

# 軽量高速多指ロボットハンドの開発

## Development of a Lightweight High-speed Multifingered Hand

○ 並木 明夫 (JST/東大) 正 石川 正俊 (東大) 正 金子 真 (広大)  
 亀田 博 小山 順二 (ハーモニック・ドライブ・システムズ)

Akio NAMIKI (JST/Univ. of Tokyo), Masatoshi Ishikawa (Univ. of Tokyo), Makoto KANEKO (Hiroshima Univ.),  
 Hiroshi KAMEDA, Junji KOYAMA (Harmonic Drive Systems)

**Abstract:** This paper introduces a newly developed high-speed multifingered robotic hand. The hand has an eight-axis and 3-fingers. A newly developed small harmonic drive gear and a high-power mini actuators are equipped in each finger link. Also, a strain gauge sensor is equipped in each joint. The weight of the hand module is only 0.8kg, but high-speed motion and high-power grasp are possible. It can close the joints at 180deg/0.1s, and the fingertips can output force of about 28N. The hand system are controlled by a massively parallel vision system.

**Key Words:** : multi-fingered hand, lightweight actuator, visual feedback

### 1. はじめに

従来より、様々なタイプの多指ハンドの開発が進められてきたが [1], その多くは静的な把握や、準静的な運動に対して設計されており、ダイナミックで高速な運動を行なわせるには能力が不十分な場合が多かった。運動能力の高いものも開発されているが、システムの重量が大きくなってしまい、ロボットアームに搭載して使用するのは困難であった。

この問題を解決するために、我々は、高速な運動に耐えうるアーム搭載型の軽量高速多指ハンドシステムの開発を進めてきた。これまでに、指ユニットの開発が終了し、高速視覚システムによって制御することで、動的な捕球タスクを実現した [2]。本稿では、開発した指ユニットをベースに開発した 3 本指多指ハンドについて紹介する。

### 2. 軽量高速多指ハンド

開発したハンドの図面を Fig.1 に示す。各指の名称は左から、左親指 (Left Thumb), 人指指 (Index Finger), 右親指 (Right Thumb) とする。また、人間の手 [3] を参考に、各指の関節を、曲げ方向の指先から、指節間関節 (IP), 中手指関節 (MP), 横方向を大菱中手関節 (TM) と呼ぶ。アクチュエータの性能を Table.1 に、ハンドの性能を Table.2 に示す。

#### 2.1 指本数, 自由度, 指配置

アームに搭載して動的な操作を行なうために、最大でも 1kg 以下となるように軽量化を図った。そのため、指本数と自由度に関しては、できる限り削減することとした。

指の本数に関しては、外乱に安定な把握が可能な最小本数である 3 本とした。動的操作でも、3 つの Virtual Finger で通常操作の 5 割近くが可能であることが示唆されており [4], 十分であると考えられる。

また、自由度に関しては、中指が 2, 左右の指が 3, 合計 8 自由度とした。本来、任意の位置姿勢への操りには 9 自由度が必要であるが、中指の横方向への回転は、接続するアームの手首関節の動作でカバーすることとして省略した。

指配置に関しては、球形物体, 柱形物体の両方の把握に対応できるようにした。3 本指のうち、名称の通り、左右の指は親指の機能を果たす。人間の親指の自由度 (5 自由度) には及ばないが、TM 軸に大きな可動範囲を与えることで、様々な把握形態に対応できるようにした。

#### 2.2 アクチュエータ

俊敏で高速な運動を実現するためには、速度と加速度がともに高い必要がある。このうち、加速度に関しては、アクチュエータの高出力化と機構の軽量化を同時に行わねばならない。一般に、高加速度が必要とされるのは瞬間的であり、定格出力よりも最大出力を重点的に上げることで対応可能だと考えられる。そこ

で、0.1 秒以内で指を開閉することを目標として、アクチュエータを設計した。0.1 秒の値は、具体的なタスクに対応しているわけではないが、動的な操りには十分な値であると考えた。

以上のことから、バックラッシュレスかつ軽量のハーモニックドライブ<sup>R</sup> 減速機をベースにして、瞬時高出力が可能な小型ア

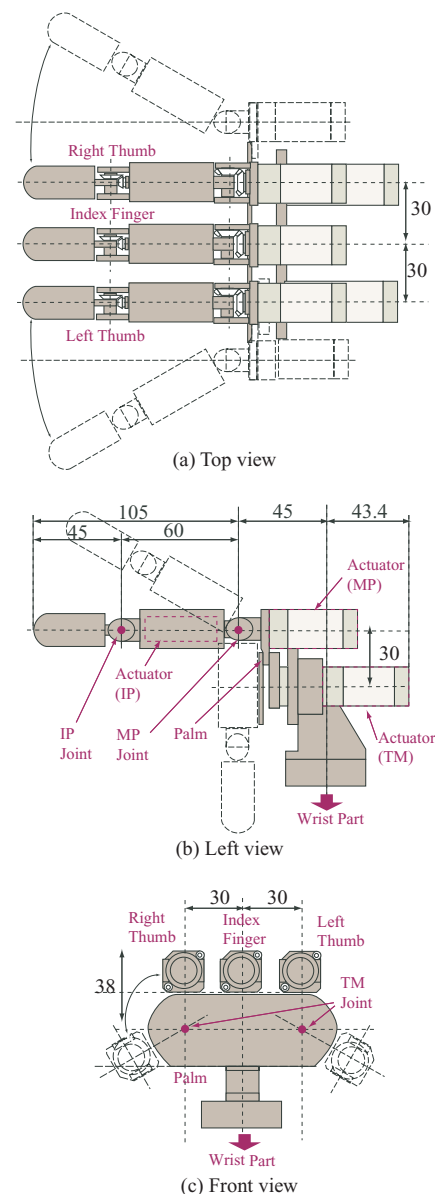


Fig. 1 Hand Mechanism

クチュエータを開発した。結果として、瞬時トルク/重量比に関して従来市販品の約 3.5 倍以上の能力を達成できた。第一試作の指 [2] では、IP 関節には市販アクチュエータを用いていたが、新たに、MP 関節と同じ構造でさらに小型化した新アクチュエータを開発した。その結果、把握力を以前よりも強力にでき、指全体でのバックラッシュもほぼ 0 とすることができた。

### 2.3 センサ

IP 関節と MP 関節には、歪みゲージを装備し、力センサへ対応できるようにした。また、高速視覚センサを用いて制御できるように、制御装置を開発している [2]。

Table 1 Specification of developed actuators

	IP	MP・TM
タイプ	AC (Brushless DC)	AC (Brushless DC)
減速比	50	50
最高角速度 [rad/sec]	30	30
最大トルク [Nm]	0.245	1.71
重量 [g]	25	60

Table 2 Specification of a developed robotic hand

	IP	MP	TM
最高指先速度 [m/s]	4.5 (*1)		
最大指先力 [N]	28.5 (*2)		
指本数・自由度	3本・8自由度		
重量 [g]	約 800g 以下		
可動範囲 [rad]	$-\frac{\pi}{2} \sim \frac{\pi}{2}$	$-\frac{\pi}{2} \sim \frac{\pi}{2}$	$0 \sim \pm \frac{2\pi}{3}$ (*3)

(\*1) IP 軸が 0 度で、IP,MP がともに最大回転速度の場合  
 (\*2) IP 軸が 90 度で、MP 軸が最大トルクを発生した場合  
 (\*3) 最終的には  $0 \sim \pm \pi$  の予定

## 3. 性能評価

### 3.1 応答性能

各軸で PD フィードバック位置制御を行い、180 度のステップ応答 (TM 軸は 90 度) の応答を Fig. 2 に示す。MP 軸は、180 度の回転を約 0.1 秒程度で、IP 軸は、わずかに遅れて約 0.12 秒程度で達成していることがわかる。TM 軸は、90 度回転を約 0.07 秒程度で達成している。

また、最大速度までの立ち上がりは、IP・MP 軸では 0.01 秒、TM 軸でも約 0.02 秒程度しかかかっていない。これより、単に回転速度が高速なだけでなく、俊敏な運動特性も達成することができた。

### 3.2 把握形態

従来提案されている把握パターンの分類 [3]~[5] を参考に、パワーグリップ、精密把握、パワーと精密の中間形態の 3 つの大分類と、それに含まれる小分類の把握パターンについて、把握が可能であることを確認した。これら様々な形で把握できること

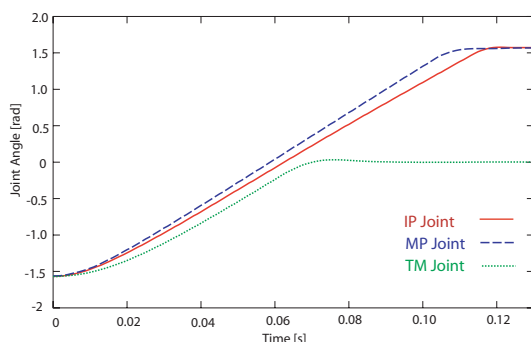


Fig. 2 Step response

が、必ずしも必須とされるわけではないが、把握パターンが豊富なことは、把握能力を向上させることにつながると考えられる。結果を Fig.3 に示す。

## 4. まとめ

高速な操り動作のために開発した軽量高速ハンドについて紹介した。今後の課題としては、視覚や力覚のセンサフィードバック制御を用いて、動的な把握・操りタスクを実現することを考えている。現在、視覚を用いた捕球動作の研究を進めている [6]。

### 参考文献

- [1] 特集「器用な手」。日本ロボット学会誌, Vol. 18, No. 6, 2000.
- [2] 今井, 並木, 橋本, 金子, 石川. 視覚フィードバックを用いた高速ハンドシステムの開発. 第 20 回日本ロボット学会講演会, p. 3E11, 2002.
- [3] I.A. Kapandji. 関節の生理学 I 上肢. 医歯薬出版, 1986.
- [4] 鎌倉, 中田, 山崎. 手の運動の基本パターン. 神経進歩, Vol. 42, No. 1, pp. 7-16, 1998.
- [5] M. R. Cutkosky. On grasp choice, grasp models, and the design of hand for manufacturing tasks. *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. and Automat.*, Vol. 5, No. 3, pp. 269-279, June 1989.
- [6] 今井, 並木, 橋本, 石川. 高速多指ハンドによる動的捕球動作の実現. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2003.

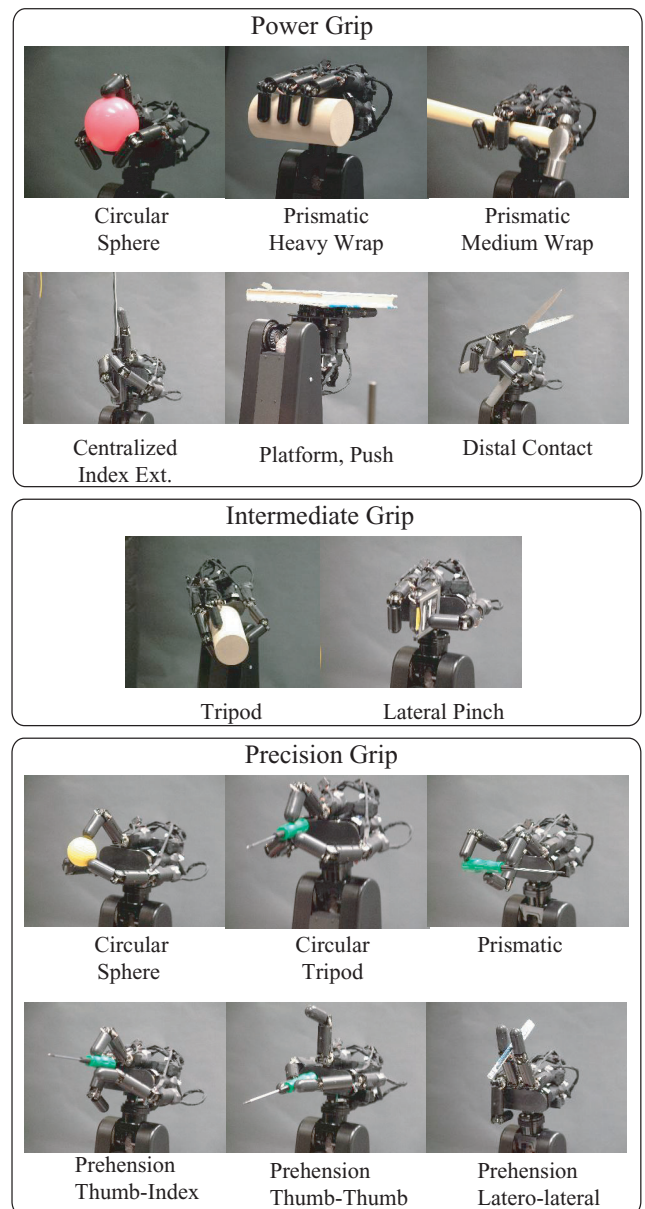


Fig. 3 Grasping examination