

空気圧サーボを用いた把持機構の試作

Trial Manufacture of Grasping Mechanism by Pneumatic Servo System

○佐藤 勝俊*, 成田 幸人*

○Katsutoshi Sato*, Yukihiro Narita**

*八戸工業高等専門学校 **並木精密宝石(株)

*Hachinohe National College of Technology **Namiki Precision Jewelry Co. Ltd.

キーワード： 空気圧 (Pneumatic), サーボ機構 (Servo Mechanism), 把持 (Grasp), PID制御 (PID Control), 力制御 (Force Control), 位置制御 (Position Control)

連絡先： 〒039-1192 八戸市田面木字上野平16-1 八戸工業高等専門学校 機械工学科
佐藤勝俊, Tel.: (0178)27-7265, Fax.: (0178)27-7265, E-mail: sato-m@hachinohe-ct.ac.jp

1. 緒言

機械に物を掴ませようとしたとき、対象物が硬い場合は強く掴んでも壊れることがないので簡単に掴ませることができるが、柔らかい物ではそうはいかない。掴む力が強ければ物に変形したり破壊してしまうからである。また、柔らかい物を把持するのに、ソフトウェアのみで対処することにも限界がある。そこで、機械に柔軟さを与える、すなわちメカニカルソフトネス¹⁾の導入が挙げられる。

機械に柔軟さを与えるには、空気の圧縮性を利用することで簡単に実現できるのではないかとの考えから、これまで空気圧シリンダを使用した把持制御実験を行ってきた。これらの実験では、紙コップや卵などの物体を把持できるかどうかについて重視したので、実験装置は把持部の一方を固定し、シリンダの先端で物を挟むといった構造で、物を掴んでいるというには程遠い構造であった。

そこで本研究では、柔らかいものと硬いものを確実に掴む指を作るという視点から、三本指の把持機構を設計・試作し、対象物を一定の力で把持できるかどうか実験を行った。

2. 空気圧サーボ機構

2.1 空気圧駆動の利点

空気圧の特徴として、圧縮性以外にも以下に挙げるような点がある。

○利点

1) エネルギーの媒体である空気は、大気中から無尽蔵に得られ、圧縮空気はそのまま大気中に放出でき、無害である。

2) 今日の工場内はエア配管が縦横に設置されているので、簡単に圧縮空気を得ることができる。

3) 圧力調整が容易で、力制御がし易い。

4) 中程度の出力が簡単に得られる。

5) 圧縮性を利用してエネルギーの蓄積ができる。

○欠点

- 1) 応答が遅く、正確な位置決めが難しい。
- 2) エア排出時の騒音が大きい。

2.2 空気圧サーボ弁の構造

Fig.1に空気圧サーボ弁の構造を示す。弁はノズルフラップ型であり、左右の背圧の差によりシリンダが駆動される。すなわち、供給口Pから供給された圧縮空気は固定オリフィスを通してノズルから吹き出される。可動コイルに印加される電流の大きさによって、フラップが左右に移動するので、ノズルとフラップとの間隙が変化し、その結果背圧も変化することにより、シリンダの左右に接続された出力ポートC1、C2に差圧が生じ、シリンダが駆動される。

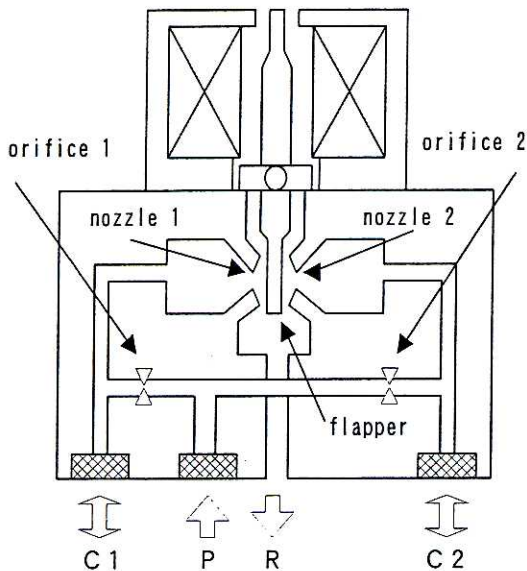
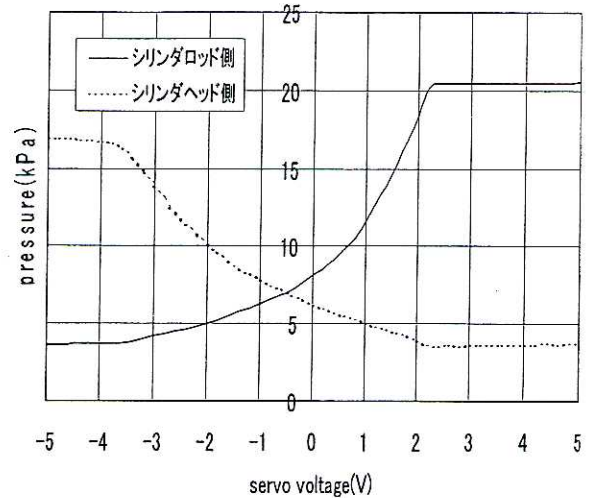


Fig. 1 空気圧サーボ弁の構造

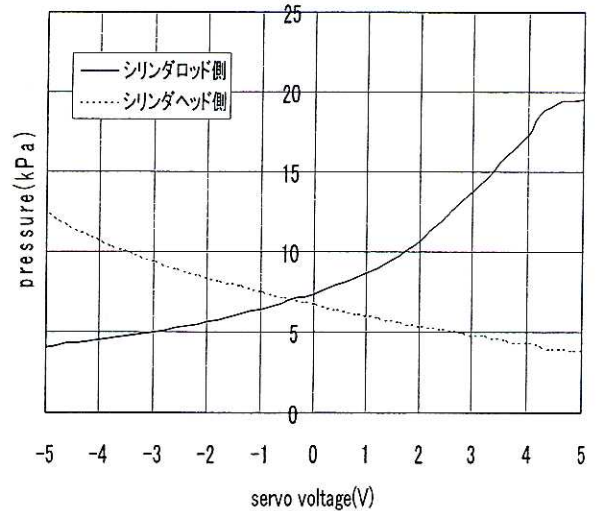
2.3 空気圧サーボ弁の特性

把持力を制御するにあたって重要なのが空気圧シリンダを駆動するためのサーボ弁である。今回の実験ではそれぞれ特性の異なる大小のサーボ弁を使用するため、それぞれのサーボ弁について静

特性を調べた。サーボ弁Aは中指、サーボ弁Bは人差指のシリンダ駆動に使用している。D/A変換器の電圧調整範囲が $\pm 5V$ なので、 $-5V \sim +5V$ まで電圧を変化させたときのシリンダ内の圧力変化を測定した。サーボ弁電圧が正のときに把持し、負のときに開く動作をする。



(A) ゲイン調整前



(B) ゲイン調整後

Fig. 2 空気圧サーボ弁Aの特性

Fig.2(A)に流量の小さいサーボ弁Aの特性を示す。この図から約 $-3.5V$ 以下、 $+2.2V$ 以上では圧力が一定になっていることが分かる。つまり、このサーボ弁は動作範囲が $\pm 5V$ であるのに対し、約 $-3.5V \sim +2.2V$ の範囲でしか圧力調整ができないこ

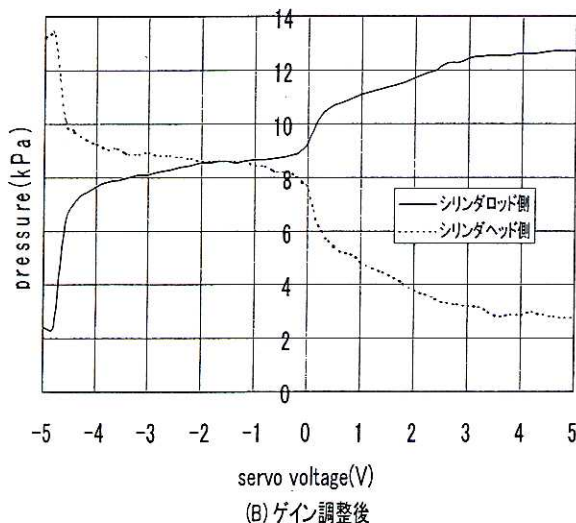
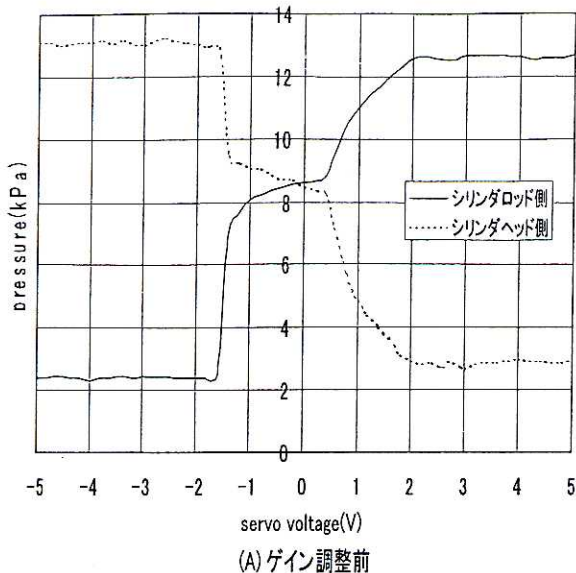


Fig. 3 空気圧サーボ弁Bの特性

とになる。また、把持する側の使用電圧範囲が狭く圧力変化も急なため、このままでは把持力の微妙な調整が難しいと考えられる。そこで、サーボアンプのゲインを調整することで、 $\pm 5V$ のフルスケールで圧力を変えられるようにした。Fig.2(B)にその結果を示す。

流量の大きいサーボ弁Bについても同様の調整をした。Fig.3(A)にゲイン調整前、Fig.3(B)に調整後の特性を示す。

Fig.4にサーボ弁電圧を0~+5Vまで変えたときの、把持力の変化を示す。人差指について、約+

2.5V以上で把持力が一定になっているのはサーボ弁Bの特性上、約+2.5V以上でほぼ圧力が一定になってしまうためである。このためサーボ弁Bは約+2.5V以下でしか使用できない。また、サーボ弁Aは約+0.8V以下では把持力が得られないため、これ以上でなければ使用できない。以上のことはPID制御の各ゲイン係数を調整するための判断要素にもなる。

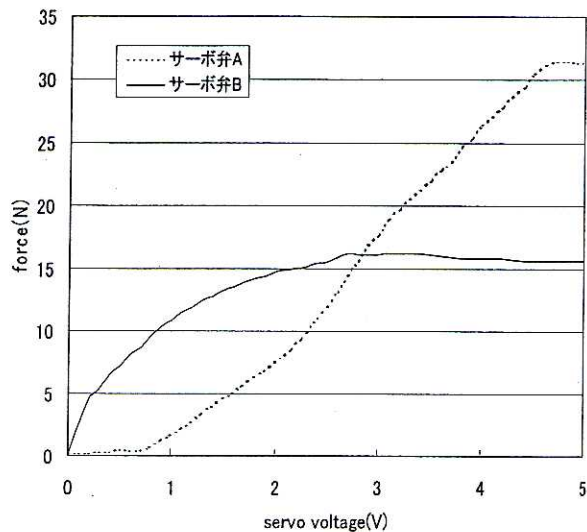


Fig. 4 サーボ弁電圧と把持力の関係

3. 実験

3.1 実験装置

現有の空気圧サーボ弁は二個のみなので、今回は親指を固定し、残り二つの指を(上部を人差指、下部を中指と称する)それぞれ平行リンク機構を介して空気圧シリンダと接続した。各シリンダにはリニアポテンシオメータを取り付け、これによって指の位置を検出した。把持力は可動する指にのみ取り付けた歪ゲージにより検出した。それぞれの信号はA/D変換器を介しコンピュータに取り込まれる。また、取り込んだ値からシリンダの駆動に必要なサーボ弁の電圧値を計算、D/A変換器を

介してサーボアンプに指令が送られ、空気圧シリンダを駆動する。把持力は指に取り付けた歪ゲージより力をフィードバックして制御する。写真3に実験装置の概観、Fig.6に実験装置の構成図、Fig.7に制御のブロック図を示す。

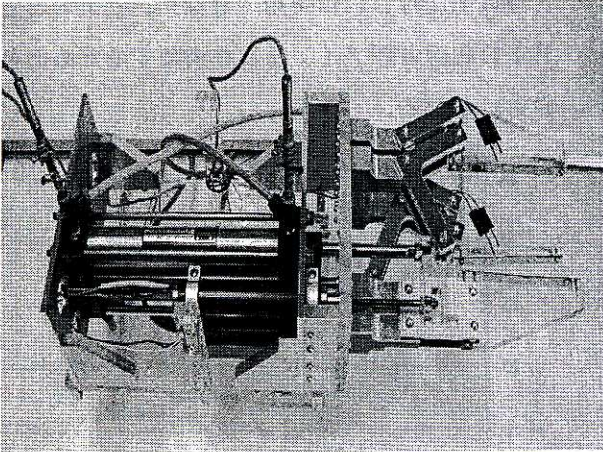


Fig. 5 実験装置

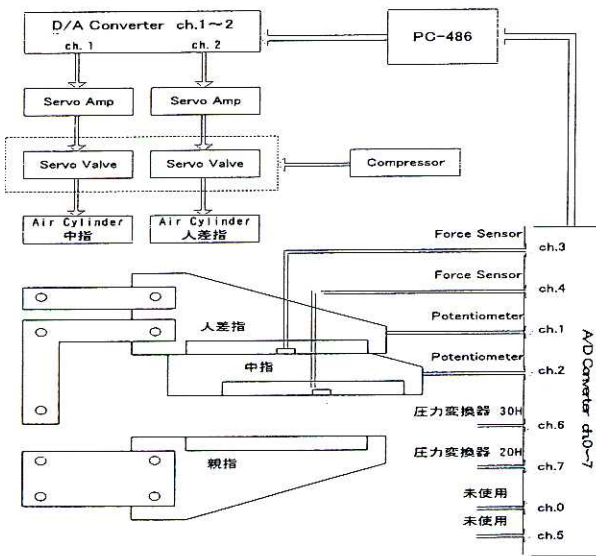


Fig. 6 実験装置略図

3.2 指の移動

今回の実験では物体を把持しようとする場合、人差指、中指ともに物体に触れるまで同じ位置と速度でゆっくりと動くことが望ましい。しかし、使用するサーボ弁はそれぞれ特性が異なるため、

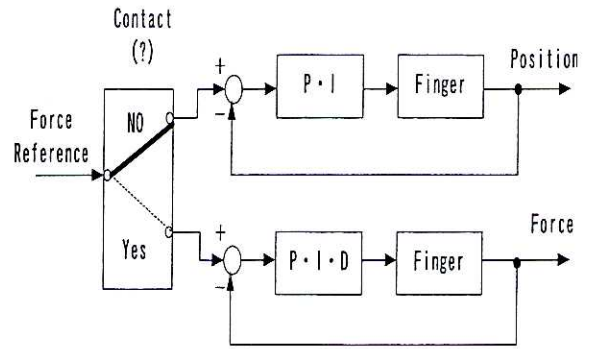


Fig. 7 制御ブロック図

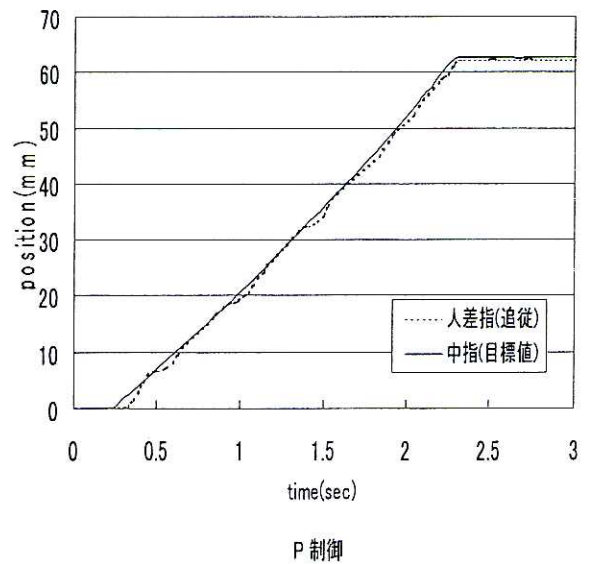
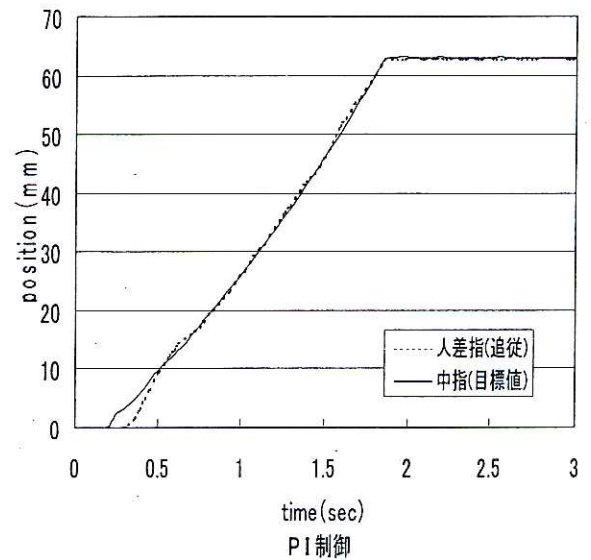


Fig. 8 位置追従制御

各々に同じ指令電圧を与えたのでは同じ速度では動作しなかった。

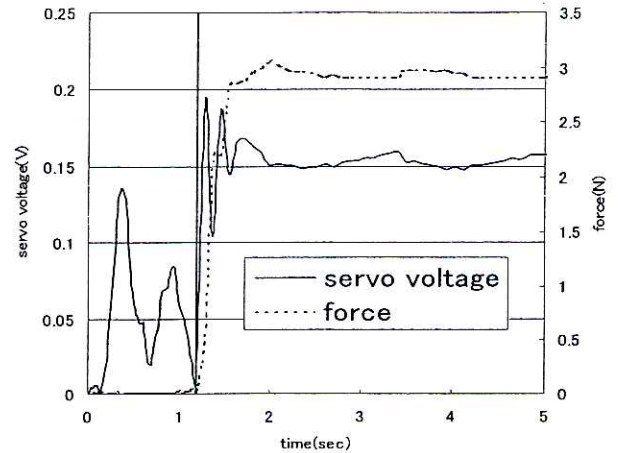
そこで、サーボ弁Aで動作している中指の方が移動速度が遅いため、中指の位置を目標値にして人差指をP I制御によって追従させることにした。指を最大に開いた状態を初期位置として、目標値との差に比例ゲイン K_p 、積分 K_i の各ゲイン係数を調節して掛けP I制御を行ったところ、 $K_p=0.03$ 、 $K_i=0.004$ で比較的良く目標値を追従した。結果をFig.8(A)に示す。また、(B)に比例制御のみの場合を示す。

本研究では、通常の高速度位置決め^{2~4)}とは異なり、シリンダの滑らかな低速移動が必要である。このため比例ゲインをあまり大きくすることができない。ところが比例動作のみでは目標値との誤差を K_p 倍したものがサーボ増幅器への入力となるので、誤差が小さいときには操作量がさほど大きくならずシリンダの摩擦力に打ち勝てず停止してしまう。このためある程度誤差が大きくなるとシリンダは移動できなくなり、階段状のいわばスティックスリップ状態の動きとなる。(B)図で人差指の位置が目標値に近づいたり離れたたりしているのはこのためである。この現象を抑えるために積分動作が必要となる。図より本実験においては、シリンダの滑らかな移動には積分動作が不可欠であることが分かる。

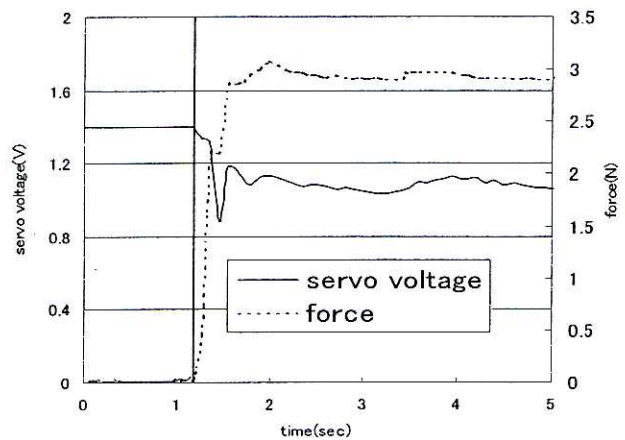
3.3 把持力の制御

把持対象物には、テニスボール、スチール缶、アルミ缶を用いた。初めに把持力の目標値を設定し、指に取り付けた歪ゲージの変化量をフィードバックしてP I制御を行った。把持力は3Nに設定して実験を行った。Fig.9にテニスボール、Fig.10にスチール缶、Fig.11にアルミ缶の把持力の時間的変化を示す。

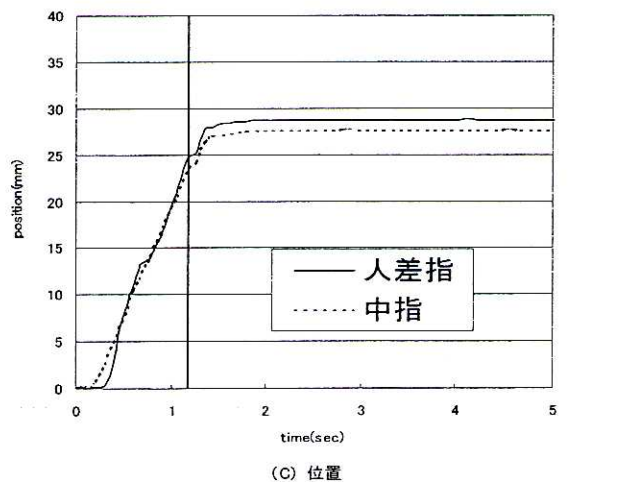
いずれのグラフも人差指が移動しているときの



(A) 人差指のサーボ電圧と把持力

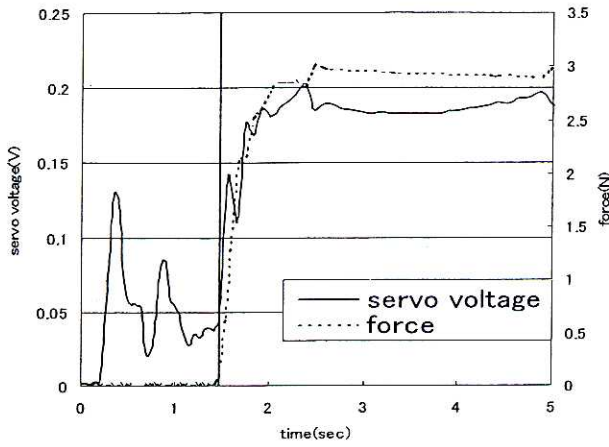


(B) 中指のサーボ電圧と把持力

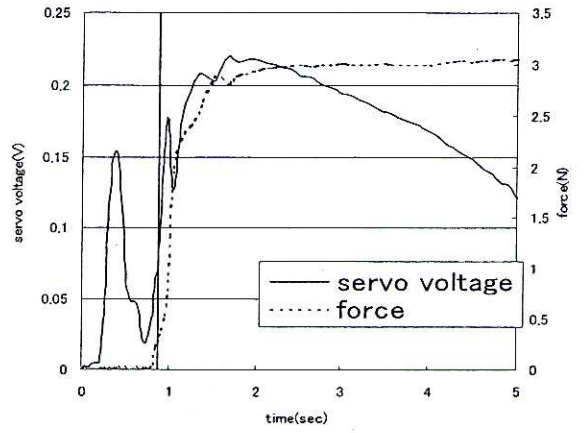


(C) 位置

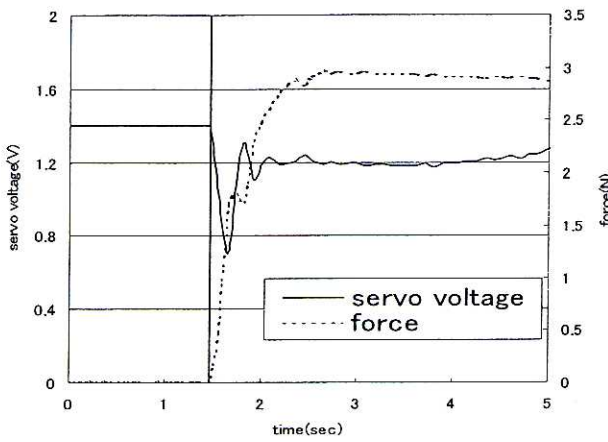
Fig. 9 テニスボールの把持



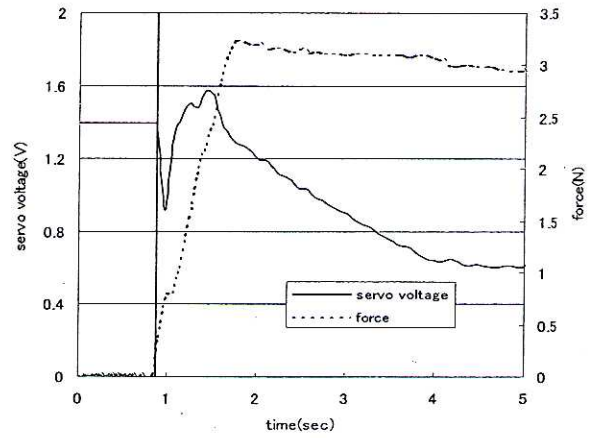
(A) 人差指のサーボ電圧と把持力



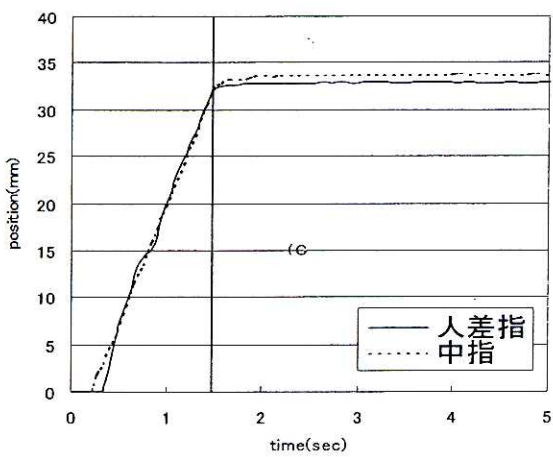
(A) 人差指のサーボ電圧と把持力



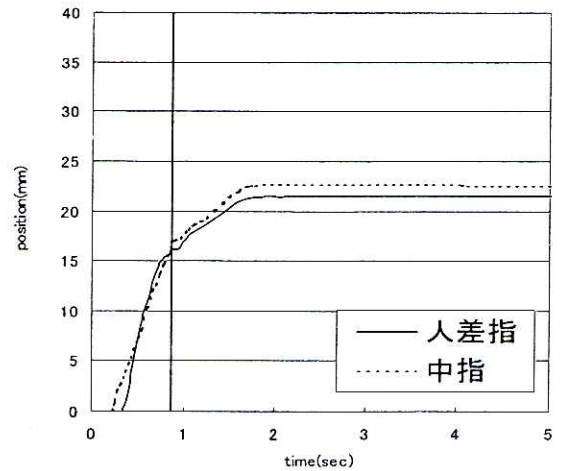
(B) 中指のサーボ電圧と把持力



(B) 中指のサーボ電圧と把持力



(c) 指の位置

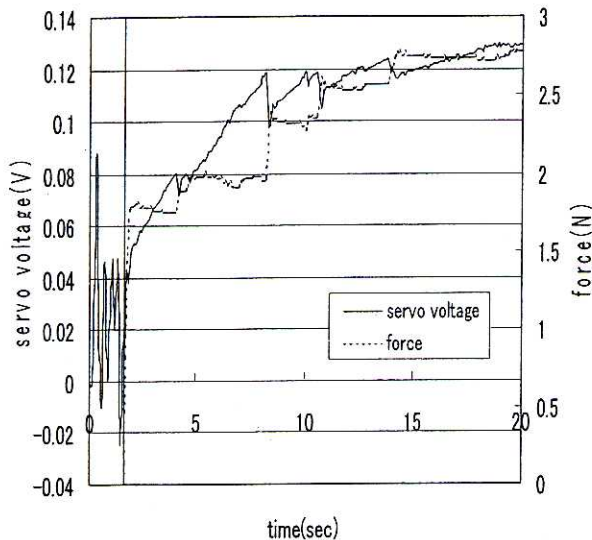


(c) 指の位置

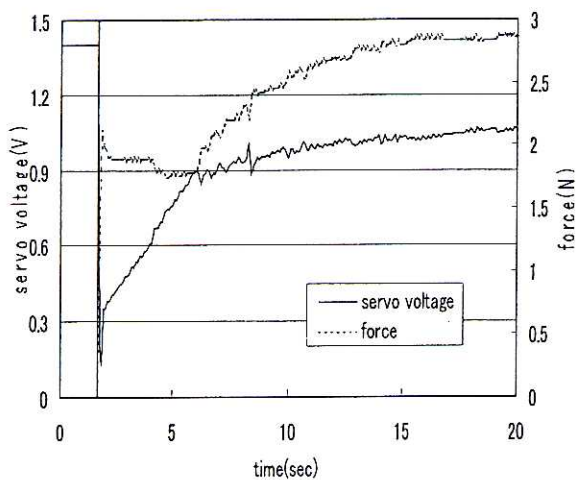
Fig. 10 スチール缶の把持

Fig. 11 アルミ缶の把持

サーボ電圧が大きく変化しているが、これは中指の位置に対して追従制御をしているためである。最初の電圧が後の電圧に比べて大きくなるのは、人差指と中指の位置の誤差が生じないと人差指が動き出さないため、動き始めのときの誤差が一番大きくなるためである。人差指の位置が中指の位置よりもワンテンポ遅れて動き始めているのがいずれのグラフからも見て取れる。次にスチール缶



(A) 人差指



(B) 中指

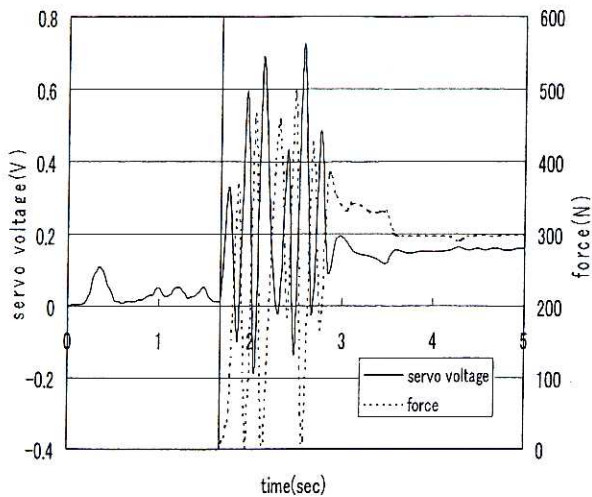
Fig. 12 滑らかな動作時のサーボ電圧と把持力

とアルミ缶の位置制御から把持力制御に移行した後の指の位置の変化を比較してみる。スチール缶は位置制御から把持力制御へ移行してすぐ一定に

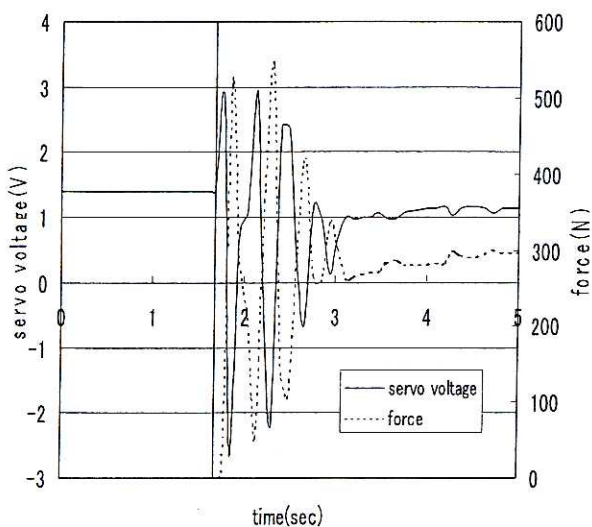
なっている。これに対し、アルミ缶の方は位置制御から把持力制御へ移行した後も変化しているのが分かる。これは、缶の硬さの違いによるものである。指がアルミ缶に触れてから約5mm程潰して把持している。3Nの目標把持力は、スチール缶は硬いため変形させないが、アルミ缶をわずかに変形させるには十分な力であったことが分かる。このことから、把持力と指の位置の変化量を比較することで、把持対象物の硬さをある程度判断することが可能であることが分かった。また、どの把持対象物においても把持力が目標値を大きく超えることなく目標値に達し、安定した把持をしている。したがって、目標の把持力を把持対象物に応じて変えてやることで、アルミ缶より柔らかい物でも壊さずに掴むことが可能であると考えられる。

把持力制御に用いた積分ゲイン K_i の値を小さくして制御した場合のスチール缶の把持力の時間的変化をFig.12に示す。積分制御の効果が小さくなったため、目標値の力で把持するまでに16秒近くかかっている。中指は滑らかなサーボ電圧と力の変化が見られる。これに対して人差指は、サーボ電圧がランプ状に、力はステップ状に変化しており、積分動作をしていることが明確に読み取れる。また、 $K_i = 0$ とした場合は、シリンダは動かなくなる。

Fig.13に K_p の値を大きくした場合のスチール缶の把持力の時間的変化を示す。どちらの指の場合も目標値を境に把持力が大きく上下してチャタリングが起きているが、約1.5秒後には安定し目標値の力で把持している。また位置制御から把持力制御に移行した瞬間が最も誤差が大きく、サーボ電圧が大きくなる。把持力が目標値よりも強くなると、これを調整しようとして把持力を弱める。しかし、力の調整は誤差の大きさに比例するので、図のような把持力調整が行われることになる。



(A) 人差指



(B) 中指

Fig. 13 チャタリンが生じたときのサーボ電圧と把持力

4. 結言

空気圧サーボを用いた把持機構を製作し、PID制御により把持制御を行いその動作を確認した。実験では目標値の把持力で、確実に物体を把持することができた。また、流量の異なるサーボ弁を用いても、ゲイン係数を変えるだけで把持することができた。今回製作した把持機構には把持力を検出する構造に欠点があり、特定の場所でなければ正しい把持力の検出ができない。また、把持力の目標値をあらかじめ与えなければ物を把持することができない。したがって、今後は把持力を検出する構造を改良し、さらに親指も稼働させ、把持対象物の柔らかさを指の移動距離と把持力の関係から推定して、目標値を与えなくても物体を把持できるように改良する必要がある。

参考文献

- 1) 森田：ロボット学会誌, Vol.17, No.6, 790/793(1999).
- 2) 佐藤勝俊, 小宮忍: 空気圧シリンダの精密位置決め制御, 日本機械学会・精密工学会東北支部八戸地方講演会講演論文集, 128/130(1990).
- 3) 佐藤勝俊: パーソナルコンピュータによる空気圧シリンダの位置制御, 八戸工業高等専門学校紀要, 第26号, 7/11(1991).
- 4) 佐藤勝俊, 秋元祐介, 黒沢忠輝, 猪岡光: 加速度信号を用いた空気圧シリンダの位置制御, 日本機械学会東北支部八戸地方講演会講演論文集, No.961-2, 288/290(1997).