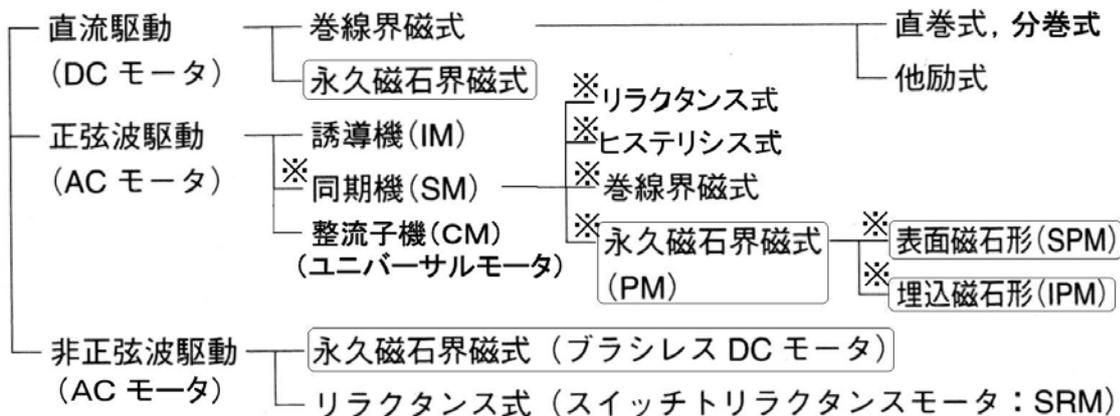


【磁石に関する素朴な疑問から】

モータの基礎と永久磁石シリーズ (5)

【交流で回転する同期モータ】

同期モータ (Synchronous Motor) は先月号でお話をしました誘導モータと同様、回転磁界により回転速度が決定する交流 (AC) モータです。回転する原理・仕組みは誘導モータよりわかりやすく、磁石の吸引によってトルクを得るようになっていています。回転速度は、電源の周波数で決まる同期速度になり、一定です。

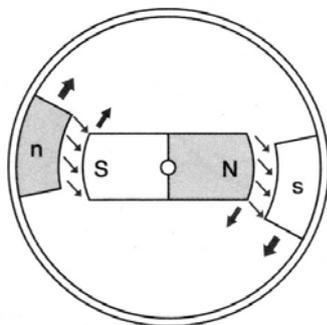


1. 同期モータの基本原則

誘導モータと同様、三相交流の回転磁界を利用して回転するモータで、左下図のように外側の磁石を回転させると、内側の磁石も追従して回転する原理を利用したものです。誘導モータがうず電流と磁界の作用の複雑な原理を応用しているのに比べ、わかりやすいシンプルな原理といえます。

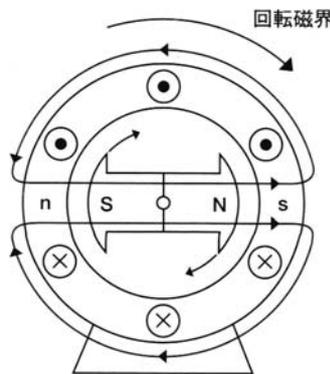
実際は中下図、右下図のように、外側の磁石の代わりに、三相交流の回転磁界を利用しています。

永久磁石のみによる同期モータの基本概念



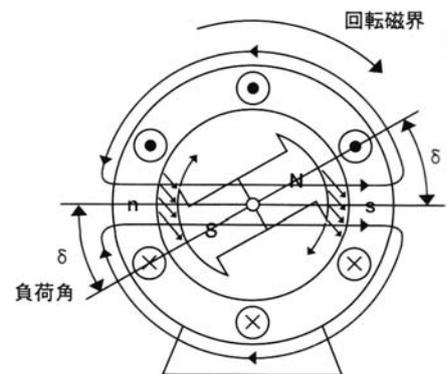
外側の磁石を回転させると、内側の磁石も吸引力によって回転する。

(a) 無負荷時



同期速度で回転中の回転子に回転磁界を与えている

(b) 負荷を担っているとき



回転子は同期速度で回転しているが、回転磁界の方向に対して角度がついている

同期モータの基本原則(永久磁石形の例)

上図 (a) および (b) は、永久磁石できている回転子が同期速度 n_s で回転している状況を表したもので、(a) は無負荷時の回転動作で、回転しているある一瞬の図といえます。コイルの回転磁界によってできた n 極、 s 極に対して、永久磁石の N 極、 S 極が一直線上に重なっています。このとき、モータのトルクは 0 です。(b) は負荷がかかったところで、回転磁界によってできた n 極、 s 極に対して、永久磁石の N 極、 S 極が角度 δ (負荷角) だけ遅れます。

また、停止中のモータに 50~60 Hz の商用周波数の交流電圧を加えても、モータは回転しません。これは、先月号で解説しました誘導モータと同様、

回転磁界の回転速度 (同期速度) $n_s = 2 \times \text{三相交流の周波数} / \text{コイルの極数}$

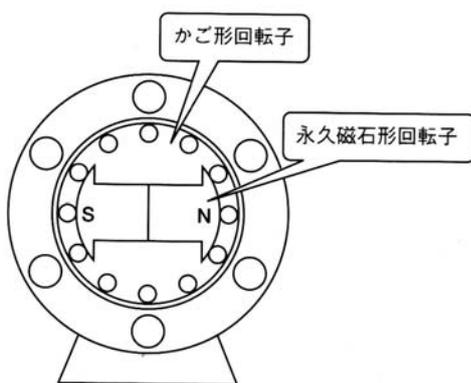
となり、50 Hz の商用周波数の電源では、2 極の回転磁界は 1 秒間に 50 回転していることになり、回転磁界の回転速度が速すぎて、慣性のある永久磁石はこの回転速度に追従できず、右方向と左方向に力を受けてしまい、停止したままになるからです。つまり、同期モータは自力で回転することのできないモータといえます。

2. 同期モータの始動方法

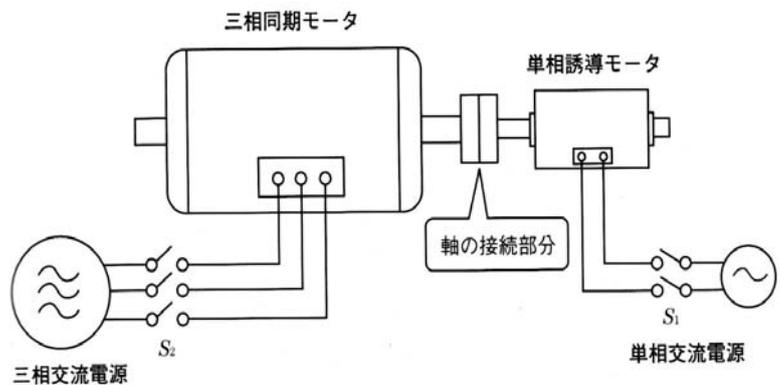
同期速度 n_s まで上昇させる方法としていろいろな方法が考えられますが、ここでは、自己始動できるものと、別のモータに助けってもらう方法についてお話をいたします。

左下図は、かご形回転子と永久磁石形回転子を併設して、誘導モータとして始動できるようにしたものです。これは、小容量の同期モータで利用されています。

右下図は、容量の大きな同期モータの始動に用いられる方法です。誘導モータや直流モータを始動用のモータとして使います。始動手順としては、まず単相交流電源スイッチ S_1 を投入して始動用モータで同期モータを回転させ、回転子が同期速度になったところで同期モータの三相交流電源スイッチ S_2 を投入して、始動が完了します。始動後、単相交流電源スイッチ S_1 を切って、始動モータは軸の部分を外します。



自己始動同期モータ



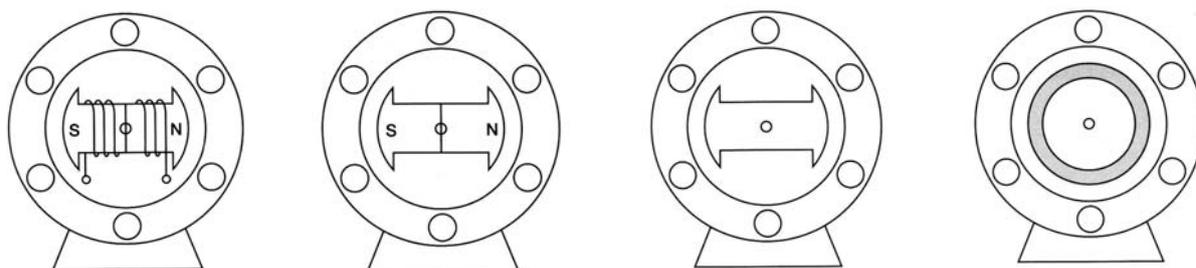
補助始動同期モータ

3. 回転子の構造と同期モータの種類

同期モータの回転子は永久磁石式だけではなく、種々のタイプのものがあり、その構造によって同期モータを分類することがあります。次図にその概要を示しました。

- (a) 電磁石形：電磁石 (巻線/コイル) によって磁極を構成した回転子で、コイルに流れる電流 (界磁電流) を調整して力率を制御できるものです。
- (b) 永久磁石形：永久磁石を利用した回転子で、構造が簡単で小形のモータに利用されます。

- (c) リラクタンس形：回転子に磁石を使わず、鉄心だけで構成されるものです。
 (d) ヒステリシス形：ヒステリシス特性を有する材質を回転子に使った構造です。



(a)電磁石(巻線)形 (b)永久磁石形 (c)リラクタンス形 (d)ヒステリシス形

4. 永久磁石形同期モータ

以上述べた各種同期モータの中で永久磁石形は、ネオジム磁石による永久磁石の高性能化の背景もあり、近年ハイブリッド自動車（HV）、電気自動車（EV）、エアコン、洗濯機、冷蔵庫などの省エネ・高性能モータとしての実用化が促進され、急速にその技術も進展しています。

次図は永久磁石形同期モータでの、永久磁石の基本的な各種使い方の例を示しました。

図のように、永久磁石をロータに利用する方法は、

(1) 磁石をロータ表面に組み込む**表面磁石形** (SPM: Surface Permanent Magnet)

(2) 磁石をロータの鉄心内部に組み込む**埋込磁石形** (IPM: Interior permanent Magnet)

の2種類に大別されます。SPMは磁石の磁束密度を有効に使うことが出来ますが、高速回転のモータでは磁石が割れたり、剥がれたりする欠点があります。一方、IPMは磁石が剥がれたりする危険を減らすことができ、またリラクタンストルクを活用できるという特長を持ちます。



各種表面磁石形(SPM)ロータ 「磁石の小部屋」より



各種磁石埋込形(IPM)ロータ 「磁石の小部屋」より

以上、今月はACモータの中の同期モータについて一回目の解説をさせていただきました。特に永久磁石形同期モータは、家電製品、自動車の最先端モータとして激しい開発競争が繰り広げられていま

すので、この関連のモータについては次回も解説をさせていただく予定です。

<参考資料>

「小型モータのすべてがわかる」 見城尚志、佐渡友 茂、木村 玄 著 （技術評論社）

「よくわかる最新モータ技術の基本とメカニズム」 井手 萬盛 著 （秀和システム）

「自動車用モータ技術」 堀 洋一、寺谷 達矢、正木 良三 著 （日刊工業新聞社）

「NeoMag ホームページ」、NeoMag 通信バックナンバー、磁石・磁気の用語辞典等

“皆様の夢、アイデアの実現をNeoMagが誠心誠意応援いたします。”

また、NeoMagのホームページでお会いいたしましょう！！