

## 多指ハンドによる紙把持に関する考察

### On Grasping a Sheet of Paper by Multi-Fingered Hand

○保谷和明, 菊地喜貴, 妻木勇一

○Kazuaki Hoya, Yoshitaka Kikuchi, Yuichi Tsumaki

山形大学

Yamagata University

キーワード：多指ハンド (multi-fingered hand), 紙 (sheet of paper), 把持戦略 (grasping strategy),  
ロボットアーム (robot arm), ホームロボット (home robot)

連絡先：〒992-8510 山形県米沢市城南4丁目3-16  
山形大学大学院 理工学研究科機械システム工学専攻 妻木研究室  
保谷和明, Tel.&Fax.: (0238)26-3252, E-mail: tay56400@st.yamagata-u.ac.jp

#### 1. 序論

ホームロボットやサービスロボットには、多様な作業が求められる。ロボットに多様性を持たせるため、我々は開閉型工具用ハンドを開発してきた<sup>1,2)</sup>。これにより、ロボットは様々な道具を扱えるようになり、多様な作業を実現できる。作業では、道具を持つハンドの他に対象物を把持するロボットハンドも重要な役割を果たす。道具を効果的に使用するために対象物の位置姿勢や形状を拘束しなければならないからである。

これまで我々は、開閉型工具用ハンドに鉗を把持させる事により、紙の切断作業を実現してきた<sup>3)</sup>。しかし、対象となる紙は、もう一方のハンドに粘着テープを用いてつり下げているだけであった。一方、人間は複数の指を用いる事により、紙の位置姿勢や形状を効果的に拘束している。対象物を持つためのロボットハンドには、多指ハンドを使用する事が有効であると考え

えられる。そこで、紙の位置姿勢や形状を効果的に拘束する多指ハンドの把持戦略を解明する事が必要である。

多指ハンドで紙を把持する例として、Elbrechterらによる紙把持が挙げられる<sup>4)</sup>。しかし、紙の形状を効果的に拘束する方法について述べられていない。

本研究では、人間の紙把持動作において、紙の形状を効果的に拘束するための把持戦略について考察を行った。さらに、得られた把持戦略を基に、紙把持用指先の設計を行い、高速多指ハンドとロボットアームを用いた紙の把持を行った。

#### 2. 人間の手による紙把持に関する考察

まず指に対して紙が十分大きいと仮定する。人間が紙を把持する場合、Fig. 1の様に、少なくとも4種類の状態がある。この4種類の状態は、指先の姿勢や指の位置関係に従い、Fig. 2

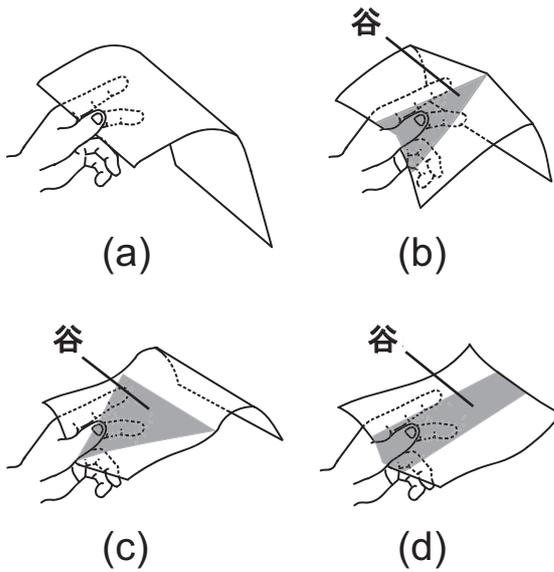


Fig. 1 Configurations of hand and paper

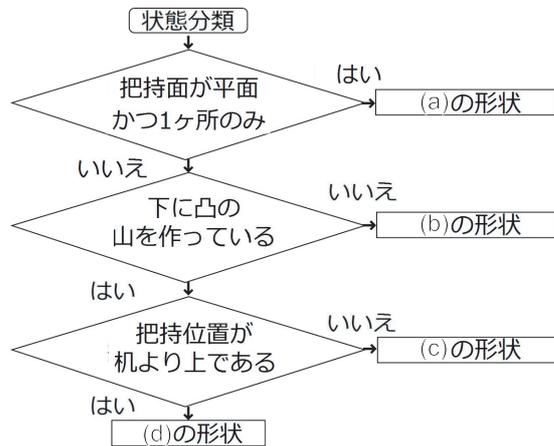


Fig. 2 Classification

の様に分類する事ができる。紙を下方から支える指を支持指，紙を上方から押しつける指を把持指と定義する。

指表面が柔軟物でできている場合，指と指ではさまれる面を把持面と呼ぶこととする。把持面が平面で1ヶ所のみである場合は，紙は(a)の形状となる。曲面把持または複数の平面把持の場合は(a)の形状とならない。

一方，紙を折り曲げる事により，曲げ剛性を高める事ができる。重力に対し紙の姿勢を変えた時や，はさみから紙へ外力を加えた時でも紙の形状を一定に保つ事ができる。これを，本論文では紙の張りと呼ぶ。紙に張りがあれば，紙

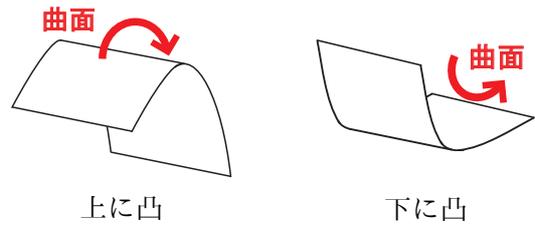


Fig. 3 Convex on a sheet of paper

Table 1 Features of paper configuration

形状の種類	特徴
(a)の形状	全く張りができない
(b)の形状	手元に張りができる
(c)の形状	手元に張りができる (d)の形状へ容易に遷移する
(d)の形状	全体に張りができる

の姿勢を任意に変更しながら切断できる。そのため，複雑な形状の切断も可能になると考えられる。

Fig. 1に示した4種類の形状の特徴をまとめた表をTable 1に示す。切断動作において最も有効である形状は，全体に張りができる(d)の形状である。

(b)(c)の形状は，腕を振ると(d)の形状へ遷移させる事ができる。(c)の形状は(d)の形状へ容易に遷移するのに対し，(b)の形状は(c)よりも大きな反動を必要とする。

上に凸の山を作る場合と下に凸の山を作る場合をFig. 3に示す。上に凸の山の時に短辺を把持すると(b)の形状になり，張りが一部にしかできない。一方，下に凸の山の時に短辺を把持すると(c)または(d)の形状を作る事ができる。

### 3. 多指ハンドによる紙の把持戦略

曲面または複数の平面把持面を作ることが重要である。さらに，把持前に，Fig. 4に示すように紙に下に凸になる曲げを作る必要がある。把持位置が机上面より上方である場合は，Fig. 1の(d)の形状を作る事が出来る。一方，把持位

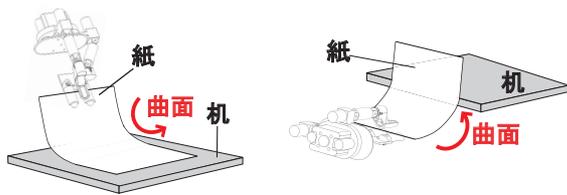


Fig. 4 Curving paper before grasping

置が机上面より下方である時、把持したハンドを持ち上げた直後に (c) から (d) の形状へ遷移する場合と、(c) の形状を維持する場合がある。(c) の状態を維持する場合は、手先を上下に振る事により、(c) から (d) の形状へ遷移させればよい。

以上より、次の3行程が、紙全体に張りを作るために必要な把持戦略となる。

- (1) 曲面または平面把持面を複数作る
- (2) 把持前に、下に凸になる曲げを作る
- (3) (c) の形状になった場合、腕を振る事により (d) の形状へ遷移させる

## 4. 高速多指ハンドを用いた紙の把持方法

### 4.1 高速多指ハンド

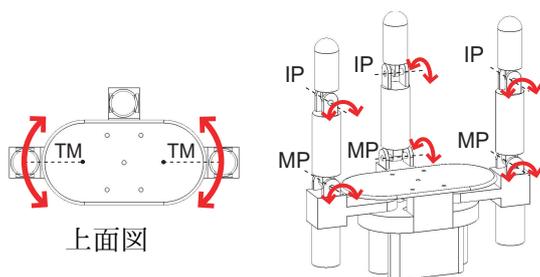


Fig. 5 Multi-fingered hand

ハーモニックドライブ社製の高速多指ハンドを紙を把持するハンドとして使用した<sup>5)</sup>。高速多指ハンドの機構を Fig. 5 に示す。

人間は、人差し指と中指を支持指として、親指を把持指として使用している。人間の手は指

と指の距離が近い為、親指と人差し指、親指と中指の2面把持ができる。2面把持は、紙の横滑りや回転を抑制するために必要である。しかし、標準の高速多指ハンドでは指同士が離れているために、2面把持が困難である。そこで、紙把持用の指先を制作する事により、この問題を解決する。

### 4.2 紙把持用指先

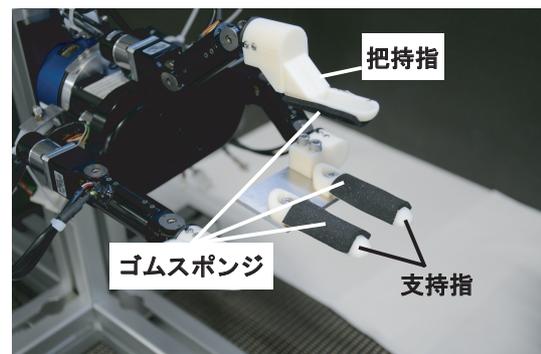


Fig. 6 Additional fingers

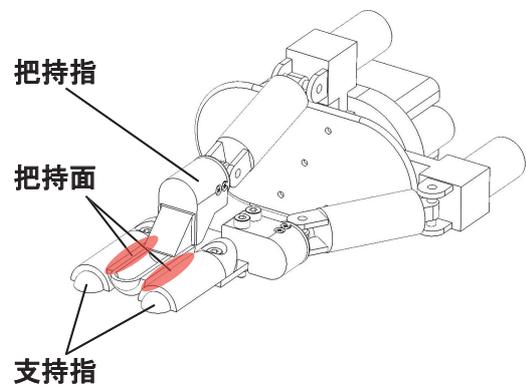


Fig. 7 Grasping area with robot hand

紙把持用指先を取り付けた高速多指ハンドの外観を Fig. 6 に示す。中指 IP 関節の先を把持指として、TM 関節を持つ一方の指先を支持指として使用した。

支持指は、1本のロボット指に2本の半円筒指を配置した。それぞれの指の角度を変えられるようになっている。ただし、本研究では平行になるようにして使用した。これにより、把持指と2本の支持指により2面把持が可能になった。



Fig. 8 Robot arm with a multi-fingered hand

把持指先と支持指先にはゴムスポンジを貼り付けた。円筒状の固い指同士が互いに接触した場合は線接触となるが、柔軟物を指に装着する事により、面接触となる。把持姿勢を Fig. 7 に示す。この姿勢の時、2ヶ所の把持面が把持指と2本の支持指の間で作られる。

## 5. マニピュレータを用いた紙把持

### 5.1 実験環境

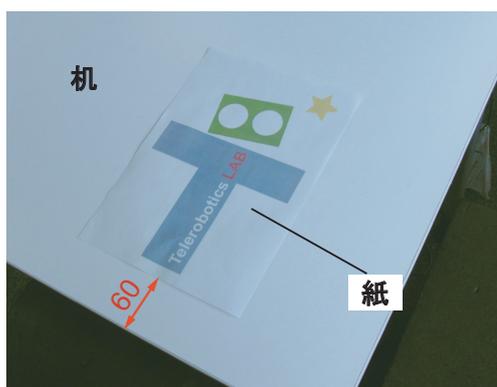


Fig. 9 A sheet of paper

紙把持用指先を装着した高速多指ハンドを7自由度ロボットアーム PA-10 の手先として使用し、テーブル上の1枚の用紙の把持を行った。装

置の外観を Fig. 8 に示す。紙は A4 サイズで市販のコピー用紙を用いた。

### 5.2 軌道計画

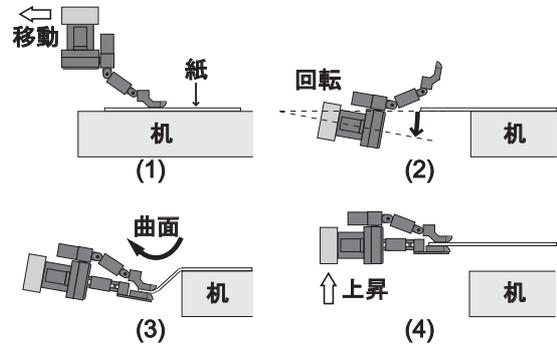


Fig. 10 Sequence of grasping a sheet of paper

Fig. 9 の様に紙を配置した時、ロボットは直接紙を把持する事ができない。まず紙をすべらせて把持可能な状態にする必要がある。これは、把持指を用いて実現した。

マニピュレータを使用した時の紙の把持手順を Fig. 10 に示す。

- (1) 紙が台の端から十分はみ出るまで滑らせる
- (2) 把持位置へ移動し、姿勢を傾ける
- (3) 支持指を紙の下方へ配置し、把持指を下ろし紙を把持する。
- (4) 腕を持ち上げる

Fig. 10 の (2) では、多指ハンドの姿勢を前方へ傾けている。これは、(3) の動作において、紙へ下に凸の山を作るために必要である。この操作が無い場合、上に凸の山ができる可能性がある。その場合、紙は Fig. 1 の (b) の形状になる。

ここでは、多指ハンド指先は机の平面より下方で把持している。そのため、紙は (c) の形状になると予想される。しかし、この形状は全体に張りができる (d) の形状へ容易に遷移させることができる。把持後に腕を持ち上げた直後に、(d) の形状へ遷移する場合もある。一方、腕を持

ち上げた後も (c) の形状を維持する場合は、マニピュレータの手先を上下に振る事により、全体に張りがある (d) の形状へ遷移させればよい。

### 5.3 実験結果

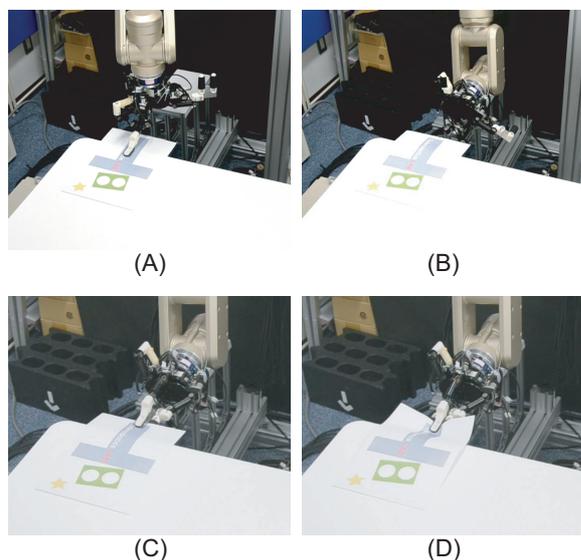


Fig. 11 Grasping experiment

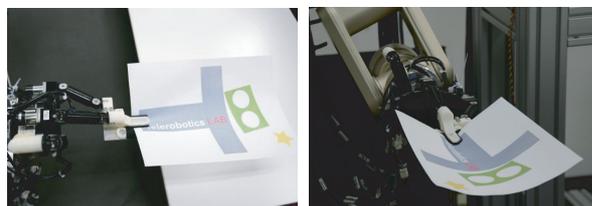


Fig. 12 Experimental result

Fig. 11 に把持過程を示す。

(A) 紙が台の端から十分はみ出るまで滑らせる

(B) 把持位置へ移動し、姿勢を傾ける

(C) 支持指を紙の下方へ置く

(D) 把持指を下ろし、紙を把持する

Fig. 11 の (D) の後に腕を持ち上げた結果、紙全体に張りができる Fig. 12 の形状へ遷移した。

## 6. 結論

本研究では、人間の紙把持動作から、紙の形状を効果的に拘束するための把持戦略を見出した。紙全体に張りを作る条件として、把持面が曲面または複数の平面である事、また、把持前に下に凸の曲げを作る事が必要である事が分かった。把持する位置によって、形状が2つに分岐するものの、どちらも全体に張りのある状態を作る事が容易である。

また、紙把持用指先の制作を行い、ロボットアームを用いてテーブル上に配置された紙の把持を行った。実験により、紙全体に張りを作る事を検証した。

## 参考文献

- 1) 妻木勇一, 鈴木晃, “多様な道具を扱えるハンドの設計”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス公演会'07 公演論文集, 2A1-F07, 2007.
- 2) T. Akaike, Y. Tsumaki, R. Tadakuma, M. Yamano, “A Parallel Gripper with Capability to Use Various Tools,” Proc. of SICE Annual Conference 2012, pp. 2139–2143, 2012.
- 3) 庭野史成, 菊地喜貴, 妻木勇一, “開閉型工具用ハンドとロボットアームの協調制御によるハサミを用いた紙の切断”, 第32回日本ロボット学会学術公演会公演論文集, 2P2-05, 2014.
- 4) C. Elbrechter, R. Haschke, H. Ritter, “Bi-Manual Robotic Paper Manipulation Based on Real-Time Marker Tracking and Physical Modelling,” Proc. of the 2011 IEEE/RSJ int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 1427–1432, 2011.
- 5) 並木明夫, 石川正俊, 金子真, 亀田博, 小山順二, “軽量高速多指ロボットハンドの開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス公演会'03 公演論文集, 1P1-1F-G3, 2003.