

風力発電の基礎シリーズ(8)

先月号までは、風力発電の基礎として、風力発電機の種類、各種システム、内部構造、羽根の構造、安全対策の方法などについて勉強してきました。今月は風力発電に使われる発電機について、実用的なシステムで使われている発電機、あるいは自作の風力発電機に適している発電機について解説させていただきます。

1. 実用発電機の種類と周辺システム

風力発電の歴史を調べてみると、19世紀末から20世紀前半にはコミュニティ用の出力規模の小さな直流発電機が使われていました。その後、第2次大戦以降、出力規模も大きくなり、交流発電による系統連系方式が行われています。

現在の大型風力発電装置で使われる発電機の種類と特徴を図に示します。20世紀末の世界市場では、1000kW程度までの中型機種が多く、(A)ギヤ付きかご型誘導発電機、(B)ギヤ付き巻線型誘導発電機スリップ可変速制御)、などが主流でした。しかし、21世紀に入り主力機種が大型化して2000kW程度以上に移行してきたことから、その出力変動をできる限り小さく抑えたいという要求から、(C)ギヤ付き巻線型誘導発電機(2次励磁可変速制御)、(D)ギヤレス多極同期発電機(インバータ可変速制御)の2種類が主流になりつつあります。

特にドイツでは、超大型機で、(D)タイプの6000kW機が2002年に運転を開始しており、さらに、(B)タイプの5000kWが2004年末、6000kWが2005年から運転を開始しています。その他の機種では、(A)タイプは、出力変動や効率の問題があり、徐々に使われる機種も少なくなってきました。ただし、このタイプは、機能が単純で低価格であり、かつ、山岳地域や離島における輸送問題では有利であることから、今後も1000kW以下の装置としてのニーズは引き続き根強くあるようです。一方、永久磁石を使用するものは、冷却性能および価格の問題などがありますが、高性能ネオジム磁石を利用した発電機が小型、中型機を中心に、盛んに使用されるようになってきています。

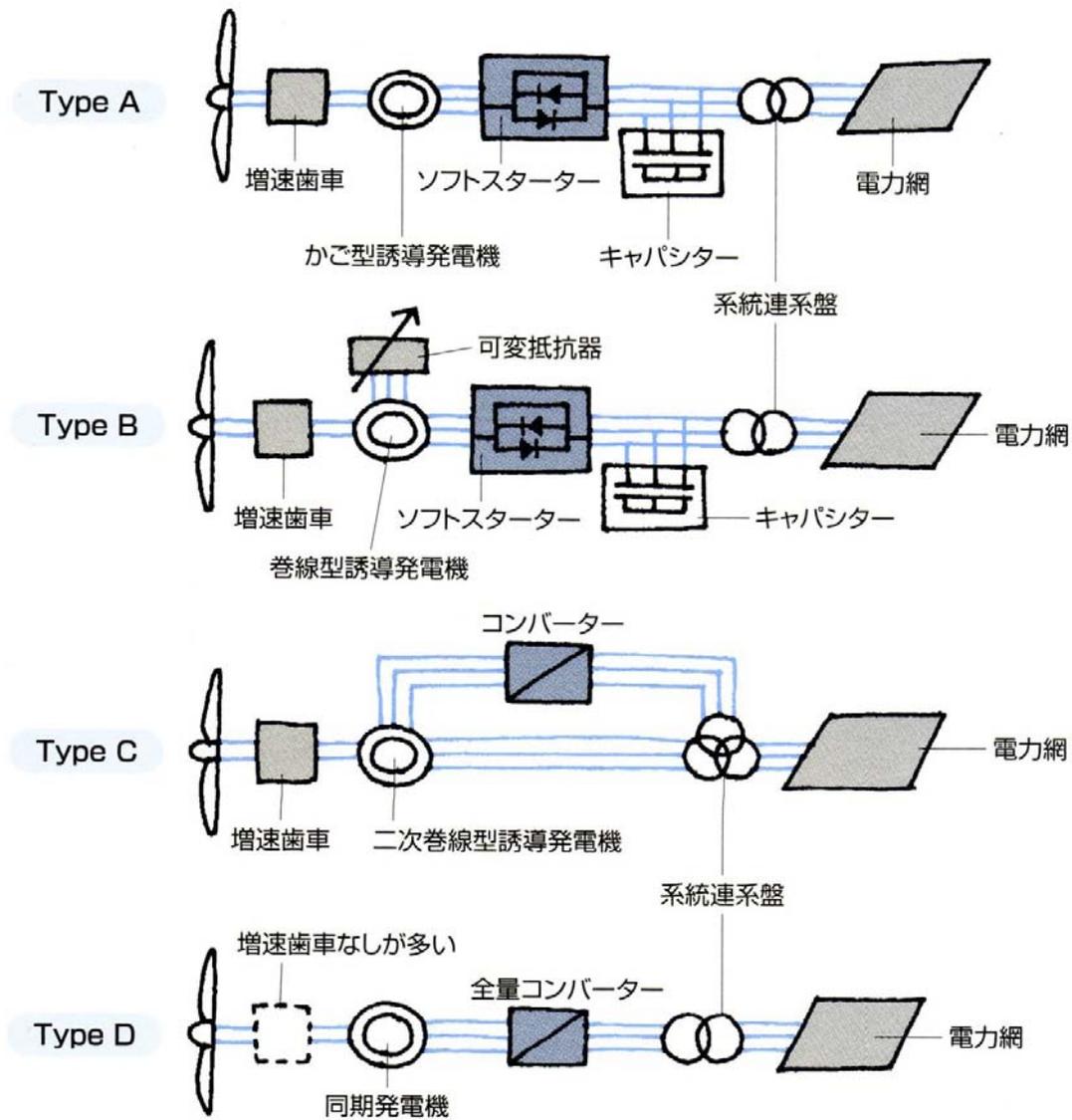
また、現在の主要機種である(A)、(B)、(C)、(D)のそれぞれのタイプの機種について、下表にその電気的特徴を記しましたが発電方式の違いにより、カットイン風速、系統接続時の突入電流、中低風速域での発電効率、定格風速以上での出力変動やカットアウト方法などが大きく異なっています。

Type	運転方法	発電機	長所	短所
A	定速	かご型誘導発電機	安価、構造がシンプル、頑丈	フリッカ電圧、電力調整不可、抵抗率
B	可変速	巻線型誘導発電機	最適な出力調整可	コンバーターサイズ・高価
C		二次巻線型誘導発電機	最適な出力調整可、コンバーターがコンパクト	速度範囲の制限、高価
D		同期発電機	電圧および出力調整可、ギヤレス、高効率、頑丈、自己励磁	全量コンバーターが必要、発電機構成が複雑、非常に高価

(Hansen&Hansen, 2007 による)

実用発電機のタイプ別特徴

上表中の“フリッカ電圧”とは、系統に流れる電流が変化する時に、負荷に供給される電圧が変動し、照明がちらつく現象のことです。次図は発電機のタイプ別の代表的なシステムを示したものです。

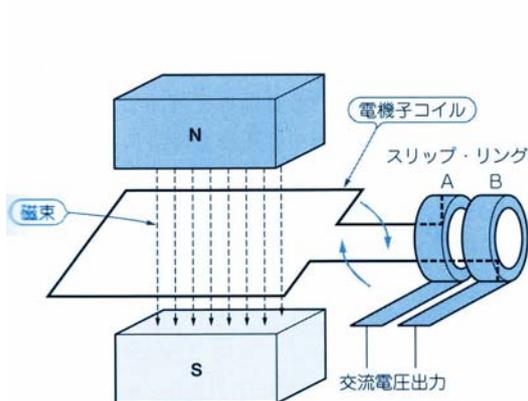


代表的なタイプ別発電機システム

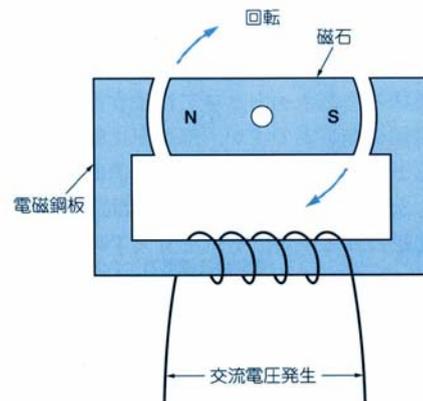
2. 自家製風力発電システムの発電機

発電機にはいろいろな構造があり、自作するとなると、どのような構造にするかが課題です。そこで、まずは発電機の原理や、使用できる材料について調べることにしましょう。

(2-1) 発電機の原理



固定磁石と回転コイルによる発電機の原理

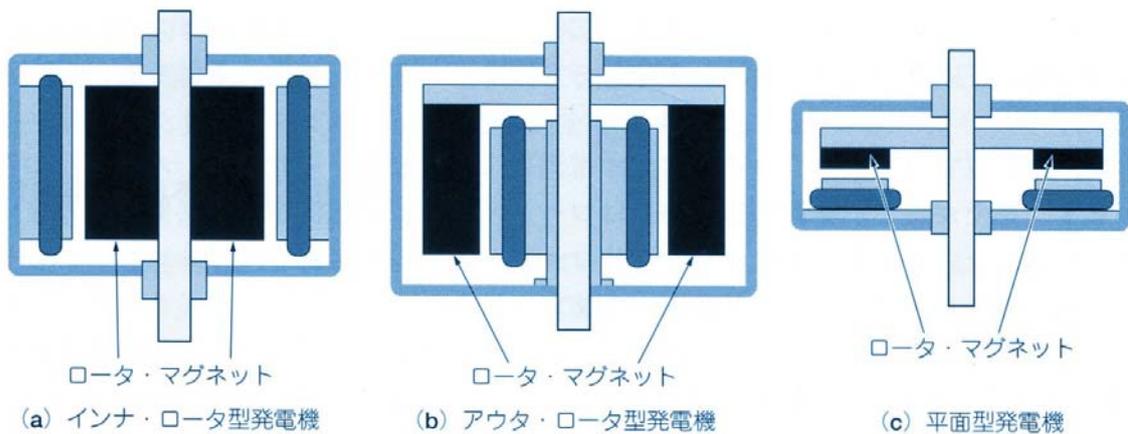


回転磁石と固定コイルによる発電機の原理

発電機は、磁界の中に銅などの金属導線の棒を置き、この棒を外力で動かすと、導線に電圧が発生するという「フレミングの右手の法則」が原理となっています。例えば、上左図のように磁界の中で電機子コイルを回転させ、スリップ・リングを介して取り出せば、極数の数を p 、回転数を n (rpm)、周波数を f Hz とすると、 $f = np / 120$ の交流が取り出せます。逆に、電機子コイルに電流を流せば、モータとして回転させることができるわけです。

実際の発電機では、上右図のようにマグネットが回転するようになっているものが多く、磁気回路とコイルを配置し、マグネットを回転させることによって、巻き線に起電力を発生します。したがって、スリップ・リングは不要となり、構造的にはシンプルに構成できます。

上記のような発電の原理を効率よく具現化するための構造はいろいろ考えられますが、一般に次図に示すような構成です。



各種永久磁石型発電機の構造

図(a)のようにマグネットが回転し、外側の固定極コアにコイルが巻かれる「インナ・ロータ型」、図(b)のように外側をロータ・マグネットとして内部に固定極を設ける「アウタ・ロータ型」、さらには図(c)のような平面状にロータ・マグネットと固定極を配置した「平面型」などが考えられます。この平面型は、多くの市販小型風力発電機にも採用されています。

自動車の交流発電機はインナ・ロータ型ですが、マグネットの部分にロータ・コイルが巻かれていて、このロータ・コイルの励磁電流を制御して磁界の強さを可変し、出力電圧を調整するしくみです。このため、回転するロータ・コイルに励磁電流を流すためのスリップ・リングが使われます。一方、自転車用の発電機はアウタ・ロータ型が使われており、非常に簡単な構造です。

このように発電機は、マグネット、コア、コイルから構成されますが、キー部品は何といても特殊形状のマグネットとコアに使う電磁鋼板といえます。上記のいずれの構造も特殊形状のマグネットや電磁鋼板が必要ですが、特に平面型は、部品が比較的入手しやすく、個人レベルで製作しやすい発電機の構造といえます。理由は、構造に湾曲部が比較的少なく、材料を加工しやすいからです。また、マグネットも特殊な形状は必要ありません。

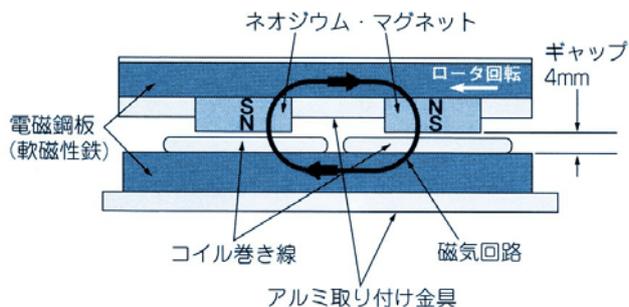
上記のような発電機の重要部品であるマグネットと電磁鋼板は、一般のお店で購入することは難しいと思われませんが、例えば、ネオジム磁石などは、当社のような専門店を利用すれば問題ありません。

マグネット(永久磁石)は、フェライト磁石、サマリウム・コバルト磁石、ネオジム磁石などが考えられます。フェライト磁石は安価ですが、磁力が小さく、発電効率が落ちます。サマリウム・コバルト磁石は磁力が大きいのですが、工作上、機械強度が若干問題になります。ネオジム磁石は最も磁力が大きく、機械強度もまずまずで、専門店では多種の形状がそろっています。したがって、自作平面

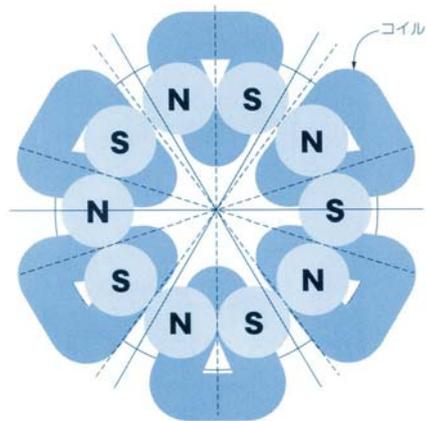
型発電機にはネオジウム磁石が最も適しているのではないのでしょうか。

(2-2) 自作発電機の例

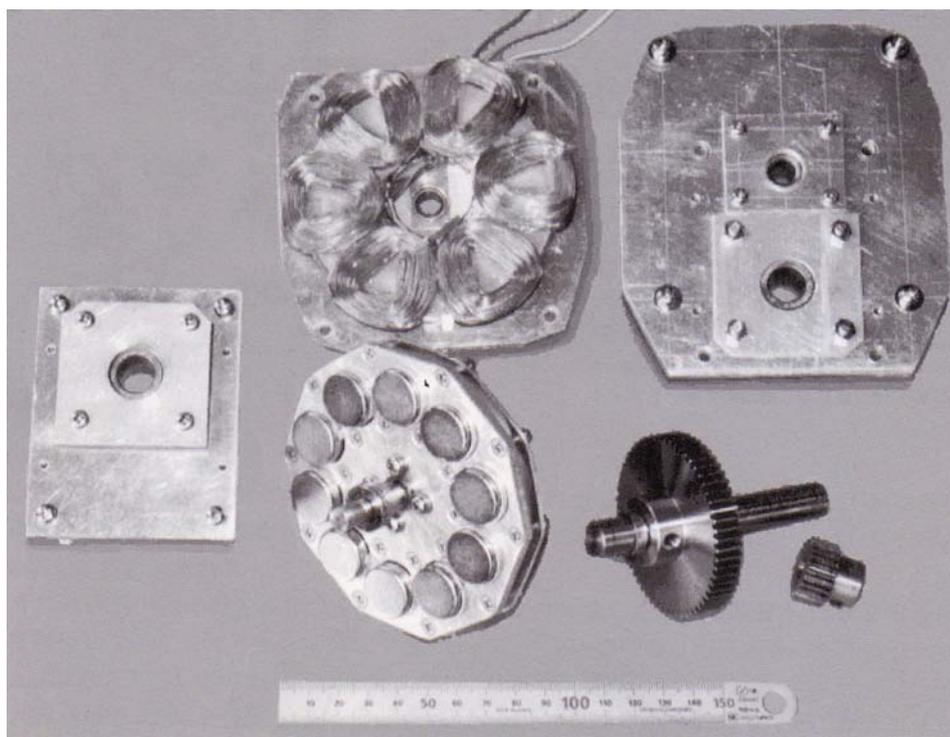
次図は平面型自作発電機の一部です。(マイクロ風力発電機的设计と制作・CQ出版社より)
円柱型(ディスク型)ネオジウム磁石とヨーク(電磁鋼板)、扁平コイルをうまく組み合わせたコアレス型的设计になっていて、風速が10m/sのとき、200Wの出力が得られたそうです。



コアレス構造の発電機断面



磁石とコイルの配置例



ギア増速型発電機の部品例

<参考資料>

- 「トコトンやさしい 風力発電の本」 牛山 泉 著 (日刊工業新聞社)
- 「風力発電機製作ガイドブック (改訂版)」 金網 均、松本文雄 共著 (パワー社)
- 「マイクロ風力発電機的设计と政策」 久保 大次郎 著 (CQ出版社)
- 「ウィキペディア・フリー百科事典」