

クラッチ機能を備えた超音波アクチュエータの構成 (第4報) —力触覚提示への応用の試み—

室蘭工業大学 ○武村剛志, 秋庭啓次郎, 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 (No. 4)
—Trial application for force-feedback interface—

Muroran Institute of Tech. Tsuyoshi TAKEMURA, Keijiro AKIBA, Manabu AOYAGI,
Tohoku Institute of Tech. Takehiro TAKANO, Yamagata Univ. Hideki TAMURA, Yoshiro TOMIKAWA

In the case of using an ultrasonic motor (USM) to a haptics as the actuator for a force-feedback interface, however, an ordinal USM hasn't the state of torque free that gives a user no feeling, because a stator vibrator is preloaded to a rotor or slider and a braking force always occurs. Therefore, an ultrasonic actuator with clutch function, which can electrically control a preload, was developed in this study. Some virtual feelings were presented to a user by controlling a preload and the thrust of V-shaped USM. As a result, this ultrasonic actuator was able to reproduce realistic feelings of hardness and roughness on a virtual object effectively. On the other hand, it was difficult to reproduce the feeling of softness on a virtual object, because a thrust of this ultrasonic actuator was small.

1. はじめに

力触覚デバイスは、コンピュータ画面に表示される仮想物体の触感を提示でき、様々な方面への応用が期待されている^{[1][2]}。電磁モータを使用している既存の力触覚デバイスは、主に柔らかい触感の表現には優れるが、硬い触感の表現は容易でない^[1]。一方、超音波モータは摩擦駆動であり、応答性に優れるため、リアルな粗い触感や硬い触感の表現に有利であると考えられる^[3]。しかし、通常の超音波モータは常にステータがロータに予圧され、自己保持力を有しているため、仮想物体に触れていない触感を表現しにくいという問題がある。

本研究の目的は電氣的に予圧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力触覚提示用超音波アクチュエータを実現することである。本報告では力触覚提示システムの構成およびアクチュエータの制御実験結果について報告する。

2. アクチュエータの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の概略図を示す。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、シャフトに取り付けられたレバーの操作により、1 軸回転上の触感を簡単に得ることができる。

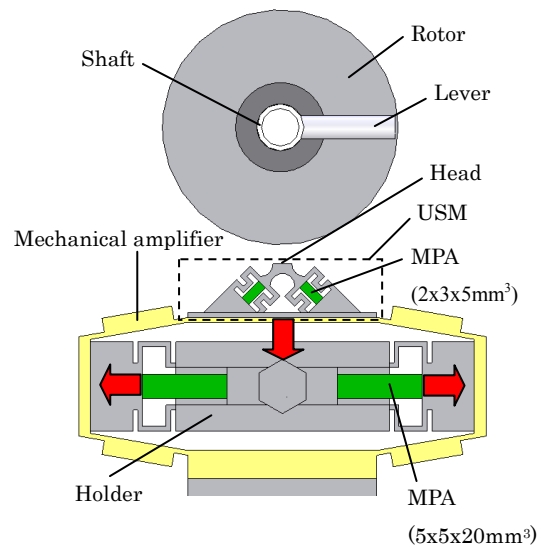


Fig.1 Ultrasonic actuator with piezoelectric clutch.

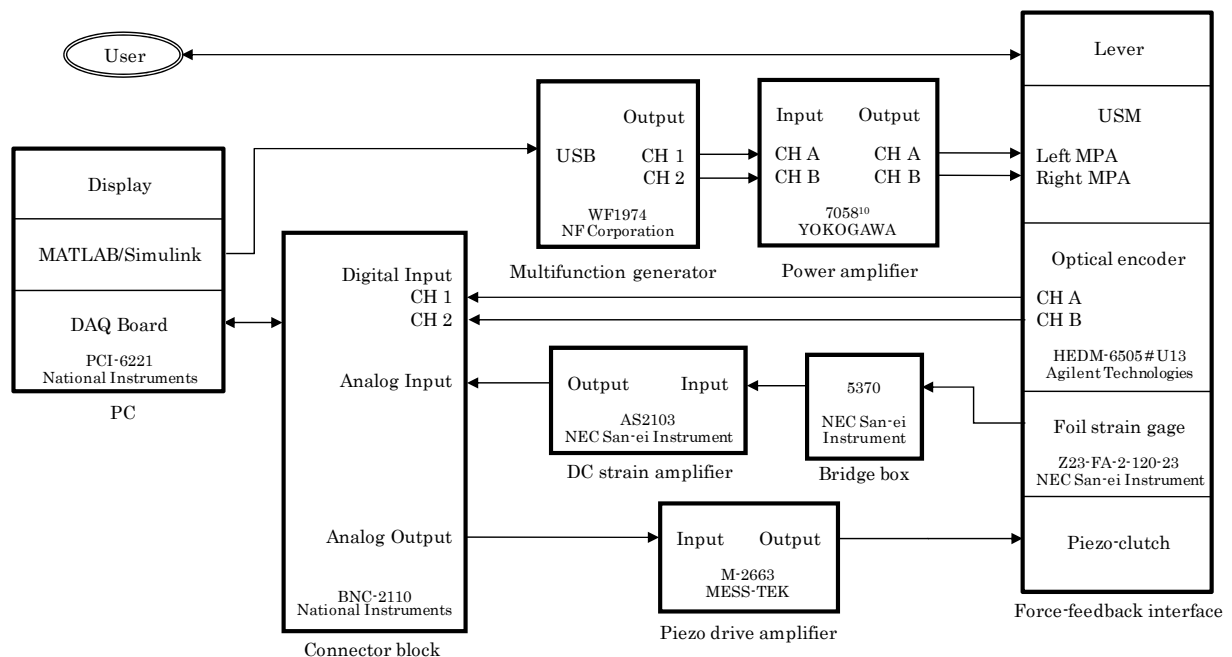


Fig.2 Block diagram of force-feedback system.

2.1 推力発生用超音波アクチュエータ (USM)

2つの積層圧電アクチュエータ (MPA; NEC トーキン AE0203D04, 2x3x5mm³) 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単極性になるように振幅値と等しい直流バイアスを加え、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を発生させる。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(NEC トーキン AE0505D16, 5x5x20mm³) 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状態となっている。2つのMPAに直流電圧(クラッチ電圧)を印加すると、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ることで予圧を制御し、トルクフリー状態を実現する。

3. 力触覚提示システム

力触覚提示システムの構成をFig.2に示す。ユーザーは力触覚デバイスのレバーを操作することで仮想物体の感触を得ることができる。シャフトに取り付けたロータリエンコーダから出力された2相のパルスが、端子台を通してコンピュータ(PC)内のデータ集録(DAQ)ボードに入力される。また、シャフトに貼り付けたひずみゲージをブリッジボックスに接続し、動ひずみ測定器によりシャフトのひずみを検出してDAQボードに入力される。PC上でプログラム(MATLAB/Simulink)によってロータリエンコーダの出力からレバーの角度と回転速度を求め、ひずみゲージの出力から反力を求める。それらの値をもとに決定されたクラッチ電圧をDAQボードから出力する。それを高出力増幅器で増幅し、圧電クラッチ部のMPAに印加することでUSM部の先端とロータ間の予圧を制御する。また、ファンクションジェネレータの出力を制御し、電力増幅器を介してUSM部の2つのMPAにそれぞれ印加することでUSMの推力を制御する。さらに、プログラムによってディスプレイ上に仮想物体を表示し、レバーの動きと仮想物体の動きを連動させている。このシステムを用いて、壁に触る硬い感触、複数の突起に触る粗い感触、バネに触る柔らかい感触などを再現した。

4. 感触の再現の一例

Fig.3に示すような壁を仮想物体として設定し、力触覚提示システムを用いて壁に触れたときの感触を再現した一例について報告する。レバーを操作して壁に触れたときの、反力、クラッチ電圧、レバーの角度の測定結果をFig.4に示す。なお、この感触の再現時にはUSM部を駆動せず、USMによるトルクは発生していない。

・A区間 (トルクフリー状態)

クラッチ電圧150Vが印加されておりUSM部の先端とロータが離れている。この時はトルクフリー状態であり、レバーを自由に動かすことができる。

・B区間 (ブレーキ状態)

レバーが壁のある位置(0deg)にきた時にクラッチ電圧を0Vに下げることでUSM部の先端とロータが接触し、ブレーキがかかる。これによりレバーの動きが止められ、壁の反力を感じることができる。

・C区間 (トルクフリー状態)

壁から離れる方向に力を入れると反力が反対方向に発生するため、その瞬間に圧電クラッチ部のMPAに再び150Vの電圧を印加する。それによって再びトルクフリー状態となり、レバーを自由に動かすことができる。

レバーを動かす速度が速いほどブレーキをかけたときの停止位置の誤差が大きくなる。そこで、(1)式を満たしたときにブレーキをかける制御を行った。その結果、停止位置の誤差

を±0.1deg以内にする事ができた。

Target angle [deg] (0deg)

$$= \text{Lever angle [deg]} - \text{Rotation speed [deg/s]} \times 0.001 \quad (1)$$

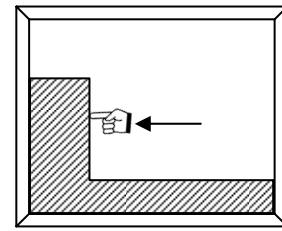


Fig.3 Virtual wall on display.

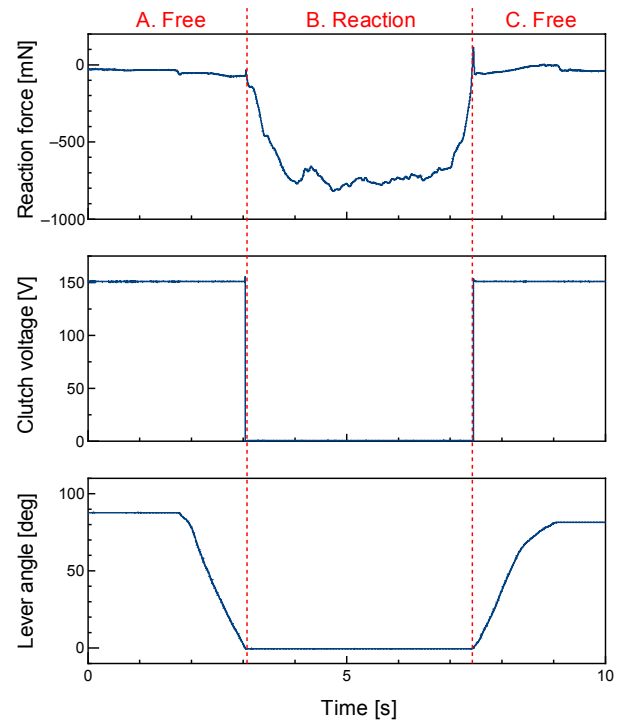


Fig.4 Resulting reaction force, clutch voltage and lever angle at virtual wall.

5. まとめ

レバーの角度と回転速度および反力を検出して、それらの値をもとにクラッチ電圧を決定し、USM部の先端とロータ間の予圧を制御する力触覚提示システムを試作した。このシステムを用いて壁に触れたときの感触を再現することができた。また、レバーを動かす速度に応じてブレーキをかけるタイミングを制御することで、停止位置の誤差を±0.1deg以内にする事ができた。この力触覚デバイスは硬い感触や粗い感触の提示には適していたが、USMの推力が小さいため柔らかい感触の提示は困難であった。今後改良が必要である。

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