(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3621782号

(P3621782)

(45)発行日　平成17年2月16日(2005.2.16)　(24)登録日　平成16年11月26日(2004.11.26)

(51)Int.Cl.[7]	F I	
B25J 19/02	B25J 19/02	
B25J 15/08	B25J 15/08	U

請求項の数 4　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願平8-161402
(22)出願日　平成8年6月21日(1996.6.21)
(65)公開番号　特開平10-6274
(43)公開日　平成10年1月13日(1998.1.13)
審査請求日　平成14年9月9日(2002.9.9)

(73)特許権者　000005326
本田技研工業株式会社
東京都港区南青山二丁目１番１号
(74)代理人　100077805
弁理士　佐藤　辰彦
(74)代理人　100077665
弁理士　千葉　剛宏
(72)発明者　吉野　龍太郎
埼玉県和光市中央１丁目４番１号　株式会社本田技術研究所内
(72)発明者　高橋　秀明
埼玉県和光市中央１丁目４番１号　株式会社本田技術研究所内

審査官　齋藤　健児

最終頁に続く

(54)【発明の名称】力覚センサ装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

対象物と接触する接触体の接触状態を検出する力覚センサ装置であって、基体と、該基体と間隙を存して設けられた前記接触体と、該接触体と前記対象物との接触時に前記間隙の距離が変化するよう該接触体を前記基体に揺動可能及び前記間隙の距離方向に移動可能に支持せしめる復元自在な弾性部材と、前記基体と接触体との間隙の所定部位の距離に応じた信号を生成するギャップセンサとから成ると共に、

前記弾性部材は、前記基体及び接触体の間に前記間隙の距離方向と表裏面が略直交するように介装された薄板バネから成り、該薄板バネの略中央部及び周縁部がそれぞれ前記基体の前記接触体に臨む面の略中央部及び前記接触体の前記基体に臨む面の周縁部に固定され、又は、該薄板バネの略中央部及び周縁部がそれぞれ前記接触体の前記基体に臨む面の略中央部及び前記基体の前記接触体に臨む面の周縁部に固定されており、

前記ギャップセンサの信号により検出される前記間隙の距離に基づき前記接触体と対象物との接触状態を検出することを特徴とする力覚センサ装置。

【請求項２】

前記ギャップセンサは、前記基体と接触体との間隙の少なくとも三つ以上の互いに異なる部位の距離を検出すべく三個以上備えられ、各ギャップセンサの信号により検出される前記間隙の各部位の距離に基づき、前記接触体と対象物との接触時に該接触体に作用する力の大きさ及び方向を検出する力検出手段を備えたことを特徴とする請求項１記載の力覚センサ装置。

【請求項３】
前記ギャップセンサは、前記基体と接触体との間隙の二つの互いに異なる部位の距離を検出すべく二個備えられ、各ギャップセンサの信号により検出される前記間隙の各部位の距離に基づき、前記接触体と対象物との接触時に該接触体に作用する力の所定方向の成分又は該力の方向を検出する力検出手段を備えたことを特徴とする請求項１記載の力覚センサ装置。
【請求項４】
前記ギャップセンサは、渦電流式変位センサ又はレーザ式変位センサ又は静電容量式変位センサから成ることを特徴とする請求項１乃至３のいずれかに記載の力覚センサ装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、ロボットハンドの指先等、なんらかの対象物に接触する接触体の接触状態を検出するための力覚センサ装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
例えばロボットハンドにより対象物を把持して種々の作業を行う場合には、その把持力の調整や、対象物に対するロボットハンドの位置調整等を行うために、ロボットハンドの指先部と対象物との接触状態（接触の有無や接触力等）を検出する必要を生じる場合が多々ある。
【０００３】
そして、従来、このような検出を行う力覚センサ装置としては、対象物に接触する接触体であるロボットハンドに起歪体を装着して、該起歪体に歪みゲージを貼着し、この歪みゲージの出力信号に基づき、ロボットハンドと対象物との接触力等を検出するようにしたものが一般的に知られている。
【０００４】
しかしながら、このように歪みゲージを用いた従来の力覚センサ装置では、該歪みゲージが一般に温度変化に対する特性変化を生じやすいと共にノイズ等の影響を受けやすいため、種々様々な環境下でロボットハンドと対象物との接触力等を安定して検出することが困難なものとなっていた。
【０００５】
また、歪みゲージは衝撃等による断線も生じやすいと共に、その取付け作業や取付後の出力調整作業に熟練と時間を要し、高価なものとなりやすいという不都合があった。
【０００６】
【発明が解決しようとする課題】
本発明はかかる背景に鑑み、対象物に接触するロボットハンドの指先等の接触体の接触状態の検出を小型で安価な構成で安定して行うことができる力覚センサ装置を提供することを目的とする。
【０００７】
【課題を解決するための手段】
本発明の力覚センサ装置はかかる目的を達成するために、対象物と接触する接触体の接触状態を検出する力覚センサ装置であって、基体と、該基体と間隙を存して設けられた前記接触体と、該接触体と前記対象物との接触時に前記間隙の距離が変化するよう該接触体を前記基体に揺動可能及び前記間隙の距離方向に移動可能に支持せしめる復元自在な弾性部材と、前記基体と接触体との間隙の所定部位の距離に応じた信号を生成するギャップセンサとから成ると共に、前記弾性部材は、前記基体及び接触体の間に前記間隙の距離方向と表裏面が略直交するように介装された薄板バネから成り、該薄板バネの略中央部及び周縁部がそれぞれ前記基体の前記接触体に臨む面の略中央部及び前記接触体の前記基体に臨む面の周縁部に固定され、又は、該薄板バネの略中央部及び周縁部がそれぞれ前記接触体の前記基体に臨む面の略中央部及び前記基体の前記接触体に臨む面の周縁部に固定されてお

り、前記ギャップセンサの信号により検出される前記間隙の距離に基づき前記接触体と対象物との接触状態を検出することを特徴とする。

【０００８】

かかる本発明によれば、前記接触体と対象物とが接触すると、該接触体が前記弾性部材の弾性変形により前記基体に対して揺動あるいは前記基体と接触体との間隙の距離方向に移動し、これにより該間隙の距離が変化する。そして、この間隙の距離に応じた信号が前記ギャップセンサにより生成される。このとき、前記間隙の距離の変化は、対象物と接触体との接触状態に応じたものとなるので、前記ギャップセンサの信号によって、対象物と接触体との接触状態を検出する可能となる。すなわち、本発明は、対象物と接触体との接触状態が接触体と基体との間隙の距離変化という物理量に変換し、その距離をギャップセンサにより検出することで対象物と接触体との接触状態を検出するものである。この場合、前記間隙の距離の検出を行うためのギャップセンサとしては、例えば周知の渦電流式変位センサやレーザ式変位センサ、静電容量式変位センサ等のセンサを用いればよく、これらのセンサは一般に小型でしかも温度変化やノイズ等の影響を受けにくい。また、前記接触体と対象物との接触時に前記薄板バネが撓むことにより、前記接触体が基体に対して揺動可能で且つ前記間隙の距離方向に移動可能となり、単なる薄板バネを用いた極めて簡単な構成で本発明の力覚センサ装置を構成することができる。

【０００９】

よって本発明によれば、弾性部材や、距離測定用の渦電流式変位センサ等のギャップセンサを用いた小型で安価な構成で接触体と対象物との接触状態を安定して検出することができる。

【００１２】

また、本発明では、前記ギャップセンサを、前記基体と接触体との間隙の少なくとも三つ以上の互いに異なる部位の距離を検出すべく三個以上備えることで、各ギャップセンサの信号により検出される前記間隙の各部位の距離に基づき、前記接触体と対象物との接触時に該接触体に作用する力の大きさ及び方向を検出することができる。

【００１３】

あるいは、前記ギャップセンサを、前記基体と接触体との間隙の二つの互いに異なる部位の距離を検出すべく二個備えることで、各ギャップセンサの信号により検出される前記間隙の各部位の距離に基づき、前記接触体と対象物との接触時に該接触体に作用する力の所定方向の成分又は該力の方向を検出することもできる。

【００１４】

尚、本発明では前述のように前記弾性部材を前記薄板バネにより構成することにより、前記弾性部材によって、前記接触体は、前記基体に揺動可能及び前記間隙の距離方向に移動可能に支持されると共に、前記間隙の距離方向と直交する方向及び該間隙の距離方向の軸回りの回転方向には略不動に前記基体に支持される。

【００１５】

【発明の実施の形態】

本発明の一実施形態を図１乃至図６を参照して説明する。

【００１６】

図１は本実施形態の力覚センサ装置を備えたロボットハンドの指機構の側面図であり、この指機構は、人体の手指と同様に、図示しないロボットハンドの掌部（手の平部分）から延設された基節部１と、この基節部１から第１関節２を介して屈曲自在に延設された中節部３と、この中節部３から第２関節４を介して屈曲自在に延設された末節部５（指先部）とからなり、このような指機構がロボットハンドの掌部から複数、延設されている。そして、それらの指機構の各関節２，４における屈曲動作によって、末節部５の先端部に各種対象物Ｗを把持するようにしている。

【００１７】

本実施形態の力覚センサ装置は、それらの各指機構の末節部５の先端部と対象物Ｗとの接触状態（接触力の大きさ、方向を含む）を検出するために該末節部５に備えたものであり

、次のような構造を具備している。

【００１８】

すなわち、図２を参照して、本実施形態の力覚センサ装置は、末節部５の基端側の部分（前記中節部３寄りの部分）を構成する基体６と、対象物Ｗと接触する末節部５の先端側の部分を構成する接触体７とをそれらの間に間隙８を存して備え、該間隙８の箇所に、接触体７を基体６に支持せしめる弾性部材である薄板バネ９が介装されている。

【００１９】

基体６は、大略円柱形状のもので、その後部（図２の右側の部分）の内部には、中空部１０が形成されている。基体６の軸心部には、該基体６の接触体７側の先端面から中空部１０にかけて貫通孔１１が穿設され、この貫通孔１１に、支持棒１２がその先端部を接触体７側に突出させて挿着・固定されている。この支持棒１２の先端部には、該支持棒１２の貫通孔１１内に挿入された本体部１２ａよりも小径なねじ部１２ｂが本体部１２ａと同心に形成されている。

【００２０】

接触体７は、その芯部を構成する大略有底筒状の芯材１３と、接触体７の外面部を形成するゴム等の樹脂材からなる弾性体１４とにより構成されている。

【００２１】

芯材１３は、その開口端部を基体６に向けて該基体６と同心に配置され、該開口端部には、環状フランジ１５が形成されている。また、芯材１３の先端部（底部）の外面は、球面状に形成されている。

【００２２】

弾性体１４は、芯材１３の環状フランジ１５を除く外面部全体を被覆するようにして該芯材１３の外面部に固着されており、その先端部は、芯材１３の先端部の形状に対応して球面状に形成されている。

【００２３】

薄板バネ９は、図４に示すように円板状に形成された金属製のもので、その肉厚は例えば０．２～２ｍｍ程度のものである。

【００２４】

この薄板バネ９の中心部には、該中心部を前記支持棒１２のねじ部１２ｂに取り付けるためのねじ穴１６が穿設され、また、周縁部には、それを前記芯材１３の環状フランジ１５にねじ締めするための複数（本実施形態では３個）のねじ穴１７が穿設されている。さらに、該薄板バネ９には、その弾性変形（撓み）を容易なものとするために複数条の溝１８が形成されている。尚、これらの溝１８は、薄板バネ９の肉厚が薄ければ、必ずしも設ける必要はない。

【００２５】

かかる薄板バネ９は、図２に示すように、その中心部を一対のワッシャ１９，１９間に挟持するようにして該ワッシャ１９，１９と共に前記ねじ穴１６（図４参照）を介して支持棒１２のねじ部１２ｂに外挿され、この状態で、支持棒１２のねじ部１２ｂにその先端側から該支持棒１２の本体部１２ａに向かってナット１９ａを螺着することで、該薄板バネ９の中心部が支持棒１２を介して基体６に固定されている。尚、ワッシャ１９，１９の外周面は、それぞれ、薄板バネ９に接触しない端面側から薄板バネ９に接触する端面側に向かって縮径されてテーパ面を成しており、これにより、薄板バネ９の弾性変形時に、ワッシャ１９，１９との接触箇所で応力が集中して該薄板バネ９が破損してしまうのを防止するようにしている。

【００２６】

また、この薄板バネ９は、その周縁部を前記接触体７の芯材１３の環状フランジ１５及びこれと略同径のワッシャ２０の間に挟持し、さらに該ワッシャ２０の後端面（薄板バネ９と接触しない端面）にそれと略同径の環状導体板２１を重合させた状態で、該導体板２１側から芯材１３の環状フランジ１５に向かって薄板バネ９の前記ねじ穴１７を介してねじ２２を螺着することで、該薄板バネ９の周縁部がワッシャ２０及び導体板２１と共に接触

体７の芯材１３に固定されている。尚、環状フランジ１５の内周面及びワッシャ２０の内周面は、前記ワッシャ１９，１９との同様に、薄板バネ９との接触箇所に応力集中が生じるのを防止するためにテーパ面をなしている。

【００２７】

以上のような基体６、接触体７及び薄板バネ９の構造により、接触体７が前記環状導体板２１を含めて基体６の先端面との間に間隙８を存しつつ薄板バネ９を介して基体６に支持されている。そして、薄板バネ９の弾性変形（撓み）によって、接触体７は、支持棒１２に固定された薄板バネ９の中心部を支点として揺動可能とされると共に、軸心方向（間隙８の距離方向）に移動可能とされている。この場合、薄板バネ９は、接触体７が基体６に対してそれらの軸心と直交する方向にスライドする方向や、接触体７が基体６に対してそれらの軸心回りに回転する方向に対しては、高剛性なもので、それらの方向へは接触体７は略不動なものとされている。また、接触体７と対象物Ｗとの接触時の接触体７の揺動量は接触体７等のサイズに比して十分に小さなものとなるようになっている。

【００２８】

尚、接触体７の外表面には、その全面を被覆するゴムや皮革等からなる可撓性の表皮体２３が固着されており、この表皮体２３の基体６側の端部は、前記間隙８の箇所から基体６の外周面まで覆うように延設され、これにより間隙８に塵等が侵入するのを防止している。

【００２９】

一方、前記基体６には、図２及び図３に示すように前記接触体７に固定された環状導体板２１に対向する箇所で、前記貫通孔１１の周囲に周方向に等間隔（１２０°間隔）で、例えば３個のセンサ挿着孔２４ａ，２４ｂ，２４ｃが基体６の先端面から中空部１０に向かって貫通孔１１と平行に穿設され、これらの各センサ挿着孔２４ａ～２４ｃにそれらの箇所で基体６と接触体７との間の間隙８の距離を検出するためのギャップセンサ２５ａ，２５ｂ，２５ｃが挿着・固定されている。この場合、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃは、前記薄板バネ９及び環状導体板２１を接触体７に固定するねじ２２の箇所に対して、図４に示すように周方向に位相をずらして配置されるようになっている。

【００３０】

各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃは、例えば公知の渦電流式のもので、環状導体板２１の各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃに対向する箇所に渦電流を生ぜしめつつ、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの先端面と環状導体板２１との距離に応じた信号を各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの箇所における前記間隙８の距離を示す信号として生成する。

【００３１】

この場合、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの後端部は、その一部が前記中空部１０内に露出するようになっており、その部分から生成した信号を出力するためのリード線２６が中空部１０内に導出されている。そして、中空部１０には、基体６の外部に通じる導出穴２７が穿設されており、それらのリード線２６が導出穴２７を介して基体６の外部に導かれている。

【００３２】

図５を参照して、本実施形態の力覚センサ装置では、上記ようにしてロボットハンドの各指機構毎に、基体６の外部に導出された各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃのリード線２６は、図５に示すように各指機構の外部において、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃに対応するアンプ２８ａ～２８ｃに接続され、それらのアンプ２８ａ～２８ｃの出力側がマイクロコンピュータ２９（以下、マイコン２９という）に接続されている。

【００３３】

このマイコン２９は、本発明の構成に対応して、力検出手段を構成するもので、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの信号をそれぞれアンプ２８ａ～２８ｃで増幅してなる信号をＡ／Ｄ変換するＡ／Ｄ変換器３０と、このＡ／Ｄ変換器２９を含めてバスライン３１を介して相互に接続されたＣＰＵ３２、ＲＡＭ３３及びＲＯＭ３４とから成り、ＣＰＵ３２により、Ａ／Ｄ変換器３０を介して与えられる各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの信号データ

に基づき、ＲＡＭ３３やＲＯＭ３４に格納された所定の演算式やプログラム等に従って、後述するように各指機構毎にその末節部５の接触体７と対象物Ｗとの接触時に該接触体７に作用する力の大きさ及び方向を求めるようにしている。

【００３４】

次に、本実施形態の作動を説明する。

【００３５】

本実施形態のロボットハンドの指機構の末節部５の先端部（接触体７）で対象物Ｗを把持すると、末節部５の接触体７がその側方の対象物Ｗから力を受ける。このとき、該接触体７は薄板バネ８の弾性変形（撓み）によって、基体６に対して薄板バネ８の中心部を支点として揺動したり、軸心方向に移動する。このため、基体６と接触体７との間の間隙７の距離が、対象物Ｗから接触体７の受ける力の大きさや方向に応じて、環状導体板２１の箇所で部分的に伸縮する。そして、このように変化する基体６と接触体７との間の間隙７の各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの箇所における距離に応じた信号（各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃと導体板２１との間隔を示す信号）が各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃによりそれぞれ生成され、それがそれぞれアンプ２８ａ～２８ｃにより増幅された後、マイコン２９に取り込まれる。さらにマイコン２９に取り込まれた各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの信号はＡ／Ｄ変換器３０によりＡ／Ｄ変換された後、バスライン３１を介してＣＰＵ３２に与えられる。

【００３６】

このとき、ＣＰＵ３２は、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの信号データに基づき、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの箇所における前記間隙８の距離を把握して、それを用いて以下のようにして、接触体７が対象物Ｗから受ける力の大きさと方向を演算により求める。

【００３７】

この演算処理を図６（ａ），（ｂ）を参照して説明する。尚、図６（ａ），（ｂ）では、説明の便宜上、接触体７や基体６等を模式化して示している。

【００３８】

まず、図６（ａ）を参照して、接触体７が対象物Ｗから受ける作用力をＦ、その作用力Ｆの、接触体７の軸心方向（Ｚ軸方向）の成分（以下、軸方向成分という）をＦｚ、接触体７の径方向（軸心と直交する方向）の成分（以下、径方向成分という）をＦｒとする。また、接触体７の基体６側の端面から作用力Ｆの作用点Ｐ（対象物Ｗとの接触点）までの距離をｈ、作用点Ｐと接触体７の軸心との距離（接触体７の半径）をｒとし、さらに、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの箇所における接触体７及び基体６間の間隙８の距離をそれぞれe_1、e_2、e_3とし、それらの距離e_1，e_2，e_3の定常状態（接触体７に対象物Ａが接触していない状態）からの変化分をΔe_1、Δe_2、Δe_3とする。尚、上記定常状態では$e_1 = e_2 = e_3$である。

【００３９】

また、図６（ｂ）を参照して、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃのうち、例えばギャップセンサ２５ａがＸ軸上に存するようにしてＸ－Ｙ座標軸をとり、他のギャップセンサ２５ｂ，２５ｃがＸ軸となす角度をα（本実施形態では６０°）、前記作用力Ｆの径方向成分ＦｒがＸ軸となす角度をθとする。

【００４０】

このとき、前記接触体７が受ける作用力による前記間隙の距離e_1，e_2，e_3の変化分Δe_1、Δe_2、Δe_3（これは、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの信号データによって検出される）は、接触体７の揺動量が十分に小さいことを考慮して、次式（１）～（３）により表される。

【００４１】

【数１】

$$\triangle e_1 = \frac{F_z}{K_z} - \frac{M_\theta}{K_\theta}\cos\theta \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\triangle e_2 = \frac{F_z}{K_z} + \frac{M_\theta}{K_\theta}\cos(\alpha+\theta) \quad \cdots\cdots (2)$$

$$\triangle e_3 = \frac{F_z}{K_z} + \frac{M_\theta}{K_\theta}\cos(\alpha-\theta) \quad \cdots\cdots (3)$$

【００４２】
上式（１）～（３）において、Ｍθは作用力Ｆによる接触体７の揺動支点（薄板バネ９の中心部。図６（ａ）の参照符号Ｏで示す）の回りのモーメント（＝Ｆｒ・ｈ－Ｆｚ・ｒ）、Ｋｚは薄板バネ９の軸心方向のバネ定数、Ｋθは接触体７の揺動支点Ｏの回りの揺動方向における薄板バネ９のバネ定数である。
【００４３】
この場合、α＝６０°であるので、上式（１）～（３）は、さらに次式（４）～（６）により表される。
【００４４】
【数２】

$$\triangle e_1 = \frac{F_z}{K_z} - \frac{M_\theta}{K_\theta}\cos\theta \quad \cdots\cdots (4)$$

$$\triangle e_2 = \frac{F_z}{K_z} + \frac{M_\theta}{K_\theta}\left(\frac{1}{2}\cos\theta - \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\theta\right) \quad \cdots\cdots (5)$$

$$\triangle e_3 = \frac{F_z}{K_z} + \frac{M_\theta}{K_\theta}\left(\frac{1}{2}\cos\theta + \frac{\sqrt{3}}{2}\sin\theta\right) \quad \cdots\cdots (6)$$

【００４５】
そして、これらの式（４）～（６）の両辺をそれぞれ加算すると、Ｍθが消去され、それから次式（７）が得られる。
【００４６】
【数３】

$$\triangle e_1 + \triangle e_2 + \triangle e_3 = \frac{3F_z}{K_z}$$

$$\therefore F_z = K_z\,\frac{\triangle e_1 + \triangle e_2 + \triangle e_3}{3} \quad \cdots\cdots (7)$$

【００４７】
従って、この式（７）を用いることで、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの信号データによって検出される前記間隙の距離e_1，e_2，e_3の変化分Δe_1、Δe_2、Δe_3から前記作用力Ｆの軸方向成分Ｆｚを求めることができる。
【００４８】
また、前記式（５），（６）の両辺をそれぞれ減算すると、次式（８）が得られる。
【００４９】
【数４】

$$\Delta e_3 - \Delta e_2 = \frac{M\theta}{K\theta}\sqrt{3}\ \sin\theta \quad \cdots\cdots (8)$$

【００５０】
さらに、前記式（４）に式（７）を代入して整理すると、次式（９）が得られる。
【００５１】
【数５】

$$\frac{\Delta e_2 + \Delta e_3 - 2\Delta e_1}{3} = \frac{M\theta}{K\theta}\cos\theta \quad \cdots\cdots (9)$$

【００５２】
ここで、式（８）の両辺をそれぞれ式（９）の両辺で除算することで、次式（１０）が得られる。
【００５３】
【数６】

$$\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \tan\theta = \frac{\sqrt{3}\ (\Delta e_3 - \Delta e_2)}{\Delta e_2 + \Delta e_3 - 2\Delta e_1}$$

$$\therefore \theta = \tan^{-1}\left[\frac{\sqrt{3}\ (\Delta e_3 - \Delta e_2)}{\Delta e_2 + \Delta e_3 - 2\Delta e_1}\right] \quad \cdots\cdots (10)$$

【００５４】
よって、この式（１０）を用いることで、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの信号データによって検出される前記間隙の距離e_1，e_2，e_3の変化分Δe_1、Δe_2、Δe_3から前記作用力Ｆの方向を示す角度θ（図６（ｂ）参照）を求めることができる。
【００５５】
一方、前記（９）式において、Ｍθ＝Ｆｒ・ｈ－Ｆｚ・ｒであるから、これを（９）式に代入して整理すると、次式（１１）が得られる。
【００５６】
【数７】

$$Fr = \frac{r}{h}Fz + \frac{M\theta}{h}$$

$$= \frac{r}{h}Fz + \frac{1}{h}\cdot\frac{K\theta}{\cos\theta}\left(\frac{\Delta e_2 + \Delta e_3 - 2\Delta e_1}{3}\right) \quad \cdots\cdots (11)$$

【００５７】
よって、この式（１１）を用いることで、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの信号データによって検出される前記間隙の距離e_1，e_2，e_3の変化分Δe_1、Δe_2、Δe_3から前記作用力Ｆの径方向成分Ｆｒを求めることができる。
【００５８】
前記マイコン２９のＣＰＵ３２は、各ギャップセンサ２５ａ～２５ｃの信号データによって検出される前記間隙の距離e_1，e_2，e_3の変化分Δe_1、Δe_2、Δe

$_3$ から、前記式（７）、（１０）、（１１）の演算を行うことで、接触体７と対象物Ｗとの接触時に接触体７が受ける作用力Ｆの各成分Ｆｚ，Ｆｒの大きさ、及び該作用力Ｆの方向を示す角度θを求める。そして、このようにして求められた作用力Ｆの各成分Ｆｚ，Ｆｒの大きさ、及び該作用力Ｆの方向を示す角度θを、ロボットハンドによる対象物Ｗの把持力や把持位置を調整するために使用する。尚、式（７）、（１０）、（１１）の演算を行うための定数Ｋｚ、Ｋθ、ｒ、ｈはあらかじめマイコン２９のＲＡＭ３３やＲＯＭ３４にあらかじめ記憶保持されている。

【００５９】

このように、本実施形態の装置によれば、ロボットハンドの各指機構における接触体６と対象物Ｗとの接触状態を示す作用力Ｆの大きさや方向を、薄板バネ９や渦電流式のギャップセンサ２５ａ～２５ｃを用いた簡単で安価な構成で容易に検出することができる。そして、本実施形態でギャップセンサ２５ａ～２５ｃとして使用した渦電流式のセンサは、温度変化やノイズ等の影響を受けにいので、接触体６と対象物Ｗとの接触状態を示す作用力Ｆの大きさや方向を安定して検出することができ、ひいては、ロボットハンドによる対象物Ｗの把持を安定して行うことができる。

【００６０】

尚、本実施形態では、薄板バネ９の中心部を基体６側に固定し、薄板バネ９の周縁部を接触体７側に固定するようにしたが、これと逆に、薄板バネ９の中心部を接触体７側に固定し、薄板バネ９の周縁部を基体６側に固定するようにしてもよい。

【００６１】

ところで、本実施形態では、３個のギャップセンサ２５ａ～２５ｃを用いて接触体６と対象物Ｗとの接触状態を示す作用力Ｆの大きさ及び方向を検出するようにしたが、例えば２個のギャップセンサを用いて、作用力Ｆの特定方向に成分のみや、作用力Ｆの方向のみを検出するようにすることも可能である。

【００６２】

この場合には、例えば図７に示すように基体６に二つのギャップセンサ２５ａ，２５ｂを周方向に１８０°の間隔を存して挿着・固定し、他の構成（接触体６や薄板バネ９等の構造）は、図２のものと同一とする。このようにした場合には、各ギャップセンサ２５ａ，２５ｂの信号データによって検出される基体６と前記接触体７との間の間隙８の、各ギャップセンサ２５ａ，２５ｂの箇所における距離e_1，e_2の定常状態（e_1＝e_2の状態）からの変化分Δe_1、Δe_2は、前記式（１）、（２）でα＝０とすることで、次式（１２），（１３）により表される。

【００６３】

【数８】

$$\Delta e_1 = \frac{Fz}{Kz} - \frac{M\theta}{K\theta}\cos\theta \quad \cdots\cdots (12)$$

$$\Delta e_2 = \frac{Fz}{Kz} + \frac{M\theta}{K\theta}\cos\theta \quad \cdots\cdots (13)$$

【００６４】

そして、これらの式（１２），（１３）の両辺をそれぞれ加算して整理することで、次式（１４）が得られる。

【００６５】

【数９】

$$Fz = Kz\frac{\Delta e_1 + \Delta e_2}{2} \quad \cdots\cdots (14)$$

【００６６】
よって、この式（１４）を用いることで、各ギャップセンサ２５ａ，２５ｂの信号データによって検出される間隙８の距離e_1，e_2の変化分Δe_1、Δe_2から、作用力Ｆの軸方向成分Ｆｚを求めることができる。
【００６７】
あるいは、例えば図８に示すように前記基体６に二つのギャップセンサ２５ａ，２５ｂを周方向に９０°の間隔を存して挿着・固定し、他の構成（接触体６や薄板バネ９等の構造）は、図２のものと同一とする。このようにした場合には、各ギャップセンサ２５ａ，２５ｂの信号データによって検出される基体６と前記接触体７との間の間隙８の、各ギャップセンサ２５ａ，２５ｂの箇所における距離e_1，e_2の定常状態（$e_1 = e_2$の状態）からの変化分Δe_1、Δe_2は、前記式（１）、（２）でα＝９０°とすることで、次式（１５），（１６）により表される。
【００６８】
【数１０】

$$\Delta e_1 = \frac{Fz}{Kz} - \frac{M\theta}{K\theta}\cos\theta \quad \cdots\cdots (15)$$

$$\Delta e_2 = \frac{Fz}{Kz} - \frac{M\theta}{K\theta}\sin\theta \quad \cdots\cdots (16)$$

【００６９】
ここで、作用力Ｆが常に接触体６の径方向のみに作用する場合、すなわち、Ｆｚ＝０の場合には、上式（１５），（１６）においてＦｚ＝０として、式（１６）の両辺をそれぞれ式（１５）の両辺で除算すると、次式（１７）が得られる。
【００７０】
【数１１】

$$\tan\theta = \frac{\Delta e_2}{\Delta e_1} \quad (\text{但し、} Fz=0)$$

$$\therefore \theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta e_2}{\Delta e_1}\right) \quad \cdots\cdots (17)$$

【００７１】
従って、接触体６に対象物Ｗが該接触体６の径方向から接触するような場合には、上式（１７）を用いることで、各ギャップセンサ２５ａ，２５ｂの信号データによって検出される間隙８の距離e_1，e_2の変化分Δe_1、Δe_2から、作用力Ｆの方向を求めることができる。
【００７２】
以上説明した実施形態では、接触体６と対象物Ｗとの接触時に接触体６に作用する力の大きさや方向を求めるようにしたが、単に接触体と対象物との接触の有無を検出する場合には、ギャップセンサの個数を一つとしてもよい。
【００７３】
図９を参照して具体的な参考例を説明すると、前述のロボットハンドの指機構と同様に、基節部３５、中節部３６及び末節部３７を順に第１関節３８及び第２関節３９を介して連結してなる指機構において、前述の実施形態と同様に、末節部３７を中節部３６側の基体４０と、対象物Ｗと接触する先端側の接触体４１とによりそれらの間に間隙４２を存して構成する。そして、これらの基体４０及び接触体４１をそれらの軸心方向と平行な姿勢で

間隙４２に介装された例えば方形状の薄板バネ４３により連結し、また、基体４０の例えば軸心部に、接触体４１の基体４０側の端面に対向させて前記ギャップセンサ２５ａ～２５ｃと同様のギャップセンサ４４を装着する。

【００７４】

このような構造の指機構にあっては、対象物Ｗが接触体４１に図示のように接触すると、該接触体４１が薄板バネ４３の撓みによって、図中矢印ｘで示すように揺動し、ギャップセンサ４４の箇所の間隙４２の距離が変化する。従って、この距離の変化をギャップセンサ４４で検出することで、接触体４１への対象物Ｗの接触の有無を検出することができる。

【００７５】

尚、以上説明した各実施形態では、ギャップセンサとして渦電流式のセンサを使用したものを示したが、公知のレーザ式のギャップセンサを使用してもよい。この場合には、前述の渦電流式のギャップセンサ２５ａ～２５ｃと同様に、基体にレーザ式のギャップセンサを装着し、そのセンサにより接触体の基体側の端面に向かってレーザ光を投光することで各センサの箇所における接触体と基体との間の間隙の距離を検出することができる。

【００７６】

あるいは、ギャップセンサとして静電容量式のセンサを使用してもよく、この場合には、前述の渦電流式のギャップセンサ２５ａ～２５ｃと同様に、基体に静電容量式のギャップセンサを装着し、このセンサの箇所における接触体及び基体間の静電容量を検出することで、接触体と基体との間の間隙の距離を検出することができる。

【００７７】

あるいは、接触体と基体との間の間隙に空気流を生ぜしめ、接触体が基体に対して揺動あるいは軸心方向に移動したときに生じる空気圧の圧力変化を検出することで、接触体と基体との間の間隙の変化を検出するようにることも可能である。

【００７８】

また、前記各実施形態では、ロボットハンドの指機構に備えた力覚センサ装置を例にとって説明したが、本発明はこれに限らず、種々の接触体と対象物との接触状態を検出する場合に適用することができることはもちろんである。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施形態の力覚センサ装置を備えたロボットハンドの指機構の側面図。

【図２】図１の指機構の力覚センサ装置の要部の縦断面図。

【図３】図２のＩＩＩ－ＩＩＩ線断面図。

【図４】図１の指機構の力覚センサ装置に用いる薄板バネの平面図。

【図５】図１の指機構の力覚センサ装置のシステム構成図。

【図６】図１の指機構の力覚センサ装置の作動を説明するための説明図。

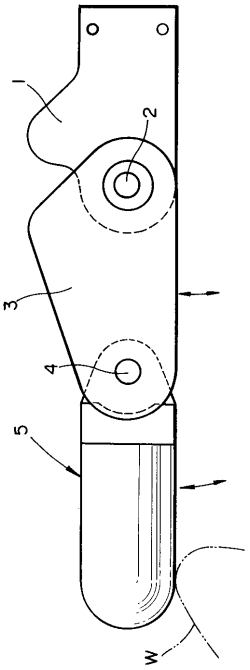
【図７】図１の指機構の力覚センサ装置で二個のギャップセンサを備えた場合の実施形態を示す断面図。

【図８】図１の指機構の力覚センサ装置で二個のギャップセンサを備えた場合の他の実施形態を示す断面図。

【図９】一個のギャップセンサを使用した力覚センサ装置の参考例におけるロボットハンドの指機構を示す模式的側面図。

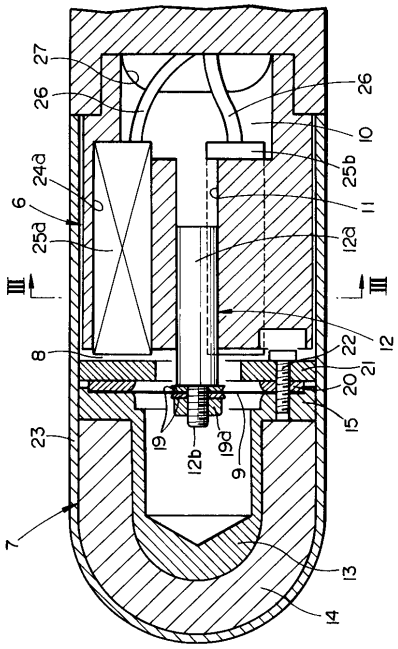
【図１】

FIG. 1



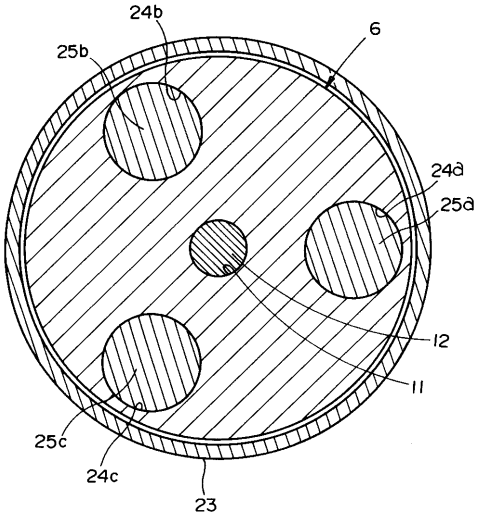
【図２】

FIG. 2



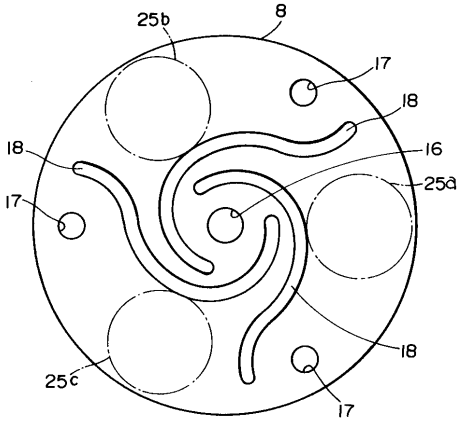
【図３】

FIG. 3



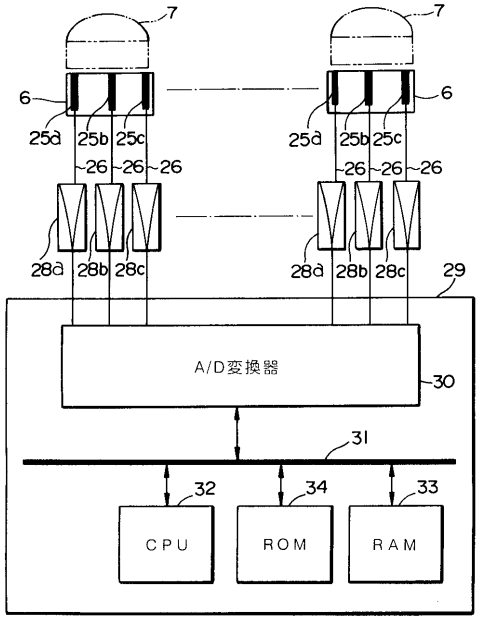
【図４】

FIG. 4



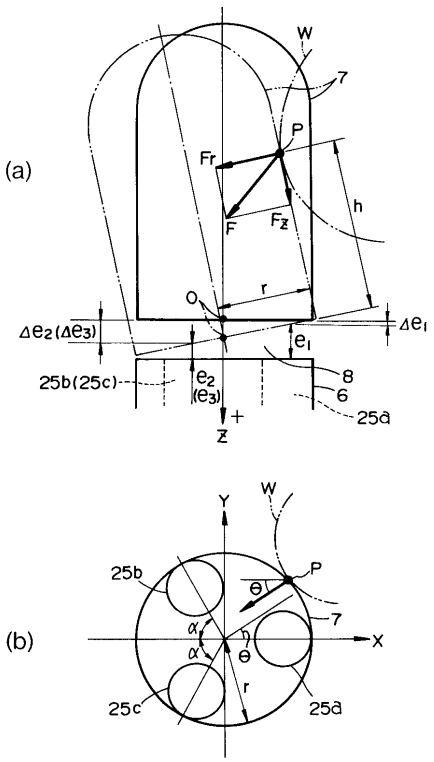
【図５】

FIG. 5



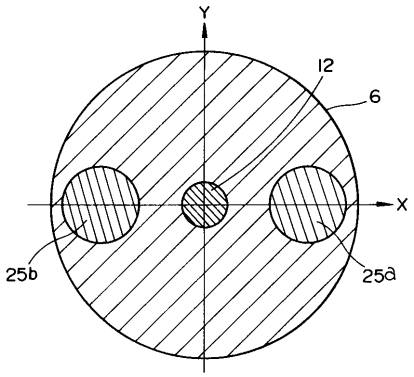
【図６】

FIG. 6



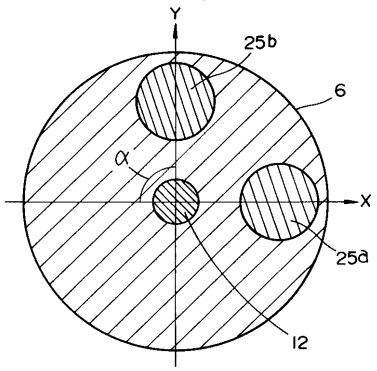
【図７】

FIG. 7



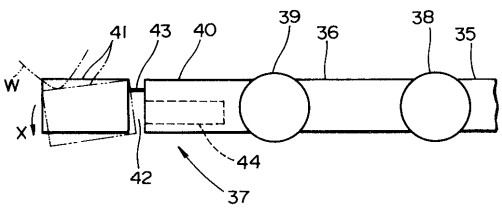
【図８】

FIG. 8



【図９】

FIG. 9



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭６２－１６２９３５（ＪＰ，Ａ）
特開平６－２２６６７７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
B25J 1/00-21/02