



位置も回転速度も思いのままに！  
ブラシ付きやステッピングをソフトウェアで操る

# 実験で学ぶ DCモータの マイコン制御術

萩野 弘司/井桁 健一郎 共著

- 第1部 モータはこうやって回る
  - 第1章 本書で扱うモータとその応用
  - 第2章 モータはどうして回るの？
  - 第3章 小型モータのいろいろ
- 第2部 ブラシ付きモータのマイコン制御術
  - 第4章 ブラシ付きDCモータを回路で表す
  - 第5章 ブラシ付きDCモータの駆動回路
  - 第6章 ブラシ付きDCモータの速度制御
  - 第7章 ブラシ付きDCモータの位置制御
  - 第8章 フィードバック制御の理論と実際
- 第3部 ステッピング・モータのマイコン制御術
  - 第9章 ステッピング・モータの構造と特性
  - 第10章 ステッピング・モータの動かし方
  - 第11章 ステッピング・モータの駆動回路
  - 第12章 ステッピング・モータの特性測定
  - 第13章 実験用パルス発生器を作る



CQ出版社

## 第1章

## 分類と用途

## 本書で扱うモータとその応用

私たちの身の回りでは、小型モータが物を動かすための動力源としてたくさん使われています。正確な回転を必要とするもの、すばやい動きや複雑な動きを必要とするものなど、さまざまなタイプがあります。最近では、モータの駆動に電子回路を使っていろいろな制御を加え、多彩な動きを実現しているものも増えています。

モータは、電気エネルギーを機械エネルギーに変換して力を生み出す電子部品です。希望する動きを実現するには、基本的なしくみや特性を十分に理解して、適した駆動方法や制御方法を採用する必要があります。

本書では、現在制御用にたくさん使われているモータのうち、ブラシ付きDCモータとステッピング・モータを中心に、その基礎知識から制御技術までを説明します。

本章では、アクチュエータとしてのモータの位置付け、制御用モータの種類と特徴などを説明します。モータの構造やしぐみの詳細は、次章以降で詳しく解説します。

## 1-1 アクチュエータとモータ

## ■ 本書で扱うモータは制御用

物を動かすしくみは、従来は機械と呼ばれ、それを担う技術は主として「機械屋」と呼ばれるメカニカル・エンジニアが中心の仕事でした。動力源は、ほぼ定速度で回転する比較的大きなものが一つです。減速機構やクラッチ機構などのメカニカルな手段でいくつかの部分へ動力の伝達、あるいはシャ断を行うのが一般的でした。

時代とともに要求される機械の動きが高度になり、かつ動力源に用いられる電動機(以下モータと呼ぶ)の技術も進歩してきました。それによって、変速が必要なときは、モータそのものの速度を直接制御で変える方式や、必要な箇所ごとに複数のモータを分散配置する方式などが採用されてきました。このような機械に用いられるタイプを、一般に**制御用モータ**と呼びます。

制御用モータは、電源に直接接続して駆動するのではなく、電子回路を使って駆動と制御を行います。したがって、「回路屋」や「制御屋」と呼ばれる人たちの技術が必要です。もちろんモータを使用する

装置には機械屋の技術が、制御用モータ自体には「電気屋」あるいは「電気機械屋」の技術が必要です。また、制御にはセンサを必要とするので「センサ屋」の技術も、さらに制御には一般にコンピュータ技術を用いるので、「ハード屋」あるいは「ソフト屋」が関係します。

このようにして構成されたシステムをメカトロニクスと呼びます。それぞれのエンジニアが、互いに各分野にまたがったいわゆる学際的分野を理解することを心がけることにより、より良いメカトロニクス・システムを完成させることができます。

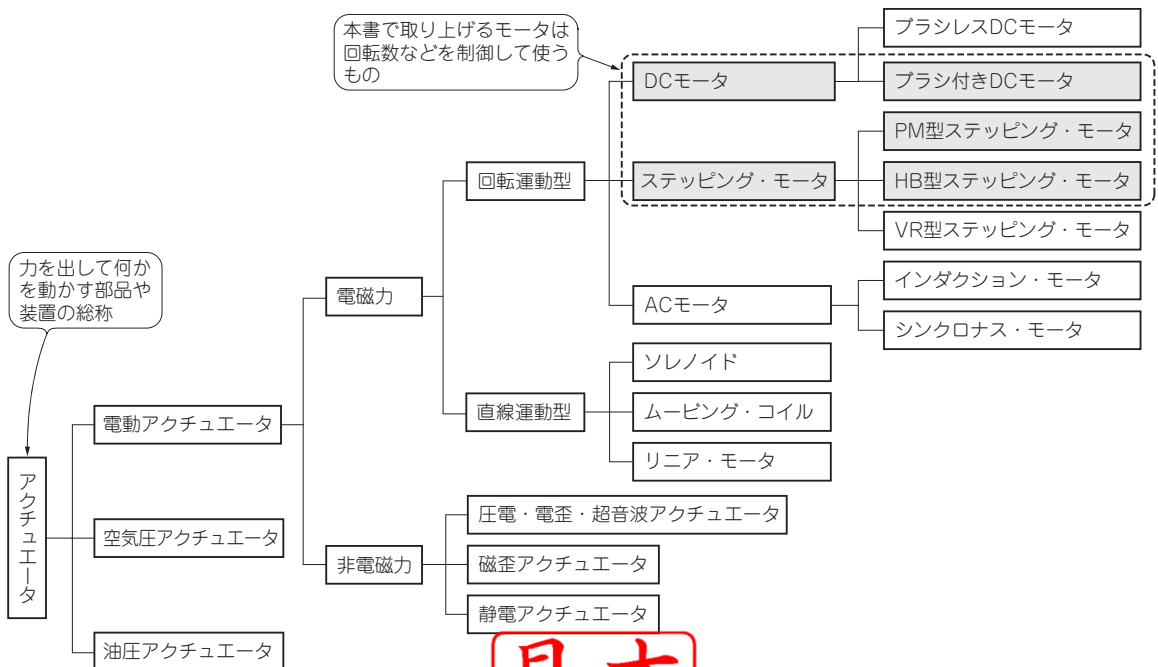
● アクチュエータとは

物(物体)には必ず質量があり、質量のある物体を動かすときには慣性の法則により加速するための力が必要です。動いているものを減速したり止めたりするときにも、慣性の法則により減速するための力が必要です。

また、質量のある物を支えるには支持機構が必要で、そこには摩擦抵抗や粘性抵抗が発生し、それらに逆らって物を動かすための力が必要です。摩擦抵抗や粘性抵抗は努力して減らすことが可能ですが、質量を小さくすることはなかなか難しく、物を動かすには質量や加速度に応じた力が必要です。

物を動かすときに必要な力を発生する部品または装置をアクチュエータと呼びます。図1-1に示すように電動アクチュエータ、空気圧アクチュエータ、油圧アクチュエータの3種類が代表的なものです。

電動アクチュエータが力を発生するには電源からエネルギーを供給する必要があります。電動アクチュエータは、電源として商用電源やバッテリーなどを利用でき、エネルギーの伝達を電線で行えるので使



〈図1-1〉 アクチュエータとモータの関係

代表的なアクチュエータは電動アクチュエータ、空気圧アクチュエータ、油圧アクチュエータの三つ。モータは回転運動型のアクチュエータに分類される

いやしく、エネルギーのコントロールを行うときに、電気・電子制御系とのインターフェースが行いやすいというメリットがあります。

電動アクチュエータは、力の発生原理から、電磁力を用いたものと非電磁力のものに分けられます。非電磁力とは、圧電・磁歪・静電気などの電磁力以外の力を利用するもので、特定の分野ですでに使われており、今後の発展も期待されています。現状は電磁力を用いたアクチュエータが、圧倒的に多く用いられています。

### ● 回転運動型と直線運動型がある

電動アクチュエータは、基本となる動力の発生形態から回転運動型と直線運動型に分けることができます。

回転運動型アクチュエータの力を発生する機械はほぼ回転機です。以下本書では一般的な呼び方に従い、モータという言葉を中心に回転機の意味で使います。

モータの最大の特徴は、回転力すなわちトルクの発生機構部分を回転中連続的に繰り返し利用する構造にあります。寸法や質量の割に直接の駆動力は小さくなりがちなものの、発生力の利用効率がよく、高速で回転させれば高出力も得られます。ギヤなどの減速機構を利用すれば、負荷に適合した駆動力と回転速度を取り出すことが可能です。さらに、直線運動変換機構を組み合わせると、直線運動型アクチュエータを実現することもできます(p.22のコラム参照)。

このような理由から、回転運動型のモータのほうが使いやすく優れたアクチュエータとしてさまざまなアプリケーションに使われています。

#### ▶モータの分類

モータは図1-1に示すように、

- (1) 直流電源で駆動するDCモータ
- (2) パルスで駆動するステッピング・モータ
- (3) 交流電源で駆動するACモータ

に分けられます。この分類にあてはめにくいモータもいくつかありますが、この図では省略しています。

この中で、特に制御用途に使われるモータは、

- (1) ブラシ付きDCモータ
- (2) ブラシレスDCモータ
- (3) ステッピング・モータ

です。これらを制御用モータ(control motor)と呼びます。

この制御用モータの3種類は、いずれも永久磁石を用いたモータです。永久磁石に蓄えられた磁気エネルギーを利用するので、エネルギー効率のよいアクチュエータです。

## 1-2 DCモータが使われているところ

### ● DCモータにはブラシ付きとブラシレスがある

#### ▶ブラシ付きDCモータ

起動トルク(モータが動き始めるときの力量)が大きく、正回転や逆回転の制御も容易で、コストもかからないため、小さなものから大きなものまでさまざまな種類があり、一般に広く使用されています。



## ◆ 第4章

# 機械部品「モータ」を電子部品に置き換える ブラシ付き DC モータを回路で表す

本書のねらいは、マイコンやアンプなどの電子回路を利用して、モータの回り方をきめこまかく制御することです。これまで説明してきたように、モータは電子部品ではなく機械部品です。回り方をコントロールするには、モータという機械部品を電子回路に置き換えることから始める必要があります。

本章では、定番のブラシ付き DC モータ (DMN37 シリーズ、写真4-1) を例にモータという機械部品を電子回路で等価的に表す方法を説明します。DMN37 シリーズは、入手しやすい、エンコーダ付きやギヤ・ヘッド付きなどがあり選択肢が広い、コストパフォーマンスが高い、の三拍子そろったモータです。

### 4-1 モータのことをよく調べる

#### ■ DMN37の構造

DMN37は、同社のブラシ付き DC モータ DME シリーズをベースに、さらに性能向上を図ったものです。ロボコンなどにも使用されています。

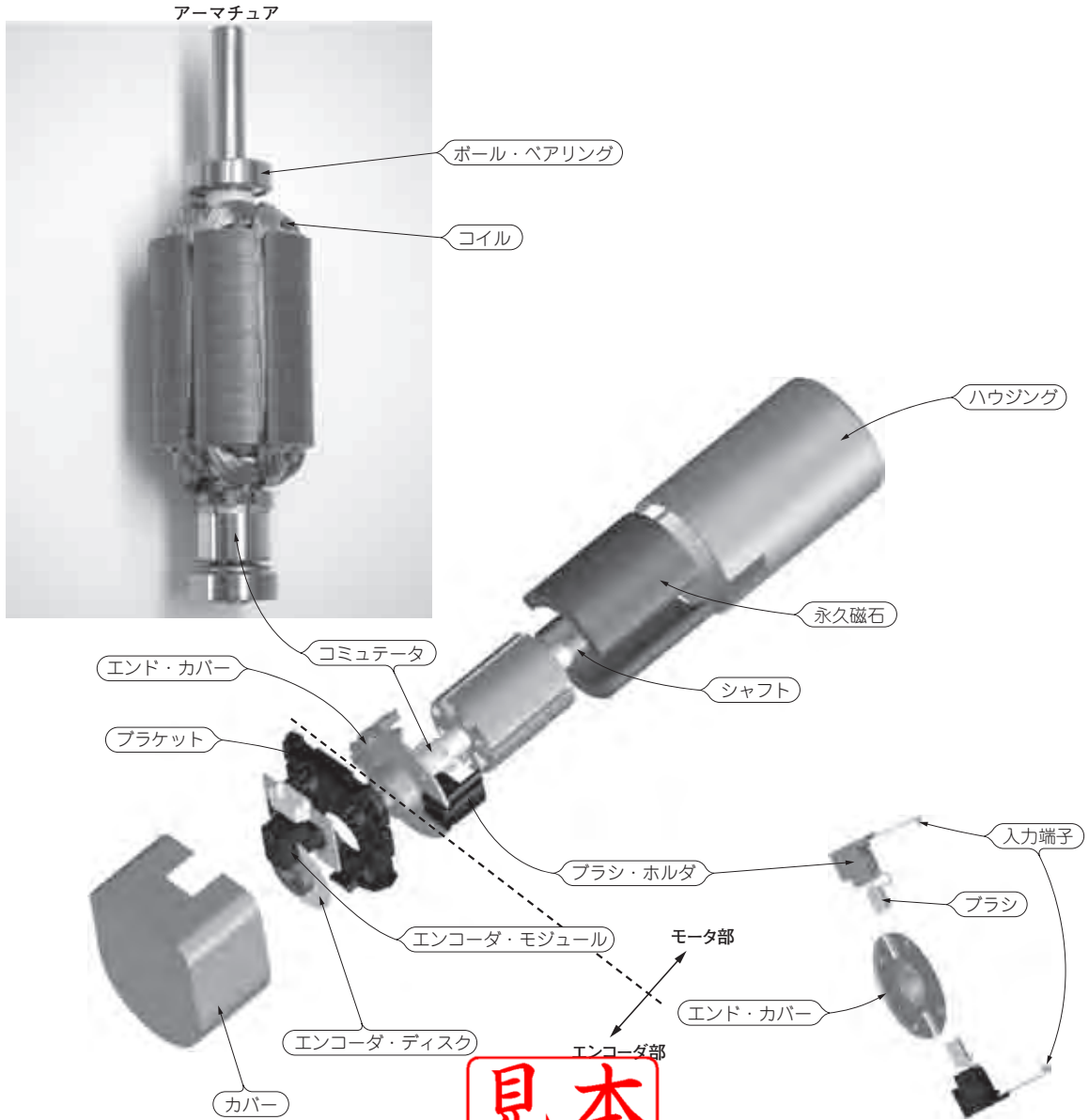


(写真4-1) 定番モータ DMN37 シリーズ (日本電産サーボ) を例に説明する

● マグネットと電機子

図4-1にDMN37の構造を示します。

円筒型のハウジングは、ステータ(固定子)のヨーク(継鉄)の働きも担っているため、磁性材料の鉄でできています。その内側には、2個の円弧状の永久磁石(フェライト・マグネット)が固定されています。このハウジングと永久磁石がステータになります。



〈図4-1〉DMN37シリーズの構造  
オプションのインクリメンタル・エンコーダを取り付けた状態

永久磁石の内径側はそれぞれN極とS極になっています。磁束はN極からS極に向かい、外周の継鉄の磁路を通してN極に戻ります。

このようにして形成された磁場の中に、回転子(ロータ)となる電機子(アーマチュア)が配置されています。このモータは、ステータの永久磁石とロータの電磁石の間に働く力を利用して回ります<sup>(1)</sup>。

ブラシと整流子(コミュテータ)を介して電機子の巻き線に電流が流れると、電機子が2極の電磁石になります。永久磁石と電磁石の間の回転角度が90°のとき最大の力を発生し、その前後では力が減少してトルク・リップルを発生します。したがって、いつも90°の状態を保ちながら回転させるのが理想ですが、そのためにはスロット数を多くして、多数の巻き線を順番にずらしながら巻き込む必要があります。

電機子のスロット数は3個以上あれば回転可能で、模型工作用のモータなどは3スロットが一般的です。DMN37シリーズは7個のスロットを採用し、トルク・リップルの低減や整流特性の改善による長寿命化を図っています。

### ● ブラシ

ブラシの材質には金属ブラシ、貴金属ブラシ、カーボン・ブラシなどがあります。大電流かつ高電圧の高出力のモータには、主としてカーボン・ブラシが使われています。

ブラシの保持方法には、板ばねを用いた弾性アームに固定する板ばね方式や、ブラシが摺動<sup>しゅうどう</sup>できるホルダの中に挿入したブラシをコイルばねで押すホルダ方式などがあります。経済性を優先するモデルでは板ばね方式が多く用いられています。

DMN37はホルダ方式で、かつ寸法の長いカーボン・ブラシを採用して長寿命化を図っています。

### ■ 電気的特性

DMN37の標準仕様を表4-1に、DMN37JBのトルク-回転速度-電流特性を図4-2に示します。

### ● 効率を求める式

モータの出力 $P_o$ [W]は、トルクを $T$ [N・m]、回転速度を回転角速度 $\Omega$ [rad/s]で表したとき、

$$P_o = T\Omega \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

となります。回転速度を $N$ [r/min]で表したとき、次のようになります。

$$P_o = TN \frac{2\pi}{60} \doteq TN \times 0.1047 \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

一方、モータの入力電力 $P_i$ [W]は、入力電圧を $V_a$ 、入力電流を $I_a$ とすると、

$$P_i = V_a I_a \quad \dots\dots\dots (4-3)$$

となるので、モータの効率 $\eta$  [%]は、次式から求めることができます。

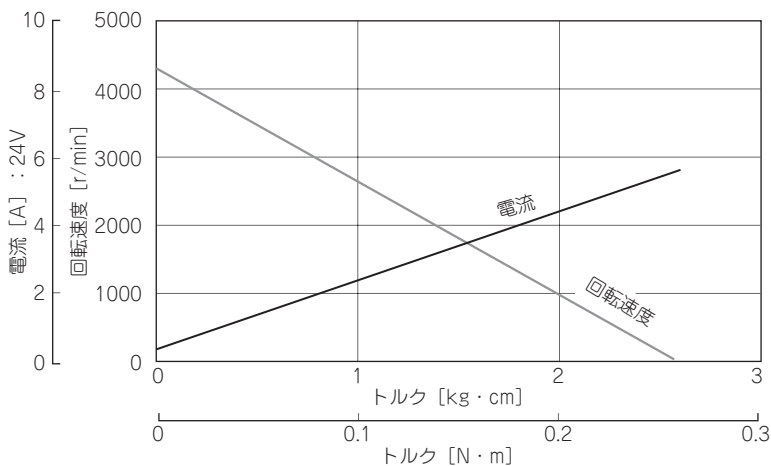
$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{TN}{V_a I_a} \times 0.1047 \times 100 \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

モータのトルクがゼロ、すなわち無負荷回転のときと、モータの回転速度がゼロ、すなわち起動時(あるいは停動時)は、モータの出力はゼロとなり、効率もこの点ではゼロです。



〈表4-1〉 DMN37シリーズの標準仕様<sup>(1)</sup>

型名	定格					無負荷		停動トルク (参考) [mN・m]
	出力 [W]	電圧 [V]	トルク [mN・m]	電流 [A]	回転速度 [r/min]	電流 [A]	回転速度 [r/min]	
DMN37SA	4.6	12	9.8	0.78	4500	0.26	5500	54
DMN37SB	4.6	24	9.8	0.37	4500	0.12	5500	54
DMN37BA	7.2	12	14.7	1.01	4700	0.25	5500	98
DMN37BB	7.2	24	14.7	0.53	4700	0.13	5500	98
DMN37KA	9.2	12	24.5	1.20	3600	0.27	4300	160
DMN37KB	9.2	24	24.5	0.60	3600	0.14	4300	160
DMN37JB	14.7	24	39.2	0.94	3600	0.16	4300	240



〈図4-2〉 トルク-回転速度-電流特性(DMN37JB)  
電流はトルクに比例し、回転速度はトルクに反比例する

### ● モータの定格出力

表4-1の定格出力は、上記の効率がほぼ最大になる点における、定格トルクと定格回転速度から得られる値となっています。この定格ポイントで連続的に運転できるときは連続定格、温度上昇が原因で連続的な運転ができない仕様の場合は短時間定格と呼びます。運転条件は別途定めることになります。

DMN37JBは短時間定格のモータで、デューティ 50%の間欠動作/運転が使用条件です。

実際には、制御用のモータは定格ポイントだけで運転することはあまりありません。起動と停止あるいは加速/減速時をくり返し、そのときに大電流を流し込むことになります。そのときの温度上昇がモータの耐熱温度を越えてはいけません。

DMN37のロータの耐熱温度は155℃なので、必要に応じて、放熱対策を強化したり電流制限を行って入力を制限したりする必要があります。

## 4-2 等価回路を求める

例題モータ DMM37JBの諸特性を実測しながら等価回路を求める過程を説明します。



## ◆ 第7章

# ねらった位置にピタリと止める ブラシ付きDCモータの位置制御

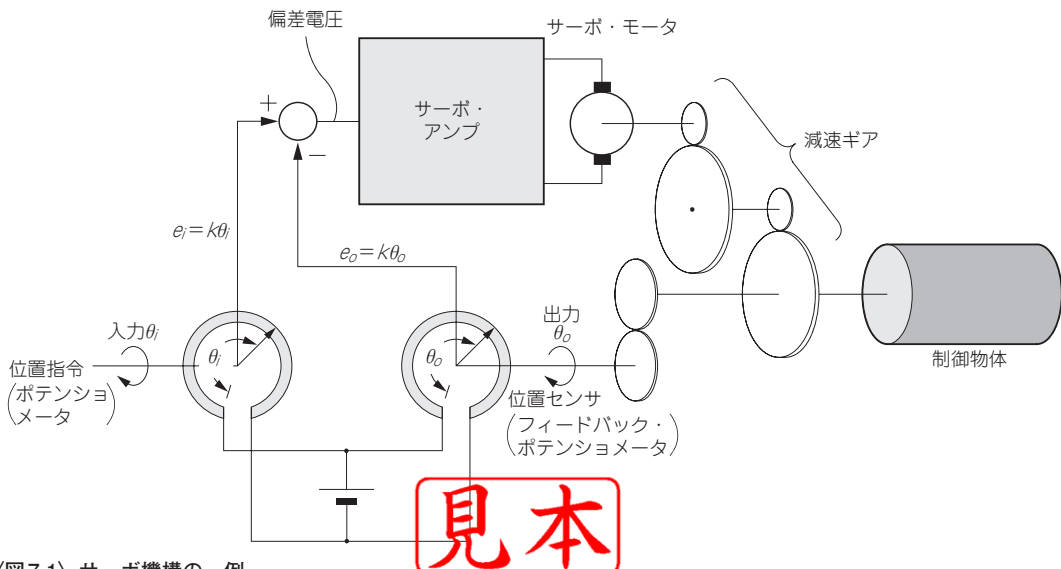
本章では回転速度制御と同じくらい重要なテーマである位置制御を実現します。

速度制御のときと同様、モータのほか、制御回路(マイコン)、センサ、モータ・ドライバを組み合わせ、マイコンのソフトウェアを作る必要があります。第6章で作ったターゲット・ボードとそのソフトウェアを流用して実験してみます。

## 7-1 位置制御を行うシステム

物体の位置(回転角や移動距離)を制御することを位置制御と呼びます。また、位置制御システムを一般にサーボ機構と呼んでいます。サーボ機構は、入力である位置指令が時々刻々変化し、物体の位置はその指令を追いかけて追従する、いわゆる追従制御が代表的な動作です。

サーボ機構の一例を図7-1に示します。物体の位置(回転角)をモータで制御するには物体を動かすための力(トルク)が必要です。大きな物体をモータでダイレクト・ドライブ(直接駆動)しようすると、大



〈図7-1〉サーボ機構の一例

物体の位置を制御することを位置制御と呼び、位置制御システムを一般にサーボ機構と呼ぶ

きな力を出すために大きなモータが必要です。普通はモータ軸に減速ギアを取り付けトルクを増やし、小さなモータで動くようにします。モータ軸は減速比ぶんだけ余計に回る必要がありますが、モータの特性はこのような使い方に向いています。

制御物体の位置を検出するためには、位置センサを使用します。図7-1では位置指令の設定と、位置センサにポテンシオメータ(回転型の可変抵抗器)を使用しています。位置指令の電圧値 $e_i = K\theta_i$ と、位置センサの電圧値つまりフィードバック電圧値 $e_o = K\theta_o$ との差電圧 $e = e_i - e_o = K(\theta_i - \theta_o)$ を偏差電圧として求めます。これをサーボ・アンプで増幅してモータを駆動するとき、偏差電圧が減少する方向にモータが回転するようにすると、偏差電圧がなくなる位置、すなわち指令値電圧値とフィードバック電圧値が一致するところで平衡状態となり、モータが停止します。

平衡状態では、 $e = e_i - e_o = K(\theta_i - \theta_o) = 0$ となるので、 $\theta_i$ と $\theta_o$ は等しくなります。

## 7-2 実験装置

### ● モータと減速ギア

減速ギア・ヘッド付きのモータを用いたほうが簡単なので、ブラシ付きDCモータDMN37SB(日本電産サーボ)に直径50mmの減速比1/18の50G型ギア・ヘッドを組み合わせ、モータの後部にはこれまでと同じ1000p/rのインクリメンタル・エンコーダを直結したものを特注しました。このモータの型式はDMN37SE50G - X048(日本電産サーボ)となりました<sup>(1)</sup>。

DMN37SBは定格電圧24Vのモータですが、ターゲット・ボードを流用するので、12Vで駆動することになり、無負荷回転速度が約2600r/minとなります。

2000r/minで速度制御したとき、1/18の減速後の回転速度は111r/min(1.85r/s)となり、1回転に要する時間は0.54sとなります。

第6章で速度制御対象として用いてきた1000p/rのインクリメンタル・エンコーダ付きブラシ付きDCモータDMN37JEBのモータ部であるDMN37JBは、トルクが大きいのでこのギア・ヘッドとマッチしません。同じDMN37シリーズの中からトルクの小さなDMN37SBに変更しました。

### ● 位置センサ

図7-1のサーボ機構の例にならって、位置センサと位置の指令にポテンシオメータを使います。モータに直結したインクリメンタル・エンコーダは速度検出用です。

インクリメンタル・エンコーダも位置センサとしてよく用いられますが、変化ぶん(相対値)しかわからないので、原点信号や位置のメモリを必要とし、始動時には原点復帰動作などが必要で面倒です。ここでは、アブソリュート・センサ(絶対値センサ)であるポテンシオメータを使います。

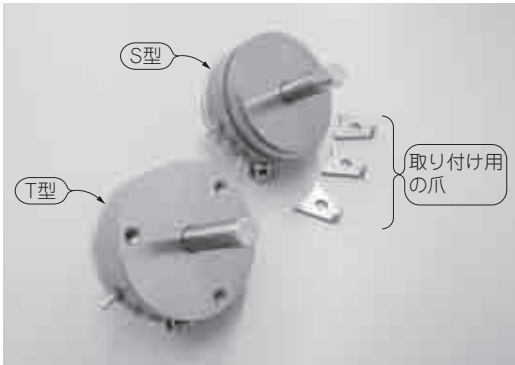
ポテンシオメータは、RCサーボ(ラジコン・サーボ)などにも使われている最もオーソドックスな位置センサで、本質的にアブソリュート・センサであることが特徴です<sup>(2)</sup>。

サーボ機構に適した導電性プラスチック型ポテンシオメータN35T10k $\Omega$ (日本電産サーボ)を使用します。表7-1に概略仕様を示します<sup>(3)</sup>。

ポテンシオメータは、原理的には可変抵抗器の一種で、表7-1に示したように、サーボ機構に使用するものは、一般的な可変抵抗器と少し違うところがあります。

- 分解度が理論的無限小と小さい

見本

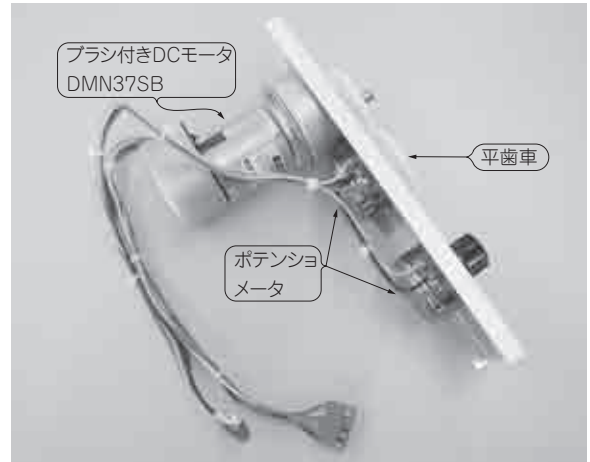


〈写真7-1〉ポテンシオメータ N35型の外観形状

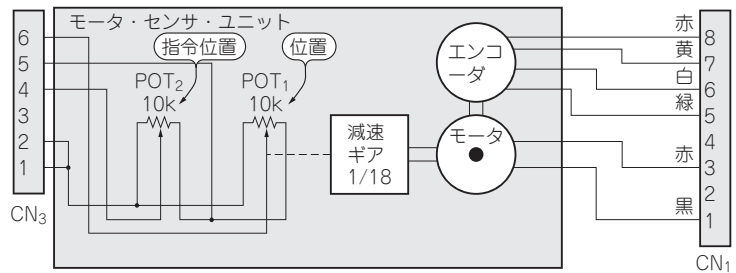
〈表7-1〉

ポテンシオメータ N35T10kΩの概略仕様

抵抗値	10kΩ ± 15%
単独直線性	± 0.2%
分解度	理論的無限小
抵抗温度係数	± 400PPM/°C
機械的回転角	360°連続
有効電気角	345° ± 2
回転トルク	1mN・m (max.)
回転寿命 [rev]	5000万回転
軸許容回転速度	400r/min (max.)
軸受け	ボール・ベアリング
軸の回転振れ限度	0.0508mm (max.)
使用温度範囲	- 55 ~ + 125°C



〈写真7-2〉モータ・センサ・ユニット



〈図7-2〉モータ・センサ・ユニットの回路図

位置指令発生用のポテンシオメータもこのユニットに取り付ける

- 機械的回転角が360°で、連続的に回せる
- 有効電気角が広い
- 回転トルクが小さい
- 回転寿命が長い
- 軸受けにボール・ベアリングを使用し、軸の機械的精度が良い
- 使用温度範囲が広い

N35型ポテンシオメータには取り付け方法の違いにより、写真7-1に示すようにN35TとN35Sの2種類があります。T型(タップ・マウント)は、ケースのタップ穴を用いて3本のねじで取り付けるもっとも簡便な方式です。S型(サーボ・マウント)は、3個の取り付け用の爪をケース外周の取り付け溝に引っ掛けてねじで締め付ける方式で、爪を緩めるとケースを回転できるので、サーボ機構の位相調整に適しています。本格的なサーボ機構にはサーボ・マウントを使うべきですが、精度の良い大径の取り付け穴加工が必要になるので、ここでは簡易的な方法をとっています。

見本

## ● モータ・センサ・ユニットの製作

モータのギア・ヘッドの出力軸に位置センサのポテンシオメータを取り付ける方法はいろいろありま

## ◆ 第9章

一定角ずつ動くしくみを詳説

# ステッピング・モータの構造と特性

### ● ステッピング・モータとは

ステッピング・モータは、1ステップずつ動いては止まることができます。回転角度は入力パルス数に比例し、回転速度はパルス周波数(パルス・レート)に比例します。速度センサや位置センサを使ってフィードバック制御を行わなくても、オープン・ループで速度制御や位置制御を簡便に行うことができるのが大きな特徴です。

ステッピング・モータは、ステータ巻き線がいくつかの相に分かれています。それぞれの相に流す電流(励磁電流と呼ぶ)を決められたパターンで順次切り替えると、一定の回転角度でステップ状に回転/停止します。切り替えパターン1回り(電気角 $360^\circ$ )で何度動くかはモータによって違います。

現在2相、3相、5相のモータが実用化されています。特殊なケースとしては単相のものもあり、一つの相の電流の方向を正/逆に反転させることで回転させており、1方向に回転すればよい時計などに使われています。

ステッピング・モータには、VR (Variable Reluctance) 型、PM (Permanent Magnet) 型、HB (Hybrid)型があります(第3章参照)。ここでは、現在制御用として主流となっているHB型について、構造や特性を解説します。

## 9-1 構造と動作原理

### ● 2相HB型

2相HB型ステッピング・モータの外観形状の例を写真9-1に示します。基本ステップ角(後述)が $1.8^\circ$ で、フレーム・サイズは□42 (42mm角)と□56が代表的です。このほかに□28、□39、□60や、φ50、φ60と多くの種類があります。基本ステップ角は、 $1.8^\circ$ の半分( $0.9^\circ$ )のタイプもあります<sup>(1)</sup>。

モータのフランジを取り外すと、写真9-2のように内部構造を見ることができます。ロータには強力なマグネットが組み込まれています。ロータ鉄心とステータ鉄心の間には強い吸引力が働いており、簡単に引き抜くことはできません。無理に引き抜こうとすると、ロータとステータ間の空隙は一般に50 $\mu\text{m}$ 程度と小さいので、傷が付いてしまったり、ごみが入ってしまったりします。

分解したモータは、再度組み立てても元の特性はもう得られません。ちなみにメーカでは、モータを組み立てた後にロータ・マグネットの磁化を行っています。

#### ▶ ロータ

写真9-3にロータの外観を示します。外周に小さな歯を設けた2個の鉄心が軸方向に少しすき間を空

見本

けて配置されています。大きなトルクのモータでは、この組み合わせを軸方向に2組または3組連結した構造を採用しています(写真9-3左)。

2個の鉄心のすき間には、軸方向にNS極に着磁された円板状の強力な磁石が入っており、一方の鉄心すべてがN極、他方の鉄心すべてがS極となっています。

外周の歯の数は50個(歯のピッチは $360/50 = 7.2^\circ$ )で、N極側とS極側の小歯は互いに半ピッチ(一方が山るとき他方は谷の関係)ずれています。N極の50極とS極の50極合わせて100極のマグネット・ロータとして働きます。

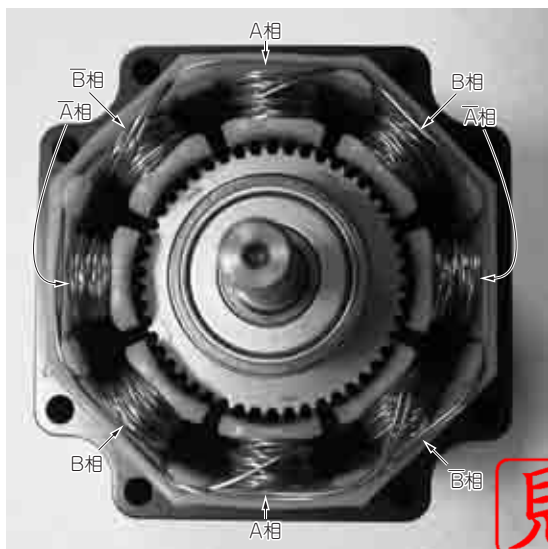
小歯の数は50個が標準的です。高分解能タイプのモータでは、100個(ピッチは $3.6^\circ$ )のものも使われています。

▶ステータ

ステータには、コイルが巻かれた極(極歯、巻き線極、主磁極、主極などの呼び名がある。以下主極



〈写真9-1) 2相HB型ステッピング・モータの外観



〈写真9-2) 8主極2相(A, B相)モータの構造



〈写真9-3) HB型ステッピング・モータのロータ

と呼ぶ)が45°の等間隔で8個あり、主極の先端にはロータとほぼ同じ7.2°のピッチで6個の小歯が設けられています。小歯の数が多いほうがトルクの発生には有利です。モータの大きさによって4～6個の小歯が用いられています。

主極には、上下左右の90°ピッチの4極がA相、その間の斜め方向の4極がB相となるように、2相巻き線が施されています。各相の対向する極が同極、90°位置の極が異極になるので、ステータ全体の主極の相の順番は、

$$A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B}$$

となります。

主極間の角度45°と、小歯のピッチ7.2°の関係は、

$$45 = 7.2 \times 6 + 1.8 = 7.2 \times \left(6 + \frac{1}{4}\right) \dots\dots\dots (9-1)$$

となるので、隣接主極間では1/4ピッチ(電気角では90°、機械角では1.8°)の位相差です<sup>(2)</sup>。

#### ▶動作原理

HB型ステッピング・モータのステータとロータ間の磁界の働きは、3次元構造のため理解しにくいので、ここでは2次元の平面に展開して考えます。

ステータの主極とロータの小歯の位置関係を平面に展開すると、**図9-1**のようになります。この図では、主極の小歯の数を5個としています。ロータのN極側の小歯とS極側の小歯は、間にマグネットを挟んで上下に図示されています。そのため、それぞれに対向する主極は上下に分けて図示されていますが、実際には上下の主極は一体です。

**図9-1(a)**は、A相を励磁してA相主極がS極に、 $\bar{A}$ 相主極がN極に磁化されたとき、ロータのN極側の小歯がA相主極のS極に吸引され、ロータのS極側の小歯が $\bar{A}$ 相主極のN極に吸引されて停止している状態を示しています。このときB相と $\bar{B}$ 相の部分では小歯は互いに1/4ピッチずれた状態です。

次にA相励磁からB相励磁に切り替えると、今度はB相主極がS極に、 $\bar{B}$ 相主極がN極に磁化されるので、ロータのN極側の小歯がB相主極のS極に吸引され、ロータのS極側の小歯が $\bar{B}$ 相主極のN極に吸引されます。そのため、ロータは図の右方向に1/4ピッチ(角度で1.8°)移動して、**図9-1(b)**の位置で停止します。

次は、A相に逆方向の電流を流すと、 $\bar{A}$ 相がS極に、A相がN極に磁化されることになるので、ロータはさらに右方向に1/4ピッチ移動して停止します。

このように励磁相を、

$$A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B} \rightarrow A \dots$$

と順次切り替えることによって、モータをステップ角1.8°で、連続的に回転させることができます。

#### ▶基本ステップ角

励磁相を1相ずつ切り替えてステップ動作させたときのステップ角 $\theta_s$ を基本ステップ角と呼び、次式で表すことができます。

$$\theta_s = \frac{180}{mZ_r} = \frac{360}{2mZ_r} \dots\dots\dots (9-2)$$

ただし、 $m$ ：ステータの巻き線相数、 $Z_r$ ：ロータの小歯の数

#### ▶結線方式

2相モータの結線方式は、**図9-2**に示すように2種類あります。



ISBN978-4-7898-5292-0

C3055 ¥3000E

**CQ出版社**

定価 3,300円(本体3,000円)⑩



このPDFは、CQ出版社発売の「実験で学ぶDCモータのマイコン制御術  
【オンデマンド版】」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/52/52921.htm>

購入方法 <https://www.cqpub.co.jp/order.htm>



## 実験で学ぶ DCモータのマイコン制御術

見本