

圧電クラッチによるトルク制御の検討

室蘭工業大学大学院 ○桶谷涼太, 青柳学, 東北工業大学 高野剛浩, 田村英樹

要 旨

超音波モータのステータに圧電クラッチを組み合わせることで、電氣的に予圧が制御可能である。駆動時に発生する摩擦ムラによるトルク変動は予圧を制御することで抑制可能である。本報告では超音波モータの予圧制御法によるトルク制御について報告する。駆動電圧、周波数が一定の条件下でステータを駆動したとき、時間的に変化する負荷に対して予圧制御により回転速度の一定制御が可能であることを確認した。

1.はじめに

超音波モータ (USM) はステータ振動子とロータやスライダ間の摩擦力によって駆動するため高速応答である。しかし、一般的に USM の動作中に予圧を任意に変化させることは困難であるが、動作中に予圧を調整できれば、動作範囲の拡張、安定性の向上などが期待される。

本研究の目的は、電氣的に予圧力を変化させる高速動作可能なクラッチ機能を備える超音波アクチュエータシステム(AS)を実現することである [1-2]。本報告では、USM の予圧制御法によるトルク制御について報告する。

2.構成及び動作原理

Fig.1 に本研究で使用する AS の構成を示す。この装置は電磁モータ、超音波モータ (USM)、変位拡大機構を用いた圧電クラッチで構成されたハイブリッド AS である[3]。ただし、本報告では電磁モータは使用しない。

A. 推力発生用超音波モータ

Fig. 2 に示すように2つの積層圧電アクチュエータ (MPA) を変位拡大機構の上に V 字形に直交するように配置する。それぞれの MPA に位相の異なる正弦波を印加することで、先端に楕円変位を発生させる。USM 部の先端がロータに接触した際の摩擦力によってロータを回転させる。速応性に優れ、無給電で自己保持できる特徴を持つ。

B. 予圧制御用圧電クラッチ (変位拡大機構)

Fig. 3 に示すように USM 部の先端はロータに常に予圧されている。直流電圧の印加により MPA が伸び、変位拡大機構が両側に押し広げられる。その結果、拡大された変位により先端がロータから分離する。USM 非駆動時にはブレーキとして動作する。MPA の高速応答により、接触・分離が高速に行われる。

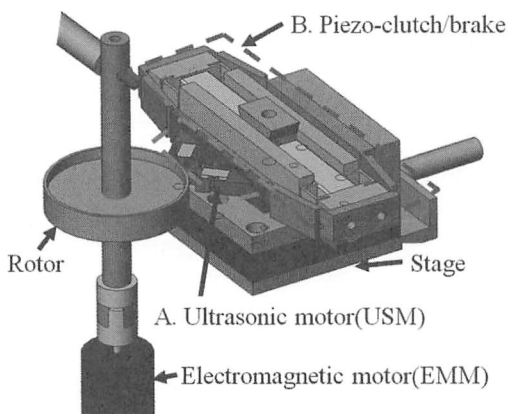


Fig.1 Hybrid actuator system.

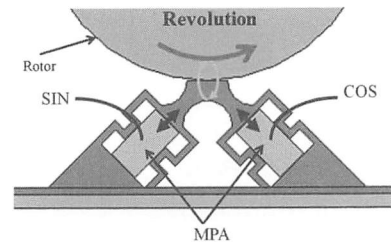


Fig. 2 Operating principle of USM.

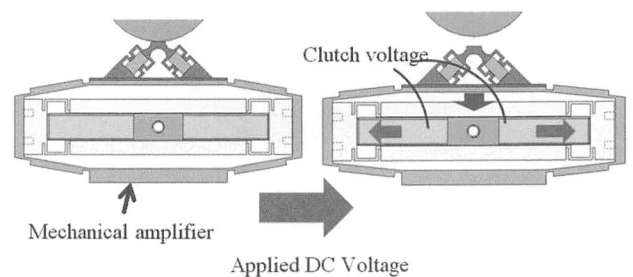


Fig. 3 Operating principle of piezo-clutch.

3.USM の回転速度ートルク特性

クラッチ電圧により予圧力を変化させたときの回転速度ートルク特性の測定を行った結果を Fig. 4 に示す。ここで、初期予圧を 112N に設定し、USM の駆動電圧を一定とした。測定の結果、負荷に対して直線的に変化する垂下特性が得られた。また、クラッチ電圧の変化に対して速度変化の傾きが変化した。このような特性は、直流機の界磁制御特性に近いものであり、USM の予圧制御は EMM の界磁制御と類推できる。高速な電氣的予圧制御により界磁制御と同様な新たな USM の制御方法が可能である。

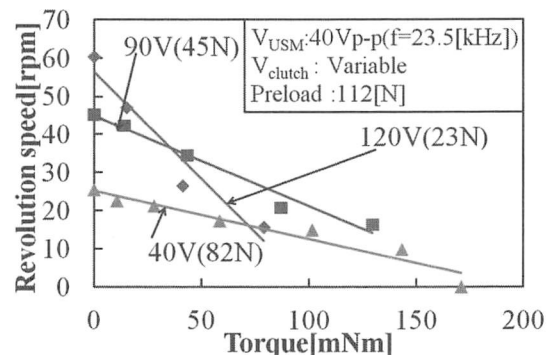


Fig. 4 Revolution speed vs torque with preloads changed by applied voltage to MPAs of piezo-clutch.

4. 負荷変動に対する USM 回転速度一定制御

負荷を連続的に変化させ、予圧制御による回転速度一定制御を行った。Fig. 5 に示すようにシャフトに巻きつけたワイヤーの摩擦力を用いて負荷を加えた。ワイヤーは片端固定、他端は負荷調節用としてモータで引張力を加えた。

まず、初期予圧を 112N、圧電クラッチ部の MPA への印加電圧を 40V 一定、USM 部に 40Vp-p、23.5kHz の正弦波電圧を印加して USM を駆動した。負荷用モータに印加する電圧を PWM 制御し、負荷を 0.1Hz で正弦的に変化させたときの回転速度特性を測定した結果を Fig. 6 に示す。負荷の増減による速度変化が確認された。また、USM 先端とロータの摩擦ムラの影響により回転速度にもムラがみられた。

次に、MATLAB/Simulink による PID 制御を用いてクラッチ電圧を変化させ、回転速度を一定 (15rpm) に制御した状態で同様の測定を行った結果を Fig. 7 に示す。負荷の変化に対してクラッチ電圧を増減することで回転速度を一定に制御できることを確認した。これより加わった負荷に対してクラッチによりトルクを制御することで速度を一定に保つことが可能であることが分かった。

また、時間経過とともにクラッチ電圧の変化が大きくなっているのは USM 部の発熱による出力減少が原因と考えられる。

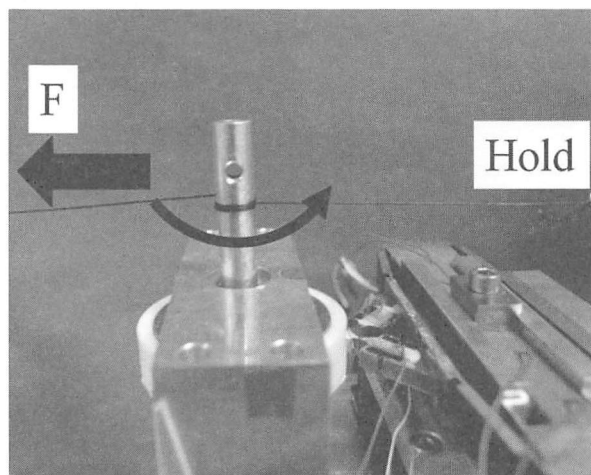


Fig. 5 Experiment method of measurement of load characteristics.

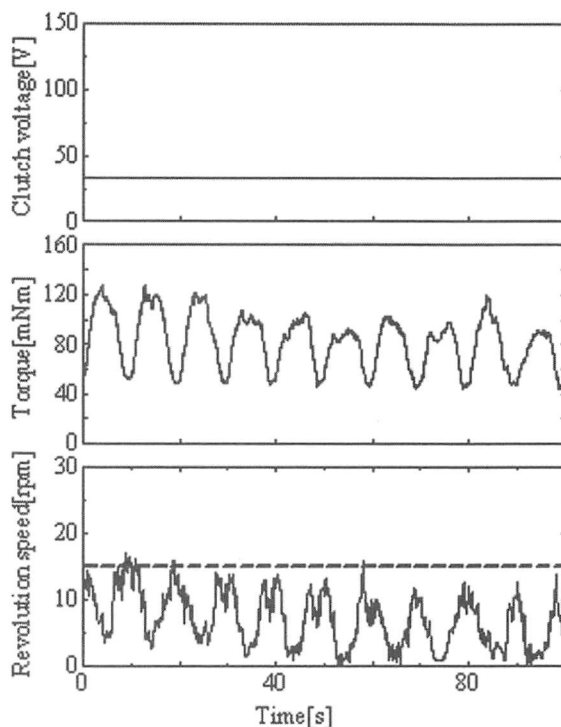


Fig.6 Revolution speed and torque of USM without preload control.

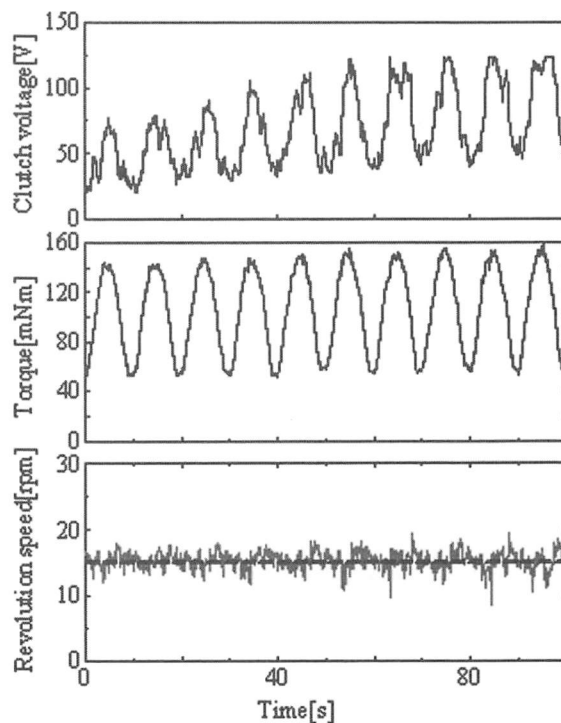


Fig. 7 Revolution speed and torque of USM with preload control by piezo-clutch.

5. まとめ

超音波モータの予圧によるトルク制御の検討を行った。変化する負荷に対して予圧を制御することによりトルク制御しながら回転速度を一定に保つことが可能であることを確認した。

今後の課題は、圧電クラッチを用いた予圧制御による超音波モータ特性改善の検討である。

文献

- [1] T. Takemura, M. Aoyagi, T. Takano, H. Tamura, and Y. Tomikawa, "Hybrid Ultrasonic Actuator for Force-Feedback Interface," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.47, No.5 2008, pp. 4265-4270
- [2] 青柳, 武村, 秋庭, 高野, 田村, 富川 "超音波モータの予圧制御と力覚提示への応用", 第 21 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.445-450, 2009.
- [3] 桶谷, 青柳, 高野, 田村 "クラッチ機能を備えた超音波アクチュエータの構成 (第 5 報) —電磁モータとのハイブリット化の試み—", 2011 年度精密工学会春季大会, M14, 2011