

多自由度超音波モータを用いた腹腔鏡下手術支援ロボットの開発  
*Development of a Laparoscopic Surgery Robot Using an Ultrasonic Motor*  
*Capable of Generating a Three Degrees-of-Freedom Motion*

学 竹村 研治郎 (慶大) 正 前野 隆司 (慶大)

Kenjiro TAKEMURA, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, kenjiro@bea.hi-ho.ne.jp  
 Takashi MAENO, Keio University, 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, maeno@mech.keio.ac.jp

A laparoscopic surgery requires the doctors' skills, however, it gives less damages to patients than the general abdominal operation. The difficulties of the surgery are caused by small DOFs (degrees-of-freedom) of the motions of forceps and endoscopes. So, we developed an ultrasonic motor capable of generating a three DOF motion of the spherical rotor. The motion of the ultrasonic motor is similar to that of human wrists. We apply the ultrasonic motor to the forceps, in order to increase the number of DOF of the motion at the tip of it, and to lighten the doctors' burden. First, the characteristics of the ultrasonic motor are described, and then the forceps with multi DOF motion we made are shown.

**Key Words :** *Surgery robot, Ultrasonic motor, Multi degrees-of-freedom*

## 1. はじめに

腹腔鏡下手術は、従来の開腹手術と比較して術後の回復が早く、患者への精神的・肉体的負担の軽い手術法として普及しつつある治療法である。しかし、

(1) 内視鏡画像下での手術のため、視野が制限される  
 (2) 鉗子先端部での自由度が少なく操作が困難であるといった課題があるため、適用分野が限られている。内視鏡や鉗子の先端がヒトの眼球や手首関節のように容易に多自由度運動できれば、本手術の適用範囲の拡大が期待できるため、多自由度運動が可能なロボットハンドに關し、これまでに多くの研究がなされてきた[1][2][3]。しかし、それらは広く普及する簡便な手術ツールとはなり得ていない。そこで、筆者らは球状回転子を多軸周りに回転させることができ多自由度超音波モータを開発し、本モータの腹腔鏡下手術支援ロボットへの応用を試みたので報告する。

## 2. 多自由度超音波モータ

筆者らが開発した多自由度超音波モータ[4]は、球状回転子と円柱状振動子から構成されている (Fig. 1)。本モータは、振動子の1つの縦振動1次モードと2つの曲げ振動2次モードを組み合わせることによって、回転子を直交する3軸周りに回転させることができる。本研究では、多自由度超音波モータの手術支援ロボットへの応用を図るために、まず、振動子を改良し、駆動制御を行

った。以下にその特性を示す。

### 2.1. 駆動特性

多自由度超音波モータの出力トルクと回転数の関係をFig. 2に示す。Fig. 2は振動子・回転子間荷重を変化させた時の特性の変化を示している。ただし、振動子への2つの入力信号は、周波数約40kHz、電圧40V<sub>p-p</sub> (曲げ振動励振用)および20V<sub>p-p</sub> (縦振動励振用)、位相差90degである。Fig. 2からわかるように、本超音波モータの出力トルクと回転数の関係は垂下特性を示しており、振動子・回転子間荷重の増加に伴って出力トルクの最大値が増加することがわかる。振動子・回転子間荷重が約8Nのとき、本モータの回転数および出力トルクの最大値は約200 rpmおよび約7 mNmであった。

### 2.2. 制御特性

振動子の中心軸と直交する軸周りに回転子の回転角を位置決め制御した。Fig. 3は入力信号の時間的位相差を制御パラメータとした場合の制御結果である。ただし、位置偏差とシグモイド関数を用いて入力信号の時間的位相差を決定した。入力信号の時間的位相差を制御パラメータとすることによって、位置制御が可能となっている。

つぎに、回転子に出力軸を取りつけ、その先端位置の制御を行った。具体的には、Fig. 1のx軸、y軸周りの回転角を制御した。Fig. 4が制御結果であり、(a)は出力軸先端位置をx-y平面内に投影した結果を、(b)は各軸周りの回転角の履歴を示している。いずれの軸周りの回転に

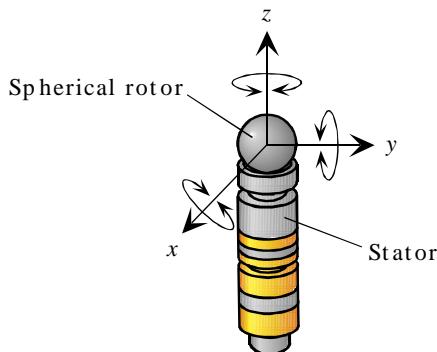


Fig. 1 Ultrasonic motor generating multi DOF motion

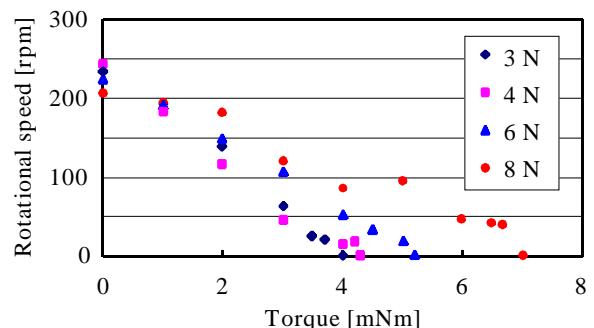


Fig. 2 Relationship between torque and rotational speed when the normal load between rotor and stator is changed

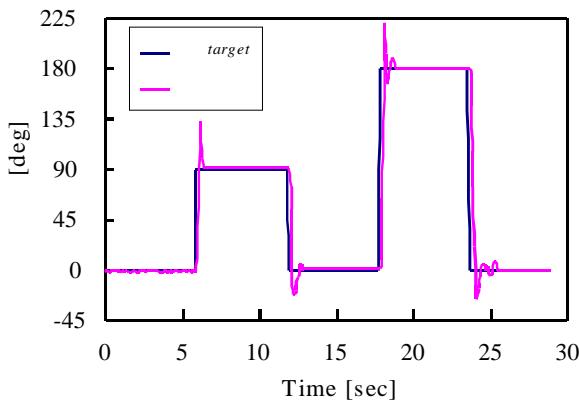
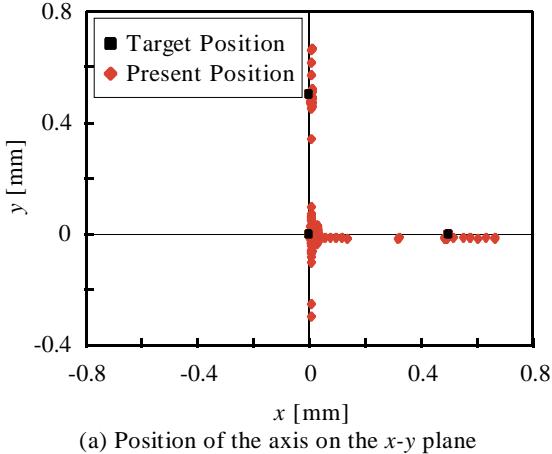


Fig. 3 Characteristics of position control



(a) Position of the axis on the  $x$ - $y$  plane

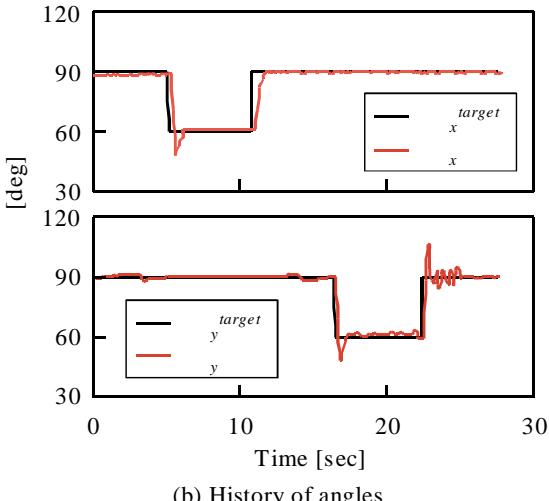


Fig. 4 Result of a multi DOF position control

対しても位置決め制御が実現されていることがわかる。

### 3. 多自由度鉗子

#### 3.1. 先端ハンド部

本研究で提案する手術支援ロボットは、鉗子先端部に直接多自由度超音波モータを配置するため、これまでに提案されている多自由度鉗子[1][2][3]のように外部のアクチュエータによって先端ハンド部の開閉を行うことが難しい。そこで、ハンド開閉のためのソレノイドを鉗子先端に直接配置したハンド部を設計・製作した。アクチュエータとしてソレノイドを用いることによって、多自由度超音波モータとの幾何学的干渉を避けることができ、

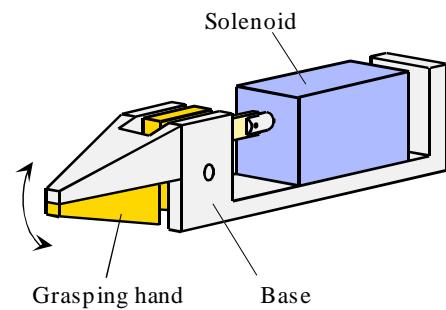


Fig. 5 Hand part of the forceps

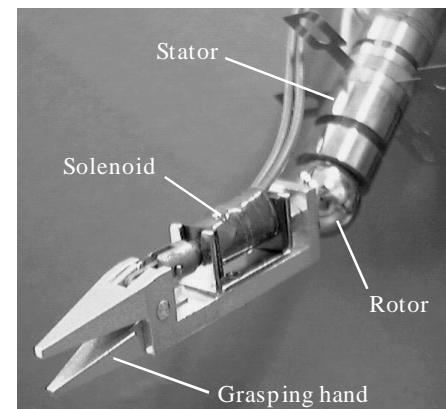


Fig. 6 Forceps generating a multi DOF motion

ソレノイドへの入力電圧を調整することによって、把持力を変化させることができる。Fig. 5 に製作した先端ハンド部を示す。全長は約 40 mm、質量は約 11 g である。本ハンド部での発生トルクは、ソレノイドへの入力電圧 7.58 V、10% 間欠とした場合に、0.15 mNm であった。

#### 3.2. 全体構造

Fig. 6 に多自由度超音波モータの振動子と 3.1 節で述べた先端ハンド部から構成した多自由度鉗子を示す。振動子の全長が約 30mm であるのに対し、先端ハンド部の全長が約 40mm であり、先端ハンド部の更なる小型・軽量化が必要であると考えられる。

#### 4. おわりに

回転子を互いに直交する 3 軸周りに回転させることができ多自由度超音波モータを用いて、先端部においてヒト手首関節のような多自由度運動を発生できる多自由度鉗子を製作した。今後は、先端ハンド部の小型・軽量化を図るとともに、術者側インターフェースの開発も行う予定である。

#### 参考文献

- [1] 大上ら：内視鏡手術におけるロボティクスの応用 - Solo-surgery から遠隔手術指導まで - , 医療とコンピュータ , Vol. 9 , No. 5 , pp. 14-19 , 1998 .
- [2] 生田ら：腹腔内手術用ハイパーエンドスコープの研究 (第 2 報) , 第 17 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集 , pp. 675-676 , 1999 .
- [3] 河合ら：微細マニピュレータ用微細鉗子の開発 , 第 17 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集 , pp. 673-674 , 1999 .
- [4] 前野ら：縦振動と曲げ振動の縮退に基づく多自由度超音波モータの開発 , 日本ロボット学会誌 , Vol. 16 , No. 8 , pp. 1115-1122 , 1998 .