

クラッチ機能を備えた超音波アクチュエータの構成

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

Construction of ultrasonic actuator with built-in clutch mechanism

Muroran Institute of Tech. Tsuyoshi TAKEMURA, Manabu AOYAGI,

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

The state of torque free does not exist in ordinal ultrasonic actuator because a stator vibrator is always preloaded to a rotor or slider. It is hard to arbitrarily change the preload of an ultrasonic actuator 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. This ultrasonic actuator can have a wide dynamic range of torque. As a result, a clutch function and high-speed response were realized.

1. はじめに

コンピュータの画面上に表示される仮想物体の感触を得ながら操作可能な力触覚デバイスが開発されている。これは工業デザインやアミューズメント、手術などの各種体感シミュレーションに応用できる^{[1][2]}。しかし、従来の力触覚デバイスは主に電磁モータを使用しているため主にやわらかい感触の表現に優れるが、硬い感触の表現は十分とは言えない^[3]。一方、超音波モータは高速応答性に優れるため、粗い感触や硬い感触の表現に有効であると考えられる。しかし、通常の超音波モータは常にロータが予圧された状態であるため、仮想物体に触れていない状態を表現できない。本研究の目的は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、電気的に予圧力を変化できるクラッチ機能を備えた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。本報告では構成および試作特性について報告する。

2. 構成および動作原理

クラッチ機能を備えた超音波アクチュエータを Fig.1 に示す。推力発生には第 2 次縦振動モード (L₂-mode) と第 5 次屈曲振動モード (B₅-mode) を利用した L₂-B₅ 超音波アクチュエータを使用し、ロータを回転する。また、クラッチ機能には積層圧電アクチュエータ (MPA) を使用し、MPA の変位を変位拡大機構により拡大することで予圧制御を行う。

2.1 予圧制御用圧電クラッチ

Fig.1 に示すように、MPA に直流電圧を印加することで MPA が伸び、変位拡大機構の両サイドを押し広げる。拡大された変位により、ロータに予圧されていた超音波アクチュエータ (USM) 部がロータから離れる。

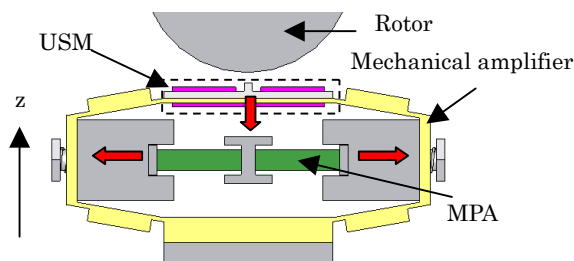


Fig.1 Ultrasonic actuator with piezoelectric clutch.

2.2 推力発生用超音波アクチュエータ

Fig.2 に示すように、厚み分極された 2 枚の圧電板を分極方向を互いに逆向きにして超音波アクチュエータ部の上側に接着されている。これらに正弦波を印加すると Fig.3(a) に示すような L₂-mode が部分的に励振されて超音波アクチュエータ部の突起が左右に振動する。次に、電極が 5 分割され交互に分極処理された圧電板が下側に接着されている。これに正弦波を印加すると Fig.3(b) に示すような B₅-mode が励振されて突起が上下に振動する。これらの圧電板に位相差が 90 度の正弦波を印加することで突起に楕円振動を発生させ、ロータを回転させる。

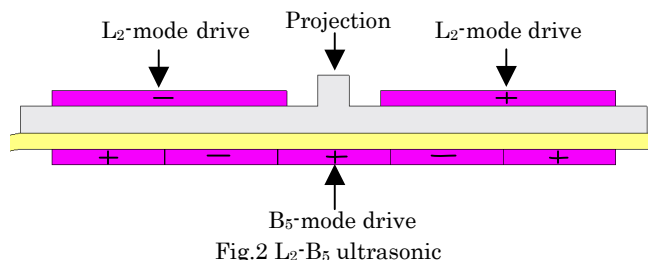


Fig.2 L₂-B₅ ultrasonic

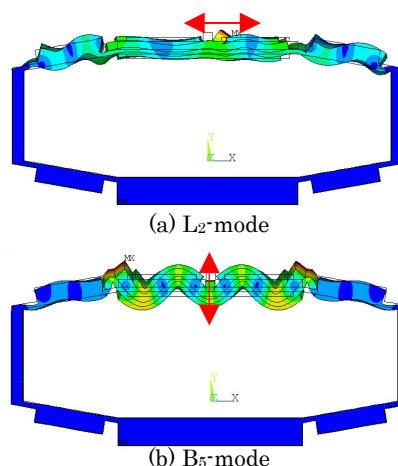


Fig.3 Results of finite element method analyses. (modal analysis).

3. 変位特性 (圧電クラッチ)

Fig.4 に示すように、MPA に 100[mHz]、150[V] の三角波を印加した時の A 点、B 点、O 点 (突起部) の変位を光学変位計 (OPTOMETRIC10-II) を用いて測定した。Fig.5 に示すように、A 点および B 点の最大変位はそれぞれ 16.6[μm]、13.2[μm]であった。両者の和が 2 つの MPA が発生した変位であり、最大変位は 29.8[μm]であった。O 点の最大変位は 162.5[μm]であったことから、変位拡大機構により MPA が発生した変位を約 5.5 倍に拡大できた。

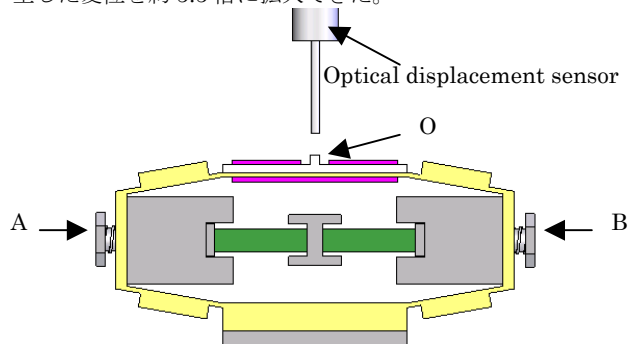


Fig.4 Measurements of displacements.

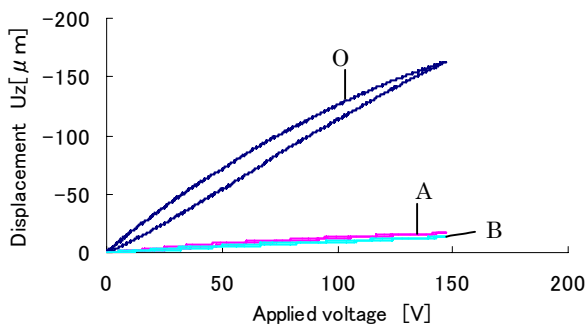


Fig.5 Measured displacements at each point.

4. 圧接力測定 (圧電クラッチ)

Fig.6 に示すように、荷重計と突起部に 17.5[N]の初期予圧を加え、MPA に 100[mHz]、150[V]の三角波を印加した時の突起部の圧接力を荷重計で測定した。測定結果を Fig.7 に示す。印加電圧の増加方向では、90.0[V]で荷重計と突起が分離して圧接力が 0[N]となり、印加電圧の減少方向では、78.6[V]以下で荷重計と突起が接触して圧接力が増加した。

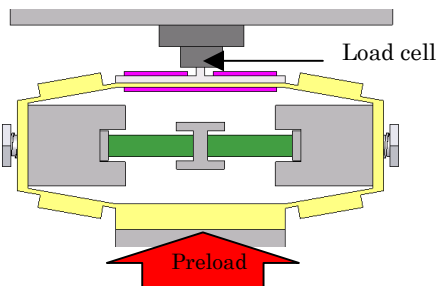


Fig.6 Measurement of contact force.

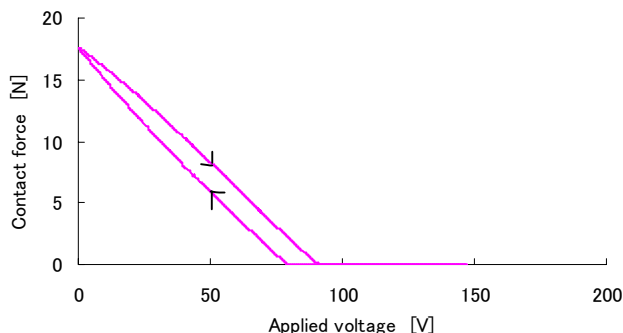


Fig.7 Measured characteristics of contact force.

5. 変位応答時間特性 (圧電クラッチ)

MPA に 1[Hz]、150[V]の矩形波を印加し、立ち上がり時の変位応答時間の測定結果を Fig.8 に示す。立ち上がり後は変位拡大機構が振動するため、変位が安定しなかった。印加電圧立ち上がりから目標変位値である -162.5[μm]まで達する時間を応答時間とすると応答時間は 0.49[ms]であり、高速応答であった。

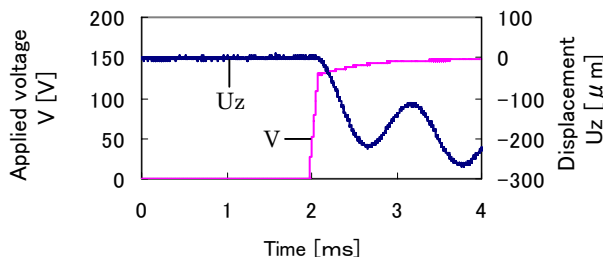


Fig.8 Measured characteristics of time response of displacement at point O.

6. 共振周波数 (超音波アクチュエータ)

汎用有限要素法解析ソフト (ANSYS) を用いた解析により、両モードの共振周波数はともに 102[kHz]が得られた。しかし、超音波アクチュエータ部でのクラドニの砂図の観察の結果、102[kHz]において L_2 -mode が励振され、Fig.9 に示すような砂図が得られた。また、Fig.10 に示すように 91[kHz]において B_5 -mode を示すような砂図が得られた。しかし、 B_5 -mode の共振周波数が設計値から大きくずれたために、2つのモードを同時に励振できず、突起部に楕円振動を発生できなかった。

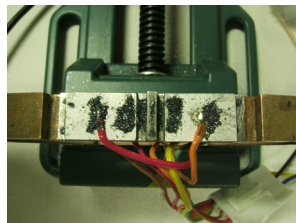


Fig.9 Chladni sand figure of L_2 -mode.

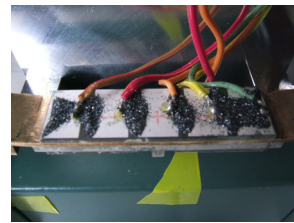


Fig.10 Chladni sand figure of B_5 -mode.

7. クラッチ動作を伴った回転

突起部に楕円振動を発生できないため、ロータに突起を斜めに接触させ、 B_5 -mode のみでロータを突っつくように回転させた。同時に MPA に矩形波を印加してクラッチ動作を試みた時のロータの回転速度の変化を Fig.11 に示す。ロータに取り付けたエンコーダからの出力を F/V コンバータで直流電圧に変換することで回転速度を測定した。電圧印加時にはロータが回転せずクラッチ動作を伴った超音波アクチュエータの動作が確認された。

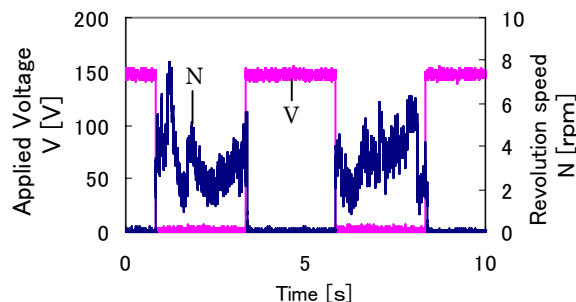


Fig.11 Characteristics of revolution speed.

8. まとめ

高速応答のクラッチ機能を有する超音波アクチュエータが実現できた。しかし、MPA に矩形波を印加した時の変位拡大機構の振動を抑制する必要がある。また、変位拡大機構と一体の超音波モータの製作は調整が困難なため、変位拡大機構と超音波アクチュエータを別々に製作して、組み合わせる構成が実際的であると考えられる。

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