

**ステッピングモータのマイクロステップ駆動における中速域振動の抑制**  
**Damping of Medium-Velocity-Range Oscillation in Microstep Drive of a Stepping Motor**

○千釜大和\*, 松尾健史\*, 三浦 武\*, 田島克文\*, 米田 真\*\*

○Hirokazu Chigama\*, Kenshi Matsuo\*, Takeshi Miura\*, Katsubumi Tajima\*, Makoto Yoneda\*\*

\*秋田大学, \*\*オリエンタルモーター

\*Akita University, \*\*Oriental Motor Co., Ltd.

キーワード : ステッピングモータ(steping motor), マイクロステップ駆動(microstep drive),  
中速域振動(medium-velocity-range oscillation)

連絡先 : 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学大学院 工学資源学研究科  
三浦 武, Tel. : (018)889-2329, Fax. : (018)837-0406, E-mail : miura@ipc.akita-u.ac.jp

## 1. はじめに

ステッピングモータは指令パルスの総数・周波数によって回転角度・回転速度を制御することができるという特徴を持つ。開ループでの位置制御および速度制御が可能であり、また制御システムを低コストで簡易に構築できるため、コンピュータの周辺機器を始め FA(Factory Automation)機器や OA(Office Automation)機器などのアクチュエータとして幅広く用いられている<sup>1)</sup>。

ステッピングモータを駆動させる際に、固有振動数よりも高いパルス周波数領域(500~1500pps)で現れる中速域振動はよく知られている。これはモータの構造と駆動回路からなるシステムの作用によるもので、その周波数はパルス周波数の 1/4~1/5 とな

り固有振動とは異なる<sup>2)</sup>。

フルステップ駆動において、この中速域振動を防ぐ手法としては、遺伝的アルゴリズムを用いて最適なパルス幅を導出するものが提案されている<sup>3)</sup>。

一方、文献 4)では、各相の巻線に流れる励磁電流の微細な調整を行い、1 パルスあたりの駆動角度を細分化するマイクロステップ駆動においても、ステッピングモータに供給される励磁電流の変動に応じて励磁シーケンスの位相を操作することで、中速域振動を抑制する方法が提案されている。

しかし、励磁電流の変動をフィードバックさせるメカニズムが十分解明されていない。

そこで、本研究ではステッピングモータの回転の様子を明確に示す機械系の物理量として回転速度をフィードバックに用いる。

目標回転速度と実際の回転速度の偏差に応じて励磁シーケンスの位相を操作することで、マイクロステップ駆動時における中速域振動を抑制する。

## 2. 実験システムの構成

本研究で用いた実験システムを図 1 に示す。使用したステッピングモータは、2 相ハイブリッド形、バイファイラ巻の PK244-02B(オリエンタルモーター社製)であり、その仕様を表 1 に示す。また、使用したタコジェネレータは TS680N1E3(多摩川精機社製)であり、その発生電圧係数は  $3.0 \text{ V/kmin}^{-1}$  である。

前述のように、本実験システムでは、モータの駆動方法としてマイクロステップ駆動を用いる。ここでは基本ステップ角を 16 分割とした  $0.1125\text{deg}$ .ごとにトルク平衡点を移動させている。

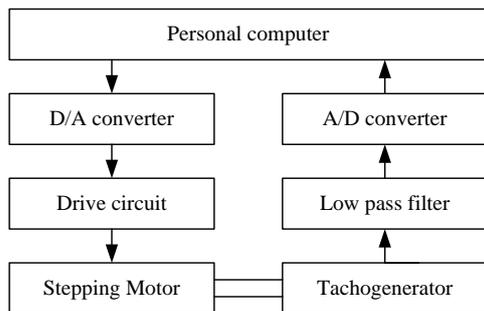


図 1 実験システム

Fig. 1 Experimental system.

パーソナルコンピュータ(PC)から各相の励磁電流の指令値が D/A 変換器を介して電流制御形駆動回路に送られる。この指令値に従って、電源からステッピングモータの各相に励磁電流が流され、モータが駆動さ

れる。そのとき、回転速度はシャフトにカップリングを介して直結されたタコジェネレータによって検出され、A/D 変換器を通して PC へ入力される。

表 1 ステッピングモータの仕様

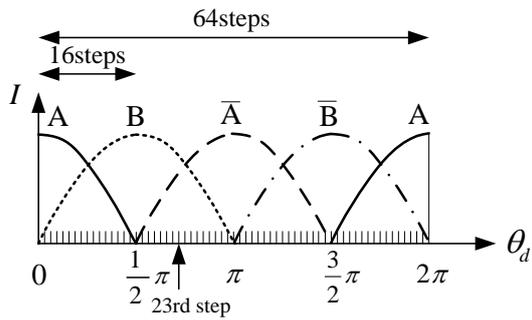
Table 1 Specifications of the stepping motor.

Rated voltage	6.0 [V]
Rated current	0.8 [A]
Holding torque	0.26 [N · m]
Rotor inertia	$5.4 \times 10^{-6}$ [N · m · s <sup>2</sup> /rad]
Step angle	1.8 [deg.]

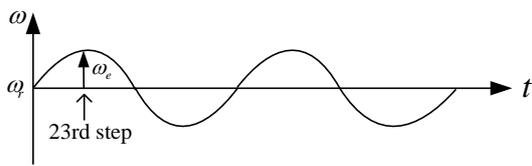
## 3. 制御システム

本研究で用いた制御システムについて説明する。本実験においては、一定速度でモータの駆動を行う。そこで用いられるマイクロステップ駆動時の励磁電流波形を図 2(a)に示す。ここでは、縦軸が電流値  $I$ 、横軸が電気角  $\theta_d$  であり、基本ステップ角を 16 分割、4 ステップで一周期 64 分割とした。また、通常のマイクロステップ駆動時の回転速度  $\omega$  の時間変化の例を図 2(b)に示す。図中で、 $\omega_r$  は目標回転速度、 $\omega_e$  は偏差 ( $\omega_e = \omega_r - \omega$ ) を表している。図 2(c)には、駆動中の励磁電流の電気角の位相  $\theta_d$  の時間変化を示す。

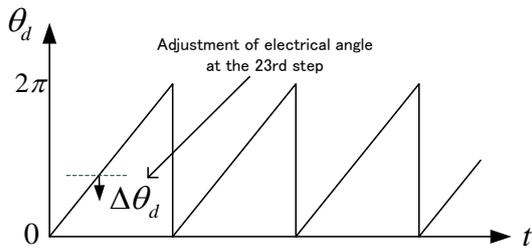
図 2(c)中の  $\Delta\theta_d$  は、本制御システムにおいて新たに加えられる操作量である。その値を得る手段を以下に示す。例えば、図 2(a)の第 23 ステップ目を励磁している場合を考える。このとき、図 2(b)のように回転速度が目標速度  $\omega_r$  より偏差  $\omega_e$  だけ速くなっているときには励磁電流の位相を遅らせなければならない(図中の矢印方向)。一方で、



(a) Waveform of exciting current



(b) Example of rotor speed



(c) Temporal variation of electrical angle

$\omega_r$ : 目標回転速度       $\omega_e$ : 偏差( $\omega_e = \omega_r - \omega$ )  
 $\omega$ : 実際の回転速度       $\theta_d'$ : 操作量(位相)

図2 回転速度と励磁電流波形の関係  
 Fig.2 Relationship between the rotor speed and the waveform of exciting current.

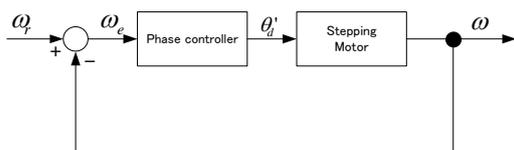


図3 制御システム  
 Fig.3 Control system.

回転速度が目標値より遅いときは位相を進めなければならない(図中の矢印と逆方向). これを実現するために, マイクロステップ駆動時の電気角の位相を操作する量である  $\Delta\theta_d$  の値を(1)式のように与える.

$$\Delta\theta_d = K_p \omega_e \quad (1)$$

ここで,  $K_p$  は比例ゲインである. この値を決定するにあたり, 0 よりわずかつ増加させながら試行錯誤的に調整した.

これより, 新たに与えられたこの時刻における電気角  $\theta_d'$  は次式のようになる.

$$\theta_d' = \theta_d + \Delta\theta_d \quad (2)$$

この制御則を図3に示す制御システムに実装している.

## 4. 実験

### 4.1 負荷条件と回転速度

モータの振動特性には回転軸の慣性モーメントの変化が大きな影響を与えることはよく知られている. よって, ここでは, 慣性負荷を用いて, 慣性モーメントの増加によるステッピングモータの振動の変化を見る.

本実験では表2に示す load1~load4 の4種類の負荷を用いる. また, ステッピングモータの負荷ごとの中速域振動の様子を見るために, 図1に示す実験システムにより, 中速域振動の現れる 600pps~900pps の回転速度の振幅を確認する. ここで, pps 値はフルステップ駆動に換算した場合の値であり, 以下においても同様である.

表 2 負荷の慣性モーメント

Table 2 Moment of inertia of loads.

Load	load of inertia [N·m·s <sup>2</sup> /rad]
no load	0.0
load1	20.0×10 <sup>-6</sup>
load2	30.0×10 <sup>-6</sup>
load3	35.0×10 <sup>-6</sup>
load4	40.0×10 <sup>-6</sup>

## 4.2 実験結果

前章の手法を用いてステッピングモータを駆動し、その効果を検証した。表 1 の各負荷条件に対応する実験結果を図 4(a)~(e)のそれぞれに示す。ここでは、点線が通常のマイクロステップ駆動の場合、実線が提案手法を用いた場合を示す。

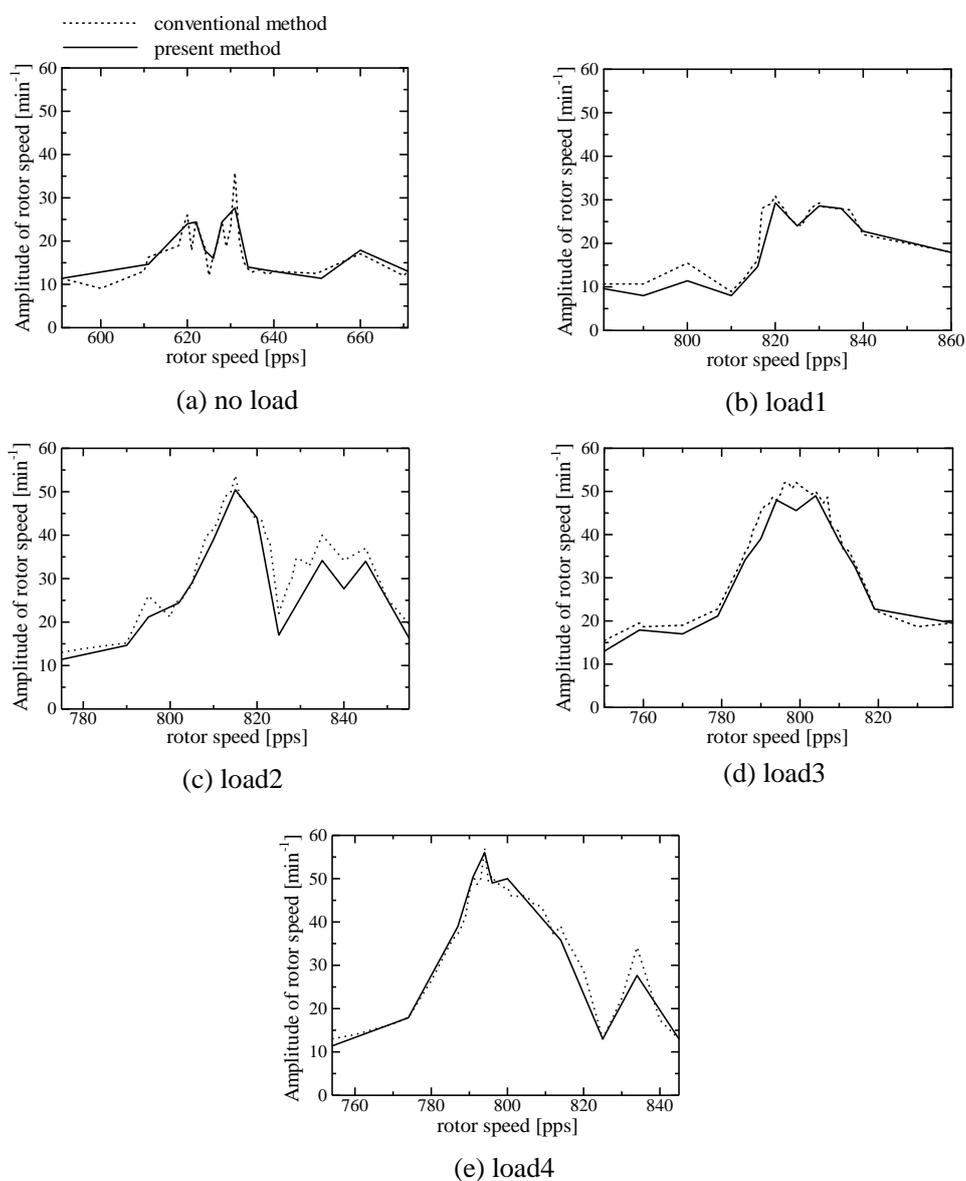


図 4 回転速度の振幅の比較

Fig. 4 Comparison of the amplitude of rotor speed.

図 4(a)の無負荷の場合の速度－振動特性を見ると、振幅が最大値を示す速度において最も振動が抑制できていることがわかる。一方、負荷を取り付けた場合を見ると、図 4(d)の load3 の場合以外は、振幅が最大値を示す速度付近では振動がそれほど抑制されなかった。

他方で、図 4(b)の load1 の場合には、振幅が最大値となる速度より 20pps 遅い速度において、また(c)の load2 の場合には 20pps 速い速度、(d)の load2 では 40pps 速い速度においてそれぞれ振動抑制の効果が表れている。

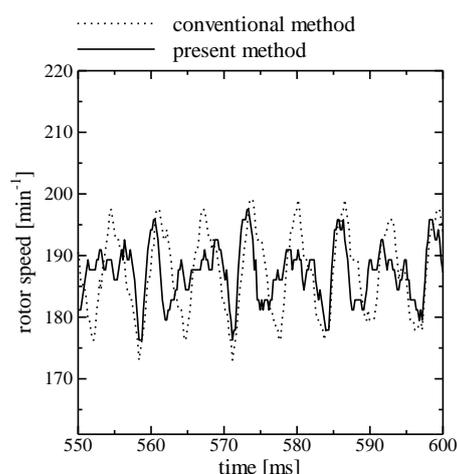
上記に示した速度領域近辺における提案手法の効果を検討する。

無負荷の場合の回転速度の時間変化を図 5 に、load1 を取り付けた場合を図 6 に、load4 の場合を図 7 に示す。

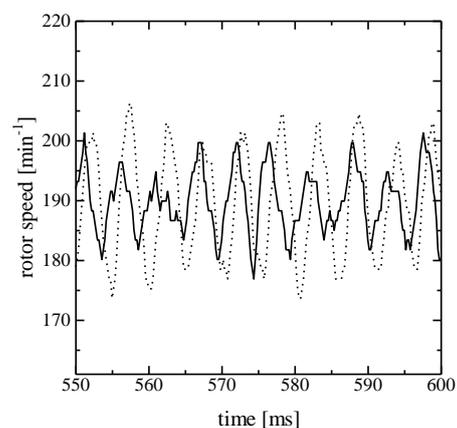
無負荷時において振動抑制の効果が最も顕著に現れた速度に対応する図 5(b)を見ると、振動抑制が十分でない時間領域も見られるが、全体としては比較的良好な効果が得られていることがわかる。回転速度が高い(c)の場合は、提案手法を適用しない場合の振幅がそもそも小さく、提案手法を適用しても特に振動は悪化しなかった。

load1 を取り付けたときに振動抑制の効果が最も現れた図 6(b)の場合はばらつきなく振動が抑制されている。また、(a)と(b)においては効果が見られなかった。このことから、効果のある速度範囲は比較的狭いと考えられる。

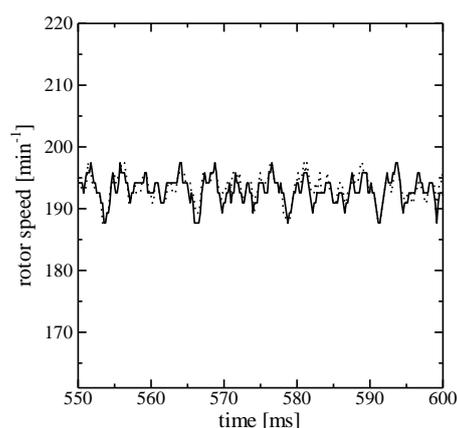
load4 を取り付けたときに最も効果が高かった図 7(b)の場合は、複数の周波数で振動が現れているが、提案手法を適用することで低い側の周波数の振動を抑制できてい



(a) 620pps



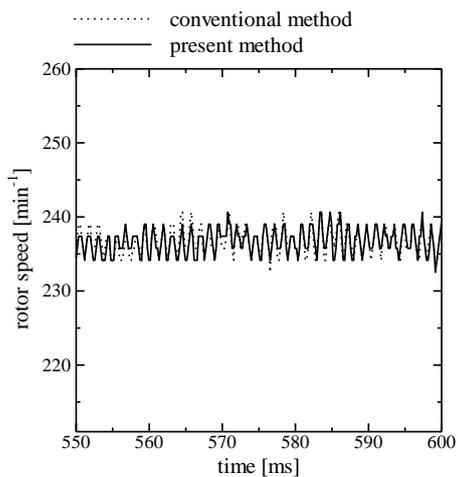
(b) 631pps



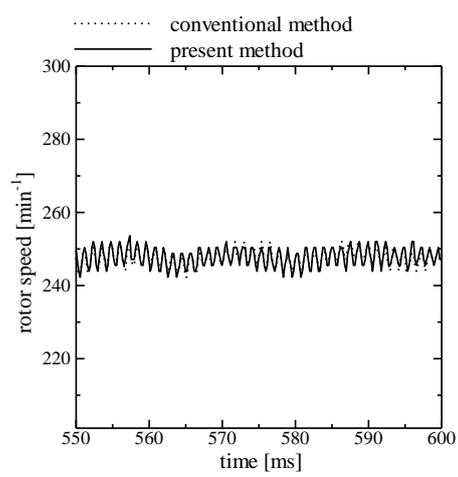
(c) 640pps

図 5 回転速度の時間変化(無負荷)

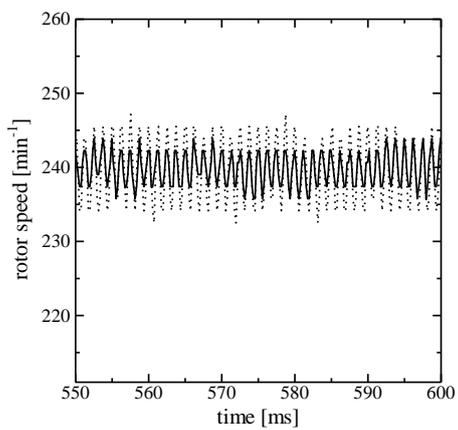
Fig.5 Temporal variation of rotor speed (no load).



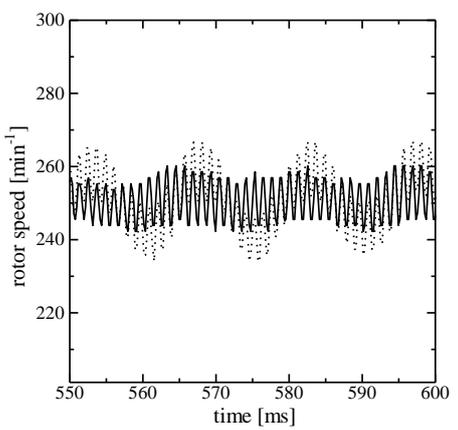
(a) 790pps



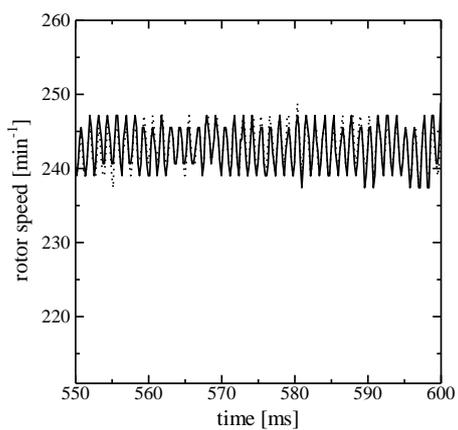
(a) 825pps



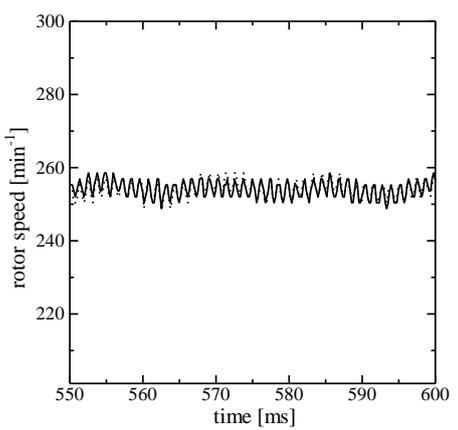
(b) 800pps



(b) 834pps



(c) 810pps



(c) 845pps

図6 回転速度の時間変化(load1)

図7 回転速度の時間変化(load4)

Fig.6 Temporal variation of rotor speed (load1).

Fig.7 Temporal variation of rotor speed (load4).

る。一方で、(a)、(b)の両者とも、図 5(c)の場合と同様にそもそも振動が小さく、また提案手法の適用によってその特性も悪化していない。

上記の結果より、現段階では振動抑制の効果が見られる速度領域がある程度限定されていることがわかる。その領域を拡大するための改善を行うことが今後の課題として挙げられる。

## 5. おわりに

本研究では、ステッピングモータのマイクロステップ駆動において発生する中速域振動を抑制するために、回転速度の偏差に応じて励磁シーケンスの位相を操作する制御システムの効果を検討した。

上記の手法によりある程度の効果は見られたが、適用できる速度領域が十分でないことも示された。その改善が今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 百目鬼英雄：ステッピングモータの使い方，7/13，工業調査会 (1993)
- 2) 見城尚志，菅原 晟：ステッピングモータとマイコン制御，123/127，総合電子出版社 (1994)
- 3) T. Miura, A. Tazaki, H. Kurita, Y. Akiyama and T. Taniguchi : Open-Loop Control of a Stepping Motor with Switching Sequence tuned by Genetic Algorithm, SMIC'99 TOKYO Small Motor & Servo Motors International Conference, C1-1, 199/202 (1999)

- 4) オリエンタルモーター株式会社，山本昭泰，長澤洋文：ステッピングモータ駆動装置，特開平 10-337096 (1998)