

3種類の把持形態が可能な、指先に第2の挟持機構を備えたロボットハンド

○松井裕典（特許庁，電気通信大学），董晨宇（電気通信大学），滝澤優（電気通信大学）
末廣尚士（電気通信大学），工藤俊亮（電気通信大学）

1. 緒言

従来より、複数の棒状指部材を有するロボットハンドにより、物品の把持を行うことが行われている^[1]。しかしながら、この様なロボットハンドは、多種多様な把持能力を獲得してはならず、限られた把持対象物の把持に特化した構造となっていた。この構造は、工場における単品目大量生産が目的であれば特に問題はないが、工場での多品種少量生産や、多様な物品の把持が求められるサービスロボット用途としては、能力不足であるという問題があった。

前述の問題に対する1つ目の解決策として、従来から、複数のハンドを予め用意しておき、用途や把持対象物に応じてロボットアームに取り付けるハンドを取り換える方式が採用されている^[2]。しかしながら、本方式は都度ハンドの付け替えが生じるため、段取り時間がかかってしまい、ロボットの稼働効率の向上という点において課題を有している。

また、2つ目の解決策として、複数の把持部を備え、用途や把持対象物に応じて複数の把持部のうちの1つを所定位置に移動させて利用する、いわゆるターレット方式が従来から用いられている^{[2]-[3]}。本方式は、多様な物品の把持に対応でき、また、段取り時間も短く済む利点があるが、一方で、利用していない把持部も常時ロボットアームに取り付けられている状態となるため、ハンド全体の寸法がかなり大きくなってしまいう課題を有している。

3つ目の解決策として、ハンドに空気圧により格納・突出が可能な爪を設け、爪を格納して指で把持する把持形態と、爪を突出させて爪で把持する把持形態を切り替えて動作する方式が提案されている^[4]。しかしながら、本方式はハンドの駆動用のエネルギー供給機構（空気源、弁、空気チューブ等）に加え、爪の格納・突出用のエネルギー供給機構（空気源、弁、空気チューブ等）を追加で設けねばならず、コストがかさむことに加え、特にチューブが増えることにより、メンテナンス時等におけるハンドの着脱手間が増加したり、ハンドの取り回し時に周囲に引っ掛かりやすくなるという課題を有している。

本稿で説明するロボットハンドはこのような問題・課題に鑑みて発明されたものであり、指先に第2の挟持機構を備え、且つ当該第2の挟持機構は追加の駆動源を設けることなく開閉可能な構成としている。これによりハンドを付け替えることなく、過度に大型化することなく、さらに追加のエネルギー供給機構（空気チューブや電線）を極力増やすことなく、複数の把持形態を実現可能となっている。

2. ロボットハンドの構造及び動作

2.1 ロボットハンドの構造

図1-3にロボットハンドを示す。ロボットハンドは、複数本の指（第1基節部1A、第2基節部1B、右側末節部2R、左側末節部2L）と、指駆動機構（第1鉛直リンク5、第2鉛直リンク6、出力軸支持部7、固着部材8、エアシリンダ9、出力軸10、アクチュエータ支持部11、固着部材12、第1傾斜リンク13、第2傾斜リンク14、固着部材15、鉛直スライドブロック16、固着部材17、鉛直スライド軸18、水平スライド軸19、両軸連結部20）と、アーム連結部21とを有している。前記複数本の指の各々は、1つの基節部と、2つの末節部（右側末節部2R、左側末節部2L）とを有している。

第1基節部1A及び第2基節部1Bは、その上部に前記第1基節部1A及び前記第2基節部1Bを駆動するための第1鉛直リンク5、第2鉛直リンク6を有している。また、前記第1基節部1A及び前記第2基節部1Bの下部には、右側末節部2R及び左側末節部2Lを保持し且つその移動を案内するための案内凹部28（ガイドレール）が設けられている。前記第1基節部1A及び前記第2基節部1Bにおける両者が互いに対向する面は、基節部把持面32となっており、後述する大物把持モードでは前記基節部把持面32が把持対象物34に接触して前記把持対象物34を挟持するように機能する。第1基節部1A及び第2基節部1Bは水平方向である第1方向（図3における紙面上下方向）に沿って、且つ180度反対方向に移動することにより、互いに近接・離間が可能である。そして、後述する大物把持モードでは、当該近接・離間動作により前記把持対象物34を把持することができるようになっている。また、第1基節部1A及び第2基節部1Bの下端からは、前記第1方向に沿って、且つ、外方に突出するように車輪支持部4（ストッパー）が設けられており、前記車輪支持部4の先端且つ下端付近には車輪3（ストッパー）が取り付けられている。

図4は右側末節部2Rの正面図及び側面図である。右側末節部2Rと左側末節部2Lとは、後述する末節側把持面33が設けられている側の左右が異なる以外は同様の構造である。前記右側末節部2Rは、上部にT型係合部27を有している。前記T型係合部27は図5に示すようにその断面が略T型形状をしており、上述の案内凹部28（ガイドレール）は図5に示すようにその断面形状が下面の一

部のみが開口した略C字形状となっている。そのため、前記T型係合部27を前記案内凹部28（ガイドレール）に係合させることで、第1基節部1A及び第2基節部1Bが右側末節部2Rが支持する構造となり、且つ、前記案内凹部28（ガイドレール）に沿って前記T型係合部27（前記右側末節部2R）が移動可能となる。前記案内凹部28の延在方向及び前記T型係合部27の延在方向は、図1から明らかなように水平面に対して傾斜する形態となっている。また前記右側末節部2Rの前記T型係合部27の延在方向の傾斜と、前記左側末節部2Lの前記T型係合部27の延在方向の傾斜とは、傾きが逆になっている。つまり、前記右側末節部2Rと前記左側末節部2Lが近づくほど両末節部は下方に移動し、右側末節部2Rと前記左側末節部2Lが遠ざかるほど両末節部が上方に移動するような形態の傾斜となっている。言い換えると、右側末節部側の案内凹部28（ガイドレール）は、前記左側末節部2Lに近い側が低く且つ前記左側末節部2Lから遠い側が高くなるように傾斜しており、左側末節部側の案内凹部28（ガイドレール）は、前記右側末節部2Rに近い側が低く且つ前記右側末節部2Rから遠い側が高くなるように傾斜している。また、両末節部の平面視（ハンドを上方から見た場合の状態）における近接・離間方向（図3における左右方向）である第2方向では、両基節部の平面視における近接・離間方向（図3における上下方向）である第1方向と直交する構成である。

右側末節部2Rと左側末節部2Lはその中段付近に弾性部材固定部26を有しており、2つの弾性部材固定部26の間には弾性部材25が設けられている。弾性部材は、バネや輪ゴム等からなり、両末節部2R、2Lを閉じる方向に付勢している。前記右側基節部2R及び前記左側基節部2Lにおける両者が互いに対向する部分は、上部がストッパ部31となっており、下部に小物收容凹部29が設けられている。右側基節部2Rの前記ストッパ部31と、左側基節部2Lの前記ストッパ部31とは、弾性部材25の作用により前記右側基節部2R及び前記左側基節部2Lが最も接近した際に接触し、それ以上閉じる方向に動くことを阻害するもの

である。前記小物收容凹部29は、側面視で略コの字型をしており、右側基節部2Rのコの字の開放部分と左側基節部2Lのコの字の開放部分とが合わさることにより、全体として略コの字型の收容部分を形成し、後述の小物把持モード及び長尺物把持モード時の把持部を形成するものである。前記小物收容凹部29の下端部分には、先端傾斜部30が設けられており、把持対象物34をすくい上げやすくしている。

第1基節部1Aに連結された右側末節部2Rの第2基節部1B側の面、第1基節部1Aに連結された左側末節部2Lの第2基節部1B側の面、第2基節部1Bに連結された右側末節部2Rの第1基節部1A側の面、第2基節部1Bに連結された左側末節部2Lの第1基節部1A側の面には、それぞれ末節部把持面33が設けられている。当該末節部把持面33は、後述する大物把持モードにおいて、前記基節部把持面32とともに把持対象物34に接触して前記把持対象物34を挟持するように機能する。

右側末節部2R及び左側末節部2Lのストッパ部31が設けられる面とは反対側の側面には末節側滑落防止部材固定部24が設けられ、第1基節部1A及び第2基節部1Bには基節側滑落防止部材固定部23が設けられ、末節側滑落防止部材固定部24と基節側滑落防止部材固定部23との間には滑落防止部材22が設けられる。末節側滑落防止部材固定部24及び基節側滑落防止部材固定部23は一例として貫通孔であり、滑落防止部材22は一例として輪状の紐である。当該構成を設けることにより、ロボットハンド外からロボットハンド（特に末節部）に対して何らかの強い力が加えられたとしても、ストッパ部31でのストップ位置を超えて右側末節部2R又は左側末節部2Lが滑落することを防止することができる。

車輪3及び車輪支持部4は、ロボットハンドのそれ以上の下降を阻止するストッパである。車輪3の下端は、右側末節部2R及び左側末節部2Lが閉じている（両末節部が接触している）場合の右側末の下端よりも高い位置にある。また、車輪3の下端は基節部把持面32の下端よりも低い位置にある。

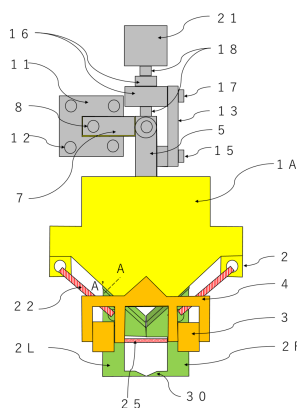


図1 正面図

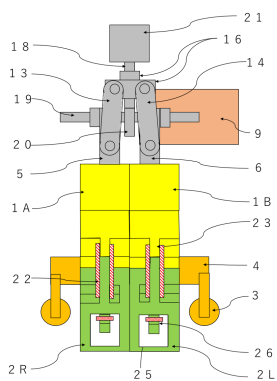


図2 側面図

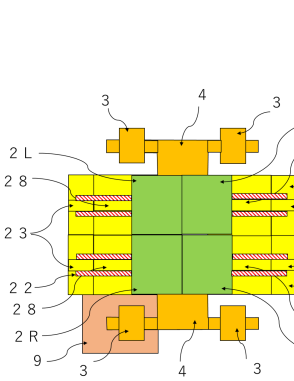


図3 底面図

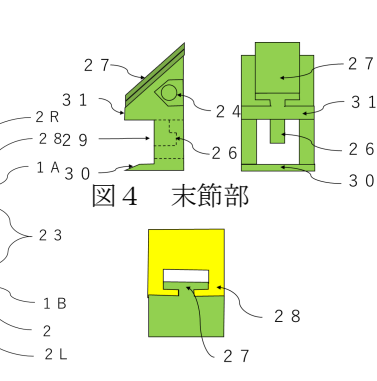


図4 A-A'断面図

ロボットハンドが下降し車輪 3 の下端が対象物支持面 3 5 に接触すると、まず前記右側末節部 2 R 及び前記左側末節部 2 L の下端が前記対象物支持面 3 5 に接触する。さらにロボットハンドを下降させると前記右側末節部 2 R 及び前記左側末節部 2 L は案内凹部 2 8 (ガイドレール) に沿って上昇し、前記車輪 3 (ストッパー) が前記対象物支持面 3 5 に接触し、前記車輪 3 の接触後はそれ以上ロボットハンドが下降しなくなることにより、前記右側末節部 2 R 及び前記左側末節部 2 L の上昇が止まることになる。前記車輪 3 はその回転軸の延在方向が第 2 方向と同じとなっている。

本ロボットアームの指駆動機構は、第 1 鉛直リンク 5、第 2 鉛直リンク 6、出力軸支持部 7、固着部材 8、エアシリンダ 9、出力軸 1 0、アクチュエータ支持部 1 1、固着部材 1 2、第 1 傾斜リンク 1 3、第 2 傾斜リンク 1 4、固着部材 1 5、鉛直スライドブロック 1 6、固着部材 1 7、鉛直スライド軸 1 8、水平スライド軸 1 9、両軸連結部 2 0 を備えている。

第 1 基節部 1 A はその上部に第 1 鉛直リンク 5 が設けられている。また、第 2 基節部 1 B はその上部に第 2 鉛直リンク 6 が設けられている。前記第 1 鉛直リンク 5 の上部、及び、前記第 2 鉛直リンク 6 の上部には貫通孔が存在し、水平スライド軸 1 9 に挿通されている。前記水平スライド軸 1 9 はその長手方向が第 1 方向に沿って延在しており、これにより前記第 1 鉛直リンク 5 及び前記第 2 鉛直リンク 6 は第 1 方向に沿って移動するように構成される。

第 1 鉛直リンク 5 及び第 2 鉛直リンク 6 に対して、それぞれ第 1 傾斜リンク 1 3 及び第 2 傾斜リンク 1 4 が固着部材 1 5 により回転可能に連結されている。また、第 1 傾斜リンク 1 3 及び第 2 傾斜リ

ンク 1 4 は固着部材 1 7 により鉛直スライドブロック 1 6 に対して回転可能に連結されている。前記鉛直スライドブロック 1 6 は貫通孔を有しており、鉛直スライド軸 1 8 が挿通されている。水平スライド軸 1 9 は両軸連結部 2 0 により前記鉛直スライド軸 1 8 に対して相対移動不能に連結されている。これにより前記第 1 鉛直リンク 5 及び前記第 2 鉛直リンク 6 が離間すると前記鉛直スライドブロック 1 6 が下降し、前記第 1 鉛直リンク 5 及び前記第 2 鉛直リンク 6 が近接すると前記鉛直スライドブロック 1 6 が上昇することとなる。また、これら機構により、平面視 (ハンドを上方から見た状態) における前記鉛直スライド軸 1 8 と前記第 1 鉛直リンク 5 との距離と、平面視における前記鉛直スライド軸 1 8 と前記第 2 鉛直リンク 6 との距離が常に等しくなる。言い換えれば、鉛直スライド軸 1 8 を中心として指が均等に開閉ようになる。

第 2 鉛直リンク 6 はその上部から側方にアクチュエータ支持部 1 1 が突出して設けられている。アクチュエータ支持部 1 1 にはボルト等の固着部材 1 2 によりエアシリンダ 9 (アクチュエータ) が取り付けられる。エアシリンダ 9 は空気源 (図示せず) からの空気圧によりその出力軸 1 0 の突出量が変化する構成である。第 1 鉛直リンク 5 はその上部から側方に出力軸支持部 7 が突出して設けられており、出力軸支持部 7 にはボルト等の固着部材 8 により出力軸 1 0 が連結される、これら構成により、アクチュエータ 9 により第 1 鉛直リンク 5 及び第 2 鉛直リンク 6 を近接・離間するよう動作させることができる。鉛直スライド軸 1 8 の上端にはアーム連結部 2 1 が設けられている。アーム連結部 2 1 はロボットアーム 3 6 とロボットハンド 3 7 とを連結する機構である。

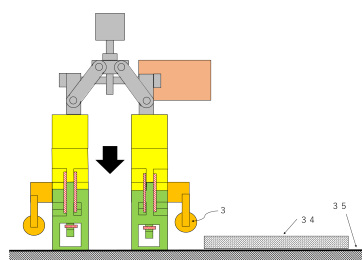


図 6 動作模式図

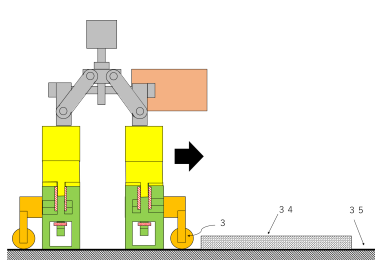


図 7 動作模式図

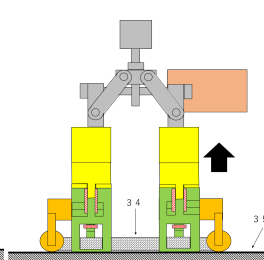


図 8 動作模式図

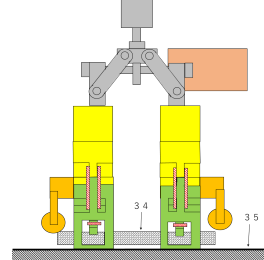


図 9 動作模式図

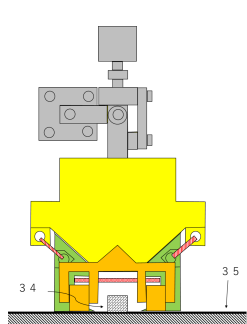


図 10 動作模式図

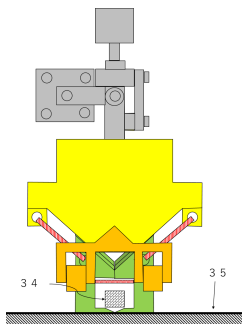


図 11 動作模式図



図 12 カッターの把持



図 13 箱の把持

2.2 ロボットハンドの動作

本ロボットハンドは、把持対象物に応じて「大物把持モード」、「長尺物把持モード」、「小物把持モード」の3つの把持モードを使い分けることにより、多様な物品の把持を実現している。

2.2.1 大物把持モード

大物把持モード時には、第1基節部1A及び第2基節部1Bが開いた状態とされる。なお、この状態において第1基節部1Aに連結されている右側末節部2Rと左側末節部2Lは弾性部材25の作用により閉じた状態となっている。

次に、把持対象物34の直上にハンドが移動され、次いでハンドが下降を開始する。下降は右側末節部2R及び左側末節部2Lの下端が対象物支持面35に接触する高さにおいて停止される。下降終了時においても第1基節部1Aに連結されている右側末節部2Rと左側末節部2Lは弾性部材25の作用により閉じた状態となっている。

最後に、第1基節部1A及び第2基節部1Bを近接する方向に移動させて指を閉じ、ハンドを上昇させる。把持対象物34が高さの高い物品である場合には、基節部把持面32と末節部把持面33の双方が把持対象物34に接触し、把持することになる。他方、把持対象物34が高さの低い物品である場合には、末節部把持面33のみ把持対象物34に接触し、把持することになる。

2.2.2 長尺物把持モード

図6-11は長尺物把持モードの流れを図示したものである。長尺物把持モード時には、第1基節部1A及び第2基節部1Bが“開いた”状態とされる。

次に、把持対象物の中心から把持対象物の長手方向に沿った方向に所定距離移動した地点の上方にハンドを移動させる。この所定距離移動した地点は、後にハンドを下降させた場合に、ハンドと把持対象物34が接触しない最小距離、または当該接触しない最小距離よりも大きい距離とされる。

続いて、ステップS23では、図6のような右側末節部2R及び左側末節部2Lの下端が対象物支持面35に接触する高さまでハンドの下降が行われるがそこで下降は止まらず、図7のように、車輪3（ストッパー）の下端が対象物支持面35に接触する高さまでハンドの下降が行われる。この時、ハンドの第1基節部1A及び第2基節部1Bは下降を続けるものの、右側末節部2R及び左側末節部2Lは既に対象物支持面35に接触しておりそれ以上下降ができないため、右側末節部2R及び左側末節部2Lは第2方向（水平方向）に沿って且つ互いに反対向きに横滑りすることになる。第1基節部1A（又は第2基節部1B）を基準としてみた場合には、右側末節部2R及び左側末節部2Lは斜めに設けられた案内凹部28（ガイドレール）に沿って第1基節部1A（又は第2基節部1B）に対して斜め上方向に移動することとなる。これにより、第1基節部1Aに連結された右側末節部2Rと左側末節部2Lは弾性

部材25の弾性力に抗して開くこととなり、弾性部材25には力が蓄えられる。

次に、図8、10のように右側末節部2Rと左側末節部2Lの間に把持対象物34が収まる位置までハンドを水平移動させる。この際、ストッパーである車輪3は対象物支持面35と接触しているが、ストッパーは車輪として構成され回転自在とされているため、対象物支持面35と車輪3との間の摩擦は最小限となる。

最後に図9のようにハンドが上昇される。ハンドが上昇すると、図11に示すように、弾性部材25に蓄えられた力により、右側末節部2R及び左側末節部2Lが自動的に閉じられる。これにより、把持対象物34は小物収容凹部29内に収容され滑落しなくなる。

2.2.3 小物把持モード

小物把持モードは、第1基節部1A及び第2基節部1Bが“閉じた”状態で動作が行われる以外は、長尺物把持モードと同様であり、把持対象物34は小物収容凹部29内に収容される。

3. 実験

大物として菓子箱、長尺物としてカッターナイフ、小物としてUSBメモリを使用して把持テストを行い、当ロボットハンドが正常に機能することを確認した。図12-13はその様子の一部を示すものである。

4. 結言

本稿では、新たに発明したロボットハンドの構造及び動作の仕組みについて説明した。このようなロボットハンドを用いることで、ハンドを付け替えることなく、また過度に大型化することなく、また追加のエネルギー供給機構（空気チューブや電線）を極力増やすことなく、複数の把持形態を実現可能である。なお、本稿で説明した形態ではエアシリンダ9により第1鉛直リンク5と第2鉛直リンク6とを近接・離間するように動作させていたが、動作機構はラックアンドピニオンなどの他の公知の機構に置き換えることが可能である。また、ロボットハンドの基節部把持面32にはスポンジやエラストマーなどの柔軟素材を付加し、形状対応性をより高める変形も可能である。

参 考 文 献

- [1] 河南博，河村幸則，曳田博，野本哲夫：“ロボットハンド”，特開平1-274986号公報，1989
- [2] 首藤正元：“ロータリー式ロボットハンド”，特開昭59-69290号公報，1984
- [3] 村山賢二，大西昌見：“ロボットターレットハンド”，特開2000-334688号公報，2000
- [4] S. Jain, T. Stalin, V. Subramaniam, J. Agarwal and P. Valdivia y Alvarado: "A Soft Gripper with Retractable Nails for Advanced Grasping and Manipulation", ICRA2020