

この書類は修士中間発表のための講演論文形式資料の書式の例であって、必ずしも内容が優れているというわけではありませんので、誤解のないようお願いいたします。

## 小型超音波モータ内蔵型 20 自由度ロボットハンドの開発(要旨の例)

### Robot Hand using Compact Ultrasonic Motors having 20-degree-of-freedom

慶應 太郎 (慶大)  
Taro Keio, Keio University

In this paper, a robot hand is developed using compact ultrasonic motors having 20 degrees of freedom. The robot hand has five fingers with 20 joints. Size and weight are reduced by using compact ultrasonic motors. A robot hand imitating size of human hand can be used as slave hand in master-slave system viscerally. A purpose of this study is confirming availabilities of the robot hand by building up control system. Step response is conducted and frequency response is measured. Then grasping experiment and experiment as a master-slave system are conducted. From these experiments availabilities of the robot hand is confirmed.

**Key Words:** Robot Hand, Ultrasonic Motor, Control

#### 1. はじめに

これまで、部品の組立てや医療作業を代行させるための複雑かつ器用な操りを目的として、数多くのロボットハンドが開発されてきた。特に、人間の手を模倣したロボットハンドは、マスタ・スレーブシステムを用いた複雑な操りにおいて、直感的な操作が可能となるため有効である。マスタ・スレーブシステムとは、人間が操作用ロボットであるマスタシステムに入力した動作を、作業用ロボットであるスレーブシステムが再現するシステムである。しかし、従来のロボットハンドは、構造上の制約により人間と同等の自由度を持たせることが困難であることや小型・軽量化が実現できないことなど、様々な問題点が残されていた<sup>(1)(2)</sup>。このため、従来のロボットハンドでは、人間の手の高度な機能を十分に再現できていなかった。このため、本研究では、人間の手と同等の外観、寸法および自由度を有する超音波モータ内蔵型 20 自由度ロボットハンドの制御系を構築するとともに、マスタスレーブシステムを構築し、本ハンドのエンドエフェクタとしての有効性を確認することを目的とする。

#### 2. 小型超音波モータ内蔵型 20 自由度ロボットハンド

本研究で用いるロボットハンド<sup>(1)</sup>の外観を図 1 に、仕様を表 1 に示す。本ロボットハンドは、大幅な小型・軽量化をコンセプトとして人間と同等の寸法、形状および自由度を有することを目的として開発されたロボットハンドであり、アクチュ

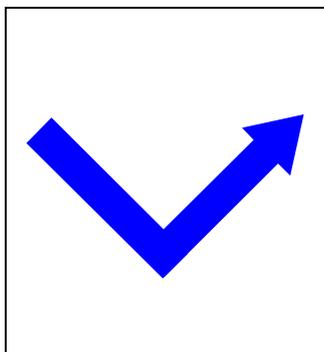


Fig. 1 Robot hand using compact ultrasonic motors having 20-degree-of-freedom

エータにキヤノン(株)の小型超音波モータを用いている。超音波モータは低速・高トルク特性を有するため、大きな減速機構が不要であり、ロボットハンドの小型・軽量化に適している。超音波モータの利点を活かすことにより、本ロボットハンドは各関節部にモータを配置することを実現し、20 自由度という人間の手と同等の自由度を有している。また、超音波モータは、小型・軽量であるのみならず、静粛性、高応答性および電磁ノイズレスなどの利点を有しており、ロボットハンドのアクチュエータに適していると考えられる。さらに、本ロボットハンドは、自由度が人間の手と同等であるにもかかわらず、サイズが人間と同等以下であり、300 g という軽量のロボットハンドである。母指を除く 4 指のうち、中指のみが 3 自由度となっているのは、MP 関節の側屈運動を生成する機構が省略されているためであり、示指、環指および小指による MP 関節の側屈運動により相対的な角度を再現可能であるという考え方に基づく。

#### 3. 位置制御系の構築と検証

上述のロボットハンドを制御するために、まず、位置制御を行うための回路を構築した。構築した回路による位置制御の特性を評価するためにステップ応答および周波数応答の計測を行った。本研究では、人間の指の MP 関節が生成する屈

Table 1 Specification of the robot hand

能動自由度	母指	5
	示指	4
	中指	3
	環指	4
	小指	4
	総数	20
アクチュエータ	形式	超音波モータ
	型番	Micro USM II
	最大トルク [Nm]	$7.8 \times 10^{-3}$
	無負荷回転数 [rpm]	700
	外形 [mm]	$\phi 10 \times 10$
質量 [g]	5.0	
質量 [g]		約 300 (配線含まず)

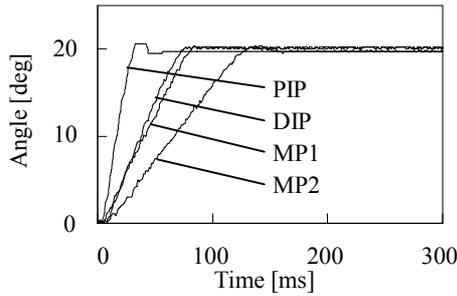


Fig. 2 Step response of index finger

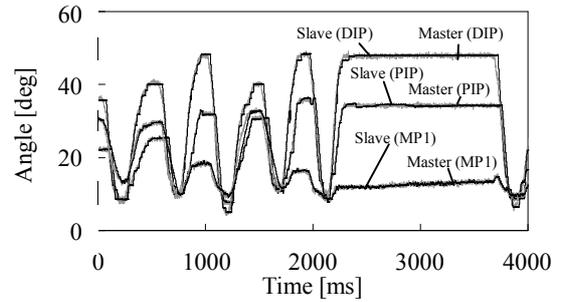


Fig. 5 Result of experiment as a master-slave system

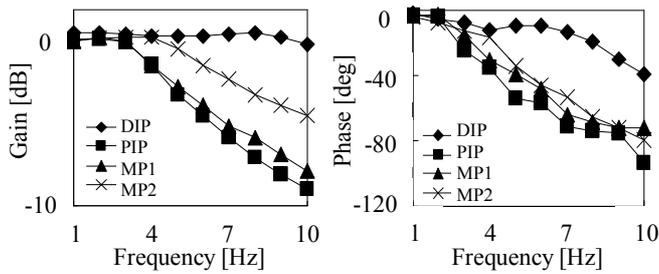
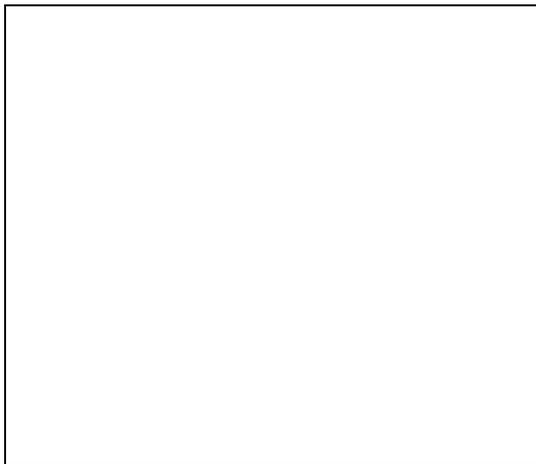


Fig. 3 Frequency response of index finger

(a) Power grasp



(b) Precision grasp

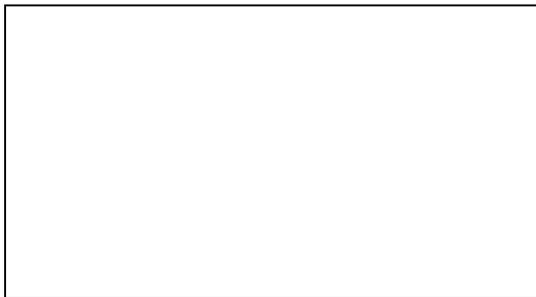


Fig. 4 Result of grasping experiment

伸運動に対応するロボットハンドの関節を MP1 関節，側屈運動に対応するロボットハンドの関節を MP2 関節と呼ぶこととする。例として示指における結果を図 2 および図 3 に示す。図 2 に示したように，示指の整定時間は 150 ms 程度である。また，母指の整定時間は 180 ms 程度であった。これは，アク

チュエータ内蔵型の 5 指ロボットハンドの中でも高応答性を有する 5 指型ロボットハンド<sup>(2)</sup>と同等であった。また，図 3 に示したように，バンド幅が最大で DIP 関節の 10 Hz 以上，最小で PIP 関節の 5 Hz 程度となった。これらの値は，人間の指の応答性とほぼ同等である。また，指先においては人間以上の応答性を有していた。母指においても同様の結果を得られた。さらに，ロボットハンドの有効性を確認するために，Cutkosky<sup>(3)</sup>の把持分類法を用いて物体把持実験を行った。本分類法を用いたのは，ロボットハンドの利用を想定したシステムへの応用がなされているという理由による。結果を図 4 に示す。図 4 より，握力把持 9 種，精密把持 7 種，全 16 種の人間の把持姿勢を再現できることを確認した。これより，人間の代わりに作業を行うエンドエフェクタとして用いることの可能性を検証した。

#### 4. マスタ・スレーブシステムの構築と検証

位置情報がマスタ装置からスレーブ装置に伝えられ，スレーブ装置からマスタ装置へは視覚によるフィードバックのみが伝えられるユニラテラル制御方式でマスタ・スレーブシステムを構築した。検証実験として，ロボットハンドの中指に人間の手の動作をリアルタイムで再現させる位置追従実験を行った。図 5 に示したように，最大遅れは MP1 関節の 50 ms 程度であった。これより，スレーブ装置はマスタ装置に対して安定して追従していることを確認した。

#### 5. おわりに

本研究では，超音波モータ内蔵型 20 自由度ロボットハンドの高応答性を，ステップ応答実験および周波数応答実験により示した。また，物体把持実験により，Cutkosky の把持分類法に基づく 16 種の人間の把持姿勢を再現できることを確認した。さらに，マスタ・スレーブシステムを構築し，位置追従実験を行うことにより，人間の手の動作を安定して再現できることを示した。今後，マスタ・スレーブシステムにおいて，器用な操りを行うことが今後の課題である。

#### 文献

- (1) Wolf Ohkami, Non-Linear Analysis and Control of Power Ultrasonic Motors, Proceedings of International Conference on Next-Generation Actuator Leading Breakthroughs, Vol.4, pp.109-112, 2007.
- (2) 山野郁男, 慶應慶太, 超音波モータと弾性要素を用いた 5 指ロボットハンドの開発, 日本ロボット学会誌, Vol. 23, No. 25, pp. 997-985, 2005.
- (3) Mark R. Cutkosky, On Grasp Choice, Grasp Models, and the Design of Hands for Manufacturing Tasks, IEEE transactions on Robotics and Automation, Vol. 5, No. 34, pp. 508-517, 1989.