

# 関節に弾性ヒンジを用いた小型5指ロボットハンドの開発

## Development of a Miniature Five Fingert Robot Hand using Elastic Hinges as Joints

非 川戸裕佑 (慶應大) 正 前野隆司 (慶應大) 正 竹村研治郎 (慶應大)

Yusuke KAWATO, Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama  
Takashi MAENO, Keio University  
Kenjiro TAKEMURA, Keio University

This paper describes a new driving mechanism for a miniature robot hand. In developing robot hands, it is necessary to consider miniaturization and minimalization<sup>(1)</sup>. The proposed mechanism uses elastic torsion springs and hinges as joints, and the finger is wire-driven from actuators placed outside the robot hand. First, the driving mechanism of a one joint finger is described, and its mechanism is applied to a five fingered miniature robot hand. The robot hand is one half the size of that of an adult male's, and has a total of eighteen degrees of freedom. The properties of the robot hand are discussed, and are shown to be an effective mechanism for miniature robot hands.

*Key words:* Elastic Hinges, Robot Hand, Multi-finger

### 1. はじめに

マイクロ電子機械システム(MEMS)の製造技術の発展や、医療における低侵襲治療の普及に伴い、人の手で直接扱うことができないミリメートルからマイクロメートルオーダーの対象物を操る小型で巧みなマニピュレータの開発が期待されている。このようなロボットハンドの開発にあたっては、小型化(miniaturize)およびミニマライズ(minimalize)について、開発段階で考慮する必要がある<sup>(1)</sup>。このため、筆者らは、微細作業に用いるために小型5指ロボットハンドを開発する。まず、関節に弾性ヒンジを用いた小型ハンドの駆動機構を提案する。また、本駆動機構を用いた小型5指ロボットハンドを設計し、製作することによって、その有効性を検証する。

### 2. 駆動機構

本研究では、関節部に弾性ヒンジを用いるとともに、フィンガの外部に配置されたプーリを介して駆動力を伝達する駆動機構を提案する。弾性要素を機構に設けることで、微細作業に適する性質を有するロボットハンドを開発することが可能である<sup>(2)</sup>。本機構の1関節モデルおよび3関節モデルをFig. 1, Fig. 2 にそれぞれ示す。

弾性ヒンジが屈曲した状態 $q_{init}$ でハンドは初期状態をとり、ワイヤの張力によって伸展運動を、ヒンジを構成する弾性要素の復元力によって屈曲運動を行う。ワイヤの一端はアクチ

ュエータおよび角度センサに、他端はリンクの突起部に接続されている。アクチュエータの駆動力はプーリを介して関節部に伝達される。このとき、ワイヤの張力による関節 $i$ まわりのモーメント $t_{fi}$ は、

$$t_{fi} = \sum_{j=1}^3 F_j l_{ij} \quad (1)$$

で表される。ここで、 $F_j$ はリンク $i$ に接続されたアクチュエータによるワイヤの張力、 $l_{ij}$ は関節 $i$ とワイヤ $j$ の距離である。また、弾性要素の復元力による関節 $i$ 回りのモーメント $t_{ki}$ は、

$$t_{ki} = k_i (q_{init} - q_i) \quad (2)$$

で表される。ここで、 $k_i$ は弾性ヒンジのばね定数、 $q_i$ は関節が伸展した状態を $0 \text{ deg}$ とした、関節の屈曲角度である。式1および式2によって計算されるモーメントの釣り合い式より、フィンガの取りうる姿勢が算出できる。よって、弾性要素のばね定数、自由角度、突起部の形状、およびプーリの位置を適切に決定すれば、各関節において任意の姿勢を取るように可動域を設定することが可能である。また、弾性要素のばね定数および自由角度を変えることによって、ハンドの指先に出力可能な力の最大値を変更することができる。

この機構は、アクチュエータをハンド外部に設置し、駆動時の摩擦の影響が小さいようにワイヤを配置しているため、小型化に適している。なお、弾性ヒンジのスケーリングの効

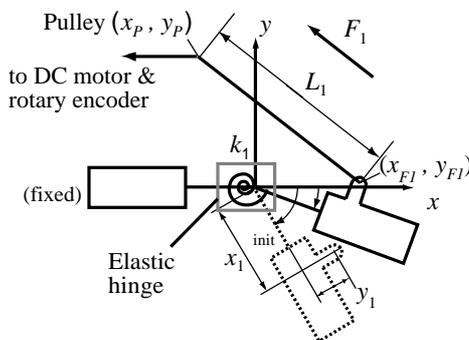


Fig. 1 Driving mechanism (One joint model)

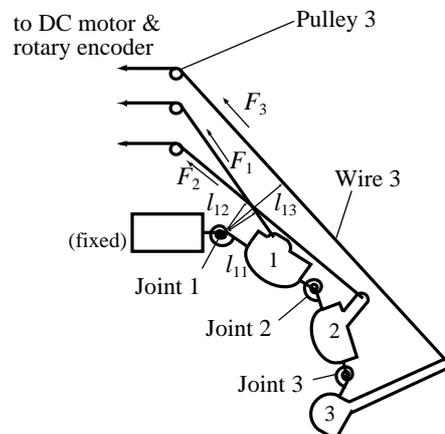


Fig. 2 Driving mechanism of a finger (Three joint model)

果によって、小型化するほど相対的に重いものを把握することが可能である。また、弾性ヒンジを直列に接続することによって、微細作業に必要とされるコンプライアンスを受動的に実現している。加えて、角度センサの測定誤差の蓄積が少ないことから、高い指先位置精度を実現できる。

### 3. 角度と反力の計算法

本駆動機構では、フィンガの各関節角度と接触時の反力を測定するために、DC モータと角度センサを用いる。角度センサでワイヤの牽引量を測定し、DC モータの電流値を測定することによって、アクチュエータのトルクに比例するワイヤの張力を測定する。

Fig. 1 のように寸法を定義した場合、プーリを点と仮定した際のワイヤの長さは以下のように求められる。

$$L_i = \{x_i^2 + y_i^2 + x_p^2 + y_p^2 - 2x_p(x_i C_1 + y_i S_1) - 2y_p(-x_i S_1 + y_i C_1)\}^{1/2} \quad (3)$$

式(3)を Fig. 2 のような 3 関節でプーリの半径を考慮した場合に拡張することによって、ワイヤの牽引量から各関節角度を測定することができる。

ワイヤの張力  $F_i$  と関節  $j$  ( $j = i$ ) のモーメントアーム  $l_{ij}$  は

$$l_{ij} = \frac{\partial L_j}{\partial q_i} \quad (4)$$

より求まる。また、非接触時の関節角度とワイヤ張力の関係が分かることから、フィンガが対象物と接触したときは、張力の差より、接触点における反力を計測することが可能である。

### 4. ヒト手指の計測に基づくハンドの詳細設計

ロボットハンドの設計仕様として、ヒトの手を約 1/2 のスケールで模倣した形状とし、指先に出力可能な力を 1 N 以上と設定した。また、扱う対象物を直径 10 ~ 45 mm で 100 g 以下とし、ロボットハンドの可動域はこれらの対象物を扱う際の動作域を満たすよう設計した。本駆動機構を採用したロボットハンドの弾性ヒンジは、ねじりコイルばねと高分子材料 (PCL) 製のヒンジによって構成する。

指の動作域の測定は、(a)各指の非拘束時の可動域、(b)φ90 mm の球を扱う際の動作域、および(c)φ20 mm の球を扱う際の動作域について行った。この測定を示指および母指について行った結果より、各フィンガの各関節の可動範囲を決定した。

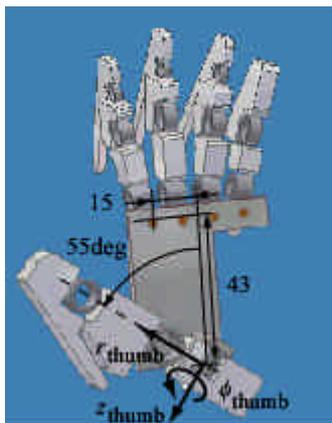


Fig. 3 Five fingered model of developed robot hand

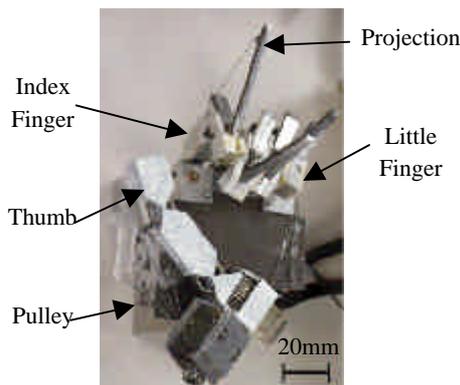


Fig. 4 Developed robot hand

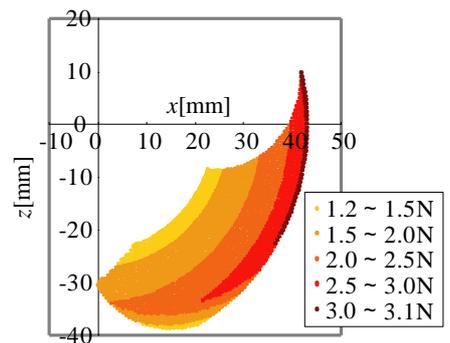


Fig. 5 Maximum output force at fingertip (Index finger)

母指は、Fig. 3 に示すような位置に設置することによってヒト母指の動作範囲を満足するように設計した。設計したフィンガの各関節の可動範囲および自由度を Table 1 に示す。示指、中指、環指は 4 自由度、母指および小指は 3 自由度である。

各フィンガの可動域において、任意の姿勢をとることが可能なように、突起部の形状およびプーリの位置を決定した。次に、フィンガが任意の姿勢をとり、指先に十分な力が出力されるようなねじりコイルばねのばね定数および自由角度を決定した。

### 5. 製作と評価

製作したロボットハンドを Fig. 4 に示す。Table 1 に示すように、各フィンガは側屈運動を行うことが可能であり、母指、小指は 3 自由度、示指、中指、環指は 4 自由度有することから、本ロボットハンドは合計 18 自由度を有する。フィンガの指先の位置精度の理論値は 0.2 mm 以下であるのに対し、測定値は最大約 0.6 mm であった。アクチュエータを除く質量は約 250 g であった。設計した示指の法線方向の最大指先力を計算した結果を Fig. 5 に示す。Fig. 5 は、示指の MP 関節を原点とし、示指の側屈軸および指の長軸をそれぞれ  $x$  軸、 $z$  軸とした座標系での計算結果である。示指では全可動域において約 1.2 から 3.1 N の力が指先において出力されることがわかる。母指では最大約 5.0 N の力が指先で出力されていた。

### 6. 結論

小型化が可能で、微細作業を行うのに適した特徴を有するロボットハンドの駆動機構を提案した。また、本駆動機構を用いて人間の手の約 1/2 の小型ロボットハンドの設計・製作を行った。また、設計仕様を満足する指先力が得られることを確認することによって、駆動機構の有効性を確認した。

今後は製作したロボットハンドを微細作業に使用するマスター・スレーブシステムのスレーブハンドとして使用する予定である。また、さらなる小型化を図る予定である。

### 参考文献

- (1) Antonio Bicchi: Hands for Dexterous Manipulation and Robust Grasping: A Difficult Road Toward Simplicity, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.16, No.6, pp.652-662, (2000)
- (2) Gill A. Pratt et al: Stiffness Isn't Everything, ISER'95, pp.253-262, (1995)

Table 1 Characteristics of the developed miniature robot hand

Finger	DOF	MP lateral [deg]	MP bending [deg]	PIP(IP) bending [deg]	DIP bending [deg]
Thumb	3	-12 ~ 60	-20 ~ 70	0 ~ 90	
Index, Long, Ring	4	-30 ~ 30	-20 ~ 55	0 ~ 80	0 ~ 40
Little	3	-30 ~ 30	-20 ~ 55	0 ~ 80	