

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5334835号
(P5334835)

(45) 発行日 平成25年11月6日(2013.11.6)

(24) 登録日 平成25年8月9日(2013.8.9)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 B 11/25 (2006.01) GO 1 B 11/25 H

請求項の数 9 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2009-503444 (P2009-503444)	(73) 特許権者	506284968
(86) (22) 出願日	平成19年3月8日(2007.3.8)		イスラ サーフィス ヴィズィオン ゲ
(65) 公表番号	特表2009-532685 (P2009-532685A)		ーエムペーハー
(43) 公表日	平成21年9月10日(2009.9.10)		ドイツ連邦共和国、ヘルテン 45699
(86) 国際出願番号	PCT/EP2007/001999		、アルベルト・アインシュタイン・アレー
(87) 国際公開番号	W02007/115621		36-40
(87) 国際公開日	平成19年10月18日(2007.10.18)	(74) 代理人	100077665
審査請求日	平成21年2月10日(2009.2.10)		弁理士 千葉 剛宏
(31) 優先権主張番号	102006015792.3	(74) 代理人	100116676
(32) 優先日	平成18年4月5日(2006.4.5)		弁理士 宮寺 利幸
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)	(74) 代理人	100142066
			弁理士 鹿島 直樹
		(74) 代理人	100126468
			弁理士 田久保 泰夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射面の形状測定方法及びシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

反射面(14)の形状を、前記反射面(14)で反射される少なくとも1つのパターン(15)と前記反射面(14)で反射された前記パターン(15)を画素ごとに視認するための少なくとも1つのカメラ(1)とを有するシステムで測定する方法であって、

前記カメラ(1)と前記パターン(15)との位置及び向き、並びにカメラ(1)の画素(8)ごとの視認方向が既知であり、

画素(8)に対して既知である前記カメラ(1)の視認方向と、前記カメラ(1)の前記画素(8)上への反射された前記パターン(15)の画像に対応する前記パターン(15)の位置とから、前記反射面(14)の表面角度と前記反射面(14)の表面高さとは、前記形状を測定するために決定され、

前記反射面(14)の表面点の前記表面高さを正確に決定するため、線状の物体(18)が、前記パターン(15)の前方に、前記物体(18)の少なくとも1つの点(19)で、所定のパターン点(11)をカバーするように配置され、

前記パターン点(11)を画像化する前記画素(8)の既知の視認方向と、前記パターン点(11)とから平面が決定され、

前記物体(18)の空間内の位置がわかっており、前記物体(18)と前記平面との交点から前記点(19)が決定され、

前記パターン点(11)を画像化する前記画素(8)の既知の視認方向と、前記パターン点(11)及び前記点(19)を通る直線との交点から、前記表面点が決まる

10

20

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

請求項 1 記載の方法であって、前記カメラ (1) によって記録される前記パターン (1 5) を分析するため、位相評価法、時間エンコード法 (time - coded method) 及び / 又は周波数エンコード法 (frequency - coded method) が用いられることを特徴とする方法。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の方法であって、前記反射面 (1 4) の基点に対して前記表面高さを定めた後、これに基づき、前記基点近傍の表面点での前記表面高さが評価され、表面角度が決定されることを特徴とする方法。

10

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法であって、複数の基点が、測定対象となる前記反射面 (1 4) にわたってグリッド状に配置されることを特徴とする方法。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の方法であって、粗いパターン (1 5) から始めて、前記パターン (1 5) を逐次に精細化することを特徴とする方法。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の方法であって、様々なパターンが画像化されることを特徴とする方法。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の方法であって、透明対象物に対して、前記測定が行われることを特徴とする方法。

20

【請求項 8】

請求項 7 記載の方法を用いて、様々な反射面の多重反射が分離可能である前記反射面の上面及び / 又は前記反射面の領域が測定され、該測定結果に基づいて、前記反射面の形状を近似的に決定する第 1 工程と、

前記既知のパターンが多重反射において自身をどのように表示するかが計算され、それにより前記多重反射が評価される第 2 工程と

を備えることを特徴とする方法。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の方法であって、前記パターン (1 5) の形状は解像度によって決まることを特徴とする方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、反射面において反射する少なくとも 1 つのパターンと、この反射面を画素ごと視認する少なくとも 1 つのカメラとが設けられた反射面の形状測定方法及びシステムであって、カメラ及びパターンの位置と向きとが既知であるものに関する。さらに、特にカメラとパターンとの位置と向きとを決定するために用いられる上述のシステムの較正方法が開示される。形状測定と較正とは共通の方法の範囲内でも実行可能である。

40

【背景技術】

【0002】

既知の形状及び位置を有するあるパターンを反射面に映し、この映した像をカメラにより視認し評価する方法は、反射面の形状測定において公知である。例えば、ドイツ特許公開公報第 1 9 7 5 7 1 0 6 A 1 号には、反射球面ないし非球面の反射面領域の形状を自動的に測定する装置が開示されている。この目的のため、照射される拡散散乱パターンが、測定対象となる表面領域に対向配置され、反射面領域を介して生成されるパターンの像が電子カメラにより記録される。このパターンは、カメラの画像センサー上に略直線かつ等距離の帯 (s t r i p s) の像が生成されるように選択され、離散フーリエ変換により特に高精度に評価可能となる。任意の空間方向において表面測定可能とするため、画像セン

50

サー上に生成される帯システムは互いに直交配置される帯を有する必要がある。

【0003】

ドイツ特許公開公報第10345586A1号から、表面の構造を決定するための方法及び装置が公知であり、ここでは画像生成手段により平面パターンが生成され、表面で反射される。反射パターンは画像記録手段により撮像され、その後、制御手段により評価される。対象物表面を簡易、安価かつ迅速に領域評価するため、表面構造を有する複数の表面パターンが画像生成手段によって画素ごとに連続的に生成される。ここでは、2つのパターンの構造は、異なる寸法を有し、この2つのパターンの個々の画素がそれぞれ決められた位置を有する。この方法によれば、帯パターンの微細な帯は記録できないため、比較的幅広い帯が帯パターンとして用いられ、正弦状(sinus-shaped)の輝度挙動を示すこととなる。これらのパターンはTFTモニター上に生成される。

10

【0004】

ドイツ特許公開公報第10127304A1号は対象物の反射面の三次元の輪郭を決定するための方法及び装置を開示している。ここでは、対象物表面に既知のグリッドを反射させ、撮像システムによって受光手段に撮像され、生成される画像が評価される。この目的のため、反射面から少なくとも2つの異なる距離の既知のグリッドを用いることが提案される。この場合、空間においてグリッドと受光手段との互いの相対位置がわかっている必要がある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0005】

これら全てのアプローチにおいて、測定システムの位置及び向きは予め適切な較正方法により決定され、したがって既知であることが前提とされる。これは、小さな測定対象面においては実現可能である。しかしながら、より大きな領域を、現在の製造方法において要求される十分な精度及び速度をもって測定しようとする、通常、好ましくはパターン内に配置される複数のカメラが必要とされる。大きな表面を測定するためには、反射面で反射するパターンは十分なサイズを有する必要がある。このパターンは、また変更可能とされなくてはならないため、パターンは画像形式でスクリーンに写し出されることが多い。しかしながら、このためには、大きな表面領域のため、多くの空間が必要となるが、これは利用できない場合が多い。さらに、パターン生成のため、平面スクリーンが用いられる。この場合、大きな面積を有するパターンを生成するため、しばしば複数のスクリーンが用いられるが、これは用いられる個々のカメラについて複雑な較正方法によって較正される必要がある。複数のスクリーンと複数のカメラとを用いる場合、さらに、1つのカメラから次のカメラ又は次のスクリーンへのそれぞれの移動を実現可能とするための方法を見出す必要もある。

30

【0006】

表面から特定の距離にある1つのパターンのみ、かつ1つのカメラのみを用いる場合、反射面の形状は従来の方法によっては最終的に決定することはできない。というのは、表面角度と表面距離又は表面高さとの間の不明確さがそれぞれ生じ、追加的な情報なしに解決できないからである。この課題は公知の方法(例えばドイツ特許公開公報10127304A1号参照)により解決される。この方法では、複数のカメラを用いる、又は表面から異なる距離に複数のパターンが配設される。しかしながら、この場合、測定対象となる表面の各領域が複数のパターン及び/又はカメラによってカバーされる必要があるため、高価な装置が必要となる問題がある。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

したがって、本発明の目的は、低い装置コストのシステムにより、反射面及び特に、透明対象物に対して信頼性の高い形状測定が可能となり、システムの較正及び形状測定が特に処理しやすくなる選択肢を提案することにある。

【0008】

50

この目的のため、請求項1では、画素毎に既知のカメラの視認方向と反射パターンのカメラの画素上へのマッピングに対応するパターンの位置とから形状を測定するため、反射面の表面角度と反射面の表面高さとが決定される。本発明の範囲において、反射面は完全な反射面のみではなく、特に、例えばガラス板 (glass pane) 等の部分的に透明な表面でもある。したがって、本発明は全体として、車両のフロントガラスの測定に特に適する。カメラの各画素の視認方向が好ましくは既知であることにより、この画素上に反射されるパターン領域の位置から、対応するパターン位置を高い空間解像度と簡単な光学的手段により決定できるので、高速かつ正確な表面測定が可能となる。加えて、表面測定は、カメラが球形の湾曲面の焦点にある場合でも実行可能である。

【0009】

ここでは、カメラの各画素の視認方向は、特に、本発明に係るまた本発明の主題でもある形状測定システムに対して較正を先に又は後で行うことによって把握され、特に下記の形状測定方法と組み合わせて実行可能である。

【0010】

本発明に係る方法の好ましい実施形態によれば、カメラによって記録された、例えば少なくとも2つの区別可能かつ規則的に現れるパターン要素からなるパターンシーケンスを有するパターンを分析するため、位相評価法、時間コード化法 (time - coded method) 及び/又は周波数コード化法 (frequency - coded method) が用いられる。これら方法は以下に記載される較正又は形状測定のいずれか、或いは双方の方法に適用可能である。好ましくは、このパターンシーケンスは2つの異なる光強度を有してもよい。これら方法によって、特に高い空間解像度が達成可能であることがわかった。したがって、該パターン内の画素にマッピングされたパターン点の位置を決定することに特に適している。時間及び/又は周波数コード化法は、例えば、時系列的なシーケンスにおいて及び/又は異なる時間で異なるパターンをパターンキャリアに表示してカメラに記録するものでもよい。続く評価において、いずれのカメラ画素がいずれのパターン領域を視認するかは、パターンの種類が既知であることから、評価を実質的に組み合わせることにより決定可能である。最も簡単な方法は、モニターとして形成されるパターンキャリアの各モニター画素を個別に制御して、これを各カメラ画素に割り当てることである。しかしながら、適切なパターン選択及び異なるパターンの時系列シーケンスにより、この決定を高速化及び/又は精細化してもよい。別の選択肢は、パターンが、たとえば特定の輝度挙動を示す位相評価法によることである。パターンをシフトすることにより、位相分析を用いてパターン点の正確な位置特定を実行できる。このため、パターンは少なくとも三重にシフトされる。これら2つの方法の組み合わせも考えられる。

【0011】

本方法の好ましい実施形態によれば、それぞれ反射している又は反射面上の少なくとも1つの基点に対して、表面高さ及び/又は表面角度が正確に決定される。これに基づき、基点近傍のある点での表面高さが続いて評価可能となり、これから、その表面角度を決定できる。実際のシステム寸法、すなわち小さ過ぎない程度の測定距離について角度を決定することは、高さの不正確さに対して敏感ではないことから、この方法で表面角度を非常に正確に決定できる。複数の基点、及び複数の基点近傍の複数の点における表面角度を統合して、サーチされた表面形状ができる。ここで、隣接点としては、直接に境界を接する点のみではなく、表面高さ及び/又は表面角度が既に決定され又は評価されている表面点と近隣の離れた点のそれぞれも、隣接点として理解されるべきである。原理的には、例えば検査対象となる表面の中心に位置する1つの基点のみに基づいて、全体表面構造或いは形状をそれぞれ決定することは可能である。精度を上げるため、さらに、公知の曲率補正方法を用いてもよい。

【0012】

実際には、開始点となるこの基点に対して、まず表面高さが正確に決定される。このため、ある特定のパターン点を、パターンの前に配されるマーカーによってカバーし、表面点を正確に特定する。既知のパターンを前提に、引き続いて、マーカーを反射する表面点

10

20

30

40

50

の絶対表面高さを、例えば公知の三角法を用いて決定する。

【0013】

このため、マーカーは、パターンの前に配置されかつ好ましくは反射面に直交しない直線形状の物体により形成されるのが特に好適である。表面点をマッピングするカメラ画素の既知である視認方向（空間方向の既知の直線）とカバーされたパターン点から、平面が定義され、物体とこの平面との交点が決定される。物体と平面との交点と、カバーされたパターン点を用いて、パターン点から延在し反射面上の表面点に向かう直線も決定可能である。この2つの直線の交点により、サーチされた表面の高さが高い精度で決定される。該物体としては、直線ないし円など数学的に容易に定義される形状が特に適する。実際は、これらはパターンの前に張られた細い棒又は糸を用いて実現可能である。

10

【0014】

これに代え、あるいは加えて、表面高さを正確に決定するため、パターンキャリア平面内の2つのパターン点の間の既知の距離から、平坦なミラーを仮定して、その高さが評価可能であり、これより、その角度も決定可能である。このようにして決定された角度に基づき、より精度の高い高さ決定が実行可能であり、この方法を繰り返して適用することにより、特に表面角度の距離誤差に対する感受性が比較的小さく、したがって評価される角度が比較的正確であることから、表面高さを十分に正確に評価可能となる。この表面高さ決定では、何ら別の装置要素（複数のカメラ及び/又はパターン、パターンの前方に配される距離マーカーなど）が必要でないことから、この方法は、表面点の高さ測定について特に利用しやすい。しかしながら、この方法は、表面が過度に湾曲しておらず、2つのミラー点間の距離が小さいため測定対象となる表面が平坦なミラーであるとの仮定が著しく間違っていない場合にのみ良好に機能する。

20

【0015】

1つの基点から始めて全体形状を測定することが基本的に可能な場合でも、本発明によれば、測定対象となる表面にわたって、複数の基点を好ましくは緻密なグリッドに配置し、各基点から始めて表面形状を決定する場合、形状測定の精度を向上できる。このようにして、基点において決定された表面高さに基づき、表面形状を、基点を中心として所定の距離までだけ推定する。従って、基点の正確な位置又は高さをそれぞれ決定することから生じる誤差が過度に目立たない。表面全体は、基点を中心として決定される複数の表面形状から構成される必要があるため、追加的に境界条件が生じ、これにより全体として形状測定の精度が増すことになる。加えて、各基点を中心とする計算が平行して実行可能であることから、この方法は特に高速で行える。

30

【0016】

精度をさらに向上するため、本発明においては、特にモニター上に表示可能なパターンは、粗いパターンから始めて、モニターの解像度限界まで逐次に精細化されても良い。パターンとしては、例えば帯グリッドが考えられるが、この帯形状は、しかしながら、ほぼ自由かつ具体的用途に応じて選択可能である。有用なパターン形状は、四角形、面取り四角形、台形ないし正弦曲線形状である。このパターンの各空間方向を測定可能とするため、パターンないし帯グリッドがそれぞれ2つの異なる、平行でない空間方向に生成され、測定対象となる表面によって反射される。好ましくは、パターンの直交配置、すなわち、パターン映写において90度回転することである。

40

【0017】

さらに、本発明では、測定中に、異なるパターン構造を生成することが提案される。この場合、異なるパターン構造は、特に、測定対象となる形状及び実際に適用されるパターンの精細度に応じて選択される。

【0018】

本発明の方法は、特に透明対象物に利用可能である。この典型的用途は、車両のフロントガラス又は他の湾曲ガラスである。この場合、複数の反射面の形状、たとえばガラス板の上下面及び/又は互いに重ねられた複数のガラス板、又は他の透明物体が同時に測定可能とされることが特に好ましい。特に透明物体を測定するためには、反射されるパターン

50

の精細度に応じて、異なる表面のパターン構造が解像可能となるようにパターン構造を調節することが有用である。この目的のため、帯パターンを点パターンに変更することが可能である。

【 0 0 1 9 】

この方法の第1の工程において、最上に配置された反射面を、特に多重反射が影響を及ぼさない程度の精度で決定するだけで複数の反射面の測定を実質的に向上できる。これに代えて、又はこれに加えて、必要であれば、異なる反射面の多重反射がそれぞれ分離又は分解可能であるそれらの反射面の領域を測定してもよい。この測定に基づき、反射面の形状がほぼわかり、したがって既知のパターンが自身をどのように表示するか計算可能であり、その結果、この方法の第2の工程において、多重反射が評価される。測定対象となる反射面の形状及び位置がおよそわかれば、第1の工程で反射面形状を粗く測定する代わりに、既知の値を用いてもよい。実際に存在するパターン形状に応じて、パターンは特に連続的に精細化可能であり、これにより反射面形状を、必要に応じて繰り返し高精度に決定できる。この目的のため、パターン構造の精細化中に、(予め)決定された又は既知の反射面形状に応じて、パターンの種類を調節してもよい。これは1つの反射面のみを測定する場合に有効である。というのは、パターンの適切な構造は、特に、反射面形状にもよるからである。

10

【 0 0 2 0 】

さらに、本発明は、反射面で反射されるパターンを有するパターンキャリアと、該反射面上で反射されたパターンを画素毎に視認するカメラとを有するシステムを較正する方法に関する。較正するため、本発明では、2つの面積の広い平行に配された平坦なミラー面が用いられるが、この正確な距離は既知である必要はない。本発明によれば、この較正方法の特に有利な点は、較正のため、パターンの幾何形状と2つのミラー面の正確な平行配置以外の情報は用いられないことである。

20

【 0 0 2 1 】

広いミラー面を平坦に支持することは、実際には困難であることが判明している。加えて、ミラー面を調節して2つの異なる高さ構成で平行に理想的に位置決めするには、かなりのコストの技術装置を要する。

【 0 0 2 2 】

この問題を解決するため、本発明においては、反射面が液体によって生成されることが提案される。このようにして、形状測定に用いられるシステムを容易に較正可能であり、本発明においては、較正及び形状測定工程は互いに結合可能であり、特に連続的に実行可能である。この較正は実際の形状測定前でも測定後に行われてもよい。さらに、広くて、理想的に平坦な表面のため、全ての関連する要素を高い精度で同時に較正することが可能である。

30

【 0 0 2 3 】

比較可能な (c o m p a r a b l e) 光学的条件を得るため、本発明では平行なミラー面が測定対象となる反射面と比較可能な高さに配されることが提案される。

【 0 0 2 4 】

これは、2つの平行なミラー面を、トレイ中に2つの異なる充填レベルで液体を満たすことで生成し、及び/又は該トレイを対応して動かすことにより、特に容易に実現可能である。特に、十分な粘性の液体を用いることにより、2つの理想的に平行な、最適なミラー特性を有するミラー面を生成できる。というのは、そのような表面はそれ自体として何の曲率も凹凸も有しないからである。本発明では、高さ変更後、液体が静止したか否かを測定により検査することも示される。最も簡単な場合では、これは、連続記録において、カメラの同一画素中の差が見出されるか否かを検査することにより実行可能である。差異が見出されない場合には、固定又は静止液体レベルであると判断できる。

40

【 0 0 2 5 】

さらに、十分なサイズのトレイ中の液体を用いることにより、ミラー面を、システムの全てのパターンキャリア及びカメラが共通の座標系に較正可能となるよう十分に大きく形

50

成可能である。

【0026】

液体として、グリセリンが特に好適である。

【0027】

最後に、本発明では、請求項20において、反射面で反射可能なパターンを生成するための少なくとも1つのパターンキャリアと、該反射面で反射されたパターンを画素毎に視認するための少なくとも1つのカメラと、カメラ画像を評価し形状決定及び/又は較正を行うための評価手段とを有する反射面の形状測定システムが提案される。本発明によれば、このシステムは広い面積の平坦なミラー面を構成するための装置を有し、このミラー面は液体によって形成されるのが好ましい。

10

【0028】

平坦なミラー面を構成するための装置としては、特に、液体を充填可能なトレイが好適である。トレイ中の異なる充填高さを利用することで、簡単な形式で複数の平行ミラー面を形成し、測定対象物の位置にミラー面の高さを調節することができる。さらに、特に、トレイは上下動可能としても良い。

【0029】

システムの好ましい形態において、パターンキャリアとしては、モニター、特に、異なるパターンを表示可能なTFMモニターが挙げられる。

【0030】

さらに、本発明によれば、複数のパターンキャリアを四角形に配置してもよい。この場合、パターンキャリアの各交点に、1つのカメラを配置することが好ましい。当然ながら、これらのモニターを、角度を有して或いは互いに直交するように配置することも可能である。特に測定対象となる表面形状から、最適な構成が得られる。最適な構成の最適な挙動は、多くの場合わかっており、それに応じてモニターの構成を最適化することができる。

20

【0031】

その他の利点、特徴及び適用可能性は、以下の実施形態の説明及び図面から得られる。したがって、全ての記載された、及び/又は図示された特徴は、それ自体として、あるいは組み合わせとして、請求項におけるそれらの組み合わせ又はその関係と独立に、本発明の主題を形成する。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

図1に、被測定物3の反射面14の形状測定用のシステム13の基本構成が示される。システム13は反射面14を介してパターンキャリア2のパターン15を視認するカメラ1を有する。被測定物3の反射面14の形状を測定できるように、カメラ1とパターンキャリア2のパターン15との間の関係がわかっていなくてはならない。このため、カメラ1の座標系16とパターン15の座標系17とが較正により決定される。加えて、カメラ1及びパターン15は固定世界座標系7中に較正してもよい。これは必ずしも必要ではないが、これによりシステム全体の明確性が向上する。固定世界座標系7に代えて、カメラ1の座標系16又はパターン15の座標系17を固定世界座標系として利用しても良い。これにより、カメラ1及びパターン15のシステム13内での位置と向きとがわかる。

40

【0033】

カメラ1は反射面14上で反射されるパターン15を画素ごとに視認するために設定される。システム13の説明において、まず、カメラ1は理論的な画像距離、歪み、主点ずれなどの内部カメラパラメータが必要でない単純なピンホールカメラとしてモデル化される。しかしながら、上述のパラメータがわかっているならば、この方法をより高速に収束させるため、カメラ1を補正されたピンホールカメラとしてモデル化することによって、これらパラメータが利用できる。これにより、既知のカメラパラメータを用いて、カメラ1によって記録される画像8を既知のパラメータにより補正された画像へと変換する。しかしながら、本方法において、以下では、この画像は、単純なピンホールカメラによって

50

記録されたとして扱われる。

【0034】

カメラが任意のパターンを傾斜して直接視認する場合、画像を評価するだけで平坦な既知パターンとカメラとの間の空間的關係を生成することが可能である。ここで、パターン15が、後で形状測定に用いられるパターン15と正確に同一位置で較正に用いられれば、有利である。というのは、パターン15とカメラ1との間の正確な關係が形状測定評価に必要なからである。パターン15の形状は異なっても良い。この目的のため、パターンキャリアとして、フラットスクリーンモニター、例えば任意のパターン15を表示可能なTFMモニターが設けられる。フラットスクリーンモニター2の画素寸法がわかっていることにより、表示されたパターン15の幾何形状も同様に正確にわかる。しかしながら、パターンキャリア2の別の形態、例えばホルダ中に測定されたパターンを有する交換可能なプレートも考えられる。

10

【0035】

しかしながら、図1からわかるように、カメラは、測定ボリューム中に反射測定物3がない場合、パターンキャリア2上のパターン15を見ることはできない。カメラ1とパターンキャリア2との配置を較正して、その配置を、後で行う形状測定に用いようとするなら、正確に把握された形状を有する反射性の物体を測定対象物3と比較可能な位置に配置する必要がある。好ましくは、正確に平坦な反射面が用いられるのが好ましい。というのは、この場合、較正するために、簡単な数学的關係が利用可能だからである。

【0036】

20

この平面ミラーの位置が不明であるため、解かれるべき方程式系に追加的な自由度を導入する必要があることから、較正に用いられるパターン15は異なる位置で少なくとも2つのミラーを介して視認されなくてはならない。このための最も簡単な解決策は、2つのミラーを正確に平行に異なる高さで配置して交互に視認することである。この場合、ミラーそれ自体の高さがわかっている必要は無い。これら2つのミラー面5、6は図1に実線で示される。

【0037】

実際には、測定対象物3は、例えば車両のフロントガラスである。このような測定対象物3の寸法に対して、広い面積のミラー面5、6の製造及び配置は全く容易というわけではない。というのは、適度に広い寸法で十分な平面度を有するミラーを製造し、またこれらを2つの異なる高さで曲がりなく支持するには高いコストを要するからである。従って、2つの平行ミラー面5、6を生成するため、システム13の下部はトレイ4として形成される。このトレイ4には、良好な反射面を有する十分な粘度の液体が入れられる。2つの高さは、2つの異なる量の液体をトレイ4に連続的に満たすことによって実現される。この構成は、2つのミラー面5、6が完全に平面かつ平行に配置される点で有利である。加えて、必ずしも必須とされるわけではないが、これらのミラー面の向きは任意の時点で再現可能であり、例えば、欠陥カメラを交換し、その後再較正が必要とされる場合、測定システムの取り扱いが簡便となる。十分な粘度を有する好適な液体はグリセリンである。

30

【0038】

40

図2において、比較可能なシステム13が示される。これはそれぞれ隣り合って配される複数(3つ)のパターンキャリア2と複数(2つ)のカメラ1とを有し、これら全てによって広い対象領域をカバーし、測定対象物の表面が測定可能となる。ミラー面5、6を生成するためにグリセリンが満たされたトレイ4を設けることにより、パターンキャリア2の全てのパターン15及び全てのカメラ1を簡単な方法により共通の座標系10中に較正することが可能となる。というのは、液体のミラー面5、6は簡易な方法でまた任意のサイズに作製可能だからである。

【0039】

この場合、液体面5、6は全てのカメラ1及びパターンキャリア2に共通の座標系のx-y平面を規定するのが好ましい。これに加えてカメラ1とパターン15又はパターンキ

50

キャリア 2 とがそれぞれ、各カメラ 1 が少なくとも 1 つの他のカメラ 1 とともに同一のパターンキャリア 2 上のパターン 15 を視認するように配置されれば、ミラー面 5、6 の表面法線を中心とする回転及びこの表面上の相対する変位における全ての要素間の関係も決定可能となる。このためには、2 つのカメラ 1 のそれぞれがパターンキャリア 2 上の同一のパターン領域をマッピングすることは必ずしも要求されない。というのは、全体パターン 15 の幾何形状がわかっていることから、2 つの異なるパターン領域 15 間の関係を設定できるからである。座標系 10 のゼロ点として、当該面の任意の点が選択可能である。これは、表面法線を中心とする回転のゼロ点についてもあてはまる。このようにして、全ての要素がともに座標系 10 中に較正可能である。

【0040】

本発明のシステム 13 に特に有用な構成が図 3 に示される。ここでは $n \times m$ のパターンキャリアが四角形中に行列状に配される。パターンキャリア 2 の各交点には、1 つのカメラ 1 が配置され、各カメラ 1 は、4 つのパターンキャリア 2 を視認し、行列の境界部のパターンキャリア 2 を除き全てのパターンが 4 つのカメラ 1 によって視認される。カメラ 1 の対応する画像領域 12 が点線で示される。

【0041】

異なる基準座標系間の座標変換に対する測定対象物の形状は、当然ながら不変であることから対象物 3 の形状を測定するにあたり再現可能な座標系を設定する必要がないとしても、ある場合においては固定された所定の座標系に対する関係を設定することが好ましい。これにより、例えば、測定システム 13 全体の取り扱いがより容易になる。

【0042】

座標系 10 中での X - Y 平面の向きは液面であることから常に同一である。他の自由度のため、カメラ 1 から視認可能なマーカーが設けられても良い。これは、例えば、パターンキャリア 2 上にゼロ点が定義され、少なくとも 1 つのカメラ 1 によって視認できるようにマーキングされる。第 2 の固定点を規定することで、表面法線を中心とする回転のゼロ点も定義可能となる。パターンキャリア 2 としてフラットスクリーンモニターを用いる場合、このマーキングもまた、このモニター上に表示できる。

【0043】

したがって、共通の座標系 10 として、まず、X - Y 平面がミラー面 5、6 と合致する 1 つの座標系を使用できる。この座標系 10 に基づき、任意の世界座標系 7 との関係が設定でき、これは、例えばトレイ 4 と関連付けられる。

【0044】

図 4 を参照して、以下、フラットスクリーンモニター 2 上に表示されるパターン 15 を用いたシステム 13 の設定が詳細に記載される。ここで、システム 13 のカメラ 1 の各画素に対して、カメラ 1 又はカメラ画素によって視認されるフラットスクリーンモニター 2 の画素が、それぞれ決定される。はじめに、この測定は較正とは独立しており、各画素についてカメラ 1 の視認方向が決定される。

【0045】

このため、カメラの位置 x_k 、 y_k 及び z_k が基準座標系のパラメータとして設定される。座標 x_k 、 y_k 及び z_k によって規定される点は、カメラに到達する全ての光線がレンズにおいて集まる点を示す。さらに、別のパラメータとして、基準座標系におけるフラットスクリーンモニター 2 の各画素の位置と、基準座標系における (測定された) レンズ歪みを含むカメラ 1 の各画素の視認方向とが決定される。

【0046】

カメラ 1 とフラットスクリーンモニター 2 (TFM モニター) とからなるシステム 13 の構造の下に、グリセリンが満たされたトレイ 4 が置かれるが、これは異なる高さで取り付け可能である。このトレイ 4 は内面が黒くされる。トレイ 4 内のグリセリンが静止すると、光学的に完全かつ平坦な反射面 5、6 が得られる。そして、2 つの高さ (h_1 、 h_2) につき、カメラ 1 の各画素に対して、ミラー 5、6 によって対応するカメラ画素の光線が反射されるフラットスクリーンモニター 2 の対応する画素が割り当てられる。寸法 h_1 及

10

20

30

40

50

び h_2 は、グリセリン面（ミラー面 5、6）が測定された 2 つの高さである。

【0047】

この測定は、フラットスクリーンモニター 2 上に適切なパターン 15 が連続的に表示され、そのミラー像 8 がカメラ 1 によって記録されるように行われる。パターン 15 を適切に選択することにより、各独立モニター画素が、所定の数の画像 8 により特定できる。このため、各画素はその輝度の順（例えばグレーコード）によりコード化可能であり、又は適切なグレー値処理、又は一連のグレー値処理が利用される。

【0048】

以下、好適なパラメータ化の例が示されるが、これは本発明の主題から逸脱しない限りで変形可能である。原点はいずれか 1 つのフラットスクリーンモニター 2 の画素（0、0）と関係付けられる。この画素の空間座標の選択を通じて、座標系の位置が決定される。液体表面のミラー面 5、6 は、座標系 10 の X - Y 平面と平行に選択され、座標系 10 の Z 方向は、ミラー面 5、6 と直交する。座標系の X 軸は、フラットスクリーンモニター 2 の長辺に直交して延在し、原点を規定する。

10

【0049】

このように選択することにより、固有の座標系 10 が前もって決定され、全てのシステム要素が測定可能となる。

【0050】

フラットスクリーンモニター 2 上の 2 つの画素間の距離は、その製造過程から正確にわかる。17 インチモニターの場合、この距離は、例えば 0.264 mm である。モニターが空間において配置される、空間におけるモニター画素の位置と 3 つの空間角度（spatial angle）とが各モニター画素につきわかっているならば、空間における位置は正確に決定可能である。この距離は全てのフラットスクリーンモニター 2 について全く同じであり、したがって三次元世界座標系も確実に計量的となる。

20

【0051】

図 4 に、カメラ 1 の 1 つの画素の光路が示される。ここで、座標 x_k 、 y_k 及び z_k はカメラの位置であり、 h_1 及び h_2 はミラー面 5、6 の高さであり、 x_{s1} 、 y_{s1} 及び z_{s1} は高さ h_1 で反射されたカメラ画素が反射される空間座標である。ここで、図 4 の下に異なるグレースケールで図示される三角形は数学的意味で相似である。

【0052】

図 5 によれば、2 つの小さな三角形及び 2 つの大きな三角形が、それぞれ 1 つの三角形に組み合わせ可能である。したがってこれら 2 つの三角形の高さ及び幅がわかる。三角形の相似性により、以下の関係があてはまる。

30

【0053】

【数 1】

$$\frac{a}{x_k - x_{s2}} = \frac{b}{x_k - x_{s1}}$$

40

【0054】

ここで、 $a = z_k + z_{s1} - 2h_1$ 、 $b = z_k + z_{s2} - 2h_2$

【0055】

この関係により、パラメータをこの方程式で計算できる。 x_k について解くと、この方程式は：

【0056】

【数 2】

$$x_k = \frac{ax_{S1} - bx_{S2}}{a - b}$$

【0057】

y_k についての計算も同様の方法で座標方向 X 及び Y を変更することにより行われる。

【0058】

この方程式はカメラ 1 の各画素について立てられる。この方程式系の解の条件は、特定のカメラ 1 に属する画素の全ての光線が一点で交わることである。得られた方程式系は、ニュートン・ガウス・ジョルダン法などの適切な最適化アルゴリズムによって解かれる。最適化を単純化するため、いくつかの選択された画素のみを用いてもよい。

【0059】

最適化のための有利な初期値として、適切な値を用いてよい。したがって、全てのフラットスクリーンモニター 2 の位置がほぼ画素 (0, 0) の位置として測定可能であり、初期値として利用可能である。同じことは各モニターの 3 つの空間角度にもあてはまる。さらに、各カメラ Z 及びミラー面 5、6 の高さ h_1 及び h_2 がおよそ測定可能であり、初期値として利用可能である。

【0060】

各フラットスクリーンモニター 2 につき、その後、画素 (0, 0) の X、Y 及び Z 座標及びその位置の 3 つの空間角度が最適化される。同じことは、ミラー面 5、6 の高さ h_1 及び h_2 、及びカメラ位置 Z の高さについてもあてはまる。最適化の結果、各フラットスクリーンモニター 2 及び各カメラ 1 の正確な位置と配置とが得られる。加えて、少なくとも 1 つの高さについて有効な測定を行った各画素に対して、カメラが平面 $z = 0$ において見る点が見える。高さ h_1 及び h_2 での反射に対して、以下の関係が生じる。

【0061】

【数 3】

$$x_{z=0} = x_k - \frac{z_k(x_k - x_{S1})}{z_k + z_{S1} - 2h_1} \quad \text{及び} \quad x_{z=0} = x_k - \frac{z_k(x_k - x_{S2})}{z_k + z_{S2} - 2h_2}$$

【0062】

これらの方程式は図 5 の三角形の検討から得られる。

【0063】

この計算は校正後の各カメラ画素につき別個に行われることから、空間における視認方向は、レンズ歪も含め、カメラ 1 の各画素に対してわかる。というのは、同様のことが、画像記録時に、それぞれ検討された又は測定されたからである。カメラを歪モデルによってモデル化する代わりに、このアプローチでは、視認方向が各画素につき明示的に定められる。

【0064】

基本的には、歪モデルを同時にモデル化することも可能である。ここで、最適化されるべき方程式系は、これらのパラメータが追加的に現れるように変化し最適化されるが、計算作業の量がより多くなる。

【0065】

さらに、各ミラー高さに対して、カメラ 1 が実際にはパターン 15 の鏡像を見るという事実を考慮することなく、平面パターンにつき公知の校正を行ってもよい。この場合、各

10

20

30

40

50

ミラー高さ h_1 及び h_2 に対して、異なる、実質上のカメラ位置が生成される。しかしながら、実際には常に同一のカメラ位置であり、（正確に平行なミラー面 5、6 に対する）ミラー高さのみが異なっていたことがわかっているため、この境界条件を用いる方程式系を構成可能である。この方程式系を最適化することにより、カメラ 1 の正しい位置が得られる。

【 0 0 6 6 】

この方法は、較正が 2 つの工程に分割可能であり、第 1 工程に対して、公知の標準的方法が利用可能であるという利点を有する。しかしながら、第 1 工程ではパターンキャリア 2 上のパターン 1 5 しか利用できないという欠点を有する。複数のカメラ 1 を有する構成においては、実際には、1 つのパターンキャリア 2 は画像フィールドの一部のみ、かつ一方のみ、すなわち画像フィールドの 1 つの側しかカバーしない。しかしながら、画像フィールドがパターン点によって何らかの形で規則的にカバーされさえすれば、良好な較正を
10 実行可能である。

【 0 0 6 7 】

システム 1 3 の較正が所定の形で実行されると、被測定物 3 の反射面 1 4 の形状測定が実行可能となる。このため、異なるフラットスクリーンモニター 2 が、カメラ 1 が見ているフラットスクリーンモニター 2 を認識するため、交互に又は同時に異なる輝度で切り替えられる。その後、粗い帯グリッドがフラットスクリーンモニター 2 上に生成され、カメラ 1 が見ているパターン 1 5 における位置がさらに限定される。この帯パターン 1 5 は、フラットスクリーンモニター 2 のそれぞれの解像度限界まで精細化され、それぞれカメラ 1 の画素上にマッピングされる。
20

【 0 0 6 8 】

反射面 1 4 を全方向で測定可能とするため、帯パターン 1 5 はまた 90 度回転され、フラットスクリーンモニター 2 上に表示され、パターン 1 5 の所定の精細化がこの方向にも実行される。記載された構造中では、基本的に反射面 1 4 の全ての領域が 2 つのパターン 1 5 及び / 又は 2 つのカメラ 1 によってカバーされるわけではないことから、表面角度及び / 又は表面距離の不明確性が生ずる。

【 0 0 6 9 】

この不明確さを解決するため、2 つの寸法のうちの 1 つ（表面角度又は表面高さ）がわかっている少なくとも 1 つの開始点ないし基点がそれぞれ必要となる。この点において、高さ及び角度が正確に決定できる。この基点に基づき、続いて隣接点の高さが評価され、
30 これにより、角度が決定される。実際に利用可能かつ過度に小さくはない測定距離を有するシステム寸法にとって、角度決定は高さの不正確さによって大きく影響されるわけではない。したがって、このようにしてある表面点での表面角度は非常に正確に決定可能である。そして、複数の表面点における表面角度は統合されて、全体の形状になる。このために、精度向上目的で、公知の曲率補正方法を用いても良い。

【 0 0 7 0 】

開始点又は基点の決定時点で、それぞれ高さを特定するのが通常はより容易であることから、表面角度及び表面高さの不明確さを解決するため、以下の方法が利用できる。

【 0 0 7 1 】

システム 1 3 全体が座標系において測定される場合、測定対象物の支持高さはわかっている。しかしながら、測定対象物の支持点が、常に数点のみであると統合間隔が広くなり、これらの支持点を基点として用いた場合、得られる結果は小さな測定誤差により大きく影響される。
40

【 0 0 7 2 】

2 つのカメラの重複領域において、デュアルカメラ法を用いることも可能である。この場合、位置及び向きが既知の 2 つのカメラによってモニターすることにより点の高さが決定される。しかしながら、これは実際には困難である。というのは、曲面の場合、1 つのカメラのみが 1 つの反射パターンを見ることが多いからである。各時点で少なくとも 2 つのカメラでそれぞれ全体表面を撮像するためには、多数のカメラ及び / 又はパターンが設けられる必要がある。
50

【 0 0 7 3 】

フロントガラスなどの反射面は、ほとんど、又は全く反射しない領域を一部に有する。これらは、特に端部や、例えばオーバープリントのために反射しない領域である。これらは、帯三角法 (strip triangulation) 又はステレオ測定法などの非反射面用の公知の方法により測定可能である。しかしながら、この方法は、非反射面が存在する場合にのみ機能する。加えて、この場合、統合間隔が非常に広くなり、これにより小さな測定誤差に大きく左右されることになる。

【 0 0 7 4 】

したがって、本発明では、以下の方法を用いて基点の高さを測定するのが好ましい。

【 0 0 7 5 】

第1の選択肢によれば、実際のパターン15の前の所定の距離に、複数の小さなマーカー9が複数の基点の所定のグリッドに取り付けられる。これらは前方に配された小さな棒又はガラス板に配置可能である。マーカー9の位置が図6に例示される。このマーカー9はパターン15の小領域11をカメラ1から隠蔽する。パターン15の周囲の点を認識することにより、パターン15のどの点11がマーカー9によってカバーされるかを正確に決定することが可能となる。したがって、この点での表面14の絶対高さを、例えば三角法により決定することができる。

【 0 0 7 6 】

マーカー9の位置は、前又は後の工程において、ミラー面5、6としての提案された液体面を用いた較正により決定可能である。

【 0 0 7 7 】

図7において、先に提案した方法を改良した方法が示され、これが以後説明される。マーカー9と比較可能な形で、既知の形状を有し、好ましくは数学的に定義しやすい(例えば、棒、糸ないし円)細い物体18がパターンの前方に所定の距離で取り付けられる。物体18は、前方に配置されるガラス板上の半透明パターンでも良い。

【 0 0 7 8 】

そして、物体18は、カメラ1又はその画素8上にそれぞれマッピングされる。物体18が細い又は半透明であることから、パターン15のカバー領域11を決定できる。画素又はカメラ画素8それぞれ、及びカメラのマッピング中心を通して、画素8から延在する直線を形成するカメラ画素の視認方向が規定される。この直線が図7に点線で示される。この直線及び既知のカバーされたパターン点11により、平面が規定される。物体18の空間内の位置が(例えば較正から)わかっている場合、物体18とこの平面の交点19が決定可能である。このための唯一の条件は、物体18が完全にはこの平面内に位置しないことである。これは、例えば異なる向きの異なる物体18によって実現可能である。

【 0 0 7 9 】

このカバーされたパターン点11と交点19とにより同様に点線で示された別の直線が規定される。この2つの直線の交点が、サーチされた表面点であり、そこにおいて表面点及びその統合のための角度が高精度に決定される。

【 0 0 8 0 】

物体18の位置は、外部測定又は好ましくは第2の較正工程によってシステムの較正において決定可能である。この第2の工程では、カメラ1とパターンキャリア2とが較正された後、平面ミラー面5、6がなお利用可能であれば、物体18の位置が決定される。これは、この時点でミラー5、6それぞれの形状又は構成がわかっていることから可能である。

【 0 0 8 1 】

以下に記載される高さ決定のための第2の選択肢から別の方法が生じるが、これは、実際上は十分に正確であることが示されている。ここでは、ミラーが平面であるとして、ミラーの高さを評価することにより、対象物3の反射面14の高さが決定される。その関連する角度も決定可能となる。角度の距離誤差に対する感受性が比較的小さいことから、この角度はミラーの高さの評価よりも実質的により正確である。角度がわかり次第、その高

10

20

30

40

50

さをより高い精度で再度決定できる。その後、基点ないし複数の基点における反射面 1 4 の高さがそれぞれ繰り返し決定可能となる。この方法は、反射面 1 4 があまり湾曲せず、かつパターン 1 5 の 2 つの視認されたミラー点の距離が小さいために平面ミラーの仮定が正当な場合に有用に実行可能である。

【 0 0 8 2 】

これによって、単純な方法で、複数の基点で構成される任意のグリッドが、反射面上において特定可能であり、その形状は測定される。

【 0 0 8 3 】

さらに、上述の方法によれば、複数の反射面の反射が存在する場合でも、例えば、第 2 (下) ガラス表面の反射又は 1 つが他方よりも下に配置される複数のガラス板の反射の測定が行われれば、反射面 1 4 を測定できる。これは、多くの場合、困難である。というのは、多重反射は互いに適切に分離できず、反射面 1 4 のうちの 1 つの反射面の形状分析が信頼できる形で実行できないからである。

【 0 0 8 4 】

多重反射による問題を、例えばリアガラス面を反射材で被覆することなく防止するため、上述の方法の第 1 工程中に、反射面 1 4 の粗形状決定を行うことが提案される。

【 0 0 8 5 】

使用パターン 1 5 の解像度精細化は、該パターン 1 5 が多重反射のためにそれ以上分解できない場合、中断されることになる。そして、この形状は、通常、既に十分正確に決定できるため、いくつかの領域を除き、適用可能であれば、既知のパターンが多重反射においてどのように表示されるか既に演算可能である。この計算法に基づき、反射面の表面形状もまた、より高い解像度のパターン 1 5 に基づき正確に求めることができる。

【 0 0 8 6 】

実際には、3つの領域がここで区別される。第 1 の領域では、特定の角度に到るまで異なる表面の反射が重なり合って、それ以上分離できない。この領域では、原理的には、最も高い反射面のみが測定可能であり、多重反射は障害とならない。

【 0 0 8 7 】

ある特定の角度から始めて、この反射は分離可能であるが、なお部分的に重畳している。パターン 1 5 の形状が既知であることから、異なる表面の反射は、数学的に、かつ、重畳に応じた異なる輝度の評価によって分離可能である。したがって全ての表面が測定可能である。

【 0 0 8 8 】

ある特定の角度から始めて、多重反射に由来する反射は完全に分離され、より下に配設された表面についてもこれら表面形状を非常に正確に測定できる。パターンとしては、特に点パターンが好適である。

【 0 0 8 9 】

異なる表面を測定するため、ここでは、ガラス板の異なる領域の反射条件に適応した異なるパターン 1 5 を用いることができる。

【 0 0 9 0 】

したがって、提案される方法及び提案されるシステムにより、透明対象物の上反射面を信頼性高く測定することが可能である。広い領域では、下に配される表面をも、特に高価な装置を必要とせずに測定可能である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 9 1 】

【 図 1 】 図 1 は、第 1 実施形態にかかる反射面の形状を測定する本発明のシステムを示す図である。

【 図 2 】 図 2 は、第 2 実施形態にかかる反射面の形状を測定する本発明のシステムを示す図である。

【 図 3 】 図 3 は、第 3 実施形態にかかる反射面の形状を測定するシステムのパターンキャリアとカメラとを示す図である。

10

20

30

40

50

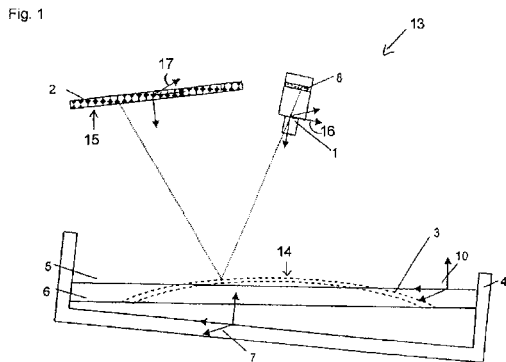
【図4】図4は、本発明のシステム較正中のカメラ画素の光路を示す図である。
 【図5】図5は、図4の光路における較正で用いられる三角形の評価を示す図である。
 【図6】図6は、形状測定中の図1の本発明にかかるシステムを示す図である。
 【図7】図7は、形状測定中の図1にかかる本発明のシステムの他の形態を示す図である。

【符号の説明】

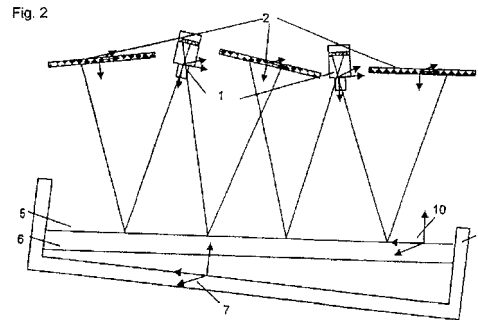
【0092】

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1 ... カメラ | 2 ... パターンキャリア |
| 3 ... 測定対象物 | 4 ... トレイ |
| 5、6 ... 較正用ミラー面 | 7 ... 世界座標系 |
| 8 ... 画像、カメラ画素 | 9 ... マーカー |
| 10 ... 共通座標系 | 11 ... カバー領域 |
| 12 ... カメラの画像領域 | 13 ... システム |
| 14 ... 反射面 | 15 ... パターン |
| 16 ... カメラの座標系 | 17 ... パターンの座標系 |
| 18 ... 物体 | 19 ... 交点 |

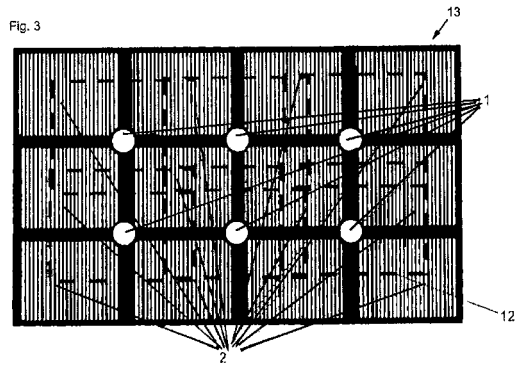
【図1】



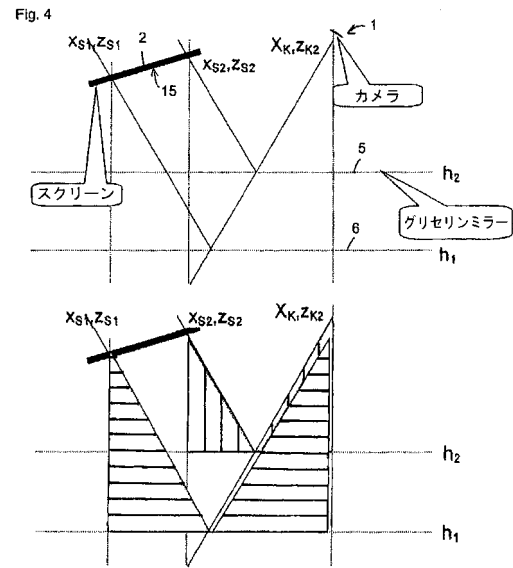
【図2】



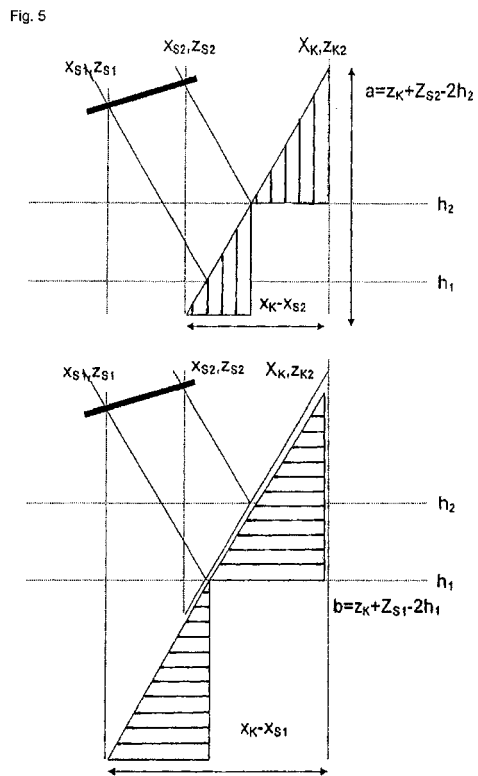
【 図 3 】



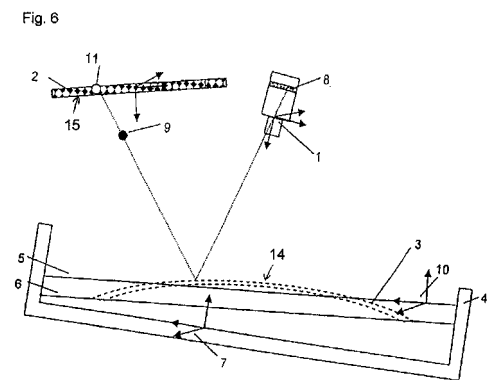
【 図 4 】



【 図 5 】

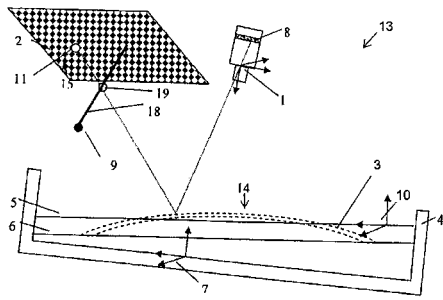


【 図 6 】



【 図 7 】

Fig. 7



フロントページの続き

(74)代理人 100149261

弁理士 大内 秀治

(72)発明者 ヴィーナンド、ステファン

ドイツ連邦共和国、ツヴィンゲンベルク 64673、イン デン ブルッフガルテン 21

(72)発明者 ルーデルト、アルミン

ドイツ連邦共和国、エッセン 45131、コルドゥラストラーセ 14

審査官 うし 田 真悟

(56)参考文献 国際公開第2004/013572(WO, A1)

特開2005-345383(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30