大きな把持力が得られる直動機構

高 木 健* 小 俣 透*

Linear Motion Mechanism with Grasp Force Magnification

Takeshi Takaki* and Toru Omata*

This paper proposes a linear motion mechanism for a robot gripper that can exert a large grasp force. A robot gripper requires speed when opening and closing its jaws, and force when grasping an object. The proposed linear motion mechanism can drive its output quickly to an object and can generate a large grasp force by using a lever. The mechanism has two feed screws with different pitches along one screw shaft. Initially a gear is fastened on the feed screw with the smaller pitch to rotate the shaft. The feed screw with the larger pitch enables quick motion of the output nut. After the output makes contact with an object, the rotation of the shaft stops. By further driving the gear, it becomes loosened and begins to move axially by the feed screw. The gear pushes the lever, which generates a large fingertip force. We have developed an 86g gripper with this mechanism and experimentally verified that it can grasp objects of various sizes and can exert a large grasp force over 200N. It is also experimentally verified that the gripper can grasp and ungrasp an object reliably over 5000 times if machine lubricant is properly supplied.

Key Words: Linear Motion Mechanism, Grasp, Gripper, Robot Hand

1. 緒 論

ロボットグリッパは工場内での搬送、組み立て等において多く用いられている。それらは直線運動をする出力により把持対象を把持するものが多く、その機構にはボールねじやカムが使用されている。減速比は一般に一定であるため、大出力の大きなアクチュエータを用いるか、大きな減速比を用いなければ大きな把持力を得ることはできない。しかし、それではグリッパは大きく重くなり、また、大きな減速比を用いれば出力の速度は遅くなる。グリッパは単体で使用されることはほとんどなく、マニピュレータの先端に取り付け作業を行うのが一般的である。軽量のグリッパで大きな把持力を得られれば、マニピュレータへの負担が少なくなり好ましい。すなわち、軽量になった分、大きな質量の把持対象を同じマニピュレータで扱うことや、同じ質量の把持対象であればマニピュレータを高加速で動かすことも可能になる。

把持対象に接触するまでは俊敏さ、接触後には大きな力が求められる。この要求を両立する方法として、変速機の利用が考えられる。これまでに様々な変速機が開発されており、自動車用をはじめ実用化に至っている変速機も少なくない。ロボット用にも回転運動 [1]~[4] や直動運動 [5] をする変速機が開発されている。しかし、これらは汎用的ではあるが、グリッパに内蔵

できるほど、小型軽量のものは開発されていない。そこで、筆者らは小型軽量化を実現するため、要求される動きに特化することを考え、回転関節においては負荷感応無段変速機を提案した [6] [7]。

本論文でも、要求される動きに特化することを考え、直動関節において俊敏さと、力強さを実現する機構を提案する。要求される動きとして、挟み込み把持する場合、大きな力が要求されるのは、挟み込む一方のみでよいことにも着目した。一つのアクチュエータで把持対象までは送りねじで出力を俊敏に動かし、接触後は倍力機構で力強く把持を行う機構を提案し、その機構の設計指針を示す。この機構を用いた質量 86 [g] のグリッパで 200 [N] もの把持力が得られることを実験により示す。また、5,000 回繰り返し把持を行い、潤滑油が把持力のばらつきを抑える効果があることを述べる。

2. 機構の構成と動き

2.1 機構の構成

大きな力を得られる機構として、Fig. 1 のようなレバーやリンク等を用いた倍力機構は多くある。しかし、これらの機構は位置 x 付近でのみしか大きな力を得ることはできない。よって、任意の大きさの把持対象を力強く把持することはできない。

そこで、提案する直動機構は送りねじと Fig. 1 (a) の機構を組み合わせることで、任意の大きさの把持対象を大きな力で把持することを実現する。本機構の概略図を Fig. 2 に示す。出力部と固定板の間に把持対象を挟み込み把持することができる。

原稿受付 2006 年 6 月 13 日

*東京工業大学

*Tokyo Institute of Technology

Fig. 1 Examples of toggle joints

Fig. 2 Model of the linear motion mechanism

Base 1 は固定されており, Base 2 は Base 1 に対し (A) の方向に動くことができる. Spring 1, Spring 2 はそれぞれ, Roller 1 と Base 1, Roller 2 と Gear 2 を常に接触させるために引張り力が働いている. レバーは Base 2 の (a) に回転自在に付いている. Screw 1 および Screw 2 のピッチはバックドライブが生じない程度に小さい. モータにより Gear 1 が回転し, Gear 2 に動力が伝達される. このグリッパは一つの出力で片側から把持対象を把持するものであるが, 二つの出力で両側から把持対象を把持する構成については 4 章の考察で述べる.

2.2 機構の基本動作

本節では本機構の基本的な動作について述べ, 3 章で詳細について述べる. まず, 軸および Gear 2 に着目して説明する.

Fig. 3(1) のように軸の左右には Screw 1 と Screw 2 があり, Gear 2 を留めるためのストッパを備えている. Gear 2 の回転中心は Screw 2 とかみ合う雌ねじとなっており, Fig. 3(1) の状態では Gear 2 はストッパに接触し Screw 2 上で留められているとする. 出力部が把持対象に接触すると, Fig. 3(2) のように出力部と軸の回転が停止する. さらに, Gear 2 を回転させると, 軸が停止しているため, Fig. 3(3) のように Screw 2 により留められていた Gear 2 が外れ, 軸方向に動く.

Gear 2 が Fig. 4(1) のようにレバーを押すことにより, 把持対象に力が加わる. レバーの姿勢が Fig. 4(2) に近づくほど, 大きな把持力 F_{tip} が得られる. このことを簡略化した図を Fig. 5 により説明する. 議論を簡単にするため, バネによる力は小さいため考慮せず, レールには摩擦がなく, それぞれの部品を剛体と仮定する. このとき, 出力部と軸と Base 2 は相対的に動かないため, この三つの部品を一塊と見なすことができ, 把持力 F_{tip} はレバーの Base 1 からの反力に等しくなる.

Fig. 5 の点 (a) を通り軸方向の直線を基準線とし, Roller 1, Roller 2 の中心から基準線までの垂直距離をそれぞれ L_1 , L_2 とする. Gear 2 がレバーを押す力を f とすると, レバーの点 (a) 周りのモーメントの釣り合いは,

Fig. 3 Feed screws with a gear on one of them

Fig. 4 Grasp force magnification

Fig. 5 Model of the lever

$$F_{tip} = \frac{L_2}{L_1} f \quad (1)$$

となる. 基準線と点 (a) と Roller 1 を通る直線とのなす角を α とする. Fig. 4(2) のとき, $\alpha \rightarrow 0$ となり, $L_1 \rightarrow 0$ となる. このとき, 把持力は $F_{tip} \rightarrow \infty$ となるため, 力強く把持できることが期待できる. 実際には本機構と把持対象は弾性変形し把持力は制限される. そのため, 把持力は本機構と把持対象の剛性およびレバーにより生じる変位によって定まる.

なお, 歯車がねじにより軸方向に動く機構として, Barrett ハンド [9] [10] がある. しかし, これはなじみ機構を実現するための機構である. 一方, 本機構は歯車がねじ軸方向に動く力を利用した把持力増大機構である.

†「バックドライブが生じない」とは, 出力側から力を加えても入力側を動かせないことを示す.

3. 繰り返し把持を行うための条件

3.1 ネジトルク

本機構はねじにより駆動されており、準備としてそのねじを締めるときと緩めるときのトルクを示しておく。ねじは斜面の応用で、これを円筒面に巻き付けたものと考えることができ、Fig. 6のように(a)のねじを、(b)、(c)のようにほどき斜面（雄ねじ）の上に雌ねじが接していると考え、その斜面の角度を θ とし、雄ねじと雌ねじの間に生じる摩擦の摩擦角を ρ とする。トルク $\tau_{\oplus}$ で締め付けたときに緩めるために必要なトルク $\tau_{\ominus}$ は、

$$\tau_{\ominus} = \frac{\tan(\rho - \theta)}{\tan(\rho + \theta)} \tau_{\oplus} \quad (2)$$

となる[8]。よって、斜面の角度 θ が大きくなるほど、同じトルク $\tau_{\oplus}$ でねじを締め付けても緩めるために必要なトルク $\tau_{\ominus}$ は小さくなるのが分かる。また、斜面の角度 θ が摩擦角 ρ よりも大きくなると、バックドライブが可能な送りねじとなる。本機構のねじはバックドライブが生じてはならないため、

$$\theta < \rho \quad (3)$$

が成り立つねじを使用する必要がある。

3.2 把持の準備動作

出力部が把持対象に接触するまでは、Fig. 3(1)のようにGear 2はストッパに接触しScrew 2の上に留められ、モータは出力部を駆動できる必要がある。本節では、把持を行う準備として、この状態を実現する方法を出力部、Base 2、Gear 2およびストッパの四つの部品の関係に着目する。

はじめにFig. 7(a)に示すような出力部とBase 2、Gear 2とストッパが接触している状態にすることを考える。これら四つの部品の位置関係は、Fig. 7(a)以外に三つ状態がある。Fig. 7(b)

Fig. 6 Screw and slope

Fig. 7 States of the four components

はそれぞれの部品が接触していない状態であり、Fig. 7(c)は出力部とBase 2が、Fig. 7(d)はGear 2とストッパが接触している状態である。Fig. 7(b)~(d)のどの状態でも、Gear 2をFig. 3とは逆の方向に回転させると、Fig. 7(a)の状態になる。

次に、Screw 1、Screw 2とで異なるねじを用いることで、Fig. 7(a)の状態から、Fig. 3(1)の状態に移ることができることを示す。このことを締め付けるときと緩めるときのトルクの大きさの関係より考える。まず、ねじを締め付けるまたは緩めるトルクの大きさ τ_n の添字を定義する。Screw 1上にある出力部またはScrew 2上にあるGear 2について考えるとき、それぞれ $l = 1, 2$ とし、締め付けるまたは緩めるときはそれぞれ $n = \oplus, \ominus$ とする。例えば、Screw 2上にあるGear 2を締め付けているときのトルクを $\tau_{2\oplus}$ と表記する。

Fig. 7(a)の状態にGear 2にトルクを加えたときのトルクの釣り合いについて考える。このときの、モデルをFig. 8に示す。Screw 1とScrew 2は静止しており、図中の矢印は締め付けるトルクを示している。ストッパとGear 2はトルク $\tau_{2\oplus}$ で締め付け合い、Screw 1上にある出力部とBase 2は $\tau_{1\oplus}$ で締め付け合う。

Screw 1とScrew 2は同軸上にあり、軸は回転自由であるため $\tau_{1\oplus}$ と $\tau_{2\oplus}$ は等しくなる。Screw 1、Screw 2の摩擦角 ρ を同様と仮定し、ねじの斜面の角度をそれぞれ θ_1, θ_2 とすると、それぞれのねじを緩めるのに必要なトルク $\tau_{1\ominus}, \tau_{2\ominus}$ は式(2)より、

$$\tau_{1\ominus} = \frac{\tan(\rho - \theta_1)}{\tan(\rho + \theta_1)} \tau_{2\oplus} \quad (4)$$

$$\tau_{2\ominus} = \frac{\tan(\rho - \theta_2)}{\tan(\rho + \theta_2)} \tau_{2\oplus} \quad (5)$$

となる。先に出力部がBase 2から離れ、Gear 2がストッパに接触したまま締め付け合っていれば、出力部をFig. 3(1)のように把持対象に駆動することができる。ねじの斜面の角度が、

$$\theta_1 > \theta_2 \quad (6)$$

であれば、式(4)、(5)より、ねじが外れるのに必要なトルク $\tau_{1\ominus}, \tau_{2\ominus}$ の関係が、

$$\tau_{1\ominus} < \tau_{2\ominus} \quad (7)$$

となり、Gear 2がストッパから離れるよりも先に出力部がBase 2から離れ、Fig. 3(1)の状態を実現できる。そこで、Screw 1には $\theta_1 = 3.4$ [deg]であるM3の並目ねじ、Screw 2には $\theta_2 = 2.3$ [deg]であるM3の細目ねじを選定した。摩擦係数を0.2 ($\rho = 11.3$ [deg])、 $\tau_{2\oplus} = 1.0$ [mN·m]と仮定した場合、 $\tau_{1\ominus}$,

Fig. 8 Fastening torques

Fig. 9 Control to loosen screw

$\tau_{2\oplus}$ はそれぞれ, 0.53, 0.65 [mN·m] となる. これにより本機構が問題なく動作できるかについては, 4 章の実験により検証する.

3.3 ねじの固着対策

バックドライブが生じないねじを駆動すると, 何らかの原因でねじが通常よりも固く締まった場合, 通常のシーケンスではその状態から抜け出すことができなくなる可能性がある. そのような固着した状態に陥った場合, 通常とは異なるシーケンス (以下固着解除シーケンス) により抜け出すことを考える.

まず, 固着したと認識する方法について述べる. 一定の電圧 V でモータを駆動する場合, モータに流れる電流 i は回転している場合よりも停止しているときの方が大きな電流 i が流れる. そこで, 閾値 i_t 以上の電流 i が一定の時間 t 以上流れた場合, ねじが固着したと判断し固着解除シーケンスに移る. この閾値 i_t , t は実験により求める.

次に, 固着解除シーケンスについて述べる. 歯車の遊びを利用し噛み合っている歯車を衝突させ合うことにより, 固着を解除することを考えた. Fig. 9 (a) のように, 一度固着が解除される方向とは逆の方向に電圧 V_a でゆっくり回転させ, 歯車と歯車の間に隙間を作り, その後モータの電源の最大電圧 V_b を加え, Fig. 9 (b) のように固着が解除される方向に回転し, 衝突させることを繰り返す簡単なシーケンスである. モータに加える電圧 V_a , V_b は Fig. 9 に示すように, それぞれ時間 t_a , t_b おきに切り替える. 固着が解除された場合, 電流 i が閾値 i_t より下がり, 最大電圧 V_b が加わっているときに 0.02 [s] の間この閾値 i_t よりも下がると, 通常のシーケンスに戻る. 時間 t_a , t_b は共に 0.04 [s] とした. 一回衝突させるための電圧 V_a , V_b の一つの矩形波を 1 パルスと定義する.

4. 実 験

4.1 実験装置

実験装置を Fig. 10 (上側の写真は中身が見えるように板を外している) に示す. 大きさは $80 \times 25 \times 25$ [mm] で質量は 86 [g] である. 1.2 [W] のモータを使用し, その質量は 15 [g] である. Gear 1 と Gear 2 の歯数はそれぞれ 14 と 48 で出力部のストロークは 40 [mm] である. 把持力 F_{tip} を測定するため, 固定板には力センサが備わっている.

4.2 節では締め付けるときのトルク $\tau_{2\oplus}$ について, 4.3 節では通常のシーケンスについて, 4.4 節では固着解除シーケンスについて実験する. 4.5 節では, 固着の頻度を検証し, 本機構を使用しなかった場合の把持力と比較し有効性を示す.

Fig. 10 Linear motion mechanism

Fig. 11 Experimental results of current i and fingertip force F_{tip}

4.2 準備動作における締め付けトルクの決定

3.2 節で述べたトルク $\tau_{2\oplus} (= \tau_{1\oplus})$ を実験により定める. 適切な締め付けトルク $\tau_{2\oplus}$ を定めるため, そのときの電流 i の制限値を変化させ検索した. 締め付けるとき, 電流 i の制限を 0.15, 0.27, 0.40, 0.60 [A] としそれぞれ 100 回繰り返し締め付けた. その結果, 電流 $i = 0.15, 0.27$ [A] のときは, 100 回の締め付けのうち一度も固着は発生しなかった. 一方, 電流 $i = 0.40, 0.60$ [A] のとき 100 回の締め付けのうちすべてにおいて固着した. 大きな電流 i で締め付けるほど, 駆動部が固着する可能性が高いため電流 i の制限値は 0.15 [A] と定めた.

4.3 通常シーケンス

通常のシーケンスにて把持を行い, 把持力 F_{tip} と電流 i の測定を行った. 実験結果を Fig. 11 に示し, そのときの写真を Fig. 12 に示す. Fig. 11 中の番号は, Fig. 12 の写真の番号の状態を示しており, (1), (2) は把持をする準備動作で, (1) は Fig. 7 (a) の状態にするために出力部を把持対象とは逆の方向に

Fig. 12 Snapshots of the experiment

Fig. 13 Number of pulses

駆動しており、(2) はトルク $\tau_{2\oplus}$ でねじを締め付けている。(3) は出力部を把持対象に駆動しており、(4) は出力部が把持対象に接触後、Gear 2 がストッパからはずれレバーを押している過程である。(5) は把持中であり、Fig. 11 (b) より把持力 F_{tip} は 200 [N] を超えており力強く把持できていることが分かる。本機構はバックドライブの生じないねじを使用しているため、把持中に電流 i を流さなくても把持力 F_{tip} を維持できることが分かる。これは本機構の特長の一つである。把持の解除は (1) と同様である。

Fig. 11 において、1.0 [s] 以上電流 i が 0.5 [A] を超えることはないので、この値を 3.3 節で述べた固着したと判断する閾値 t と i_t とする。

4.4 固着解除シーケンス

3.3 節で提案した固着解除シーケンスの効果を検証する。意図的に固着を起こすために、4.2 節で固着して動かなくなった電流 $i = 0.40, 0.60$ [A] で Gear 2 とストッパおよび出力部と Base 2 を締め付ける場合について 100 回締め付け検証した。すべての場合において固着したが、固着したことを判断でき、固着解除シーケンスにより固着を解除でき通常のシーケンスに戻ることができた。固着した駆動部を解除できたパルス数を Fig. 13 を示す。電流 $i = 0.40, 0.60$ [A] で締め付けた場合に、固着が解除されるまでに必要としたパルス数の平均はそれぞれ 4.6, 14.6 回となり、0.60 [A] で締め付けたほうが固く締め付けられているため、多くのパルスが必要となることが分かる。

固着している状態から固着が解除されるまでの電流 i とシーケンスの代表例を Fig. 14 に示す。停止状態から 0.5 [s] でモータに最大電圧を加えたが、固着しており動けず Fig. 14 (a) に示すようにモータには閾値 $i_t = 0.5$ [A] を超える電流 $i = 0.6$ [A] が

Fig. 14 Normal and loosening screw sequences

Fig. 15 Experimental results of continuous grasping

Table 1 Frequency of error and fingertip force F_{tip}

Grasping times	Fingertip force F_{tip} [N]	Locked
1-1000	180	1
1001-2000	202	4
2001-3000	208	0
3001-4000	208	0
4001-5000	202	105

流れた。この状態が時間 $t = 1.0$ [s] 以上続いたため、Fig. 14 (b) に示すように 1.5 [s] で通常のシーケンスから固着解除シーケンスに移った。その後、5 パルスが加わったところで固着が解除され動きだし、電流 i が閾値 $i_t = 0.5$ [A] より下回ったため、Fig. 14 (b) に示すように 1.9 [s] で通常のシーケンスに戻った。

4.5 固着頻度

4.4 節では意図的に固着させたが、繰り返し把持を行い通常のシーケンスではどの程度の頻度で固着するかを検証する。実験を行う前に駆動部には潤滑油を注し、5,000 回連続で繰り返し把持した。把持力 F_{tip} を Fig. 15 (a) に、固着した場合に固着が解除されるまでに必要としたパルス数を Fig. 15 (b) に示す。図中において × は固着したと判断された場合である。平均把持力は 200 [N] であった。1,000 回おきの平均把持力、固着の回数、固着が解除されるまでに必要としたパルス数を Table 1 に示す。4,000 回までの固着は 5 回と極めて少なく、パルスの数

Fig. 16 Experimental results of fingertip forces F_{tip} versus the length of objects (22.3~40.3 [mm])

も最大 2 回で固着から解除できており、把持力 F_{tip} も 200 [N] 程度であり、この固着は問題にする必要はない。4,000 回以上における固着は 105 回と極めて多く、固着した場合の把持力 F_{tip} も小さくなっており前述と比べ問題である。しかし、5,000 回連続で把持を行い、再度駆動部に潤滑油を注したところ、次の 1,000 回は一度も固着しなかった。よって、十分な潤滑油が注されている場合は、ほぼ固着しないことが分かり、潤滑油が固着に重要な影響を与えていることが分かった。

本実験のように、長時間にわたり本機構を駆動すると潤滑油が黒く濁ることが観測された。これは、機械部品の摩擦により生じたと考えられる。しかし、多少の摩擦が生じて、同じシーケンスで連続的に駆動できており、ねじの斜面角度 θ_1 , θ_2 , 準備動作の締め付けトルク $\tau_{2\oplus}$, 電流の閾値 i_t が適切に設定されていると考えられる。

十分な潤滑油を注ぎ、比較のためにレバーを使用せずに Screw 1 のみで把持を行い、把持対象から離れるときは最大電流を流し固着せずに把持対象から離れることができるかを検証した。把持力が 65 [N] を超えると最大電流を流しても 20% 程度の割合で固着し、安定して把持が行えるのは 60 [N] 以下であった。これと比較すると、製作したグリップはレバーを使用しなかった場合の約 3 倍の 200 [N] 程度の把持力を安定して得ることができた。さらにレバーの角度 α を大きくすれば、大きな把持力を期待できるが、軸を支えている軸受の許容荷重の制限を受けるため、製作したグリップにおいてはこれ以上の把持力を得ることは難しい。機構の剛性に着目すると、剛性をより高くすることができれば、同じ角度 α でもより大きな把持力を得ることができる。ただし、より頑丈な軸受や、より高剛性の構造を製作すると一般に重く大きくなる。

4.6 把持対象の大きさと把持力

把持対象の長さに依存することなく、力強く把持できることを検証する。固定板と出力部の間に長さ 22.3 [mm] から 40.3 [mm] まで 1.5 [mm] おきに 13 種類の長さの把持対象をそれぞれ 20 回連続で把持し把持力 F_{tip} を測定した。実験結果を Fig. 16 に示す。把持力 F_{tip} の平均値は 194 [N] であった。様々な長さの把持対象においも、大きな把持力 F_{tip} を得られ、長さに依存することなく力強く把持できた。

4.7 送り速度の検証

本機構の送り速度の検証を行った。本機構は送り速度を測定するセンサを備えていないため、本機構の外部にエンコーダを取り付け、出力部の位置を測定しその差分により速度を求めた。実験結果を Fig. 17 に示す。送り速度はモータカタログの最高

Fig. 17 Experimental result of velocity of the output

許容回転数 (19,000 [rpm]) により制限され、約 45 [mm/s] となった。

この送り速度は、送りねじのピッチ p を大きくすることによって、より速く動かすことが可能である。ピッチ p , ねじの有効直径 d , ねじの斜面角度 θ の関係は $\theta = \tan^{-1}(p/\pi d)$ である。このとき、ねじの有効直径 d が同じ場合は式 (3) の制限を受けるが、摩擦係数を 0.2 ($\rho = 11.3$ [deg]) と仮定した場合、ピッチ p は最大で 3.3 倍の 1.7 [mm] まで大きくすることができる。また、ねじの有効直径 d を大きくすれば、さらにピッチ p を大きくしても、式 (3) を満たすことができるため、この場合はより高速に出力を駆動することが可能である。

4.8 考察

(I) Fig. 16 における把持力のばらつきについて考察する。ばらつきの原因は潤滑油によるものが最も支配的であると考えられる。なぜならば、4.5 節の Fig. 15 で示した 5,000 回連続で把持を行う実験より、潤滑油が把持力に影響していることが確認されているためである。1 回目の把持から 2,000 回ぐらいまでは把持力が変化しており、この間ははじめに注した潤滑油が機構に馴染んでいると推測される。しかし、2,000 回から 4,500 回の間は把持力のばらつきが小さく安定しており、潤滑油の量が適量になったと考えられる。その後、4,500 回から 5,000 回の間は非常にばらつきが大きくなり、潤滑油不足になったと考えられる。再度潤滑油を注し、同様に繰り返し把持を行うと、同様の挙動を示しており、このことから潤滑油が把持力に影響していることが分かる。良好な状態を長く維持できる潤滑油の選定や、潤滑油なしでも動作を可能にするための無給油ナット等の検討は今後の課題である。

(II) センサを用い把持力を調整する方法について考察する。本機構の把持力は本機構と把持対象の剛性およびレバーにより生じる変位によって定まる。この変位を調整する方法として、レバーの角度を測定し、目標とする把持力に応じレバーをどの程度押すかを算出し制御する方法が考えられる。しかし、この方法は把持対象の剛性が既知でなければならない。そこで、出力部に力センサを取り付け、その値よりレバーをどの程度押すかを算出し制御すれば、目標の把持力を得られると考えられる。

(III) 準備動作について考察する。送りねじのみを用いて把持を行う場合、3.2 節で述べた準備動作を必要としない。また、大きな減速比を用いれば、送り速度は遅くなるが、大きな把持力を得られる。あらかじめ大きく開閉してから把持をする場合や、把持対象の大きさが頻繁に変化する場合は、送り速度が速い本機構の方が準備動作を必要とするが作業効率において有利である。しかし、小さい把持対象を連続して把持を行う場合、準

Fig. 18 Two jaw gripper with single motors

Fig. 19 Coupling

備動作を必要としない送りねじのみのグリッパの方が作業効率が良くなる場合もある。

しかし、グリッパはアーム先端に取り付け作業を行うのが一般的であり、アーム先端が把持対象までに移動するには時間を必要とする。この時間を用い、準備動作を行えば上記の場合においても本機構の方が作業効率が良くなると考えられる。また、Screw 1 のピッチを大きくすることにより、より俊敏に出力部を駆動することができる。この場合、準備動作に必要とする時間はさらに短くなる。

(IV) 両側から把持対象を把持する構成を Fig. 18 に示す。右半分の構成は 2 章で述べた構成と同様である。Base 1 を延長し、Base 1 上に軸 2 を回転自由に固定し、軸 1 と軸 2 を Fig. 19 に示すようなカップリングで繋ぐ。Fig. 19 (a) はカップリングが外れている状態で、Fig. 19 (b) ははめ合っている状態である。このカップリングで軸 1 は (A) 方向には自由に動くことができ、軸 1 から軸 2 には回転を伝えることができる。軸 2 上にあるねじ 1' は Screw 1 に対して逆のねじとなっている。把持対象に出力部が接触していない場合、出力部 1 と出力部 2 は連動して動くことができる。

出力部 1, 2 の両側に把持対象が接触すると、軸 1 と軸 2 の回転は停止し、出力部 2 も停止する。出力部 2 は片側駆動におけ

る固定板と同様の動きをする。その後、レバーにより力強く把持を行う。このときに出力部 1 には Fig. 4 で示したような変位が生じるが、カップリングにより出力部 2 には生じない。よって、両側を駆動しても把持力は半分になることはなく、片側を駆動した場合と同様の把持力を得ることができる。

5. 結 論

平行グリッパの動きに着目し、その動きに特化した大きな把持力を得られる駆動系を開発した。開発した駆動系は任意の大きさの把持対象でも、送りねじにより出力部を把持対象まで接触させ、その後レバーにより大きな把持力を得られることを確認した。本機構を用いた質量 86 [g] のグリッパは 200 [N] もの把持力を実現した。ねじが固着した場合の対策を述べ、連続的に把持を行えることを実験により示し、潤滑油が固着や把持力に影響を与えていることを述べた。また、本機構を両側から把持するグリッパに適用した場合の構成を示した。より良い潤滑油や、無給油化を可能とする材料の選定、両側駆動のグリッパの開発は今後の課題である。

参 考 文 献

- [1] 広瀬, 有川, 佐藤: “ヒステリシス磁石を用いた負荷感応 2 段変速機の提案”, 第 12 回ロボット学会学術講演会予稿集, pp.981-982, 1994.
- [2] 前川, 小森谷: “多段非接触型負荷感応自動変速機の開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '04 講演論文集, 2P1-L1-64, 2004.
- [3] 前川: “非接触型負荷感応自動変速機, 特許公開 2004-347027.
- [4] 荻原, 広瀬: “回転型負荷感応無段変速機の開発その 1 基本機構の提案”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 '01 講演論文集, 1A1-M2, 2001.
- [5] 広瀬, Tibbetts, 荻原: “負荷感応型無段変速機 X-screw の開発”, 日本機械学会論文集 (C 編), vol.66, no.646, pp.1912-1918, 2000.
- [6] 高木, 小俣: “ロボットハンドのための負荷感応無段変速機”, 日本ロボット学会誌, vol.23, no.2, pp.238-244, 2005.
- [7] 高木, 小俣: “負荷感応無段変速機を用いた 100 [g]・100 [N] 指の開発”, 日本ロボット学会誌, vol.24, no.2, pp.263-269, 2006.
- [8] 林則行, 富坂兼嗣, 平賀英資: 機械設計法改訂・SI 版, pp.24-26, 森北出版株式会社, 1988.
- [9] W.T. Townsend: “The BarrettHand grasper - programmably flexible part handling and assembly,” Industrial Robot, vol.27, no.3, pp.181-188, 2000.
- [10] Barrett Technology Inc., <http://www.barrett.com/>

高木 健 (Takeshi Takaki)

1977 年 12 月 15 日生。2000 年東京理科大学理工学部機械工学科卒業, 2002 年同修士課程修了, 2002~2003 年 (株) ディスコ勤務, 2006 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士後期課程修了, 同学特別研究員。ロボットハンドの研究に従事。2004 年 IEEE TExCRA Best Technical Exhibition Award, 2005 年日本 IFToMM 会議 Young Investigator Fund Best Paper Award, 日本ロボット学会第 20 回論文賞などを受賞, 工学博士, 日本機械学会, 日本 IFToMM 会議, IEEE の会員。
(日本ロボット学会正会員)

小俣 透 (Toru Omata)

1959 年 2 月 10 日生。1981 年東京工業大学制御工学科卒業, 1983 年同修士課程修了, 1986 年同博士課程修了, 工業技術院電子技術総合研究所を経て東京工業大学大学院総合理工学研究科メカノマイクロ工学専攻助教授。1992 年, 1993 年計測自動制御学会論文賞, 1997 年日本ロボット学会論文賞, 2002 IEEE ICRA Best Manipulation Paper Award などを受賞, 工学博士, 計測自動制御学会, 日本機械学会, IEEE の会員。
(日本ロボット学会正会員)