

## 第7章 サーボの調整手順からフィード・フォワード、フィードバック制御の検証まで

# AC サーボ・モータの制御実験

石島 勝  
Masaru Ishijima

本章ではマイコンによるモータ制御実験を取り上げます。これまでの章で解説したモータの駆動方法やモータの制御方法を実験的に検証したいと思います。

サーボの調整手順やフィード・フォワード制御、およびフィードバック制御について、わかりやすく解説します。

### 製作した AC サーボ制御基板

写真1 にモータ制御ボードと実験装置の外観を示します。

#### ● モータ制御ボード

モータ制御実験に使用するモータ制御ボード(サーボ・モータ・ドライバ)の特徴は、ホスト・インターフェースとしてUSBを採用し、PCと電源を用意する

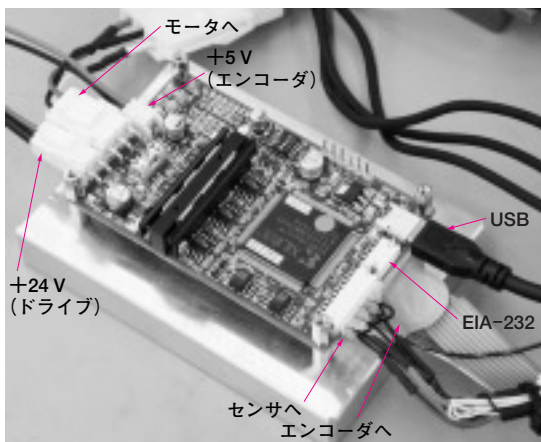
ことによって、モータ制御実験を容易に行うことができることです。

産業用のサーボ・システムは、**たまりパルス制御**が一般的となっていますが、今回実験に使用するモータ制御ボードは、位置指令がパルスではなく、最終目標位置をホストからUSB経由で受け取り制御します。

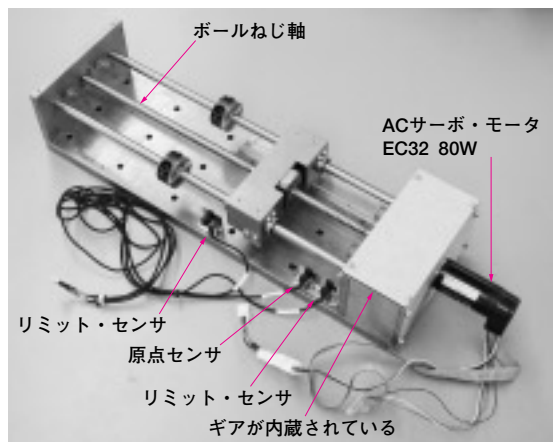
サーボ・サンプルごとのモータの動作軌跡は、ドライバを搭載したマイコンが計算するので、パルス・ジェネレータなどの特別なハードウェアを必要としません。このボードの一般仕様は表1のとおりです。

#### ● 使用モータ

マクソン社の EC32 80 W を使用します。このモータは、ホールIC + インクリメンタル・エンコーダを内蔵した AC サーボ・モータです。このモータの一般仕様は表2のとおりです。



(a) モータ制御ボード



(b) 実験装置

写真1 モータ制御ボードと実験装置

### Keywords

サーボ調整、イナーシャ比、たまりパルス制御、負荷慣性モーメント、ロータ慣性モーメント、発生トルク、トルク定数、モータ電流、到達時間、角加速度、角速度、加速度リミット、速度リミット、回転

表1 モータ制御ボードの仕様

基板サイズ	横 80 mm × 縦 50 mm × 高さ 16.6 mm
ホスト・インターフェース	USB1.0 準拠 (12 Mbps)
供給電源	+ 18 V ~ + 28 V (モータ駆動用), + 5 V (エンコーダ用), USB + 5 V (制御用)
制御軸数	モータ 1 軸
モータ駆動方式	3 相正弦波 PWM 駆動
電流検出分解能	0.003802 A/count
使用マイコン	H8S/2215F (USB 内蔵マイコン)

表2 使用モータ (EC32 80W) の仕様

モータ形式	AC サーボ・モータ
定格出力	80 W
公称電圧	24 V
最大連続電流 (5000 rpm)	3.1 A
トルク定数	0.0205Nm/A
エンコーダ	2000count/r (4 通倍後)
ロータ位置検出	ホール 3 相 (120°)
ロータ慣性モーメント	$30 \times 10^{-7} \text{ kgm}^2$

## ● 実験用負荷

実験用負荷は、モータ制御ボードの開発のために製作したリニア・スライダを使用します(写真1参照)。このリニア・スライダはモータを容易に交換できるように、モータ軸とボールねじ軸の接続を、カップリングを使用せず2:1のギアを使用しています(表3)。

### サーボ調整手法

#### ● サーボ調整にかかわるパラメータ

ひとえにサーボ調整と言っても、それに関連するパラメータは数多くあります。モータやメカの最大能力を引き出すには、それらのパラメータの最適な値を探し出す必要があります。実験で使用するモータ制御ボードの主なサーボ・パラメータを以下に記します。

なお、(7)まではモータの性能に関するパラメータであり、(8)以下はモータを安全に使用するためのパラメータになります。

- (1) PID パラメータ (位置制御, 速度制御)
- (2) 加速度リミット (軌跡計算用)
- (3) 速度リミット (軌跡計算用)
- (4) ドライブ・リミット (トルク制御アンプの電流リミット)
- (5) フィード・フォワード加速度係数
- (6) フィード・フォワード速度係数
- (7) デジタル・フィルタ係数
- (8) モータ電流総量規定設定
- (9) 速度超過設定
- (10) セトル範囲設定
- (11) セトル時間設定
- (12) 動作範囲上限下限設定

#### ● サーボ・ロックの実現

後述するモータ制御ボード用の周波数特性解析機能を使用すれば、メカ(モータ+負荷)特性を調べることができます。

しかしながら、この機能を使うには、最低限サーボ・ロックを実現している必要があります。したがって、サーボ・ロックまでは何とか自力で成し遂げなければなりません。

表3 実験用負荷の仕様

ギア	2:1
リード長さ	4 mm
負荷慣性モーメント	$82 \times 10^{-7} \text{ kgm}^2$ (ロータ慣性モーメントを含む)
リミット・センサ	フォト・センサ 2 個
原点センサ	フォト・センサ 1 個

#### ▶ PIDパラメータ(サーボ・ゲイン)の初期値を決める

一般に市販されているサーボ・モータ・コントローラの取り扱い説明書を見ると、使用モータごとにサーボ・ゲインの参考値があり、それを目安に設定すればよいわけですが、この参考値を計算により求めてみます。

最初にサーボ・ロックを実現するには、PIDパラメータを低めに設定します。ここでは、サーボの制御帯域が20 HzになるようなPIDパラメータを求めてみます。モータ特性を純粋な2回積分の形に近似すると、伝達関数表現では、

$$\frac{Y(n)}{X(n)} = \frac{K_A K_S K_T}{J s^2}$$

となります。この式に以下のパラメータ、

$$K_A = 0.003802 \text{ A/count (アンプ・ゲイン)}$$

$$K_T = 20.5 \times 10^{-3} \text{ Nm/A (トルク定数)}$$

$$J = 30 \times 10^{-7} \text{ kgm}^2 \text{ (ロータ慣性モーメント)}$$

$$K_S = 318.31 \text{ count/rad (センサ・ゲイン)}$$

を代入し、周波数20 Hzでのゲインを求めると、

$$\begin{aligned} \frac{Y(n)}{X(n)} &= \frac{0.003802 \times 318.31 \times 20.5 \times 10^{-3}}{30 \times 10^{-7} \times (2 \times 3.141592 \times 20)^2} \\ &= \frac{0.02481}{0.04737} = 0.52375 \end{aligned}$$

となります。デシベルでは、 $20 \log_{10} 0.52375 = -5.6 \text{ dB}$ です。つまり、コントローラの特で周波数20 Hzのゲインを5.6 dB持ち上げると、サーボ帯域がちょうど20 Hzとなるわけです。

第7章で説明したPIDコントローラをもう一度使います。図1を見てください。このコントローラの20 Hzでのゲインは23.2 dBあります。これを5.6 dBにするには $23.2 \text{ dB} - 5.6 \text{ dB} = 17.6 \text{ dB}$ をマイナスすればよいこととなります。デシベルの計算式  $Y =$