

大きな把持力を有する油圧駆動多指ハンド

金沢大学 ○間瀬圭祐, 関啓明, 神谷好承, 疋津正利

Hydraulic Multi-Fingered Hand with Large Grip Force

Kanazawa University Keisuke MASE, Hiroaki SEKI, Yoshitsugu KAMIYA, Masatoshi HIKIZU

Conventionally, most multi-fingered hands were powerless for service robot. Therefore, the purpose of this study is the development of the multi-fingered hand with the size if human's hand that can generate a large grip force (hundreds [N]). A hydraulic actuator is used as the power source for the hand because usual motor and gear don't have enough output and strength. And the control of the hand is facilitated by using not conventional pumps but a cylinder as hydraulic source. In this report, we made a prototype twice the size of human's hand.

1. 緒言

従来, 多くの多指ハンドが開発されているが, それらの多くが駆動部にモータ, 歯車等を使用しており, 出力や強度が不足している. そのため, 人間と同程度の指先力を有する多指ハンドの実用化はされていない.

本研究の目的は, 家庭内の作業を対象とした, 人間と同程度のサイズで大きな把持力を有する多指ハンドの開発である. 本報告では, 指先で 200[N]の力を発揮することができ, サイズが人間の手の約 2 倍の多指ハンドを試作した.

2. 油圧駆動多指ハンドの提案

2.1 多指ハンドの機構

大きな把持力を発揮するために駆動部には, 高出力, 高強度を実現可能な油圧を用いることとした. 指のアクチュエータには, 構造が簡単で小型化が可能なシリンダを用いた.

ハンドはいろいろな物を把持することが求められる一方, 高い強度が必要であるため, 構造は出来るだけシンプルにする必要がある. そのため, ハンドの指の本数は 3 本, 各指は 2 関節とした(Fig.1). また, 物体を握る時や重い物体を持ち上げる時など(Fig.2), 作業によって求められる指の配置は異なる. そのため, 3 本のうち 2 本の指の配置を掌のまわりを回転することで変更できる機構を取り入れた.

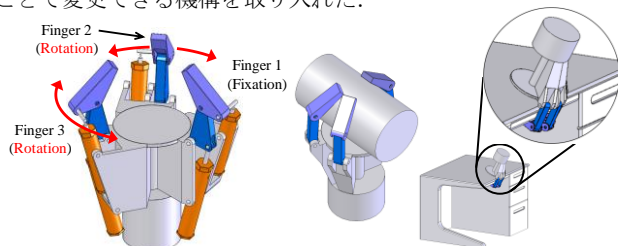


Fig.1 Schematic hand

Fig.2 Various grasping task

2.2 油圧源にシリンダを用いた油圧システム

提案する油圧システムは Fig.3 のように, 油圧源のシリンダをステップモータとボールねじを用いて制御し, 手先のシリンダに必要な油量だけを送り出すという方法である.

従来の油圧システム(Fig.4)では, ポンプから常に油が一定方向に送り出されているため, 切替弁や流量調節弁でシリンダの変位や速度を制御しなければならない. そのため, シリンダの位置決め制御が難しいという問題があった.

しかし, 本システムは油圧源で油の量や方向, 流速の調整が可能のため, 弁はシリンダの方向切替だけよい. そのため, 油圧システム全体の制御性を高めることが可能である. また従来油圧ポンプや流量調節弁や方向切替弁を必要としないため, システム全体を小型化することも可能である.

さらに本システムは, 弁が開いている指のシリンダ間で油圧源を介さず油の移動が可能のため, 指を閉じていくとき指ごとに制御しなくても, 物体の形状に指が馴染むという特徴がある. そのため, 全ての指のシリンダに油を送るといった簡単な制御で, 物体の形状にそって握ることが原理的には可能である.

2.3 高圧駆動用と高速駆動用油圧源によるハンドの制御

ハンドに求められる動きは大きく分けると 2 種類ある. そのため 2 種類の内径の異なるシリンダの油圧源を用意し, ハンドの動きに応じて油圧源を切り替えることにした.

指で大きな力や細やかな動きを必要とする時は, 小さな力を高圧にすることができ, 油量を精度良く送り出せる小口径のシリンダを用いた高圧油圧源を使用する. また, 指を速く動かす時には, 送り出す流量の大きい大口径のシリンダを用いた高速駆動用油圧源を使用する.

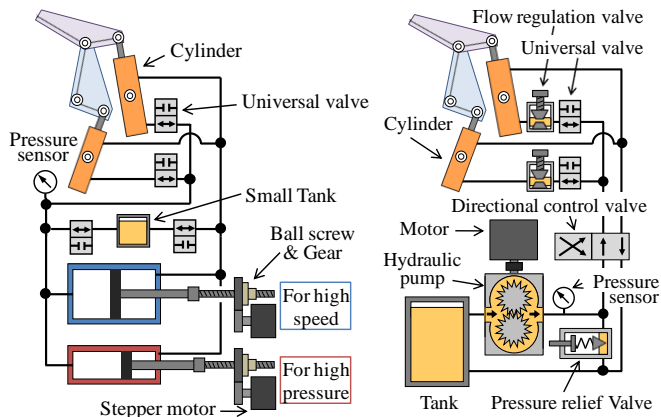


Fig.3 Proposed hydraulic system

Fig.4 Old hydraulic system

3. シリンダと指のリンクパラメータの検討

3.1 指の運動学と力学

Fig.5 に 1 本の指の概略図を示す. シリンダのストローク $\mathbf{S} = [S_1, S_2]^T$ は取付位置の関係から式(1)となる.

$$\begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{(c_{1x} - a_{1x})^2 + (c_{1y} - a_{1y})^2} - s_{1min} \\ \sqrt{(c_{2x} - a_{2x})^2 + (c_{2y} - a_{2y})^2} - s_{2min} \end{bmatrix} \quad (1)$$

指先位置を $\mathbf{P} = [x, y]^T$ と置き, 指先位置と関節角度に関するヤコビ行列を \mathbf{J}_P , シリンダのストロークと関節角度に関するヤコビ行列を \mathbf{J}_S とする. 逆運動学を用いると, \mathbf{S} と \mathbf{P} の関係は式(2)となる.

$$\mathbf{S} = \mathbf{J}_S \cdot \mathbf{J}_P^{-1} \cdot \mathbf{P} \quad (2)$$

シリンダの力 $\mathbf{f} = [f_1, f_2]^T$ と指先の力 $\mathbf{F} = [F_x, F_y]^T$ の関係は式(3)となる.

$$\mathbf{f} = \mathbf{J}_S^{-T} \cdot \mathbf{J}_P^T \cdot \mathbf{F} \quad (3)$$

3.2 シリンダの取付位置と指のパラメータの評価

シリンダを用いて、関節を駆動させるために閉リンク機構を用いる。しかし、シリンダの取付位置やストロークによって、指の可動範囲が大きく変化するため、可動範囲と把持力が十分あるかを考慮しシリンダを取り付けなければならない。

最適な取付位置を求めるため、Fig.6 のように物体(60~100[mm]の球体と一辺 90~120[mm]の直方体)を把持するために必要な指先位置(以下、作業領域と呼ぶ)と、シリンダのストロークから指先の可動範囲を求め、それらの重なる範囲が最も広くなるようなシリンダの取付位置を求めた。また、可動範囲を表示する際に、その指先位置で指先力 $F=200[N]$ を発揮するためにそれぞれのシリンダで必要な力 f を色の濃淡で表示し、シリンダの出力も検討した。

その結果、table.1 に示したシリンダの配置のときが、最も作業領域を満たしており、かつ指先での出力も大きくなった。

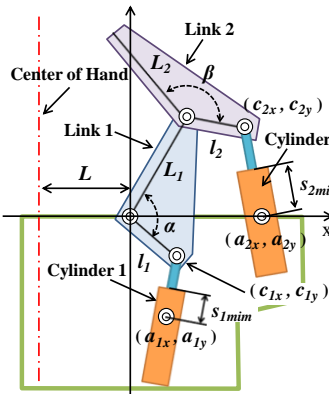


Fig.5 Layout of cylinders

Table.1 Parameters of finger

Elements of Finger		value
Distance from the base center	[mm] L	88
Length of Link1	[mm] L_1	80
Length of Link2	[mm] L_2	80
Cylinder1 (stroke)	[mm]	75
shortest length	[mm] S_{min}	106
mounting position		
link side	length [mm] l_1	32
	angle [°] α	80
base side	x-coord [mm] a_{1x}	16
	y-coord [mm] a_{1y}	-128
Cylinder2 (stroke)	[mm]	50
shortest length	[mm] S_{min}	64
mounting position		
link side	length [mm] l_2	40
	angle [°] β	135
base side	x-coord [mm] a_{2x}	40
	y-coord [mm] a_{2y}	0

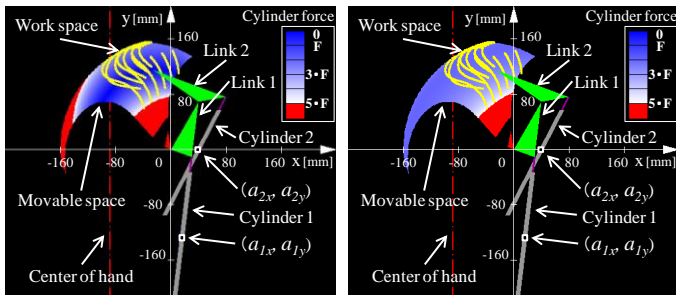


Fig.6 Movable space & force

4. ハンドの設計と試作

4.1 ハンドの設計

Fig.7 に 3D-CAD を用いて設計したハンドを示す。シリンダは内径 $\phi 20[mm]$ 、最高使用圧力 3.5[MPa]のシリンダを用いた。そして、指の関節にポテンショメータを取付け、関節角の変位から指の位置とシリンダの変位を知ることにした。また、指先の力は油圧源の圧力センサを用いて検出することにした。

また、2本の指の配置を変更するために、指を固定している土台を回転させる機構を取り入れた。この機構にもシリンダを用いることで、ハンド全体の制御を1つの油圧システムで行えるようにした。

4.2 油圧システムの設計

指先で最高 200[N]の力を出すことができ、指の移動速度は最速で 10 秒で閉じることができるよう油圧源を設計した。また、指と油圧源のシリンダの断面積比が異なるため、この差を補う小型のタンクを設置した。

高速駆動用油圧源は、圧力を最高で 3.5[MPa]まで変化でき

る必要があるため、シリンダは内径 $\phi 20[mm]$ のものを用い、駆動力は約 1100[N]とした。また、高速駆動用油圧源は、流量が最高で 26[cc³/s]、圧力は 1.0[MPa]が必要であるため、シリンダは内径 $\phi 40[mm]$ のものを用い、駆動力は約 1300[N]、駆動速度は約 10[mm/s]とした。

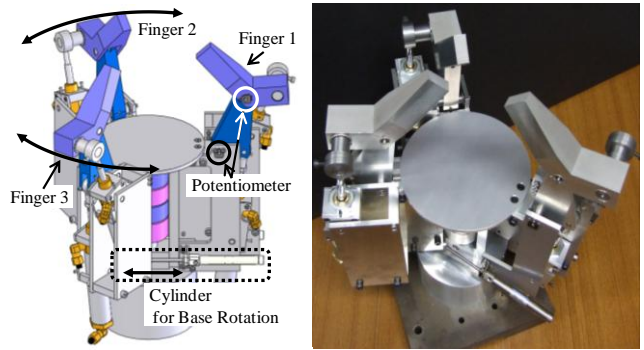


Fig.8 3D-CAD of Hand

Fig.7 Prototype

5. 実験

十分な指先力を発揮できることと、物体の形状にそって物体を把持出来るか検証した。

高速駆動用油圧源で駆動し、一辺 80[mm]の直方体を把持した時の指先での力の変化を Fig.9 に示す。この結果から、設計目標である指先力 200[N]を発揮することが確認できた。

高速駆動用油圧源で駆動し、半径 70[mm]、高さ 110[mm]の円柱を把持した時の、シリンダの変位と、指先位置の変化を Fig.11,12 に示す。この実験における接触判定は、圧力センサの変化量が一定値以上となった時に接触したと判定した。

この結果から、指のシリンダを 6 本同時に 8.1[mm/s]で駆動できることが確認できた。そして、油圧源のシリンダは一定方向に動いているが、指のシリンダ 1 が物体に接触後縮んでいることから、複雑な制御なしで物体にそって握ることが可能なことも確認できた。また、駆動速度が遅いほど、物体の形状に馴染みやすい傾向があった。

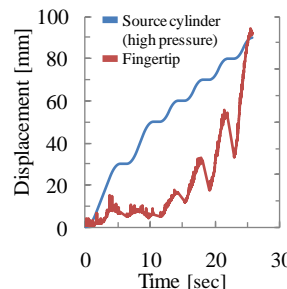


Fig.9 Force of fingertip



Fig.10 Grasping test

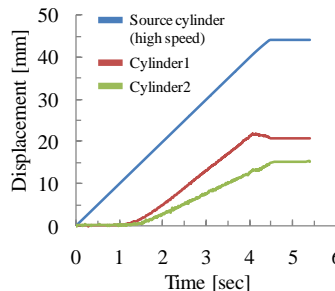


Fig.11 Displacement of cylinder

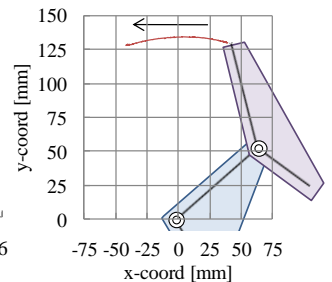


Fig.12 Displacement of fingertip

6. 結言

提案する油圧システムを用いて、指先で 200[N]まで発揮することができる、多指ハンドを製作することができた。今後は、ハンドの小型化を行う。