

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5013507号
(P5013507)

(45) 発行日 平成24年8月29日(2012.8.29)

(24) 登録日 平成24年6月15日(2012.6.15)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 L 1/04 (2006.01) GO 1 L 1/04
GO 1 L 5/00 (2006.01) GO 1 L 5/00 Z

請求項の数 8 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2006-179351 (P2006-179351)	(73) 特許権者	504157024 国立大学法人東北大学 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(22) 出願日	平成18年6月29日(2006.6.29)	(74) 代理人	100103137 弁理士 稲葉 滋
(65) 公開番号	特開2008-8746 (P2008-8746A)	(72) 発明者	嵯峨 智 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大 学法人東京大学内
(43) 公開日	平成20年1月17日(2008.1.17)	(72) 発明者	梶本 裕之 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大 学法人東京大学内
審査請求日	平成21年5月25日(2009.5.25)	(72) 発明者	舘 ▲すすむ▼ 東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大 学法人東京大学内
特許法第30条第1項適用 平成18年5月26日~28日 社団法人 日本機械学会主催の「ROBOMEC 2006」において文書をもって発表			
前置審査			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射像を用いた触覚センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

変形可能な反射面を有する透明なセンサ本体と、
 画像パターンと、
 前記画像パターンの前記反射面における反射像を、光てこを用いて取得する像取得要素と、

からなり、

前記センサ本体の媒質を、当該センサ本体との間で界面を形成する外界よりも大きい屈折率を有する材質から選択することで、当該界面から前記反射面が形成されており、前記画像パターンから前記反射面に入射する光線、及び、前記反射面から像取得要素に向けて反射される光線、は前記センサ本体の媒質中を伝播することで前記反射像を結像するように構成されており、

前記像取得要素は、前記反射面の变形前と变形時とで異なる反射像を取得する、
 反射像を用いた触覚センサ。

【請求項2】

前記センサ本体は、少なくとも一部に透明弾性体を含み、前記変形可能な反射面が透明弾性体により形成されている、請求項1に記載の触覚センサ。

【請求項3】

前記センサ本体の表面の部分あるいは全部が、膜から形成されていると共に、前記膜の内側には流体が充填されており、前記変形可能な反射面が前記膜から形成されている、請

求項 1 に記載の触覚センサ。

【請求項 4】

前記画像パターンおよび/あるいは前記像取得要素は、前記センサ本体の外部に位置している、請求項 1 乃至 3 いずれかに記載の触覚センサ。

【請求項 5】

前記透明なセンサ本体は、複数の面を備えており、前記複数の面の少なくとも一つの面が前記変形可能な反射面を形成し、前記複数の面の少なくとも一つの面が画像パターンからの光線が入射するパターン面を形成し、前記複数の面の少なくとも一つの面が反射面からの反射光が射出する撮影面を形成している、請求項 4 に記載の触覚センサ。

【請求項 6】

前記透明なセンサ本体は、互いに平行な複数のパターン面からなるパターン面群と、互いに平行な複数の撮影面からなる撮影面群と、を有しており、各パターン面と各撮影面とは交互に配設されている、請求項 5 に記載の触覚センサ。

【請求項 7】

前記反射面は、対象物が接触する被接触面である、請求項 1 乃至 6 いずれかに記載の触覚センサ。

【請求項 8】

変形可能な反射面を有する透明なセンサ本体と、
画像パターンと、
前記画像パターンの前記反射面における反射像を、光てこを用いて取得する像取得要素と、

反射面再構成手段と、
からなり、

前記センサ本体の媒質を、当該センサ本体との間で界面を形成する外界よりも大きい屈折率を有する材質から選択することで、当該界面から前記反射面が形成されており、前記画像パターンから前記反射面に入射する光線、及び、前記反射面から像取得要素に向けて反射される光線、は前記センサ本体の媒質中を伝播することで前記反射像を結像するように構成されており、

前記像取得要素は、前記反射面の変形前と変形時とで異なる反射像を取得し、

前記反射面再構成手段は、前記像取得要素によって取得した前記反射面の変形前と変形時の反射像から、対象物がセンサ本体の被接触面に接触した時の反射像の変形を取得し、反射像の変形から前記反射面の変形を算出する、反射像を用いた触覚センサ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、反射像を用いた触覚センサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、ロボット工学の発展に伴い、多くの触覚センサが開発されている。従来の触覚センサには、接触状態を計測するセンサや、力分布を計測するセンサなどがある。力を計測する触覚センサとして、1 点の力を測定する 6 軸力センサや、接触状態を計測するセンサ、力の分布を計測する触覚センサなどがある。多くの分布型の力センサでは、センサユニットの数とユニットに伴う配線数が問題となる。また、個々に小さなセンサを分布させるため、各センサユニット自体は計測面に近い場所に配置されるため、測定を繰り返すほどセンサ自体はストレスを受けることとなり劣化を免れない。

【0003】

また、研究レベルにおいては光学式の分布型触覚センサとしていくつか研究されている（特許文献 1）。これらセンサはセンシング部分をカメラに集約することで、ユニットと配線を計測面から無くすことができた好例である。しかし、測定スポットとして点列や格子列で構成されたマーカを用いており、センシングをこれらのマーカに依拠しているため、

10

20

30

40

50

カメラの解像度を十分に生かしているとはいえない。

【特許文献1】国際公開公報W O 02/18893 A1

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の目的は、カメラの解像度を十分に活かした高解像度のセンシングを可能とする触覚センサを提供することにある。

【0005】

本発明の他の目的は、耐破壊性を備えた触覚センサを提供することにある。

【0006】

本発明の他の目的は、省配線化できる触覚センサを提供することにある。

【0007】

本発明の他の目的は、接触状態と形状分布(力分布)を同時に計測できる触覚センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の触覚センサは、変形可能な反射面を有するセンサ本体と、画像パターンと、前記画像パターンの前記反射面における反射像を、光てこを用いて取得する像取得要素と、からなる、反射像を用いた触覚センサ、である。「変形可能な反射面」とは、対象物がセンサ本体に接触することで、反射面が変形することを意味する。対象物がセンサ本体に接触することで変形するという意味において、変形可能な反射面は、柔軟な反射面である。また、変形可能な反射面は、好ましくは、弾性変形可能な反射面である。尚、1回の測定で良い場合には、変形可能な反射面は塑性変形するものでもよい。また、変形可能な反射面は、好ましくは、センサ本体の表面(界面)に形成される。像取得要素によって、対象物がセンサ本体に接触する前の反射像、及び、対象物がセンサ本体に接触した時の反射像を取得することで、対象物がセンサ本体に接触した時の反射像の変形を取得することができる。

【0009】

本発明の触覚センサ装置は、変形可能な反射面を有するセンサ本体と、画像パターンと、前記画像パターンの前記反射面における反射像を、光てこを用いて取得する像取得要素と、前記像取得要素によって取得した反射像から、対象物がセンサ本体の被接触面に接触した時の反射像の変形を取得し、反射像の変形から前記反射面の変形を算出する反射面再構成手段と、からなる、反射像を用いた触覚センサ装置、である。反射面再構成手段は、コンピュータから構成することができる。

【0010】

一つの好ましい態様では、前記センサ本体は透明であり、前記反射像を結像する光線は、前記センサ本体内を伝播する。すなわち、画像パターンから反射面に入射する光線、及び、反射面から像取得要素に向けて反射される光線、はセンサ本体の媒質中を伝播する。

【0011】

一つの好ましい態様では、前記反射面は、前記センサ本体の界面によって形成され、前記センサ本体の材質は、前記界面が反射面を形成するような屈折率を有する材質から選択される。より具体的には、センサ本体の媒質の屈折率が、センサ本体の表面との間で界面を形成する媒質の屈折率より大きくなるように、センサ本体の材質を選択する。

【0012】

一つの好ましい態様では、前記センサ本体は、少なくとも一部に透明弾性体を含み、前記変形可能な反射面が透明弾性体の界面により形成されている。一つの態様では、センサ本体全体が透明弾性体から構成されている。透明弾性体として、シリコンゴムが例示される。

【0013】

一つの態様では、前記センサ本体の表面の部分あるいは全部が、膜から形成されていると

10

20

30

40

50

共に、前記膜の内側には流動体が充填されており、前記変形可能な反射面が前記膜から形成されている。一つの態様では、センサ本体は、膜と、当該膜内に密閉された流動体と、からなる。

【0014】

一つの態様では、前記センサ本体は変形可能な板状体を有し、前記変形可能な反射面が前記板状体の表面から形成される。

【0015】

一つの態様では、前記画像パターンおよび/あるいは前記像取得要素は、前記センサ本体の外部に位置している。好ましくは、画像パターン、像取得要素の両方がセンサ本体の外部に位置している。一つの態様では、前記透明なセンサ本体は、複数の面を備えており、前記複数の面の少なくとも一つの面が前記変形可能な反射面を形成し、前記複数の面の少なくとも一つの面が画像パターンからの光線が入射するパターン面を形成し、前記複数の面の少なくとも一つの面が反射面からの反射光が射出する撮影面を形成している。前記画像パターンは、前記パターン面に対向ないし近接して配設され、前記像取得要素は、前記撮影面に対向ないし近接して配設されている。画像パターン、像取得手段は、それぞれ、パターン面、撮影面に接触あるいは付着していても、または、パターン面、撮影面から離間していてもよい。さらに、一つの好ましい態様では、前記透明なセンサ本体は、互いに平行な複数のパターン面からなるパターン面群と、互いに平行な複数の撮影面からなる撮影面群と、を有しており、各パターン面と各撮影面とは交互に配設されている。

【0016】

一つの態様では、前記画像パターンおよび/あるいは前記像取得要素は、前記センサ本体の内部に位置している。図15に、画像パターン及び像取得要素がセンサ本体の内部に位置している触覚センサを例示する。

【0017】

好ましくは、前記反射面は、対象物が接触する被接触面（センサ面）である。すなわち、変形可能な反射面に対象物が接触することで、当該反射面が変形して反射像が変形する。

【0018】

一つの態様では、前記透明なセンサ本体がプリズムを構成している。すなわち、プリズムの少なくとも一つの面が反射面、少なくとも一つの面がパターン面、少なくとも一つの面が撮影面を形成する。

【0019】

一つの態様では、前記画像パターンは、発光素子により形成される。前記発光素子としては、LED、レーザが例示される。一つの態様では、前記画像パターンは、液晶ディスプレイによって生成される。一つの態様では、前記画像パターンは、動的に可変である。

【0020】

一つの態様では、前記像取得要素は、カメラである。一つの態様では、前記像取得要素は、固体撮像素子を含む。固体撮像素子としては、CCDやCMOS素子が例示される。一つの態様では、前記像取得要素は、PD（フォトディテクタ）を含む。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、センサ本体の反射面における反射特性を活かすことで、光てこを用いた高解像度触覚センサを構成することができ、カメラの解像度を十分に活かしたセンシングが可能となる。

【0022】

本発明の触覚センサは、反射面を有するセンサ本体（好ましくは、透明弾性体を少なくとも一部に含む）と、画像パターンと、像取得要素とから成り、センサの全体構成がシンプルであると共に、センサの構成要素である画像パターン及び像取得要素を、対象物が接触する本体の外部に配置することができる。したがって、本発明によれば、画像パターン及び像取得要素が、対象物の接触の影響を受け難く、破壊に強いセンサを提供することができる。また、触覚センサを構成するいずれかの構成要素が劣化した場合にも、容易に交換

10

20

30

40

50

することができる。また、配線は画像パターン及び像取得要素についてのみ行えばよいので、対象物が接触する本体に配線を施す必要がある従来のセンサに比べて省配線化できる。

【0023】

本発明によれば、画像パターンおよび像取得要素を外部に配置することで、センサの構成要素の構成の選択に融通が利く。光でこと変形可能な反射面という単純な組み合わせによる構成のため、画像パターンの入射光が入射されるパターン面と反射面からの反射光が出射される撮影面を適宜選択することができる。例えば、パターン面にレーザ光やLight Emission Diode(LED)、液晶ディスプレイ、撮影面にPhoto Detector(PD)やカメラを配置することが考えられる。画像パターン、カメラをLED、PDに置き換えることで処理の高速化が可能となる。

10

【0024】

パターンを動的に変更可能にすることでフィードバック計測が可能な触覚センサを提供することができる。動的なパターンは、一つの態様では、液晶ディスプレイにより生成することができる。また、センサ本体のパターン面及び撮影面を、複数の面群から構成し、各パターン面と各撮影面とを交互に配設することで、センサ本体を薄型化することができる。

【0025】

本発明によれば、屈折率分布を用いた反射面により、接触状態と形状分布(力分布)を同時に計測可能な触覚センサを構成することができる。また、形状分布から弾性理論に基づき接触圧を計算することも可能である。

20

【0026】

本発明は透明弾性体を利用することにより、非接触状態を測定可能な触覚センサを提供することができる。また、他の光学デバイスとの組み合わせが可能であり、例えば、光学プロジェクタを併用することにより、触覚入力視覚出力のユーザインターフェイスを構成可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

[A] 本発明の構成

図1に本発明の触覚センサの一つの実施形態を示す。本発明に係る触覚センサは、透明弾性体1、実像としての画像パターン2、カメラ3から成る。センサ面となる透明弾性体の表面と空気との間の界面の屈折率分布に基づいて、透明弾性体の表面が柔軟な反射面(鏡面)4を構成する。柔軟な反射面4に対象物5が接触して変形を与えることで、反射面4が歪む。反射面4に映る像をカメラ3から観測することにより反射面4の変形を計測する。本発明の触覚センサは、光でこの原理と柔軟な反射面を組み合わせるものである。光でことは、反射の特性を利用することにより、変位を拡大する手法のことである。本発明では、光でこを用いることにより反射面の変形を精度よく検出し、カメラの解像度を十分に活かすことができる触覚センサを構成した。

30

【0028】

触覚センサの構成をより具体的に説明する。図1では、触覚センサの本体は、透明弾性体1から構成されており、透明弾性体1は、第1面10、第2面11、第3面12の3つの面を備えたプリズムを形成している。第1面10、第2面11、第3面12は、透明弾性体1に外力が作用しない状態では、平面を形成している。第2面11と第3面12は、第2面11の一端縁と第3面12の一端縁とが直角に交わるように延出しており、第1面10は、第2面11の他端縁と第3面12の他端縁とを連結するように延出している。第2面11を通して透明弾性体1に入射される入射光は、反射面4を形成する第1面10で全反射されて、反射光として、第3面12から出射するように構成されている。第2面11に近接して画像パターン2が配設されている。画像パターン2は、第2面11に接触していてもよく、あるいは、画像パターン2は、間隔を存して第2面11に対向していてもよい。第3面12に対向してカメラ3が配設されている。

40

50

【 0 0 2 9 】

一つの好ましい態様では、透明弾性体 1 として透明なシリコーンゴムが例示され、柔軟な反射面 4 はシリコーンゴムにより形成される。したがって、シリコーンゴムが空気と接する境界における屈折率の分布から、この界面が反射面としての反射特性を持つこととなる。この鏡面反射特性を利用することにより、柔軟な反射面 4 を備えた分布型触覚センサを構成する。

【 0 0 3 0 】

透明弾性体 1 としてのシリコーンゴムについて説明したが、透明弾性体 1 を形成し得る材料としては、その他に、ガラスやアクリルなど、光学的に透明な材料が例示される。また、透明弾性体 1 の反射面 4 を形成する面との間で界面を形成する外界も空気雰囲気には限定されず、空気以外の気体、液体、真空が考えられる。界面が反射面（鏡面）4 として機能するためには、界面近傍における屈折率の分布が重要であることは当業者に容易に理解される。透明弾性体 1 の屈折率が、透明弾性体 1 との間で界面を形成する空間の屈折率よりも大きければ界面が反射面 4 を形成することができる。したがって、透明弾性体 1 を形成する物質及び透明弾性体 1 の面との間で界面を形成する空間の屈折率を適切に選択することで、透明弾性体 1 の面を反射面 4 として機能させることができる。例えば、空気の層が別の物質からなる層に変われば、反射を起こす条件も変化する。透明弾性体 1 としてシリコーンゴムを採用した場合には、必要な条件はシリコーンゴムより屈折率が小さいものが存在することになる。ここで、空気の屈折率は 1.000292 であり、シリコーンゴムが 1.5 程度である。真空は 1 であり、多くの気体は 1 に近く、透明弾性体 1 の面が反射面 4 を形成できる。水の屈折率は 1.33 となり、空気に比べると条件は悪くなるが、カメラの配向および画像パターンからの入射光の角度を適切に選択することで反射像の観察は可能である。

【 0 0 3 1 】

[B] 本発明の原理

本発明に係るセンサでは、光てこが重要な役割を果たす。この光てこを実現するための柔軟な反射面をどのように作るかがポイントとなる。反射面自体の変形前後で異なる反射像が得られるという柔軟な反射面の性質を用いることにより、その変位を計測することにより反射面自体の変形を、幾何光学を用いて求める。以降はこれら各要素について詳述する。

【 0 0 3 2 】

[B - 1] 反射条件

光てこ方式とは、反射の特性を利用することにより、カンチレバーなどの先端にレーザなどの光源を照射し、反射面の変位を拡大する方式のことをいう。柔軟な反射面として、一つの好ましい実施態様では透明なシリコーンゴムを用いる。図 3 のようなシリコーンゴムと空気との境界を考えると、それぞれの屈折率を n_s 、 n_a として、入射角、屈折角を ϕ_s 、 ϕ_a とおくと、シリコーンゴムが空気と接する境界における屈折率の分布から、式 (1) を満たすとき全反射をおこし、この界面が反射面としての反射特性を持つこととなる。この鏡面反射特性を利用することにより、柔軟な反射面を持つセンサを構成する。

【 数 1 】

$$\phi_s > \arcsin\left(\frac{n_a}{n_s}\right) \quad (1)$$

【 0 0 3 3 】

[B - 2] 反射像の変形

光学式センサとしてカメラを用いるものの中には、マーカを追跡することにより変形を捉えるものがある（特許文献 1）。しかしこれらはマーカの解像度によってセンサの解像度も制約をうけてしまう。これに対して、本発明に触覚センサは、光てこ柔軟な反射面を

組み合わせて用いることで、カメラの解像度を最大限に利用することが可能である。

【0034】

図1に示すように画像パターン2とカメラ3、透明弾性体1としての透明シリコーンゴムを配置することにより、画像パターン2からの散乱光が透明弾性体1の第1面10（反射面4）で反射し、カメラ3に結像する。このとき、透明シリコーンゴムに接触対象5が触れることによって、透明弾性体1の第1面10（反射面4）が変形する。反射面4が変形を起こすと、画像パターン2の反射像が変形する。この変形から逆問題を解くことにより反射面4自体の変形を測定する。これにより、反射像の全てが情報を持つことになり、カメラの解像度を最大限に利用することができる。

【0035】

[B-3]幾何光学

図3に示すように、撮影対象となるパターンが平面状（ $P_0 P_1 P_2$ ）に配されているとき、このパターンのある面をパターン面と名付ける（画像パターンからの入射光が入射する面であり、図1の触覚センサにおいて第2面11がパターン面を構成する。）。パターン面と反射面のなす角を θ_0 、撮像面と反射面のなす角を θ_1 とする。

【0036】

変形前に平面 $P_0 R_0$ であった面が変形後 P_0 から l の距離にある Q_1 が d 沈みこみ、 θ_1 傾いているとする。同様に P_0 から $l + \Delta l$ の距離にある Q_2 が $d + \Delta d$ 沈みこみ、 θ_2 傾いているとする。このとき、 $P_1 Q_1 R_1$ 、 $P_2 Q_2 R_2$ と像が映るときを考え、カメラに入射する光線群がパターン面では θ_1 、 θ_2 、撮像面では θ_1 、 θ_2 傾いているとする。 Q_1 、 Q_2 における反射面の傾きが α_1 、 α_2 と連続的に変化するとき、 Q_1 、 Q_k で表される高さ変位 d は

【数2】

$$\begin{aligned} \Delta d &= \int_b^{\Delta l} \tan\left(\theta + \frac{\Delta\theta}{\Delta l}l\right) dl \\ &= \frac{\Delta l}{\Delta\theta} \log\left(\frac{\cos\theta}{\cos(\theta + \Delta\theta)}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

で表される。

【0037】

また、反射面における入射角と反射角の対称性から、

【数3】

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \beta_1 - 2\theta_1 \\ \alpha_2 &= \beta_2 - 2\theta_2 \end{aligned} \quad (3)$$

次に l で $m = P_0 P_1$ 、 $w = R_0 R_1$ を表す。

10

20

30

40

【数4】

$$\begin{aligned}
 m &= \sqrt{l^2 + d^2} \frac{\cos \alpha_1}{\cos(\alpha_1 - \alpha_0)} \\
 w &= \sqrt{l^2 + d^2} \frac{\cos \beta_1}{\cos(\beta_1 - \beta_0)} \\
 L_0 &= l + l'
 \end{aligned} \tag{4}$$

10

と表せる。

【0038】

[B-4] 反射面の再構成

本発明の触覚センサにおいて測定できる量は m , w , α_1 , β_1 であり、既知の量は L_0 , α_0 , β_0 である。求めたい量は d , l の分布である。式(2)より、 α_1 , β_1 がわかれば d が構成でき、 α_0 , β_0 がわかれば l , d を再構成できる。

【0039】

ここで、

【数5】

$$\Delta\alpha \equiv \alpha_1 - \alpha_0 \tag{5}$$

20

とし、 $\Delta\alpha$ として2次のテイラー展開から α_1 を表すと、式(4)より、

【数6】

$$\Delta\alpha = \frac{\left(\pm \sqrt{\frac{- (d^2 + l^2) \cos \alpha_0 \sin \alpha_0}{(d^2 + l^2)^2 \cos^2 \alpha_0 \sin^2 \alpha_0 - (m^2 - (d^2 + l^2) \cos^2 \alpha_0)}{(-m^2) + (d^2 + l^2)(\cos^2 \alpha_0 - \sin^2 \alpha_0)}} \right)}{(-m^2) + (d^2 + l^2)(\cos^2 \alpha_0 - \sin^2 \alpha_0)} \tag{6}$$

30

また、式(3)、(5)、(6)より、

【数7】

$$\theta_1 = \frac{1}{2}(\beta_1 - (\alpha_0 + \left(\pm \sqrt{\frac{- (d^2 + l^2) \cos \alpha_0 \sin \alpha_0}{(d^2 + l^2)^2 \cos^2 \alpha_0 \sin^2 \alpha_0 - (m^2 - (d^2 + l^2) \cos^2 \alpha_0)}{(-m^2) + (d^2 + l^2)(\cos^2 \alpha_0 - \sin^2 \alpha_0)}} \right))) \tag{7}$$

40

となる。式(2)において、 Q_n を n 番目の特徴点とし、 n 番目の d を d_n と表すと、境界面の連続性から、

【数8】

$$\Delta d_n \cong \Delta d_{n+1} \quad (8)$$

を仮定する。これにより式(2)は下記のように表せる。

【数9】

$$\Delta d_{n+1} = \frac{\Delta l_n}{\Delta \theta_n} \log\left(\frac{\cos \theta_n}{\cos(\theta_n + \Delta \theta_n)}\right) \quad (9)$$

10

$l = 0$ と $l = L_0$ では $d = 0$ を仮定することができるので、式(6)より l_n を求め、(7)より θ_n を求めることができる。得られた θ_n から d_n を求め、式(9)を用いることで d_{n+1} を算出する。これを漸次繰り返すことにより、 d の分布 d_n を求める。

【0040】

[C] シミュレーション

上述の幾何光学に基づき、シミュレーションによってその精度を確認する。なお、変形する形状は横軸1637 [pixel] に対し縦軸13 [pixel] 程度の大きさである(図4)。

【0041】

図4で示すような曲面を上下反転したものを反射面として想定し、 $\theta_0 = \theta_N = \pi/4$ 、カメラ中心を無限遠として $l_1 = l_2 = l_0$ 、 $L_0 = 1637$ [pixel] とする。このとき、変形の中心を通る軸におけるパターン面上の離散点 P_n ($n = 0 \dots N$) が反射面により撮影面(画像パターンからの反射光が出射する面であり、図1の触覚センサにおける第3面12)上で写る点 R_n ($n = 0 \dots N$) を順問題として計算する。このようにして計算された P_n 、 R_n を用いて、角度分布 θ_n 、深度分布 d_n を式(7)、(9)を用いて近似解として逆問題を解く。この計算結果が図5、図6である。

20

【0042】

実線がもとの反射面形状であり、- は l 、 d を $l = 0$ から上昇系列で加算したもの、 $l = L_0$ から下降系列で加算したものである。図5より、 d の分布はほぼ正確にトレースできていることがわかる。また、位置についてはおおまかな形状はトレースできている。なお、誤差率(誤差/真値)は全域で1%程度におさえられている。また、反射面に微分不可能点があっても問題なく測定可能であることを示す。

30

【0043】

[D] 実装

上述のシミュレーションに基づき、実際のシステムを構築し、動作を確認する。

[D-1] シリコンゴムと格子模様

透明なシリコンゴムとして、付加重合型のシリコン(信越化学:透明シリコンRTVゴム)を用いる。透明シリコンゴムの形状は、図1に示すものと同様である。画像パターンとして、画像パターンを紙に印刷したものをパターン面(画像パターンからの入射光が入射する面であり、図1における第2面11)に貼り付けたものを用いる。このようにして柔軟な反射面を持つ触覚センサを作成する。作成された柔軟な反射面を写すカメラを適切に設置して固定する。

40

【0044】

[D-2] 実験

実装されたセンサを用いて実環境での測定を行う。図7A、図7Bに示すように鉛筆の先端をセンサ面に当て、約0.2 [mm] 押し込んだ状態を測定した。実験で用いた像取得要素は、CCDカメラである。

【0045】

画像パターンとして格子パターンを用いた。このときの中心部の縦一列の格子点を特徴点として対応をとり、理論式に基づき形状を復元した。図8は上昇系列と下降系列の平均を

50

示す。今回用いた格子パターンは2.5 [mm]幅、取得画像サイズは625 x 392 [pixel]、画像における格子の数は縦16個であるから、1[pixel]は0.1[mm]とみなすことができ、平均系列のピーク値は真値に近い値を示している。

【0046】

上昇系列においては $l = 0$, L_0 、下降系列においては $l = 0$, L_0 が真値に近い。測定される誤差は繰り返し計算によって回避できると考えられる。

【0047】

[E] 本発明の特徴

従来用いられてきた触覚センサは配線の問題や、センサ自身の配置など、複雑な構成を要することが多く、触覚センサとしてセンシングできる情報も力センサなら力のみを測定する、といったように一義的なものが大半を占めていた。本発明では透明弾性体と画像パターンとカメラという、大変単純な構成を用いながら、多くの情報、高精度な情報をセンシングできることが特徴としてあげられる。以下に、本発明の特徴をより詳細に説明する。

10

【0048】

[E-1] 耐破壊性

従来の触覚センサにおいては、センシングに使われる素子を触覚測定点に配置せねばならず、繰り返し測定によりセンサ自身の劣化は不可避である。これに対して本発明では、触覚測定点に存在するものは透明弾性体のみであるため、劣化に対して格段に強くなる。また物理信号を電気信号に変換するセンサ素子そのものが測定点に存在しないため、測定点部分が傷ついたとしても測定点部分にある透明弾性体の交換が容易かつ廉価である。

20

【0049】

[E-2] 省配線化

全てのセンシングは画像パターンとカメラで行われるため、画像パターンおよびカメラへの配線のみで、センサ面すべてのセンシングが可能になる。

【0050】

[E-3] 光てこの利用

光てこは反射面と光線を利用することにより、変位を拡大して計測する技術であるが、本発明では柔軟な反射面を構成することにより、反射面の歪みを、光てこを用いて計測することを可能にした。光てこにより歪みは拡大され、高解像度をもつセンサを構成することができる。

30

【0051】

[E-4] 接触状態と形状分布の計測

本発明では、透明弾性体と空気（例えば）との界面での屈折率分布により起こる反射現象を利用して反射面を構成する。そのため、反射面の条件を満たす部分とそうでない部分で挙動が変化する。すなわち図9に示すように、接触部位周辺では界面が反射面として動作し、虚像の歪みから接触による変形が測定され、この情報から形状分布が計算される。同時に条件を満たさない部分では接触対象自体とセンサの接触状態が実像として観測される。これは指を押しつけたときを例にとると、指による押し付けがどのような力分布を与えて変形をおこすかを周辺で測定し、同時に接触している指紋形状を中心に測定することにあたる。

40

【0052】

[E-5] カメラ解像度の活用

従来のカメラを利用した触覚センサ（特許文献1参照）では、主に弾性体内部にマーカとして点列や格子列を配し、このマーカの移動を、カメラを用いてセンシングしていた。そのため、センシングに用いられる情報は点列や格子列により制限され、カメラ自体の解像度の全てを活かしているとは言えなかった。これに対して本発明では反射像を用いることでカメラに入る全ての画像から情報をとりこむことができる。これによりカメラの解像度を最大限活用したセンサを構成する。

【0053】

[E-6] 動的パターンによるフィードバック計測

50

画像パターンは静的な画像パターンに限定されるものではなく、動的な可変の画像パターンでもよい。例えば、画像パターンを液晶ディスプレイ(LCD: Liquid Crystal Display)を用いて生成することで、フィードバックを用いた計測が可能になる。すなわち、反射面の変形に伴う画像パターンの虚像の歪みをなくすようにもとの画像パターンを表示させることで零位法を用いた計測を可能にする。

【 0 0 5 4 】

[E - 7] 薄型化、処理の高速化

本発明では透明弾性体と空気の界面における反射像を取得することでセンサを構成している。同様の界面はパターンからの経路と、カメラまでの経路にも存在する。ここで反射を起こさないためにカメラとパターンに並行な状態でそれぞれの界面を構成する必要がある。このために本発明の触覚センサの本体はプリズム形状をしているが、このプリズム形状は薄型に構成することができる。図10に薄型のセンサ本体の態様を例示する。図10では、センサ本体は、一方の面が、柔軟な反射面4を構成する第1面10である板状の透明弾性体1と、一方の面が複数の第2面11'、複数の第3面12'を交互に配設することで構成されている透明板状体1'と、からなり、板状の透明弾性体1の他方の面と、透明板状体1'の他方の面とを貼着することで構成されている。複数の第2面11'の群が画像パターン2からの光線が入射する面を構成し、複数の第3面12'の群が反射面4からの反射光が射出する面を構成している。図1における第2面11、第3面12を、それぞれ、複数の第2面11'の群、複数の第3面12'の群、から構成することで、センサ本体の厚さを薄くすることを可能としている。複数の第2面11'の群を構成する各第2面11'は同じ角度で延出している。複数の第3面12'の群を構成する各第3面12'は同じ角度で延出している。第2面11'と第3面12'は図示の例では、互いに直交する方向に延出している。

【 0 0 5 5 】

図11は、図10に示す触覚センサに採用される画像パターンと像取得要素の態様を例示するものである。図10において、複数の第2面11'の群は、上記のパターン面を構成し、複数の第3面12'の群は、上記の撮影面を構成する。反射面4からの反射光が射出する面を構成している。図11に示すように、第2面11'に接触あるいは近接させて短冊状の発光要素2'を設け、複数の短冊状の発光要素2'から画像パターンを構成する。短冊状の発光要素2'としては、短冊状のLCDや、LED(Light Emission Diode)等の発光素子が例示される。図11の触覚センサにおいて、第3面12'に接触あるいは近接させて像取得要素3'を設ける。図11において、カメラの代わりに採用される像取得要素3'としては、ラインCCD(Charge Coupled Device)やPD(Photo Detector)が例示される。また、LEDやPDは時間方向に分解能が高いため、これらを使用することにより、センシング処理を大幅に高速化することが可能となる。

【 0 0 5 6 】

[E - 8] 非接触観察

触覚センサとは接触状態を測定するセンサであるが、本発明の触覚センサではカメラ、透明のセンサ本体を用いることにより、非接触での観察も可能になる。したがって、本発明の触覚センサは、非接触状態、接触状態を通して対象を観察することができる。図12、図13に非接触観察の例を示す。図12では直接に非接触状態を観察する。図13ではパターン面(画像パターンからの入射光が入射する面であり、図1における第2面11)での反射を利用して非接触状態を観察する。

【 0 0 5 7 】

[E - 9] 視覚ディスプレイとの併用

本発明の触覚センサでは透明弾性体を用いることにより、光学的に自由度の高いセンサとなっている。つまり、他の光学デバイスとのさまざまな組み合わせが可能となる。一例として、視覚ディスプレイと組み合わせた構成を図14に示す。センサ面に布状のスクリーン素材を設置し、裏からプロジェクタにより投光する。背面から投影することにより、触覚入力の際に自身の指の影ができる等の問題も発生しない。スクリーン素材は軽量であり

、接触は離散的なため、変形のセンシングに大きな影響を与えることはない。これにより、触覚による入力と視覚的出力をもつ、インタラクティブなヒューマンインターフェイスデバイスとしても利用することができる。

【産業上の利用可能性】

【0058】

本発明は触覚センサとして産業上利用可能であり、具体的には、ロボット産業における触覚センサ、衣類等の製品の肌ざわりを数値化する触覚センサ、ユーザインターフェイスとしての触覚センサが例示される。

【図面の簡単な説明】

【0059】

【図1】本発明に係る触覚センサの概略図である。

【図2】スネルの法則を示す図である。

【図3】センサ断面における幾何光学を示す図である。

【図4】シミュレーションにおける針状変形を示す図である。

【図5】シミュレーションにおける角度分布を示す図である。

【図6】シミュレーションにおける変位分布を示す図である。

【図7A】触覚センサのシリコーンゴムを鉛筆の先端で変形させる様子を示す図である。

【図7B】図7Aにおける取得画像を示す図である。

【図8】実験における復元結果を示す図である。

【図9】接触状態と形状分布を説明する図である。

【図10】触覚センサの薄型化を示す図である。

【図11】触覚センサの薄型化を示す図である。

【図12】触覚センサを用いた非接触観察を示す図である。

【図13】触覚センサを用いた非接触観察を示す図である。

【図14】触覚センサと視覚ディスプレイとの併用を示す図である。

【図15】触覚センサの他の形態を示す図である。

【符号の説明】

【0060】

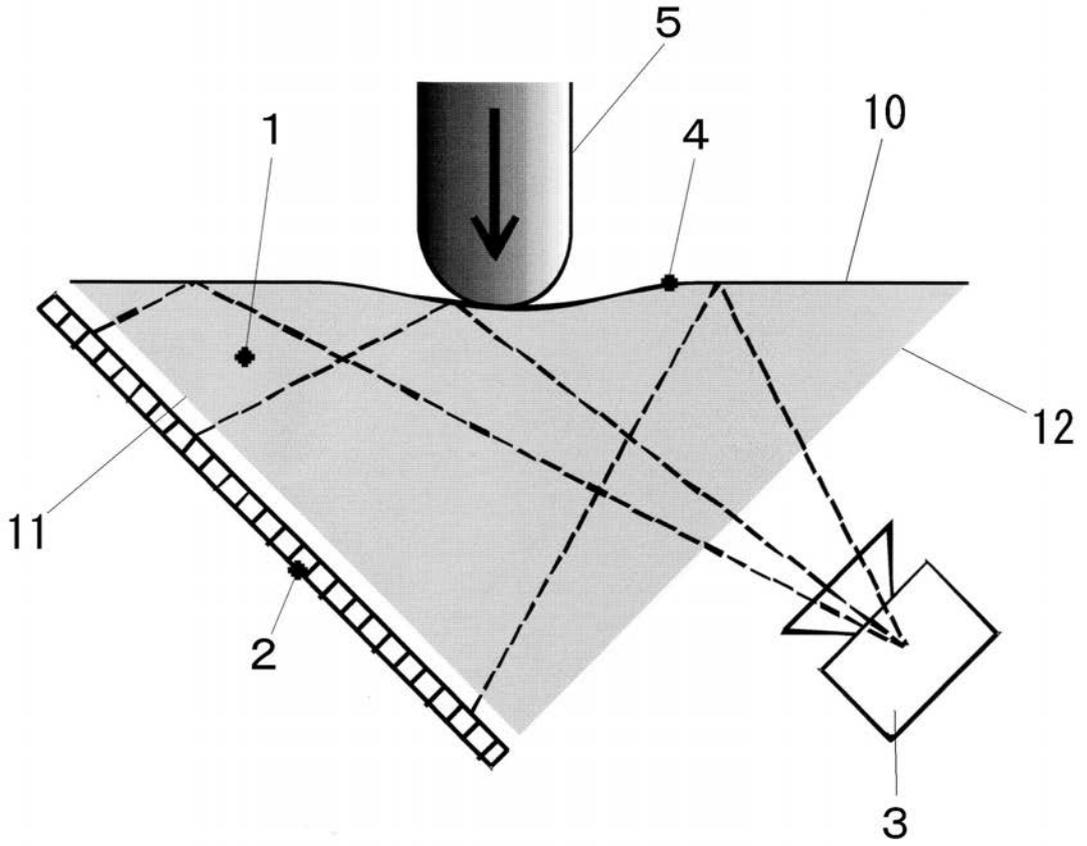
- 1 透明弾性体
- 2 画像パターン
- 3 カメラ
- 4 反射面
- 5 対象物

10

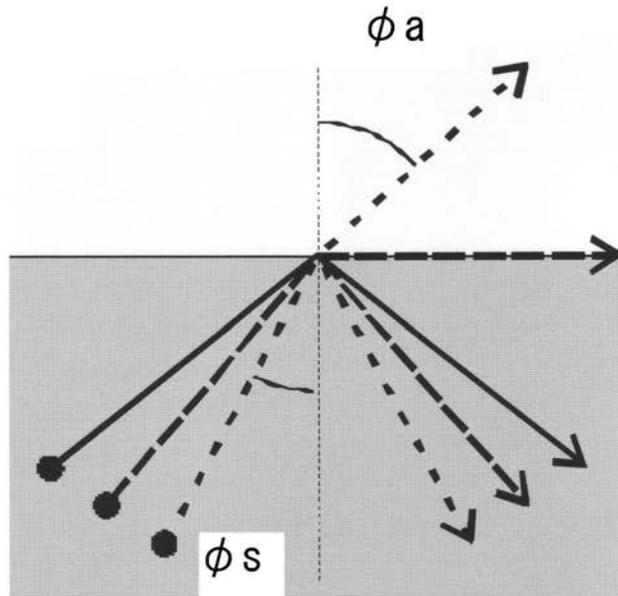
20

30

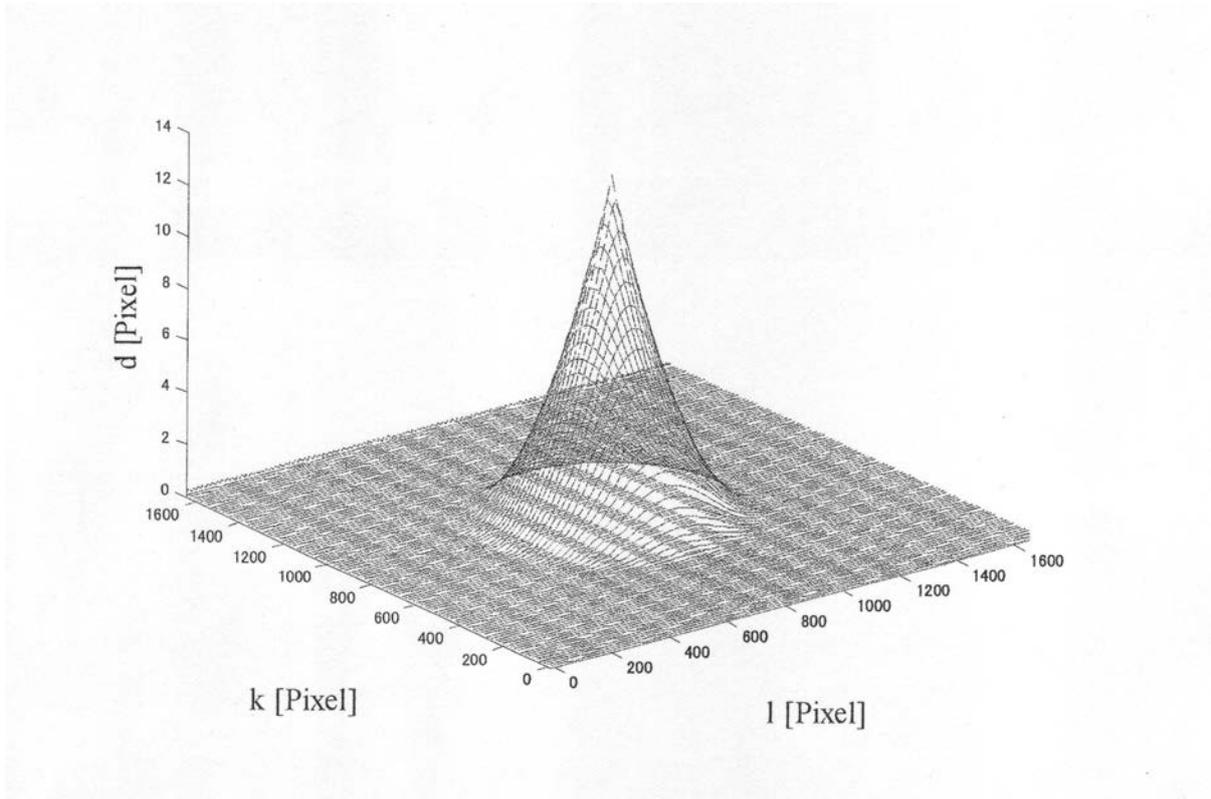
【図1】



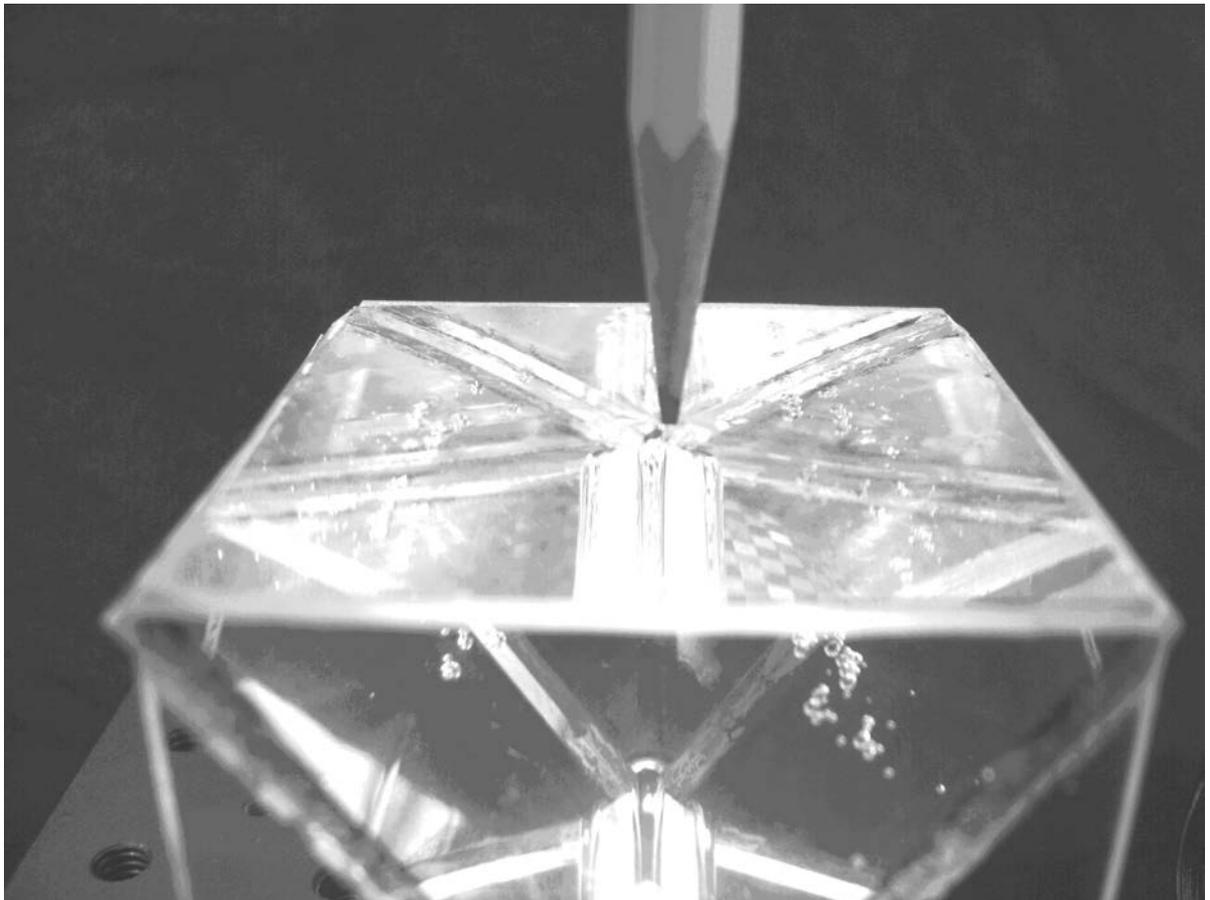
【 図 2 】



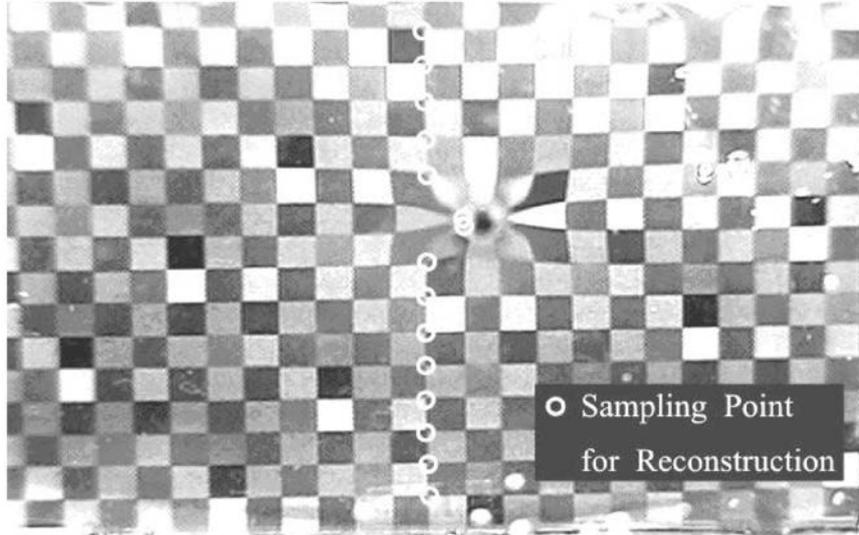
【 図 4 】



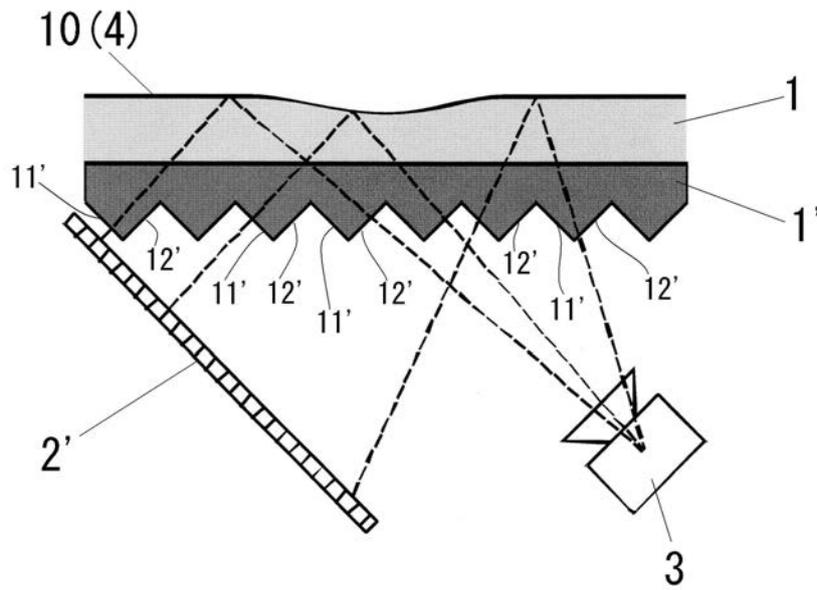
【 図 7 A 】



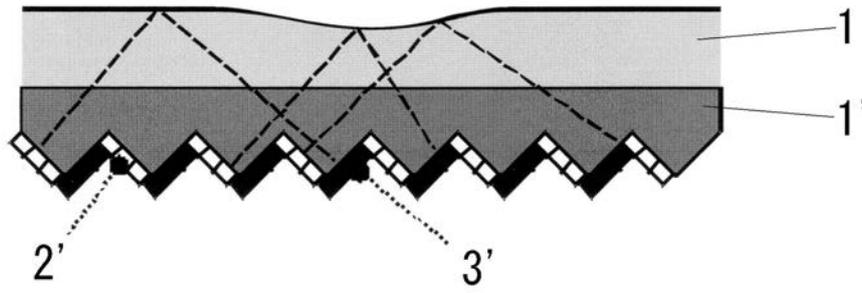
【 図 7 B 】



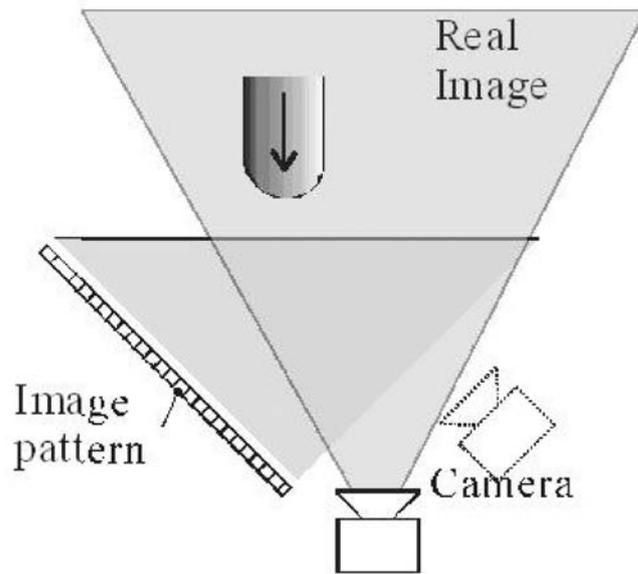
【 図 1 0 】



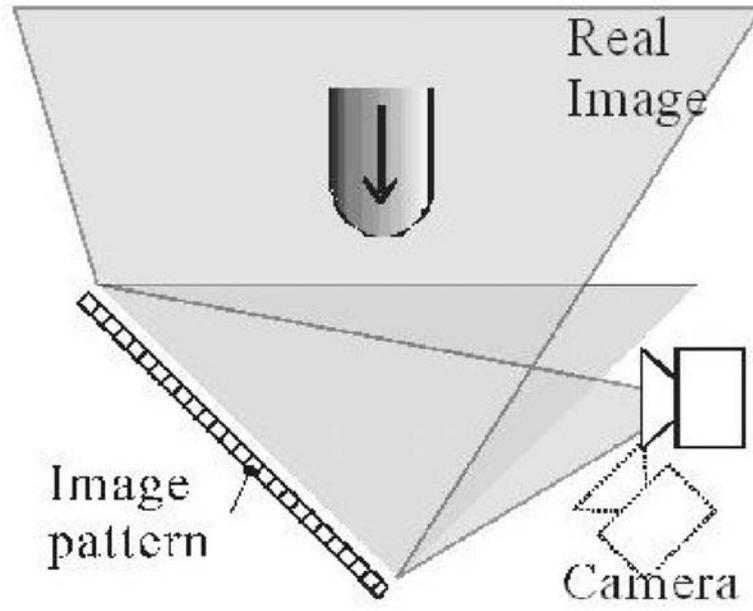
【図 11】



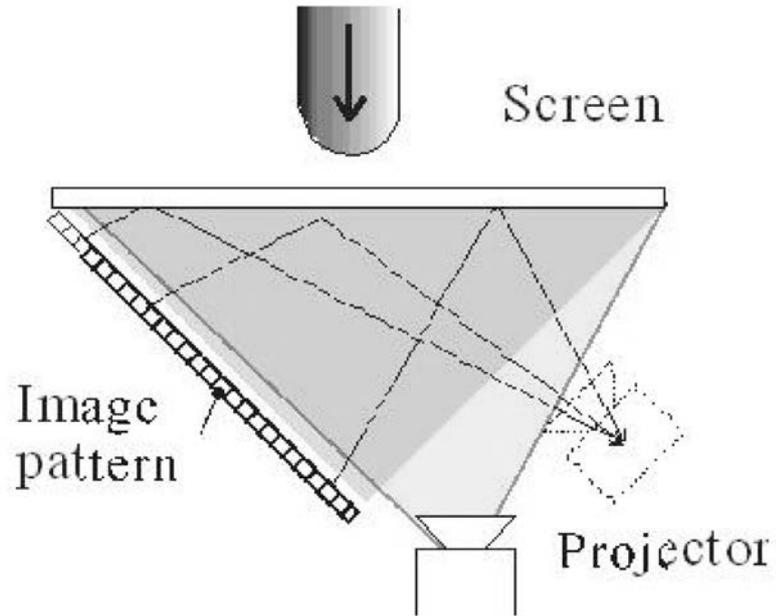
【図 12】



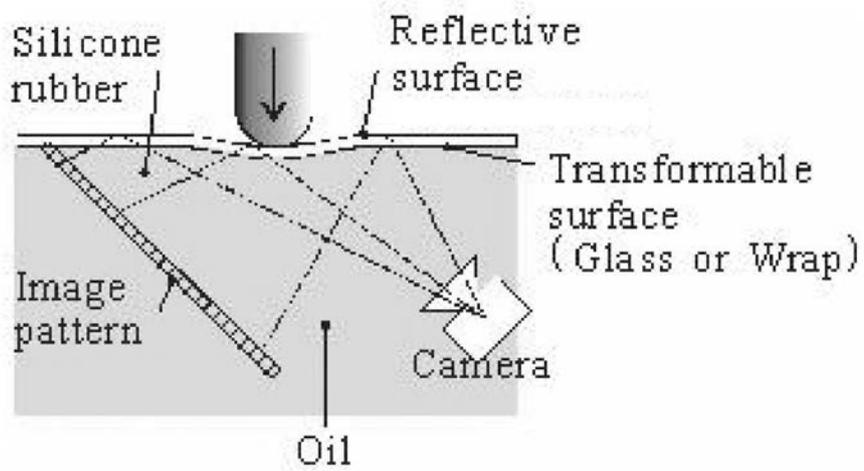
【 図 13 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

審査官 續山 浩二

- (56)参考文献 実開昭60-061632(JP,U)
特開平05-018905(JP,A)
特開平08-233558(JP,A)
特開平05-288533(JP,A)
特開平11-237216(JP,A)
特開昭62-085818(JP,A)
国際公開第02/018893(WO,A1)
特開2003-296716(JP,A)
特開2004-233298(JP,A)
特許第3083844(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 1/04
G01L 5/00