

第10章 磁束計によるB-H曲線の測定

Measurement of B-H Curve by Flux-Meter

10.1 目的

磁束計を用いて環状鉄心のB-H曲線を求め、磁気特性の概念を習得する。

10.2 理論

10.2.1 鉄心中の磁界と磁束密度

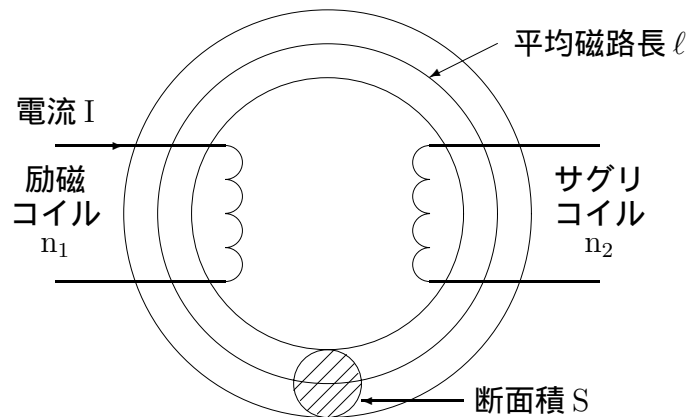


図 10.1: 鉄心中の磁界と磁束密度

図 10.1 のように、環状鉄心に n_1 巻きの励磁コイルおよび n_2 巻のサグリコイルを巻き、励磁コイルへ電流 I を流したとき、鉄心の平均磁路長を ℓ (m) として、磁界の強さ H は、アンペールの法則から

$$\begin{aligned}\oint_c \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} &= n_1 I \\ H \cdot \ell &= n_1 I \\ H &= \frac{n_1 I}{\ell}\end{aligned}\tag{10.1}$$

また、磁束計で測定される磁束計の振れ (磁束鎖交数 Φ) は、鉄心内で磁束密度は B は一様として、

$$\Phi = n_2 \Phi_m = n_2 B S\tag{10.2}$$

となる。ここで Φ_n は磁束、 S は鉄心の断面積である。よって磁束密度 B は

$$B = \frac{\Phi}{n_2 S} \quad (10.3)$$

となる。

10.2.2 エレクトロニック磁束計

エレクトロニック磁束計はトランジスタ回路を用いた RC 積分回路を有し、磁束の変化を容易に安定に測定することができる。いま、磁束計を巻数 n のさぐりコイル search coil に直列に接続する。さぐりコイルに鎖交している磁束 Φ が変化すると、さぐりコイルに起電力

$$e = -n \frac{d\Phi}{dt} \quad (10.4)$$

を生じ、この起電力によって磁束計の内部のコンデンサ C は抵抗 R を通して充電され、その端子電圧は

$$e_c = -\frac{1}{RC} \int e dt \quad (10.5)$$

となり、これに (10.4) 式を代入すれば

$$e_c = \frac{n}{RC} \int \frac{d\Phi}{dt} dt = \frac{n\Phi}{RC} \quad (10.6)$$

となって、 $n\Phi$ に比例する。このコンデンサの端子電圧 e_c を可動コイル形計器で指示させて、磁束鎖交数 $n\Phi$ を直読できるようになっている。

10.3 方法

図 10.2 のように、環状鉄心 C に励磁コイル n_1 を巻き、これを直流電源 E で励磁する。一方環状鉄心にさぐりコイル n_2 を巻き、これにエレクトロニック磁束計 FM を接続する。

10.3.1 磁束計の零調整

磁束計は積分形の OP アンプが内蔵されているため零調整が必要で、調整の方法は磁束計 FM の裏側の指示に従って行う。

10.3.2 励磁の対称性の調整

測定に際して、最初励磁電流を順方向に + 1.1(A) まで増加させ、次に逆方向の - 1.1(A) まで増加させ、その後再び順方向に + 1.1(A) まで増加させる。このとき磁束計の振れが順逆両方向について同じ値になるまで、その都度、磁束計の短絡スイッチを押して (磁束計の振れが対称になるように) 調整する。

励磁電流の変化は、+ 1.1(A) か - 1.1(A) のどちらかに設定し、励磁電流を上昇、または下降する。調整中の上昇または下降の途中で、電流を変化する方向は変更しない。

調整例

例えば、励磁電流が + 1.1(A) のとき磁束計の振れが + 0.5 で、励磁電流が - 1.1(A) のとき磁束計の振れが - 0.3 であった。この時、磁束計の振幅は 0.8 となり、磁束計の振れ + 方向に + 0.4、- 方向に - 0.4 となるように、磁束計の振れが + 0.1 付近で短絡スイッチを押し、正方向と負方向の振れ幅が等しくなるように調整する。

10.3.3 磁束計による B-H 特性の測定

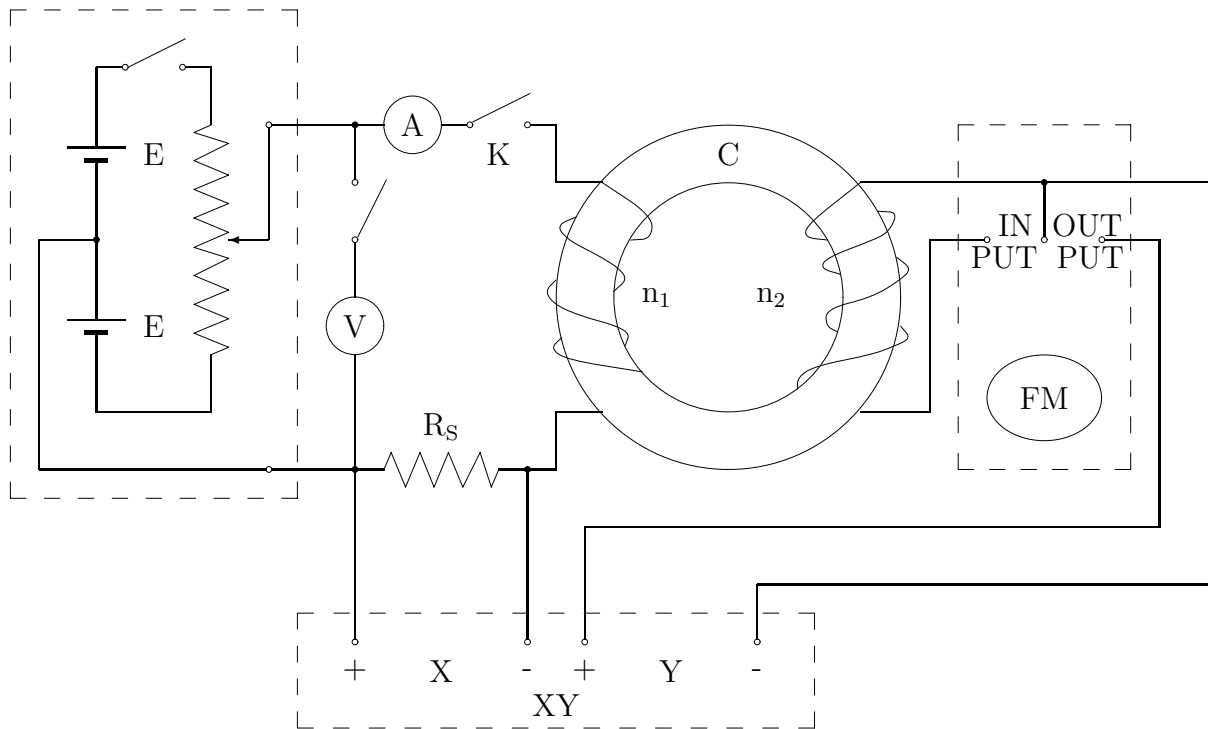


図 10.2: 磁束計による B-H 曲線の測定の結線図

- | | | |
|-----------------|----------------|-----------|
| FM : 磁束計 | C : 鉄心 | V : 直流電圧計 |
| XY : X - Y レコーダ | A : 直流電流計 | E : 直流電源 |
| n_1 : 励磁コイル | n_2 : さぐりコイル | |

10.3.1 項と 10.3.2 項の調整が終了したならば、磁束計の振れを読みながら、励磁電流を順方向の + 1.1(A) から逆方向の - 1.1(A) まで順次変化させ、その後再び順方向の + 1.1(A) まで順次変化させる。ここで注意しなければならないことは、鉄心にはヒステリシス現象があるから、測定の途中で、励磁電流の上昇、下降の方向を変えてはならない。即ち、目標の電流値をオーバーした場合は、変化の方向を変えて調整せず、オーバーした値で測定する。

10.3.4 X-YレコーダによるB-H特性の記録

X - Yレコーダで変化のようすを記録する。X - Yレコーダの記録紙には、励磁電流逆方向の最大値 - 1.1(A)，磁束計の振れ逆方向最大値 - Φ ，励磁電流順方向の最大値 + 1.1(A) および磁束計の振れ順方向最大値 + Φ の値を記録する。あとで、励磁電流 I 軸とその目盛り、磁束計の振れ Φ 軸とその目盛りを記入する。なお、X - Yレコーダの使い方は第 10.7.2 項を参照する。

10.4 結果

励磁コイルの巻数 n_1 さぐりコイルの巻数 n_2
平均磁路長 $\ell(\text{m})$ 鉄心の断面積 $S(\text{m}^2)$

励磁電流 I(A)	磁束計の振れ $\Phi(\text{WbT})$	磁界の強さ H(A/m)	磁束密度 B(T)

10.4.1 励磁電流と磁束計の振れ

励磁電流 I(A) を横軸にし、磁束計の振れ $\Phi(\text{Wb} \cdot \text{T})$ を縦軸にして磁束計の振れ $\Phi(\text{Wb} \cdot \text{T})$ の変化をグラフで示す。

10.4.2 励磁電流と磁界の強さ

励磁電流 I(A) を横軸にし、磁界の強さ H(A/m) を縦軸にして磁界の強さ H(A/m) の変化をグラフで示す。

10.4.3 励磁電流と磁束密度

励磁電流 I(A) を横軸にし、磁束密度 B(T) を縦軸にして磁束密度 B(T) の変化をグラフで示す。

10.4.4 磁界の強さと磁束密度

磁界の強さ H(A/m) を横軸にし、磁束密度 B(T) を縦軸にして磁束密度 B(T) の変化をグラフで示す。

10.5 注意

1. 磁束計は Maxwell を用いているから、 10^{-8} を乗じて Wb に換算する。
 $1\text{Maxwell}=1 \times 10^{-8}\text{Wb}$

2. 磁束計のスイッチを入れると約 5 秒間指針が振切るが、これは異常ではない。短絡スイッチを押せば零付近にもどる。
3. 電源 E のスイッチは、電流計の目盛りをゼロにして切ること。
4. B-H 曲線をきれいに描くには、磁束計の振れがほぼ等間隔に測定する。この測定の途中で励磁コイル n_1 に流す電流の上昇と下降の方向を変えてはならない。

10.6 問題

1. 磁性材料のヒステリシス現象について調べよ。
2. 磁気回路と電気回路との対応、また、類似点および相違点について調べよ。

10.7 実験装置・規格

10.7.1 両極性直流電源・増幅器について

図 10.3 の BIPOLAR POWER SUPPLY/AMPLIFIER は、両極性直流電源と低周波増幅器として使用できる。

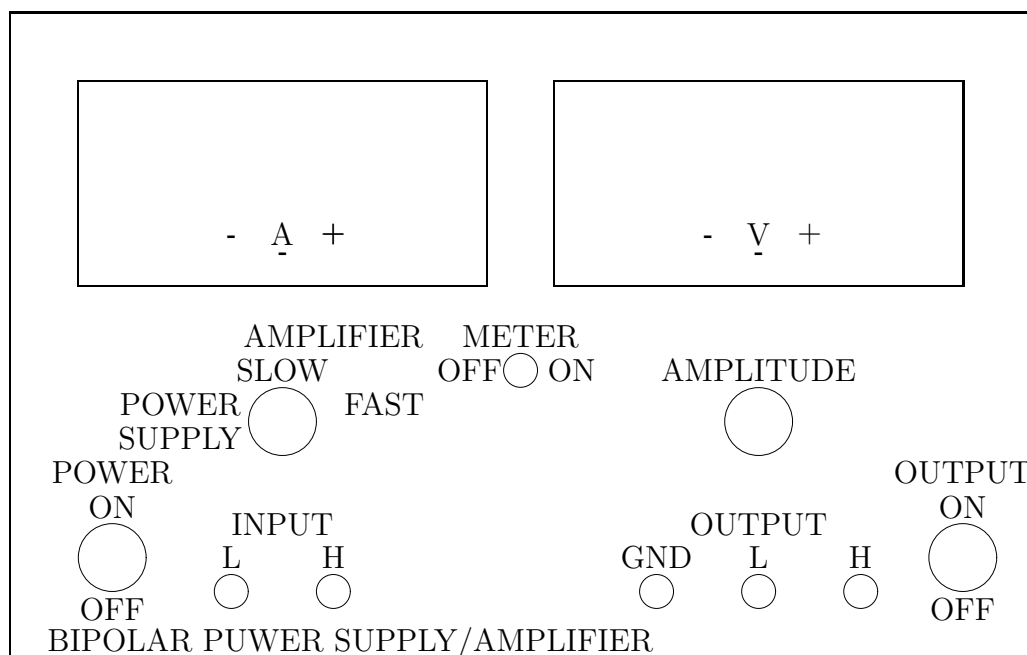


図 10.3: 両極性直流電源・増幅器

BIPOLAR POWER SUPPLY/AMPLIFIER の両極性直流電源としての使い方は、次のようである。

1. POWER スイッチと OUTPUT スイッチを OFF にして、測定回路を結線する。
2. 負荷は OUTPUT の L と H 端子の間に接続する。OUTPUT の GND と L 端子間は短絡して使用する。
3. AMPLIFIER の切替えスイッチは、POWER SUPPLY の位置に設定する。

4. METERのスイッチはONにする。
5. POWERスイッチをONにする。
6. AMPLITUDEを回転して電源に内蔵されている電圧計の指針を零にする。
7. OUTPUTスイッチをONにし、測定を開始する。
8. OUTPUTスイッチをOFFにするときは、電源に内蔵されている電流計の指針を零にしてからOUTPUTスイッチをOFFにする。その後、POWERスイッチをOFFする。

10.7.2 X-Yレコーダ

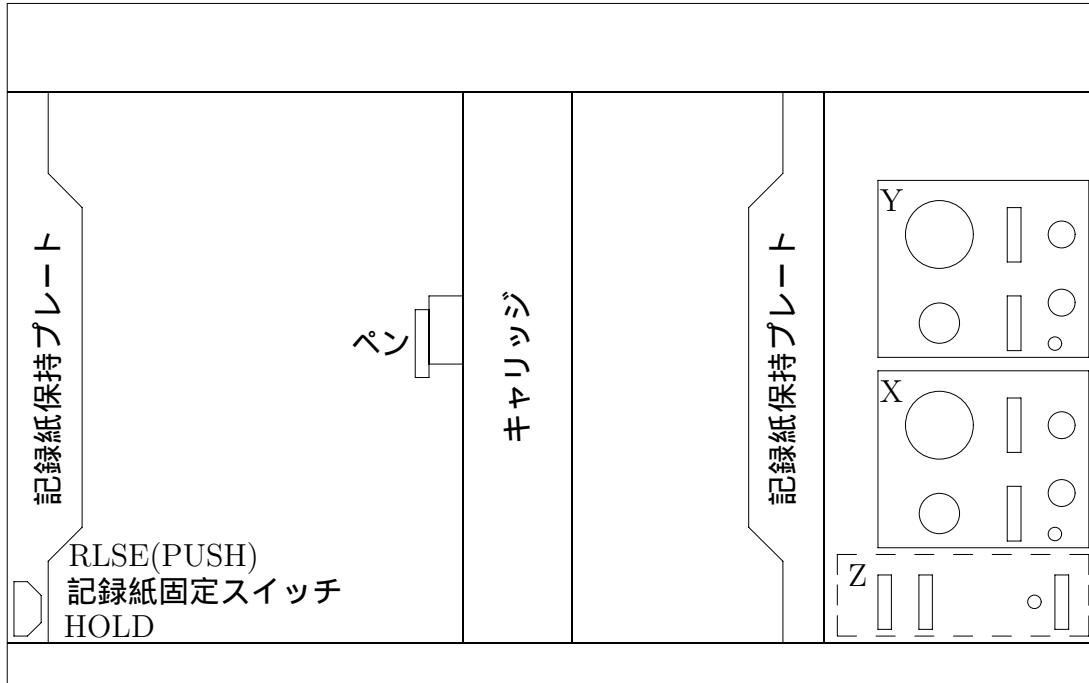
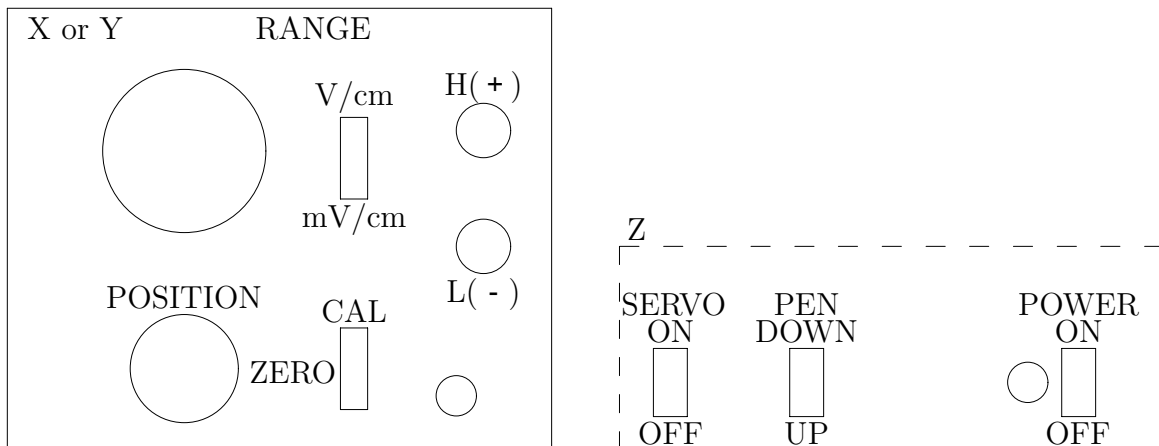


図 10.4: X-Yレコーダ



(a) 図??の X または Y の拡大部分

(b) 図??の Z の拡大部分

図 10.5: X-Yレコーダ部分拡大図

10.7.2.1 X-Y レコーダ使用前の確認

使用前に次の点を確認する。

1. 電源コードを接続する前に POWER スイッチが OFF(図 10.5(b) 参照) を確認する。
2. PEN UP-DOWN スイッチが UP(図 10.5(b) 参照) を確認する。
3. X 軸と Y 軸の SERVO ON-OFF スイッチが OFF(図 10.5(b) 参照) を確認する。
4. 記録紙固定スイッチが RLSH(解放状態、図 10.4 参照) を確認する。
5. CAL-ZERO スイッチが ZERO(図 10.5(b) 参照) を確認する。
6. 電源コードを指定の電源に接続する。

10.7.2.2 X-Y レコーダ記録用紙の装着

1. POWER スイッチが ON(図 10.5(b) 参照) にする。
2. ペンのキャリッジを手で右端に移動する。
3. 記録紙固定スイッチを RLSH(解放状態、図 10.4 参照) にする。
4. 記録紙固定スイッチは真上から下に押し RLSH(解放状態) になる。
5. 記録紙を保持プレート(図 10.4 参照) に差し込みます。記録紙の下端を記録しテーブルの下の線に合わせ、記録紙の左端を記録し位置決め線に正しく合わせる。
6. 記録紙固定スイッチを左から右の矢印方向に動かし、HOLD(固定状態) にする。
7. 記録紙がずれてしまった場合は、記録紙固定スイッチは真上から下に押し RLSH(解放状態) にし、記録紙を装着し直す。
8. 記録が終わったら、記録紙固定スイッチを RLSH(解放状態) にし、記録紙をテーブルから取り外す。

10.7.2.3 X-Y レコーダでの測定と記録

X-Y レコーダでの測定と記録の順は次のようである。

1. X 軸と Y 軸の SERVO ON-OFF スイッチを ON(図 10.5(b) 参照) にする。
2. X 軸と Y 軸の POSITION つまみを回し、ゼロ点を設定する。(CAL-ZERO スイッチは ZERO の状態)
3. 入力信号ら応じた電圧レンジを RENGЕ 切換スイッチで選択する。RENGЕ は V/cm の大きい方から使用すると、測定器を壊すことはない。
4. CAL-ZERO スイッチを CAL の位置にすると、測定 RENGЕ のメモリどおりの値になる。
5. PEN UP-DOWN スイッチを DOWN 側に倒すと記録が開始される。

10.7.2.4 X-Y レコーダ記録用紙の整理

X-Y レコーダで記録した用紙の整理を、磁束計による B-H 曲線の測定を例にして説明する。

1. 図 10.6 の最左端の電流 I_L と磁束計の最下位の振れ角 Φ_L を記録する。
2. 図 10.6 の最右端の電流 I_R と磁束計の最上位の振れ角 Φ_U を記録する。
3. 最左端の電流 I_L と最右端の電流 I_R から電流ゼロの軸を作図する。
4. 最下位の振れ角 Φ_L と最上位の振れ角 Φ_U から磁束計の振れ角ゼロの軸を作図する。

5. 励磁電流-1.2,-1.0, …… ,+1.0,+1.2 の目盛りを記入し、軸の名前と単位を記入する。
6. 磁束計の最上位の振れ角-0.8,-0.6, …… ,+0.6,+0.8 の目盛りを記入し、軸の名前と単位を記入する。

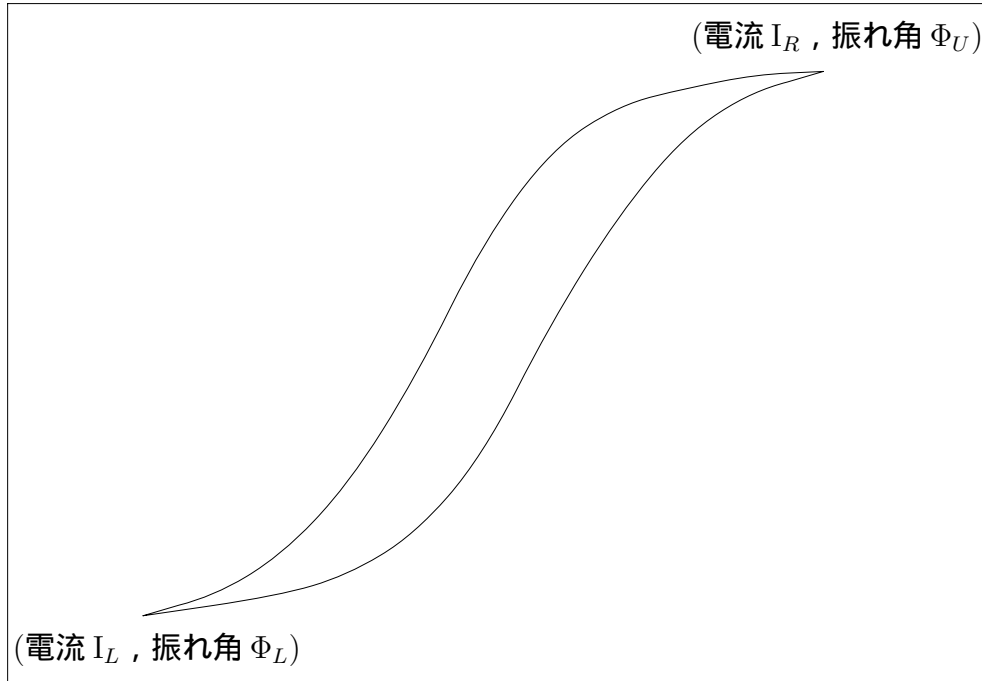


図 10.6: X-Y レコーダ記録用紙の整理