.9°

NA 0.278

	R	D	Nd	Vd
OBJ	Infinity	3.000	—	—
1	Infinity	25.750	1.51633	64.15
2	Infinity	6.000	—	—
3	278.584	5.000	1.48749	70.24
4	−41.800	10.100	—	—
5	40.324	3.000	1.48749	70.24
6	60.000	9.971	—	—
7	94.407	1.200	1.82690	31.49
8	25.499	5.400	1.48749	70.24
9	−47.353	可変間隔	—	—
STO	Infinity	1.000	—	—
11	62.477	5.500	1.48749	70.24
12	−40.827	可変間隔	—	—
*13	−19.327	3.000	1.53116	56.04
*14	−32.894	可変間隔	—	—
15	255.708	4.500	1.48749	70.24
16	−865.000	49.466	—	—
*17	−51.850	−49.466	—	反射面
18	−865.000	44.393	—	反射面
*19	85.459	可変間隔	—	反射面
IMG	Infinity	—	—	—

[0083] 以下の表 8 は、実施例 3 のレンズ面の非球面係数である。

[表 8]

非球面係数

	K	A04	A06	A08	A10	A12
13	0.2063	-2.1299E-05	1.0935E-07	-2.7180E-11	1.5034E-13	0.0000E+00
14	0.9028	-2.6396E-05	8.2473E-08	-1.0085E-10	0.0000E+00	0.0000E+00
17	0.3489	2.2064E-06	-3.5320E-10	7.6029E-13	-4.4273E-16	1.7042E-19
19	-13.2748	-1.1943E-07	1.6630E-11	-1.3146E-15	4.4883E-20	0.0000E+00

[0084] 以下の表 9 は、投射倍率 1 2 6 倍、投射倍率 1 6 2 倍及び投射倍率 1 1 0 倍において、表 7 中の可変間隔 9, 1 2, 1 4, 1 9 の値を示している。

〔表 9〕

可変間隔

	126x	162x	110x
9	25.770	26.338	25.413
12	24.065	24.144	24.016
14	57.278	56.631	57.684
19	-475.000	-623.449	-411.384

[0085] 図 1 4 は、実施例 3 の投射光学系 4 0 の断面図である。図 1 4 において、投射光学系 4 0 は、パネル面 P 1 上の像をスクリーンまでの距離に応じた倍率で拡大投射するものである。縮小側から順に、投射光学系 4 0 のうち、第 1 光学群 4 0 a は、第 1 - 1 レンズ群 4 1 を構成するレンズ L 1 ~ L 4 と、第 1 - 2 レンズ群 4 2 を構成するレンズ L 5 ~ L 7 との 7 枚のレンズ L 1 ~ L 7 を有する。また、第 2 光学群 4 0 b は、3 枚の非球面ミラーである第 1 ~ 第 3 反射光学系 MR 1 ~ MR 3 を有する。なお、第 2 反射光学系 MR 2 以外の非球面ミラーについて、図 1 4 では切り欠かずにそのまま描いているが、実際の光学系では、円形状から一部切り欠いた形状となる。

[0086] 各光学要素について光路順に詳しく説明すると、屈折光学系である第 1 光学群 4 0 a は、縮小側から順に両凸形状で正の第 1 レンズ（レンズ L 1）、縮小側に凸面を向けたメニスカス形状の正の第 2 レンズ（レンズ L 2）、縮小側に凸面を向けたメニスカス形状で第 3 レンズ（レンズ L 3）と両凸形状

で正の第4レンズ（レンズL4）との接合レンズ、開口絞りST、両凸の正の屈折力を有する第5レンズ（レンズL5）、拡大側に凸面を向けたメニスカス形状で両面に非球面が施された負の第6レンズ（レンズL6）、両凸形状の正の屈折力を有する第7レンズ（レンズL7）の7枚のレンズで構成される。第1光学群40aから射出された光線束は、第1光学群40aと第2光学群40bの第1反射光学系MR1との間で、1次結像したあと、第1反射光学系MR1の凹反射面R1で反射される。第1反射光学系MR1で反射された光線束は、第1光学群40a側に戻り、第1光学群40aの最も拡大側に配置される第7レンズ（レンズL7）のレンズ面の上半分には設けられた第2反射光学系MR2の凸面反射面R2で反射される。なお、第1光学群40aの最も拡大側の屈折面と、第2反射光学系MR2の反射面R2は同一面形状で構成され、光軸OAをはさんで略半分が透過面、残りの半分は反射面となっている。第2反射光学系MR2で反射された光線束は、第3反射光学系MR3の非球面凸反射面R3で反射され、スクリーンに結像する。

[0087] 実施例3では、第2反射光学系MR2は、凸面となっている。すなわち第2反射光学系MR2は、凸面でも構成できる。凸面で構成する場合、第3反射光学系MR3は、比較的光軸に対して垂直に近くなるような形状となるため、奥行き方向の厚みを小さくできる。

[0088] 投射距離を変更して変倍する場合には、第1-2レンズ群42のうち、第5レンズ（レンズL5）と第6レンズ（レンズL6）とをフローティングにより移動することでフォーカスを行う。なお、第2反射光学系MR2と兼用している最も拡大側の第7レンズ（レンズL7）は固定である。また、第1-1レンズ群41及び第2光学群40bも固定である。

[0089] 図15（A）は、投射倍率126倍の時の投射光学系の縮小側収差図（球面収差、非点収差、歪曲収差）であり、図15（B）は、投射倍率162倍の時の投射光学系の縮小側収差図であり、図15（C）は、投射倍率110倍の時の投射光学系の縮小側収差図である。また、図16（A）～16（E）は、図15（A）に対応する投射光学系の横収差図である。図16（A）

～16 (E) はそれぞれ、像高100%、80%、60%、40%、15%における横収差を示している。図16 (A) は、最大画角の場合に対応する。同様に、図17 (A) ～17 (E) は、図15 (B) に対応する投射光学系の横収差図であり、図18 (A) ～18 (E) は、図15 (C) に対応する投射光学系の横収差図である。

[0090] (実施例4)

実施例4のレンズ面のデータを以下の表10に示す。特に、本実施例及び次の実施例5では、第2反射光学系MR2は、第1光学群40aの一部と共有するものとしてではなく、単独で存在する。

[表10]

f 3.994

ω 70.0°

NA 0.278

	R	D	Nd	Vd
OBJ	Infinity	3.000	-	-
1	Infinity	25.750	1.51633	64.14
2	Infinity	6.200	-	-
3	116.093	6.000	1.48749	70.24
4	-38.077	21.734	-	-
5	100.111	1.200	2.00069	25.46
6	41.429	4.800	1.48749	70.24
7	-39.676	可変間隔	-	-
STO	Infinity	1.000	-	-
9	97.248	3.000	1.48749	70.24
10	287.279	可変間隔	-	-
11	91.428	4.500	1.48749	70.24
12	-148.941	可変間隔	-	-
*13	-56.574	-65.000	-	反射面
*14	243.256	65.000	-	反射面
*15	70.214	可変間隔	-	反射面
IMG	Infinity	-	-	-

[0091] 以下の表 1 1 は、実施例 4 のレンズ面の非球面係数である。

[表 1 1]

非球面係数

	K	A04	A06	A08	A10	A12
13	0.6140	2.2338E-06	2.6381E-11	3.9285E-13	-2.0072E-16	1.0323E-19
14	0.2723	-6.0201E-07	5.7969E-10	-4.0071E-13	0.0000E+00	0.0000E+00
15	-6.7963	-3.1365E-08	1.6458E-12	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

[0092] 以下の表 1 2 は、投射倍率 1 2 6 倍、投射倍率 1 6 1 倍及び投射倍率 1 1 0 倍において、表 1 0 中の可変間隔 7, 1 0, 1 2, 1 5 の値を示している。

[表 1 2]

可変間隔

	126x	161x	110x
7	15.087	6.624	18.978
10	21.144	29.364	17.317
12	126.585	126.828	126.521
15	-475.000	-598.539	-419.978

[0093] 図 1 9 は、実施例 4 の投射光学系 4 0 の断面図である。図 1 9 において、投射光学系 4 0 は、パネル面 P 1 上の像をスクリーンまでの距離に応じた倍率で拡大投射するものである。縮小側から順に、投射光学系 4 0 のうち、第 1 光学群 4 0 a は、第 1 - 1 レンズ群 4 1 を構成するレンズ L 1 ~ L 3 と、第 1 - 2 レンズ群 4 2 を構成するレンズ L 4, L 5 との 5 枚のレンズ L 1 ~ L 5 を有する。また、第 2 光学群 4 0 b は、3 枚の非球面ミラーである第 1 ~ 第 3 反射光学系 MR 1 ~ MR 3 を有する。ここで、既述のように、第 2 反射光学系 MR 2 は、単独で存在する。なお、非球面ミラーについて、図 1 9 では切り欠かずにそのまま描いているが、実際の光学系では、円形状から一部切り欠いた形状となる。

[0094] 各光学要素について光路順に詳しく説明すると、屈折光学系である第 1 光

光学群40aは、縮小側から順に両凸形状で正の第1レンズ（レンズL1）、縮小側に凸面を向けた負メニスカス形状の第2レンズ（レンズL2）と両凸形状で正の第3レンズ（レンズL3）との接合レンズ、開口絞りST、縮小側に凸面をむけたメニスカス形状の正の第4レンズ（レンズL4）、両凸形状で正の第5レンズ（レンズL5）の5枚のレンズで構成される。第1光学群40aから射出された光線束は、第1光学群40aと第2光学群40bの第1反射光学系MR1との間で、1次結像したあと、第1反射光学系MR1の非球面凹反射面R1で反射される。第1反射光学系MR1で反射された光線束は、第1光学群40a側に戻り、第2反射光学系MR2の非球面凹反射面R2で反射される。第2反射光学系MR2で反射された光線束は、第3反射光学系MR3の非球面凸反射面R3で反射され、スクリーンに結像する。

[0095] なお、以上では、第2反射光学系MR2は、単独のミラー面のみとして構成されているが、実施例1～3の場合と同様に、第1光学群40aの最も拡大側に位置するレンズの一部を、第2反射光学系MR2の反射面R2として利用することも可能である。

[0096] ただし、実施例4では、第2光学群40bにおいて、単独の非球面ミラーを3面使用することで、屈折光学系である第1光学群40aは、5枚のレンズで構成できている。また、第1光学群40aは、精度を確保しやすい球面レンズですべて構成され、かつ、一般的な円形状にできることから、製造上もバラツキを少なくすることができる。また、第2光学群40bにおいて、3面の非球面ミラーは、全て回転対称で屈折系の光軸と同軸となっているため設置精度は出しやすくなっている。第2反射光学系MR2は、比較的小型であることから、精度を確保しやすい円形状のガラス非球面ミラーとして成形し、光軸上で半分に切断することで、1個の円形状のガラス非球面ミラーから2個の部品を製造することも可能である。

[0097] 投射距離を変更して変倍する場合には、第1～2レンズ群42の第4レンズ（レンズL4）と第5レンズ（レンズL5）とをフローティングにより移動することでフォーカスを行う。なお、第1～1レンズ群41及び第2光学

群40bは固定である。

[0098] 図20(A)は、投射倍率126倍の時の投射光学系の縮小側収差図(球面収差、非点収差、歪曲収差)であり、図20(B)は、投射倍率161倍の時の投射光学系の縮小側収差図であり、図20(C)は、投射倍率110倍の時の投射光学系の縮小側収差図である。また、図21(A)~21(E)は、図20(A)に対応する投射光学系の横収差図である。図21(A)~21(E)はそれぞれ、像高100%、80%、60%、40%、15%における横収差を示している。図21(A)は、最大画角の場合に対応する。同様に、図22(A)~22(E)は、図20(B)に対応する投射光学系の横収差図であり、図23(A)~23(E)は、図20(C)に対応する投射光学系の横収差図である。

[0099] (実施例5)

実施例5のレンズ面のデータを以下の表13に示す。

[表13]

f	4.019
ω	70.7°
NA	0.278

	R	D	Nd	Vd
OBJ	Infinity	3.000	—	—
1	Infinity	25.750	1.51633	64.14
2	Infinity	6.300	—	—
3	166.812	6.000	1.48749	70.24
4	-31.324	17.167	—	—
5	106.422	4.800	1.48749	70.24
6	-25.930	1.200	1.84666	23.78
7	-57.089	可変間隔	—	—
STO	Infinity	1.000	—	—
9	148.810	3.500	1.72000	50.23
10	-61.331	可変間隔	—	—
*11	-30.201	2.500	1.53116	56.04
*12	-42.213	可変間隔	—	—
*13	-62.087	-83.563	—	反射面
*14	207.720	55.627	—	反射面
*15	74.630	可変間隔	—	反射面
IMG	Infinity	—	—	—

[0100] 以下の表 1 4 は、実施例 5 のレンズ面の非球面係数である。

[表 1 4]

非球面係数

	K	A04	A06	A08	A10	A12
11	-5.4707	-8.0145E-05	6.1463E-08	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
12	2.2146	-4.6768E-05	5.2811E-08	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
13	0.4070	1.3169E-06	-7.6337E-11	2.6518E-13	-1.2208E-16	3.4649E-20
14	-1.0000	-3.8248E-07	1.5359E-10	-4.2092E-14	0.0000E+00	0.0000E+00
15	-6.0599	-2.6499E-08	1.3266E-12	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

[0101] 以下の表 1 5 は、投射倍率 1 2 5 倍、投射倍率 1 6 1 倍及び投射倍率 1 1 0 倍において、表 1 3 中の可変間隔 7, 1 0, 1 2, 1 5 の値を示している。

[表 1 5]

可変間隔			
	125x	161x	110x
7	17.464	18.314	16.903
10	29.892	30.296	29.667
12	117.496	116.412	118.451
15	-475.000	-625.806	-410.412

[0102] 図24は、実施例5の投射光学系40の断面図である。図24において、投射光学系40は、パネル面P1上の像をスクリーンまでの距離に応じた倍率で拡大投射するものである。縮小側から順に、投射光学系40のうち、第1光学群40aは、第1-1レンズ群41を構成するレンズL1～L3と、第1-2レンズ群42を構成するレンズL4、L5との5枚のレンズL1～L5を有する。また、第2光学群40bは、3枚の非球面ミラーである第1～第3反射光学系MR1～MR3を有する。ここで、既述のように、第2反射光学系MR2は、単独で存在する。なお、非球面ミラーについて、図24では切り欠かずにそのまま描いているが、実際の光学系では、円形状から一部切り欠いた形状となる。

[0103] 各光学要素について光路順に詳しく説明すると、屈折光学系である第1光学群40aは、縮小側から順に両凸形状で正の第1レンズ（レンズL1）、両凸形状で正の第2レンズ（レンズL2）と拡大側に凸面を向けた負メニスカス形状の第3レンズ（レンズL3）との接合レンズ、開口絞りST、両凸形状の第4レンズ（レンズL4）、両面に非球面が施され拡大側に凸面を向けた負メニスカスレンズの第5レンズ（レンズL5）の5枚のレンズで構成される。第1光学群40aから射出された光線束は、第1光学群40aと第2光学群40bの第1反射光学系MR1との間で、1次結像したあと、第1反射光学系MR1の非球面凹反射面R1で反射される。第1反射光学系MR1で反射された光線束は、第1光学群40a側に戻り、第2反射光学系MR2の非球面凹反射面R2で反射される。第2反射光学系MR2で反射された光線束は、第3反射光学系MR3の非球面凸反射面R3で反射され、スクリー

ンに結像する。

[0104] 実施例5では、第2光学群40bに3枚の非球面ミラーを設けるとともに、第1光学群40aに1枚の非球面レンズ（レンズL5）を設けることで、屈折光学系である第1光学群40aとしては、5枚構成と非常に少ない構成としながら、実施例4と比較すると全長を短くできている。また、第1光学群40aは、一般的な円形状にできることから、製造上も問題も少なく、非球面レンズ（レンズL5）は、偏肉比が小さいパワーの小さいレンズで構成されるので、内部歪などの影響も小さくすることが可能となっている。

[0105] 投射距離を変更して変倍する場合には、第1-2レンズ群42の第4レンズ（レンズL4）と第5レンズ（レンズL5）とをフローティングにより移動することでフォーカスを行う。なお、第1-1レンズ群41及び第2光学群40bは固定である。

[0106] 図25（A）は、投射倍率126倍の時の投射光学系の縮小側収差図（球面収差、非点収差、歪曲収差）であり、図25（B）は、投射倍率161倍の時の投射光学系の縮小側収差図であり、図25（C）は、投射倍率110倍の時の投射光学系の縮小側収差図である。また、図26（A）～26（E）は、図25（A）に対応する投射光学系の横収差図である。図26（A）～26（E）はそれぞれ、像高100%、80%、60%、40%、15%における横収差を示している。図26（A）は、最大画角の場合に対応する。同様に、図27（A）～27（E）は、図25（B）に対応する投射光学系の横収差図であり、図28（A）～28（E）は、図25（C）に対応する投射光学系の横収差図である。

[0107] （実施例6）

実施例6のレンズ面のデータを以下の表16に示す。特に、本実施例では、例えば図29に示すように、第2反射光学系MR2は、第1光学群40aのうち最も拡大側のレンズ（レンズL10）よりも縮小側に位置するレンズ（レンズL9）と共有されるものとなっている。

[表16]

f 4.094

 ω 70.2°

NA 0.278

	R	D	Nd	Vd
OBJ	Infinity	3.000	—	—
1	Infinity	25.750	1.51633	64.14
2	Infinity	6.000	—	—
3	115.000	5.200	1.51633	64.14
4	-55.000	0.200	—	—
5	33.190	4.500	1.48749	70.24
6	112.000	20.000	—	—
7	-194.000	1.200	1.83400	37.16
8	27.570	5.000	1.49700	81.54
9	-42.000	7.360	—	—
STO	Infinity	0.000	—	—
11	42.000	4.000	1.48749	70.24
12	-138.000	可変間隔	—	—
13	53.500	4.000	1.58144	40.75
14	370.000	3.420	—	—
15	-55.000	2.000	1.51633	64.14
16	-82.500	可変間隔	—	—
17	-160.000	2.000	1.72342	37.95
18	-765.000	可変間隔	—	—
19	71.300	5.000	1.51633	64.14
20	205.000	6.320	—	—
21	-130.400	2.500	1.48749	70.24
22	-200.000	60.500	—	—
*23	-58.562	-60.500	—	反射面
24	-200.000	-2.500	1.48749	70.24
25	-130.400	-6.320	—	—
26	205.000	6.320	—	反射面
27	-130.400	2.500	1.48749	70.24
28	-200.000	67.000	—	—
*29	82.450	可変間隔	—	反射面
IMG	Infinity	0.000	—	—

[0108] 以下の表 1 7 は、実施例 6 のレンズ面の非球面係数である。

〔表 1 7〕

非球面係数

	K	A04	A06	A08	A10	A12
23	0.7860	2.3470E-06	-2.2290E-10	6.0050E-13	-3.2890E-16	1.4560E-19
29	-6.0410	-6.4310E-08	1.3060E-11	-2.5160E-15	2.9150E-19	-1.3920E-23

[0109] 以下の表 1 8 は、投射倍率 1 2 5 倍、投射倍率 1 7 1 倍及び投射倍率 9 9 倍において、表 1 6 中の可変間隔 1 2, 1 6, 1 8, 2 9 の値を示している。

〔表 1 8〕

可変間隔

	125x	171x	99x
12	38.774	40.637	36.953
16	24.413	26.922	22.069
18	8.800	4.422	12.959
29	-480.000	-675.194	-371.837

[0110] 図 2 9 は、実施例 6 の投射光学系 4 0 の物体面から凹面反射ミラーまでの構成および光線図である。また、図 3 0 は、実施例 6 の投射光学系 4 0 の断面図である。図 2 9 及び図 3 0 において、投射光学系 4 0 は、パネル面 P 1 上の像をスクリーンまでの距離に応じた倍率で拡大投射するものである。縮小側から順に、投射光学系 4 0 のうち、第 1 光学群 4 0 a は、第 1 - 1 レンズ群 4 1 を構成するレンズ L 1 ~ L 4 と、第 1 - 2 レンズ群 4 2 を構成するレンズ L 5 ~ L 1 0 との 1 0 枚のレンズ L 1 ~ L 1 0 を有する。また、第 2 光学群 4 0 b は、3 枚の非球面ミラーである第 1 ~ 第 3 反射光学系 MR 1 ~ MR 3 を有する。ここで、既述のように、第 2 反射光学系 MR 2 は、第 1 光学群 4 0 a のうち最も拡大側のレンズよりも縮小側に位置するレンズと共有されている。なお、第 2 反射光学系 MR 2 以外の非球面ミラーについて、図 3 0 では切り欠かずにそのまま描いているが、実際の光学系では、円形状か

ら一部切り欠いた形状となる。

[0111] 各光学要素について光路順に詳しく説明すると、屈折光学系である第1光学群40aは、縮小側から順に両凸で正の第1レンズ（レンズL1）、縮小側に凸で正の第2メニスカスレンズ（レンズL2）、両凹形状の負の第3レンズ（レンズL3）と両凸形状の正の第4レンズ（レンズL4）との接合レンズ、開口絞りST、両凸形状の正の第5レンズ（レンズL5）、縮小側に凸面を向けた正メニスカスレンズの第6レンズ（レンズL6）、拡大側に凸面を向けた負メニスカスレンズの第7レンズ（レンズL7）、拡大側に凸面を向けた負メニスカスレンズの第8レンズ（レンズL8）、縮小側に凸面を向けた正のメニスカスレンズの第9レンズ（レンズL9）、拡大側に凸面を向けた負のメニスカスレンズの第10レンズ（レンズL10）の10枚のレンズで構成される。第1光学群40aは、全て球面レンズで構成される。1光学群40aから射出された光線束は、第1光学群40aと第2光学群40bの第1反射光学系MR1との間で、1次結像したあと、第1反射光学系MR1の非球面凹反射面R1で反射される。第1反射光学系MR1で反射された光線束は、第1光学群40a側に戻り、第1光学群40aの第10レンズ（レンズL10）を通過した後、第2反射光学系MR2の凹反射面R2で反射される。凹反射面R2は、第1光学群40aの第9レンズ（レンズL9）の上側半分に形成された反射膜で構成されている、すなわち、反射面R2は、第9レンズ（レンズL9）の屈折面と共有されている。第2反射光学系MR2で反射された光線束は、再び、第10レンズ（レンズL10）を通過して、第3反射光学系MR3の非球面凸反射面R3で反射され、スクリーンに結像する。

[0112] 実施例6では、屈折光学系である第1光学群40aは、全て精度を確保しやすい球面レンズで構成され、かつ、一般的な円形状にできることから、製造上も問題が少なくできる。また、実施例6での非球面は、第1反射光学系MR1と第3反射光学系MR3の反射面R1、R3の2面のみであり、かつ一般的な回転対称面で構成されるため、比較的製造しやすく、第2光学群4

0 b は、第 1 光学群 4 0 a と同軸の構成であり設置性も良く、作りやすいものになっている。

[0113] 投射距離を変更して変倍する場合には、第 1 - 2 レンズ群 4 2 のうち一体で移動可能な第 6 及び第 7 レンズ（レンズ L 6, L 7）と単独で移動可能な第 8 レンズ（レンズ L 8）とをフローティングにより移動することでフォーカスを行う。なお、第 1 - 2 レンズ群 4 2 のうち他のレンズと、第 1 - 1 レンズ群 4 1 及び第 2 光学群 4 0 b とは固定である。

[0114] 図 3 1（A）は、投射倍率 1 2 5 倍の時の投射光学系の縮小側収差図（球面収差、非点収差、歪曲収差）であり、図 3 1（B）は、投射倍率 1 7 1 倍の時の投射光学系の縮小側収差図であり、図 3 1（C）は、投射倍率 9 9 倍の時の投射光学系の縮小側収差図である。また、図 3 2（A）～3 2（E）は、図 3 1（A）に対応する投射光学系の横収差図である。図 3 2（A）～3 2（E）はそれぞれ、像高 1 0 0 %、8 0 %、6 0 %、4 0 %、1 5 %における横収差を示している。図 3 2（A）は、最大画角の場合に対応する。同様に、図 3 3（A）～3 3（E）は、図 3 1（B）に対応する投射光学系の横収差図であり、図 3 4（A）～3 4（E）は、図 3 1（C）に対応する投射光学系の横収差図である。

[0115] 〔実施例のまとめ〕

上記実施例 1 ～ 6 について、焦点距離等についての条件式（1）～（3）に関する項目は、下記の表 1 9 の通りである。なお、下欄の各数値から、条件式（1）～（3）が満たされていることが分かる。

〔表 1 9〕

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	実施例 6
f1	27.121	28.934	25.925	28.287	31.044	29.281
f2	129.853	237.518	-432.500	121.628	103.860	102.500
f3	-38.339	-41.572	-42.730	-35.107	-37.315	-41.225
F	4.002	4.029	3.977	3.994	4.019	4.094
FL	49.000	48.806	50.385	50.271	37.403	53.388
F_{1-1}	41.454	50.705	49.197	44.837	45.7565	41.4536
F_{1-2}	155.477	59.584	77.937	89.326	72.045	157.834

	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	実施例 6
f1	27.121	28.934	25.925	28.287	31.044	29.281
f2	129.853	237.518	432.500	121.628	103.860	102.500
f3	38.339	41.572	42.730	35.107	37.315	41.225
F/FL	0.082	0.083	0.079	0.079	0.107	0.077
F_{1-1}/F_{1-2}	0.267	0.851	0.631	0.502	0.635	0.263

[0116] また、いずれの実施例においても、広角端での半画角 70° 程度の広い画角を有しながら、屈折光学系（第1光学群40a）は5枚から7枚程度の少ないレンズ構成で可能となっている。また、比較として例えば反射光学系を1枚ミラー方式とした場合には、凹レンズで反射した光束が屈折光学系の最も拡大側のレンズと干渉するため、スクリーンのオフセット量を高くしたり、レンズの一部をカットしたりする必要性が生じる可能性がある。これに対して本実施形態のように、反射光学系を3枚ミラー構成とした場合、構成によっては、上述した例のように屈折光学系のうち干渉するおそれのある拡大側の部分をミラーとして利用できる（兼用させることができる）ため、構成が楽になり、コスト的にも有利になる。

[0117] 以上のように、本実施形態の投射光学系あるいはこれを用いたプロジェクターは、反射光学系（第2光学群）が全体として負のパワーを持っているため、屈折光学系（第1光学群）が従来よりも簡単な構成でありながら、従来のように屈折光学系（第1光学群）を多数のレンズで構成した場合と同等の十分良好な光学性能を有し、かつ、フォーカス群全長が短く、軽量化されたものとなる。これにより、フォーカス群と主鏡筒との結合部を簡略化しても性能に影響を与えることなく、レンズ全体の小型化およびコストダウンも可

能となっている。

[0118] この発明は、上記の実施形態又は実施例に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様で実施することが可能である。

[0119] 例えば、第2反射光学系MR2の曲面形状については、凹面又は凸面としているが、平面とする構成も可能である。

[0120] また、上記実施形態において、たとえば、光透過反射光学系であるレンズL7の製造方法についても、種々の態様が可能である。例えば通常のレンズ作製工程で屈折レンズを成形した後、レンズ用コートを施す。その後、光反射領域に相当する箇所だけに反射膜が形成されるように、光透過領域に相当する領域をマスクした状態でアルミを蒸着することでレンズL7を作製することができる。

[0121] また、例えば、各実施例において、各レンズ群を構成するレンズの前後又は間に1つ以上の実質的にパワーを持たないレンズを追加することができる。

[0122] また、投射光学系40による拡大投射の対象は、液晶パネルによって形成された画像に限らず、デジタル・マイクロミラー・デバイス等の光変調素子によって形成された画像を投射光学系40によって拡大投射することができる。

符号の説明

[0123] 2…プロジェクター、 10…光源、 11, 12…インテグレートレンズ、 13…偏光変換素子、 14…重畳レンズ、 15…ダイクロイックミラー、 16…反射ミラー、 17B…フィールドレンズ、 17G…フィールドレンズ、 17R…フィールドレンズ、 18G, 18R, 18B…液晶パネル、 19…クロスダイクロイックプリズム、 21…ダイクロイックミラー、 22…リレーレンズ、 23…反射ミラー、 40…投射光学系、 40a…第1光学群、 40b…第2光学群、 41…第1-1レンズ群、 42…第1-2レンズ群、 50…光学系部分、 80…回路装置、 81…画像処理部、 81, 82, 83…回路部分、 82…表

示駆動部、 83…レンズ駆動部、 88…主制御部、 A1…方向、 A
C…アクチュエーター、 BD…可変間隔、 L1…レンズ、 L1-L10
…レンズ、 MR1-MR3…反射光学系、 OA…光軸、 P1…パネル面
、 PR…プリズム、 R1-R3…反射面、 f_1 , f_2 , f_3 …焦点距離
、 ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 …パワー

請求の範囲

[請求項1] 縮小側から順に設けられた、複数のレンズからなり正のパワーを有

する屈折光学系と、反射光学系と、を備えた投射光学系であって、

前記反射光学系は、前記屈折光学系から射出された光の光路上に前記屈折光学系側から順に設けられた第1反射光学系と第2反射光学系と第3反射光学系とを含み、

前記第1反射光学系は、凹面形状を有する第1反射面を含み、

前記第2反射光学系は、曲面形状を有する第2反射面を含み、

前記第3反射光学系は、凸面形状を有する第3反射面を含み、

前記第1反射面、前記第2反射面及び前記第3反射面のうち少なくとも2つは非球面形状を有し、

前記第1反射光学系の焦点距離を f_1 、前記第2反射光学系の焦点距離を f_2 、前記第3反射光学系の焦点距離を f_3 、としたとき、 f_1 、 f_2 、 f_3 が条件式(1)を満足することを特徴とする投射光学系。

$$|f_2| > |f_3| > |f_1| \dots (1)$$

[請求項2] 請求項1に記載の投射光学系において、全系の焦点距離を F 、前記屈折光学系の焦点距離を F_L とするとき、条件式(2)を満足することを特徴とする投射用光学系。

$$0.05 < F/F_L < 0.15 \dots (2)$$

[請求項3] 請求項1または2に記載の投射光学系において、前記複数のレンズが全て回転対称系であることを特徴とする投射光学系。

[請求項4] 請求項3に記載の投射光学系において、前記複数のレンズ及び前記第1～第3反射光学系の全ての面は、回転対称面で構成され、同一の光軸を有する共軸光学系であることを特徴とする投射光学系。

[請求項5] 請求項1から4までのいずれか一項に記載の投射光学系において、前記複数のレンズは、前記屈折光学系の一部として機能する光透過領域と前記第2反射面として機能する光反射領域とを有する光透過反射

光学系を含むことを特徴とする投射光学系。

[請求項6] 請求項5に記載の投射光学系において、前記光透過反射光学系は、前記屈折光学系において最も拡大側に配置されており、投射距離の変更に伴う変倍時のフォーカスの際、固定されていることを特徴とする投射光学系。

[請求項7] 請求項1から6までのいずれか一項に記載の投射光学系において、前記屈折光学系は、変倍時に少なくとも1つの移動するレンズ群を有し、最も縮小側の可変間隔を境にして、縮小側から順に正のパワーを有する第1-1レンズ群と、正のパワーを有する第1-2レンズ群とから構成され、前記第1-1レンズ群の焦点距離を F_{1-1} 、前記第1-2レンズ群の焦点距離を F_{1-2} とすると、条件式(3)を満足することを特徴とする投射光学系。

$$0.0 < |F_{1-1}/F_{1-2}| < 1.0 \dots (3)$$

[請求項8] 請求項1から7までのいずれか一項に記載の投射光学系において、物体側の開口数は0.27以上であることを特徴とする投射用光学系。

[請求項9] 請求項1から8までのいずれか一項に記載の投射光学系において、縮小側は略テレセントリックであることを特徴とする投射光学系。

[請求項10] 請求項1から9までのいずれか一項に記載の投射光学系において、変倍範囲が1.4倍以上あることを特徴とする投射光学系。

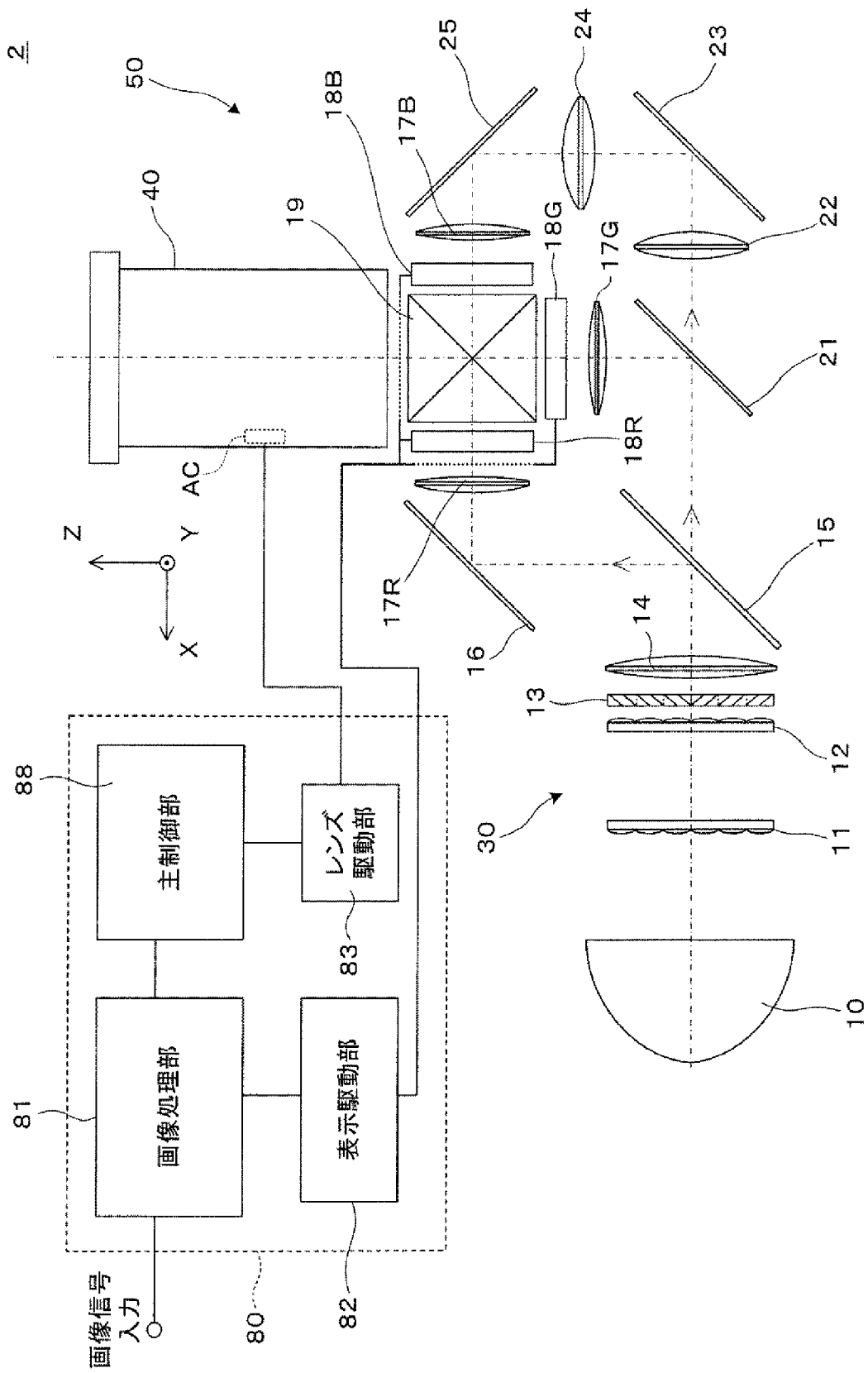
[請求項11] 縮小側から順に設けられた、複数のレンズからなり正のパワーを有する屈折光学系と、少なくとも3面の反射面を有する反射光学系と、を備えた投射光学系であって、

前記屈折光学系を構成する前記複数のレンズは、前記屈折光学系の一部として機能する光透過領域と前記反射光学系の反射面として機能する光反射領域とを有する光透過反射光学系を含むことを特徴とする投射光学系。

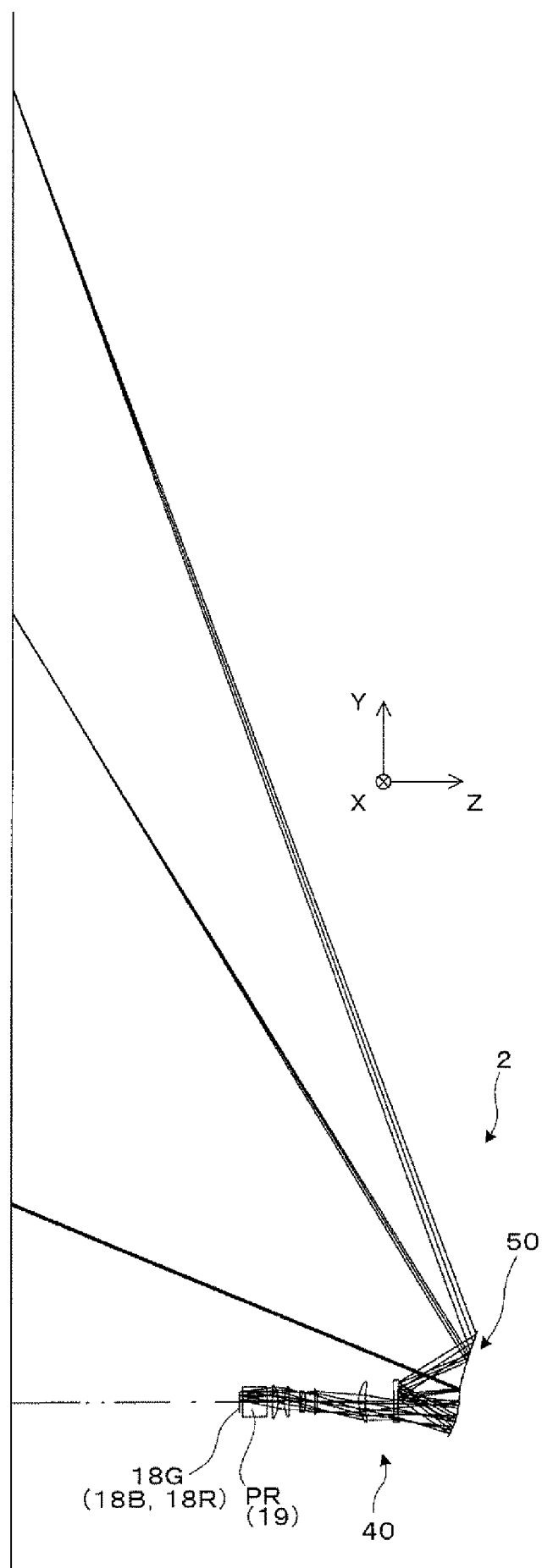
[請求項12] 光源と、

前記光源からの光を変調して画像光を形成する光変調素子と、
前記画像光を投射する請求項 1 から 11 までのいずれか一項に記載
の投射光学系とを備えることを特徴とするプロジェクター。

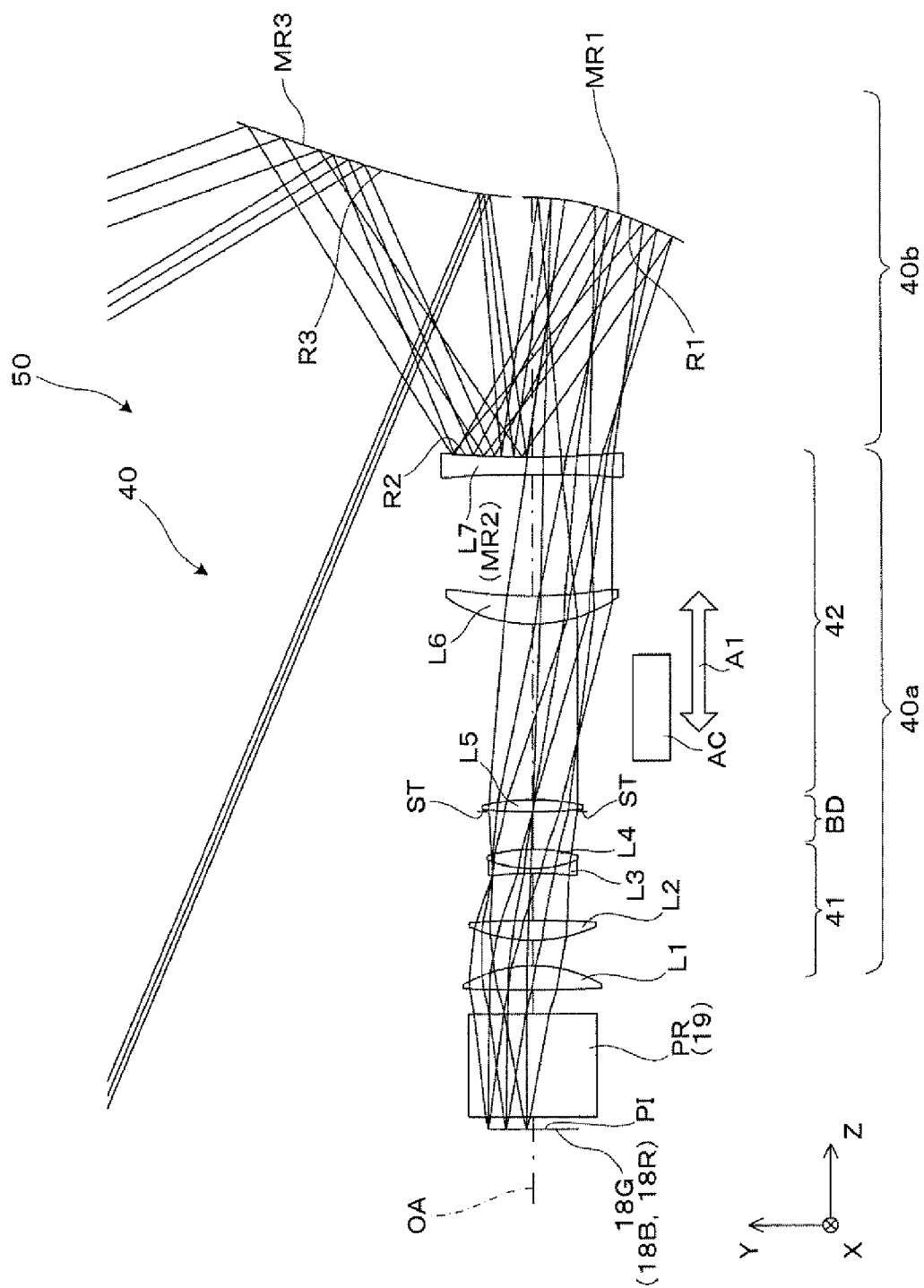
[図1]



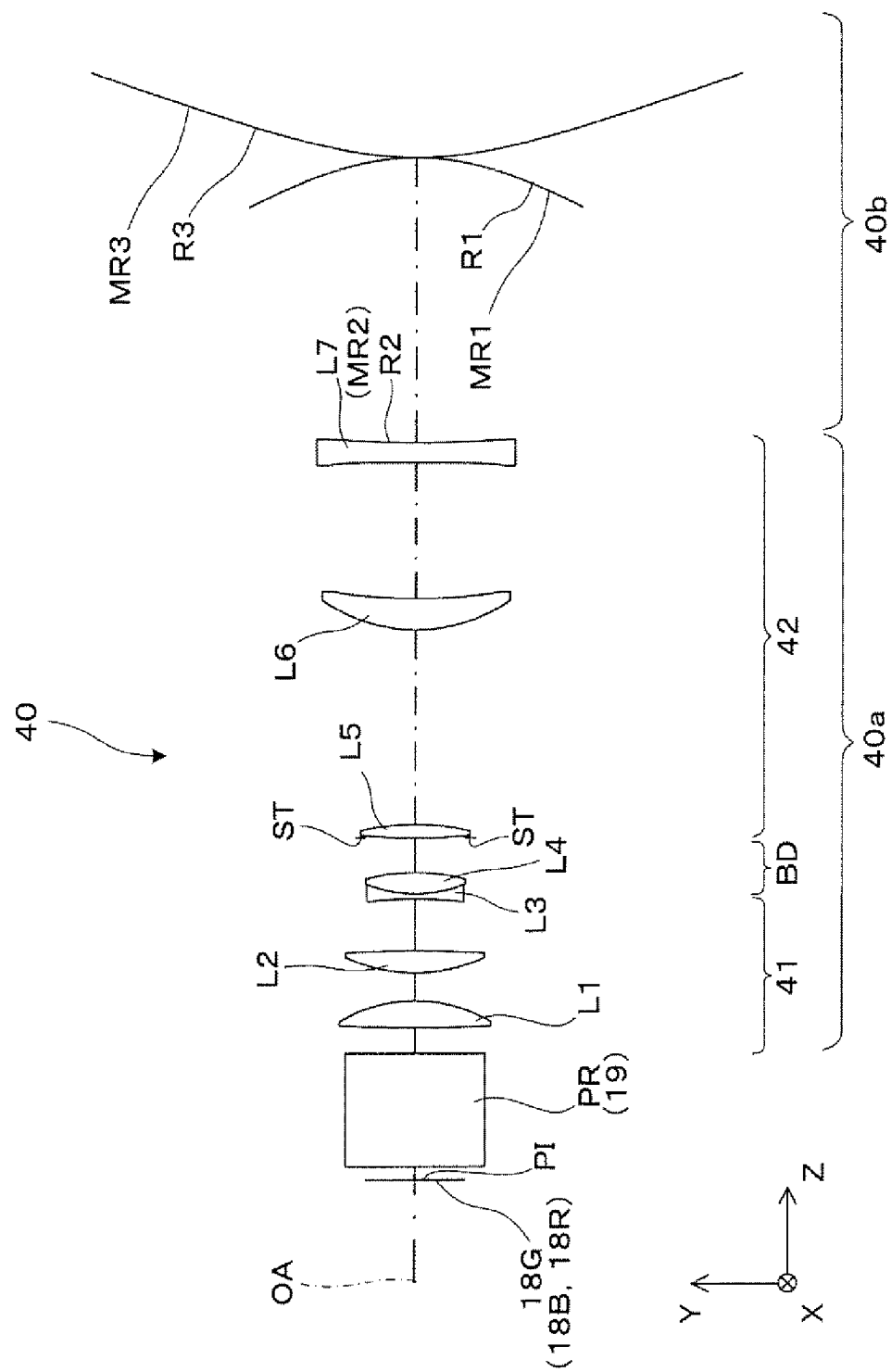
[図2]



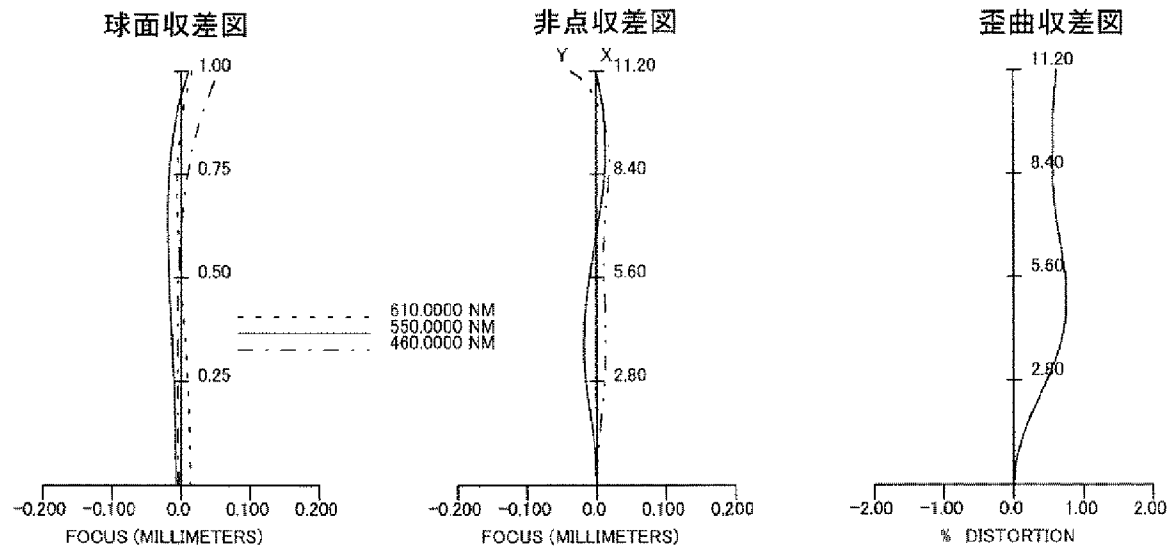
[図3]



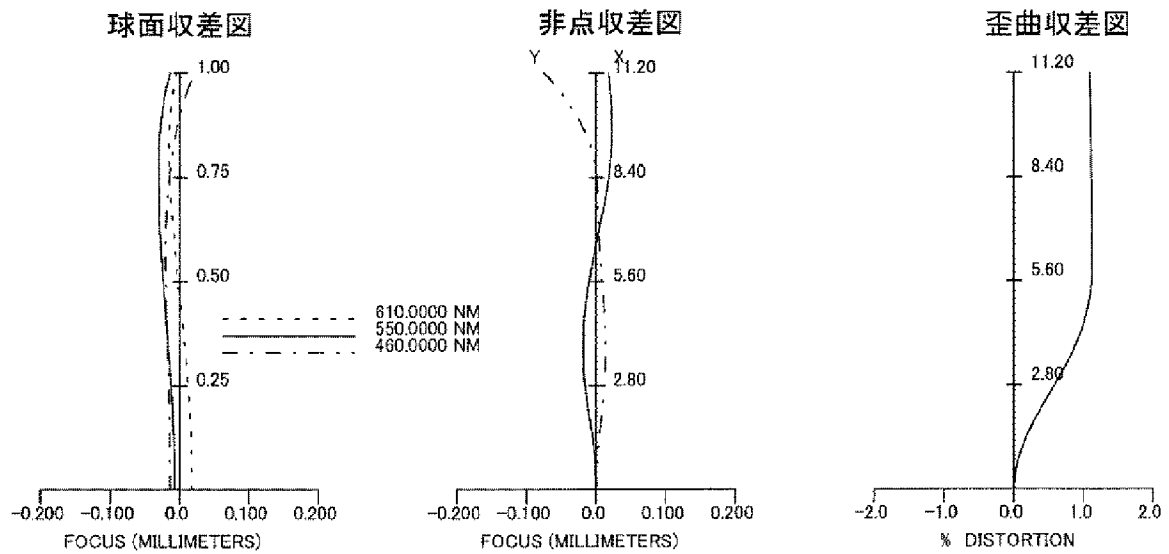
[図4]



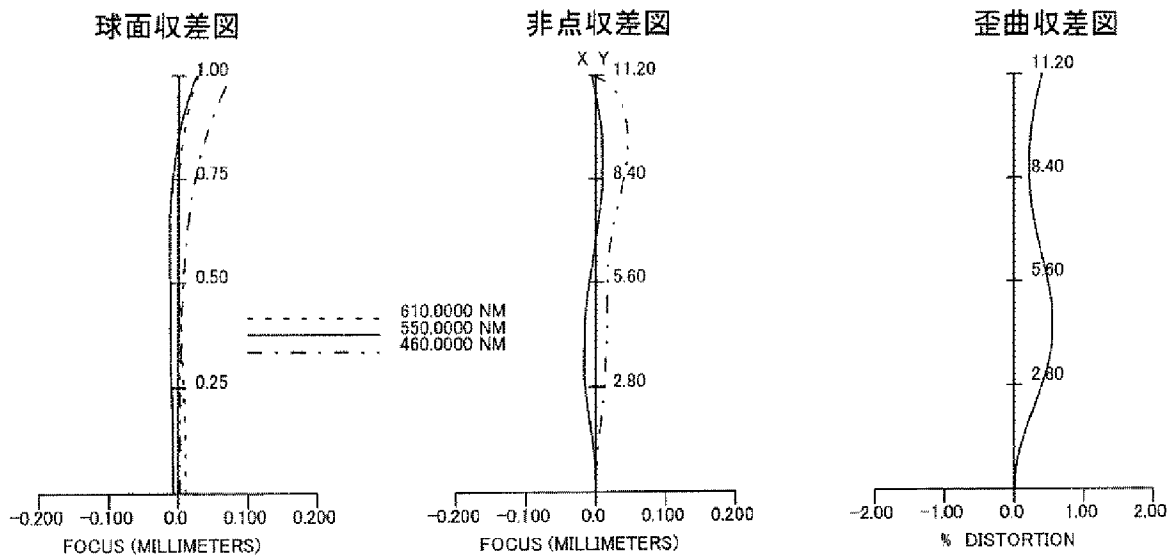
[图5]



(A)

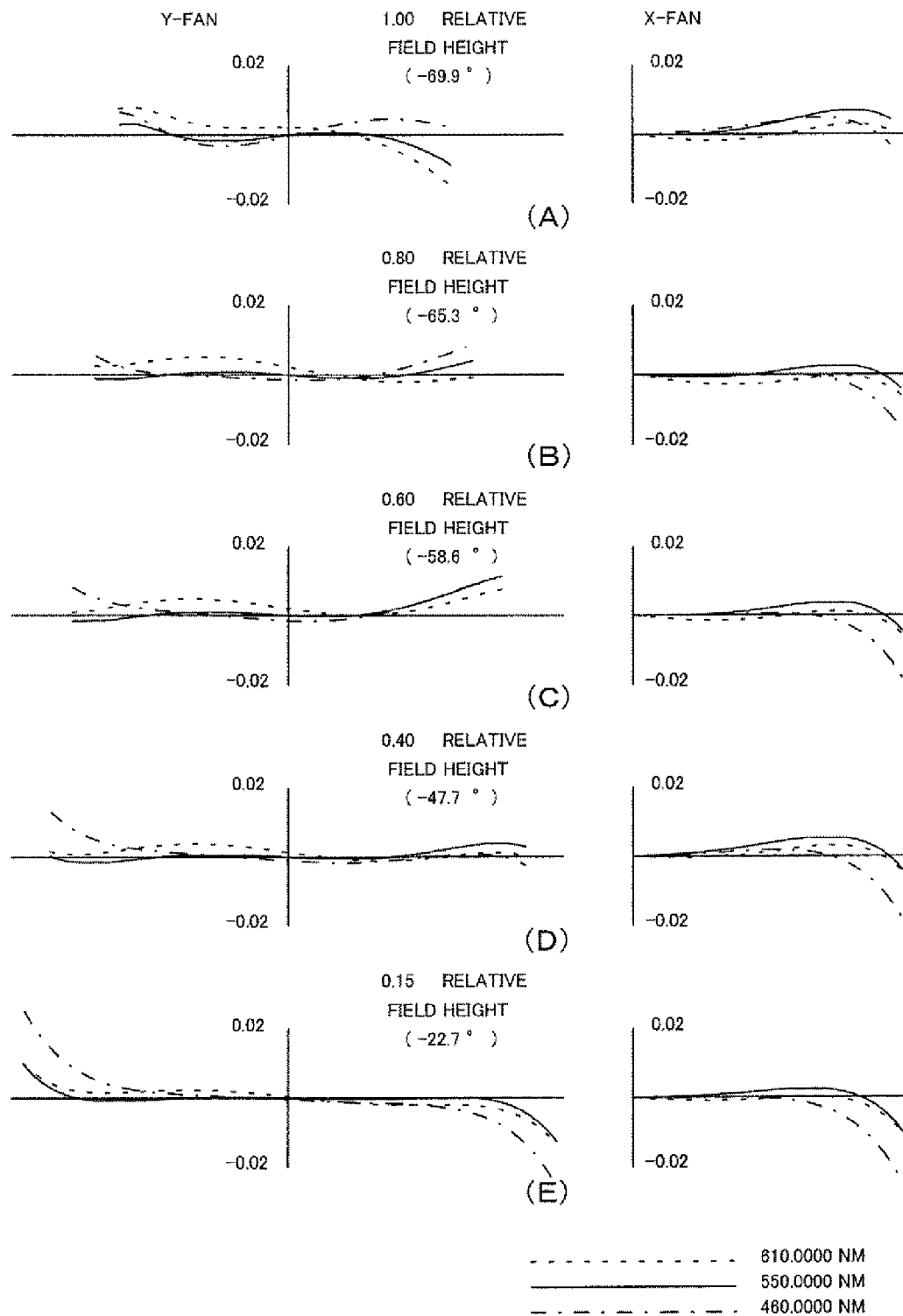


(B)

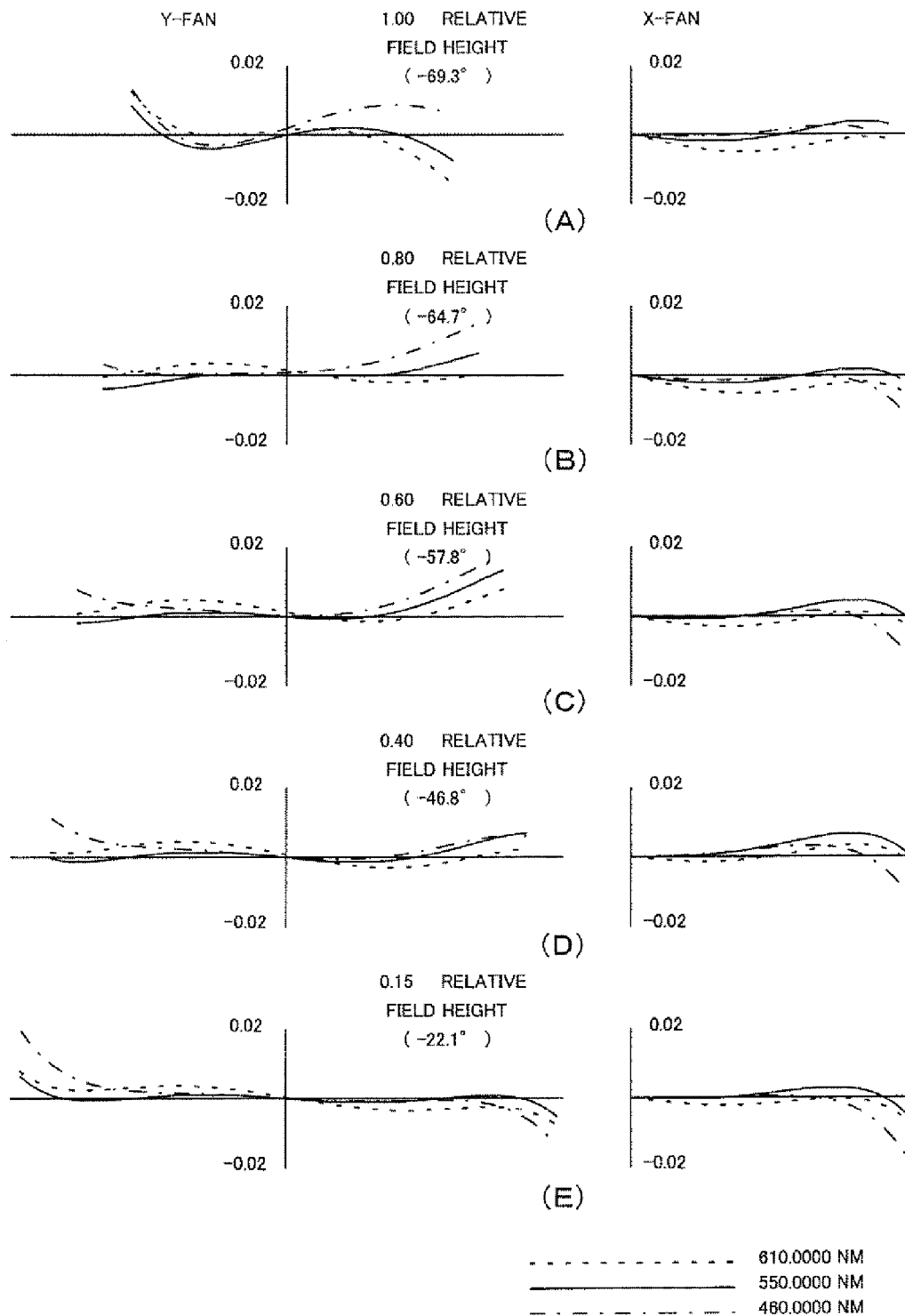


(C)

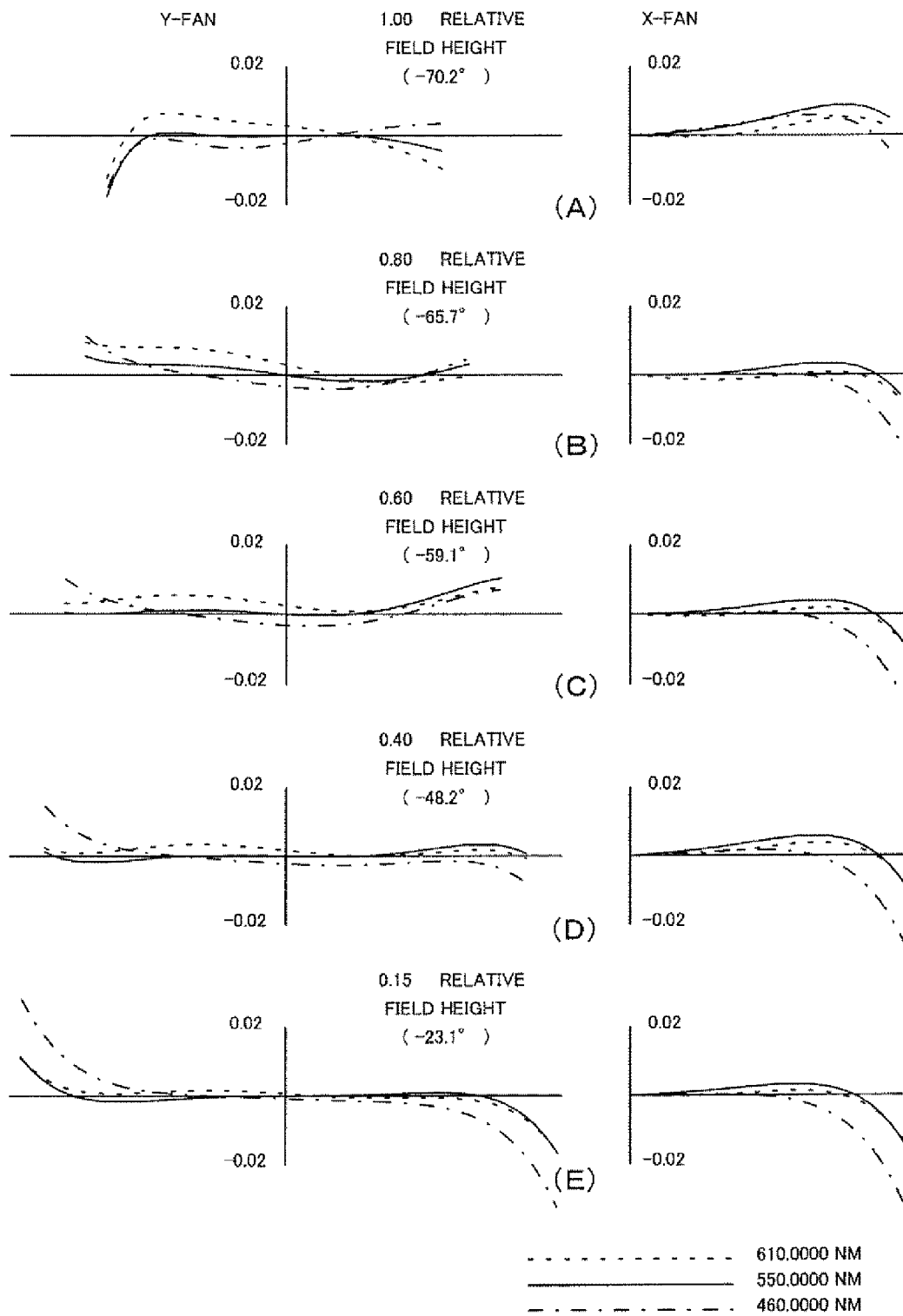
[図6]



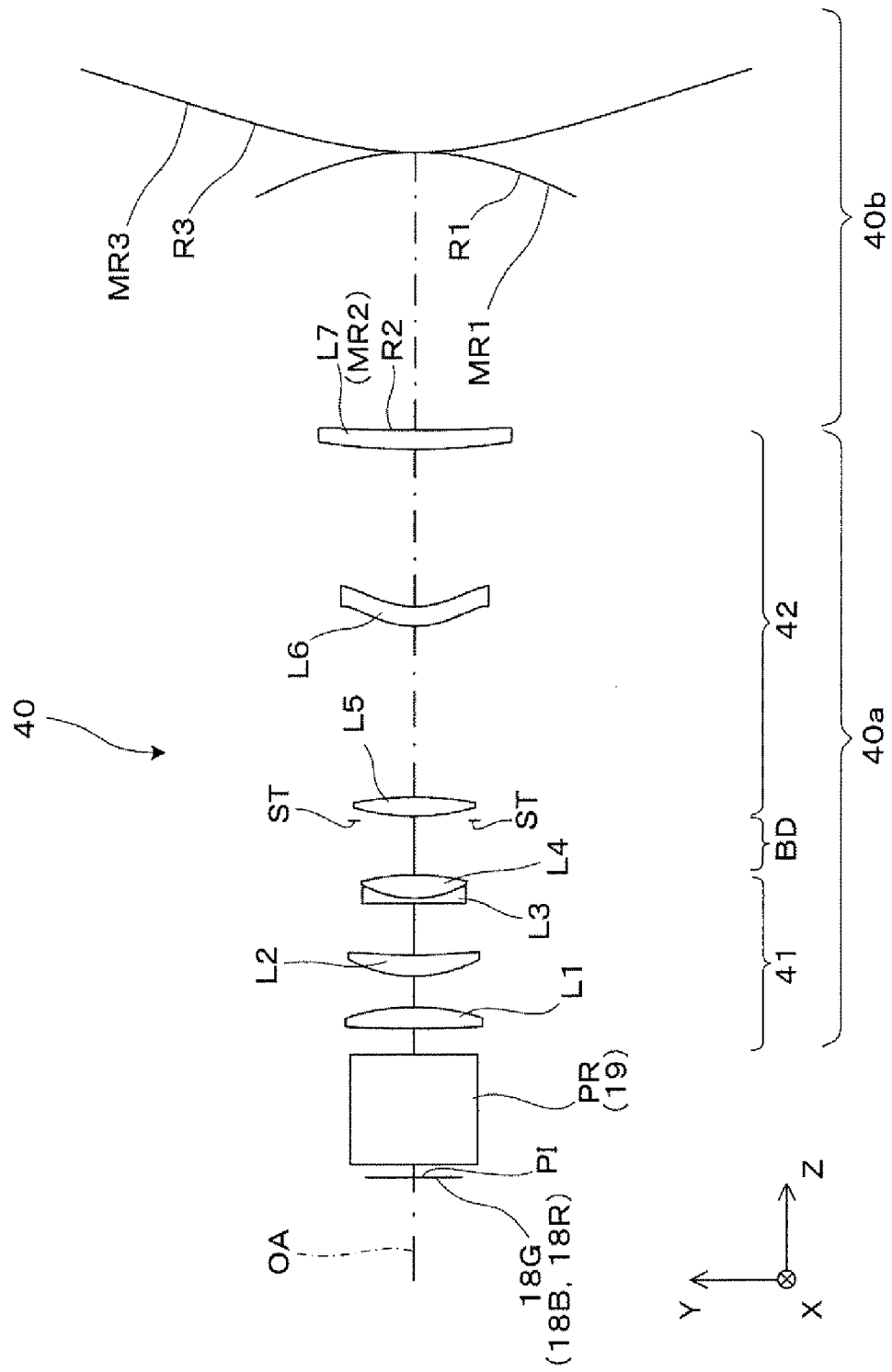
[図7]



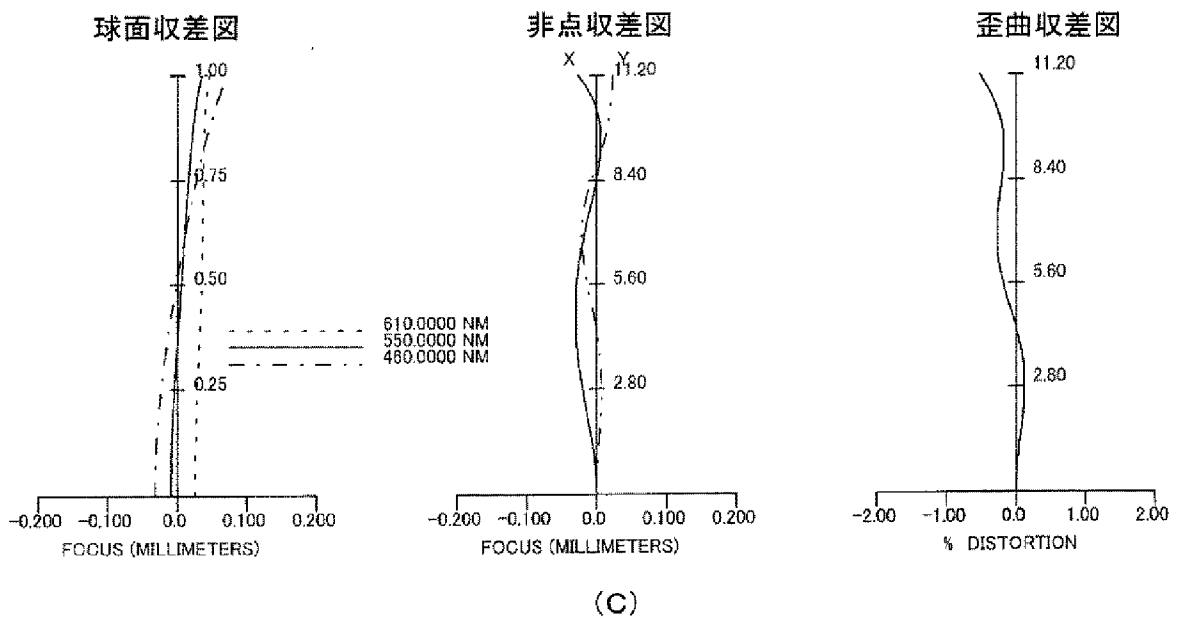
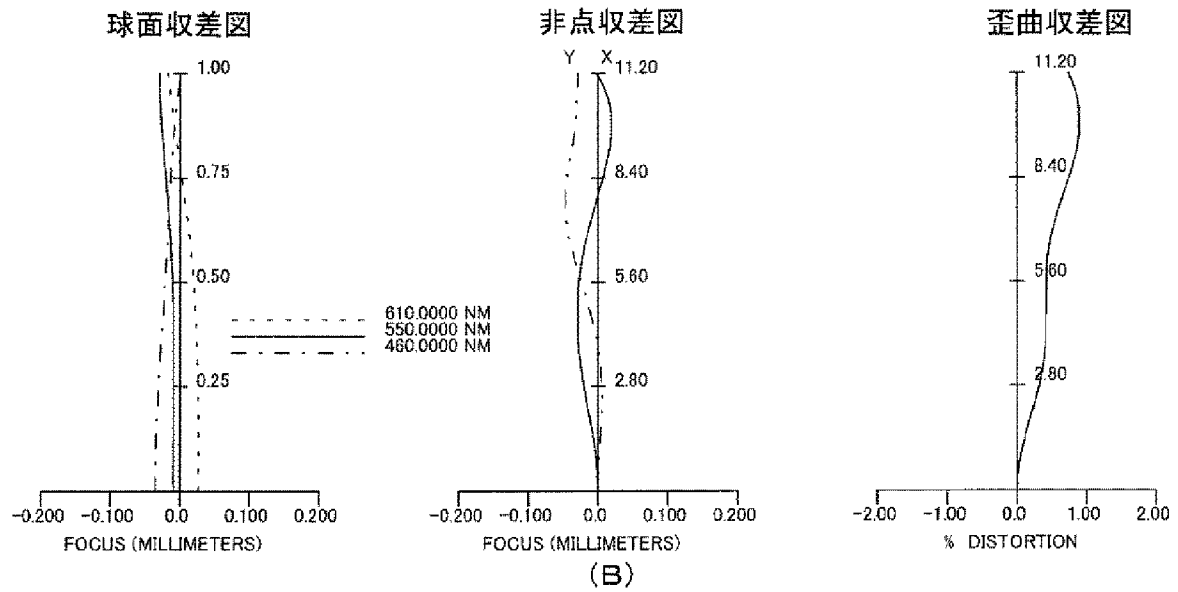
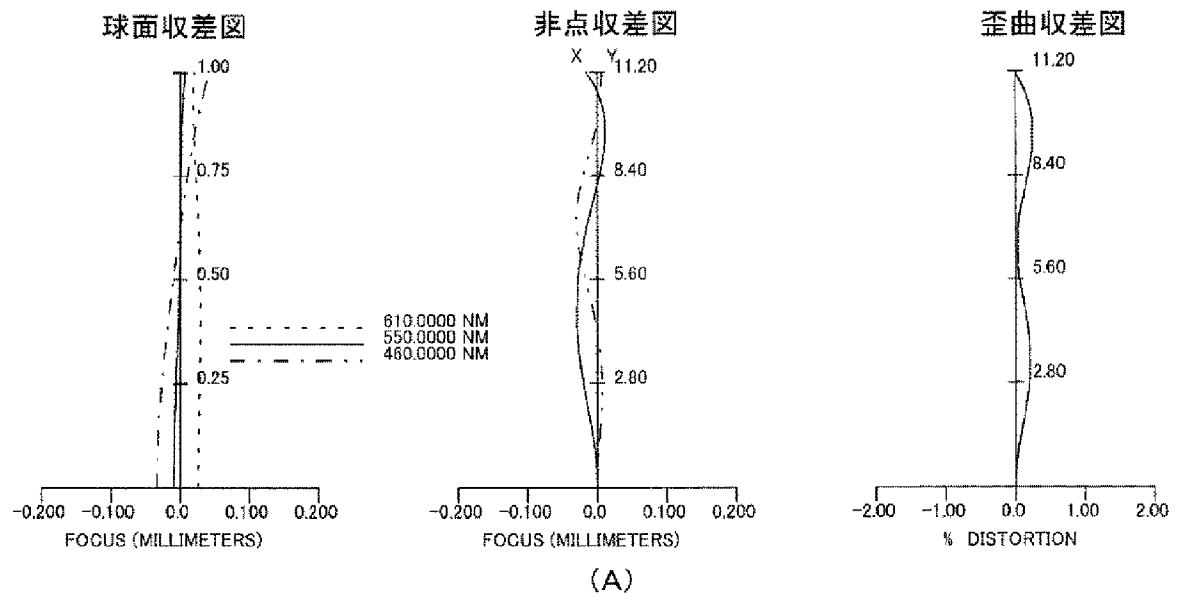
[図8]



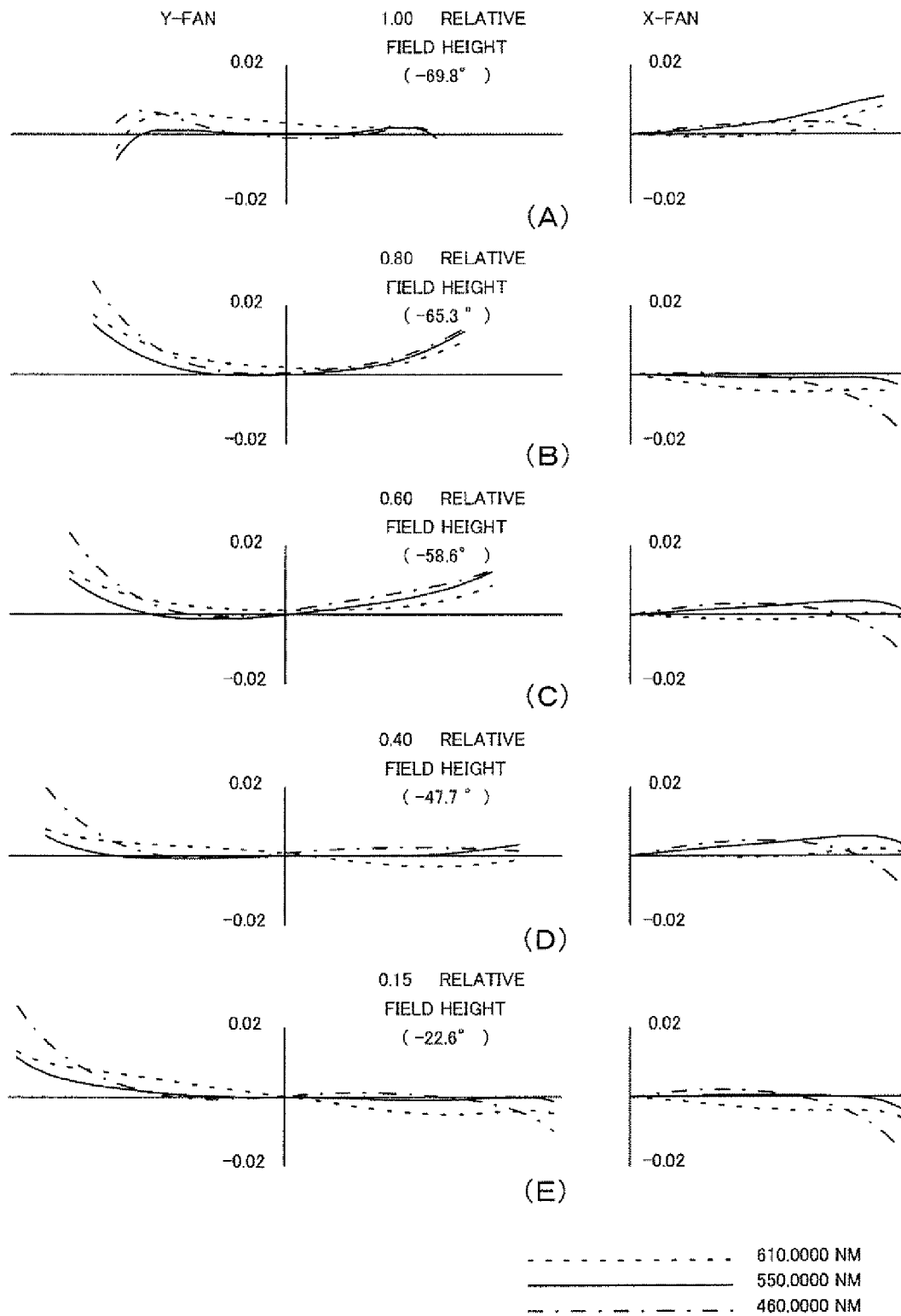
[図9]



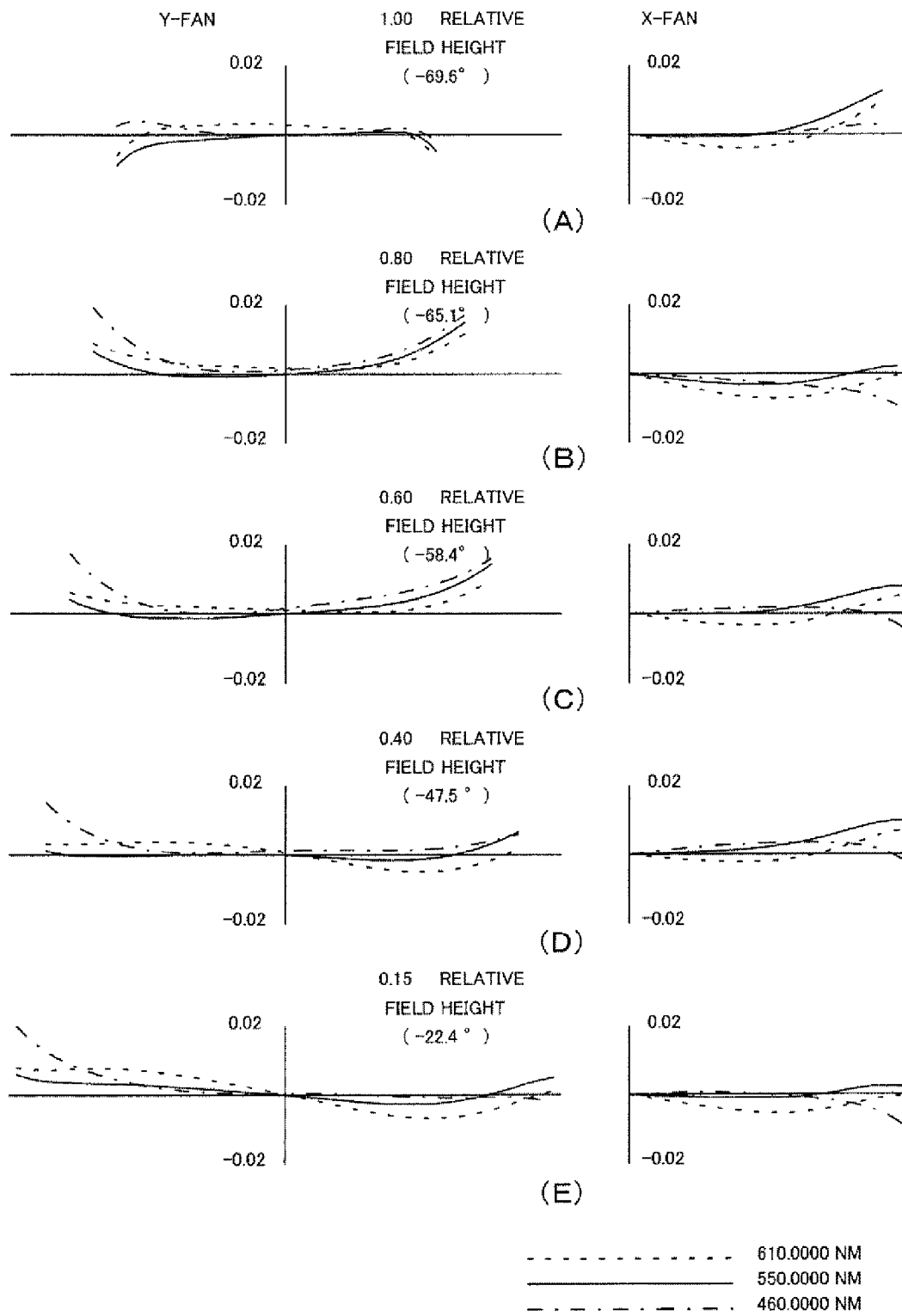
[図10]



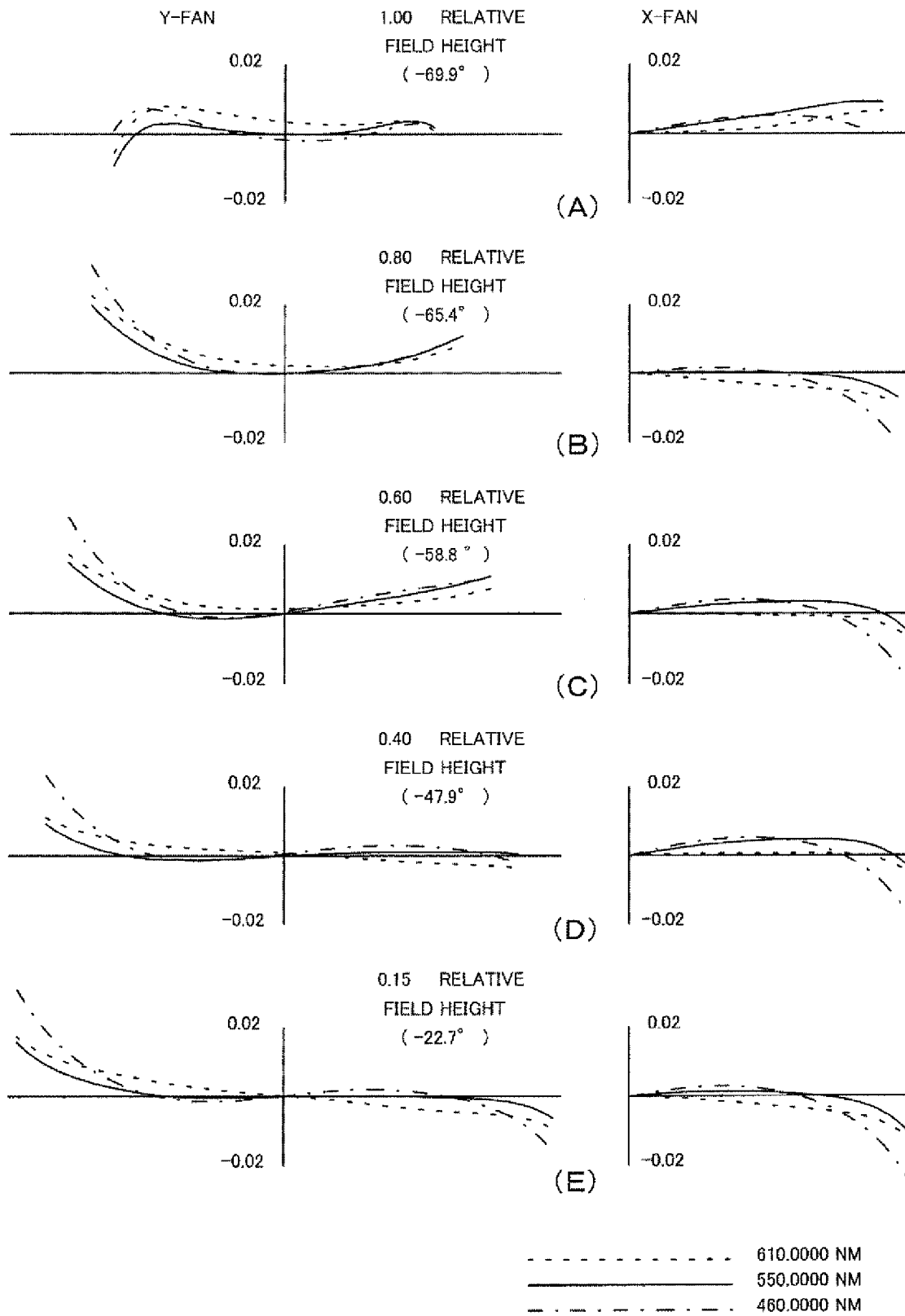
[図11]



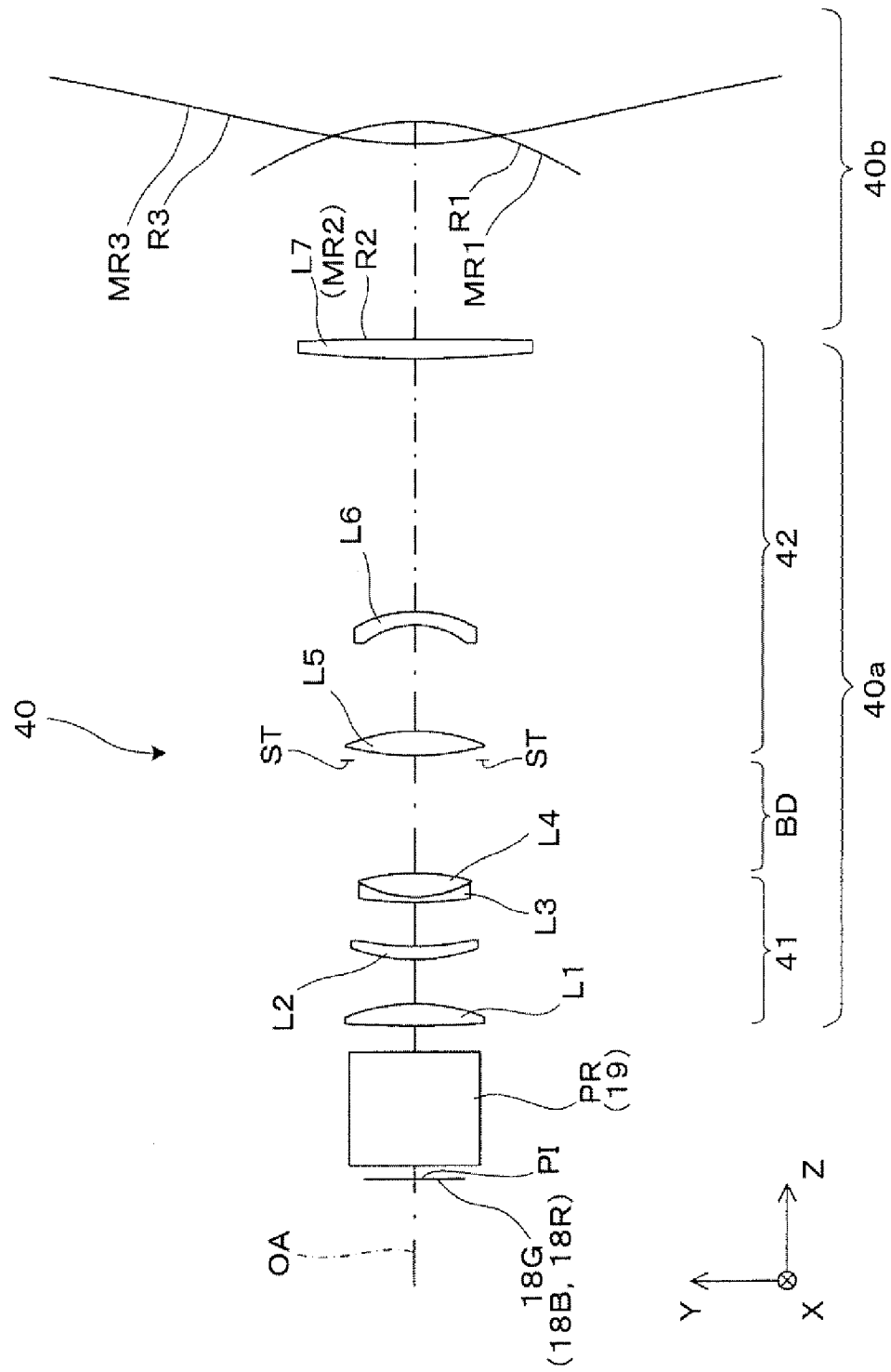
[図12]



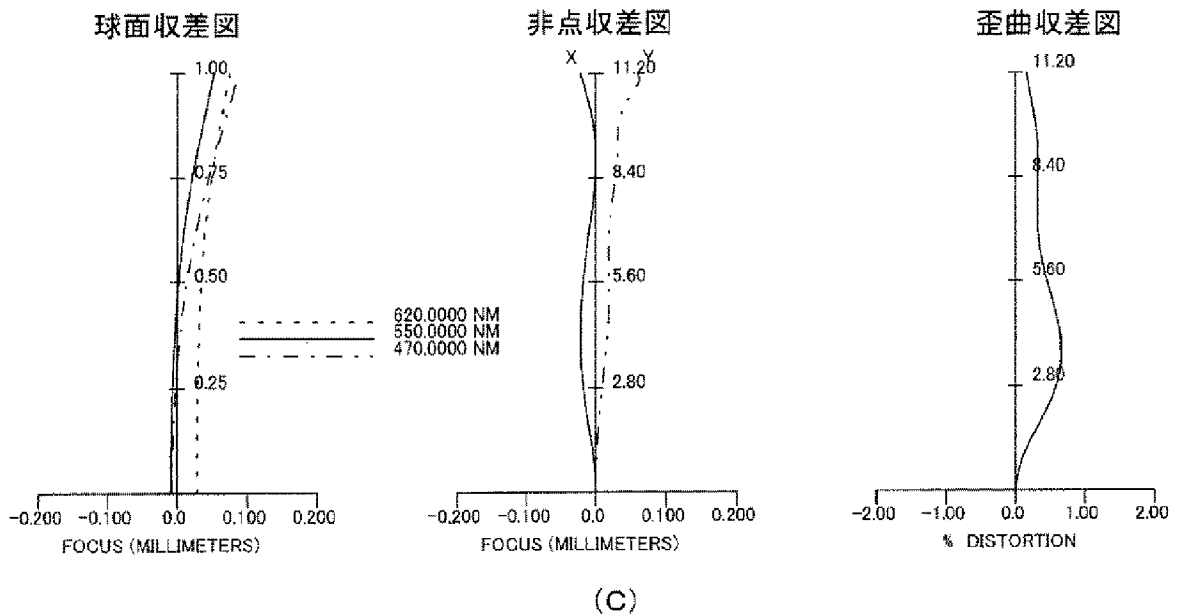
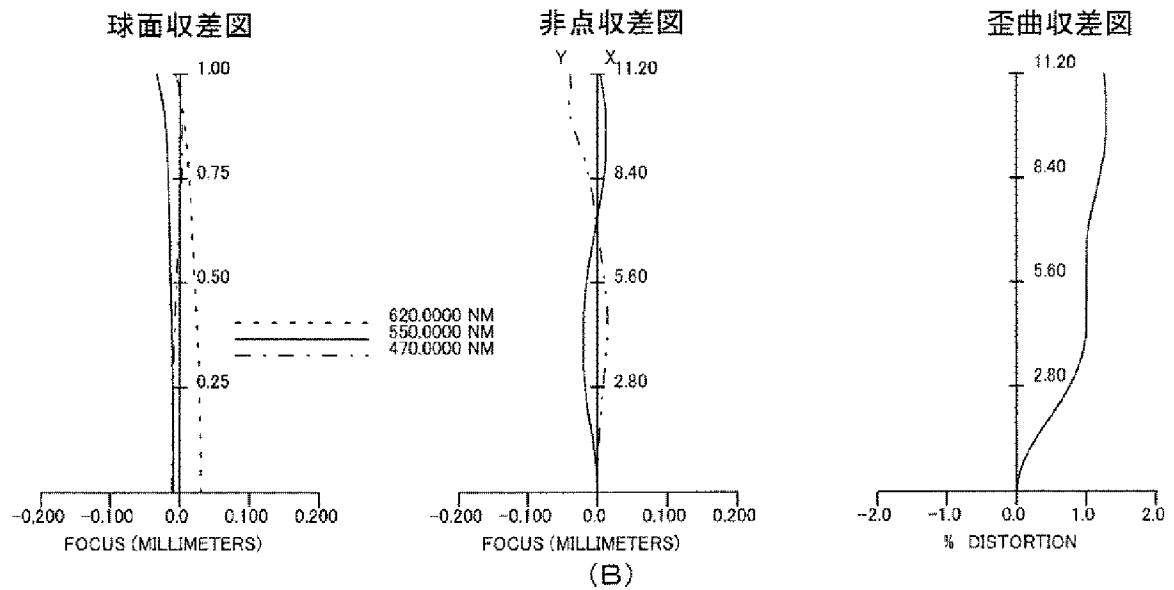
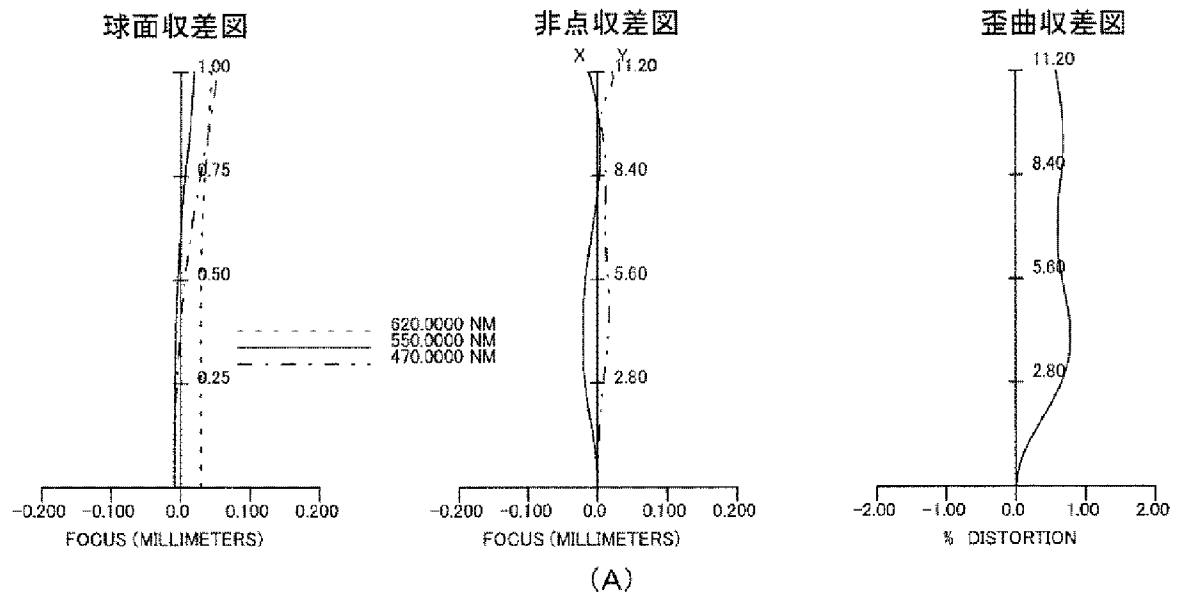
[図13]



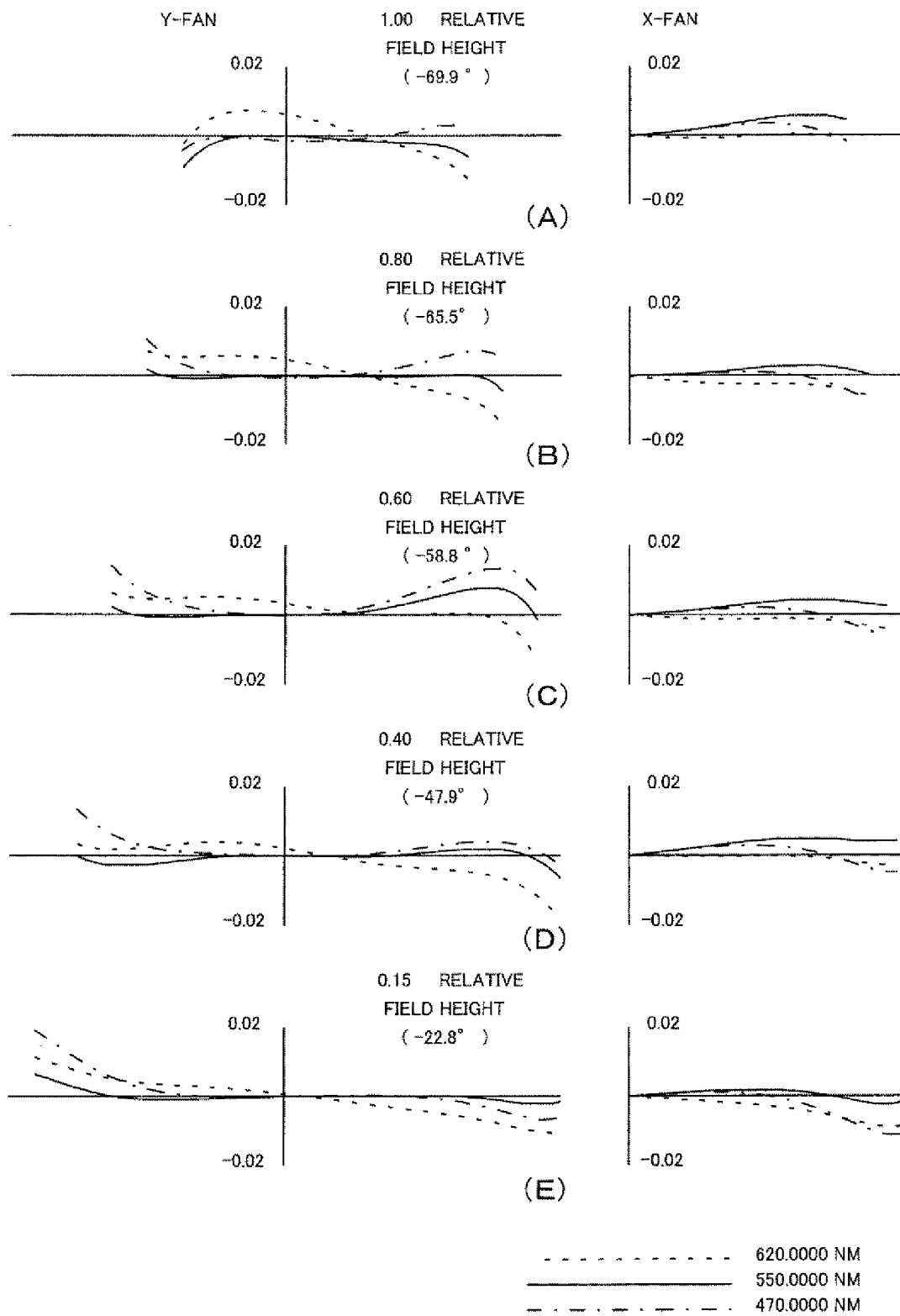
[図14]



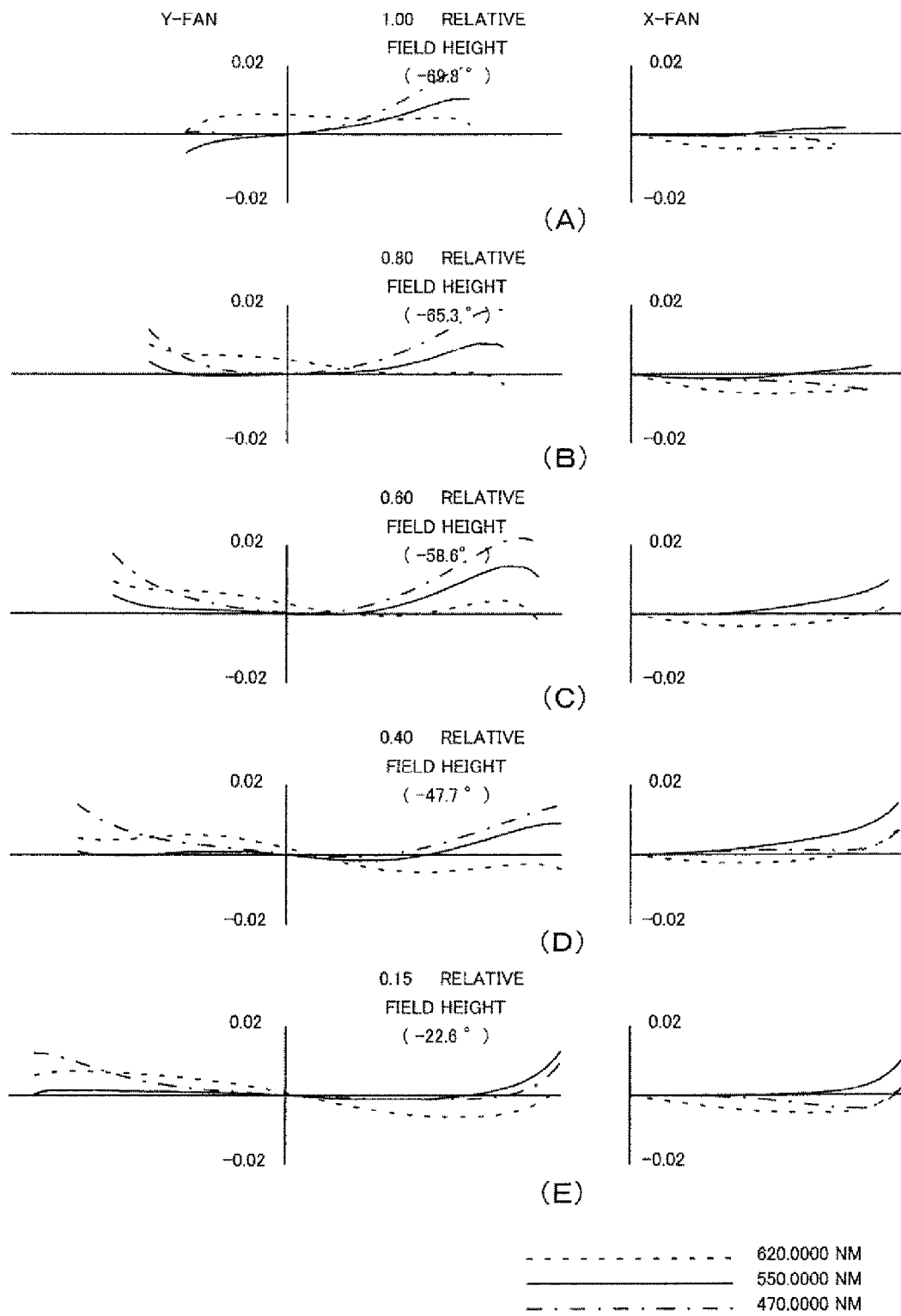
[図15]



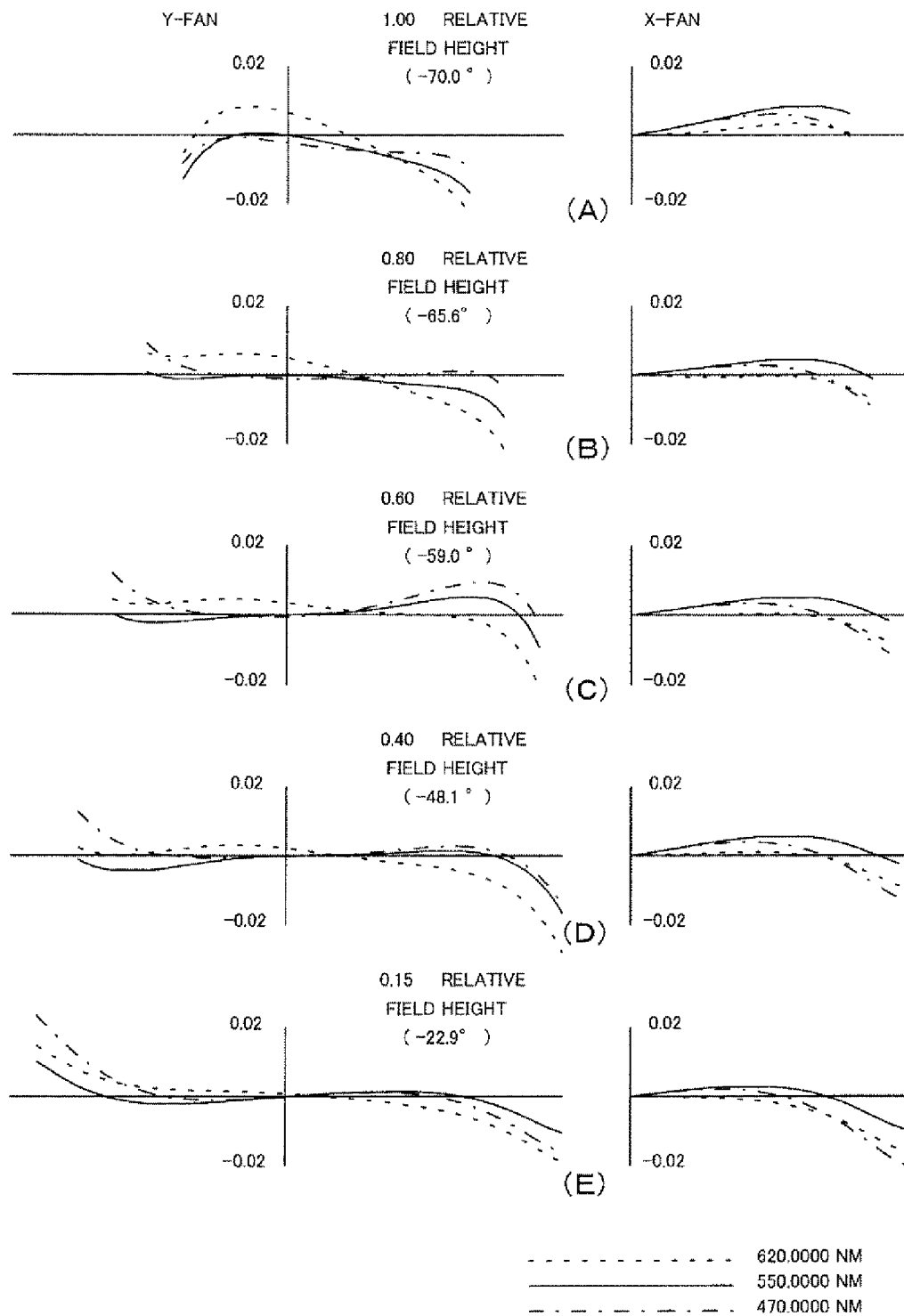
[図16]



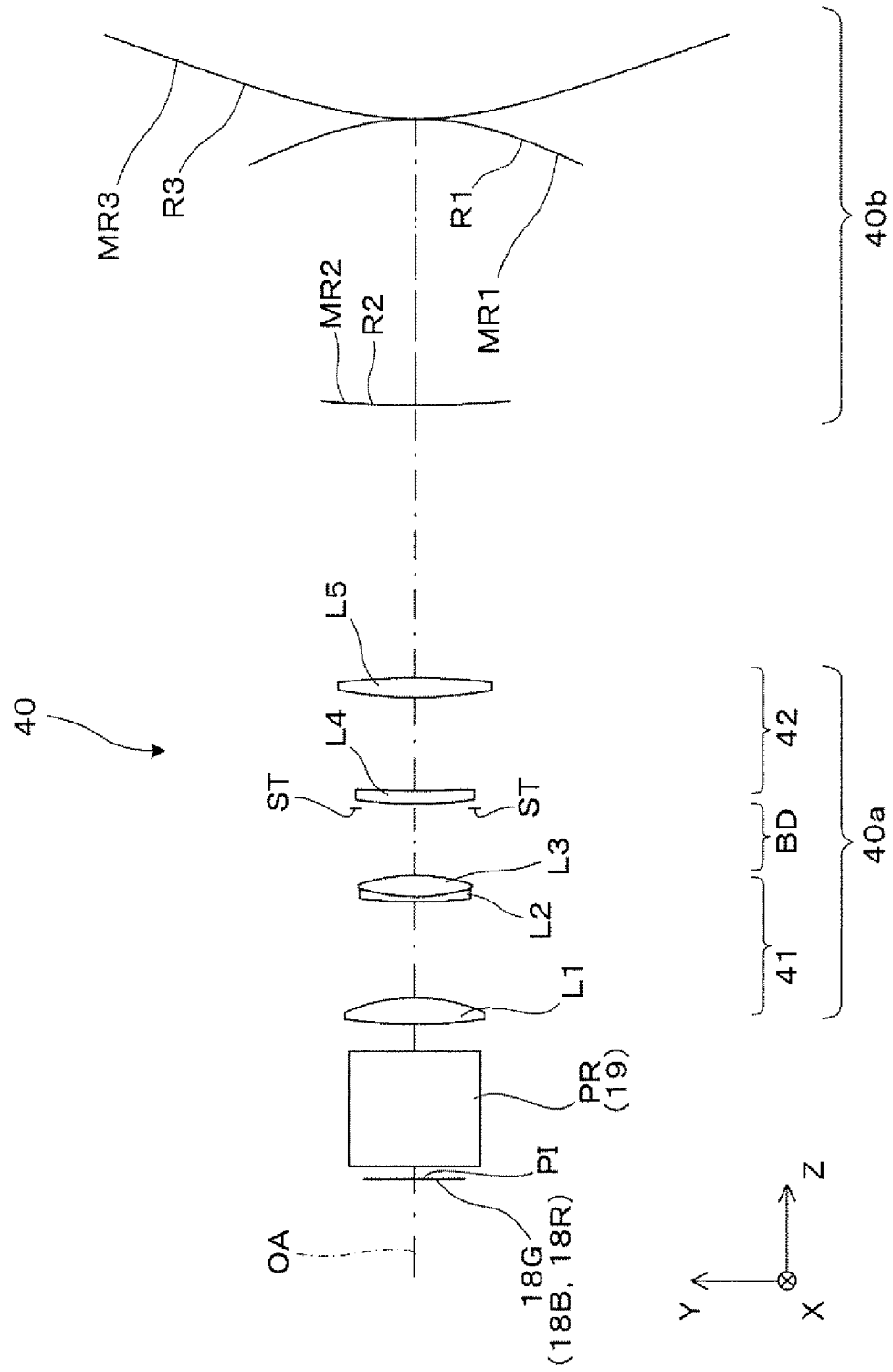
[図17]



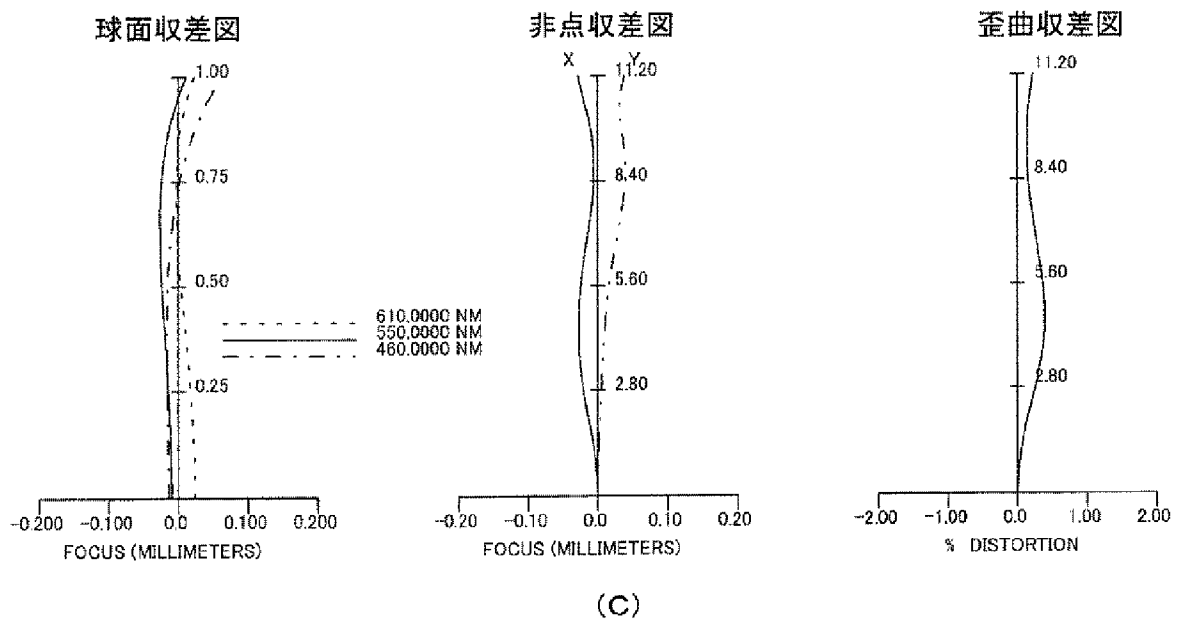
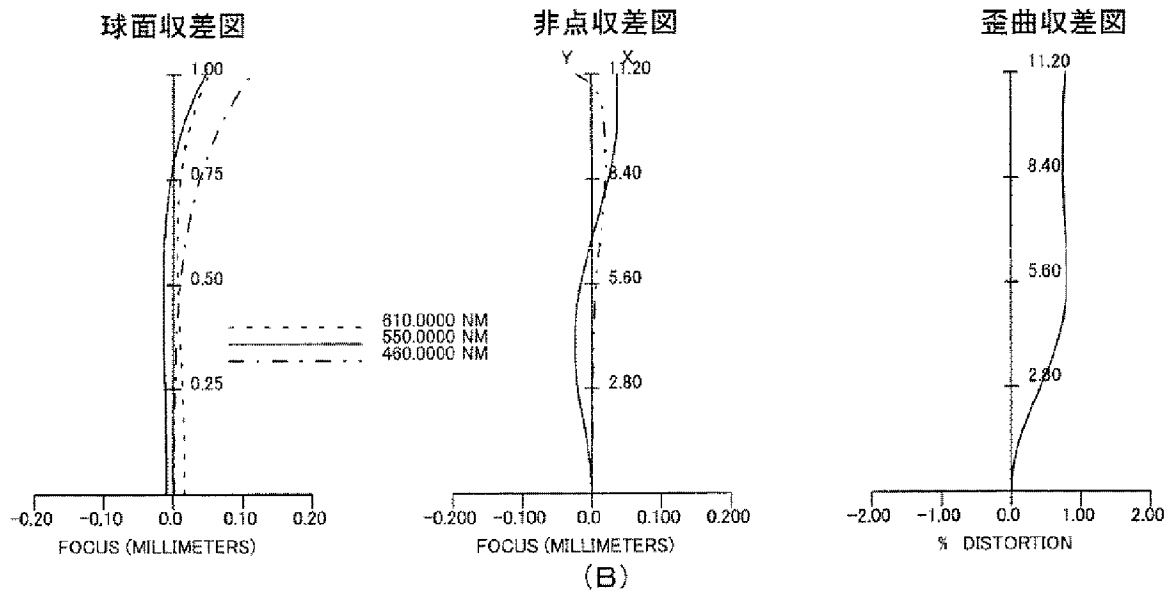
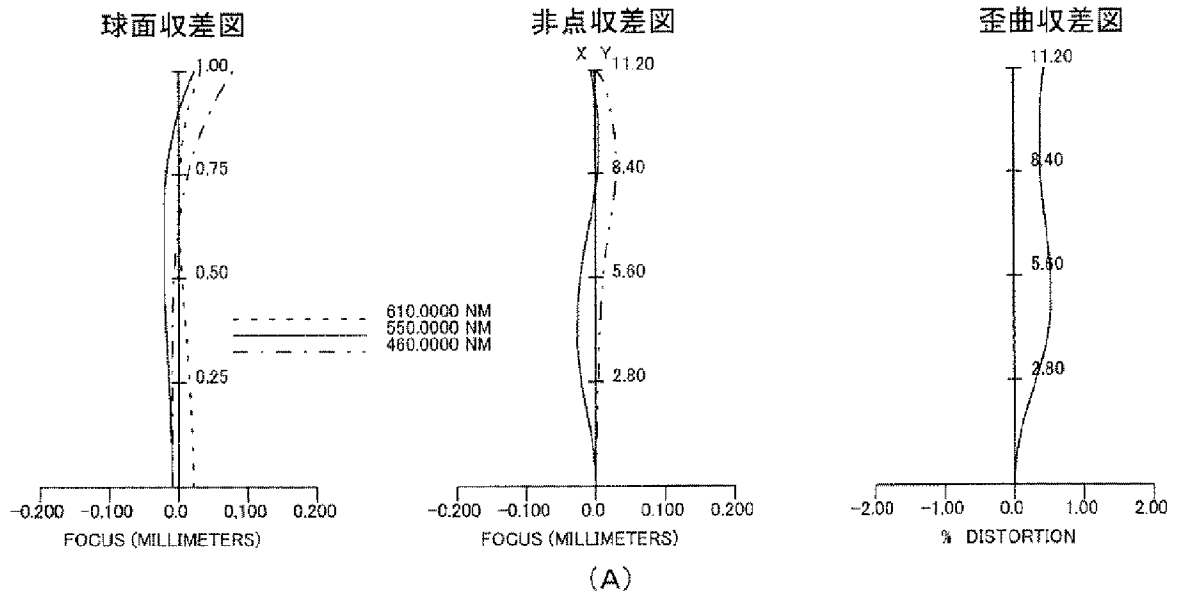
[図18]



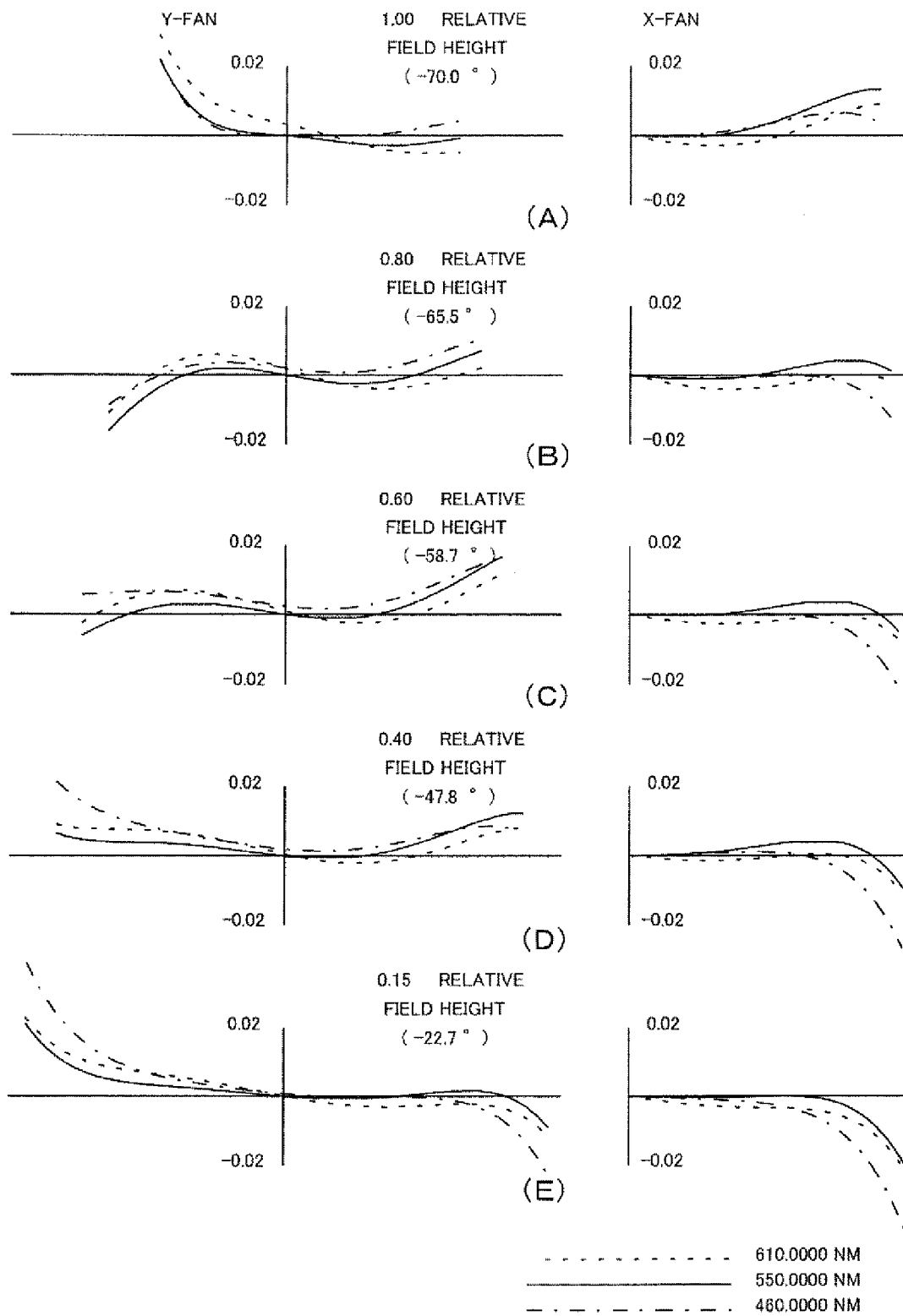
[図19]



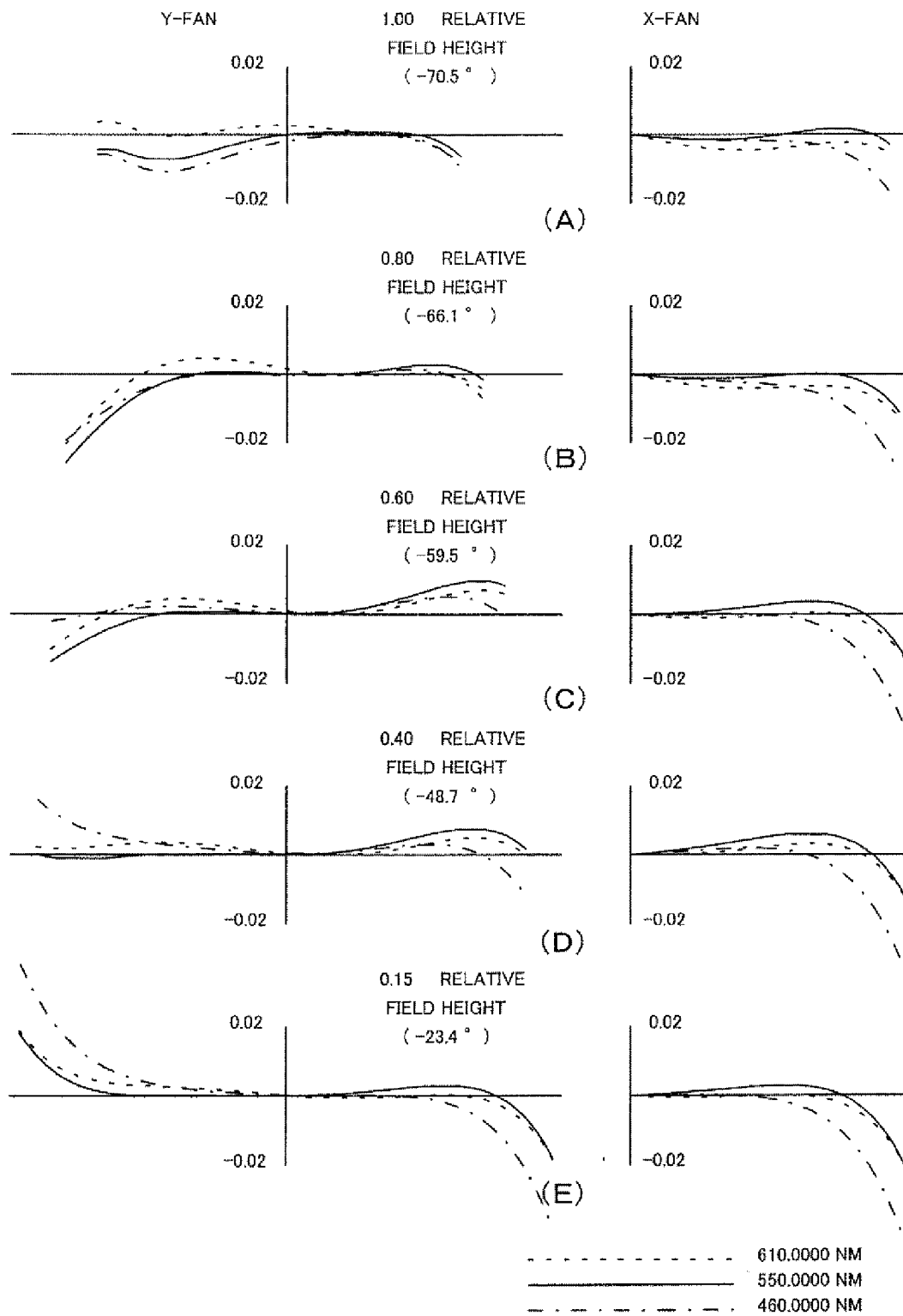
[図20]



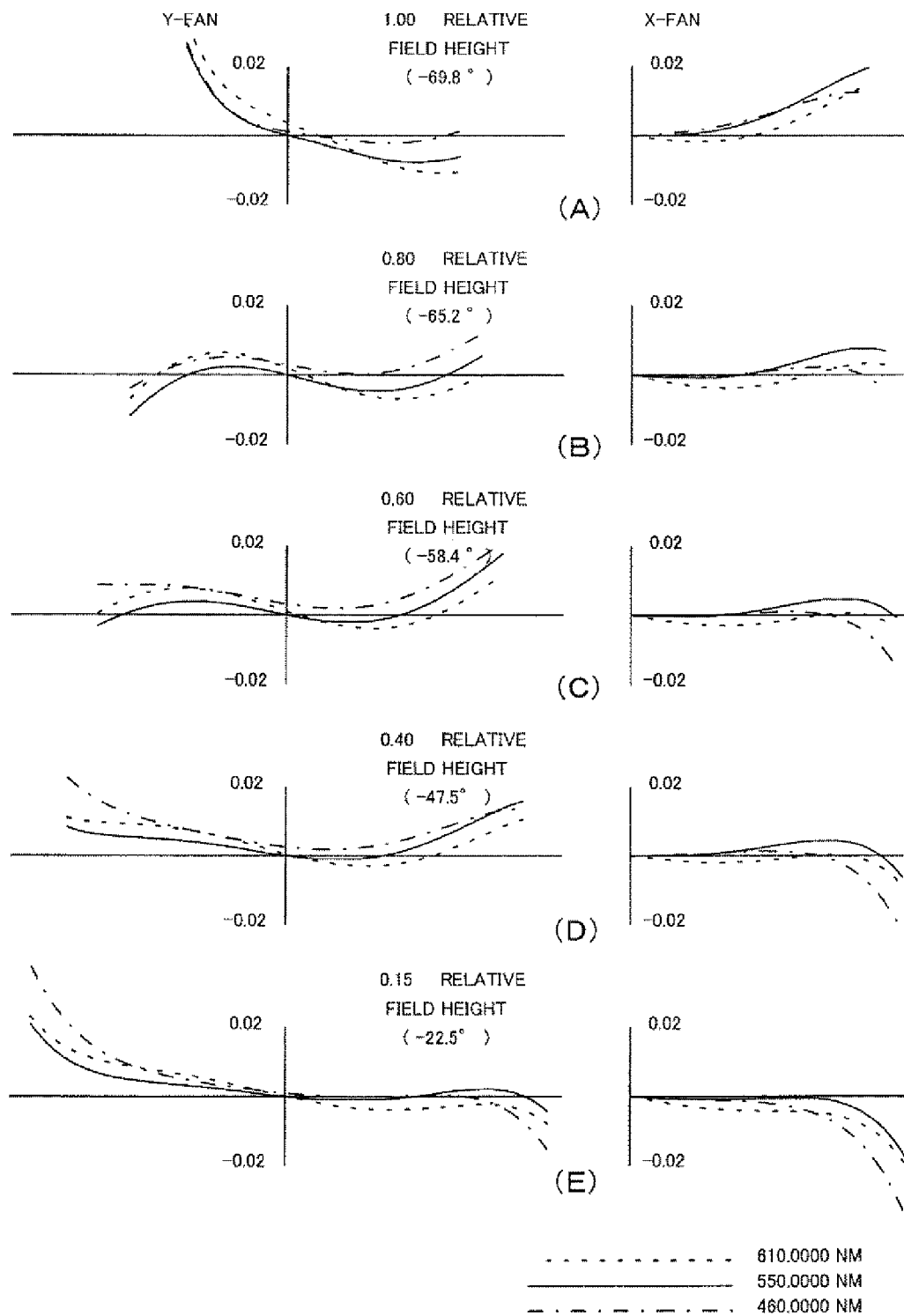
[図21]



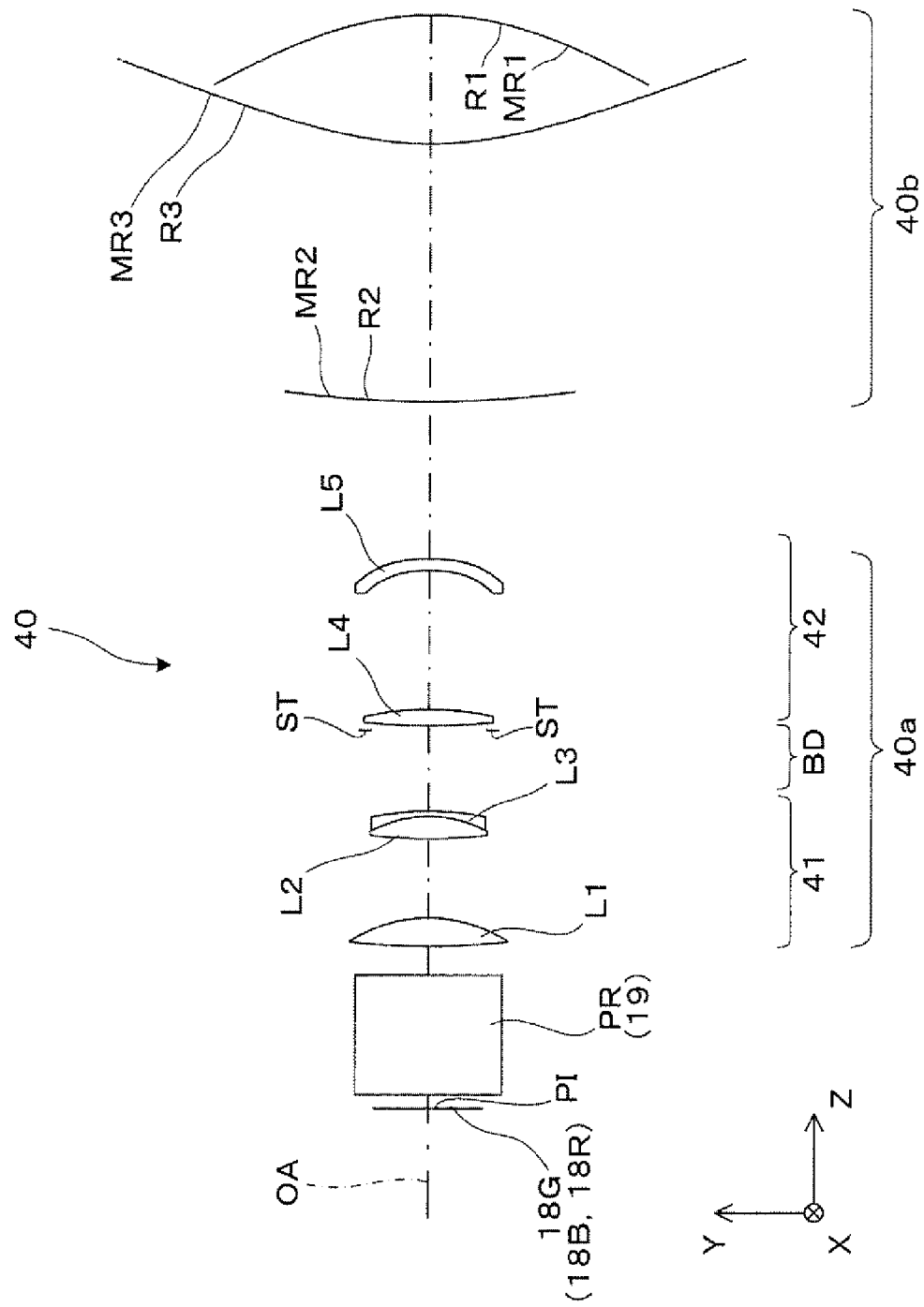
[図22]



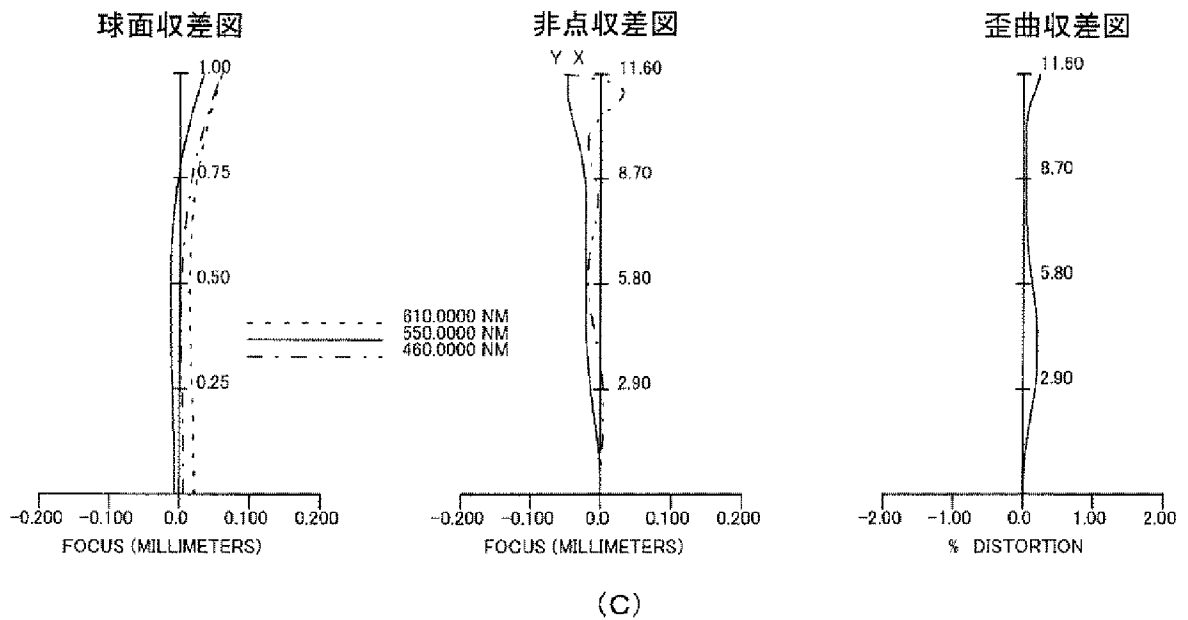
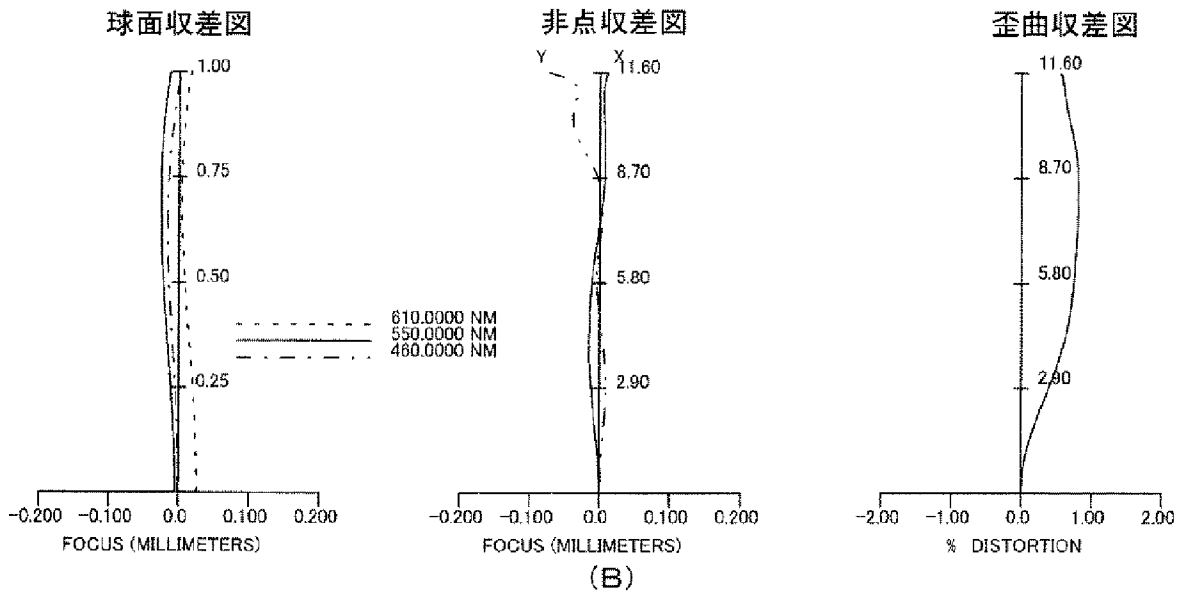
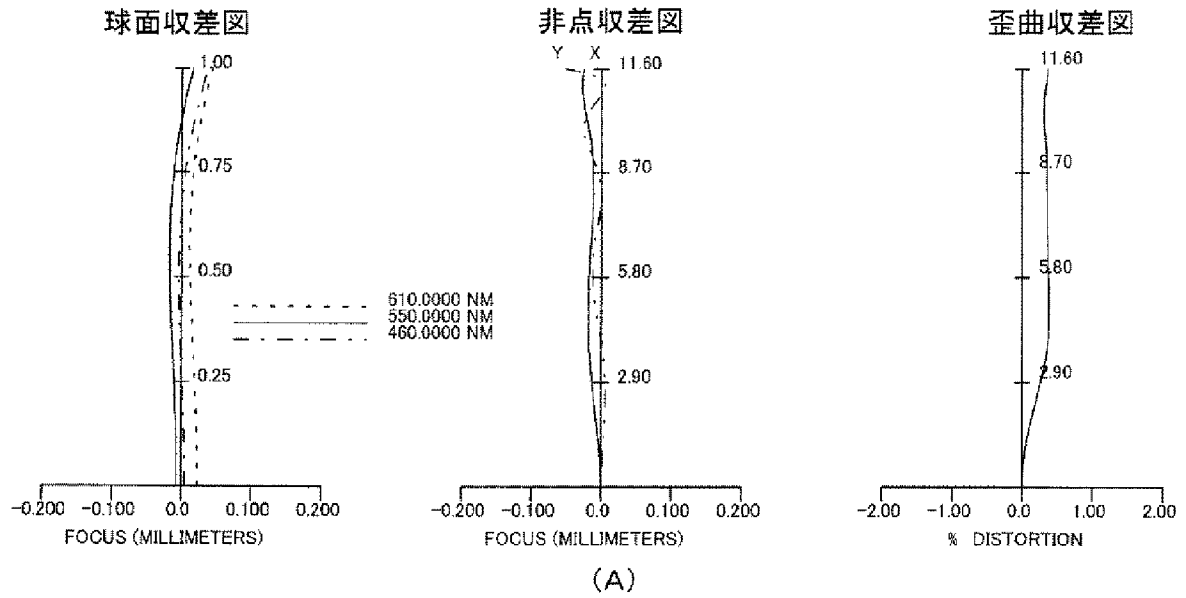
[図23]



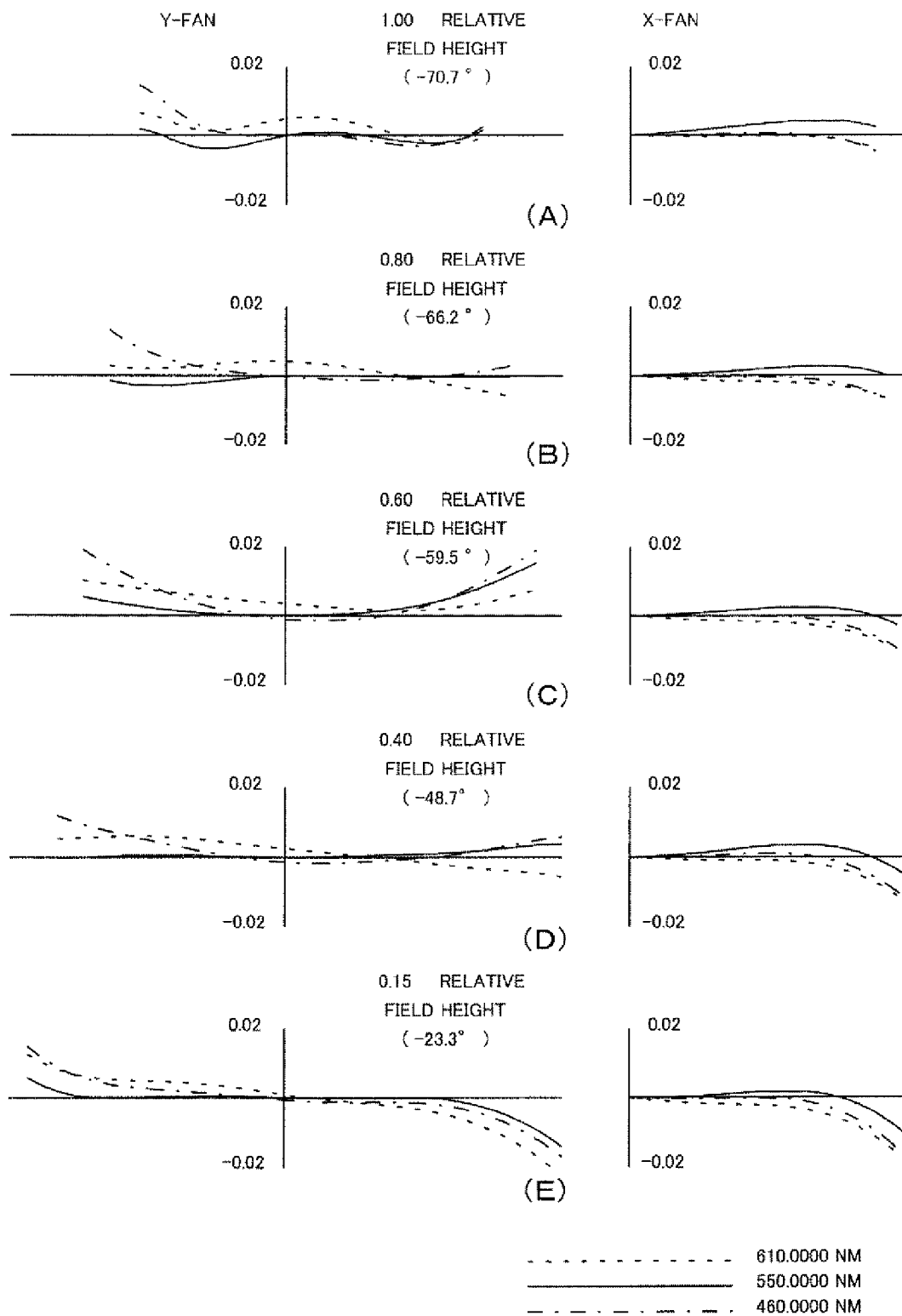
[図24]



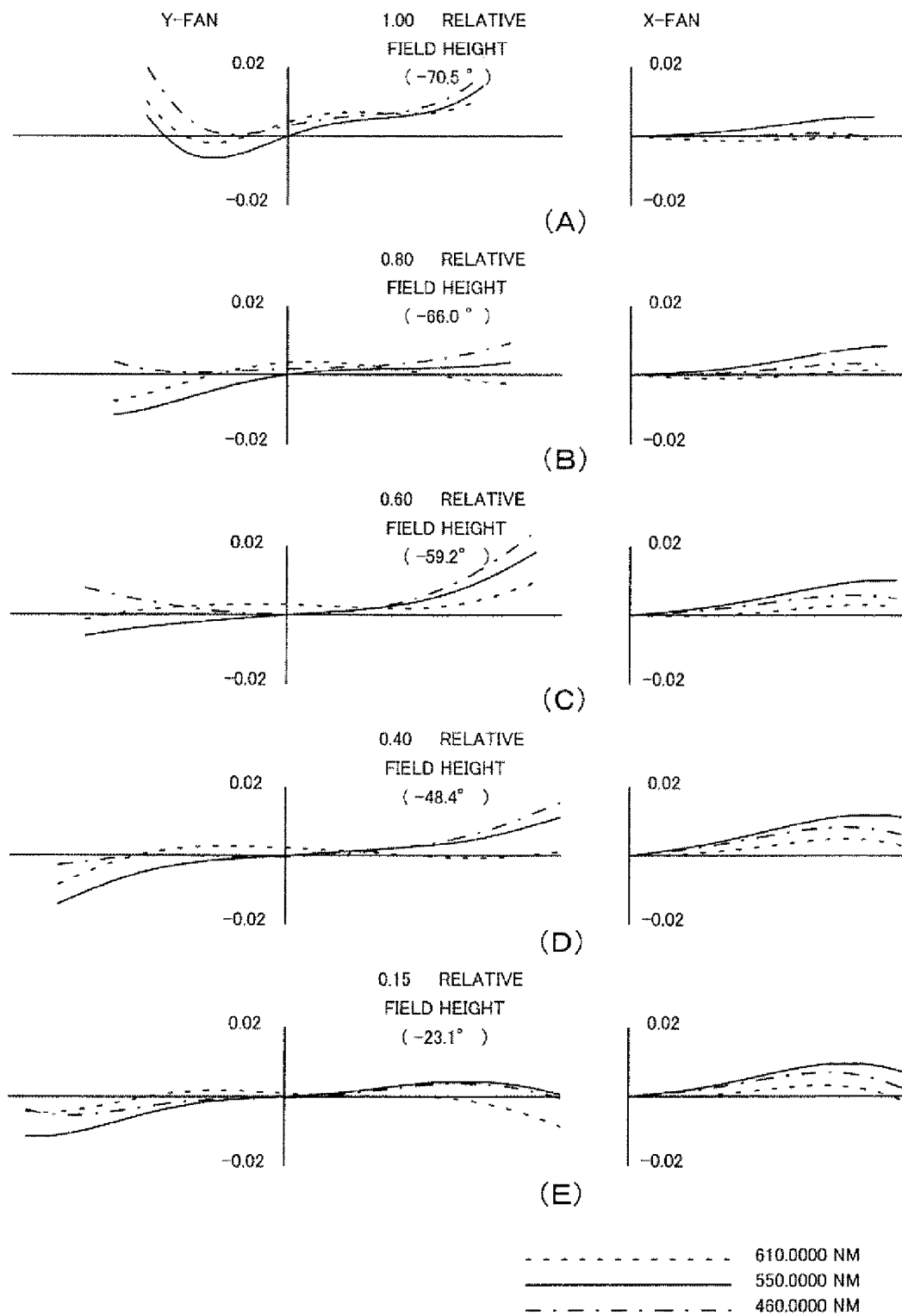
[図25]



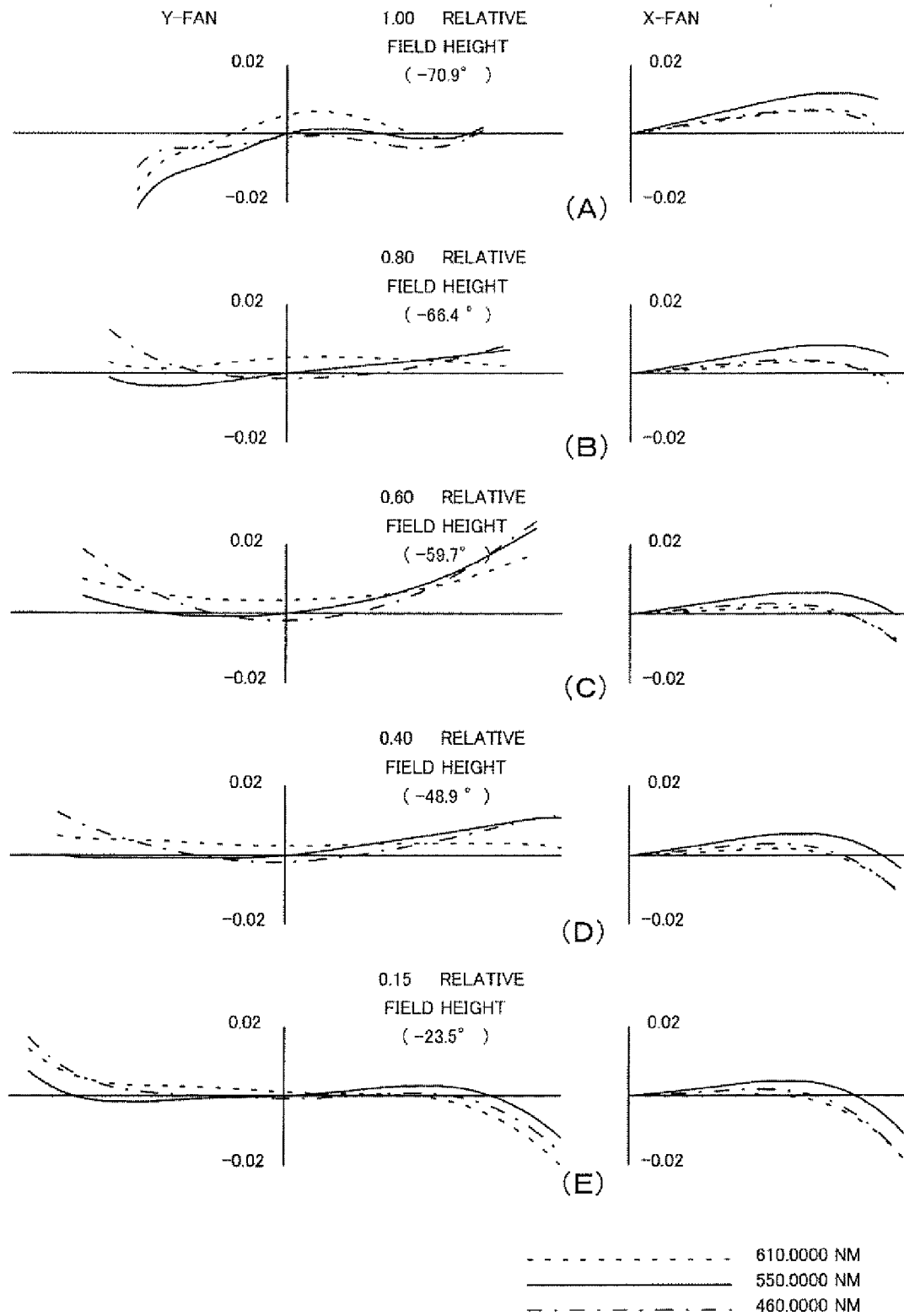
[図26]



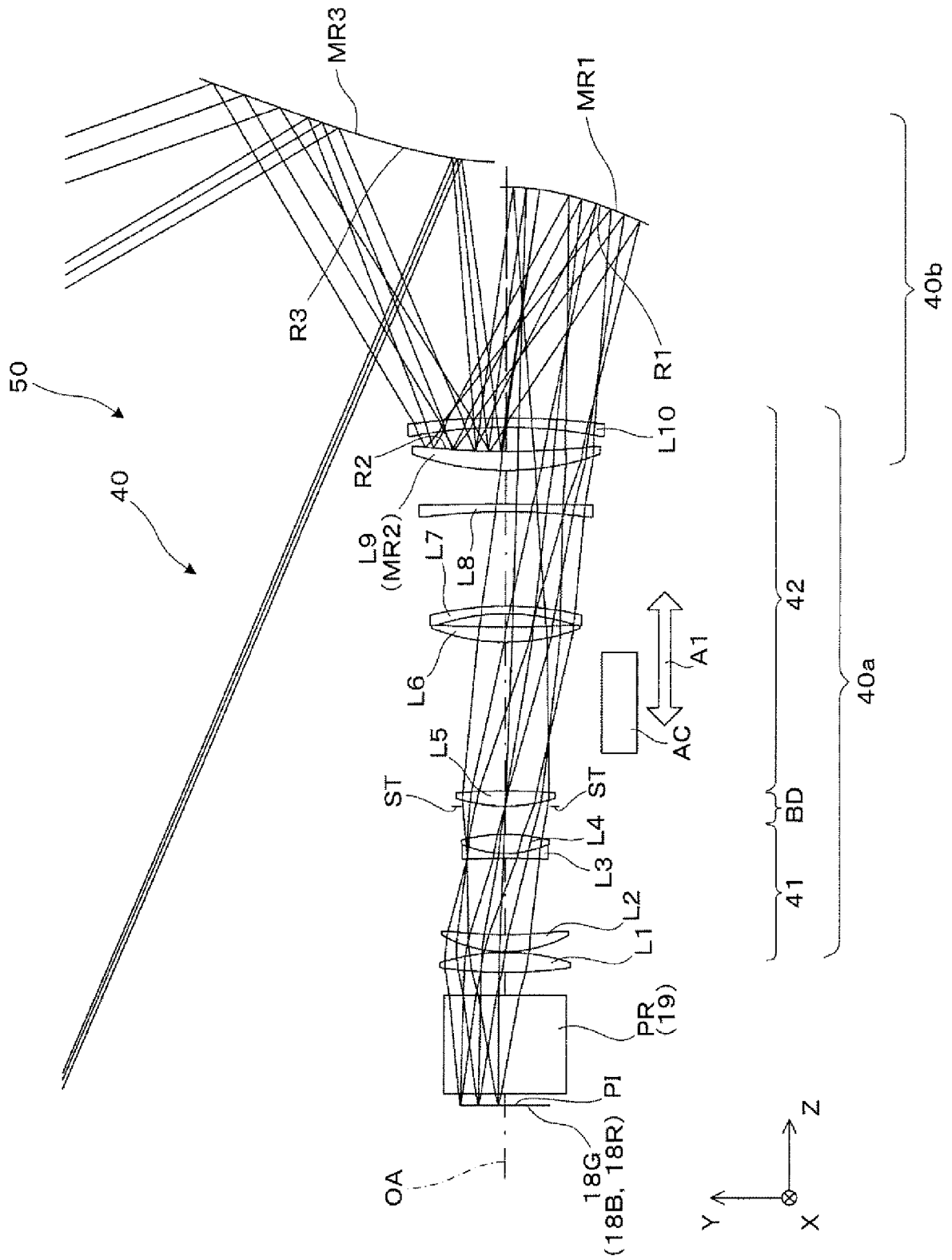
[図27]



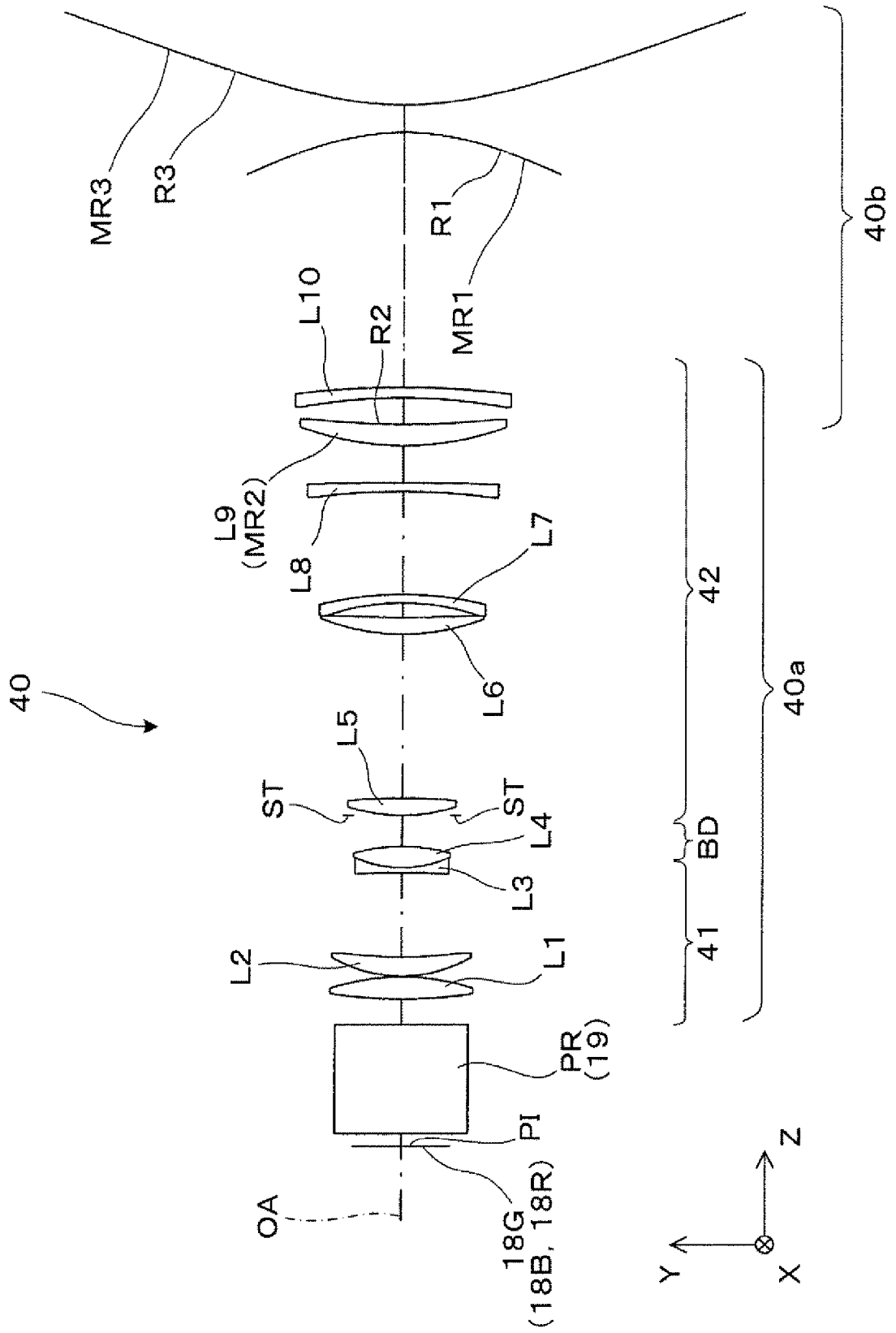
[図28]



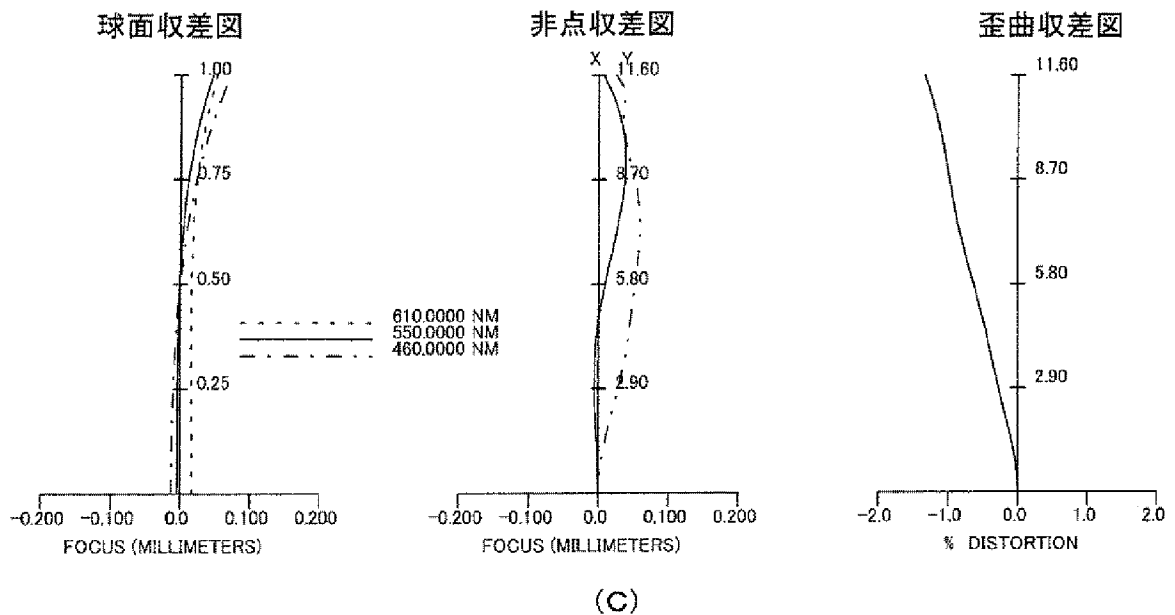
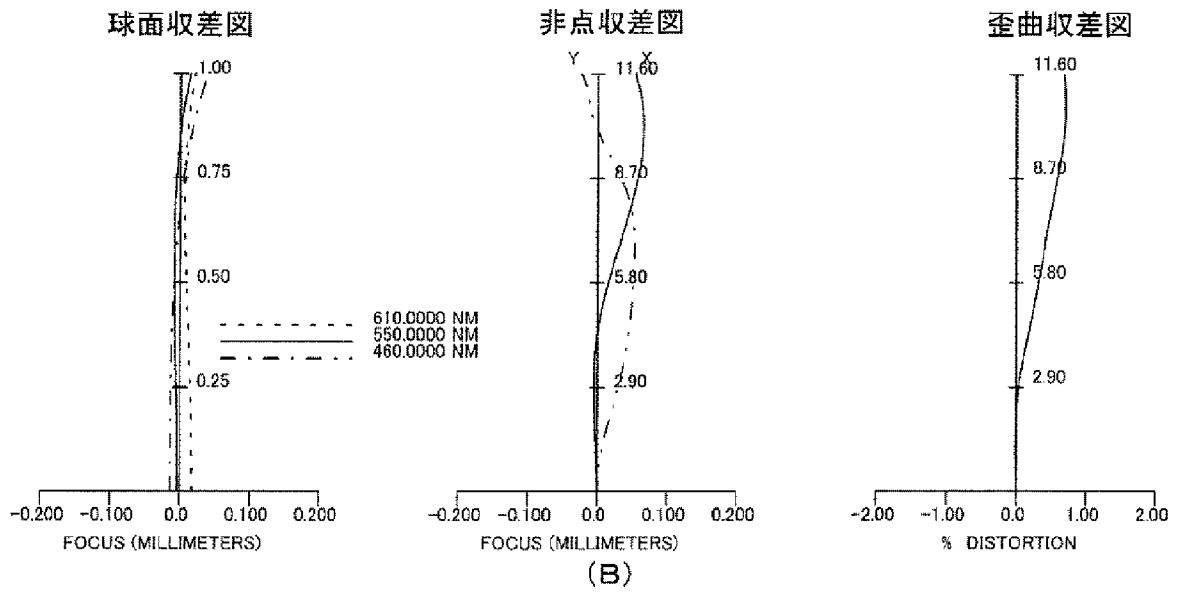
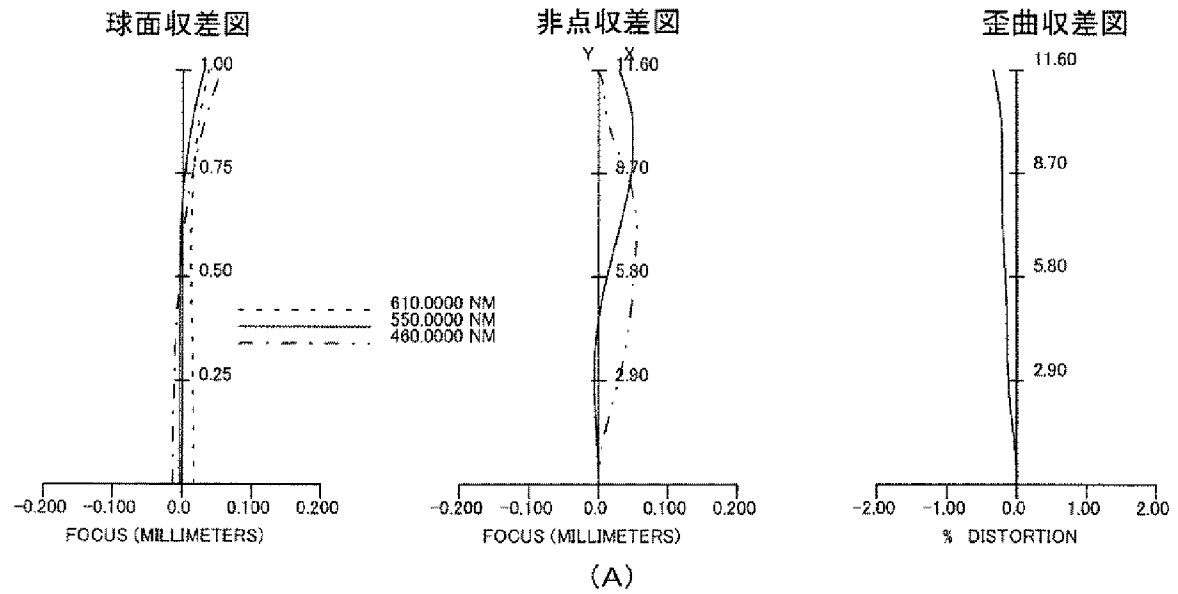
[図29]



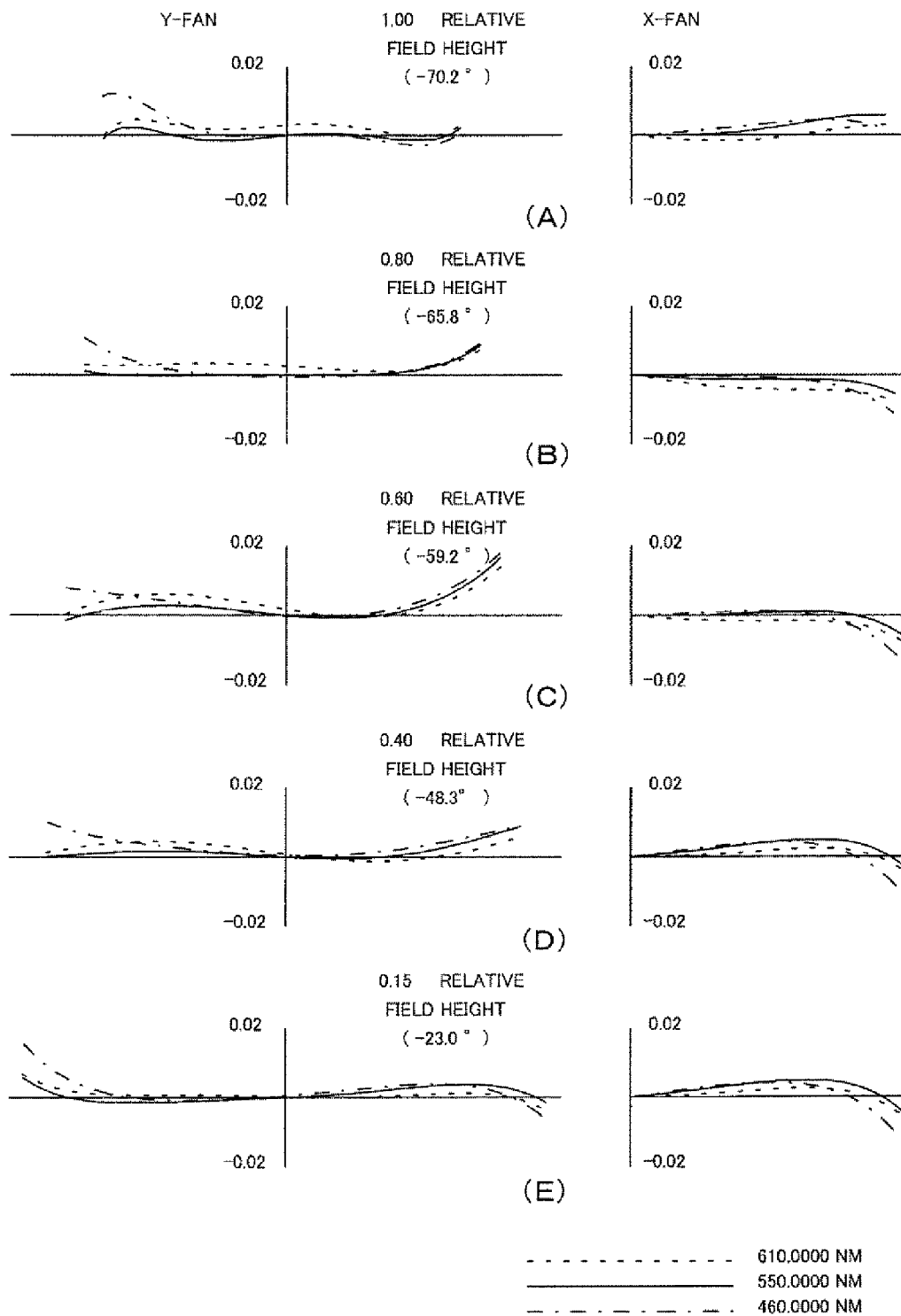
[図30]



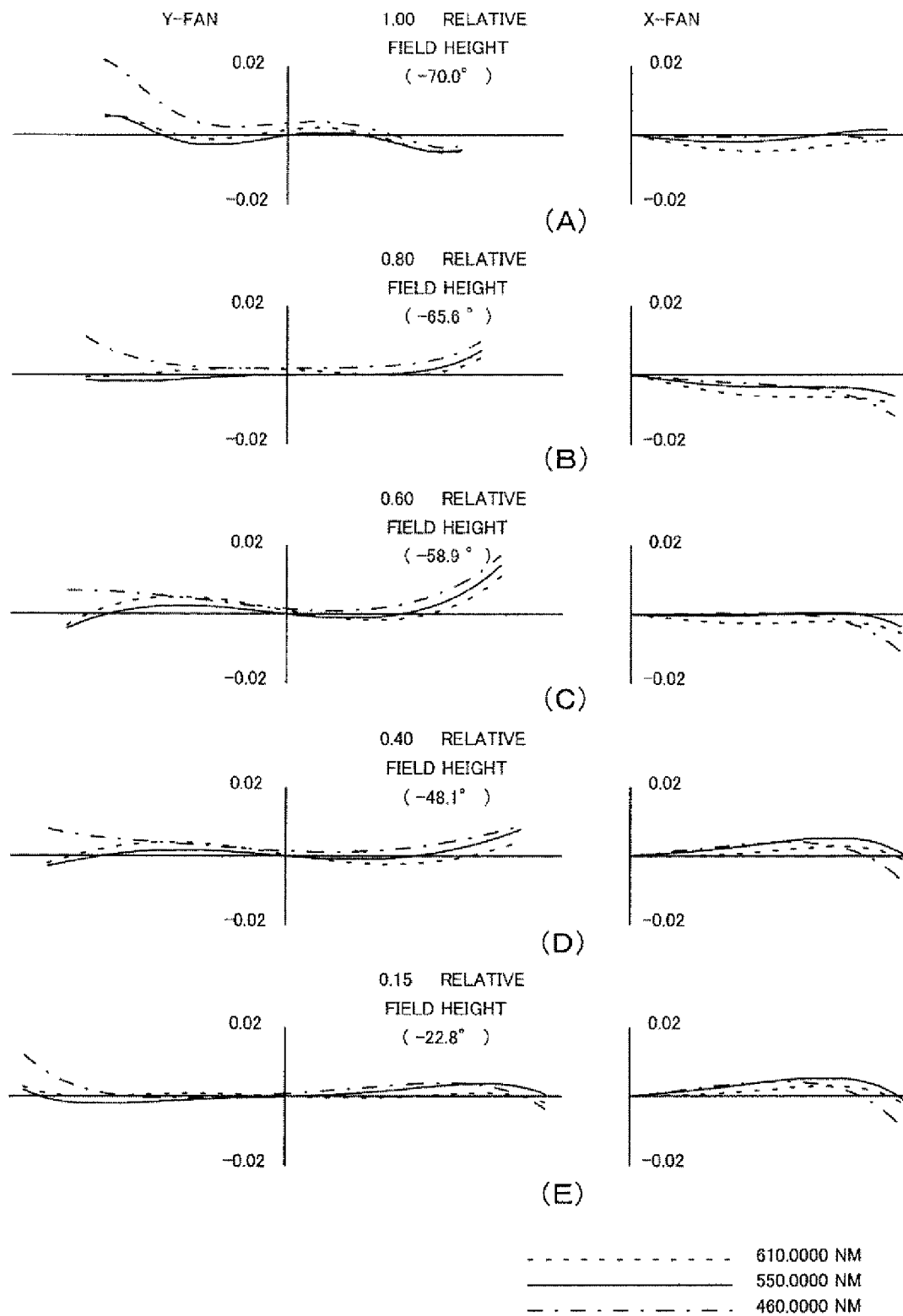
[図31]



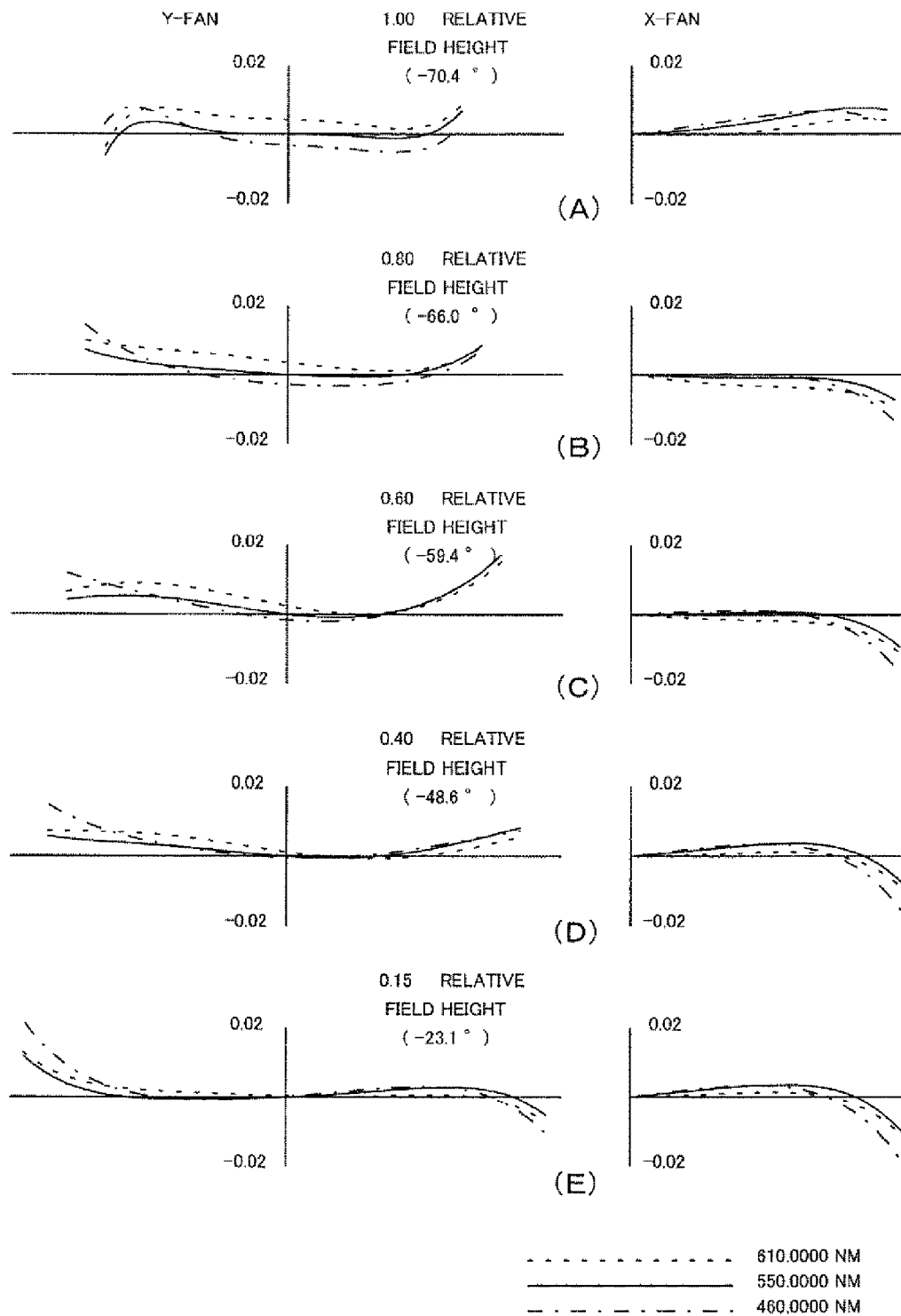
[図32]



[図33]



[図34]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/003789

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B17/08(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i, G03B21/14(2006.01)i, G03B21/00(2006.01)n

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)

G02B17/08, G02B13/18, G03B21/14, G03B21/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2013-242594 A (Seiko Epson Corp.), 05 December 2013 (05.12.2013), entire text; all drawings; particularly, 1st to 2nd carrying-out modes; paragraphs [0039], [0099]; fig. 3, 11 (Family: none)	11-12 1-10
A	JP 2001-222063 A (Minolta Co., Ltd.), 17 August 2001 (17.08.2001), entire text; all drawings; particularly, example 6 (Family: none)	1-12

☒ 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
15 September 2016 (15.09.16)

Date of mailing of the international search report
27 September 2016 (27.09.16)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/003789

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-184775 A (Fujinon Corp.), 13 July 2006 (13.07.2006), entire text; all drawings & US 2006/0140635 A1 the whole document	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B17/08(2006.01)i, G02B13/18(2006.01)i, G03B21/14(2006.01)i, G03B21/00(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02B17/08, G02B13/18, G03B21/14, G03B21/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2013-242594 A（セイコーエプソン株式会社）2013.12.05, 全文、 全図、特に第1-2実施形態、[0039]、[0099]、図3、図11（ファミリーなし）	11-12 1-10
A	JP 2001-222063 A（ミノルタ株式会社）2001.08.17, 全文、全図、 特に実施例6（ファミリーなし）	1-12
A	JP 2006-184775 A（フジノン株式会社）2006.07.13, 全文、全図 & US 2006/0140635 A1, the whole document	1-12

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

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

の日の後に公表された文献

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

国際調査を完了した日

15.09.2016

国際調査報告の発送日

27.09.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

瀬戸 息吹

2 V

5362

電話番号 03-3581-1101 内線 3271