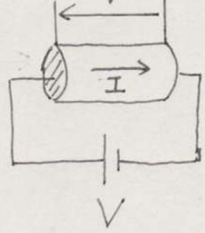
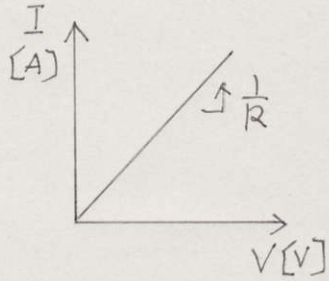
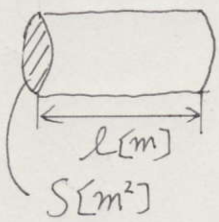
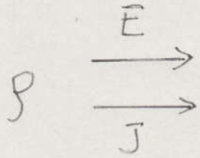
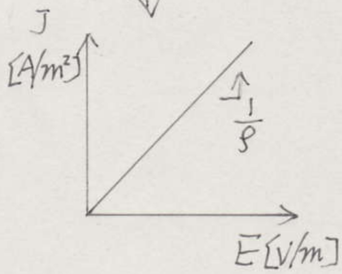
①　抵抗体の特性の基本

	イメージ	特　性	式
実体			$I=\frac{1}{R}V$ R〔Ω〕は実用値 ↖抵抗
形状で規格化			$J=\frac{I}{S}$ [A/m²] ↖電流密度 $E=\frac{V}{l}$ [V/m] ↖電界
物性			$J=\frac{1}{\rho}E$ ρ〔Ωm〕は物性値 ↖抵抗率

実用値と物性値の関係

$$R=\frac{V}{I}=\frac{V/l}{I/S}\frac{l}{S}=\frac{E}{J}\frac{l}{S}=\rho\frac{l}{S} \qquad \therefore R=\rho\frac{l}{S}\ [\Omega]$$

物性値の表し方

$$\frac{1}{\rho}=\sigma$$

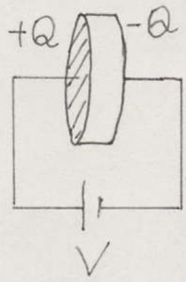
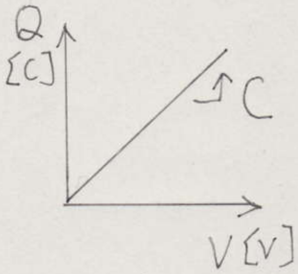
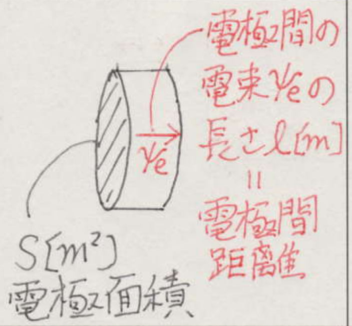
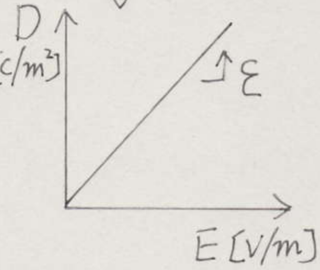
← 物性値（導電率〔S/m〕）

↑ 物性値（抵抗率〔Ωm〕

例：金属の中で最も抵抗率が低いのは

Ag：$\rho(0℃)=1.47\times10^{-8}$ [Ωm]

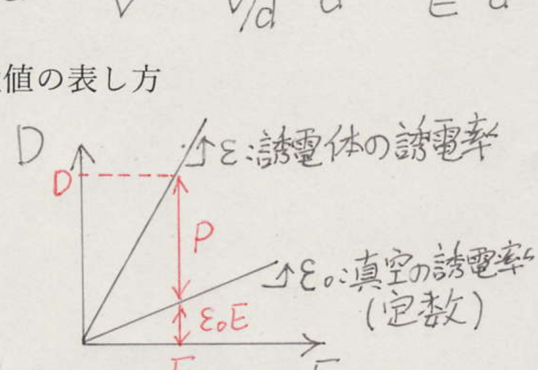
② 誘電体の特性の基本

	イメージ	特 性	式
実体			$Q=CV$ C[F]は実用値 ↖キャパシタンス
形状で規格化			$E=\frac{V}{d}$ [V/m] ↖電界 $D=\frac{Q}{S}$ [C/m²] ↖電束密度
物性	$\varepsilon \longrightarrow E$ $\quad \longrightarrow D$		$D=\varepsilon E$ ε[F/m]は物性値 ↖誘電率

実用値と物性値の関係

$$C=\frac{Q}{V}=\frac{Q/S}{V/d}\frac{S}{d}=\frac{D}{E}\frac{S}{d}=\varepsilon\frac{S}{d} \qquad \therefore C=\varepsilon\frac{S}{d}$$

物性値の表し方



(例:チタン酸バリウム($BaTiO_3$)
ε_s(室温)≒5000)

$D=\varepsilon E$ ← 物性値(誘電率)

$=\varepsilon_0 E+P$ ← 分極[C/m²]

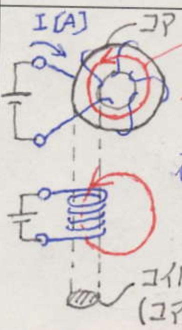
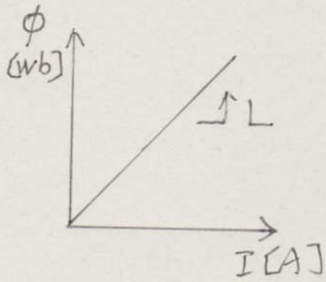
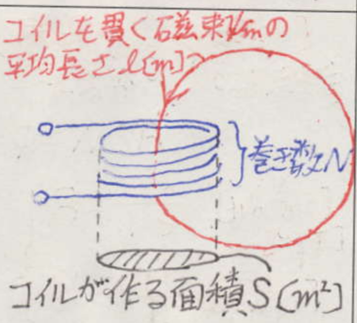
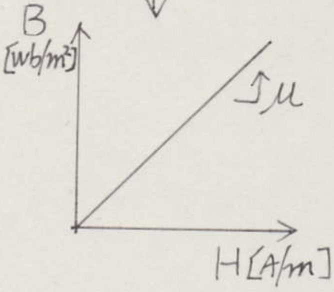
$=\varepsilon_0(1+\chi_e)E$ ← 物性値(分極率または電気感受率 $\chi_e=\frac{P}{\varepsilon_0 E}$)

$=\varepsilon_0\varepsilon_s E$ ← 物性値(比誘電率 $\varepsilon_s=\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$)

← 強誘電体の場合 $\chi_e \gg 1$ なので

$\varepsilon_s=1+\chi_e \fallingdotseq \chi_e$

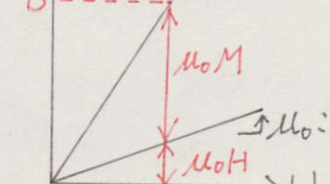
③ 磁性体の特性の基本

	イメージ	特性	式
実体	 	 	$\phi = L\,I$ L[H]は実用値 ↑自己インダクタンス
形状で規格化	 	↓	磁束 $\Psi_m = SB$ ↑磁束密度 であるから $\phi = NSB$ $B = \dfrac{\phi}{NS}$ [Wb/m²] [T] ↙磁界 $H = N\dfrac{I}{l}$ [A/m]
物性	μ ↓ ↓ B H	 	$B = \mu H$ μ[H/m]は物性値 ↑透磁率

実用値と物性値の関係

$$L = \frac{\phi}{I} = \frac{\phi/NS}{NI/l}\,\frac{N^2S}{l} = \frac{B}{H}\,\frac{N^2S}{l} = \mu\,\frac{N^2S}{l} \qquad \therefore\ L = \overbrace{N^2}^{\text{努力が報われる}N^2}\mu\,\frac{S}{l}\ [\mathrm{H}]$$

物性値の表し方



物性値(透磁率[H/m])

$B = \mu H$

磁化[A/m]

$= \mu_0(H+M)$ ← 物性値(磁化率 $\chi_m = \dfrac{M}{H}$)

$= \mu_0(1+\chi_m)H$ ← 物性値(比透磁率 $\mu_s = \dfrac{\mu}{\mu_0}$)

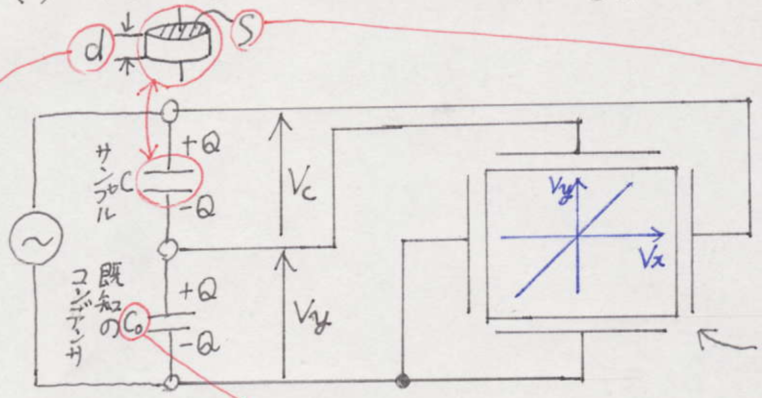
$= \mu_0 \mu_s H$

(例): Mn-Zn系フェライト ($Mn_{0.5}Zn_{0.4}Fe_{2.1}O_4$) ← 強磁性体の場合 $\chi_m \gg 1$ なので

$\mu_s \fallingdotseq 10{,}000 \fallingdotseq \chi_m$　　$\mu_s = 1 + \chi_m \fallingdotseq \chi_m$

④ 誘電体の測定

- ソーヤ・タワー回路を使った測定法.
  （ソーヤ氏とタワー氏が1930年に考案した）



オシロスコープのX-Yモードを使う

メインの回路

$$V_x = V_c + V_y$$
$$= \frac{Q}{C} + \frac{Q}{C_0}$$

ここで $C << C_0$ とする
（実際の測定では $\frac{C_0}{C} > 25$ とする）

$$\doteqdot \frac{Q}{C} = V_C$$ ← サンプル両端の電圧

$$\therefore E = \frac{1}{d} V_x$$ ←スケール変換係数

すなわち.オシロスコープの横軸のレンジ（スケール）を $\frac{1}{d}$ 倍にすれば横軸を電界として読むことができる。

$$V_y = \frac{Q}{C_0}$$ ← C_0のQであるが.サンプルCのQと同じ

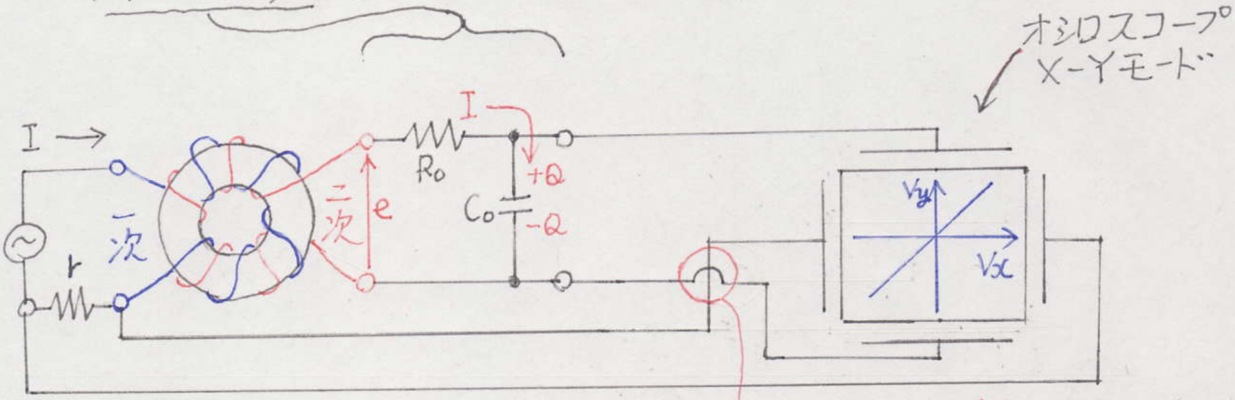
$$= \frac{S}{C_0}\frac{Q}{S}$$
$$= \frac{S}{C_0} D$$
$$\therefore D = \frac{C_0}{S} V_y$$ ←スケール変換係数

すなわち.オシロスコープの縦軸のレンジ（スケール）を $\frac{C_0}{S}$ 倍にすれば縦軸を電束密度として読むことができる。

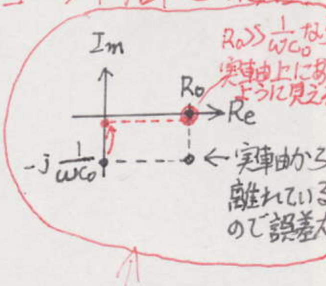
実際の測定では.サンプルのdとS、既知のコンデンサのC_0については.値がわかっている。

⑤ 磁性体の測定

・積分回路を使った測定法



理解しやすい様にブリッジしているが、実際は、オシロスコープ内部で接合している



$$V_x = rI$$

スケール変換係数

$$\therefore H = \frac{N_1}{lr} V_x$$

(ここで
・N_1は一次の巻き数、
・lは、コアの形状から求めた平均磁路長)

すなわち、オシロスコープの横軸のレンジ(スケール)を $\frac{N_1}{lr}$ 倍にすれば横軸を磁界として読むことができる。

$$V_y = \frac{Q}{C_0}$$
$$= \frac{1}{C_0}\int I\,dt$$
$$= \frac{1}{C_0}\int \frac{e}{R_0 + \frac{1}{j\omega C_0}}\,dt$$

ここで $R_0 \gg \frac{1}{\omega C_0}$ とする
(実際の測定では、$\omega R_0 C_0 > 25$ とする)

$$\fallingdotseq \frac{1}{C_0 R_0}\int e\,dt$$

ファラデーの法則より
$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$= -\frac{1}{C_0 R_0}\int \frac{d\phi}{dt}\,dt = -\frac{1}{C_0 R_0}\phi$$
$$= -\frac{N_2 S}{C_0 R_0} B$$

スケール変換係数

$$\therefore B = (-)\frac{C_0 R_0}{N_2 S} V_y$$

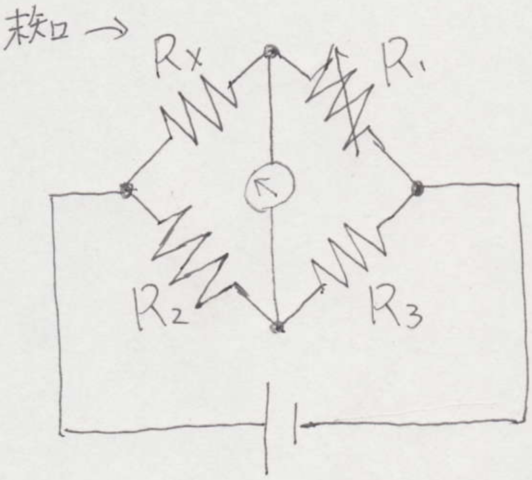
すなわち、オシロスコープの縦軸のレンジ(スケール)を $\frac{C_0 R_0}{N_2 S}$ 倍すれば縦軸を磁束密度として読むことができる

ここでマイナス記号は気にしなくて良い(オシロスコープに傾きが負の線が表示されたらコイルの結線を逆にするか、オシロスコープのスイッチを押すかなどして傾き正の線を表示させれば良い。
・N_2は二次の巻き数
・Sはコアの断面積

実際の測定では、コアの平均磁路長と断面積は形状から求めることができる。
C_0とR_0は値がわかっている。
N_1とN_2は自分で巻くので値はわかる。

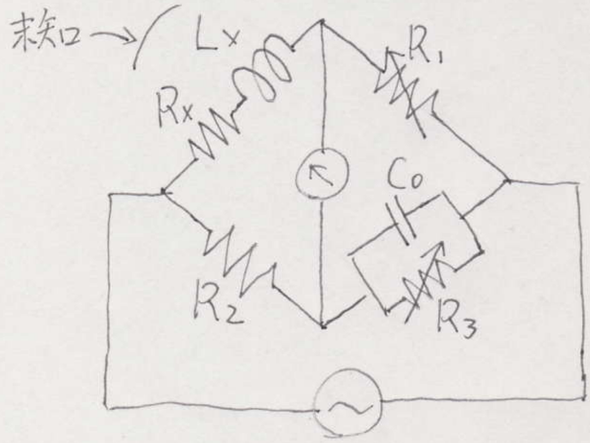
⑥ ユニバーサルブリッジを用いたLの測定

直流(DC)ブリッジ



交流(AC)ブリッジ

↑これを測定に応用したものが
ユニバーサル(万能)ブリッジ



ブリッジが平衡($I=0$)になるとき

$$R_x R_3 = R_1 R_2$$

$$\therefore R_x = \frac{R_1 R_2}{R_3}$$

$$(R_x + j\omega L_x)\frac{1}{\frac{1}{R_3} + j\omega C_0} = R_1 R_2$$

$$R_x + j\omega L_x = \frac{R_1 R_2}{R_3} + j\omega C_0 R_1 R_2$$

$$\therefore \begin{cases} R_x = \dfrac{R_1 R_2}{R_3} \\ L_x = \omega C_0 R_1 R_2 \end{cases}$$

⑦ 単位（Unit）の話、（これで最後です）

部屋の広さは、22 m^2？ → 12畳と言った方がわかりやすい
古の単位系からは変えにくい!!

	SI単位系（m, kg, s を使っている）	CGS電磁単位系（cm, g, s を使っている）
B	1 [Wb/m^2] = [T]	10^4 [Gauss]
H	1 [A/m]	$4\pi \times 10^{-3}$ [Oe] エルステッド
μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]	1 [emu]

$$4\pi \times 10^{-7} \frac{[T]}{[A/m]} \fallingdotseq \cancel{4\pi} \times \cancel{10^{-7}} \frac{\cancel{10^4}\,[Gauss]}{\cancel{4\pi \times 10^{-3}}\,[Oe]}$$

$$= 1\ [emu]$$

$$y\,[Gauss] = \frac{y}{10^4}\,[T]$$

$$x\,[Oe] = \frac{x}{4\pi} \times 10^3\,[A/m]$$

2学期の実験でCGS電磁単位系で測定結果が出る装置がありますが、レポート作成の際に、SI単位系に変換して下さい。