

## 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—

室蘭工業大学 ○桶谷涼太, 青柳学, 東北工業大学 高野剛浩, 田村英樹

An ultrasonic actuator with built in clutch mechanism (No.5)

—Trial hybrid composition with electromagnetic motor—

Muroran Institute of Technology, Ryota OKEYA, Manabu AOYAGI,

Tohoku Institute of Technology, Takehiro TAKANO, Hideki TAMURA

It is difficult for the ultrasonic motor to change the preload while driving. Then, an ultrasonic actuator that was able to electrically control a preload was developed by combining piezoelectric motor with clutch function in this study. In this paper, a hybrid actuator system combining an electromagnetic motor (EMM) with a piezoelectric motor was proposed and examined. The driving range can be widened by combining the both actuators with a different characteristic. As one of results, a risetime of revolution can be shortened by assisting with the ultrasonic motor at the start of an EMM driving in this system.

### 1. はじめに

超音波モータ (USM) は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。さらに, USM は位置を保持するために大きな電力を消費しない。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。しかし, 駆動中に予圧を変化させることにより, 動作範囲を広げることが可能となる。

本研究の目的は電氣的に予圧力を変化させるクラッチ機能を備え, トルクフリーの特性を有する超音波アクチュエータシステムを実現することである [1][2]。本報告では, 従来のアクチュエータシステムに電磁モータを組み合わせたハイブリットアクチュエータシステム (ハイブリット AS) について報告する。2つの異なる特性を持つアクチュエータを組み合わせることにより, 幅広い動作範囲を持つアクチュエータシステムとすることができる。この AS は, 幅広い感触を実現可能な力覚デバイスとしての応用が期待できる。

### 2. 構成及び動作原理

Fig.1 に試作したハイブリット AS の構成を示す。この装置は電磁モータ (コアレス DC モータ) 部, 超音波モータ (USM) 部, 変位拡大機構を用いた圧電クラッチ部で構成されている。

#### 2.1 推力発生用超音波モータ

Fig.1 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直交するように配置する。それぞれの MPA の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することで, 摩擦によってロータを回転させる。

#### 2.2 予圧制御用圧電クラッチ

通常, USM 部の先端はロータに予圧されている。そこに 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離れる。

#### 2.3 電磁モータ

界磁に永久磁石を用いたコアレスモータを用いる。無鉄心により慣性モーメントが小さい。

### 3. ハイブリット駆動

#### 3.1 実験方法

電磁モータと超音波モータのハイブリット駆動方法を Fig.5 に示す。まず, 電磁モータ・超音波モータを同時に駆動する。回転速度が設定値に達したときクラッチにより超音波モータを切り離し, 以降は電磁モータのみで駆動した。回転速度の測定およびクラッチオフのタイミングは, MATLAB/Simulink を用いて制御をおこなった。

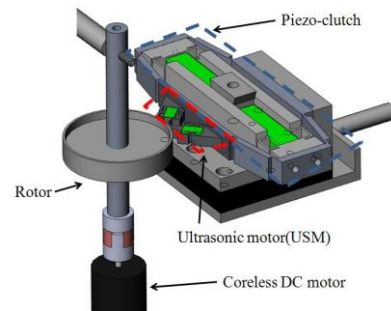


Fig.1 Hybrid actuator system.

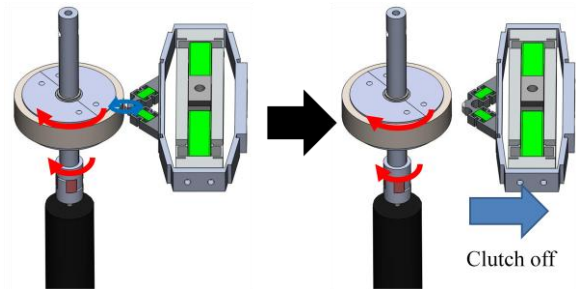


Fig.2 Operating method of hybrid drive.

#### 3.2 実験結果

今回, 超音波モータを切り離す回転速度を 25[rpm] と設定し実験を行った結果を Fig.6 に示す。電磁モータ単独で駆動するときと比較して, 超音波モータと併用して駆動した場合には, 立ち上がり時間がおよそ 20%短縮した。モータは立ち上がり時に USM のアシストを受けて, ほぼ USM の特性で立ち上がった。

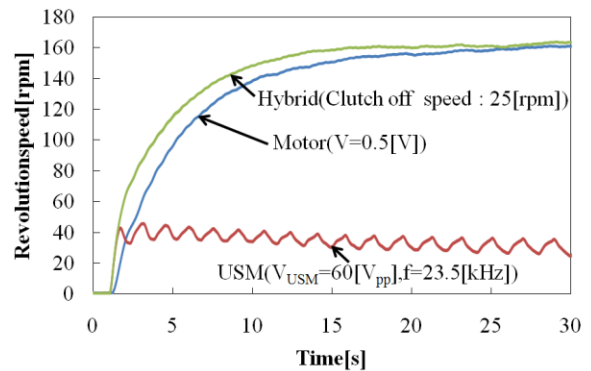


Fig.3 Transient responses of revolution speed.

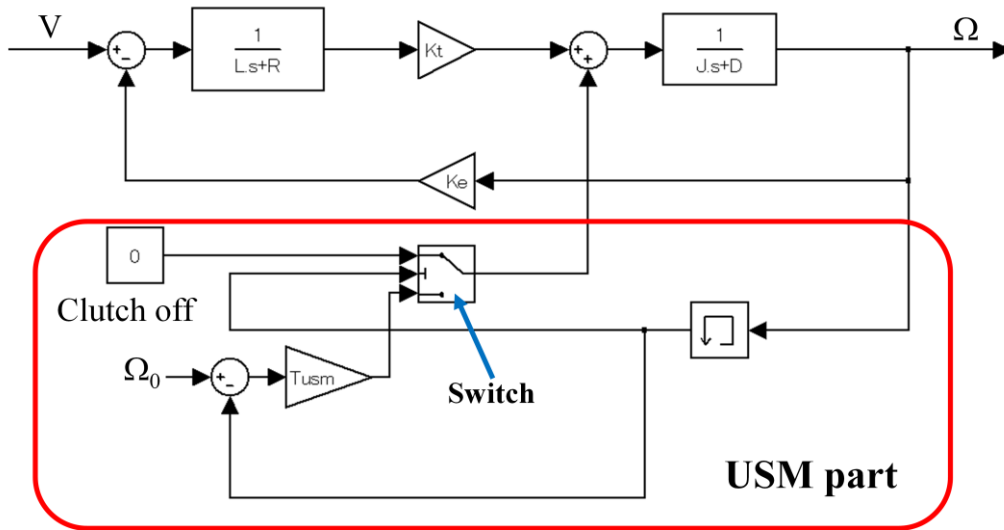


Fig.4 Block diagram on simulink.

3.3 シミュレーションとの比較

ハイブリッド駆動を検証するために、電磁モータ、USM をそれぞれモデル化し、simulink を用いてシミュレーションを行った。まず、電磁モータの電気的および機械的方程式は以下のように表すことができる。

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + e_m(t) \quad (1)$$

$$e_m(t) = K_e \omega(t) \quad (2)$$

$\omega$  : 回転角速度,  $K_e$  : 誘導起電力定数,  
 $e_m$  : 誘導起電力,  $i$  : 電機子電流

$$\tau_m(t) - \tau_L(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + D\omega(t) \quad (3)$$

$$\tau_m(t) = K_t i(t) \quad (4)$$

$K_t$ : トルク定数,  $\tau_m$ : モータトルク,  
 $\tau_L$ : 負荷トルク,  $J$ : 慣性モーメント,  
 $D$ : 粘性摩擦係数

次に USM は、速度・負荷特性として以下のような関係がある[3].

$$\omega = \omega_0 \left(1 - \frac{T}{T_0}\right) \quad (5)$$

$\omega_0$ :最高速度,  $T_0$ :最大トルク

以上の式より、電磁モータと USM のトルクを合成する形でハイブリッド AS をブロック線図にしたものを Fig.4 に示す。USM 部にスイッチを用いることでクラッチの離脱を表現している。

このブロック線図を用いてサンプリング間隔 0.1[ms]として、シミュレーションを行った。その時の結果および実際にハイブリッド駆動を行った際の回転速度を比較したものを Fig.5 に示す。実測値と比較するとほぼ同様の特性であると考えられる。ただし、このシミュレーションには、USM の回転中に生じる予圧の変化に対するトルクの変動などが再現されていない。

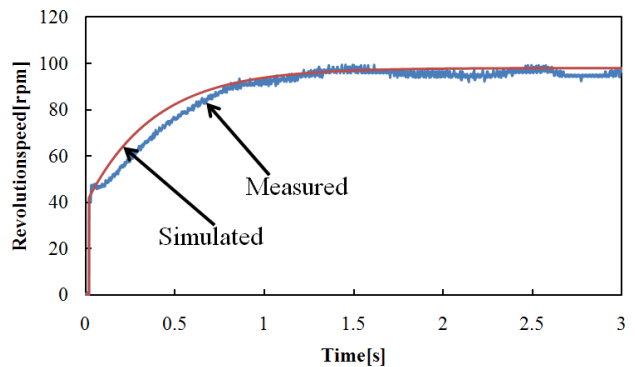


Fig.5 Comparison between simulation and measurement of hybrid drive.

4. まとめ

電磁モータと超音波モータを組み合わせたハイブリッド AS を考案・作製し、電磁モータ単独駆動とハイブリッド駆動との立ち上がり特性の比較およびシミュレーションを行った。ハイブリッド駆動を行うことで立ち上がり時間を短縮することが可能であった。またシミュレーションモデルは、電磁モータ、USM のトルク合成によって表現可能であり、実測値との比較の結果ほぼ等しい結果が得られた。今後は力覚提示における電磁モータ、超音波モータ、圧電クラッチの適した制御方法を検討する。

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]S.Ueha, Y.Tomikawa: "Ultrasonic Motors Theory and Applications," CLARENDON PRESS OXFORD,1993, pp.246.