

## クラッチ機能を備えた超音波アクチュエータ（第2報） —構成と動作特性—

室蘭工業大学 ○武村剛志, 青柳学, 東北工業大学 高野剛浩, 山形大学 田村英樹, 富川義朗

An ultrasonic actuator with built-in clutch mechanism  
—Construction and operating characteristics—

Muroran Institute of Tech. Tsuyoshi TAKEMURA, Manabu AOYAGI,

Tohoku Institute of Tech. Takehiro TAKANO, Yamagata Univ. Hideki TAMURA, Yoshiro TOMIKAWA

There is a great possibility that an ultrasonic motor (USM) can effectively reproduce realistic feelings of hardness and roughness on a virtual object in a haptic virtual reality system due to its rapid response characteristic. However, the state of torque free does not exist in an ordinal USM, because a stator vibrator is preloaded to a rotor or slider and a braking force always occurs. It is hard to arbitrarily change the preload of an USM while operating. In this study, an ultrasonic actuator with clutch function, which can electrically control a preload, was developed by using piezoelectric actuators and mechanical amplifier. As a result, this ultrasonic actuator was able to widely control generations of driving torque and reaction from zero to maximum.

### 1. はじめに

コンピュータ画面の仮想物体の感触を力触覚デバイスにより表現でき、工業デザイン、手術トレーニング、アミューズメントなどに応用されている<sup>[1][2]</sup>。現在の力触覚デバイスは電磁モータを使用しているため、主に柔らかい感触の表現には優れるが、硬い感触の表現は容易でない<sup>[3]</sup>。一方、超音波モータは保持力が強く、摩擦駆動で高速応答のため、リアルな粗い感触や硬い感触の表現に有利であると考えられる。しかし、通常の超音波モータは常にステータがロータに接触しているため、仮想物体に触れていない感触を表現しにくい問題がある。

本研究の目的は電氣的に予圧力を変化できるクラッチ機能を備え、トルクフリー状態を有する超音波アクチュエータを考案し、検討することである。予圧制御と推力発生に異なる2種類のアクチュエータを用いている。本報告では構成および動作特性の一例について報告する。

### 2. 構成および動作原理

Fig.1 にクラッチ機能を備えた超音波アクチュエータを示す。このアクチュエータは推力を発生する超音波アクチュエータ (USM) 部と予圧を制御する圧電クラッチ部から構成されている。また、ロータのシャフトに取り付けられたレバーによって、1 軸回転上の感触を簡単に得ることができる。

#### 2.1 推力発生用超音波アクチュエータ

2つの積層圧電アクチュエータ (MPA) (2x3x5mm<sup>3</sup>) が変位拡大機構の上のホルダー内に直交配置され、USM 部が構成されている。位相差が 90 度異なる正弦波交流電圧に振幅値と等しい直流電圧を加えた電圧を2つのMPAにそれぞれ印加することで、USM 部の先端に楕円変位が発生する。この先端をロータに接触させることで、摩擦力によりロータを回転させる。

#### 2.2 予圧制御用圧電クラッチ

圧電クラッチ部は2つのMPA (5x5x20mm<sup>3</sup>) とホルダーおよび変位拡大機構から構成されている。通常、USM 部の先端がロータに予圧されているためブレーキ発生状態となっている。2つのMPAに直流電圧を印加することでFig.1に示すようにMPAが伸び、変位拡大機構の両側を押し広げる。拡大された変位によりUSM部の先端がロータから離れ、トルクフリー状態となる。

### 3. 変位特性 (圧電クラッチ)

Fig.2 に示すように、光学変位計 (OPTOMETRIC10-II) を用いて O 点の変位を測定した。圧電クラッチ部のMPAにステップ状の電圧を印加した時の O 点の変位を Fig.3(a)に示

す。印加電圧の立ち上がり直後に変位も変化していることがわかる。しかし、印加電圧の立ち上がり直後は変位が安定しなかった。これは変位拡大機構上の残留振動であり、印加電圧の立ち上がり時間に依存する<sup>[4]</sup>。そこで印加電圧の立ち上がり時間を変え、残留振動が抑制される立ち上がり時間を測定した。その結果、Fig.3(b)に示すように印加電圧の立ち上がり時間が 3ms のときに残留振動が抑制され、印加電圧立ち上がり直後の変位が安定した。したがって、印加電圧の立ち上がり時間を調整することで、この力触覚デバイスを使用するユーザーにクラッチ動作による振動が伝わらなくすることができると考えられる。

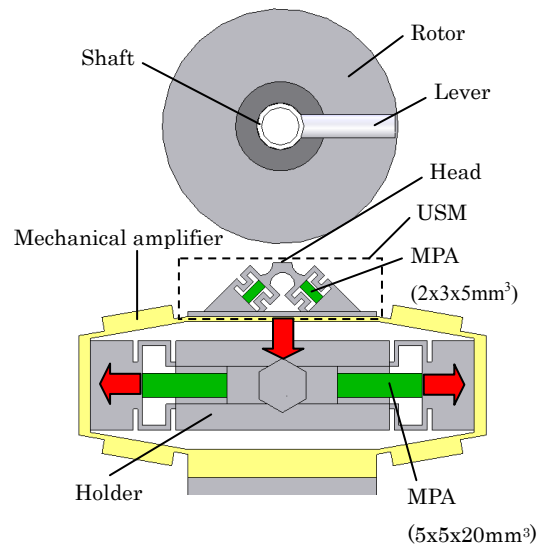


Fig.1 Ultrasonic actuator with piezoelectric clutch.

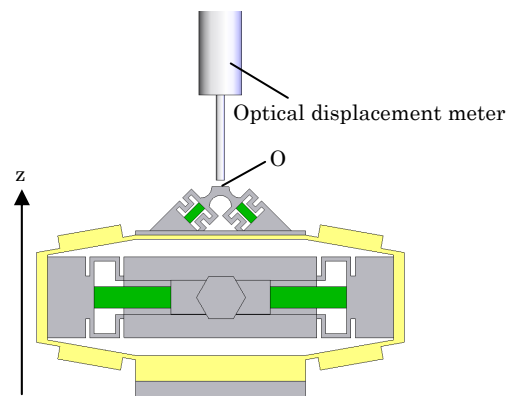
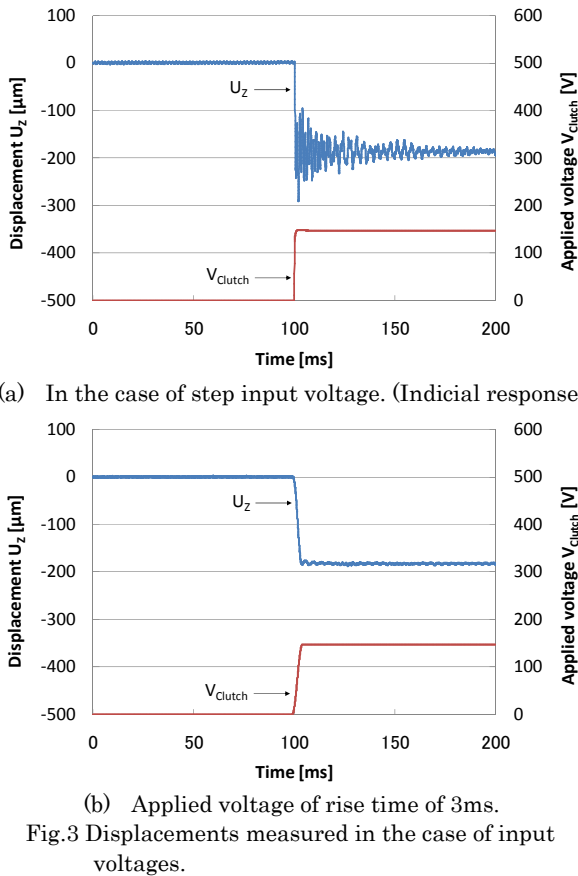
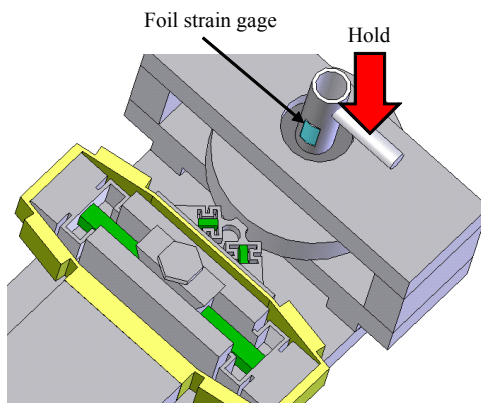


Fig.2 Measurement of displacement at point O.



4. トルク特性

コンピュータ画面上に表示される仮想物体の反発力を表現するためには、アクチュエータの発生トルクを把握し、制御する必要がある。Fig.4 に示すようにロータのシャフトを固定し、シャフトにひずみゲージを貼り付け、アクチュエータを動作させたときのシャフトのひずみ測定より、アクチュエータが発生するトルクを求めた。



4.1 USM によるトルク特性

USM 部の先端とロータ間に 15.7N の初期予圧を与え、USM 部の MPA に印加する 31.0kHz の正弦波電圧を変化させたときのトルク特性を Fig.5 に示す。トルクは印加電圧 38V<sub>p-p</sub> から増加し始めた。USM 部の MPA に印加する電圧の大きさを変えることでトルクを制御できることを確認した。

4.2 圧電クラッチによるトルク特性

USM 部の先端とロータ間に 24.5N 初期予圧を与え、USM 部の MPA に 44V<sub>p-p</sub>, 31.0kHz の正弦波電圧を印加した。圧電クラッチ部の MPA に印加する直流電圧に対するトルク特性を Fig.6 に示す。印加電圧を増加すると、40V まで発生トル

クは得られなかった。これは USM 部の先端とロータ間の予圧が強すぎるためと考えられる。40V からトルクは増加し、86V でトルクが最大になり、その後 120V までトルクは減少した。120V 以上では予圧が小さすぎるか USM 部の先端がロータから分離するためトルクは発生しなかった。圧電クラッチ部の MPA に印加する電圧の大きさを変えることでトルクを制御できることを確認した。

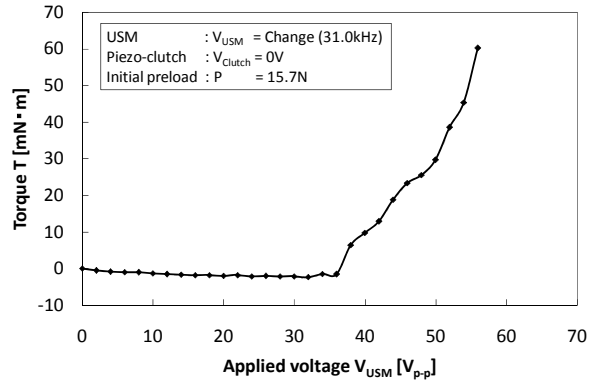


Fig.5 Torque vs. voltage applied to MPAs of USM.

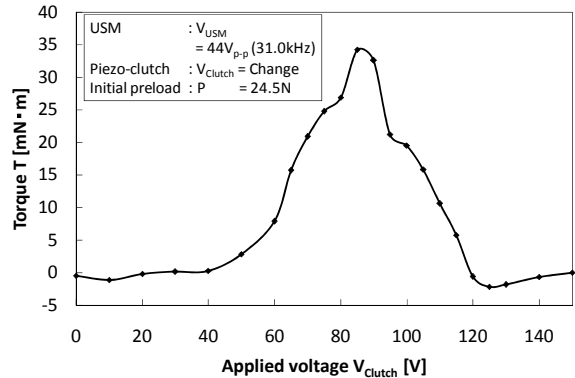


Fig.6 Torque vs. voltage applied to MPAs of piezoelectric clutch.

5. まとめ

印加電圧の立ち上がり時間を調整することで変位拡大機構の残留振動を抑制することができた。これにより、クラッチ動作による振動が力触覚デバイスを使用するユーザーに伝わらなくすることができると考えられる。また、USM 部または圧電クラッチ部に印加する電圧を変化させることで、トルクの制御が行えることがわかった。トルクを制御することで、コンピュータ画面上の仮想物体の反発力を表現できると考えられる。

謝 辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究(B) (課題番号 18360109) による補助のもとで行われた。

文 献

[1] <http://www.sensable.com/>  
 [2] S.Tachi, K.Komoriya, K.Sawada, T.Nishiyama, T.Itoko, M.Kobayashi, and K.Inoue, "Telexistence cockpit for humanoid robot control," *Advanced Robotics*, vol.17,pp.199-217,2003.  
 [3] M.Aoyagi, T.Tomikawa, T.Takano, "A Novel Ultrasonic Motor with a Built-in Clutch Mechanism for a Force-feed-back Actuator," *2004 IEEE Ultrasonics Symposium*,p.2239,2004  
 [4] 古谷克司, 古田淳, "シミュレーションによる電流パルスを用いた圧電アクチュエータの駆動評価," 第 19 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム講演論文集,pp.309-312,2007