

丁目 8 番 1 5 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, 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))

image formed by the ideal optical system is denoted by S_2 , the ratio S_1/S_2 of the area S_1 to the area S_2 is 0.58 or more.

(57) 要約 : 本開示の空中像表示装置は、表示部と、表示部から射出された画像光を実像の空中像として結像させる光学系とを備える。空中像表示装置は、光学系によって結像された空中像の第1変調伝達関数を空間周波数軸において積分して成る面積を S_1 とし、光学系が回折限界の分解能を有する理想的光学系であり、該理想的光学系によって結像された理想的空中像の第2変調伝達関数を空間周波数軸において積分して成る面積を S_2 としたとき、面積 S_2 に対する面積 S_1 の比 S_1/S_2 が 0.58 以上である。

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、表示部と、前記表示部から射出された画像光を実像の空中像として結像させる光学系と、を備えた空中像表示装置であつて、

前記光学系によって結像された空中像の第1変調伝達関数を空間周波数軸において積分して成る面積を S_1 とし、前記光学系が回折限界の分解能を有する理想的光学系であり、該理想的光学系によって結像された理想的空中像の第2変調伝達関数を空間周波数軸において積分して成る面積を S_2 としたとき、前記面積 S_2 に対する前記面積 S_1 の比 S_1/S_2 が0.58以上である。

図面の簡単な説明

[0005] 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1]本開示の一実施形態の空中像表示装置の構成を示す断面図である。

[図2]本開示の他の実施形態の空中像表示装置の構成を示す断面図である。

[図3]変調伝達関数の例を示すグラフである。

[図4]図1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5]第1凹面鏡の湾曲度の定義を説明する図である。

[図6]空中像表示装置が結像する空中像の変調伝達関数を算出する測定システムを示す斜視図である。

[図7]変調伝達関数を算出するためのテストパターンの一例を示す図である。

[図8]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。

[図9]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10]図9の撮像画像から算出された輝度分布波形を示すグラフである。

[図11]変調伝達関数を算出するためのテストパターンの他の例を示す図である。

[図12]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13]撮像装置に対するデフォーカス操作を説明する側面図である。

[図14]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の一例を示す部分拡大図である。

[図15]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の一例を示す部分拡大図である。

[図16]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の一例を示す図である。

[図17]各撮像部位の合焦位置を示すグラフである。

[図18]図17のグラフに対応する光軸ずれを説明する図である。

[図19]各撮像部位の合焦位置を示すグラフである。

[図20]図19のグラフに対応する光軸ずれを説明する図である。

[図21]撮像装置に対する回転操作を説明する図である。

[図22]撮像装置のF値が3である場合に、光学系によって結像された空中像のMTF面積S1と空中像の輝度分布波形の尖鋭度（幅比 W/Q ：（半値幅）／（1/4値幅））との関係を表すグラフである。

[図23]撮像装置のF値が8である場合に、光学系によって結像された空中像のMTF面積S1と空中像の輝度分布波形の尖鋭度（幅比 W/Q ：（半値幅）／（1／4値幅））との関係を表すグラフである。

発明を実施するための形態

[0006] 従来の空中像表示装置は、表示パネルから射出された画像光を、例えば偏光フィルタ、ビームスプリッタ等の光学部材を用いて、実像の空中像として結像させるように構成されている。従来の空中像表示装置は、空中像の解像度が低下したり、空中像の輝度が低下したりすることがあった。

[0007] 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する。以下で参照する各図は、模式的なものである。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。本明細書では、一部の図面において、便宜的に、直交座標系XYZを定義する。X軸方向は、第1方向または高さ方向とも称される。Y軸方向は、第2方向または幅方向（水平方向、横方向）とも称される。Z軸方向は、第3方向または奥行方向とも称される。

[0008] 図1～23は、本開示の一実施形態の空中像表示装置を説明する図またはグラフである。図7～9, 11, 12, 14～16では、図解を容易にするために、第2帯状画像（黒画像）を実際の輝度よりも高い輝度で示している。

[0009] 本開示の実施形態に係る空中像表示装置2は、図1に示すように、表示部3と、光学系5とを含む。

[0010] 表示部3は、表示パネル4を含む。表示パネル4は、表示面4aを有しており、表示面4aに空中像Rとして結像される画像を表示する。即ち、表示パネル4は、表示面4aから空中像Rとして結像される画像光Lpを射出する。表示パネル4は、透過型の表示パネルまたは自発光型の表示パネルを採用する。表示パネル4が透過型の表示パネルである場合、表示部3はバックライト等の照射器を含んでよい。表示パネル4が自発光型の表示パネルである場合、表示部3は照射器を含まなくてよい。

[0011] 透過型の表示パネルは、液晶パネルを含みうる。透過型の表示パネルは、

公知の液晶パネルの構成を有してよい。公知の液晶パネルとしては、IPS (In-Plane Switching) 方式、FFS (Fringe Field Switching) 方式、VA (Vertical Alignment) 方式、ECB (Electrically Controlled Birefringence) 方式等の種々の液晶パネルを採用しうる。透過型の表示パネルは、液晶パネルの他に、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) シャッタ式の表示パネルを含む。自発光型の表示パネルは、複数の自発光素子を含みうる。自発光素子としては、LED (Light Emitting Diode)、有機EL (Electro Luminescence)、無機EL等の種々の自発光素子を採用しうる。

[0012] 光学系5は、表示部3から射出された画像光Lpを実像の空中像Rとして結像させる。光学系5は、凹面鏡、凸面鏡等の反射部材で構成されてよい。光学系5は、図1に示すように、第1凹面鏡5aと、凸面鏡5bと、第2凹面鏡5cとで構成されてよい。

[0013] 第1凹面鏡5aは、表示部3から射出された画像光Lpを、表示部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る。第1凹面鏡5aは、自由曲面凹面鏡であってよい。第1凹面鏡5aは、自由曲面凹面鏡に限定されず、球面凹面鏡または非球面凹面鏡であってもよい。

[0014] 凸面鏡5bは、第1凹面鏡5aによって反射された画像光Lpを、第1凹面鏡5a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る。凸面鏡5bは、自由曲面凸面鏡であってよい。凸面鏡5bは、自由曲面凸面鏡に限定されず、球面凸面鏡または非球面凸面鏡であってもよい。

[0015] 第2凹面鏡5cは、凸面鏡5bによって反射された画像光Lpを、凸面鏡5bに向かう方向とは異なる方向に反射し、空中像Rとして結像するように構成される。第2凹面鏡5cは、自由曲面凹面鏡であってよい。第2凹面鏡5cは、自由曲面凹面鏡に限定されず、球面凹面鏡または非球面凹面鏡であってもよい。

[0016] 空中像表示装置2は、図1に示すように、第1凹面鏡5aと第2凹面鏡5cとが互いに傾斜した状態で対向し、表示パネル4は、第1凹面鏡5aと第2凹面鏡5cとの間に位置し、表示パネル4の表示面4aの第1凹面鏡5a

の反射面（第1反射面ともいう）5 a rに対する傾斜が、表示パネル4の表示面4 aの第2凹面鏡5 cの反射面（第2反射面ともいう）5 c rに対する傾斜よりも小さい構成であってもよい。第1凹面鏡5 aと第2凹面鏡5 cとが互いに傾斜した状態に対向し、表示パネル4は、第1凹面鏡5 aと第2凹面鏡5 cとの間に位置することから、空中像表示装置2が小型化されたものとなる。特に、空中像表示装置2の縦方向（図1のX軸方向）の寸法が小さくなる。表示パネル4の表示面4 aの第1凹面鏡5 aの第1反射面5 a rに対する傾斜が、表示パネル4の表示面4 aの第2凹面鏡5 cの第2反射面5 c rに対する傾斜よりも小さいことから、表示パネル4の表示面4 aと第1凹面鏡5 aの第1反射面5 a rとが平行に近くなる。その結果、表示面4 aから出射した画像光L pの光線の、第1反射面5 a rに対する入射角度が小さくなり、空中像Rの歪を小さくするとともに、空中像Rの輝度を高めることができる。表示パネル4の表示面4 aの第1凹面鏡5 aの第1反射面5 a rに対する傾斜は、表示面4 a（または空間における表示面4 aを含む仮想面4 a i）と第1反射面5 a rの湾曲の頂点5 a pに接する接平面（または空間における接平面を含む仮想面5 a i）との間の傾斜角度で定義してもよい。表示パネル4の表示面4 aの第2凹面鏡5 cの第2反射面5 c rに対する傾斜についても、同様に、表示面4 a（または空間における表示面4 aを含む仮想面4 a i）と第2反射面5 c rの湾曲の頂点5 c pに接する接平面（または空間における接平面を含む仮想面5 c i）との間の傾斜角度で定義してもよい。

[0017] 上記の構成において、凸面鏡5 bは、第1凹面鏡5 aと第2凹面鏡5 cとの間に位置していてもよい。この場合、空中像表示装置2の光学系5が小型化されたものとなる。特に、光学系5の縦方向の寸法が小さくなる。さらに、凸面鏡5 bは、表示パネル4よりも、第1凹面鏡5 aと第2凹面鏡5 cに近接していてもよい。この場合、空中像表示装置2の光学系5がより小型化されたものとなる。特に、光学系5の横方向（図1のZ軸方向）の寸法が小さくなる。

- [0018] 空中像表示装置2は、図1に示す構成に限定されない。光学系5は、図2に示すように、第1凹面鏡5dと、第2凹面鏡5eとで構成されてよい。
- [0019] 第1凹面鏡5dは、表示部3から射出された画像光Lpを、表示部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る。第1凹面鏡5dは、自由曲面凹面鏡であってよい。第1凹面鏡5dは、自由曲面凹面鏡に限定されず、球面凹面鏡または非球面凹面鏡であってもよい。
- [0020] 第2凹面鏡5eは、第1凹面鏡5dによって反射された画像光Lpを、第1凹面鏡5dに向かう方向とは異なる方向に反射し、空中像Rとして結像するように構成される。第2凹面鏡5eは、自由曲面凹面鏡であってよい。第2凹面鏡5eは、自由曲面凹面鏡に限定されず、球面凹面鏡または非球面凹面鏡であってもよい。
- [0021] 空中像表示装置2は、図2に示すように、第1凹面鏡5dの湾曲度が第2凹面鏡5eの湾曲度よりも大きく、第1凹面鏡5dと第2凹面鏡5eとが互いに傾斜した状態で対向し、表示パネル4は、第1凹面鏡5dと第2凹面鏡5eとの間に位置している構成であってもよい。第1凹面鏡5dの湾曲度が第2凹面鏡5eの湾曲度よりも大きいことから、表示パネル4を第1凹面鏡5dに近づけて配置することができる。その結果、空中像表示装置2が小型化されたものになる。特に、空中像表示装置2の横方向の寸法が小さくなる。表示パネル4は、第1凹面鏡5dと第2凹面鏡5eとの間に位置していることから、空中像表示装置2がより小型化されたものとなる。特に、空中像表示装置2の縦方向の寸法が小さくなる。
- [0022] 自由曲面凹面鏡の反射面および自由曲面凸面鏡の反射面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 XY P面ともいう)であってよい。XY多項式面は、基準コーニク面に追加される10次までの多項式に展開される。従って、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]

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

[0023] 空中像表示装置 2 は、図 1, 2 に示すように、筐体 6 を備えてよい。空中像表示装置 2 の表示部 3、光学系 5 等の構成部材 2 a は、筐体 6 内に位置してよい。構成部材 2 a は、回路基板、配線、ケーブル、ヒートシンク等の放熱部材、光学系 5 を保持する保持部材、光学系 5 の位置を調整する調整部材等を含んでよい。筐体 6 は、例えば樹脂材料、金属材料、セラミック材料等で構成されてよい。

[0024] 筐体 6 は、空中像表示装置 2 の利用者に臨む部位の少なくとも一部が画像光射出部 6 a で構成されている。空中像 R として結像される画像光 L p は、画像光射出部 6 a を介して、筐体 6 内から筐体 6 外に射出される。画像光射出部 6 a は、例えば遮光フィルムまたは遮光ガラスを含んで構成されてよい。この場合、空中像表示装置 2 の使用時に、利用者 2 0 が筐体 6 内に位置する構成部材 2 a を視認しにくくなり、空中像 R の視認性を向上させることができる。

[0025] 空中像 R の解像度は、変調伝達関数 (Modulation Transfer Function: MTF) で表すことができる。変調伝達関数は、光学系 5 の分解能を評価する性能指標であり、空中像 R の解像度の高低を比較する解像度指標として用いることができる。変調伝達関数は、空間周波数 ν (1/mm) の関数であり、 $\nu = 0$ において最大となる。変調伝達関数は、最大値が 1 となるように正規化されていてよく、この場合、変調伝達関数の値が 1 に近いほど光学系 5 の分解能 (すなわち、空中像 R の解像度) が高いといえる。尚、変調伝達関数の値自体を光学系 5 の性能指標としてもよいが、変調伝達関数を空間周波

数軸において積分して成る面積を光学系5の性能指標とすることで、光学系5の分解能（即ち、空中像Rの解像度）を高精度に評価することができる。

[0026] 光学系5は、光の回折によって分解能が不可避免的に劣化する他、光学系5を構成する反射部材の製造公差、配置誤差等によっても分解能が劣化する。このため、光学系5によって結像される空中像Rは、上記要因によって解像度が劣化した空中像となる。理想的光学系は、光学系5と同様の構成であるが、回折限界の分解能を有している。換言すると、理想的光学系は、分解能の劣化が光の回折によって不可避免的に生じる劣化のみに限定された光学系である。理想的光学系によって結像される理想的空中像は、解像度の劣化が理論上最小化された空中像となる。なお、回折限界について、例えば点光源からの光が真空中で無収差の光学系により、幾何光学的に焦点の一点に集中するときであっても、光の波動の性質によって実際にはある大きさに拡がる。その大きさは、光の波長を λ 、光学素子（例えば、レンズ）の径をDとすると、約 $1.22\lambda/D$ （ラジアン） $=2.5 \times 10^5 \lambda/D$ （秒）の角度の広がりをもつ。この広がりを回折限界という。

[0027] 図3は、変調伝達関数の例を示すグラフである。図3のグラフでは、光学系5によって結像された空中像Rの変調伝達関数（以下、第1変調伝達関数ともいう） K_1 を破線で示し、理想的光学系によって結像された理想的空中像の変調伝達関数（以下、第2変調伝達関数ともいう） K_2 を実線で示している。図3に示すように、第1変調伝達関数 K_1 は、第2変調伝達関数 K_2 より小さくなる。従って、第1変調伝達関数 K_1 を空間周波数軸において積分して成る面積（以下、MTF面積ともいう） S_1 は、第2変調伝達関数 K_2 を空間周波数軸において積分して成る面積 S_2 より小さくなり、面積比 S_1/S_2 は、1より小さくなる。面積比 S_1/S_2 が1に近いほど、空中像表示装置2が実際に結像する空中像Rの解像度が高いといえる。

[0028] 空中像表示装置2は、光学系5によって結像された空中像Rの第1変調伝達関数 K_1 を空間周波数軸において積分して成る面積を S_1 とし、光学系5が回折限界の分解能を有する理想的光学系であり、該理想的光学系によって

結像された理想的空中像の第2変調伝達関数 K_2 を空間周波数軸において積分して成る面積を S_2 としたとき、面積 S_2 に対する面積 S_1 の比 S_1/S_2 が0.85以上であるように構成されている。従って、空中像表示装置2は、解像度の劣化を抑制できる。

[0029] 変調伝達関数は、後述する測定システム1を用いて算出することができる。測定システム1は、空中像Rを撮像可能な撮像装置7を含んで構成される。変調伝達関数は、撮像装置7から出力される空中像Rの撮像データに基づいて算出することができる。

[0030] 第1変調伝達関数 K_1 および第2変調伝達関数 K_2 は、最大値が1となるように正規化されていてよい。この場合、空中像Rが絞り値を8に設定した撮像装置7によって撮像されたとき、第1変調伝達関数 K_1 を空間周波数軸において積分して成る面積 S_1 は、6以上であってよい。これにより、利用者20の眼20eが空中像Rを視認するときの解像度を向上させることができる。また、空中像Rが絞り値を3に設定した撮像装置7によって撮像されたとき、第1変調伝達関数 K_1 を空間周波数軸において積分して成る面積 S_1 は、12.7以上であってよい。これにより、利用者20に解像度の劣化が抑制され、かつ光軸ずれが低減された空中像Rを視認させることができる。尚、光軸ずれとは、空中像表示装置2が結像する空中像Rの実際の光軸方向 D_a と、空中像表示装置2が結像する空中像Rの設計上の光軸方向 D_d との間のずれを指す（図1，2参照）。

[0031] 図23は、撮像装置7のF値（絞り値）が8である場合に、光学系5によって結像された空中像RのMTF面積 S_1 と、空中像Rの輝度分布波形の尖鋭度を表す幅比 W/Q との関係を表わすグラフである。輝度分布波形は、図10に示す線広がり関数（Line Spread Function: LSF）とも称される。 W は、図10に示すLSFの半値幅であり、 Q は、図10に示すLSFの1/4値幅（以下、半半値幅または4分の1値幅ともいう）である。即ち、幅比 W/Q は、（半値幅）/（1/4値幅）であり、図10に示すように、線広がり関数の4分の1値幅 Q に対する半値幅 W の比である。図23のグラフ

において、横軸上段の数値が、MTF面積 S_1 の値を示しており、横軸下段の数値が、面積比 S_1/S_2 の値を示しており、また、面積 S_2 の値は、7.25である。撮像装置7のF値が8である場合、撮像装置7の受光部（レンズ開口）の面積が小さいことから、空中像Rのコントラストが低くなりやすい。即ち、輝度分布波形の尖鋭度は低くなるとともに、空中像RのMTF面積 S_1 の値は全体的に小さくなりやすい。そして、空中像RのMTF面積 S_1 の値が小さくなればなるほど、即ち空中像Rのコントラストがより低くなればなるほど、輝度分布波形の尖鋭度はより低くなる傾向がある。また、図23に示すように、空中像RのMTF面積 S_1 が約4.2以上で輝度分布波形の尖鋭度が急激に向上している。従って、 S_1 が約4.2以上で S_1/S_2 （ $S_2=7.25$ ）が約0.58以上となる。

[0032] 図22は、撮像装置7のF値が3である場合に、光学系5によって結像された空中像RのMTF面積 S_1 と、空中像Rの輝度分布波形の尖鋭度を表す幅比 W/Q との関係を表すグラフである。図22のグラフにおいて、横軸上段の数値が、MTF面積 S_1 の値を示しており、横軸下段の数値が、面積比 S_1/S_2 の値を示しており、また、面積 S_2 の値は、14.9である。撮像装置7のF値が3である場合、撮像装置7の受光部（レンズ開口）の面積が大きいことから、空中像Rのコントラストが高くなりやすい。即ち、輝度分布波形の尖鋭度は高くなるとともに、空中像RのMTF面積 S_1 の値は全体的に大きくなりやすい。そして、空中像RのMTF面積 S_1 の値が大きくなればなるほど、即ち空中像Rのコントラストがより高くなればなるほど、輝度分布波形の尖鋭度はより高くなる傾向がある。図22に示すように、空中像RのMTF面積 S_1 が12.7以上で輝度分布波形の尖鋭度が急激に向上している。従って、 S_1 が12.7以上であってもよく、その場合 S_1/S_2 （ $S_2=14.9$ ）が0.85以上となる。

[0033] また、図23に示すように、空中像RのMTF面積 S_1 が6未満で輝度分布波形の尖鋭度が急激に低下している。換言すると、空中像RのMTF面積 S_1 が6以上で輝度分布波形の尖鋭度が0.68以上の最も高い領域にある

とともに、輝度分布波形の尖鋭度は理想的空中像の尖鋭度の約0.7に漸近している。即ち、S1が6以上で、輝度分布波形の尖鋭度は、理想的空中像の約0.7に近似した、ほぼ一定の値である。従って、S1が6以上であってもよく、その場合S1/S2 (S2=7.25) が0.83以上となる。

[0034] 図22に示す撮像装置7のF値が3である場合、および図23に示す撮像装置7のF値が8である場合を総合して、S1/S2が0.85以上であってもよい。

[0035] 空中像表示装置2は、光学系5が結像する空中像Rの歪みを5%以下とすることができる。図4は、図1の空中像表示装置2の利用者20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4において、実線は利用者20が視認する空中像Rを示し、破線は歪みのない仮想の空中像IRを示す。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4は、平面方向の歪みのみを示している。尚、図4では、図1, 2とは異なり、X軸方向を水平方向とし、Y軸方向を高さ方向としている。

[0036] 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（右下角部LR, 左上角部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1は、角部LR, UR, LL, ULにおける空中像IRからの歪みを示している。空中像表示装置2は、表1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。

[0037] [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%

[0038] 尚、X方向の+（プラス）方向は、図4における右方向であり、X方向の-（マイナス）方向は、図4における左方向である。また、Y方向の+（プラス）方向は、図4における上方向であり、Y方向の-（マイナス）方向は、図4における下方向である。但し、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、空中像IRの外側に歪んだ場合を正の値とし、空中像IR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LR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UR、左下角部LL、および左上角部UL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。

[0039] 角部LR, UR, LL, ULにおける歪みは、以下のように算出する。角部LR, UR, LL, ULのX方向の歪は、矩形形状の空中像IRの上辺（下辺は上辺と同じ長さ）の長さLXに対する、X方向のずれ長さで規定する。空中像IRの下辺の長さは、上辺の長さLXと同じ長さであることから、上辺の長さLXを基準とする。例えば、角部URのX方向の歪は、上辺の長さLXに対する、空中像IRの右上角CURからのX方向のずれ長さ ΔX_{UR} で規定する。すなわち、角部URのX方向の歪は、 $(\Delta X_{UR} / LX) \times 100$ （%）で規定する。角部URは、X方向において、空中像IRの内側に歪んでいることから、-（マイナス）の値となる。角部LR, LL, ULのX方向における歪みも同様に規定する。空中像IRが矩形形状以外の形状である場合、X方向の基準長さは、平均長さであってよいし、最大長さであってよい。

[0040] 角部LR, UR, LL, ULのY方向の歪は、矩形形状の空中像IRの右辺（左辺は右辺と同じ長さ）の長さLYに対する、Y方向のずれ長さで規定する。空中像IRの左辺の長さは、右辺の長さLYと同じ長さであることから、右辺の長さLYを基準とする。例えば、角部UR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_{UR} からの Y 方向のずれ長さ ΔY_{UR} で規定する。すなわち、角部 UR の Y 方向の歪は、 $(\Delta Y_{UR} / L_Y) \times 100$ (%)で規定する。角部 UR 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 LR , LL , UL 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、平均長さであってよいし、最大長さであってもよい。

- [0041] 図1に示す空中像表示装置2の光学系5は、第1凹面鏡5aの湾曲度 S_a が0.35~0.45程度であってよく、凸面鏡5bの湾曲度 S_b が0.15~0.25程度であってよく、第2凹面鏡5cの湾曲度 S_c が0.25~0.35程度であってよい。この場合、空中像 R の歪みを5%以下に抑えつつ、面積比 S_1 / S_2 を0.85以上とすることができる。図2に示す空中像表示装置2の光学系5は、第1凹面鏡5dの湾曲度 S_d が0.2~0.3程度であってよく、第2凹面鏡5eの湾曲度 S_e が0.05~0.15程度であってよい。この場合、空中像 R の歪みを5%以下に抑えつつ、面積比 S_1 / S_2 を0.85以上とすることができる。尚、湾曲度 S_a , S_b , S_c , S_d , S_e は、表示パネル4のサイズ、形状、画角(光の広がり)等によって変化しうるため、上記の範囲に限定されるものではない。
- [0042] 第1凹面鏡5aの湾曲度 S_a は、図5に示すように、第1凹面鏡5aに入射する画像光 L_p の光軸に沿う断面において、第1凹面鏡5aの反射面5aaの中心の上を通り、反射面5aaの両端を結ぶ線分 LS の長さを $2 \times H$ とし、反射面5aa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} としたとき、 D_{MAX} / H によって定義される。尚、 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_a としてもよい。湾曲度 S_b , S_c , S_d , S_e も、湾曲度 S_a と同様に定義される。
- [0043] 空中像表示装置2は、光学系5が結像する空中像 R の輝度を $800 \text{ cd} / \text{m}^2$ 以上とすることができる。空中像表示装置2は、光学系5が反射部材の

みで構成され、偏光フィルタ、ビームスプリッタ等の入射光の一部を透過する光学部材を含まない構成であるため、画像光L pの利用率が高い。このため、空中像表示装置2は、消費電力の増大を抑制しつつ、高輝度の空中像Rを結像することができる。尚、空中像Rの輝度は、市販の輝度計によって測定されてよい。空中像Rの輝度は、撮像装置7の位置（図6参照）に配置された輝度計によって測定されてよい。

[0044] 次に、空中像Rの変調伝達関数の算出について説明する。空中像Rの変調伝達関数は、測定システム1を用いて算出することができる。測定システム1は、図6に示すように、撮像装置7と、制御部8と、取得部14とを含む。

[0045] 撮像装置7は、利用者20の眼20e（図1, 2参照）として想定され、空中像表示装置2が結像する空中像Rを撮像する。撮像装置7は、空中像表示装置2から、空中像表示装置2の設計光軸方向D a dに離隔して位置している。撮像装置7は、空中像表示装置2が結像する空中像Rを、空中像表示装置2の設計光軸方向D a dに撮像する。設計光軸方向D a dは、空中像表示装置2が結像する空中像Rの設計上の光軸方向を指す。設計光軸方向D a dは、例えば、筐体6の幅方向に直交する方向であってよいし、画像光射出部6aの射出面に直交する方向であってよい。空中像表示装置2は、設計光軸方向D a dが奥行方向に一致するように配置されている。尚、撮像装置7の撮像方向7dは、設計光軸方向に限定されない。制御部8は、第1回転装置12が、撮像装置7を所定の回転軸まわりに回転させるよう制御してよい。即ち、制御部8は、撮像装置7が、空中像Rを設計光軸方向（奥行方向）と異なる方向に撮像するよう制御してよい。

[0046] 撮像装置7は、撮像素子を含んで構成される。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7は、複数の撮像素子と、対物レンズ等の光学素子とを含むカメラ（例えば、CCDカメラ）であってよい。撮像装置7は、絞り値（F値）が変更可能であって

よい。撮像装置 7 は、絞り値を 2 ~ 2 2 の範囲内において変更可能であってよい。

[0047] 制御部 8 は、測定システム 1 の制御部として機能しうる。制御部 8 は、測定システム 1 の各構成要素に接続され、各構成要素を制御しうる。制御部 8 は、空中像 R の変調伝達関数を算出するにあたって、空中像表示装置 2 の制御部としても機能しうる。制御部 8 は、例えば、空中像表示装置 2 が結像する空中像 R を制御しうる。制御部 8 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。制御部 8 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。

[0048] 取得部 1 4 は、撮像装置 7 が生成した撮像画像の画像データを記憶してよい。撮像装置 7 が撮像画像を生成した際、制御部 8 は、取得部 1 4 を介して、撮像画像の画像データを取得してよい。撮像装置 7 は、撮像画像を生成した際、撮像画像の画像データを取得部 1 4 に自動的に出力してもよい。取得部 1 4 は、バッファメモリ等の一時記憶装置であってもよい。制御部 8 と撮像装置 7 との信号の送受信の方式、取得部 1 4 と撮像装置 7 との信号の送受信の方式、取得部 1 4 と制御部 8 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。

[0049] 制御部 8 は、空中像 R の変調伝達関数を算出するにあたって、空中像表示装置 2 が、図 6, 7 に示すようなテストパターン (以下、単に、空中像ともいう) 9 を空中に結像するよう制御する。図 7 は、ぼけ (解像度劣化) がな

いテストパターン9を示している。テストパターン9は、第1帯状画像9aおよび第2帯状画像9bの繰り返しパターンであってよい。第1帯状画像9aおよび第2帯状画像9bは、鉛直方向（X軸方向）に細長い画像であってよい。テストパターン9は、少なくとも3つの第1帯状画像9aを含んでよい。図7は、第1帯状画像9aが白画像であり、第2帯状画像9b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9aと第2帯状画像9b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。

[0050] 第1帯状画像9aおよび第2帯状画像9bが鉛直方向（X軸方向）に細長い画像である場合、撮像装置7は、撮像装置7の高さ方向（例えば、撮像装置7の上面に直交する方向）が奥行方向（Z軸方向）と平行な回転軸まわりに 3° ～ 5° 程度傾斜してよい。この場合、テストパターン9の変調伝達関数を算出する際のサンプリング数を増加させることができ、テストパターン9の変調伝達関数を精度よく算出することが可能となる。

[0051] 図8は、空中像表示装置2が結像したテストパターン9の全体像の一例を示す。制御部8は、撮像装置7が、テストパターン9における少なくとも1つの撮像部位を撮像するよう制御する。少なくとも1つの撮像部位は、例えば、図8に示す複数の撮像部位F1～F7のうちの少なくとも1つであってよい。少なくとも1つの撮像部位は、複数の撮像部位F3～F5であってよいし、複数の撮像部位F1～F7であってよい。以下では、撮像装置7がテストパターン9における撮像部位F1～F7を撮像する場合について説明する。尚、「～」は「乃至」を意味し、以下同様とする。

[0052] テストパターン9において、撮像部位F4は、空中像Rの結像面R_p（X軸方向およびY軸方向）の中心付近に位置してよい。撮像部位F3～F5は、空中像9の結像面R_p内における所定方向に並んでよい。所定方向は、Y軸方向（幅方向）であってよいが、これに限らない。所定方向は、X軸方向（上下方向、高さ方向）であってもよく、X軸方向およびY軸方向から傾いた方向（斜め方向）であってもよい。撮像部位F1, F2, F6, F7は、

図8に示すように、テストパターン9の4つの角部にそれぞれ位置してよい。以下では、特に断らない限り、撮像部位F3～F5が、空中像9の結像面内におけるY軸方向（幅方向）に並んでいる場合について説明する。

[0053] 撮像装置7は、テストパターン9の複数の撮像部位F1～F7を撮像し、複数の撮像画像P1～P7の画像データを出力する。複数の撮像画像P1～P7はそれぞれ、複数の撮像部位F1～F7を撮像した画像である。テストパターン9は、複数の撮像画像P1～P7のそれぞれが、少なくとも1本の第1帯状画像9a（図7における白画像部分）の像を含むように構成されてよい。テストパターン9は、複数の撮像画像P1～P7のそれぞれが、図9に示すように、1本の第1帯状画像9aの像を含むように構成されてよい。この場合、各撮像画像P1～P7の画像データの処理が簡単になり、変調伝達関数を精度よく算出することが可能となる。図9は、撮像画像P3を示しているが、撮像画像P1, P2, P4～P7も同様である。

[0054] 奥行方向（Z軸方向）における撮像装置7とテストパターン9との距離は、所定の撮像距離（初期設定距離ともいう）に設定されていてよい。初期設定距離は、例えば300mm～700mmであってよいし、500mmであってよい。撮像装置7と空中像9との距離は、撮像装置7と空中像9の中心付近（例えば撮像部位F4）との距離であってよい。撮像装置7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、初期設定距離に一致してよい。以下では、特に断らない限り、撮像装置7と空中像9との距離は、初期設定距離に設定されているものとする。尚、奥行方向における撮像装置7と空中像9との距離は、初期設定距離に固定されなくてよい。詳細は後述するが、制御部8は、移動装置11が、撮像装置7と空中像9との距離を初期設定距離から変更するよう制御してよい。即ち、制御部8は、撮像装置7と空中像9との距離と、撮像装置7の焦点距離とを異ならせるデフォーカス操作を行ってよい。

[0055] 制御部8は、撮像装置7が、テストパターン9を撮像するよう制御する際、撮像装置7が、絞り値を3より大きい値に設定するよう制御してよいし、

絞り値を3以下の値に設定するよう制御してよい。撮像装置7の絞り値を比較的大きい値（例えば8）に設定することで、利用者20の眼20eがテストパターン9を視認するときの解像度を評価することができる。また、撮像装置7の絞り値を比較的小さい値（例えば3）に設定することで、撮像装置7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、奥行方向における被写体（即ち、複数の撮像部位F3, F4, F5）の位置を精度よく測定することができ、変調伝達関数を精度よく算出することが可能となる。また、空中像表示装置2が結像する空中像Rの実際の光軸方向Daと、空中像表示装置2が結像する空中像Rの設計上の光軸方向Dadとの間の光軸ずれを精度よく測定することが可能となる。

[0056] 制御部8は、撮像装置7から、取得部14を介して、複数の撮像画像P1～P7の画像データを取得する。制御部8は、複数の撮像画像P1～P7について、幅方向（図9における左右方向）に並ぶ各画素の輝度値をスキャンし、ビニング処理を行って、図10に示すような輝度分布波形LSF1～LSF7を算出する。輝度分布波形LSF1～LSF7はそれぞれ、撮像画像P1～P7の画像データから算出された輝度分布波形を指す。輝度分布波形LSF1～LSF7は、Y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10の横軸は、Y軸方向の位置の変化を表したものである。図10は、Y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: LSF）とも称される。

[0057] 撮像画像P1～P7が、図9に示すように、1本の第1帯状画像9aの像を含む場合、線広がり関数LSF1～LSF7は、図10に示すように、略ガウス型の形状を有する。以下、LSFの特性値に基づく光軸方向の測定方法をLSF法ともいう。

[0058] 制御部8は、以下の式(3)に表されるように、線広がり関数LSF1～LSF7のそれぞれをフーリエ変換することによって、図3に示す第1変調伝達関数K1のような変調伝達関数MTF1～MTF7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]

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

式(3)において、LSF(x)は、撮像画像P1～P7内の位置xの関数としての線広がり関数LSF1～LSF7を総括的に表す。MTF(ν)は、空間周波数νの関数としての変調伝達関数MTF1～MTF7を総括的に表す。Cは、MTF(0)を「1」に正規化するための定数である。

[0059] MTF(ν)は、撮像画像P1～P7のコントラストに基づく解像度を表す指標であると言える。例えば、空間周波数νが高い領域(6/mm～16/mm程度)における変調伝達関数MTF4の値が大きいほど、撮像部位F4と撮像装置7との距離が撮像装置7の焦点距離に近いと判断できる。変調伝達関数MTF1～MTF3、MTF5～MTF7についても同様である。式(3)における積分区間の上限および下限はそれぞれ、有限値に置き換えてよく、この場合、制御部8の処理負担を軽減することができる。式(3)を用いて変調伝達関数MTF(ν)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。

[0060] 制御部8は、次の式(4)で表されるように、変調伝達関数MTF1～MTF7をそれぞれ空間周波数軸において積分して成る面積A1～A7を測定する。式(4)における積分区間は、有限区間(例えば、0/mm～18/mmの範囲)に置き換えてよく、この場合、制御部8の処理負担を軽減することができる。

[数4]

$$A = \left| \int_0^{\infty} MTF(v) dv \right| \quad \dots(4)$$

[0061] 制御部8は、面積A1～A7の平均値を第1変調伝達関数K1の面積S1としてよい。この場合、空中像R全体にわたる平均的な解像度の高低を評価することができる。制御部8は、面積A1～A7の加重平均を第1変調伝達関数K1の面積S1としてもよい。この場合、面積A3, A4, A5の重みづけを大きくすることで、空中像Rの中心付近における解像度の高低を評価することができる。あるいは、面積A1, A2, A6, A7の重みづけを大きくすることで、空中像Rの角部における解像度の高低を評価することができる。制御部8は、面積A1～A7のうちの最小値A_{MIN}を第1変調伝達関数K1の面積S1としてもよい。この場合、空中像R全体にわたる解像度の高低を評価することができる。

[0062] 変調伝達関数MTF1～MTF7はそれぞれ、線広がり関数LSF1～LSF7をフーリエ変換することによって算出されなくてよい。変調伝達関数MTF1～MTF7はそれぞれ、撮像画像P1～P7の画像データから直接にチャート法によって算出されてよい。

[0063] 変調伝達関数MTF1～MTF7をチャート法によって算出する場合、制御部8は、空中像表示装置2が、図11に示すようなテストパターン（以下、単に、空中像ともいう）9'を結像するよう制御する。尚、図11は、ぼけ（解像度劣化）および光軸ずれがない理想的な空中像9'を示している。空中像9'は、各撮像部位F1～F7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、各撮像画像P1～P7は、図12に示すように、空間周波数νが互いに異なる複数の矩形波チャート9c～9fの像を含む。制御部8は、撮像装置7が、空中像9'を撮像し、撮像部位F1～F7を撮像した撮像画像P1～P7を生成し、撮像画像P1～P7の画像データを出力するよう制御する。撮像装置7は、空中像9'を撮像する際、装置台10の

上面10aに対して傾斜いなくてよい。制御部8は、各撮像画像P1～P7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_{ν} および最小値 b_{ν} 、ならびにコントラスト比 $c_{\nu} = (a_{\nu} - b_{\nu}) / (a_{\nu} + b_{\nu})$ を算出する。さらに、制御部8は、各空間周波数 ν のコントラスト比 c_{ν} を最も低い空間周波数 ν のコントラスト比 c_{ν} 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。制御部8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、変調伝達関数MTF1～MTF7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。

[0064] 上記では、空中像表示装置2が実際に結像する空中像9の第1変調伝達関数を算出する方法について説明した。理想的光学系によって結像される理想的空中像の第2変調伝達関数 K_2 は、シミュレーションによって算出してよい。あるいは、理想的空中像を模した模擬画像を結像面 R_p 内に配置し、撮像装置7が模擬画像を撮像して得られる画像データに基づいて、第2変調伝達関数を算出してもよい。模擬画像は、図7、8に示すテストパターン9と同様に、第1帯状画像9aおよび第2帯状画像9bの繰り返しパターンであってよい。

[0065] 空中像表示装置2では、例えば光学系5を構成する反射部材の製造公差、配置誤差等によって、空中像表示装置2が結像する空中像Rの光軸方向 D_a と、設計光軸方向 D_{ad} との間にずれ(以下、光軸ずれともいう)が生じることがある。光軸ずれが生じている場合、空中像Rの結像面 R_p 内において輝度、解像度等の表示品位に偏りが発生し、変調伝達関数MTF1～MTF7を精度よく算出できないことがある。測定システム1は、空中像表示装置2の光軸ずれを測定するように構成されてよい。測定システム1は、空中像表示装置2の光軸ずれを校正するように構成されてよい。

[0066] 以下、空中像表示装置2の光軸ずれを測定する測定システム1について説明する。

[0067] 測定システム1は、図6に示すように、撮像装置7を奥行方向（Z方向）に沿って移動させる移動装置11を含んでよい。移動装置11は、撮像装置7を所定距離 ΔZ 単位で移動させうるように構成される。所定距離 ΔZ 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11は、例えば、レール11rと、保持部材（支持部材ともいう）11hと、保持部材11hを上面の側に設置した移動台（スライダともいう）11tと、を含んで構成される。レール11rは、装置台10の上面10aに位置し、奥行方向に沿って延びている。保持部材11hは、撮像装置7を支持し保持している。保持部材11hが撮像装置7を保持した状態で、移動台11tがレール11r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11tの移動は、制御部8によって制御されてもよい。

[0068] 測定システム1は、図6に示すように、撮像装置7を第1回転軸RA1まわりに回転させる第1回転装置12を含んでよい。第1回転軸RA1は、結像面Rp内において撮像部位F3、F4、F5が並ぶ所定方向（例えば、Y軸方向）に直交する方向（例えば、X軸方向）と平行であってよい。第1回転軸RA1は、撮像装置7を通る回転軸であってよい。第1回転装置12は、撮像装置7を所定角度 $\Delta\theta$ 単位で回転させうるように構成される。所定角度 $\Delta\theta$ は、例えば、 $0.1^\circ \sim 2.0^\circ$ 程度であってよいし、 $0.5^\circ \sim 1^\circ$ 程度であってよい。第1回転装置12は、移動装置11に備わっていてよい。例えば、第1回転装置12は、移動台11tと保持部材11hとの間に設置されていてもよい。第1回転装置12は、移動装置11の保持部材11hと、保持部材に保持された撮像装置7とを第1回転軸RA1まわりに回転させてよい。第1回転装置12は、移動装置11の保持部材11hを回転させず、撮像装置7のみを第1回転軸RA1まわりに回転させてもよい。第1回転軸RA1まわりの撮像装置7の回転は、制御部8によって制御される。第1回転装置12は、ステッピングモーター装置、リニアモーター装置、超音波モーター装置、手動によって回転されるつまみ、ネジ等の回転調整装置

等を備える手動式回転装置であってもよい。

[0069] 尚、空中像表示装置 2 は、図 1, 2 に示すように、筐体 6 内に位置し、構成部材 2 a の全体を第 2 回転軸 R A 2 まわりに回転させる第 2 回転装置 1 3 を含んでよい。第 2 回転軸 R A 2 は、結像面 R p 内において撮像部位 F 3, F 4, F 5 が並ぶ所定方向に直交する方向（例えば、X 軸方向）と平行であってよい。第 2 回転装置 1 3 は、筐体 6 を回転させず、構成部材 2 a の全体のみを第 2 回転軸 R A 2 まわりに回転させてよい。第 2 回転軸 R A 2 まわりの空中像表示装置 2 の回転または構成部材 2 a の全体の回転は、制御部 8 によって制御される。

[0070] [空中像の光軸方向の測定]

次に、空中像表示装置 2 が結像するテストパターン 9 の実際の光軸方向 D a を測定する測定システム 1 の動作について説明する。

[0071] 先ず、空中像 9 の実際の光軸方向 D a が撮像装置 7 の撮像方向 7 d に一致するか否か、また空中像 9 の実際の光軸方向 D a が設計光軸方向 D a d に一致するか否かを測定する測定システム 1 の動作について説明する。撮像装置 7 の撮像方向 7 d は、カメラの対物レンズの光軸方向（中心軸方向ともいう）であってよく、CCD 撮像素子等の撮像面に直交する方向であってもよい。撮像装置 7 の撮像方向 7 d は、空中像表示装置 2 に正対している利用者 2 0 の眼 2 0 e の視線方向であると想定してもよい。

[0072] 空中像 9 の実際の光軸方向 D a が、撮像装置 7 の撮像方向 7 d に一致するか否かを測定する場合、まず、空中像表示装置 2 は撮像装置 7 に対して正対していると仮定する。そして、空中像 9 の実際の光軸方向 D a が撮像装置 7 の撮像方向 7 d に一致していない場合（実際の光軸方向 D a が撮像方向 7 d とずれている場合）、後述する撮像装置 7 を奥行方向の前後に平行移動させる方法（デフォーカス法）によって、光軸方向 D a と撮像方向 7 d のずれ量を測定し、光軸方向 D a を測定することができる。また、撮像装置 7 を第 1 回転軸 R A 1 の回りに回転移動させて、撮像方向 7 d を光軸方向 D a に一致させることによって、光軸方向 D a を測定できるとともに、空中

像表示装置 2 を撮像装置 7 の方に正確に正対させることもできる。

[0073] 尚、実際の光軸方向 $D a$ と撮像方向 $7 d$ との間の位置ずれは、高さ方向（ X 軸方向）においてのみ存在する場合、幅方向（ Y 軸方向）においてのみ存在する場合、高さ方向（ X 軸方向）および幅方向（ Y 軸方向）において存在する場合がある。それぞれの場合について、位置ずれを測定し、位置ずれを解消するように調整することができる。

[0074] 空中像 9 の実際の光軸方向 $D a$ が、空中像表示装置 2 の設計光軸方向 $D a d$ （図 1, 2 参照）に一致するか否かを測定する場合、空中像表示装置 2 を撮像装置 7 に対して正対する所定の位置に、正確に配置する。例えば、空中像表示装置 2 の画像光射出部 $6 a$ が撮像装置 7 の撮像方向 $7 d$ に直交するように、空中像表示装置 2 を配置してもよい。このとき、撮像方向 $7 d$ は所定の撮像方向 $7 d a$ （設計光軸方向 $D a d$ に一致する撮像方向 $7 d a$ ）であると想定する。即ち、実際の光軸方向 $D a$ と設計光軸方向 $D a d$ との間に光軸ずれがなければ、光軸方向 $D a$ と撮像方向 $7 d a$ と間のずれ量は測定されず、実際の光軸方向 $D a$ と設計光軸方向 $D a d$ との間に光軸ずれがあれば、後述する撮像装置 7 を奥行方向の前後に平行移動させる方法（デフォーカス法）によって、光軸方向 $D a$ と撮像方向 $7 d a$ と間のずれ量が測定される。さらに、光軸方向 $D a$ と設計光軸方向 $D a d$ との光軸ずれを解消するように、空中像表示装置 2 の構成部材 $2 a$ の配置の調整、構成部材 $2 a$ の交換等を行うことによって、光軸方向 $D a$ と設計光軸方向 $D a d$ とを一致させてもよい。

[0075] 尚、実際の光軸方向 $D a$ と設計光軸方向 $D a d$ との間の光軸ずれは、高さ方向（ X 軸方向）においてのみ存在する場合、幅方向（ Y 軸方向）においてのみ存在する場合、高さ方向（ X 軸方向）および幅方向（ Y 軸方向）において存在する場合がある。それぞれの場合について、位置ずれを測定し、位置ずれを解消するように調整することができる。

[0076] 以下では、具体的な例として、撮像画像 $P 3 \sim P 5$ の画像データに基づいて、高さ方向（ X 軸方向）に直交する平面内における、空中像 9 の実際の光

軸方向D a と設計光軸方向D a d との一致または不一致を測定する測定システム1の動作について説明するが、これに限られない。

[0077] <輝度分布波形の線広がり関数の特性値に基づく光軸方向の測定>

制御部8は、上述のように、撮像装置7から、複数の撮像画像P 3～P 5の画像データを取得する。制御部8は、複数の撮像画像P 3～P 5の画像データに基づいて、図10に示すような輝度分布波形L S F 3～L S F 5を算出する。

[0078] 制御部8は、線広がり関数L S F 3～L S F 5のそれぞれの特性値V 3, V 4, V 5を算出する。本明細書において、特性値V 1～V 7はそれぞれ、線広がり関数L S F 1～L S F 7の特性値を指す。特性値は、線広がり関数のピーク値Hであってよいし、線広がり関数の半値幅Wであってよいし、線広がり関数の4分の1値幅Qに対する半値幅Wの比（以下、幅比W/Qともいう）であってもよい（図10参照）。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L S F 4のピーク値Hが大きいほど（図10の場合、1に近いほど）、撮像部位F 4と撮像装置7との距離が撮像装置7の焦点距離に近いと判断できる。また、線広がり関数L S F 4のピーク値Hが大きいほど、空中像Rの解像度（コントラスト値）が高いと判断できる。線広がり関数L S F 3, L S F 5のピーク値Hについても同様である。

[0079] 半値幅Wは、ピーク値Hの略50%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L S F 4の半値幅Wが小さいほど、撮像部位F 4と撮像装置7との距離が撮像装置7の焦点距離に近いと判断できる。線広がり関数L S F 3, L S F 5の半値幅Wについても同様である。また、線広がり関数L S F 4の半値幅Wが小さいほど、空中像Rの解像度（コントラスト値）が高いと判断できる。

[0080] 4分の1値幅Qは、ピーク値Hの略25%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、幅比W/Qが大きいほど（1に近いほど）、撮像部位F 4と撮像装置7との距離が撮像装置7の焦点距離に近いと判断できる。線広がり関数L S F 3, L S F 5の幅比W/Qに

についても同様である。また、幅比 W/Q が大きいほど、空中像 R の解像度（コントラスト値）が高いと判断できる。

[0081] 特性値は、ピーク値 H と半値幅 W とから得られる組み合わせ値であってもよい。組み合わせ値は、ピーク値 H を半値幅 W で除算して得られる値であってよいし、その他の値であってよい。特性値がピーク値 H を半値幅 W で除算して得られる組み合わせ値である場合、線広がり関数 $LSF4$ の組み合わせ値が大きいほど、撮像部位 $F4$ と撮像装置 7 との距離が撮像装置 7 の焦点距離に近いと判断できる。また、線広がり関数 $LSF4$ の組み合わせ値が大きいほど、空中像 R の解像度（コントラスト値）が高いと判断できる。線広がり関数 $LSF3$ 、 $LSF5$ の組み合わせ値についても同様である。

[0082] 制御部 8 は、複数の特性値 $V3 \sim V5$ の間の複数の差分（即ち、 $V3 - V4$ 、 $V3 - V5$ 、および $V4 - V5$ ）を算出し、複数の差分の絶対値のすべてが閾値 $T1$ 以下である場合、空中像 9 の実際の光軸方向 Da が奥行方向（即ち、設計光軸方向 Da_d ）に一致すると判定してよい。制御部 8 は、複数の差分の絶対値のうち少なくとも 1 つが閾値 $T1$ を超える場合、空中像 9 の光軸方向 Da が奥行方向に一致しないと判定してよい。閾値 $T1$ は、空中像表示装置 2 の要求仕様に基づいて、適宜設定されてよい。

[0083] 例えば、特性値 $V3 \sim V5$ がピーク値 H または幅比 W/Q である場合、制御部 8 は、複数の特性値 $V3 \sim V5$ の差分の絶対値が閾値 $T1$ 以下であるとき、空中像 9 の光軸方向が奥行方向に一致すると判定してもよい。

[0084] 制御部 8 は、複数の特性値 $V3 \sim V5$ がピーク値 H または幅比 W/Q である場合、複数の特性値 $V3 \sim V5$ のすべてが閾値 $T2$ 以上であるとき、空中像 9 の光軸方向 Da が奥行方向に一致すると判定してよい。制御部 8 は、特性値 $V3 \sim V5$ がピーク値 H または幅比 W/Q である場合、特性値 $V3 \sim V5$ のうち少なくとも 1 つが閾値 $T2$ 未満であるとき、空中像 9 の光軸方向 Da が奥行方向に一致しないと判定してよい。閾値 $T2$ は、空中像表示装置 2 の要求仕様に基づいて、適宜設定されてよい。

[0085] 制御部 8 は、特性値 $V3 \sim V5$ が半値幅 W である場合、特性値 $V3 \sim V5$

のすべてが閾値 T_3 以下であるとき、空中像 R の光軸方向 D_a が奥行方向に一致すると判定してよい。制御部 8 は、特性値 $V_3 \sim V_5$ が半値幅 W である場合、特性値 $V_3 \sim V_5$ のうちの少なくとも 1 つが閾値 T_3 を超えるとき、空中像 9 の光軸方向 D_a が奥行方向に一致しないと判定してよい。閾値 T_3 は、空中像表示装置 2 の要求仕様等に基づいて、適宜設定されてよい。

[0086] 測定システム 1 は、線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ の特性値 $V_3 \sim V_5$ に基づいて、空中像 9 の実際の光軸方向 D_a が設計光軸方向 D_{ad} に一致するか否かを系統的に測定することができる。従って、測定システム 1 によれば、空中像表示装置 2 が結像する空中像 R の光軸方向 D_a を較正することが可能となる。即ち、実際の光軸方向 D_a を設計光軸方向 D_{ad} に一致させるために、空中像表示装置 2 の構成部材 2 a の少なくとも一部の配置を調整すること、構成部材 2 a の少なくとも一部を交換すること等の手段を採用することができる。

[0087] <変調伝達関数の面積に基づく光軸方向の測定>

測定システム 1 は、変調伝達関数の面積（図 3 参照）に基づいて、空中像 9 の実際の光軸方向 D_a が撮像方向 $7d$ に一致するか否か、また空中像 9 の実際の光軸方向 D_a が設計光軸方向 D_{ad} に一致するか否かを判定することができる。以下、変調伝達関数の面積に基づいて、空中像 9 の実際の光軸方向 D_a が設計光軸方向 D_{ad} に一致するか否かを判定する測定システム 1 の動作について説明する。また、変調伝達関数の面積（以下、MTF 面積ともいう）に基づく光軸方向の測定方法を MTF 面積法ともいう。

[0088] 制御部 8 は、式 (3) で表されるように、撮像画像 $P_3 \sim P_5$ から算出された線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ のそれぞれをフーリエ変換することによって、変調伝達関数 $MTF_3 \sim MTF_5$ を算出する。さらに、制御部 8 は、式 (4) で表されるように、変調伝達関数 $MTF_3 \sim MTF_5$ のそれぞれを空間周波数軸において積分し、MTF 面積 $A_3 \sim A_5$ を測定する。尚、変調伝達関数 $MTF_3 \sim MTF_5$ は、線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ をフーリエ変換することによって算出されなくてよい。変調伝達関数 $MTF_3 \sim M$

TF5は、撮像画像P3～P5の画像データから直接にチャート法によって算出されてよい。

[0089] 制御部8は、複数のMTF面積A3～A5の間の複数の差分（即ち、 $A3 - A4$ 、 $A3 - A5$ 、および $A4 - A5$ ）を算出し、複数の差分の絶対値のすべてが閾値T4以下である場合、空中像9の実際の光軸方向Daが奥行方向（設計光軸方向Dad）に一致すると判定してよい。制御部8は、複数の差分の絶対値のうちの少なくとも1つが閾値T4を超える場合、空中像9の光軸方向が奥行方向に一致しないと判定してよい。閾値T4は、空中像表示装置2の要求仕様に基づいて、適宜設定されてよい。

[0090] 制御部8は、MTF面積A3～A5のすべてが閾値T5以上であるとき、空中像9の実際の光軸方向Daが奥行方向に一致すると判定してよい。制御部8は、MTF面積A3～A5のうちの少なくとも1つが閾値T5未満であるとき、空中像9の実際の光軸方向Daが奥行方向に一致しないと判定してよい。閾値T5は、空中像表示装置2の要求仕様に基づいて、適宜設定されてよい。

[0091] 測定システム1は、MTF面積A3～A5に基づいて、空中像9の実際の光軸方向Daが設計光軸方向Dadに一致するか否かを系統的に測定することができる。変調伝達関数MTFの面積は外光等の影響を受け難いため、MTF面積A3～A5を用いることによって、空中像9の実際の光軸方向Daが設計光軸方向Dadに一致するか否かを精度よく測定することができる。従って、測定システム1によれば、空中像表示装置2が結像する空中像Rの実際の光軸方向Daを精度よく較正することが可能となる。

[0092] 次に、空中像9の光軸ずれ（実際の光軸方向Daと設計光軸方向Dadとのずれ）を測定し、空中像表示装置2の光軸ずれを較正する測定システム1の動作について説明する。制御部8は、空中像9の実際の光軸方向Daが設計光軸方向（奥行方向）Dadに一致しないと判定した場合、空中像9の実際の光軸方向Daの設計光軸方向Dadからの光軸ずれを測定してよい。制御部8は、空中像9の実際の光軸方向Daが設計光軸方向Dadに一致する

か否かを判定することなく、空中像 9 の実際の光軸方向 $D a$ の設計光軸方向 $D a d$ からの光軸ずれを測定してもよい。

[0093] [デフォーカス操作による光軸ずれの測定]

先ず、撮像装置 7 を撮像方向 7 d に沿って移動させることによって、光軸ずれを測定する測定システム 1 の動作について説明する。制御部 8 は、移動装置 11 が、図 13 に示すように、撮像装置 7 を撮像方向（Z 軸方向）7 d に沿って移動させ、撮像方向 7 d における座標（Z 座標）が互いに異なる複数の位置に位置付けるよう制御する。複数の位置の Z 座標は、総括的に Z_j で表され、 Z_j は、 $Z_j = Z_0 + j \times \Delta Z$ で表される。 Z_0 は、撮像方向 7 d における撮像装置 7 の初期座標であり、撮像装置 7 と空中像 9 との距離が初期設定距離となるときの撮像装置 7 の Z 座標である。 ΔZ は、例えば、0.1 mm ~ 5 mm 程度であってよいし、0.2 mm ~ 2 mm 程度であってよい。 j は、 $-m_1 \leq j \leq m_2$ (m_1, m_2 は自然数) の範囲の整数である。 m_1, m_2 は、例えば 1 ~ 20 の自然数であってよいが、1 ~ 20 の自然数に限定されない。

[0094] 制御部 8 は、撮像装置 7 が、Z 座標が Z_j ($-m_1 \leq j \leq m_2$) で表される各位置から、空中像 9 を撮像方向 7 d において撮像するよう制御する。図 14 は、Z 座標が Z_0 である位置に位置する撮像装置 7 によって撮像された空中像 9 の一例を示し、図 15 は、Z 座標が Z_{j_a} (j_a は正の整数) である位置に位置する撮像装置 7 によって撮像された空中像 9 の一例を示し、図 16 は、Z 座標が Z_{j_b} (j_b は負の整数) である位置に位置する撮像装置 7 によって撮像された空中像 9 の一例を示す。撮像装置 7 の焦点距離が初期設定距離に固定されているため、撮像装置 7 の移動に伴って、撮像部位 F_3, F_4, F_5 のぼけが変化することが分かる。撮像装置 7 は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データを制御部 8 へ出力する。制御部 8 は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、撮像装置 7 から $(m_1 + m_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データを取得する。制御部 8 は、撮像装置 7 から、取得部 14 を介して、画像データを

取得してよい。

[0095] <輝度分布波形の線広がり関数の特性値に基づく光軸ずれの測定>

まず、線広がり関数の特性値に基づいて、空中像9の光軸ずれを測定する場合について説明する。制御部8は、各撮像部位F3～F5について、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 枚の撮像画像P3～P5の画像データに基づいて、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の線広がり関数LSF3, LSF4, LSF5を算出し、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の特性値V3～V5を算出する。以下では、特性値V3～V5が、線広がり関数LSF3～LSF5のピーク値H、またはピーク値Hを半値幅Wで除算した組み合わせ値であるとする。制御部8は、各撮像部位F3～F5について、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の特性値V3～V5のうち最大の V_{MAX} を算出するとともに、特性値V3～V5が最大値 V_{MAX} となるときの撮像装置7のZ座標（以下、合焦位置ともいう）を算出する。

[0096] 図17は、各撮像部位F3～F5の合焦位置FP3～FP5を示すグラフである。尚、本明細書において、合焦位置FP1～FP7はそれぞれ、特性値V1～V7が最大値 V_{MAX} となるときの合焦位置を指す。図17は、撮像部位F1, F2, F6, F7の合焦位置FP1, FP2, FP6, FP7を併せて示している。合焦位置FP1, FP2, FP6, FP7は、合焦位置FP3～FP5と同様に算出することができる。図17では、各撮像部位F3～F5の合焦位置FP3～FP5を、撮像部位F4の合焦位置FP4を基準位置（0mm）として示している。図17は、光軸ずれが発生している場合の撮像部位F3～F5の合焦位置FP3～FP5を示している。

[0097] 図17では、撮像部位F3の合焦位置FP3（+1.0mm）の符号と、撮像部位F5の合焦位置FP5（-0.8mm）の符号とが異なっている。このことは、図18に示すように、光軸ずれが発生していることを意味する。即ち、合焦位置FP3は、撮像装置7の焦点距離に対して撮像装置7の方に1.0mm近い位置にあり、合焦位置FP5は、撮像装置7の焦点距離に対して撮像装置7から0.8mm遠い位置にある。制御部8は、合焦位置FP3と合焦位置FP5とが異符号である場合、空中像9の光軸が、次の式（

5) を満たす角度 θ だけ奥行方向からずれていると判定する。

[数5]

$$\sin \theta = \frac{|FP3| + |FP5|}{L} \quad \dots(5)$$

式(5)において、 $|FP3|$ は、合焦位置 $FP3$ の絶対値であり、 $|FP5|$ は、合焦位置 $FP5$ の絶対値である(図17参照)。 L は、幅方向(Y 軸方向)における空中像9の設計上の長さである。

[0098] 制御部8は、空中像9の光軸方向 Da が角度 θ だけ設計光軸方向(奥行方向) Da_d からずれていると判定した場合、空中像表示装置2の構成部材2a全体を回転させる第2回転装置13(図1, 2参照)が、空中像表示装置2を第2回転軸 $RA2$ まわりに角度 θ だけ回転させるよう制御する。これにより、空中像表示装置2が結像する空中像 R の光軸ずれを較正することができる。その結果、光軸ずれが低減された高い表示品位の空中像 R を利用者に視認させることが可能となる。制御部8は、第2回転装置13が、装置台10の上方から見たときに、空中像表示装置2を時計回りまたは反時計回りに角度 θ だけ回転させるよう制御する。制御部8は、合焦位置 $FP3$, $FP5$ の符号に基づいて、空中像9の光軸方向 Da が設計光軸方向 Da_d と平行となる(即ち、一致する)ように、空中像表示装置2を回転させる方向を判定してよい。第2回転装置13は、ステッピングモーター装置、リニアモーター装置、超音波モーター装置、手動によって回転されるつまみ、ネジ等の回転調整装置等を備える手動式回転装置であってもよい。

[0099] 図19は、光軸ずれが発生していない場合の撮像部位 $F3 \sim F5$ の合焦位置 $FP3 \sim FP5$ を示している。図19は、撮像部位 $F1, F2, F6, F7$ の合焦位置 $FP1, FP2, FP6, FP7$ を併せて示している。合焦位置 $FP1, FP2, FP6, FP7$ は、合焦位置 $FP3 \sim FP5$ と同様に算出することができる。図19では、撮像部位 $F3$ の合焦位置 $FP3$ (-0.6 mm) の符号と、撮像部位 $F5$ の合焦位置 $FP5$ (-0.6 mm) の符号とが同符号であり、このことは、図20に示すように、光軸ずれが発生して

いない（または光軸ずれが低減されている）ことを指している。制御部 8 は、合焦位置 F P 3 の符号と、合焦位置 F P 5 の符号とが同符号である場合、空中像 9 の実際の光軸方向 D a が設計光軸方向（奥行方向）D a d からずれていないと判定し、空中像表示装置 2 の構成部材 2 a を回転させなくてよい。

[0100] 測定システム 1 の上述の動作は、線広がり関数 L S F 3 ~ L S F 5 の特性値 V 3 ~ V 5 として、ピーク値 H、またはピーク値 H を半値幅 W で除算した組み合わせ値を用いる場合の動作である。線広がり関数 L S F 3 ~ L S F 5 の特性値 V 3 ~ V 5 として、半値幅 W を用いる場合、制御部 8 は、各撮像部位 F 3 ~ F 5 について、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の特性値 V 3 ~ V 5 のうちの最小値 V_{MIN} を算出し、特性値 V 3 ~ V 5 が最小値 V_{MIN} となるときの撮像装置 7 の Z 座標を合焦位置 F P 3 ~ F P 5 とすればよい。最小値 V_{MIN} は、閾値 T 1 と同様であってもよい。

[0101] 測定システム 1 は、撮像装置 7 に対してデフォーカス操作を行うことで、線広がり関数 L S F 3 ~ L S F 5 の特性値 V 3 ~ V 5 に基づいて、空中像 9 の実際の光軸方向 D a と設計光軸方向 D a d との光軸ずれを系統的に測定することができる。従って、測定システム 1 によれば、空中像表示装置 2 が結像する空中像 R の光軸方向 D a を較正することが可能となる。

[0102] <変調伝達関数 M T F の面積に基づく光軸ずれの測定>

次に、変調伝達関数 M T F の面積に基づいて、空中像 9 の光軸ずれ（光軸方向 D a と設計光軸方向 D a d とのずれ）を測定する場合について説明する。制御部 8 は、各撮像部位 F 3 ~ F 5 について、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 枚の撮像画像 P 3 ~ P 5 の画像データに基づいて、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の変調伝達関数 M T F 3 ~ M T F 5 を算出し、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の M T F 面積 A 3 ~ A 5 を測定する。制御部 8 は、各撮像部位 F 3 ~ F 5 について、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の M T F 面積 A 3 ~ A 5 のうちの最大値 A_{MAX} を算出するとともに、M T F 面積 A 3 ~ A 5 が最大値 A_{MAX} となる撮像装置 7 の Z 座標（合焦位置 F P 3 ~ F P 5）を算出する。

- [0103] 制御部8は、MTF面積 $A_3 \sim A_5$ が最大値 A_{MAX} となる合焦位置 $F_{P3} \sim F_{P5}$ に基づいて、空中像9の光軸ずれ（傾斜角 θ ）を測定し、空中像表示装置2が結像する空中像Rの光軸ずれを校正することができる。MTF面積 $A_3 \sim A_5$ に基づいて、空中像9の光軸ずれを測定し、空中像の光軸ずれを校正する測定システム1の動作は、特性値 $V_3 \sim V_5$ に基づいて、空中像9の光軸ずれを測定し、空中像の光軸ずれを校正する測定システム1の動作と同様であるので、詳細な説明については省略する。
- [0104] 制御部8は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データに基づき、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ を算出し、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ をフーリエ変換することによって、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の変調伝達関数 $MTF_3 \sim MTF_5$ を算出してよい。あるいは、制御部8は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データに基づき、チャート法を用いて、 $(m_1 + m_2 + 1)$ 個の変調伝達関数 $MTF_3 \sim MTF_5$ を算出してもよい。
- [0105] 測定システム1は、撮像装置7に対してデフォーカス操作を行うことで、撮像装置7の移動に伴うMTF面積 $A_3 \sim A_5$ の変化に基づいて、空中像9の光軸方向と設計光軸方向との光軸ずれを系統的に測定することができる。デフォーカス操作は、図13に示すように、撮像装置7を撮像方向 $7d$ の前後に移動させることによって、空中像9の各撮像部位の合焦の程度（焦点が合っている程度、撮像画像のぼやけの程度）を変化させる操作である。変調伝達関数 MTF の面積は外光等の影響を受け難いため、MTF面積 $A_3 \sim A_5$ を用いることによって、空中像9の実際の光軸方向 D_a が設計光軸方向 D_{ad} に一致するか否かを精度よく測定することができる。従って、測定システム1によれば、空中像表示装置2が結像する空中像Rの実際の光軸方向 D_a を精度よく校正することが可能となる。
- [0106] [回転操作による光軸ずれの測定]
- 次に、撮像装置7を第1回転軸 RA_1 まわりに回転させることによって、

光軸ずれ（光軸方向 D_a と設計光軸方向 D_{ad} とのずれ）を測定する測定システム1の動作について説明する。制御部8は、第1回転装置12が、図21に示すように、撮像装置7を第1回転軸 RA_1 まわりに回転させ、空中像9を奥行方向（Z軸方向）との間の角度が互いに異なる複数の撮像方向 $7d$ において撮像するよう制御する。複数の撮像方向 $7d$ は、奥行方向（設計光軸方向 D_{ad} ）との間に総括的に Θ_k で表される角度を成す方向である。 Θ_k は、撮像角度とも称される。 Θ_k は、 $\Theta_k = k \times \Delta\Theta$ で表される。 $\Delta\Theta$ は、例えば、 $0.1^\circ \sim 2^\circ$ 程度であってよいし、 $0.5^\circ \sim 1^\circ$ 程度であってよい。 k は、 $-n_1 \leq k \leq n_2$ （ n_1, n_2 は自然数）の範囲の整数である。 n_1, n_2 は、例えば1以上20以下の自然数であってよいが、1以上20以下の自然数に限定されない。図21は、撮像装置7の回転角度が Θ_{ka} （ k_a は正の整数）である場合と、撮像装置7の回転角度が Θ_{kb} （ k_b は負の整数）である場合とを示している。

[0107] 制御部8は、撮像装置7が、撮像角度が Θ_k （ $-n_1 \leq k \leq n_2$ ）で表される各方向に空中像9を撮像するよう制御する。撮像装置7は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データを制御部8に出力する。制御部8は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、撮像装置7から $(n_1 + n_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データを取得する。制御部8は、撮像装置7から、取得部14を介して、画像データを取得してよい。

[0108] <線広がり関数の特性値に基づく光軸ずれの測定>

まず、線広がり関数の特性値に基づいて、空中像9の光軸ずれを測定する場合について説明する。制御部8は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データに基づいて、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 個の線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ を算出し、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 個の特性値 $V_3 \sim V_5$ を算出する。特性値 $V_3 \sim V_5$ は、線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ のピーク値 H であってよいし、半値幅 W であってよい。特性値 $V_3 \sim V_5$ は、ピーク値 H を半値幅 W で除算した組み合わせ値であつ

てもよい。

- [0109] 制御部8は、各撮像角度 θ_k について、複数の特性値 $V_3 \sim V_5$ の間の複数の差分（即ち、 $V_3 - V_4$ 、 $V_3 - V_5$ 、および $V_4 - V_5$ ）を算出し、或る撮像角度 θ_1 において、複数の差分の絶対値が閾値 T_6 以下となる場合、空中像9の実際の光軸方向 D_a が奥行方向（設計光軸方向 D_{ad} ）に対して傾斜角 θ_1 だけ傾斜していると判定してよい。閾値 T_6 は、空中像表示装置2の要求仕様に基づいて、適宜設定されてよい。
- [0110] 制御部8は、特性値 $V_3 \sim V_5$ がピーク値 H または幅比 W/Q である場合、或る撮像角度 θ_2 において、特性値 $V_3 \sim V_5$ のすべてが閾値 T_7 以上となるとき、空中像の実際の光軸方向 D_a が設計光軸方向 D_{ad} に対して傾斜角 θ_2 だけ傾斜していると判定してよい。閾値 T_7 は、空中像表示装置2の要求仕様に基づいて、適宜設定されてよい。
- [0111] 制御部8は、特性値 $V_3 \sim V_5$ が半値幅 W である場合、或る撮像角度 θ_3 において、特性値 $V_3 \sim V_5$ のすべてが閾値 T_8 以下となるとき、空中像の実際の光軸方向 D_a が設計光軸方向 D_{ad} に対して傾斜角 θ_3 だけ傾斜していると判定してよい。閾値 T_8 は、空中像表示装置2の要求仕様に基づいて、適宜設定されてよい。
- [0112] 制御部8は、空中像9の実際の光軸方向 D_a が傾斜角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 だけ設計光軸方向（奥行方向） D_{ad} からずれていると判定した場合、第2回転装置13が、空中像表示装置2を第2回転軸 RA_2 まわりに傾斜角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 に等しい回転角度だけ回転させるよう制御する。これにより、空中像表示装置2が結像する空中像 R の光軸ずれを較正することができる。その結果、光軸ずれが低減された高い表示品位の空中像 R を利用者に視認させることが可能となる。制御部8は、第2回転装置13が、装置台10の上方から見たときに、空中像表示装置2を時計回りまたは反時計回りに傾斜角 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 に等しい回転角度だけ回転させるよう制御する。制御部8は、空中像9の光軸ずれが解消されるように、空中像表示装置2を回転させる方向を判定してよい。

[0113] 測定システム1は、撮像装置7に対して回転操作を行うことで、撮像装置7の回転に伴う特性値 $V_3 \sim V_5$ の変化に基づいて、空中像9の実際の光軸方向 D_a と設計光軸方向 D_{ad} との光軸ずれを系統的に測定することができる。従って、測定システム1によれば、空中像表示装置2が結像する空中像 R の光軸方向 D_a を較正することが可能となる。

[0114] <変調伝達関数MTFの面積に基づく光軸ずれの測定>

次に、変調伝達関数MTFの面積に基づいて、空中像9の光軸ずれを測定する場合について説明する。制御部8は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データに基づき、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 個の変調伝達関数MTFを算出し、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 個のMTF面積 $A_3 \sim A_5$ を測定する。

[0115] 制御部8は、各撮像角度 θ_k について、複数のMTF面積 $A_3 \sim A_5$ の間の複数の差分（即ち、 $A_3 - A_4$ 、 $A_3 - A_5$ 、および $A_4 - A_5$ ）を算出し、或る撮像角度 θ_4 において、複数の差分の絶対値が閾値 T_9 以下となる場合、空中像9の実際の光軸方向 D_a が奥行方向（設計光軸方向 D_{ad} ）に対して傾斜角 θ_4 だけ傾斜していると判定してよい。閾値 T_9 は、空中像表示装置2の要求仕様に基づいて、適宜設定されてよい。

[0116] 制御部8は、或る撮像角度 θ_5 において、MTF面積 $A_3 \sim A_5$ のすべてが閾値 T_{10} 以上となるとき、空中像の実際の光軸方向 D_a が設計光軸方向 D_{ad} に対して傾斜角 θ_5 だけ傾斜していると判定してよい。閾値 T_{10} は、空中像表示装置2の要求仕様に基づいて、適宜設定されてよい。

[0117] 制御部8は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データに基づき、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 個の線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ を算出し、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 個の線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ をフーリエ変換することによって、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 個の変調伝達関数 $MTF_3 \sim MTF_5$ を算出してよい。あるいは、制御部8は、各撮像部位 $F_3 \sim F_5$ について、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 枚の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ の画像データに基づき、チャート法を用いて、 $(n_1 + n_2 + 1)$ 個の

変調伝達関数 $MTF_3 \sim MTF_5$ を算出してもよい。

[0118] 測定システム1は、撮像装置7に対して回転操作を行うことで、 MTF 面積 $A_3 \sim A_5$ に基づいて、空中像9の実際の光軸方向 D_a と設計光軸方向 D_{ad} との光軸ずれを系統的に測定することができる。変調伝達関数 MTF の面積は外光等の影響を受け難いため、 MTF 面積 $A_3 \sim A_5$ を用いることによって、空中像9の実際の光軸方向 D_a が設計光軸方向 D_{ad} に一致するかどうかを精度よく測定することができる。従って、測定システム1によれば、空中像表示装置2が結像する空中像 R の光軸方向 D_a を精度よく較正することが可能となる。

[0119] 以上、空中像9の結像面 R_p 内における幅方向（ Y 軸方向）に並んだ複数の撮像部位 $F_3 \sim F_5$ を撮像した複数の撮像画像 $P_3 \sim P_5$ に基づいて、幅方向（ Y 軸方向）に直交する高さ方向（ X 軸方向）まわりの光軸ずれを測定し、該光軸ずれを較正する測定システム1の動作について説明したが、これに限らない。測定システム1は、空中像9の結像面 R_p 内における高さ方向（ X 軸方向）に並んだ複数の撮像部位（例えば、複数の撮像部位 F_1, F_3, F_6 または複数の撮像部位 F_2, F_5, F_7 ）を撮像した複数の撮像画像（例えば、複数の撮像画像 P_1, P_3, P_6 または複数の撮像画像 P_2, P_5, P_7 ）に基づいて、高さ方向（ X 軸方向）に直交する幅方向（ Y 軸方向）まわりの光軸ずれを測定し、該光軸ずれを較正する動作も可能である。あるいは、測定システム1は、空中像9の結像面 R_p 内における複数の撮像部位 $F_1 \sim F_7$ を撮像した複数の撮像画像に基づいて、高さ方向（ X 軸方向）まわりの光軸ずれ、および、幅方向（ Y 軸方向）まわりの光軸ずれを測定し、これらの光軸ずれを較正する動作も可能である。線広がり関数 $LSF_1, LSF_2, LSF_6, LSF_7$ は、線広がり関数 $LSF_3 \sim LSF_5$ と同様に算出することができる。特性値 V_1, V_2, V_6, V_7 は、特性値 V_3, V_4, V_5 と同様に算出することができる。変調伝達関数 $MTF_1, MTF_2, MTF_6, MTF_7$ は、変調伝達関数 MTF_3, MTF_4, MTF_5 と同様に算出することができる。 MTF 面積 A_1, A_2, A_6, A_7 は、 MT

F面積A3～A5と同様に測定することができる。

[0120] 測定システム1を用いて光軸ずれを測定し、光軸ずれが存在する場合には、光軸ずれを校正することで、変調伝達関数MTF1～MTF7を精度よく算出できる。その結果、空中像表示装置2の解像度の劣化を抑制できる。

[0121] 本開示は、以下の構成(1)～(15)で実施可能である。

[0122] (1) 表示部と、前記表示部から射出された画像光を実像の空中像として結像させる光学系と、を備えた空中像表示装置であって、

前記光学系によって結像された空中像の第1変調伝達関数を空間周波数軸において積分して成る面積をS1とし、前記光学系が回折限界の分解能を有する理想的光学系であり、該理想的光学系によって結像された理想的空中像の第2変調伝達関数を空間周波数軸において積分して成る面積をS2としたとき、前記面積S2に対する前記面積S1の比 $S1/S2$ が0.58以上である、空中像表示装置。

[0123] (2) 前記 $S1/S2$ が0.85以上である、上記構成(1)に記載の空中像表示装置。

[0124] (3) 前記空中像が、絞り値を8に設定された撮像装置によって撮像され、前記第1変調伝達関数および前記第2変調伝達関数が、最大値が1となるように正規化されている場合、前記面積S1は、6以上である、上記構成(2)に記載の空中像表示装置。

[0125] (4) 前記空中像が、絞り値を3に設定された撮像装置によって撮像され、前記第1変調伝達関数および前記第2変調伝達関数が、最大値が1となるように正規化されている場合、前記面積S1は、12.7以上である、上記構成(2)に記載の空中像表示装置。

[0126] (5) 前記空中像の歪みが5%以下である、上記構成(1)～(4)のいずれかに記載の空中像表示装置。

[0127] (6) 前記空中像の歪みは、理想的な矩形形状である理想空中像の辺を基準とし、前記辺の端に位置する前記空中像の角部について前記辺からのずれ長さを%で表した値を、前記角部の歪としたときに、前記角部の歪によって定義

される、上記構成（５）に記載の空中像表示装置。

[0128] （７）前記空中像の歪みは、四隅の前記角部の歪である、上記構成（６）に記載の空中像表示装置。

[0129] （８）前記空中像の歪みは、四隅の前記角部の歪が最も大きい、上記構成（６）または（７）に記載の空中像表示装置。

[0130] （９）前記空中像の輝度が $800\text{cd}/\text{m}^2$ 以上である、上記構成（１）～（８）のいずれかに記載の空中像表示装置。

[0131] （１０）前記光学系は、

前記表示部から射出された画像光を、前記表示部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、を備える、上記構成（１）～（９）のいずれかに記載の空中像表示装置。

[0132] （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り、前記凸面鏡は、自由曲面凸面鏡である、上記構成（１０）に記載の空中像表示装置。

[0133] （１２）前記第１凹面鏡と前記第２凹面鏡とが互いに傾斜した状態で対向し、

前記表示部は、前記第１凹面鏡と前記第２凹面鏡との間に位置し、前記表示部の表示面の前記前記第１凹面鏡の反射面に対する傾斜が、前記表示部の表示面の前記第２凹面鏡の反射面に対する傾斜よりも小さい、上記構成（１０）または（１１）に記載の空中像表示装置。

[0134] （１３）前記光学系は、

前記表示部から射出された画像光を、前記表示部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、

を備える、上記構成(1)～(9)のいずれかに記載の空中像表示装置。

[0135] (14) 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(13)に記載の空中像表示装置。

[0136] (15) 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く、前記第1凹面鏡と前記第2凹面鏡とが互いに傾斜した状態で対向し、前記表示部は、前記第1凹面鏡と前記第2凹面鏡との間に位置している、上記構成(13)または(14)に記載の空中像表示装置。

[0137] 本開示の空中像表示装置は、空中像の解像度の低下を抑制できる。さらに、本開示の空中像表示装置によれば、空中像の歪みを低減し、また、空中像の輝度の低下を抑制することが可能となる。

[0138] 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。また、上述の種々の実施の形態の2種以上を組み合わせる構成も本開示に含まれる。

符号の説明

- [0139]
- 1 測定システム
 - 2 空中像表示装置
 - 2 a 構成部材
 - 3 表示部
 - 4 表示パネル
 - 4 a 表示面
 - 4 a i 仮想面
 - 5 光学系
 - 5 a 第1凹面鏡
 - 5 a a 反射面
 - 5 a i 仮想面

- 5 a p 頂点
- 5 a r 反射面（第1反射面）
- 5 b 凸面鏡
- 5 c 第2凹面鏡
- 5 c i 仮想面
- 5 c p 頂点
- 5 c r 反射面（第2反射面）
- 5 d 第1凹面鏡
- 5 e 第2凹面鏡
- 6 筐体
- 6 a 画像光射出部
- 7 撮像装置
- 7 d 撮像方向
- 7 d a 撮像方向
- 8 制御部
- 9, 9' テストパターン（空中像）
- 9 a 第1帯状画像
- 9 b 第2帯状画像
- 9 c 矩形波チャート
- 10 装置台
- 10 a 上面
- 11 移動装置
- 11 h 保持部材
- 11 r レール
- 11 t 移動台
- 12 第1回転装置
- 13 第2回転装置
- 14 取得部

2 0 利用者
2 0 e 眼
D a 空中像の光軸方向
D a d 設計光軸方向
L p 画像光
F 1 ~ F 7 撮像部位
P 1 ~ P 7 撮像画像
R 空中像
R p 結像面

請求の範囲

- [請求項1] 表示部と、前記表示部から射出された画像光を実像の空中像として結像させる光学系と、を備えた空中像表示装置であって、
前記光学系によって結像された空中像の第1変調伝達関数を空間周波数軸において積分して成る面積を S_1 とし、前記光学系が回折限界の分解能を有する理想的光学系であり、該理想的光学系によって結像された理想的空中像の第2変調伝達関数を空間周波数軸において積分して成る面積を S_2 としたとき、前記面積 S_2 に対する前記面積 S_1 の比 S_1/S_2 が0.58以上である、空中像表示装置。
- [請求項2] 前記 S_1/S_2 が0.85以上である、請求項1に記載の空中像表示装置。
- [請求項3] 前記空中像が、絞り値を8に設定された撮像装置によって撮像され、前記第1変調伝達関数および前記第2変調伝達関数が、最大値が1となるように正規化されている場合、前記面積 S_1 は、6以上である、請求項2に記載の空中像表示装置。
- [請求項4] 前記空中像が、絞り値を3に設定された撮像装置によって撮像され、前記第1変調伝達関数および前記第2変調伝達関数が、最大値が1となるように正規化されている場合、前記面積 S_1 は、12.7以上である、請求項2に記載の空中像表示装置。
- [請求項5] 前記空中像の歪みが5%以下である、請求項1～4のいずれか1項に記載の空中像表示装置。
- [請求項6] 前記空中像の歪みは、理想的な矩形形状である理想空中像の辺を基準とし、前記辺の端に位置する前記空中像の角部について前記辺からのずれ長さを%で表した値を、前記角部の歪としたときに、前記角部の歪によって定義される、請求項5に記載の空中像表示装置。
- [請求項7] 前記空中像の歪みは、四隅の前記角部の歪である、請求項6に記載の空中像表示装置。
- [請求項8] 前記空中像の歪みは、四隅の前記角部の歪が最も大きい、請求項6

または 7 に記載の空中像表示装置。

[請求項9] 前記空中像の輝度が 800 cd/m^2 以上である、請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の空中像表示装置。

[請求項10] 前記光学系は、

前記表示部から射出された画像光を、前記表示部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、を備える、請求項 1～9 のいずれか 1 項に記載の空中像表示装置。

[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り、前記凸面鏡は、自由曲面凸面鏡である、請求項 10 に記載の空中像表示装置。

[請求項12] 前記第 1 凹面鏡と前記第 2 凹面鏡とが互いに傾斜した状態で対向し、

前記表示部は、前記第 1 凹面鏡と前記第 2 凹面鏡との間に位置し、前記表示部の表示面の前記前記第 1 凹面鏡の反射面に対する傾斜が、前記表示部の表示面の前記第 2 凹面鏡の反射面に対する傾斜よりも小さい、請求項 10 または 11 に記載の空中像表示装置。

[請求項13] 前記光学系は、

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

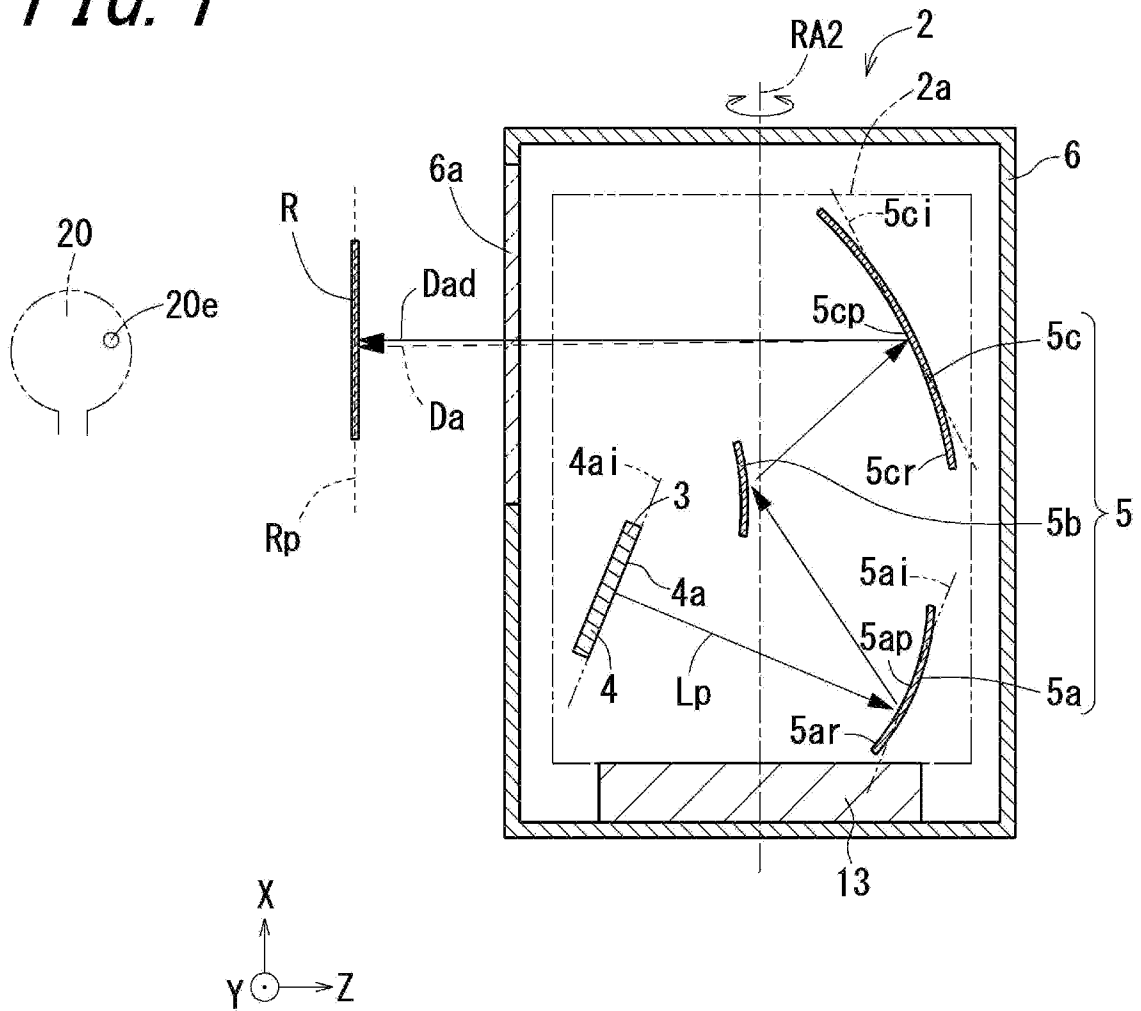
前記第 1 凹面鏡によって反射された前記画像光を、前記第 1 凹面鏡に向かう方向とは異なる方向に反射し、実像の空中像として結像する第 2 凹面鏡と、を備える、請求項 1～9 のいずれか 1 項に記載の空中像表示装置。

[請求項14] 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13に記載の空中像表示装置。

[請求項15] 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く、前記第1凹面鏡と前記第2凹面鏡とが互いに傾斜した状態で対向し、
前記表示部は、前記第1凹面鏡と前記第2凹面鏡との間に位置している、請求項13または14に記載の空中像表示装置。

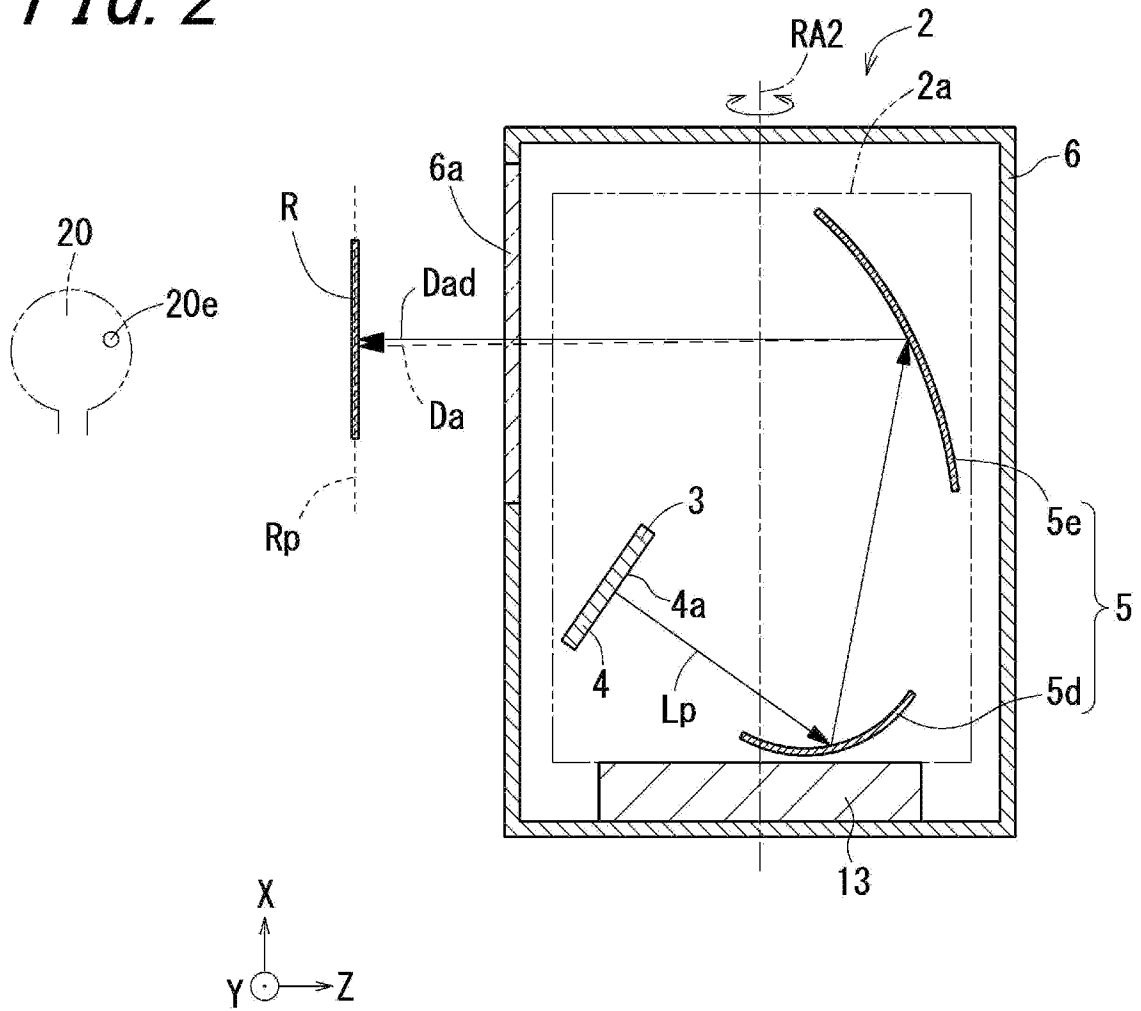
[図1]

FIG. 1

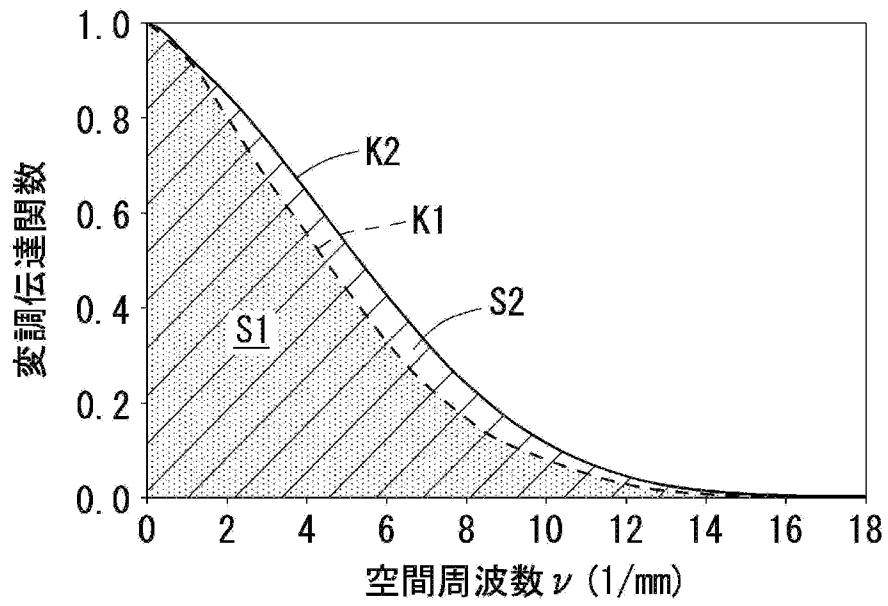


[図2]

FIG. 2

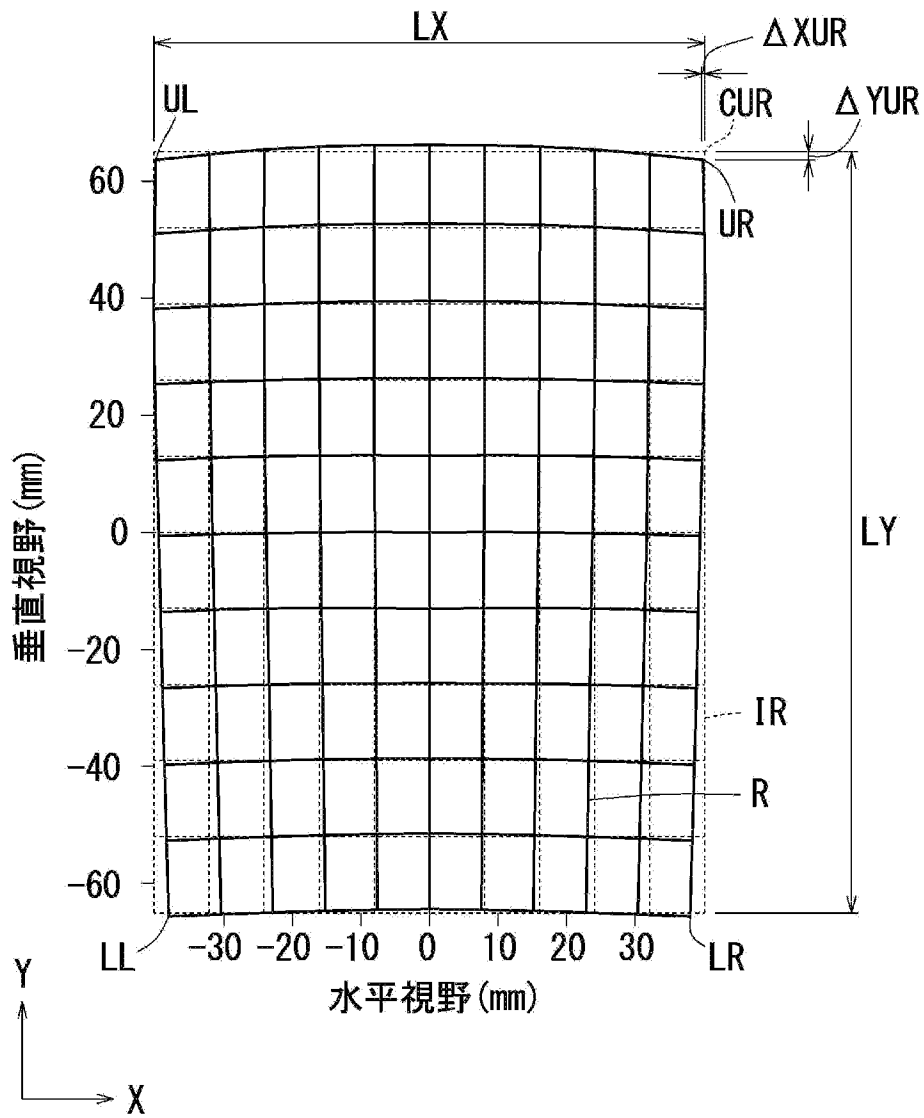


[図3]

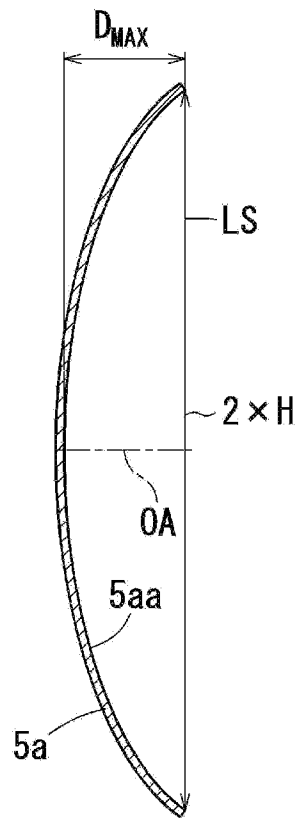
FIG. 3

[図4]

FIG. 4

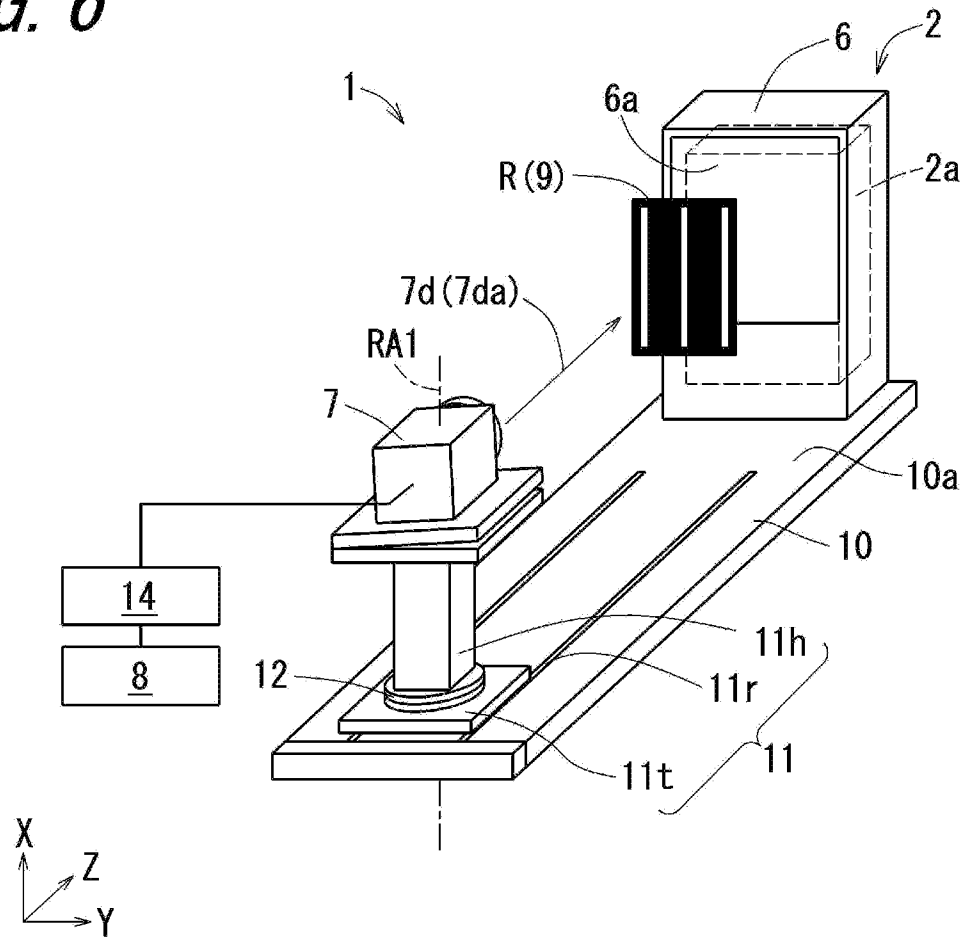


[図5]

FIG. 5

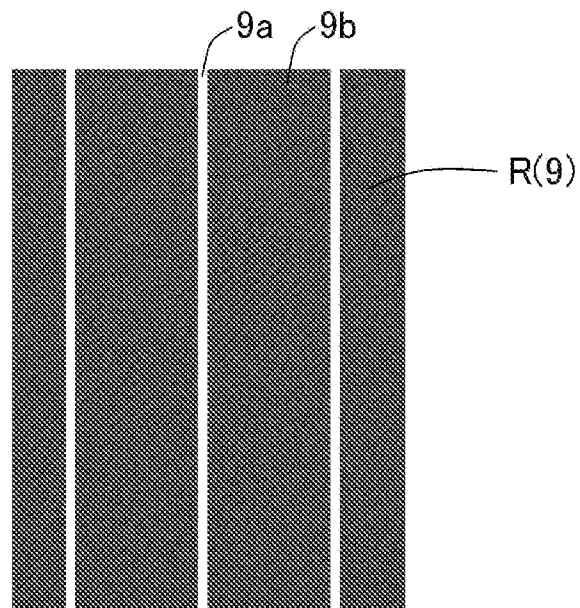
[図6]

FIG. 6

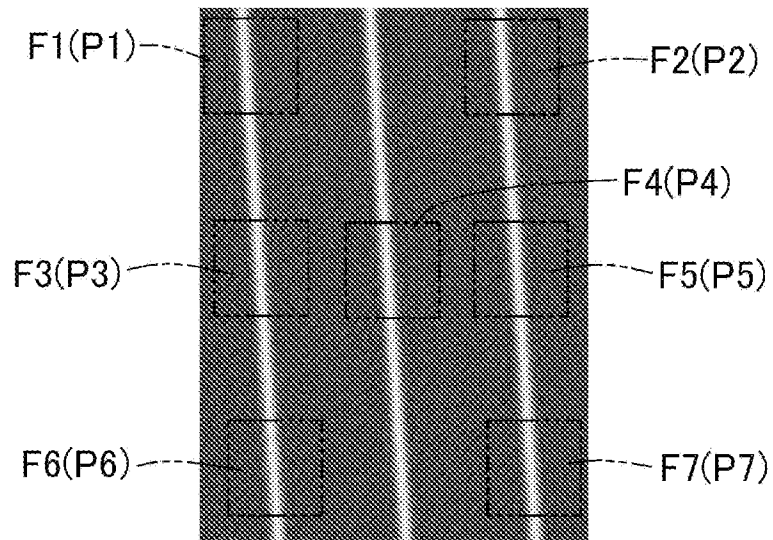


[図7]

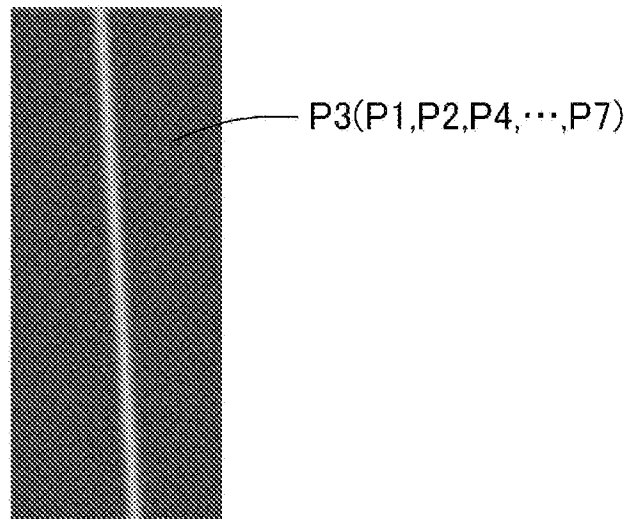
FIG. 7



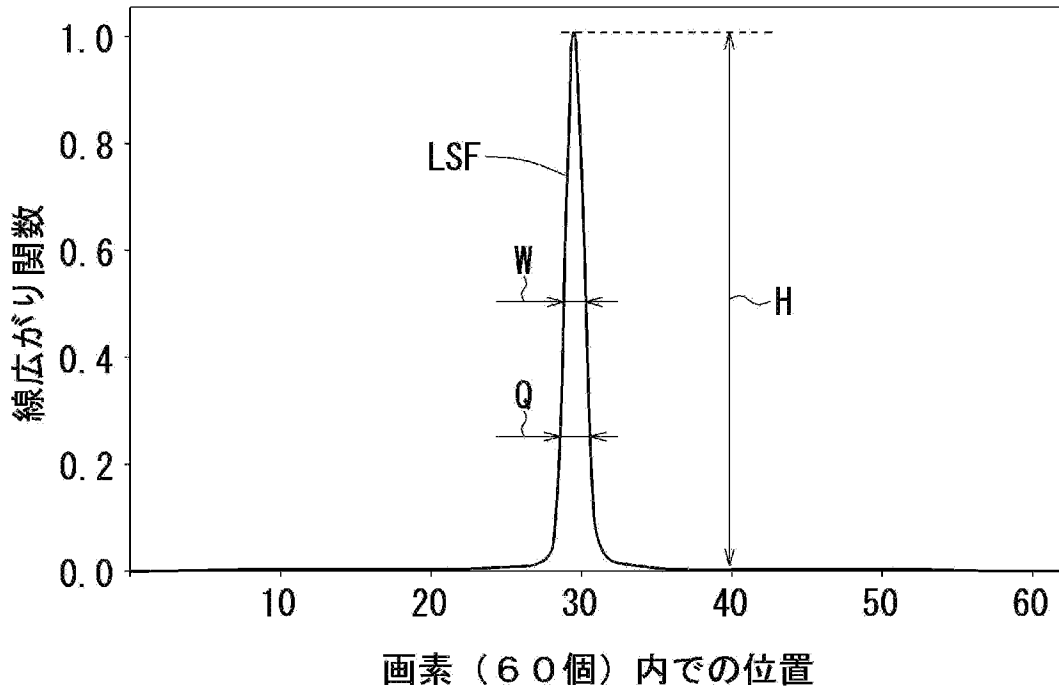
[図8]

FIG. 8

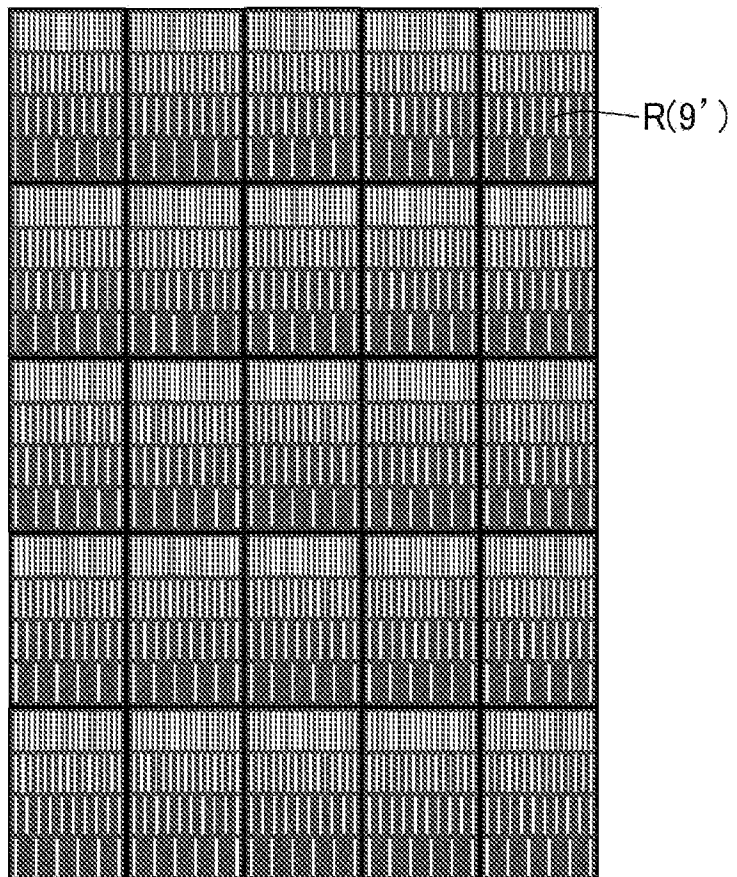
[図9]

FIG. 9

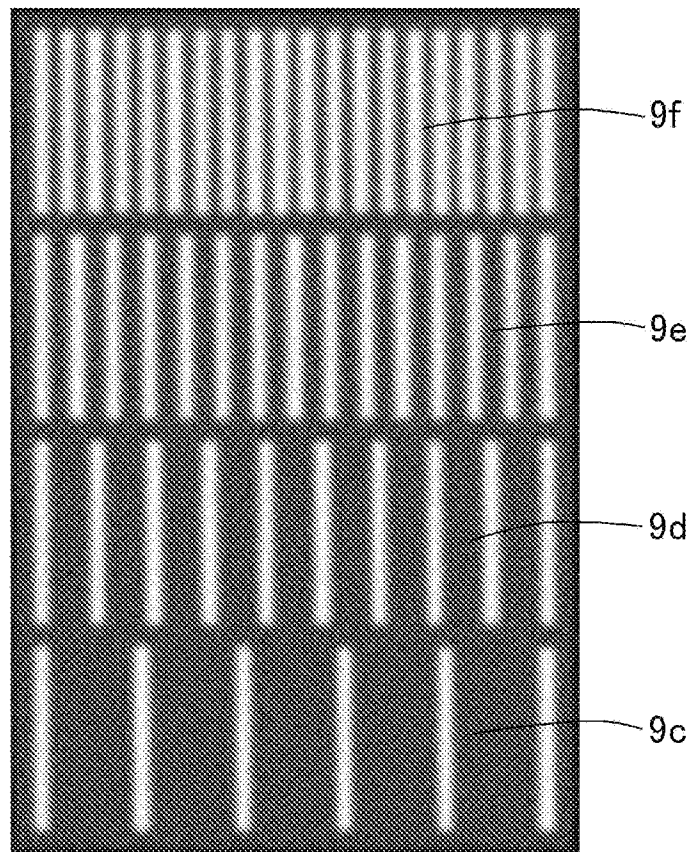
[図10]

FIG. 10

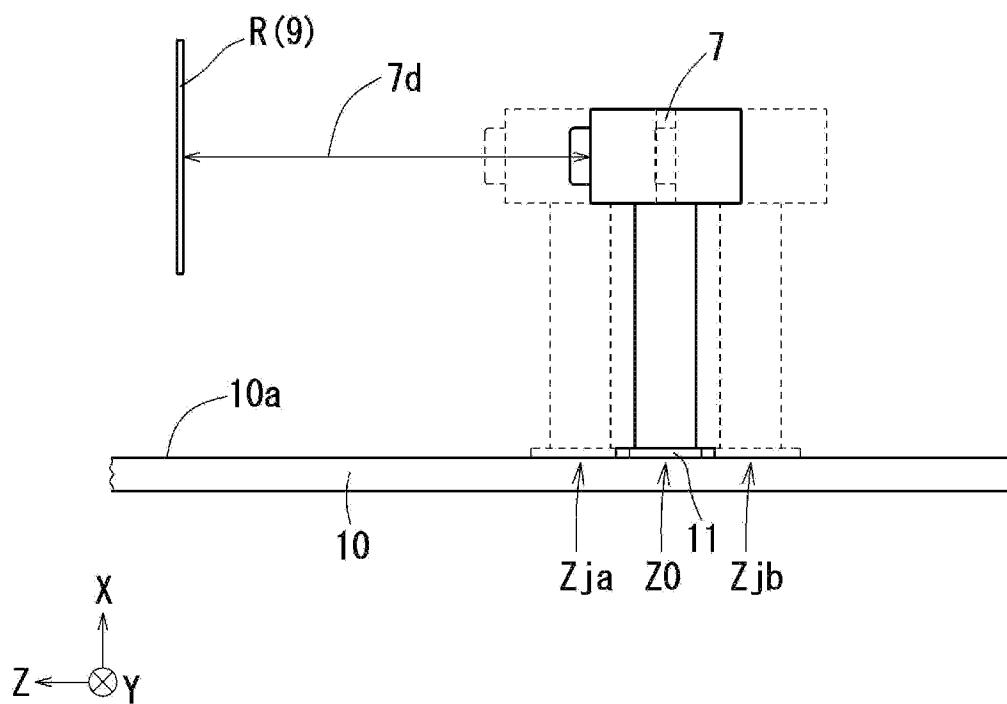
[図11]

FIG. 11

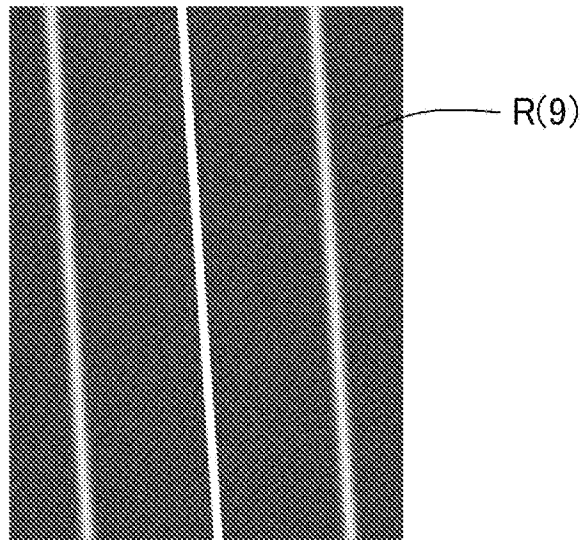
[図12]

FIG. 12

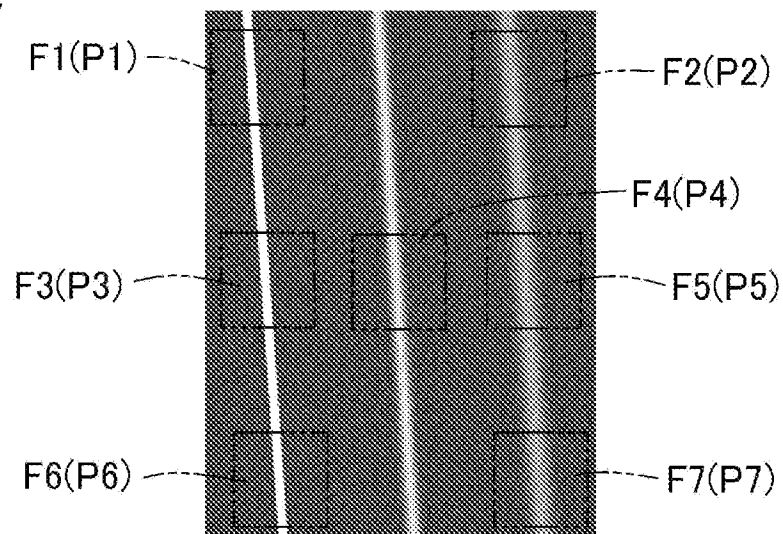
[図13]

FIG. 13

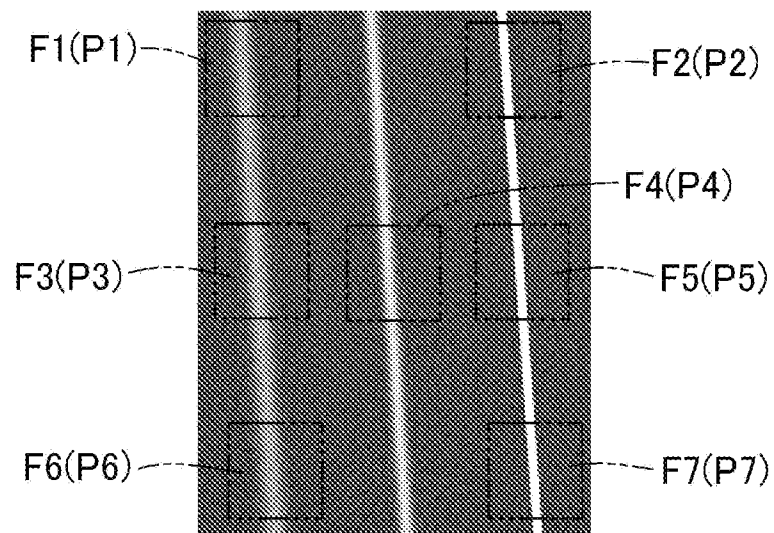
[図14]

FIG. 14

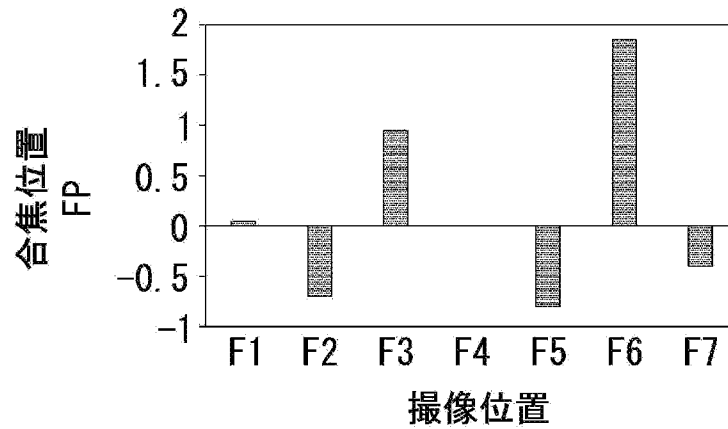
[図15]

FIG. 15

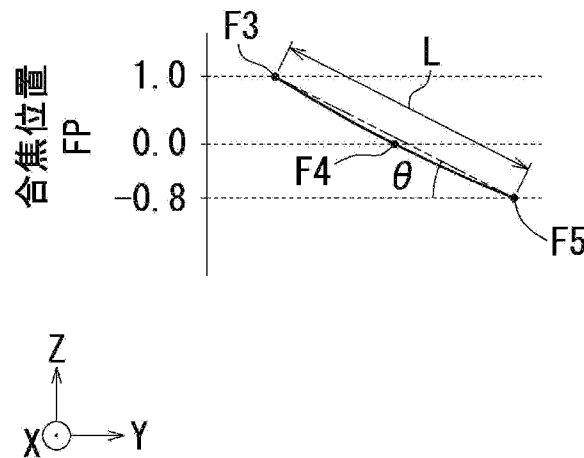
[図16]

FIG. 16

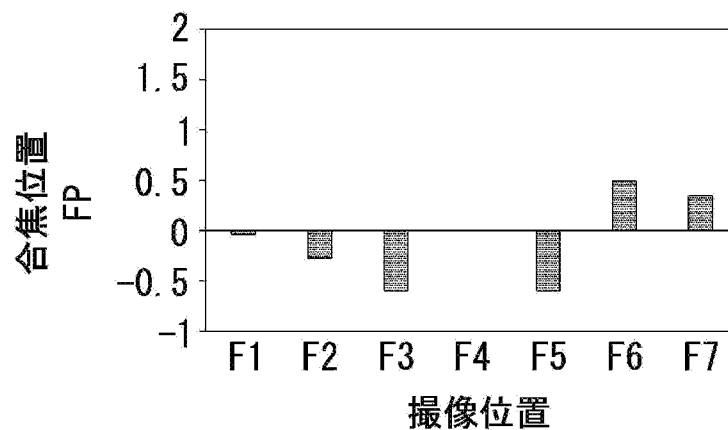
[図17]

FIG. 17

[図18]

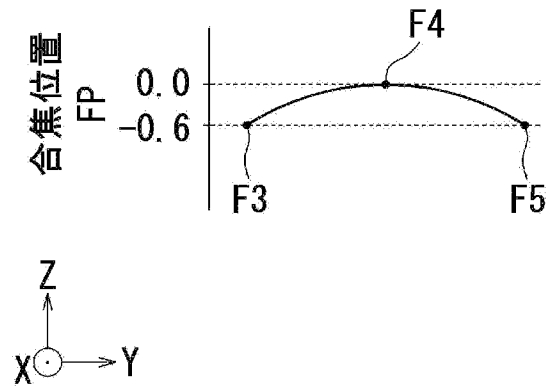
FIG. 18

[図19]

FIG. 19

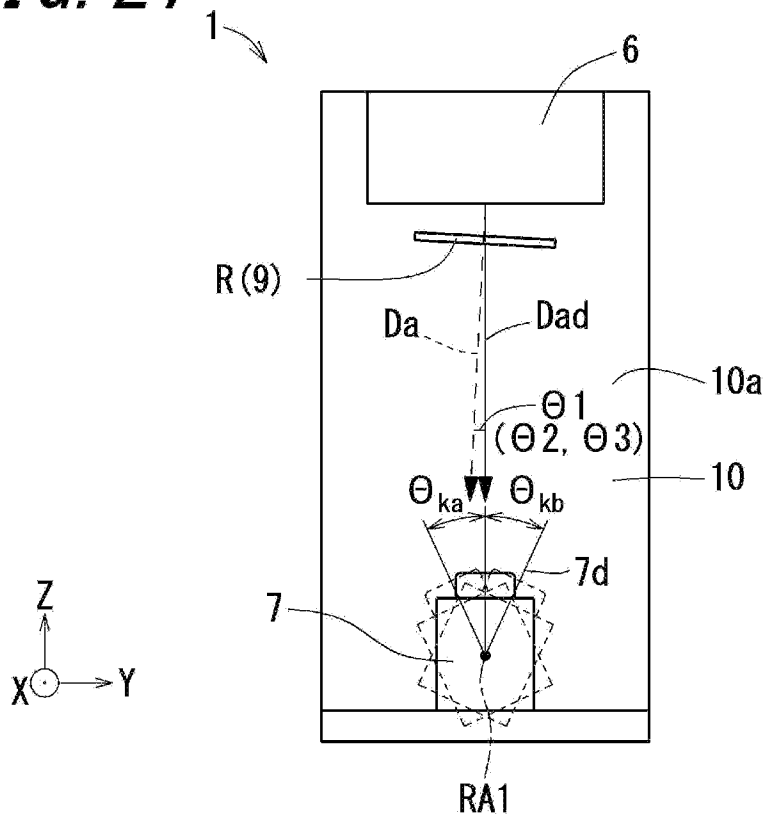
[図20]

FIG. 20

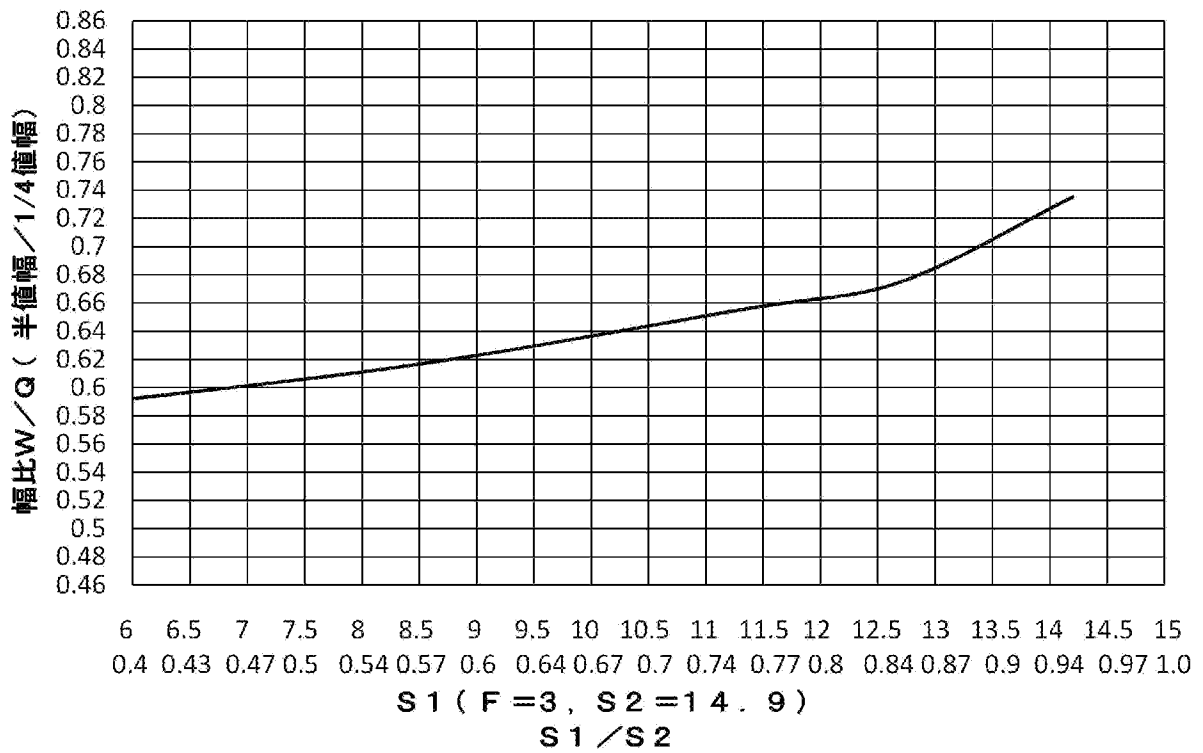


[図21]

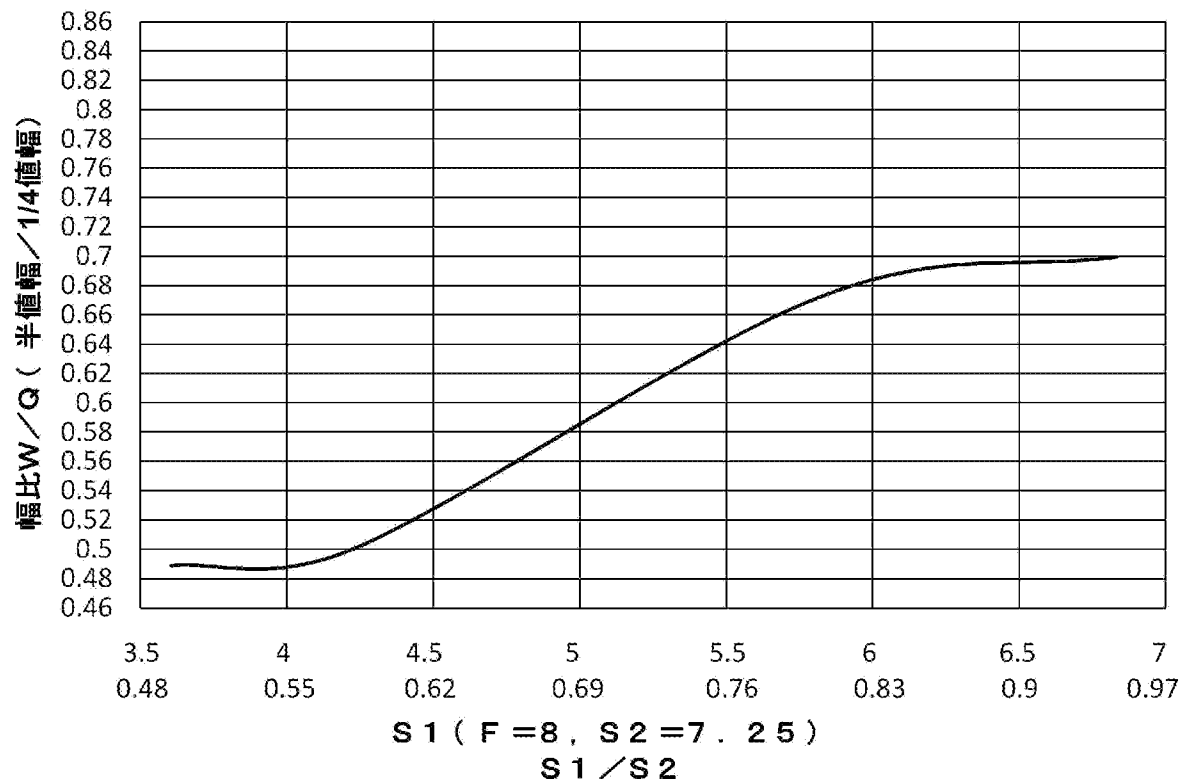
FIG. 21



[図22]

FIG. 22

[図23]

FIG. 23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/021243

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G02B 30/56</i> (2020.01)i; <i>G02B 17/00</i> (2006.01)i FI: G02B30/56; G02B17/00 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) G02B30/56; G02B17/00 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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024 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 2020-177221 A (KUBOTA, Youji) 29 October 2020 (2020-10-29) paragraphs [0032]-[0040], fig. 3A	1-15
A	JP 2000-66131 A (HARNESS SYST TECH RES LTD.) 03 March 2000 (2000-03-03) paragraphs [0018]-[0019], fig. 3	1-15
A	WO 2023/022024 A1 (KYOCERA CORPORATION) 23 February 2023 (2023-02-23) paragraph [0023], fig. 1	14
A	JP 2022-140896 A (OMRON CORPORATION) 29 September 2022 (2022-09-29) paragraphs [0035]-[0068], fig. 1-7	1-15
A	JP 2020-144281 A (OMRON CORPORATION) 10 September 2020 (2020-09-10) paragraphs [0025]-[0057], fig. 1-8	1-15
<input 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 17 July 2024		Date of mailing of the international search report 06 August 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/021243

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2020-177221 A	29 October 2020	(Family: none)	
JP 2000-66131 A	03 March 2000	(Family: none)	
WO 2023/022024 A1	23 February 2023	(Family: none)	
JP 2022-140896 A	29 September 2022	US 2022/0291440 A1 paragraphs [0053]-[0088], fig. 1-7 DE 102022103072 A1 CN 115079437 A	
JP 2020-144281 A	10 September 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 17/00(2006.01)i FI: G02B30/56; G02B17/00		
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）） G02B30/56; G02B17/00		
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 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024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 2020-177221 A (久保田 洋治) 29.10.2020 (2020-10-29) 段落0032-0040, 図3A	1-15
A	JP 2000-66131 A (株式会社ハーネス総合技術研究所) 03.03.2000 (2000-03-03) 段落0018-0019, 図3	1-15
A	WO 2023/022024 A1 (京セラ株式会社) 23.02.2023 (2023-02-23) 段落0023, 図1	14
A	JP 2022-140896 A (オムロン株式会社) 29.09.2022 (2022-09-29) 段落0035-0068, 図1-7	1-15
A	JP 2020-144281 A (オムロン株式会社) 10.09.2020 (2020-09-10) 段落0025-0057, 図1-8	1-15
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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 17.07.2024	国際調査報告の発送日 06.08.2024	
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） 近藤 幸浩 2L 8422 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

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/JP2024/021243

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2020-177221 A	29.10.2020	(ファミリーなし)	
JP 2000-66131 A	03.03.2000	(ファミリーなし)	
WO 2023/022024 A1	23.02.2023	(ファミリーなし)	
JP 2022-140896 A	29.09.2022	US 2022/0291440 A1 段落0053-0088, 図1-7 DE 102022103072 A1 CN 115079437 A	
JP 2020-144281 A	10.09.2020	(ファミリーなし)	