

磁気特性測定装置による磁性材料の測定

キーワード：磁性材料、磁気特性、B-H特性、反磁場、試料振動型磁力計

はじめに

磁性材料と呼ばれる材料は数多く有り、様々な用途に利用されています。例えば、軟質磁性材料（又は高透磁率材料）であるケイ素鋼板（鉄とシリコン数%の合金）や純鉄、低炭素鋼などは、変圧器や回転機の鉄心など電磁機器に用いられています。永久磁石には、フェライト磁石やアルニコ磁石、希土類磁石などが用いられており、硬質磁性材料（又は高保磁力材料）と呼ばれています。一般に、電磁機器などに用いられる軟質磁性材料には、飽和磁束密度が高い、保磁力が低く透磁率が高い、鉄損（ヒステリシス損や渦電流損など）が小さいなどの特性が要求されます。一方、硬質磁性材料は保磁力の大きい材料で、残留磁束密度や最大エネルギー積、保磁力の値で評価されます。このように磁性材料は目的に応じて要求される特性が異なり、材料の磁気特性を知ることは重要です。ここでは、これらの特性評価に利用できる磁気特性測定装置と磁性材料の磁気特性測定について紹介します。

B-H特性（B-H曲線）

B-H特性は強磁性体の評価の基礎になります。特に硬質磁性材料では、B-H特性の第2象限の部分が重要となります。図1は、強磁性体に磁界（磁場）を印加したときのB-H特性です。強磁性体は、磁界の強さを増加していくと原点から矢印で示すような軌跡でA点の飽和磁束密度（ B_s ）まで磁化されます。次に磁界を減少させ零にすると磁化の状態は原点には戻らずB点に達します。このときの磁束密度を残留磁束密度（ B_r ）と言います。さらに磁界を負に印加していくと磁束密度が零のC点を通りD点で飽和します。C点の磁界の値を保磁力（ H_c ）と呼びます。次

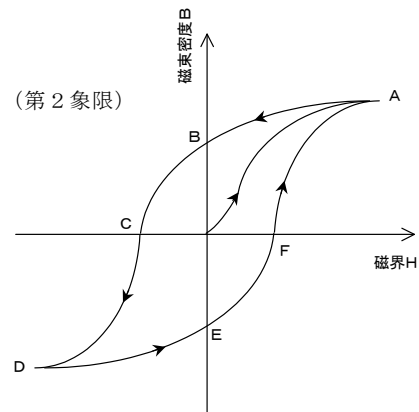


図1 強磁性体のB-H曲線

に磁界を正方向へと変化させるとE点、F点を通りA点に達します。以後、磁界のスイープに従いB-H特性はA, B, C, D, E, F点とループ状に変化することになりヒステリシスループと呼ばれています。

磁性材料の評価に用いられる透磁率、飽和磁束密度、残留磁束密度、保磁力、最大エネルギー積などの値は、このB-H特性から得ることが出来ます。

磁気特性測定装置

磁化された物体が振動しているときコイルを近接させるとコイルに誘導電圧が発生します。この誘導電圧の大きさから磁化の強さを検出することが出来ます。本装置はこの手法を利用しており、測定試料を印加磁場中で振動させながら磁化の強さを測定するもので、一般に試料振動型磁力計（VSM）と呼ばれています。印加磁場は電磁石により変化させることが出来ますので、その時の測定試料の磁化の強さを測定することにより試料のB-H特性を得ることが出来ます。本装置の仕様を表1に示します。

表1 磁気特性測定装置の仕様

1. 磁力計

測定レンジ : $\pm 0.0025 \sim 250 \text{ emu/full scale}$

測定感度 : $\pm 2 \times 10^{-6} \text{ emu/full scale}$

精度 : $\pm 1\% / \text{full scale}$

2. 磁場計

測定レンジ : $\pm 1 \sim 10 \text{ kOe/full scale}$

精度 : $\pm 1\% / \text{full scale}$

直線性 : $\pm 1\%$

3. 電磁石

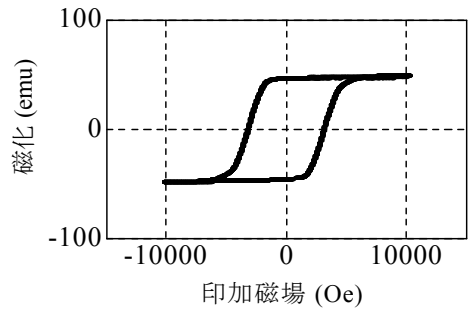
磁極直径 : $80 \text{ mm } \phi$

測定例

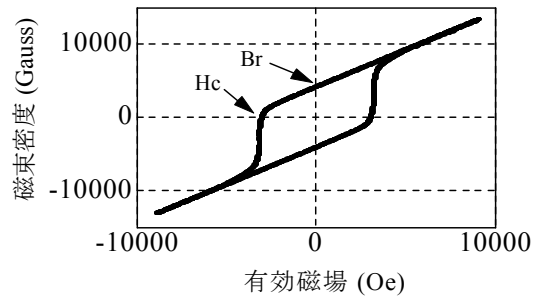
図2は、フェライト磁石の磁気特性の測定例で、印加磁場をスイープさせて磁化の強さを測定しています。

印加磁場中で磁性体が磁化されると磁性体の端から印加磁場とは逆向きの磁場が発生します。この磁場を反磁場と言いますが、この反磁場発生のため磁性体は外部から印加される磁場と磁性体に発生する反磁場の合成磁場（有効磁場）により磁化されることになります。このため、真の物性値を得るためには有効磁場を用いた磁気特性で評価しなければなりません。反磁場は磁化の強さと磁性体の形状に依存しますので、磁性体の形状で決まる反磁場係数を用いて有効磁場を得ることが出来ます。

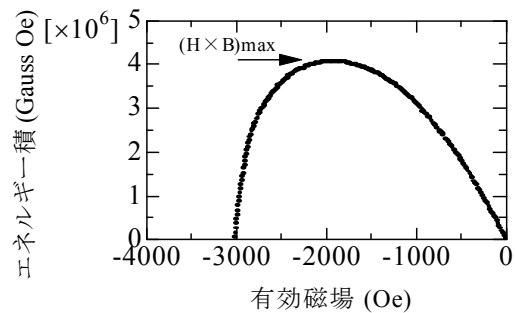
図2（a）は、磁化の強さと印加磁場の関係で測定値そのものです。この値から反磁場の補正を行うことにより、磁束密度と有効磁場の関係を示す（b）のB-H特性が得られます。このB-H特性の第2象限の部分は減磁曲線と呼ばれ、硬質磁性材料の評価に用いられます。図から、このフェライト磁石の保磁力（Hc）は3020（Oe）、残留磁束密度（Br）は4130（Gauss）であることが解ります。ま



(a) 印加磁場と磁化の関係



(b) 有効磁場と磁束密度の関係



(c) 有効磁場とエネルギー積

図2 フェライト磁石の磁気特性

た、図2（b）の減磁曲線から計算により図2（c）が得られ、磁石が外部に与える静磁エネルギーの目安となる最大エネルギー積 $(B \times H)_{\text{max}}$ を知ることが出来ます。図からこのフェライト磁石の最大エネルギー積は、 4.1×10^6 （Gauss・Oe）であることが解ります。

おわりに

このように、磁気特性測定装置は、磁性体の磁気特性を調べ評価を行うことが出来ます。磁性材料を用いた商品開発や磁性材料の品質管理などにご利用ください。