

## 低バックラッシュ立体カム関節を用いた 5本指ロボットハンドの機構設計

### Design of a five-fingered robot hand with low backlash 3D-cam joints

佐々木裕之\* , 鄭 聖熹\*\* , 高橋隆行\*\*

Hiroyuki SASAKI\* , SeongHee JEONG\*\* , Takayuki TAKAHASHI\*\*

\*鶴岡高専, \*\*福島大学

\*Tsuruoka National College of Technology, \*\*Fukushima Univ.

キーワード : 5本指ロボットハンド (five-fingered robot hand) , 低バックラッシュ (low backlash) , 立体カム (3D-cam)

連絡先 : 〒960-1296 福島市金谷川1 福島大学 理工学群 共生システム理工学類 高橋研究室  
佐々木裕之 , Tel/Fax.: (024)548-8428 , E-mail: sasakih@sss.fukushima-u.ac.jp

## 1. はじめに

多指多関節ハンドは、簡単な2本指グリッパでは困難な作業を行うために用意される。これらには、高速、軽量、低コストなどの観点から指の本数や駆動する関節数を厳選して設計されたものや<sup>1)2)</sup>、可能な限り人の指の本数と自由度を似せているものがある<sup>3)4)5)6)</sup>。行う作業の種類があらかじめ少数に限定できるのなら、その作業を注意深く観察し、それに見合ったハンドを用意すれば良いので、前者のハンドで十分である。一方、人が手で行う多種多様な作業には、人の手に似ている後者が向いているのは明らかである。ところで、筆者らは体の不自由な人の支援を目的にした移動ロボット、ペンター<sup>7)</sup>の開発をしている。こ

のようなロボットに搭載するハンドは後者が向いている。そこで、人間の手に似ているハンドを開発することを主な目的に、筆者らが開発している低バックラッシュな立体カム関節<sup>8)</sup>を用いた5本指のロボットハンドの機構の設計について報告する。

## 2. 立体カム機構

多関節の指の機構は多関節アームの機構と似ているが、アクチュエータや駆動力伝達機構を納める場所が非常に狭い点で異なる。この問題を解決するために、ワイヤーやエアなどを用いて、駆動力を手から遠ざける方法と、軸方向に長くなりがちなモータを指や手の平内部に埋め込み、出力をベベルギヤなどで直

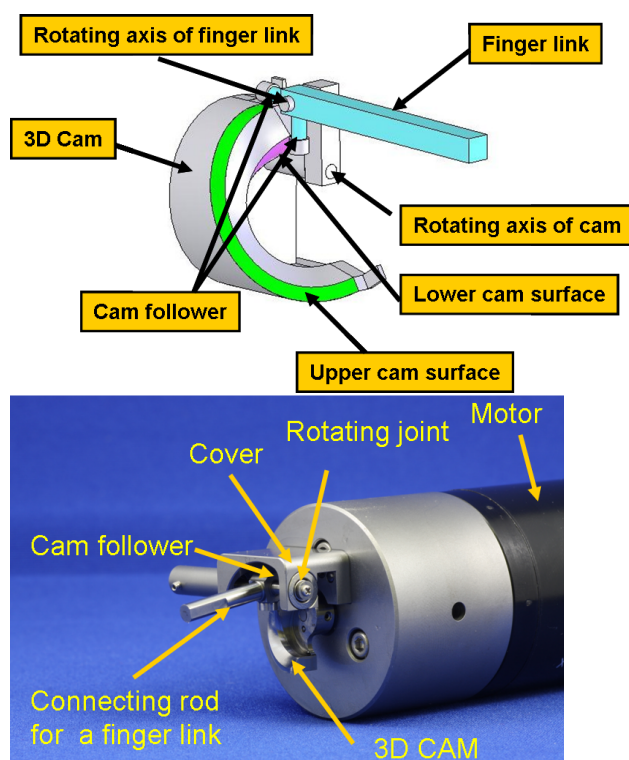


Fig. 1 The finger Joint using a 3D-cam

角に変換させ、これを関節とする方法がある。しかしながら、一般的にワイヤーは伸びの調整など保守が必要である。また、エアは装置が大きく、小型の移動ロボットには向かない。さらに、一般的にベベルギヤでは大きなバックラッシュが生じる。このバックラッシュをある程度改善したハンドも開発されている<sup>3)</sup>。しかしながら、バックラッシュは制御成績に悪影響を及ぼす要素なので、可能な限り小さくしたい。そこで、筆者らは立体カムを用いバックラッシュを低減させる関節を開発している。現在、このカムの試作と性能評価を行っている。このカムの概要をFig.1に示す。

### 3. ロボットハンドの設計方針

ロボットハンドの設計要件は

- (1) 人間の手と同程度の大きさで自由度

- (2) 指を曲げた状態で押しボタンを押すことができる
- (3) 軽量である(600[g]以下)

の3点である。

(1)は人間の作業環境と作業内容を想定しているからである。具体的な自由度は16個の駆動関節と4個の連動関節、合計20関節で構成する予定である。一つの駆動関節の重量を25[g]と見積もれば全駆動関節で400[g]程度、残りの配線、センサ、構造材や柔らかい被覆材などで200[g]程度を予定している。(2)のボタンを押すことの他に軽量物の把握などの作業を行うことを想定している。(3)は、人と衝突した場合のダメージを低減するための対策の一つとしてハンドの軽さが重要であると考えているからである。目標の600[g]は(1)(2)を設計要件とするハンドとしては最も軽量な部類に入ると思われる。

## 4. ハンドの設計

### 4.1 モータの選定

開発するハンドのサイズとして、AIST人体寸法データベース(1991-92)の男女平均データを参考にし、MP関節からTIPまでの長さを100[mm]とし、MP関節からPIP関節までを50、PIP関節からTIPまでを50とする。アクチュエータは、日常生活で洗濯機や券売機などのボタンを押す人間の指の力は14~16[N]程度である(NITE人体特性計測データベース)。そこでMP関節用には、Fig.2に示すように指を曲げた状態(PIP関節の角度が90deg)で14~16[N]の力を出せるものを選択する。一方、PIP関節用については指を伸ばした状態で4~6[N]程度の力を出せるようにする。以上に併せて、重量、長さ、直径などを考慮した上で、Table1の

Table 1 Specification of actuators for finger and thumb

	PIP(0.75[W])	MP(1.5[W])
Motor	RE10-0.75W	RE10-1.50W
Gear	256:1	256:1
Torque	258[mNm]	829[mNm]
Mass	11.2[g]	13.2[g]
Length	45.2[mm]	52.8[mm]
Diameter	10[mm]	10[mm]

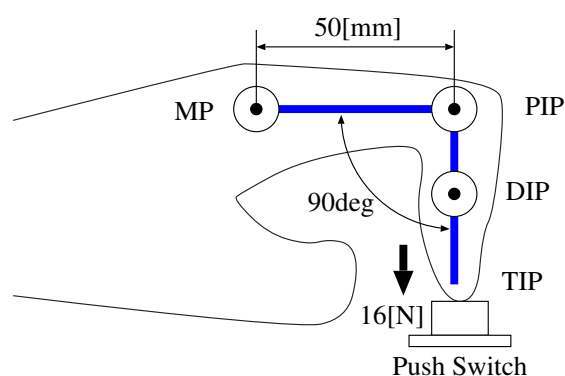


Fig. 2 A middle finger pushing a switch

ように市販されているモータ,ギヤ,エンコーダの組合せを選定した.

## 4.2 指の設計

立体カム機構を用いて設計した親指以外の指(以下単に指と呼ぶ)をFig.3に示す.今回設計した指はMP関節が2自由度,PIP関節が1自由度,合計3自由度である.なお,現時点で指にDIP関節は無いが,今後DIP関節はPIP関節

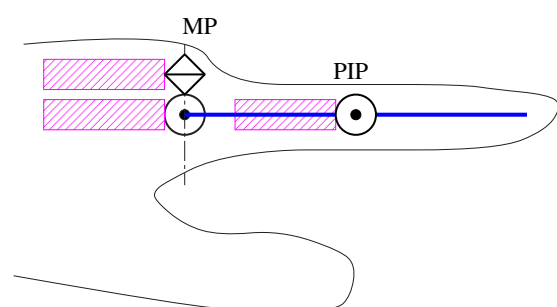


Fig. 3 Structure of the fingers

と連動した関節にする予定である.使用する立体カムの動作角度の大きさは100[deg]である.これは人の指の動作角度と同程度である.Fig.3の指を並べて手を構成すると, $J_1$ の回転に伴い,手の平の内部で隣り合う $J_2$ のモータなどの部分が干渉する.そこで $J_2$ の機構自体を $J_2$ の軸を中心に交互に傾けることで, $J_1$ の動作角度を確保する.例えば,隣り合う指の間隔が22[mm]の場合,+10[deg],-5[deg]と交互に傾ければ,開き角度を28[deg]程度確保できる.

## 4.3 観察による親指の設計

今回設計した親指は,MP関節が2自由度,PIP関節が1自由度,DIP関節が1自由度,合計4自由度である.親指の自由度の配置は従来の多指多関節ハンドそれぞれで異なる.例えば星野らによるハンドの親指は,指先の力制御の性能向上のため親指の物体に対する向きを重視し,5自由度で構成されている<sup>6)</sup>.このハンドは手の平全体で盆を支えるような把握形態(以下Platform<sup>9)</sup>)を実現することができる.一方,Giff Hand IIIの親指は4自由度で, $J_2, J_3, J_4$ の軸全てを並行に配置している.この根元の関節角度を巧みに配置することによって,親指の対向性と把握可能な領域を広く確保している<sup>3)</sup>.しかしながら,設定された親指の動作範囲ではPlatformを実現するのは困難である.Platformが実現できると,手の平で大きな重量物を支えたり,指先の点接触のみでは傷めてしまうような物体を安全に支えることができる.これは人間支援ロボットに必要な機能であると思われる.また,ハンドを使用しない場合,親指が手の平から大きく突き出ないので,比較的コンパクトに収めることができる.これらに加え,人の親指の自由度は4

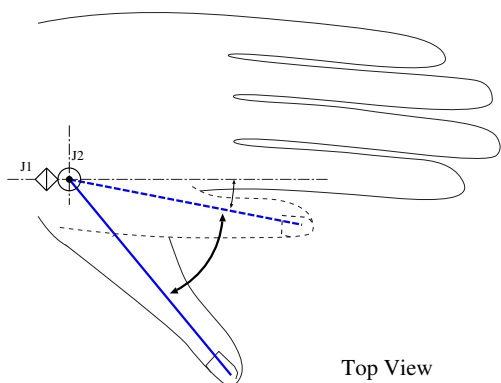


Fig. 4 Arrangement of  $J_2$  Joint

自由度である．以上から親指の自由度配置にするにあたり，以下の2点を念頭におく．

- 4自由度で構成する
- Platformができる

設計するハンドの親指の自由度配置は人間の手に似せることにしている．そこで，親指の動きを観察することにより，4自由度を配置することにする．Fig.4に今回配置したMP関節の自由度を示す．同図に示すようにPlatformを維持したままで親指を水平方向に動かすと，親指の姿勢の変化の様子がFig.4の $J_2$ 関節回りに動作しているように見える．また，同様にFig.4のように親指を開いたまま $J_1$ 関節の回りに親指を対向させるように回転させ，親指の姿勢の変化を観察すると，Fig.5のように $J_1$ に軸があるように見える．以上より，Fig.4に示すMP関節の自由度の配置 $J_1$ と $J_2$ は妥当であると思われる．

Fig.6に示すPlatformの状態では，指と親指を並行にすると指は全て同じ向きであるが，親指は約45deg異なる向きである．そこで，Fig.7のようにPIP関節とDIP関節を配置する．これらを基に設計した親指をFig.8に示す．これらを5本で構成したハンドをFig.9に示す．

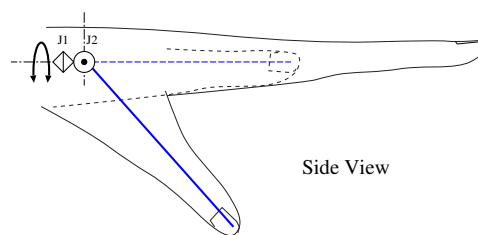


Fig. 5 Arrangement of  $J_1$  Joint

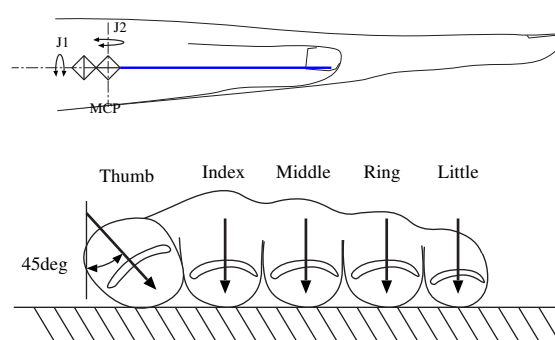


Fig. 6 Fingers and thumb for grasp model "Platform"

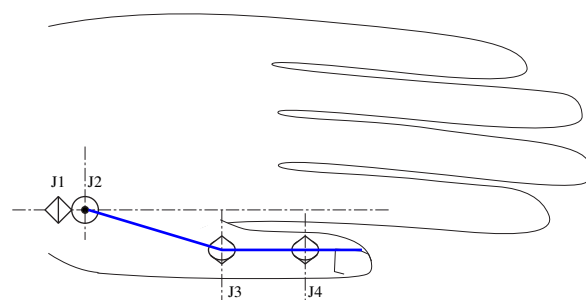


Fig. 7 Design of the thumb joints

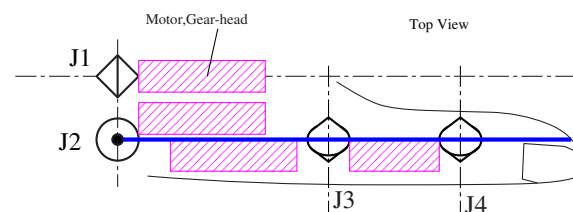


Fig. 8 Structure of the thumb

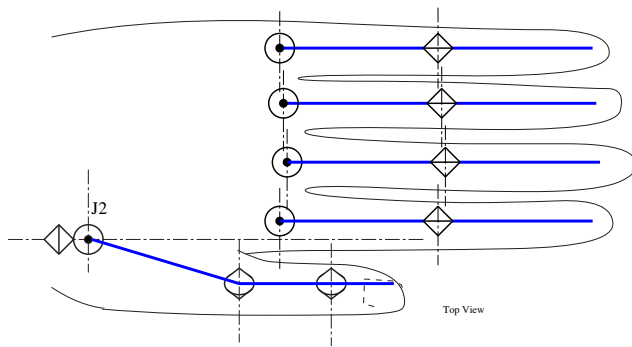


Fig. 9 Designed hand

## 5. 3D-CADによる把握の検証

Cutkoskyにより生産作業で主に用いられる把握状態が16種類に分類されている<sup>9)</sup>。これらの把握状態をCAD上で描くことにより、設計したハンドを検討する。具体的には3D-CAD SolidWorksを用いて検証した。周辺特許の都合より、本報告では線画でFig.10とFig.11に示す。これらの図によると、包み込む把握では、連動関節を用意すれば安定して把握できると推測される。他に現時点では特に問題点は見受けられない。親指の自由度を観察により配置したので、人の親指に近い対向性となり、その結果人の親指に近い把握状態が実現できたと思われる。

## 6. おわりに

低バックラッシュな立体カム関節を用いた5本指ハンドの機構の設計について報告した。人の親指を観察することにより自由度の配置した。これにより、対向性を確保したまま4自由度でPlatformが可能となる。設計したハンドの指の長さは、設計の過程で想定している指の長さより長いものとなった。また、選択したギヤヘッドにもバックラッシュがあり、このままでは低バックラッシュ関節の効果が表れにくいと推測される。そこで、今後、バック

ラッシュがほとんど無く、軸方向に短いハーモニックドライブに変更する予定である。

## 参考文献

- 1) Akio NAMIKI, Masatoshi Ishikawa, Makoto KANEKO, Hiroshi KAMEDA, Junji KOYAMA: "Development of a Lightweight High-speed Multifingered Hand", Proc. of Robotics and Mechatronics Conference 2003 (ROBOMECH2003)
- 2) William T. Townsend: "Description of a Dexterous Robotic Grasper", Journal of the Robotics Society of Japan Vol.18, No.6. pp.798-801, 2000
- 3) Tetsuya Mouri, Haruhisa Kawasaki, Keisuke Yoshikawa, Jun Takai, and Satoshi Ito: "Anthropomorphic Robot Hand: Gifu Hand III", ICCAS2002, pp.1288-1293
- 4) B.M. Jau: "Dexterous Telemanipulation with Four Fingerted Hand System", Proc. of IEEE Robo. and Automa., pp.338-343, 1995
- 5) J. Butterfas, M. Gebenstein, H. Liu and G. Hirzinger: "DLR-HandII: Next Generation of a Dexterous Robot Hand", Proc. of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation., pp.109-114, 2001
- 6) Kiyoshi Hoshino, Ichiro Kawabuchi: "Pinching at finger tips by humanoid robot hand", Proceeding 2005 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation., pp.93-98, 2005
- 7) 鄭 聖熹, 高橋隆行: "力制御を含む全身動作を用いた倒立振り子型アシストロボット I-PENTARの起立・着座動作", 第25回日本ロボット学会学術講演会, 講演概要CDROM 3J18, 2007
- 8) 鄭 聖熹, 佐々木裕之, 高橋隆行: "立体カム機構を用いた小型・軽量, 少バックラッシュ指関節の開発", 第25回日本ロボット学会学術講演会, 講演概要CDROM 3M31, 2007
- 9) MARK R. CUTKOSKY: "On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks" IEEE Transactions of Robotics and Automation, Vol 5, No.3, 1989, pp.269 - 279.

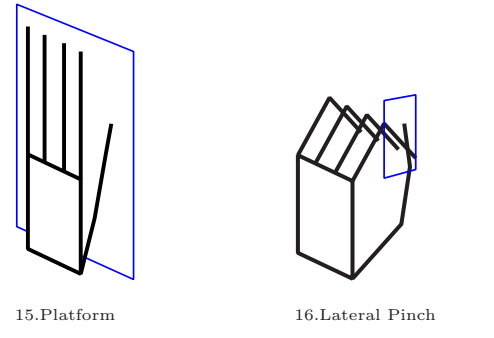
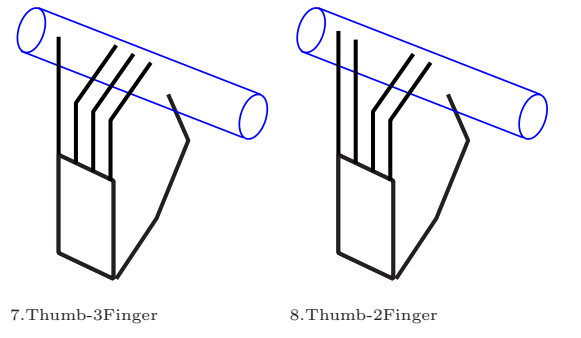
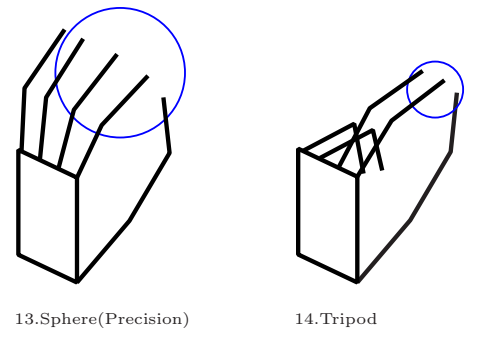
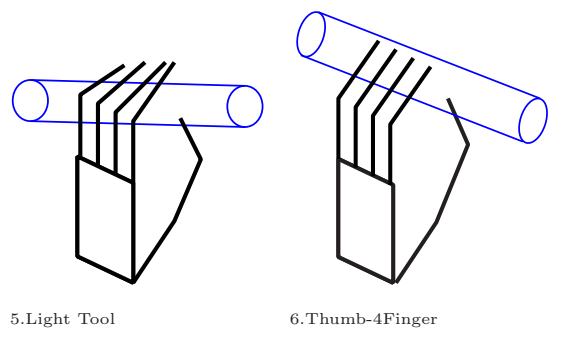
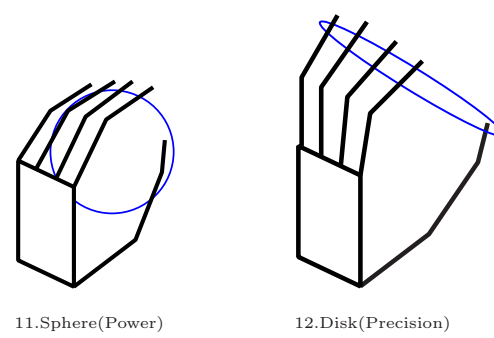
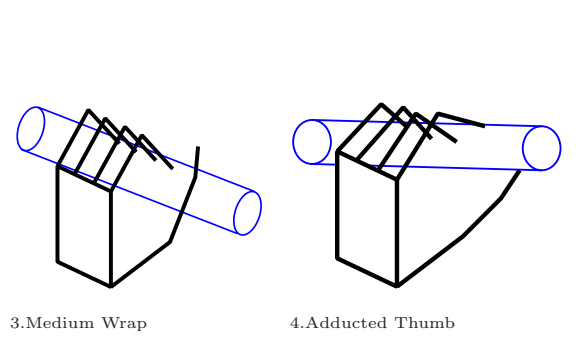
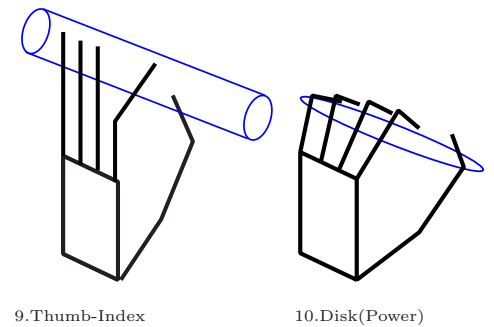
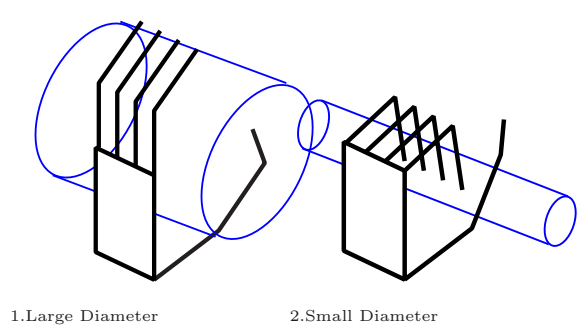


Fig. 10 Grasp models with designed hand (1~8)

Fig. 11 Grasp models with designed hand (9~16)