

目 的

強磁性体の磁気ヒステリシス・ループの記録を、XYレコーダーを用いて、簡単かつ短時間に行なうことが出来、測定に多くの時間と操作を要した従来の方法の欠点を補うと共に、磁性体の磁化の変化の様子、各種の強磁性体のヒステリシスの違いの比較等磁気学の実験教具として幅広く活用することが出来る。

概 要

1. 原 理

磁化用空心ソレノイドの内部に、その中心軸に沿って細い棒状試料（強磁性体）を挿入し、試料の一端から一定の（極く短い）距離にホール素子を、その面が中心軸に垂直になるように固定する。（図1）ソレノイドに直流を流すと、その内部に発生する磁界によって試料は磁化され、試料の一端より出る磁束線がホール素子を通過することにより、その点の磁束密度 B （ B は磁化の強さに比例する）に比例したホール起電圧 V_H を生ずる。（ $V_H = R_H \frac{i}{d} B$ で、 R_H 、 d 、 i はそれぞれホール定数、素子の厚さ、素子の励起電流の強さを表わす）

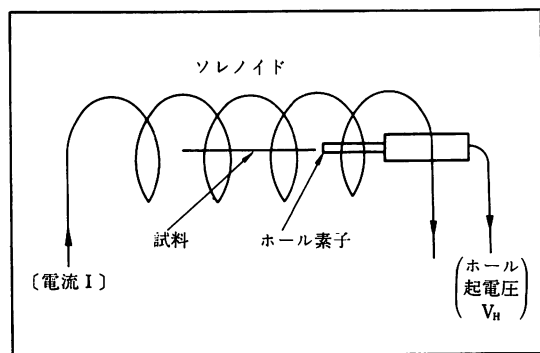


図1 試料の一端から出る磁束密度をホール起電圧に変換する。

この V_H を増幅してXYレコーダーのY端子に入れる。

一方、試料を磁化するソレノイド内の磁界の強さ H は、ソレノイドに流す電流 I に比例するから（ $H = kI$ 、 k の値は計算で求められる）、 I を適当な抵抗に通し、その端子電圧をレコーダーのX端子に入れる。

直流電源器（連続可変形）でソレノイドに流す電流を徐々に連続的に変化させることにより、外部磁界の強さに対する試料の磁化の強さの変化、即ちヒステリシス・ループをレコーダーで記録することが出来る。ループの定量的な値（即ち座標軸の目盛り）は、その形の良く知られている試料のものと比較して決めることが出来る。

2. 装置の構成

装置のブロック図を図2に示す。一次回路として、直流電源器の出力電流を直流電流計、切換スイッチ（電流の方向を逆転する）を経てソレノイドに入れる。途中に抵抗 R_1 、 R_2 を入れ、 R_1 の端子電圧をXYレコーダーのX端子に、 R_2 の端子電圧はバランスにそれぞれ入力する。一方二次回路は、磁束密度によって生じたホール起電圧をバランスに入力し、その出力を直流増幅器で増幅し、Yコントローラーを経てレコーダーのY端子に入れる。ホール素子の励起電流は適当な直流電源（ここでは増幅器に内蔵された電源）より供給する。

（写真1、6）

【注】写真6～11は76頁に掲載

教具の製作方法

装置の各部の動作及び製作方法について説明する。

1. 一次回路の各部の説明

- (1) 直流電源器：出力電圧が連続可変形のもので、リップルが小さく、高電圧電流の得られるもの

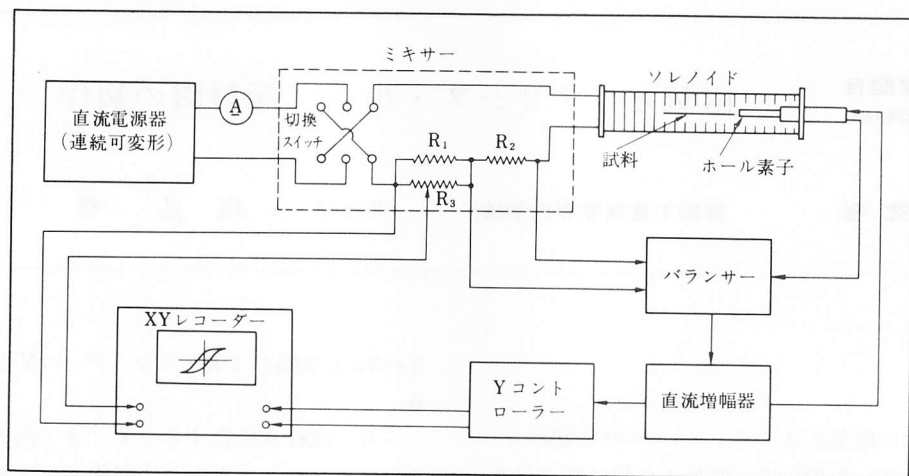


図2 装置のブロック図

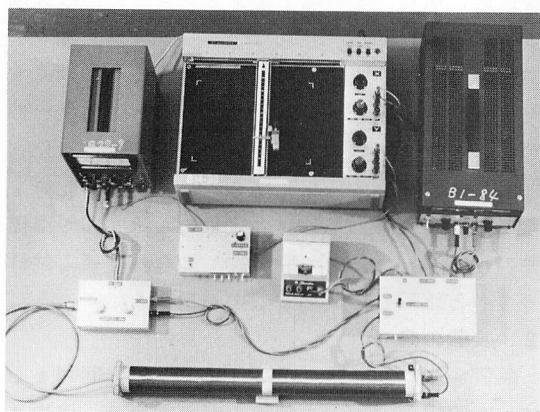


写真1 装置の全体

が望ましい。ここでは菊水電子の連続可変形直流安定化電源 (PAD35-10) を用いた。

- (2) ミキサー：切換スイッチ、抵抗 R_1 、 R_2 及び可変抵抗 R_3 を一つにまとめたものである。 R_1 (1Ω)、 R_2 (0.5Ω) の値はレコーダー及びバランサーの入力電圧より決める。また耐電流の大きいもの (5

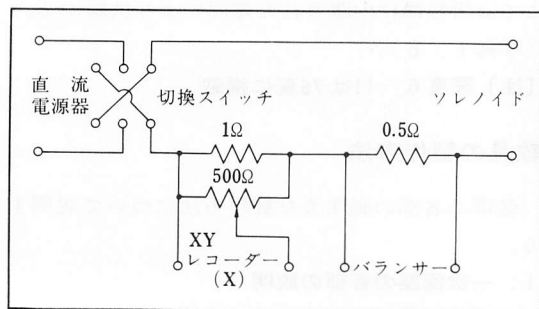


図3 ミキサーの回路図

A以上) を用いる。可変抵抗 R_3 (500Ω) はレコーダーのX軸スケールを調節するためのものである。(図3、写真7)

- (3) 磁化用ソレノイド：強力な磁界を得るためにコイルの単位長さ当りの巻数は多いほどよく、銅線の太さも余り細くないものがよい。ここでは塩化ビニールパイプ (外径 32mm 、長さ 60cm) に、直径約 1mm のホルマリン銅線を5517回 (10層) 巻いて自作したものを用いた。電流 5A に対し磁界は $45,800\text{A/m}$ (580Oe) が得られ、炭素鋼、ケイ素鋼等“軟らかい”強磁性体なら充分飽和に達する。

2. 二次回路の各部の説明

- (1) ホール素子：ホール素子を固定しているプローブの形状が、ソレノイド内に挿入し易く、素子面が磁界と垂直になるものを選ぶ。ホール素子は大体ガウスメーター (磁束計) に附属して販売されているので、ホール素子のみを購入する場合は、その性能や規格をよく調べておく必要がある。ここでは島津製ガウスメーター (GK-3形) の縦形ホール素子プローブを用いた。
- (2) バランサー：ホール素子をソレノイド内部に挿入して磁界を加えるため、ホール素子は、試料の端から出る磁束密度のほか、ソレノイドの磁界による真空中 (実際は空気中) の磁束密度 ($B = \mu_0 H$) を受ける。後者の影響を無くすために、その磁束密度によって生じるホール起電圧分を、ソレノイド電流の一部によって打ち消すためのものである。ソレノイド内の磁界

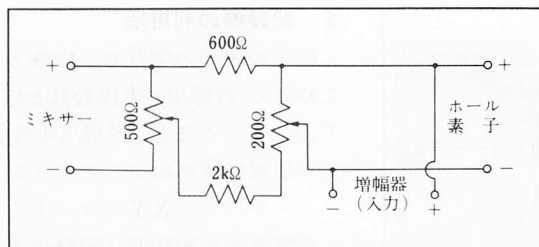


図4 バランサーの回路図

の強さはソレノイド電流に比例するから、一度調整しておけば電流が変化してもそのバランスは保たれる。バランサーの出力には試料の一端の出す磁束密度（従って磁化の強さ）に比例した起電圧が生ずることになる。（図4、写真8）

(3) 直流増幅器：増幅度は約100倍あればよい。増幅器はOPアンプを使って容易に製作出来るが、ここではホール素子の励起電流電源を内蔵した島津製の直流増幅器（DCA-100形）を使用した。

(4) Yコントローラー：直流増幅器の出力に含まれるリップルを取り除き、XYレコーダーのY変化のスケール調整を行なうものである。（図5、写真9）

3. その他

(1) 試料：磁化用ソレノイドで磁化がほぼ飽和に達するような強磁性体を選ぶ。ここでは軟鉄線、ピアノ線（炭素鋼）、ケイ素鋼、ニッケルを用いた。試料の形状は、ソレノイド内に挿入し易く、また反磁界係数を小さくするために細長いものを用いる。（直径約1mm、長さ約10cm）（写真2）

(2) ホルダー：試料とホール素子を一定の距離に固定し、ソレノイド内部へ中心軸に沿って挿入

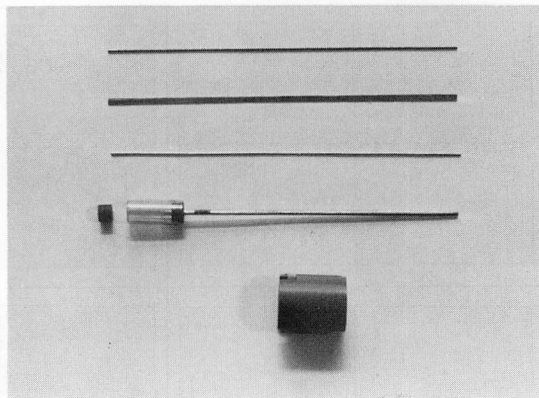


写真2 試料（上からピアノ線、ケイ素鋼、軟鉄、ニッケル）
下側は試料固定用のアダプター

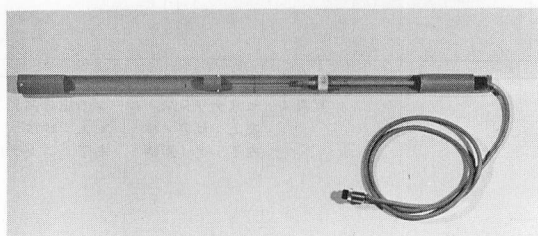


写真3 試料とホール素子プローブをホルダーに固定する。

し易くするために自作したもので、試料の交換も容易に行なえる。（写真3、10）

(3) XYレコーダー：感度は、ミキサーの抵抗 R_1 の値、直流増幅器の増幅度それに記録するループの大きさで決まる。ここではX軸-0.1V/cm、Y軸-50mV/cmを用いた。

学習指導方法

1. ヒステリシス・ループの記録

- (1) 試料を消磁用ソレノイドとスライダックを用いて、交流消磁法によって消磁する。（写真11）
- (2) 各部の器具を図2に従って配線する。

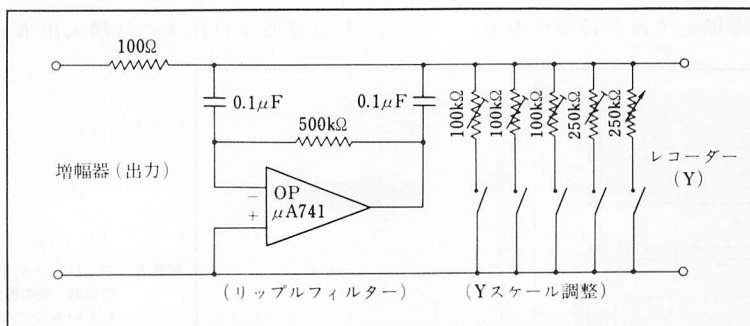


図5 Yコントローラーの回路図

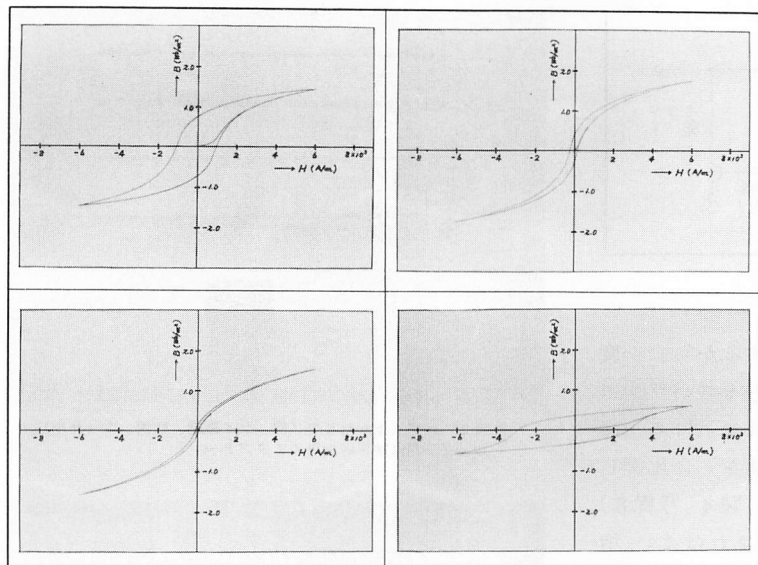


写真4 ヒステリシス・ループの記録例
 左上：ピアノ線 右上：軟鉄
 左下：ケイ素鋼 右下：ニッケル

- (3) まずソレノイドにホール素子のみを挿入し、ソレノイドに電流を流してもレコーダーの針のY変化が零であるように、バルンサーの調整を行なう。
- (4) 試料をソレノイド内にセットし、直流電源の電圧を徐々に増加していく。試料の磁化が飽和に達したら、次に電圧を下げていき、電圧0で切換スイッチを逆にして電流方向を逆転し、同様に電圧を増加、減少させる。
- (5) 電圧0で再び切換スイッチを元に戻し、ループが閉じる状態まで電圧を上げる。これで一つのヒステリシス・ループが記録される。
- (6) X軸(A/m)、Y軸(Wb/m²)の座標目盛りは、鉄等ループの形の良く知られているものと比較して決めることが出来る。この場合、各試料の太さ、長さを揃えておく必要がある。

2. 記録機の利用法

磁気の単元の学習が一応終了した時点で、教師用の実験教具として、次のようなことに応用出来る。

- (1) 強磁性体の磁気ヒステリシス・ループをXYレコーダーで簡便かつ短時間に記録することが出来、磁化の変化の様子を直接観測させることが出来る。
- (2) ソレノイドに流す電流とその内部に発生する磁界とが比例する事実を、一次直線で示すことが出来る。
- (3) ソレノイドの中心軸に沿う磁界の強さの変化を記録することが出来る。
- (4) 磁荷qからrの距離の点の

磁束密度がBのとき、rに対するBの変化($B = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{q}{r^2}$)を双曲線として示すことが出来る。

効 果

1. 強磁性体の磁化の変化の様子が直接観測出来るため、ヒステリシスの説明に非常に役立つ。
2. 各種の強磁性体のヒステリシスの違いを、短時間に比較することが出来、磁区構造の説明に役立つ。
3. 飽和磁化、残留磁化、保磁力、ヒステリシス損等の説明が具体的に行なえる。

その他補遺事項

この装置を製作するのに、XYレコーダーと直流電源器はやや高価で求めにくいですが、その他の器具は安価に自作または購入出来るものばかりであ

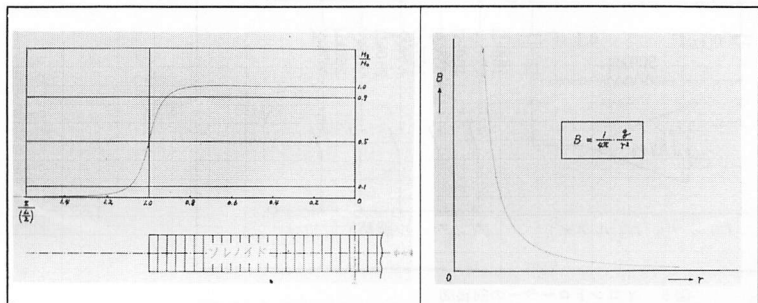


写真5 左：ソレノイドの中心線に沿う磁界分布の記録 端の部分で磁界の強さが急に減少していることがよく分かる。
 右：磁化された試料（ピアノ線）の一端に対するB-r曲線（双曲線）の記録

る。レコーダーの代りに直流電圧計を用いて、その目盛りを順次読み取っていてもよい。また電源器は蓄電池とすべり抵抗器で代用することが出来る。是非一度製作してみられることをお勧めする。

電気に比べて磁気に関する実験教具が比較的少ない現状では、その授業が理論や現象の説明だけで終わってしまう場合が多い。生徒に磁気についての興味や関心を持たせるような多くの教具の開

発が望まれるわけであるが、そのような意味で、今回の記録機の製作はそれなりに意義があったものと思っている。

研究者の所属機関所在地

〒625 京都府舞鶴市宇白屋234

舞鶴工業高等専門学校

TEL 0773(62)5600

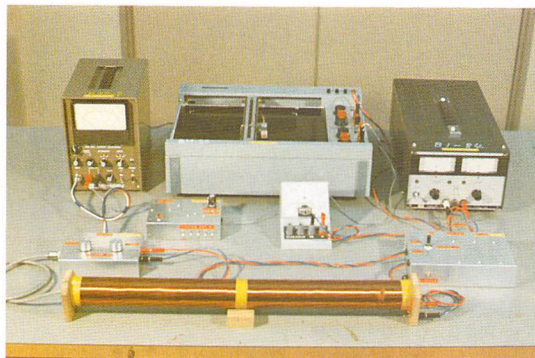


写真6 装置の全体

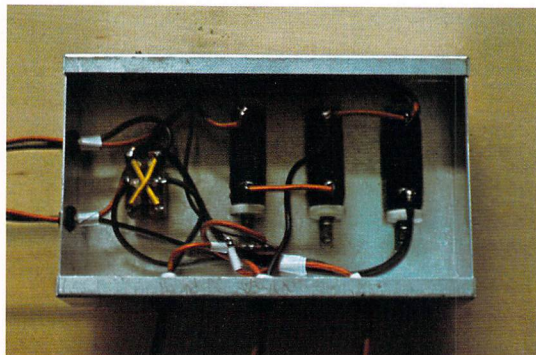


写真7 ミキサー

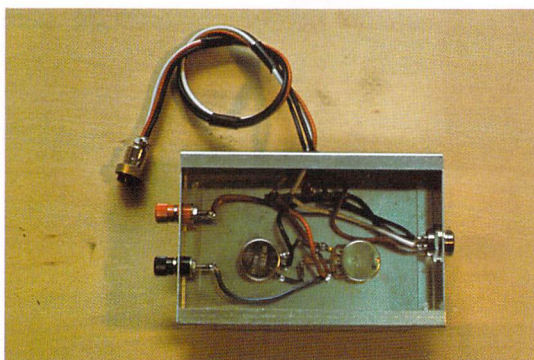


写真8 バランサー

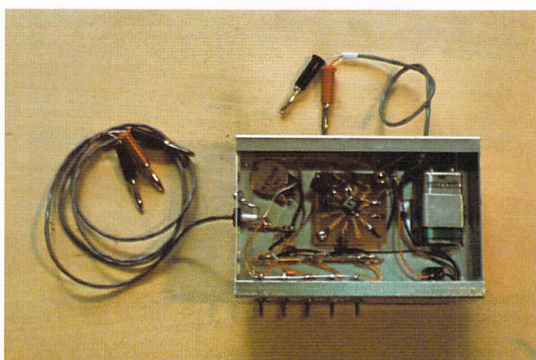


写真9 Yコントローラー

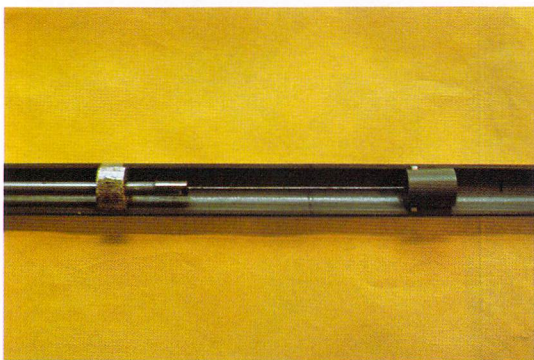


写真10 ホルダーにセットした試料

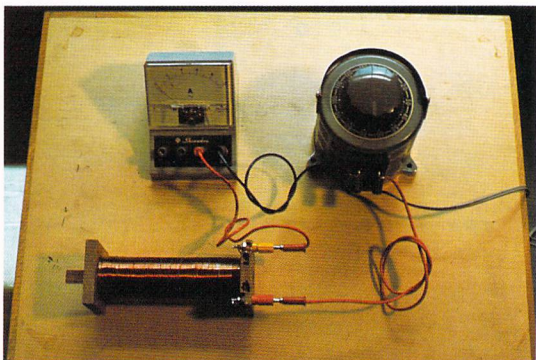


写真11 消磁装置