

(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2009-34744

(P2009-34744A)

(43) 公開日 平成21年2月19日(2009.2.19)

(51) Int.Cl.
B25J 19/02 (2006.01)F1
B25J 19/02テーマコード (参考)
3C007

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号 特願2007-199224 (P2007-199224)
(22) 出願日 平成19年7月31日 (2007.7.31)(71) 出願人 000002185
ソニー株式会社
東京都港区港南1丁目7番1号
(74) 代理人 100082131
弁理士 稲本 義雄
(74) 代理人 100121131
弁理士 西川 孝
(72) 発明者 坪井 利充
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株
式会社内
(72) 発明者 岸田 武夫
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株
式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御装置および方法、並びにプログラム

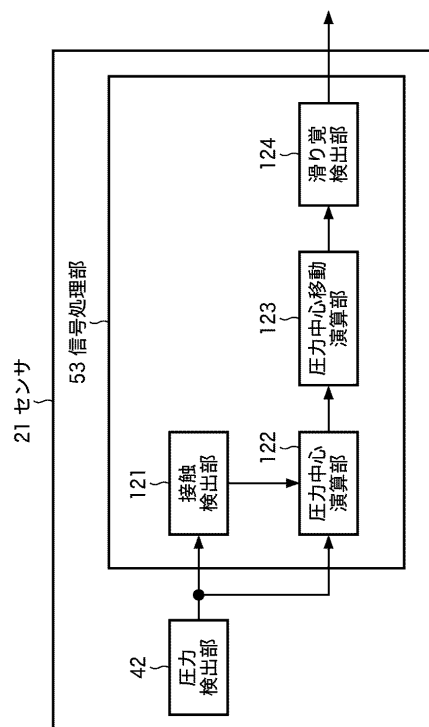
(57) 【要約】

【課題】ロボットハンドやマニピュレータにおける任意物体把持や操りを正確に行ったり、または人とより親和性の高い物理的インタラクションをとることができるようにする。

【解決手段】圧力中心演算部122は、圧力検出部42からの分布圧力値を用いて、圧力中心位置を演算する。圧力中心移動演算部123は、圧力中心演算部122からの圧力中心位置を用いて、圧力中心の移動量を演算する。滑り覚検出部124は、圧力中心移動演算部123からの圧力中心移動演算値に、圧力中心移動演算値の大きさに応じた係数を乗算することで、圧力中心移動検出演算を行う。そして、滑り覚検出部124は、圧力中心移動検出演算の演算結果により、滑りを検出する。このように滑りを検出することで、一定の滑りを発生させながら、任意物体をより自然に取り扱うことができる。本発明は、ロボットハンドマニピュレータに適用できる。

【選択図】図7

図7



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

対象物から受ける力を検出するセンサが設けられた動作部の動きを制御する制御装置において、

前記センサにより検出された検出値に基づいて、前記対象物と動作部の間の滑りを検出する滑り検出手段と、

前記検出手段により一定量の滑りが検出されるように、前記動作部の動きを制御手段とを備える制御装置。

【請求項 2】

前記滑り検出手段は、

前記センサは、複数のエレメントで構成される圧力センサであり、

前記センサにより検出された圧力値を用いて、圧力中心位置を演算する圧力中心演算手段と、

前記圧力中心演算手段により演算された前記圧力中心位置の時間変化を用いて、前記圧力中心位置の移動値を演算する圧力中心移動演算手段と、

前記圧力中心移動演算手段により演算された前記圧力中心位置の移動値に基づいて、滑りを検出する検出手段と

を備える請求項 1 の制御装置。

【請求項 3】

前記センサは、その表面に粘弾性材料で構成される粘弾性体を有する

請求項 2 に記載の検出装置。

【請求項 4】

前記滑り検出手段により検出した滑りは、滑り覚検出値、滑り覚検出値から求められる滑り速度または加速度であり、

前記制御手段は、一定の滑り覚検出値、滑り速度または加速度が検出されるように、前記動作部の動きを制御する

請求項 3 に記載の制御装置。

【請求項 5】

前記制御手段は、一定量の滑りが検出されるように、前記動作部の位置、前記動作部の前記対象物に対する力を制御するを制御する

請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 6】

前記制御手段は、滑りが検出されないように、前記操作部を制御する

請求項 1 に記載の制御装置。

【請求項 7】

対象物から受ける力を検出するセンサが設けられた動作部の動きを制御する制御方法において、

前記センサにより検出された検出値に基づいて、前記対象物と動作部の間の滑りを検出する滑り検出ステップと、

前記検出ステップにより一定量の滑りが検出されるように、前記動作部の動きを制御ステップと

を含む制御方法。

【請求項 8】

対象物から受ける力を検出するセンサが設けられた動作部の動きを制御する制御処理をコンピュータに実行させるプログラムにおいて、

前記センサにより検出された検出値に基づいて、前記対象物と動作部の間の滑りを検出する滑り検出ステップと、

前記検出ステップにより一定量の滑りが検出されるように、前記動作部の動きを制御ステップと

を含む制御処理をコンピュータに実行させるプログラム。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、制御装置および方法、並びにプログラムに関し、特に、対象物をすべらせながら取り扱うことができるようにロボットハンドを制御することができるようにした制御装置および方法、並びにプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、ある物体を把持して移動することができるロボットハンドに用いられる触覚センサとして、すべり覚（相対変位、すべり振動、せん断力）のセンサが挙げられる。

10

【0003】

このすべり覚のセンサを利用するロボットハンドについては、例えば、把持対象物を把持中に多指多関節型ロボットハンドの指先で把持対象物のすべりを検出し、すべりを検出した場合、各指の把持力を所定量増加させ、すべりを防止するロボットハンドの把持制御方法が提案されている（特許文献1）。

【0004】

また、ロボットハンドの指先に把持対象物の把持状態を検出する分布型力覚検出センサを装着し、圧力変化から重心位置の変化を検出し、把持対象物の重力方向への移動を妨げる位置にロボットハンドを回転させ、すべりを防止するロボットハンドの把持制御方法が提案されている（特許文献2）。

20

【0005】

【特許文献1】特開平4 - 189484号公報

【特許文献2】特開平7 - 186083号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながらすべり覚のセンサを利用するロボットハンドの把持制御方法は、上述したようにすべりを防止するためのもので、例えばペンなど長い棒状の物体の把持位置を変化させるために指先をすべらせるなど、物体を操作するために積極的にすべりを発生させる制御方法は存在しない。

30

【0007】

例えば、人の指で、物体を素早く操作するためには、指先で物体をすべらせる動作が必要となるときがある。

【0008】

また、把持対象物体を非常に弱い力で把持しないと対象物体が変形または破壊してしまうような場合に、例えば1秒間に数 μ mのすべりのように極めてゆっくり滑らせてでも弱い力で把持することが必要となるときがある。

【0009】

このように、ロボットハンドの動作制御において、積極的にすべりを発生させることは重要である。

40

【0010】

産業用ロボットハンドでは、狙ったところに移動するのに高い精度の位置制御が必要だったり、対象物を確実に把持するために、対象物を限定して、すべり落とさないために十分に力を加えて把持することが行われる。また道具を使った作業においては専用工具を利用するなど動作に特化した使用方法が一般的である。

【0011】

一方、家庭用ロボットハンドでは対象物を限定できないので壊さないように把持する技術が必要だったり、人がいる空間での作業となるので人と柔らかく接触するなどの技術が必要となる。また、なにか道具を使用する際にも人が使うのと同じような道具を使用することが求められる。

50

【 0 0 1 2 】

すなわち家庭用ロボットハンドにおいて、多種多様な大きさや形状、表面状態、重量の任意物体を器用に把持して操りを行ったり、人間と親和性の高い物理的インタラクションを行なうためには、「力の大きさ、方向、分布」に加えて「すべり」、「ころがり」、「振動」などの物体の動的挙動を検知出来ることが必要である。さらに、物体を把持する指先や皮膚にあたる部分には、把持に最適なやわらかさ（粘弾性・超弾性・ゴムの性質）と表面の摩擦によるグリップ性が必要である。

【 0 0 1 3 】

このように、特に、家庭でロボットハンドでは、産業用ロボットハンドに比べ、積極的にすべりを発生させてロボットハンドの動作を制御方法が必要となると考えられる。

10

【 0 0 1 4 】

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、ロボットハンドによる物体の安定把持、器用な操りなどで必要な滑りの情報を取得し、その情報を利用して、把持の制御やロボットハンドの指先で物を滑らせながら扱うようなすべり制御を行うことができるようにするものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 5 】

本発明の一側面の制御装置は、

対象物から受ける力を検出するセンサが設けられた動作部の動きを制御する制御装置において、

20

前記センサにより検出された検出値に基づいて、前記対象物と動作部の間の滑りを検出する滑り検出手段と、

前記検出手段により一定量の滑りが検出されるように、前記動作部の動きを制御手段とを備える。

【 0 0 1 6 】

前記滑り検出手段は、

前記センサは、複数のエレメントで構成される圧力センサであり、

前記センサにより検出された圧力値を用いて、圧力中心位置を演算する圧力中心演算手段と、

30

前記圧力中心演算手段により演算された前記圧力中心位置の時間変化を用いて、前記圧力中心位置の移動値を演算する圧力中心移動演算手段と、

前記圧力中心移動演算手段により演算された前記圧力中心位置の移動値に基づいて、滑りを検出する検出手段と

を備えることができる。

【 0 0 1 7 】

前記センサは、その表面に粘弾性材料で構成される粘弾性体を有するようにすることができる。

【 0 0 1 8 】

前記滑り検出手段により検出した滑りは、滑り覚検出値、滑り覚検出値から求められる滑り速度または加速度であり、

40

前記制御手段は、一定の滑り覚検出値、滑り速度または加速度が検出されるように、前記動作部の動きを制御することができる。

【 0 0 1 9 】

前記制御手段は、一定量の滑りが検出されるように、前記動作部の位置、前記動作部の前記対象物に対する力を制御するを制御することができる。

【 0 0 2 0 】

前記制御手段は、滑りが検出されないように、前記操作部を制御することができる。

【 0 0 2 1 】

本発明の一側面の制御方法は、

対象物から受ける力を検出するセンサが設けられた動作部の動きを制御する制御装置に

50

において、

前記センサにより検出された検出値に基づいて、前記対象物と動作部の間の滑りを検出する滑り検出ステップと、

前記検出ステップにより一定量の滑りが検出されるように、前記動作部の動きを制御ステップと

を含む。

【 0 0 2 2 】

本発明の一側面の制御装置、制御方法、またはプログラムにおいては、

対象物から受ける力を検出するセンサが設けられた動作部の動きが制御される場合において、

前記センサにより検出された検出値に基づいて、前記対象物と動作部の間の滑りが検出され、

一定量の滑りが検出されるように、前記動作部の動きが制御される。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 3 】

本発明によれば、例えばロボットハンドによる物体の安定把持、器用な操りなどで必要な滑りの情報を取得し、その情報を利用して、把持の制御やロボットハンドの指先で物を滑らせながら扱うすべり制御を行うことができるようにするものである。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 4 】

以下に本発明の実施の形態を説明するが、本発明の構成要件と、明細書または図面に記載の実施の形態との対応関係を例示すると、次のようになる。この記載は、本発明をサポートする実施の形態が、明細書または図面に記載されていることを確認するためのものである。従って、明細書または図面中には記載されているが、本発明の構成要件に対応する実施の形態として、ここには記載されていない実施の形態があったとしても、そのことは、その実施の形態が、その構成要件に対応するものではないことを意味するものではない。逆に、実施の形態が構成要件に対応するものとしてここに記載されていたとしても、そのことは、その実施の形態が、その構成要件以外の構成要件には対応しないものであることを意味するものでもない。

【 0 0 2 5 】

本発明の一側面の制御装置は、対象物から受ける力を検出するセンサが設けられた動作部の動きを制御する制御装置において、

前記センサにより検出された検出値に基づいて、前記対象物と動作部の間の滑りを検出する滑り検出手段（例えば、図 6 のセンサ 2 1）と、

前記検出手段により一定量の滑りが検出されるように、前記動作部の動きを制御手段（例えば、図 6 のメイン制御部 1 0 1 とアクチュエータ 1 0 2）と

を備える。

【 0 0 2 6 】

前記滑り検出手段は、

前記センサは、複数のエレメントで構成される圧力センサであり（例えば、図 5）、

前記センサにより検出された圧力値を用いて、圧力中心位置を演算する圧力中心演算手段と（例えば、図 7 の圧力中心演算部 1 2 2）、

前記圧力中心演算手段により演算された前記圧力中心位置の時間変化を用いて、前記圧力中心位置の移動値を演算する圧力中心移動演算手段（例えば、図 7 の圧力中心移動演算部 1 2 3）と、

前記圧力中心移動演算手段により演算された前記圧力中心位置の移動値に基づいて、滑りを検出する検出手段（例えば、図 7 の滑り覚検出部 1 2 4）と

を備える。

【 0 0 2 7 】

前記センサは、その表面に粘弾性材料で構成される粘弾性体を有する（例えば、図 3）

。

【 0 0 2 8 】

以下、図を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【 0 0 2 9 】

図 1 は、本発明を適用したロボットハンドマニピュレータの外観の構成例を表している。

。

【 0 0 3 0 】

ロボットハンドマニピュレータは、図 1 の左側に示すように、ロボットハンド 1 とロボットハンド 1 を支持する支持部 2 で構成されている。

【 0 0 3 1 】

ロボットハンド 1 は、実際に動作する部分としての肩関節部 1 1 - 1、上腕部 1 1 - 2、肘関節部 1 1 - 3、前腕部 1 1 - 4、手首部 1 1 - 5、および手部 1 1 - 6 などからなる（なお、これらを個々に区別する必要がない場合、関節部 1 1 と称する）。

【 0 0 3 2 】

ロボットハンド 1 の上腕部 1 1 - 2 および前腕部 1 1 - 4 には、それぞれセンサ 2 1 - 1 および 2 1 - 2 が設けられている。また、図 1 の右側に拡大して示すように、ロボットハンド 1 の手部 1 1 - 6 を構成する掌には、センサ 2 1 - 3 および 2 1 - 4 が設けられており、手部 1 1 - 6 を構成する親指の指掌面における第 1 関節より上には、センサ 2 1 - 5、第 1 関節と第 2 関節の間には、センサ 2 1 - 6 がそれぞれ設けられており、人指し指の指掌面における第 1 関節より上には、センサ 2 1 - 7、第 1 関節と第 2 関節の間には、センサ 2 1 - 8、そして第 2 関節と第 3 関節の間には、センサ 2 1 - 9 がそれぞれ設けられている。

【 0 0 3 3 】

さらに、中指の指掌面における第 1 関節より上には、センサ 2 1 - 1 0、第 1 関節と第 2 関節の間には、センサ 2 1 - 1 1、そして第 2 関節と第 3 関節の間には、センサ 2 1 - 1 2 がそれぞれ設けられており、薬指の指掌面における第 1 関節より上には、センサ 2 1 - 1 3、第 1 関節と第 2 関節の間には、センサ 2 1 - 1 4、そして第 2 関節と第 3 関節の間には、センサ 2 1 - 1 5 がそれぞれ設けられており、小指の指掌面における第 1 関節より上には、センサ 2 1 - 1 6、第 1 関節と第 2 関節の間には、センサ 2 1 - 1 7、そして第 2 関節と第 3 関節の間には、センサ 2 1 - 1 8 がそれぞれ設けられている。

【 0 0 3 4 】

ロボットハンド 1 に設けられたセンサ 2 1 - 1 乃至 2 1 - 1 8（なお、特に区別する必要がない場合、以下、単にセンサ 2 1 と称する。他の場合においても同様である）は、そのセンサ面に垂直な法線力（例えば、圧力）のみを検出する静電容量型圧力センサで構成され、その表面に、人間の皮膚のような柔らかさを有する粘弾性体を有している。この粘弾性体は、外部から受ける力とその形によって様々な形状に変化し、それによって内部のセンサ 2 1 に対して圧力が拡散される。

【 0 0 3 5 】

センサ 2 1 は、粘弾性体に物体が接触した際に、その拡散された圧力値（以下、分布圧力値とも称する）を検出し、検出した分布圧力値に基づいて、ロボットハンド 1 による物体の安定把持、器用な操りなどの複雑な制御を行うために必要な把持情報である、把持物体と指先間の滑りを検出する。

【 0 0 3 6 】

本実施の形態の把持、操りにおける「滑り」とは、次のように定義される。

【 0 0 3 7 】

一般的には、指と対象物の間の相対運動を「滑り」と呼ぶ。この相対運動には大きく分けて、「並進運動」と「回転運動」の 2 つがあり、前者の「並進運動」は、把持接触点における把持力（法線力）と直交する方向（せん断方向、接線方向）への運動であり、後者の「回転運動」は、接触を保ちながら回転移動する「転がり運動」と、把持接触点の「法線軸まわりの回転運動」である。これらを、それぞれ、並進滑り、回転滑りと呼んで区別

10

20

30

40

50

するが、これらは、同時に組み合わせあって発生することが多い。

【 0 0 3 8 】

また一方で、把持の安定性やロバスト性などを考慮すると、指先は柔軟な構造とすることが望ましい。この柔軟な指先で対象物を把持している際に対象物へのせん断力を加えていくと、接触領域の外周部から徐々に相対運動が生じて、固着領域と滑り領域が混在する「初期局所滑り」が発生する。さらに、せん断力を加えていくと、ある点を境にして、動摩擦係数に支配される運動状態（狭義の「滑り」）に至る。この滑り出しに相当する「初期局所滑り」時には、振動が発生するため、その観測が可能である。さらに、初期局所滑りに至る前の段階において、指先と対象物の接触領域は略不変であるものの、柔軟素材が変形して「ずれ」が発生する状態も存在する。

10

【 0 0 3 9 】

把持、操りにおいて、指と対象物の間の完全な相対運動のみを基に制御していたのでは制御の遅れによりうまく実現できないことが多い。したがって、「滑り」を予知し、未然に防ぐことも重要であると考え、上記の「初期局所滑り」および「ずれ」も含めたものまでを広義の「滑り」と呼ぶことにする。

【 0 0 4 0 】

なお、図 1 のセンサ 2 1 においては、このように定義される「滑り」のうち、「初期局所滑り」および「ずれ」を含めた「並進運動」と「回転運動」を検出することができる。

【 0 0 4 1 】

ロボットハンドマニピュレータは、この滑りに基づき、ロボットハンド 1 の所定の関節部 1 1 に内蔵されるアクチュエータ（図示せぬ）を制御して、積極的にすべりを発生させ、例えば図 1 に示されるペンなど長い棒状の持ち替え動作を自然に行わせることができる。

20

【 0 0 4 2 】

図 2 は、センサ 2 1 の外観の構成例を示す斜視図である。

【 0 0 4 3 】

センサ 2 1 は、大きく分けて、物体が触れる部分であって、変形する材料で構成されている入力部 3 1、入力部 3 1 を支える固定部 3 2、および電源を入力し、センサ 2 1 の検出結果などを、例えば、ロボットハンドマニピュレータのメイン制御部 1 0 1（後述する図 6）などに出力する外部接続部 3 3 により構成されている。

30

【 0 0 4 4 】

図 2 の例において、入力部 3 1 は、入力面 3 1 a が四角形である四角柱型で形成されている。なお、以下、特に言及しない場合、この入力面 3 1 a と平行な面を、 $x y z$ 座標系の $x y$ 平面とし、入力面 3 1 a に垂直な方向を z 軸方向として説明する。

【 0 0 4 5 】

図 3 は、図 2 のセンサ 2 1 の内部構造を示している。図 3 の上側には、センサ 2 1 を真上から見た上面図が、図 3 の下側には、センサ 2 1 の側面断面図がそれぞれ示されている。

【 0 0 4 6 】

入力部 3 1 は、大きく分けて、変形部 4 1 および圧力検出部 4 2 からなり、変形部 4 1 を上層、圧力検出部 4 2 を下層とする多層構造となっている。なお、図 3 上側において入力部 3 1 および変形部 4 1 は、内部構成がわかるように、段階的に透過された状態で示されている。

40

【 0 0 4 7 】

変形部 4 1 は、例えば、シリコンゲル材料のような粘弾性特性を有する粘弾性材料（粘弾性体）で構成されており、外部からの荷重により容易に変形が可能である。

【 0 0 4 8 】

粘弾性材料には、耐熱、耐寒、しゅう動、耐摩擦性の高いシリコンゲルが適しているが、他の材料を用いることもできる。

【 0 0 4 9 】

50

また、固定部 3 2 との境界は拘束面になっており、接着や一体成形により固着されている。そのため、ゴム材料同等の非圧縮性から、例えば、側面や上面の一部が膨らむ、いわゆるバルジング現象を起こすこととなり、その形は、荷重値や入力面形状により様々な特徴をあらわすことが、出願人による実験の結果、認められている。

【 0 0 5 0 】

図 4 は、変形部 4 1 に用いられる粘弾性材料の圧縮および引張特性の例を示している。

【 0 0 5 1 】

縦軸は、粘弾性材料に働く荷重（外力）に抵抗して生じる応力 [MPa] を表しており、横軸は、材料に荷重が働くことで現れる変形の、元の状態に対する度合いであるひずみ（歪）を表している。

【 0 0 5 2 】

ひずみが 0.0 である位置（すなわち、ひずみが生じていない位置）が粘弾性材料に外力が働いていない状態であり、ひずみが 0.0 である位置から圧縮の荷重が加わると、ひずみは、-0.8 辺りまでしか変化せず、生じる応力は、ひずみが -0.5 辺りまで、マイナス方向（図中下方向）に少しずつ増加し、ひずみが -0.6 を超えた辺りから -0.8 辺りまでは、急激に増加する。

【 0 0 5 3 】

一方、ひずみが 0.0 の位置から引張の荷重が加わると、ひずみは、2.0 辺りまで変化し、生じる応力は、ひずみが 2.0 辺りまで、プラス方向（図中上方向）に、圧縮の場合の応力の増加に比してなだらかに増加する。

【 0 0 5 4 】

図 3 に戻り圧力検出部 4 2 は、例えば、静電容量変化を利用して、圧力を検出する静電容量型圧力センサなどで構成されている。

【 0 0 5 5 】

変形部 4 1 の変形によって応力分散が生じ、内部の圧力検出部 4 2 に対して圧力が拡散されるので、粘弾性体の変形による補間特性に基づき、圧力検出部 4 2 は、静電容量型圧力センサの空間分解能以上のセンシング性能を得ることができる。

【 0 0 5 6 】

図 5 は、図 3 の圧力検出部 4 2 の詳細を示している。

【 0 0 5 7 】

圧力検出部 4 2 は、例えば、フレキシブル基板 5 1 上にマトリクス状に配置された複数の圧力検出素子（以下、センサエレメントとも称する）5 2 により構成される。すなわち、圧力検出部 4 2 で構成されるセンサは、静電容量型圧力センサであり、分布型圧力センサとも呼ばれる。なお、図 5 の例においては、説明の便宜上、1 つのセンサエレメントに符号を付し、他のセンサエレメントの符号は省略されている。

【 0 0 5 8 】

図 5 の例の場合、圧力検出部 4 2 は、縦 21 列 × 横 8 行の 168 個のセンサエレメント 5 2 により構成されており、センサエレメント 5 2 の各列および各行からは、それぞれ、引き出し線が信号処理部 5 3 に入力されている。これらの各センサエレメント 5 2 により検出された分布圧力値は、この引き出し線を介して、信号処理部 5 3 に入力され、信号処理部 5 3 により所定の信号処理が行われる。そして、センサ 2 1 の外部には、この信号処理の結果が出力される。

【 0 0 5 9 】

圧力検出部 4 2 および信号処理部 5 3 が配置されたフレキシブル基板 5 1 の上に、粘弾性材料からなる変形部 4 1 が配置されて、センサ 2 1 が構成されている。

【 0 0 6 0 】

次に、図 1 のロボットハンドマニピュレータの電氣的な構成を説明する。図 6 は、図 1 のロボットハンドマニピュレータの電氣的な構成例を示している。

【 0 0 6 1 】

図 6 の例において、ロボットハンドマニピュレータは、メイン制御部 1 0 1、アクチュ

10

20

30

40

50

エータ 102 - 1, 102 - 2, ... およびセンサ 21 - 1, 21 - 2, ... より構成されている。

【0062】

図 1 に示したように所定の関節部 11 に対応する所定の位置に配置されているセンサ 21 は、電氣的に図 5 に示したように圧力検出部 42 および信号処理部 53 を含んで構成されている。

【0063】

センサ 21 の圧力検出部 42 は、複数のセンサエレメント 52 (図 5) により静電容量変化を検出原理として検出された分布圧力値を、信号処理部 53 に出力する。なお、分布圧力値の検出原理は、静電容量変化以外であってもよい。例えば、抵抗値変化とすることもできるし、分布圧力値がとれるのであれば、感圧ゴムを並べただけのセンサであってもよい。

【0064】

信号処理部 53 は、圧力検出部 42 からの分布圧力値を用いて、所定の信号処理 (後述) を行うことで、把持物体と指先間の滑りを検出し、検出した滑りの情報を、メイン制御部 101 にリアルタイムに出力する。

【0065】

メイン制御部 101 は、CPU(Central Processing Unit)やメモリ等を内蔵しており、CPUにおいて、メモリに記憶された制御プログラムが実行されることにより、各種の処理を行う。

【0066】

すなわち、メイン制御部 101 は、各センサ 21 により検出された把持物体と指先間の滑りの情報を受け、各センサ 21 からの把持物体と指先間の滑りの情報に基づき、センサ 21 自体の柔らかさおよび表面の摩擦によるグリップ性などを利用して、アクチュエータ 102 のうちの必要なものを制御して、所定の関節部 11 を駆動させて、ロボットハンド 1 に、物体を把持させて、移動や運搬などを行わせる。

【0067】

メイン制御部 101 はまた、物体を把持されて、移動や運搬などを行わせる際、各センサ 21 からの把持物体と指先間の滑りの情報に基づき、アクチュエータ 102 のうちの必要なものを制御して、所定の関節部 11 を駆動させて、積極的に、関節部 11 と把持物体との間に滑りを発生させ、ロボットハンド 1 に、より高速にまたはより自然に物体の移動や運搬などを行わせることができる。

【0068】

なお以下において、このように積極的に、関節部 11 と把持物体との間に滑りを発生させ、ロボットハンド 1 を制御する処理を、すべり制御処理と称する。

【0069】

各アクチュエータ 102 は、それぞれ、ロボットハンド 1 の所定の関節部 11 (すなわち、肩関節部 11 - 1、肘関節部 11 - 3、手首部 11 - 5、手部 11 - 6) に内蔵されており、メイン制御部 101 からの駆動信号に従って所定の関節部 11 を駆動させる。これにより、所定の関節部 11 は、所定の自由度を持って回転することができるようになっている。

【0070】

図 7 は、センサ 21 の信号処理部 53 の電氣的な構成例を示している。圧力検出部 42 からの分布圧力値の情報は、信号処理部 53 の接触検出部 121 および圧力中心演算部 122 にそれぞれ入力される。

【0071】

信号処理部 53 の接触検出部 121 は、圧力検出部 42 からの分布圧力値を用いて、各センサエレメント 52 における接触検出を行い、センサ 21 (変形部 41) への物体の接触検出が行われたセンサエレメント 52 の情報を、圧力中心演算部 122 に出力する。

【0072】

10

20

30

40

50

例えば、圧力検出部 4 2 が、水平方向(x)にm個 (x=0,1,2,...,m-1)、垂直方向(y)にn個 (y=0,1,2,...,n-1)のm×n個 (図 5 の例の場合は、縦を水平方向とみて、m=21,n=8)のセンサエレメント 5 2 で構成されているとすると、接触検出部 1 2 1 は、それぞれのセンサエレメント 5 2 の出力 (すなわち、圧力値) P(x,y)がある閾値th(x,y)を超えた場合、すなわち、次の式 (1) を満たした場合、そのセンサエレメント 5 2 が、入力部 3 1 (変形部 4 1) への物体の接触を検出したとする。なおth(x,y)は、全てのセンサエレメント 5 2 に対して同じ閾値であってもよい。

【数 1】

$$P(x,y) > th(x,y) \quad \cdots(1)$$

10

【 0 0 7 3 】

また、接触検出部 1 2 1 は、それぞれのセンサエレメント 5 2 の出力P(x,y)の総和がある閾値thを超えた場合、すなわち、次の式 (2) を満たしたとき、それらのセンサエレメント 5 2 が接触を検出したとしてもよい。

【数 2】

$$\sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x,y) > th \quad \cdots(2)$$

【 0 0 7 4 】

圧力中心演算部 1 2 2 は、圧力検出部 4 2 からの分布圧力値を用いて、圧力中心位置を演算し、圧力中心移動演算部 1 2 3 に供給する。

20

【 0 0 7 5 】

具体的には、圧力検出部 4 2 のセンサエレメント 5 2 により検出される圧力値をP(x,y)として、各センサエレメント 5 2 の単位面積をS(x,y)とすると、圧力中心位置COPx,COPyは、次の式 (3) で求められる。

【数 3】

$$COP_x = \frac{\sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x,y) \times S(x,y) \times x}{\sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x,y) \times S(x,y)}$$

$$COP_y = \frac{\sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x,y) \times S(x,y) \times y}{\sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x,y) \times S(x,y)} \quad \cdots(3)$$

30

【 0 0 7 6 】

すなわち、式 (3) の右辺の分母は法線方向にかかる力の総和であり、右辺の分子は、トルクの総和であるので、式 (3) によれば、トルクがかかっている位置の代表点としての圧力中心位置が求められる。

40

【 0 0 7 7 】

なお、図 5 の例の場合のように、各センサエレメント 5 2 の単位面積S(x,y)が全て同じ場合、圧力中心位置COPx,COPyは、簡易的に、次の式 (4) で求められる。

【数 4】

$$\text{COP}_x = \frac{\sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x,y) \times x}{\sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x,y)}$$

$$\text{COP}_y = \frac{\sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x,y) \times y}{\sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x,y)} \quad \dots(4)$$

10

【0078】

なお、ここで、式(3)および式(4)では、全てのセンサエレメント52の圧力値 $P(x,y)$ を用いたが、式(1)または式(2)を満たす、すなわち、接触を検出したセンサエレメント52の圧力値 $P(x,y)$ のみを用いて、圧力中心位置 $\text{COP}_x, \text{COP}_y$ を求めることもできる。この場合、接触が検出されないときには圧力中止位置が求められないので、演算を止めておくことができる。

【0079】

20

また、図5の例の場合、センサエレメント52を水平方向および垂直方向にそれぞれ配置した例を説明しているが、センサエレメント52は、水平方向だけや垂直方向だけに配置した場合にも同様な処理を行うことができる。センサエレメント52を水平方向だけに配置した場合は、 $n=0$ の場合であり、圧力中心位置 COP_x の結果のみが用いられる。また、センサエレメント52を垂直方向だけに配置した場合は、 $m=0$ の場合であり、圧力中心位置 COP_y の結果のみが用いられる。

【0080】

以上のようにして求められる圧力中心位置 $\text{COP}_x, \text{COP}_y$ は、圧力値に応じて $0 \leq \text{COP}_x \leq m-1$, $0 \leq \text{COP}_y \leq n-1$ の値しかとらない。したがって、圧力中心位置 $\text{COP}_x, \text{COP}_y$ を圧力中心移動演算部123に渡すことにより、接触位置検出の検出結果が、圧力中心移動演算部123において利用可能になる。

30

【0081】

圧力中心移動演算部123は、圧力中心演算部122からの圧力中心位置を時系列に蓄積する。圧力中心移動演算部123は、例えば、その蓄積された圧力中心位置の移動平均値の差分、または、圧力中心位置の差分を求め、求められた差分を、圧力中心移動演算値として、滑り覚検出部124に出力する。

【0082】

例えば、圧力中心位置の時系列情報を、それぞれ、 $\text{COP}_x(t)$ および $\text{COP}_y(t)$ とする。圧力中心移動演算部123は、微小な変動分を吸収するため、 $\text{COP}_x(t)$ および $\text{COP}_y(t)$ に対して、ローパスフィルタ、または移動平均を行う。ここで、演算がより簡単な移動平均を用いた場合について説明する。なお、変動(ノイズ)が少ない場合には、ローパスフィルタや移動平均処理を行わなくてもよい。

40

【0083】

移動平均をとる数を M とすると、移動平均 $\text{COP}_{x_{MA}}(t)$ および $\text{COP}_{y_{MA}}(t)$ は、時系列で蓄積された $\text{COP}_x(t)$ および $\text{COP}_y(t)$ を用いて、次の式(5)で表される。

【数 5】

$$\text{COP}_{\text{XMA}}(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \text{COP}_x(t-i)$$

$$\text{COP}_{\text{YMA}}(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \text{COP}_y(t-i) \quad \cdots(5)$$

【0084】

圧力中心移動演算部 123 は、求められた移動平均 $\text{COP}_{\text{XMA}}(t)$ および $\text{COP}_{\text{YMA}}(t)$ も時系列で蓄積する。圧力中心移動演算部 123 は、蓄積された移動平均値を用いて、圧力中心移動演算値を次の式(6)のようにして求める。

【数 6】

$$\text{Dx}(t,i) = \text{COP}_{\text{XMA}}(t) - \text{COP}_{\text{XMA}}(t-i)$$

$$\text{Dy}(t,i) = \text{COP}_{\text{YMA}}(t) - \text{COP}_{\text{YMA}}(t-i) \quad \cdots(6)$$

【0085】

すなわち、式(6)においては、例えば、時刻 t の移動平均値と、時刻 $t-1$ 、時刻 $t-2$ 、および時刻 $t-3$ などとの移動平均値との差分が求められる。すなわち、複数回の時間の変化が求められる。この移動平均値の差分である圧力中心移動演算値 $\text{Dx}(t,i)$ および $\text{Dy}(t,i)$ は、滑り覚検出部 124 に出力される。

【0086】

滑り覚検出部 124 は、例えば、圧力中心移動演算部 123 からの演算結果(すなわち、圧力中心移動演算値)を用いて、圧力中心移動検出演算を行い、圧力中心移動検出演算の演算結果により、滑りを検出したり、圧力中心移動演算部 123 からの演算結果を用いて、滑りを検出する。なお、圧力中心移動検出演算の演算結果を用いる場合には、滑り覚検出部 124 は、圧力中心移動演算値に、圧力中心移動演算値の大きさに応じた係数を乗算することで、圧力中心移動検出演算を行い、圧力中心移動検出演算の演算結果により、滑りを検出する。

【0087】

すなわち、滑り覚検出部 124 は、圧力中心移動検出演算の演算結果、または、圧力中心移動演算部 123 からの演算結果が、所定の閾値(以下、判定用閾値と称する)を超えたか否かを判定し、判定用閾値を超えたと判定した場合、滑りを検出する。

【0088】

例えば、滑り覚検出部 124 は、圧力中心移動演算部 123 からの圧力中心移動演算値 $\text{Dx}(t,i)$ および $\text{Dy}(t,i)$ を用いて、式(7)を演算し、移動検出係数 $\text{Kx}(i)$ および $\text{Ky}(i)$ を求める。

【数 7】

$$\text{Kx}(i) = \begin{cases} \text{Cs} & : |\text{Dx}(t,i)| < \text{threshold} \cdot i \\ \text{Cl} & : |\text{Dx}(t,i)| \geq \text{threshold} \cdot i \end{cases}$$

$$\text{Ky}(i) = \begin{cases} \text{Cs} & : |\text{Dy}(t,i)| < \text{threshold} \cdot i \\ \text{Cl} & : |\text{Dy}(t,i)| \geq \text{threshold} \cdot i \end{cases} \quad \cdots(7)$$

【0089】

ここで、threshold は一定値であり、Cs, Cl は、 $0 < \text{Cs} < \text{Cl}$ の定数である。例えば、Cs=1、および Cl=2 を用いる。したがって、threshold・i は、i が大きくなると大きくなる値で

10

20

30

40

50

ある。すなわち、移動検出係数 $Kx(i)$ および $Ky(i)$ は、圧力中心移動演算値 $Dx(t,i)$ および $Dy(t,i)$ の大きさに応じて求められる係数、さらに具体的には、圧力中心移動演算値 $Dx(t,i)$ および $Dy(t,i)$ の大きさと、時間に応じて大きくなる値との比較結果に応じて求められる係数である。なお、thresholdは可変の値であってもよい。

【 0 0 9 0 】

そして、滑り覚検出部 1 2 4 は、式 (6) および式 (7) により求められた値を用いて圧力中心移動検出演算を行う。この圧力中心移動検出演算の演算式は、式 (8) で表される。

【 数 8 】

$$Mdx(t,i) = Kx(i) \cdot Dx(t,i)$$

10

$$Mdy(t,i) = Ky(i) \cdot Dy(t,i) \quad \cdots(8)$$

【 0 0 9 1 】

さらに、滑り覚検出部 1 2 4 は、式 (8) により求めた値を用いて滑り覚検出演算を行う。この滑り覚検出演算の演算式は、式 (9) で表される。

【 数 9 】

$$Sdx(t) = \sum_{i=1}^N Mdx(t,i)$$

20

$$Sdy(t) = \sum_{i=1}^N Mdy(t,i) \quad \cdots(9)$$

【 0 0 9 2 】

式 (9) により求められる滑り覚検出値 Sdx および Sdy は、滑り量が増大するとその量が増加し、方向成分がほぼ保存される性質を有する量である。そして、滑り覚検出部 1 2 4 は、この滑り覚検出値 Sdx および Sdy が、判定用閾値を超えたと判定したときに、滑りを検出する。

【 0 0 9 3 】

なお、図 2 0 を参照して後述するが、式 (9) における N の値を大きく、式 (7) におけるthresholdを小さくすることで、非常にゆっくりと滑る場合の滑りも検出することができるように、 N の値を小さく、thresholdを大きくすることで、高速に滑った場合の滑りのみを検出することができる。したがって、滑り覚検出部 1 2 4 においては、複数の N に対して、また複数のthresholdに対して演算を行うことで、複数の種類の滑り覚検出値 Sdx および Sdy を取得することができ、それを、検出目的に応じて使い分けることができる。

30

【 0 0 9 4 】

以上のようにして、滑り覚検出部 1 2 4 により検出された滑りと滑りの方向は、滑りの情報として、メイン制御部 1 0 1 にリアルタイムに出力される。

【 0 0 9 5 】

40

図 8 は、すべり制御処理を実行する場合のメイン制御部 1 0 1 とアクチュエータ 1 0 2 の電氣的な構成例を示している。なお図 8 の例では、メイン制御部 1 0 1 は、1つのアクチュエータ 1 0 2 - M を内蔵する1つの関節部 1 1 - M (図示せぬ) と把持対象物との間に所定の滑りが発生するように、その関節部 1 1 - M に設けられた1つのセンサ 2 1 - N からの検出結果に基づいて、そのアクチュエータ 1 0 2 - M を制御するものとする。

【 0 0 9 6 】

メイン制御部 1 0 1 のすべり制御部 5 0 1 は、実行させるすべり制御処理により関節部 1 1 - M に発生させたいすべり量 (すなわち滑り覚検出値 Sdx および Sdy) (以下、適宜、目標滑り覚検出値と称する) を決定し、減算器 5 0 2 に供給する。

【 0 0 9 7 】

50

減算器 5 0 2 には、センサ 2 1 - N から検出されたすべり量（すなわちフォードバックされる滑り覚検出値 Sdx および Sdy ）（以下、適宜、検出滑り覚検出値と称する）が供給される。

【 0 0 9 8 】

減算器 5 0 2 は、すべり制御部 5 0 1 から供給された目標滑り覚検出値と、センサ 2 1 から供給された検出滑り覚検出値とを減算し、その結果得られた両者の差分値を、すべり操作部 5 0 3 に供給する。

【 0 0 9 9 】

すべり操作部 5 0 3 は、減算器 5 0 2 から供給された差分値が減少するように関節部 1 1 - M を起動させるための制御信号（すなわち、目標滑り覚検出値が検出されるように関節部 1 1 - M を起動させるための制御信号）を、アクチュエータ 1 0 2 - M に供給する。

【 0 1 0 0 】

アクチュエータ 1 0 2 - M の調節部 5 1 1 は、メイン制御部 1 0 1 のすべり操作部 5 0 3 から供給された制御信号に応じた関節部 1 1 - M の位置や関節部 1 1 - M が発生する力（または受ける力）（以下、目標状態と称する）を示す信号を減算器 5 1 2 に供給する。

【 0 1 0 1 】

減算器 5 1 2 には、状態検出部 5 1 4 から、調節部 5 1 1 が出力する目標状態を示す信号に対応する、関節部 1 1 - M のいま現在の位置や発生している力（以下、適宜、検出状態と称する）を表す信号が供給される。

【 0 1 0 2 】

減算器 5 1 2 は、調節部 5 1 1 から供給された関節部 1 1 - M の目標状態を示す信号と、状態検出部 5 1 4 から供給された関節部 1 1 - M の検出状態を示す信号の差分を算出し、その結果得られた差分値を、駆動部 5 1 3 に供給する。

【 0 1 0 3 】

駆動部 5 1 3 は、減算器 5 1 2 から供給された差分値が減少するように関節部 1 1 - M を駆動させる。

【 0 1 0 4 】

状態検出部 5 1 4 は、アクチュエータ 1 0 2 - M が内蔵されている関節部 1 1 - M の位置や発生している圧力等のその関節部 1 1 - M の状態を検出し、その状態を表す信号を減算器 5 1 2 にフィードバックする。

【 0 1 0 5 】

次に、センサ 2 1 とメイン制御部 1 0 1 の動作を説明する。

【 0 1 0 6 】

はじめにセンサ 2 1 の動作を、図 9 を参照して説明する。

【 0 1 0 7 】

図 9 は、荷重前の入力部 3 1 の形状の例（上側）と荷重後の入力部 3 1 の形状の例（下側）を示している。なお、図 9 の例において、図中右方向が $x y z$ 座標系の x 軸の正方向を表し、図中上方向が z 軸の正方向を表している。

【 0 1 0 8 】

指 A などの入力部 3 1 の押下により入力部 3 1 に z 軸の負方向（図中下方向）に荷重 F_z がかけられると、入力部 3 1 と固定部 3 2 とは接着や一体成形により固着され、その境界は拘束面となっており、同時に、変形部 4 1 はゴム材料同等の非圧縮性であることから、変形部 4 1 は徐々に変形し、応力分散により圧力分布が発生する。そして荷重後においては、点線に示されるもとの形状よりも側面や上面の一部が膨らむ、いわゆるバルジング現象が発生して、その状態における圧力分布が発生する。

【 0 1 0 9 】

すなわち圧力検出部 4 2 を構成するセンサエレメント 5 2（図 5）のうち、荷重 F_z による圧力中心位置 C に位置するセンサエレメント 5 2 が計測する圧力値は、図 10 の圧力値と時間のグラフ（図 10 の図中下のグラフ）に示されるように、段々と上がり、所定の値に達すると、その所定の値が維持される静定状態となる。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 0 】

静定状態の圧力検出部 4 2 における圧力値の分布は、図 1 0 の圧力値と x 軸方向の位置のグラフ（図 1 0 の図中上のグラフ）に示されるように、圧力中心位置 C の圧力値を最大とし、圧力値の分布範囲の両端における圧力値を最小とした略左右対称の山なりの形状となる。

【 0 1 1 1 】

なお、圧力検出部 4 2 の上に粘弾性がない場合には、指 A とほぼ点接触状態となり圧力中心位置 C に位置するセンサエレメント 5 2 の圧力値しか検出されないため、図 1 0 の圧力値と x 軸方向の位置のグラフのような圧力分布は発生しない。

【 0 1 1 2 】

このように荷重に応じて変形部 4 1 が変化し、その変形に応じた圧力値が圧力検出部 4 2 により検出される。なお圧力検出部 4 2 の上に粘弾性体からなる変形部 4 1 があることで、接触物（指 A）の接触面積以上の圧力分布が発生するので、広範囲の圧力分布となり、圧力中心演算結果のノイズが低減される。

【 0 1 1 3 】

図 1 1 は、ずらし前の形状の例（上側）とずらし後の入力部 3 1 の形状の例（下側）を示している。なお、図 1 1 のずらし前の入力部 3 1 の状態は、図 9 における荷重後の入力部 3 1 の状態と同じ状態を表している。

【 0 1 1 4 】

図 1 1 においては、ずらし前に示されるように、指 A などの入力部 3 1 の押下により入力部 3 1 に z 軸の負方向（図中下方向）に荷重 F_z がかけられた後、ずらし後に示されるように、その指 A が入力部 3 1 を押下したまま、せん断力 F_s で、x 軸の正方向（図中右方向）にずらすずらし動作が行われる。

【 0 1 1 5 】

この場合、入力部 3 1 は、x 軸の正方向へのずらし動作により、固定部 3 2 との拘束面を固着させたまま、せん断変形し、その結果、ずらし前の荷重 F_z による圧力中心位置 C に位置するセンサエレメント 5 2 に対する圧力分布位置関係に変化が生じる。

【 0 1 1 6 】

図 1 1 の例の場合、ずらし前の圧力中心位置 C から、ずらし後の圧力中心位置が d ずれてしまっている。また、せん断力が摩擦力を超えていない場合でも粘弾性体の柔軟構造により変形が発生し、圧力分布に変化が生じる。

【 0 1 1 7 】

すなわち、図 1 2 のずらし前とずらし後の圧力分布に示されるように、ずらし前の圧力分布（上側）は、圧力中心位置 C の圧力値を最大とし、圧力値の分布範囲の両端における圧力値を最小とした略左右対称の山なりの形状となっているが、ずらし後の圧力分布（下側）は、圧力値の分布範囲がずらし前よりも狭くなっており、さらに、ずらし前の圧力中心位置 C から、少し、x 軸の正方向へずれた位置の圧力値を最大として、x 軸の正方向よりも x 軸の負方向になだらかな山なりの形状となる。すなわち、ずらしにより、圧力中心位置は変化する。

【 0 1 1 8 】

この圧力分布の変形量は、せん断力 F_s の大きさに依存して大きくなるため、例えば入力部 3 1（変形部 4 1）の粘弾性体と接触物（指 A）との接触領域が略不変としても、圧力中心の変化を捉えることができ、広義の「滑り」を捉えることができる。したがって、ロボットハンド 1 によって把持を行っている際には、入力部 3 1 の粘弾性体と接触物との間の完全な相対運動を基に把持力制御を行うよりも、「ずれ」の状態ですりを検出し、把持力制御を行った方が有効であるといえる。

【 0 1 1 9 】

ここで、センサ 2 1 への荷重抜重の実験の結果に基づいて、センサ 2 1 の動作をさらに詳細に説明する。

【 0 1 2 0 】

図 1 3 には、センサ 2 1 への荷重抜重の実験概要と圧力検出部 4 2 の詳細が示されている。この実験概要においては、図中右方向が $x y z$ 座標系の x 軸の正方向を表し、図中上方向が z 軸の正方向を表している。なお、センサ 2 1 の圧力検出部 4 2 の詳細においては、図中左方向が $x y z$ 座標系の x 軸の正方向を表し、図中上方向が y 軸の正方向を表している。

【 0 1 2 1 】

この実験においては、まず、略1500ms乃至4000ms間に、図 1 3 の実線矢印に示されるように、センサ 2 1 の粘弾性体からなる変形部 4 1 に対して、先端に球 R を有する Tip が、力 F_z 、所定の速度または加速度で押し込まれ、 z 軸の負方向（図中下方向）に荷重がかけられることで、変形部 4 1 の粘弾性体に、応力、ひずみ、ひずみ E（エネルギー）が発生し、それにより、接触面積以上に圧力分布が拡散される。また、荷重をかけたまま一定時間（略4000ms乃至14500ms）経過した後で、略14500ms乃至17000ms間に、点線矢印に示されるように、抜重が行われる。そして、以上の変形部 4 1 に対する荷重から抜重の間の、圧力検出部 4 2 を構成するセンサエレメント 5 2（図 1 3 の例の場合、ID(identification) 1008乃至ID1175が付された21×8個の各センサエレメント 5 2）からの出力データが計測される。

【 0 1 2 2 】

図 1 4 には、図 1 3 の実験で計測された出力データが時間経過に沿って示されている。上から順に、所定のセンサエレメント 5 2 の圧力値と時間のグラフ、接触素子数、接触面積、および接触素子の圧力値の総和と時間のグラフ、力および押し込み深さと時間のグラフが示されている。なお、この例においては、説明の便宜上、図 1 3 においてハッチングが付されている ID のセンサエレメント 5 2 の圧力値のみしか示されていない。

【 0 1 2 3 】

最上段において、グラフ 1 3 1 は、図 1 3 の Tip の真下に配置される ID1084 のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を時間経過に沿って示している。以下、同様に、グラフ 1 3 2 は、ID1084 の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1092 のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示し、グラフ 1 3 3 は、ID1092 の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1100 のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示し、グラフ 1 3 4 は、ID1100 の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1108 のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示している。

【 0 1 2 4 】

中段において、グラフ 1 3 5 は、接触閾値を超えたセンサエレメント 5 2 からの圧力値の総和を時間経過に沿って示している。グラフ 1 3 6（破線）は、接触閾値を超えたセンサエレメント 5 2 の数（すなわち、接触素子数）を時間経過に沿って示しており、グラフ 1 3 7 は、グラフ 1 3 6 で示される接触素子数に基づいて求められる接触面積を時間経過に沿って示している。

【 0 1 2 5 】

最下段において、グラフ 1 3 8 は、入力部 3 1 の上において 6 軸力センサで計測される z 軸方向（法線方向）の力 F_z 1 を時間経過に沿って示しており、グラフ 1 3 9 は、Tip が変形部 4 1 に押し込まれる深さ（ z 軸方向の位置）を時間経過に沿って示している。なお、6 軸力センサによる力 F_z 1 は、後述する演算により求められる力 F_z と比較のために計測されている。

【 0 1 2 6 】

すなわち、グラフ 1 3 1 乃至グラフ 1 3 4 により、Tip の真下に配置される ID1084 のセンサエレメント 5 2 からの圧力値が最も大きい値であることがわかり、ID1084 のセンサエレメント 5 2 から 3 つ離れた ID1108 のセンサエレメント 5 2 からの圧力値は、ずっと 0 であり、圧力値を検出していないことがわかる。また、荷重をかけたままであっても、グラフ 1 3 1 乃至グラフ 1 3 4 における略4000ms乃至14500msに示されるように、各センサエレメント 5 2 出力される圧力値は、少しずつ下がっている。これは、粘弾性体の応力緩和によるものである。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 7 】

また、これらのグラフ 1 3 1 乃至グラフ 1 3 4 が示す圧力値に基づいて、接触領域、接触面積、加重された力 F_z 、圧力中心位置 COP_x, COP_y を算出することができる。具体的には、接触領域とは、グラフ 1 3 6 で示される接触素子数を表しており、接触領域は、センサエレメント 5 2 毎に上述した式 (1) が用いられ、接触閾値 (例えば、 $th(x, y)$) を超えたものが接触素子 (すなわち、接触を検出したセンサエレメント) であるとして求められる。グラフ 1 3 7 で示される接触面積は、グラフ 1 3 6 で示される接触素子数に、素子面積を掛け合わせて求めることができる。また、力 F_z は、次の式 (1 0) を用いて求めることができる。すなわち、式 (1 0) で求められる力 F_z は、誤差などがあるが、グラフ 1 3 8 で示される力 $F_z 1$ と略同じ値となる。

10

【 数 1 0 】

$$F_z = \sum_{y=0}^{n-1} \sum_{x=0}^{m-1} P(x, y) \times S(x, y) \quad \cdots (10)$$

【 0 1 2 8 】

圧力中心位置 COP_x, COP_y は、上述した式 (3) (または式 (4)) で求めることができる。なお、図 1 3 の例の場合、圧力中心位置 COP_x, COP_y は、Tip の真下に配置される ID1084 のセンサエレメント 5 2 の位置となる。

【 0 1 2 9 】

図 1 5 には、センサ 2 1 への荷重後せん断力 F_s をかける実験概要と圧力検出部 4 2 の詳細が示されている。実験概要においては、図中右方向が x, y, z 座標系の x 軸の正方向を表し、図中上方向が z 軸の正方向を表している。なお、圧力検出部 4 2 の詳細においては、図中左方向が x, y, z 座標系の x 軸の正方向を表し、図中上方向が y 軸の正方向を表している。

20

【 0 1 3 0 】

この実験においては、まず、図 1 3 の例と同様に、センサ 2 1 の粘弾性体からなる変形部 4 1 に対して、Tip が、力 F_z 、所定の速度または加速度で押し込まれ、 z 軸の負方向 (図中下方向) に荷重がかけられることで、変形部 4 1 の粘弾性体に、応力、ひずみ、ひずみ E (エネルギー) が発生し、それにより、接触面積以上に圧力分布が拡散される。その後、荷重をかけたまま、略 1000ms 乃至 11000ms 間に、図 1 5 の実線矢印に示されるように、押し込み深さ - 1.0mm、所定の速度または加速度で、 x 軸の正方向 (図中右側) に Tip を移動させる (ずらす) せん断力がかけられ、そのままの状態、所定の時間 Tip を停止させている。そして、以上の間の、圧力検出部 4 2 を構成するセンサエレメント 5 2 (図 1 5 の例の場合も、ID1008 乃至 ID1175 が付された 21×8 の各センサエレメント 5 2) からの出力データが計測される。

30

【 0 1 3 1 】

図 1 6 には、図 1 5 の実験で計測された出力データが時間経過に沿って示されている。すなわち、上から順に、所定のセンサエレメント 5 2 の圧力値と時間のグラフ、接触素子数、接触面積、および接触素子の圧力値の総和と時間のグラフ、Tip の x 軸方向の位置、圧力中心位置、および圧力中心移動速度と時間のグラフ、並びに、力および回転力と時間のグラフが示されている。なお、この例においても、説明の便宜上、図 1 5 においてハッチングが付されている ID のセンサエレメント 5 2 の圧力値のみしか示されていない。

40

【 0 1 3 2 】

最上段において、グラフ 1 4 1 は、図 1 5 の ID1076 の x 軸の負方向側の隣に配置される ID1068 のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を時間経過に沿って示している。以下、同様に、グラフ 1 4 2 は、ID1084 の x 軸の負方向側の隣に配置される ID1076 のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示し、グラフ 1 4 3 は、Tip の真下に配置される ID1084 のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示し、グラフ 1 4 4 は、ID1084 の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1092 のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示し、グラフ 1 4 5 は、ID1092 の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1100 のセンサエレ

50

ント 5 2 から出力される圧力値を示している。

【 0 1 3 3 】

また、グラフ 1 4 6 は、ID1100の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1108のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示し、グラフ 1 4 7 は、ID1108の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1116のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示し、グラフ 1 4 8 は、ID1116の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1124のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示し、グラフ 1 4 9 は、ID1124の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1132のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示し、グラフ 1 5 0 は、ID1132の x 軸の正方向側の隣に配置される ID1140のセンサエレメント 5 2 から出力される圧力値を示している。

10

【 0 1 3 4 】

上から 2 段目において、グラフ 1 5 1 (破線) は、接触閾値を超えたセンサエレメント 5 2 からの圧力値の総和を時間経過に沿って示している。グラフ 1 5 2 (グレイの線) は、接触閾値を超えたセンサエレメント 5 2 の数 (すなわち、接触素子数) を時間経過に沿って示しており、グラフ 1 5 3 は、グラフ 1 5 2 で示される接触素子数に基づいて求められる接触面積を時間経過に沿って示している。

【 0 1 3 5 】

上から 3 段目において、グラフ 1 5 4 は、x 軸方向の Tip の位置を時間経過に沿って示している。グラフ 1 5 5 は、上述した式 (3) (または式 (4)) で求められる圧力中心位置 COPx, COPy のうちの COPx を時間経過に沿って示しており、グラフ 1 5 6 は、圧力中心位置 COPx の差分を時間で除算した圧力中心位置の移動速度を時間経過に沿って示している。

20

【 0 1 3 6 】

最下段において、グラフ 1 5 7 は、入力部 3 1 の上において 6 軸力センサで計測される x 軸方向の力 $F_x 1$ を時間経過に沿って示しており、グラフ 1 5 8 は、y 軸方向の力 $F_y 1$ を時間経過に沿って示しており、グラフ 1 5 9 は、z 軸方向 (法線方向) の力 $F_z 1$ を時間経過に沿って示している。また、グラフ 1 6 0 は、入力部 3 1 の上において 6 軸力センサで計測される x 軸を中心とした回転方向の力 $M_x 1$ を時間経過に沿って示しており、グラフ 1 6 1 は、y 軸を中心とした回転方向の力 $M_y 1$ を時間経過に沿って示しており、グラフ 1 6 2 は、z 軸を中心とした回転方向の力 $M_z 1$ を時間経過に沿って示している。なお、6 軸力センサによる力や回転力は、後述する演算により求められる力 F_z と比較のために計測されている。

30

【 0 1 3 7 】

すなわち、グラフ 1 4 1 乃至グラフ 1 5 0 により、最大の圧力値は、時間の経過に応じて、それぞれ、Tip の真下に配置される ID1084、ID1092、ID1100、ID1108、ID1116、ID1124、ID1132、ID1140 の各センサエレメント 5 2 からの圧力値となる。

【 0 1 3 8 】

また、図 1 3 の例の場合と同様に、これらのグラフ 1 4 1 乃至グラフ 1 5 0 が示す圧力値に基づいて、接触領域、接触面積、力 F_z 、圧力中心位置 COPx, COPy を算出することができる。具体的には、接触領域とは、グラフ 1 5 2 で示される接触素子数を表し、センサエレメント 5 2 毎に上述した式 (1) が用いられ、接触閾値を超えたものが接触素子 (すなわち、接触を検出したセンサエレメント) であるとして求めることができる。グラフ 1 5 3 で示される接触面積は、グラフ 1 5 2 で示される接触素子数に、素子面積を掛け合わせて求めることができる。また、力 F_z は、上述した式 (1 0) を用いて求められる。すなわち、式 (1 0) で求められる力 F_z は、誤差などがあるが、グラフ 1 5 9 で示される力 $F_z 1$ と略同じ値となる。

40

【 0 1 3 9 】

また、グラフ 1 5 5 で示される圧力中心位置 COPx と、圧力中心位置 COPy は、上述した式 (3) (または式 (4)) で求めることができる。グラフ 1 5 5 で示される圧力中心位置 COPx は、グラフ 1 5 4 で示される Tip の位置を少し先行はしているものの、グラフ 1 5 4

50

で示されるTipの位置とほぼ同様に移動している。

【0140】

図17は、図15と同様の実験で計測された出力データの他の例を示している。図17の例においては、上から順に、センサ21が、Tipで、約6000ms前後に荷重開始され、約9000ms乃至12000msの辺りで移動（ずらし）が開始された場合における、所定のセンサエレメント52の圧力値と時間のグラフ、接触素子数、接触面積、および接触素子の圧力値の総和と時間のグラフ、Tipのx軸方向の位置、圧力中心位置、および圧力中心移動速度と時間のグラフ、並びに、力および回転力と時間のグラフが示されている。なお、図17のグラフは、図16のグラフの他の例であり、その詳細な説明は基本的に同様であるため、繰り返しになるので適宜省略する。

10

【0141】

最上段において、グラフ171は、グラフ173に示される圧力値を出力するセンサエレメント52のx軸の負方向側の2つ隣に配置されるセンサエレメント52から出力される圧力値を時間経過に沿って示している。以下、同様に、グラフ172は、グラフ173に示される圧力値を出力するセンサエレメント52のx軸の負方向側の隣に配置されるセンサエレメント52から出力される圧力値を示し、グラフ173は、Tipの真下に配置されるセンサエレメント52から出力される圧力値を示し、グラフ174は、グラフ173に示される圧力値を出力するセンサエレメント52のx軸の正方向側の隣に配置されるセンサエレメント52から出力される圧力値を示し、グラフ175は、グラフ174に示される圧力値を出力するセンサエレメント52のx軸の正方向側の隣に配置されるセンサエレメント52から出力される圧力値を示している。

20

【0142】

また、グラフ176は、グラフ175に示される圧力値を出力するセンサエレメント52のx軸の正方向側の隣に配置されるセンサエレメント52から出力される圧力値を示し、グラフ177は、グラフ176に示される圧力値を出力するセンサエレメント52のx軸の正方向側の隣に配置されるセンサエレメント52から出力される圧力値を示し、グラフ178は、グラフ177に示される圧力値を出力するセンサエレメント52のx軸の正方向側の隣に配置されるセンサエレメント52から出力される圧力値を示し、グラフ179は、グラフ178に示される圧力値を出力するセンサエレメント52のx軸の正方向側の隣に配置されるセンサエレメント52から出力される圧力値を示し、グラフ180は、

30

【0143】

上から2段目において、グラフ181は、接触閾値を超えたセンサエレメントからの圧力値の総和を時間経過に沿って示している。グラフ183は、接触閾値を超えたセンサエレメント数（接触素子数）に基づいて求められる接触面積を時間経過に沿って示している。

【0144】

上から3段目において、グラフ184は、x軸方向のTipの位置を時間経過に沿って示している。グラフ185は、上述した式(3)（または式(4)）で求められる圧力中心位置COPx,COPyのうちのCOPxを時間経過に沿って示しており、グラフ186は、圧力中心位置COPxの差分を時間で除算した圧力中心位置の移動速度を時間経過に沿って示している。

40

【0145】

最下段において、グラフ187は、入力部31の上において6軸力センサで計測されるx軸方向の力 F_{x1} を時間経過に沿って示しており、グラフ188は、y軸方向の力 F_{y1} を時間経過に沿って示しており、グラフ189は、z軸方向（法線方向）の力 F_{z1} を時間経過に沿って示している。また、グラフ190は、入力部31の上において6軸力センサで計測されるx軸を中心とした回転方向の力 M_{x1} を時間経過に沿って示しており、グラフ191は、y軸を中心とした回転方向の力 M_{y1} を時間経過に沿って示しており、

50

グラフ 192 は、 z 軸を中心とした回転方向の力 M_z を時間経過に沿って示している。

【0146】

ここで、図 17 の上から 2 段目におけるグラフ 181 およびグラフ 183 の Tip の移動開始（すなわち、約 8000ms 乃至 16000ms）近辺を、図 18 に拡大して示す。グラフ 183 に示されるように、いままで（すなわち、略 11000ms の直前まで）安定していた接触面積が、急に減ったり、増えたりしている。すなわち、Tip の動き出し直前に、接触面積に、急に増えたりあるいは減少したりする大きな変化が見られる。

【0147】

また、図 17 の上から 3 段目におけるグラフ 184 乃至グラフ 186 の Tip の移動開始（すなわち、約 10000ms 乃至 11000ms）近辺を、図 19 に拡大して示す。図 19 の例においては、グラフ 184 は、太線で示され、グラフ 185 は、破線で示され、グラフ 186 は、一点鎖線で示されている。グラフ 184 で示される Tip の位置は、円 A で示す辺りから移動を開始しているが、グラフ 185 に示される圧力中心位置 COPx は、円 A で示す Tip が移動を開始するよりも略 100ms 前の円 B で示す辺りから変化を始めている。すなわち、Tip の動き出し直前に、圧力中心位置 COPx にも大きな変化が見られる。

【0148】

以上の Tip の動き出し直前における接触面積や圧力中心位置 COPx の大きな変化は、粘弾性体の変形によるものと思われ、これらは、センサ単体では得ることができない。したがって、図 3 に示されるように、センサ 21 を粘弾性体からなる変形部 41 と静電容量型圧力センサからなる圧力検出部 42 の組み合わせで構成することにより、Tip の動き出し直前における接触面積や圧力中心位置の大きな変化の情報を取得することが可能になる。

【0149】

図 20 は、図 15 と同様の実験方法により求められる滑り覚検出データを示している。図 20 の例においては、Tip を押し込み深さ -1.0mm となるように x 軸の負方向に荷重をかけたまま、さらに、1.0mm の速度で x 軸の正方向に移動させた場合の Tip の位置、圧力中心位置 COPx、および移動平均 $COPx_{MA}$ と、それらから求められる 3 種類の滑り覚検出値が示されている。

【0150】

すなわち、上段、中段、下段において、グラフ 194 は、Tip の x 軸方向の位置を示しており、グラフ 195 は、 x 軸方向の圧力中心位置 COPx を示しており、グラフ 196 は、移動平均 $COPx_{MA}$ を示している。そして、上段において、グラフ 197 は、式 (9)（または式 (12) や式 (14)）において N を大きくし、式 (7) において threshold を小さくした低速 (Low Speed) の滑り覚検出値を示している。中段において、グラフ 198 は、 N と threshold を、上段と下段の中間的な値とした中速 (Medium Speed) の滑り覚検出値を示している。また、下段において、グラフ 199 は、 N を小さく、threshold を大きくした高速 (High Speed) の滑り覚検出値を示している。

【0151】

グラフ 197 に示されるように、低速の滑り覚検出値は、静止中は、略 0 を示し、滑り出してから滑り終わるまで、0.5 乃至 1.5 程度の値を示し、停止後は、 ± 0.25 の値を示している。グラフ 198 に示されるように、中速の滑り覚検出値は、静止中は、略 0 を示し、滑り出してから滑り終わるまで、0.1 乃至 0.4 程度の値を示し、停止後は、 ± 0.15 の値を示している。グラフ 199 に示されるように、高速の滑り覚検出値は、静止中は、略 0 を示し、滑り出してから滑り終わるまで、0.02 乃至 0.06 程度の値を示し、停止後は、 ± 0.03 の値を示している。

【0152】

すなわち、高速の滑り覚検出値は、低速の滑り覚検出値に比して微小の値であり、低速の滑りの方が、滑っている間と滑っていない間を容易に検出することができる。

【0153】

以上の特徴、すなわち、粘弾性体の特性や、圧力値から取得される圧力中心位置などを使用することにより、物体との接触面で発生する滑りを検出することが可能となる。

【 0 1 5 4 】

なお、上記説明においては、x 軸について説明を行ったが、y 軸の場合も同様に滑りを検出することができる。

【 0 1 5 5 】

次に、すべり制御処理を実行する場合のメイン制御部 1 0 1 とアクチュエータ 1 0 2 の動作を説明する。

【 0 1 5 6 】

ここではロボットハンドマニピュレータが、図 2 1 に示すように、図 1 の関節部 1 1 に相当する縦長の四角柱のハンド部 6 1 1 とハンド部 6 1 2 からなるロボットハンドと、図 1 の支持部 2 に相当する支持部 6 0 1 から構成されているものとする。図中右方向が x y z 座標系の z 軸の正方向を表し、図中下方向が x 軸の正方向を表している。

【 0 1 5 7 】

ハンド部 6 1 1 とハンド部 6 1 2 は、支持部 6 0 1 に、図中水平方向に移動可能に取り付けられている。ハンド部 6 1 1 , 6 1 2 の対象物 6 5 1 を把持する側には(すなわち内側には)、所定の大きさのセンサ 2 1 がそれぞれ 1 1 個縦方向に一系列に設けられている。なおセンサ 2 1 が 1 1 個設けられている部分全体を、センサ 6 1 3 とセンサ 6 1 4 と称する。

【 0 1 5 8 】

ロボットハンドマニピュレータは、ハンド部 6 1 1 とハンド部 6 1 2 の間に把持されている球状(約 50mm)の対象物 6 5 1 (静止している対象物 6 5 1)を一定の速度ですべらせながら図中下方向に移動させる(すなわち落下させる)すべり制御処理を実行する。

【 0 1 5 9 】

図 2 1 の対象物 6 5 1 とセンサ 6 1 3 との接触部分を拡大した図 2 2 に示す、センサ 6 1 3 の変形部 4 1 (粘弾性体)を弾性体と仮定すると、センサ 6 1 3 は、センサ 6 1 3 の法線方向に、その弾性体のばね係数 k と、対象物 6 5 1 (図中、実線でその一部が示されている対象物 6 5 1)による変形部 4 1 の押し込み深さ z から式(11)により得られる力 Fz を発生する。なお図中右方向が x y z 座標系の z 軸の正方向を表し、図中下方向が x 軸の正方向を表している。

【 数 1 1 】

$$Fz = kz \quad \cdots (11)$$

【 0 1 6 0 】

また、センサ 6 1 3 のせん断方向に、対象物 6 5 1 が移動しようとする力(すなわち落下しようとする力)Fs が発生する。

【 0 1 6 1 】

すなわちセンサ 6 1 3 は、例えば図 1 1 および図 1 2 を参照して上述したように、法線方向の力 Fz とせん断方向の力 Fs により生じる圧力分布により、対象物 6 5 1 の滑り覚検出値(この例の場合、滑りは x 軸方向のみに発生するので滑り覚検出値 Sdx)を計測することができるので、ロボットハンドマニピュレータは、センサ 6 1 3 により計測される滑り覚検出値 Sdx およびセンサ 6 1 4 により計測される滑り覚検出値 Sdx を参照しながら、例えば滑り覚検出値 Sdx が一定の量となるように、センサ 6 1 3 またはセンサ 6 1 4 の法線方向の力 Fz を調整する処理を行う。

【 0 1 6 2 】

具体的には、簡単のために、図 2 1 においてハンド部 6 1 2 が固定され、ハンド部 6 1 1 のみを可動させるものとする、所定の滑り覚検出値 Sdx が得られる圧力分布が得られるように押し込み深さ z を調整すべく、ハンド部 6 1 1 の図中左右方向の位置が調整される。

【 0 1 6 3 】

図 2 3 および図 2 4 には、このすべり制御処理を実行した場合の各種測定データが示されている。

【 0 1 6 4 】

図 2 3 の最上段には、ハンド部 6 1 1 の位置と対象物 6 5 1 の位置の関係が示され、中段には、ハンド部 6 1 1 の位置と法線方向の力 F_z との関係を示し、最下段には、対象物 6 5 1 の位置と接触素子数との関係が示されている。

【 0 1 6 5 】

図 2 4 の上段には、対象物 6 5 1 の位置と圧力中心位置との関係が示され、下段には、対象物 6 5 1 の位置と滑り覚検出値との関係が示されている。

【 0 1 6 6 】

図 2 3 および図 2 4 の曲線 7 0 1 は、対象物 6 5 1 の位置を時間経過に沿って表している。静止状態の対象物 6 5 1 は、 $x y z$ 座標系において、 x 軸上の少しマイナス側に位置する。

10

【 0 1 6 7 】

図 2 3 の曲線 7 0 2 は、ハンド部 6 1 1 の位置を時間経過に沿って表している。ハンド部 6 1 1 は、ステッピングモータにより支持部 6 0 1 に沿って水平方向に移動されるものとし、ハンド部 6 1 1 の位置は、そのステップ数で表されている。ステップ数が大きな値になることは、図 2 1 において右方向に移動したことを意味し、ステップ数が小さな値にあることは、図 2 1 において左方に移動したことを意味する。なおこの例の場合、ステップ数が 1 だけ変化した場合、 $2 \mu m$ だけ水平方向に移動する。

【 0 1 6 8 】

図 2 3 の曲線 7 0 3 は、法線方向の力 F_z を時間経過に沿って表している。なお法線方向の力 F_z は、式 (1 0) により求められる。

20

【 0 1 6 9 】

図 2 3 の曲線 7 0 4 は、接触素子数（すなわち接触閾値を超えたセンサエレメント 5 2 数）を時間経過に沿って表している。

【 0 1 7 0 】

図 2 4 の曲線 7 0 5 は、式 (3)（または式 (4)）で求められる圧力中心位置を時間経過に沿って表している。

【 0 1 7 1 】

図 2 4 の曲線 7 0 6 は、滑り覚検出値（この例の x 軸方向にのみ滑りが発生するので滑り覚検出値 S_{dx} ）を時間経過に沿って表している。この滑り覚検出値は、式 (9) により求められる。

30

【 0 1 7 2 】

図 2 3 および図 2 4 によれば、時間計測から約 2 秒経過後にすべり制御処理が開始される。なおこの例の場合目標滑り覚検出値 S_{dx} は 1 である。すべり制御処理開始から時間計測後約 1 2 秒経過後までの間、ハンド部 6 1 1 は、図 2 1 中、左側方向（すなわち対象物 6 5 1 を放す方向）に少しずつ移動している。そのハンド部 6 1 1 の移動により、押し込み深さ z （図 2 2）が小さくなり、法線方向の力 F_z が小さくなるので（式 (1 1)）、せん断方向の力 F_s が、法線方向の力 F_z と静止摩擦係数との乗算値である最大摩擦力を上回ったとき、対象物 6 5 1 の移動（落下）が開始され、対象物 6 5 1 がゆっくり移動する。

40

【 0 1 7 3 】

その後、対象物 6 5 1 の移動速度が増し、時間計測後約 1 7 秒経過後において、目標の滑り覚検出値 S_{dx} が得られている。

【 0 1 7 4 】

このように目標の滑り覚検出値 S_{dx} が得られるようになると、その目標滑り覚検出値 S_{dx} が維持できるように、ハンド部 6 1 1 の位置が調整される。

【 0 1 7 5 】

例えばセンサ 6 1 3 と移動中の対象物 6 5 1 の接触部分との摩擦力が動摩擦力のみと仮定した場合、動摩擦力 f_c は、式 (1 2) により求められるので、このときの動摩擦力 f_c が維持できるように、埋め込み深さ z が、ハンド部 6 1 1 の位置を変更することによって

50

調整される。

【数 1 2】

$$fc = \mu'F = \mu'kz \quad \cdots(12)$$

【0 1 7 6】

図 2 3 の例では、ハンド部 6 1 1 が少しずつ図 2 1 において右方向に移動するようにして調整されている。

【0 1 7 7】

以上のように、すべり制御処理を行うようにすることにより、対象物 6 5 1 を滑り覚検出値 $Sdx = 1$ ですべらせながら操作することができる。

10

【0 1 7 8】

なおこの例では、所定の滑り覚検出値（滑り覚検出値 $Sdx = 1$ ）が得られるようにすべり制御処理が実行されたが、滑り覚検出値から所定の滑り速度（滑り覚検出値を所定の時間で除算する結果得られた値）や加速度（例えば滑り覚検出値を時間で微分して得られる値）をさらに算出し、所定の滑り速度や加速度が得られるようにすべり制御処理を実行することもできる。また当然、例えば目標とする滑り覚検出値を 0 とすれば、滑りが発生しないようにロボットハンドを制御することもできる。

【0 1 7 9】

なおここでは図 2 1 に示したような簡単なロボットハンドを例として説明したが、図 1 に示したような多指多関節型ロボットハンドにも当然適用することができる。

20

【0 1 8 0】

以上により、本発明を適用したセンサによれば、ロボットハンドによる物体の安定把持、器用な操りなどで必要な滑りの情報を取得し、その情報を利用して、把持の制御やロボットハンドの指先で把持対象物を滑らせながら扱うような操り制御を行うことができる。

【0 1 8 1】

なお、上記説明においては、圧力検出部 4 2 が静電容量変化を検出原理として分布圧力値を検出すると説明したが、静電容量変化に限らず、圧力検出部 4 2 は、例えば、抵抗値変化を検出原理として分布圧力値を検出するように構成することもできるし、また、分布圧力値がとれるのであれば、感圧ゴムを並べただけのセンサで構成することもできる。

【0 1 8 2】

また、上記説明においては、センサ 2 1 がロボットハンドマニピュレータの腕や手などに設けられる場合を説明したが、本発明は、各種ロボットの関節機構部、ゲームのコントローラやジョイスティック、様々な入力装置、衝撃吸収装置、生態計測装置、ヘルスケア商品、スポーツ分野などの分野や製品などにも適用することができる。

30

【0 1 8 3】

上述した一連の処理は、ハードウェアにより実行させることもできるし、ソフトウェアにより実行させることもできる。

【0 1 8 4】

一連の処理をソフトウェアにより実行させる場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、専用のハードウェアに組み込まれているコンピュータ、または、各種のプログラムをインストールすることで、各種の機能を実行することが可能な、例えば汎用のパーソナルコンピュータなどに、プログラム記録媒体からインストールされる。

40

【0 1 8 5】

図 2 5 は、上述した一連の処理をプログラムにより実行するパーソナルコンピュータ 3 0 1 の構成の例を示すブロック図である。CPU (Central Processing Unit) 3 1 1 は、ROM (Read Only Memory) 3 1 2、または記憶部 3 1 8 に記憶されているプログラムに従って各種の処理を実行する。RAM (Random Access Memory) 3 1 3 には、CPU 3 1 1 が実行するプログラムやデータなどが適宜記憶される。これらの CPU 3 1 1、ROM 3 1 2、および RAM 3 1 3 は、バス 3 1 4 により相互に接続されている。

【0 1 8 6】

50

CPU 3 1 1 にはまた、バス 3 1 4 を介して入出力インタフェース 3 1 5 が接続されている。入出力インタフェース 3 1 5 には、上述したセンサ 2 1、キーボード、マウス、マイクロホンなどよりなる入力部 3 1 6、ディスプレイ、スピーカなどよりなる出力部 3 1 7 が接続されている。CPU 3 1 1 は、入力部 3 1 6 から入力される指令に対応して各種の処理を実行する。そして、CPU 3 1 1 は、処理の結果を出力部 3 1 7 に出力する。

【 0 1 8 7 】

入出力インタフェース 3 1 5 に接続されている記憶部 3 1 8 は、例えばハードディスクからなり、CPU 3 1 1 が実行するプログラムや各種のデータを記憶する。通信部 3 1 9 は、インターネットやローカルエリアネットワークなどのネットワークを介して外部の装置と通信する。

【 0 1 8 8 】

また、通信部 3 1 9 を介してプログラムを取得し、記憶部 3 1 8 に記憶してもよい。

【 0 1 8 9 】

入出力インタフェース 3 1 5 に接続されているドライブ 3 2 0 は、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、或いは半導体メモリなどのリムーバブルメディア 3 2 1 が装着されたとき、それらを駆動し、そこに記録されているプログラムやデータなどを取得する。取得されたプログラムやデータは、必要に応じて記憶部 3 1 8 に転送され、記憶される。

【 0 1 9 0 】

コンピュータにインストールされ、コンピュータによって実行可能な状態とされるプログラムを格納するプログラム記録媒体は、図 2 5 に示すように、磁気ディスク（フレキシブルディスクを含む）、光ディスク（CD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory)、DVD(Digital Versatile Disc)を含む）、光磁気ディスク、もしくは半導体メモリなどよりなるパッケージメディアであるリムーバブルメディア 3 2 1、または、プログラムが一時的もしくは永続的に格納されるROM 3 1 2 や、記憶部 3 1 8 を構成するハードディスクなどにより構成される。プログラム記録媒体へのプログラムの格納は、必要に応じてルータ、モデムなどのインタフェースである通信部 3 1 9 を介して、ローカルエリアネットワーク、インターネット、デジタル衛星放送といった、有線または無線の通信媒体を利用して行われる。

【 0 1 9 1 】

なお、本明細書において、プログラム記録媒体に格納されるプログラムを記述するステップは、記載された順序に沿って時系列的に行われる処理はもちろん、必ずしも時系列的に処理されなくとも、並列的あるいは個別に実行される処理をも含むものである。

【 0 1 9 2 】

また、本発明の実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 9 3 】

【図 1】本発明を適用したロボットハンドマニピュレータの外観の構成例を示す図である。

【図 2】図 1 のセンサの外観の構成例を示す斜視図である。

【図 3】図 2 のセンサの内部の構成例を示す図である。

【図 4】粘弾性材料の圧縮および引張特性の例を示す図である。

【図 5】図 2 の圧力検出部を構成する静電容量型圧力センサの構造例を示す図である。

【図 6】ロボットハンドマニピュレータの内部の電氣的な構成例を示すブロック図である。

【図 7】図 6 の信号処理部の構成例を示すブロック図である。

【図 8】図 6 のメイン制御部 1 0 1 とアクチュエータ 1 0 2 の電氣的な構成例を示すブロック図である。

【図 9】荷重前と荷重後の入力部の形状の例を示す図である。

【図 1 0】図 9 の場合の圧力値と時間のグラフおよび圧力値と位置のグラフを示す図であ

10

20

30

40

50

る。

【図 1 1】ずらし前とずらし後の入力部の形状の例を示す図である。

【図 1 2】図 1 1 の場合の圧力値と位置のグラフを示す図である。

【図 1 3】センサへの荷重抜重の実験を説明する図である。

【図 1 4】図 1 3 の実験で計測された出力データを示す図である。

【図 1 5】センサへのせん断力がかかる実験を説明する図である。

【図 1 6】図 1 5 の実験で計測された出力データを示す図である。

【図 1 7】図 1 5 の実験で計測された出力データの他の例を示す図である。

【図 1 8】図 1 7 の接触面積のグラフを拡大して示す図である。

【図 1 9】図 1 7 の圧力中心位置のグラフを拡大して示す図である。

【図 2 0】図 1 5 の実験で求められる滑り覚検出データを示す図である。

【図 2 1】本発明を適用した他のロボットハンドマニピュレータの外観の構成例を示す図である。

【図 2 2】図 2 1 のセンサ 6 1 3 の対象物 6 5 1 との接触部分を拡大した図である。

【図 2 3】図 2 1 の実験で計測された出力データを示す図である。

【図 2 4】図 2 1 の実験で計測された出力データの他の例を示す図である。

【図 2 5】本発明を適用したパーソナルコンピュータの構成例を示すブロック図である。

【符号の説明】

【0 1 9 4】

1 ロボットハンド, 1 1 関節部, 2 1 センサ, 3 1 入力部, 3 2 固定部, 3 3 外部接続部, 4 1 変形部, 4 2 圧力検出部, 5 2 センサエレメント, 5 3 信号処理部, 1 0 1 メイン制御部, 1 0 2 アクチュエータ, 1 2 1 接触検出部, 1 2 2 圧力中心演算部, 1 2 3 圧力中心移動演算部, 1 2 4 滑り覚検出部, 5 0 1 すべり制御部, 5 0 2 減算器, 5 0 3 すべり操作部, 5 1 1 調節部, 5 1 2 減算器, 5 1 3 駆動部, 5 1 4 状態検出部

【図 1】

【図 2】

図 1

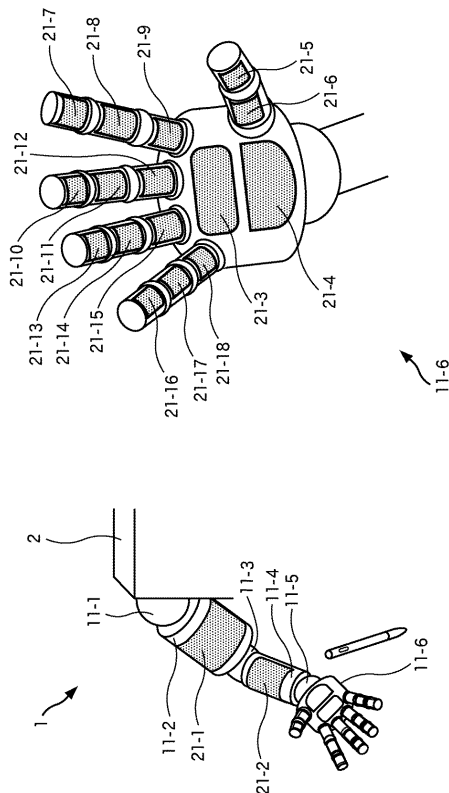
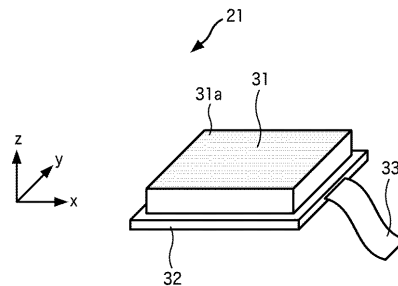
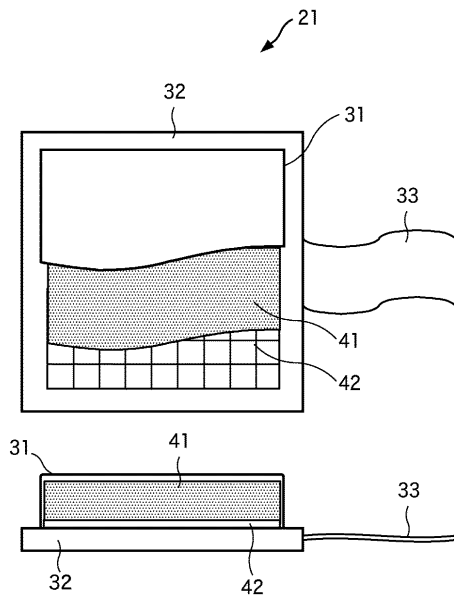


図 2



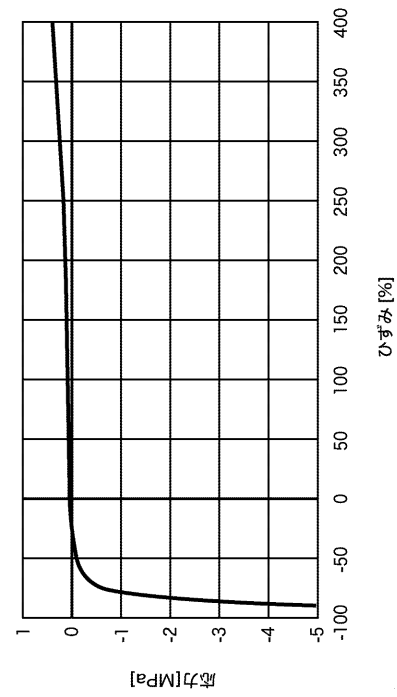
【図3】

図3



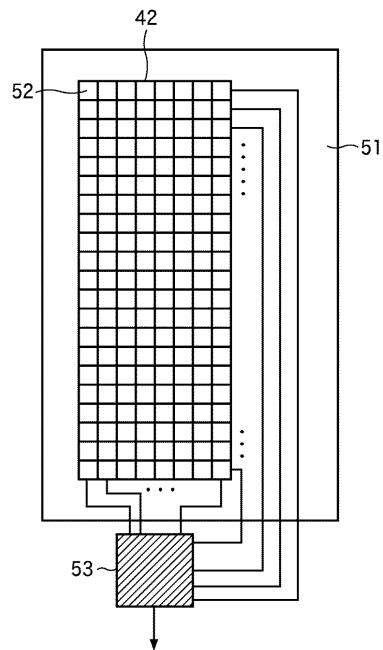
【図4】

図4



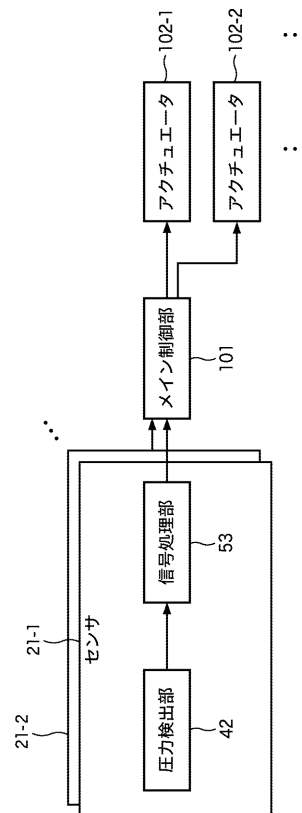
【図5】

図5

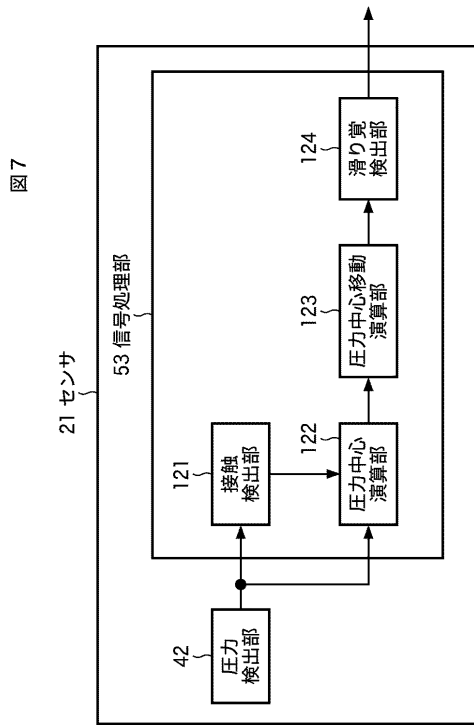


【図6】

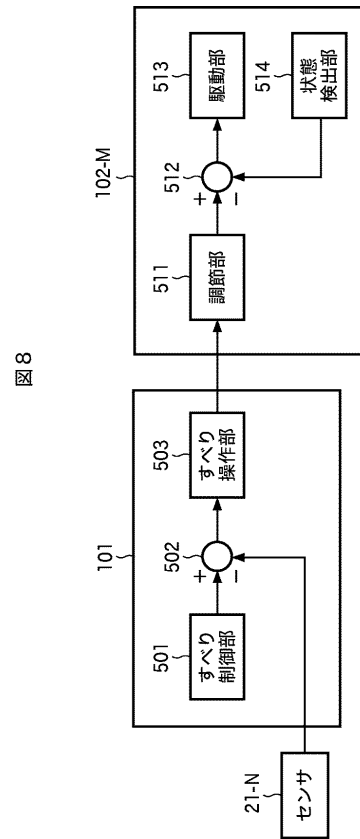
図6



【図 7】

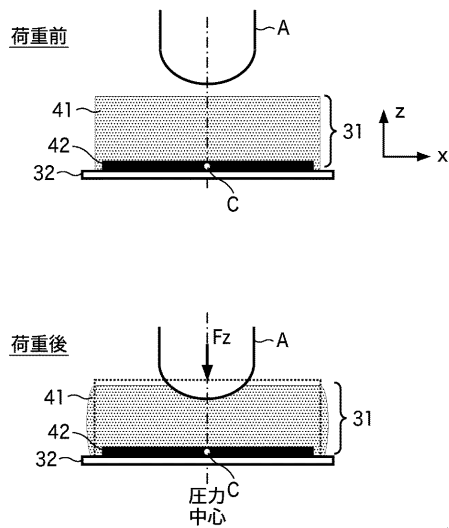


【図 8】



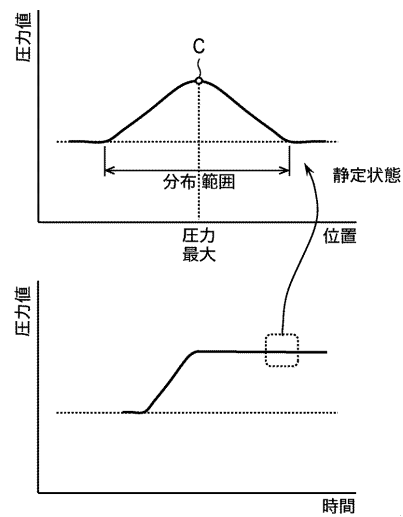
【図 9】

図 9



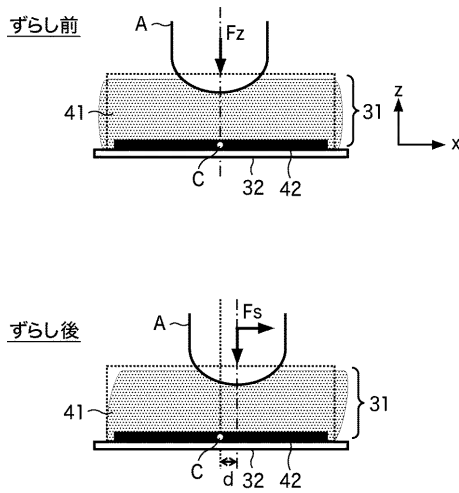
【図 10】

図 10



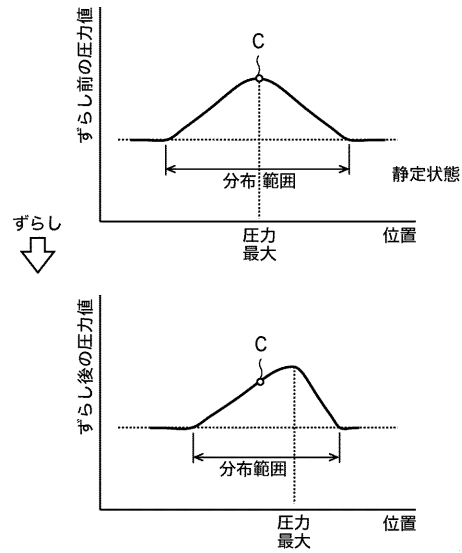
【図 1 1】

図 11



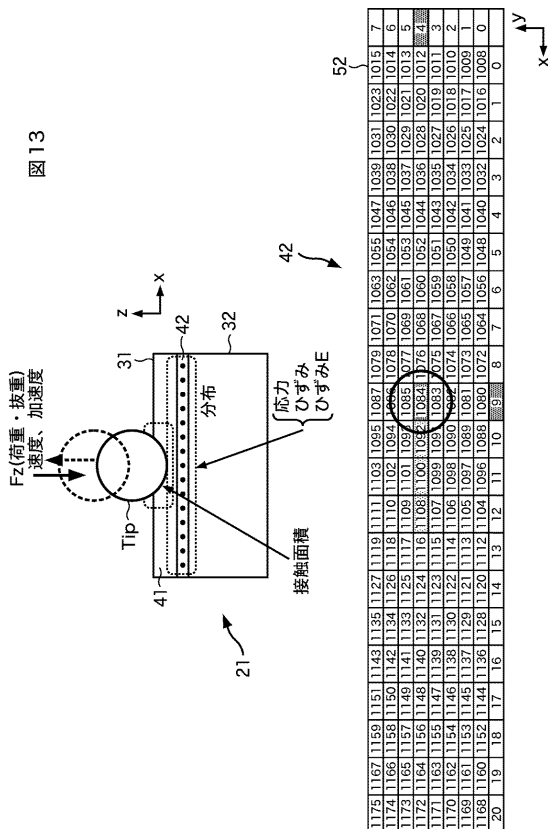
【図 1 2】

図 12

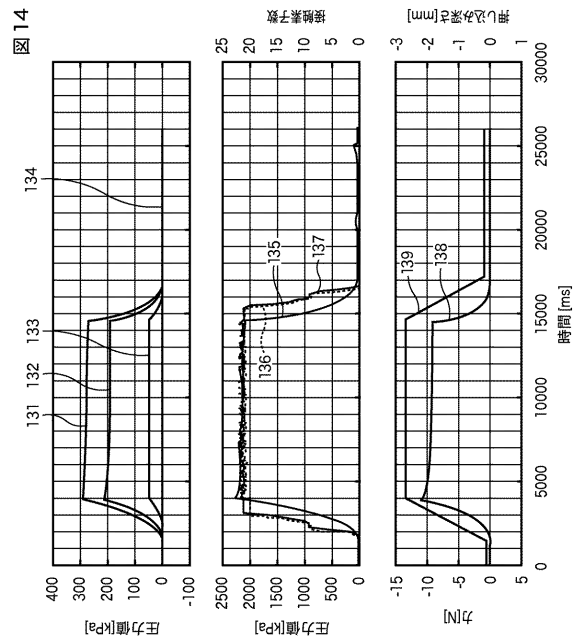


【図 1 3】

図 13

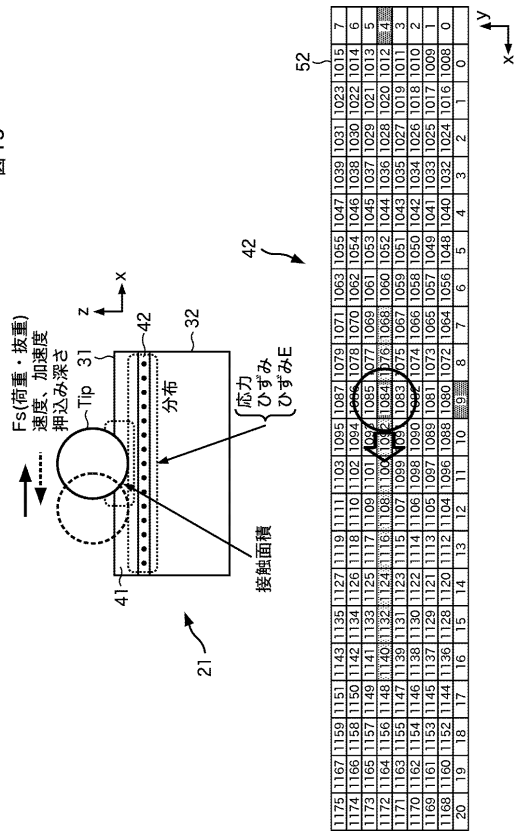


【図 1 4】



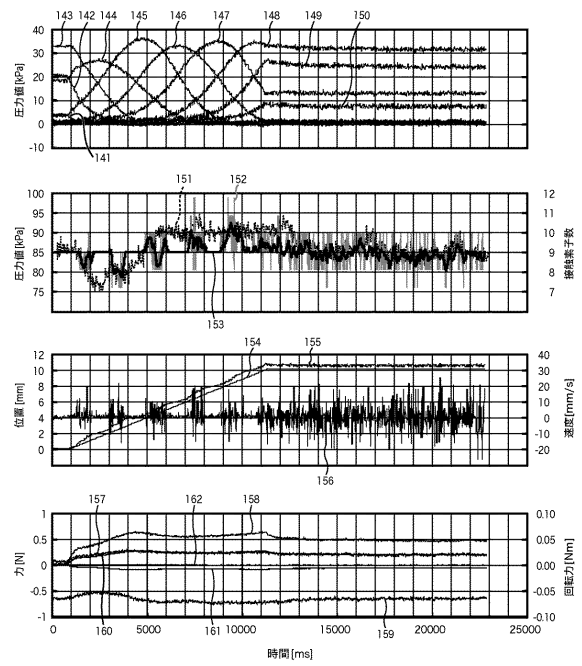
【図 15】

図15



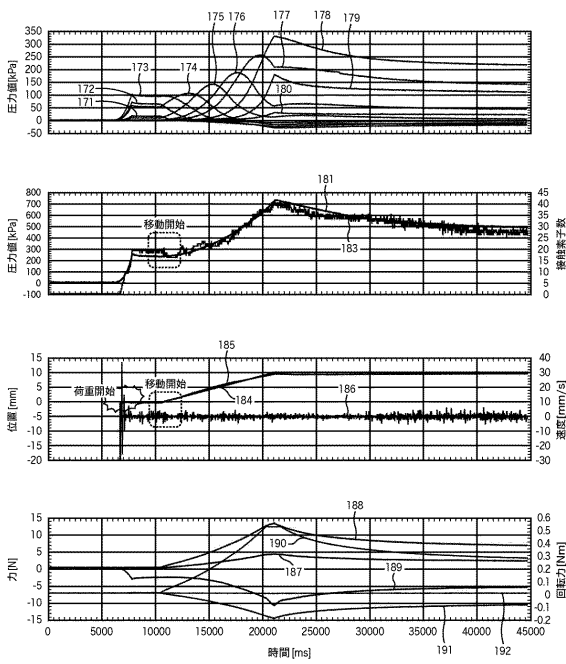
【図 16】

図16



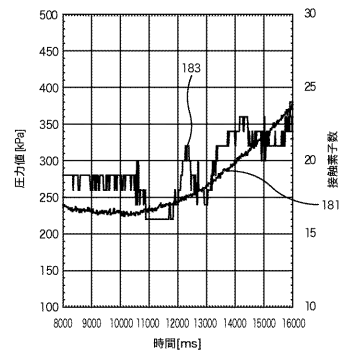
【図 17】

図17



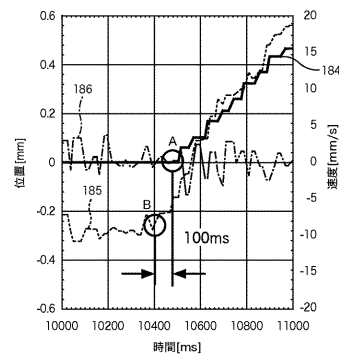
【図 18】

図18



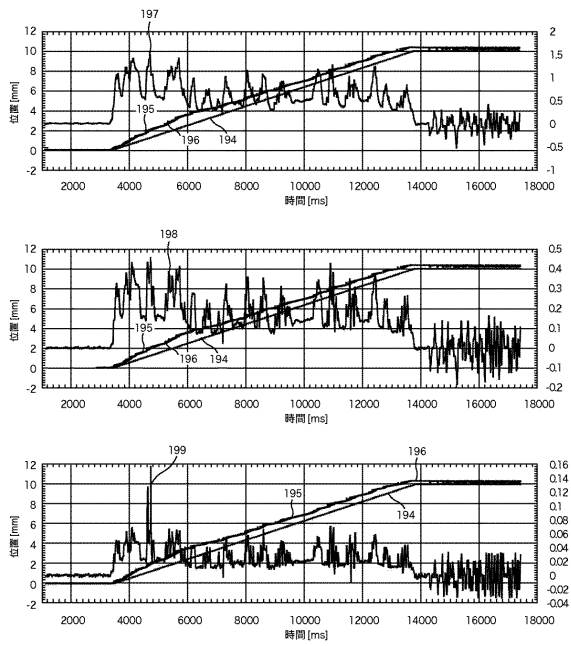
【図 19】

図19



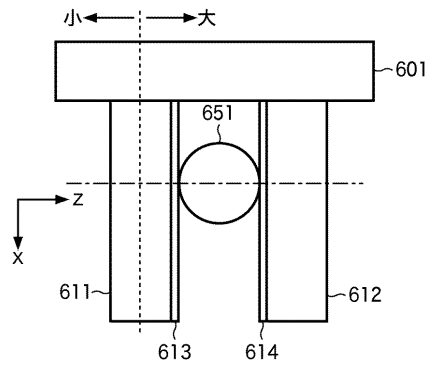
【図 20】

図20



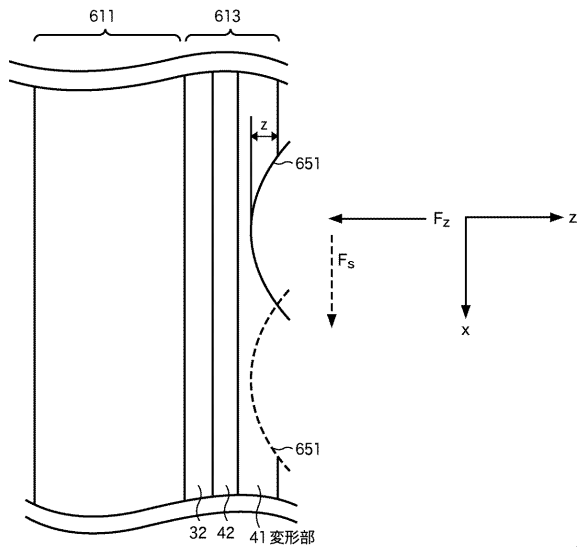
【図 21】

図21



【図 22】

図22



【図 23】

図23

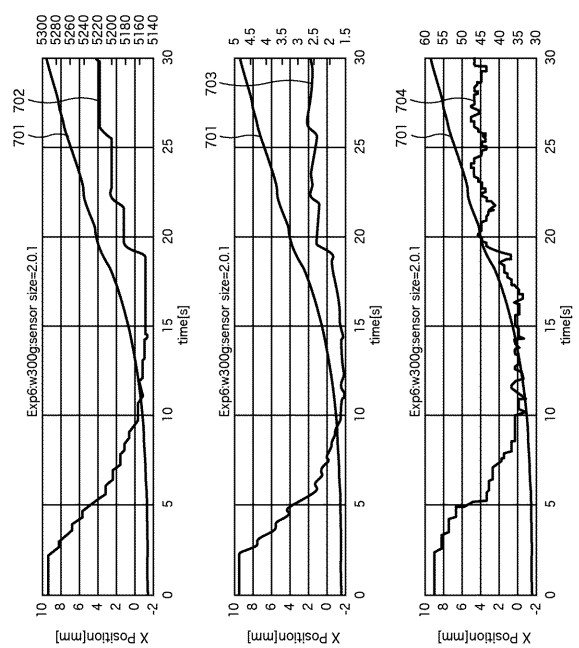


図 24

【 図 2 4 】

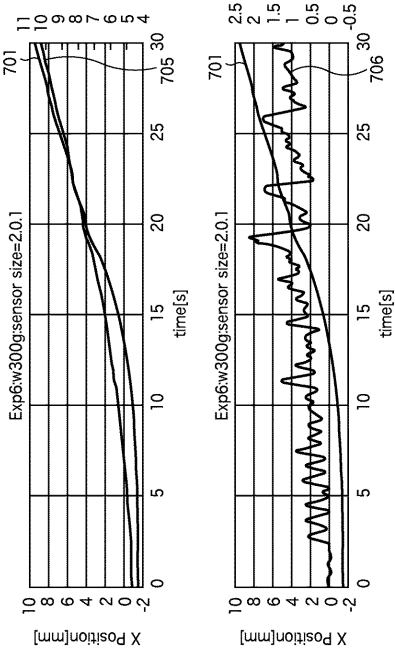
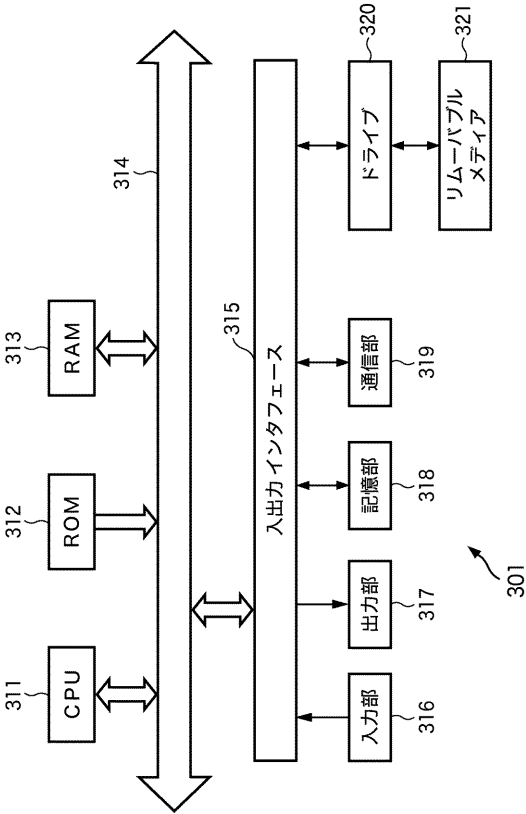


図 25

【 図 2 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 清水 悟
東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 福島 哲治
東京都港区港南 1 丁目 7 番 1 号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 矢花 貴文
東京都品川区東五反田 2 丁目 1 7 番 1 号 ソニーイーエムシーエス株式会社内
- F ターム(参考) 3C007 ES06 ES07 KV06 KW02 KX08