

モータのしくみから位置/速度制御の実践テクニックまで

実践講座 小型モータの選定と制御技術

第10回 ステッピング・モータの構造と動作

～2相, 3相, 5相モータのしくみを詳説～

萩野 弘司

Hiroshi Hagino

これまで、代表的な制御用小型モータとして、ブラシ付きDCモータとブラシレスDCモータについて説明してきました。

今回から、もう一つの制御用小型モータとして数多く使われている**ステッピング・モータ**を取り上げます。

ステッピング・モータの種類と特徴

ステッピング・モータの概要については、本連載第1回(本誌2006年8月号)で説明しました。

ステッピング・モータは、ステータ巻き線をいくつかの相に分け、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ことにより、そのモータに固有の回転角度でステップ状に回転/停止するモータです。

励磁電流を流す相を切り替えるためには複数の相が必要となり、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ます。単相の場合は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。

連続的に回転するDCモータに対して、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。**モータの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。

したがって、特別な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・モータには、電磁気的な構造で**VR**(Variable Reluctance)型、**PM**(Permanent Magnet)

型、**HB**(Hybrid)型があります(本連載第1回参照)。

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。

HB型ステッピング・モータの構造と動作原理

2相, 3相, 5相の**HB型**ステッピング・モータについて、それぞれを対比できるように、構造と動作原理を説明します。

● 2相HB型ステッピング・モータ

2相**HB型**ステッピング・モータの外観形状の例を**写真10-1**に示します。基本ステップ角(後述)が 1.8° で、フレーム・サイズは $\square 42$ (42 mm角)、あるいは $\square 56$ のものが代表的ですが、このほかにフレーム・サイズでは、 $\square 28$ 、 $\square 39$ 、 $\square 60$ や、 $\phi 50$ 、 $\phi 60$ と多くの種類があります。基本ステップ角は、 1.8° の半分の 0.9° のものもあります⁽²⁾。

モータのフランジを取り外すと、**写真10-2**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るため、ロータ鉄心とステータ鉄心の間に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、傷を付けてしまったり、あるいはごみが入ってしまったりする危険もあります。

したがって、分解したモータは、再度組み立てても元の特性には戻らないものと考えべきです。ちなみにメーカーでは、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

ロータには、**写真10-3**に示すように、外周に小さ

Keywords

VR型, PM型, HB型, ハイポーラ結線, ユニポーラ結線, Y結線, スター結線, スタンダード結線, ペンタゴン結線, バーニヤ方式, ホールディング・トルク, ディテント・トルク, ポジション精度, ステップ角度誤差, 隣接角度誤差, ヒステリシス誤差

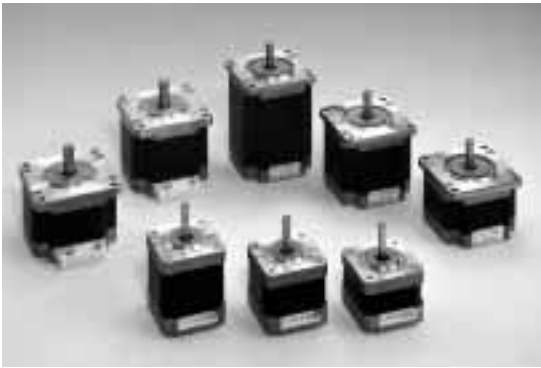


写真10-1 2相HB型ステッピング・モータの外観

な歯を設けた2個の鉄心が軸方向に少しすき間を空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組あるいは3組連結した構造を採用しています(写真10-3左)。

2個の鉄心のすき間の中には、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(一方が山のと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極で、全体で100極のマグネット・ロータの働きをすることになります。

小歯の数は50個が標準的な値ですが、高分解能タイプのモータでは、100個(ピッチは 3.6°)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、あるいは主極などの呼び名があるが、以下主極と呼ぶ)が 45° の等間隔で8個あり、主極の先端にはロータとはほぼ同じ 7.2° のピッチで6個の小歯が設けられています。小歯の数が多いたほうがトルクの発生には有利ですが、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° 位置の極が異極となるようになっているので、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、

$$45 = 7.2 \times 6 + 1.8 = 7.2 \times \left(6 + \frac{1}{4}\right) \dots\dots(10-1)$$

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°)の位相差となります⁽³⁾。

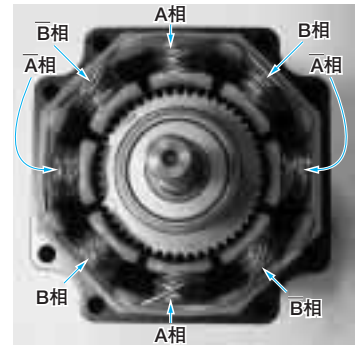


写真10-2 8主極2相(A, B相)モータの構造

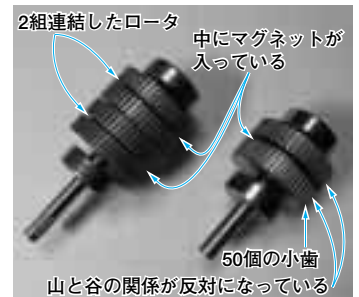


写真10-3 HB型ステッピング・モータのロータ

▶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ることにします。

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10-1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になっています。

図10-1(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 $1/4$ ピッチずれた状態になっています。

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10-1(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。