

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-285737

(P2009-285737A)

(43) 公開日 平成21年12月10日(2009.12.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 5 J 13/02 (2006.01)	B 2 5 J 13/02	2 F 0 5 1
G 0 6 F 3/033 (2006.01)	G 0 6 F 3/033 3 1 0 Y	3 C 0 0 7
B 2 5 J 19/02 (2006.01)	B 2 5 J 19/02	5 B 0 8 7
B 2 5 J 13/08 (2006.01)	B 2 5 J 13/08 A	
G 0 1 L 5/00 (2006.01)	G 0 1 L 5/00 1 0 1 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2008-137521 (P2008-137521)
 (22) 出願日 平成20年5月27日 (2008.5.27)

(71) 出願人 504137912
 国立大学法人 東京大学
 東京都文京区本郷七丁目3番1号
 (74) 代理人 100103137
 弁理士 稲葉 滋
 (72) 発明者 館 ▲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
 (72) 発明者 川上 直樹
 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
 (72) 発明者 佐藤 克成
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 入力インタフェース

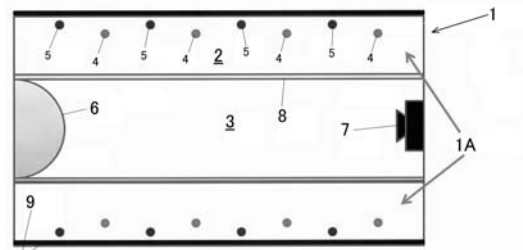
(57) 【要約】

【課題】 手軽で直感的な操作が可能な入力インタフェースを提供する。

【解決手段】

透明弾性体からなる筒状体と、筒状体の壁内に周方向及び長さ方向に沿って埋設した複数のマーカと、筒状体の中空部内に設けた凸面ミラー及び撮影手段と、を備え、前記撮影手段と前記凸面ミラーは、前記撮影手段が、前記凸面ミラーの反射像を撮影することで、前記複数のマーカを撮影するように構成されている、入力インタフェース用の入力デバイス。

【選択図】 図1A



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

透明弾性体からなる筒状体と、
筒状体の壁内に周方向及び長さ方向に沿って埋設した複数のマーカと、
筒状体の中空部内に設けた凸面ミラー及び撮影手段と、
を備え、

前記撮影手段と前記凸面ミラーは、前記撮影手段が、前記凸面ミラーの反射面を含む領域を撮影することで、前記複数のマーカを撮影するように構成されている、
入力インタフェース用の力入力デバイス。

【請求項 2】

前記撮影手段と前記凸面ミラーは、
筒状体の中空部の長さ方向一端側に設けた凸面ミラーと、
筒状体の中空部の長さ方向他端側に凸面ミラーに対向するように設けた撮影手段と、
からなる、請求項 1 に記載の入力インタフェース用の力入力デバイス。

10

【請求項 3】

前記撮影手段と前記凸面ミラーは、
筒状体の中空部の長さ方向両端に対向状に設けた凸面ミラーと、
筒状体の中空部の長さ方向中間部位に前記凸面ミラーに対向するように背中合わせで設けた撮影手段と、
からなる、請求項 1 に記載の入力インタフェース用の力入力デバイス。

20

【請求項 4】

前記撮影手段と前記凸面ミラーは、
筒状体の中空部の長さ方向両端に対向状に設けた撮影手段と、
筒状体の中空部の長さ方向中間部位に前記撮影手段に対向するように背中合わせで設けた凸面ミラーと、
からなる、請求項 1 に記載の入力インタフェース用の力入力デバイス。

【請求項 5】

前記複数のマーカは、前記筒状体の壁の厚さ方向において、筒状体の内壁面から異なる深さに埋設された複数のマーカ群を形成しており、
前記複数のマーカは、マーカ群間で互いに識別可能である、
請求項 1 乃至 4 いずれかに記載の入力インタフェース用の力入力デバイス。

30

【請求項 6】

前記複数のマーカは、マーカ群間で色分けすることで識別可能である、
請求項 5 に記載の入力インタフェース用の力入力デバイス。

【請求項 7】

請求項 5、6 いずれかに記載の力入力デバイスを備えた入力インタフェースであって、
操作者が筒状体を把持した時の透明弾性体の変形によるマーカの振る舞いを撮影手段により撮影し、マーカの振る舞いに関する情報から操作者が筒状体を把持した時に生じる 3 次元の力ベクトル分布情報を求めるように構成されている、入力インタフェース。

【請求項 8】

前記入力インタフェースは、
操作者が筒状体を把持した際の力分布情報から、操作者の各指の位置を特定する手段と、
特定された指と、ロボットハンドやバーチャルハンドの指と、の対応付けを行う手段と、
を備えている、請求項 7 に記載の入力インタフェース。

40

【請求項 9】

請求項 7、8 いずれかに記載の入力インタフェースを用いた操作方法であって、
操作者が筒状体を把持した際の力分布情報から、操作者の各指の位置を特定して、ロボットハンドやバーチャルハンドの指との対応付けを行うステップと、

50

さらなる把持動作による力分布情報から、各指から筒状体に加えられた力を取得し、取得した力に対応してロボットハンドやバーチャルハンドの指を操作するステップと、を備えた操作方法。

【請求項 10】

力分布情報を取得するステップは、

取得されたカメラ画像の座標系から円筒座標系へ変換し、ついで、平面座標系への近似変換を行った画像においてマーカ移動情報を取得するステップを備えている、請求項 9 に記載の操作方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、入力インタフェースに係り、詳しくは、入力インタフェース用の力入力デバイス、当該力入力デバイスを備えた入力インタフェース、および、当該入力インタフェースを用いた操作方法に関するものである。好適な態様では、本発明は、ロボットハンドの操作やバーチャルハンドに用いられる入力装置として用いられる。

【背景技術】

【0002】

近年、極地作業や遠隔コミュニケーション、エンタテインメントなどの目的で、ロボットの遠隔操作が実現されつつある。特に、遠隔地のものを掴んだり、持ち上げたりするようなインタラクションを可能とするために、ロボットハンドを円滑に操作できるインタフェースが望まれている。

20

【0003】

従来、ロボットハンドの操作をする様々なインタフェースが開発されてきた。例えば、数種のレバーやボタンを駆使してロボットハンドを操作するものがある。これらは誰にでも扱うことが可能であるが、直感的な操作が難しく、相応の練習が必要である。

【0004】

その一方で、操作者の手の姿勢を計測し、その姿勢をロボットハンドの姿勢に反映させることで、直感的な操作を可能にしたインタフェースも開発されており、代表的なものとして、手に装着するデータグローブが知られている。しかし、これらはデバイスの装着が煩雑である上、操作者の手の大きさが制限されてしまう、という不具合がある。

30

【0005】

データグローブでの脱着性の問題を解決する入力装置が、特許文献 1 に開示されている。しかしながら、このものでは、把持動作における個々の指を特定することはできない。

【0006】

より直感的、より少ない操作を可能とするインタフェース装置が特許文献 2 に開示されている。しかしながら、このものは、タッチパネルを必須構成要素とするものであり、ロボットハンドの操作やバーチャルハンドとして用いることはできない。

【0007】

特許文献 3 には、インタフェースを構成し得る半球状触覚センサが開示されている。しかしながら、人の親指は広い可働領域を有しており、他の 4 指と対向するようにできているため、半球形状の把持部では、親指を含めた手指の可動領域に対応することが困難である。

40

【特許文献 1】特開平 6 - 19618 号

【特許文献 2】特開 2006 - 252093 号

【特許文献 3】国際公開公報 WO 2005 / 029028 (特表 2007 - 518966)

【特許文献 4】国際公開公報 WO 02 / 018893

【非特許文献 1】Kazuto Kamiyama, Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, Susumu Tachi: Evaluation of a Vision-based Tactile Sensor. ICRA 2004:1542-1547

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の目的は、手軽で直感的な操作が可能な入力インタフェースを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明が採用した第1の技術手段は、
透明弾性体からなる筒状体と、
筒状体の壁内に周方向及び長さ方向に沿って埋設した複数のマーカと、
筒状体の中空部内に設けた凸面ミラー及び撮影手段と、
を備え、
前記撮影手段と前記凸面ミラーは、前記撮影手段が、前記凸面ミラーの反射面を含む領域を撮影することで、前記複数のマーカを撮影するように構成されている、
入力インタフェース用の入力デバイス、
である。

10

【0010】

一つの態様では、
前記撮影手段と前記凸面ミラーは、
筒状体の中空部の長さ方向一端側に設けた凸面ミラーと、
筒状体の中空部の長さ方向他端側に凸面ミラーに対向するように設けた撮影手段と、
からなる。

20

【0011】

一つの態様では、
前記撮影手段と前記凸面ミラーは、
筒状体の中空部の長さ方向両端に対向状に設けた凸面ミラーと、
筒状体の中空部の長さ方向中間部位に前記凸面ミラーに対向するように背中合わせで設けた撮影手段と、
からなる。

【0012】

一つの体表では、
前記撮影手段と前記凸面ミラーは、
筒状体の中空部の長さ方向両端に対向状に設けた撮影手段と、
筒状体の中空部の長さ方向中間部位に前記撮影手段に対向するように背中合わせで設けた凸面ミラーと、
からなる。

30

【0013】

筒状体の形状は、典型的には長さ方向に外径・内径が一定の円筒体であるが、本発明に係る筒状体の形状は、全体として長さ方向に延出する中空の部材であればよく、長さ方向に外径・内径が変化するもの、断面が楕円形の筒状体、断面が多角形の筒状体でもよい。また、筒状体の外壁に凹凸を付けて把持部を形成してもよい。

40

円筒体の外周面には、全体に亘って遮光層が形成されている。マーカの画像を安定化させるためには、該触覚面に遮光層を設けることが望ましいが、必ずしも遮光層を設けなくてもよい。

筒状体の長さ方向の一方あるいは両方の端部に、透明弾性体からなる半球状体を設け、半球状体の壁内に湾曲状の壁面に沿って複数のマーカを埋設してもよい。この場合、半球状体の内壁を撮影するための撮影手段を設ける必要がある。半球状体の内壁の撮影手段としては広角カメラ（例えば、魚眼レンズを用いたもの）が例示される。

【0014】

透明弾性体は、典型的な態様では、シリコンゴムや超軟質ウレタン造形用樹脂（人肌ゲル）からなるが、他のゴム類やエラストマー等の他の弾性部材から構成してもよいこと

50

は当業者に理解される。

【0015】

撮影手段は、凸面ミラーの反射面を含む領域を撮影して、筒状体の内壁面側から透明弾性体内に埋設されている複数のマーカを撮影する。複数のマーカは、撮影手段によって、これらが重ならず撮影できるように筒状体の壁内に配置される。複数のマーカが、筒状体の壁内に周方向及び長さ方向に沿って、内壁面全域に埋設されている場合には、撮影手段は、筒状体の内壁面全域を撮影することで複数のマーカ全てを撮影する。撮影の態様としては、撮影手段が前記凸面ミラーの反射像のみを撮影する場合、あるいは、前記凸面ミラーの反射像及び内壁面の部分を撮影する場合、がある。図3に示すカメラ画像には、結果として内壁面の一部が写っているが、一つの態様では、凸面ミラーの反射像の部分のみを用いる。できるだけ反射面のみを撮影するようにした方が、小さなマーカも精度良く撮れるようになり、得られるマーカ情報の精度が向上する。

10

凸面ミラーとしては、球面ミラー、円錐ミラー、放物線ミラー、双曲面ミラー、角錐ミラー（三角錐ミラー、四角錐ミラー等）が例示される。角錐ミラーを用いる場合には、角部がマーカ位置と重ならないという条件が要求される。

凸面ミラーの反射像の画像のみを用いる場合には、凸面ミラーは、中空部の壁内に設けたマーカ全ての像を反射するものである必要がある。

撮影手段が、凸面ミラーの反射像及び内壁面の部分を撮影し、かつ、両方の画像情報を用いるような場合には、凸面ミラーが、必ずしも、マーカ全ての像を反射するものである必要はない。すなわち、凸面ミラーは、少なくとも、カメラで直接撮影できないマーカ全ての像を反射するものであればよい。

20

【0016】

一つの態様では、筒状体の長さ方向の端面、すなわち、筒状体の壁の長さ方向の端面には、照明手段が設けてあり、透明弾性体内に光を入射することで、撮影手段による、透明弾性体内のマーカの撮影を容易にしている。照明手段は、一つの態様では、筒状体の壁の長さ方向の両端面に、周方向に所望間隔を存して配置した複数のLEDであるが、導波管（光ファイバ）等のその他の照明手段が採用し得ることは当業者に理解される。照明手段は、筒状体の中空部内に、支持部を介して支持させてもよい。また、照明手段は、赤外線照射するものでもよい。また、撮影手段は、力入力デバイスが置かれた空間の周囲光（太陽光、照明）を用いて画像を取得するものでもよい。

30

【0017】

一つの態様では、前記複数のマーカは、前記筒状体の壁の厚さ方向において、筒状体の内壁面から異なる深さに埋設された複数のマーカ群を形成しており、前記複数のマーカは、マーカ群間で互いに識別可能である。

一つの態様では、前記複数のマーカは、マーカ群間で色分けすることで識別可能である。すなわち、透明弾性体内に設けた複数のマーカ群において、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いる。この場合、撮影手段は、色の識別が可能なカメラであればよい。

一つの態様では、前記複数のマーカは、筒状体における各マーカの位置情報を登録しておくことで、マーカ群間で互いに識別可能である。

40

また、マーカを、再帰性反射材から形成してもよい。

各マーカの形状は、マーカの位置（典型的には重心位置）が測定できる形状であれば限定されないが、好ましい態様として、球状マーカ、円板状マーカが例示される。

典型的な態様では、マーカ群は2つで、筒状体の壁内に2層状に埋設されている。マーカ群の数は限定されず、たとえば、3層状に三つのマーカ群を配設してもよい。

【0018】

本発明が採用した第2の技術手段は、

前記力入力デバイスを備えた入力インタフェースであって、

操作者が筒状体を把持した時の透明弾性体の変形によるマーカの振る舞いを撮影手段により撮影し、マーカの振る舞いに関する情報から操作者が筒状体を把持した時に生じる3

50

次元の力ベクトル分布情報を求めるように構成されている。

前記マーカの振る舞いは、マーカの変位、ひずみ、傾きの少なくともいずれか一つ以上を含み、典型的には、前記マーカの振る舞いは、マーカの移動情報として取得される。

【0019】

力ベクトル場の計測は、光学式触覚センサの技術を応用して行う。3次元の力ベクトル分布情報の取得については、特許文献3、特許文献4、非特許文献1に記載されており、これらの文献を参照することができる。

円筒体は把持部を構成しており、人間が手で円筒体を握ることで、透明弾性体に外力が作用して弾性変形し、透明弾性体の変形に伴って透明弾性体に埋設されたマーカの位置が移動するようになっている。

操作者が筒状体を把持した時とそれ以前の状態（筒状体に外力が作用していない状態）のマーカの位置情報から、マーカの移動情報（移動ベクトル）を検出する。

入力インタフェースは、力入力デバイスと、各種の計算を行う処理手段と、記憶手段と、を含む装置である。

入力インタフェースの記憶手段には、該撮像手段で取得されたマーカの振る舞いに関する情報（例えば、力入力面に物体が接触した時の各マーカの移動情報である移動ベクトル）から筒状体に加えられた力ベクトル分布を再構成するための伝達関数が格納されている。

伝達関数は、弾性体の形状によっては、弾性体理論から導かれる式に基づいて算出することができる。弾性体の力入力面が自由曲面の場合には、伝達関数は、実測あるいはシミュレーションによって作成することができる。

伝達関数は、筒状体に加えられた力情報とマーカの振る舞いに関する情報（例えば、移動ベクトル）とを関連付ける関数である。マーカ移動情報を伝達関数に入力することで、力ベクトルを出力として求める。伝達関数に入力されるマーカ移動情報の数は、求めたい力ベクトルの数よりも多い。筒状体の内壁面から異なる深さに埋設された互いに識別可能な複数のマーカ群を採用することで、マーカ移動情報の量を増やして力ベクトル分布を求めやすくしている。力ベクトルの計算に用いるマーカ移動情報量を増やすことで、ある点に作用する外力を、各軸成分の力3成分と各軸周りのモーメント3成分の計6軸力情報として得ることができる。

【0020】

一つの態様では、

前記入力インタフェースは、

操作者が筒状体を把持した際の力分布情報から、操作者の各指の位置を特定する手段と

、特定された指と、ロボットハンドやバーチャルハンドの指との対応付けを行う手段と、を備えている。

【0021】

本発明が採用した第3の技術手段は、

前記入力インタフェースを用いた操作方法であって、

操作者が筒状体を把持した際の力分布情報から、操作者の各指の位置を特定して、ロボットハンドやバーチャルハンドの指との対応付けを行うステップと、

さらなる把持動作による力分布情報から、各指から筒状体に加えられた力を取得し、

取得した力に対応してロボットハンドやバーチャルハンドの指を操作するステップと、を備えた操作方法、である。

【0022】

操作者が力入力デバイスを握ったときに生じる力ベクトル分布情報を利用して、指の位置を特定する。

操作者の握り動作は、インタフェースの力入力デバイスに加わる力ベクトル場の変化として計測する。

筒状体に力が加わった場合、壁内部のマーカ移動をカメラで捉え、筒状体表面上の任意

10

20

30

40

50

点におけるカベクトル場の算出を行う。

この時撮像されるマーカは、曲面上のマーカ位置を2次元に置き換えたものであり、平面上のマーカを2次元に置き換えたものとは異なる。

そこで、取得されたカメラ画像の座標系から円筒座標系へ変換し、さらに、平面座標系への近似変換を行うことで、平面型の理論を適用する。

カメラ画像から円筒座標系への変換は、デバイスの既知パラメータ（筒状体の長さや径、ミラー径など）を利用して、カメラ画像上のマーカ位置と実空間上の位置を幾何学的に対応させることを行うことができる。円筒座標系から平面座標系への変換は、単純に円筒の側面を展開することを行うことができる（図6左図、図4）。

凸面ミラーの反射像と撮影手段が直接撮影した内壁面の部分の両方の画像情報を用いる場合には、「反射像」の部分と「直接撮影」の部分のマッチングを行い、1つの円筒座標系として扱う。

【0023】

使用者の手の大きさを限定せず、さらに直感的な操作を可能にするために、使用者が円筒体を握る動作をインタフェースの入力デバイスからの入力として用いる。

筒状体を握った際、まず、カベクトル分布パターンから5指と掌の位置を認識し、入力地点とする。

5指と掌の位置の認識は、周辺よりも強い力が加わっている領域を幾つか抽出し、各領域における重心位置を算出することで行う。筒状体の表面を握ると5指と掌の位置を認識し、それぞれを独立した入力地点として扱うことで、使用者の手の大きさや握り方を制限しない。

指の位置を認識したら、それがバーチャルハンドあるいはロボットハンドの指に対応付けられる。手において各指の位置は一意に決定されるので、把持した時に、5点を特定すれば、それぞれの点がどの指に対応するかを位置関係から決定することができる。

ある指を選択して強く押せば、その指に対応するバーチャルハンドあるいはロボットハンドの指を指毎に操作することができる（図2参照）。デバイスが計測する5指が発生させるカベクトルをロボットハンドの5指の速度に対応させる。より具体的には、それぞれの入力地点周辺9点における3軸のカベクトル情報から、バーチャルハンドやロボットハンドを操作するための6軸力情報を算出する。並進3軸、回転3軸の計6軸の情報を用いることで、ロボットアームの制御を行うことができる。尚、本発明に係る入力インタフェースは、必ずしも6軸力情報を必要としない。

【発明の効果】

【0024】

本発明は、操作者が物を握ったときの「握り具合」に注目し、この情報をロボットハンドの動作に反映させるインタフェースであり、操作者に要求されることは入力デバイスを握ることだけであるため、装着の手間が無く、操作者の手の大きさは一意に限定されない。さらに、操作者の握り具合をロボットハンドの動作に直接反映できるため、直感的な操作が可能となる。握り動作の位置姿勢ではなく力を入力とすることで、使用者の意思をより反映したバーチャルハンド・ロボットハンドの操作が可能になる。

また、把持部を筒状体から構成することで、親指を含めた手指の可動領域に十分に対応することができ、したがって、あらゆる握り姿勢に対応できるので、握りの姿勢を限定するようなことがない。

【0025】

したがって、提案したインタフェースでは、簡易なシステムでロボットハンドの直感的な操作が可能である。そのため、このインタフェースはロボットのコックピットに取り込むだけでなく、一般家庭でも使用することが可能である。これにより、コミュニケーションやインタラクション目的のロボット操作が、より親しみやすくなることが期待される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

本発明は、操作者がものを握ったときの「握り具合」に注目し、カベクトル分布に基づ

10

20

30

40

50

いて握り具合を計測して、この情報をロボットハンドの動作に反映させるインタフェースを提案する。

【0027】

本発明に係るシステムでは、操作者の「握り具合」を計測するために、握った時に生じるカベクトル分布情報を利用する。まず、操作者が入力デバイス本体を握った際に計測されるカベクトルの分布パターンから、操作者の5指及び掌の位置を6点の入力ポイントとして認識する。図5に、筒状体の内壁面を展開してなる平面座標系における5指の特定位置を示す。特定された各指に対応する入力ポイントは、5指型のロボットハンドの各指に対応付けられる。掌の位置は、特定された5指の位置から算出することができる。そして、それぞれの入力ポイントで計測される3軸のカベクトル情報を、ロボットハンドの5指及び

10

ロボットアームの動作に反映させる。入力デバイスの任意の部分を入力ポイントとして設定することが可能なために、操作者がこのデバイスを握っている位置や姿勢、手のサイズは制限されない。

ロボットハンドの遠隔操作に必要な力情報について図2Aに基づいてより具体的に説明する。ロボットハンド(5指の人型タイプ)とアームの遠隔操作に最低限必要な情報は、「5指に対応した5点での3次元カベクトル」である。5指に対応した3次元カベクトルから、ロボットハンド各指の指先移動方向・距離を決定する。また、5点のカベクトルの総和からロボットアーム先端(ロボットハンド)の並進方向・距離を、モーメント和からロボットアーム先端の回転方向・角度を決定する。ロボットハンドの姿勢は、ロボットハンドの指関節の角度の選択によって決定することができる。ロボットアームの姿勢は、ロボ

20

【0028】

ットアームの関節角度の選択によって決定することができる。入力デバイスが計測するカベクトルの総和やモーメント和を用いる場合には、原則として、入力デバイスを接地し、その位置・姿勢を固定する必要がある。また、入力デバイスの位置・姿勢計測手段を別途用意することで、入力デバイスを接地しない(中空)でロボットアームを操作することも可能である。入力デバイスの位置・姿勢計測手段には、光学式や磁気式、機械式等の従来手法を用いることができる。

30

【0029】

カベクトル分布を測定するために、光学式カベクトル分布センサの技術(特許文献3、特許文献4、非特許文献1)を応用する。このセンサは、赤と青の2層のマーカマトリクスの敷かれた透明弾性体と、CCDカメラにより構成される。透明弾性体の表面に力が加わると、弾性体内部のマーカマトリクスはその力に応じて変化する(図8)。このときのマーカ重心位置の変位情報を、CCDカメラによって撮影した画像情報から取得することで、弾性体表面に加わっているカベクトルを推定する。

【数1】

$$m = Hf \quad (1)$$

線形弾性体を仮定して、2層のマーカの変位情報を $m (R^1 \times 2^N)$ 、弾性体表面に加わるカベクトル分布を $f (R^1 \times 3^M)$ とすると、

という関係式が成り立つ。式中の行列 $H (R^{4N} \times 3M)$ は、弾性体の表面が平面のとき、弾性理論から解析的に導かれる[L. D. Landau, E. M. Lifshitz: "Theory of Elasticity, BUTTERWORTHHEINEMANN, (1985)]。ここで、Nはマーカの総数を、Mは測定点の数を示す。(1)式の逆問題を解くことで、マーカ変位からカベクトル分布を算出する。また、変換行列Hは、理論的に導出するものに限定されず、実験的(シミュレーションや実測)によって導出するものでもよい。変換行列Hを実験的に導出する手段については、特許文献3に開示された手法を用いることができる。

40

【0030】

インタフェースは、円筒型カベクトル分布センサから構成される。インタフェースに用いる力入力デバイスの構成について図1、図1Aに基づいて説明する。インタフェースの形状は、握り易いものでなければならない。ここで、人間が物を掴むときの親指の配置は

50

、複数のパターンが考えられる。特に、他の4指との対向を含む親指の様々な配置パターンに対応できる必要がある。そのような形状としては、円筒型が好ましいと考えられる。そこで、平面型の光学式力ベクトル分布センサの原理を円筒型のものに応用する。

【0031】

力入力デバイスは、透明弾性体1Aからなる円筒体1と、円筒体1の壁2内に周方向及び長さ方向に沿って埋設した複数のマーカ4、5と、円筒体1の中空部3内に設けた凸面ミラー6及び撮影手段7と、を備えている。2層のマーカマトリクスの敷かれた透明弾性体1Aの形状を円筒型にする。このとき弾性体にある程度の厚みを持たせ、円筒の内部は空洞として中空部3を形成する。中空部と弾性体部1Aは透明のアクリルパイプ8により仕切る。アクリルパイプが円筒体1の内壁面を形成する。円筒体の壁内には複数のマーカ4、5が埋設されている。複数のマーカは、円筒体の壁体の内壁面から見て、壁体の厚さ方向に異なる深さに位置して2層に設けられた2つのマーカ群からなる。内壁面から第1の深さ位置に設けた第1マーカ群を構成する各第1マーカ4と、内壁面から第2の深さ位置に設けた第2マーカ群を構成する各第2マーカ5とは、互いに異なる色を備えている。例えば、第1マーカ4は青色で、第2マーカ5は赤色である。

10

【0032】

中空円筒体1の長さ方向の一端には、円筒体1の内壁面を介して透明弾性体1A内に埋設されたマーカ4、5を撮影するための撮影手段7が設けてある。典型的な態様では、撮影手段7はCCDカメラであるが、その他の撮影手段が採用し得ることは当業者に理解される。本実施態様では、簡易なシステムにするために、マーカ撮影に使用するCCDカメラを

20

【0033】

円筒体1の長さ方向の端面、すなわち、円筒体1の壁体の長さ方向の端面には、照明手段(図示せず)が設けてあり、透明弾性体1A内に光を入射することで、撮影手段7による、透明弾性体1A内のマーカ4、5の撮影を容易にしている。照明手段は、一つの態様では、円筒体1の壁体の長さ方向の端面に、周方向に所望間隔を存して配置した複数の白色LEDである。また、外部の景色がカメラに映らないように、遮光用の黒色の薄幕9で円筒表面を覆う。

【0034】

マーカの撮影法としては、特許文献3に記載されているように魚眼レンズを用いてマーカを直接撮影する方法が考えられるが、魚眼レンズは画像の中心部に最も焦点が合い易く、円筒体の側面のマーカがぼけて撮影されてしまうという欠点がある。本発明では、円筒体1の長さ方向一端側に撮影手段(CCDカメラ)7を配置し、他端側に凸面ミラー6をCCDカメラに対向するように配置することで、これを解決した。

30

【0035】

円筒型インタフェースのハードウェア設計について説明する。円筒型インタフェースにおいて、操作者の指を認識できる十分な分解能を有するためのハードウェアパラメータを決定する。以下に記載するパラメータは、本発明に係るインタフェースの実施形態に過ぎないものであって、以下に述べる構成や数値が本発明の内容を限定するものでないことは言うまでもない。

40

【0036】

まず、カメラ画像における課題について言及する。円筒型インタフェースにおいてカメラが捉えた画像を図3に例示する。画像中の端部に広がるマーカは、カメラが直接撮影したマーカであり、中央付近のマーカは、カメラが撮影したミラーの反射像である。また、ミラーの反射像のうち、中央付近に向かうほど円筒状の内壁面のカメラ側のマーカになっていく。図3に示すカメラ画像は、結果的に、内壁面の部分を直接撮影した画像を含むが、ここでの態様では、マーカの移動情報の計算には、ミラーからの反射像のみ(図6右図)を用いている。ここで、カメラ画像中のマーカの重心位置を求めるためには、ある程度のpixel数が必要である。しかし、マーカが小さ過ぎたり、円筒が長過ぎたりすると、マーカをカメラで検出できなくなる。特に、画像の中心付近、すなわちカメラ側のマーカほ

50

ど、少ないpixelで描かれるためマーカ検出が困難である。

【0037】

全てのマーカを確実に検出するためには、ハードウェアパラメータを適切に設定する必要がある。まず凸面鏡とカメラレンズを設定する。その上で、マーカの大きさの直径 μ (mm)、間隔 (mm)、円筒の長さ L (mm)、半径 R_c (mm)、一層目のマーカマトリクスの深さ $R1$ (mm)、2層目の深さ $R2$ (mm)を設定する。

【0038】

以下、円筒側面の弾性体を展開することによってできる直方体(これを近似平面弾性体と呼ぶ。)に、直交座標 $U=\{(x,y,z)|x \in [0,2R_c], y \in [0,L](\text{mm})\}$ を、カメラ画像上に、凸面鏡の中心を原点とする極座標 $V=\{(r, \theta)|r \in [0,R], \theta \in [0,2\pi] (\text{pixel})\}$ を設定する(図6)。このとき、この二つの座標の間には、

10

【数2】

$$\theta = x/R_c, \quad (2)$$

$$r = f(y), \quad (3)$$

という関係が成立し、上で定義した極座標の r 成分の最大値 R は、 $f(0)$ である。そして、写像 f は凸面鏡とカメラレンズに依存する。

【0039】

凸面鏡とカメラレンズの決定について説明する。カメラは、カメラ画像における短辺の長さが凸面鏡の直径と一致するように配置する。これは、凸面鏡全体に出来るだけ多くのpixel数を割り当てるためである。つまり、 $2R$ がカメラ画像の短辺の長さとなる。

20

【0040】

カメラ画像上に写るマーカの、 r 方向の直径が持つpixel数は(3)式の写像 f に依存する。ここで、全てのマーカにおいて r 方向におけるpixel数を均一にするためには、写像 f が線形写像である必要がある。これは、凸面鏡に円錐鏡を、カメラレンズにテレセントリックレンズを選ぶことによって実現される。以下、写像 f を線形写像とする。

【0041】

マーカの間隔と大きさの決定について説明する。マーカの配置間隔 a は、インタフェースの空間分解能に影響を与えるパラメータとなる。本実施形態では、人間の各指を判別できることを目標とする。よって人間の各指の中心軸間隔を a mmであるとすれば、サンプリング定理により、マーカ間隔 Δ は $\Delta < a/2$ mmであることが好ましい。

30

【0042】

また、マーカの直径 μ は必然的にマーカ間隔 Δ 以下でなければならないが、カメラがそれを認識できる大きさでなければならない。これらの上限と下限を合われることで、適切なマーカの大きさが決定される。

【0043】

マーカの深さの決定について説明する。2層のマーカマトリクスの、弾性体表面からの深さ $R1, R2$ を決定する。ここで、弾性体は、ローパスフィルタの特性を持っている。そのため、マーカマトリクスをある程度の深さに設定すると、円筒表面に加わるカベクトル分布の高周波成分を抑えることができ、アンチエイリアシングにつながる。しかし、ここで対象とする力分布は把持によって生じるものであるため、指の間隔以上の高周波成分は乗らないとみなせる。そのため、マーカマトリクスは、円筒表面から浅い位置にあっても問題はない。

40

【0044】

従って、高い感度を実現するために、一層目のマーカマトリクスは可能な限り浅い位置に設置する。円筒表面は遮光用の黒膜の厚みがあるため、一層目のマーカマトリクスの深さ $R1$ は黒膜の厚さとなる。

【0045】

次に、二層目のマーカマトリクスの深さの設定である。ここで、二層目と一層目の深さ

50

の差が小さければ、(1)式における行列Hは十分なランクを得ることができず、逆問題は解けなくなってしまう。このことから、二層目のマーカマトリクスの深さR2は、R1 + 2[mm]とした。

【0046】

円筒体の長さの決定について説明する。円筒体の長さは、操作者の握り具合を計測するための面積が広がるため、長いほうが望ましい。しかし、長過ぎるとカメラで捉えることのできないマーカが出てきてしまう。ここでは、すべてのマーカが観測可能な、最大の円筒の長さL0を求める。

【0047】

マーカの直径が μ 、 r の下限値が r_0 のとき、カメラ画像で $r_0 \leq r \leq R$ における任意のマーカのpixel数は、 r 方向では $\mu r/R_c$ 、 r 方向では $(R - r_0) \mu/L$ である。マーカを捉えるために、 r 方向、 r 方向ともに最低 M pixelの画素が必要であるとするならば、 r の下限の r_0 は、

10

【数3】

$$\frac{\mu}{R_c - R_2} r_0 \geq M, \quad \frac{\mu(R - r_0)}{L} \geq M \quad (4)$$

より、

20

【数4】

$$\frac{R_c - R_2}{\mu} M \leq r_0 \leq R - \frac{L}{\mu} M \quad (5)$$

を満たすものを選べばよい。ここでは、 $r=r_0$ において映ったマーカは二層目のマーカであるもとしてこの式を導いた。また、この式を満たすための円筒の長さLは、

【数5】

30

$$L \leq \frac{\mu}{M} R - R_c + R_2 \quad (6)$$

となる。これより、全てのマーカをカメラに写すための、円筒の長さの最大値L0が求まる。

【0048】

円筒型インタフェースの設計例について説明する。以上の議論に基づき、人間の手に合せたデバイスを設計する。まず、マーカの大きさの直径 μ を4mm、間隔を10mm、マーカマトリクスの深さR1を1mm、R2を3mmとする。円筒の半径Rcは、成人男性が握り易い太さを基準として、35mmとした。また、凸面鏡とカメラレンズは(3)式における写像fが線形であるものを選ぶ。カメラの短辺の画素数は480pixelとする。そして、カメラが捉えるマーカ直径の最低pixel数を8pixelとする。このとき算出される円筒の最大の長さLは(6)式より88mmとなる。

40

【0049】

ここで、より空間分解能が高いカベクトル分布センサを設計すると、円筒の長さは短くなってしまふ。高分解能で長い円筒型入力デバイスを実現するためには、複数台連結させる必要がある。

【0050】

カベクトル分布の算出法について説明する。

50

(1)式は平面弾性体を仮定した場合に成立する式である。本発明では、円筒体を平面弾性体に近似し、カベクトル分布を算出する。このデバイスは操作者の握り具合を計測するものであり、センサとしての厳密さは求めないためこの近似によって生じる誤差は無視できるものとする。

【0051】

(1)式を用いてカベクトル分布を算出するには、カメラによって捉えられる極座標系V上で観測されるマーカ位置情報、直交座標系U上の近似平面弾性体におけるマーカ位置情報、及びマーカ変位情報を求める必要がある。

【0052】

凸面鏡に円錐鏡、カメラレンズにテレセントリックレンズを用いたとき、近似平面弾性体内の*i*番目のマーカの位置(x_i, y_i, z_i)及び、変位(x_i, y_i)は、カメラによって、捉えられる*i*番目のマーカの位置(r_i, θ_i)、及び変位(r_i, θ_i)を用いて、

【数6】

$$x_i = R_j \theta_i, \quad y_i = f^{-1}(r_i), \quad z_i = R_j \quad (7)$$

$$\Delta x_i = R_j \Delta \theta_i \quad (8)$$

$$\Delta y_i = \frac{-(1 - r_0 / R) \Delta r_i}{\cos \phi} \quad (9)$$

と、求めることができる。ここで、 $j=1, 2$ であり、マーカの層を表す。また、

【数7】

$$\phi = \tan^{-1}(\alpha - \sqrt{\alpha^2 - 1}); \quad \alpha = \frac{RL}{R_c(R - r_0)}$$

である。なお、導出される近似平面弾性体内での、マーカ情報変位情報は、2次元であるが、深さの異なる2層のマーカ情報を用いることによって、(1)式における3次元のカベクトル分布を算出することができる。

【0053】

図7に、他の実施形態に係る力入力デバイスの概略斜視図である。力入力デバイスの断面図を図7Aに示す。図1Aと図7Aにおいて、共通の要素には、共通の参照番号が付してあり、これらの要素の説明については、図1Aに関連する記載を援用することができる。円筒体1は、2つの半筒体を組み合わせることで形成されている。円筒体1の中空部3の長さ方向両端には撮影手段(CCDカメラ)7が対向状に設けられ、円筒体1の中空部3の長さ方向中間部位に撮影手段(CCDカメラ)7に対向するように背中合わせで凸面ミラー6が設けられている。円筒体1の長さ方向中間部位からは支柱10が延出している。一つの態様では、支柱10は中空となっており、内部を配線が延出するようになっている。また、凸面ミラーと撮影手段(CCDカメラ)の配置を逆にしてもよい。

【0054】

円筒体の長さ方向の一方あるいは両方の端部に、特許文献3に開示されているような半球状の光学式触覚センサを配置してもよい(図2左図参照)。弾性体部は、円筒体と半球体の複合形状とする。弾性体の表面は黒幕で覆い、色付きマーカは弾性体の表面に配置する。一つの態様では、円筒部では、CCDカメラと反射ミラーを円筒の両端部に配置し、全てのマーカ移動を1台のカメラで捉えるようにする。半球部では広角レンズ付きカメラを用いてマーカを撮影する。

【産業上の利用可能性】

【0055】

本発明は、ジョイスティックやジョイパッドに代わる一般向け多入力インタフェースとして用いることができる。直感的操作が可能であるため、ゲームやCAD操作の敷居が下が

10

20

30

40

50

る。また、使用者によらず、扱いが容易である。近年、極地作業や遠隔コミュニケーション、エンタテインメントなどの目的で、ロボットの遠隔操作が実現されつつある。本発明は、遠隔地のものを掴んだり、持ち上げたりするようなインタラクションを可能とするために、ロボットハンドを円滑に操作できるインタフェースとして利用され得る。

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】本発明に係る力入力デバイスの部分概略斜視図である。

【図1A】本発明に係る力入力デバイスの断面図である。

【図2】本発明に係る入力インタフェースとロボットハンドとの対応（マスタスレーブ）を示す概念図である。

10

【図2A】本発明に係る入力インタフェースとロボットハンドとの対応（マスタスレーブ）を示すブロック図である。

【図3】カメラ画像を示す。

【図4】カメラ画像の展開画像を示す。

【図5】展開画像における入力点の設定を示す。

【図6】左図は、近似平面弾性体を示す図であり、右図はCCDカメラで撮影された画像を示す。

【図7】他の実施形態に係る力入力デバイスの概略斜視図である。

【図7A】他の実施形態に係る力入力デバイスの断面図である。

【図8】光学式触覚センサの透明弾性体内のマーカの振る舞いを示す。

20

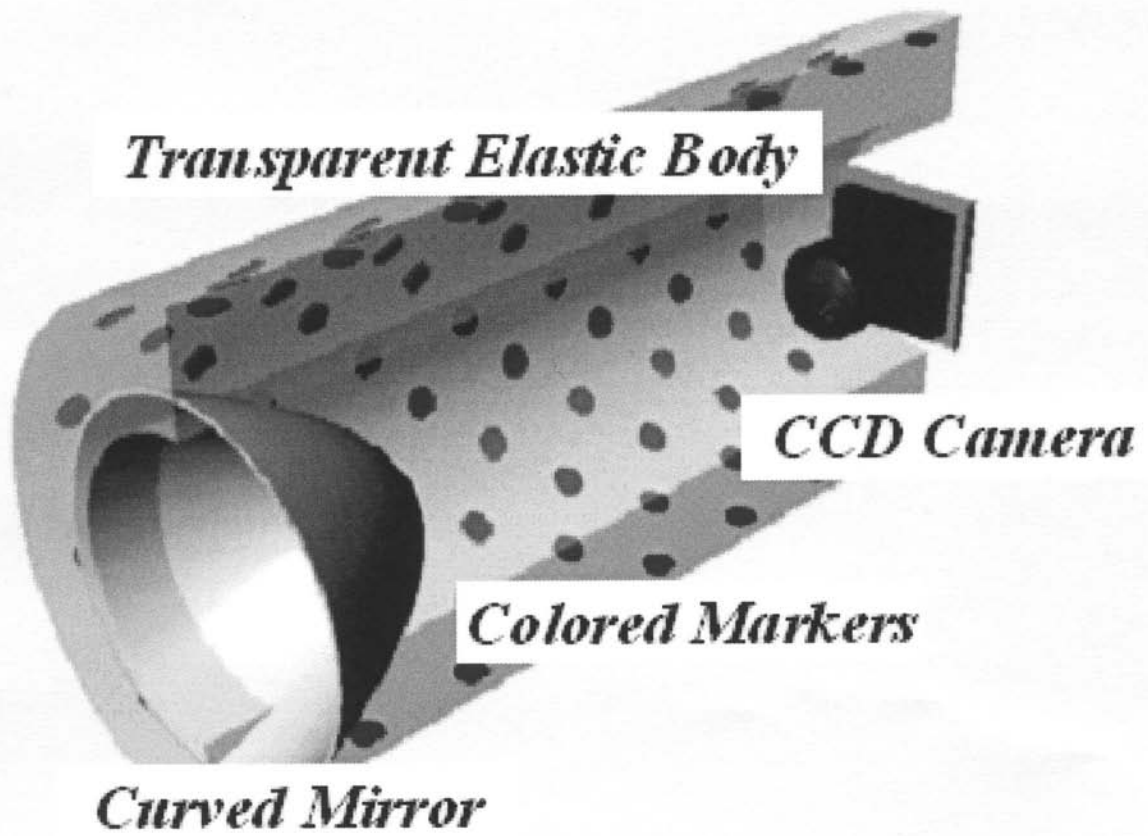
【符号の説明】

【0057】

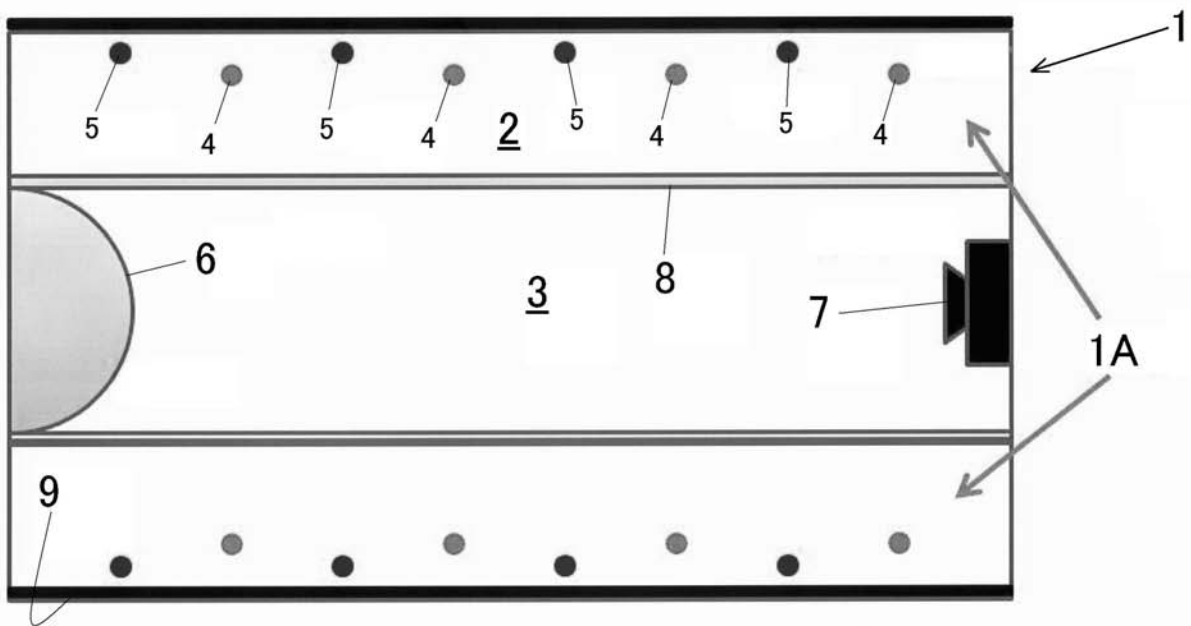
- 1 円筒体
- 2 円筒体の壁
- 3 中空部
- 4 マーカ
- 5 マーカ
- 6 凸面ミラー
- 7 撮影手段
- 8 アクリルパイプ
- 9 遮光用の薄幕
- 10 支柱

30

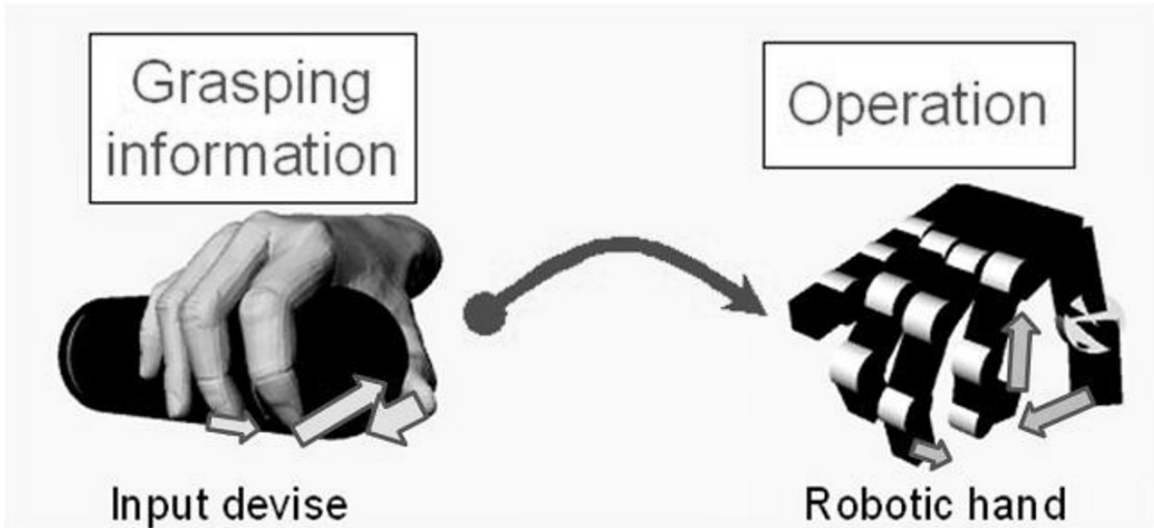
【 図 1 】



【 図 1 A 】



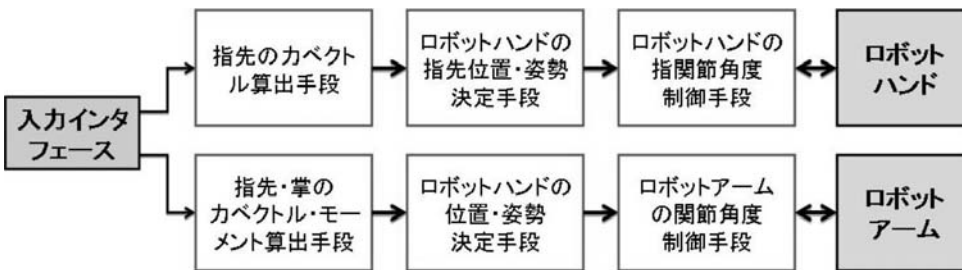
【 図 2 】



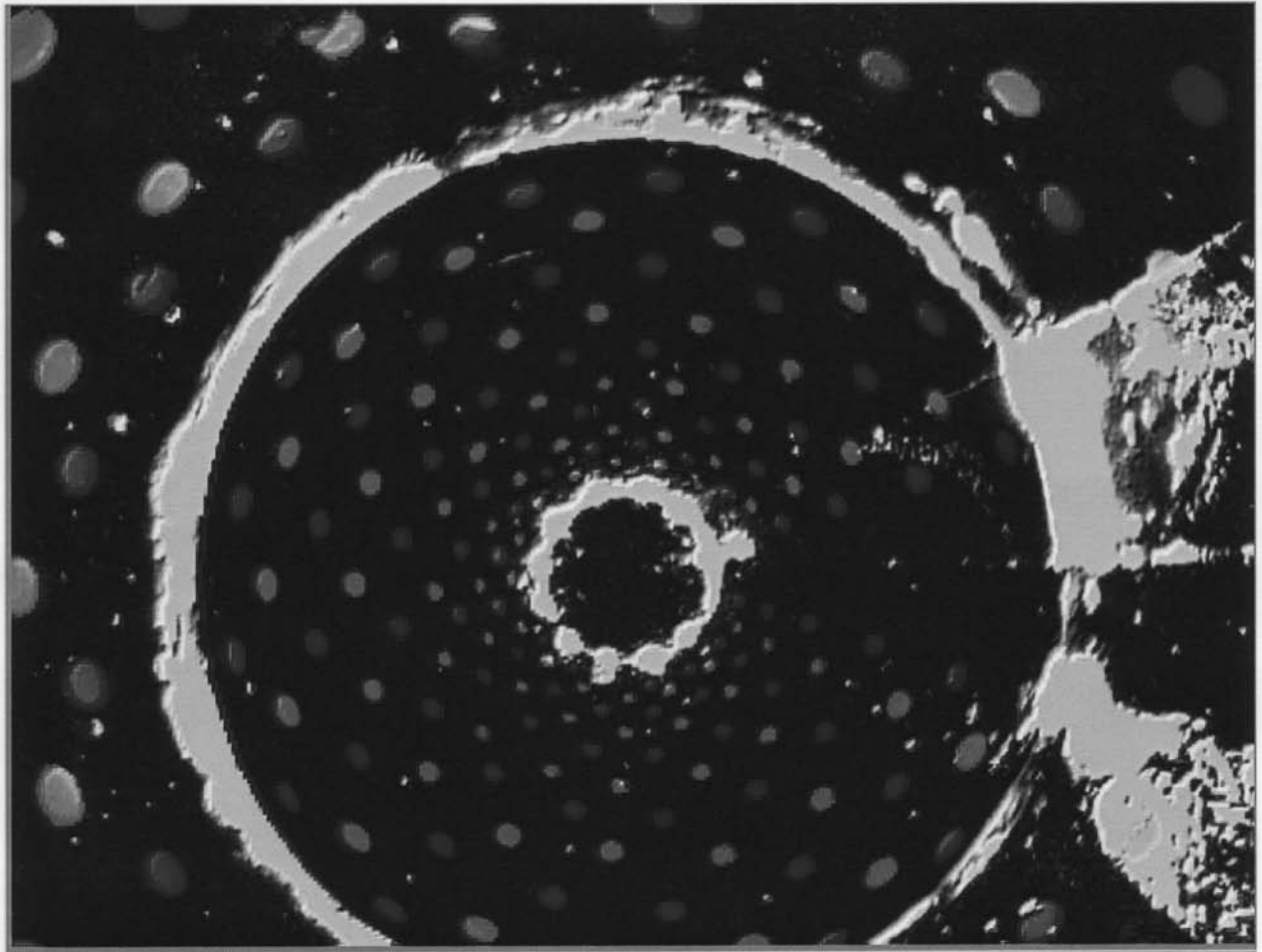
⇒ : デバイスを握ることにより生じるカベクトル

⇒ : ロボットハンドの指の速度

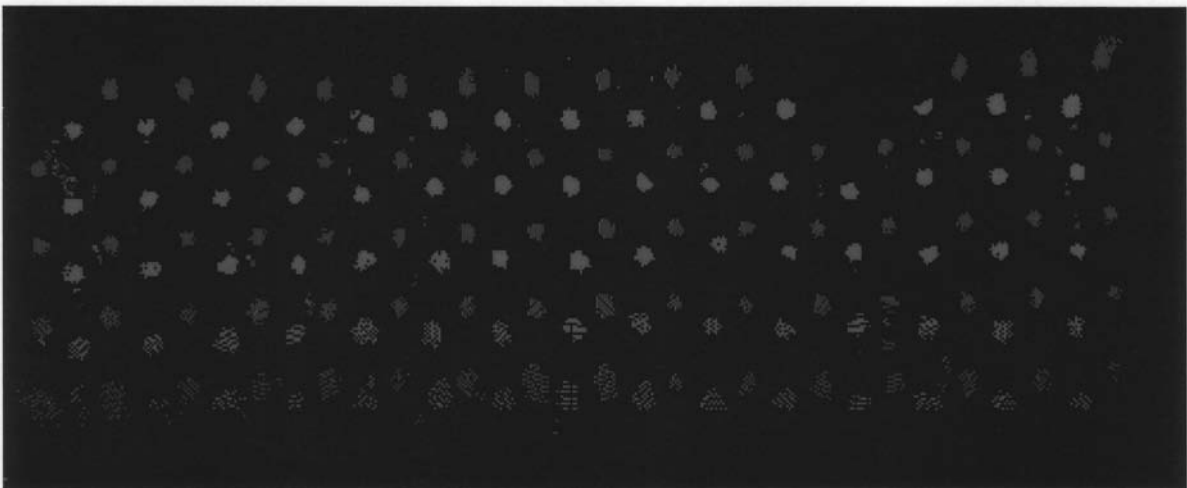
【 図 2 A 】



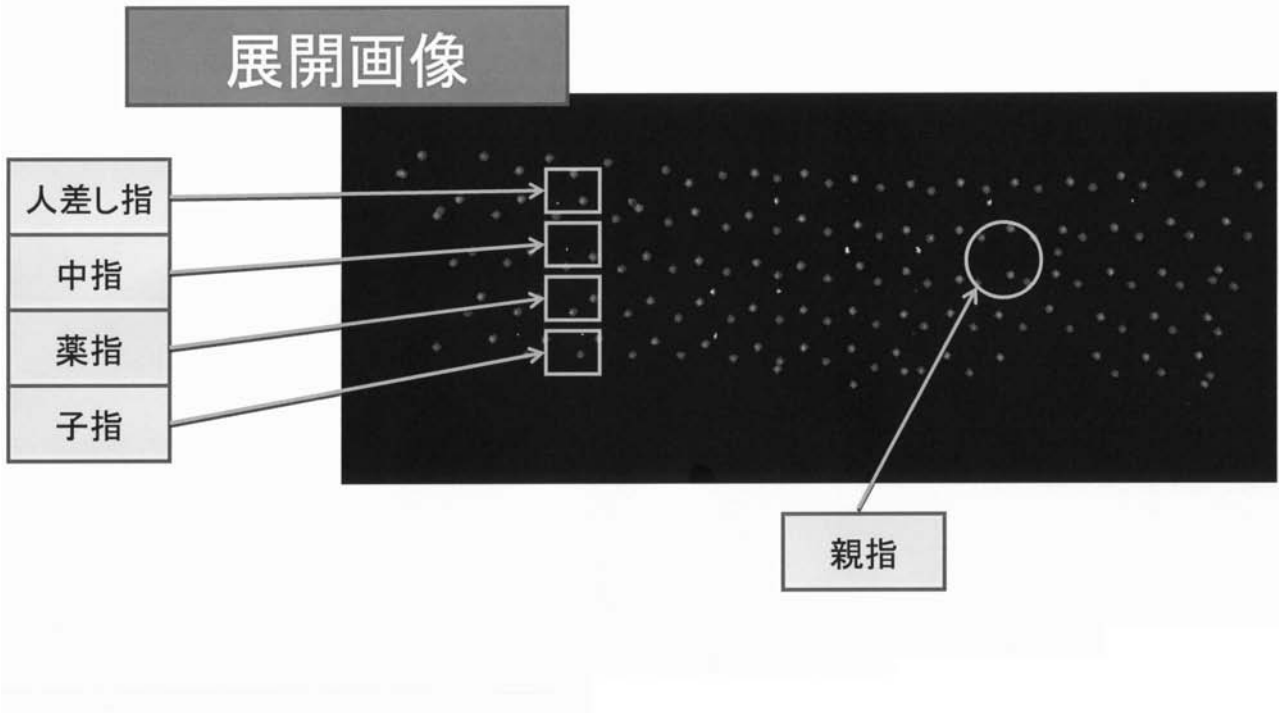
【 図 3 】



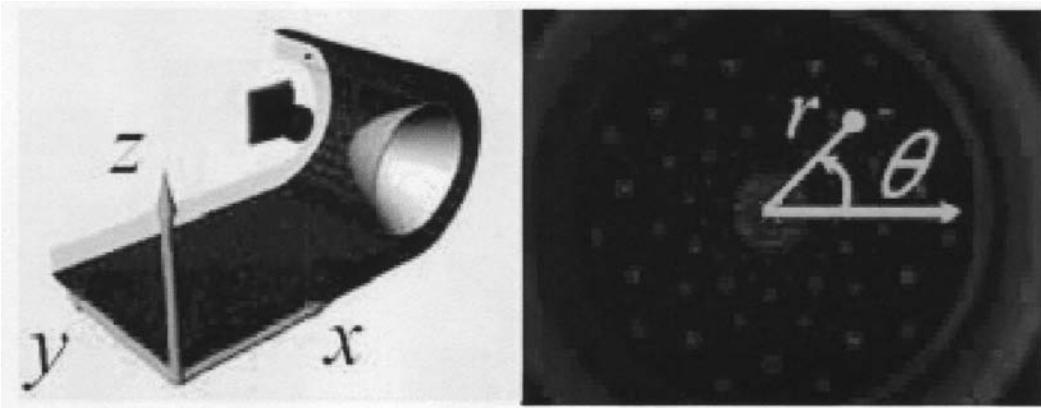
【 図 4 】



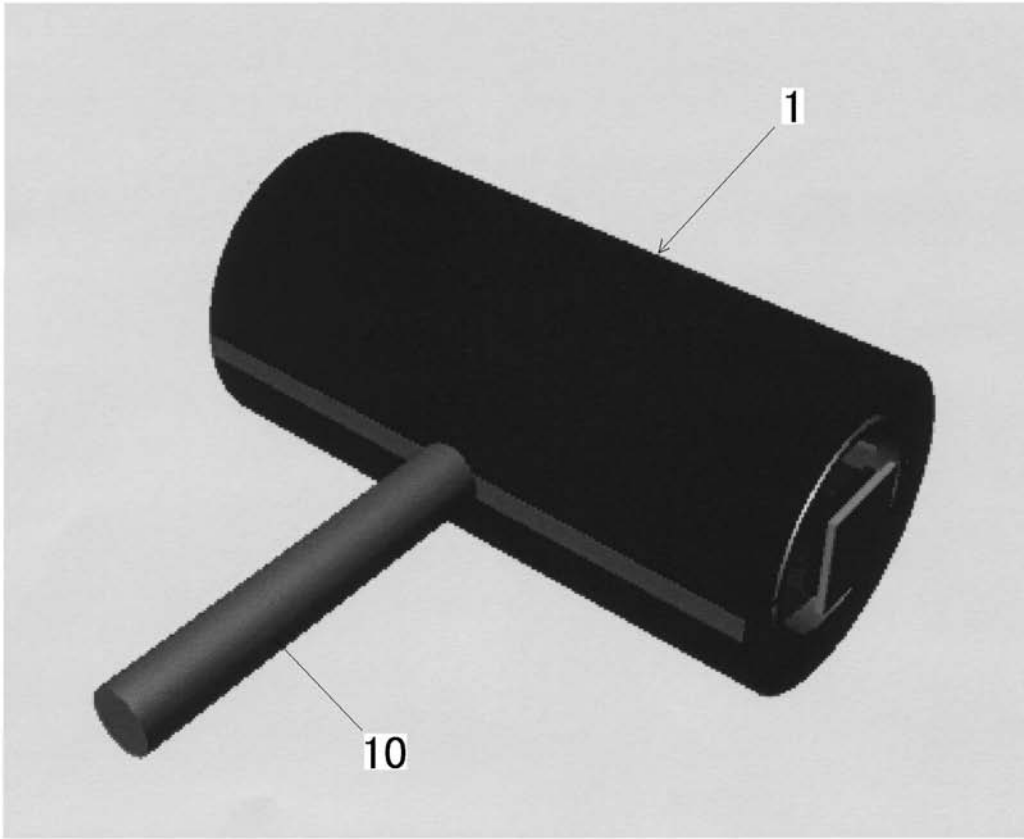
【図5】



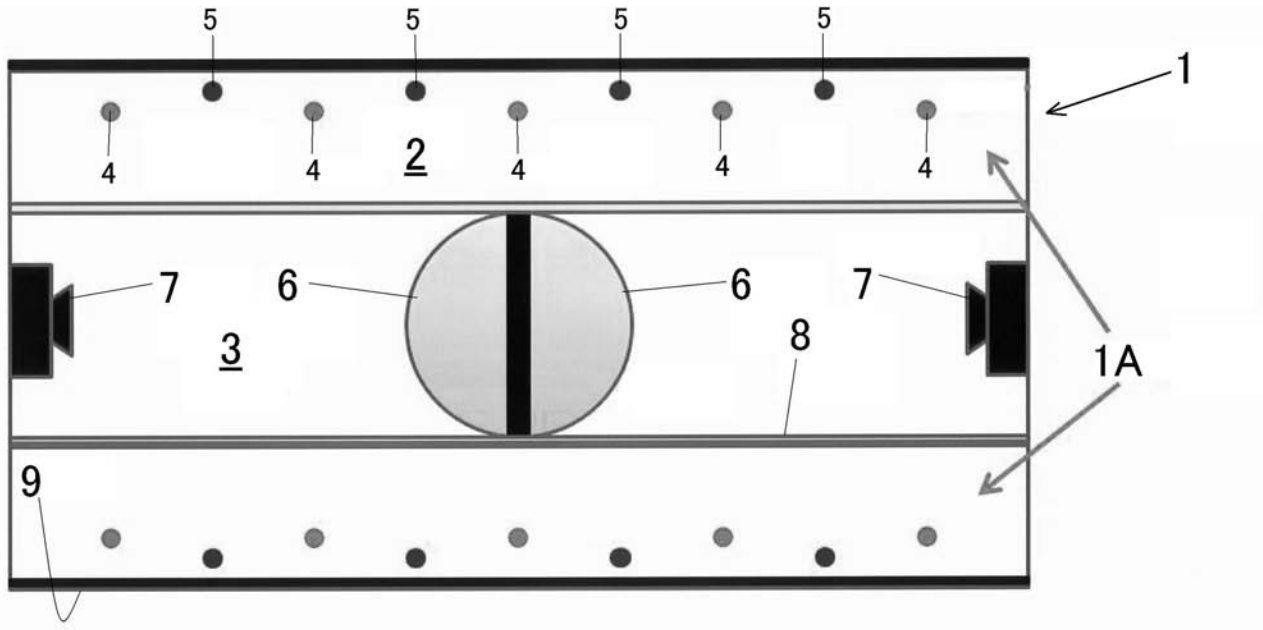
【図6】



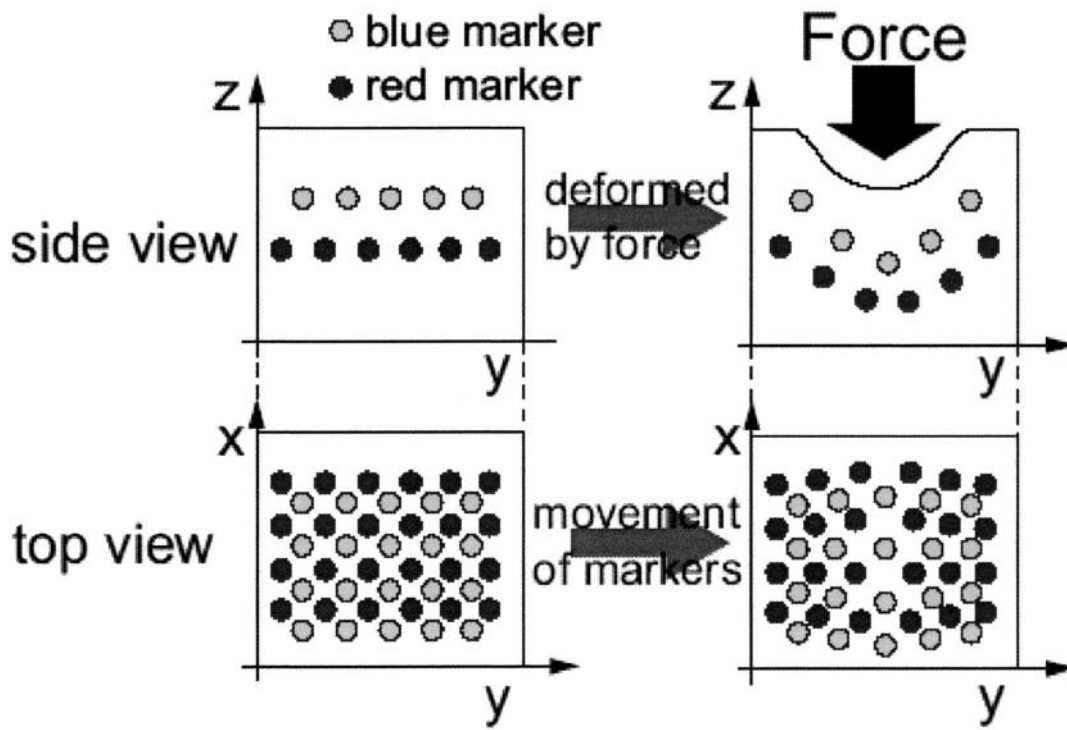
【 図 7 】



【 図 7 A 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G 0 6 F 3/01 (2006.01) G 0 6 F 3/01 3 1 0 C

(72)発明者 古明地 秀治
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

(72)発明者 南澤 孝太
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

Fターム(参考) 2F051 AA10 AB03 BA07
3C007 ES07 JT04 KS33 KT01 KT11 KW04 LV10
5B087 AB02 BC13