

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4100615号
(P4100615)

(45) 発行日 平成20年6月11日(2008.6.11)

(24) 登録日 平成20年3月28日(2008.3.28)

(51) Int.Cl.		F I			
G O 1 L	5/00	(2006.01)	G O 1 L	5/00	I O 1 Z
B 2 5 J	19/02	(2006.01)	B 2 5 J	19/02	

請求項の数 32 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2002-523568 (P2002-523568)	(73) 特許権者	899000024
(86) (22) 出願日	平成13年8月30日(2001.8.30)		株式会社東京大学 T L O
(86) 国際出願番号	PCT/JP2001/007462		東京都文京区本郷七丁目3番1号
(87) 国際公開番号	W02002/018893	(74) 代理人	100103137
(87) 国際公開日	平成14年3月7日(2002.3.7)		弁理士 稲葉 滋
審査請求日	平成17年3月2日(2005.3.2)	(72) 発明者	館 ▲すすむ▼
(31) 優先権主張番号	特願2000-264407 (P2000-264407)		茨城県つくば市梅園2丁目31番14号
(32) 優先日	平成12年8月31日(2000.8.31)	(72) 発明者	梶本 裕之
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		神奈川県横浜市戸塚区下倉田町828-362
		審査官	松川 直樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学式触覚センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

触覚部と撮像手段とを備えた光学式触覚センサであって、該触覚部は透明弾性体と該弾性体内に設けた複数のマーカー群とから構成されており、各マーカー群はそれぞれ多数の有色マーカーから構成されており、異なるマーカー群を構成するマーカーは群毎で互いに異なる色を有しており、該弾性体に物体が接触した際の該弾性体内の該有色マーカーの振る舞いを該撮像手段で撮影するように構成したことを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項2】

請求の範囲1において、前記マーカーの振る舞いは、マーカーの変位、ひずみ、傾きの少なくともいずれか一つ以上を含むことを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項3】

請求の範囲1, 2いずれかにおいて、該マーカー群は互いに異なる空間的配列を有していることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項4】

請求の範囲3において、複数のマーカー群は、該弾性体内で積層状に配設されていることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項5】

請求の範囲3において、複数のマーカー群は、該弾性体内で互いに交差するように配設されていることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項6】

10

20

請求の範囲 4 において、該マーカ一群を構成するマーカは球状の微細小片であり、各層のマーカ一群を構成する球状マーカは互いに異なる色を有することを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 7】

請求の範囲 6 において、該撮像手段は該触覚部に対して、物体が接触する面とは反対側に配設されており、各層は、該透明弾性体において、物体が接触する面から離隔しながら積層されており、各マーカ一群を構成する球状マーカの分布密度は、該面から離隔するにしたがって低くなることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 8】

請求の範囲 4 において、該マーカ一群を構成するマーカは微小断面を有する微細円筒体あるいは微細円柱体であり、多数の微細マーカが互いに平行状に配設されることでマーカ一群を形成しており、各層のマーカ一群を構成する微細マーカは互いに異なる色を有することを特徴とする光学式触覚センサ。

10

【請求項 9】

請求の範囲 8 において、該微細マーカは、観測方向に沿って延出していることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 10】

請求の範囲 7 において、該マーカ一群を構成する該マーカは薄肉帯片であり、多数の帯片マーカが互いに平行状に配設されることでマーカ一群を形成しており、各マーカ一群を構成する帯片マーカは互いに異なる色を有することを特徴とする光学式触覚センサ。

20

【請求項 11】

請求の範囲 10 において、該マーカ一群は、該弾性体内に埋設された二つのマーカ群であることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 12】

請求の範囲 11 において、各マーカ一群を構成する帯片マーカは互いに直交していることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 13】

請求の範囲 10 乃至 12 において、該帯片マーカの面部は、観測方向に沿って延出していることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 14】

30

請求の範囲 13 において、該帯片マーカの複数の面部には、それぞれ異なる色が設けられていることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 15】

請求の範囲 10 乃至 12 において、該帯片マーカの面部は、観測方向に対して傾斜状に延出していることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 16】

請求の範囲 3 において、該触覚部は観測方向に対して対向して配設された複数の平面マーカを有し、該平面マーカは常時は隠蔽マーカによって隠蔽されており、該平面マーカは複数の部位に区画されており、各区画には互いに異なる色が付してあり、各平面マーカにおける同色を有する区画が前記マーカ一群を構成することを特徴とする光学式触覚センサ。

40

【請求項 17】

請求の範囲 16 において、該平面マーカと該隠蔽マーカとは、互いに間隔を存して該透明弾性体に設けてあると共に、該透明弾性体に力が作用しない状態においては該平面マーカが隠蔽されて観測されないように構成されていることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 18】

請求の範囲 3 において、各マーカ一群は同じ方向に延出する複数の面の群から構成されており、該面の延出方向および色は、各マーカ一群毎で互いに異なることを特徴とする光学式触覚センサ。

50

【請求項 19】

請求の範囲 18 において、各マーカー群の面群を構成する面は互いに間隔を存して配設されており、あるマーカー群の面群を構成する面の間には他のマーカー群の面群を構成する面が配設されていることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 20】

請求の範囲 19 において、各面の端縁は隣接していることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 21】

請求の範囲 18 乃至 20 いずれかにおいて、該触覚部は二つのマーカー群を有することを特徴とする光学式触覚センサ。

10

【請求項 22】

請求の範囲 21 において、各マーカー群の面群は接触面に対して互いに異なる方向に延出する傾斜面を有すると共に、観測方向から見た時に、全ての面は互いに平行状に延出していることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 23】

請求の範囲 18 乃至 20 いずれかにおいて、該触覚部は三つのマーカー群を有することを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 24】

請求の範囲 18 乃至 23 いずれかにおいて、各マーカー群を構成する各面の端縁は隣接することで階段面を構成していると共に、それぞれ異なる色のみを通過する色フィルタから構成されており、該階段面は導光路膜を介して物体に接触するように構成されており、物体との非接触時には該階段面と該導光路膜とは接触しておらず、物体との接触時に該階段面と該導光路膜とが接触を開始し、該導光路内に充満していた白色光が該階段面の色フィルタを通して色つきの光として撮像されることを特徴とする光学式触覚センサ。

20

【請求項 25】

請求の範囲 1 において、さらに光源を含むことを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 26】

請求の範囲 1 において、該撮像手段は、該透明弾性体の物体が接触する側とは反対側に位置して配設されることを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 27】

請求の範囲 1 において、該マーカーは弾性部材から形成されていることを特徴とする光学式触覚センサ。

30

【請求項 28】

請求の範囲 1 において、該弾性体の部分が該有色マーカーを構成することを特徴とする光学式触覚センサ。

【請求項 29】

透明弾性体と該弾性体内に設けた複数のマーカー群とから構成されており、各マーカー群はそれぞれ多数の有色マーカーから構成されており、異なるマーカー群を構成するマーカーは群毎で互いに異なる色を有していることを特徴とする光学式触覚センサ用の触覚部。

【請求項 30】

請求の範囲 29 において、該マーカー群は互いに異なる空間的配列を有していることを特徴とする触覚部。

40

【請求項 31】

触覚部と撮像手段とを備えた光学式触覚センサによるセンシング方法であって、該触覚部は透明弾性体と該弾性体内に設けた複数のマーカー群とから構成されており、各マーカー群はそれぞれ多数の有色マーカーから構成されており、異なるマーカー群を構成するマーカーは群毎で互いに異なる色を有しており、該弾性体に物体が接触した際の該弾性体内の該有色マーカーの振る舞いを該撮像手段で撮影して画像処理し、該弾性体内の該有色マーカーの移動ベクトルを検出することで複数の自由度の触覚情報を得ることを特徴とするセンシング方法。

50

【請求項 3 2】

請求の範囲 3 1 において、互いに異なる色を有する複数の有色マーカがある場合に、ある有色マーカのみを選択して個別に捉えることを特徴とするセンシング方法。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、光学式触覚センサに係り、好ましくは、ロボットハンド用の触覚センサ等に用いられる触覚センサに関するものである。

背景技術

触覚センサによって接触面の接触状態を知ること考える時、接触面の各点にかかる力は大きさと方向を持った三成分のベクトルである。これを図 10 の座標系で $f(x, y)$ と表すことにする。ただし f はベクトルであるため、実際には各点において x, y, z 3 成分を持つ。それぞれの成分を明示的に示す場合には $f(x, y) = [f_x(x, y), f_y(x, y), f_z(x, y)]$ と表す。

力分布が各接触点において 3 成分を持つことから、触覚センサによって接触面の力分布を再構成するためには少なくとも接触面の各点に対して三自由度以上の情報を得なければならない。しかし実際に使われている面型触覚センサの多くは、例えば導電性ゴムを用いた場合のように、接触面の各点で高々一自由度の情報しか得ていない。このため、大体の力のかかり具合とその分布を知ることが出来ても、その力が例えば面に対して垂直なのか、水平にかかっているのかを判別することが難しい。知りたい情報の量に対して 1 / 3 の情報しか得ていないためである。

一方、具体的なセンシング手段としては光学式の触覚センサが近年注目を集めている。この方式では従来のように応力を直接測定する機械的な素子（ピエゾ素子等）を使うのではなく、センサ本体は透明な弾性体とその内部に埋め込んだ何らかの力によって光学的な振る舞いを変化させるマーカで作成する。そしてマーカの振る舞いを CCD 素子等の撮像系で撮影することにより、接触面の状態を推定しようというものである。この利点としては、近年の撮像素子の発達により、機械的なものよりはるかに安価に、高密度な触覚センサを構成しうるという点が挙げられる。しかしこの方式においても、多くの場合この情報は上下変位量が圧力であり、前述の情報量の欠落の問題は解消されていない。従来光学式触覚センサも、やはり一種類の情報（一次元の情報）のみ引き出しているに過ぎないものである。

本発明は、かかる従来の触覚センサの不具合を解決するべく創案されたものであって、光学式触覚センサに色、すなわち光スペクトルを利用した多チャンネルのセンシングを導入することで面の各点で複数自由度の情報を得ることができる触覚センサを提供することを目的とするものである。

発明の開示

本発明は、かかる課題を解決するために創案されたものであって、触覚部と撮像手段とを備えた光学式触覚センサであって、該触覚部は透明弾性体と該弾性体内に設けた複数のマーカ群とから構成されており、各マーカ群はそれぞれ多数の有色マーカから構成されており、異なるマーカ群を構成するマーカは群毎で互いに異なる色を有しており、該弾性体に物体が接触した際の該有色マーカの振る舞いを該撮像手段で撮影するように構成したものである。該有色マーカの振る舞いを撮影することで、該弾性体に物体が接触した際における該有色マーカの変位、ひずみ、傾きの少なくとも一つ以上を観測する。接触対象がセンサに接触した時の有色マーカの情報から、透明弾性体内部のひずみ情報、さらにそこから計算された接触対象の形状や接触界面（弾性体の面、接触対象の面の双方を含む）に働く力の情報を検出するものである。本発明によれば、複数種類の情報を「色分け」というシンプルな方法によって個別に採集でき、光学式で複数種類の触覚情報を同時に得ることができる。そして、本発明によれば、「色分け」によって未知数の数以上の独立の観測値を集め、逆問題を安定に解くことによって、力ベクトルを推定して再構築することができる。

有色マーカは撮像手段、一つの好ましい例では CCD カメラ、によって撮影され、画像

10

20

30

40

50

処理される。例えば、物体接触時とそれ以前の状態（透明弾性体に外力が作用していない状態）の画像を比較し、マーカーの移動量を検出する。あるいは、常時（透明弾性体に外力が作用していない状態）では、マーカーが認識できないような配設態様でマーカーを透明弾性体に埋設しておき、透明弾性体に物体が接触した時に各マーカー存在位置周辺におけるひずみにより生じるマーカーの変位、変形、傾きに応じてマーカーが認識されるように構成し、有色マーカーの見え方等から情報を検出する。

該撮影手段は、一つの望ましい態様では、該透明弾性体の物体が接触する側とは反対側に位置して配設される。また、互いに異なる色を有する複数の有色マーカーがある場合に、ある有色マーカーのみを選択して個別に捉えることで撮影後の処理の便宜を図ることが望ましい。有色マーカーの選択は、例えば、カラーフィルタを用いることで行なう。

10

一つの好ましい態様では、該透明弾性体には、複数のマーカー群が埋設されており、各マーカー群はそれぞれ多数のマーカーから構成されており、異なるマーカー群を構成するマーカーは群毎で互いに異なる色を有しており、さらに、該マーカー群は互いに異なる空間的配列を有している。この異なる空間的配列の例としては、該弾性体の肉厚内で積層状に配設された複数のマーカー群、あるいは、互いに交差するように配設された複数のマーカー群が挙げられる。こうすることで、得られた画像が既にある情報処理（例えば、ある種の二次元情報を提供する）をしている状態となる。これらの好ましい形態については、実施の形態の欄において詳述する。

有色マーカーの形状は特に限定されないが、好適な例を挙げると球状、円筒状、円柱状、帯片状、平面状の形状が考えられ、これらの形状に関連する好ましい態様については、

20

実施の形態の欄において詳述する。

発明の実施するための最良の形態

本発明の基本的な構成について説明する。図1は本発明に係る光学式触覚センサ装置の原理図であり、センサ装置は、透光性弾性部材からなる透明弾性体1を備えており、透明弾性体1には有色マーカー2が埋設されており、透明弾性体1と有色マーカー2とで触覚部を構成している。透明弾性体1に物体3が接触すると、透明弾性体1の内部に設けられた有色マーカー2が変位あるいは歪みを起こすように構成されている。センサ装置はさらに、撮像手段としてのカメラ4及び光源5を備えている。光学式カメラ4は、透明弾性体1を挟むようにして、物体3が接触する側とは反対側に位置させて配設されており、マーカー2の変位、歪みをカメラ4で撮影するようになっている。光源5は、導波管（光ファイバ）を用いて導くものであってもよい。

30

透明弾性体1は好ましくはシリコンゴムから形成されるが、他のゴム類やエラストマー等の他の弾性部材から形成されてもよい。マーカーは、好ましくは、弾性部材から形成され、さらに好ましくは、透明弾性体1と同じ材料から構成され、一つの好ましい態様では、シリコンゴムに色素を加えたものから構成される。マーカーによって弾性体本体の変形が阻害されてはならないので、マーカーも弾性部材（好ましくは、弾性体と同等の弾性定数を有するもの）から形成されていることが好ましい。また、マーカーは、弾性体本体の変形を阻害しない程度に十分に微小なものであれば、マーカーの材質は特に限定されない。また、弾性体の部分がマーカーを構成するものであってもよい。

本発明では、透明弾性体1の中に光学的なマーカーを多数分布させ、弾性体1に物体が接触することによる弾性体1の変形によって、該マーカーに変位、ひずみ、傾きが生じる状況をカメラで撮影することにより、接触対象の情報や接触によって引き起こされた弾性体内部の変位、ひずみの情報を検出する。

40

撮影手段としてのカメラは、デジタル式カメラ、すなわち画像データを電気信号として出力するカメラであり、一つの好ましい例では、CCDカメラである。もっとも、本発明に係る撮像手段はCCDカメラに限定されるものではなく、例えばC-MOS式イメージセンサを用いたデジタルカメラでもよい。尚、有色マーカーを色によって識別することが本発明のセンサのインテリジェンスを高める最も重要な仕組みの一つであり、撮像素子にカラーフィルタを搭載していることが望ましい。また、撮像素子にカラーフィルタが無い場合でも（この場合光の強度、すなわち白黒画像のみ撮ることになる）、センサ内部に

50

仕組んだ光源として、マーカの反射する色スペクトルに内包されるスペクトルを持つものをマーカの色の種類分だけ用意すれば、各光源を光らせた時に撮った画像は対応するマーカからの発光のみ捉えるため、撮像素子のカラーフィルタと同じ働きをする。上述したことを具体的に説明すると、マーカとしてRed, Green, Blueの3種類用意したとき、これらを個別に捉えるためには、(1)撮像素子のカラーフィルタで分ける(この場合カメラのRGB出力を見ればそのまま各マーカを個別に撮影したことになる)という方法と、(2)撮像素子は光の強度のみ捉え、光源としてRed, Green, Blueを用意する(Redを光らせたときにはRedのマーカからのみ反射光があり、他の二種類のマーカは光を吸収するため、結果的にカメラはRedのマーカのみ捉える。これを時分割でGreen, Blueに対しても行えば(1)と等価な情報が得られる。)という方法の二つが有る。尚、ここで言うRed, Blue, Greenという3色は単なる例示に過ぎず、実際には色スペクトルは無限であり、マーカの「色」(正確には反射光スペクトル)はそれぞれが独立であれば理論的には無数に選べる。

本発明の典型的な態様では、マーカに複数の互いに異なる色を付けることで撮影した映像に多次元あるいは複数自由度の情報を持たせることにある。以下に述べる例は、マーカの存在位置近傍における変位と剪断ひずみを画像情報に変換するものである。

本発明は、有色マーカを用いることを特徴とするが、本発明には、大きく分けて二つの態様がある。一つは、マーカ自体の工夫は少ないが、得られた画像をPC上で処理することにより弾性体の歪情報を得るようにしたものであり、いわゆる画像処理方式であり、後述する第一の実施の形態がこれに該当する。もう一つは、マーカ自体にインテリジェンスを持たせ、得られた画像が既にある弾性体情報になっているものであり、いわゆるインテリジェントマテリアル方式であり、後述する第二、第三、第四、第五の実施の形態がこれに該当する。

[第一の実施の形態]

第一の実施の形態は、球状マーカを深さ方向に並べたものである。図2のように、マーカとして色分けされた球状の微細小片を用い、これを色別に数層に分けて分布させる。例えば、RGB(赤・緑・青)に分けるならば、これをカメラの色フィルタを使うことで層ごとに分離して捉えることは容易である。図示のものでは、弾性体1の物体3が接触する面から一番浅い部分(カメラに遠い側)には赤色の微細球状マーカから構成されるマーカ群2Aが、マーカ群2Aが埋設された層よりさらに深い部分には緑色の微細球状マーカから構成されるマーカ群2Bが、さらに、マーカ群2Bが埋設された層よりさらに深い部分(カメラに近い側)には青色の微細球状マーカから構成されるマーカ群2Cが埋設されている。図2ではカメラは図示されていないが、カメラは、物体3が接触する面とは反対側の面に対向するように配設される。

各層を形成する球状マーカは、層方向(図では上下方向)に互いに重合しないことが望ましく、この状態は、例えば、各層を形成する球状マーカをある程度の密度でランダムに分布させることで得られる。それぞれの画像は、マーカが乱雑に位置されているならば空間的な自己相関の極めて小さい画像(二値化されたいわゆる白色雑音(ホワイトノイズ)画像)であるため、物体接触時とそれ以前との画像を比較し、各地点での画素移動量を求めることが出来る。具体的には事前に撮影した画像と接触後の画像の相関計算を行い、各点の移動ベクトルを検出する。これを行なうためにはマーカはカメラの画素にして1×1以上、10×10以下程度のサイズであることが望ましい。

弾性体1の異なる深さに色の異なる有色マーカを設けたことで、深さ別に水平移動量を測定することが可能となる。また、各層におけるマーカの存在密度は、上層(物体の接触する面からより離隔した側)、すなわちカメラに近い部分ほど小さいことが望ましい。何故なら、第一に上層のマーカは下層のマーカを隠蔽する傾向にあり、これは画像処理として望ましくなく、第二に上層ほど接触表面から離れているために変位の空間周波数が低く、これを計算するために高密度のマーカは必要ないためである。

カメラは望ましくは全ての深度において焦点の合うピンホールカメラないし焦点深度の深いカメラを用いるべきであるが、もし焦点深度の浅いレンズ付きカメラを用いる場合は最

10

20

30

40

50

下層にピントを合わせることが望ましい。何故なら前述のように、上層の変位は空間周波数が低いためこれを捉えるのに高解像度は必要なく、最下層にピントを合わせても、それより上層でのピンぼけは画像処理に事実上影響しないからである。

図11に示す2層のマーカー群を備えたセンサにおいて、マーカーの移動測定による力ベクトル再構成とその結果について説明する。弾性体中に色のついた小球(マーカー)を多数埋め込み、CCDカメラによる撮影によって各点の移動を測定する。このとき測定される移動は水平移動であるために x 、 y の2成分を持つ。よって各マーカーから二自由度の情報を得ることになる。結局移動ベクトルの面分布を得ることが出来る。前述のように力ベクトルは各点で三成分を持つため、上記のような面の各点に対する二成分のみのセンシングでは力ベクトルを再構成には不足である。しかしここで図11のようにマーカーをもう1層用意すると、もう一組の移動ベクトル分布を得ることが出来る。結局面の各点で4つの移動成分を独立に検出できるため、ここから三成分の表面力ベクトル分布を再構成することができる。この層別に埋め込んだマーカー群にそれぞれ異なった色(ここでは赤色と青色)を着色しておくことにより、撮影した画像から各マーカー群を分離し、それぞれの移動ベクトルを別々に計算することが出来る。マーカーは例えば微細なホワイトノイズ(白色雑音)でも、直径数ミリの球でも良い。今回の試作ではマーカーは直径1mm程度のものを使用しており、このため下層のマーカーが上層のマーカーに遮蔽されるという問題が生じ得る。これを回避するために各層のマーカーは互いに重なり合わない位置に配置されている。

図12から図14が実験の結果再構成された力ベクトルである。図12は接触面の中心一点を垂直方向に押した場合であり、図13は同じ点を水平方向に押した場合である。この二つの結果から、少なくとも一点にかかる力がベクトルとして再構成できていることが分かる。図14は接触面を二点で押している場合であり、この結果から面接触している力の分布が再構成されていることがわかる。本方式は原理が単純で製作が容易であるが、画像がそのままでは触覚情報とはなっていないので、画像から計算によって水平移動ベクトルを求めなければならない。しかし近年の計算機の進歩によって計算負荷は実質的に解消され、実際上記の例においては、画像の撮影から力ベクトル分布を求めるまでにかかる時間は100ms以下(Pentium III登録商標 800MHzのPCを使用した場合)であり、この時間は対象とする接触面の面積にほぼ比例する。

第一の実施の形態に係るセンサの好ましい一つの製造プロセスを説明する。(1)まず、有色微細球状マーカーを混ぜ込んだ各層を作る。この場合、マーカーは、センサ本体の変形に対する影響を無くすため、望ましくは本体と同じ弾性体に色素を加えたものにより作成するが、弾性特性が同じ別種材料からマーカーを構成しても良い。また、マーカーのサイズが十分小さくセンサ本体の変形に対する影響が無視できると判断されるのならば、どのような材質であっても良い。マーカーの形は球状であり、このとき作成される層の厚みは望ましくはマーカーの直径と略等しくなる。これにより同一色のマーカーは同一の深さに存在していることが保証される。(2)次いで、各マーカー層10A(マーカーが分布された単位弾性体)と透明層10B(マーカーを有しない単位弾性体)を積層する。弾性体自体に自己接着性がある場合は透明層を接着材として用いることが出来るが、別途弾性体に対する影響の少ない透明な接着材によって張り合わせても良い。図では、三つのマーカー層10Aを示しているが、上述したように、上層から下層に向かって(すなわち、カメラに近い側から遠い側に向かって)、マーカーの分布密度が高くなっている。尚、今後述べるマーカーのサイズは全てアプリケーションとして必要な解像度によって支配される。アプリケーション例としてロボットハンドの触覚センサとして使用する場合を考えると、この球状マーカーの直径は、一つの例では、0.1mm~0.2mm程度である。

[第二の実施の形態]

本発明の第二の実施の形態について図4、図5に基づいて説明する。第二の実施の形態では、マーカーは、微小断面を有する極細円筒体あるいは極細円柱体であり、図示のものでは、マーカーは透明弾性体の厚さ内に垂直状に埋設される。マーカーは、弾性体に接触する物体とカメラとを結ぶ仮想線に沿って延出している。弾性体2には、所定の深さにおい

10

20

30

40

50

て大量のマーカ―を並設することでマーカ―群を構成してあり、マーカ―群は異なる深さに3段に配設されている。

図示のものでは、弾性体1の物体3が接触する面から一番浅い部分には赤色の極細円筒状マーカ―から構成されるマーカ―群20Aが、マーカ―群20Aが埋設された層よりさらに深い部分には緑色の極細円筒状マーカ―から構成されるマーカ―群20Bが、さらに、マーカ―群20Bが埋設された層よりさらに深い部分には青色の極細円筒状マーカ―から構成されるマーカ―群20Cが埋設されている。

図4ではカメラは図示されていないが、カメラは、物体3が接触する面とは反対側の面に対向するように配設される。このように、3段のマーカ―群は、それぞれ異なる色に色分けされており、図示のものでは、青、緑、赤から色分けされているが、マーカ―の色はこれらに限定されるものではなく、カメラが識別できるものであれば、色は限定されない。尚、各層に埋設されたマーカ―群20A, 20B, 20Cを構成する各マーカ―は、各層間で(上下方向に)、互いに重ならないことが望ましい。

マーカ―群を構成する各マーカ―は微小断面を有しているので、常時は、図において上側に配設するカメラから見た時には何も見えない。対象物との接触によってマーカ―位置に剪断ひずみが生じると、それに比例して傾き、上方から見ていると透明弾性体に突如色が付いたように見える。

実施の形態のものでは、マーカ―群が深さ方向に色分けされて並んでいるため、その深さの剪断歪みに応じて色づいていく。理想的には、例えば、単純に物体を弾性体に押し付けた場合には、接触点を中心とした虹模様(図5)が観測される。これは深さに応じた剪断ひずみの変化を表しており、例えば以下に述べるように接触表面に働く応力の垂直方向成分と水平方向成分をそれぞれ分離して検出することが出来る。従来の触覚センサでは接触面で応力は垂直方向にのみ働いているという仮定をおいて計算するしか無かったが、このセンサの場合、垂直応力と水平応力では弾性体の深さ方向に伝わっていく剪断ひずみの減衰の仕方が違うため、剪断ひずみの深さ方向変化を見ることでこの二種類の応力を分離して検出することが出来る。

また、接触面が振動している場合には、その振動モードによっては(ビルの振動のように)、弾性体の内部に振動の節と腹が生じる。このとき、節部分のマーカ―が最も大きな剪断歪みを受けるため、大きく傾く。したがって、画像を見ることで弾性体内部の振動モード、さらに振動の周波数を検出することが可能である。

第二の実施の形態に係るセンサの製造プロセスについて説明する。図6はセンサの製造プロセスの一例である。まず、底に微小な孔が大量に空いた容器に有色マーカ―の原液を入れ、固まる前に押し出すことによりアスペクト比の高い円筒を作る。尚、極細マーカ―の断面の直径は、一つの例では、0.1mm~0.5mm、長さは、一つの例では、直径の10倍から100倍程度である。これを固まる前の透明弾性体原液に入れる。これらのプロセスは一体化され、透明弾性体原液に有色マーカ―を押し出すことが望ましい。さらに固化した後、適当な厚さにスライスする。これを色の異なる有色マーカ―毎に製作し、多層に張り合わせることでセンサを構成する。

[第三の実施の形態]

本発明に係る第三の実施の形態について図7に基づいて説明する。マーカ―としては、非常に薄い帯片(例えば、0.001mm程度)を用い、これを大量に平行に並べてマーカ―群を形成する。さらに、色分けされた他のマーカ―群を該マーカ―群とは異なる角度に並べる。図のものでは、好ましい一つの態様として、二つのマーカ―群200A(複数の並設された赤色薄肉帯片からなるマーカ―群)、200B(複数の並設された青色薄肉帯片からなるマーカ―群)を、それぞれのマーカ―が互いに直交するように並べているが、複数のマーカ―群の空間的配設関係はこれに限定されるものではない。また、マーカ―を構成する帯片の表裏を異なる色から形成してもよい。

帯片マーカ―は、所定の厚さを有する直方体状の透明弾性体1の厚さ内に埋設される。帯片マーカ―は、弾性体1の物体が接触する面に対して鉛直状に延出しており、カメラは、物体3が接触する面とは反対側の面に対向するように配設される。帯片マーカ―は非常に

10

20

30

40

50

薄いため、普段、上から（カメラから）見た時には何も見えない。対象物との接触によってマーカー位置に剪断歪みが生じると、それに比例してマーカーが傾き、第一の実施の形態と同様に、透明弾性体に突如色がついたように見える。

さらに、このマーカーが方向を変えて色分けされて並んでいるため、発生した色は既にひずみの方向成分情報を含んでいる。例えば、図の例では、x方向に歪んだ時には赤色に発色し、それと90度異なる歪みの発生している部分は青色に発色する。多くの場所では混合されて中間色に見え、カメラのRGB出力のRとBを見れば、それがそのまま剪断歪みのx、y成分となっている。ロボットハンドの重要な基本動作の一つである把持（持っている対象を落とさずに持ちつづける）タスクにおいて、剪断歪みがどの方向に働いているかを見ることによって接触面に生じている摩擦力を推定できるため、その方向の応用が期待できる。

10

また、真上から観察するのではなく、若干の角度をつけた斜めから観察することも考えられる。この場合、初めから色付層が傾いているため色が観察される。これはオフセットを設けることになり、零点（色付層が垂直であり、色の全く無い状態）が回避される。すなわち、色付層の片面のみを観察することになるため、表と裏に別々の色をつける必要がなくなる。尚、図7に示したものを積層してセンサを構成してもよい。

図8は第三の実施の形態に係るセンサの製造法の一例である。（1）透明弾性体と有色の弾性体を積層する。試作段階では、それぞれ厚みは透明弾性体1mm、色層0.01mmであるが、ロボットハンド等の実用のためには透明弾性体0.1mm、色層0.001mm程度が望ましい。（2）（1）における積層体を積層方向と垂直する方向に切り分ける。切り分けの厚みは前述の透明弾性体の厚みと同様であることが望ましい。（3）切り分けた各薄片を（1）とは別の色をつけた弾性体を介装させて接着する。シリコンゴムには自己接着性を持つものが有るため、これを用いれば接着は容易であるが、別途接着層を用いても良い。（4）さらに、（3）における積層体を、二つの直交した層（前記異なる色の二つの弾性体）と直交する面に沿って切り出す。切り出す厚みは用途や弾性体の硬さによるが、積層させた色付層の間隔を1として1~20程度となると考えられる。前記製造過程（4）において、（4'）のように角度をつけて切り出すことも考えられる。この場合、図7のような使用時において真上から観察すると既に初めから有色層は傾いているため色が観察される。すなわちオフセットを設けることになり、零点（色付層が垂直であり、色の全く無い状態）が回避されるため、色付層の表と裏に別々の色をつける必要がなくなる。

20

30

[第四の実施の形態]

第四の実施の形態は、第三の実施の形態の改良である。帯状に並べた場合の最大の問題点はその製作過程の複雑さである。これを単純化しつつ同等のセンシング能力を持たせたのが次に述べるいわゆる階段方式である。図15のように階段状の界面を用意する（弾性体の部分がマーカーを形成する）。階段状であるため、界面は二つの同じ方向を持った面群に分けることが出来る。それぞれの群を同一色に着色しておく（ここではRedとBlue）。すると上部から撮影した画像は図16のようになる。もし各帯の幅が撮像素子上で1画素よりも十分に小さければ、画像としては2種類の帯の色が混合された単一の色として観測される。センサ本体が接触を起こすとそれぞれの帯の傾きが変化するが、これは色の変化として観測される。接触面に水平の力が加わった場合（図16（b））、各帯はそれぞれの場所で回転運動を生じるため、上部から撮影されたイメージ上では片方の面群が縮み、もう片方が広がって観測される。すなわち2色の比率の変化として観測される。また、接触面に垂直の力が加わった場合（図16（c））では各帯の傾きが同等に変化するため、2色の比率は変化しないものの、画像の輝度そのものが変化する。すなわち観測している各色（赤色と青色）の輝度の「差」と「和」がそれぞれ略水平、垂直方向の力成分に起因して変化するため、ある点における2色の輝度の観測によってその点における力ベクトルの水平、垂直成分を情報として含んだ観測値が得られる。これらをセンシングすることによって力ベクトルの面分布を再構成することが出来る。この方式は面の傾きが本質的な役割を果たしているという点では前述の帯状センサと同等であると言えるが、帯に

40

50

比べ階段状の面はシリコン原液を型に流し込むことによって1回の工程で製作できるという制作上の利点がある。またここでは説明の簡単の為に2色の帯を使う方法を説明したが、図17のように底面に微細な立方体の集まったいわゆるピラミッド構造を用い、同一方向を向いた3組の面群をそれぞれ同一色に着色すれば(例えばRed, Green, Blue)、前述の議論と同様に、3色輝度の比率で接触面水平にかかる力2自由度を、3色の合計輝度によって面垂直にかかる力をそれぞれ求めることが出来る。

マーカの着色方法と光源の利用について述べる。図15、図17のような傾き別の各面群を着色するには、図18のように各面鉛直方向から塗料の噴霧すればよい。しかし各面が微細になってくるにつれ、特に塗料に含まれる粒子と各面の大きさが接近してくるとこの方法での着色は難しくなる。そこで二つの方法が考えられる。一つは階段面に光によって発色する感光剤を塗布しておき、各面に垂直の方向からの平行光により面をその傾きに選択的に感光させるものである。この方式は既にシリコンウエハ上での微細加工で用いられている方法である。もう一つのより単純な方式は、各面は全て白色散乱面として作成しておき、センサとして用いる際に各色の光をそれぞれの面鉛直方向から入射させ、散乱反射光を観測するというものである(図19)。この方法であれば階段面を作成する際に始めからシリコン原液を白く着色しておけばよいために製作工程は極めて単純であり、またセンサとして使用している最中に各光源の光量を調整することで各色チャンネル間のクロストークを減らし、より高精度なセンシングを行い得る。

階段方式の本質は、階段状部位の各点における回転運動が各色の輝度の差に、上下方向の縮みが各面の平均的な傾き、すなわち各色の輝度の和に対応するというものであるが、上下方向の縮みに対する感度が回転運動に対して低いという問題がありうる。しかし以下のような若干の修正により上下方向の変位に対する感度を上げることが可能である。

図20において導光路はセンサ本体と同じ材質、ないし硬めの透明弾性体から出来ている膜であり、厚みは0.5mm~1mm程度である。白色光源からの白色光をこの導光路に導くと、丁度光ファイバと同様の完全反射の原理によって導光路中には光が充満し、かつ外部に漏れない状況を作ることが出来る。このとき前述のような階段状の透明弾性体の各階段面群に、Red, Blueのみを透過する色フィルタを構成した透明弾性体を階段面を下にして導光路上に配置する。このフィルタは前述の色つきの面の場合と同様の工程で作成可能である。このセンサシステムは導光路を通して接触対象と接触する。接触していないときには階段面と導光路の接触も無く、カメラ画像は暗いままである。しかし接触対象との接触により導光路と階段面の頂点が接触を開始すると、導光路内に充満していた白色光が階段面の色フィルタを通して色つきの光として撮像される。

図21がその状況を表している。導光路表面にかかる力ベクトル分布の向きによって階段面と導光路の接触状況は変化する。垂直の力がかかる場合(図21右図)には階段の頂点が左右対称に変形するため、RedとBlueが同程度混ざり合った画像を得る。このとき画像の輝度が垂直抗力を表している。また水平に近い力がかかっている場合、階段は横方向に変形し、導光路と階段面の各面の接触に非対称性が生じる。この非対称性、すなわちRedとBlueの比が水平方向の力をあらわしている。

このように各色チャンネルの輝度の差と和がセンシング対象となると言う点では前述のものと同様であるが、前述のものに比べ以下の二つの利点がある。第一に垂直方向の力に対する感度が格段に上昇しているという点である。第二に、前述のものが始めの非接触状態からある明るさを持った画像を得ているためにカメラ素子が飽和するまでのセンサとしてのダイナミックレンジ(機器が処理できる最小信号に対する最大信号の比)が狭く、これが触覚センサの精度の悪化に繋がっていたのに対し、接触していない初期状態では画像が非常に暗いため、CCDカメラの画素自体が持つダイナミックレンジを十分に活用できると言う利点がある。

[第五の実施の形態]

第四の実施の形態について説明する。このものでは、立体的なマーカを作成せず、透明弾性体の表面にマーカを印刷し、これを正確に重ね合わせて接着することで構成される。図9では2段に重ね合わせたものを示しているが、段数は二段に限定されるものではない

10

20

30

40

50

く、何段でも良い。

センサは、所定厚さの直方体状の単位弾性体 10 を積層して構成される。図示のもでは、下方から物体が接触し、上方からカメラで撮影するようになっており、下層の単位弾性体 10 の下面に物体が接触するようになっている。下層の単位弾性体 10 の上面には、複数の真円形状の平面マーカー 200 が設けてある。図示のものでは、円形マーカー 200 は、円の中心から三等分されて三つの扇状部 200A, 200B, 200C に分割されており、それぞれ異なる色、実施の形態のものでは、赤、緑、青に塗り分けられている。マーカーの形状は円形に限定されるものではなく、また、色の塗り分けも 3 色に限定されるものではなく、2 色あるいは 4 色以上であってもよい。尚、平面マーカーの直径は、一つの例では、1 mm ~ 2 mm 程度である。

10

上層の単位弾性体 10 の上面には、円形マーカー 20 と同寸法・同形状の黒色隠蔽マーカー 6 が設けてあり、カメラから（上方から）見た時に、隠蔽マーカー 6 が円形マーカー 20 に完全に重合するようにして、上下の単位弾性体 10 を積層密着させる。

普段は、下層の有色マーカー 20 は上層の隠蔽マーカー 6 に遮られて見えないが、剪断歪みが生じると、隠蔽マーカー 6 と有色マーカー 20 の位置がずれて、色づくように構成されている。図のものでは、マーカーを RGB 三色で塗り、発生した色からひずみの方向を知ることが出来る。

産業上の利用可能性

本発明は触覚センサに広く適用することができ、好適な例としてはロボットハンド用の触覚センサに用いられる。

20

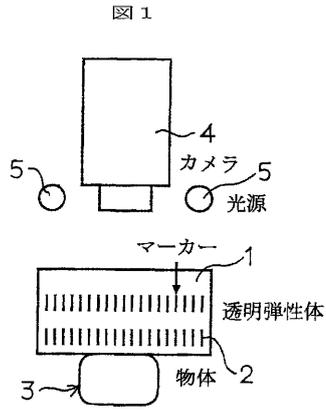
【図面の簡単な説明】

図 1 は、本発明に係るセンサ装置の原理図であり、図 2 は、第一の実施形態に係るセンサの原理図であり、図 3 は、第一の実施形態に係るセンサの製造プロセスを示す図であり、図 4 は、第二の実施形態に係るセンサの原理図であり、図 5 は、第二の実施形態に係るセンサにおいて、接触時に得られるイメージを例示する図であり、図 6 は、第二の実施形態に係るセンサの製造プロセスを示す図であり、図 7 は、第三の実施形態に係るセンサの原理図であり、図 8 は、第三の実施形態に係るセンサの製造プロセスを示す図である。図 9 は、第五の実施形態に係るセンサの原理図であり、図 10 は、触覚センサと接触対象の間に生じる力ベクトル分布を示す図であり、図 11 は、マーカーの移動測定を用いた光学式触覚センサを示す図であり、図 12 は、一点を垂直方向に押した場合において、再構築された力ベクトル分布を示す図であり、図 13 は、一点を水平方向に押した場合において、再構築された力ベクトル分布を示す図であり、図 14 は、二点を押した場合において、再構築された力ベクトル分布を示す図であり、図 15 は、第四の実施形態に係る階段方式を横から見た図であり、図 16 は、図 15 に示す弾性体の上面からの観測により得られる画像であり、(a) は定常状態、(b) は接触面に水平の力が加わった場合、(c) は接触面に垂直の力が加わった場合を示しており、図 17 は、ピラミッド形状の底面を示しており、同じ方向を向いた 3 組の面はそれぞれ赤、緑、青に着色されており、上部から観察した場合に各色は混合されて白色となり、図 18 は、傾き別の各面の着色を示す図であり、図 19 は、方向性を持った光源を用いて、白色面による散乱光を観測する場合を示す図であり、図 20 は、階段状の光学式触覚センサと導光路膜の組合せを有するセンサを示す図であり、図 21 は、道光路にかかる力と、それによって階段面と導光路の接触が変化し、観測される画像が変化の様子を示す図である。

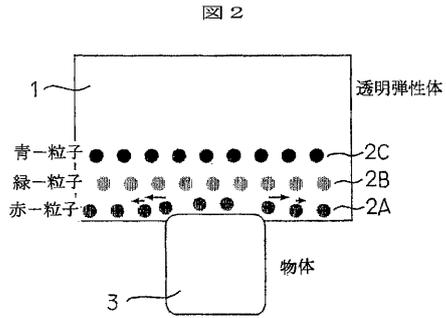
30

40

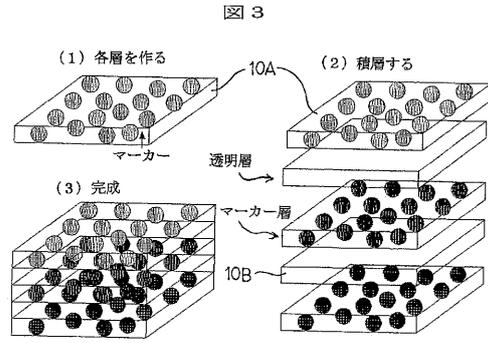
【図1】



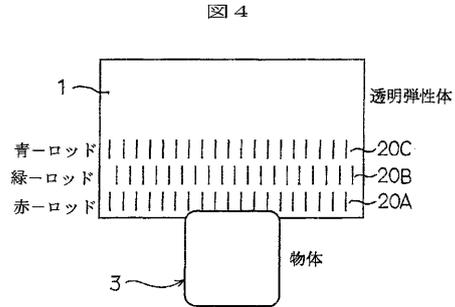
【図2】



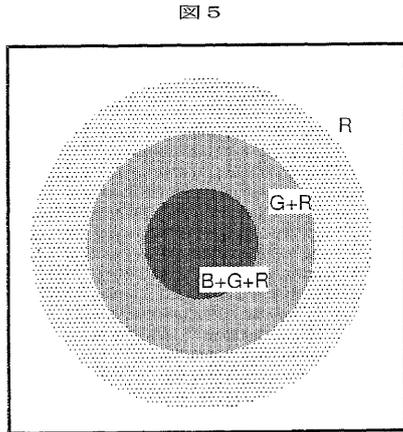
【図3】



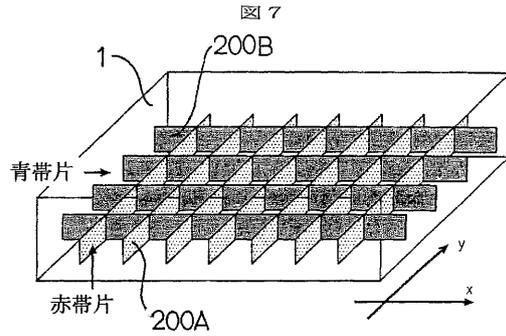
【図4】



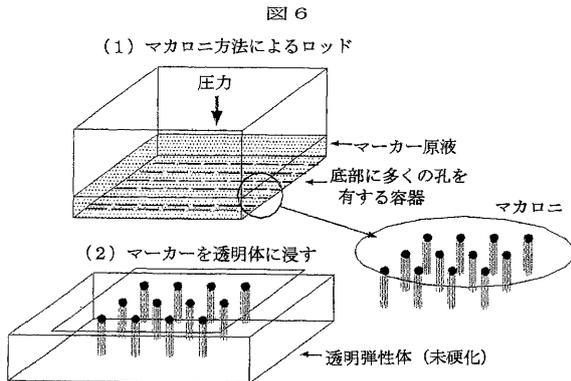
【図5】



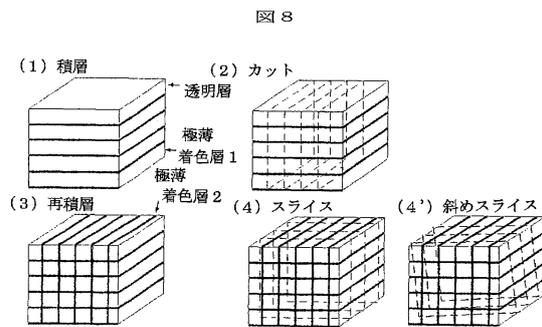
【図7】



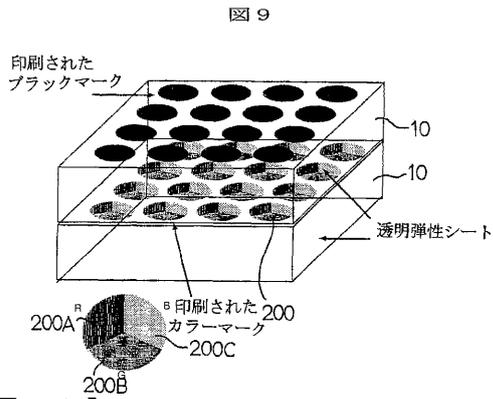
【図6】



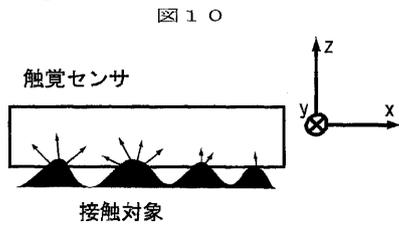
【図8】



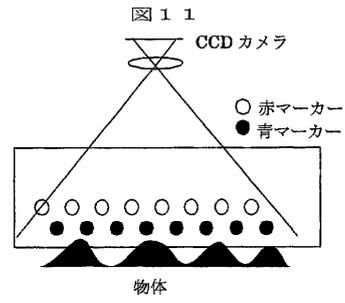
【図9】



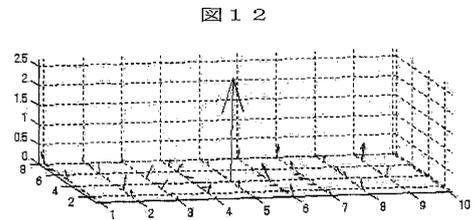
【図10】



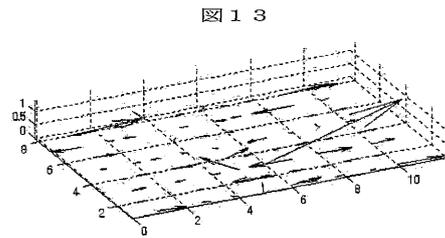
【図11】



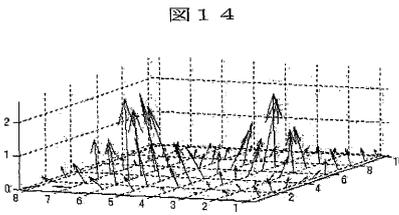
【図12】



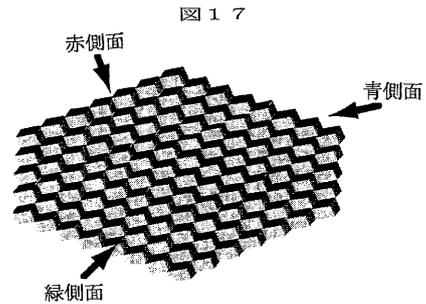
【図13】



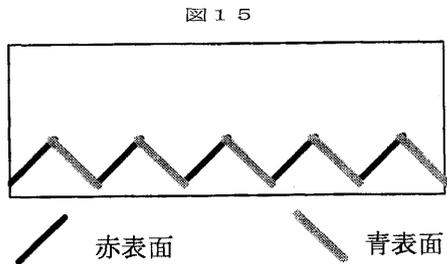
【図14】



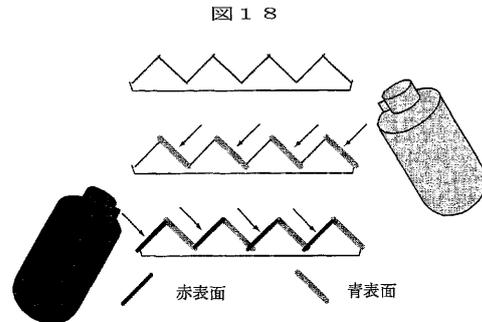
【図17】



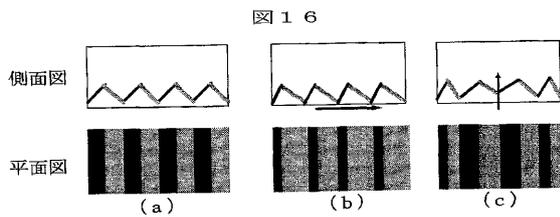
【図15】



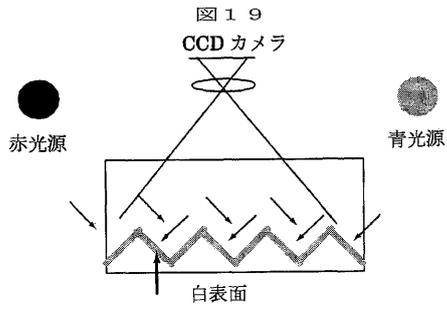
【図18】



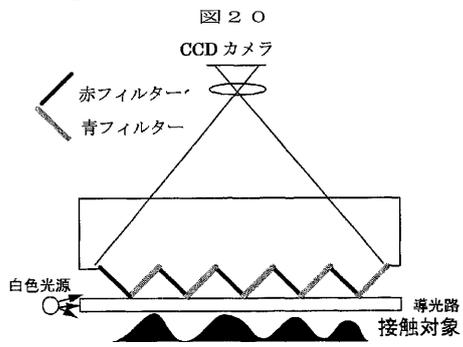
【図16】



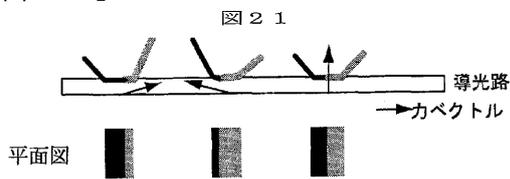
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09-329512(JP,A)
特開2000-321156(JP,A)
特開平11-125570(JP,A)
特開2000-227371(JP,A)
特開平03-135704(JP,A)
特開平02-198306(JP,A)
特開昭62-115308(JP,A)
特開昭61-205831(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 5/00
B25J 19/02
JSTPlus(JDream2)