

小型モータ用フェライト磁石

(1960 年頃～現在)

Key-words：フェライト磁石、ストロンチウムフェライト、バリウムフェライト、モータ

注1 統計上、小型モータは「出力 70W 未満のモータ」として分類される場合があるが、広義には片手で持てる程度の小型のモータを指す。本稿では広義の小型モータを扱っている。

フェライト磁石は Fe と Sr あるいは Fe と Ba の複合酸化物である。フェライト磁石は NdFeB 磁石に代表される希土類金属磁石と比較すると発生できる磁力は弱い、高いコスト・パフォーマンス、化学的安定性といった特長を有している。フェライト磁石は小型モータ用^{注1)}として広く使用されているが、特に自動車分野においてはフェライト磁石の特長が低コストと信頼性の両立というニーズと合致しており、フェライト磁石を用いた小型 DC モータが数多く利用されている。

フェライト磁石の高性能化はその特性の理論値の制約から一時期、限界が囁かれていたが、1997 年、LaCo 系 Sr フェライト磁石の開発によりその壁が打ち破られた。これを契機にフェライト磁石の性能はさらに向上し、モータ設計技術の向上と相まって小型モータのダウンサイジング、高性能化が進んでいる。

1. 製品適用分野

小型モータ

2. 適用分野の背景

モータは磁気的な吸引力と反発力を利用し、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する装置である。磁界は電磁石で発生させることもできるが、永久磁石はエネルギーを加えなくても磁界を発生し続けるため、永久磁石を使用することでモータの効率を改善することができる。図 1 (a) に小型モータ用フェライト磁石の例を示した。磁石は図 1 (c) のようにモータ内部に組み込まれる (図はブラシ付き DC モータの例)。

磁石の性能は磁力の強さを示す残留磁束密度 B_r と外部磁場に対する安定性を示す保磁力 H_{cJ} により表される。モータの動作中、磁石はコイルが発生する逆磁

界にさらされるため、 H_{cJ} が低いと減磁という磁力の低下が起きてしまう。この減磁の起こりやすさは磁石の形状にも関係し、薄肉化するほど減磁しやすくなる。 H_{cJ} が高ければ減磁は起こりにくいため、磁石を薄肉化することが可能となり、モータ径を小さくすることができる。一方、 B_r が高ければ磁石が発生する磁束量が多くなり、モータの高トルク化に寄与する。トルクを同等とするのであれば、モータ長を短くできる。つまり磁石の性能が高ければ、モータの高性能化、小型・軽量化が可能となる。

3. 製品の特長と仕様

一般に広く使用されているフェライト磁石は六方晶系の Sr フェライト $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ または Ba フェライト $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ である。1952 年に Ba フェライトが開発され、

1963 年にはより特性の高い Sr フェライトが発表された。フェライト磁石は酸化鉄を主原料とするため安価であるという特長がある。

図 2 に現在広く用いられている永久磁石材料の性能を示した。一口に小型モータと言っても様々な用途、性能、サイズのものがある。磁石はその目的にあったものが使われており、主に磁気特性、コスト、信頼性のいずれを重要視するかを基準に選定される。コストは高くとも高性能化や小型化が追求される用途には NdFeB 焼結磁石や NdFeB ボンド磁石が用いられる。一方、フェライト磁石は主に低コストが要求される用途に用いられる。

フェライト磁石には酸化物であるため化学的な安定性に優れるという別の特長もある。低コストと信頼性の双方が要求される自動車用モータのニーズに小型の DC ブラシ付きフェライト磁石モータが合致しており、自動

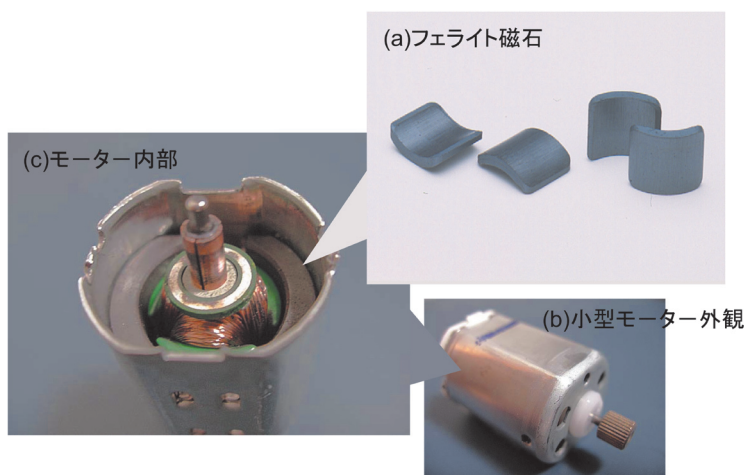


図1 小型モータ用フェライト磁石の例

(a) ブラシ付き DC モータ用のフェライト磁石。完成したフェライト磁石はそのままでは磁気を帯びていない。使用に際して外部から磁場を加えて着磁を行い、所定の方向に磁化させる。(b) ドライヤーに組み込まれていたブラシ付き DC モータ。(c) モータ内部に組み込まれたフェライト磁石。

車用小型モータの多くにフェライト磁石が使用されている。

Sr フェライト磁石の特性例を表1に示す。モータの用途・設計に応じて必要とされる B_r や H_{cJ} の値が異なるため、同一グレードでも異なる特性バランスの材質が用意されるのが普通である。表にも見られるとおり一般に B_r と H_{cJ} は相反関係にある。

4. 製法¹⁾

図3にフェライト磁石の製造プロセスを示す。原料である酸化鉄と炭酸Srまたは炭酸Baを混合・分散後、仮焼を行ってフェライト化させる。仮焼粒子は粉碎工程でサブミクロンサイズまで微細化される。

次いで、所定の形状に圧縮成形されるが、ここで特徴的なのが磁場中成形である。フェライト磁石は六方晶の c 軸方向に磁化されやすい軸異方性^{注3)}を有するため、磁場

中で成形して結晶方位を揃えることで B_r を改善できる。このように結晶方位が揃えられた磁石を異方性磁石、結晶がランダムに配向している磁石を等方性磁石という。さらに成形については低コストの乾式成形と高特性が得られる湿式成形の2つの製造法がある。乾式成形は磁石粉末をそのまま成形するものであり、湿式成形は磁石粉末を含むスラリーを脱水しながら圧縮成形する方法である。特に低コストが要求される用途にはフェライト磁石の中でも乾式異方性フェライト磁石が使用されることが多い。より高性能が要求される用途には湿式異方性フェライト磁石が使用される。

続いて成形体を焼成し、得られた焼結体を所定の形状に加工することでフェライト磁石が完成する。

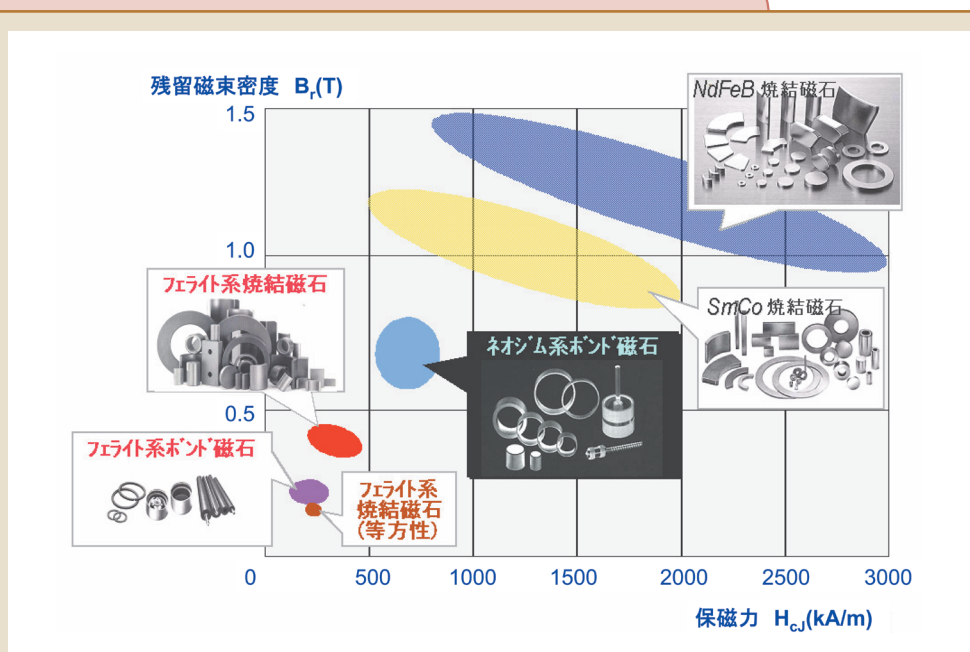


図2 代表的な磁石材料の性能

現在、最強の磁石はNdFeB焼結磁石である。SmCo焼結磁石は非常に高価だが耐熱性が良好である。ネオジム系ボンド磁石は形状自由度に優れる。フェライト磁石は特性面ではこれらの磁石に劣るが、コスト・パフォーマンスに優れる。

表1 フェライト磁石の磁気特性の例

Al量	B_r (mT)	H_{cJ} (kA/m)	$(BH)_{max}$ (kJ/m ³)
少	440	263	36.7
中	420	318	33.4
多	400	358	30.3

湿式異方性ストロンチウムフェライト磁石の磁気特性の一例。 $(BH)_{max}$ ^{注2)}は最大エネルギー積である。これらの数値は同一の材質グレードのものであり、モータの設計によって最適な特性バランスの磁石が選定される。特性バランスの調整は一般に Al_2O_3 添加などにより行われる。

5. 将来展望

市場要求を背景に組成技術、粉碎技術、微細構造制御技術などを駆使して高性能化が進められた結果、1990年代半ばにはフェライト磁石の特性は工業ベースにおいてはほぼ飽和してしまった。従来のフェライト磁石の高性能化はいかに特性をSrフェライトの理論値に近づけるかというものだったからである。

そのような状況の中、1997年にブレイクスルーが成し遂げられた。SrフェライトにLaとCoを複合的に含有させることで飽和磁化と異方性磁界(それぞれ B_r と H_{cJ} の理論上の限界値)を改善できることが明らかとなった。このLaCo系Srフェライト磁石は1999年に工業化され、モータ設計技術の進歩と相まってモータの小型・軽量化、高性能化がさらに進んだ。LaCo系

注2 磁石の減磁曲線上の磁束密度(B)と対応する磁界(H)の積の最大値。磁石から取り出すことのできる最大のエネルギーは最大エネルギー積に比例するため、磁石の性能を一言で表す場合に用いられる。この値を高くするには残留磁束密度 B_r と保磁力 H_{cJ} の双方が高くなければならない。

注3 強磁性体において特定の方向(磁化容易軸)にのみ磁化されやすく、それと直交する方向(磁化困難軸)では磁化されにくいという性質。フェライト磁石もNdFeB磁石も一軸異方性を示す。

フェライト磁石の開発はその後も続けられ、最近では B_r 470mT, H_{cJ} 380kA/m といった高性能の磁石が発表されている。フェライト磁石を使用した小型モータは今後、一層の小型・軽量化、高性能化が進むものと期待される。

文 献

- 1) 増澤清幸, *Electronic Monthly*, Nov., 35-39 (1998) .
- 2) 見城尚志, 佐渡友茂, 木村玄, “イラスト・図解最新小型モータのすべてがわかる”, 技術評論社 (2006) .

[連絡先] 増澤 清幸
TDK (株)
材料・プロセス技術開発センター

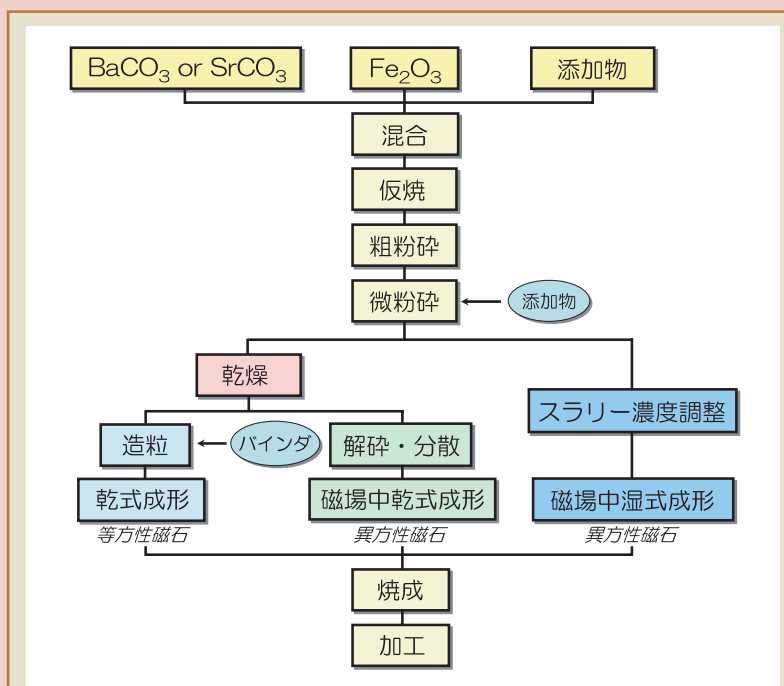


図3 フェライト磁石の製造方法

乾式等方性、乾式異方性、湿式異方性の3種類の製造フローを示してある。異方化は磁場中成形により行われる。