

磁気応用品入門ガイド

目次

P1 磁気特性カーブの見方

P2 磁石の動作磁束密度

P3 磁石の動作磁束密度分布 / 磁石単体の減磁について

P4 磁石応用品の減磁について / リニアモータ

P5 会社概要・お問い合わせ

磁気特性カーブの見方

J-HカーブとB-Hカーブ

磁石の磁気特性について、J-HカーブとB-Hカーブを使ってご説明します。
磁石内部の磁束密度をB、磁界の強さをH、磁化(磁気分極)をJ、
真空の透磁率を μ_0 とすると、次式が成立します。

$$B = \mu_0 H + J \text{ (SI単位系)}, \text{ または } B = H + J \text{ (cgs単位系)}$$

なお、磁気特性カーブはB-Hトレーサ等で測定できます。また、磁石の動作
磁束密度は磁気特性カーブの第二象限を使って求められます(図1)。

J-HカーブとB-Hカーブの相関

$B = \mu_0 H + J$ (SI単位系) または $B = H + J$ (cgs単位系) の関係式より、
J-HカーブからB-Hカーブが求められます。言い換えると、J-Hカーブと
B-Hカーブには相関があります(図2、図3)。磁石の動作磁束密度は、第二
象限のB-Hカーブを使用します。一方、磁石の減磁は、第二象限のJ-Hカーブ
を使用します。

なお、第二象限の磁界の強さHは負の値ですが、これは磁石内部に反磁界(自
分自身を打ち消す磁界)が生じることを意味します。磁石を上手に使うには、
この反磁界に注意して磁気回路を設計する必要があります。

パーミアンス係数 P_c と P_i

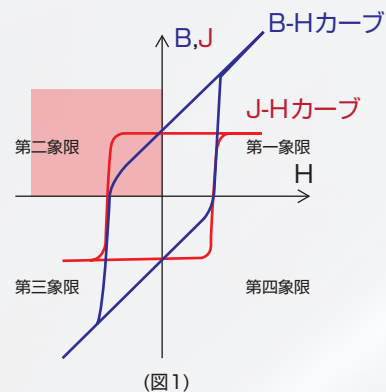
原点から第二象限のB-Hカーブ(cgs単位系)に向かって引いた直線の傾き
(B / H)をパーミアンス係数 P_c と呼びます。 P_c の値は、磁石内の反磁界が
小さいほど大きくなります。言い換えると、反磁界が小さいほど磁石の動作
磁束密度は大きくなります。 P_c とB-Hカーブは、磁石の動作磁束密度を求
めるときに使用します。

原点から第二象限のJ-Hカーブ(cgs単位系)に向かって引いた直線の傾き
(J / H)をパーミアンス係数 P_i と呼びます。 $B = H + J$ の関係式より、
 $P_i = P_c + 1$ になります。 P_i とJ-Hカーブは、磁石の減磁量を求めるときに
使用します(図4)。

磁気特性の呼称

第二象限のB-Hカーブと縦軸の交点を残留磁束密度 B_r 、横軸との交点を
保磁力 H_{cb} と呼びます。また、J-Hカーブと横軸の交点を固有保磁力 H_{ci}
 と呼びます。さらに、B-Hカーブ上のBとHの積が最大になるときの値を
最大エネルギー積 $(BH)_{max}$ と呼びます(図5)。なお「磁石の保磁力」という
場合は一般的に H_{cb} を指します。

B_r が高いほど、より多くの磁束を磁石外部へ供給することができます。
また、 H_{cb} が高いほど減磁し難い磁石になります。 $(BH)_{max}$ が大きいほど、
単位体積あたりのエネルギーが大きい磁石と言えます。

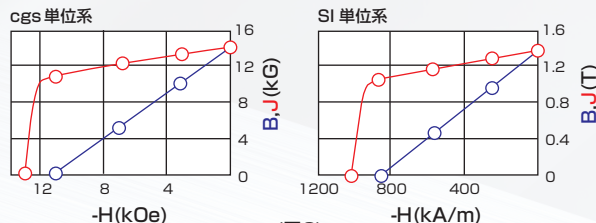


(図1)

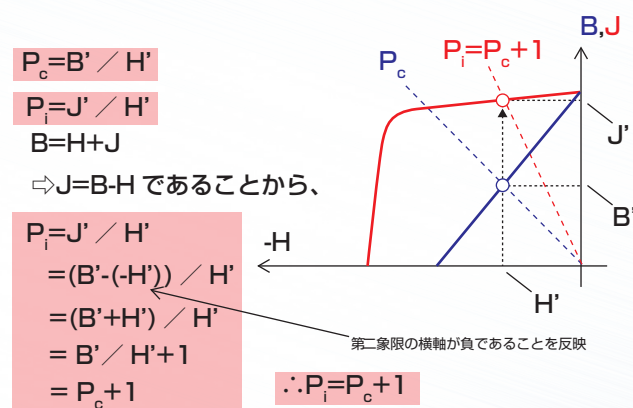
データ No.	cgs 単位系			SI 単位系		
	横軸 H (kOe)	縦軸 J (kG)	縦軸 H+J=B (kG)	横軸 H (kA/m)	縦軸 J (T)	縦軸 $\mu_0 H + J = B$ (T)
1	0	14	0+14=14	0	1.4	$(\mu_0 \times 0) + 1.4 = 1.4$
2	-3.7	13	-3.7+13=9.3	-291	1.3	$(\mu_0 \times -291 \times 10^3) + 1.3 = 0.93$
3	-7.3	12	-7.3+12=4.7	-583	1.2	$(\mu_0 \times -583 \times 10^3) + 1.2 = 0.47$
4	-11	11	-11+11=0	-875	1.1	$(\mu_0 \times -875 \times 10^3) + 1.1 = 0$
5	-13	0	-13+0=-13	-1035	0	$(\mu_0 \times -1035 \times 10^3) + 0 = -1.3$

但し、 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$

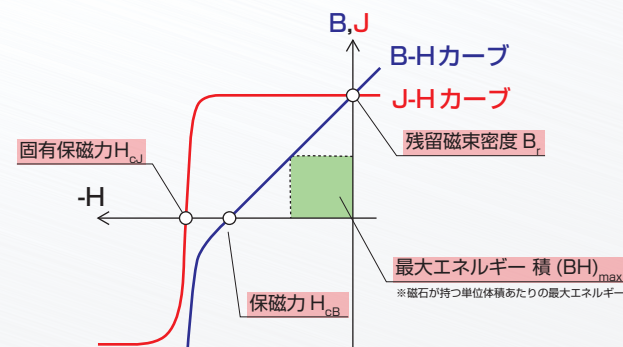
(図2)



(図3)



(図4)



(図5)

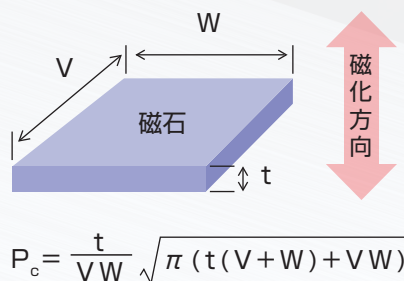
磁石の動作磁束密度

磁石単体の動作磁束密度

磁石の動作点とは、磁石が外部へ放つ磁束密度の大きさを知るためのB-Hカーブ上の指標です。動作点は、B-Hカーブと P_c との交点で、 B' がその動作磁束密度の大きさ、 H' が反磁界の大きさになります(図1)。

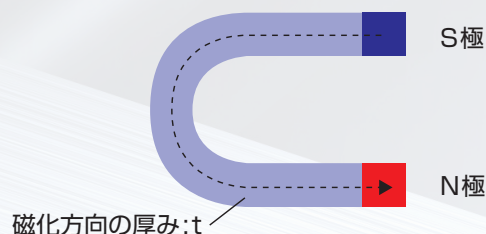
なお、実際の磁石の中では P_c に分布を生じるため P_c は一定値になりませんが、 P_c の代表値を略式に求める手法(仮定磁路法)があり、例えば磁石の磁化方向の厚みを t mm、磁化方向に垂直な2つの方向の磁石寸法を V mmと W mm とすると、 P_c は下式で表せます(図2)。

仮定磁路法の P_c 式が示すとおり、磁石の動作点を高めるには、磁化方向の厚み t を増やすのが最も有効です。昔懐かしい馬蹄形の磁石は、保磁力の低い磁石しか作れなかった時代に、磁石の形状的な工夫で磁化方向の厚み t を増やしつつ、磁極間の距離を小さくする手法として採用されました(図3)。

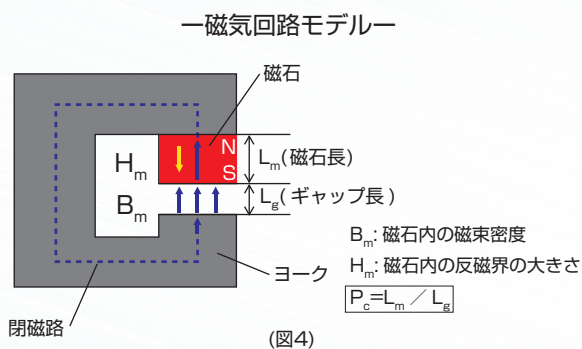

$$P_c = \frac{t}{VW} \sqrt{\pi(t(V+W) + VW)}$$

(図2)

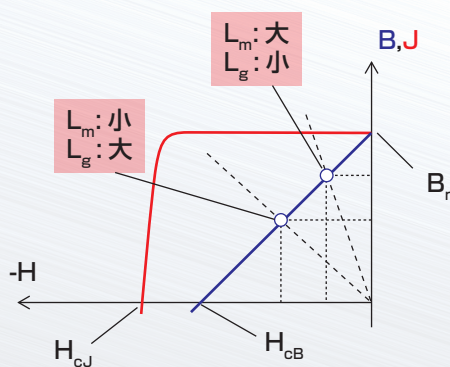
—昔懐かしい馬蹄形の磁石—



(図3)



(図4)



(図5)

磁気回路上の磁石の動作磁束密度

磁石とヨークとで構成される磁気回路において、磁石の P_c の代表値は仮定磁路法により $P_c = L_m / L_g$ で求められます。これは、磁石およびギャップ部に比べて、ヨーク部の磁気抵抗が極めて小さいことによります。なお、磁石のN極から出る磁束が、ヨークやギャップ(空隙)を介して同じ磁石のS極に戻るループを、閉磁路と呼びます(図4)。

他の一例として、磁気回路の一つの閉磁路の中に長さ L_m の磁石が2個、 L_g が1箇所あれば、 $P_c = 2L_m / L_g$ になります。4ページ目のコアレス型リニアモータの磁気回路が、これに相当します。一般的なコアレス型リニアモータは、コの字型ヨークの内面それぞれに同形の磁石を配置して、その磁石間のギャップ部で励磁コイルが動きます。励磁コイルには、フレミングの左手の法則に従いローレンツ力が発生します。

なお、 L_m が大きくて L_g が小さいほど P_c は大きくなるため、磁石の動作磁束密度は高くなります。反対に、 L_m が小さくて L_g が大きいほど P_c は小さくなるため、磁石の動作磁束密度は低くなります(図5)。

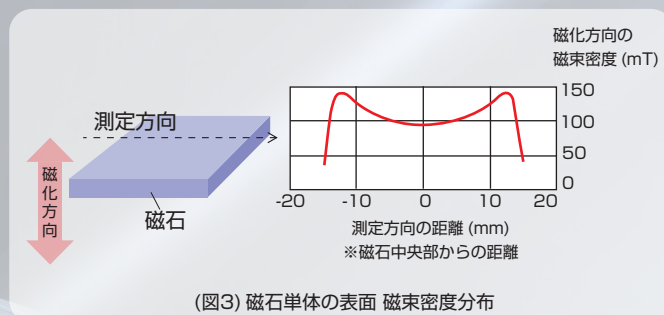
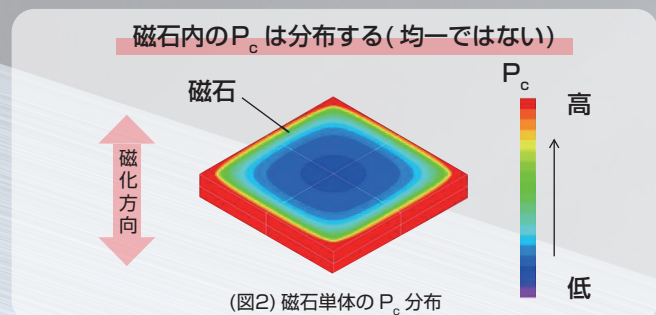
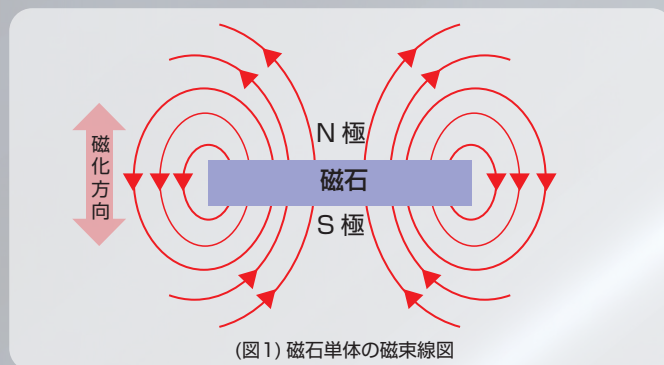
磁石単体と同様に、実際の磁気回路の中では P_c に分布を生じるため、 P_c は磁石内で一定値になりません。すなわち、仮定磁路法による P_c や $P_l (=P_c + 1)$ の計算値は、代表値として扱う必要があります。

磁石の動作磁束密度分布

磁石単体の動作磁束密度

仮定磁路法では磁石の P_c は一定値でしたが、実際の磁石内では P_c に分布を生じます。例えば平板状の磁石を例にすると、磁石端部では中央部に比べて L_g が短くなるため、同じ磁石内でも端部の方が P_c は大きくなり、動作磁束密度は高くなります(図1、図2)。

磁石の動作磁束密度分布は、有限要素法や境界要素法による2次元や3次元の磁界解析で求められます(図2、図3)。もちろん磁石単体に限らず、磁石とヨークとで構成される磁気回路の動作磁束密度分布も、磁界解析で求められます。



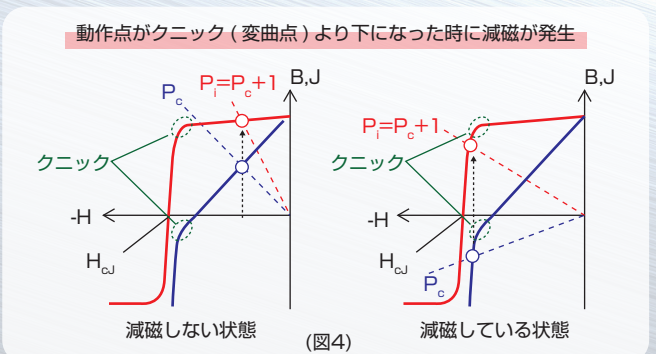
磁石単体の減磁について

パーミアンス係数と不可逆減磁

磁石の減磁には、元に戻る可逆的なものと、元に戻らない不可逆的なものがあります。可逆的な減磁とは、例えば磁石が許容範囲内で温度上昇した際に、磁束密度が低下する現象(つまり、温度係数が負)であり、温度が戻ると磁束密度も元に戻ります。

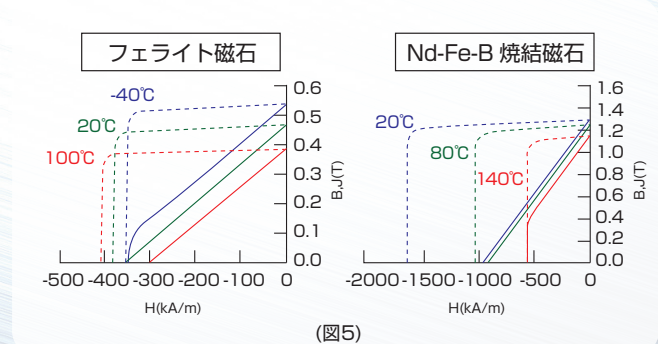
一方、不可逆的な減磁とは、例えば磁石が許容範囲を超えて温度上昇した後で、温度が戻っても磁束密度が元に戻らない現象です。なお、磁石の温度変化が無くても P_c が低すぎると磁石は不可逆的に減磁します。また、着磁と反対方向に大きな逆磁界が加わったときにも、磁石は不可逆的に減磁する場合があります。磁石の不可逆的な減磁の有無を判断することは、磁気回路を設計するうえで極めて重要な項目になります(図4)。

磁石の不可逆的な減磁量は、第二象限のJ-Hカーブのクニック(変曲点)と P_i との比較によって、定量的に求められます。但し、実際の磁石には P_i に分布を生じるため、厳密には有限要素法や境界要素法などによる磁界解析で分布を考慮した計算をする必要があります。



温度依存性

上記で磁石の温度変化に伴う減磁について説明しましたが、磁石の種類によって減磁の挙動は異なります。代表例としてフェライト磁石とNd-Fe-B焼結磁石の B_r の温度係数と、 H_{cJ} の温度係数の正負を示します(図5、図6)。磁石の動作磁束密度や減磁を求めるとき、磁石の動作温度や最高到達温度におけるJ-HカーブやB-Hカーブが必要不可欠です。言い換えると、 B_r や H_{cJ} の温度係数は磁気回路を設計するうえで欠かせない情報と言えます。



	フェライト磁石	Nd-Fe-B焼結磁石
B_r の温度係数(%/°C)	負	負
H_{cJ} の温度係数(%/°C)	正	負

低温で H_{cJ} が下がる 低温減磁 (図6)

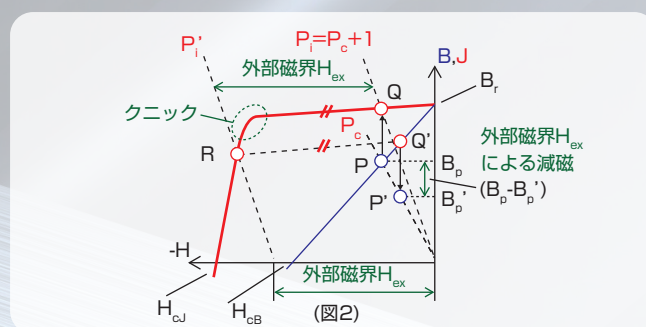
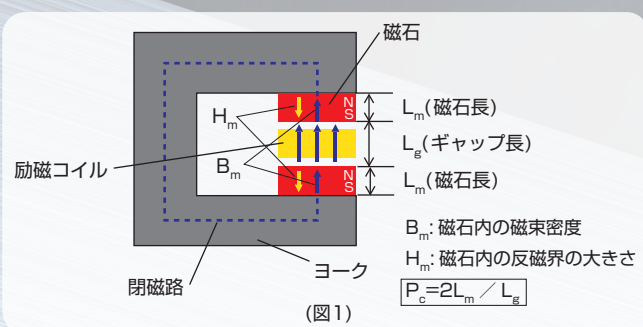
高温で H_{cJ} が下がる 高温減磁

磁石応用品の減磁について

リニアモータの減磁電流について

リニアモータの減磁電流について説明します。先ほどの磁石単体の不可逆減磁と同様に、磁気回路上の減磁電流（どこまで電流を流しても減磁しないのか）を算出することができます。例えばリニアモータの単相あたりのコイル巻回数を 200 ターン、実効電流値を 10A（アンペア）とすると、磁石に加わる最大電流値は $200 \times 10 \times \sqrt{2} = 2828 \text{ A}$ になります。この最大電流値を $L_m = 10\text{mm}$ の磁石 $\times 2$ 個で受けるため、磁石に加わる最大の外部磁界 H_{ex} は、 $H_{ex} = 2828 \div 2L_m = 141\text{kA} / \text{m}$ になります。コアレス型リニアモータ（図1）は $P_c = 2L_m / L_g$ 、 $P_i = P_c + 1$ のため、例えば $L_m = 10\text{mm}$ 、 $L_g = 20\text{mm}$ とすると $P_i = 2$ になります。リニアモータの最高到達温度が 60°C の場合、使用する磁石の 60°C の J-H カーブ上のクニック（変曲点）の位置、および外部磁界の大きさにより、減磁の有無を推定することができます。

図2のP点からの垂線とJ-Hカーブとの交点を、Qとします。Q点は、外部磁界が0（ゼロ）時の磁化の強さを示し、 $P_i = P_c + 1$ と J-Hカーブの交点と一致します。外部磁界 H_{ex} が逆方向に加わる場合、パーミアンス係数が外部磁界だけ平行移動した P_i' になると考えられます。したがってQ点は、 P_i' と J-Hカーブの交点Rに移動します。次に、外部磁界を取り除いた場合、R点はJ-Hカーブに対して平行移動し P_i との交点Q' になります。Q' 点から下ろした垂線と P_c との交点P' が、外部磁界を受けた後の磁石動作点での磁束密度 B_p' になります。つまり、B-Hカーブと P_c との交点Pには戻らず、 $(B_p - B_p')$ だけ磁束密度が低下します。なお、磁石単体と同様に実際の磁気回路では P_i に分布を生じるため、厳密には磁界解析などで分布を考慮した計算が必要になります。



リニアモータ

コアレスリニアモータ

低速から高速まで、高い位置決め精度と等速性を実現するコアレスリニアモータ

【特性】

1. 高推力 (High Thrust) / 高性能 Nd-Fe-B 焼結磁石採用の磁気回路設計技術
2. 等速性 (High Velocity Stability) / 正弦波磁束プロファイルの実現による低推力リップル特性
3. 高効率 (High Efficiency) / 高密度巻線モールドコイル採用



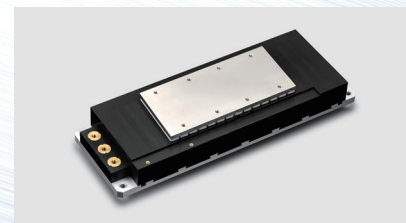
コア付リニアモータ

アキュマックス®

可動子側を永久磁石とし固定子側励磁コイルを低インピーダンスにすることにより、コアレス方式の応答性と有鉄心方式の高推力特性をあわせ持つリニアモータ

【特性】

1. 可動磁石方式採用による可動質量の低減（可動コイル対比 40%に軽減）
2. 電機子の低インピーダンス化によりコアレス方式に匹敵する応答性を実現
3. コイルは全面通電のため各種リニアモータドライバで駆動可能

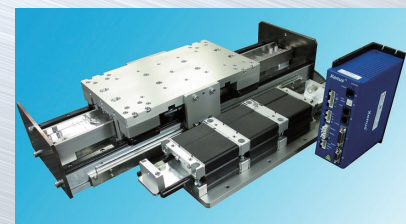


トライマックス®

独自の磁気回路構成により、可動体を磁気回路内部に貫通させ転がり支持したコンパクトかつパワフルなリニアモータ

【特性】

1. 高精度 (High Accuracy) / 有鉄心方式でありながらナノメートル位置決めを実現
2. 高効率 (High Efficiency) / 1つのコイルで複数極を一括励磁するので低銅損（当社同定格推力コアレス方式対比：40%削減）
3. 高推力 (High Thrust) / 高性能 Nd-Fe-B 焼結磁石の特徴をフルに活かした磁気回路構造



会社概要・お問い合わせ

会社概要

NEOMAX エンジニアリング株式会社

- 関東営業所 -

〒135-0061

東京都江東区豊洲5-6-36 豊洲プライムスクエア6F

- 本社, 高崎製作所 -

〒370-2115

群馬県高崎市吉井町多比良 2977 番地

- 吹田製作所、関西営業所 -

〒564-0002

大阪府吹田市岸部中1丁目3番1号

- 姫路工場 -

〒671-0224

兵庫県姫路市別所町佐土 933 (姫路工業団地内)

お問い合わせ

お問い合わせは **こちら**

URL: <https://www.cntct.proterial.com/contact/publish/inquiry?g=05&c=041>



NEOMAX エンジニアリング株式会社

TEL: 027-386-7100

