

## 第2章 回転力を発生するしくみと 駆動方法をマスターする

### モータの動作原理と特性

萩野 弘司  
Hiroshi Hagino

第1章では、モータにはいろいろな種類があり、それらがどのような理由で、どのような分野に多く利用されているのかを解説しました。

これらを参考にして、実際に使用するモータを選定し、それを駆動、制御するときに、モータの能力を最大限引き出すためには、モータの原理や特性をよく理

解しておく必要があります。

そこで第2章では、代表的な制御用のモータであるブラシ付きDCモータ、ブラシレスDCモータおよびステッピング・モータについて、トルク(回転力)を発生するしくみや駆動の方法、得られる特性などについて基本的な考えかたを解説します。

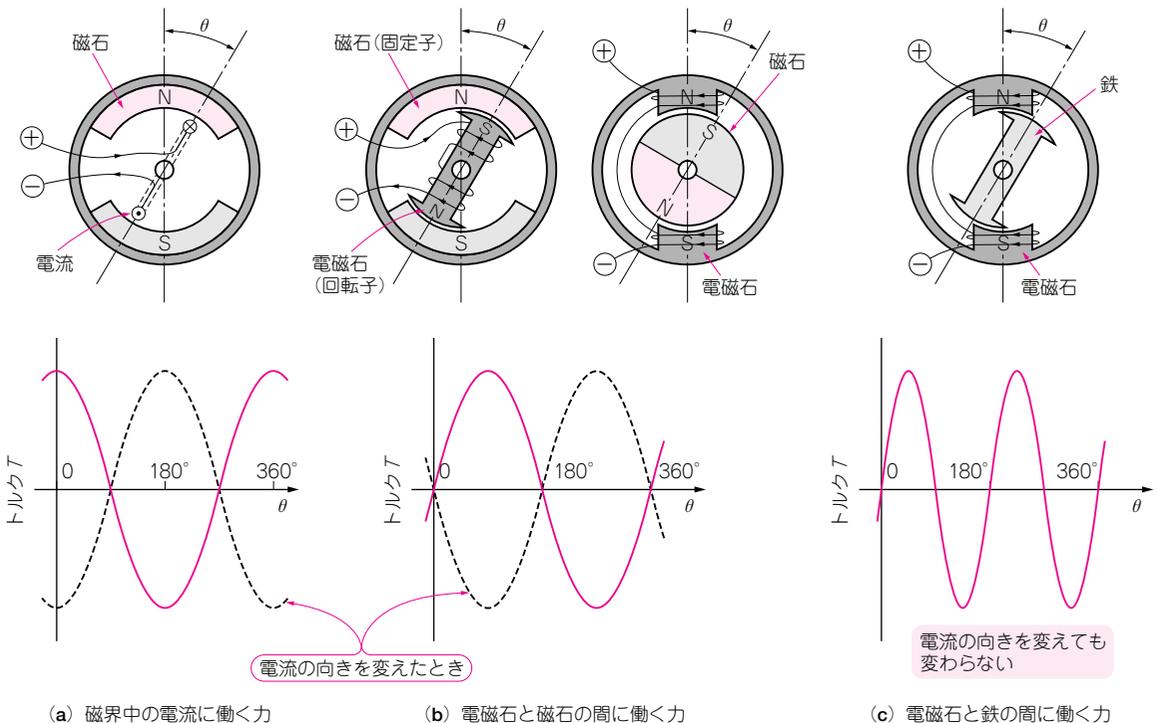


図1 モータが回転力(トルク)を発生するしくみ

#### Keywords

トルク, 回転力, 電磁力, フレミングの左手の法則, Bli 則, クーロンの法則, 磁気誘導作用, 誘導起電力, フレミングの右手の法則, Blv 則, 永久磁石界磁型 DC モータ, Δ結線, 電機子電流, トルク定数, 回転角速度, 誘導起電力定数, 定常特性, 無負荷回転角速度, 拘束トルク, 拘束電流, 垂下特性, ブラシレス DC モータ, Y 結線, 3 相 120° 通電方式, 3 相 180° 通電方式, 3 相正弦波電流駆動, 弱め界磁制御, ベクトル制御, ステッピング・モータ, 磁気抵抗, VR 型, PM 型, HB 型, バイポーラ駆動, ユニポーラ駆動, 脱調, オープン・ループ制御, クローズド・ループ制御

## トルクを発生するしくみ

モータは、電気エネルギーを機械エネルギーに変換するもので、**電磁力**によって**トルク**(torque, 回転力)を発生して回転するしくみになっています。

モータに利用されている電磁力発生を原理を分類すると、次のようになります。

### ● 原理1：磁界と電流の間に働く力

もっとも基本的な電磁力は、**フレミングの左手の法則**で説明されるもので、磁束密度  $B$  [T] の磁界の中に磁界と直角方向に置いた長さ  $l$  [m] の導体に電流  $i$  [A] を流したとき、導体は電流と磁界のそれぞれに直交する方向に力  $F$  を受け、力の大きさは式(1)のように電流と磁界との積に表されます。これを**Bl*i*則**とも言います。

$$F = Bli \dots\dots\dots (1)$$

### ● 原理2：磁石と磁石の間に働く力

磁石のN極に他の磁石のS極を近づけると引き寄せられ、N極を近づけると反発します。

この現象は、電磁気学では磁気に関する**クーロンの法則**で説明され、磁極間に作用する力  $F$  (クーロン力) は、式(2)に示すように相対する磁極の強さ  $Q_m$ ,  $q_m$  [Wb] の積に比例し、磁極間の距離  $r$  [m] の自乗に反比例します<sup>(1)</sup>。

$$F \propto \frac{Q_m q_m}{r^2} \dots\dots\dots (2)$$

$Q_m$  は周りの空間に対して影響を及ぼしていると考えことができ、その大きさを磁界  $H$  [A/m] とすると、磁極  $q_m$  に働く力  $F$  は式(3)のように表されます。

$$F \propto q_m H \dots\dots\dots (3)$$

$Q_m$  を電磁石とすると、磁界  $H$  は電流の大きさに比例するので、力  $F$  の大きさは式(4)のように電流  $i$  に比例します。

$$F \propto q_m i \dots\dots\dots (4)$$

### ● 原理3：磁石と鉄の間に働く力

磁石の磁極に鉄片を近づけると、引き寄せられます。

これは鉄片の両端に磁極が誘導され一時的に磁石になるためと考えられ、鉄片にN極が接近したときには近いほうに異種の磁極  $s$  が現れ、遠い端には同種の  $n$  極が現れる**磁気誘導作用**によると電磁気学では説明しています<sup>(2)</sup>。

磁石を電磁石とすると、電磁石の磁界の強さは電流に比例するので、磁気誘導による磁化の強さも電流に比例することになります。したがって、両者の間に働く吸引力は、式(5)のように電流  $i$  の自乗に比例することになります。

$$F \propto i^2 \dots\dots\dots (5)$$

以上の原理1から原理3の電磁力を利用して、モータの回転力すなわちトルクを発生するしくみをまとめると**図1**のようになります。

## 誘導起電力の発生

電磁力の発生とともに重要な現象として、**誘導起電力**の発生があります。

長さ  $l$  [m] の導体が磁束密度  $B$  [T] の磁界の中を、磁界と直角方向に速度  $v$  [m/s] で移動すると、**フレミングの右手の法則**による誘導起電力  $e$  が発生し、その大きさは式(6)で表され、これを**Bl*v*則**とも言います。

$$e = Blv \dots\dots\dots (6)$$

すなわち、フレミングの左手に法則によって発生した力  $F$  によって導体が速度  $v$  で動くとき、電流  $i$  を抑える方向に誘導起電力  $e$  が発生することになります。

フレミングの左手と右手の法則は、**図2**のように組み合わせて表現すると覚えやすくなります。また、それぞれの量と方向をベクトルで表すと、力  $F$  は電流  $i$  と磁界  $B$  の、誘導起電力  $e_m$  は速度  $v$  と磁界  $B$  の、それぞれベクトル積になります。

## ブラシ付き DC モータ

**ブラシ付き DC モータ**は歴史的にも古く、特性的にも非常にシンプルでわかりやすいため、現在でもさかんに使われ続けているモータです。

ブラシ付き DC モータは直流電動機の範疇<sup>はんちゆう</sup>に入り、

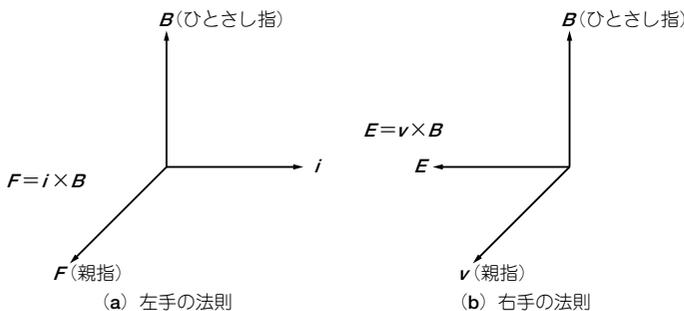


図2  
フレミングの左手・右手の法則