

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5483796号
(P5483796)

(45) 発行日 平成26年5月7日(2014.5.7)

(24) 登録日 平成26年2月28日(2014.2.28)

(51) Int.Cl.

F 1

G09G	3/20	(2006.01)	G09G	3/20	680A
G02B	27/02	(2006.01)	G02B	27/02	Z
G03B	21/00	(2006.01)	G03B	21/00	D
G09G	5/36	(2006.01)	G09G	3/20	641P
HO4N	5/66	(2006.01)	G09G	3/20	642A

請求項の数 5 (全 38 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2006-236439 (P2006-236439)

(22) 出願日

平成18年8月31日 (2006.8.31)

(65) 公開番号

特開2008-58703 (P2008-58703A)

(43) 公開日

平成20年3月13日 (2008.3.13)

審査請求日

平成21年8月28日 (2009.8.28)

(73) 特許権者 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100110412

弁理士 藤元 亮輔

(74) 代理人 100104628

弁理士 水本 敦也

(72) 発明者 松永 智美

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内

(72) 発明者 山崎 章市

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内

審査官 井口 猶二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像表示装置および画像表示システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

画像表示素子と、

該画像表示素子に表示された画像を観察するための光学系と、

入力画像に対して、前記光学系により生ずる歪曲とは逆方向の歪みを電気的に与える歪
み処理を行い、該歪み処理が行われた後の画像を前記画像表示素子に表示させる処理手段
と、前記光学系を通して観察される画像にローパスフィルタ効果を与えるフィルタ手段とを
有し、前記入力画像におけるそれぞれ第1の画素数を有する複数の第1の画像領域が前記歪み
処理によりそれぞれ第2の画素数を有する複数の第2の画像領域とされた場合に、前記フ
ィルタ手段は、前記第1の画素数と前記第2の画素数との関係に応じたローパスフィルタ
効果を、前記光学系を通して観察される前記複数の第2の画像領域に対して該第2の画像
領域ごとに与え、前記フィルタ手段が前記第2の画像領域ごとに与える前記ローパスフィルタ効果は、前記
第2の画素数が前記第1の画素数より少ない場合の方が、前記第2の画素数が前記第1の
画素数よりも多い場合よりも強いことを特徴とする画像表示装置。

【請求項 2】

前記フィルタ手段は、前記画像表示素子からの光線により形成される画像に対して光学的
的なローパスフィルタ効果を与えることを特徴とする請求項1に記載の画像表示装置。

10

20

【請求項 3】

前記フィルタ手段は、前記画像表示素子に表示される画像に対して電気的処理によるオーパスフィルタ効果を与えることを特徴とする請求項1に記載の画像表示装置。

【請求項 4】

前記歪み処理後に前記画像表示素子に表示される画像は、非回転対称形状を有する歪曲画像であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 に記載の画像表示装置。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載の画像表示装置と、

該画像表示装置に画像情報を供給する画像供給装置とを有することを特徴とする画像表示システム。10

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、画像表示素子上の原画を拡大表示するヘッドマウントディスプレイやプロジェクタ等の画像表示装置に関する。15

【背景技術】**【0002】**

CRT や LCD 等の画像表示素子に表示された画像（原画）を光学系を介して拡大表示させる頭部装着型画像表示装置（ヘッドマウントディスプレイ：以下、 HMD という）が用いられている。20

【0003】

この HMD は、観察者の頭部に装着されるため、装置の小型化及び軽量化が求められる。一方、 HMD には、光学性能が良好で、かつできるだけ大きな拡大画像が提示できることが望まれている。

【0004】

ただし、光学系を小型にすると、歪曲収差や軸上色収差が発生し、光学性能を良好にすることが難しくなる。逆に、歪曲収差や諸収差の発生を低減するように光学系の設計を行うと、光学系を小型することが困難になる。このため、光学系の歪曲収差や色収差を電気的に補正することで、光学系での収差補正の負担を少なくし、光学系を小型化した HMD が提案されている。30

【0005】

例えば、特許文献 1 には、2枚の液晶パネルに表示された画像を観察者の網膜上で合成することにより見かけの解像度を向上させる HMD が開示されている。この HMD では、光学系で発生する歪曲収差の影響を打ち消すように液晶パネルに表示される画像を電気的に歪曲補正する。

【0006】

また、特許文献 2 には、左右の映像信号を時間的に交互に切り替えて 1 つの画像表示素子に出力し、左右の映像信号の切り替えに同期して映像光が左右のいずれかの眼に入射するように構成した HMD が提案されている。この HMD では、左右の光学系によって発生する歪曲収差を打ち消すように、左右の映像信号をそれぞれ電気的に歪曲補正している。40

【特許文献 1】特開平 6 - 265815 号公報（段落 0017、図 1 等）

【特許文献 2】特開 2001 - 186442 号公報（段落 0022 ~ 0027、図 1, 8 等）

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

上述した特許文献にて開示された HMD のように、光学系の歪曲収差を打ち消すように画像表示素子に出力する画像に対して電気的な歪曲補正（以下、逆補正という）を行うことで、歪曲収差を低減した画像を観察することができる。

【0008】

10

20

30

40

50

しかしながら、高画素の画像表示素子に逆補正された画像を表示した場合に、規則正しく配列された画素と歪曲した画像とが干渉してモアレ縞（干渉縞）が観察されてしまうことがある。このため、解像力を向上させたとしても、モアレ縞によって観察者に不快感を与えることになる。

【0009】

本発明は、画像表示素子に出力する画像に対して電気的な逆補正を行った場合のモアレ縞の発生を低減することができるようとした画像表示装置を提供すること目的の1つとしている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一側面としての画像表示装置は、画像表示素子と、該画像表示素子に表示された画像を観察するための光学系と、入力画像に対して、光学系により生ずる歪曲とは逆方向の歪みを電気的に与える歪み処理を行い、該歪み処理が行われた後の画像を画像表示素子に表示させる処理手段と、光学系を通して観察される画像にローパスフィルタ効果を与えるフィルタ手段とを有する。そして、入力画像におけるそれぞれ第1の画素数を有する複数の第1の画像領域が歪み処理によりそれぞれ第2の画素数を有する複数の第2の画像領域とされた場合に、フィルタ手段は、第1の画素数と第2の画素数との関係に応じたローパスフィルタ効果を、光学系を通して観察される複数の第2の画像領域に対して該第2の画像領域ごとに与え、該フィルタ手段が第2の画像領域ごとに与えるローパスフィルタ効果は、第2の画素数が第1の画素数より少ない場合の方が、第2の画素数が第1の画素数より多い場合よりも強いことを特徴とする。

【0011】

なお、上記画像表示装置と、該画像表示装置に画像情報を供給する画像供給装置とを含む画像表示システムも本発明の他の側面を構成する。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、入力画像に対して電気的な歪み処理（逆補正）を行った場合に、その歪み処理前後での画像領域ごとの画素数の関係に応じた最適なローパスフィルタ効果を設定することができる。このため、解像力の低下を抑えつつ、モアレ縞やエリアジング（これについては後述する）が低減された画像を観察させることができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。

【0014】

まず、本発明の基本概念について図6Aから図6Iを用いて説明する。画像表示素子から射出した光が光学系を通って観察者により観察される場合、図6Cに示すように歪曲がない良好な画像を提示できることが望ましい。

【0015】

しかし、光学系が歪曲収差を持っていると、画像表示素子に歪曲のない画像を表示しただけでは、図6Aに示すように観察者は歪曲した画像を観察することになる。このため、図6Bに示すように、光学系の歪曲収差を打ち消す、すなわち光学系の歪曲収差の発生方向とは逆方向の歪みを与えるように電気的な歪み処理（以下、逆補正という）を行った画像を画像表示素子に出力する。この逆補正後の画像を光学系を通して観察することで、観察者は、図6Cに示すように歪曲が低減若しくはない画像を観察することができる。

40

【0016】

ただし、前述したように、高画素の画像表示素子に歪曲した画像を表示させると、モアレ縞が発生するおそれがある。このため、本実施例では、光学系を通して観察される画像に対してローパスフィルタ効果を与える。

【0017】

50

なお、ここにいう「光学系を通して観察される画像に対してローパスフィルタ効果を与える」は、以下に説明するように、画像表示素子から射出された光線により形成される画像に対して光学的なローパスフィルタ効果を与える場合を含む。また、画像表示素子に出力(表示)される画像に対して電気的処理によるローパスフィルタ効果を与える場合も含む。

【0018】

ローパスフィルタ効果を考えるにあたり、本実施例では、画像の入力信号(入力画像)と画像表示素子のH(水平)×V(垂直)を基準とする。

【0019】

画像表示素子に入力する画像の解像力を、

$$H(\text{水平}) \times V(\text{垂直}) = X \text{画素} \times Y \text{画素}$$

とする。入力画像を図6Dに示すように複数の領域(画像領域)に分割し、その領域の1つをR(m画素(水平)×n画素(垂直))とする。この場合、領域Rは、逆補正によって図6Eに示すような歪を持った領域Sに変換されて画像表示素子に出力される。このとき、領域Sを表しているH×Vの最大表示画素数をM画素×N画素とする。すなわち、入力画像の領域R(m画素×n画素)が逆補正によって領域S(M画素×N画素)に変換されて出力画像となる。

【0020】

ここで、本実施例にいう「ローパスフィルタ効果」について定義する。画像表示素子に全面表示されるサイズを有し、H方向に白と黒の1画素ラインが交互に存在する入力画像(白黒ライン画像)を逆補正すると、白と黒のラインがある歪みを持った画像として出力される。このとき、画像表示素子を観察すると、画像表示素子の画素としては解像されるのが確認できる(このときの空間周波数Eとする)が、白黒ラインが歪んだ状態で出力されているため、画像表示素子の画素と出力画像とが干渉し、領域によってはモアレ縞が発生する。また、逆補正後の白黒ラインの線は直線で表示されていないため、光学系を通してこの逆補正された白黒ライン画像を観察すると、モアレ縞以外にも、白黒ラインが階段状の線(例えば、濃淡が存在する白線)として観察されてしまう。これはエリアジングと呼ばれる。

【0021】

ローパスフィルタ効果には、画像表示素子に逆補正をした画像を出力するときに、該画像の解像力を落とす「電気的ローパスフィルタ効果」がある。

【0022】

具体的には、逆補正を行った白黒ライン画像を出力する場合に、ローパスフィルタ効果を与える領域において、ある信号を出力する1画素(A画素)に注目する。この場合、A画素とその近傍の周辺画素(B画素)を比較する比較手段と、比較結果に応じて加算値を算出する算出手段と、A画素とB画素の周辺画素を加算値に置き換える置換手段とを設ける。これにより、光学系を通して画像表示素子に出力された画像を観察したときに、白黒ラインの解像力を落としつつも、モアレ縞の発生とエリアジングの発生を低減できる。

【0023】

また、ローパスフィルタ効果には、「光学的ローパスフィルタ効果」もある。具体的には、液晶素子の複屈折性を利用して光線分離幅を変化させる方法や、液晶から光学系までの任意の位置に配置した、水晶やニオブ酸リチウムなどの光学材料の複屈折性を利用する方法がある。さらに、回折格子を持つ光学素子を用いる方法もある。

【0024】

これらの光学的ローパスフィルタ効果は、画像表示素子で表示された画像の空間周波数E'(画像表示素子の解像力)を光学的に変化させて空間周波数をF'にしたことに相当する。空間周波数F'は、液晶素子の複屈折性を利用する場合は、液晶から発せられた光線により形成される画像の解像力を示す、また、水晶等の光学材料を使用した場合は、画像表示素子から射出した光線が光学材料を通った直後の解像力を示す。なお、ローパスフィルタ効果が与えられても解像力が落ちない場合もあるが、この場合も、ローパスフィル

10

20

30

40

50

タ効果は効いていると言える。

【0025】

光学材料や回折格子を持つ光学素子は、特に画像表示素子に近い位置に配置したり、画像表示素子の受光面を保護する役割を有するカバーガラス上に接着したりする。これにより、逆補正された画像上に発生するモアレ縞やエリアジングに対し、良好なローパスフィルタ効果を発揮できる。

【0026】

本実施例では、電気的及び光学的ローパスフィルタ効果を、入力画像の領域分割を示した図6Dに示す領域Rの画素数と、図6Dの入力画像に対する逆補正画像を示した図6Eに示す領域Sの画素数との関係に応じて以下のように設定する。まず、H方向についての設定は以下の通りである。

10

【0027】

1 M / mの場合、ローパスフィルタ効果を、出力画像の空間周波数を1~1/1.5倍する効果とする。

【0028】

0.8 M / m < 1の場合、ローパスフィルタ効果を、出力画像の空間周波数を1~1/2.3倍する効果とする。

【0029】

M / m < 0.8の場合、ローパスフィルタ効果を、出力画像の空間周波数を1/1.4~1/2.5倍する効果とする。

20

【0030】

一方、V方向についての設定は以下の通りである。

【0031】

1 N / nの場合、ローパスフィルタ効果を、出力画像の空間周波数を1~1/1.5倍する効果とする。

【0032】

0.8 N / n < 1の場合、ローパスフィルタ効果を、出力画像の空間周波数を1~1/2.3倍する効果とする。

【0033】

N / n < 0.8の場合、ローパスフィルタ効果を、出力画像の空間周波数を1/1.4~1/2.5倍する効果とする。

30

【0034】

すなわち、逆補正後(歪み処理後)の領域S(第2の画像領域)の画素数(M又はN)が入力画像における領域R(第1の画像領域)の画素数(m又はn)よりも少ない場合は、領域Sの画素数(第2の画素数)が領域Rの画素数(第1の画素数)以上である場合に比べて強いローパスフィルタ効果を領域Sに対して与える。また、領域Sの画素数が領域Rの画素数よりも少ない場合においては、領域Sの画素数と領域Rの画素数との差が大きいほど(領域Sの画素数が領域Rの画素数より少ないほど)強いローパスフィルタ効果を領域Sに対して与える。

【0035】

40

以上の設定条件の下、H方向とV方向とでローパスフィルタ効果が強い方をS領域のローパスフィルタ効果を働かせる側として選択し、光学的又は電気的に領域Sに対して該ローパスフィルタ効果を与えることで、モアレ縞及びエリアジングを低減でき、良好な画像を提示することができる。

【0036】

また、入力画像と画像表示素子とが非常に多くの画素数を有する場合、ローパスフィルタ効果によって一部の領域の空間周波数が悪くなってしまっても、モアレ縞とエリアジングが少ないために、観察者にとってほとんど気にならない。さらに、出力画像の領域ごとにローパスフィルタ効果を異らせているため、解像力をわざわざ落とす必要のない領域については解像力を落とさずに観察者に提示できる。観察者は、高解像力の領域と若干解像力が落

50

ちた領域とを同時に観察することになるが、多少の解像力の差は気にならない。すなわち、全体的に解像力が落ちた画像を観察するよりは、歪みが少なく、かつモアレ縞やエリアジングが抑えられた画像を観察できる方が好ましい。また、光学系の歪曲収差を電気的に逆補正することで、光学系での収差補正の負担が減少するため、光学系の小型化と歪曲収差以外の収差の補正に寄与することができる。

【0037】

なお、ここまででは、領域 R と領域 S を H 方向 × V 方向を基準としたが、任意の座標を基準にして領域を考えてもよい。

【0038】

また、図 6 D 及び図 6 E では、入力画像の領域 R を基準座標（H 方向 × V 方向）に平行に仕切った場合を示している。しかし、図 6 G に示すように、画像表示素子に出力する画像（逆補正後の画像）の領域 S₁ を基準座標（H 方向 × V 方向）に平行に仕切った領域としてもよい。このとき、入力画像の領域 R₁ は、図 6 F に示すようになる。

10

【0039】

また、入力画像において上記基準座標に平行な領域でローパスフィルタ効果を考える場合は、図 6 H に示すように、V 方向に分割した複数の H 方向領域 R₁ ~ R₅ の画素数（n 画素）が異なっていてもよい。一方、出力画像（逆補正後の画像）において基準座標に平行な領域でローパスフィルタの効果を考える場合は、図 6 I に示すように、複数の領域 S₁ の M 画素数と N 画素数とが異なっていてもよい。

【0040】

20

さらに、これまで説明したように、入力画像と出力画像のうち一方において基準座標に平行に仕切った領域で考えてもよいが、両方の画像において歪曲した領域で考えてもよい。

【0041】

光学材料を使用してローパスフィルタ効果を領域ごとに変化させる例を、図 9 A ~ 図 9 C に示す。

図 9 A は、出力画像を V 方向に複数（この例では 5 つ）の領域に分割し、上述したローパスフィルタ効果の設定条件に当てはめたときの結果を示している。このとき、図 9 B に示すように、画像表示素子 1 上又はこれに近接した位置に光学材料である水晶からなるローパスフィルタ 90 を配置し、各領域に適したローパスフィルタ効果が得られるようにしている。

30

【0042】

図 9 C は、図 9 B の画像表示素子 1 及び水晶ローパスフィルタ 90 の様々な例を側方から見た様子を示す。

【0043】

これらの図に示すように、与えたいローパスフィルタ効果の強さに応じて水晶の厚みを変化させる。例えば、水晶を側方から見て階段状に切り出したり、斜めの直線状に切り出したり、曲線状に切り出したりする。また、曲線状の切り出し面は、出力画像の逆補正量に応じて回転対称面や非回転対称面で形成されている。なお、図 9 C の最も右側の図に示すように、ローパスフィルタ効果が必要な一部の領域に対してのみ水晶が配置されるように、水晶を切り出してもよい。この場合、水晶が配置されていない領域についてはローパスフィルタ効果が与えられないことになるが、このような場合も本発明の実施例に含まれる。

40

【0044】

以上説明した入力画像の電気的逆補正とローパスフィルタ効果の付与とを行う画像表示装置は、図 8 A に示す HMD や図 8 B に示すプロジェクタとして実施することができる。さらに、これら HMD やプロジェクタに限らず、他の様々な画像表示装置として実施することができる。

【0045】

図 8 A において、10 は液晶パネル等の画像表示素子である。60 は該画像表示素子 1

50

0からの光束を観察者の眼 E に導く接眼光学系である。この H M D において、入力画像を逆補正した出力画像（逆補正画像）が画像表示素子 1 0 上に表示されている様子を図 8 A の右側に示す。

【 0 0 4 6 】

画像表示素子 1 0 は、駆動回路（処理手段）2 0 0 と電気的に接続されている。駆動回路 2 0 0 には、パーソナルコンピュータ、D V D プレーヤ、テレビチューナ等の画像供給装置 2 1 0 が電気的に接続されている。画像供給装置 2 1 0 は、画像表示装置に対して画像情報を供給する。駆動回路 2 0 0 は、画像供給装置 2 1 0 から入力された画像（入力画像）に対して逆補正処理を行い、逆補正画像を画像表示素子 1 0 に表示させる。また、逆補正画像に電気的なローパスフィルタ効果を与える場合は、その処理を行った画像を画像表示素子 1 0 に表示させる。画像表示装置と画像供給装置 2 1 0 とにより画像表示システムが構成される。10

【 0 0 4 7 】

図 8 B において、1 0 は画像表示素子であり、1 0 0 は該画像表示素子 1 0 からの光束をスクリーン 7 0 に対して投射する投射光学系である。このプロジェクタにおいて、入力画像を逆補正した出力画像（逆補正画像）が画像表示素子 1 0 上に表示されている様子を図 8 B の下側に示す。

【 0 0 4 8 】

このプロジェクタにも、図示しないが、図 8 A に示した画像供給装置が接続され、これにより画像表示システムが構成される。20

【 実施例 1 】

【 0 0 4 9 】

図 1 A には、本発明の実施例 1 である H M D の表示光学系の構成を示す。

【 0 0 5 0 】

光学素子 1 は、屈折率が 1 より大きい透明媒質上に 3 つ以上の光学面を有するプリズム体であり、本実施例では、面 A (S 2 、 S 4 、 S 6) 、面 B (S 3 、 S 7) 及び面 C (S 5) を有する。

【 0 0 5 1 】

光学素子 2 は、屈折率が 1 より大きい透明媒質上に 2 つの光学面を有するプリズム体であり、面 S 8 , S 9 を有する。30

【 0 0 5 2 】

レンズ 3 は面 S 1 0 , S 1 1 を有し、レンズ 4 は面 S 1 2 , S 1 3 を有する。これらのレンズ 3 , 4 は、面 S 1 1 と面 S 1 2 とで互いに貼り合わされている。

【 0 0 5 3 】

レンズ 5 は面 S 1 4 , S 1 5 を有し、平板 6 は面 S 1 6 , S 1 7 を有する。偏心シリンドリカルレンズ 8 は、面 S 1 8 , S 1 9 (S 2 3 と同一面) を有する。該シリンドリカルレンズ 8 の面 S 1 9 (S 2 3) は、透過反射兼用面（ハーフミラー）である。また、1 0 は画像表示素子であり、本実施例では、反射型液晶パネルを用いている。面 S 2 0 (S 2 2) , S 2 1 は、画像表示素子 1 0 (以下、L C D 1 0 という) に設けられたカバーガラスの面であり、S 2 1 は L C D 1 0 の表示面である。画像表示素子としては、反射型液晶パネル以外でも、C R T 、透過型液晶パネル、エレクトロルミネッセンス素子等を用いてもよい。このことは、後述する以下の実施例でも同じである。40

【 0 0 5 4 】

また、照明光源 3 0 (面 S I) は、本実施例では平面照明光源を用いている。照明光源 3 0 から発せられた光が L C D 1 0 に入射する際に、シリンドリカルレンズ 8 は照明光学系としての役割を果たしている。7 , 1 4 は偏光板である。

【 0 0 5 5 】

なお、レンズ 3 , 4 は前述したように貼り合わせレンズであり、この貼り合わせレンズ 3 , 4 とシリンドリカルレンズ 8 を除く全ての光学面は、図 1 A の紙面 (y z 断面) を唯一の対称面として持つ面對称形状を有する。50

【0056】

照明光源30から発せられた光は、偏光板14を透過して直線偏光に変換され、シリンドリカルレンズ8の面S23で反射されてLCD10に向かう。LCD10に斜めから入射して該LCD10の表示面S21で斜め方向に反射された光は、シリンドリカルレンズ8に面S19から入射し、面S18から射出する。そして、偏光板7を透過して平板6に面S17から入射し、S16から射出してレンズ5に向かう。このとき、偏光板14に入射した直線偏光は、その偏光方向がLCD10内で回転するため、偏光板7はその偏光方向が回転した直線偏光を通すように設定されている。

【0057】

偏光板7を透過する直線偏光の偏光方向が、LCD10での偏光回転角90°に合わせて、偏光板14を透過する直線偏光の偏光方向に対して90°ずれている場合、偏光板14で直線偏光とされた光が面S23で反射せずに透過してゴースト光となる場合がある。しかし、偏光板7でこのゴースト光をカットできるため、観察者の眼にゴースト光が入ることを防止できる。

【0058】

レンズ5に面S15から入射した光は、面S14から射出し、面S13からレンズ4に入射する。そして、レンズ4の面S12とレンズ3の面S11を透過し、面S10から射出して光学素子2に向かう。

【0059】

面S9から光学素子2に入射した光は、光学素子2の面S8と光学素子1の面S7を透過して光学素子1に入射する。なお、光学素子2の面S8は光学素子1の面S7とは貼り合わせられている。

【0060】

光学素子1において、面B(S7)から入射した光は、面A(S6)で反射された後、面C(S5)に導かれる。面C(S5)に入射した光はほぼ反対側に「折り返し反射」(これについては後述する)されて、面Cでの反射前の光と逆向きに進む。面C(S5)で反射された光は、面A(S4)で再度反射され、さらに面B(S3)で再反射されて面A(S2)から射出し、射出瞳S1に向かう。

【0061】

このとき、光学素子1内で画像表示面(S21)の両端からの光線が交わっており、表示された画像の中間結像面が形成されている。本実施例においては、面S4の反射から面S5の反射の間に中間像が形成されている。但し、必ずしもこの間に中間像が形成される必要はない。

【0062】

本実施例は、中間結像面を通過する光束を平行光束として射出瞳S1に導くいわゆる接眼光学系部分を有する。そして、中間像は、接眼光学系部分での収差補正を容易にするために、該接眼光学系部分での像面湾曲や非点収差の発生する状況に合わせて、適宜湾曲したり非点隔差を有したりするよう結像されていることが好ましい。

【0063】

また、光束が面S5における反射から面S2を射出するまでの光学面は、接眼光学系部分に相当し、光学素子1でのそれ以外の部分とLCD10のカバーガラスとの間に配置されている光学系とがリレー光学系部分に相当する。最終反射面として作用するときの面S3は、射出面として作用するときの面S2に対して非常に強いパワーを有した凹面鏡となっている。このため、接眼光学系部分では収差を完全に補正することが困難である。そこで、本実施例では、リレー光学系部分が接眼光学系部分での収差をキャンセルするような形の中間結像面ができるように中間像を形成している。これにより、最終的な像観察における画質向上させることができる。

【0064】

面S4における反射を光学素子1内の内部全反射とすると、光量ロスが少くなり、好ましい。少なくとも面S2からの射出光束と面S4での反射光束とが共用する領域にお

10

20

30

40

50

いては、反射が内部全反射となるようにすると、全ての反射を内部全反射とする場合に比べて設計自由度を上げつつ、同程度の明るさを確保できるので、好ましい。この場合、面 S 4 において内部全反射ではない反射は、反射膜による反射とする。また、面 S 5 における反射は、反射膜による反射とする。

【0065】

光学素子 1 において、光は面 B 面 A 面 C 面 A 面 B (面 A) の順に各面を通過し、面 C での反射を境に最終反射面 B に至るまで、それまでの光路を逆にたどり、面 B 面 A 面 C の往路と、面 C 面 A 面 B の復路を形成している。面 C のように往路から復路に切り換わる反射を折り返し反射といい、このような折り返し反射作用を持つ面を「折り返し面」と称する。このように、複数の偏心反射面 A , B , C で光路を折り畳み、かつ面 C で折り返し反射して往路と復路をほぼ重複させることにより、長い光路長を小型の光学素子 1 内に収めることができる。これにより、図 1 A に示す表示光学系全体を小型にすることができる。10

【0066】

また、折り返し面に入射した光線がここで反射されて射出されるとき、折り返し面の前後で光線が所定の角度 α をなして入射及び反射される場合、角度 α は、

$$|\alpha| < 60^\circ \dots (1)$$

を満たすことが望ましい。この条件を外れると、折り返し反射後の光路（復路）が往路を逆戻りせず、往復光路というよりジグザグ光路になってしまい、光学系 1 が大型化する可能性が生ずる。20

【0067】

さらに、 α は以下の条件を満足することが好ましい。

【0068】

$$|\alpha| < 30^\circ \dots (2)$$

この(2)の条件を外れると、復路は往路を逆戻りするものの、往路と復路の重なり程度が少ない。したがって、光学系 1 が大型化し、表示光学系全体を小型化することが難しくなる可能性が生ずる。

【0069】

さらに、 α が以下の条件を満足すると、表示光学系全体をより小型化することができる。30

【0070】

$$|\alpha| < 20^\circ \dots (3)$$

【0071】

本実施例の表示光学系の数値例を表 1 に示す。

【0072】

ここで、偏心系に対応していない従来系の定義では、各面頂点を基準とした座標系で表される。すなわち、z 軸を光軸とし、y z 断面が従来の母線断面（メリジオナル断面）、x z 断面が子線断面（サジタル断面）となる。しかし、本実施例の表示光学系は、偏心系であるので、ここでは、偏心系に対応したローカル母線断面とローカル子線断面を新たに定義する。40

【0073】

逆補正によって画像表示素子上に表示した入力画像の中心に相当する位置から射出瞳の中心とを通る光線を中心画角主光線とするとき、該中心画角主光線の各面のヒットポイント上で、中心画角主光線の入射光と射出光を含む面をローカル母線断面とする。また、各面のヒットポイントを含み、ローカル母線断面と垂直で、各面頂点座標系の子線断面（通常の子線断面）と平行な面をローカル子線断面として定義する。

【0074】

各面における中心画角主光線のヒットポイント近傍の曲率を計算し、各面の中心画角主光線に対するローカル母線断面における曲率半径を r_y 、ローカル子線断面における曲率半径を r_x と定義する。50

【0075】

以下、表1の光学データの見方を説明する。なお、光学データの見方は、後述する他の実施例でも同じである。

【0076】

表1において、最も左の項目SURFは面番号(Siのi)を示している。

【0077】

X, Y, Z及びAは、第1面S1の中心を原点(0, 0, 0)とし、図中に示したy軸, z軸と紙面に垂直なx軸とを有する座標系における各面の面頂点の位置(x, y, z)と、図上で反時計回り方向を正方向とするx軸回りでの回転角a(単位：度)である。

【0078】

TYPの項は、面形状の種類を表し、SPHは球面、FFSは非回転対称面、CYLは母線断面においてのみ屈折力を持つシリンドリカルレンズ面である。

【0079】

実施例の非回転対称面は下記のFFSの条件式に従う。また、YTOは母線断面が下記の非球面条件式で表され、子線断面は平面(r_x =)である。

【0080】

Rの項は曲率半径を表し、シリンドリカルレンズ面に関しては母線断面曲率半径r_yの値を表記している。

【0081】

FFS :

$$\begin{aligned}
 z = & (1/R) * (x^2 + y^2) / (1 + (1 - (1+k) * (1/R)^2 * (x^2 + y^2))^{(1/2)}) + c2 + c4 * y + c5 * (x^2 - y^2) \\
 & + c6 * (-1 + 2 * x^2 + 2 * y^2) + c10 * (-2 * y + 3 * x^2 * y + 3 * y^3) + c11 * (3 * x^2 * y - y^3) \\
 & + c12 * (x^4 - 6 * x^2 * y^2 + y^4) + c13 * (-3 * x^2 + 4 * x^4 + 3 * y^2 - 4 * y^4) \\
 & + c14 * (1 - 6 * x^2 + 6 * x^4 - 6 * y^2 + 12 * x^2 * y^2 + 6 * y^4) \\
 & + c20 * (3 * y - 12 * x^2 * y + 10 * x^4 * y - 12 * y^3 + 20 * x^2 * y^3 + 10 * y^5) \\
 & + c21 * (-12 * x^2 * y + 15 * x^4 * y + 4 * y^3 + 10 * x^2 * y^3 - 5 * y^5) \\
 & + c22 * (5 * x^4 * y - 10 * x^2 * y^3 + y^5) + c23 * (x^6 - 15 * x^4 * y^2 + 15 * x^2 * y^4 - y^6) \\
 & + c24 * (-5 * x^4 + 6 * x^6 + 30 * x^2 * y^2 - 30 * x^4 * y^2 - 5 * y^4 - 30 * x^2 * y^4 + 6 * y^6) \\
 & + c25 * (6 * x^2 - 20 * x^4 + 15 * x^6 - 6 * y^2 + 15 * x^4 * y^2 + 20 * y^4 - 15 * x^2 * y^4 - 15 * y^6) \\
 & + c26 * (-1 + 12 * x^2 - 30 * x^4 + 20 * x^6 + 12 * y^2 - 60 * x^2 * y^2 + 60 * x^4 * y^2 - 30 * y^4 + 60 * x^2 * y^4 + 20 * y^6) \\
 & + \dots .
 \end{aligned}$$

【0082】

また、TYPの欄でFFSの横に記された数値は、その面の形状が同表の下側に記載された非球面係数k及びc**に対応する非回転対称形状であることを示している。但し、記載されていないc**の値は0である。

【0083】

Nd, dはそれぞれ面以降の媒質のd線波長での屈折率とアッベ数を示しており、屈折率Ndの符号の変化はその面で光が反射されることを示している。また、媒質が空気層の場合は、屈折率Ndのみを1.0000として表示し、アッベ数vdは省略している。

【0084】

表1での長さの単位はmmである。したがって、表1に示す光学系は、画像サイズが約18mm×14mmで、水平画角60°の画像をz軸方向での無限遠方に表示する表示光学系である。

【0085】

本実施例では、光学系によって非常に大きな歪曲収差が発生している。このため、光学系で発生する歪曲収差とは逆方向に電気的に歪み補正処理(逆補正)を行った画像を画像表示素子に出力する。

【0086】

本実施例では、入力画像を、図7に示すように、H方向×V方向=8×8の領域に分割

10

20

30

40

50

して考える。これについては、後述する他の実施例でも同じである。

【0087】

また、本実施例では、入力画像と画像表示素子の画素数とが同じであるとする。これについても、後述する他の実施例でも同じである。

【0088】

入力画像(図7)を逆補正した出力画像(逆補正画像)を、図1Bに示す。図1Bのように歪曲した出力画像における 8×8 の各領域について、前述したローパスフィルタ効果の設定条件に従ってローパスフィルタ効果を計算した結果を図1Cに示す。図1Cには、ローパスフィルタ効果が強い領域、中程度の領域及び弱い領域を示している。

【0089】

そして、本実施例では、光学系では歪曲収差を補正していないため、歪曲収差以外の諸収差の補正や光学系の小型化に寄与するように光学系を構成することができる。本実施例では、小型でありながらも、光学性能がきわめて良好であり、歪の少ない画像を提示できる表示光学系(つまりは、画像表示装置)を実現している。

10

【0090】

さらに、画像表示素子に出力する画像を歪曲させた上で、領域ごとに最適なローパスフィルタ効果が得られる構成とすることで、光学系を通して画像表示素子を観察したときに、歪みが少なく、モアレ縞やエリアジングも少ない良好な画像を観察することができる。

【0091】

また、本実施例では、光学系の少なくとも1面を、画像表示素子10からの光線に対して偏心した面としているので、光学系のより小型化を図ることができる。

20

【0092】

また、本実施例では、光学系の少なくとも1面を、非回転対称面により構成しているので、光学系の更なる小型化と、光学系による諸収差(特に、色倍率収差や軸上色収差)を最小限に抑えることができる。

【0093】

また、本実施例では、逆補正して画像表示素子10に表示させる画像を、非回転対称な歪曲画像としている。これにより、光学系の諸収差補正への寄与を少なくし、無理なパワー設定をした光学系とはならないため、光学系の面に対する公差を緩くし、製造し易くすることができる。

30

【0094】

なお、本実施例では、入力画像の画素数と画像表示素子の画素数とが同じである場合について説明したが、これらは互いに異なっていてもよい。この場合は、入力画像の画素数と画像表示素子の画素数との元々の違いに応じたローパスフィルタ効果の設定条件に従つてローパスフィルタ効果の強さを定めればよい。このことは、後述する他の実施例でも同様である。

【0095】

【表1】

SURF	X	Y	Z	A	R	typ	Nd	νd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	SPH	1.0000	0.0
2	0.000	9.365	21.886	-0.529	-284.2114	FFS1	1.5300	55.8
3	0.000	-2.638	34.455	-31.052	-72.0536	FFS2	-1.5300	55.8
4	0.000	9.365	21.886	-0.529	-284.2114	FFS1	1.5300	55.8
5	0.000	30.738	47.306	48.060	-189.3367	FFS3	-1.5300	55.8
6	0.000	9.365	21.886	-0.529	-284.2114	FFS1	1.5300	55.8
7	0.000	-2.638	34.455	-31.052	-72.0536	FFS2	1.5300	55.8
8	0.000	-2.638	34.455	-31.052	-72.0536	FFS2	1.5300	55.8
9	0.000	-5.791	39.117	-46.389	-56.9404	FFS4	1.0000	
10	0.000	-7.538	37.525	-53.721	18.2091	SPH	1.4875	70.2
11	0.000	-16.105	43.813	-53.721	-21.5267	SPH	1.7618	26.5
12	0.000	-17.556	44.878	-53.721	66.0282	SPH	1.0000	
13	0.000	-18.692	44.573	-50.460	20.6510	FFS5	1.5300	55.8
14	0.000	-32.859	25.439	-88.990	-118.4382	FFS6	1.0000	
15	0.000	-49.433	29.812	-45.448	∞	SPH	1.5230	58.6
16	0.000	-50.288	30.654	-45.448	∞	SPH	1.0000	
17	0.000	-32.898	51.561	-24.427	25.6080	CYL	1.7618	26.5
18	0.000	-30.463	55.740	-38.300	21.8260	CYL	1.0000	
19	0.000	-38.215	64.167	-66.742	∞	SPH	1.5500	52.0
20	0.000	-38.858	64.443	-66.742	∞	SPH	1.0000	
21	0.000	-38.858	64.443	-66.742	0.0000	SPH	1.0000	0.0
FFS1	c 1:4.7708e+001	c 5:-2.2635e-003	c 6:-2.6964e-004	c 10:-3.5045e-006				
	c11:-1.8961e-005	c12:-2.5872e-007	c13:-3.5080e-007	c14:-1.8809e-007				
	c20:-8.5708e-010	c21:-5.5035e-010	c22:-4.8677e-010	c23:1.7886e-011				20
	c24:2.5426e-011	c25:1.2297e-011	c26:6.2276e-012					
FFS2	c 1:-8.0283e-001	c 5:-1.3225e-003	c 6:-3.2740e-004	c 10:-1.0438e-005				
	c11:-4.7937e-007	c12:-5.0068e-008	c13:-6.2302e-008	c14:4.5234e-008				
	c20:1.9842e-009	c21:-5.0837e-010	c22:1.1409e-009	c23:1.8477e-011				
	c24:-1.7819e-011	c25:1.2831e-011	c26:-2.0655e-011					
FFS3	c 1:2.6924e+001	c 5:2.4531e-004	c 6:-1.2389e-003	c 10:-4.7294e-005				
	c11:3.6501e-005	c12:2.1833e-006	c13:-2.0621e-006	c14:1.3400e-006				
	c20:-3.4331e-008	c21:2.1762e-008	c22:-5.5534e-009	c23:-2.7291e-010				
	c24:-2.2240e-010	c25:-2.8204e-010	c26:2.0643e-011					
FFS4	c 1:-2.0112e+000	c 5:-1.1439e-003	c 6:-7.0182e-003	c 10:6.6323e-005				
	c11:3.7827e-005	c12:-3.0764e-007	c13:-1.2255e-007	c14:2.8074e-007				30
	c20:-4.8304e-008	c21:-6.8627e-009	c22:1.4540e-008	c23:1.9275e-010				
	c24:-2.0887e-010	c25:-6.5050e-010	c26:1.3565e-010					
FFS5	c 1:8.3170e-001	c 5:2.2565e-003	c 6:-1.7932e-003	c 10:4.9769e-005				
	c11:5.8833e-005	c12:-1.8053e-006	c13:3.0888e-007	c14:-2.4892e-006				
	c20:-1.1149e-008	c21:-5.0541e-008	c22:3.6852e-008	c23:1.3332e-009				
	c24:-1.1902e-009	c25:-7.4560e-011	c26:-9.7807e-009					
FFS6	c 1:5.0873e-001	c 5:1.7979e-003	c 6:1.0845e-003	c 10:-4.0100e-005				
	c11:-2.0713e-004	c12:3.9779e-006	c13:1.4457e-006	c14:-2.9702e-007				
	c20:-5.7229e-009	c21:2.9933e-008	c22:-3.2629e-008	c23:-5.6700e-011				
	c24:-1.7802e-010	c25:-2.0885e-010	c26:-3.8998e-011					

【0096】

40

なお、表1には、照明光源30及び偏光板14の光学データは示していない。このことは、後述する他の実施例でも同じである。

【実施例2】

【0097】

図2Aには、本発明の実施例2であるHMDの表示光学系の構成を示す。

【0098】

光学素子1は、屈折率が1より大きい透明媒質上に3つ以上の光学面を有するプリズム体であり、光学素子2は屈折率が1より大きい透明媒質上に2つの光学面を有するプリズム体である。3, 4, 5, 9はそれぞれ2面を有するレンズ、8は偏心シリンドリカルレンズである。10は画像表示素子(反射型LCD)である。

50

【0099】

シリンドリカルレンズ8のLCD10に近い側の面は透過反射兼用面（ハーフミラー）である。

【0100】

照明光源30は、平面照明光源である。平面照明光源30から発せられた光がLCD10に入射する際に、シリンドリカルレンズ8は照明光学系としての役割も果たしている。本実施例では、光学素子1，2及びレンズ5を構成する全ての面を、図の紙面に平行な面（yz断面）を唯一の対称面として持つ面对称形状としている。

【0101】

平面照明光源30から発せられた光は、偏光板14を透過して直線偏光に変換され、シリンドリカルレンズ8で反射されてLCD10に向かう。LCD10に斜めから入射し、LCDの画像表示面で斜め方向に反射された光は、シリンドリカルレンズ8を通り、偏光板7を透過してレンズ5に入射する。偏光板7，14の機能は実施例1と同じである。10

【0102】

レンズ5を射出した光は、レンズ4とレンズ3を透過して光学素子2に入射する。さらに、光学素子2と光学素子1の接合面を透過して光学素子1に入射する。

【0103】

光学素子1に面Bから入射した光は、面Aで反射された後、面Cに導かれる。面Cに入射した光はほぼ反対側に折り返し反射され、面Cでの反射前の光と逆向きに進む。面Cで反射された光は、面Aで再度反射され、面Bで再反射され、面Aにおいて光学素子1から射出して、レンズ9を通って射出瞳S1に向かう。20

【0104】

本実施例の数値例を表2に示す。

【0105】

表2での長さの単位はmmである。したがって、表2に示す光学系は、画像サイズが約18mm×14mmで、水平画角60°の画像をz軸方向での無限遠方に表示する表示光学系である。

【0106】

本実施例では、光学系によって非常に大きな歪曲収差が発生している。このため、光学系で発生する歪曲収差とは逆方向に電気的に歪み補正処理（逆補正）を行った画像を画像表示素子に出力する。入力画像（図7）を逆補正した出力画像（逆補正画像）を、図2Bに示す。30

【0107】

図2Bのように歪曲した出力画像における8×8の各領域について、前述したローパスフィルタ効果の設定条件に従ってローパスフィルタ効果を計算することで、ローパスフィルタ効果が強い領域、中程度の領域及び弱い領域が求められる。

【0108】

そして、本実施例では、光学系では歪曲収差を補正していないため、歪曲収差以外の諸収差の補正や光学系の小型化に寄与するように光学系を構成することができる。本実施例では、小型でありながらも、光学性能がきわめて良好であり、歪の少ない画像を提示できる表示光学系（つまりは、画像表示装置）を実現している。40

【0109】

さらに、画像表示素子に出力する画像を歪曲させた上で、領域ごとに最適なローパスフィルタ効果が得られる構成とすることで、光学系を通して画像表示素子を観察したときに、歪みが少なく、モアレ縞やエリアジングも少ない良好な画像を観察することができる。

【0110】

【表2】

SURF	X	Y	Z	A	R	typ	Nd	νd	
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	SPH	1.0000	0.0	
2	0.000	0.354	18.405	1.469	-136.7211	SPH	1.7618	26.5	
3	0.000	0.406	20.404	1.469	∞	SPH	1.0000		
4	0.000	9.259	21.177	2.214	-469.1111	FFS1	1.5300	55.8	
5	0.000	5.022	38.481	-23.133	-75.5610	FFS2	-1.5300	55.8	
6	0.000	9.259	21.177	2.214	-469.1111	FFS1	1.5300	55.8	
7	0.000	34.209	54.410	55.179	-180.1511	FFS3	-1.5300	55.8	
8	0.000	9.259	21.177	2.214	-469.1111	FFS1	1.5300	55.8	
9	0.000	5.022	38.481	-23.133	-75.5610	FFS2	1.5300	55.8	
10	0.000	5.022	38.481	-23.133	-75.5610	FFS2	1.5300	55.8	10
11	0.000	0.345	46.831	-31.122	-107.1944	FFS4	1.0000		
12	0.000	-9.458	40.330	-64.394	19.9021	SPH	1.4875	70.2	
13	0.000	-15.667	42.631	-60.135	-51.7320	SPH	1.0000		
14	0.000	-16.654	42.682	-60.413	-40.0596	SPH	1.7618	26.5	
15	0.000	-17.814	44.691	-63.011	65.9693	SPH	1.0000		
16	0.000	-21.067	47.028	-63.163	18.8246	FFS5	1.5300	55.8	
17	0.000	-36.301	33.494	-74.884	-77.6795	FFS6	1.0000		
18	0.000	-34.770	53.842	-89.719	36.9295	CYL	1.4875	70.4	
19	0.000	-36.670	53.819	-87.760	38.5518	CYL	1.0000		
20	0.000	-49.906	54.337	-46.389	∞	SPH	1.5500	52.0	
21	0.000	-50.606	54.364	-46.389	∞	SPH	1.0000		
22	0.000	-50.606	54.364	-46.389	0.0000	SPH	1.0000	0.0	
FFS1	c 1:-3.5142e+000	c 5:-1.1224e-003	c 6:3.0047e-004	c 10:1.6178e-006					
	c11:-2.3024e-006	c12:-1.0174e-007	c13:-1.3665e-007	c14:-8.2428e-008					20
	c20:6.4444e-011	c21:-4.5295e-010	c22:-3.8790e-010	c23:3.3132e-013					
	c24:2.2972e-013	c25:6.0295e-013	c26:1.4337e-012						
FFS2	c 1:1.2950e+000	c 5:-1.4032e-003	c 6:-2.7965e-004	c 10:7.0382e-006					
	c11:5.5439e-007	c12:-1.7720e-008	c13:5.3552e-009	c14:1.8816e-007					
	c20:-8.0878e-010	c21:5.5724e-010	c22:-5.6967e-010	c23:-3.8603e-013					
	c24:-1.7807e-011	c25:-1.8045e-012	c26:-9.2497e-012						
FFS3	c 1:-5.9895e+000	c 5:-8.9010e-004	c 6:-6.3693e-005	c 10:1.8175e-006					
	c11:9.7146e-006	c12:1.1339e-007	c13:4.2958e-009	c14:2.5671e-008					
	c20:9.3576e-011	c21:-3.8979e-010	c22:3.1680e-009	c23:-2.7038e-011					
	c24:7.7717e-012	c25:-1.0598e-011	c26:5.4081e-012						
FFS4	c 1:3.2848e+000	c 5:-1.3584e-003	c 6:-3.6912e-003	c 10:6.8912e-005					30
	c11:4.0703e-005	c12:6.8456e-007	c13:-3.2043e-007	c14:-3.3292e-007					
	c20:-3.8440e-009	c21:-2.6745e-009	c22:1.3757e-009	c23:-1.6929e-010					
	c24:-2.3522e-010	c25:-1.0763e-010	c26:-4.0575e-011						
FFS5	c 1:-5.3753e-001	c 5:1.5035e-003	c 6:-1.7174e-004	c 10:-1.5884e-005					
	c11:1.3331e-004	c12:-2.1151e-006	c13:9.6711e-007	c14:-1.4211e-006					
	c20:-6.6002e-008	c21:3.6230e-008	c22:-1.6300e-008	c23:1.1167e-010					
	c24:-1.1552e-009	c25:5.5383e-010	c26:-2.7815e-009						
FFS6	c 1:6.7826e-001	c 5:-3.6616e-003	c 6:6.1230e-005	c 10:-9.0367e-006					
	c11:-2.6342e-005	c12:5.1808e-007	c13:3.3044e-007	c14:-1.0194e-007					
	c20:-1.5907e-009	c21:7.6035e-009	c22:2.5169e-009	c23:2.9829e-010					
	c24:-2.3108e-010	c25:5.8907e-012	c26:1.9299e-011						

【実施例3】

40

【0111】

図3Aには、本発明の実施例3であるHMDの表示光学系の構成を示す。

【0112】

光学素子1は、屈折率が1より大きい透明媒質上に3つ以上の光学面を有するプリズム体であり、光学素子2は屈折率が1より大きい透明媒質上に2つの光学面を有するプリズム体である。3, 4は貼り合わせレンズ、5は2面を有するレンズ、8は偏心シリンドリカルレンズである。10は画像表示素子(反射型LCD)である。

【0113】

シリンドリカルレンズ8のLCD10に近い側の面は透過反射兼用面(ハーフミラー)である。

50

【0114】

照明光源30は、平面照明光源である。平面照明光源30から発せられた光がLCD10に入射する際に、シリンドリカルレンズ8は照明光学系としての役割も果たしている。本実施例では、光学素子1, 2及びレンズ5を構成する全ての面を、図の紙面に平行な面(yz断面)を唯一の対称面として持つ面对称形状としている。

【0115】

平面照明光源30から発せられた光は、偏光板14を透過して直線偏光に変換され、シリンドリカルレンズ8で反射されてLCD10に向かう。LCD10に斜めから入射し、LCD10の画像表示面で斜め方向に反射された光は、シリンドリカルレンズ8を通り、偏光板7を透過してレンズ5に入射する。

10

【0116】

光学素子5を射出した光は、貼り合わせレンズ4, 3を透過して光学素子2に入射する。そして、光学素子2と光学素子1の接合面を透過して光学素子1に入射する。光学素子1に面Bから入射した光は、面Aで反射された後、面Cに導かれる。面Cに入射した光はほぼ反対側に折り返し反射され、面Cでの反射前の光と逆向きに進む。面Cで反射された光は面Aで再度反射され、面Bで再反射され、面Aにおいて光学素子1から射出して射出瞳S1に向かう。

【0117】

本実施例の数値例を表3に示す。

【0118】

20

表3での長さの単位はmmである。したがって、表3に示す光学系は、画像サイズが約18mm×14mmで、水平画角60°の画像をz軸方向での無限遠方に表示する表示光学系である。

【0119】

本実施例では、光学系によって非常に大きな歪曲収差が発生している。このため、光学系で発生する歪曲収差とは逆方向に電気的に歪み補正処理(逆補正)を行った画像を画像表示素子に出力する。入力画像(図7)を逆補正した出力画像(逆補正画像)を、図3Bに示す。

【0120】

30

図3Bのように歪曲した出力画像における8×8の各領域について、前述したローパスフィルタ効果の設定条件に従ってローパスフィルタ効果を計算することで、ローパスフィルタ効果が強い領域、中程度の領域及び弱い領域が求められる。

【0121】

そして、本実施例では、光学系では歪曲収差を補正していないため、歪曲収差以外の諸収差の補正や光学系の小型化に寄与するように光学系を構成することができる。本実施例では、小型でありながらも、光学性能がきわめて良好であり、歪の少ない画像を提示できる表示光学系(つまりは、画像表示装置)を実現している。

【0122】

さらに、画像表示素子に出力する画像を歪曲させた上で、領域ごとに最適なローパスフィルタ効果が得られる構成とすることで、光学系を通して画像表示素子を観察したときに、歪みが少なく、モアレ縞やエリアジングも少ない良好な画像を観察することができる。

40

【0123】

【表3】

SURF	X	Y	Z	A	R	typ	Nd	νd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	SPH	1.0000	0.0
2	0.000	10.841	21.436	-0.604	-352.9905	FFS1	1.5300	55.8
3	0.000	-2.791	33.876	-30.275	-75.8089	FFS2	-1.5300	55.8
4	0.000	10.841	21.436	-0.604	-352.9905	FFS1	1.5300	55.8
5	0.000	33.879	41.433	53.462	-197.0908	FFS3	-1.5300	55.8
6	0.000	10.841	21.436	-0.604	-352.9905	FFS1	1.5300	55.8
7	0.000	-2.791	33.876	-30.275	-75.8089	FFS2	1.5300	55.8
8	0.000	-2.791	33.876	-30.275	-75.8089	FFS2	1.5300	55.8
9	0.000	-7.196	41.839	-43.971	-63.4555	FFS4	1.0000	
10	0.000	-11.638	37.392	-58.707	18.6660	SPH	1.4875	70.2
11	0.000	-22.246	43.841	-58.707	-22.2689	SPH	1.7618	26.5
12	0.000	-23.785	44.776	-58.707	61.7075	SPH	1.0000	
13	0.000	-25.783	43.765	-48.028	21.0144	FFS5	1.5300	55.8
14	0.000	-41.494	26.775	-81.743	-92.5180	FFS6	1.0000	
15	0.000	-38.685	45.914	-82.594	41.2870	CYL	1.4875	70.2
16	0.000	-40.878	44.746	-80.774	41.2870	CYL	1.0000	
17	0.000	-55.794	47.169	-54.561	∞	SPH	1.5500	52.0
18	0.000	-56.485	47.281	-54.561	∞	SPH	1.0000	
19	0.000	-56.485	47.281	-54.561	0.0000	SPH	1.0000	0.0
FFS1	c 1:7.2184e+001	c 5:-1.6665e-003	c 6:-7.2422e-005	c 10:-4.6772e-006				
	c11:-1.2027e-005	c12:-2.5677e-007	c13:-4.8083e-007	c14:-2.5025e-007				
	c20:-2.3618e-010	c21:6.1664e-011	c22:3.8390e-010	c23:4.3369e-011				
	c24:6.6350e-011	c25:8.8166e-011	c26:4.8625e-011					
FFS2	c 1:-2.6318e-001	c 5:-1.1855e-003	c 6:-3.6956e-004	c 10:-6.9695e-006				
	c11:-1.0001e-006	c12:-1.6620e-009	c13:-1.1802e-007	c14:2.9418e-008				
	c20:8.8307e-010	c21:5.1973e-010	c22:-4.6161e-010	c23:2.1291e-013				
	c24:-1.7111e-012	c25:6.2447e-012	c26:-4.4093e-012					
FFS3	c 1:-6.6986e+001	c 5:1.0045e-004	c 6:-1.1422e-003	c 10:7.4597e-006				
	c11:-2.2377e-005	c12:1.7250e-006	c13:-1.5586e-006	c14:9.6682e-007				
	c20:-4.4616e-008	c21:3.7490e-008	c22:-2.3601e-008	c23:-3.7207e-010				
	c24:9.9407e-011	c25:-3.6052e-010	c26:7.2921e-011					
FFS4	c 1:-6.5653e+000	c 5:-2.1549e-004	c 6:-6.3543e-003	c 10:6.1509e-005				
	c11:5.1806e-005	c12:-2.6789e-007	c13:1.5006e-008	c14:-6.0216e-007				
	c20:-1.9440e-008	c21:-7.7214e-009	c22:2.8584e-009	c23:1.5916e-010				
	c24:4.7203e-010	c25:-4.3913e-010	c26:-1.4201e-010					
FFS5	c 1:-2.2697e-001	c 5:5.5284e-004	c 6:-8.9698e-005	c 10:-3.5449e-005				
	c11:7.2729e-005	c12:-2.1230e-006	c13:1.4771e-006	c14:-2.5204e-006				
	c20:2.2693e-008	c21:-5.3195e-008	c22:-2.1732e-009	c23:4.1626e-010				
	c24:-5.0053e-010	c25:1.1931e-009	c26:-2.8094e-009					
FFS6	c 1:-2.5783e+001	c 5:1.9452e-003	c 6:1.2450e-003	c 10:-2.5389e-005				
	c11:-1.6737e-004	c12:4.7165e-006	c13:1.5333e-006	c14:-9.3819e-008				
	c20:-3.2552e-009	c21:3.1982e-008	c22:1.3708e-008	c23:3.2537e-010				
	c24:-2.7285e-010	c25:-1.2959e-010	c26:3.0139e-011					

【実施例4】

【0124】

図4Aには、本発明の実施例4であるHMDの表示光学系の構成を示す。

40

【0125】

光学素子1は、屈折率が1より大きい透明媒質上に3つ以上の光学面を有するプリズム体であり、3, 4, 6はそれぞれ2面を有するレンズである。10は画像表示素子(反射型LCD)である。なお、本実施例では、照明光源を示していない。

【0126】

本実施例では、光学素子1を構成する全ての面を、図の紙面に平行な面(yz断面)を唯一の対称面として持つ面对称形状としている。

【0127】

画像表示素子10から射出した光は、レンズ6, 4, 3を透過して、光学素子1に面Cから入射する。光学素子1に入射した光は、面Aで反射された後、面Bで反射され、面A

50

において光学素子 1 から射出して、射出瞳 S 1 に向かう。

【 0 1 2 8 】

本実施例の数値例を表 4 に示す。

【 0 1 2 9 】

表 4 での長さの単位は mm である。したがって、表 4 に示す光学系は、画像サイズが約 18 mm × 14 mm で、水平画角 60° の画像を z 軸方向での無限遠方に表示する表示光学系である。

【 0 1 3 0 】

本実施例では、光学系によって非常に大きな歪曲収差が発生している。このため、光学系で発生する歪曲収差とは逆方向に電気的に歪み補正処理（逆補正）を行った画像を画像表示素子に出力する。入力画像（図 7）を逆補正した出力画像（逆補正画像）を、図 4 B に示す。

【 0 1 3 1 】

図 4 B のように歪曲した出力画像における 8 × 8 の各領域について、前述したローパスフィルタ効果の設定条件に従ってローパスフィルタ効果を計算することで、ローパスフィルタ効果が強い領域、中程度の領域及び弱い領域が求められる。

【 0 1 3 2 】

そして、本実施例では、光学系では歪曲収差を補正していないため、歪曲収差以外の諸収差の補正や光学系の小型化に寄与するように光学系を構成することができる。本実施例では、小型でありながらも、光学性能がきわめて良好であり、歪の少ない画像を提示できる表示光学系（つまりは、画像表示装置）を実現している。

【 0 1 3 3 】

さらに、画像表示素子に出力する画像を歪曲させた上で、領域ごとに最適なローパスフィルタ効果が得られる構成とすることで、光学系を通して画像表示素子を観察したときに、歪みが少なく、モアレ縞やエリアジングも少ない良好な画像を観察することができる。

【 0 1 3 4 】

【 表 4 】

SURF	X	Y	Z	A	R	typ	Nd	ν d
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	SPH	1.0000	0.0
2	0.000	14.451	20.154	-1.074	-718.3837	FFS1	1.5300	55.8
3	0.000	-2.366	35.080	-30.181	-72.6014	FFS2	-1.5300	55.8
4	0.000	14.451	20.154	-1.074	-718.3837	FFS1	1.5300	55.8
5	0.000	38.725	48.761	28.404	-69.8715	FFS3	1.0000	
6	0.000	57.966	42.294	49.155	4400.3327	SPH	1.6775	31.6
7	0.000	77.413	59.108	53.609	-41.8639	SPH	1.0000	
8	0.000	82.841	56.549	51.868	30.0884	SPH	1.5769	62.8
9	0.000	89.294	61.614	54.919	-332.5298	SPH	1.0000	
10	0.000	90.995	62.089	54.463	17.0171	SPH	1.5633	63.7
11	0.000	95.850	68.175	52.535	39.9059	SPH	1.0000	
12	0.000	108.390	77.785	79.641	0.0000	SPH	1.0000	0.0
FFS1								
c 1:-6.6774e+002	c 5:-6.6762e-004	c 6:1.2170e-004	c 10:-1.3837e-005					
c11:-2.2316e-005	c12:1.0432e-007	c13:2.9061e-008	c14:-8.8845e-008					
FFS2								
c 1:-1.9853e+000	c 5:-1.3309e-003	c 6:-6.6634e-004	c 10:-4.4072e-006					
c11:-2.7890e-006	c12:-5.2049e-008	c13:-1.0060e-010	c14:4.6680e-008					
c20:1.6059e-010	c21:-1.0975e-010	c22:5.7038e-010	c23:-4.6867e-012					
c24:3.5001e-012	c25:2.3136e-013	c26:-3.8790e-012						
FFS3								
c 1:-6.5731e-001	c 5:-6.0265e-003	c 6:8.1242e-004	c 10:-1.5245e-004					
c11:-6.2679e-005	c12:1.8282e-006	c13:2.3303e-006	c14:-7.2543e-007					
c20:3.6365e-009	c21:3.7097e-008	c22:1.2747e-008	c23:2.3783e-010					
c24:-2.5087e-010	c25:-4.6163e-010	c26:4.8817e-010						

【 実施例 5 】

【 0 1 3 5 】

図 5 A には、本発明の実施例 5 である HMD の表示光学系の構成を示す。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 6 】

光学素子1は、屈折率が1より大きい透明媒質上に3つ以上の光学面を有するプリズム体であり、面A，面B，面C及び面Dを有する。光学素子2，3はそれぞれ、屈折率が1より大きい透明媒質上に2つの光学面を有するプリズム体である。4，5はそれぞれ2面を有するレンズであり、これらのレンズ4，5は互いに貼り合わされている。10は画像表示素子(反射型LCD)である。なお、本実施例では、照明光源を示していない。

【 0 1 3 7 】

本実施例では、光学素子1，2，3を形成する全ての面を、図の紙面(yz断面)を唯一の対称面として持つ面对称形状としている。

【 0 1 3 8 】

画像表示素子10から射出した光は、レンズ5，4及び光学素子3，2を透過して光学素子1に面Dから入射する。光学素子1に入射した光は、面Cで反射された後、面Aで反射され、更に面Bで反射され、面Aにおいて光学素子1から射出し、射出瞳S1に向かう。

【 0 1 3 9 】

本実施例の数値例を表5に示す。

【 0 1 4 0 】

表5での長さの単位はmmである。したがって、表5に示す光学系は、画像サイズが約18mm×14mmで、水平画角60°の画像をz軸方向での無限遠方に表示する表示光学系である。

20

【 0 1 4 1 】

本実施例では、光学系によって非常に大きな歪曲収差が発生している。このため、光学系で発生する歪曲収差とは逆方向に電気的に歪み補正処理(逆補正)を行った画像を画像表示素子に出力する。入力画像(図7)を逆補正した出力画像(逆補正画像)を、図5Bに示す。

【 0 1 4 2 】

図5Bのように歪曲した出力画像における8×8の各領域について、前述したローパスフィルタ効果の設定条件に従ってローパスフィルタ効果を計算することで、ローパスフィルタ効果が強い領域、中程度の領域及び弱い領域が求められる。

【 0 1 4 3 】

30

そして、本実施例では、光学系では歪曲収差を補正していないため、歪曲収差以外の諸収差の補正や光学系の小型化に寄与するように光学系を構成することができる。本実施例では、小型でありながらも、光学性能がきわめて良好であり、歪の少ない画像を提示できる表示光学系(つまりは、画像表示装置)を実現している。

【 0 1 4 4 】

さらに、画像表示素子に出力する画像を歪曲させた上で、領域ごとに最適なローパスフィルタ効果が得られる構成とすることで、光学系を通して画像表示素子を観察したときに、歪みが少なく、モアレ縞やエリアジングも少ない良好な画像を観察することができる。

【 0 1 4 5 】

【表5】

SURF	X	Y	Z	A	R	typ	Nd	ν	d
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	SPH	1.0000	0.0	
2	0.000	6.001	22.661	-3.015	-244.6358	FFS1	1.5300	55.8	
3	0.000	-5.783	35.586	-34.841	-63.4009	FFS2	-1.5300	55.8	
4	0.000	6.001	22.661	-3.015	-244.6358	FFS1	1.5300	55.8	
5	0.000	33.742	51.816	16.395	-134.9399	FFS3	-1.5300	55.8	
6	0.000	52.536	20.599	-6.691	59.4225	FFS4	-1.0000		
7	0.000	61.922	14.511	-11.271	62.2478	FFS5	-1.5709	33.8	
8	0.000	60.404	2.242	-14.204	143.5896	FFS6	-1.0000		
9	0.000	64.966	-2.985	-14.247	-37.9321	FFS7	-1.5300	55.8	
10	0.000	72.989	-18.039	-11.670	54.1602	FFS8	-1.0000		
11	0.000	69.302	-20.684	-11.670	-25.7628	SPH	-1.6125	60.7	
12	0.000	72.478	-31.079	-11.670	22.2050	SPH	-1.7552	27.6	
13	0.000	72.838	-32.824	-11.670	183.0353	SPH	-1.0000		
14	0.000	77.668	-56.210	-15.137	0.0000	SPH	-1.0000	0.0	
FFS1	c 1:2.5709e+001	c 5:-2.2951e-003	c 6:-1.2671e-003	c 10:-9.0272e-006					
	c11:-2.6018e-005	c12:2.6016e-007	c13:-1.8366e-007	c14:-1.1967e-007					
	c20:-1.5225e-009	c21:1.5850e-010	c22:3.4085e-009	c23:2.9938e-012					
	c24:-2.2093e-011	c25:-1.6024e-011	c26:8.0489e-012						
FFS2	c 1:-2.7121e-001	c 5:-1.1914e-003	c 6:-5.1007e-004	c 10:3.3657e-006					
	c11:-2.4642e-006	c12:-3.2679e-008	c13:-2.4434e-008	c14:-3.3506e-008					
	c20:6.6519e-010	c21:-4.4056e-010	c22:4.4458e-010	c23:4.3419e-012					
	c24:-3.1794e-012	c25:-5.4346e-013	c26:-3.8402e-012						
FFS3	c 1:6.0381e-001	c 5:-1.0115e-004	c 6:2.0574e-004	c 10:2.3999e-007					
	c11:-7.8454e-006	c12:2.5931e-008	c13:2.0375e-009	c14:1.9470e-009					
	c20:-2.2269e-012	c21:1.5218e-010	c22:-9.4066e-010	c23:-2.6234e-011					
	c24:-3.0703e-012	c25:3.0102e-012	c26:-8.9320e-013						
FFS4	c 1:-2.7539e+000	c 5:7.1799e-004	c 6:-2.6347e-003	c 10:5.5003e-006					
	c11:-1.7782e-006	c12:-1.3269e-007	c13:-5.0486e-007	c14:-2.0578e-007					
	c20:-4.5659e-009	c21:-1.2435e-008	c22:-1.5262e-008	c23:6.1551e-010					
	c24:-1.2093e-010	c25:4.7333e-010	c26:-2.1595e-010						
FFS5	c 1:7.2268e-001	c 5:9.7360e-004	c 6:1.4458e-003	c 10:-8.9127e-005					
	c11:4.1840e-005	c12:-2.3570e-006	c13:-1.1168e-006	c14:6.5803e-007					
	c20:-6.8198e-008	c21:-5.3553e-009	c22:-1.1075e-007	c23:8.3682e-010					
	c24:4.3730e-010	c25:4.8670e-010	c26:3.9744e-010						
FFS6	c 1:-1.1040e+001	c 5:-3.7530e-004	c 6:-5.7247e-004	c 10:3.5336e-006					
	c11:-3.4104e-005	c12:-1.0482e-007	c13:5.3276e-007	c14:-2.8062e-007					
	c20:8.5614e-009	c21:2.1113e-011	c22:-3.9668e-008	c23:-2.9025e-010					
	c24:3.9761e-010	c25:-1.7519e-011	c26:-4.7418e-011						
FFS7	c 1:1.7736e-001	c 5:-2.0250e-003	c 6:1.0966e-004	c 10:4.7470e-005					
	c11:-3.9099e-005	c12:9.8450e-008	c13:2.2094e-007	c14:2.9521e-007					
	c20:2.6216e-008	c21:-2.3300e-009	c22:1.8448e-008	c23:-6.4972e-010					
	c24:2.4594e-010	c25:-5.1593e-010	c26:1.8772e-010						
FFS8	c 1:-2.7775e+000	c 5:-4.0966e-004	c 6:3.3381e-004	c 10:-1.0575e-005					
	c11:-1.2205e-005	c12:2.9793e-007	c13:-1.4652e-006	c14:5.6747e-007					
	c20:6.8063e-008	c21:-1.0022e-008	c22:2.0087e-008	c23:-2.5509e-010					
	c24:1.3135e-010	c25:-1.5838e-010	c26:5.5155e-010						

10

20

30

40

【図面の簡単な説明】

【0146】

【図1A】本発明の実施例1である光学系の構成を示す断面図。

【図1B】実施例1における逆補正画像を示す図。

【図1C】実施例1におけるローパスフィルタ効果の強さを示す図。

【図2A】本発明の実施例2である光学系の構成を示す断面図。

【図2B】実施例2における逆補正画像を示す図。

【図3A】本発明の実施例3である光学系の構成を示す断面図。

【図3B】実施例3における逆補正画像を示す図。

【図4A】本発明の実施例4である光学系の構成を示す断面図。

50

【図4B】実施例4における逆補正画像を示す図。

【図5A】本発明の実施例5である光学系の構成を示す断面図。

【図5B】実施例5における逆補正画像を示す図。

【図6A】本発明の基本概念における入力画像を示す図。

【図6B】図6Aの入力画像に対する逆補正画像を示す図。

【図6C】本発明の基本概念における観察画像を示す図。

【図6D】本発明の基本概念における入力画像の領域分割を示す図。

【図6E】図6Dの入力画像に対する逆補正画像を示す図。

【図6F】本発明の基本概念における入力画像の領域分割を示す図。

【図6G】図6Fの入力画像に対する逆補正画像を示す図。

【図6H】本発明の基本概念における入力画像の領域分割を示す図。

【図6I】本発明の基本概念における逆補正画像の領域分割を示す図。

【図7】本発明の実施例1～5における入力画像の領域分割を示す図。

【図8A】本発明を適用したHMDの例を示す図。

【図8B】本発明を適用したプロジェクタの例を示す図。

【図9A】本発明により得られるローパスフィルタ効果の例を示す図。

【図9B】本発明における光学ローパスフィルタと画像表示素子との関係を示す正面図。

【図9C】本発明における光学ローパスフィルタと画像表示素子との関係を示す側面図。

【符号の説明】

【0147】

1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 光学素子(レンズを含む)

7, 14 偏光板

8 偏心シリンドリカルレンズ

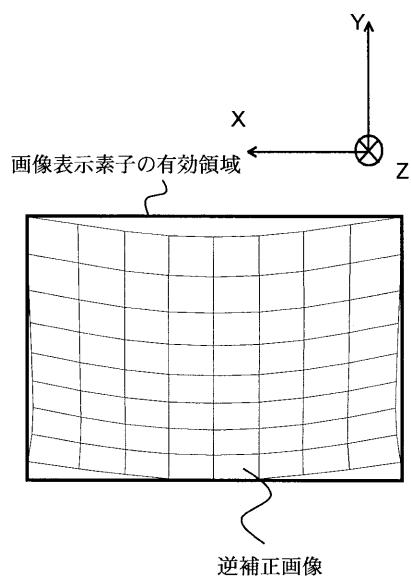
10 画像表示素子

30 光源

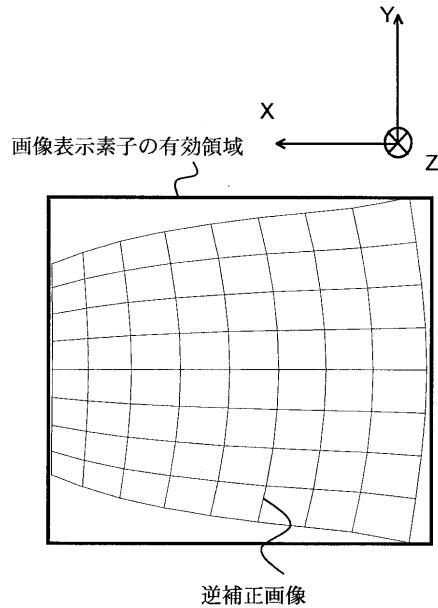
10

20

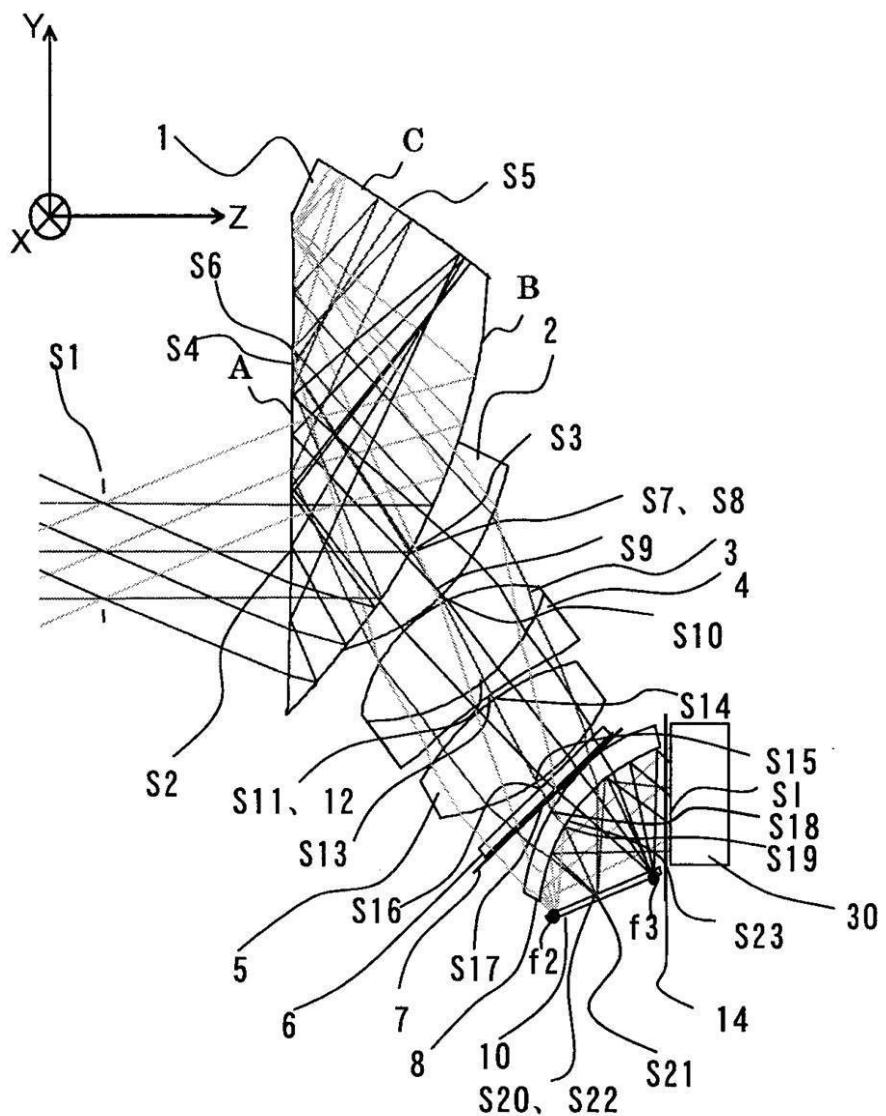
【図1B】



【図4B】

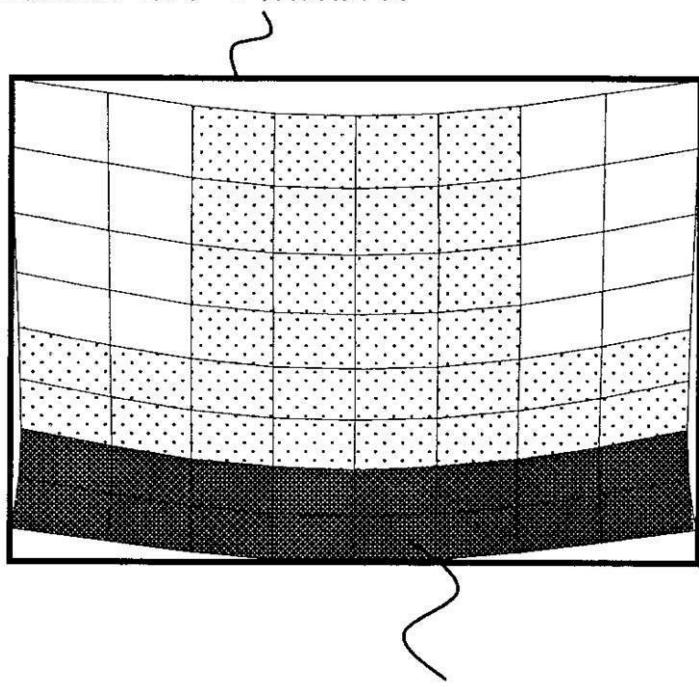


【図1A】

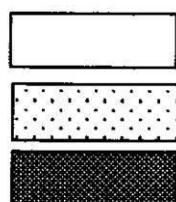


【図1C】

画像表示素子の有効領域



逆補正画像

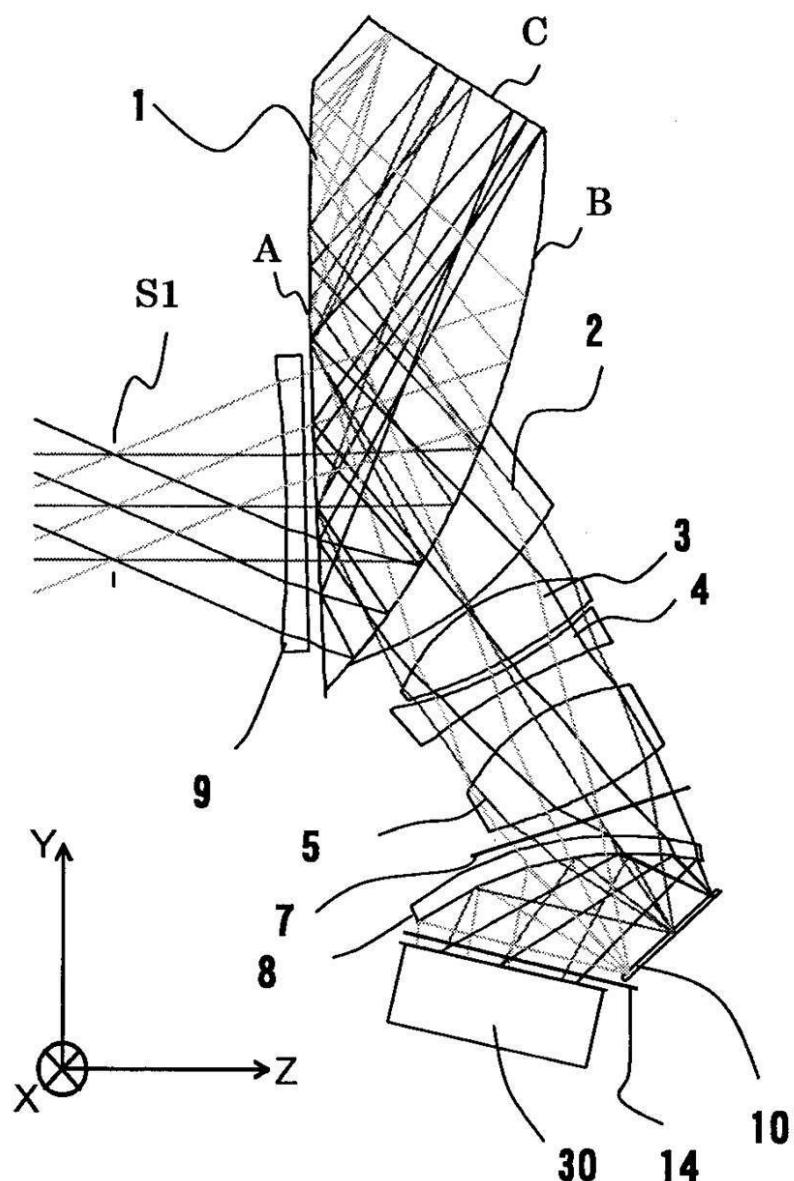


ローパスフィルター効果小

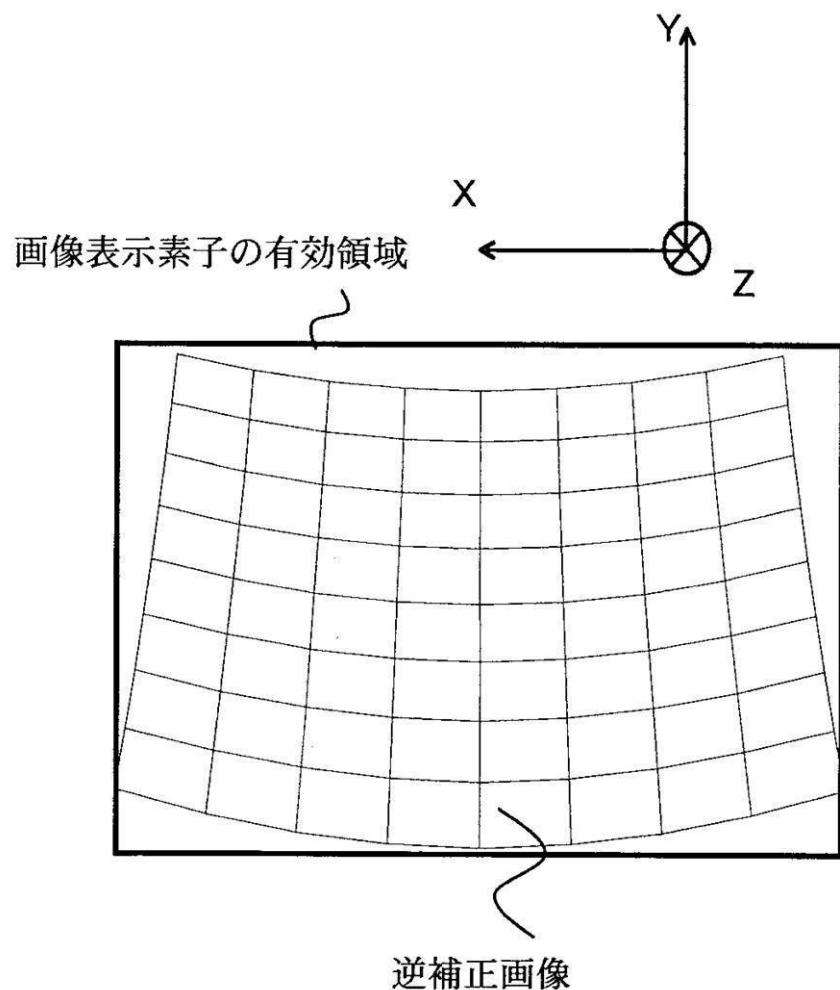
ローパスフィルター効果中

ローパスフィルター効果大

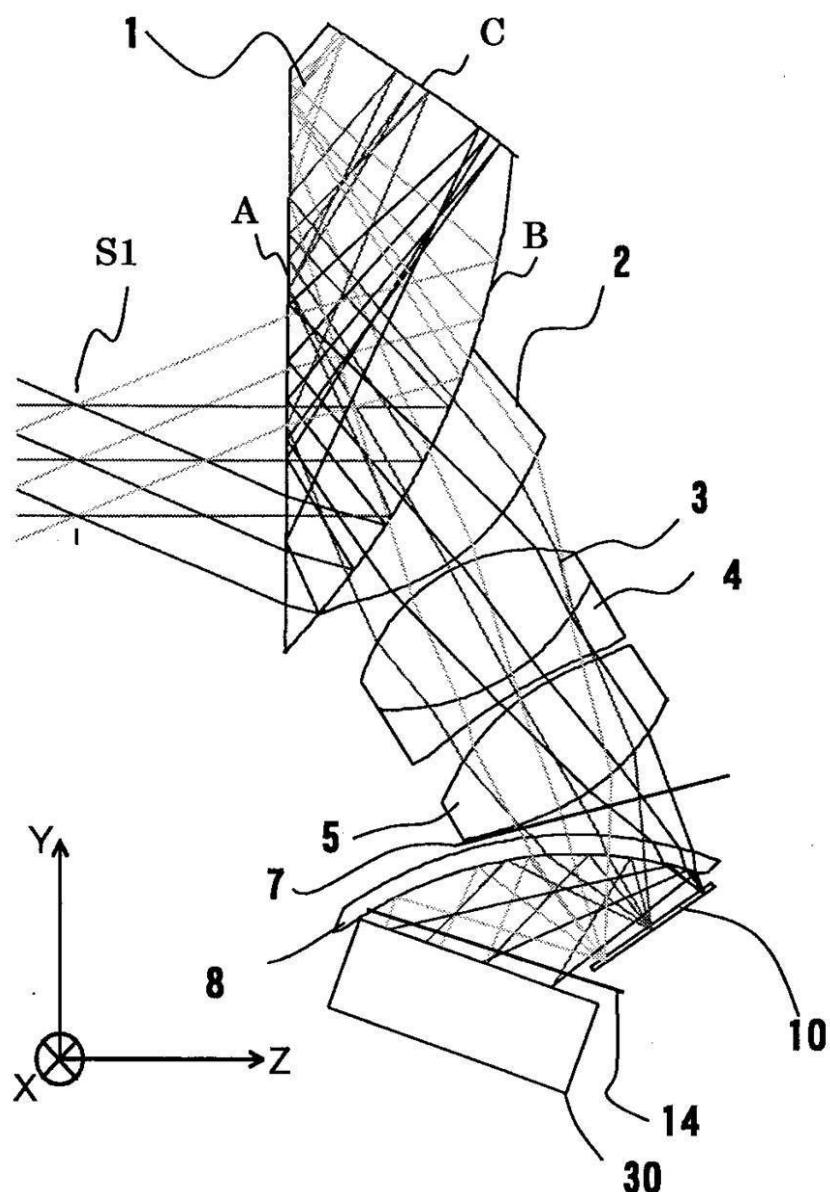
【図2A】



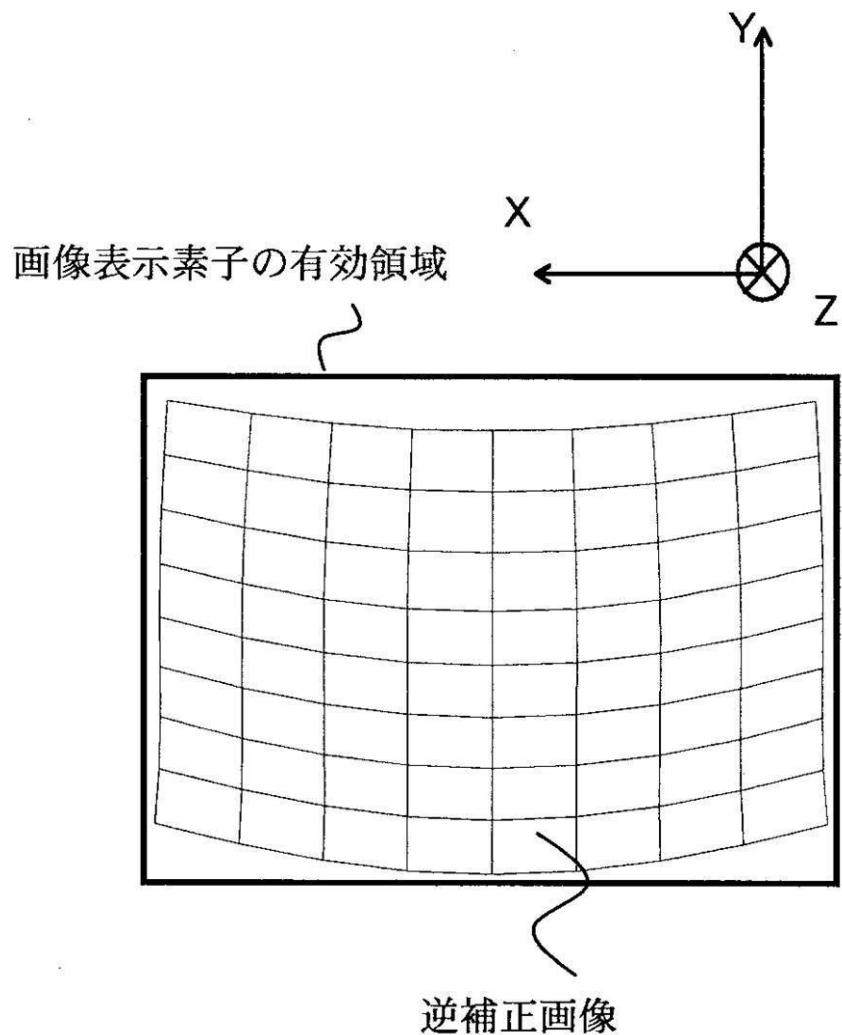
【図 2 B】



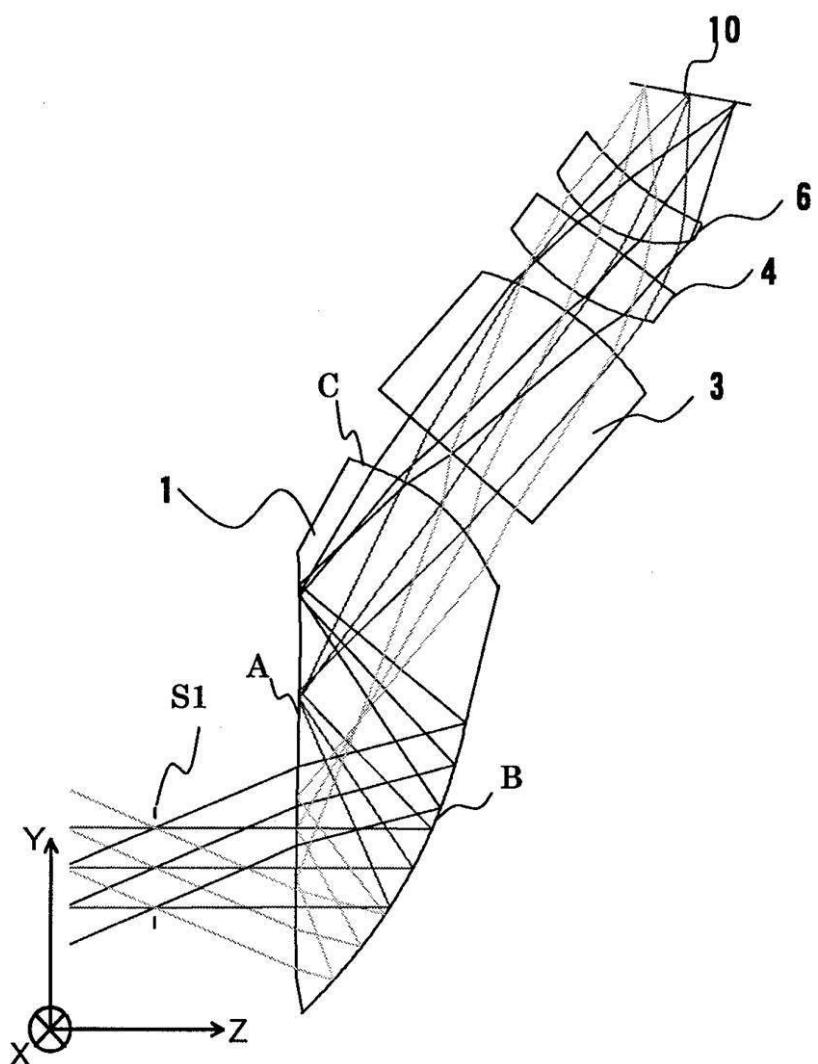
【図3A】



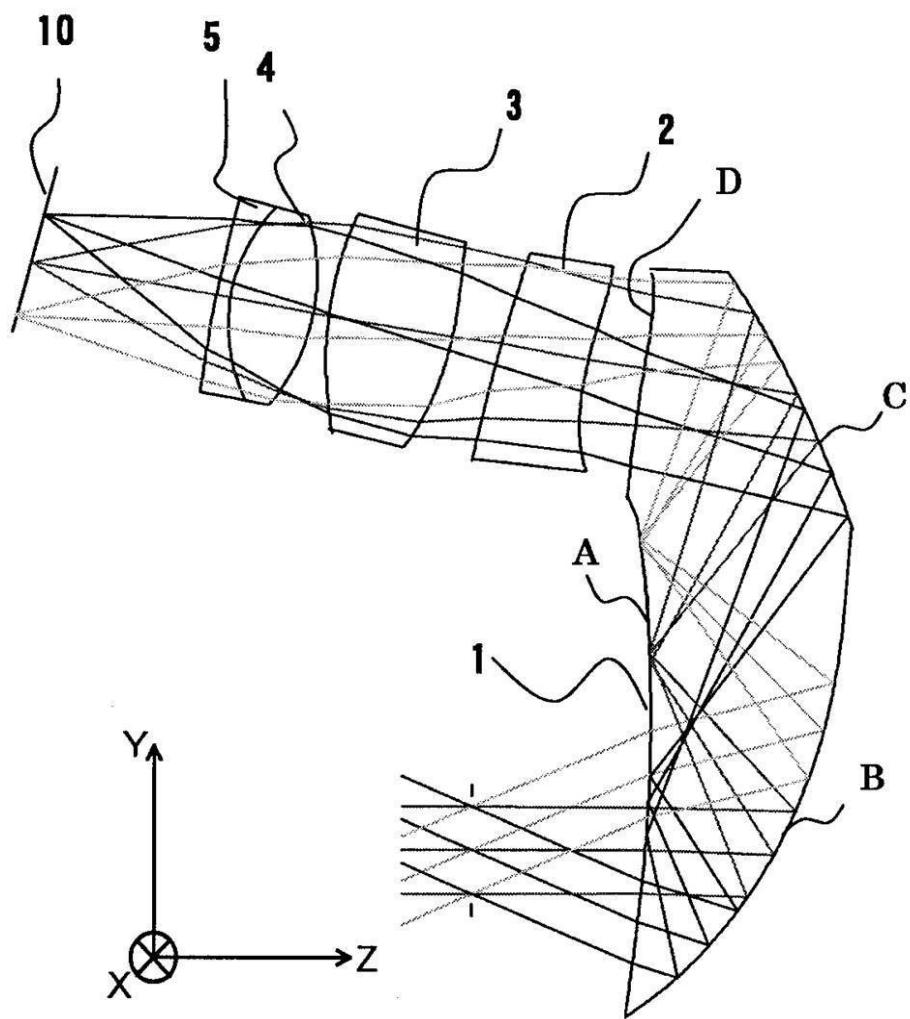
【図 3 B】



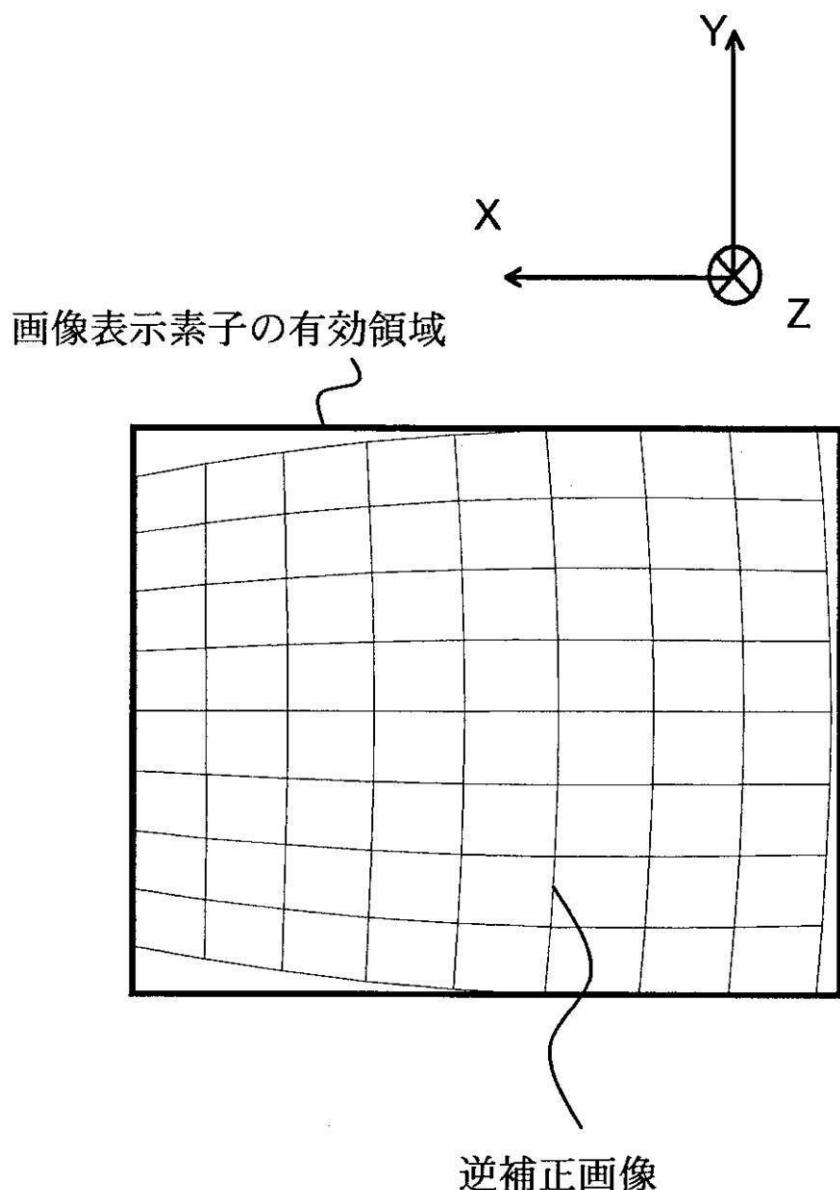
【図4A】



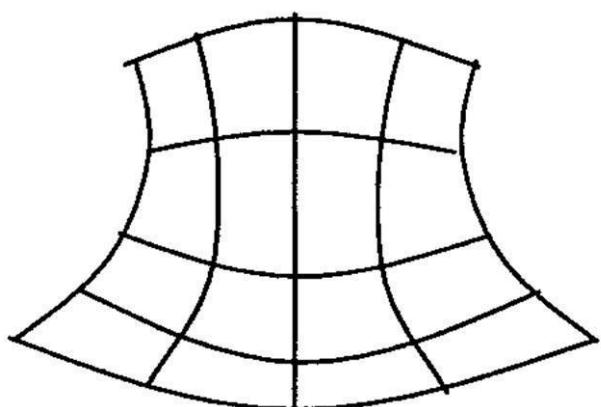
【図 5 A】



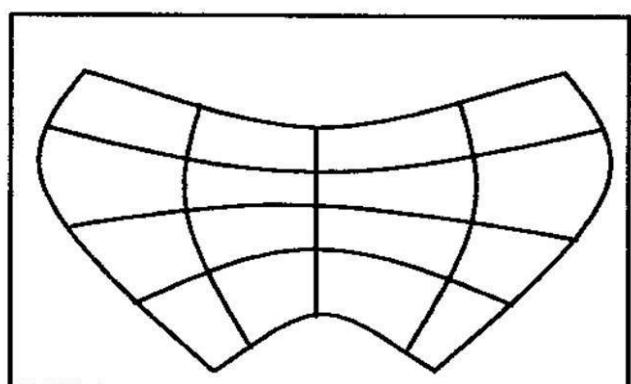
【図 5 B】



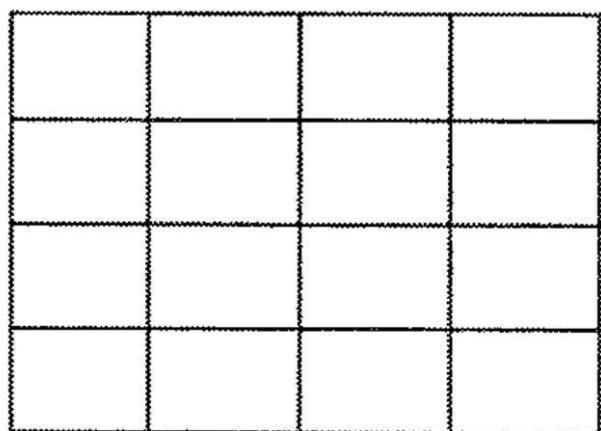
【図 6 A】



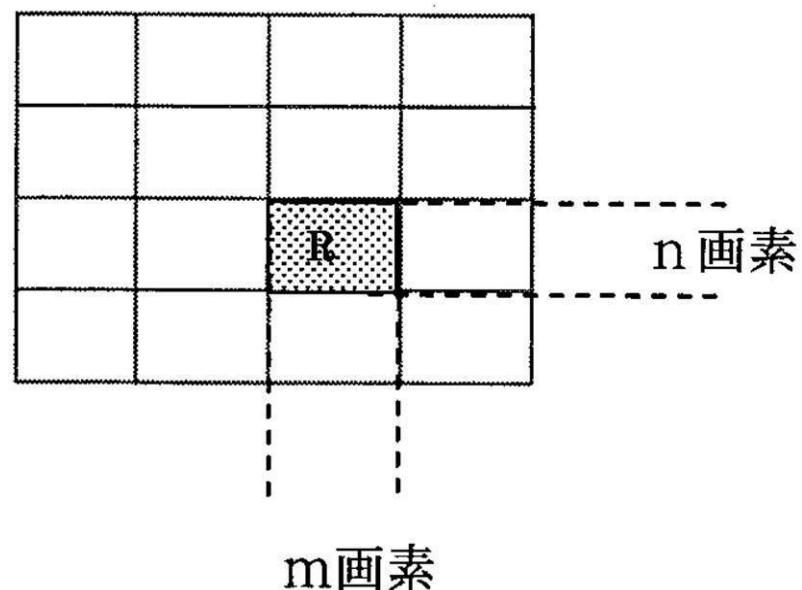
【図 6 B】



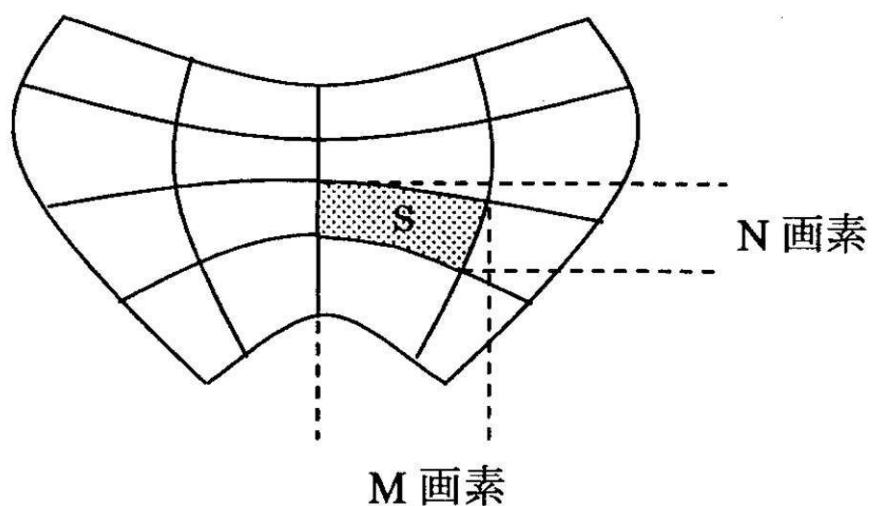
【図 6 C】



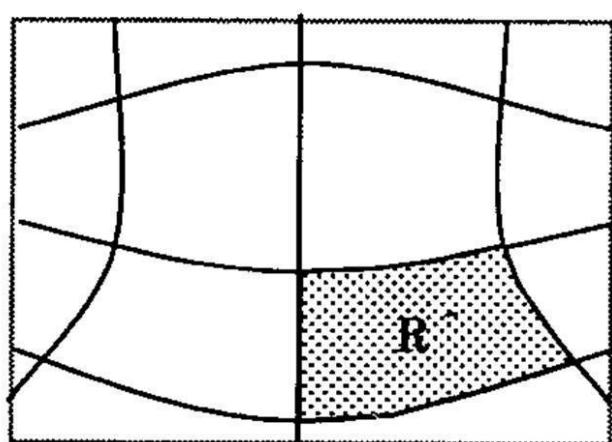
【図 6 D】



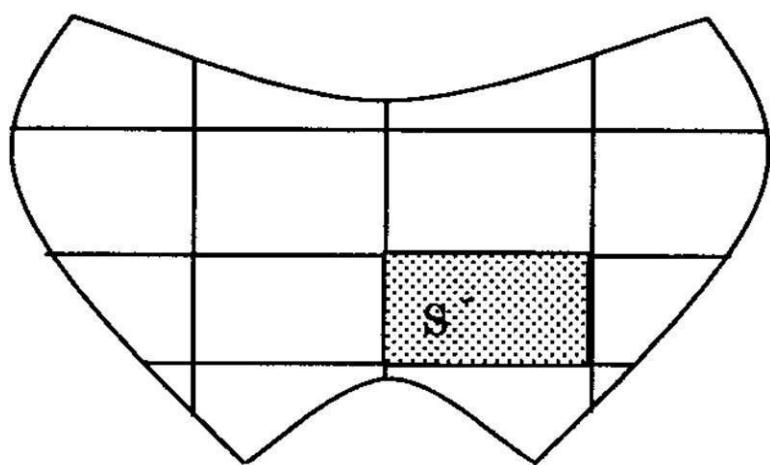
【図 6 E】



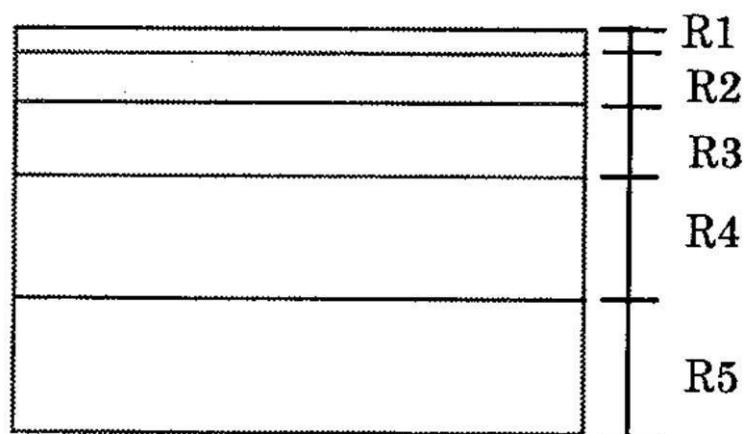
【図 6 F】



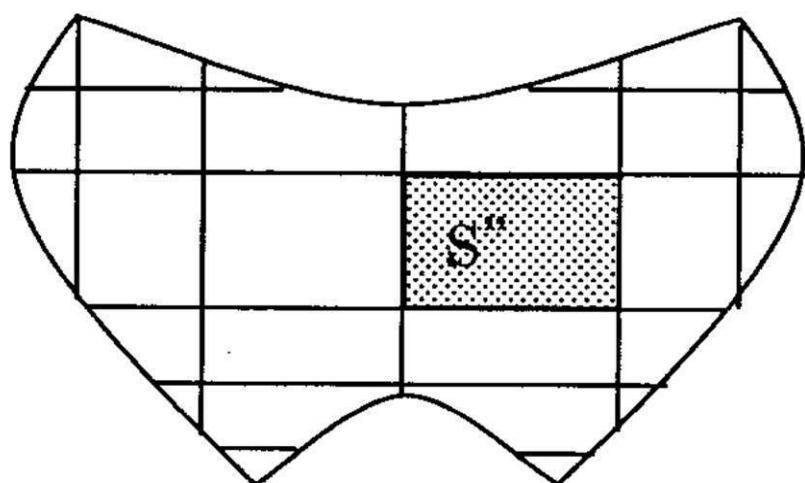
【図 6 G】



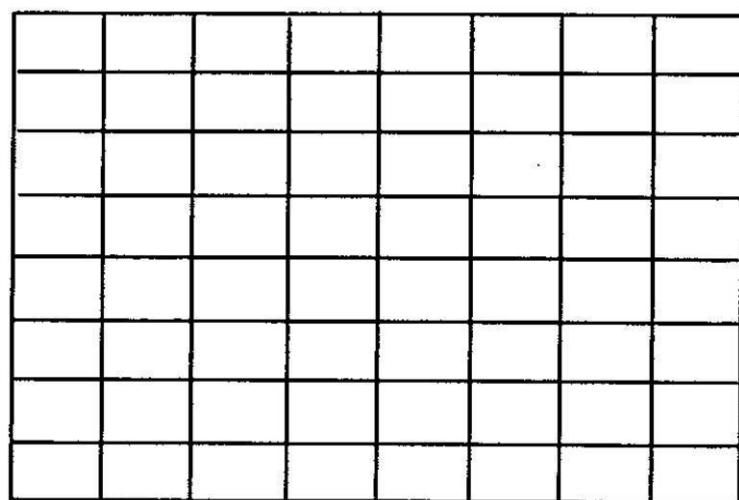
【図 6 H】



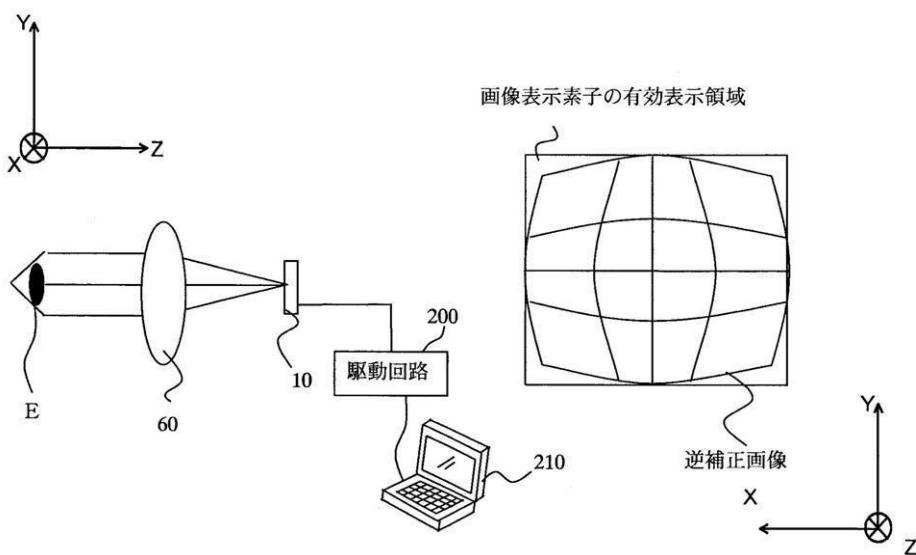
【図6】



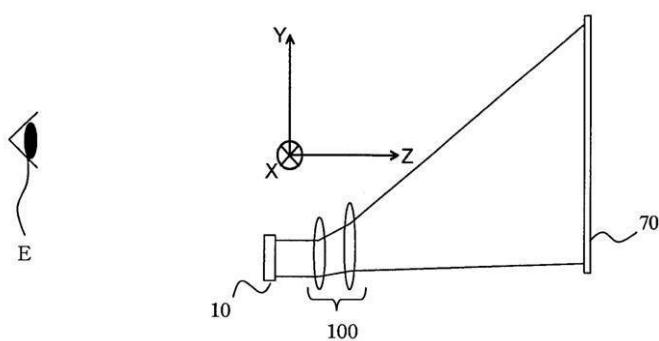
【図7】



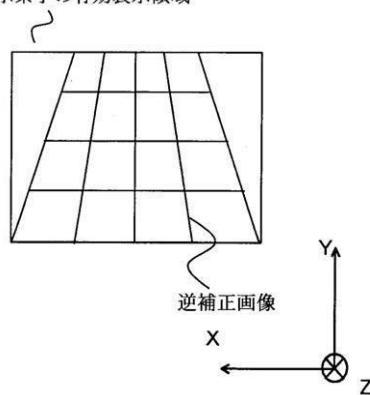
【図 8 A】



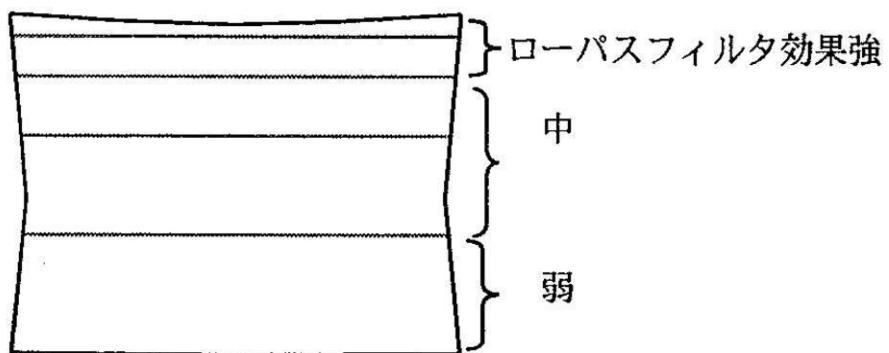
【図 8 B】



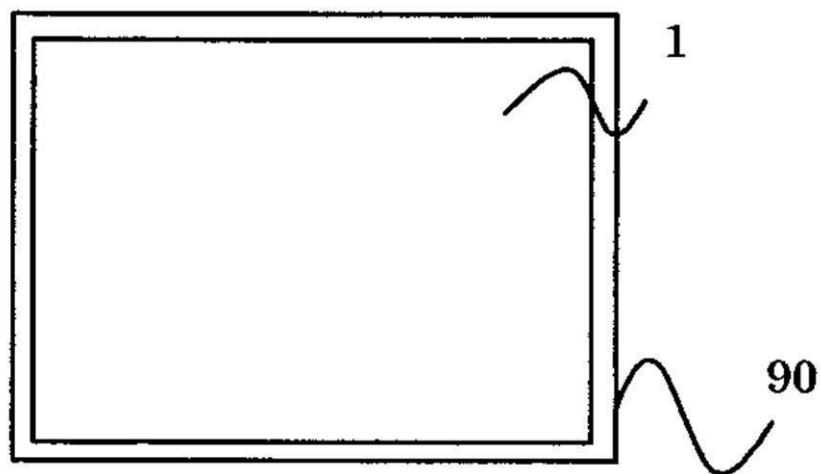
画像表示素子の有効表示領域



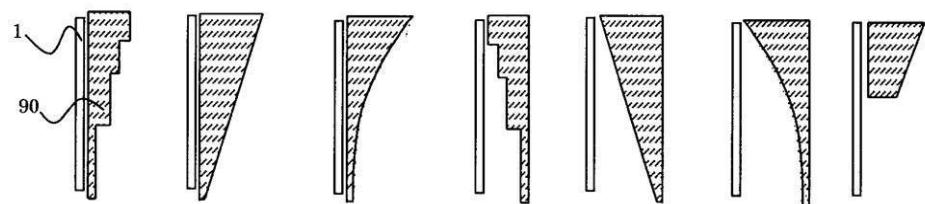
【図 9 A】



【図 9 B】



【図 9 C】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 2 B 27/46 (2006.01) G 0 9 G 5/36 5 2 0 C
H 0 4 N 5/66 D
G 0 2 B 27/46

(56)参考文献 特開平09-061750(JP,A)
特開2002-123829(JP,A)
特開2002-135653(JP,A)
特開平08-029725(JP,A)
特開2002-051279(JP,A)
特開2005-130360(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 9 G 3 / 2 0
G 0 2 B 2 7 / 0 2
G 0 2 B 2 7 / 4 6
G 0 3 B 2 1 / 0 0
G 0 9 G 5 / 3 6
H 0 4 N 5 / 6 6