

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3804916号
(P3804916)

(45) 発行日 平成18年8月2日(2006.8.2)

(24) 登録日 平成18年5月19日(2006.5.19)

| | | | | | |
|---------------|--------------|------------------|------|-------|-----|
| (51) Int. Cl. | | F I | | | |
| G06T | 3/00 | (2006.01) | G06T | 3/00 | 200 |
| G02B | 17/08 | (2006.01) | G02B | 17/08 | Z |
| H04N | 5/225 | (2006.01) | H04N | 5/225 | C |
| | | | H04N | 5/225 | D |

請求項の数 9 (全 17 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2001-34691 (P2001-34691) | (73) 特許権者 | 000005049 シャープ株式会社 |
| (22) 出願日 | 平成13年2月9日(2001.2.9) | | 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 |
| (65) 公開番号 | 特開2002-236918 (P2002-236918A) | (74) 代理人 | 100078282 弁理士 山本 秀策 |
| (43) 公開日 | 平成14年8月23日(2002.8.23) | (72) 発明者 | 若本 節信 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内 |
| 審査請求日 | 平成15年1月31日(2003.1.31) | (72) 発明者 | 熊田 清 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内 |
| | | (72) 発明者 | 繁田 徹 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像システムとその画像データ制御に用いられるプログラムおよびその撮像システムにおける撮像画像の歪み補正方法とその手順を記憶させた記憶媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

2葉双曲面形状のうち一方の双曲面形状を有する反射ミラーと、
該反射ミラーの回転軸上であって、前記2葉双曲面の他方の双曲面形状の焦点位置よりも遠方側において前記反射ミラーに映る虚像の全てが焦点深度の範囲内になるような位置に中心が位置されて、前記反射ミラーに対向して配置されたレンズによって集光された光を受光する撮像素子を有する撮像部と、

所定の検査図を撮像して得られる撮像データを透視変換画像データに座標変換し、得られた透視変換画像に歪みがあった場合に、座標変換時に用いる前記レンズの位置と前記撮像素子の受光面との距離に関するパラメータを増減して、該透視変換画像の歪みが解消されて中心射影像になる前記パラメータを求めて、前記撮像素子による撮像画像を、求められた前記パラメータを満足するように配置された前記撮像素子の撮像画像に変換する変換手段とを有することを特徴とする撮像システム。

【請求項2】

前記変換手段は、下記式(2)および式(3)によって撮像データを透視変換画像データに座標変換する請求項1に記載の撮像システム。

【数 1】

$$x = \frac{F \times (b^2 - c^2) \times X}{(b^2 + c^2) \times (Z - c) - 2 \times b \times c \times \sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad \dots \text{(式 2)}$$

$$y = \frac{F \times (b^2 - c^2) \times Y}{(b^2 + c^2) \times (Z - c) - 2 \times b \times c \times \sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad \dots \text{(式 3)}$$

10

(上記式において、(X, Y, Z)は被写体の位置、a、bおよびcはミラー定数、(x、y)は撮像画像の座標、Fはレンズ位置と受光面との距離を示す)

【請求項 3】

前記検査図として樹目状検査図を用いる請求項 1 に記載の撮像システム。

【請求項 4】

前記変換手段は、前記撮像データを前記透視変換画像データに座標変換処理する画像処理手段と、得られた前記透視変換画像に歪みがあった場合に前記パラメータの増減を指示する操作パネルとを有し、該操作パネルの指示信号によって前記画像処理手段が前記座標変換処理を行う請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の撮像システム。

20

【請求項 5】

前記変換手段は、前記画像処理手段によって得られた前記透視変換画像と前記撮像画像が中心射影画像である場合に得られる期待値画像とを比較して前記透視変換画像に歪みがあるか否かを認識する画像認識手段を有し、該画像認識手段による指示信号によって前記画像処理手段が、前記座標変換処理を行う請求項 4 に記載の撮像システム。

【請求項 6】

前記画像処理手段は、前記座標変換処理動作を制御するCPUと、前記撮像データを記憶する入力バッファメモリと、前記座標変換処理に用いられるLUTと、前記座標変換処理を行なう演算処理回路と、前記透視変換画像データを記憶する出力バッファメモリとを備え、前記CPUと前記入力バッファと、前記LUTと、前記演算処理回路と、前記出力

30

【請求項 7】

請求項 1 に記載の撮像システムによって、前記撮像素子による撮像画像を中心射影像に変換するための補正方法であって、

所定の検査図を撮像し、得られた撮像データを前記画像処理手段に入力する第 1 のステップと、

前記画像処理手段によって、前記撮像データを前記透視変換画像データに座標変換する第 2 のステップと、

前記画像処理手段によって、得られた前記透視変換画像データに歪みがあると判断された場合に、前記レンズ位置と受光面との距離に関するパラメータを変更して、該透視変換画像の歪みが解消されて中心射影像になる前記パラメータを求める第 3 のステップと、

40

前記画像処理手段によって、前記撮像素子による撮像画像を、求められた前記パラメータを満足するように配置された前記撮像素子の撮像画像に変換する第 4 のステップと

を包含する撮像システムにおける撮像画像の歪み補正方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の撮像システムにおける撮像画像の歪み補正方法をコンピュータによって実行させるプログラム。

【請求項 9】

請求項 8 に記載のプログラムが記憶されたコンピュータ読み取り可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

50

【 0 0 0 1 】

【 発明の属する技術分野 】

本発明は、周囲 360° の視野を 1 度に撮影可能で、かつ、得られた画像から空間の幾何学的配置および物体の形状等を正確に把握することができ、店内や銀行等の安全監視のためのセキュリティ分野、車の衝突防止や車内監視等の車載分野、工業用ロボットの視覚部としての計測機器分野等、広い分野に好適に用いることができる、撮像システムとその画像データ制御に用いられるソフトウェアおよびその撮像システムにおける撮像画像の歪み補正方法とその手順を記憶させた記憶媒体に関する。

【 0 0 0 2 】

【 従来技術 】

従来、双曲面ミラーを用いて周囲 360° の視野を撮影可能とした撮像システムにおいて、中心射影像を得るためには、2 葉双曲面のうち一方の双曲面形状を有する反射ミラー（双曲面ミラー）を用い、それと対向する他方の双曲面形状の焦点位置にカメラのレンズ中心を配置していた（例えば特開平 6 - 295333 号公報）。

【 0 0 0 3 】

図 2 に示すように、2 葉双曲面の一方（図では上側）の形状を有する双曲面ミラーを用い、他方（図では下側）の焦点 O2 の位置にレンズ中心を配置して撮影した入力画像（撮像画像）は中心射影撮像となり、この中心射影像と被写体との位置関係は下記式（2）および下記式（3）で示すことができる。

【 0 0 0 4 】

【 数 2 】

$$x = \frac{F \times (b^2 - c^2) \times X}{(b^2 + c^2) \times (Z - c) - 2 \times b \times c \times \sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad \dots \text{(式 2)}$$

$$y = \frac{F \times (b^2 - c^2) \times Y}{(b^2 + c^2) \times (Z - c) - 2 \times b \times c \times \sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad \dots \text{(式 3)}$$

このような双曲面ミラーを用いた撮像システムの利点の一つは、中心射影像を容易に周囲の空間位置に画像変換することができるということである。

【 0 0 0 5 】

【 発明が解決しようとする課題 】

しかしながら、従来の双曲面ミラーを用いた撮像システムにおいては、レンズ位置が中心射影像が得られる一点に限定されてしまうため、レンズを設置する場合に最適な位置に位置合わせすることが非常に困難である。

【 0 0 0 6 】

さらに、このレンズ位置では、双曲面ミラーの内部に形成される虚像（双曲面ミラーに映る被写体）までの最小距離（双曲面ミラー頭頂部とレンズとの間の距離）が短く、双曲面ミラーに映る像を撮影するためにピントを双曲面ミラーの全面に合わせるのは、レンズの性能上、容易ではない。その結果、従来の双曲面ミラーを用いた撮像システムで撮影された中心射影像は、双曲面ミラーの全面にピントを合わせることができず、一部分の範囲のみでピントが合うことになる。この範囲は、例えばドーナツ状に現れる。

【 0 0 0 7 】

本発明は、このような従来技術の課題を解決するべくなされたものであり、レンズ位置が中心射影像が得られる一点に限定されることなく、双曲面ミラーの全面にピントが合った中心射影像が得られる、撮像システムとその画像データ制御に用いられるソフトウェアおよびその撮像システムにおける撮像画像の歪み補正方法とその手順を記憶させた記憶媒体

10

20

30

40

50

を提供することを目的とする。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明の撮像システムは、2葉双曲面のうち一方の形状を有する反射ミラーと、該反射ミラーの回転軸上であって、該反射ミラーと対向する任意の位置に中心が配置されたレンズによって集光された光を受光する撮像素子を有する撮像部とを備えた撮像システムにおいて、所定の検査図を撮像して得られる撮像データを透視変換画像データに座標変換し、得られた透視変換画像に歪みがあった場合に、座標変換時に用いるレンズ位置と受光面との距離に関する値を増減して撮像画像の歪みを補正して中心射影像に変換する手段を有し、そのことにより上記目的が達成される。

10

【 0 0 0 9 】

下記式によって撮像データを透視変換画像データに座標変換することができる。

【 0 0 1 0 】

【数3】

$$x = \frac{F \times (b^2 - c^2) \times X}{(b^2 + c^2) \times (Z - c) - 2 \times b \times c \times \sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad \dots \text{(式2)}$$

20

$$y = \frac{F \times (b^2 - c^2) \times Y}{(b^2 + c^2) \times (Z - c) - 2 \times b \times c \times \sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad \dots \text{(式3)}$$

(上記式において、(X, Y, Z)は被写体の位置、a、bおよびcはミラー定数、(x、y)は撮像画像の座標、Fはレンズ位置と受光面との距離を示す)

前記検査図として柵目状検査図を用いることができる。

【 0 0 1 1 】

前記撮像画像の歪みを補正する手段は、撮像データを透視変換画像データに変換する画像処理手段と、得られた透視変換画像に歪みがあった場合にレンズと受光面との距離に関する値を増減する指示を入力する操作パネルとを有していてもよい。

30

【 0 0 1 2 】

前記撮像画像の歪みを補正手段は、撮像データを透視変換画像データ変換する画像処理手段と、得られた透視変換画像と撮像画像が中心射影像である場合に得られる期待値画像とを比較して透視変換画像に歪みがあるか否かを認識する画像認識手段とを有していてもよい。

【 0 0 1 3 】

前記操作パネルまたは前記画像認識手段からの指示信号によって、前記画像処理手段が座標変換処理を行うものであってもよい、

前記画像処理手段は、演算処理動作を制御するCPU、撮像データを記憶する入力バッファメモリ、演算処理に用いられるLUT、演算処理回路および透視変換画像データを記憶する出力バッファメモリがバスラインに接続されているものであってもよい。

40

【 0 0 1 4 】

本発明のプログラムは、コンピュータと、2葉双曲面のうち一方の形状を有する反射ミラーと、該反射ミラーの回転軸上であって、かつ、該反射ミラーと対向する任意の位置に中心が配置されたレンズにて集光された光を受光する撮像素子を有する撮像部とを備えた撮像システムの画像データ制御に用いられるプログラムであって、該コンピュータを所定の検査図を撮像して得られる撮像データを透視変換画像データに座標変換する座標変換手段と、得られた透視変換画像に歪みがあった場合に、歪みの種類に応じて座標変換時に用いるレンズ位置と受光面との距離に関する値を増減して座標変換する歪み補正手段として

50

機能させ、そのことにより上記目的が達成される。

【0015】

本発明の撮像システムにおける撮像画像の歪み補正方法は、2葉双曲面のうちの一方向の形状を有する反射ミラーと、該反射ミラーの回転軸上であって、該反射ミラーと対向する任意の位置に中心が配置されたレンズによって集光された光を受光する撮像素子を有する撮像部とを備えた撮像システムにおいて、撮像画像の歪みを補正して中心射影像に変換するための方法であって、所定の検査図を撮像し、得られた撮像データを画像処理手段の入力バッファメモリに記憶させる第1のステップと、操作パネルまたは画像認識手段からの指示信号に基づいて、CPUからの命令により該入力バッファメモリに記憶された撮像データを演算処理回路により透視変換画像データに座標変換し、得られた透視変換画像データを画像処理手段の出力バッファメモリに記憶させる第2のステップと、該操作パネルまたは該画像認識手段からの信号に基づいて、CPUからの命令により該出力バッファメモリに記憶された透視変換画像データを、モニターに出力して検査者が画像を確認するか、または画像認識手段により撮像画像が中心射影像である場合に得られる期待値画像データと比較する第3のステップを行い、該第3のステップにおいて所定の検査図を撮像して得られる透視変換画像に歪みがあると判断された場合に、検査者が該操作パネルからレンズと受光面との距離に関する値を増減する指示を入力するか、または該画像認識手段からレンズと受光面との距離に関する値を増減する指示信号を出力することによりレンズ位置と受光面の距離に関する値を変更して、該第1のステップから該第3のステップを繰り返し、そのことにより上記目的が達成される。

10

20

【0016】

本発明の撮像システムは、本発明の撮像システムにおける撮像画像の歪み補正方法により、所定の検査図を撮像して得られる透視変換画像に歪みが無いと判断された場合のレンズ位置と受光面の距離に関する値を用いて撮像データを透視変換画像データに変換し、そのことにより上記目的が達成される。

【0017】

本発明の記憶媒体は、本発明の撮像システムにおける撮像画像の歪み補正方法の手順を記憶させてあり、そのことにより上記目的が達成される。

【0018】

以下に、本発明の作用について説明する。

30

【0019】

双曲面ミラーを用いた撮像システムにおいて、中心射影を満足するレンズ位置（他方の焦点位置）では、双曲面ミラーに映る被写体までの最小距離が短く、双曲面ミラーに映る像の全景を撮影するためには、レンズの性能上、全面にピントを合わせることは困難である。全面にピントを合わせるためには、広角度の特殊加工した結像レンズを用いることが考えられるが、レンズだけでは合わせきれず、絞りを極限まで絞って合わせているのが現実である。しかし、絞りを絞りすぎると、得られる入力画像の輝度は暗く、撮影する条件が限定されて実用に乏しい。

【0020】

そこで、本発明にあっては、カメラ（撮像部）のレンズ位置を、双曲面ミラーの他方の焦点位置からずらして双曲面ミラーから遠ざけることにより、双曲面ミラーに映る虚像の全てをレンズの焦点深度の範囲内に入れて、双曲面ミラーの全面にピントが合うよにすることが可能となる。さらに、レンズ位置が双曲面ミラーの他方の焦点位置からずれて、幾何光学上の中心射影を満足する条件の位置からずれても、撮像画像（入力画像）の歪みを補正し、中心射影に変換することが可能である。

40

【0021】

さらに、レンズが幾何学的中心射影を満足するレンズ位置にある場合でも、レンズの歪曲収差により見かけ上の中心射影を満足する位置がずれる場合がある。このような場合に、従来では中心射影を満足させるためにレンズ位置を機械的に調整していたため、調整が面倒で時間がかかっていた。

50

【 0 0 2 2 】

これに対して、本発明にあつては、はじめに所定のレンズ位置に合わせる。そして、楯目状検査図等、所定の検査図を撮像し、撮像データを透視変換画像データに座標変換して、得られた透視変換画像に歪みがあった場合に、座標変換時に用いるレンズ位置と受光面との距離に関する値（ F ）を増減させる。従つて、画像処理を行う際に、ソフトウェアにより簡単に中心射影条件を満足させて、光学調整の工程を短縮化することが可能である。さらに、中心射影像の調整精度も向上させることが可能である。

【 0 0 2 3 】

上記撮像画像の歪みを補正する手段として、撮像データを透視変換画像データに変換する画像処理手段と、得られた透視変換画像に歪みがあった場合に補正すべき歪み量を入力する操作パネルを有するものを用いることにより、例えば予め操作パネルのキーに対応して F 値の一定の増減量を設定しておき、後述する実施形態において図 9 に示すように、ステップ 4 において樽型歪み（歪みが + 方向）であるか否かを判断し、樽型歪み（歪みが + 方向）であればステップ 6 において F 値の減少キーを操作する。その制御信号が画像処理手段に伝えられてステップ 2 に戻り、変更された F 値を元に上記式（2）および上記式（3）により再度演算処理が行われ、透視変換画像が再表示される。そして、ステップ 8 において再度歪みの有無を確認し、歪みがあれば再びステップ 4 に戻るという操作を繰り返す。一方、ステップ 4 において樽型歪みではない（糸巻き歪み（歪みが - 方向））と判断された場合には、ステップ 5 において F 値の増加キーを操作する。その制御信号が画像処理手段に伝えられてステップ 2 に戻り、変更された F 値を元に上記式（2）および上記式（3）により再度演算処理が行われ、透視変換画像が再表示される。そして、ステップ 8 において再度歪みの有無を確認し、歪みがあれば再びステップ 4 に戻るという操作を繰り返す。以上の操作を画像に歪みが無くなるまで繰り返し、歪みが無くなればその操作を終了する。ここで、操作パネルから F 値を増減する指示をキー入力するのではなく、歪み量から推定される F 値の変更値を直接操作パネルから入力することも可能である。

【 0 0 2 4 】

または、上記撮像画像の歪みを補正する手段として、撮像データを透視変換画像データ変換する画像処理手段と、得られた透視変換画像と撮像画像が中心射影像である場合に得られる期待値画像とを比較して、透視変換画像に歪みがあるか否かを認識する画像認識手段とを有するものを用いることにより、上記 F 値の補正ステップにおいて、人が判断していた歪みの有無および歪みの向き（樽型歪みであるか否か）の判定を、画像認識手段により自動判定することも可能である。

【 0 0 2 5 】

上記操作パネルまたは上記画像認識手段を上記画像処理手段に直接接続し、操作パネルまたは画像認識手段からの指示信号によって画像処理手段に座標変換処理を行わせることにより、自動的に F 値を補正することも可能である。すなわち、画像認識手段により歪みの有無および歪み量を判定し、対応する補正值信号を自動的に画像処理手段に送って補正值に基づいて再度演算処理を行わせ、その補正值に対応する画像を表示し、その画像について再度画像認識手段により歪みの有無および歪み量を判定するという操作を自動的に繰り返して歪みが一定値以下になるまで繰り返すことができる。

【 0 0 2 6 】

上記画像処理手段として、演算処理動作を制御する CPU、撮像データを記憶する入力バッファメモリ、演算処理に用いられる LUT、演算処理回路および透視変換画像データを記憶する出力バッファメモリがバスラインに接続されているものを用いることにより、上記画像処理の速度を、ソフトウェアによって処理する場合に比べて大幅に改善することが可能であり、画質を落とさずに（VBA レベルで）動画対応が可能となる。

【 0 0 2 7 】

本発明のプログラムは、コンピュータを所定の検査図を撮像して得られる撮像データを透視変換画像データに座標変換する座標変換手段と、得られた透視変換画像に歪みがあった場合に、歪みの種類に応じて座標変換時に用いるレンズ位置と受光面との距離に関する値

10

20

30

40

50

を増減して座標変換する歪み補正手段として機能させることができ、補正処理を自動化することが可能である。

【0028】

本発明の撮像システムにおいて、撮像画像の歪みを補正する際には、柵目状検査図等の所定の検査図を撮像して撮像データを画像処理手段の入力バッファメモリに記憶させ、操作パネルまたは画像認識手段からの操作信号に基づいてCPUからの命令により撮像データを演算処理回路で座標変換して透視変換画像データを得る。この透視変換画像データを画像処理手段の出力バッファメモリに記憶させ、操作パネルまたは画像認識手段からの操作信号に基づいてCPUからの命令により透視変換画像データをモニターに出力する。このモニターに出力された柵目状検査図の画像を操作者が確認して、歪みが確認された場合には、操作パネルに入力するレンズ位置と受光面の距離に関する値（F値）を増減し、以上の手順を繰り返す。これにより、撮像画像の歪みを補正して中心射影像に変換することが可能となる。

10

【0029】

このような撮像画像の歪み補正の手順を記憶させた記憶媒体を用いることにより、補正処理を自動化することが可能である。

【0030】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0031】

図1は本発明の一実施形態である撮像システムの基本構成とその幾何学的位置関係を説明するための図である。この撮像システムは、双曲面ミラー 1、撮像部 2（結像レンズ 3 と受光素子 4）、画像処理手段 5 およびTVモニター 6 を備えている。

20

【0032】

双曲面ミラー 1 は、2葉双曲面の一方の形状を有する反射ミラーである。2葉双曲面関数の一般式は、下記式（1）のように表される。

【0033】

【数4】

$$(X^2+Y^2)/a^2-Z^2/b^2=-1 \quad \dots (式1)$$

30

この式をグラフ化した2葉双曲面を図2に示す。この2葉双曲面は回転軸がZ軸であり、Z軸上の正方向と負方向に焦点と称される特殊な点O1、O2を有する。これらの焦点O1、O2の位置は、各々X、Y、Zの座標系でO1=(0、0、c)、O2=(0、0、-c)で表される。なお、 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ であり、aおよびbは双曲面の形状を定義する定数である。以下では、a、b、cをミラー定数と称する。

【0034】

ここで、双曲面の外側にある任意の点P(X、Y、Z)と焦点O1を結ぶ線分PO1と、上記式（1）を満たす双曲面との交点をM1とすると、M1における上記双曲面の接平面H1に対する線分PO1の入射角（ θ ）と同じ反射角度（ θ ）で出て行く線分M1O2は、常に他方の焦点O2を通過する。

40

【0035】

図3に、レンズ位置が中心射影条件を満足する撮像システムの幾何学的位置関係を示す。この場合に最も重要なことは、双曲面ミラーの焦点O1と対になる他方の焦点O2の位置に結像レンズの中心を配置するということである。このとき、上記レンズ中心からFの距離に受光面を設置している受光素子により得られる入力画像（撮像画像）は中心射影像と称され、入力画像の座標p(x、y)と被写体の位置P(X、Y、Z)との関係は下記式（2）および下記式（3）で示される。

50

【 0 0 3 6 】

【 数 5 】

$$x = \frac{F \times (b^2 - c^2) \times X}{(b^2 + c^2) \times (Z - c) - 2 \times b \times c \times \sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad \dots \text{(式 2)}$$

$$y = \frac{F \times (b^2 - c^2) \times Y}{(b^2 + c^2) \times (Z - c) - 2 \times b \times c \times \sqrt{X^2 + Y^2 + (Z - c)^2}} \quad \dots \text{(式 3)}$$

10

なお、上記式(2)および上記式(3)は、図2および図3に示す位置関係から、下記式(4)～(6)を用いて求められる。

【 0 0 3 7 】

【 数 6 】

$$Z = R \tan \alpha + c \quad \text{但し } R = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad \dots \text{(式 4)}$$

20

$$\tan \alpha = \frac{(b^2 + c^2) \sin \beta - 2bc}{(b^2 - c^2) \cos \beta} \quad \dots \text{(式 5)}$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{F}{r} \quad \text{但し } r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \dots \text{(式 6)}$$

ここで、中心射影条件を満足する入力画像とは、上記式(4)～(6)を同時に満足する画像である。この条件を満足する入力画像からは、上記式(4)～(6)を用いることにより、焦点O1から見た透視画像への変換を容易に行うことができる。この変換を透視変換と称する。この変換により得られる像(透視画像)は、我々が普通に見ている像であり、3次元空間が2次元空間に射影される。なお、Fはレンズ中心から受光素子の撮像面までの垂直距離であり、 α はミラーの焦点を含む水平面からの角度、 β は撮像機構中心からミラー上の入射点を見たときの天頂角である。また、上記入力画像は、双曲面ミラーに映された虚像をレンズで撮像したものである。

30

【 0 0 3 8 】

図4は、レンズ位置が中心射影条件を満足する撮像システムの幾何学的位置関係を示す断面図である。また、図5は、レンズ位置が中心射影条件を満足しない撮像システムの幾何学的位置関係を示す断面図である。図4と図5の相違点は、図5では結像レンズが本来中心射影を満足する位置O2からずれてO3の位置にあることである。このずれは、双曲面ミラー側にずれていても、その反対側にずれていてもよい。以下の説明では、レンズが中心射影を満足するときのレンズ中心位置から双曲面ミラーと反対側に距離Lだけずれた場合について考える。なお、ここではレンズが中心射影を満足するときのレンズ中心位置からずれただけであり、空間にある被写体の位置P(X, Y, Z)は変わらないものとする。

40

【 0 0 3 9 】

次に、上記図4および図5において、双曲面ミラーに映る像がどのように受光面に映るかについて簡単に説明するために、図6を参照しながら説明する。図6では双曲面ミラーに映る虚像を物体Aと置き換え、レンズ位置O2(A)、O3(A)、レンズの焦点距離f

50

、各レンズ位置から物体 A までの距離を $S_2 S_3$ とする。

【 0 0 4 0 】

レンズが点 O 2 の位置にある場合には、物体 A の頂点 H の像は点 H₂ に生じる。一方、レンズが点 O 3 の位置にある場合には、物体 A の頂点 H からの光線は点 O 2 を通過し、さらに直進してレンズが設けられている点 L に到達してレンズで屈折され、点 H₃ に到達して結像される。この結像点 H₃ は下記式 (7) により簡単に求められる。

【 0 0 4 1 】

【 数 7 】

$$1/S + 1/M = 1/f \quad \cdots \text{(式7)}$$

10

なお、S はレンズ位置と物体 A までの距離、F はレンズ位置と結像面までの距離、f はレンズの焦点距離である。また、そのときの倍率 m を下記式 (8) に示す。

【 0 0 4 2 】

【 数 8 】

$$m = f / (S - f) \quad \cdots \text{(式8)}$$

20

従って、レンズ位置 O 2 (A) の条件での像の倍率 m₂ は $f / (S_2 - f)$ 、レンズ位置 O 3 (A) の条件での像の倍率 m₃ は $f / (S_3 - f)$ となる。ここで、物体 A の高さを H とすれば、各レンズ位置で撮像された像の高さ h₂、h₃ は m₂ × H、m₃ × H となる。この像の高さ h₂、h₃ は光学軸からの距離、すなわち、Z 軸からの距離であるので、上記式 (6) 中の $(x^2 + y^2)$ (半径) と表せる。

【 0 0 4 3 】

各レンズ位置 O 2 (A)、O 3 (A) に設置された状態で撮影された像の関係は、F の値が異なるだけであるので、上記式 (2) および上記式 (3) から、 $h_2 / h_3 = (S_2 + L - f) / (S_2 - f)$ となる。このことは、レンズ位置 O 3 (A) が中心射影条件を満足する位置から距離 L だけ離れた位置であるとき、得られる入力画像 (撮像画像) は中心射影条件を満足する入力画像と定数倍異なるだけであるということを示す。

30

【 0 0 4 4 】

このように、レンズ位置が中心射影条件を満足する位置にない場合には、入力画像の $(x^2 + y^2)$ の位置座標は中心射影条件を満足する場合の定数倍だけ異なるだけである。よって、上記式 (6) に示すように、中心射影条件を満足しないレンズ位置から結像面までの距離 F を、中心射影条件を満足するレンズ位置から結像面までの距離 F₀ を用いて表すことにより、ソフトウェアによって入力画像 (撮像画像) を中心射影条件を満足する中心射影像に変換する手段を実現することができる。すなわち、従来技術においては、F 値はレンズの光学系から一定に定められたもの (上記 F₀) を用いていたが、本発明では F 値を光学系の変化に従って任意に選び出すことができる。例えば、倍率変数 を導入して F を $\times F$ と置き換え、 を可変として調節することができる。または、 $F = F_0 + F$ として F を画素 (ピクセル単位) 等で適切なステップずつ変化させることにより調節することができる。

40

【 0 0 4 5 】

最適な F 値を設定する方法の一例としては、図 7 に示すような正方形の柵目を描いた検査図を用いる方法がある。図 7 (a) は柵目状検査図を真上から見た図であり、図 7 (b) はそれを斜め上から見た図である。図 8 に、この柵目状検査図の透視画像図を示す。図 8 (a) は F 値 < 最適値の場合 (例えばレンズ位置が中心射影を満足するレンズ位置から 0 . 4 mm ~ 0 . 7 mm 程度、双曲面ミラー側にずれている場合) の検査図の映像 (糸巻き歪み) を示し、図 8 (b) は F 値 = 最適値の場合の検査図の映像を示し、図 8 (c) は F

50

値 > 最適値の場合（例えばレンズ位置が中心射影を満足するレンズ位置から 0.4 mm ~ 0.7 mm 程度、受光素子側にずれている場合）の検査図の映像（樽型歪み）を示す。F 値設定前の撮像システムでその検査図を撮影して、その像を透視変換し、透視画像が正しく正方形の柵目を描くように、すなわち図 8 (b) の映像が得られるように F 値を調整して定める。

【0046】

図 9 に F 値変更のフローを示す。上述したような正方形の柵目を描いた検査図を作成し、F 値設定前の撮像システムでその検査図を撮影する。ステップ 1 ではそのときのレンズ主点から結像面までの距離 F を入力する。これは、操作者が操作パネルから入力することも可能であり、ソフトウェア（プログラム）によって予め設定されているものが演算処理回路に入力されるようにしてもよい。そして、ステップ 2 においてその透視変換画像を表示し、ステップ 3 において画像に歪みがあるか否か、すなわち、正しく正方形の柵目が表示されているか否かを判断する。画像に歪みがあった場合には、ステップ 4 においてその歪みが樽型歪みであるか糸巻き歪みであるかを判断し、糸巻き歪みである場合にはステップ 5 において F 値を増加させ、樽型歪みである場合にはステップ 6 において F 値を減少させる。これを繰り返して、最も正しく正方形の柵目が表示されるように F 値を定める。なお、ここでは検査図として柵目状のものをを用いたが、これはかのか状模様（色の濃淡部を千鳥状に配置したもの）等を用いてもよい。その外にも、水平や垂直の直線が分かるものであれば、いずれも用いることができる。

【0047】

図 10 に F 値変更の詳細フローを示す。まず、ステップ 11 ではミラー定数、レンズ主点 - 結像面間距離、透視変換画像の中心座標、入力画像の幅と高さ、三角関数テーブル（LUT に含まれる。F 値が変わると再計算されるので、初期化が必要）、透視変換画像の幅と高さ等の変数を初期化する。これらの変数の初期化は、ソフトウェア（プログラム）により自動的に行うことができる。本実施形態では、ミラー定数 $a = 9.5$ 、 $b = 6.2$ 、 $c = 11.34$ 、レンズ主点 - 結像面間距離 $F = 360.0$ （CCD の画素数に換算した値）、画像中心座標 $cX = 320$ 、 $cY = 240$ 、入力画像の幅 $w = 640$ 、入力画像の高さ $h = 480$ 、透視変換画像の幅 $pw = 200$ 、透視変換画像の高さ $ph = 150$ （CCD の画素数に換算した値）とし、また、三角関数テーブルを作成する。

【0048】

次に、ステップ 12 において $r [\quad]$ の値を格納する変換テーブル（LUT に含まれる）を初期化する。

【0049】

次に、ステップ 13 において $r [\quad]$ の変換テーブルを作成する。本実施形態では、 $\theta = 0 \sim 3600$ 個（ $0^\circ \sim 360^\circ$ を 0.1° 区切り）としてミラー定数と θ を用いて上記式 (5) から $r [\quad]$ を計算し、上記式 (6) から $r [\quad] = F \times \tan(\theta / 2 - \alpha)$ により $r [\quad]$ を計算する。

【0050】

次に、ステップ 14 においてパン角、チルト角（ θ ）およびミラー焦点から透視変換画像までの距離 d 等の変数を入力する。本実施形態では、パン角 $\text{Pan} = 0^\circ$ 、チルト角 $\text{Tilt} = -90^\circ$ 、ミラー焦点から透視変換画像までの距離 $d = 100$ とする。

【0051】

次に、ステップ 15 において透視変換画像を作成する。まず、パン角 Pan 、チルト角 Tilt 、ミラー焦点から透視変換画像までの距離 d を用いて、透視変換画像の座標（ $x1$, $y1$ ）に対する三次元空間座標（ tx , ty , tz ）を計算する。この計算は、 $d = \sqrt{tx^2 + ty^2 + (tz - c)^2}$ 、 $\tan \theta = (tz - c) / \sqrt{tx^2 + ty^2}$ 、 $\sin \theta = tz / d$ 、 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ により行うことができる。ここで、図 14 に示すように、CCD の画像面のサイズが $W \times H$ で中心座標が（ cX , cY ）となり、3次元空間に仮想する透視変換画面のサイズが $ph \times pw$ である。ここでは透視変換画面として $\text{Tilt} = 90^\circ$ 、すなわち z 軸に直交する平面を仮想している。そして、この仮想画面

上の各画素に対応するCCD画面上の座標を上記式(2)および(3)を用いて計算する。この仮想画面において座標軸z軸周りの回転角がPan角となり、仮想画面のx、y座標軸がCCD受光面のx、y座標軸と一致しているときにPan = 0となる。また、ミラ一定数と計算されたtx、ty、tzを用いて(図3に示すZ軸周りの回転角)とを計算する。は上記式(5)および(6)により計算することが可能であり、は $\tan^{-1}(y/x)$ により求めることができる。さらに、変換テーブルから $r = r[\quad]$ を求め、 $x = cX + r \times \cos(\quad)$ 、 $y = cY - r \times \sin(\quad)$ から(x1, y1)の値を計算する。

【0052】

次に、ステップ17において画像に歪みがあるか否かを判断し、画像に歪みがない場合には処理を終了する。また、画像に歪みがあった場合には、ステップ17においてその歪みが樽型歪みであるか糸巻き歪みであるかを判断する。糸巻き歪みである場合にはステップ18においてF値を増加させ、樽型歪みである場合にはステップ19においてF値を減少させる。本実施形態では、F値の調整ステップ($F = F_0 + F$ のF)を、画素(ピクセル)単位で10ステップ、実際の距離換算で40 μm ~70 μm ステップずつとした。これを以上のステップ13からステップ18またはステップ19を繰り返して、最も正しく正方形の柵目が表示されるようにF値を定める。

【0053】

このようなF値の調整処理は、例えば図11に示すような画像処理手段とこれに接続された操作パネルを用いて行うことができる。撮像システムで撮影された検査図の画像データは、画像処理手段の入力バッファメモリ8に取り込まれた後、操作パネルからの操作信号に基づいてCPU9からの命令により、演算ロジック回路11でLUT10のデータを元に座標変換が行われる。このLUT10は、上記 $r[\quad]$ の変換テーブルを格納したものであり、例えば図12に示すようなデータ構成とされている。これにより得られた透視変換画像は出力バッファメモリ12に入力され、さらに、CPU9からの命令によりモニターに出力される。操作者(検査者)は、モニター画像の歪みの有無を確認し、歪みがある場合にはその歪みが図8(c)に示した樽型歪みであるか、図8(a)に示した糸巻き歪みであるかを判定して、歪みの種類に応じてF値を増減する操作を操作パネルを用いて行う。

【0054】

例えば、糸巻き歪みの場合には、F値を増加させる操作を行うと、その操作信号が操作パネルからCPU9に送られ、CPU9からさらにバスラインを介して演算ロジック回路11に送られて、F値を増加させた後に座標変換が行われる。そして、F値を増加させた透視変換画像が出力バッファメモリ12に入力され、さらにCPU9からの命令によりモニターに出力されて、操作者(検査者)がモニター画像の歪みの減少を確認する。この操作を歪みが最小になるまで繰り返す。

【0055】

このような調整処理を、例えば製品の出荷検査時に行うことにより、レンズの配置位置がずれても、F値を最適化して中心射影像を得ることが可能となり、光学調整を容易化して製造歩留まりを向上させることができる。この場合、撮像システムは最適化されたF値により撮像データを透視画像データに座標変換にすることができ、操作パネルは設けなくてもよい。または、操作パネルを設けて、ユーザーがレンズの距離を用途に合わせて変化させた場合でも、歪みの無い中心射影像を得ることができるようにしてもよい。

【0056】

なお、上記説明では、画像の歪みを検査者がモニター画像を観察して確認したが、予め記憶手段に記憶させておいた期待値画像データと、演算処理により得られた画像データとを、画像認識手段により比較して画像の歪みを検出し、F値増減の操作信号をCPUに出力させるようにしてもよい。

【0057】

ところで、図13(a)に示すように、レンズ中心をO2(A)からO3(A)に移動さ

10

20

30

40

50

せると、CCD等の受光部に写る像は縮小するので、CCD等の受光素子の画素を有効に利用できず、解像度が低下する。そこで、結像レンズの前部または後部に拡大レンズを挿入し、この拡大レンズを前後に調節することにより、図13(b)に示すように、像の大きさを最適化することが可能である。さらに、ピントが合う範囲を広げるために、レンズの前部または後部に絞りを挿入することにより、レンズの焦点深度を深くできることは言うまでもない。

【0058】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明によれば、双曲面ミラーに映る像までの距離を長くすることができるので、特殊加工のレンズを必要とせず、通常レンズの使用が可能となる。また、その距離が長くなることにより、絞りを絞り込む必要がなくなり、撮影条件の制約を非常に少なくして調整を容易にすることができる。

10

【0059】

さらに、本発明によれば、はじめに所定のレンズ位置に合わせ、次に画像処理のF値を変更することにより、簡単に中心射影の条件を満足させることができ、光学調整の工程を短縮化させることができる。さらに、中心射影像の調整精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態である撮像システムの基本構成とその幾何学的位置関係を説明するための図である。

【図2】2葉双曲面関数とその特性を説明するための図である。

20

【図3】レンズ位置が中心射影条件を満足する撮像システムの幾何学的位置関係を説明するための図である。

【図4】レンズ位置が中心射影条件を満足する撮像システムの幾何学的位置関係を説明するための断面図である。

【図5】レンズ位置が中心射影条件を満足しない撮像システムの幾何学的位置関係を説明するための断面図である。

【図6】レンズ1個を使用したときの結像とその倍率を説明するための概略図である。

【図7】(a)および(b)は柵目状検査図の一例を示す図である。

【図8】(a)~(c)はF値と画像歪みの関係を説明するための図である。

【図9】F値変更のフローを説明するための図である。

30

【図10】F値変更の詳細フローを説明するための図である。

【図11】本発明における画像処理手段の構成を示すブロック図である。

【図12】本発明におけるr[]ドット LUTの一例を示す図である。

【図13】(a)および(b)はレンズを組み合わせた一例を説明するための図である。

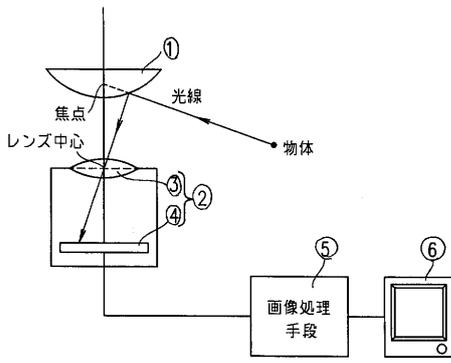
【図14】CCDの画像面と透視変換画面について説明するための図である。

【符号の説明】

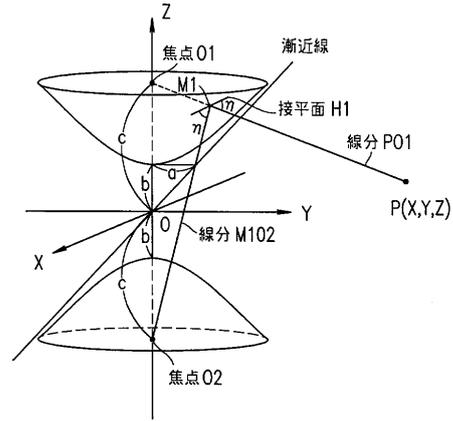
- 1 双曲面ミラー
- 2 撮像部
- 3 結像レンズ
- 4 受光素子
- 5 画像処理手段
- 6 TVモニター
- 8 入力バッファメモリ
- 9 CPU
- 10 LUT
- 11 演算処理回路(演算ロジック回路)
- 12 出力バッファメモリ
- 13 バスライン

40

【 図 1 】

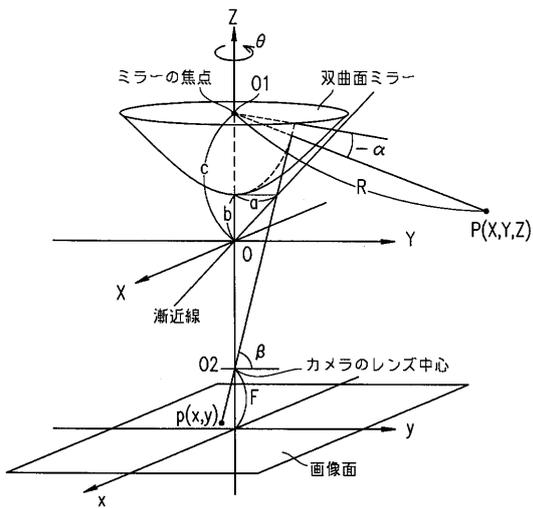


【 図 2 】

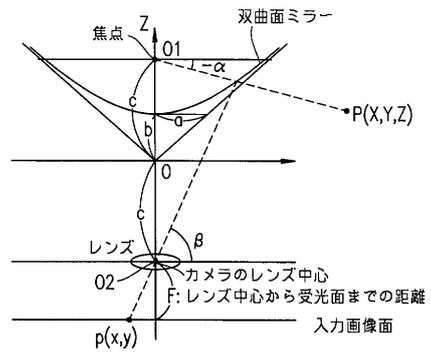


焦点O1=(0,0,c)
 焦点O2=(0,0,-c)
 $(c=\sqrt{a^2+b^2})$

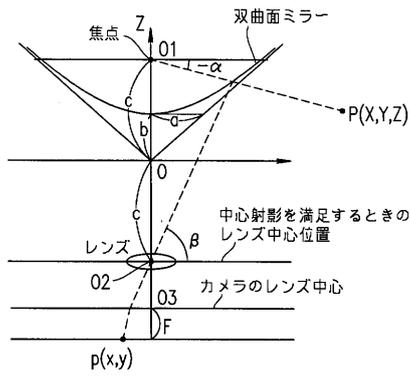
【 図 3 】



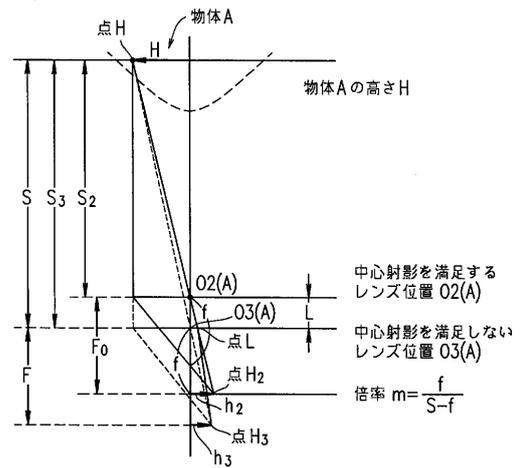
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

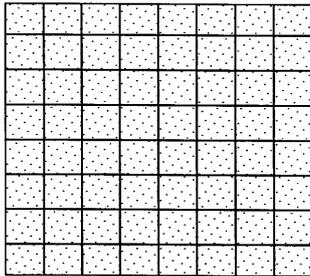


$$h_2 = \frac{f}{S_2 - f} \times H \quad h_3 = \frac{f}{S_3 - f} \times H$$

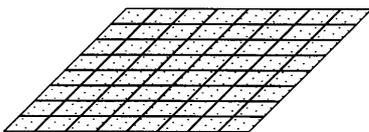
$$\frac{h_2}{h_3} = \frac{S_3 - f}{S_2 - f} = \frac{S_2 + L - f}{S_2 - f}$$

【 図 7 】

(a) 真上から見た図

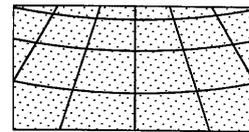


(b) 斜め上から見た図

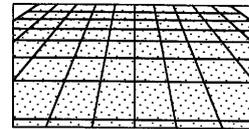


【 図 8 】

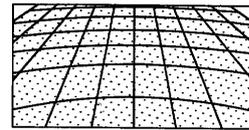
(a) F値 << 最適値 (糸巻き歪み)



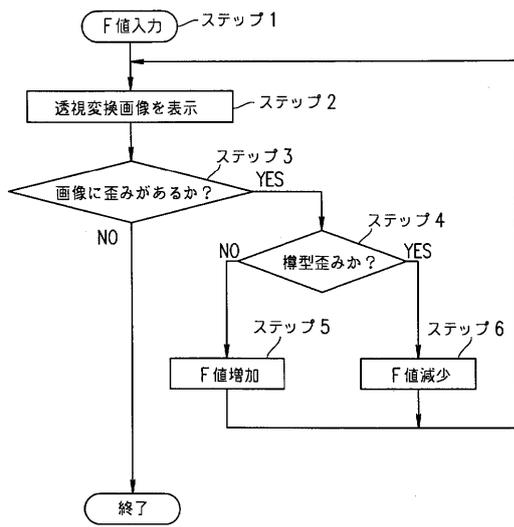
(b) F値最適時



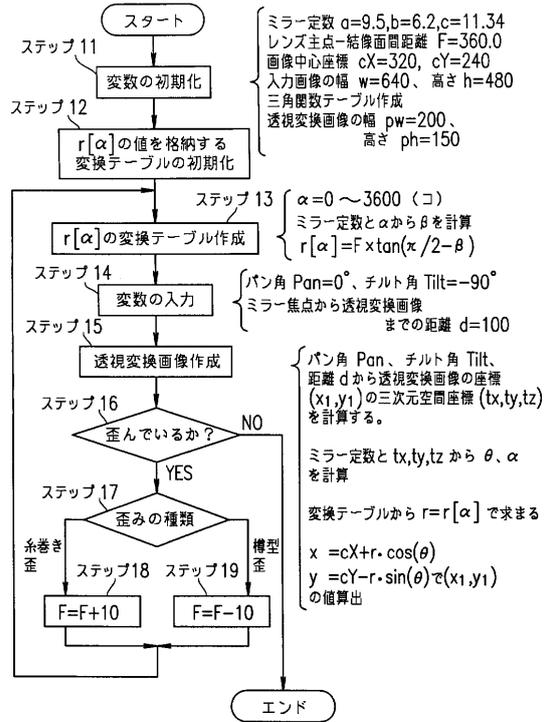
(c) F値 >> 最適値 (樽型歪み)



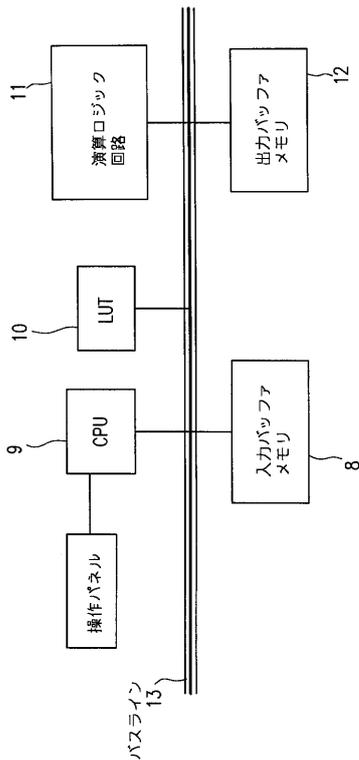
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



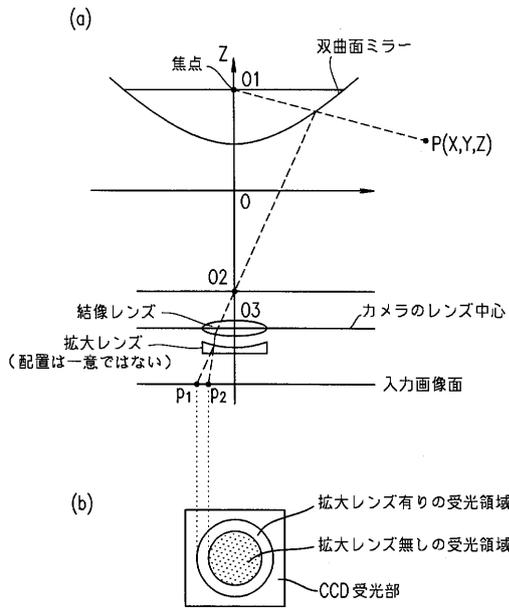
【 図 12 】

$r[\alpha]$ ドット LUT例 ($\alpha = -30.0^\circ \sim -49.9^\circ$)

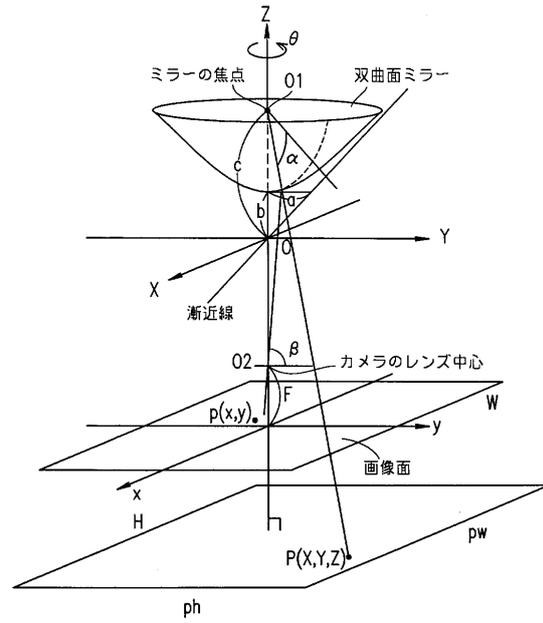
| | -30 | -31 | -32 | -33 | -34 | -35 | -36 | -37 | -38 | -39 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 56 | 58 | 60 | 62 | 65 | 67 | 69 | 71 | 73 | 75 |
| 0.1 | 57 | 59 | 61 | 63 | 65 | 67 | 69 | 71 | 73 | 75 |
| 0.2 | 57 | 59 | 61 | 63 | 65 | 67 | 69 | 71 | 73 | 75 |
| 0.3 | 57 | 59 | 61 | 63 | 65 | 67 | 69 | 71 | 74 | 76 |
| 0.4 | 57 | 59 | 61 | 63 | 65 | 67 | 70 | 72 | 74 | 76 |
| 0.5 | 57 | 59 | 61 | 63 | 66 | 68 | 70 | 72 | 74 | 76 |
| 0.6 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 | 72 | 74 | 76 |
| 0.7 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 | 72 | 74 | 77 |
| 0.8 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 70 | 72 | 75 | 77 |
| 0.9 | 58 | 60 | 62 | 64 | 66 | 68 | 71 | 73 | 75 | 77 |

| | -40 | -41 | -42 | -43 | -44 | -45 | -46 | -47 | -48 | -49 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 77 | 79 | 82 | 84 | 86 | 88 | 90 | 93 | 95 | 97 |
| 0.1 | 77 | 80 | 82 | 84 | 86 | 88 | 91 | 93 | 95 | 98 |
| 0.2 | 78 | 80 | 82 | 84 | 86 | 89 | 91 | 93 | 96 | 98 |
| 0.3 | 78 | 80 | 82 | 84 | 87 | 89 | 91 | 93 | 96 | 98 |
| 0.4 | 78 | 80 | 82 | 85 | 87 | 89 | 91 | 94 | 96 | 98 |
| 0.5 | 78 | 80 | 83 | 85 | 87 | 89 | 92 | 94 | 96 | 99 |
| 0.6 | 78 | 81 | 83 | 85 | 87 | 90 | 92 | 94 | 96 | 99 |
| 0.7 | 79 | 81 | 83 | 85 | 88 | 90 | 92 | 94 | 97 | 99 |
| 0.8 | 79 | 81 | 83 | 86 | 88 | 90 | 92 | 95 | 97 | 99 |
| 0.9 | 79 | 81 | 84 | 86 | 88 | 90 | 93 | 95 | 97 | 100 |

【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 川上 健一
大阪府大阪市阿倍野区长池町2番2号 シャープ株式会社内
- (72)発明者 中野 孝一
大阪府大阪市阿倍野区长池町2番2号 シャープ株式会社内

審査官 真木 健彦

- (56)参考文献 特開平06-295333(JP,A)
特開平11-331654(JP,A)
特開平09-016755(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06T 3/00
G06T 1/00 280-340