

(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11月23日(23.11.2017)



(10) 国際公開番号

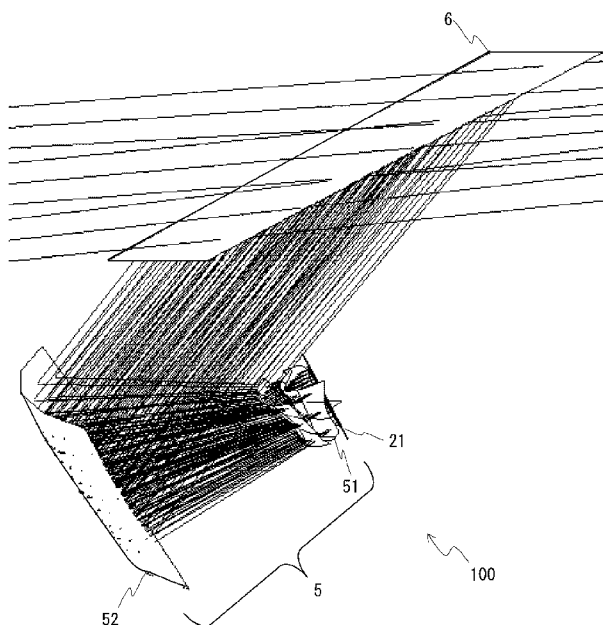
WO 2017/199441 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 27/01 (2006.01) *B60K 35/00* (2006.01) **SOLUTIONS, LTD.)** [JP/JP]; 〒3191221 茨城県日立市大みか町五丁目1番26号 Ibaraki (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/065081 (72) 発明者: 谷津 雅彦 (YATSU Masahiko); 〒5678567 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立マクセル株式会社内 Osaka (JP). 平田 浩二 (HIRATA Koji); 〒5678567 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立マクセル株式会社内 Osaka (JP). 星野 茂樹 (HOSHINO Shigeki); 〒5678567 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立マクセル株式会社内 Osaka (JP).
- (22) 国際出願日: 2016年5月20日(20.05.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日立マクセル株式会社 (HITACHI MAXELL, LTD.) [JP/JP]; 〒5678567 大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 Osaka (JP). 株式会社日立産業制御ソリューションズ (HITACHI INDUSTRY & CONTROL SOLUTIONS, LTD.) [JP/JP]; 〒1050003 東京都港区西新橋 (THE PATENT BODY CORPORATE TAKEWA INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1050003 東京都港区西新橋

(54) Title: PROJECTION OPTICAL SYSTEM, HEAD-UP DISPLAY DEVICE, AND AUTOMOBILE

(54) 発明の名称: 投影光学系、ヘッドアップディスプレイ装置及び自動車

図 2



(57) Abstract: In order to provide a small head-up display device, this head-up display device (100) includes a projection optical system which includes an image forming unit (20) that displays image information and an ocular optical system (5) that causes a virtual image to be displayed by reflecting light emitted from the image forming unit (20). The ocular optical system (5) is configured such that: from the image forming unit side, a free-curved surface lens (51) and a free-curved surface concave mirror (52) are aligned in this order, and the radius of curvature R_{Y1} when the shape of the free-curved



WO 2017/199441 A1

3 丁目 1 3 番 3 号 ユニゾ西新橋三
丁目ビル Tokyo (JP).

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

添付公開書類:

- 一 国際調査報告(条約第21条(3))

surface concave mirror is projected onto a vertical cross-section of an eye-box coordinate system, is less than the radius of curvature R_{X1} when the free-curved surface concave mirror is projected onto a horizontal cross-section.

(57) 要約: 小型なヘッドアップディスプレイ装置を提供する。そのためヘッドアップディスプレイ装置(100)は、画像情報を表示する画像形成ユニット(20)と、画像形成ユニット(20)から出射された光を反射することで虚像を表示させる接眼光学系(5)を含む投影光学系と、を含み、接眼光学系(5)は、画像形成ユニット側から自由曲面レンズ(51)と、自由曲面凹面ミラー(52)の順に並べて配置され、自由曲面凹面ミラーの形状を、アイボックスの座標系の垂直断面に投影した場合の曲率半径 R_{Y1} が、水平断面に投影した場合の曲率半径 R_{X1} より小さくすることにより構成される。

明 細 書

発明の名称：

投影光学系、ヘッドアップディスプレイ装置及び自動車

技術分野

[0001] 本発明は、投影光学系、及びそれを用いたヘッドアップディスプレイ装置に関する。

背景技術

[0002] 自動車や航空機などの移動体が備える風防（ウインドシールド）に画像を投影し、その投影画像をウインドシールド越しに虚像として観察できるようにするヘッドアップディスプレイ装置が知られている。

[0003] 従来のヘッドアップディスプレイ装置として、「透過型の液晶表示パネルの背後から光を照射して、液晶表示パネルに表示される画像を拡大投影する投影光学系を備える」装置が知られている（例えば、特許文献1を参照）。

[0004] 特許文献1において開示されているヘッドアップディスプレイ装置は、その投影光学系が、リレーレンズと投影レンズ（接眼光学系）とから構成されている。リレーレンズは、いくつかの条件を満たすことでテレセントリック性の表示光を効率良く利用する構成であり、液晶表示パネルに表示された画像を拡大して実像を結像する。また投影レンズは、実像をさらに拡大して、自動車などのウインドシールドに画像を投影し、運転者に対して虚像を表示する構成である。

[0005] 特許文献1のヘッドアップディスプレイ装置では、観察者（運転者）の前方2 m先に、スピードメータやタコメータ、水温計や燃料計等の各種計器類の値を虚像で表示する。各種計器類の値を虚像で見る視線方向と、運転者が見る前景の視線方向との差が小さくなるので、この2つの視線方向の間での視線移動に要する時間を低減できる。

[0006] また、各種計器類等を直接見る距離よりも、虚像までの距離（約2 m前方）の方が、運転者が見ている前景までの距離に近くなる。これによって、前

景の中の対象物に眼のピントを合わせた状態と、虚像にピントを合わせた状態の間での眼のピント合わせに要する時間も短縮できる。

[0007] この2つの利点により、ヘッドアップディスプレイ装置を用いると、自動車等の運転の安全性の向上が期待できる。

[0008] また、従来のヘッドアップディスプレイ装置として、「表示デバイス側から、回転非対称ミラーと自由曲面ミラーを有し、各ミラーの配置角度などを規定する表示装置」が知られている（例えば、特許文献2を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2009-229552号公報

特許文献2：特開2015-194707号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 特許文献2において開示されているヘッドアップディスプレイ装置のような配置、即ち、表示デバイスと回転非対称ミラーを水平方向にずらすような配置にすれば、ヘッドアップディスプレイ装置の寸法を薄くすることができる。

[0011] しかし、特許文献2に開示されているようなヘッドアップディスプレイ装置は、虚像サイズが横長である。実施例1に例示されているものでは、虚像サイズにおける横方向の寸法が縦方向の寸法に比べて2倍である（例えば、特許文献2の実施例1を参照）。このような横長の虚像を表示する構成は、その光路において、縦方向の光束サイズの2倍に相当する横方向の光束を折り曲げるような構成にしなければならない。大きな光束を折り曲げるには、折り曲げミラーのサイズを大きくする必要がある。

[0012] したがって、特許文献2において開示されているような構成では、ヘッドアップディスプレイ装置全体の容積を小さくすることにおいて課題がある。

[0013] 本発明は、上記した実情に鑑みてなされたものであり、少ない光学素子で

構成可能な投影光学系及び、それを用いた小型のヘッドアップディスプレイ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

[0014] 上記した課題を解決するために、 画像情報を形成する画像形成ユニットから出射された光を反射しウインドシールドに投影して虚像を表示させる接眼光学系を含む投影光学系であって、

前記接眼光学系は、前記画像形成ユニット側から自由曲面レンズと、自由曲面凹面ミラーと、を含み、

アイボックスの水平方向を X 軸、垂直方向を Y 軸、 XY 平面に対する垂直方向を Z 軸と定義したとき、

視野範囲の中の任意の点である視野に対応する光束がアイボックスの Y 軸上の上下2点と中央点のそれぞれを通過する3つの光線の前記自由曲面凹面ミラーにおける交点を YZ 平面に投影した3点により定まる円の曲率半径（正の値）を R_Y4 とし、アイボックスの X 軸上の左右2点と中央点のそれぞれを通過する3つの光線の自由曲面凹面ミラー上での交点を XZ 平面に投影した3点により定まる円の曲率半径（正の値）を R_X4 としたとき、 $R_X4 > R_Y4$ を満たすことを特徴とする。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、少ない光学素子で構成可能な投影光学系及び、それを用いた小型のヘッドアップディスプレイ装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明に係る投影光学系が備える接眼光学系における全体光線図であり、（a）は YZ 平面において虚像面7の映像情報を観察者の眼で見ている様子を表し、（b）は XZ 平面において虚像面7の映像情報を観察者の眼で見ている様子を表す図である。

[図2]第1実施形態に係る接眼光学系の要部拡大図である。

[図3]第1実施形態に係る接眼光学系のレンズデータを示す図である。

[図4]第1実施形態に係る接眼光学系の自由曲面係数を示す図である。

[図5]第1実施形態に係るアイボックスの中央から見た歪性能を表す図である

。

[図6]第1実施形態に係るアイボックスの右上から見た歪性能を表す図である

。

[図7]第1実施形態に係るアイボックスの左上から見た歪性能を表す図である

。

[図8]第1実施形態に係るアイボックスの左下から見た歪性能を表す図である

。

[図9]第1実施形態に係るアイボックスの右下から見た歪性能を表す図である

。

[図10]第1実施形態に係る接眼光学系の赤色のスポット図である。

[図11]第1実施形態に係る接眼光学系の緑色のスポット図である。

[図12]第1実施形態に係る接眼光学系の青色のスポット図である。

[図13]第1実施形態に係るウインドシールドの非対称性を説明する図である

。

[図14]第1実施形態に係るウインドシールドにおける局所的な曲率半径を説明する図である。

[図15]第1実施形態に係るウインドシールドにおける局所的な曲率半径の例を表す図である。

[図16]第1実施形態に係るウインドシールドにおける光束範囲の例を表す図である。

[図17]第1実施形態に係る自由曲面凹面ミラーにおける局所的な曲率半径を表す図である。

[図18]第1実施形態に係る自由曲面凹面ミラーにおける光束範囲の例を表す図である。

[図19]本発明の第1実施形態に係るヘッドアップディスプレイ装置を示す概略構成図である。

[図20]本発明の第2実施形態に係るヘッドアップディスプレイ装置を示す概

略構成図である。

[図21]本発明の第3実施形態に係るヘッドアップディスプレイ装置を示す概略構成図である。

[図22]本発明に係るウインドシールドと自由曲面凹面ミラーにおける局所的な曲率半径を説明する図である。

[図23]本発明に係る視野範囲を説明する図である。

[図24]本発明に係る自動車の実施形態を示す平面図である。

[図25]本発明に係る投影光学系が備える画像形成ユニットの構成を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、図面等を用いて、本発明の一実施形態及び各種実施例について説明する。以下の説明は本発明の内容の具体例を示すものであり、本発明がこれらの説明に限定されるものではなく、本明細書に開示される技術的思想の範囲内において当業者による様々な変更および修正が可能である。また、本発明を説明するための全図において、同一の機能を有するものは、同一の符号を付け、その繰り返しの説明を省略する場合がある。

[0018] まず、本発明に係るヘッドアップディスプレイ装置の一実施形態について図19を用いて説明する。図19は、本実施形態に係るHUD（Head Up Display）100の基本構成を例示する概略構成図である。HUD100は、画像形成ユニット20及び接眼光学系5を含む投影光学系10から出射された映像光を、ウインドシールド6で反射させて観察者の眼9に入射させる構成を備える。この構成により、観察者の眼9から見ると、虚像面7において画像情報を見ているかのような状態になる。

[0019] まず、画像形成ユニット20について説明する。図25に示すように、画像形成ユニット20は、液晶表示パネル22と、バックライト23と、これらの動作を制御するコントローラ200と、を備えている。画像形成ユニット20は、バックライト23から液晶表示パネル22に光を照射し、液晶表示パネル22に表示された画像情報（映像情報）を接眼光学系5に向けて

出射する。

- [0020] コントローラー２００は、制御装置２０１を備えている。この制御装置２０１には、種々の情報が外部装置から入力される。例えば、ＨＵＤ１００を搭載した移動体の動作に関する情報を生成して出力するナビゲーション装置であるナビ２０８や、移動体の動作を制御するＥＣＵ（Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃ Ｃｏｎｔｒｏｌ Ｕｎｉｔ）２０９が接続されている。ＥＣＵ２０９には移動体が備える各種のセンサ２１０が接続されていて、検知した情報をＥＣＵ２０９に通知するように構成されている。
- [0021] コントローラー２００は、上記にて説明をした外部装置からの各種データを処理する制御装置２０１と、バックライト２３を駆動するためのバックライト駆動回路２０７と、を備えている。
- [0022] 制御装置２０１は、外部装置からの各種データを記憶するためのＲＡＭ（Ｒａｎｄａｍ Ａｃｃｓｅｓｓ Ｍｅｍｏｒｙ）２０３と、観察者が視認する虚像の元になる画像データを生成する演算処理を実行するＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ Ｐｒｏｓｅｓｓｉｎｇ Ｕｎｉｔ）２０５と、ＣＰＵ２０５における演算処理を実行可能なプログラムやパラメータを記憶するＲＯＭ（Ｒｅａｄ Ｏｎｌｙ Ｍｅｍｏｒｙ）２０４と、を備えている。
- [0023] 以上の構成を備えるコントローラー２００によって画像形成ユニット２０が備える液晶表示パネル２２に画像情報が表示される。画像形成ユニット２０は、液晶表示パネル２２に表示された画像情報をバックライト２３が照射した光束によって映像光束として出射する。
- [0024] 図１９に戻る。画像形成ユニット２０において形成され出射された映像光束は、接眼光学系５によって、ウインドシールド６に投影される。ウインドシールド６に投影された映像光束は、ウインドシールド６で反射されて、観察者の眼９の位置に到達する。これによって、観察者の眼９から見ると、あたかも、虚像面７の画像情報を見ているような関係性が成立する。
- [0025] 図１９のように、液晶表示パネル２２における映像光束の出射面において、点Ｑ１・点Ｑ２・点Ｑ３という仮想点を考える。これら仮想点から出射さ

れた映像光束が対応する虚像面 7 における仮想点を考えると、図 19 に示すように点 V 1 ・点 V 2 ・点 V 3 が、それに当たる。観察者が眼 9 の位置を動かしても虚像面 7 における点 V 1 ・点 V 2 ・点 V 3 を視認できる範囲が、アイボックス 8 である。

[0026] 図 19 は、HUD 100 を平面的に見た図である。実際の HUD 100 の構成は立体的であるから、アイボックス 8 は二次元的な広がりを持っている。このように、接眼光学系 5 は、カメラのファインダーの接眼レンズや、顕微鏡での接眼レンズと同様に、物（空間像）の像（虚像）を観察者の眼の前に表示する光学系である。

[0027] ここで、本実施形態に係る HUD 100 を移動体に搭載した場合の例について図 24 を用いて説明する。図 24 は、移動体である自動車 500 を前方から見た平面図である。図 24 に示すような自動車 500 には、風防としてフロントガラスであるウインドシールド 6 が、運転席の前方に配置されている。

[0028] HUD 100 は、ウインドシールド 6 に映像光束を投影することで、自動車 500 の動作に係る各種情報を運転席にいる観察者が虚像として視認できる状態にする。映像光束が投影される位置は、運転席の前方やその周囲である。例えば図 24 の破線矩形領域 R 1 に示すような位置に映像光束が投影される。

[0029] 次に、HUD 100 が備える投影光学系 10 に含まれる自由曲面凹面ミラー 52 と、ウインドシールド 6 の、局所的な曲率半径について説明する。

[0030] 図 13 は、アイボックス 8 の座標系において、アイボックス 8 から自由曲面凹面ミラー 52 までの光路を表した光線図である。アイボックス 8 の座標系は、三次元直交座標系である。図 13 に示すようにアイボックス 8 の水平方向を X 軸とし、垂直方向を Y 軸とし、X 軸と Y 軸に直交する軸であって、XY 平面に対する垂直方向を Z 軸と定義する。

[0031] 図 13 (a) は、ウインドシールド 6 と自由曲面凹面ミラー 52 とアイボックス 8 の YZ 平面における相対的な配置関係を例示する図である。図 13

(b) は、ウインドシールド6と自由曲面凹面ミラー52とアイボックス8のXZ平面における相対的な配置関係を例示する図である。

[0032] 本実施形態の説明に用いる自動車500は、左ハンドル車である(図24を参照)。したがって、自動車500の前方に向かって左側に運転席があり、ウインドシールド6上における映像光束の投影位置は左側になる。仮に自動車500が右ハンドル車であるならば、ウインドシールド6上における映像光束の投影位置は、自動車500の前方に向かって右側になる。

[0033] ウインドシールド6の形状は、図24を用いて示したように、自動車500に対して左右対称な形状である。観察者である運転者は自動車500の左側に偏った位置においてウインドシールド6に向かうことになる。したがって、観察者が見るウインドシールド6の形状は、左右非対称な形状である。また、ウインドシールド6の形状は、図13(a)に示すように上下非対称の形状でもある。ウインドシールド6における反射作用は、上記のように、観察者である運転者から見えるウインドシールド6の形状は、左右方向と上下方向ともに非対称である。したがって、ウインドシールド6に投影される映像光束は、この非対称性の影響を受ける。即ちウインドシールド6は、HUD100のように映像光束を投影して反射させる形状としては、最適な形状ではない。

[0034] 次に、ウインドシールド6における非対称性を定量的に把握するために局所的な曲率半径について説明する。図14(a)は、YZ平面にウインドシールド6を投影した図である。図14(b)は、XZ平面にウインドシールド6を投影した図である。

[0035] 図14(a)に示すように、YZ平面に投影したウインドシールド6の形状は円弧状になる。また、図14(b)に示すように、XZ平面に投影したウインドシールド6の形状も円弧状になる。これら円弧状の曲率半径を求めれば、ウインドシールド6における非対称性を定量的に把握することができる。

[0036] 図14(a)に示すように、各視野に対応する光束がアイボックス8のY

軸上の上下2点と中央点のそれぞれを通過する3つの光線とする。この3つの光線のウインドシールド6における交点をYZ平面に投影すると、それぞれの光線に対応する3点($A_y \cdot B_y \cdot C_y$)を表せる。この3点($A_y \cdot B_y \cdot C_y$)によって定まるYZ平面での円の曲率半径が、視野に対応する局所的な曲率半径である。

[0037] 換言すると、虚像面7において視認される虚像の中の任意の点に対応する光束は、アイボックス8におけるY軸上の3つの点を通る3つの光線になる。この3つの光線のそれぞれがウインドシールド6と交わる交点を、上側の点(A_y)と、下側の点(C_y)と、 A_y と C_y のY軸上の中点(B_y)とする。 A_y と B_y と C_y の3点により定まる円の曲率半径が、虚像面7において視認される虚像の中の任意の点に対応する光線をウインドシールド6が反射する位置におけるYZ平面での曲率半径である。

[0038] また、図14(b)に示すように、各視野に対応する光束がアイボックス8のX軸上の左右2点と中央点のそれぞれを通過する3つの光線とする。この3つの光線のウインドシールド6における交点をXZ平面に投影すると、それぞれの光線に対応する3点($A_x \cdot B_x \cdot C_x$)を表せる。この3点($A_x \cdot B_x \cdot C_x$)によって定まるXZ平面での円の曲率半径が、視野に対応する局所的な曲率半径である。

[0039] 換言すると、虚像面7において視認される虚像の中の任意の点に対応する光束は、アイボックス8におけるX軸上の3つの点を通る3つの光線になる。この3つの光線のそれぞれがウインドシールド6と交わる交点を、右側の点(A_x)と、左側の点(C_x)と、 A_x と C_x のX軸上の中点(B_y)とする。 A_x と B_x と C_x の3点により定まる円の曲率半径が、虚像面7において視認される虚像の中の任意の点に対応する光線をウインドシールド6が反射する位置におけるXZ平面での曲率半径である。

[0040] まず、虚像面7における任意の点に対応する光束が、図13において示したアイボックス8の座標系と同様の座標系において、アイボックス8上の対応する点の全体を視野範囲81として定義する。視野範囲81は、アイボッ

クス 8 の範囲に虚像面 7 の任意の点に対応する光線に対応する点の集合ともいえる。図 2 4 では、視野範囲 8 1 に含まれる点のうち、2 1 カ所の点を例示している。以下の説明において、適宜、この 2 1 カ所の点を用いて説明をする。

[0041] 図 2 2 (a) に示すように、虚像面 7 における虚像に含まれる点であって、これに対応する視野範囲 8 1 に含まれる任意の点に係る 3 つの光線を仮定する。この光線がウインドシールド 6 と交わる 3 点を Y Z 平面に投影した場合の 3 点を通過する円の曲率半径を「曲率半径 R Y 2」と定義する。また、同じ 3 つの光線が自由曲面凹面ミラー 5 2 の反射面と交わる 3 点を通過する円の曲率半径を「曲率半径 R Y 4」と定義する。

[0042] 図 2 2 (b) に示すように、虚像面 7 における虚像に含まれる点であって、これに対応する視野範囲 8 1 に含まれる任意の点に係る 3 つの光線を仮定する。この光線がウインドシールド 6 と交わる 3 点を X Z 平面に投影した場合の 3 点を通過する円の曲率半径を「曲率半径 R X 2」と定義する。また、同じ 3 つの光線が自由曲面凹面ミラー 5 2 の反射面と交わる 3 点を通過する円の曲率半径を「曲率半径 R X 4」と定義する。

[0043] 以上のように、本実施形態に説明において、曲率半径 R Y 2 及び曲率半径 R X 2 は、ウインドシールド 6 における局所的な曲率半径を示す。また、曲率半径 R Y 4 及び曲率半径 R X 4 は、自由曲面凹面ミラー 5 2 における局所的な曲率半径を示す。

[0044] さらに、球面鏡の凹面の曲率半径を正で定義すれば、球面鏡の「焦点距離 = (曲率半径) / 2」となるので、球面鏡の「屈折力 = 1 / 焦点距離 = 2 / (曲率半径)」となる。

[0045] 次に、上記のように定義した曲率半径 R Y 2 と曲率半径 R X 2 の実施例について説明する。以下に示す実施例は、アイボックス 8 に係る座標系を用いて、視野範囲 8 1 に含まれる 2 1 カ所の点における曲率半径 R Y 2 と曲率半径 R X 2 について例示している。図 2 4 に示すように視野範囲 8 1 に含まれる 2 1 カ所の点は、アイボックス 8 に係る座標系における X 軸方向及び Y 軸

方向の中央点を「F 1」とする。また、X軸方向の右端であり、Y軸方向の最上端を「F 2」とする。また、X軸方向の最左端であり、Y軸方向の最上端を「F 3」とする。また、X軸方向の最左端であり、Y軸方向の最下端を「F 4」とする。また、X軸方向の最右端であり、Y軸方向の最下端を「F 5」とする。

[0046] 図15は、上記にて説明をした視野範囲81の中の21か所の点（以下、「21点」という。）に対応する曲率半径 R_Y2 と曲率半径 R_X2 について、図14を用いて説明した定義を当てはめて説明する図である。図15（a）は、視野範囲81の21点に対応する曲率半径 R_Y2 の具体例を示す表である。図15（b）は、視野範囲81の21点に対応する曲率半径 R_X2 の具体例を示す表である。図15（c）は、視野範囲81の21点に対応するウインドシールド6の屈折力の変化（ Δ 屈折力）の具体例を示す表である。尚、ウインドシールド6のYZ断面における屈折力とXZ断面における屈折力は大きく異なる。そこで、図15（c）に示した Δ 屈折力は、ウインドシールド6におけるYZ断面の屈折力とXZ断面の屈折力の平均値の変化を用いて表している。

[0047] 図15に示すように、曲率半径 R_Y2 の値は、6441[mm]～6691[mm]の範囲にある。曲率半径 R_Y2 の値はいずれも大きいので、YZ断面における屈折力は小さい。一方、曲率半径 R_X2 の値は、1074[mm]～1206[mm]の範囲にある。曲率半径 R_X2 の値はいずれも小さいので、XZ断面における屈折力は大きい。

[0048] 即ち、ウインドシールド6では、XZ断面の屈折力に比べてYZ断面の屈折力は、視野範囲81の中央（F 1）において、1/5.8倍になる。また、屈折力が大きいXZ断面における曲率半径 R_X2 の値は、最大値と最小値の差が132mmであって大きい。以上のように、ウインドシールド6は、屈折力にも局所的な偏りがある。

[0049] 以上のとおり、ウインドシールド6では、YZ断面での屈折力とXZ断面での屈折力の違いだけでなく、同じ断面での屈折力の偏りも含めた非対称性

を有する。したがって、自由曲面凹面ミラー 52 では、このウインドシールド 6 における非対称性を補う必要である。そこで、この非対称性を補う光学素子として、回転非対称な形状パラメータを有する自由曲面凹面ミラー 52 を用いる。

[0050] 次に、ウインドシールド 6 における光束範囲について説明する。図 16 は、車両に対して左右対称なウインドシールド 6 における光束範囲を表す図である。図 16 に示すように、ウインドシールド 6 の座標軸を定義する。すなわち、ウインドシールド 6 の水平方向を X_2 軸、垂直方向を Y_2 軸として定義する。 X_2 軸と Y_2 軸の交点である原点 O は、ウインドシールド 6 の横方向の中心点であって、ウインドシールド 6 を備える自動車 500（図 24 参照）の高さ方向の中心点でもある。

[0051] 図 16 に示すように、視野範囲 81 に対応するウインドシールド 6 における光束範囲は、原点 O から大きく X_2 軸の負方向にずれた位置にある。例えば、ウインドシールド 6 上での視野範囲 81 の中央（ $F1$ ）の光束の中心位置 $ADX2$ は、 $ADX2 = -380\text{ mm}$ となっている。すなわち、ウインドシールド 6 は、 X_2 軸方向において大きく非対称である。尚、 Y_2 軸に対しては、ウインドシールド 6 の形状を表す定義式によって変わるが、その場合でも局所的な曲率半径の分布は、図 15 と同様である。

[0052] ウインドシールド 6 の形状は、反射光に対して凹面形状である。したがって、ウインドシールド 6 における屈折力は正の値になる。また、自由曲面凹面ミラー 52 の形状も凹面形状であるから、その屈折力は正の値になる。そこで、ウインドシールド 6 に対して映像光束を反射する自由曲面凹面ミラー 52 において、ウインドシールド 6 の YZ 断面における屈折力を補う必要がある。具体的には、自由曲面凹面ミラー 52 の XZ 断面における屈折力よりも、 YZ 断面における屈折力を大きくする。即ち、自由曲面凹面ミラー 52 の XZ 断面における曲率半径よりも、 YZ 断面における曲率半径を小さくする。

[0053] ウインドシールド 6 と自由曲面凹面ミラー 52 の形状を決定するために必

要な条件は、本実施形態に係るHUD 100を小型にするために重要である。その理由について説明する。

[0054] 一般的に、多くの光学要素を備える光学系では、あるレンズ玉で発生した収差量と逆向きの収差量を生じる別のレンズ玉を用いることで収差を補正する。例えば、複数の凸レンズや凹レンズを組み合わせることで収差量を補正する。したがって、従来のように多数の光学素子を用いて屈折力の非対称性を補正しようとする、多くの光学要素を用いることになる。これを本実施形態に係るHUD 100に適用しようとする、HUD 100の小型化に反する。

[0055] そこで、本実施形態に係るHUD 100は、必要最小限の光学要素を用いてウィンドシールド6における局所的な屈折力を補正する投影光学系10を構成する。具体的には、ウィンドシールド6における局所的に大きな屈折力を打ち消す補正ではなく、ウィンドシールド6における局所的に小さな屈折力に対して、自由曲面凹面ミラー52に局所的に大きな屈折を発生させて補正する。

[0056] 上記のような補正の仕方を用いる理由は、所定の大きさの虚像を表示するためには、HUD 100としての屈折力が必要になるからである。言い換えると、HUD 100としての屈折力を小さい側に揃えると、HUD 100として所定の屈折力を実現できなくなるからである。

[0057] 以上をまとめると、ウィンドシールド6はYZ平面へ投影した曲率半径 R_Y2 と、XZ平面へ投影した曲率半径 R_X2 が大きく異なる。視野範囲81の中央(F1)におけるその比率は、5.8倍である($6606 / 1131 \div 5.8$)。また、曲率半径 R_X2 における最大値と最小値の差は132 mmである($F2 - F4 = 1206 - 1074 = 132$ [mm])。以上のようにウィンドシールド6は、左右非対称的な形状である。

[0058] 次に、左右非対称であり、かつ、局所的に曲率半径が変化することで、局所的に屈折率が変化するウィンドシールド6を補う自由曲面凹面ミラー52について説明する。

- [0059] 図17は、ウインドシールド6の説明に用いたものと同様、自由曲面凹面ミラー52における局所的な曲率半径 R_Y4 と曲率半径 R_X4 について、図14を用いて説明した定義を当てはめて説明するための図である。
- [0060] 図17(a)は、視野範囲81の21点に対応する曲率半径 R_Y4 の具体例を示す図である。図17(b)は、視野範囲81の21点に対応する曲率半径 R_X4 の具体例を示す図である。図17(c)は、視野範囲81の21点に対応する自由曲面凹面ミラー52の屈折率の変化(Δ 屈折率)の具体例を示す図である。
- [0061] 図17に示すように、曲率半径 R_Y4 の値は、229[mm]~349[mm]の範囲にある。曲率半径 R_Y4 の値はいずれも小さいので、YZ断面における屈折力は大きい。一方、曲率半径 R_X4 の値は、338[mm]~406[mm]の範囲にある。自由曲面凹面ミラー52において、視野範囲81の中央(F1)において、屈折力の差は約1.3倍である($358/282 \div 1.3$)。このように、自由曲面凹面ミラー52のYZ断面における屈折力を大きくすることで、ウインドシールド6のYZ断面における屈折力を補うことができる。
- [0062] 図15を用いて説明したとおり、ウインドシールド6における局所的な曲率半径 R_X2 が最大になるのは、視野範囲81における最右上(F2)に対応する部分である。また、ウインドシールド6における局所的な曲率半径 R_X2 が最小になるのは、視野範囲81における最左下(F4)に対応する部分である。
- [0063] これに対して、自由曲面凹面ミラー52における局所的な曲率半径 R_Y4 と曲率半径 R_X4 がともに最大になるのは、視野範囲81における最左上(F3)に対応する部分である。また、自由曲面凹面ミラー52における局所的な曲率半径 R_Y4 が最小になるのは、視野範囲81における最右上(F2)に対応する部分である。また、自由曲面凹面ミラー52における局所的な曲率半径 R_X4 が最小になるのも視野範囲81における最右下(F5)に対応する部分である。

- [0064] 即ち、本実施形態に係る投影光学系 10 は、ウインドシールド 6 における屈折力が小さい側の視野と、自由曲面凹面ミラー 52 における屈折力が大きい側の視野が、左右で同じ側にある。
- [0065] 次に、自由曲面凹面ミラー 52 における光束範囲について図 18 を用いて説明する。ここで、説明に用いるための自由曲面凹面ミラー 52 を定義する座標系において、X 軸を「 X_4 軸」とし、Y 軸を「 Y_4 軸」とする。自由曲面凹面ミラー 52 は、 X_4 軸と Y_4 軸のそれぞれにおいて大きく非対称である。
- [0066] 視野範囲 81 の中の点（F1 から F21）に対応する光束の範囲、即ち、自由曲面凹面ミラー 52 上における有効な光束範囲を、上記の座標系に表すと、図 18 に示すようになる。図 18 において明らかとなおり、本実施形態に係る自由曲面凹面ミラー 52 の中心位置（F1）は、 X_4 軸に対応する位置と Y_4 軸に対応する位置の絶対値とを比較した場合、 X_4 軸に対応する位置の絶対値の方が大きくなる。
- [0067] また、自由曲面凹面ミラー 52 上における有効な光束範囲の長辺方向は、上記の座標系に表すと、 X_4 軸に対して傾いている。この傾きは 45 度以上になる。
- [0068] 上記のように自由曲面凹面ミラー 52 における光束範囲を非対称にする理由は、ウインドシールド 6 において視野範囲 81 の右側の屈折力が小さいこと（曲率半径 R_{X2} が大きいこと）を補うためである。すなわち、自由曲面凹面ミラー 52 において、視野範囲 81 の右側の屈折力を大きくするためである。
- [0069] 自由曲面凹面ミラー 52 における自由曲面形状の定義式は、後述するが、この自由曲面形状は、 X_4 軸と Y_4 軸に関連する多項式を有するので、自由曲面形状の原点から離れた位置の方が、面形状のサグ量を制御しやすくなる。
- [0070] 例えば、一般的に回転対称な非球面形状の場合でも、光軸の近傍のサグ量の変化は小さいが、光軸から離れるほどサグ量の変化が大きくなる。これは、自由曲面の場合でも同様であって、サグ量に対して光軸から離れる程に、より高次の係数の影響が大きくなる。即ち、光軸から離れる程、局所的な曲

率半径を小さくすることができる。

[0071] これを、本実施形態に係る自由曲面凹面ミラー 52 に当てはめると、自由曲面凹面ミラー 52 における視野範囲 81 に対応する位置のうち、右側の位置（図 18 における F2 と F5）に対応する視野への光線が、自由曲面凹面ミラー 52 の光軸からより離れるような位置関係が望ましい。例えば、自由曲面凹面ミラー 52 上での視野範囲 81 の中央（F1）の光束の中心位置 ADX4 は、 $ADX4 = 54 \text{ mm}$ となっている。この値は、ウインドシールド 6 上での説明での、 $ADX2 = -380 \text{ mm}$ とは異符号の関係である。

[0072] 次に、本発明に係る投影光学系の実施形態についてさらに説明する。本実施形態に係る投影光学系 10 は、ウインドシールド 6 における局所的な屈折力不足を、自由曲面凹面ミラー 52 における局所的に大きな屈折力を用いて補うように構成する。この構成からなる投影光学系 10 を備える HUD 100 は、小型化に向いている。

[0073] <第 1 実施形態>

図 19 を用いて説明したとおり、本実施形態に係る HUD 100 は、接眼光学系 5 の構成に特徴を有する。まず、投影光学系 10 を構成するウインドシールド 6 と接眼光学系 5 について、図 1 を用いて説明する。

[0074] 図 1 は、第 1 実施形態の接眼光学系 5 の全体光線図である。図 1 において、アイボックス 8 の水平方向を X 軸、アイボックス 8 の垂直方向を Y 軸、X 軸と Y 軸に直交する軸を Z 軸として定義する。図 1 (a) は、YZ 平面において虚像面 7 の映像情報を観察者の眼 9 で見ている様子を表している。図 1 (b) は、XZ 平面において虚像面 7 の映像情報を観察者の眼 9 で見ている様子を表している。

[0075] 図 1 において、ウインドシールド 6 は、HUD 100 での有効光束が通過する範囲のみを表している。なお、ウインドシールド 6 は、図 13 及び図 24 を用いてすでに説明したとおり、自動車 500 の横幅方向（左右方向）に対して対称な形状である。

[0076] 次に、第 1 実施形態に係る接眼光学系 5 の詳細について、さらに説明する

。図2は、本実施形態に係る接眼光学系5の要部拡大図である。図2に示すように、本実施形態に係る接眼光学系5は、液晶表示パネル22の構成部品である偏光板21の側から順に、自由曲面レンズ51と、自由曲面凹面ミラー52と、ウインドシールド6と、を配置することで構成される。

[0077] 自由曲面レンズ51は、自由曲面凹面ミラー52側に凸面を向けた負の屈折力を有するレンズである。自由曲面凹面ミラー52は、正の屈折力を有する鏡である。なお、図2において、自由曲面レンズ51の前後面は、面表示で表している。これらの光学素子（光学要素）を備えて構成される接眼光学系5の屈折力は、主に自由曲面凹面ミラー52が負担している。

[0078] 自由曲面凹面ミラー52から離れた位置に配置される自由曲面レンズ51は、主光線の光線高さが高い。したがって、自由曲面レンズ51は、台形歪の補正作用を有する。本実施形態に係る接眼光学系5は、自由曲面凹面ミラー52において反射されウインドシールド6に向かう光束の光路の真下に、自由曲面レンズ51が配置されている。このような配置関係により、本実施形態に係る接眼光学系5を備えるHUD100は、その全体の寸法を小型にできる。

[0079] <レンズデータ>

次に、本実施形態に係るHUD100におけるレンズデータについて、図3を用いて説明する。まず、図3に示すレンズデータにおける各項目について説明する。

[0080] 「呼称」は、各光学素子に対応する呼び名であって“ミラーM1”はウインドシールド6に対応する。“ミラーM2”は自由曲面凹面ミラー52に対応する。”自由曲面レンズ”は自由曲面レンズ51に対応する。”偏光板”は、偏光板21に対応する。”カバーガラス”は、液晶表示パネル22の表示面を保護する部材に対応する。”像面LCD”は、液晶表示パネル22に対応する。

[0081] 「面番号」は、物面である虚像面7を第0面として、虚像面7において虚像を視認できる状態を形成する光束を遡りながら、各光学要素に対応する面

を表している。なお、「称呼」におけるダミ一面は、実際に物理的な光学要素を指すのではなく、光学要素の配置を検討する際に用いるパラメータに相当する要素である。

[0082] 「曲率半径」は曲率半径の中心位置が進行方向にある場合を正の符号で表している。「面間距離」は、各面の頂点位置から次の面の頂点位置までの光軸上の距離を表している。

[0083] 「硝材名」は、該当する光学素子を形成する材料を表す。材料名において“50.30”は、屈折率1.50でアッベ数が30の材料を表す。また、“52.60”は屈折率1.51でアッベ数が60の材料を表す。

[0084] 「偏心・倒れの内容」は、該当の面における偏心と倒れの順に作用し、“普通偏心”は、偏心・倒れが作用した新しい座標系上での面間距離の位置に次の面”が配置される。”デセンタ・アンド・リターン“は、その面でのみ作用し、次の面に影響しない。

[0085] 「偏心」は、X軸方向・Y軸方向・Z軸方向それぞれにおける原点0からの距離[mm]である。「倒れ」は、X軸回りの回転・Y軸回りの回転・Z軸回りの回転量[度]である。尚、X軸回りの回転はX軸の正方向から見て時計回りを正、Y軸回りの回転はY軸の正方向から見て時計回りを正、Z軸回りの回転はZ軸の正方向から見て反時計回りを正とする。

[0086] 次に、本実施形態に係る自由曲面凹面ミラー52と、自由曲面レンズ51に係る自由曲面係数を図4において示す。図4に示した自由曲面係数は、以下の式1により求められる。

[0087] [数1]

$$Z = \frac{c \cdot (x^2 + y^2)}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)c^2 \cdot (x^2 + y^2)}} + \sum \sum (C_j(m, n) \times x^m \times y^n)$$

$$j = [(m+n)^2 + m + 3n] / 2 + 1$$

[0088] 自由曲面係数 C_j は、それぞれの光軸（Z軸）に対して回転非対称な形状で

あり、円錐項の成分と XY の多項式の項の成分で定義される形状である。例えば、 X が2次 ($m=2$) で Y が3次 ($n=3$) の場合は、 $j = \{(2+3)^2 + 2+3 \times 3\} / 2+1 = 19$ である C_{19} の係数が対応する。また、自由曲面のそれぞれの光軸の位置は、図3において示したレンズデータでの偏心・倒れの量によって定まる。

[0089] 本実施形態において、接眼光学系5におけるアイボックス8の寸法、視野角などの具体例について、表1に示す。なお、表1において、数値の順番は水平方向、垂直方向の順である。

[0090] [表1]

アイボックス8のサイズ	130×40mm
液晶表示パネル22における映像光の有効サイズ	37.2×18.7mm
虚像面7のサイズ	240×90mm
視野角（全画角）	6.9×2.6度
伏角	5度
虚像距離（L）	2m

[0091] 次に、第1実施形態の光学性能について図5から図12を用いて説明する。図5から図9は、第1実施形態に係るHUD100の歪性能を表す図である。図10から図12は、第1実施形態に係るHUD100のスポット図である。

[0092] 図5は、アイボックス8の中央（E1）を通過する光線による液晶表示パネル22側での歪図である。図6は、アイボックス8の最右上（E2）を通過する光線による液晶表示パネル22側での歪図である。図7は、アイボックス8の最左上（E3）を通過する光線による液晶表示パネル22側での歪図である。図8は、アイボックス8の最左下（E4）を通過する光線による液晶表示パネル22側での歪図である。図9は、アイボックス8の最右下（E5）を通過する光線による液晶表示パネル22側での歪図である。

[0093] 以上のように、図5から図9において示した歪性能は、矩形状の虚像面7の範囲に対して、アイボックス8の中央と4隅を通過する光線による液晶表示パネル22側における歪性能である。仮に、液晶表示パネル22側に矩形状の画像を表示した状態で、アイボックス8内のそれぞれの位置に眼9を位置した場合、図5から図9と逆の歪（例：樽型⇔糸巻型）が観察される。図5から図9において示す歪図は、ほぼ同じ形状になっているので、本実施形態に係るHUD100において、例えば図5の歪図に合わせた映像を液晶表示パネル22に表示すれば、観察者は歪の無い矩形状の虚像を観察できる。

[0094] 図10は、虚像面7に物点を配置した場合の液晶表示パネル22上におけるスポット図であって、アイボックス8全体を通過する光束の波長が650nm（赤色）のもののスポットを示した図である。図11は、虚像面7に物点を配置した場合の液晶表示パネル22上におけるスポット図であって、アイボックス8全体を通過する光束の波長を550nm（緑色）のもののスポットを示した図である。図12は、虚像面7に物点を配置した場合の液晶表示パネル22上におけるスポット図であって、アイボックス8全体を通過する光束の波長を450nm（青色）のもののスポットを示した図である。

[0095] 図10から図12に示したスポット図は、アイボックス8の大きさが水平130mm×垂直40mmであって、全光束によるスポット図である。実際の観察者が見る虚像の場合は、眼9の虹彩の大きさ（最大でφ7mmといわれている）におけるスポット図は、大幅に良くなっている。

[0096] したがって、第1実施形態に係るHUD100によれば、自由曲面凹面ミラー52と自由曲面レンズ51を用いた投影光学系10により、小型化にすることができる。

[0097] <第2実施形態>

次に、本発明に係る投影光学系の別の実施形態について図20を用いて説明する。本実施形態（第2実施形態）は、すでに説明をした第1実施形態における画像形成ユニット20と異なる点に特徴を有する。

[0098] 第1実施形態に係る投影光学系10は、液晶表示パネル22において形成

された映像情報を、直接的に接眼光学系 5 において拡大して投影し、虚像として表示する構成を備えていた。これに対して、第 2 実施形態に係る投影光学系 10 a は、画像形成ユニット 20 a において、より小型の液晶表示パネル 22 a を用いる。そして、液晶表示パネル 22 a において形成される映像情報をリレー光学系 24 において拡散板であるスクリーン板 25 へ拡大写像する。スクリーン板 25 において拡大写像した映像情報を接眼光学系 5 で拡大投影し、虚像として表示している。

[0099] より詳しくは、バックライト 23 a から液晶表示パネル 22 a に照射された光束は、液晶表示パネル 22 a に表示された映像情報を含んだ映像光束として、リレー光学系 24 に入射する。液晶表示パネル 22 a からの映像情報は、リレー光学系 24 における結像作用により、拡大されてスクリーン板 25 に拡大投写される。

[0100] 図 20 に示すように、液晶表示パネル 22 a における映像光束の出射面において、点 P1・点 P2・点 P3 という仮想点を考える。これら仮想点から出射された映像光束が対応する、スクリーン板 25 上の仮想点は、点 Q1a・点 Q2a・Q3a である。

[0101] 本実施形態に係るリレー光学系 24 を画像形成ユニット 20 a に用いることで、表示サイズの小さい液晶表示パネル 22 a を使用することができる。また、スクリーン板 25 は、マイクロレンズを 2 次元状に配置したマイクロレンズアレイにより構成される。これにより拡散作用が生じ、スクリーン板 25 を出射する光束の広がり角を大きくしており、アイボックス 8 の大きさを、所定の大きさにしている。尚、スクリーン板 25 の拡散作用は、拡散粒子を内蔵することでも実現できる。

[0102] 以上のとおり、本実施形態に係る画像形成ユニット 20 a を備える投影光学系 10 a は、小型の液晶表示パネル 22 a を用いても拡大した映像情報を投影することができる。

[0103] <第 3 実施形態>

次に、本発明に係る投影光学系の更に別の実施形態について図 21 を用い

て説明する。本実施形態（第3実施形態）は、すでに説明をした第2実施形態における投影光学系10と異なる点に特徴がある。

[0104] 第2実施形態に係る投影光学系10aは、液晶表示パネル22aにおいて形成された映像情報を、拡散機能を有するスクリーン板25に写像している。これに対して、第3実施形態に係る投影光学系10bは、レーザー光源101からのレーザー光をMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 102を用いて光走査する構成を備えている。

[0105] レーザー光源101は、映像光束の元になる光を供給する光源である。MEMS 102は、微小ミラー102aと駆動部102bにより構成されている。微小ミラー102aは、レーザー光源101から出射されたレーザー光を反射して、スクリーン板25をレーザー光によって走査する。駆動部102bは、微小ミラー102aにおける反射角度を制御する。

[0106] MEMS 102により走査されたスクリーン板25は拡散機能を有していて、レーザー光の走査により形成される映像情報を接眼光学系5に向けて出射する。

[0107] 以上のとおり、本実施形態に係る画像形成ユニット20bを備える投影光学系10bは、レーザー光源101からのレーザー光を用いても拡大した映像情報を投影することができる。

符号の説明

[0108] 1…バックライト、2…液晶表示パネル、3…リレー光学系、4…スクリーン板（拡散板）、5…接眼光学系、6…ウインドシールド、7…虚像面、8…アイボックス、9…観察者の眼、10…投影光学系、20…画像形成ユニット、51…自由曲面レンズ、52…自由曲面凹面ミラー、100…ヘッドアップディスプレイ装置

請求の範囲

[請求項1] 画像情報を形成する画像形成ユニットから出射された光を反射しウインドシールドに投影して虚像を表示させる接眼光学系を含む投影光学系であって、

前記接眼光学系は、前記画像形成ユニットから順に自由曲面レンズと、自由曲面凹面ミラーと、を含み、

アイボックスの水平方向をX軸、垂直方向をY軸、XY平面に対する垂直方向をZ軸と定義したとき、

視野範囲の中の任意の点である視野に対応する光束がアイボックスのY軸上の上下2点と中央点のそれぞれを通過する3つの光線の前記自由曲面凹面ミラーにおける交点をYZ平面に投影した3点により定まる円の曲率半径（正の値）を R_{Y4} とし、アイボックスのX軸上の左右2点と中央点のそれぞれを通過する3つの光線の自由曲面凹面ミラー上での交点をXZ平面に投影した3点により定まる円の曲率半径（正の値）を R_{X4} としたとき、 $R_{X4} > R_{Y4}$ を満たすことを特徴とする投影光学系。

[請求項2] 前記自由曲面凹面ミラーにおける前記 R_{Y1} が最大となる前記視野と、前記 R_{Y1} が最小となる前記視野は、前記視野範囲の中で左右に分かれていることを特徴とする請求項1に記載の投影光学系。

[請求項3] 前記視野範囲の中央の光束の前記自由曲面凹面ミラーにおける中心位置を、前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系のX軸において AD_{X4} とし、

前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系のY軸において AD_{Y4} としたとき、

前記自由曲面凹面ミラー上における有効な光束範囲の中心位置は、 $|AD_{X4}| > |AD_{Y4}|$

であることを特徴とする請求項2に記載の投影光学系。

[請求項4] 前記自由曲面凹面ミラー上における有効な光束範囲の長辺方向は、

前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系におけるX軸に対して傾いていて、その傾きは45度以上であることを特徴とする請求項3に記載の投影光学系。

[請求項5] 前記自由曲面凹面ミラー上における有効な光束範囲に、前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系における前記自由曲面凹面ミラーの原点は含まれないことを特徴とする請求項4に記載の投影光学系。

[請求項6] 前記視野のそれぞれに対応する光束の前記ウインドシールドにおける交点のうち、YZ平面に投影した任意の3点により定まる円の正の曲率半径を R_Y^2 とし、XZ平面に投影した前記任意の3点により定まる円の正の曲率半径を R_X^2 としたとき、 $R_X^2 < R_Y^2$ を満たすことを特徴とする請求項5に記載の投影光学系。

[請求項7] 前記ウインドシールドにおける前記 R_X^2 が最大となる視野と、前記 R_X^2 が最小となる視野は、前記視野範囲の中で左右に分かれていることを特徴とする請求項6に記載の投影光学系。

[請求項8] 視野範囲の中央の光束の前記ウインドシールドにおける中心位置を、前記ウインドシールドを定義する座標系のX軸において AD_X^2 とし、

前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系のX軸において AD_X^4 としたとき、

前記 AD_X^2 と前記 AD_X^4 が異符号であることを特徴とする請求項6に記載の投影光学系。

[請求項9] 画像情報を含む光を出射する画像形成ユニットと、

前記画像形成ユニットから出射された光を反射しウインドシールドに投影して虚像を表示させる接眼光学系と、を備え、

前記接眼光学系は、前記画像形成ユニットから順に自由曲面レンズと、自由曲面凹面ミラーとを含み、

アイボックスの水平方向をX軸、垂直方向をY軸、XY平面に対する垂直方向をZ軸と定義したとき、

視野範囲の中の任意の点である視野に対応する光束の前記自由曲面凹面ミラーにおける交点のうち、 YZ 平面に投影した任意の3点により定まる円の正の曲率半径を R_{Y1} とし、 XZ 平面に投影した任意の3点により定まる円の正の曲率半径を R_{X1} としたときに、 $R_{X1} > R_{Y1}$ を満たすことを特徴とするヘッドアップディスプレイ装置。

[請求項10] 前記自由曲面凹面ミラーにおける前記 R_{Y1} が最大となる前記視野と、前記 R_{Y1} が最小となる前記視野は、前記視野範囲の中で左右に分かれていることを特徴とする請求項9に記載のヘッドアップディスプレイ装置。

[請求項11] 視野範囲の中央の光束の前記自由曲面凹面ミラーにおける中心位置を、前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系の X 軸において ADX_4 とし、

前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系の Y 軸において ADY_4 としたとき、

前記自由曲面凹面ミラー上における有効な光束範囲の中心位置は、
 $|ADX_4| > |ADY_4|$

であることを特徴とする請求項10に記載のヘッドアップディスプレイ装置。

[請求項12] 前記自由曲面凹面ミラー上における有効な光束範囲の長辺方向は、前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系における X 軸に対して傾いて、その傾きは45度以上であることを特徴とする請求項11に記載のヘッドアップディスプレイ装置。

[請求項13] 前記自由曲面凹面ミラー上における有効な光束範囲に、前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系での前記自由曲面凹面ミラーの原点は含まれないことを特徴とする請求項12に記載のヘッドアップディスプレイ装置。

[請求項14] 前記視野のそれぞれに対応する光束の前記ウインドシールドにおける交点のうち、 YZ 平面に投影した任意の3点により定まる円の正の

曲率半径を R_{Y2} とし、 XZ 平面に投影した前記任意の 3 点で定まる円の正の曲率半径を R_{X2} としたとき、 $R_{X2} < R_{Y2}$ を満たすことを特徴とする請求項 13 に記載のヘッドアップディスプレイ装置。

[請求項15] 前記ウインドシールドにおける前記 R_{X2} が最大となる視野と、前記 R_{X2} が最小となる視野は、前記視野範囲の中で左右に分かれていることを特徴とする請求項 14 に記載のヘッドアップディスプレイ装置。

[請求項16] 視野範囲の中央の光束の前記ウインドシールドにおける中心位置を、前記ウインドシールドを定義する座標系の X 軸において AD_{X2} とし、前記自由曲面凹面ミラーを定義する座標系の X 軸において AD_{X4} としたとき、

前記 AD_{X2} と前記 AD_{X4} が異符号であることを特徴とする請求項 14 に記載のヘッドアップディスプレイ装置。

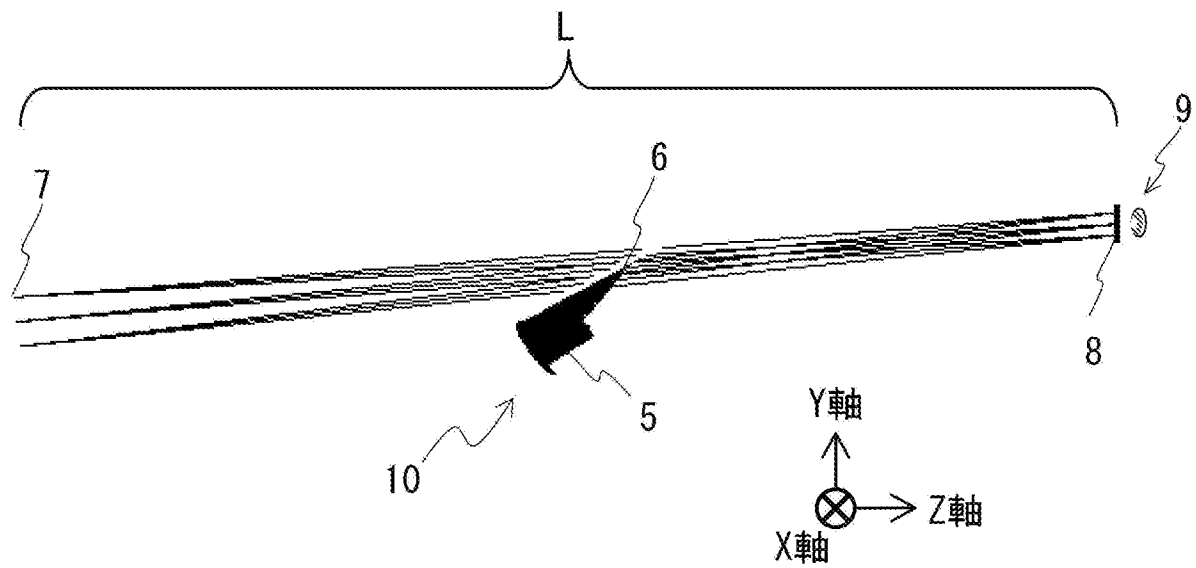
[請求項17] 前方にウインドシールドを備え、
画像情報を含む光を出射する画像形成ユニットと、前記画像形成ユニットから出射された光を反射し前記ウインドシールドに投影して虚像を表示させる接眼光学系と、前記接眼光学系が前記画像形成ユニット側から自由曲面レンズと自由曲面凹面ミラーを含む、ヘッドアップディスプレイ装置を備える自動車であって、

前記ヘッドアップディスプレイ装置は、請求項 9 乃至 16 のいずれか一項に記載のヘッドアップディスプレイ装置であることを特徴とする自動車。

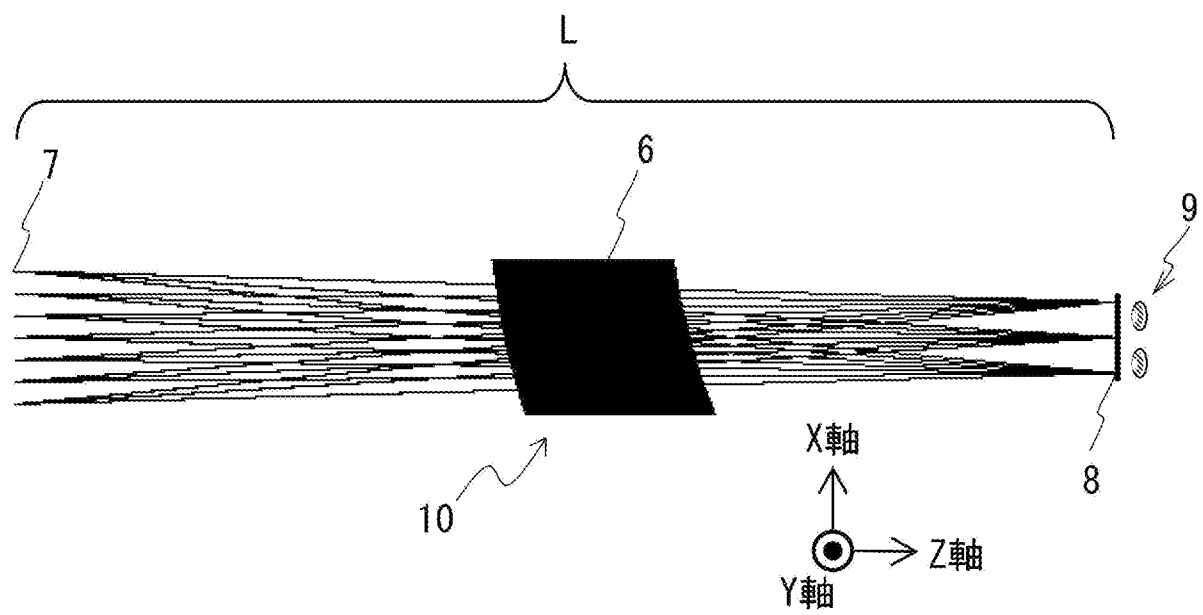
[図1]

図 1

(a)

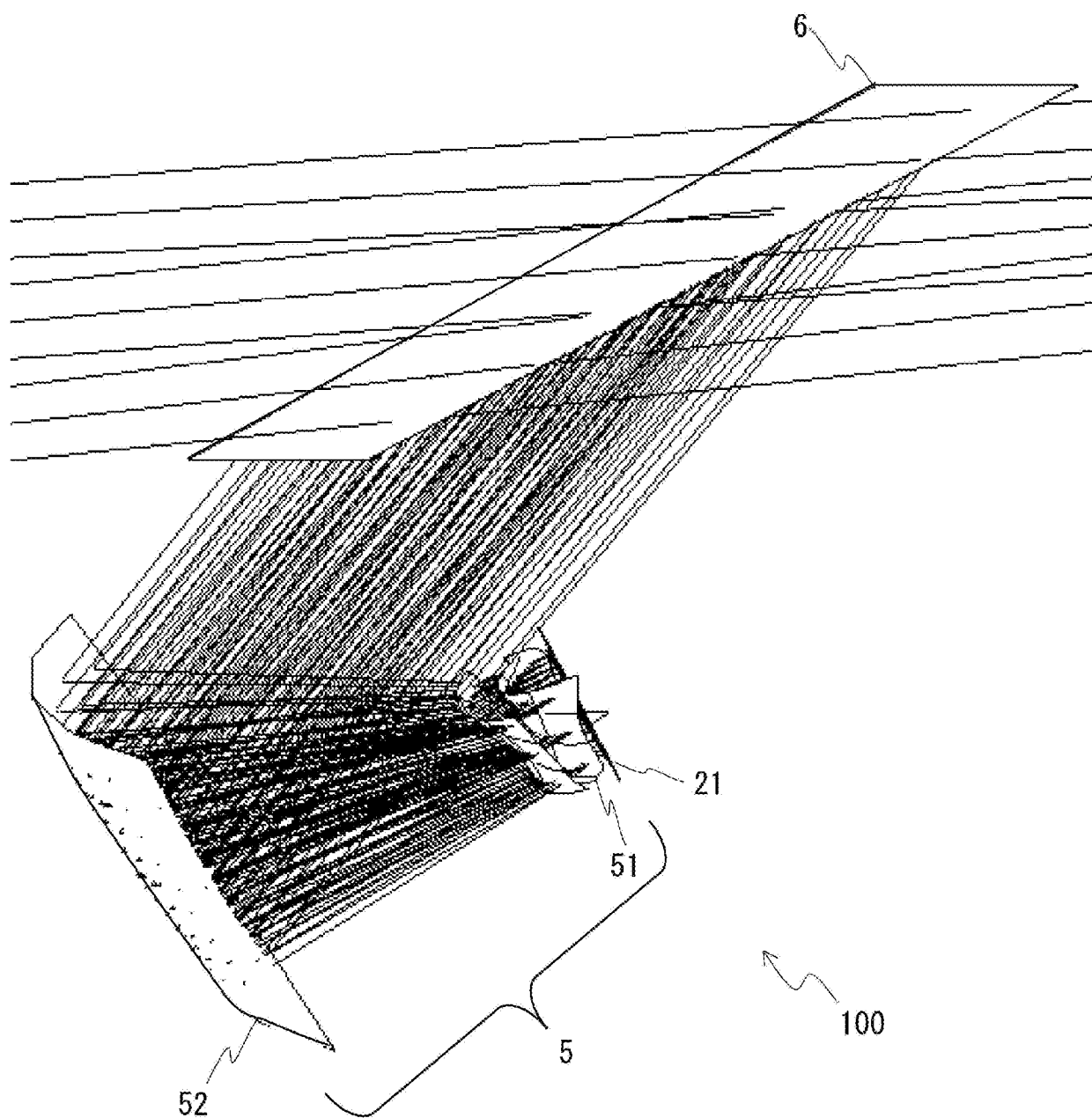


(b)



[図2]

図 2



[図3]

図 3

呼称	面番号	形状	曲率半径	面間距離	硝材名	偏心・倒れ の内容	偏心(mm)			倒れ(度)		
							X軸	Y軸	Z軸	X軸回り	Y軸回り	Z軸回り
物面 虚像	0面	平面	∞	2000			0	0	0	0	0	0
入射瞳	1面	平面	∞	-784.68		普通偏心	0	0	0	-5.08	0	0
ミラー M1	2面	自由曲面	∞	0	反射	デレツタツ	380	-0.1	-46.3	0	0	0
ダミー面	3面	平面	∞	358.031		普通偏心	0	0	0	-145.213	6.013	0
ミラー M2	4面	自由曲面	-411.356	0	反射	デレツタツ	0	0	0	-23.020	13.448	43.578
ダミー面	5面	平面	∞	-121.330		普通偏心	0	0	0	-32.726	22.671	0
自由曲面	6面	自由曲面	∞	-5	MPCD4 HOYA	普通偏心	0	0	0	31.191	-25.774	-14.251
レンズ	7面	自由曲面	∞	-12.740			0	0	0	0.000	0.000	0
偏光板	8面	平面	∞	-0.122	50.30	普通偏心	0.796	-2.830	0	-2.340	-0.363	10.237
	9面	平面	∞	0.000			0	0	0	0	0	0
カバーガラ	10面	平面	∞	-0.6	52.60		0	0	0	0.000	0.000	0.000
ス	11面	平面	∞	0			0	0	0	0	0	0
像面 LCD	12面	平面	∞	0			0	0	0	0	0	0

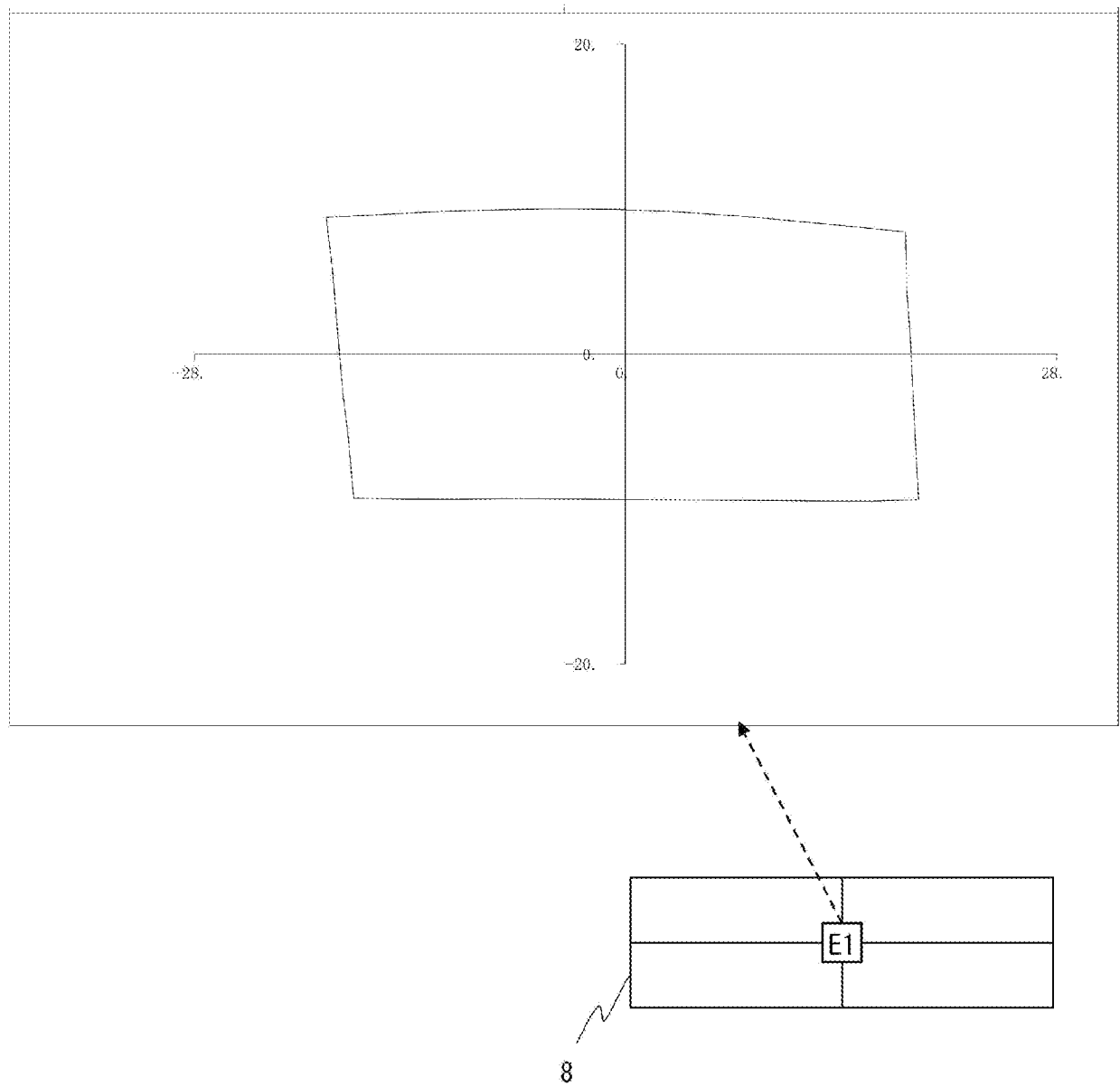
[図4]

図 4

コード		ミラー面(2面)	ミラー面(4面)	レンズ面(6面)	レンズ面(7面)
R	$1/c$	∞	-411.356	∞	∞
K	K	0.00000	0.49008		
C2	X		-3.47837E-01	6.44151E-02	3.25369E-03
C3	Y	1.92070E+00	-1.07623E-01	-1.49973E-01	2.05829E-02
C4	X ²	2.83990E-04	-6.75914E-04	-1.79872E-03	-1.61261E-02
C5	XY		-6.24836E-05	-1.24009E-02	-1.21908E-02
C6	Y ²	7.81820E-04	-6.62423E-04	2.85052E-02	1.18632E-02
C7	X ³		-3.39361E-06	-1.76706E-05	-1.00162E-05
C8	X ² Y	5.33890E-07	3.57870E-06	3.16602E-05	1.27511E-04
C9	XY ²		-5.51570E-07	6.17229E-05	-1.15519E-04
C10	Y ³	1.44540E-07	-1.61113E-07	4.19653E-04	8.65250E-04
C11	X ⁴	3.12850E-10	-1.15981E-08	-4.58613E-06	-2.56701E-06
C12	X ³ Y		-1.64942E-08	3.28663E-06	-3.97958E-06
C13	X ² Y ²	1.29950E-10	-4.32700E-08	-3.92225E-05	-6.86772E-06
C14	XY ³		-1.20404E-08	3.08209E-05	2.31208E-05
C15	Y ⁴	-5.24300E-09	-3.08461E-09	-2.79950E-05	1.02974E-05
C16	X ⁵		-5.45321E-11	4.74443E-08	-2.19416E-07
C17	X ⁴ Y	-6.35040E-13	-2.23431E-10	-2.06569E-07	2.40048E-07
C18	X ³ Y ²		-1.39688E-10	-2.87100E-07	-5.92876E-07
C19	X ² Y ³	4.24900E-12	-8.46957E-11	-1.56020E-07	-1.22508E-06
C20	XY ⁴		7.12726E-12	-3.35383E-07	1.20047E-06
C21	Y ⁵	-1.83760E-13	-6.19277E-12	-1.51547E-07	-2.11215E-06
C22	X ⁶	-6.21710E-16	3.01556E-14	7.76816E-10	-1.84851E-08
C23	X ⁵ Y		3.11794E-12	8.41607E-09	-5.24588E-08
C24	X ⁴ Y ²	5.30230E-16	4.27429E-12	4.46177E-10	-7.48849E-08
C25	X ³ Y ³		4.43189E-12	-1.65101E-08	-1.71260E-08
C26	X ² Y ⁴	8.86800E-14	2.24910E-12	-6.64659E-09	-4.61582E-09
C27	XY ⁵		1.13184E-12	-3.14009E-08	-1.50883E-07
C28	Y ⁶	1.22860E-13	4.25753E-13	1.65603E-08	-7.14183E-08
C29	X ⁷		7.53109E-17	1.53886E-11	3.32510E-10
C30	X ⁶ Y	3.80480E-18	-9.15138E-18	6.02638E-11	-2.98427E-09
C31	X ⁵ Y ²		1.20734E-15	4.24676E-10	1.56368E-08
C32	X ⁴ Y ³	-5.15920E-18	-8.11467E-17	-9.27379E-10	-4.66892E-09
C33	X ³ Y ⁴		2.57537E-15	2.41049E-09	-9.09777E-09
C34	X ² Y ⁵	1.25060E-16	1.12596E-15	-2.91497E-09	1.23055E-08
C35	XY ⁶		-7.12608E-18	5.57495E-10	-4.55492E-09
C36	Y ⁷	-3.47380E-16	2.37217E-16	-1.02328E-09	-4.37386E-09
C37	X ⁸	1.41220E-21	-1.07275E-18	-3.35662E-13	1.08886E-11
C38	X ⁷ Y		-9.53657E-20	-2.80368E-12	1.20515E-10
C39	X ⁶ Y ²	1.60140E-20	-9.53116E-20	1.06532E-11	-1.94568E-10
C40	X ⁵ Y ³		7.01893E-18	1.89856E-11	9.20189E-10
C41	X ⁴ Y ⁴	-4.78450E-19	8.50516E-18	-2.02553E-11	1.77343E-10
C42	X ³ Y ⁵		-3.87370E-18	1.52851E-11	-6.48402E-10
C43	X ² Y ⁶	-2.07340E-18	1.01918E-17	1.12714E-10	2.07447E-10
C44	XY ⁷		1.75602E-17	-1.13799E-10	1.75887E-10
C45	Y ⁸	-2.16160E-18	-1.83103E-18	-5.96462E-12	-7.70169E-11
C46	X ⁹		-1.84302E-20	-1.63383E-14	1.08564E-13
C47	X ⁸ Y	-4.78040E-24	-5.04191E-21	-3.38144E-14	2.31725E-12
C48	X ⁷ Y ²		4.47422E-21	5.0341E-13	-2.76698E-11
C49	X ⁶ Y ³	-4.24990E-23	1.04111E-20	-2.60755E-12	5.77112E-11
C50	X ⁵ Y ⁴		-2.81567E-19	3.71287E-12	-1.29428E-10
C51	X ⁴ Y ⁵	-2.97720E-21	4.11028E-21	8.3176E-13	2.6681E-11
C52	X ³ Y ⁶		1.29903E-19	7.87606E-14	6.10328E-11
C53	X ² Y ⁷	-5.12040E-21	1.99125E-19	-5.07228E-12	1.89001E-11
C54	XY ⁸		-1.61299E-20	2.38231E-12	-4.25378E-12
C55	Y ⁹	1.88170E-20	-5.58933E-21	-3.39566E-12	5.45689E-12
C56	X ¹⁰	-1.39350E-27	-1.60685E-22	3.34137E-16	8.86398E-15
C57	X ⁹ Y		-1.41829E-22	5.10301E-16	5.07108E-14
C58	X ⁸ Y ²	-3.39430E-26	1.75547E-22	-1.64554E-14	6.05054E-13
C59	X ⁷ Y ³		5.80508E-23	5.94245E-14	-3.08691E-12
C60	X ⁶ Y ⁴	-5.30780E-26	-8.26102E-23	-1.46481E-13	4.09082E-12
C61	X ⁵ Y ⁵		3.80188E-21	8.37901E-14	-7.09752E-12
C62	X ⁴ Y ⁶	-6.10680E-24	1.75737E-21	8.64788E-14	4.02438E-13
C63	X ³ Y ⁷		-1.15368E-21	-2.81688E-14	3.50699E-12
C64	X ² Y ⁸	1.02510E-23	1.33485E-22	2.23011E-15	1.94979E-12
C65	XY ⁹		-1.195E-22	-2.89622E-13	-4.79931E-13
C66	Y ¹⁰	7.15920E-23	7.41941E-23	5.85804E-14	1.1295E-23

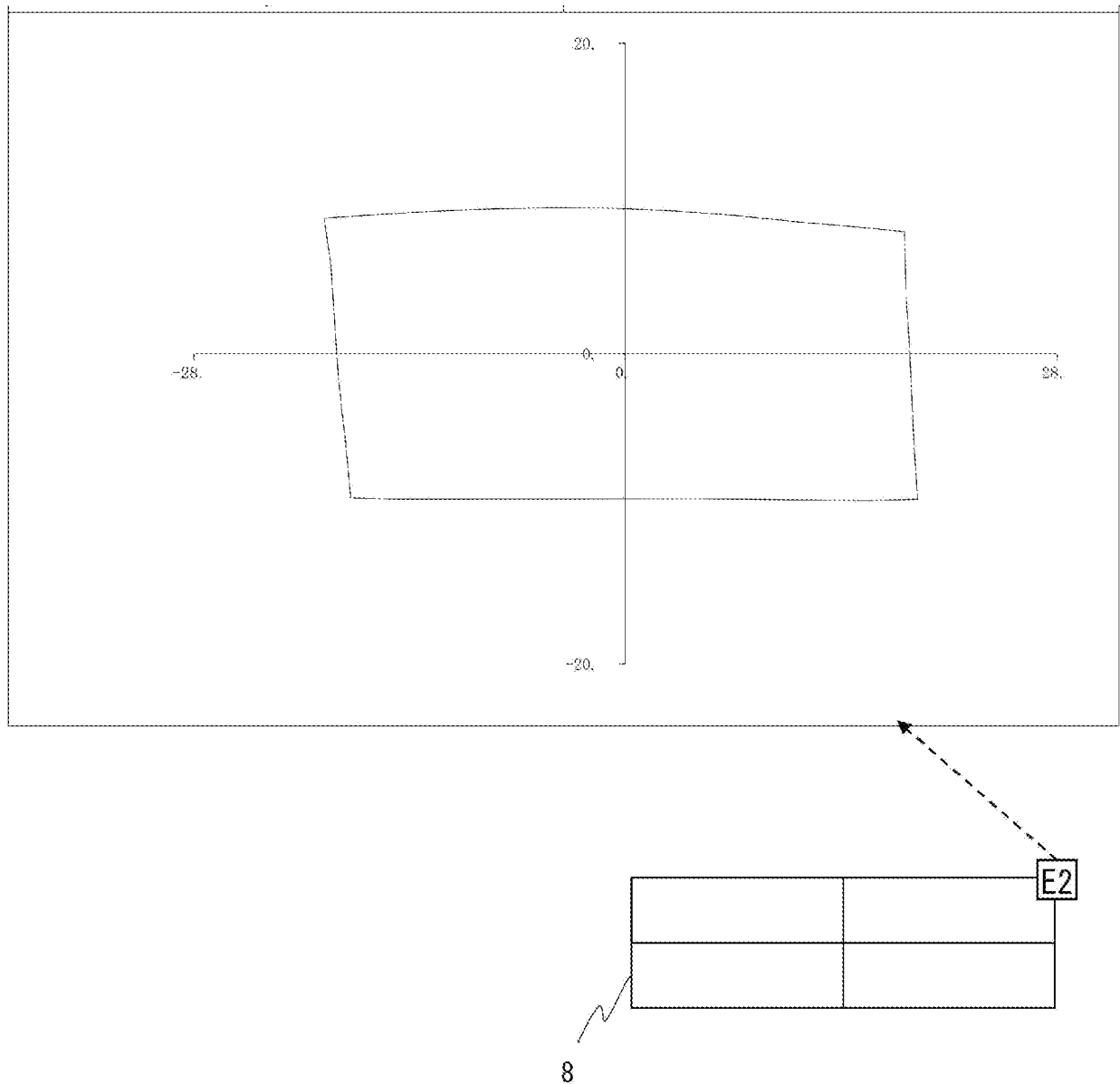
[図5]

図 5



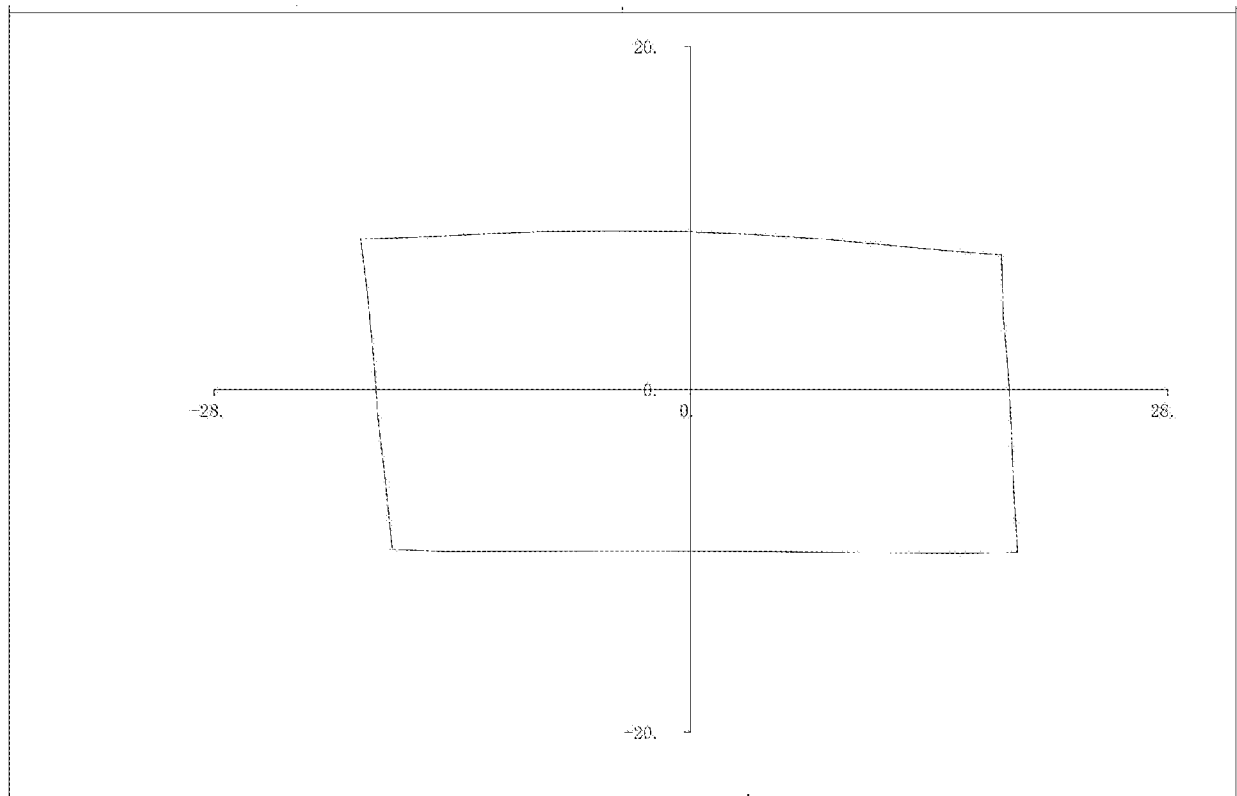
[図6]

図 6



[図7]

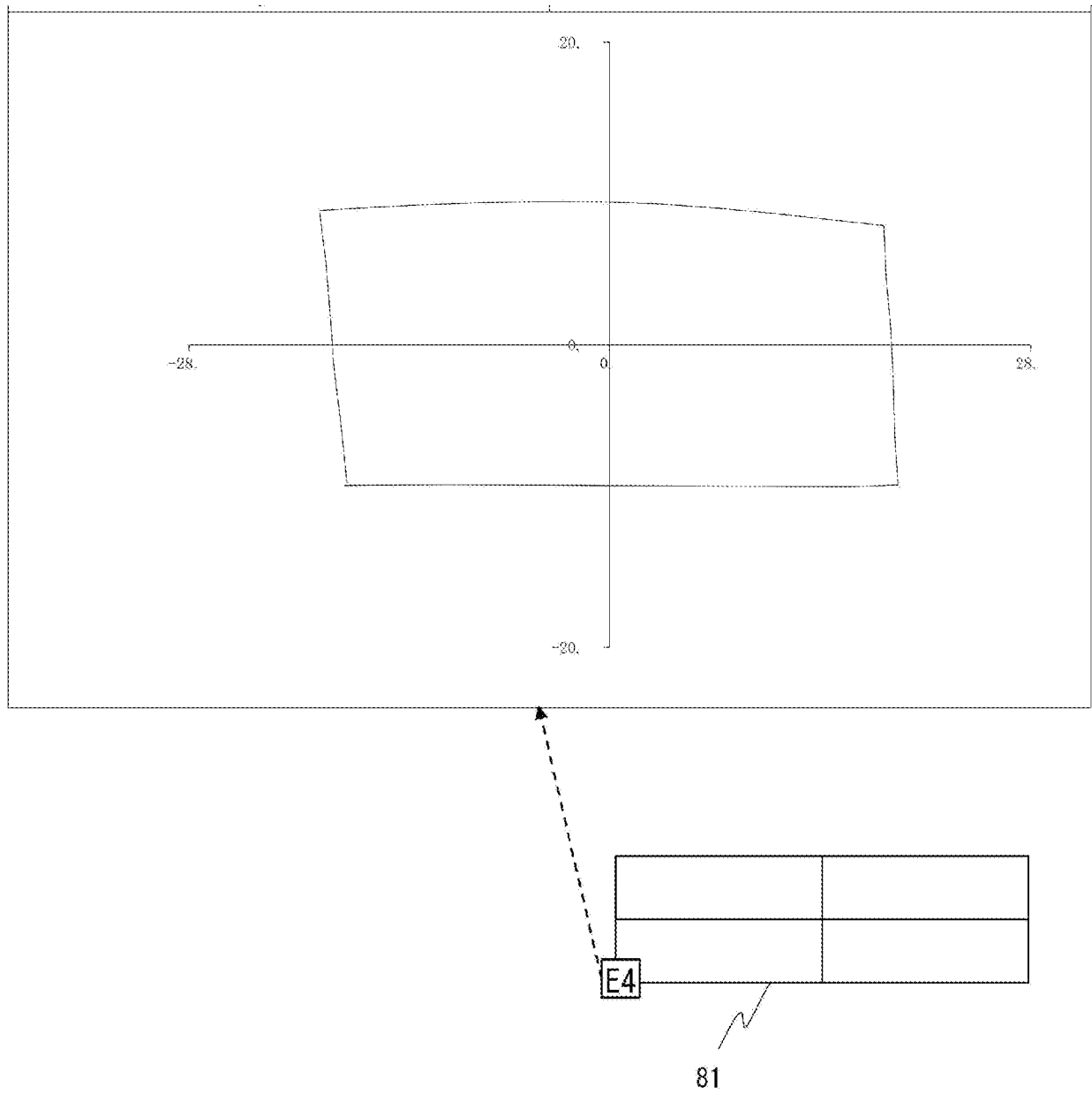
図 7



E3

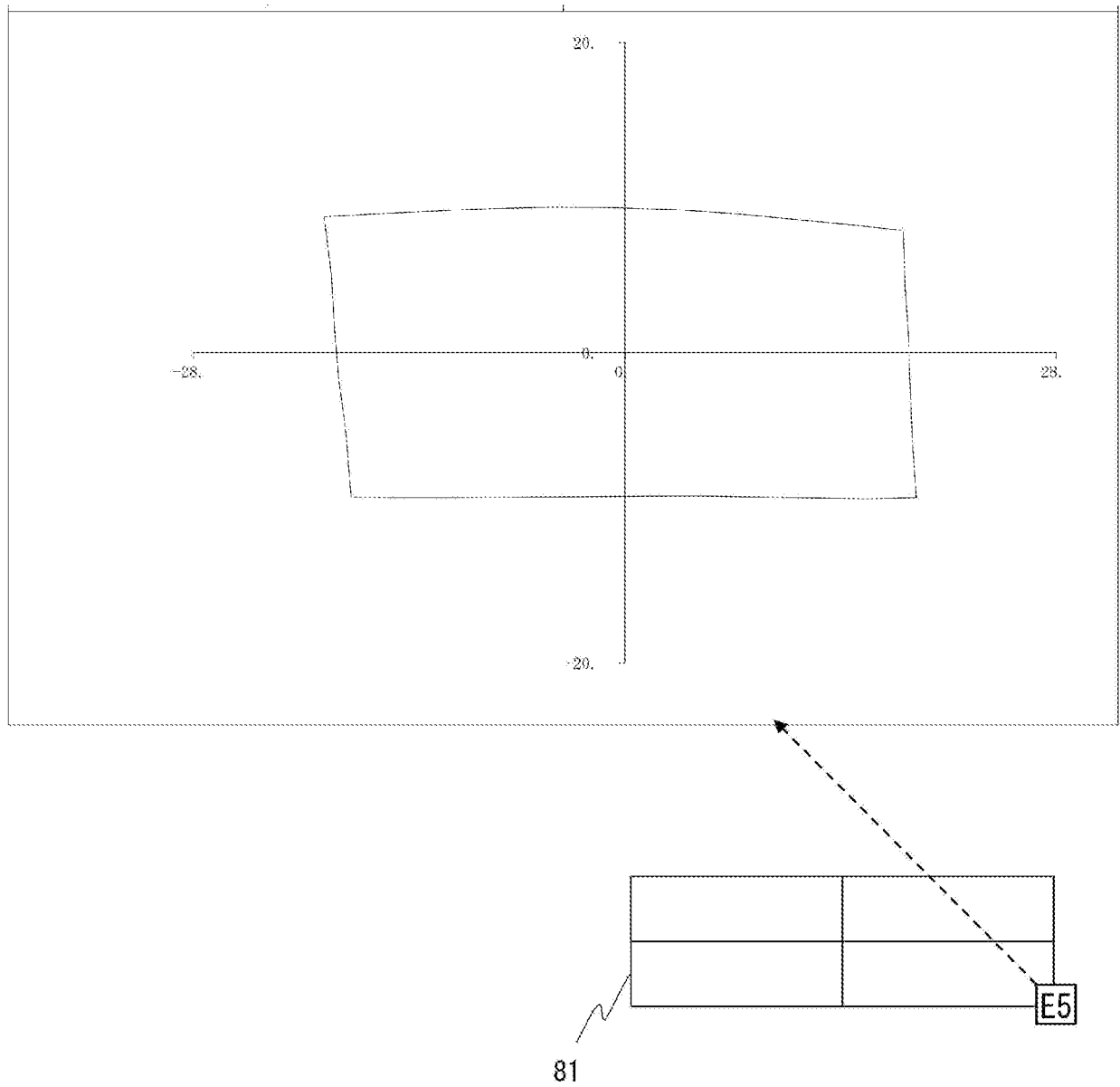
[図8]

図 8



[図9]

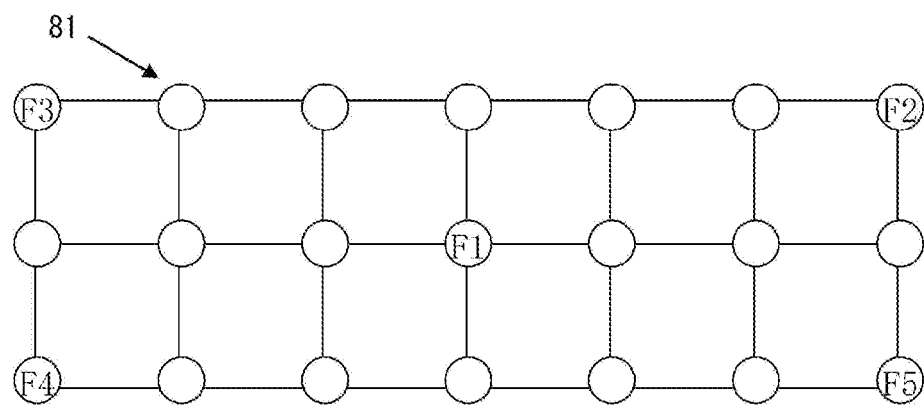
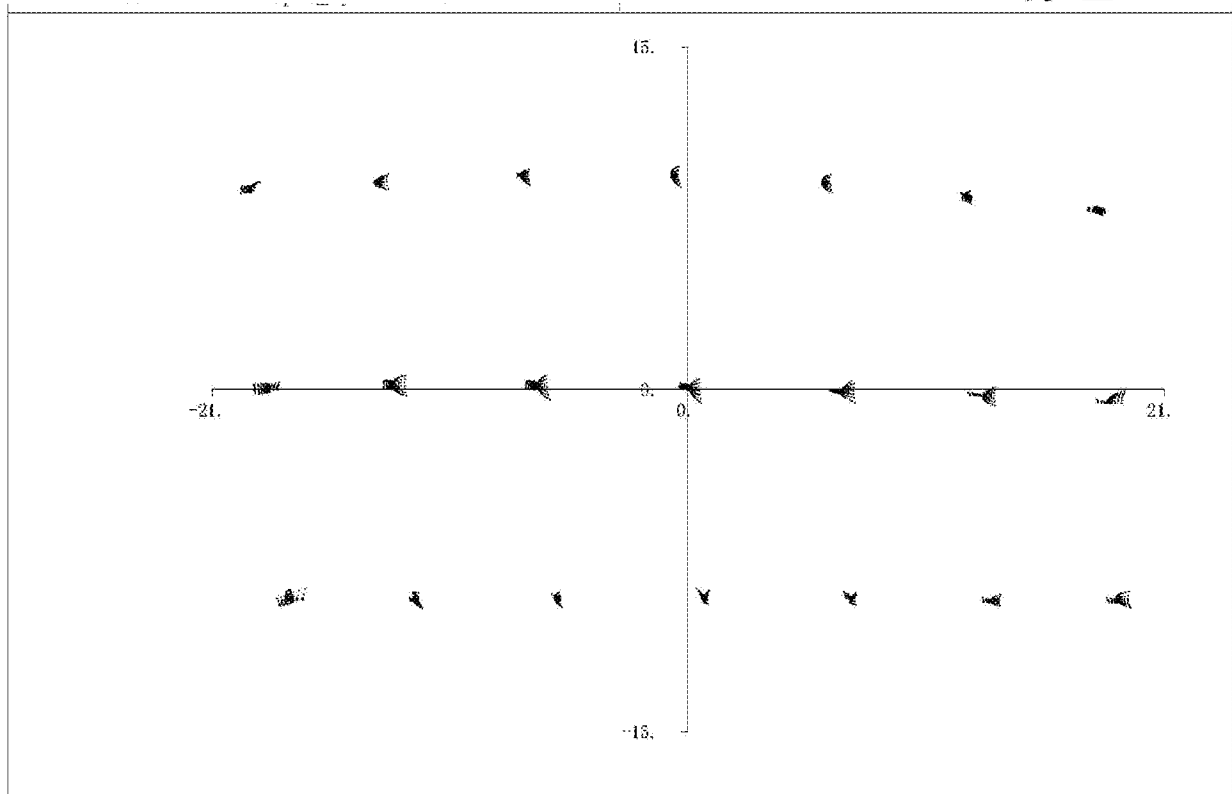
図 9



[図10]

図 10

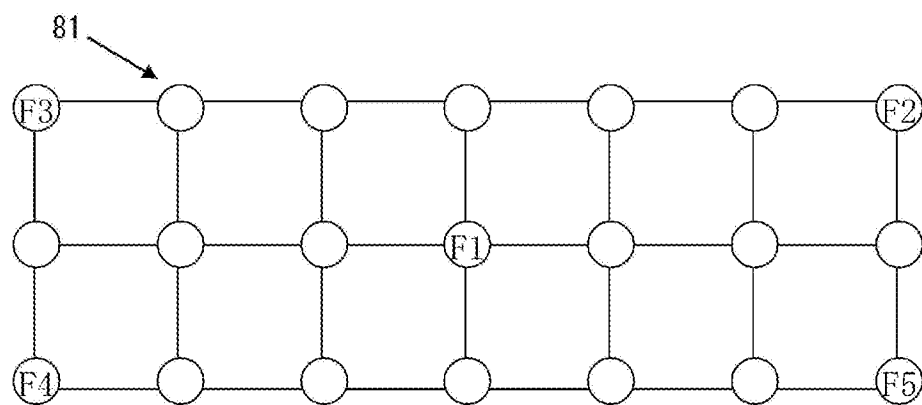
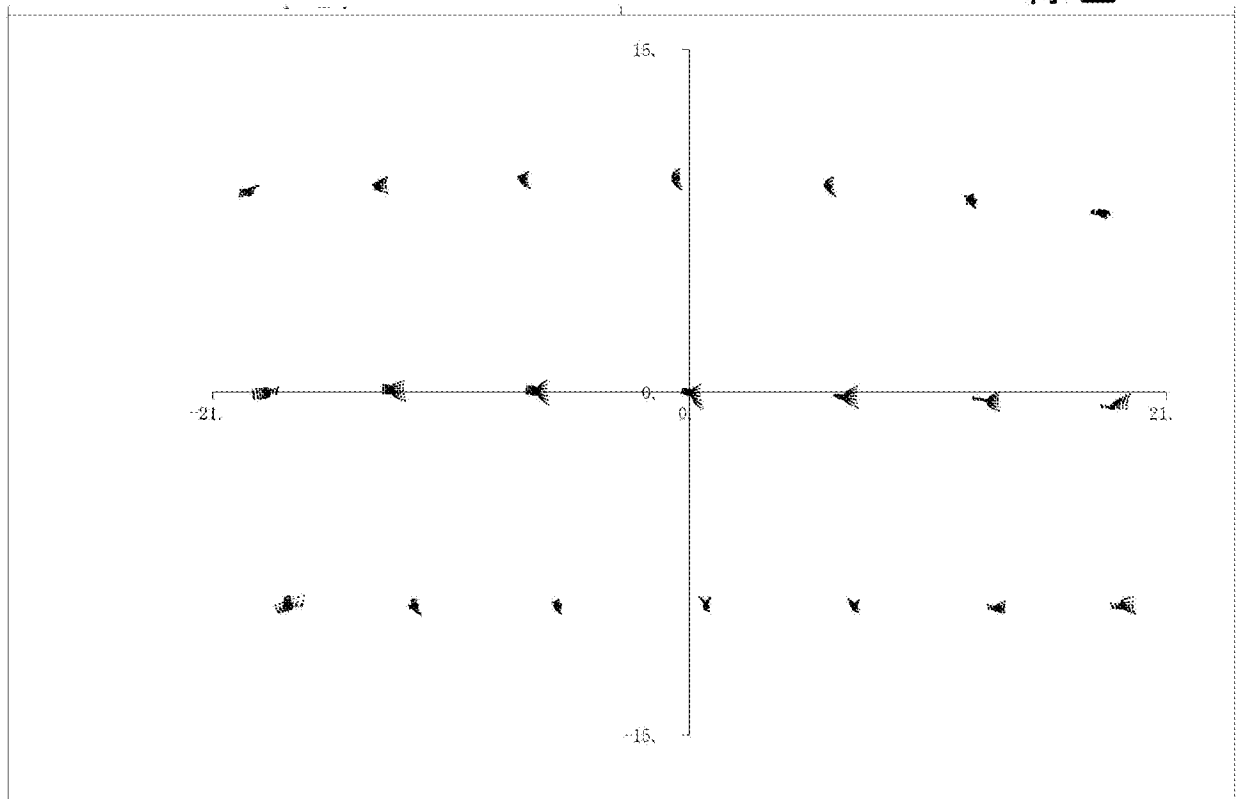
赤色



[図11]

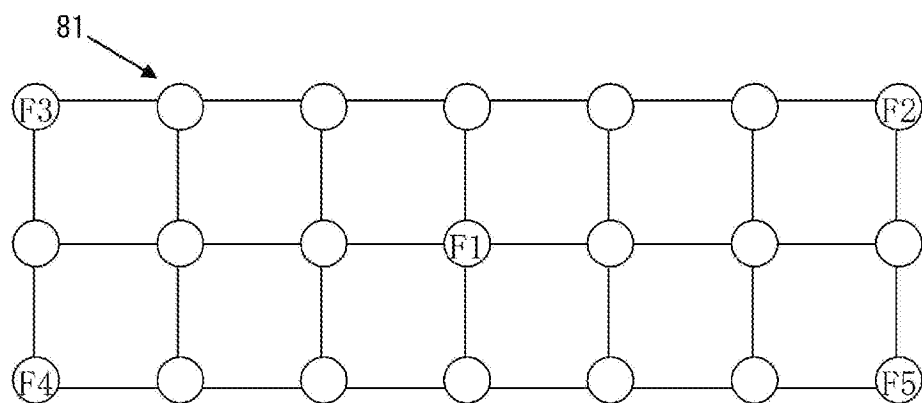
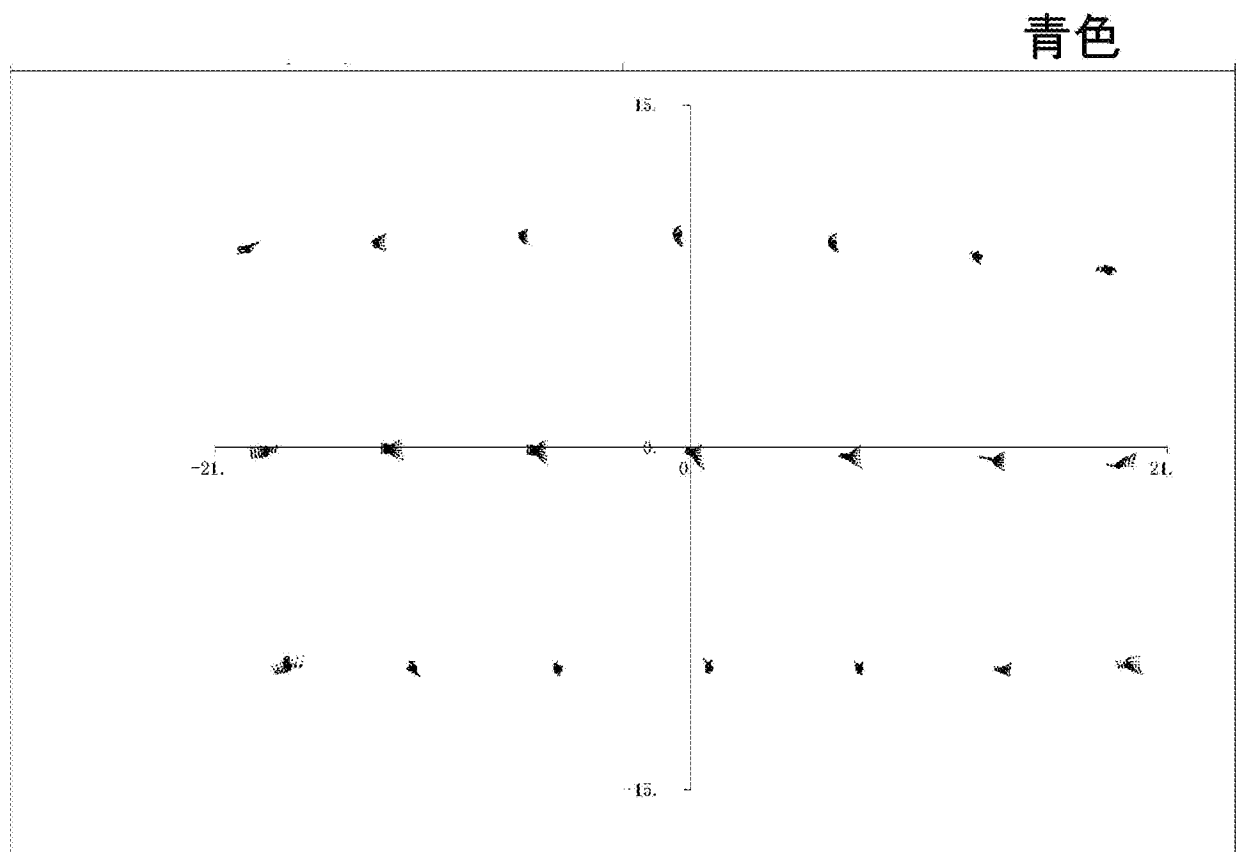
図 1 1

緑色



[図12]

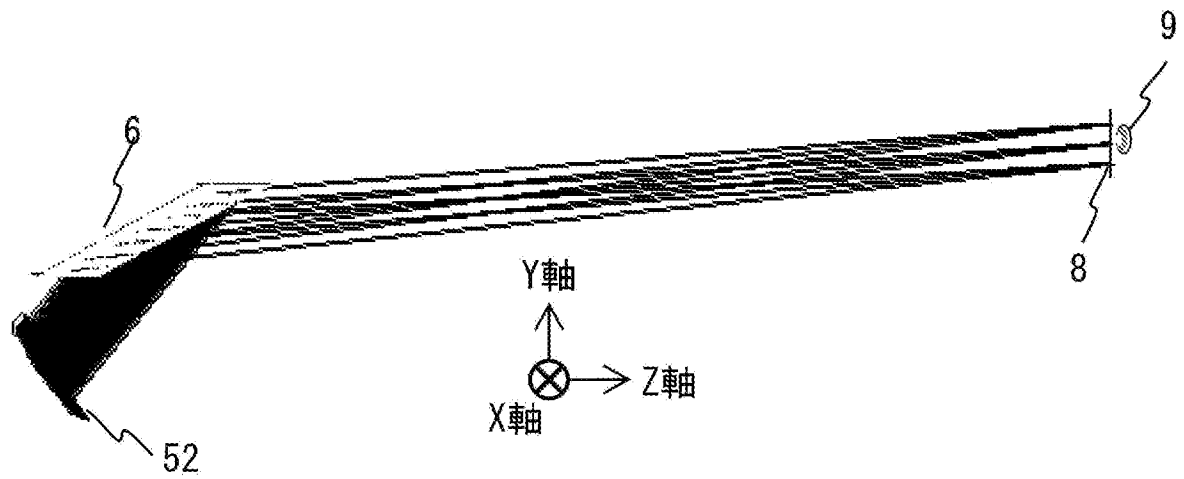
図 1 2



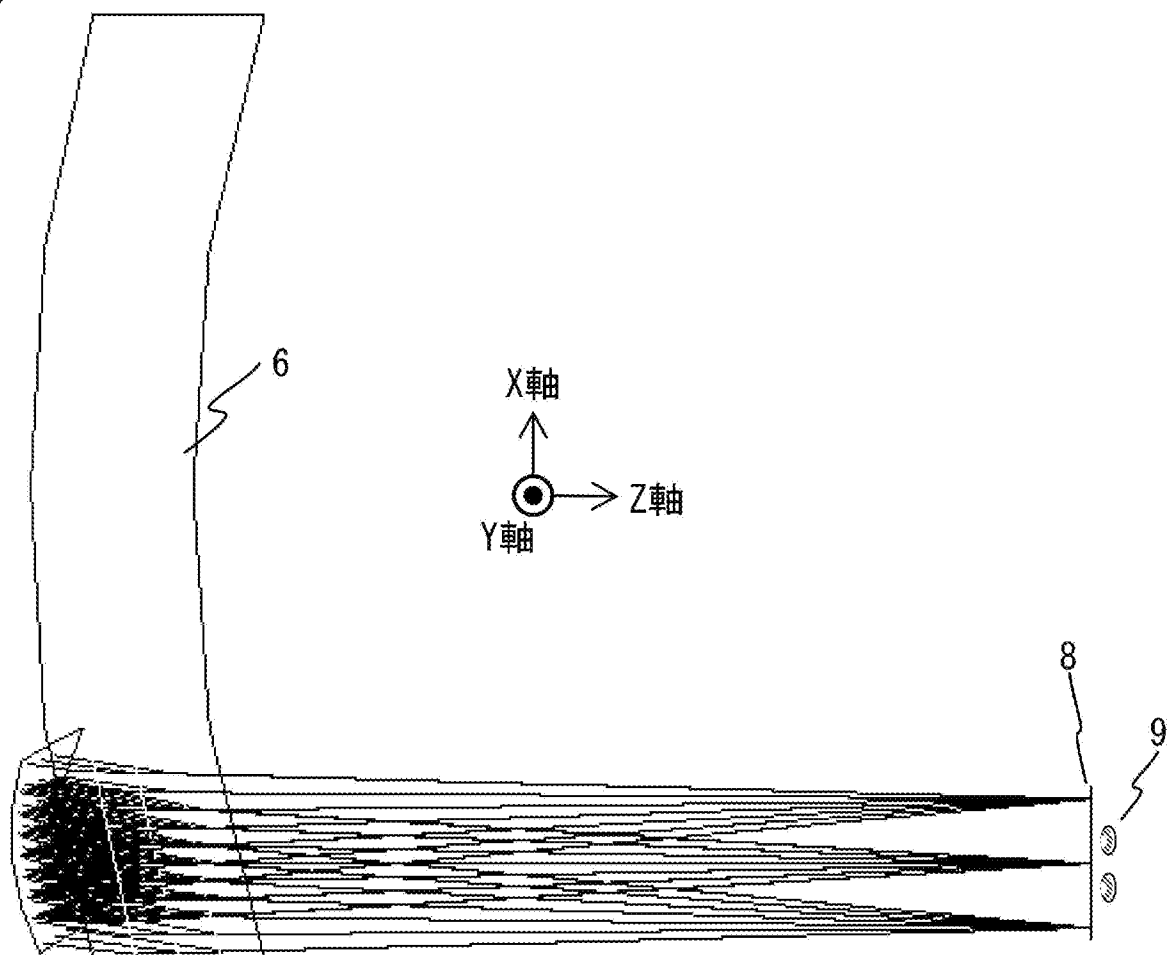
[図13]

図 13

(a)



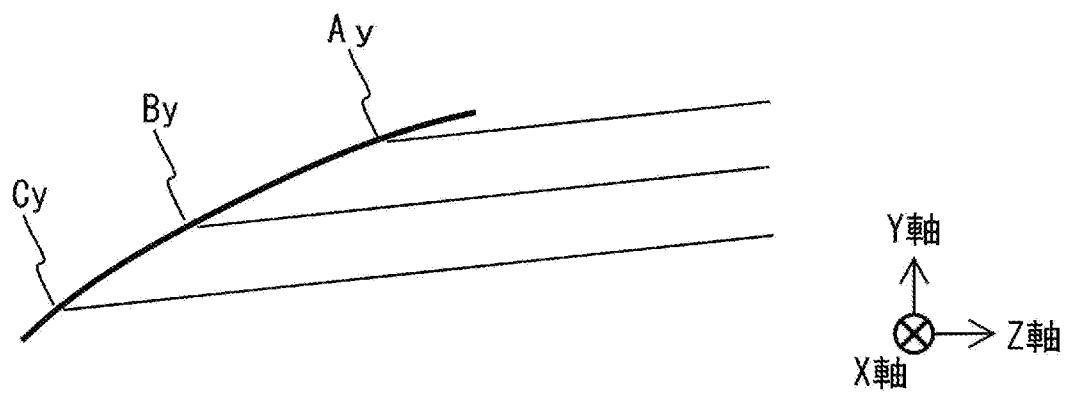
(b)



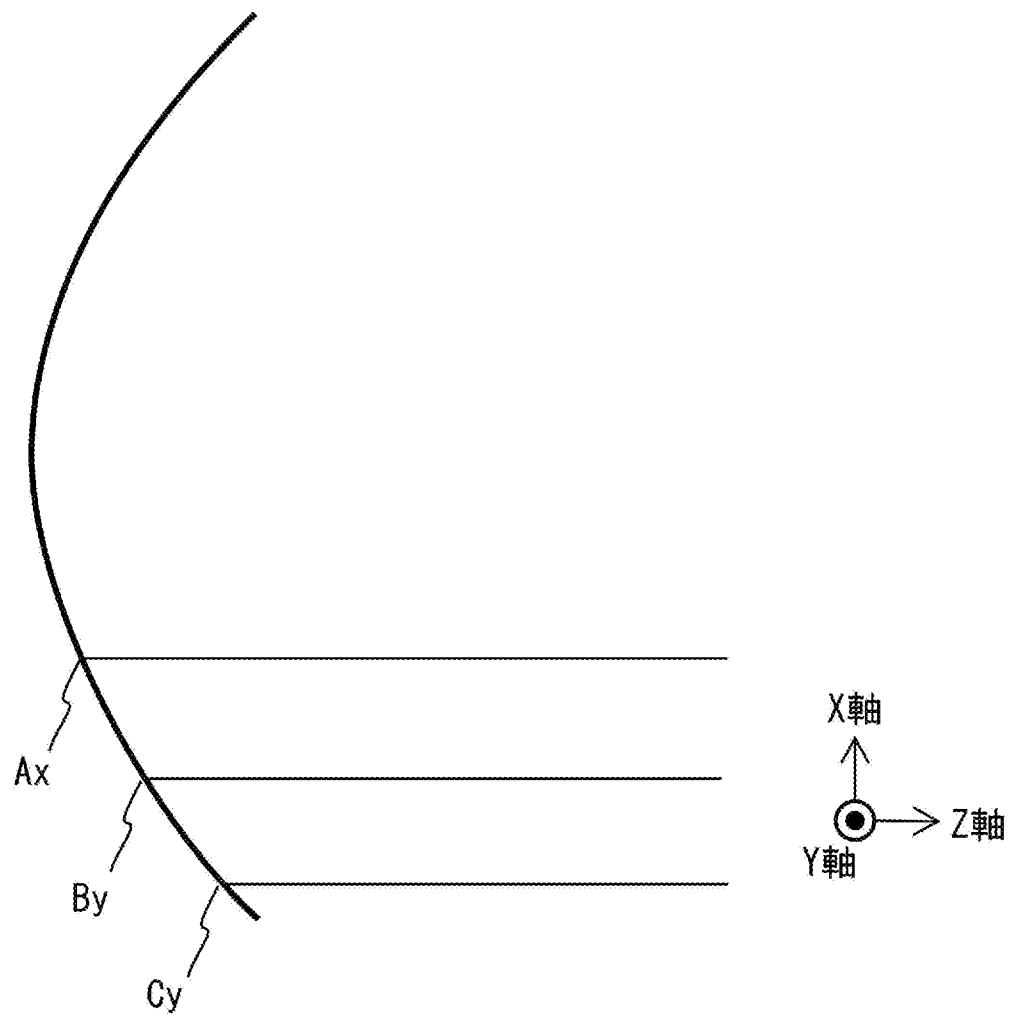
[図14]

図 1 4

(a)



(b)



[図15]

図 15

(a) RY2

6673	6666	6645	6611	6564	6507	6441
6635	6638	6628	6606	6572	6528	6477
6669	6688	6691	6679	6653	6617	6575

(b) RX2

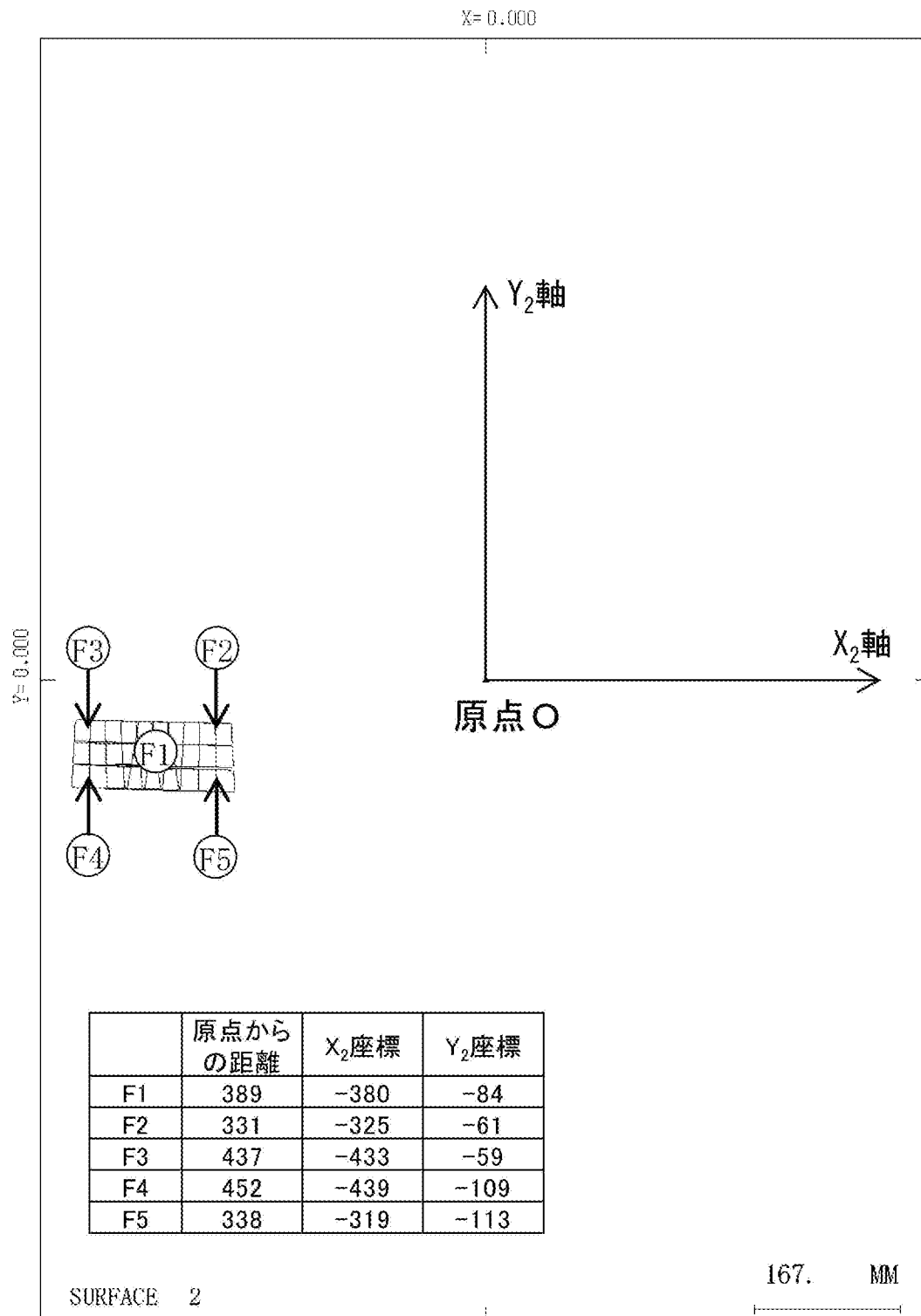
1119	1131	1143	1157	1171	1188	1206
1097	1107	1118	1131	1145	1162	1181
1074	1082	1092	1105	1119	1137	1159

(c) Δ 屈折力 (%)

1%	0%	-1%	-2%	-3%	-4%	-5%
3%	2%	1%	0%	-1%	-2%	-3%
4%	4%	3%	2%	1%	0%	-2%

[図16]

図 16



[図17]

図 17

(a)

RY4

349	320	295	274	255	240	229
333	313	296	282	269	258	250
326	311	298	287	278	271	265

(b)

RX4

406	391	378	368	362	360	358
397	381	368	358	351	347	345
394	378	363	352	344	340	338

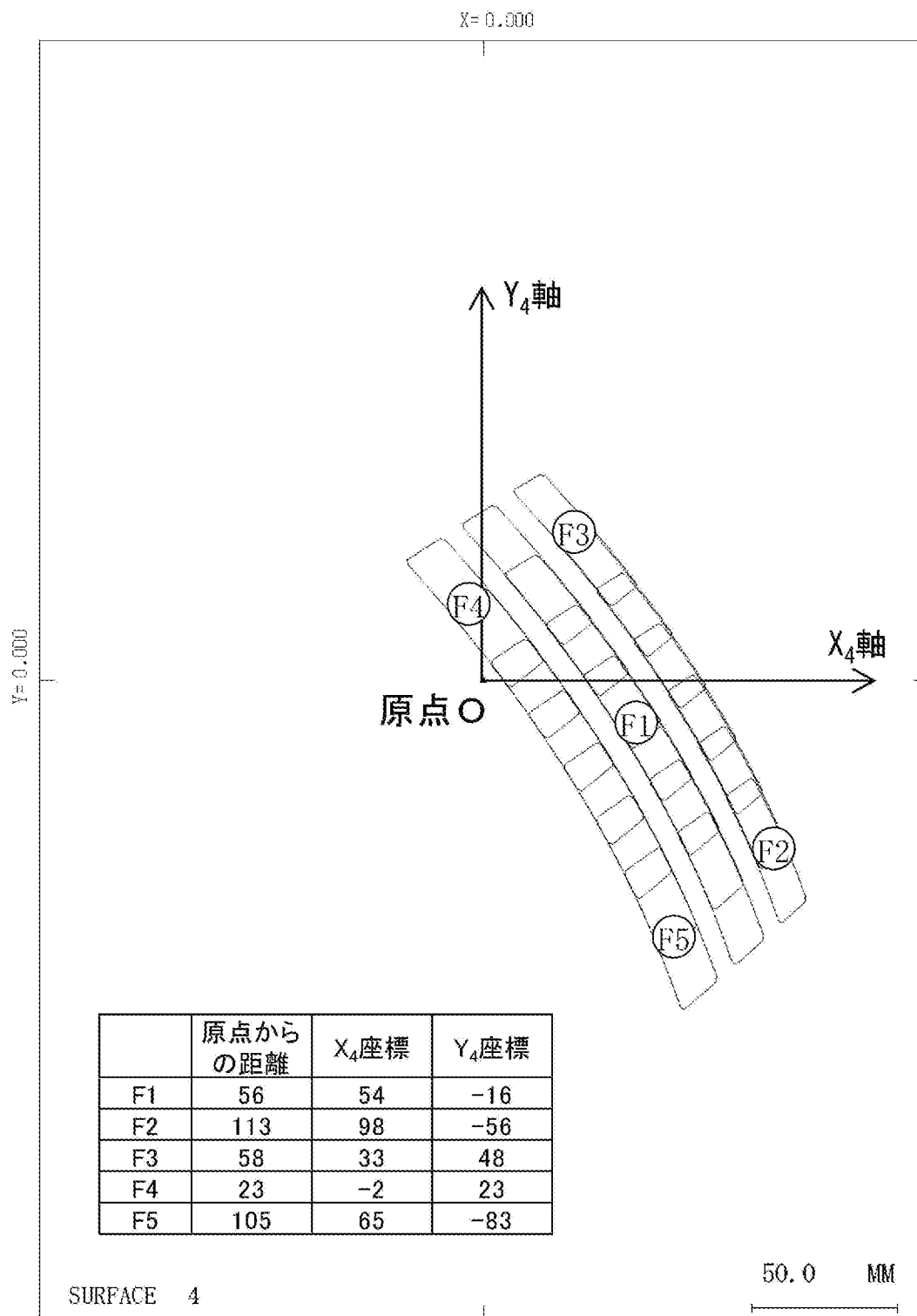
(c)

 Δ 屈折力 (%)

-16%	-10%	-5%	0%	5%	10%	13%
-13%	-8%	-4%	0%	4%	7%	9%
-12%	-8%	-4%	0%	3%	5%	6%

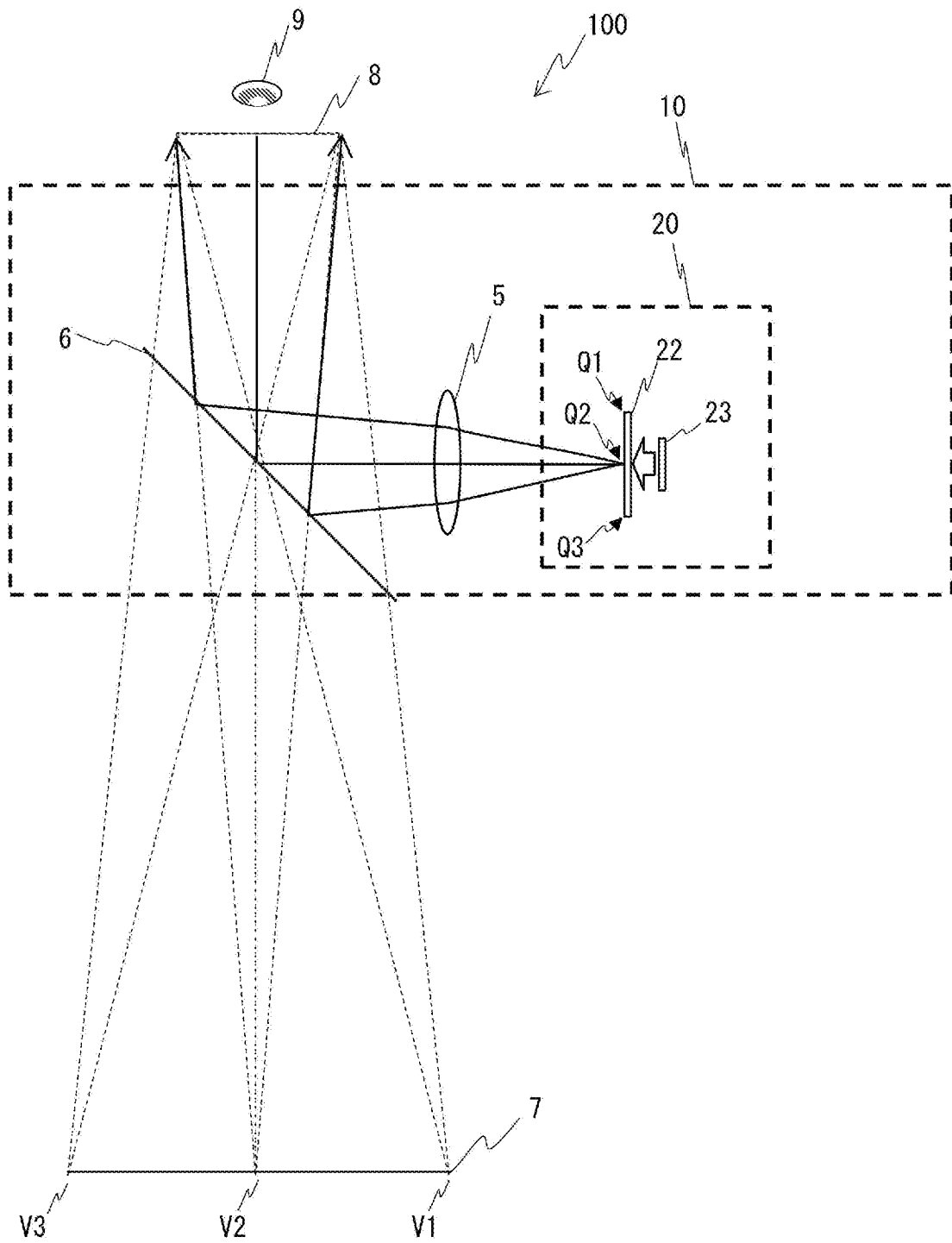
[図18]

図 18



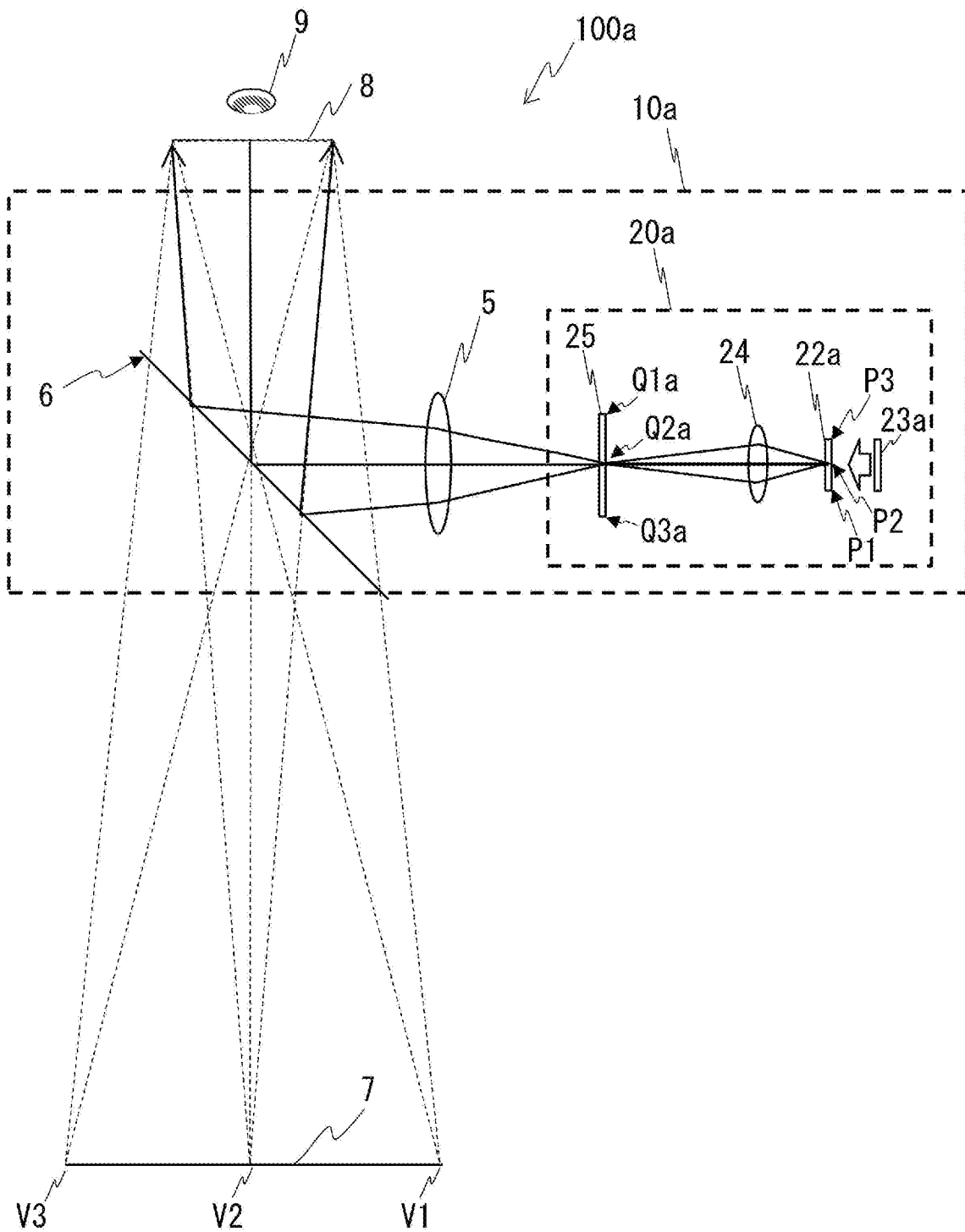
[図19]

図 19



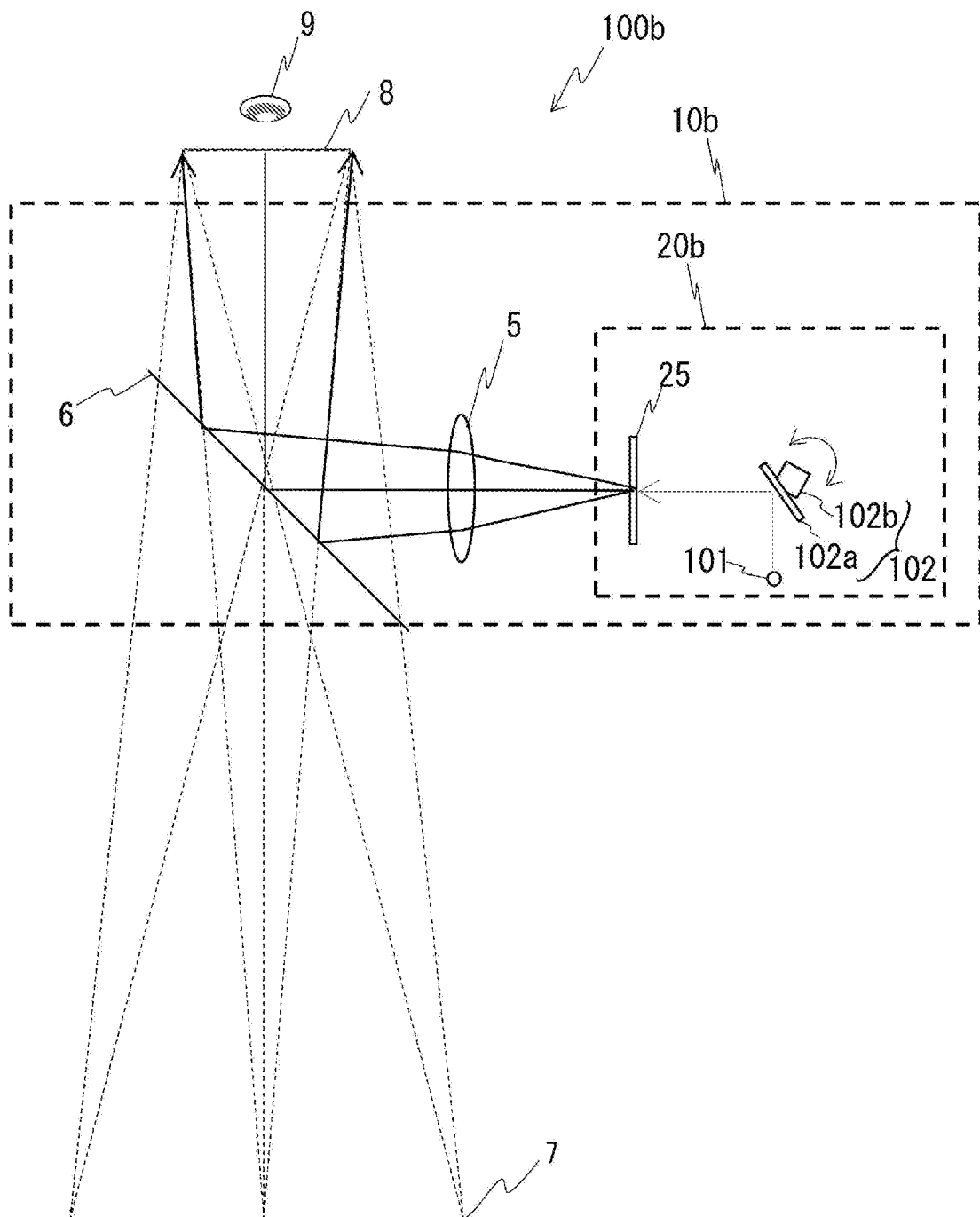
[図20]

図 20



[図21]

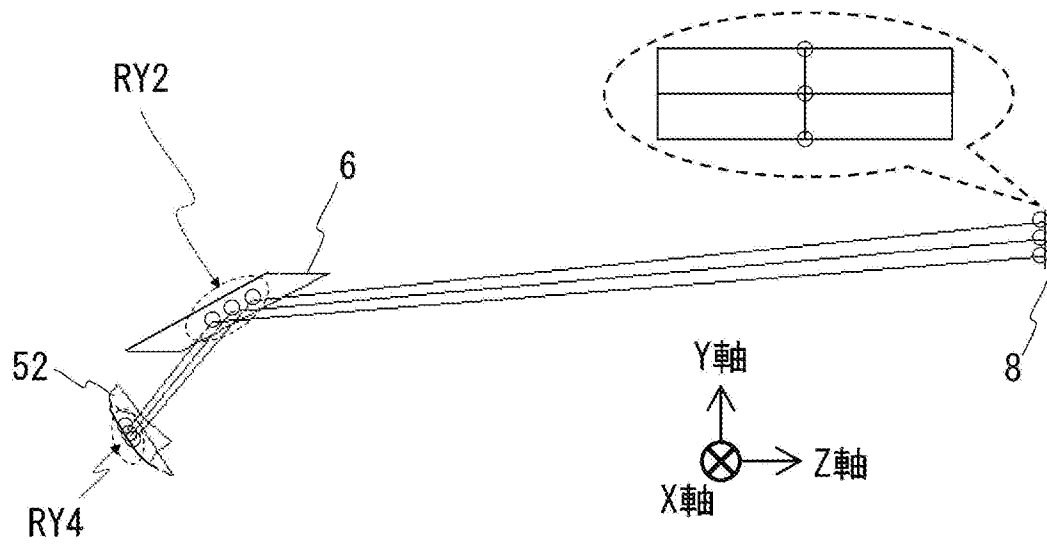
図 2 1



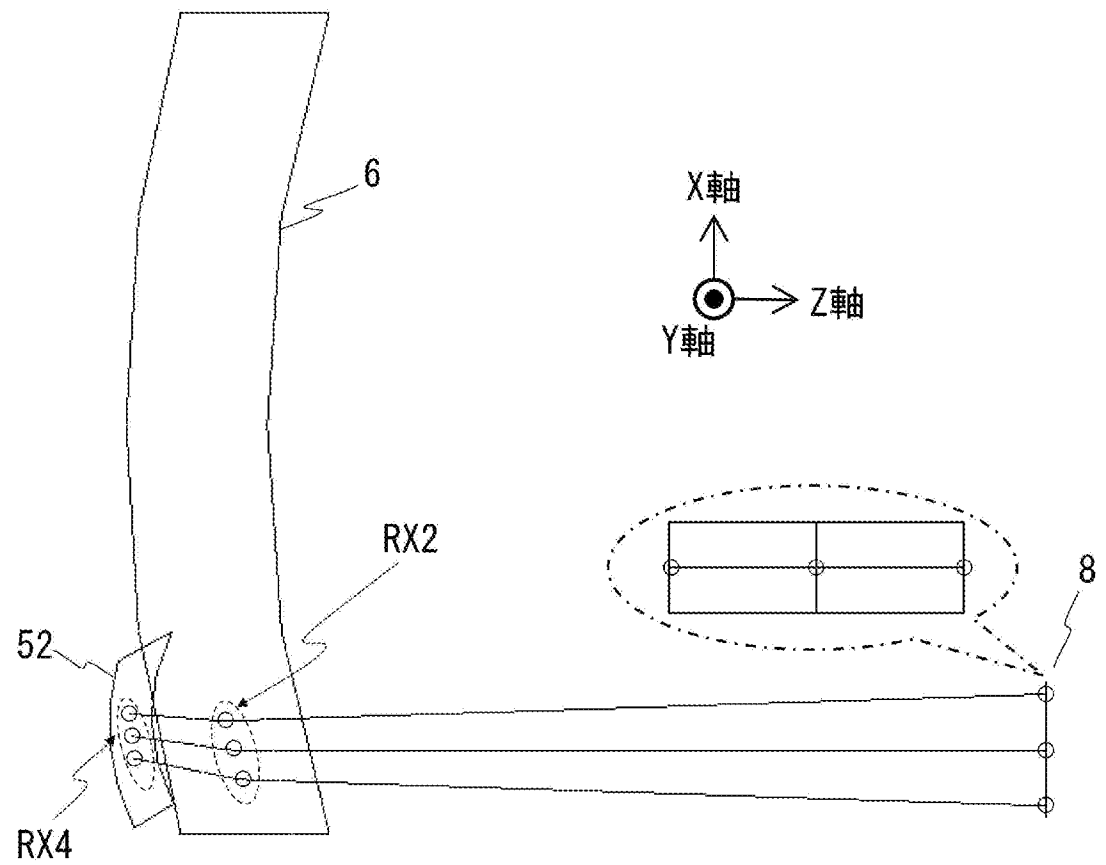
[図22]

図 2 2

(a)

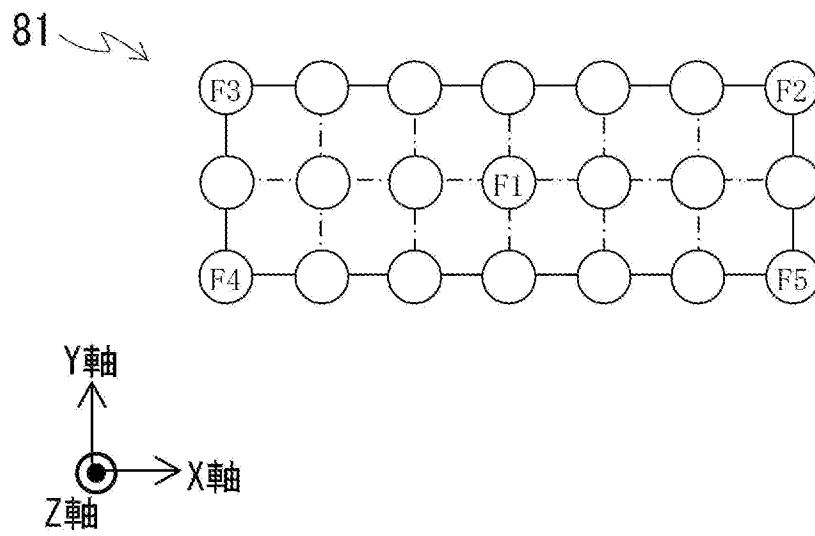


(b)



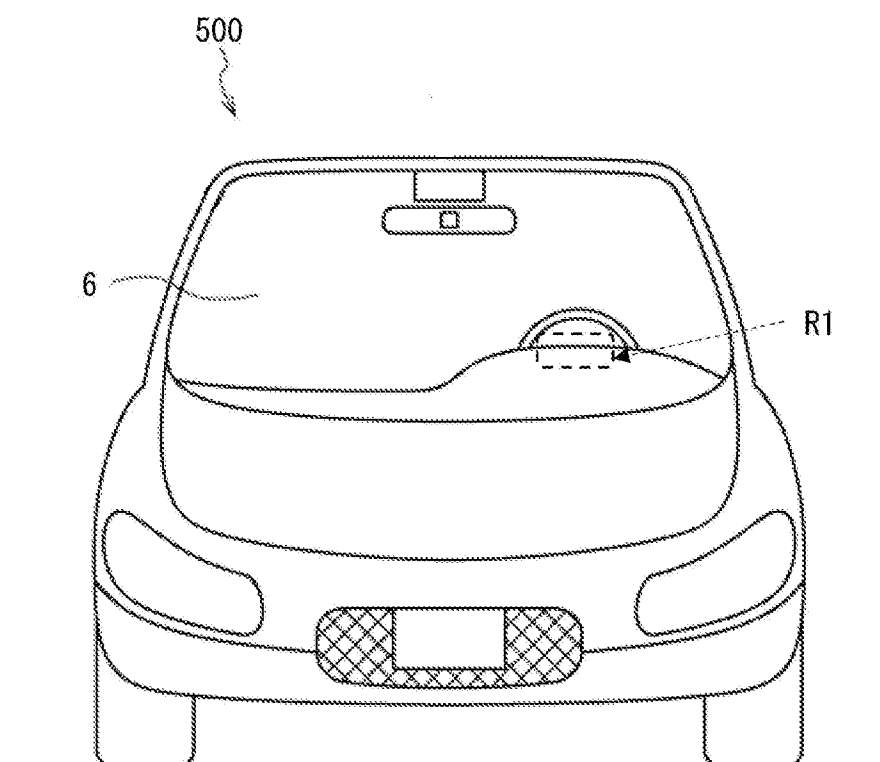
[図23]

図 2 3



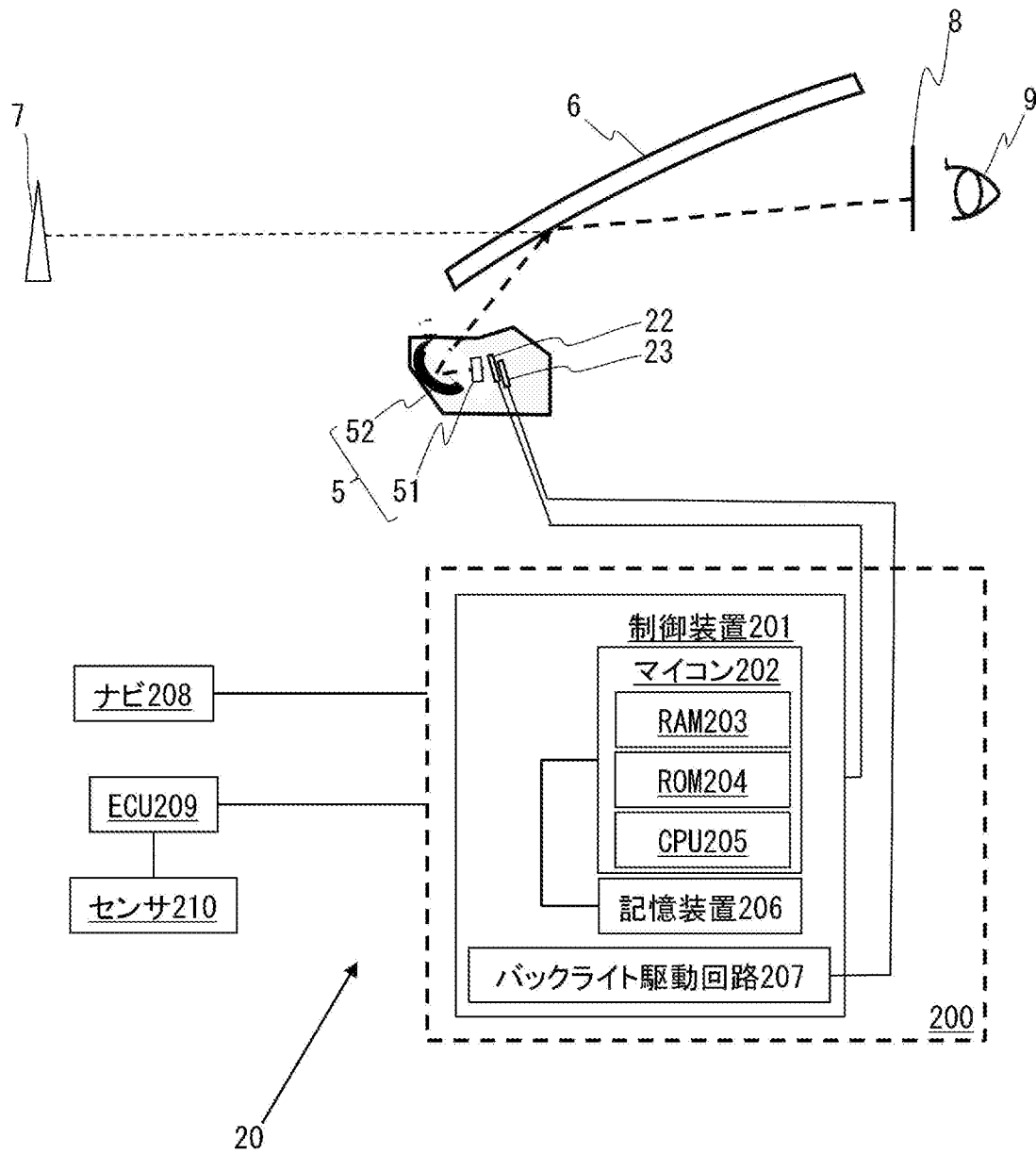
[図24]

図 2 4



[図25]

図 25



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/065081

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B27/01(2006.01)i, B60K35/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B27/01, B60K35/00, 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.
A	JP 2014-191143 A (Nippon Seiki Co., Ltd.), 06 October 2014 (06.10.2014), paragraphs [0011] to [0043]; all drawings & US 2016/0048017 A paragraphs [0021] to [0064]; all drawings & WO 2014/156613 A1	1-17
A	JP 2001-208999 A (Nippon Soken, Inc.), 03 August 2001 (03.08.2001), paragraphs [0035] to [0043]; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 2004-101829 A (Denso Corp.), 02 April 2004 (02.04.2004), paragraphs [0022] to [0030]; fig. 3 (Family: none)	1-17

☒ 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 July 2016 (20.07.16)

Date of mailing of the international search report
02 August 2016 (02.08.16)

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/JP2016/065081

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 06-250113 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 09 September 1994 (09.09.1994), paragraph [0016] & US 5546227 A column 11, line 38 to column 12, line 35	1-17
A	JP 2010-164944 A (Olympus Corp.), 29 July 2010 (29.07.2010), paragraphs [0073] to [0081]; fig. 11 to 12 & US 2010/0157255 A1 paragraphs [0128] to [0137]; fig. 11 to 12 & CN 101750740 A	1-17

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B27/01(2006.01)i, B60K35/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B27/01, B60K35/00, 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
A	JP 2014-191143 A（日本精機株式会社） 2014.10.06, 段落【0011】-【0043】, 全図 & US 2016/0048017 A, 段落[0021]-[0064], 全図 & WO 2014/156613 A1	1-17
A	JP 2001-208999 A（株式会社日本自動車部品総合研究所） 2001.08.03, 段落【0035】-【0043】, 全図 (ファミリーなし)	1-17

☒ 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

20.07.2016

国際調査報告の発送日

02.08.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/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）

山本 貴一

2 L

4086

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2004-101829 A (株式会社デンソー) 2004.04.02, 段落【0022】 - 【0030】, 図 3 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 06-250113 A (オリンパス光学工業株式会社) 1994.09.09, 段落【0016】 & US 5546227 A, 第 11 欄第 38 行-第 12 欄第 35 行	1-17
A	JP 2010-164944 A (オリンパス株式会社) 2010.07.29, 段落【0073】 - 【0081】, 図 11-12 & US 2010/0157255 A1, 段落[0128]-[0137], 図 11-12 & CN 101750740 A	1-17