

## 第9章 磁束計によるB-H曲線の測定

Measurement of B-H Curve by Flux-Meter

### 9.1 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。

### 9.2 理論

#### 9.2.1 鉄心中の磁界と磁束密度

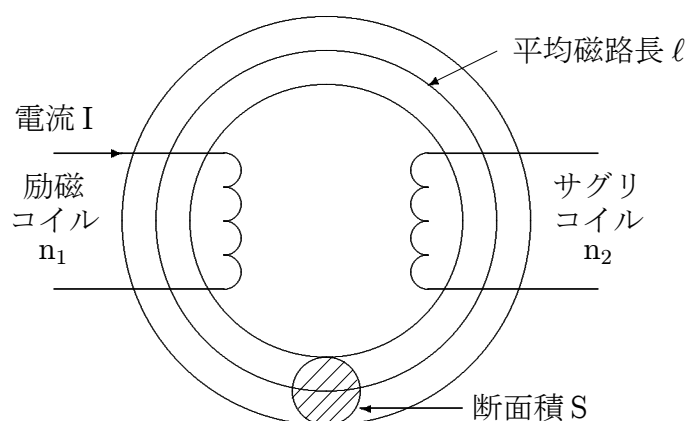


図 9.1: 鉄心中の磁界と磁束密度

図 9.1 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  $\ell(\text{m})$  として、磁界の強さ  $H$  は、アンペールの法則から

$$\begin{aligned}\oint_c \mathbf{H} \cdot d\ell &= n_1 I \\ H \cdot \ell &= n_1 I \\ H &= \frac{n_1 I}{\ell}\end{aligned}\tag{9.1}$$

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

$$\Phi = n_2 \Phi_m = n_2 B S\tag{9.2}$$

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

$$B = \frac{\Phi}{n_2 S} \quad (9.3)$$

となる。

## 9.2.2 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  $\Phi$  が変化すると、さぐりコイルに起電力

$$e = -n \frac{d\Phi}{dt} \quad (9.4)$$

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

$$e_c = -\frac{1}{RC} \int e dt \quad (9.5)$$

となり、これに (9.4) 式を代入すれば

$$e_c = \frac{n}{RC} \int \frac{d\Phi}{dt} dt = \frac{n\Phi}{RC} \quad (9.6)$$

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。

## 9.3 方法

図 9.2 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。

### 9.3.1 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。

### 9.3.2 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 $+1.1(\text{A})$ のとき磁束計の振れが $+0.5$ で、励磁電流が $-1.1(\text{A})$ 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。

### 9.3.3 磁束計による B-H 特性の測定

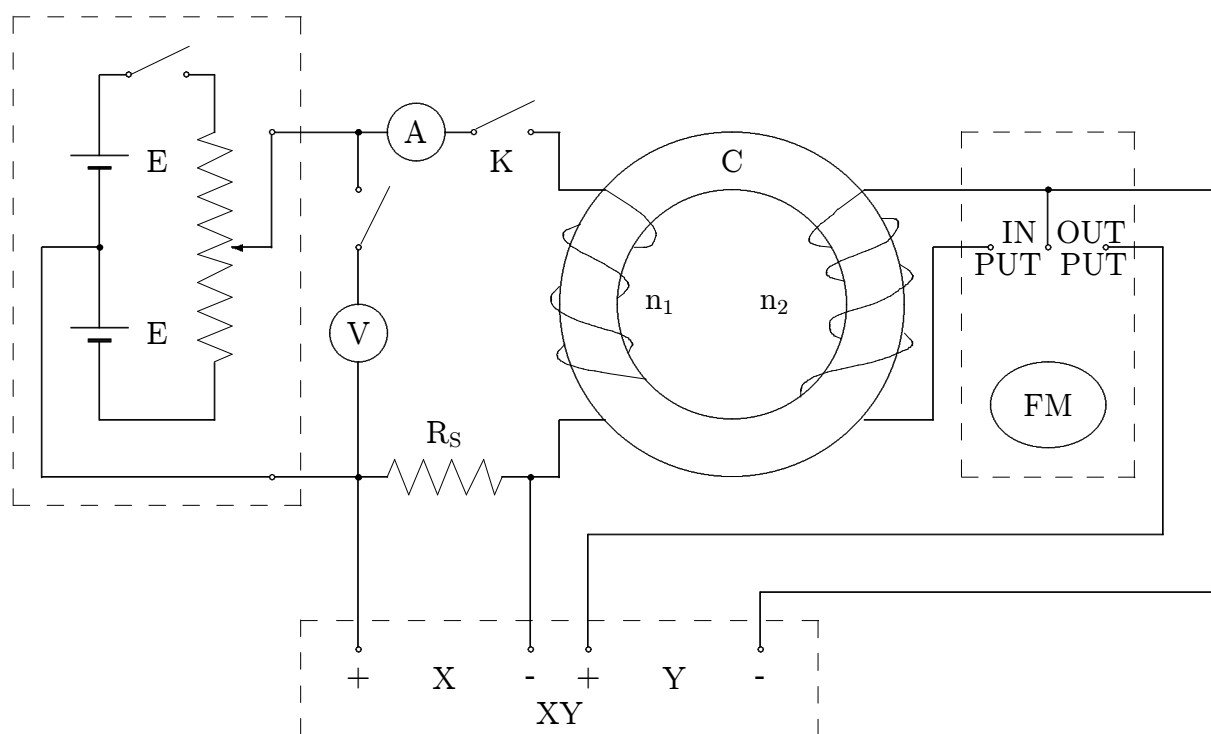


図 9.2: 磁束計による B-H 曲線の測定の結線図

|                 |                |           |
|-----------------|----------------|-----------|
| 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 |           |

9.3.1 項と 9.3.2 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 $+1.1(\text{A})$ から逆方向の $-1.1(\text{A})$ まで順次変化させ、その後再び順方向の $+1.1(\text{A})$ 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。

### 9.3.4 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 $-1.1(\text{A})$ 、磁束計の振れ逆方向最大値 $-\Phi$ 、励磁電流順方向の最大値 $+1.1(\text{A})$ および磁束計の振れ順方向最大値 $+\Phi$ 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  $\Phi$  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 9.7.2 項を参照する。

## 9.4 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<br>I(A) | 磁束計の振れ<br>$\Phi(\text{WbT})$ | 磁界の強さ<br>H(A/m) | 磁束密度<br>B(T) |
|--------------|------------------------------|-----------------|--------------|
|              |                              |                 |              |

### 9.4.1 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。

### 9.4.2 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。

### 9.4.3 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。

### 9.4.4 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。

## 9.5 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、これは異状ではない。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。

## 9.6 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。

## 9.7 実験装置・規格

### 9.7.1 両極性直流電源・増幅器について

図9.3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。

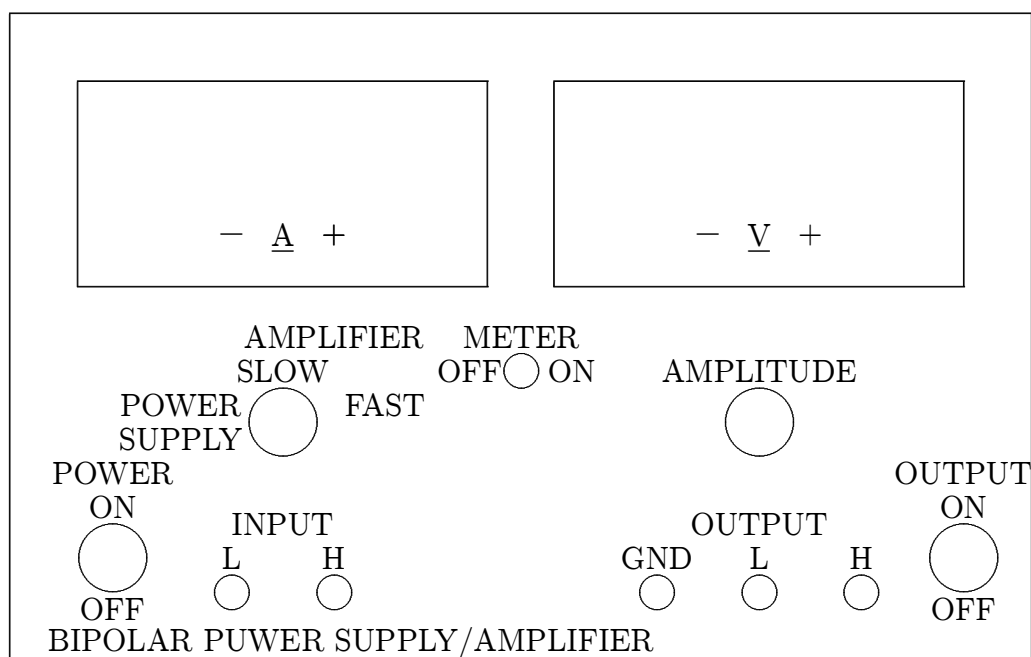


図 9.3: 両極性直流電源・増幅器

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。

### 9.7.2 X-Y レコーダ

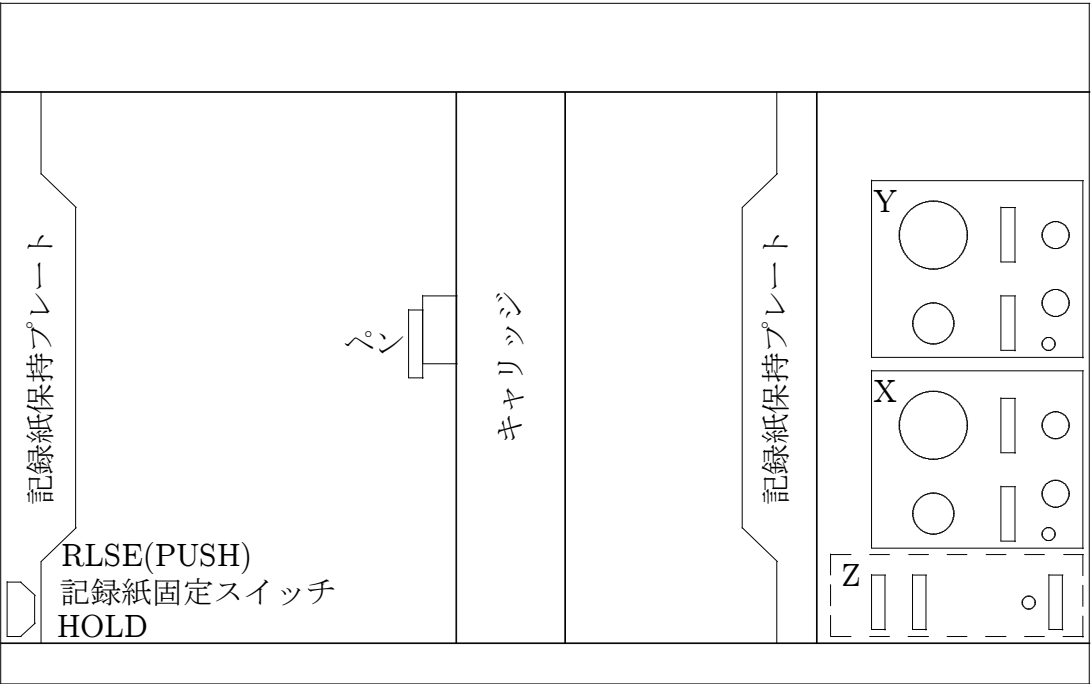


図 9.4: X-Y レコーダ

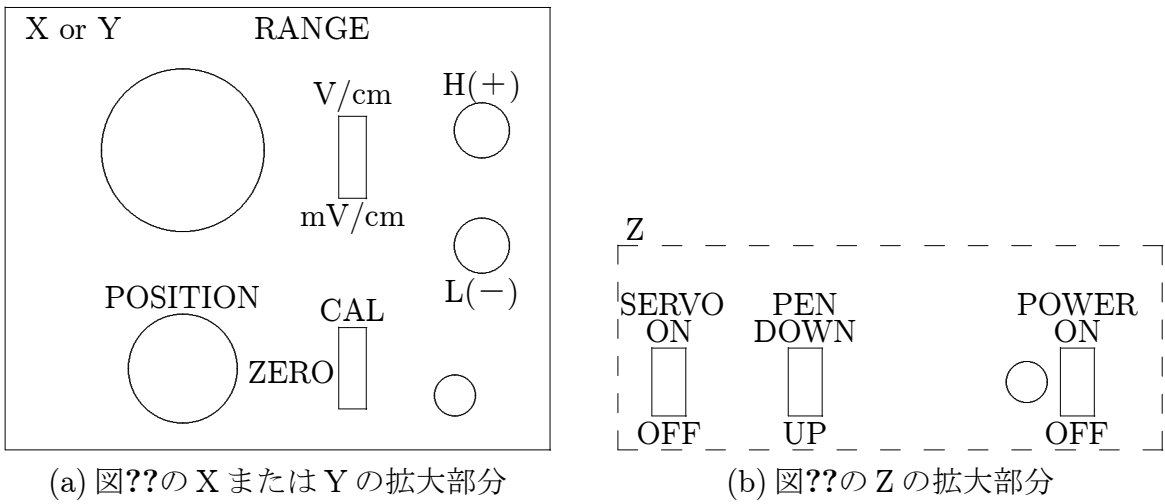


図 9.5: X-Y レコーダ部分拡大図

### 9.7.2.1 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 9.5(b) 参照)を確認する。
2. PEN UP-DOWN スイッチが UP(図 9.5(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 9.5(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 9.4 参照)を確認する。
5. CAL-ZERO スイッチが ZERO(図 9.5(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。

### 9.7.2.2 X-Y レコーダ記録用紙の装着

1. POWER スイッチが ON(図 9.5(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 9.4 参照)にする。
4. 記録紙固定スイッチは真上から下に押すと RLSH(解放状態)になる。
5. 記録紙を保持プレート (図 9.4 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。

### 9.7.2.3 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で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 9.5(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 RENG 切換スイッチで選択する。RENGE 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 RENG 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。

### 9.7.2.4 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 9.6 の最左端の電流  $I_L$  と磁束計の最下位の振れ角  $\Phi_L$  を記録する。
2. 図 9.6 の最右端の電流  $I_R$  と磁束計の最上位の振れ角  $\Phi_U$  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  $\Phi_L$  と最上位の振れ角  $\Phi_U$  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。

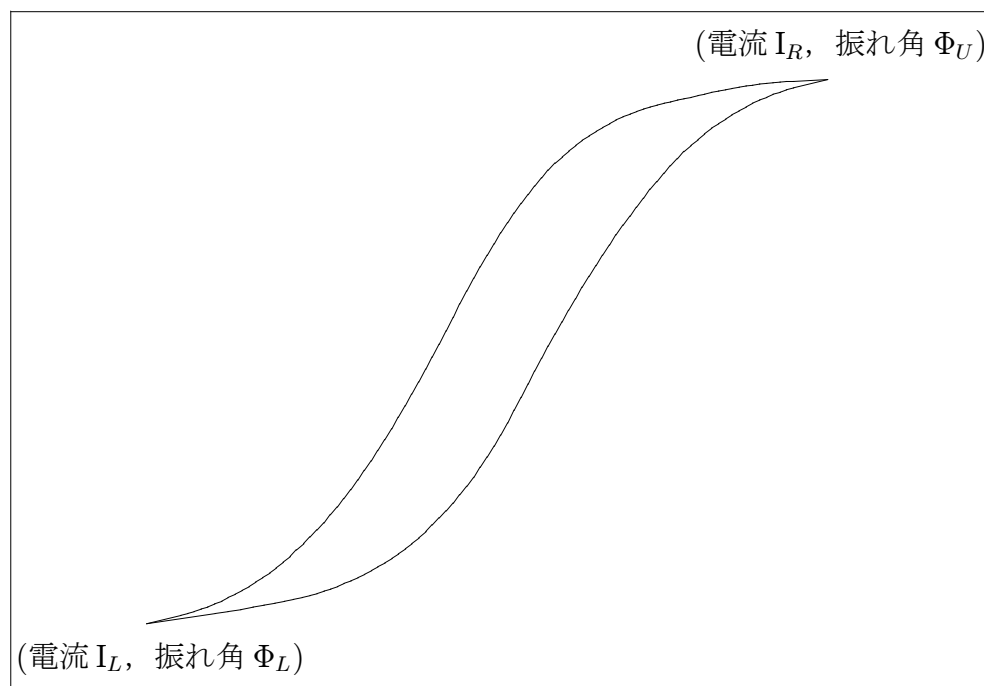


図 9.6: X-Y レコーダ記録用紙の整理