

(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  
2023年10月19日(19.10.2023)

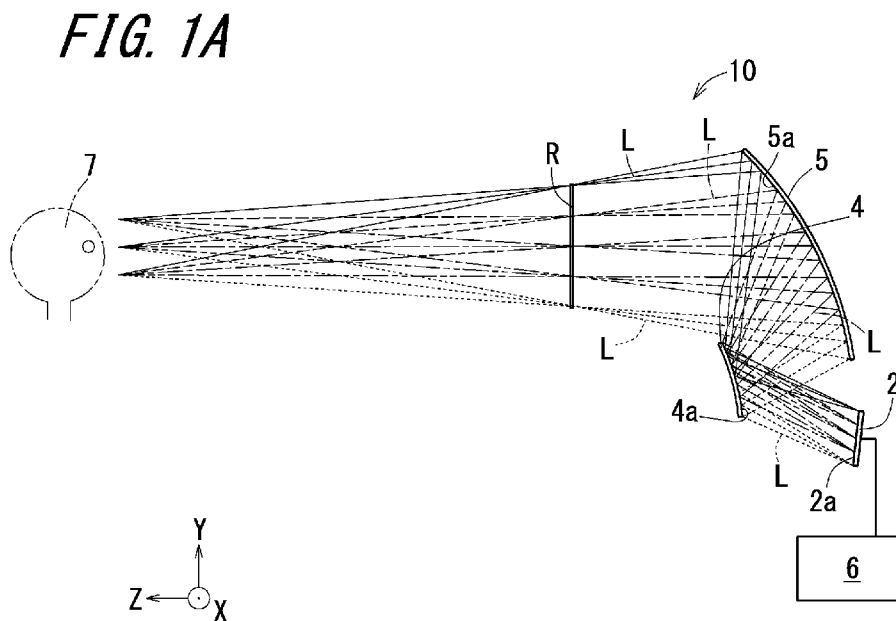


(10) 国際公開番号  
**WO 2023/199748 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*G02B 30/56* (2020.01) *H04N 13/302* (2018.01)  
*G02B 17/06* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/012898
- (22) 国際出願日: 2023年3月29日(29.03.2023)
- (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 2022-066561 2022年4月13日(13.04.2022) JP  
特願 2023-030396 2023年2月28日(28.02.2023) JP
- (71) 出願人: 京セラ株式会社 (KYOCERA CORPORATION) [JP/JP]; 〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 下瀬 主揮 (SHIMOSE, Kazuki); 〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地 京セラ株式会社内 Kyoto (JP). 河西 宏悦 (KAWANISHI, Hiroyoshi); 〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地 京セラ株式会社内 Kyoto (JP). 忠内 諒 (TADAUCHI, Ryo); 〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地 京セラ株式会社内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 西教 圭一郎 (SAIKYO, Keiichiro); 〒5410052 大阪府大阪市中央区安土町1丁目8番15号 野村不動産大阪ビル9階 西教特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

(54) Title: AERIAL IMAGE DISPLAY DEVICE

(54) 発明の名称: 空中像表示装置



(57) Abstract: An aerial image display device according to the present disclosure comprises a display device (2), a convex mirror (4), and a concave mirror (5). The convex mirror reflects image light exiting from the display device. The concave mirror reflects image light (L), reflected by the convex mirror, in a direction different from a direction toward the convex mirror, and forms an aerial image (R) of an actual image. The degree of curvature of the concave mirror (5) is greater than the degree of curvature of the convex mirror (4).

(57) 要約: 本開示の空中像表示装置は、表示装置(2)と、凸面鏡(4)と、凹面鏡(5)とを備える。凸面鏡は、表示装置から射出された画像光を反射する。凹面鏡は、凸面鏡によって反射された画像光(L)を、凸面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像(R)として結像する。凹面鏡(5)の湾曲度が、凸面鏡(4)の湾曲度よりも大きい。



CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,  
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP,  
KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,  
LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW,  
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE,  
PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,  
SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT,  
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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))

## 明 細 書

発明の名称：空中像表示装置

技術分野

[0001] 本開示は、空中像表示装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、例えば特許文献1に記載された空中像表示装置が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2011-253128号公報

発明の概要

[0004] 本開示の空中像表示装置は、表示装置と、  
前記表示装置から射出された画像光を反射する凸面鏡と、  
前記凸面鏡によって反射された前記画像光を、前記凸面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する凹面鏡と、を備え、  
前記凹面鏡の湾曲度が、前記凸面鏡の湾曲度よりも大きい。

[0005] また、本開示の空中像表示装置は、表示装置と、  
前記表示装置から射出された画像光を、前記表示装置に向かう方向とは異なる方向に反射する第1凹面鏡と、  
前記第1凹面鏡によって反射された前記画像光を、前記第1凹面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射する凸面鏡と、  
前記凸面鏡によって反射された前記画像光を、前記凸面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する第2凹面鏡と、を備え、  
、  
前記第1凹面鏡の湾曲度を  $S a 1$  とし、前記凸面鏡の湾曲度を  $S b$  とし、  
前記第2凹面鏡の湾曲度を  $S a 2$  としたとき、 $S a 1 > S a 2 > S b$  である。

[0006] また、本開示の空中像表示装置は、表示装置と、

前記表示装置から射出された画像光を反射し、実像の空中像として結像する反射光学系と、を備え、

前記空中像は、歪みが5%以下であるとともに、変調伝達関数で表される、最大値を1に正規化したコントラスト値が、空間周波数3~10サイクル／ミリメートルにおいて、0.2以上である。

[0007] また、本開示の空中像表示装置は、表示装置と、

前記表示装置から射出された画像光を反射し、実像の空中像として結像する反射光学系と、を備え、

前記反射光学系は、前記表示装置から射出された画像光を、前記表示装置に向かう方向とは異なる方向に反射する第1凹面鏡と、

前記第1凹面鏡によって反射された前記画像光を、前記第1凹面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する第2凹面鏡と、を備え、

前記第1凹面鏡の湾曲度が前記第2凹面鏡の湾曲度よりも大きい。

### 図面の簡単な説明

[0008] 本開示の目的、特色、および利点は、下記の詳細な説明と図面とからより明確になるであろう。

[図1A]本開示の一実施形態の空中像表示装置の要部構成を示す側面図である。

[図1B]本開示の他の実施形態の空中像表示装置の要部構成を示す側面図である。

[図2]図1Bの空中像表示装置の第1凹面鏡の湾曲度の定義を説明する図である。

[図3]図1Bの空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す、シミュレーション結果の図である。

[図4]図1Bの空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す、シミュレーション結果の図である。

[図5]図1Bの空中像表示装置の変調伝達関数を示すグラフである。

- [図6]図1Bの空中像表示装置の変調伝達関数を示すグラフである。
- [図7]本開示の他の実施形態の空中像表示装置の要部構成を示す側面図である。
- [図8]図7の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す、シミュレーション結果の図である。
- [図9]図7の空中像表示装置の変調伝達関数を示すグラフである。
- [図10]図7の空中像表示装置の変調伝達関数を示すグラフである。
- [図11]本開示の他の実施形態の空中像表示装置の要部構成を示す側面図である。
- [図12]図11の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す図である。
- [図13]図11の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す図である。
- [図14]図11の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す、シミュレーション結果の図である。
- [図15]図11の空中像表示装置の変調伝達関数を示すグラフである。
- [図16]図11の空中像表示装置の変調伝達関数を示すグラフである。
- [図17]本開示の他の実施形態の空中像表示装置の要部構成を示す側面図である。
- [図18]図17の空中像表示装置の第1凹面鏡の湾曲度の定義を説明する図である。
- [図19A]図17の空中像表示装置の要部構成を示す斜視図である。
- [図19B]図17の空中像表示装置の歪発生メカニズムを説明する部分斜視図である。
- [図20]図17の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す、シミュレーション結果の図である。
- [図21]図17の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す、シミュレーション結果の図である。

[図22]図 1 7 の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す、シミュレーション結果の図である。

[図23]図 1 B の空中像表示装置における光線の広がりの説明する要部構成の側面図である。

[図24]表示装置としての液晶表示装置の光線角度とコントラスト比との関係を示すグラフである。

[図25A]本開示の他の実施形態の空中像表示装置であって、図 1 B の空中像表示装置において視野角制御フィルムを付加した表示装置の側面図である。

[図25B]本開示の他の実施形態の空中像表示装置であって、図 1 B の空中像表示装置において視野角制御フィルムを付加した表示装置の側面図である。

[図26]本開示の一実施形態の空中像表示装置を用いた変調伝達関数 ( M T F ) 測定装置を示す斜視図である。

[図27]図 2 6 の M T F 測定装置における空中像表示装置の構成を示す断面図である。

[図28]空中像表示装置が結像する空中像の M T F を測定するためのテストパターンの一例を示す部分拡大図である。

[図29]撮像装置によって撮像されたテストパターンの撮像画像を示す部分拡大図である。

[図30]撮像装置によって撮像されたテストパターンの撮像画像を示す部分拡大図である。

[図31]図 3 0 の撮像画像から算出された輝度分布波形の線広がり関数を示すグラフである。

[図32]図 3 1 の線広がり関数から算出された M T F を示すグラフである。

[図33]空中像表示装置が結像する空中像の M T F を測定するためのテストパターンの他の例を示す図である。

[図34]撮像装置によって撮像されたテストパターンの撮像画像を示す図である。

**発明を実施するための形態**

[0009] 特許文献 1 に記載された空中像表示装置は、表示装置が射出する画像光を、再帰反射板および偏光フィルタ等の光学素子を用いて、空中像として結像させるが、利用者が視認する空中像に歪みが生じたり、空中像の輝度が低下したりすることがあった。空中像の表示品位が向上した空中像表示装置が求められている。

[0010] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら説明がされる。以下で参照する各図は、実施形態に係る空中像表示装置の主要な構成要素を示している。実施形態に係る表示装置は、図示されていない光学素子保持部材、カメラ等の周知の構成要素を備えていてもよい。以下の参照する各図は模式的なものであり、図面上の寸法比率等は現実のものとは必ずしも一致していない。また、一部の図面において、便宜的に、直交座標系  $X Y Z$  を定義する。

[0011] 図 1 A, 1 B は、本開示の実施形態の空中像表示装置の要部構成を示す側面図であり、図 2 は、図 1 B の空中像表示装置の第 1 凹面鏡の湾曲度の定義を説明する図であり、図 3 は、図 1 B の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す図であり、図 4 は、図 1 B の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す図であり、図 5, 6 は、図 1 B の空中像表示装置の変調伝達関数を示すグラフである。

[0012] 本実施形態の空中像表示装置 10 は、図 1 A に示すように、表示装置 2 と、表示装置 2 から射出された画像光  $L$  を反射する凸面鏡 4 と、凸面鏡 4 によって反射された画像光  $L$  を、凸面鏡 4 に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像  $R$  として結像する凹面鏡 5（結像凹面鏡 5 ともいう）と、を備え、結像凹面鏡 5 の湾曲度が、凸面鏡 4 の湾曲度よりも大きい構成である。この構成により、以下の効果を奏する。凸面鏡 4 の湾曲度が結像凹面鏡 5 の湾曲度よりも小さいことにより、画像光  $L$  の拡大率が最も大きく空中像  $R$  の歪を増加させやすい凸面鏡 4 に起因して生じる空中像  $R$  の歪の増大を抑えることができる。その結果、空中像  $R$  の表示品位が向上する。また、凸面鏡 4 の湾曲度が小さいため、凸面鏡 4 によって反射された画像光  $L$  の拡がりを

抑制できる。その結果、凸面鏡4によって反射された画像光Lを反射する結像凹面鏡5の大型化を抑制できる。凸面鏡4および結像凹面鏡5の湾曲度については、後述する。

[0013] 図1Aに示す本実施形態の空中像表示装置10は、表示装置2と凸面鏡4との間に他の光学素子があってもよい。例えば、空中像表示装置10は、図1Bに示すように、表示装置2と凸面鏡4との間に第1凹面鏡3が介在する構成であってもよい。なお、表示装置2と凸面鏡4との間に他の光学素子がある場合、光学素子は、凹面鏡に限らず、平面鏡、凸面鏡、ホログラフィック素子、偏光素子、反射型偏光素子等であってもよい。

[0014] 他の実施形態の空中像表示装置1は、図1Bに示すように、表示装置2と、第1凹面鏡3と、凸面鏡4と、結像凹面鏡としての第2凹面鏡5とを備える。

[0015] 表示装置2は、表示面2aを有し、画像光Lとして伝播する画像を表示面2aに表示する。言い換えれば、表示装置2は、表示面2aから画像光Lを射出する。

[0016] 図1Bの構成の場合、表示装置2の表示面2aが、利用者7の目に対向しない位置にある。すなわち、表示装置2の表示面2aは、利用者7の目の側に向いておらず、利用者7の目の側と反対側に向いている。その結果、例えば、利用者7が第2凹面鏡5と空中像Rとの間の上方から、空中像表示装置1の内部を覗いたとしても、表示装置2の表示面2aが見えない。従って、利用者7が表示面2aから射出された画像光Lを直接視認し、表示面2aの画像を直接視認することによって、利用者7が違和感を覚えることを抑えることができる。これにより、空中像表示装置1の表示品位を向上させることができる。

[0017] 表示装置2は、透過型の表示装置であってもよい。透過型の表示装置は、例えば、バックライトと液晶パネルとを含む液晶表示装置であってもよい。バックライトは、液晶パネルの背面側に2次元的に配列された複数の光源を有する、直下型のバックライトであってもよい。バックライトは、液晶パネ

ルの外周部に配置された複数の光源を有する、エッジライト型のバックライトであってもよい。エッジライト型のバックライトは、液晶パネルを均一に照射するためのレンズアレイ、導光板、拡散板等を有していてもよい。バックライトの光源は、例えば発光ダイオード（Light Emitting Diode：LED）素子、冷陰極蛍光ランプ、ハロゲンランプ、キセノンランプ等であってもよい。

[0018] 液晶パネルは、公知の液晶パネルであってよい。公知の液晶パネルとしては、例えばIPS（In-Plane Switching）方式、FFS（Fringe Field Switching）方式、VA（Vertical Alignment）方式、ECB（Electrically Controlled Birefringence）方式等の液晶パネルが挙げられる。

[0019] 表示装置2は、透過型の表示装置に限定されず、例えばLED素子、有機エレクトロルミネッセンス（Organic Electro Luminescence；OEL）素子、有機発光ダイオード（Organic Light Emitting Diode；OLED）素子、半導体レーザ（Laser Diode；LD）素子等の発光素子を含む、自発光型の表示装置であってもよい。

[0020] 第1凹面鏡3、凸面鏡4および第2凹面鏡5は、表示装置2から射出された画像光Lを利用者7の視野内に結像する反射光学系である。以下では、第1凹面鏡3、凸面鏡4および第2凹面鏡5を纏めて、反射光学系8と記載することがある。

[0021] 第1凹面鏡3は、表示装置2から射出される画像光Lの光路上に位置している。第1凹面鏡3は、表示装置2から射出される画像光Lを、表示装置2に向かう方向とは異なる方向に反射するように構成されている。即ち、第1凹面鏡3は、表示装置2からの距離、傾斜角度等の表示装置2に対する相対的な空間配置を調整することによって、画像光Lを、表示装置2に向かう方向とは異なる方向に反射する。第1凹面鏡3は、表示装置2に対する相対的な空間配置を調整する調整部材を備えていてもよい。調整部材は、例えば、第1凹面鏡3の背面側に設置されたロッド等の支持部材、支持部材に設けられ、支持部材および第1凹面鏡3を回転させる軸部材、支持部材および第1

凹面鏡3を平行移動させるスライド機構等を備えていてもよい。調整部材は、手動によって調整されてもよく、ステッピングモータ等によって電氣的に調整されてもよい。

[0022] 凸面鏡4は、第1凹面鏡3によって反射される画像光Lの光路上に位置している。凸面鏡4は、第1凹面鏡3によって反射される画像光Lを、第1凹面鏡3に向かう方向とは異なる方向に反射するように構成されている。即ち、凸面鏡4は、第1凹面鏡3からの距離、傾斜角度等の第1凹面鏡3に対する相対的な空間配置を調整することによって、画像光Lを、第1凹面鏡3に向かう方向とは異なる方向に反射する。凸面鏡4は、第1凹面鏡3に対する相対的な空間配置を調整する調整部材を備えていてもよい。この調整部材は、第1凹面鏡3に設置された調整部材と同様の構成であってもよい。

[0023] 第2凹面鏡5は、凸面鏡4によって反射される画像光Lの光路上に位置している。第2凹面鏡5は、凸面鏡4によって反射される画像光Lを、凸面鏡4に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像Rとして結像させるように構成されている。即ち、第2凹面鏡5は、凸面鏡4からの距離、傾斜角度等の凸面鏡4に対する相対的な空間配置を調整することによって、画像光Lを、凸面鏡4に向かう方向とは異なる方向に反射する。第2凹面鏡5は、凸面鏡4に対する相対的な空間配置を調整する調整部材を備えていてもよい。この調整部材は、第1凹面鏡3に設置された調整部材と同様の構成であってもよい。

[0024] 第1凹面鏡3は、湾曲度が $S a 1$ である反射面3 aを有している。凸面鏡4は、湾曲度が $S b$ である反射面4 aを有している。第2凹面鏡5は、湾曲度が $S a 2$ である反射面5 aを有している。湾曲度 $S a 1$ は、図2に示すように、第1凹面鏡3に入射する画像光Lの光軸に沿う断面において、反射面3 aの中心の上を通り両端を結ぶ線分LSの長さを $2 \times H$ とし、反射面3 a上の点と線分LSとの光軸OAに沿った方向の長さの最大値（最大深度ともいう）を $D_{MAX}$ とするとき、 $D_{MAX}/H$ によって定義される。 $D_{MAX}/H$ が断面の取り方によって変化する場合、断面の位置を変えたときの $D_{MAX}/H$ の最

大値を湾曲度  $S_{a1}$  としてもよい。湾曲度  $S_b$  および湾曲度  $S_{a2}$  も、湾曲度  $S_{a1}$  と同様に定義される。また、図 1 A に示した空中像表示装置 10 における凸面鏡 4 および結像凹面鏡 5 の湾曲度も、湾曲度  $S_{a1}$  と同様に定義される。

[0025] 空中像表示装置 1 は、第 1 凹面鏡 3 の湾曲度  $S_{a1}$  が第 2 凹面鏡 5 の湾曲度  $S_{a2}$  よりも大きく、かつ第 2 凹面鏡 5 の湾曲度  $S_{a2}$  が凸面鏡 4 の湾曲度  $S_b$  よりも大きい構成である。第 1 凹面鏡 3 の湾曲度  $S_{a1}$  が第 2 凹面鏡 5 の湾曲度  $S_{a2}$  および凸面鏡 4 の湾曲度  $S_b$  より大きいことにより、即ち、湾曲度  $S_{a1}$  が反射光学系 8 を構成する光学素子の湾曲度の中で最大であることにより、表示装置 2 から射出された画像光  $L$  を凸面鏡 4 に向けて反射する第 1 凹面鏡 3 を、表示装置 2 に近接して配置することができる。その結果、表示装置 2 および反射光学系 8 の占有空間を削減し小さくする（コンパクトにする）ことが可能となるため、空中像表示装置 1 を小型化できる。さらに、空中像表示装置 1 が小型化できることにより、表示装置 2 の表示面 2a と第 2 凹面鏡 5 の反射面 5a との間の画像光  $L$  の光路長を短くできるため、不所望な散乱、干渉等による画像光  $L$  の損失を抑制できる。その結果、空中像表示装置 1 の表示品位を向上させることができる。

[0026] また、第 1 凹面鏡 3 の湾曲度  $S_{a1}$  および第 2 凹面鏡 5 の湾曲度  $S_{a2}$  が凸面鏡 4 の湾曲度  $S_b$  よりも大きいことにより、即ち、凸面鏡 4 の湾曲度  $S_b$  が反射光学系 8 を構成する光学素子の湾曲度の中で最小であることにより、画像光  $L$  の拡大率が最も大きく空中像  $R$  の歪みを増大させやすい凸面鏡 4 に起因して生じる空中像  $R$  の歪みの増大を抑えることができる。その結果、空中像  $R$  の表示品位が向上する。

[0027] 空中像表示装置 1 は、凸面鏡 4 の湾曲度  $S_b$  が比較的小さいため、凸面鏡 4 によって反射された画像光  $L$  の拡がりを抑制できる。その結果、凸面鏡 4 によって反射された画像光  $L$  を反射する第 2 凹面鏡 5 の大型化を抑制できる。

[0028] 以上より、本開示の空中像表示装置 1 は、小型化され、また空中像  $R$  の表

示品位が向上する。

[0029] 空中像表示装置 1 は、第 1 凹面鏡 3、凸面鏡 4 および第 2 凹面鏡 5 を含む反射光学系 8 を用いて空中像 R を表示する構成であるため、第 1 凹面鏡 3、凸面鏡 4 および第 2 凹面鏡 5 の反射面 3 a, 4 a, 5 a の形状を適宜設計することによって、空中像 R の歪みを低減することが可能となる。また、空中像表示装置 1 は、反射光学系 8 が入射した画像光 L の一部を透過する光学素子（例えばビームスプリッタ、偏光フィルタ等）を含んでいないため、空中像 R の輝度の低下を抑制できる。例えば、反射光学系 8 の光軸上にビームスプリッタがある場合、ビームスプリッタによって画像光 L のうちの約半分の光が分離されることから、空中像 R の輝度が約半分になる場合がある。空中像表示装置 1 は、そのような輝度の低下が発生することを抑えることができる。あるいは、空中像表示装置 1 によれば、空中像 R の十分な輝度を維持しつつ、表示面 2 a に表示する画像の輝度を低下させることもできる。そのため、空中像表示装置 1 の消費電力を削減することが可能となる。

[0030] 空中像表示装置 1 は、例えば図 1 B に示すように、制御装置 6 を備える。制御装置 6 は、空中像表示装置 1 の各構成要素に接続され、各構成要素を制御する。制御装置 6 によって制御される構成要素は、表示装置 2 を含む。

[0031] 制御装置 6 は、上記の調整部材を調整する機能を有していてもよい。また制御装置 6 は、表示装置 2 をオン、オフする機能、表示装置 2 に画像信号を送信する機能、また画像の輝度、色度、フレーム周波数等を調整する機能等を有していてもよい。また、表示装置 2 に放熱部材または冷却部材が備わっている場合、制御装置 6 は、放熱部材または冷却部材の温度を調整する機能を有していてもよい。

[0032] 制御装置 6 は、1 以上のプロセッサを含んで構成されていてもよい。プロセッサは、特定のプログラムを読み込ませて特定の機能を実行するように構成される汎用のプロセッサ、および特定の処理に特化した専用のプロセッサを含んでいてもよい。専用のプロセッサは、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) を含んでいてもよい。プロセッサは、PLD (Programmable Logic Device) を含んでいてもよい。

ammable Logic Device) を含んでいてもよい。PLDは、FPGA (Field-Programmable Gate Array) を含んでいてもよい。制御装置6は、1以上のプロセッサが協働するように構成されるSoC (System-on-a-Chip) またはSiP (System In a Package) であってもよい。

[0033] 空中像表示装置1は、第2凹面鏡5のサイズ(例えば、直径等)が第1凹面鏡3のサイズ(例えば、直径等)よりも大きい構成であってもよい。この構成により、拡大された空中像Rを表示させることが容易になる。即ち、画像光Lは、第1凹面鏡3、凸面鏡4によって順次拡大された画像を空間伝搬しており、第2凹面鏡5によって最終的に最も拡大された画像を、空中像Rの仮想結像面に向けて反射することが容易になる。また、第2凹面鏡5が比較的大きい場合、反射面5aの形状を、画像光Lに含まれる複数の部分光のそれぞれに応じた形状とすることが容易になる。その結果、空中像Rの歪みを効果的に低減することが可能となる。

[0034] 第1凹面鏡3のサイズは、第1凹面鏡3の反射面3aの最大径の長さ(正面視における最大径の長さともいえる)で規定してもよい。第2凹面鏡5のサイズは、第2凹面鏡5の反射面5aの最大径の長さ(正面視における最大径の長さともいえる)で規定してもよい。例えば、第1凹面鏡3が部分球面状である場合、第1凹面鏡3の反射面3aの正面視形状は円形になる。この場合、第1凹面鏡3のサイズ、所謂寸法は、反射面3aの中心の上を通り両端を結ぶ線分LSの長さである2H(図2に示す。直径ともいう)であってもよい。なお、反射面3aの中心は、湾曲した反射面3aの最下点(最大突出点)で規定される。第1凹面鏡3が部分楕円面状である場合、第1凹面鏡3の反射面3aの正面視形状は楕円形になる。この場合、第1凹面鏡3のサイズは、反射面3aの中心の上を通り両端を結ぶ線分のうち長径の長さであってもよい。第1凹面鏡3の反射面3aの正面視形状が矩形状等の形状である場合、第1凹面鏡3のサイズは、反射面3aの中心の上を通り両端を結ぶ線分のうち最大径(例えば、対角径等)の長さであってもよい。

[0035] 第1凹面鏡3の最大径の長さは、例えば150mm~200mm程度であ

ってもよい。第2凹面鏡5の最大径の長さは、例えば200mm～350mm程度であってもよい。凸面鏡4の最大径の長さは、例えば100mm～150mm程度であってもよい。

[0036] 第1凹面鏡3のサイズは、第1凹面鏡3の反射面3aの面積、または第1凹面鏡3の反射面3aの正面視における面積で規定してもよい。第2凹面鏡5のサイズは、第2凹面鏡5の反射面5aの面積、または第2凹面鏡5の反射面5aの正面視における面積で規定してもよい。

[0037] 第1凹面鏡3および第2凹面鏡5は、反射面3a、5aの形状が自由曲面である自由曲面凹面鏡であってもよい。凸面鏡4は、反射面4aの形状が自由曲面である自由曲面凸面鏡であってもよい。第1凹面鏡3、凸面鏡4および第2凹面鏡5の反射面3a、4a、5aの形状が自由曲面である場合、反射面3a、4a、5aの形状を、空中像Rの歪みを効果的に低減する形状とすることが容易になる。その結果、空中像Rの歪みを効果的に低減することが可能となる。

[0038] 反射面3a、4a、5aを規定する自由曲面は、以下に示す式(1)および式(2)によって規定されるXY多項式面(SPS XYP面ともいう)であってもよい。XY多項式面は、基準コーニック面に追加される10次までの多項式に展開される。したがって、式(1)および式(2)において、mとnとの和は、10以下である。式(1)において、zはz軸(光軸)に平行な面のサグ量であり、cは頂点曲率であり、rは半径方向の距離(即ち、 $r^2 = x^2 + y^2$ )であり、kはコーニック定数であり、 $C_j$ は単項式 $x^m y^n$ の係数である。

[数1]

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} C_j x^m y^n \quad \dots (1)$$

[数2]

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1 \quad \dots (2)$$

[0039] 空中像Rの仮想結像面に平行な方向（図1BにおけるY方向）に沿って、第2凹面鏡5の背面側（図1Bで符号Y aで示す矢印の方向）から第2凹面鏡5を見たとき、第2凹面鏡5は、表示装置2と、第1凹面鏡3と、凸面鏡4とに重なっている構成であってもよい。この構成の場合、表示装置2および反射光学系8の占有空間を削減し小さくすることができるため、空中像表示装置1を小型化できる。その結果、空中像表示装置1の内部における画像光Lの光路長を短くできるため、不所望な散乱、干渉等による画像光Lの損失を抑制できる。ひいては、空中像表示装置1の表示品位を向上させることができる。また、第2凹面鏡5の反射面5 aは、表示装置2の表示面2 aと、第1凹面鏡3の反射面3 aと、凸面鏡4の反射面4 aとに重なっている構成であってもよい。即ち、反射光学系8の光路に直接関係する部位の位置関係を規定してもよい。

[0040] 空中像Rの仮想結像面にほぼ直交する方向から視認者が視認することから、空中像Rの仮想結像面に平行な方向は、空中像表示装置1の高さ方向となる。また、空中像Rの仮想結像面に直交する方向は、空中像表示装置1の厚さ方向（奥行方向）になる。上記の構成により、空中像表示装置1の少なくとも厚さ（奥行）を薄くすることができる。

[0041] 空中像Rの仮想結像面に平行な方向（図1BにおけるY方向）に沿って、第2凹面鏡5の背面側（図1Bで符号Y aで示す矢印の方向）から第2凹面鏡5を見たとき、第2凹面鏡5は、表示装置2と、第1凹面鏡3と、凸面鏡4とを内包している構成であってもよい。この構成の場合、表示装置2および反射光学系8の占有空間をより削減し小さくすることができるため、空中像表示装置1をより小型化できる。その結果、空中像表示装置1の内部における画像光Lの光路長をより短くできるため、不所望な散乱、干渉等による画像光Lの損失を効果的に抑制できる。ひいては、空中像表示装置1の表示品位を効果的に向上させることができる。また、第2凹面鏡5の反射面5 aは、表示装置2の表示面2 aと、第1凹面鏡3の反射面3 aと、凸面鏡4の反射面4 aとを内包している構成であってもよい。即ち、反射光学系8の光

路に直接関係する部位の位置関係を規定してもよい。この構成により、空中像表示装置 1 の少なくとも厚さ（奥行）をより薄くすることができる。

[0042] 図 3, 4 は、空中像表示装置 1 の利用者 7 が視認する空中像 R を示すシミュレーション結果である。図 3, 4 では、空中像 R の歪みの視覚的理解を容易にするために、空中像 R を格子状パターンの空中像とするとともに、歪み方向および歪み量を示す座標軸を記載している。図 3, 4 において、実線は利用者 7 が視認する空中像 R を示し、破線は歪みのない理想的な空中像 I R を示す。なお、空中像 R の歪みは、平面方向（紙面に平行な方向）の歪み、および奥行方向（紙面に垂直な方向）の歪みを含みうるが、図 3, 4 は、平面方向の歪みのみを示している。

[0043] 図 3 に示すように、空中像 R の歪みは、空中像 R の外周部に生じやすく、特に空中像 R の四隅の角部（右下角部 L R, 左上角部 U R, 左下角部 L L, 左上角部 U L）において歪みが大きくなりやすい。表 1 は、角部 L R, U R, L L, U L における理想的な空中像 I R からの歪みを示している。空中像表示装置 1 は、表 1 に示すように、角部 L R, U R, L L, U L における歪みを 5% 以内に抑えることができる。なお、「歪が 5% 以内である」といったとき、「歪が絶対値で 5% 以内である」という意味であり、以下同様とする。

[0044] [表 1]

	X成分	Y成分
LR	-5.0%	1.1%
UR	-0.6%	-2.2%
LL	-5.0%	1.1%
UL	-0.6%	-2.2%

[0045] なお、X方向の+（プラス）方向は図 3 における右方向であり、X方向の-（マイナス）方向は図 3 における左方向である。また、Y方向の+（プラス）方向は図 3 における上方向であり、Y方向の-（マイナス）方向は図 3 における下方向である。ただし、表 1 において、空中像 R の歪は、X方向およびY方向のそれぞれについて、理想的な空中像 I R の外側に歪んだ場合を

正の値とし、理想的な空中像 I R の内側に歪んだ場合を負の値としている。例えば、右下角部 L R において、X 方向で外側方向（右方向：広がる方向）を+（プラス）方向、X 方向で内側方向（左方向：縮む方向）を-（マイナス）方向とし、Y 方向で外側方向（下方向：広がる方向）を+（プラス）方向、Y 方向で内側方向（上方向：縮む方向）を-（マイナス）方向とする。左上角部 U R、左下角部 L L、および左上角部 U L においても、同様である。また、空中像 R の歪を示す以下の各表においても同様である。

[0046] 角部 L R, U R, L L, U L における歪みは、以下のように算出する。角部 L R, U R, L L, U L の X 方向の歪は、矩形状の理想的な空中像 I R の上辺（下辺は上辺と同じ長さ）の長さ L X に対する、X 方向のずれ長さで規定する。空中像 I R の下辺の長さは、上辺の長さ L X と同じ長さであることから、上辺の長さ L X を基準とする。例えば、角部 U R の X 方向の歪は、上辺の長さ L X に対する、空中像 I R の右上角 C U R からの X 方向のずれ長さ  $\Delta X U R$  で規定する。すなわち、角部 U R の X 方向の歪は、 $(\Delta X U R / L X) \times 100$  (%) で規定する。角部 U R は、X 方向において、空中像 I R の内側に歪んでいることから、-（マイナス）の値となる。角部 L R, L L, U L の X 方向における歪みも同様に規定する。空中像 I R が矩形状以外の形状である場合、X 方向の基準長さは、平均長さ、最大長さであってもよい。

[0047] 角部 L R, U R, L L, U L の Y 方向の歪は、矩形状の理想的な空中像 I R の右辺（左辺は右辺と同じ長さ）の長さ L Y に対する、Y 方向のずれ長さで規定する。空中像 I R の左辺の長さは、右辺の長さ L Y と同じ長さであることから、右辺の長さ L Y を基準とする。例えば、角部 U R の Y 方向の歪は、右辺の長さ L Y に対する、空中像 I R の右上角 C U R からの Y 方向のずれ長さ  $\Delta Y U R$  で規定する。すなわち、角部 U R の Y 方向の歪は、 $(\Delta Y U R / L Y) \times 100$  (%) で規定する。角部 U R は、Y 方向において、空中像 I R の内側に歪んでいることから、-（マイナス）の値となる。角部 L R, L L, U L の Y 方向における歪みも同様に規定する。空中像 I R が矩形状以

外の形状である場合、Y方向の基準長さは、平均長さ、最大長さであってもよい。

[0048] 図4は、表示装置2の位置を最適化された位置から移動させた場合に、利用者7が視認する空中像Rを示している。図4は、第1凹面鏡3に入射する前の画像光Lの伝播方向に沿って、表示装置2を後方に1.5mm移動させた場合を示している。なお、「後方」とは、第1凹面鏡3に入射する前の画像光Lの伝播方向に沿って、第1凹面鏡3から遠ざかる方向を指す。

[0049] 図4に示すように、空中像Rの歪みは、空中像Rの外周部に生じやすく、特に空中像Rの四隅の角部LR, UR, LL, ULにおいて歪みが大きくなりやすい。表2は、角部LR, UR, LL, ULにおける理想的な空中像IRからの歪みを示している。空中像表示装置1は、表2に示すように、表示装置2が後方に移動した場合であっても、角部LR, UR, LL, ULにおける歪みを5%以内に抑えることができる。

[0050] [表2]

	X成分	Y成分
LR	-5.0%	-1.8%
UR	-2.4%	-1.3%
LL	-5.0%	-1.8%
UL	2.4%	-1.3%

[0051] 表3は、第1凹面鏡3に入射する前の画像光Lの伝播方向に沿って、表示装置2を前方に1.5mm移動させた場合に、空中像Rの角部LR, UR, LL, ULにおける理想的な空中像IRからの歪みを示している。なお、「前方」とは、第1凹面鏡3に入射する前の画像光Lの伝播方向に沿って、第1凹面鏡3に近づく方向を指す。表3に示すように、空中像表示装置1は、表示装置2が前方に移動した場合であっても、角部LR, UR, LL, ULにおける歪みを5%以内に抑えることができる。

[0052]

[表3]

	X成分	Y成分
LR	-3.3%	2.3%
UR	-1.5%	-5.0%
LL	-3.3%	2.3%
UL	-1.5%	-5.0%

[0053] 表3, 4に示すように、空中像表示装置1は、第1凹面鏡3に入射する前の画像光Lの伝播方向に沿って、表示装置2を最適化された位置から1.5mm程度移動した場合であっても、空中像Rの歪みを抑制できる。したがって、空中像表示装置1は、空中像表示装置1の製造における表示装置2と反射光学系8との位置合わせの負担を軽減することが可能となる。

[0054] 図5は、反射光学系8が第1凹面鏡3、凸面鏡4および第2凹面鏡5で構成された空中像表示装置1における変調伝達関数 (Modulation Transfer Function: MTF) 値と空間周波数 (サイクル/ミリメートル) との関係を示すグラフである。図5のグラフは、シミュレーションによって得られたものである。シミュレーションは、第1凹面鏡3の湾曲度  $S_{a1}$  を0.39とし、凸面鏡4の湾曲度  $S_b$  を0.20とし、第2凹面鏡5の湾曲度  $S_{a2}$  を0.27として行った。空中像表示装置1のMTF値は、表示面2aに表示した画像と、表示面2aから射出された画像光Lが結像されてなる空中像Rとに基づいて、算出することができる。MTF値を算出する際、市販の面輝度計 (例えば、Radiant Vision Systems社製 製品名「イメージング色彩輝度計 ProMetric Iシリーズ: IC-PMI8 Model: IC-PMI8-ND3」) を用いてもよい。図5では、比較のために、反射光学系が1つの凹面鏡のみで構成された、本発明の特徴を有さない空中像表示装置 (以下、空中像表示装置Cと記載する) におけるMTF値と空間周波数との関係を破線で示している。空中像表示装置Cについては、凹面鏡の湾曲度を約0.36とした。図5において、MTF値は、最大値が1になるように正規化している。一般に、MTF値が0.2以上であれば、高コントラスト比の空中像が表示できていると言える。

[0055] 具体的なMTF値の算出方法は、以下のようになる。MTF値は、光学系の性能を評価する指標の一つで、0から1までの数字で表され、1に近いほど性能（解像度）が良い。バーコードのような梯子状パターン（ラダーパターン）を撮影して評価する。黒線と白線のラインペア（黒線と白線の対を1本とする）が、6.3ラインペア（6.3本）である場合、1mm当たり6.3本ある（6.3（本/mm：サイクル/ミリメートル））とする。この場合、黒線と白線の各線幅は同じであり、線幅は $79\mu\text{m}$ （ $1\div 6.3\div 2=0.079\text{mm}$ ）、ピッチは $158\mu\text{m}$ （ $1\div 6.3=0.158\text{mm}$ ）となる。このようなラダーパターンを面輝度計で読み込み、どのくらいの精度（解像度）で再現できるかを評価する。精度が劣化すると、黒線と黒線との間の白線が徐々につぶれていき、やがては隣接する黒線同士が繋がって見えるようになる。例えば、ラダーパターンの画像の歪が大きいと、MTF値が低下し0に近づく。ラダーパターンの画像の歪が小さいと、MTF値が大きくなり1に近づく。MTF値は、 $(\text{黒線の濃度}-\text{白線の濃度}) / (\text{黒線の濃度})$ 、という算出式によって算出される。濃度は、輝度または階調で表してもよい。MTF値が1に近いほど解像度が高いとされる。なお、黒線と白線のラインペアの空間周波数（サイクル/ミリメートル）を用いた、デジタルカメラの解像度を見るためのチャートは、ISO12233解像度チャートで規定されている。ISO12233解像度チャートを用いて、MTF値を算出し、MTF値から歪を導出してもよい。MTF値からの歪の導出は、歪に対応するMTF値をデータテーブル等に記憶させておく方法等によってもよい。

[0056] 歪みを5%以内に抑えるとともに、MTF値が空間周波数3～10サイクル/ミリメートルにおいて0.2以上であるという目的に適したSa1は、例えば、0.35～0.45程度であってもよい。同様の目的に適したSbは、例えば、0.15～0.25程度であってもよい。同様の目的に適したSa2は、例えば、0.25～0.35程度であってもよい。なお、Sa1、Sb、Sa2の各湾曲度は、表示装置2の表示面2aのサイズ、形状、画

角（光の広がり）等の要因によって変わることがあることから、必ずしも上記の範囲に限るものではない。

[0057] 図5に示すように、比較例の空中像表示装置Cは、空間周波数が1～9サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が0.2以上となる。これに対して、本実施の形態の空中像表示装置1は、空間周波数が1～13サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が0.2以上となる。このように、反射光学系8を第1凹面鏡3、凸面鏡4および第2凹面鏡5で構成することによって、空間周波数の広い範囲で、高コントラスト比の空中像Rを表示できる。

[0058] なお、本開示の空中像表示装置1は、空間周波数が1～11サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が0.3以上のコントラスト比を有するものであってもよく、空間周波数が1～9サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が0.4以上のコントラスト比を有するものであってもよい。さらには、本開示の空中像表示装置1は、空間周波数が1～7サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が0.5以上のコントラスト比を有するものであってもよい。

[0059] 図6は、空中像表示装置1のMTF値と空中像表示装置CのMTF値との差分 $\Delta$ MTFと、空間周波数との関係を示している。差分 $\Delta$ MTFは、空中像表示装置1のMTF値から空中像表示装置CのMTF値を引いたものである。図6に示すように、空中像表示装置1は、空中像表示装置Cと比べて、空間周波数が1～15サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が向上している。反射光学系8を第1凹面鏡3、凸面鏡4および第2凹面鏡5で構成することによって、空間周波数の広い範囲で、空中像Rのコントラスト比を向上させることができる。また、図6に示すように、空間周波数が5～10サイクル／ミリメートルの範囲で $\Delta$ MTFが0.2以上と大きくなっていることから、本開示の空中像表示装置1は、空間周波数が5～10サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が0.2以上のコントラスト比を有するものであってもよい。

[0060] 次に、本開示の他の実施形態の空中像表示装置について説明する。図7は

、本開示の他の実施形態の空中像表示装置の構成を示す図であり、図8は、図7の空中像表示装置の利用者が視認する空中像の一例を示す図であり、図9、10は、図7の空中像表示装置の変調伝達関数を示すグラフである。本実施形態の空中像表示装置1Aは、上記実施形態の空中像表示装置1に対して、反射光学系の構成が異なっており、その他については、同様の構成であるので、同様の構成には空中像表示装置1と同じ参照符号を付して詳細な説明は省略する。

[0061] 本実施形態の空中像表示装置1Aは、図7に示すように、表示装置2と、反射光学系8Aとを備える。反射光学系8Aは、表示装置2から射出される画像光Lの光路上に位置している。反射光学系8Aは、表示装置2から射出される画像光Lを、表示装置2に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像Rとして結像する。

[0062] 空中像表示装置1Aによって結像される空中像Rは、歪みが5%以下である。また、空中像Rは、MTFで表される、最大値を1に正規化したコントラスト値が、空間周波数3~10サイクル/ミリメートルにおいて、0.2以上である。したがって、後述するように、第1凹面鏡3および第2凹面鏡5を備え、第1凹面鏡3の湾曲度 $S_{a1}$ が第2凹面鏡5の湾曲度 $S_{a2}$ よりも大きい構成である、本実施形態の空中像表示装置1Aの場合、空中像Rは、MTFで表されるコントラスト値が、空間周波数3~10サイクル/ミリメートルにおいて、0.2以上であってもよい。これにより、空中像表示装置1Aは、歪みが低減された、高コントラスト比の空中像Rを表示できる。

[0063] 反射光学系8Aは、第1凹面鏡3と、第2凹面鏡5とを含んで構成されていてもよい。第1凹面鏡3は、表示装置2から射出される画像光Lの光路上に位置している。第1凹面鏡3は、表示装置2から射出される画像光Lを、表示装置2に向かう方向とは異なる方向に反射する。第2凹面鏡5は、第1凹面鏡3によって反射される画像光Lの光路上に位置している。第2凹面鏡5は、第1凹面鏡3によって反射される画像光Lを、第1凹面鏡3に向かう方向とは異なる方向に反射する。

[0064] 第1凹面鏡3は、湾曲度が $S a 1$ である反射面3 aを有している。第2凹面鏡5は、湾曲度が $S a 2$ である反射面5 aを有している。第1凹面鏡3の湾曲度 $S a 1$ は、第2凹面鏡5の湾曲度 $S a 2$ よりも大きくてもよい。これにより、表示装置2から射出された画像光Lを第2凹面鏡5に向けて反射する第1凹面鏡3を、表示装置2に近接して配置することができる。その結果、表示装置2および反射光学系8 Aの占有空間を削減し小さくすることが可能となるため、空中像表示装置1 Aを小型化できる。さらに、空中像表示装置1 Aが小型化できることにより、表示装置2の表示面2 aと第2凹面鏡5の反射面5 aとの間の画像光Lの光路長を短くできるため、不所望な散乱、干渉等による画像光Lの損失を抑制できる。その結果、空中像表示装置1 Aの表示品位を向上させることができる。

[0065] 第1凹面鏡3および第2凹面鏡5は、反射面3 a, 5 aの形状が自由曲面である自由曲面凹面鏡であってもよい。第1凹面鏡3および第2凹面鏡5の反射面3 a, 5 aの形状が自由曲面である場合、反射面3 a, 5 aの形状を、空中像Rの歪みを効果的に低減する形状とすることが容易になる。その結果、空中像Rの歪みを効果的に低減することが可能となる。

[0066] 空中像Rの仮想結像面に平行な方向（図7におけるY方向）に沿って、第2凹面鏡5の背面側（図7で符号 $Y b$ で示す矢印の方向）から第2凹面鏡5を見たとき、第2凹面鏡5は、表示装置2と、第1凹面鏡3とに重なっていてもよい。この場合、表示装置2および反射光学系8 Aの占有空間を削減し小さくすることができるため、空中像表示装置1 Aを小型化できる。その結果、空中像表示装置1 Aの内部における画像光Lの光路長を短くできるため、不所望な散乱、干渉等による画像光Lの損失を抑制できる。ひいては、空中像表示装置1 Aの表示品位を向上させることができる。また、第2凹面鏡5の反射面5 aは、表示装置2の表示面2 aと、第1凹面鏡3の反射面3 aとに重なっていてもよい。即ち、反射光学系8 Aの光路に直接関係する部位の位置関係を規定してもよい。

[0067] 空中像Rの仮想結像面に平行な方向（図7におけるY方向）に沿って、第

2凹面鏡5の背面側（図7で符号Y bで示す矢印の方向）から第2凹面鏡5を見たとき、第2凹面鏡5は、表示装置2と、第1凹面鏡3とを内包していてもよい。この場合、表示装置2および反射光学系8 Aの占有空間をより削減し小さくすることができるため、空中像表示装置1 Aをより小型化できる。その結果、空中像表示装置1 Aの内部における画像光Lの光路長をより短くできるため、不所望な散乱、干渉等による画像光Lの損失を効果的に抑制できる。ひいては、空中像表示装置1 Aの表示品位を効果的に向上させることができる。また、第2凹面鏡5の反射面5 aは、表示装置2の表示面2 aと、第1凹面鏡3の反射面3 aとを内包していてもよい。即ち、反射光学系8 Aの光路に直接関係する部位の位置関係を規定してもよい。

[0068] 反射光学系8 Aは、第1凹面鏡3および第2凹面鏡5に加えて、反射部材をさらに有していてもよく、この場合、空中像Rの歪みをより低減することが可能になる。反射光学系8 Aが第1凹面鏡3、第2凹面鏡5および反射部材を有する場合、第1凹面鏡3および第2凹面鏡5の位置は、図7に示す位置と異なってもよい。反射部材は、画像光Lの、第1凹面鏡3と第2凹面鏡5との間の光路上に位置していてもよい。反射部材は、凸面鏡であり、第1凹面鏡3によって反射された画像光Lを、第2凹面鏡5に向けて反射するように構成されていてもよい。

[0069] 図8は、空中像表示装置1 Aの利用者7が視認する空中像Rを示すシミュレーション結果である。図8では、図3、4と同様に、空中像Rの歪みの視覚的理解を容易にするために、空中像Rを格子状パターンの空中像とするとともに、歪み方向と歪み量とを示す座標軸を記載している。図8において、実線は利用者7が視認する空中像Rを示し、破線は歪みのない理想的な空中像I Rを示す。なお、空中像Rの歪みは、平面方向（紙面に平行な方向）の歪み、および奥行方向（紙面に垂直な方向）の歪みを含みうるが、図8は、平面方向の歪みのみを示している。

[0070] 図8に示すように、空中像の歪みは、空中像Rの外周部に生じやすく、特に空中像Rの四隅の角部LR, UR, LL, ULにおいて歪みが大きくなり

やすい。表4は、角部LR, UR, LL, ULにおける理想的な空中像IRからの歪みを示している。空中像表示装置1Aは、表4に示すように、角部LR, UR, LL, ULにおける歪みを5%以内に抑えることができる。

[0071] [表4]

	X成分	Y成分
LR	0.9%	0.6%
UR	0.3%	2.7%
LL	0.9%	0.6%
UL	0.3%	2.7%

[0072] 図9は、反射光学系8Aが第1凹面鏡3および第2凹面鏡5で構成された空中像表示装置1AにおけるMTF値と空間周波数との関係を示すグラフである。図9のグラフは、図5に示したグラフと同様に、シミュレーションによって得られたものである。シミュレーションは、第1凹面鏡3の湾曲度 $S_{a1}$ を0.25とし、第2凹面鏡5の湾曲度 $S_{a2}$ を0.12として行った。図9では、比較のために、空中像表示装置CにおけるMTF値と空間周波数との関係を破線で示している。図9において、MTF値は、最大値が1になるように正規化している。

[0073] 図9に示すように、空中像表示装置Cは、空間周波数が1~9サイクル/ミリメートルの範囲でMTF値が0.2以上となる。これに対して、空中像表示装置1Aは、空間周波数が1~10サイクル/ミリメートルの範囲でMTF値が0.2以上となる。このように、反射光学系8Aを第1凹面鏡3および第2凹面鏡5で構成することによって、空間周波数の広い範囲で、高コントラスト比の空中像Rを表示できる。

[0074] 図10は、空中像表示装置1AのMTF値と空中像表示装置CのMTF値との差分 $\Delta$ MTFと、空間周波数との関係を示している。差分 $\Delta$ MTFは、空中像表示装置1AのMTF値から空中像表示装置CのMTF値を引いたものである。図10に示すように、空中像表示装置1Aは、空中像表示装置Cと比べて、空間周波数が1~10サイクル/ミリメートルの範囲でMTF値が向上している。反射光学系8Aを第1凹面鏡3および第2凹面鏡5で構成

することによって、空間周波数の広い範囲で、空中像Rのコントラスト比を向上させることができる。

[0075] 図11は、本開示の他の実施形態の空中像表示装置1Bの要部構成を示す側面図である。図12, 13は、図11の空中像表示装置1Bの利用者7が視認する空中像Rの一例を示す図である。図14は、図11の空中像表示装置1Bの利用者7が視認する空中像Rを示すシミュレーション結果である。図15, 16は、図11の空中像表示装置1Bの変調伝達関数を示すグラフである。

[0076] 本実施形態の空中像表示装置1Bは、上記実施形態の空中像表示装置1に対して、反射光学系の構成が異なっている。すなわち、表示装置2の表示面2aと、空中像Rの結像面と、が略平行である。換言すると、表示装置2の表示面2aを含む第1仮想面P11と、空中像Rの結像面を含む第2仮想面P12と、が略平行である構成である。さらに換言すると、空中像表示装置1Bは、テレセントリック光学系である反射光学系8Bを備える構成である。

[0077] テレセントリック光学系は、主光線と光軸とが平行となる光学系である。例えば、表示装置2の表示面2aから射出された画像光Lの主光線Lcと光軸Laxとが平行となる光学系である。画像光Lの主光線Lcは、図11に示すように、表示面2aの或る発光点から第1凹面鏡3と凸面鏡4と第2凹面鏡5を経由して空中像Rの結像面に到達する光束Lsであって、発光点から放射される所定の立体角（画角に基づく）の範囲内の光束Lsの、中心軸に位置する光である。光軸Laxは、表示面2aに直交している。1つの発光点でみた場合、主光線Lcと光軸Laxとは一致する。主光線Lcと光軸Laxとが平行となることから、第1仮想面P11と第2仮想面P12とが略平行となる。

[0078] 上記の構成により、以下の効果を奏する。主光線Lcと光軸Laxとが平行となることから、主光線Lcが光束Lsの最大強度光となる。従って、表示面2aのあらゆる発光点から放射された光束Lsの最大強度光のほぼすべ

てが、空中像 R の結像面に到達する。その結果、空中像 R の全体の輝度が向上する。また、空中像 R の輝度均一度も向上する。輝度均一度は、 $\{ (\text{空中像 R の最小輝度}) / (\text{空中像 R の最大輝度}) \} \times 100 (\%)$  で表わされる。

[0079] また、表示面 2 a の或る発光点から放射される光束 L s の放射強度分布は、ランベルトの余弦則に従った、縦長の近似的余弦曲面形状となる。ランベルトの余弦則は、理想的な拡散放射体で観測される光の放射強度が、放射面（本実施形態の空中像表示装置 1 B においては表示面 2 a）の法線との間の角度の余弦と正比例するという法則である。なお、余弦曲面形状は、光の放射強度分布を縦断面でみたとき、放射強度分布の形状が余弦曲線となっている形状である。光束 L s の中心軸に位置する主光線 L c が最大強度光となることから、主光線 L c の強度を光束 L s の全光量の 50% 以上とすることもできる。従って、空中像表示装置 1 B は、表示面 2 a から放射される画像光 L の全光量の 50% 以上を空中像 R として結像させてもよく、70% 以上を空中像 R として結像させてもよく、90% 以上を空中像 R として結像させてもよい。

[0080] 第 1 仮想面 P | 1 と第 2 仮想面 P | 2 とは完全な平行でなくてもよく、 $-5^{\circ} \sim +5^{\circ}$  の範囲内で交差していてもよく、 $-3^{\circ} \sim +3^{\circ}$  の範囲内で交差していてもよく、 $-1^{\circ} \sim +1^{\circ}$  の範囲内で交差していてもよい。すなわち、主光線 L c と光軸 L a x とは、 $-5^{\circ} \sim +5^{\circ}$  の範囲内で交差していてもよく、 $-3^{\circ} \sim +3^{\circ}$  の範囲内で交差していてもよく、 $-1^{\circ} \sim +1^{\circ}$  の範囲内で交差していてもよい。

[0081] 空中像表示装置 1 B の第 1 の構成例と、空中像表示装置 1 B の第 2 の構成例と、について、空中像 R の輝度均一度のシミュレーションを行った。第 1 の構成例は、第 1 仮想面 P | 1 と第 2 仮想面 P | 2 とのなす角度を  $5.0^{\circ}$  としたものであり、第 2 の構成例は、第 1 仮想面 P | 1 と第 2 仮想面 P | 2 とのなす角度を  $0.7^{\circ}$  としたものである。輝度均一度のシミュレーションは、光学シミュレーションプログラムソフト（シノプス社製「Light Tools」

)を用いて行った。図12は、第1の構成例についての結果を示す図であり、図13は、第2の構成例についての結果を示す図である。なお、図12、13において、白っぽい部分は輝度が低いことを示し、黒っぽい部分は輝度が高いことを示す。図12に示すように、第1の構成例は、全体的に輝度が低下しており、輝度均一度が64.2%であった。図13に示すように、第2の構成例は、全体的に輝度が向上しており、輝度均一度が80.4%であった。第1仮想面P11と第2仮想面P12とを平行に近づけることにより、輝度均一度を向上させることができる。

[0082] 図14は、空中像表示装置1Bの利用者7が視認する空中像Rを示すシミュレーション結果である。図14は、図3、4、8と同様の表示としている。図14に示すように、空中像Rの歪みは、外周部に生じやすく、特に空中像Rの四隅の角部LR, UR, LL, ULにおいて歪みが大きくなりやすい。表5は、角部LR, UR, LL, ULにおける理想的な空中像IRからの歪みを示している。空中像表示装置1Bは、表5に示すように、角部LR, UR, LL, ULにおける歪みを5%以内に抑えることができる。

[0083] [表5]

	X成分	Y成分
LR	-3.4%	-4.3%
UR	0.6%	-1.0%
LL	-3.4%	-4.3%
UL	0.6%	-1.0%

[0084] 図15は、空中像表示装置1BにおけるMTF値と空間周波数との関係を示すグラフである。図15のグラフは、シミュレーションによって得られたものである。シミュレーションは、第1凹面鏡3の湾曲度Sa1、第2凹面鏡5の湾曲度Sa2、および凸面鏡4の湾曲度Sbは、図1Bの空中像表示装置1と同様とし、第1仮想面P11と第2仮想面P12とのなす角度を0.7°として行った。図15では、比較のために、空中像表示装置CにおけるMTF値と空間周波数との関係を破線で示している。図15において、MTF値は、最大値が1になるように正規化している。

[0085] 図15に示すように、空中像表示装置Cは、空間周波数が1～9サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が0.2以上となる。これに対して、空中像表示装置1Bは、空間周波数が1～14サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が0.2以上となる。このように、空中像表示装置1Bは、空間周波数の広い範囲で、高コントラスト比の空中像Rを表示できる。

[0086] 図16は、空中像表示装置1BのMTF値と空中像表示装置CのMTF値との差分 $\Delta$ MTFと、空間周波数との関係を示している。差分 $\Delta$ MTFは、空中像表示装置1BのMTF値から空中像表示装置CのMTF値を引いたものである。図16に示すように、空中像表示装置1Bは、空中像表示装置Cと比べて、空間周波数が1～14サイクル／ミリメートルの範囲でMTF値が向上している。空中像表示装置1Bは、空間周波数の広い範囲で、空中像Rのコントラスト比を向上させることができる。

[0087] 図17は、本開示の他の実施形態の空中像表示装置1Cの要部構成を示す側面図である。空中像表示装置1Cは、図17に示すように、表示装置2と、第1凹面鏡3と、第2凹面鏡5と、を備え、表示面2aを含む第1仮想平面Pi1に対する第1凹面鏡3の傾斜角度 $\theta_1$ が、空中像の仮想結像面9を含む第2仮想平面Pi2に対する第2凹面鏡5の傾斜角度 $\theta_2$ よりも小さい。

[0088] 第1凹面鏡3の大きさ（サイズ）は第2凹面鏡5の大きさよりも小さく、第1凹面鏡3の大きさは表示装置2の表示面2aの大きさに近い構成であってもよい。この構成の場合、第1凹面鏡3は、表示面2aから射出された画像光Lのほぼ全部をカバーし、かつ画像光Lをある程度拡大した拡大像として第2凹面鏡5へ向かわせることができる。第1凹面鏡3のサイズは、第1凹面鏡3の反射面3aの最大径の長さ（正面視における最大径の長さともいえる）で規定してもよい。第2凹面鏡5のサイズは、第2凹面鏡5の反射面5aの最大径の長さ（正面視における最大径の長さともいえる）で規定してもよい。第1凹面鏡3の湾曲度が第2凹面鏡5の湾曲度よりも大きい構成であってもよい。この場合、第1凹面鏡3を表示装置2に近接させて配置する

ことができるとともに、第1凹面鏡3で反射された画像光Lが拡散し過ぎることを抑えて、第2凹面鏡5に収まる拡大像として第2凹面鏡5へ向かわせることができる。その結果、画像光Lの拡散による損失を抑えて、画像光Lを効率良く利用することができる。従って、小型の空中像表示装置1Cとすることができるとともに、画像光Lの輝度の低下を抑えることができ、空中像Rの表示品位が向上する。

[0089] 表示面2aを含む第1仮想平面P<sub>i</sub>1に対する第1凹面鏡3の傾斜角度 $\theta_1$ が、空中像の仮想結像面9を含む第2仮想平面P<sub>i</sub>2に対する第2凹面鏡5の傾斜角度 $\theta_2$ よりも小さいことから、第1凹面鏡3の傾斜による空中像Rの歪の増大を抑えることができる。第1凹面鏡3の傾斜角度 $\theta_1$ が大きいと、空中像Rの部位による、表示面2aから仮想結像面9に至る光路長の差が大きくなりやすい。特に、空中像Rの中心部と周縁部（矩形状の空中像Rである場合、その4隅部）とで、光路長の差が大きくなりやすい。その結果、空中像Rの周縁部の歪が大きくなりやすい。本実施形態の空中像表示装置1は、空中像Rの部位による、光路長の差を小さくして、空中像Rの特定の部位（例えば、周縁部）の歪を小さくすることができる。

[0090] 第1凹面鏡3および第2凹面鏡5は、表示装置2から射出された画像光Lを利用者7の視野内に結像する反射光学系である。

[0091] 第1凹面鏡3は、反射面3aを有する。反射面3aは、図18に示すように、第1湾曲度S1および第2湾曲度S2を有している構成であってもよい。この構成の場合、第1湾曲度S1および第2湾曲度S2は、次のように定義される。図18に示すように、第1凹面鏡3の反射面3aと、反射面3aの頂点（自由曲面の原点ともいう）Oにおいて接する平面を、接平面T1とする。さらに、頂点Oを通り、画像光Lの伝播方向に平行な切断面で切断した第1凹面鏡3の断面を見たときに、反射面3aの両端に位置する点をE1、E2とし、点E1および点E2から接平面T1に対して鉛直に下した垂線の接平面T1との交点をそれぞれH1およびH2とする。また、頂点Oと点H1との距離をL1とし、頂点Oと点H2との距離をL2とし、点E1と点

H 1 との距離を  $D 1$  とし、点 E 2 と点 H 2 との距離を  $D 2$  とする。但し、距離  $L 1$  は距離  $L 2$  以上とする。以上の場合、第 1 湾曲度  $S 1$  は、 $D 1 / L 1$  によって定義され、第 2 湾曲度  $S 2$  は、 $D 2 / L 2$  によって定義される。なお、第 1 湾曲度  $S 1$  が断面の取り方によって変化する場合、断面の位置を変えたときの  $D 1 / L 1$  の最大値を第 1 湾曲度  $S 1$  としてもよい。また、第 2 湾曲度  $S 2$  が断面の取り方によって変化する場合、断面の位置を変えたときの  $D 2 / L 2$  の最大値を第 2 湾曲度  $S 2$  としてもよい。

[0092] 第 1 凹面鏡 3 の湾曲度は、第 1 湾曲度  $S 1$  および第 2 湾曲度  $S 2$  で定義してもよい。また第 1 凹面鏡 3 の湾曲度は、第 1 湾曲度  $S 1$  および第 2 湾曲度  $S 2$  の平均値で定義してもよい。また第 1 凹面鏡 3 の湾曲度は、第 1 湾曲度  $S 1$  および第 2 湾曲度  $S 2$  のうち大きい方で定義してもよい。

[0093] 第 2 凹面鏡 5 は、反射面 5 a を有する。反射面 5 a は、第 3 湾曲度  $S 3$  および第 4 湾曲度  $S 4$  を有している。第 3 湾曲度  $S 3$  は、第 1 湾曲度  $S 1$  と同様に定義される。第 4 湾曲度  $S 4$  は、第 2 湾曲度  $S 2$  と同様に定義される。

[0094] 第 1 凹面鏡 3 は、図 1 7 に示すように、表示面 2 a を含む第 1 仮想平面  $P i 1$  に対して、傾斜角度  $\theta 1$  で傾斜している。傾斜角度  $\theta 1$  は、表示面 2 a と第 1 凹面鏡 3 の接平面  $T 1$  がなす角度である。第 2 凹面鏡 5 は、図 1 7 に示すように、空中像 R の仮想結像面 9 を含む第 2 仮想平面  $P i 2$  に対して、傾斜角度  $\theta 2$  で傾斜している。傾斜角度  $\theta 2$  は、空中像 R の仮想結像面 9 と第 2 凹面鏡 5 の接平面  $T 2$  とがなす角度である。接平面  $T 2$  は、第 2 凹面鏡 5 の頂点（自由曲面の原点ともいう）において反射面 5 a と接する平面である。

[0095] 第 1 仮想平面  $P i 1$ 、第 2 仮想平面  $P i 2$ 、接平面  $T 1$ 、および接平面  $T 2$  は、空間において定義される面であるが、コンピュータ援用設計（Computer-Aided Design : CAD）プログラムソフト等によって、パーソナルコンピュータ（PC）端末の表示装置等に表示される設計図面に、明確に図示され得る。

[0096] 空中像表示装置 1 C は、第 1 凹面鏡 3 の湾曲度が第 2 凹面鏡 5 の湾曲度よ

りも大きく、かつ傾斜角度 $\theta_1$ が傾斜角度 $\theta_2$ よりも小さい構成であってもよい。なお、本実施形態において、第1凹面鏡3の湾曲度が第2凹面鏡5の湾曲度よりも大きいとは、第1湾曲度 $S_1$ が第3湾曲度 $S_3$ よりも大きく、かつ第2湾曲度 $S_2$ が第4湾曲度 $S_4$ よりも大きいことを指す。

[0097] 図19Aは、空中像表示装置1Cの要部構成を斜視図であり、図19Bは、図19AのX|XB部を拡大して示す拡大斜視図である。図19A、19Bに示すように、空中像Rの周縁部に位置する2点をP1、P2とし、空中像Rにおける点P1と点P2とを結ぶ辺部の中点をP3とする。反射面5aから点P1に至る画像光Lの光路長をOL1とする。反射面5aをから点P2に至る画像光Lの光路長をOL2とする。反射面5aから点P3に至る画像光Lの光路長をOL3とする。発明者らは、光路長OL1と光路長OL3との差の絶対値、および、光路長OL2と光路長OL3との差の絶対値を、所定値以下とすることによって、利用者が視認する空中像Rの歪みを低減し得ることを見出した。

[0098] 以下では、光路長OL1と光路長OL3との差の絶対値、および、光路長OL2と光路長OL3との差の絶対値のうち大きい方を光路差OPDと称する。発明者らは、第1凹面鏡3の湾曲度を第2凹面鏡5の湾曲度よりも大きくし、かつ傾斜角度 $\theta_1$ を傾斜角度 $\theta_2$ よりも小さくすることによって、光路差OPDを所定値以下とし得ることを見出した。第1凹面鏡3の湾曲度を第2凹面鏡5の湾曲度よりも大きくし、かつ傾斜角度 $\theta_1$ を傾斜角度 $\theta_2$ よりも小さくすることで、第1凹面鏡3によって反射された画像光Lが表示装置2に向かって伝播することを抑えつつ、第1凹面鏡3に入射する画像光Lの入射角を小さくできるため、空中像Rの歪みが低減されると考えられる。空中像表示装置1Cが、図19Aに示すように、利用者7に矩形状の空中像Rを視認させるように構成される場合、図19Bに示すように、点P1および点P2を空中像Rの上辺の両端に位置する点（最も歪が大きくなりやすい点）とすることで、空中像Rの歪みを効果的に低減することができる。また、所定値は、例えば2mmであってもよい。

## [0099] [表6]

装置No.	$\theta 1$	$\theta 2$	S 1	S 2	S 3	S 4	OPD
1	29.64°	37.92°	0.22	0.27	0.18	0.22	1.38mm
2	30.41°	46.82°	0.25	0.16	0.124	0.117	0.68mm
3	22.79°	37.94°	0.24	0.24	0.15	0.19	1.92mm
4	24.25°	36.67°	0.22	0.22	0.15	0.19	1.98mm

[0100] 表6は、光路差OPDを2mm以下とし得る傾斜角度 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ 、第1湾曲度S1、第2湾曲度S2、第3湾曲度S3および第4湾曲度S4の組み合わせの幾つかの例を示している。表6に示すように、第1凹面鏡3の湾曲度が第2凹面鏡5の湾曲度よりも大きくなり、かつ傾斜角度 $\theta 1$ が傾斜角度 $\theta 2$ よりも小さくなるように、傾斜角度 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ ならびに第1凹面鏡3および第2凹面鏡5の湾曲度を適宜設計することで、光路差OPDを2mm以下とすることができる。その結果、利用者が視認する空中像Rの歪みを低減することができる。表6に示すように、第1凹面鏡3の傾斜角度 $\theta 1$ は35°程度以下であってもよく、30°程度以下であってもよい。また、第2凹面鏡5の傾斜角度 $\theta 2$ は50°程度以下であってもよい。なお、装置No. 2の空中像表示装置1は、装置No. 1, 3, 4の空中像表示装置1と比べて、第1凹面鏡3および第2凹面鏡5のサイズが小さい小型の空中像表示装置1に対応する。

[0101] 第1凹面鏡3の傾斜角度 $\theta 1$ は約22°～約31°であってもよい。第2凹面鏡5の傾斜角度 $\theta 2$ は約35°～約49°であってもよい。 $\theta 1$ が22°未満では、第1凹面鏡3で反射された画像光Lの一部が、第2凹面鏡5の側へ向かわずに表示面2aに戻る傾向がある。 $\theta 1$ が31°を超えると、第1凹面鏡3で反射された画像光Lの歪が大きくなる傾向がある。 $\theta 2$ が35°未満では、空中像Rの仮想結像面9が利用者7の視線方向に対して傾く傾向がある。 $\theta 2$ が49°を超えると、第2凹面鏡5で反射された画像光Lの歪が大きくなる傾向がある。ただし、表示装置2の表示面2aの大きさ、形状、画像光Lの画角（光の広がり）等の要因によって、 $\theta 1$ 、 $\theta 2$ は変化する可能性があることから、必ずしも上記範囲に限るものではない。

[0102] 本実施形態においては、例えば、以下のような $\theta 1$ 、 $\theta 2$ の組合せ値を採

用し得るが、これらの組合せ値に限らない。

組合せ値 1 :  $\theta 1 = 29.64^\circ$  ,  $\theta 2 = 37.92^\circ$

組合せ値 2 :  $\theta 1 = 30.41^\circ$  ,  $\theta 2 = 46.82^\circ$

組合せ値 3 :  $\theta 1 = 22.79^\circ$  ,  $\theta 2 = 37.94^\circ$

組合せ値 4 :  $\theta 1 = 24.25^\circ$  ,  $\theta 2 = 36.67^\circ$

尚、 $\theta 1$  は  $-1.5^\circ \sim +1.5^\circ$  程度のずれがあってもよく、 $\theta 2$  は  $-1.0^\circ \sim 2.0^\circ$  程度のずれがあってもよい。これらのずれの範囲内であれば、空中像 R の歪を所定値（例えば、10%）以下に抑えることが容易になる。

[0103] 空中像表示装置 1 C では、第 1 凹面鏡 3 の湾曲度 S 1 , S 2 が第 2 凹面鏡 5 の湾曲度 S 3 , S 4 よりも大きいことから、表示装置 2 から射出された画像光 L を第 2 凹面鏡 5 に向けて反射する第 1 凹面鏡 3 を、表示装置 2 に近接して配置することができる。その結果、表示装置 2 および反射光学系 8 の占有空間を削減し小さくする（コンパクトにする）ことが可能となるため、空中像表示装置 1 C を小型化できる。さらに、空中像表示装置 1 C が小型化できることにより、表示装置 2 の表示面 2 a と第 2 凹面鏡 5 の反射面 5 a との間の画像光 L の光路長を短くできるため、不所望な散乱、干渉等による画像光 L の損失を低減できる。その結果、空中像表示装置 1 C の表示品位を向上させることができる。

[0104] 以上のように、本開示の空中像表示装置 1 C によれば、空中像 R の表示品位が向上した、小型の空中像表示装置を提供することができる。

[0105] 図 20 は、空中像表示装置 1 C の利用者 7 が視認する空中像 R を示すシミュレーション結果である。図 20 では、空中像 R の歪みの視覚的理解を容易にするために、空中像 R を格子状パターンの空中像とするとともに、歪み方向および歪み量を示す座標軸を記載している。図 20 において、実線は利用者 7 が視認する空中像 R を示し、破線は歪みのない理想的な空中像 I R を示す。

[0106] 図 20 に示すように、空中像 R の歪みは、空中像 R の外周部に生じやすく

、特に空中像 R の四隅の角部（右下角部 L R，左上角部 U R，左下角部 L L，左上角部 U L）において歪みが大きくなりやすい。表 7 は、図 4 の空中像 R について、角部 L R，U R，L L，U L における理想的な空中像 I R からの歪みを示している。空中像表示装置 1 C は、表 7 に示すように、角部 L R，U R，L L，U L における歪みを 7 % 以内に抑えることができる。

[0107] [表7]

	X成分	Y成分
L R	0.1%	-0.6%
U R	1.5%	-6.4%
L L	0.1%	-0.6%
U L	1.5%	-6.4%

[0108] 図 2 1 は、空中像表示装置 1 C の特徴を有さず、光路差 O P D が 2 mm より大きい空中像表示装置の利用者が視認する空中像 R を示すシミュレーション結果である。図 2 1 において、実線は利用者 7 が視認する空中像 R を示し、破線は歪みのない理想的な空中像 I R を示す。表 8 は、図 2 1 の空中像 R について、角部 L R，U R，L L，U L における理想的な空中像 I R からの歪みを示している。

[0109] [表8]

	X成分	Y成分
L R	-0.2%	-1.8%
U R	3.5%	-19.4%
L L	-0.2%	-1.8%
U L	3.5%	-19.4%

[0110] 表 8 に示すように、光路差 O P D が 2 mm 以上となる場合、四隅における歪み、特に左上角部 U R および左上角部 U L における歪みの Y 成分が大きくなっている。

[0111] 以上のように、空中像表示装置 1 C は、利用者 7 が視認する空中像 R の歪みを低減することができる。したがって、空中像表示装置 1 C によれば、空中像の表示品位が向上した空中像表示装置を提供することができる。

[0112]

[表9]

	X成分	Y成分
LR	-0.9%	-0.6%
UR	-0.3%	-2.7%
LL	-0.9%	-0.6%
UL	-0.3%	-2.7%

[0113] 図22は、小型の空中像表示装置1Cの利用者7が視認する空中像Rを示すシミュレーション結果である。小型の空中像表示装置1Cは、表6の装置No. 2に対応する空中像表示装置1である。図22において、実線は利用者7が視認する空中像Rを示し、破線は歪みのない理想的な空中像IRを示す。

[0114] 図22に示すように、空中像Rの歪みは、空中像Rの外周部に生じやすく、特に空中像Rの四隅の角部（右下角部LR，右上角部UR，左下角部LL，左上角部UL）において歪みが大きくなりやすい。表9は、図22の空中像Rについて、角部LR，UR，LL，ULにおける理想的な空中像IRからの歪みを示している。空中像表示装置1は、表9に示すように、角部LR，UR，LL，ULにおける歪みを3%以内に抑えることができる。このように、空中像表示装置1Cは、小型化された場合であっても、空中像Rの歪みを低減できる。

[0115] 図23は、図1Bの空中像表示装置1における光線の広がりの説明する要部構成の側面図である。図23に示すように、空中像Rの光線の広がり（視野角）は、表示装置の光線の広がり依存する。例えば、空中像Rのある光点の主光線の周囲に広がる、コントラスト比が90%の周辺光の光線角度（画角ともいう） $\alpha_2$ は、表示装置2における同様の光線角度 $\alpha_1$ の約 $1/2$ となる。図24に示すように、表示装置2としての液晶表示装置における主光線に対してコントラスト比が90%の周辺光の光線角度 $\alpha_1$ は、 $20^\circ$ である。従って、空中像Rにおける主光線に対してコントラスト比が90%の周辺光の光線角度 $\alpha_2$ は、約 $10^\circ$ となる。このように、空中像Rのコントラストを向上させるためには、表示装置2から射出される画像光の光線の広がり抑えることが重要となる。

[0116] 図25Aは、他の実施形態の空中像表示装置1Dを示す。空中像表示装置1Dは、図1Bの空中像表示装置1に対して、表示装置2の構成が異なり、その他については同様の構成であるので、同様の構成については、詳細な説明を省略する。図25Aは、図1Bの空中像表示装置1において、視野角制御部材としての視野角制御フィルム23を付加した表示装置2の側面図である。空中像表示装置1Dの表示装置2は、バックライト21、液晶表示パネル22、視野角制御フィルム（ルーバーともいう）23を備える。視野角制御フィルム23は、例えば、透明シリコンゴム等から成る透光層と黒色シリコンゴム等から成る遮光層を、厚さ方向と直交する方向（面方向）において、交互に積層したルーバーフィルムと、ルーバーフィルムの表面および裏面のそれぞれに貼り合わされた透明樹脂フィルムと、を備える構成であってもよい。このような視野角制御フィルム23として、信越ポリマー株式会社製製品名「シンエツVCF」等がある。視野角制御フィルム23は、液晶表示パネル22の表示面に、透明粘着層、透明粘着テープ、透明粘着フィルム等を介して貼り合わせてもよい。視野角制御フィルム23は、液晶表示パネル22との間に隙間ができるように、液晶表示パネル22から離して配置してもよい。

[0117] 視野角制御フィルム23は、液晶表示パネル22の表示面から射出される画像光の光線の広がりを抑えて、視野角を狭い範囲に絞ることができる。例えば、視野角制御フィルム23を用いることにより、液晶表示パネル22における、主光線に対してコントラスト比が90%の周辺光の光線角度 $\alpha 1$ を、最大輝度である中心の光の光軸方向に対して $-20^\circ \sim +20^\circ$ 程度の範囲に狭めることができる。従って、空中像Rにおける、主光線に対してコントラスト比が90%の周辺光の光線角度 $\alpha 2$ は、 $\alpha 1$ の半分程度となる。その結果、空中像Rのコントラストが向上する。

[0118] 図25Aの構成において、バックライト21および液晶表示パネル22に代えて、自発光型表示パネルを用いてもよい。自発光型表示パネルは、ガラス基板等の基板上に、LED素子、有機エレクトロルミネッセンス (Organic

Electro Luminescence ; O E L ) 素子、有機発光ダイオード (Organic Light Emitting Diode ; O L E D ) 素子、半導体レーザ (Laser Diode ; L D ) 素子等の自発光素子を、複数個マトリックス状に配列した構成であってもよい。

[0119] 図 2 5 B は、他の実施形態の空中像表示装置 1 E を示す。空中像表示装置 1 E は、図 1 B の空中像表示装置 1 に対して、表示装置 2 の構成が異なり、その他については同様の構成であるので、同様の構成については、詳細な説明を省略する。図 2 5 B は、図 1 B の空中像表示装置 1 において、視野角制御フィルム 2 3 を付加した表示装置 2 の側面図である。表示装置 2 は、バックライト 2 1 と液晶表示パネル 2 2 との間に、視野角制御フィルム 2 3 が位置する構成である。視野角制御フィルム 2 3 は、バックライト 2 1 の発光面または液晶表示パネル 2 2 の反表示面に、透明粘着層、透明粘着テープ、透明粘着フィルム等を介して貼り合わせてもよい。視野角制御フィルム 2 3 は、バックライト 2 1 と液晶表示パネル 2 2 との間の空間に、バックライト 2 1 および液晶表示パネル 2 2 から離して配置してもよい。

[0120] 視野角制御フィルム 2 3 は、バックライト 2 1 の発光面から出力される光の光線の広がりを抑えて、視野角を狭い範囲に絞ることができる。例えば、視野角制御フィルム 2 3 を用いることにより、バックライト 2 1 における、主光線に対してコントラスト比が 9 0 % の周辺光の光線角度  $\alpha 1$  を、最大輝度である中心の光の光軸方向に対して  $-2 0 ^{\circ} \sim +2 0 ^{\circ}$  程度の範囲に狭めることができる。従って、空中像 R における、主光線に対してコントラスト比が 9 0 % の周辺光の光線角度  $\alpha 2$  は、光線角度  $\alpha 1$  の半分程度となる。その結果、空中像 R のコントラストが向上する。

[0121] 図 2 6 は、M T F 測定装置 (解像度測定装置ともいう) 3 1 の斜視図である。M T F 測定装置 3 1 は、空中像表示装置 3 2 と、カメラ等の撮像装置 3 7 と、検出部 3 8 とを含む。M T F 測定装置 3 1 は、装置台 4 0 を含んでよい。空中像表示装置 3 2 および撮像装置 3 7 は、装置台 4 0 上に位置してよい。空中像表示装置 3 2 は、図 2 7 に示すように、画像表示部 3 3 を含み、

画像表示部 33 から射出された画像光  $L_p$  を、実像の空中像  $R$  として結像させる。MTF 測定装置 31 は、空中像  $R$  の結像面（仮想結像面ともいう） $R_p$  内の撮像画像に基づいて、空中像  $R$  の MTF または MTF の面積を算出する検出部 38 を備える。MTF の面積は、輝度分布波形の線広がり関数（図 31 に示す）および MTF の値と比較して、数値的に 10 倍～20 倍程度以上と大きくなる。例えば、図 32 のグラフにおいて、空間周波数が 6 で MTF の値は約 0.4 であるが、MTF の面積は約 8（MTF 値の約 20 倍）である。従って、MTF の面積を解像度の高低を比較する指標として用いると、精度の高い解像度の高低の比較をすることができる。

[0122] 図 27 に示すように、空中像表示装置 32 は筐体 36 を備えていてもよい。その場合、空中像表示装置 32 の画像表示部 33、光学系 35 等の構成部材 32a は、筐体 36 に收容される。筐体 36 は、樹脂製、金属製、セラミック製のものであってもよい。構成部材 32a は、回路基板、配線、ケーブル、ヒートシンク等の放熱部材、第 1 凹面鏡 35a を保持する枠状の保持部材、第 2 凹面鏡 35b を保持する枠状の保持部材、第 1 凹面鏡 35a の角度及び位置を調整する調整部材、第 2 凹面鏡 35b の角度及び位置を調整する調整部材等を含んでいてもよい。筐体 36 は、撮像装置 37 に臨む部位の少なくとも一部が、構成部材 32a から射出される画像光  $L_p$  を透過する透光性部材 36a で構成されている。空中像表示装置 32 は、構成部材 32a 全体を回転させる第 2 回転装置 43 を備えていてもよい。第 2 回転装置 43 は、空中像表示装置 32 の構成部材 32a 全体を、第 2 回転軸  $A_2$  まわりに回転させるよう制御する。これにより、空中像  $R$  の光軸方向  $D_a$  を調整することができる。画像表示部 33 は、表示パネル 34 を含む。表示パネル 34 は、表示面 34a を有しており、表示面 34a に空中像  $R$  として結像される画像を表示する。

[0123] 空中像  $R$  の光軸方向  $D_a$  は、仮想結像面  $R_p$  に直交する方向であってよい。仮想結像面  $R_p$  は、空間における空中像  $R$  が結像する仮想的な面である。撮像装置 37 は、例えば図 27 に示す利用者 7 の眼  $7e$  として想定され、空

中像表示装置 32 が結像する空中像 R を撮像する。撮像装置 37 は、空中像表示装置 32 の正面の方向に位置している。即ち、撮像装置 37 は、空中像表示装置 32 から、空中像 R の光軸方向 D a において離隔して位置するように配置される。撮像装置 37 は、空中像 R を撮像方向 37 d において撮像してよい。撮像方向 37 d は、空中像 R の光軸方向 D a に一致してよい。撮像方向 37 d と空中像 R の光軸方向 D a を一致させるために、検出部 38 は、第 1 回転装置 42 (図 26 に示す) が、撮像装置 37 を所定の回転軸 (例えば、図 26 に示す第 1 回転軸 A 1) まわりに回転させるよう制御してよい。

[0124] 撮像装置 37 は、複数の撮像素子を含んで構成されてよい。撮像素子は、例えば CCD (Charge Coupled Device) 撮像素子であってよいし、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 撮像素子であってよい。撮像装置 37 は、撮像素子と、対物レンズ等の光学装置と、を含むカメラ (例えば、CCD カメラ) であってもよい。撮像装置 37 は、絞り値 (F 値ともいう) が変更可能であってよい。撮像装置 37 は、例えば、絞り値を 2 ~ 22 の範囲内において変更可能であってよい。撮像装置 37 は、装置台 40 の上面 40 a に対して傾斜して位置していてもよい。即ち、撮像装置 37 は、その高さ方向 (例えば、撮像装置 37 の上面に直交する方向) が奥行方向 (Z 1 軸方向) と平行な回転軸まわりに 3° ~ 5° 程度傾斜していてもよい。

[0125] 検出部 38 は、制御部および演算処理部としての機能を備えていてもよい。また、MTF 測定装置 31 は、取得部 44 を備えていてもよい。取得部 44 は、画像データの記憶装置としての機能を備えていてもよい。検出部 38 および取得部 44 は、測定装置 48 (図 26 に記載) に含まれていてもよい。測定装置 48 は、パーソナルコンピュータ (Personal Computer : PC) 装置等の計算装置に含まれていてもよく、撮像装置 37 に含まれていてもよい。また、測定装置 48 は、制御回路部および演算処理回路部を含む回路基板装置であってもよい。検出部 38 と撮像装置 37 との信号の送受信の方式、取得部 44 と撮像装置 37 との信号の送受信の方式、取得部 44 と検出部 38 との信号の送受信の方式は、有線通信方式、無線通信方式、および赤外線

通信方式等の少なくとも一種を用いたものであってもよい。

[0126] 検出部38は、MTF測定装置31の制御部として機能し得る。即ち、検出部38は、MTF測定装置31の各構成要素に接続され、各構成要素を制御し得る。検出部38は、1つまたは複数のプロセッサを含んでよい。プロセッサは、特定のプログラムを読み込ませて特定の機能を実行するように構成される汎用のプロセッサ、および特定の処理に特化した専用のプロセッサの少なくとも一方を含んでよい。専用のプロセッサは、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) を含んでいてもよい。プロセッサは、PLD (Programmable Logic Device) を含んでよい。PLDは、FPGA (Field-Programmable Gate Array) を含んでいてもよい。検出部38は、1つまたは複数のプロセッサが協働するように構成されるSOC (System-on-a-Chip)、およびSIP (System In a Package) の少なくとも一方を含んでよい。

[0127] 検出部38は、空中像Rのテストパターン等の撮像画像の画像データに基づいて、MTFまたはMTFの面積を求めるための演算処理を実行する演算部を有していてもよい。即ち、撮像装置37が、結像面Rp内の少なくとも1つの撮像部位を撮像した撮像画像を生成したときに、検出部38は、撮像画像の画像データを取得する。この取得の制御は、取得部44 (図26に記載) を介して実行してもよい。取得部44は、バッファメモリ等の一時記憶装置であってもよい。例えば、撮像装置37が撮像画像を生成したら、撮像画像の画像データを、取得部44に自動的に出力してもよい。また、取得部44の記憶領域が空いているか否か、取得部44から検出部38への前回の画像データの出力が終わっているか否かの確認を、確認信号のやり取りによって行った後に、撮像装置37から画像データを取得部44に出力してもよい。検出部38は、撮像装置37から撮像画像の画像データを取得し、画像データに基づいて演算処理し、撮像画像のMTFまたはMTFの面積を算出する。

[0128] MTFまたはMTFの面積を算出するためのテストパターン39は、図2

8に示すように、第1帯状画像39aおよび第2帯状画像39bの繰り返しパターンであってよい。尚、図28は、ぼけ（解像度劣化）ない理想的なテストパターン39を示している。第1帯状画像39aおよび第2帯状画像39bは、結像面R<sub>p</sub>内の幅方向（Y1軸方向）に略直交する高さ方向（X1軸方向）に細長い画像であってよい。テストパターン39は、少なくとも3つの第1帯状画像39aを含んでよい。図28は、第1帯状画像39aが白画像であり、第2帯状画像39bが黒画像である例を示しているが、これに限定されない。第1帯状画像39aと第2帯状画像39bとは、輝度および色のうちの少なくとも一方が異なっていればよい。図29は、撮像装置37の高さ方向（例えば、撮像装置37の上面に直交する方向）が奥行方向（Z1軸方向）と平行な回転軸まわりに3°～5°程度傾斜している場合のテストパターン39を示す。図30は、ぼけ（解像度劣化）が生じているテストパターン39を示している。

[0129] 奥行方向（Z1軸方向）における撮像装置37と空中像Rとの距離（撮像距離ともいう）は、例えば300mm～700mmであってよいし、500mmであってよい。撮像距離は、撮像装置37と空中像Rの中心付近との距離であってよい。撮像装置37の焦点距離は、所定の焦点距離に固定されている。所定の焦点距離は、撮像距離に一致してよい。以下では、特に断らない限り、撮像距離は、撮像装置37の焦点距離に設定されているものとする。尚、撮像距離は、変更可能であってもよい。例えば、移動装置41が撮像距離を変更するように、検出部38が制御してもよい。検出部38は、撮像装置37の焦点距離と撮像距離が一致する位置を検出するために、移動装置41を制御してもよい。

[0130] 検出部38は、撮像装置37の絞り値を3以下（例えば2.3）に設定するよう制御してよい。撮像装置37の絞り値を比較的小さい値に設定することで、撮像装置37の被写界深度（被写界焦点深度ともいう）を浅く（短く）することができる。即ち、奥行方向において被写体に焦点の合う範囲を小さく（狭く）することができる。その結果、奥行方向における空中像Rの位

置を精度よく検出することができる。

[0131] MTF測定装置31は、図26に示すように、撮像装置37を奥行方向に沿って移動させる移動装置41を含んでよい。移動装置41は、撮像装置37を所定距離 $\Delta Z$ 単位で移動させうるように構成される。所定距離 $\Delta Z$ は、例えば、1mm~5mm程度であってよいし、1mm~2mm程度であってよい。移動装置41は、例えば、レール41rと、保持部材（支持部材ともいう）41hと、保持部材41hを上面の側に設置した移動台（スライダともいう）41tと、を含んで構成される。レール41rは、装置台40の上面40aに位置し、奥行方向に沿って延びている。保持部材41hは、撮像装置37を支持し保持している。保持部材41hが撮像装置37を保持した状態で、移動台41tがレール41r上を奥行方向に沿って移動することができる。奥行方向に沿った移動台41tの移動は、検出部38によって制御されてもよい。

[0132] MTFは、以下の方法によって算出してよい。第1の算出方法は、テストパターン39の第1帯状画像（白線部）39aの輝度分布波形（図31に示す）に基づいて、MTFを求める方法である。第2の算出方法は、図33、34に示すチャート法によって算出する方法である。

[0133] 第1の算出方法について説明する。まず、例えば、撮像装置37によって図30に示す第1帯状画像（白線部）39aの撮像部位F1を撮像し、撮像画像C1の画像データを取得する。撮像画像C1の画像データを検出部38によって演算処理し、図31に示すような輝度分布波形を算出する。輝度分布波形は、1つの第1帯状画像39aの複数の撮像部位について、それぞれ算出し、平均化処理してもよい。また、輝度分布波形は、複数の第1帯状画像39aの各撮像部位について、それぞれ算出し、平均化処理してもよい。輝度分布波形は、Y1軸方向の位置による輝度の変化を表すパルス状の波形である。図31の横軸は、Y1軸方向の位置の変化を表す。図31は、Y1軸方向における複数の画素（例えば、60個の画素）内において、30個目の画素の位置に輝度分布波形の最高値（ピーク値）が位置するように表示し

ている。輝度分布波形は、線広がり関数 (Line Spread Function : L S F) とも称される。線広がり関数 L S F は、図 3 1 に示すように、略ガウス型の形状を有する。線広がり関数は、ピーク値 H および半値幅 W で特徴付けられてもよい。ピーク値 H は、線広がり関数の最大値である。例えば、線広がり関数のピーク値 H が大きいほど、撮像距離が撮像装置 3 7 の焦点距離に近いと判断できる。半値幅 W は、ピーク値 H の略 5 0 % の輝度を有する線広がり関数の幅であり、画素数を単位として表される。例えば、線広がり関数の半値幅 W が小さいほど、撮像距離が撮像装置 3 7 の焦点距離に近いと判断できる。また、ピーク値 H を半値幅 W で除算して得られる組み合わせ値が大きいほど、撮像距離が撮像装置 3 7 の焦点距離に近いと判断できる。

[0134] 尚、線広がり関数 L S F の半値幅 (half width) は、パルス状 (山形状) の関数の広がり程度を表す指標である。半値全幅 (full width at half maximum : F W H M) と、その半分の値の半値半幅 (half width at half maximum : H W H M) とがあるが、一般に単に半値幅という場合、半値幅は半値全幅のことを指す。従って、本開示において、特にことわらない場合、半値幅は半値全幅のことを意味する。具体的には、半値幅 (半値全幅) は、図 3 1 に示す輝度分布波形において、ピーク値 H の周囲で単調に減少する分布の広がりを示す数値で、ピーク値 H の両側でピーク値 H の半分の値が示す位置の間の距離である。

[0135] 次に、線広がり関数 L S F をフーリエ変換することによって、変調伝達関数 M T F を算出する。尚、フーリエ変換は、例えば、パルス状の波形で表される関数を、周波数領域で連続的な値で表される曲線 (正弦波形曲線、余弦波形曲線、またはそれらの合成曲線で表される連続的な曲線) に変換する操作である。

[数3]

$$MTF(v) = \left| C \int_{-\infty}^{\infty} LSF(x) e^{-2\pi i x v} dx \right| \quad \dots(3)$$

式 (3) において、L S F ( x ) は、撮像画像内の位置 x の関数としての

線広がり関数  $L S F$  を総括的に表し、 $M T F (\nu)$  は、空間周波数  $\nu$  の関数としての  $M T F$  を総括的に表し、 $C$  は、 $M T F (0)$  を「1」に正規化するための定数である。図 3 2 は、 $M T F (\nu)$  の一例を示すグラフである。 $M T F (\nu)$  は、撮像画像のコントラストに基づく解像度を表す指標である。例えば、空間周波数  $\nu$  が高い領域 ( $6 / \text{mm} \sim 16 / \text{mm}$  程度) における  $M T F$  の値が大きいほど、撮像距離が撮像装置 3 7 の焦点距離に近いと判断できる。式 (1) における積分区間の上限および下限はそれぞれ、有限値 (例えば、空間周波数  $0 \sim 18 (1 / \text{mm})$ ) に置き換えてよく、この場合、検出部 3 8 の処理負担を軽減することができる。式 (1) によって  $M T F$  を算出する際、離散フーリエ変換または高速フーリエ変換等の手法を用いてよい。

[0136] 図 3 2 において、実線で示す  $M T F 1$  は、空中像 R の  $M T F$  が画像表示部 3 3 の  $M T F$  と同等である場合の  $M T F$  であり、理想的な  $M T F$  を示す。破線で示す  $M T F 2$  は、空中像 R の  $M T F$  が画像表示部 3 3 の  $M T F$  から低下している (解像度が低下している) 場合の  $M T F$  である。

[0137] 尚、検出部 3 8 は、次の式 (4) で表されるように、 $M T F$  を空間周波数軸において積分して成る面積 (以下、 $M T F$  面積ともいう)  $S$  を算出してもよい。式 (4) における積分区間の上限は、有限値 (例えば、空間周波数  $0 \sim 18 (1 / \text{mm})$ ) に置き換えてよく、この場合、検出部 3 8 の処理負担を軽減することができる。

[数4]

$$S = \left| \int_0^{\infty} M T F (\nu) d\nu \right| \quad \dots(4)$$

$M T F$  の面積は、例えば、図 3 2 のグラフの実線で表した  $M T F 1$  の面積 (斜線部) で示す。空中像 R の解像度が劣化した場合、撮像部位の  $M T F$  の面積 (図 3 2 のグラフの破線で表した  $M T F 2$  の面積) は上限値 (図 3 2 のグラフの実線で表した  $M T F 1$  の面積) から低下する。 $M T F$  の面積は撮像装置 3 7 の絞り値によって変化するため、一概に特定の値にはならないが、

例えば図32の例では7～9程度が上限値（理想値）である。

[0138] 次に、第2の算出方法について説明する。検出部38は、MTFをチャート法によって算出する場合、空中像表示装置32が、図33に示すような空中像39'を結像するよう制御する。尚、図33は、ぼけ（解像度劣化）がない理想的な空中像39'を示している。空中像39'は、撮像部位が、空間周波数（白画像部分のピッチ）が互いに異なる複数の矩形波チャート9c, 9d, 9e, 9fを含むように構成される。従って、撮像画像は、図34に示すように、空間周波数 $\nu$ が互いに異なる複数の矩形波チャート9c～9fの像を含む。検出部38は、撮像装置37が、空中像39'を撮像し、撮像部位を撮像した撮像画像を生成し、撮像画像の画像データを出力するよう制御する。撮像装置37は、空中像39'を撮像する際、装置台40の上面40aに対して傾斜いなくてよい。検出部38は、撮像画像について、各矩形波チャート9c～9fを撮像した部分像の輝度の最大値 $a_\nu$ および最小値 $b_\nu$ 、ならびにコントラスト $c_\nu = (a_\nu - b_\nu) / (a_\nu + b_\nu)$ を算出する。さらに、検出部38は、各空間周波数 $\nu$ のコントラスト $c_\nu$ を最も低い空間周波数 $\nu$ のコントラスト $c_\nu$ で正規化し、矩形波レスポンス関数（Square Wave Response Function: SWRF）を算出する。検出部38は、矩形波レスポンス関数を正弦波レスポンス関数に変換し、MTFを算出する。矩形波レスポンス関数を正弦波レスポンス関数に変換する際、コルトマンの式を用いてよい。コルトマンの式は、第4項まで用いてよいし、第12項まで用いてもよい。

[0139] 空間周波数を $u$ 、コントラスト比を $Cont(u)$ 、最大輝度を $I_{max}(u)$ 、最小輝度を $I_{min}(u)$ とすると、 $Cont(u)$ は下記式で表される。

[数5]

$$Cont(u) = \frac{I_{max}(u) - I_{min}(u)}{I_{max}(u) + I_{min}(u)} \quad \dots(5)$$

[0140] 矩形波レスポンス関数（Square Wave Response Function）SWRF( $u$ )は、空間周波数0におけるコントラスト比を $Cont(0)$ とすると、式（

6) で表される。

[数6]

$$SWRF(u) = \frac{Cont(u)}{Cont(0)} \quad \dots(6)$$

[0141] コルトマンの変換の式を用いることで、式(7)で表される正弦波レスポンス関数(MTF)を求めることができる。

[数7]

$$MTF(u) = \frac{\pi}{4} \sum_{k=1}^{\infty} B_k \frac{SWRF\{(2k-1)u\}}{(2k-1)} \quad \dots(7)$$

ただし、 $m=n$  のとき、 $B_k = (-1)^n (-1)^{k-1}$  であり、 $m > n$  のとき、 $B_k = 0$  である。ここで、 $m$  は、 $(2k-1)$  を素因数分解したときの素数の総数であり、 $n$  は、 $(2k-1)$  を素因数分解したときの素数の種類の数である。たとえば、式(7)を第12項まで展開した場合、MTFは、以下の式(8)で表される。

[数8]

$$MTF(u) = \frac{\pi}{4} \left\{ SWRF(u) + \frac{SWRF(3u)}{3} - \frac{SWRF(5u)}{5} + \frac{SWRF(7u)}{7} + \frac{SWRF(11u)}{11} - \frac{SWRF(13u)}{13} - \frac{SWRF(15u)}{15} - \frac{SWRF(17u)}{17} + \frac{SWRF(19u)}{19} + \frac{SWRF(21u)}{21} + \frac{SWRF(23u)}{23} - \frac{SWRF(29u)}{29} + \dots \right\} \quad \dots(8)$$

[0142] 空中像表示装置10、1、1A、1B、1C、1D、1Eは、車両、船舶、航空機等の移動体、すなわち乗り物に搭載されていてもよい。車両は、例えば、自動車、産業車両、鉄道車両、生活車両、滑走路を走行する固定翼機等を含む。自動車は、例えば、乗用車、トラック、バス、二輪車、トロリーバス等を含む。産業車両は、例えば、農業および建設向けの産業車両等を含む。産業車両は、例えば、フォークリフト、ゴルフカート等を含む。農業向けの産業車両は、例えば、トラクター、耕耘機、移植機、バインダー、コンバイン、芝刈り機等を含む。建設向けの産業車両は、例えば、ブルドーザー、スクレーパー、ショベルカー、クレーン車、ダンプカー、ロードローラ等

を含む。車両は、人力で走行するものを含んでいてもよい。船舶は、例えば、マリンジェット、ボート、タンカー等を含む。航空機は、例えば、固定翼機、回転翼機等を含む。空中像表示装置10, 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1Eは、移動体のダッシュボード内に配置されていてもよい。

[0143] 空中像表示装置10, 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1Eを含む移動体は、利用者（例えば、移動体の運転者）に歪みが少なく、高輝度および高コントラスト比を有する空中像Rを視認させることができる。空中像Rは、移動体の状態（例えば、移動体の速度、加速度、姿勢等）、移動体の周囲状況等に関する情報を含んでいてもよい。

[0144] 空中像表示装置10, 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1Eは、利用者7の顔を撮像するカメラを備えていてもよい。カメラは、赤外光カメラであってもよく、可視光カメラであってもよい。カメラは、CCDイメージセンサ、またはCMOSイメージセンサを含んでいてもよい。制御装置6は、カメラから出力される撮像データに基づいて、利用者7の眼の位置を検出してもよい。制御装置6は、検出した眼の位置に基づいて、表示面2aに表示する画像を変形させてもよい。この場合、利用者7の眼の位置が移動したときも、空中像Rの歪みを低減することが可能となる。空中像表示装置10, 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1Eが移動体に搭載される場合、カメラは移動体に取り付けられていてもよい。カメラは、例えば、移動体のダッシュボード内に位置していてもよく、ダッシュボード上に位置していてもよい。

[0145] 空中像表示装置10は、凸面鏡4および結像凹面鏡5のうちの少なくとも1つを移動させる駆動装置を備えていてもよい。空中像表示装置1, 1B, 1D, 1Eは、第1凹面鏡3、凸面鏡4および第2凹面鏡5のうちの少なくとも1つを移動させる駆動装置を備えていてもよい。空中像表示装置1A, 1Cは、第1凹面鏡3および第2凹面鏡5のうちの少なくとも1つを移動させる駆動装置を備えていてもよい。駆動装置は、上記の調整部材を含んでもよい。制御装置6は、検出した眼の位置に基づいて、空中像表示装置10の凸面鏡4および結像凹面鏡5のうちの少なくとも1つを移動させるように駆

動装置を制御してもよく、空中像表示装置 1, 1 B, 1 D, 1 E の第 1 凹面鏡 3、凸面鏡 4 および第 2 凹面鏡 5 のうちの少なくとも 1 つを移動させるように駆動装置を制御してもよく、空中像表示装置 1 A, 1 C の第 1 凹面鏡 3 および第 2 凹面鏡 5 のうちの少なくとも 1 つを移動させるように駆動装置を制御してもよい。この場合、利用者 7 の眼の位置が移動したときも、空中像 R の歪みを低減することが可能となる。駆動装置は、例えばモータ、圧電素子等を含んで構成されていてもよい。

[0146] 空中像表示装置 1 O, 1, 1 A, 1 B, 1 C, 1 D, 1 E は、乗り物に設置されるヘッドアップディスプレイであってもよい。この場合、例えば、乗り物のフロントウィンドシールドの一部を反射部材とし、その反射部材を結像凹面鏡 5 または第 2 凹面鏡 5 に代えて使用してもよい。空中像表示装置 1 O, 1, 1 A, 1 B, 1 C, 1 D, 1 E は、その反射部材を介して利用者が空中像 R を視認する構成であってもよい。反射部材は、半透過反射型（約半分の光を透過させ、約半分の光を反射するもの）であってもよい。

[0147] 空中像表示装置 1, 1 A, 1 B は、図 1 B, 図 7, 図 11 に示すように、空中像表示装置 1, 1 A, 1 B を側方からみたときに、第 1 凹面鏡 3 と第 2 凹面鏡 5 との間に、表示装置 2（および凸面鏡 4）が位置している構成であってもよい。換言すると、空中像表示装置 1, 1 A, 1 B は、第 1 凹面鏡 3 が最下位置または最上位置にあり、第 2 凹面鏡 5 が最上位置または最下位置にある構成であってもよい。この場合、空中像表示装置 1, 1 A, 1 B の高さを低くし、小型化することが容易になる。

[0148] 本開示の空中像表示装置によれば、空中像の表示品位が向上した空中像表示装置を提供することができる。

[0149] 以上、本開示の実施形態について詳細に説明したが、本開示は上述の実施の形態に限定されず、本開示の要旨を逸脱しない範囲内において、種々の変更、改良等が可能である。

[0150] 本開示は、以下の（1）～（10）の構成で実施可能である。

[0151] （1）表示装置と、

前記表示装置から射出された画像光を反射する凸面鏡と、  
前記凸面鏡によって反射された前記画像光を、前記凸面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する凹面鏡と、を備え、  
前記凹面鏡の湾曲度が、前記凸面鏡の湾曲度よりも大きい、空中像表示装置。

[0152] (2) 表示装置と、

前記表示装置から射出された画像光を、前記表示装置に向かう方向とは異なる方向に反射する第1凹面鏡と、

前記第1凹面鏡によって反射された前記画像光を、前記第1凹面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射する凸面鏡と、

前記凸面鏡によって反射された前記画像光を、前記凸面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する第2凹面鏡と、を備え、

前記第1凹面鏡の湾曲度を $S_{a1}$ とし、前記凸面鏡の湾曲度を $S_b$ とし、前記第2凹面鏡の湾曲度を $S_{a2}$ としたとき、 $S_{a1} > S_{a2} > S_b$ である、空中像表示装置。

[0153] (3) 前記第2凹面鏡の反射面の最大径の長さが、前記第1凹面鏡の反射面の最大径の長さよりも大きい、上記構成(2)に記載の空中像表示装置。

[0154] (4) 前記第1凹面鏡および前記第2凹面鏡は、自由曲面凹面鏡であり、前記凸面鏡は、自由曲面凸面鏡である、上記構成(2)または(3)に記載の空中像表示装置。

[0155] (5) 前記空中像の仮想結像面に平行な方向に沿って、前記第2凹面鏡の背面側から前記第2凹面鏡を見たとき、前記第2凹面鏡が、前記表示装置と、前記第1凹面鏡と、前記凸面鏡とに重なっている、上記構成(2)～(4)のいずれかに記載の空中像表示装置。

[0156] (6) 前記空中像の仮想結像面に平行な方向に沿って、前記第2凹面鏡の背面側から前記第2凹面鏡を見たとき、前記第2凹面鏡は、前記表示装置と、前記第1凹面鏡と、前記凸面鏡とを内包している、上記構成(2)～(5)

のいずれかに記載の空中像表示装置。

[0157] (7) 前記表示装置の表示面と前記空中像の仮想結像面とが略平行である、上記構成(2)～(6)のいずれかに記載の空中像表示装置。

[0158] (8) 前記表示装置から射出された前記画像光の主光線と光軸とが略平行である、上記構成(2)～(7)のいずれかに記載の空中像表示装置。

[0159] (9) 表示装置と、

前記表示装置から射出された画像光を反射し、実像の空中像として結像する反射光学系と、を備え、

前記空中像は、歪みが5%以下であるとともに、変調伝達関数で表される、最大値を1に正規化したコントラスト値が、空間周波数3～10サイクル／ミリメートルにおいて、0.2以上である、空中像表示装置。

[0160] (10) 前記反射光学系は、前記表示装置から射出された画像光を、前記表示装置に向かう方向とは異なる方向に反射する第1凹面鏡と、

前記第1凹面鏡によって反射された前記画像光を、前記第1凹面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する第2凹面鏡と、を備え、

前記第1凹面鏡の湾曲度が前記第2凹面鏡の湾曲度よりも大きい、構成(9)に記載の空中像表示装置。

[0161] (11) 前記第1凹面鏡および前記第2凹面鏡は、自由曲面凹面鏡である、上記構成(10)に記載の空中像表示装置。

### 産業上の利用分野

[0162] 本開示の空中像表示装置は、空中像をタッチレスで操作することを可能にし、その結果以下のような種々の製品分野において利用できるが、以下に限るものではない。例えば、空中像を伴って会話・通信等を行う通信装置、医師が患者に空中像を通して問診を行う医療用の問診装置、自動車等の乗り物用のナビゲーション装置・運転制御装置、店舗等用の注文発注受注装置・レジスタ装置、建築物・エレベーター等用の操作パネル、空中像を伴って授業をし、または授業を受ける学習装置、空中像を伴って業務連絡・指示等を行

う事務機器、空中像を伴って遊戯を行う遊戯機、遊園地・ゲームセンター等で地面・壁面等に画像を投影する投影装置、大学・医療機関等において空中像によって模擬実験等を行うためのシミュレーター装置、市場・証券取引所等で価格等を表示する大型ディスプレイ、空中像の映像を鑑賞する映像鑑賞装置などである。

## 符号の説明

- [0163] 1 0, 1, 1 A, 1 B, 1 C, 1 D, 1 E 空中像表示装置
- 2 表示装置
  - 2 a 表示面
  - 3 第1凹面鏡
  - 3 a 反射面
  - 4 凸面鏡
  - 4 a 反射面
  - 5 凹面鏡（結像凹面鏡、第2凹面鏡）
  - 5 a 反射面
  - 6 制御装置
  - 7 利用者
  - 7 e 眼
- 8, 8 A, 8 B 反射光学系
- 2 1 バックライト
  - 2 2 液晶表示パネル
  - 2 3 視野角制御フィルム
  - 3 1 M T F 測定装置
  - 3 2 空中像表示装置
  - 3 2 a 構成部材
  - 3 3 画像表示部
  - 3 4 表示パネル
  - 3 4 a 表示面

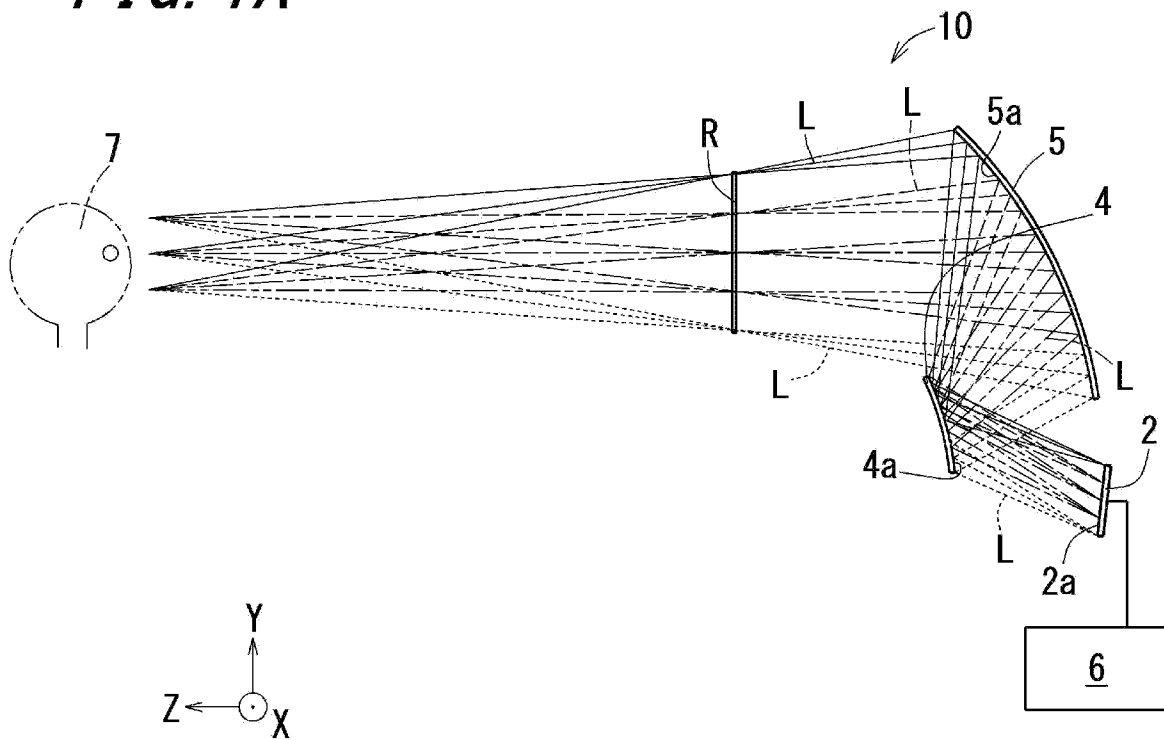
- 3 5 光学系
- 3 5 a 第1凹面鏡
- 3 5 b 第2凹面鏡
- 3 6 筐体
- 3 6 a 画像光射出面
- 3 7 撮像装置
- 3 7 d 撮像方向
- 3 8 検出部
- 3 9 テストパターン
- 3 9 a 第1帯状画像
- 3 9 b 第2帯状画像
- 3 9' 空中像
- 4 0 装置台
- 4 1 移動装置
- 4 1 h 保持部材
- 4 1 r レール
- 4 1 t 移動台
- 4 2 第1回転装置
- 4 3 第2回転装置
- 4 4 取得部
- 4 8 測定装置
- R 空中像
- R p 結像面

## 請求の範囲

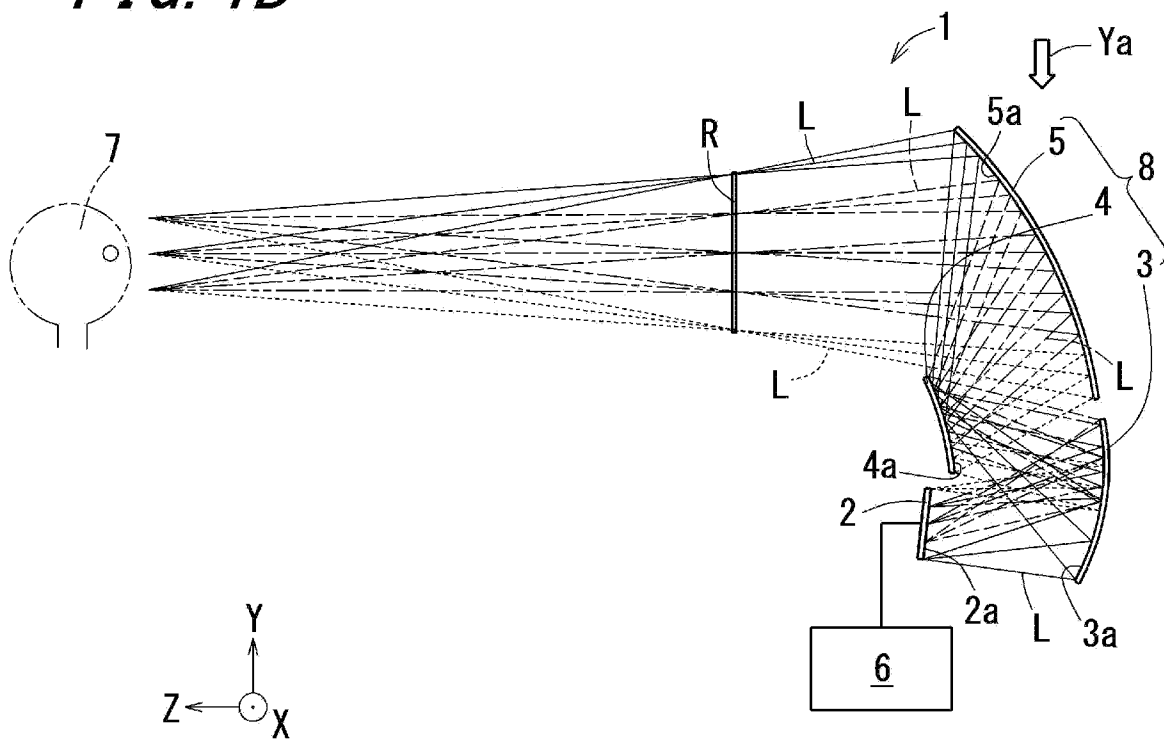
- [請求項1] 表示装置と、  
前記表示装置から射出された画像光を反射する凸面鏡と、  
前記凸面鏡によって反射された前記画像光を、前記凸面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する凹面鏡と、  
を備え、  
前記凹面鏡の湾曲度が、前記凸面鏡の湾曲度よりも大きい、空中像表示装置。
- [請求項2] 表示装置と、  
前記表示装置から射出された画像光を、前記表示装置に向かう方向とは異なる方向に反射する第1凹面鏡と、  
前記第1凹面鏡によって反射された前記画像光を、前記第1凹面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射する凸面鏡と、  
前記凸面鏡によって反射された前記画像光を、前記凸面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する第2凹面鏡と、  
を備え、  
前記第1凹面鏡の湾曲度を  $S_{a1}$  とし、前記凸面鏡の湾曲度を  $S_b$  とし、前記第2凹面鏡の湾曲度を  $S_{a2}$  としたとき、 $S_{a1} > S_{a2} > S_b$  である、空中像表示装置。
- [請求項3] 前記第2凹面鏡の反射面の最大径の長さが、前記第1凹面鏡の反射面の最大径の長さよりも大きい、請求項2に記載の空中像表示装置。
- [請求項4] 前記第1凹面鏡および前記第2凹面鏡は、自由曲面凹面鏡であり、  
前記凸面鏡は、自由曲面凸面鏡である、請求項2または3に記載の空中像表示装置。
- [請求項5] 前記空中像の仮想結像面に平行な方向に沿って、前記第2凹面鏡の背面側から前記第2凹面鏡を見たとき、前記第2凹面鏡が、前記表示装置と、前記第1凹面鏡と、前記凸面鏡とに重なっている、請求項2～4のいずれか1項に記載の空中像表示装置。

- [請求項6] 前記空中像の仮想結像面に平行な方向に沿って、前記第2凹面鏡の背面側から前記第2凹面鏡を見たとき、前記第2凹面鏡は、前記表示装置と、前記第1凹面鏡と、前記凸面鏡とを内包している、請求項2～5のいずれか1項に記載の空中像表示装置。
- [請求項7] 前記表示装置の表示面と前記空中像の仮想結像面とが略平行である、請求項2～6のいずれか1項に記載の空中像表示装置。
- [請求項8] 前記表示装置から射出された前記画像光の主光線と光軸とが略平行である、請求項2～7のいずれか1項に記載の空中像表示装置。
- [請求項9] 表示装置と、  
前記表示装置から射出された画像光を反射し、実像の空中像として結像する反射光学系と、を備え、  
前記空中像は、歪みが5%以下であるとともに、変調伝達関数で表される、最大値を1に正規化したコントラスト値が、空間周波数3～10サイクル/ミリメートルにおいて、0.2以上である、空中像表示装置。
- [請求項10] 表示装置と、  
前記表示装置から射出された画像光を反射し、実像の空中像として結像する反射光学系と、を備え、  
前記反射光学系は、前記表示装置から射出された画像光を、前記表示装置に向かう方向とは異なる方向に反射する第1凹面鏡と、  
前記第1凹面鏡によって反射された前記画像光を、前記第1凹面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する第2凹面鏡と、を備え、  
前記第1凹面鏡の湾曲度が前記第2凹面鏡の湾曲度よりも大きい、空中像表示装置。
- [請求項11] 前記第1凹面鏡および前記第2凹面鏡は、自由曲面凹面鏡である、請求項10に記載の空中像表示装置。

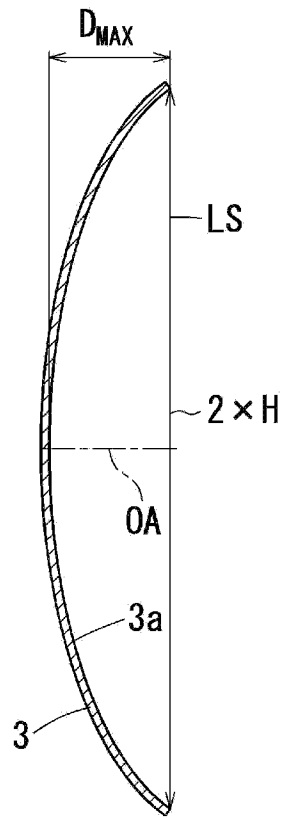
[図1A]

**FIG. 1A**

[図1B]

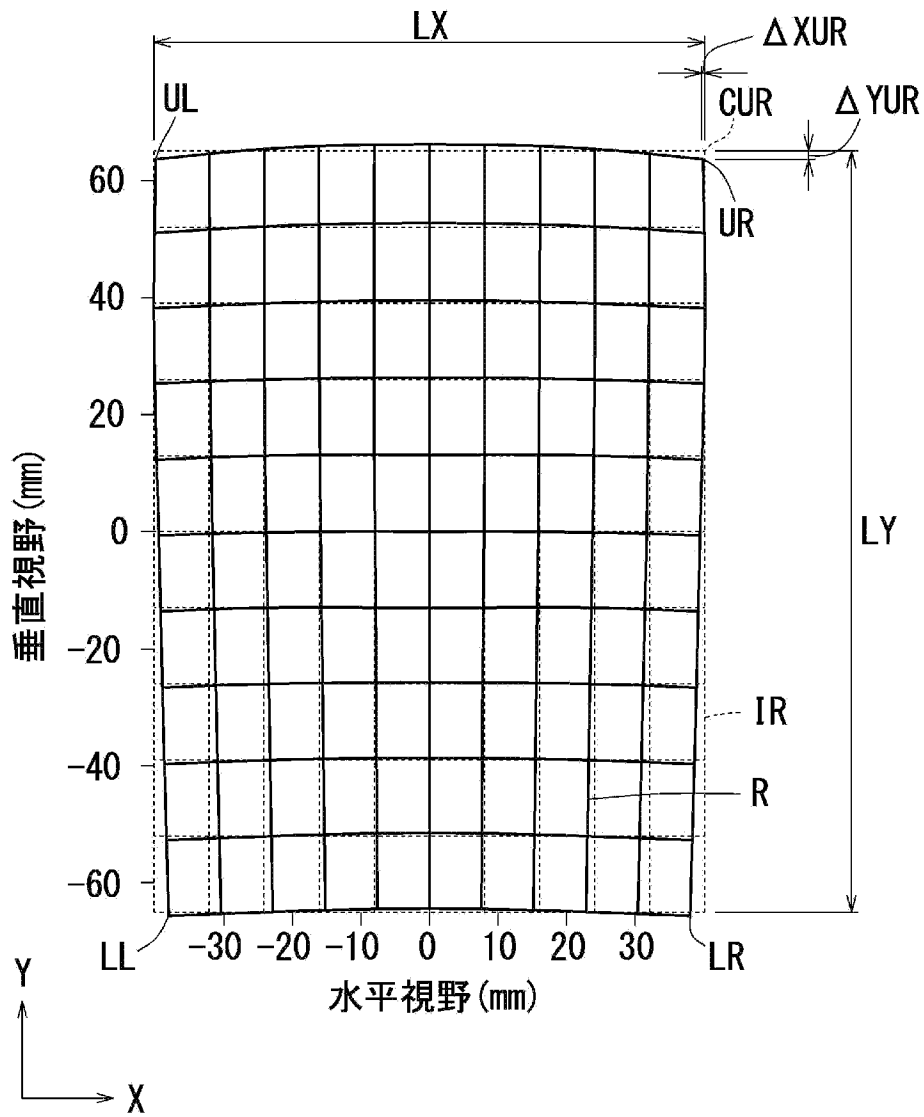
**FIG. 1B**

[図2]

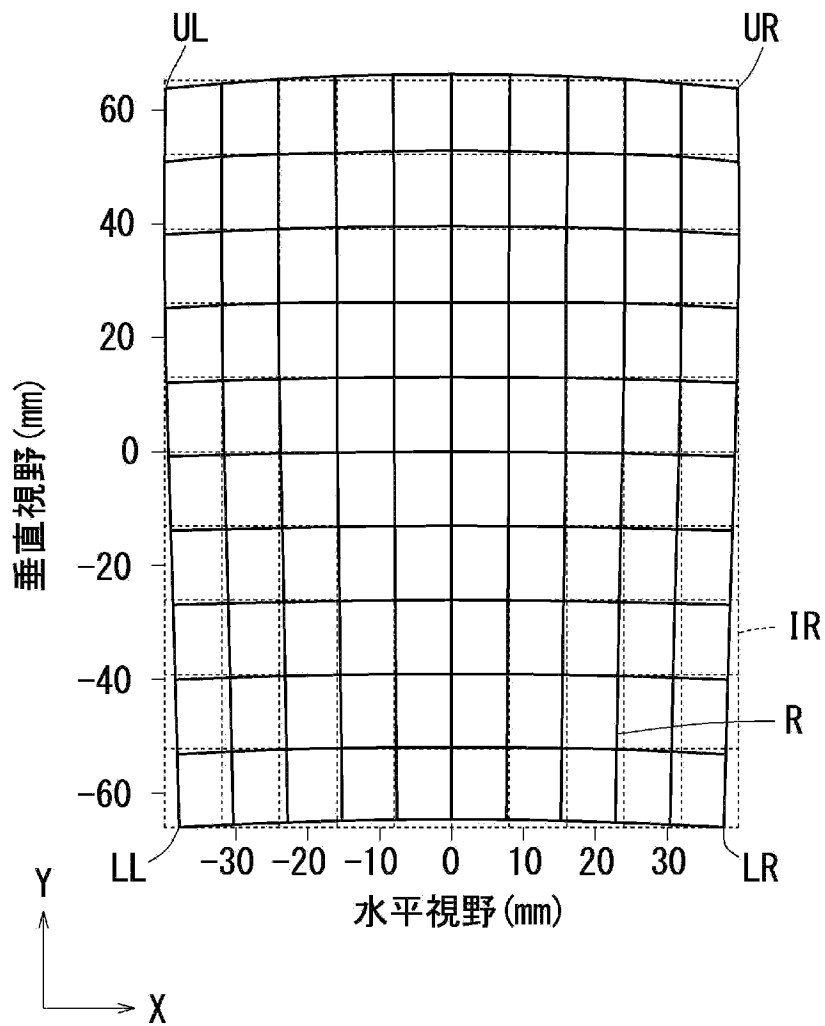
**FIG. 2**

[図3]

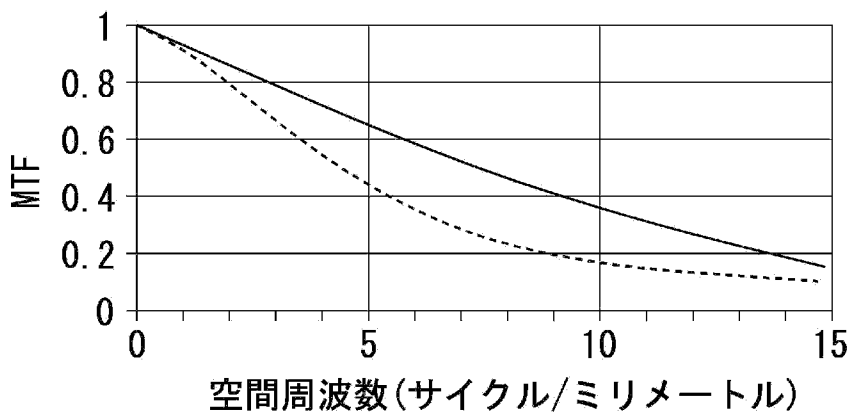
FIG. 3



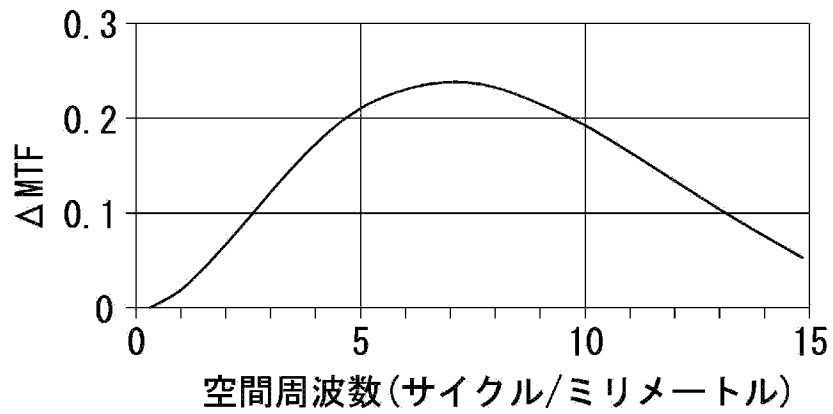
[図4]

**FIG. 4**

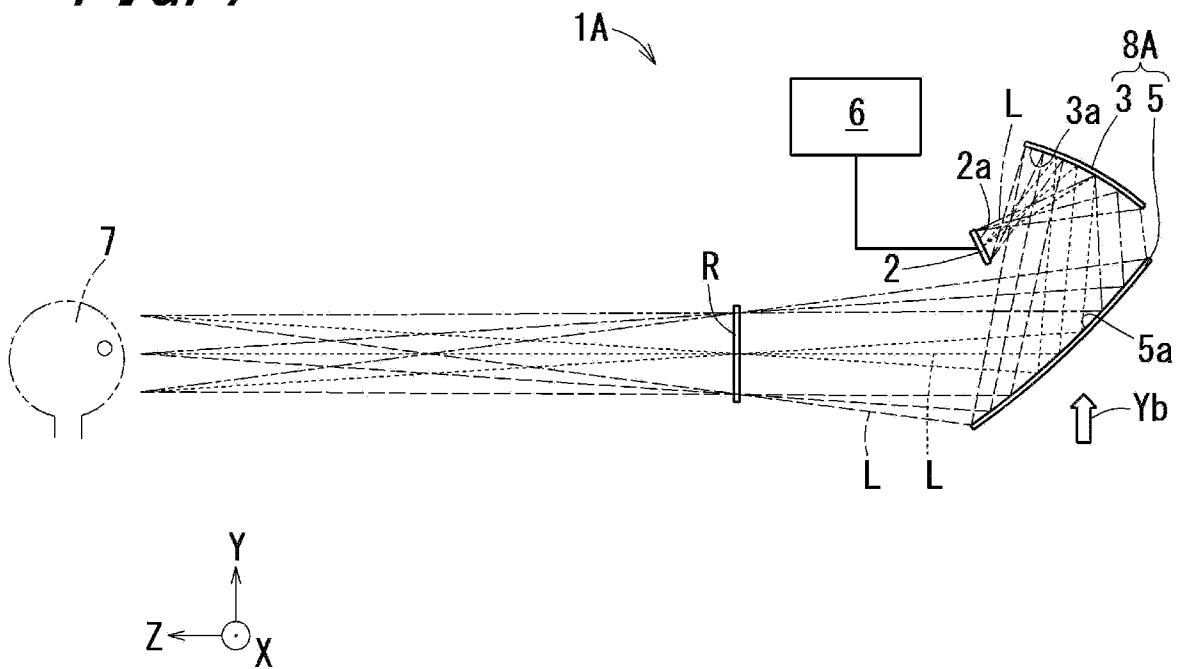
[図5]

**FIG. 5**

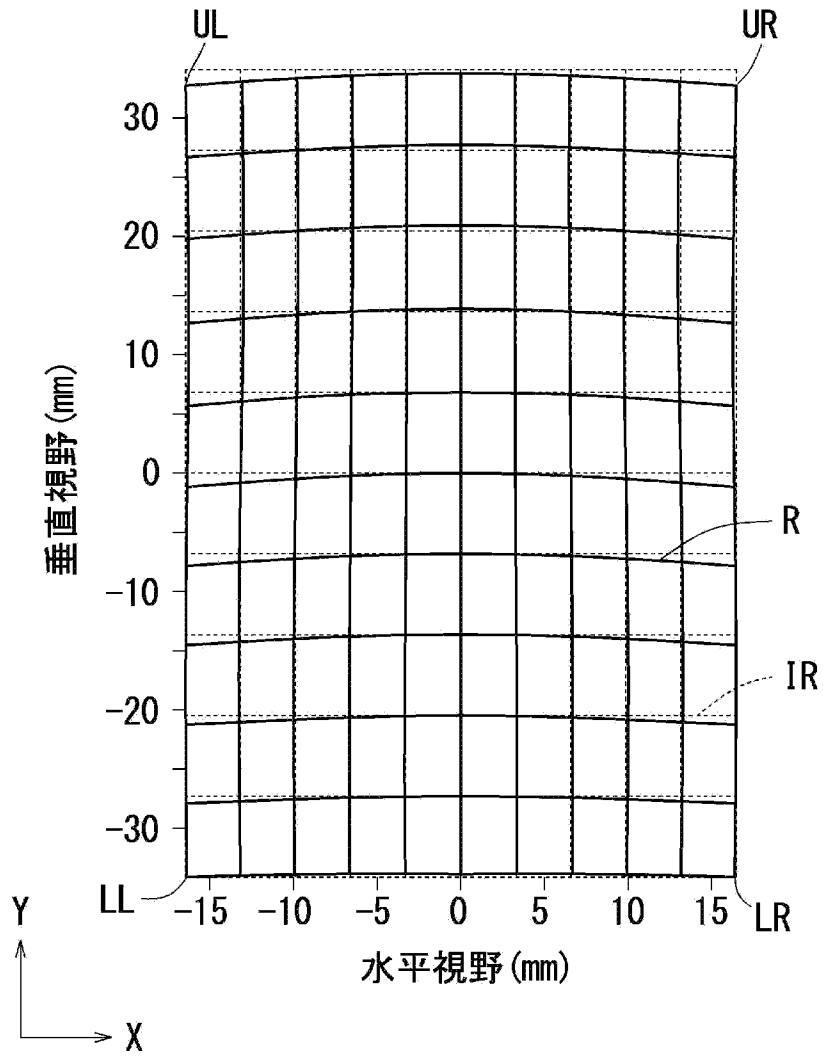
[図6]

**FIG. 6**

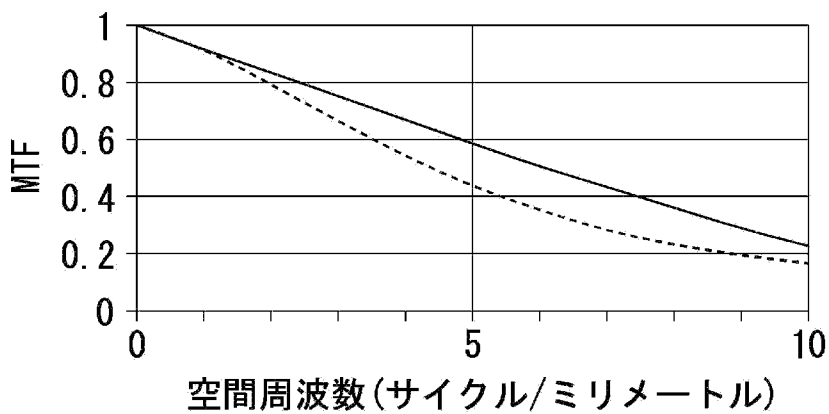
[図7]

**FIG. 7**

[図8]

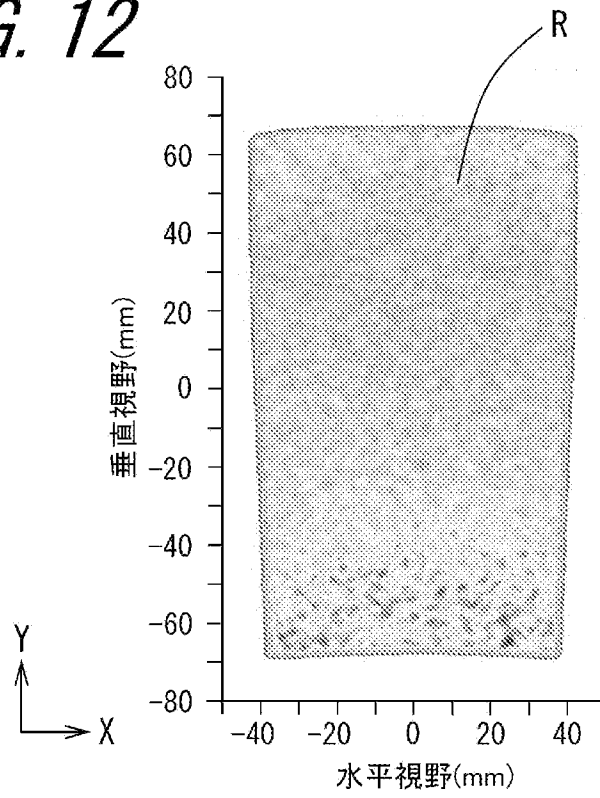
**FIG. 8**

[図9]

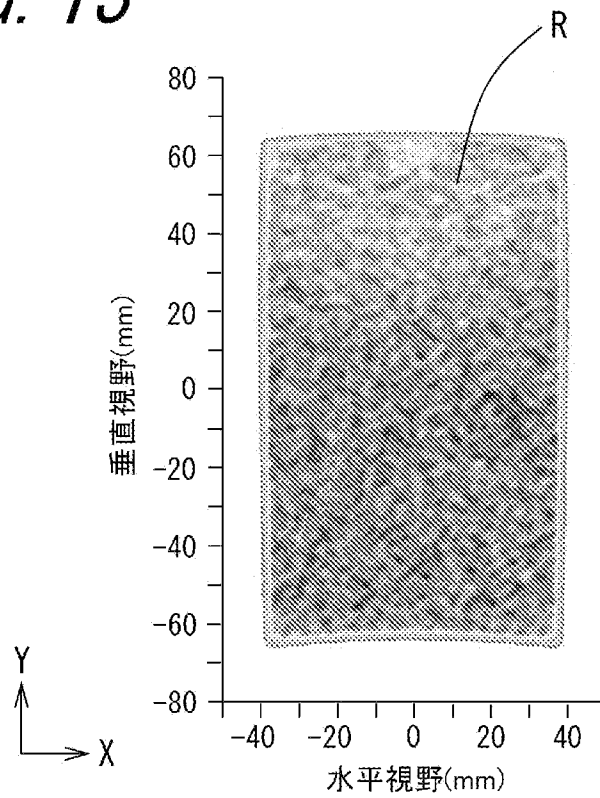
**FIG. 9**



[図12]

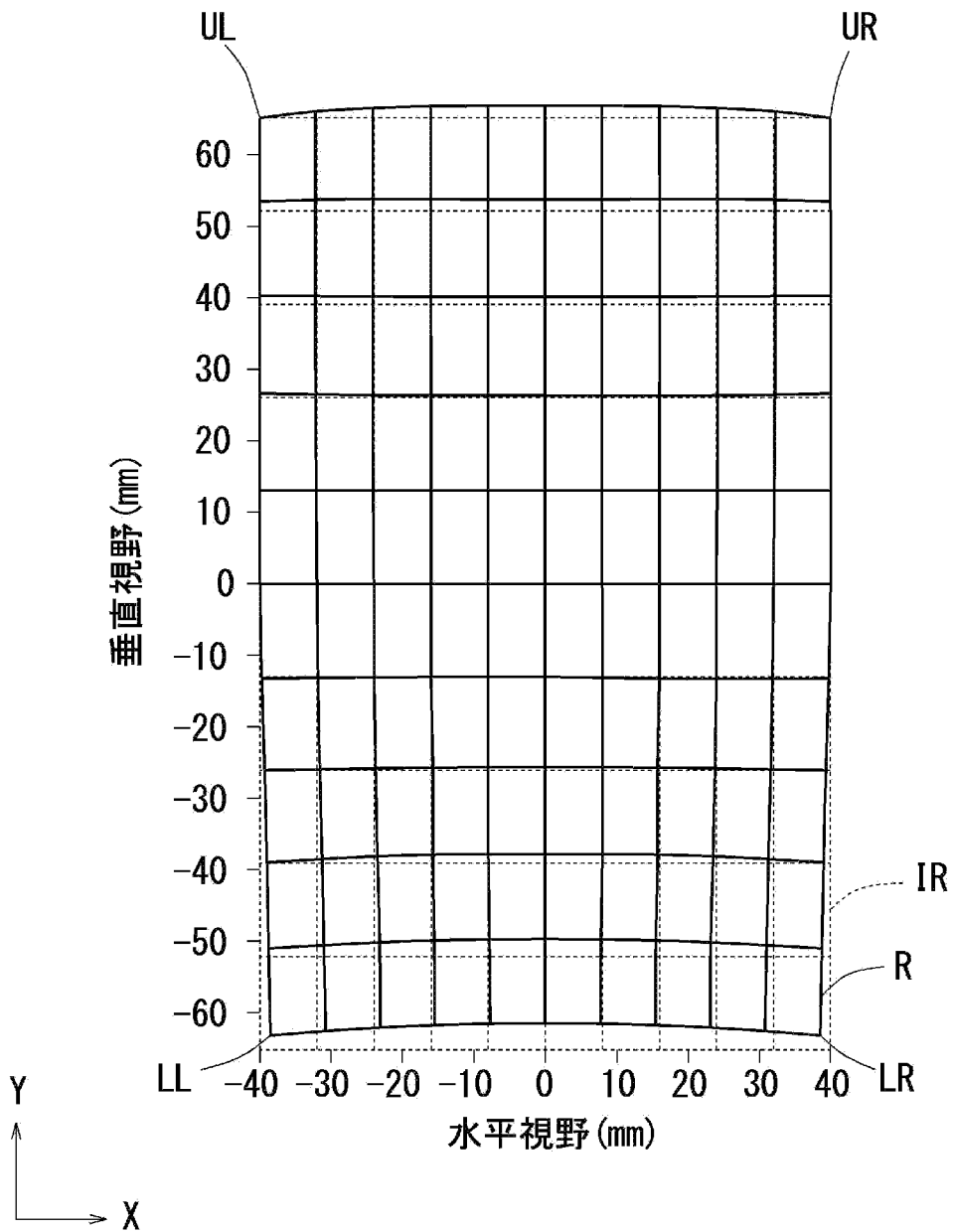
**FIG. 12**

[図13]

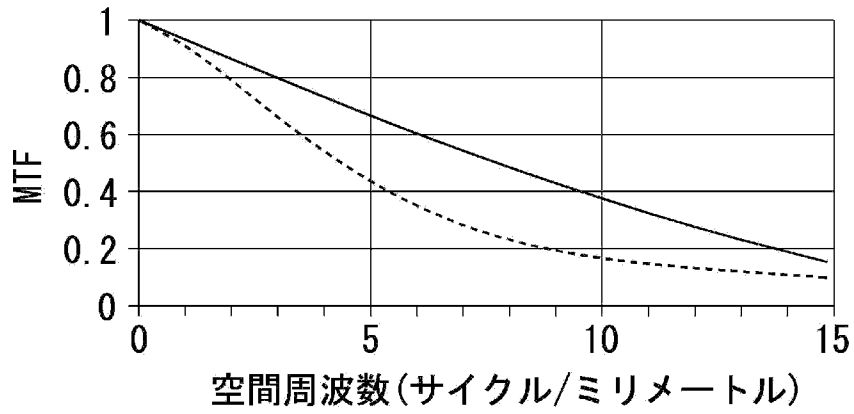
**FIG. 13**

[図14]

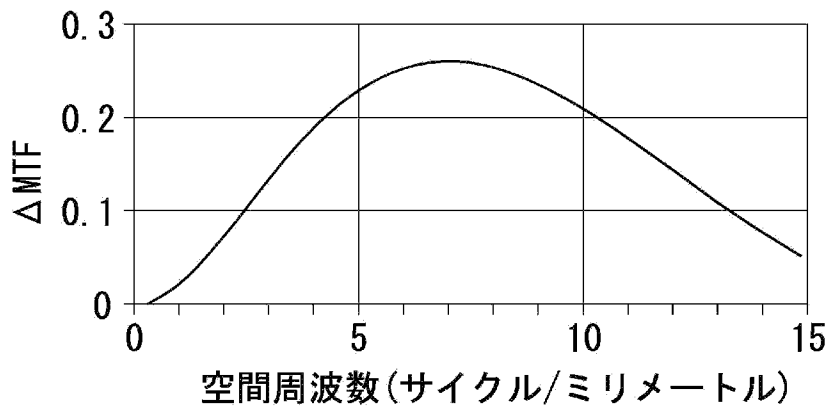
FIG. 14



[図15]

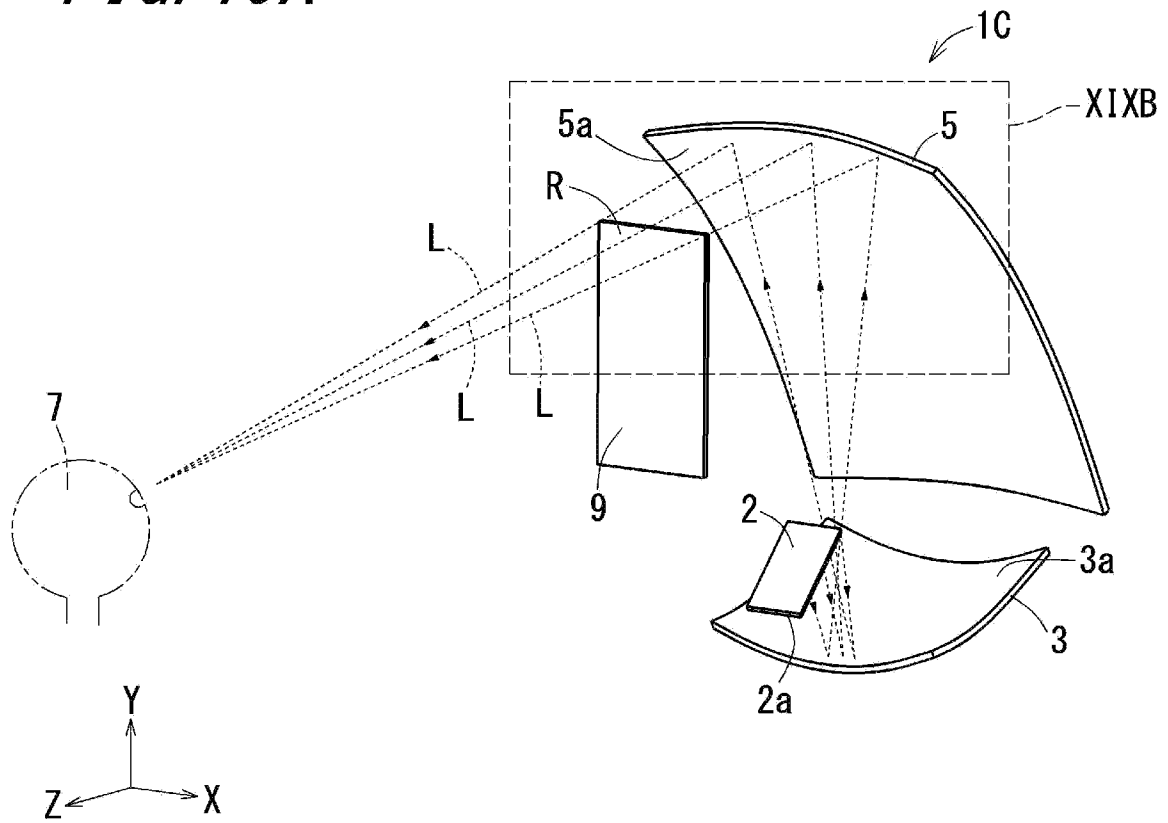
**FIG. 15**

[図16]

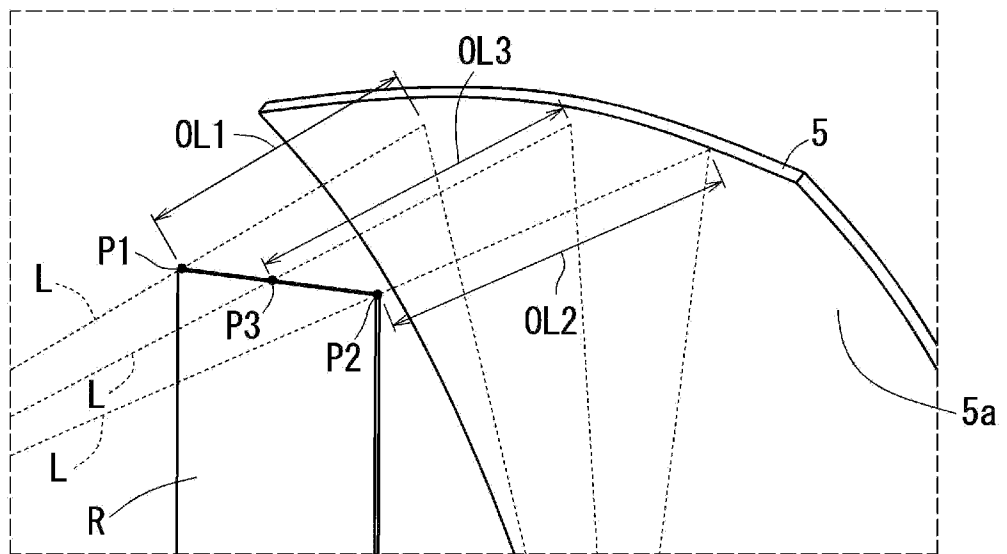
**FIG. 16**



[FIG. 19A]

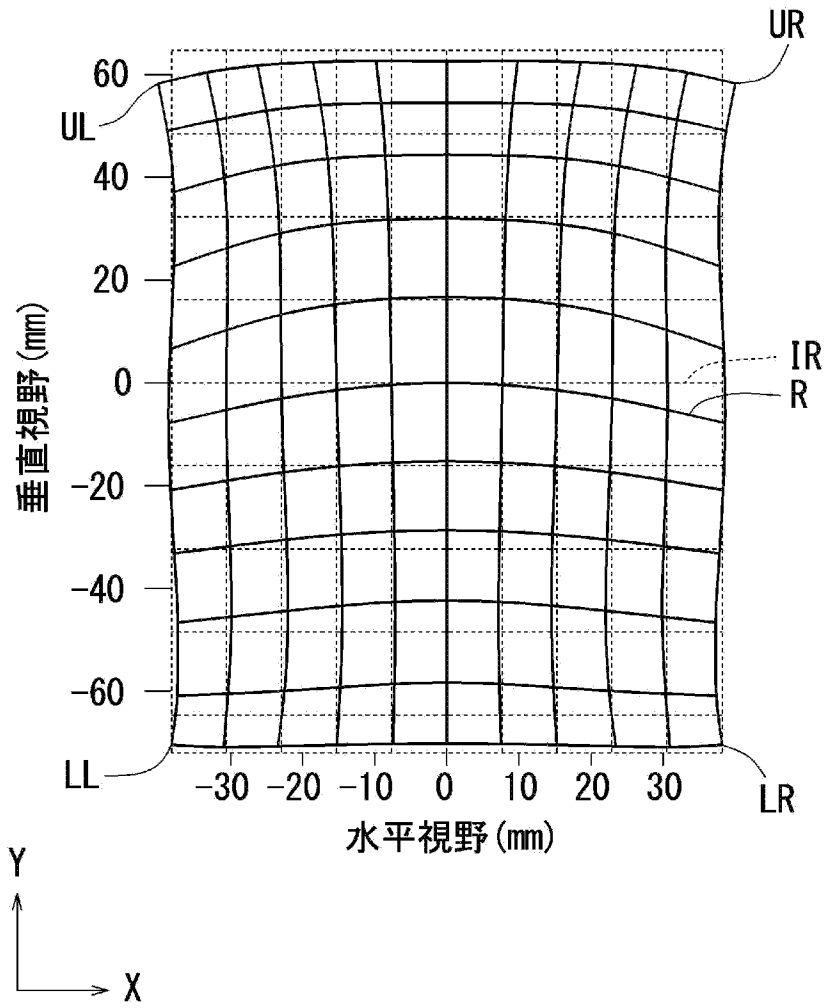
**FIG. 19A**

[FIG. 19B]

**FIG. 19B**

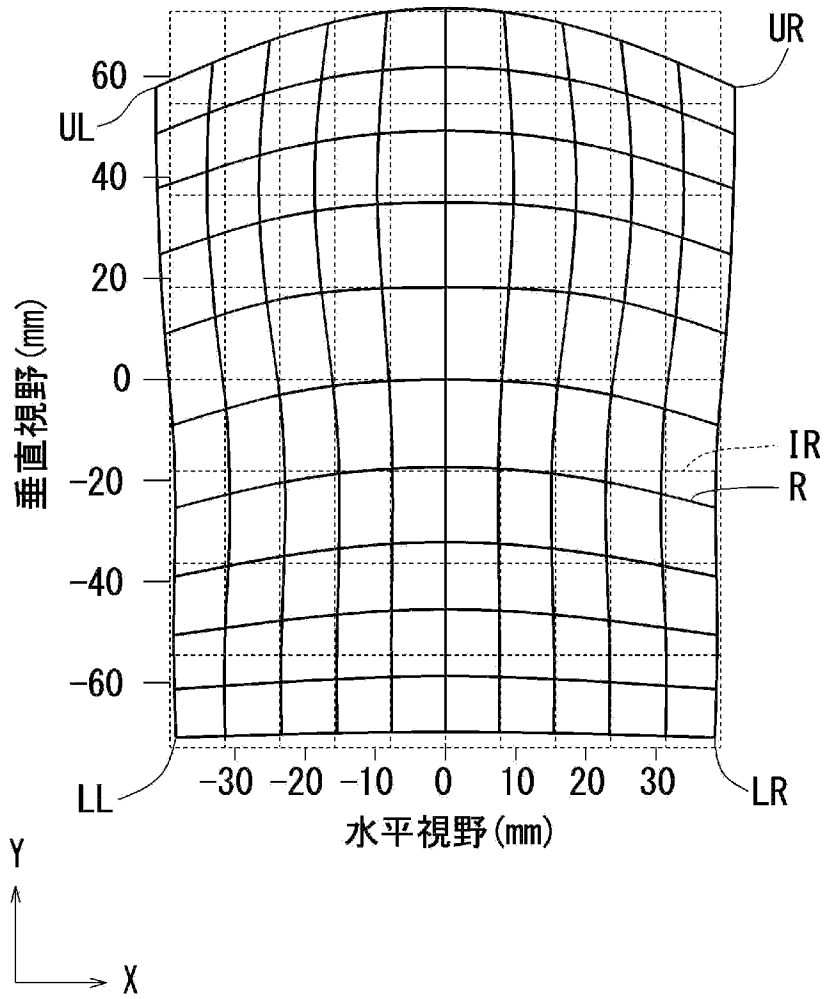
[図20]

FIG. 20



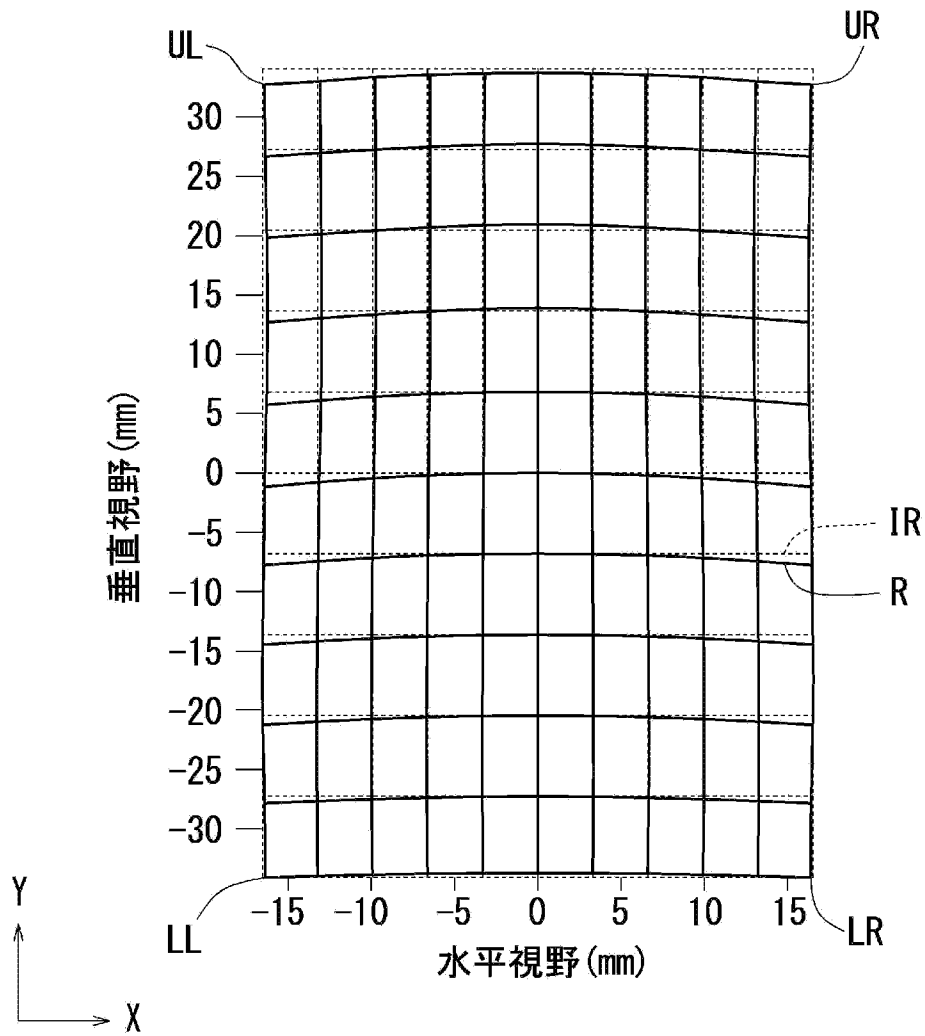
[図21]

FIG. 21



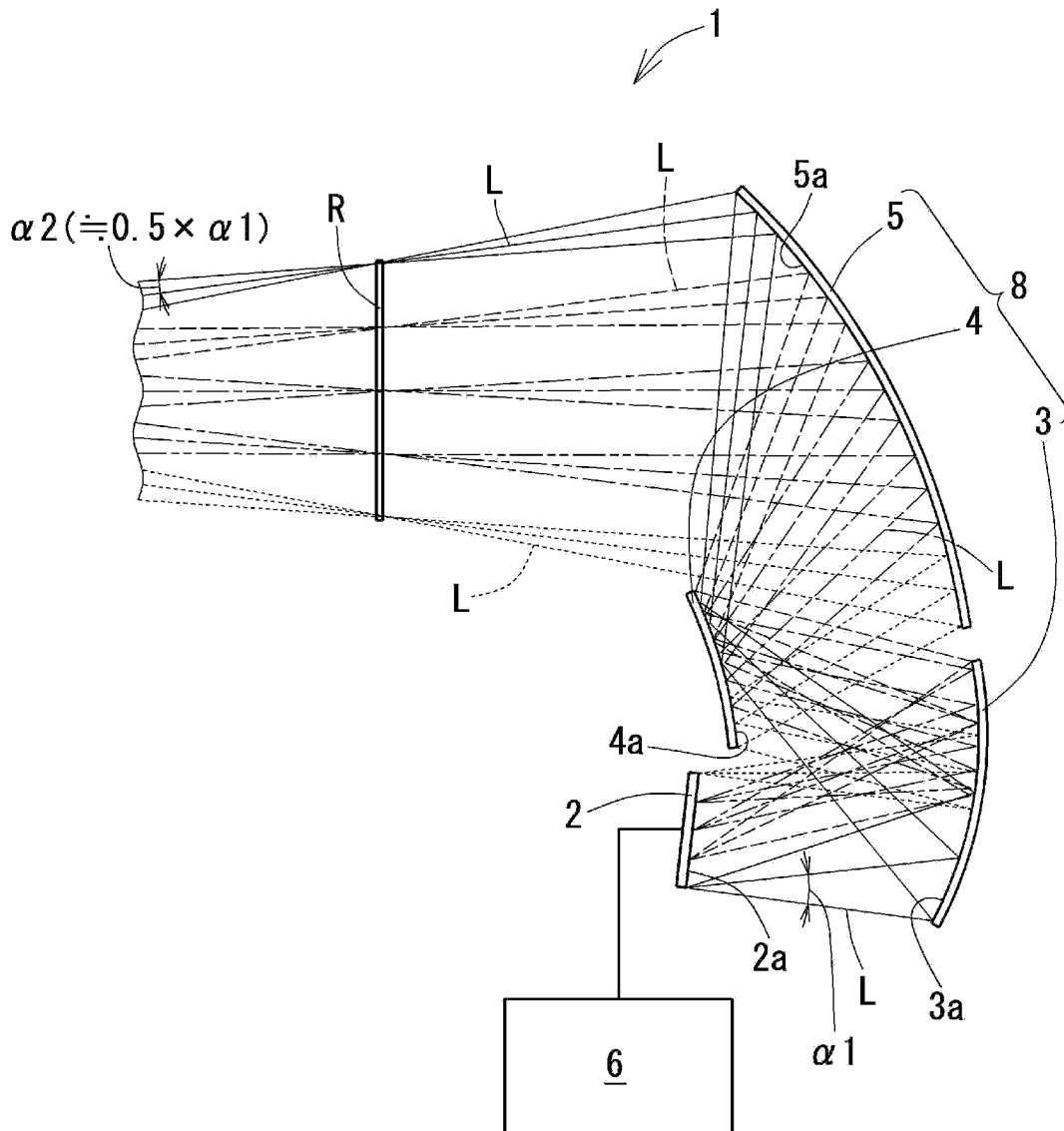
[図22]

FIG. 22

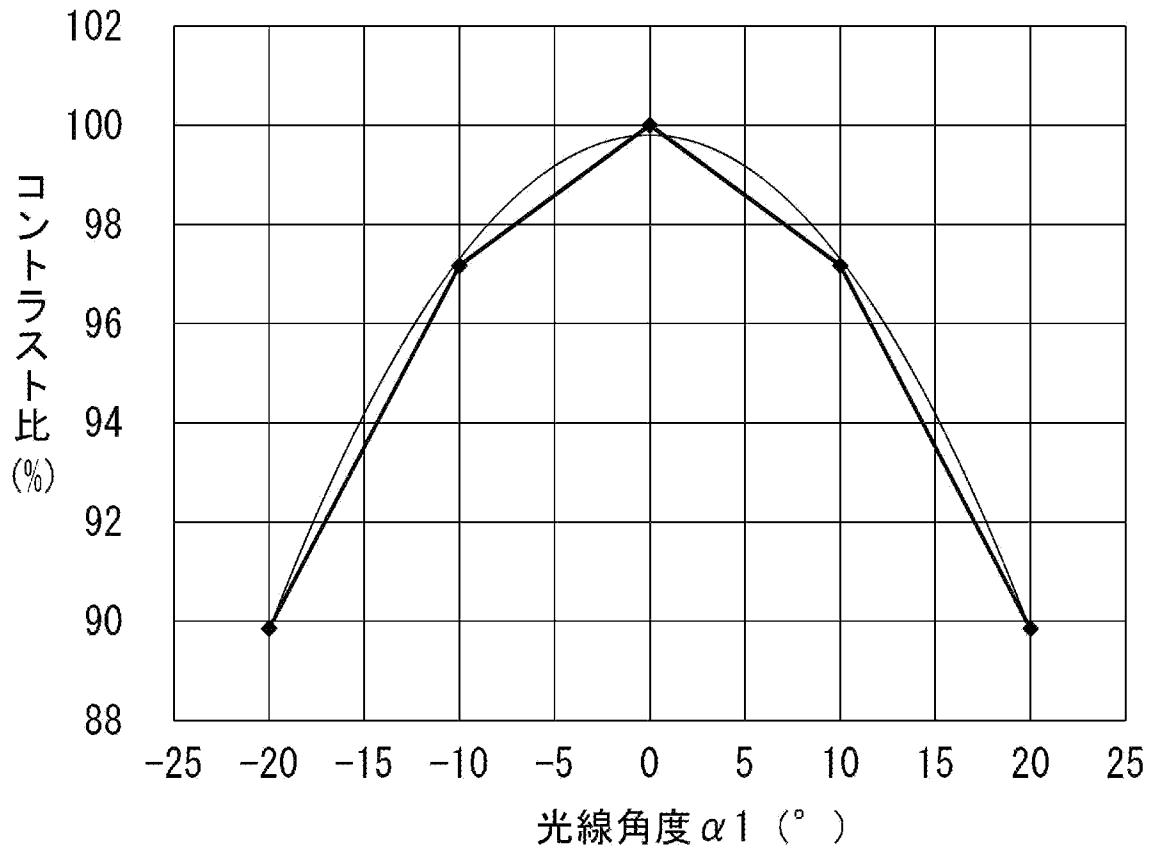


[図23]

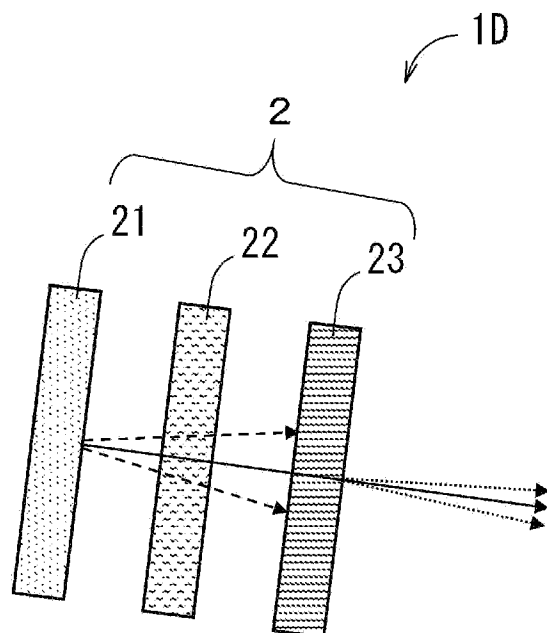
FIG. 23



[図24]

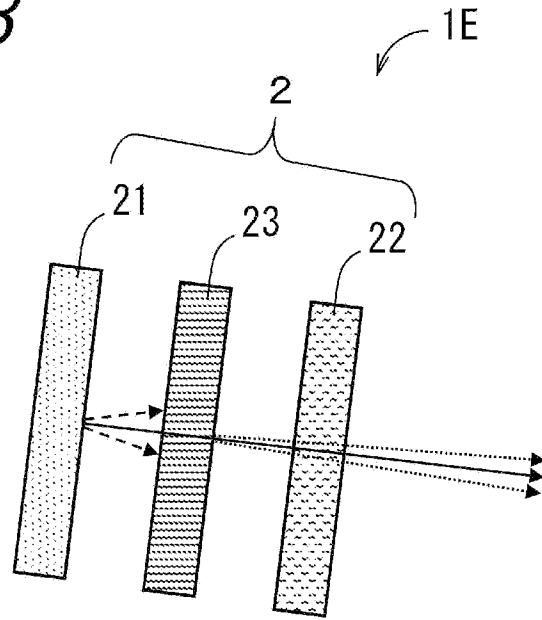
**FIG. 24**

[図25A]

**FIG. 25A**

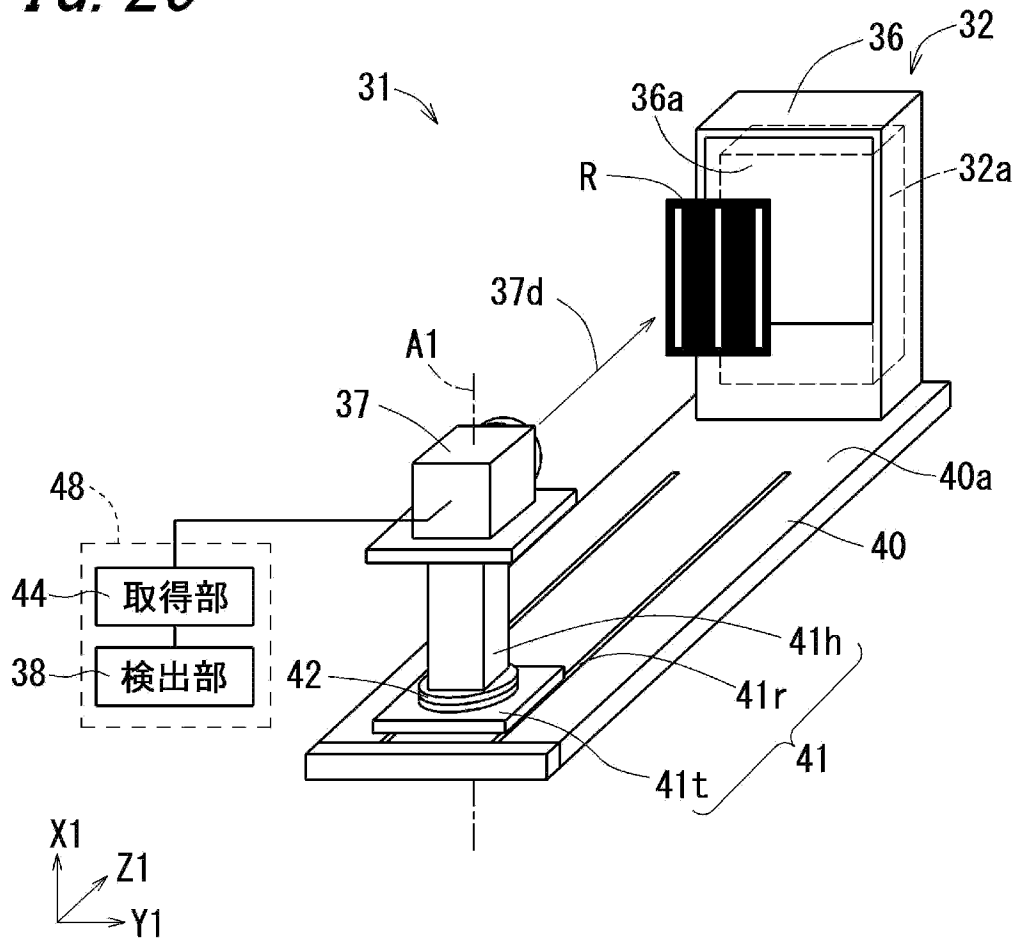
[図25B]

FIG. 25B



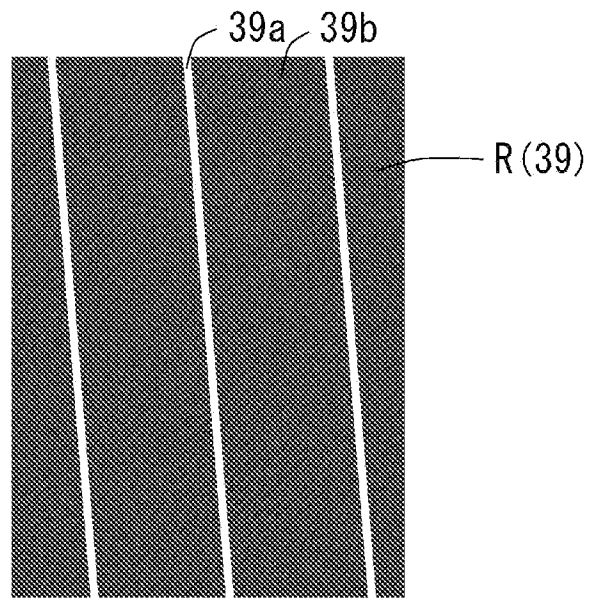
[図26]

FIG. 26

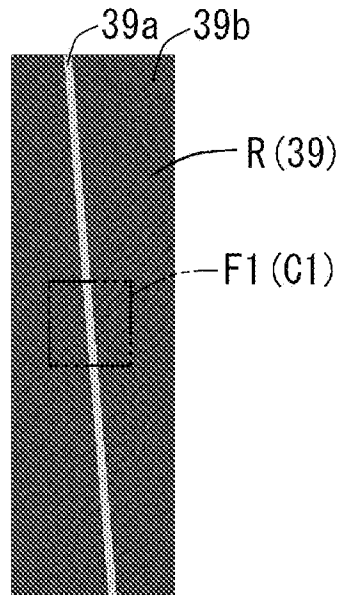




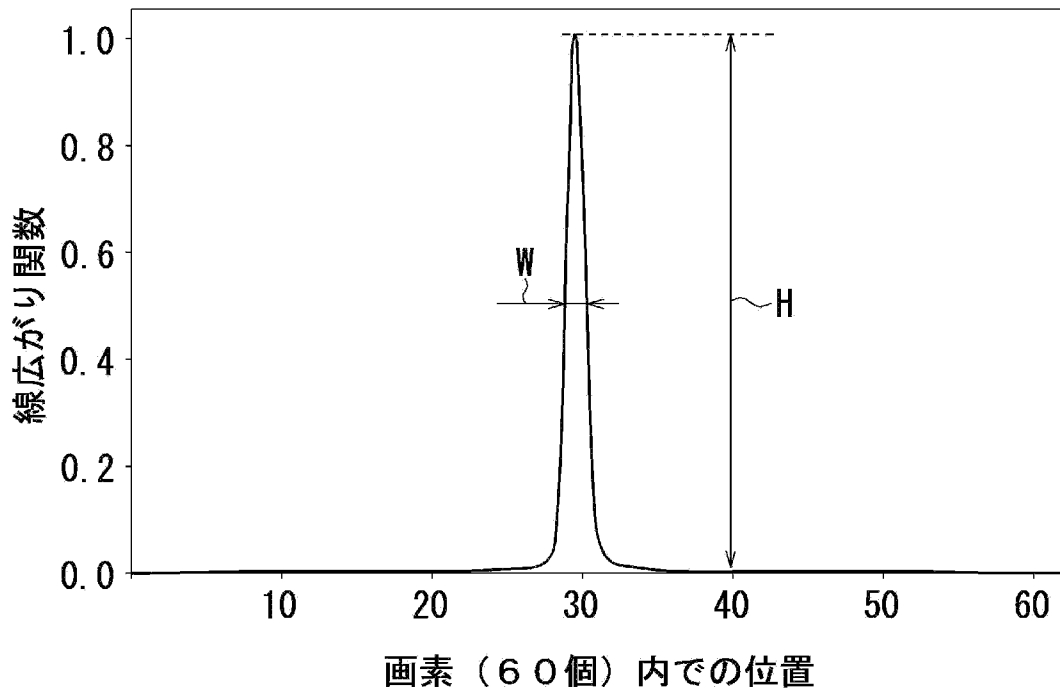
[図29]

*FIG. 29*

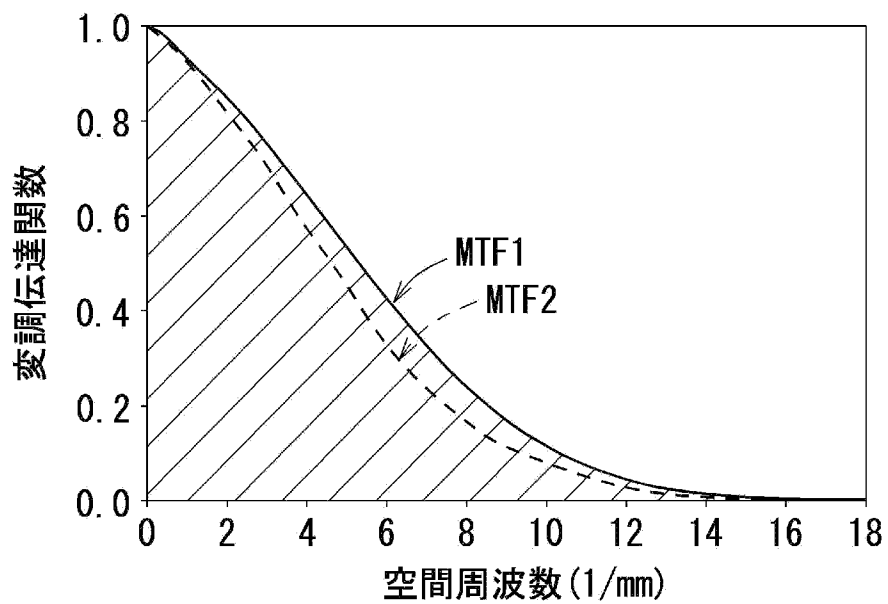
[図30]

*FIG. 30*

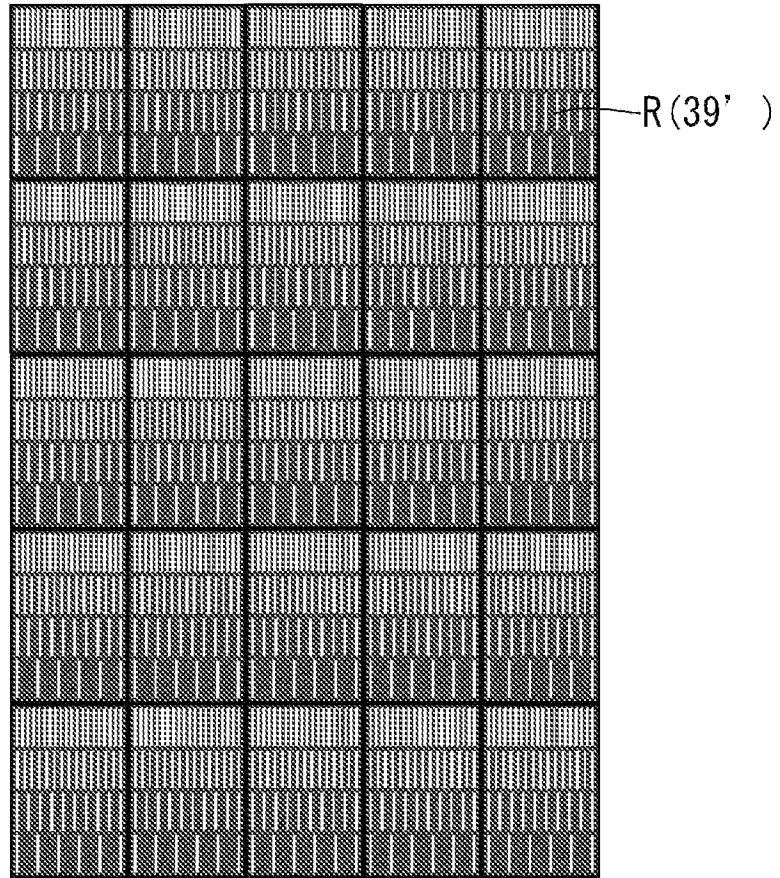
[図31]

**FIG. 31**

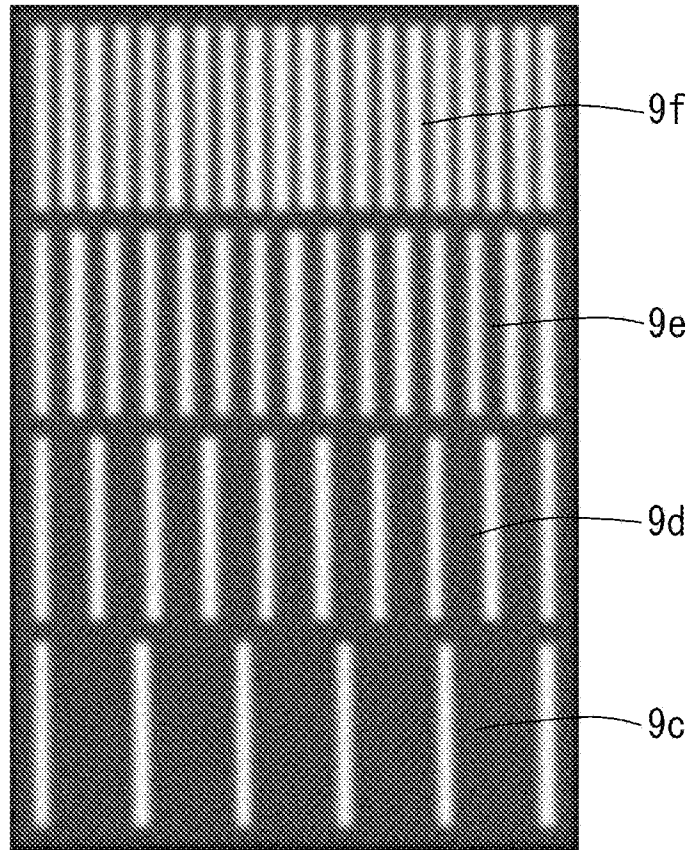
[図32]

**FIG. 32**

[図33]

*FIG. 33*

[図34]

*FIG. 34*

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/012898

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
<i>G02B 30/56</i> (2020.01)i; <i>G02B 17/06</i> (2006.01)i; <i>H04N 13/302</i> (2018.01)i FI: G02B30/56; H04N13/302; G02B17/06		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B30/00-30/60; G02B17/00-17/08; H04N13/30-13/398		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2020/0264560 A1 (CHEN, Duan-Jun) 20 August 2020 (2020-08-20) paragraphs [0045]-[0047], [0131], fig. 4A-4B, 22A-22B	1
A		2-11
Y	JP 2014-6479 A (SEIKO EPSON CORP.) 16 January 2014 (2014-01-16) paragraph [0015]	9
Y	JP 2015-191051 A (SONY CORP.) 02 November 2015 (2015-11-02) paragraphs [0027]-[0029], fig. 10, 11	9
X	JP 2000-66132 A (HARNESS SOGO GIJUTSU KENKYUSHO K.K.) 03 March 2000 (2000-03-03) paragraphs [0019]-[0031], fig. 1-3	10
Y		11
X	JP 2002-511596 A (ORO GONE LLC) 16 April 2002 (2002-04-16) paragraphs [0016]-[0028], fig. 1-4	10
Y		11
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 <b>18 May 2023</b>		Date of mailing of the international search report <b>30 May 2023</b>
Name and mailing address of the ISA/JP <b>Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan</b>		Authorized officer  Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/012898

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2021-173873 A (KYOCERA CORP.) 01 November 2021 (2021-11-01) paragraph [0027], fig. 3	11
A	JP 2013-222025 A (DAINIPPON SCREEN MFG. CO., LTD.) 28 October 2013 (2013-10-28) entire text, all drawings	2-8
A	JP 7-191274 A (CANON INC.) 28 July 1995 (1995-07-28) entire text, all drawings	2-8
A	JP 2020-177221 A (KUBOTA, Youji) 29 October 2020 (2020-10-29) entire text, all drawings	1-11

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

International application No.

**PCT/JP2023/012898**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2020/0264560	A1	20 August 2020	WO 2019/113551 A1 CN 111201469 A	
JP	2014-6479	A	16 January 2014	(Family: none)	
JP	2015-191051	A	02 November 2015	US 2015/0279283 A1 paragraphs [0056]-[0058], fig. 10, 11 KR 10-2015-0112805 A	
JP	2000-66132	A	03 March 2000	(Family: none)	
JP	2002-511596	A	16 April 2002	US 6497484 B1 column 3, line 21 to column 5, line 26, fig. 1-4 WO 1999/053346 A2 EP 1071975 A2	
JP	2021-173873	A	01 November 2021	WO 2021/215271 A1	
JP	2013-222025	A	28 October 2013	(Family: none)	
JP	7-191274	A	28 July 1995	US 5663833 A entire text, all drawings EP 660155 A1	
JP	2020-177221	A	29 October 2020	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 30/56(2020.01)i; G02B 17/06(2006.01)i; H04N 13/302(2018.01)i FI: G02B30/56; H04N13/302; G02B17/06		
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）） G02B30/00-30/60; G02B17/00-17/08; H04N13/30-13/398 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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	US 2020/0264560 A1 (CHEN, Duan-Jun) 20.08.2020 (2020-08-20) 段落[0045]-[0047], [0131], 図4A-4B, 22A-22B	1 2-11
Y	JP 2014-6479 A (セイコーエプソン株式会社) 16.01.2014 (2014-01-16) 段落[0015]	9
Y	JP 2015-191051 A (ソニー株式会社) 02.11.2015 (2015-11-02) 段落[0027]-[0029], 図10-11	9
X Y	JP 2000-66132 A (株式会社ハーネス総合技術研究所) 03.03.2000 (2000-03-03) 段落[0019]-[0031], 図1-3	10 11
X Y	JP 2002-511596 A (オロ - ゴーン、エルエルシー) 16.04.2002 (2002-04-16) 段落[0016]-[0028], 図1-4	10 11
Y	JP 2021-173873 A (京セラ株式会社) 01.11.2021 (2021-11-01) 段落[0027], 図3	11
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日	
18.05.2023	30.05.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官）  堀部 修平 2L 9215  電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 2013-222025 A (大日本スクリーン製造株式会社) 28.10.2013 (2013 - 10 - 28) 全文, 全図	2-8
A	JP 7-191274 A (キヤノン株式会社) 28.07.1995 (1995 - 07 - 28) 全文, 全図	2-8
A	JP 2020-177221 A (久保田 洋治) 29.10.2020 (2020 - 10 - 29) 全文, 全図	1-11

国際調査報告  
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/012898

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
US 2020/0264560 A1	20.08.2020	WO 2019/113551 A1 CN 111201469 A	
JP 2014-6479 A	16.01.2014	(ファミリーなし)	
JP 2015-191051 A	02.11.2015	US 2015/0279283 A1 段落[0056]-[0058], 図10-11 KR 10-2015-0112805 A	
JP 2000-66132 A	03.03.2000	(ファミリーなし)	
JP 2002-511596 A	16.04.2002	US 6497484 B1 第3欄21行-第5欄26行, 図1-4 WO 1999/053346 A2 EP 1071975 A2	
JP 2021-173873 A	01.11.2021	WO 2021/215271 A1	
JP 2013-222025 A	28.10.2013	(ファミリーなし)	
JP 7-191274 A	28.07.1995	US 5663833 A 全文, 全図 EP 660155 A1	
JP 2020-177221 A	29.10.2020	(ファミリーなし)	