

2.5cm Epstein 鉄損試験器 によるけい素鋼板の鉄損試験

1. 目的

- (1) 2.5cm Epstein 鉄損試験器による鉄損の測定法を習得する。
- (2) 鉄損の測定や、ヒステリシス損とうず電流損の分離の計算などを行なうことによって、強磁性体の「鉄損」の概念をつかむ。

2. 理論

2.1 Epstein 鉄損試験装置

Epstein 鉄損試験器は、試料を鉄心とする一種の変圧器であって、一次巻線は二重綿巻銅線の4個の巻線を直列に接続し、二次巻線はやや細い銅線をそれぞれ一次巻線の内側に巻き4個直列に接続して作られている。一次巻線および二次巻線の総巻数は700回であり、試料は、鋭利な裁断器によって裁断して巾30mm、長さ250mmの長方形片2.1kgとしてある。この試料を4等分し、4束とし、その半数はその長辺が圧延方向に、他の半数は圧延方向と直角になるようにそれぞれ裁断されている。

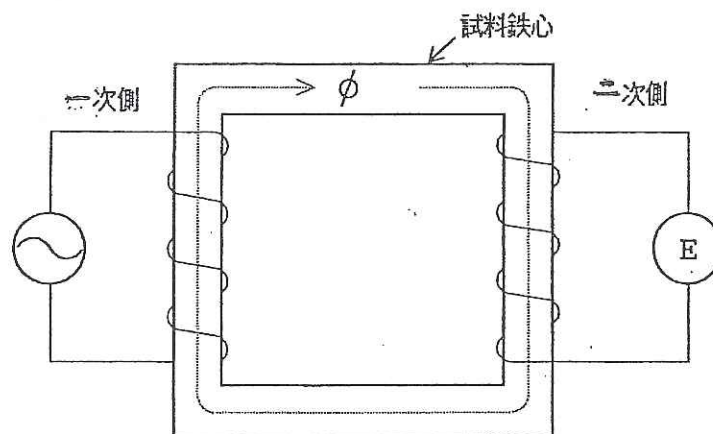


図1 Epstein 鉄損試験器

2.2 鉄損の測定

一次側に正弦波電圧を印加したとき、鉄心中の最大磁束密度 B_m は次式で表わされる。

$$B_m = \frac{4 L D E}{4 K N f M} \quad [\text{Wb/m}^2] \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで E.....二次巻線誘導電圧 [V]
 L.....試料の長さ 0.25[m]
 D.....試料の密度 7860[kg/m³]
 M.....試料の全重量 2.1[kg]
 f.....周波数 [Hz]
 N.....二次巻線の巻数 700[回]
 K.....二次巻線誘導電圧の波形率 1.11

つぎに全鉄損は $W_i = W - \frac{E^2}{R}$ [W] (2)

ここで W.....電力計の示す電力 [W]
 R.....エプスタイン試験器二次側の電圧計 (75kΩ) 75V 1kΩ/V
 と電力計の電圧巻線との並列抵抗 [Ω]
 (6kΩ) 120V 端子

したがって、単位質量当たりの鉄損 P_i は

$$P_i = \frac{W_i}{M} \text{ [W/kg]} \text{ (3)}$$

で求めることができる。

2. 3 ヒステリシス損とうず電流損の分離

鉄損はヒステリシス現象に起因するヒステリシス損と、鉄心内部に流れるうず電流によるうず電流損とに分けられるが、これらを分離するには次のようにすればよい。単位質量当たりのヒステリシス損を P_h 、うず電流損を P_e とすれば

$$P_i = P_h + P_e \text{ (4)}$$

ここでヒステリシス損は周波数および最大磁束密度の 1.6 乗に比例し、うず電流損は、周波数、最大磁束密度、および資料鉄心の鉄板の厚さの各々の自乗に比例するので、 η 、 ξ を定数として

$$P_h = \eta f B_m^{1.6}, \quad P_e = \xi b^2 f^2 B_m^2 \text{ (5)}$$

と書ける。ここで b は鉄板の厚さであり、 η 、 ξ は、それぞれ、ヒステリシス定数、およびうず電流定数と呼ばれる。(5) を(4) に代入し、 $1/f$ をかければ

$$\frac{P_i}{f} = \eta B_m^{1.6} + \xi b^2 B_m^2 f \text{ (6)}$$

ここで最大磁束密度 B_m を一定に保ち、種々の f の値に対する鉄損を測定して、 f に対する P_i/f のグラフを描けば、(6) からわかるように直線になる。この直線を延長して縦軸と交わったとき、すなわち $f = 0$ のときの値が $\eta B_m^{1.6}$ である (図2参照)。

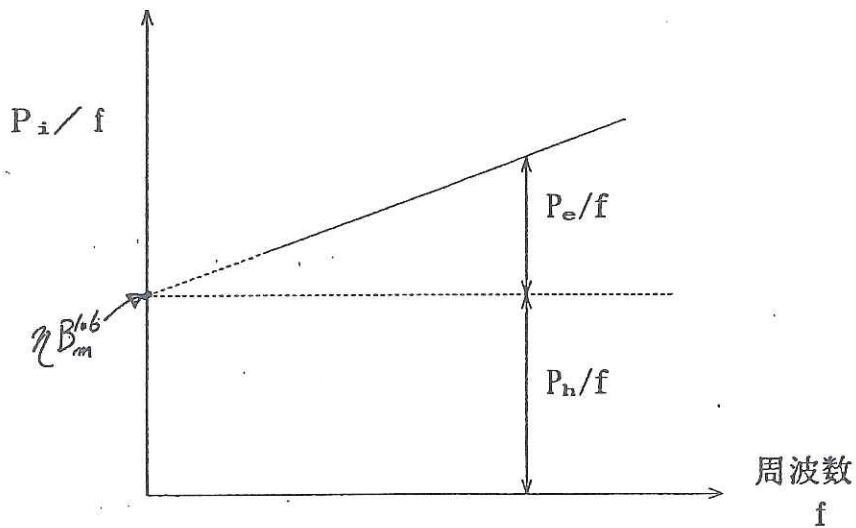


図2 周波数に対する P_i/f の関係

したがって測定した単位質量当たりの鉄損 P_i のうち、ヒステリシス損 P_h は (5) の第一式によって求めることができる。またヒステリシス定数 η は

$$\eta = \frac{P_h}{f B_m^{1.6}} \dots\dots\dots (7)$$

で求められる。つぎに単位質量当たりのうず電流損 P_e は、 $P_i - P_h$ によって求められうず電流定数 ξ は

$$\xi = \frac{P_e}{b^2 f^2 B_m^2} \dots\dots\dots (8)$$

によって得ることができる。

3. 実験

3. 1 接続図

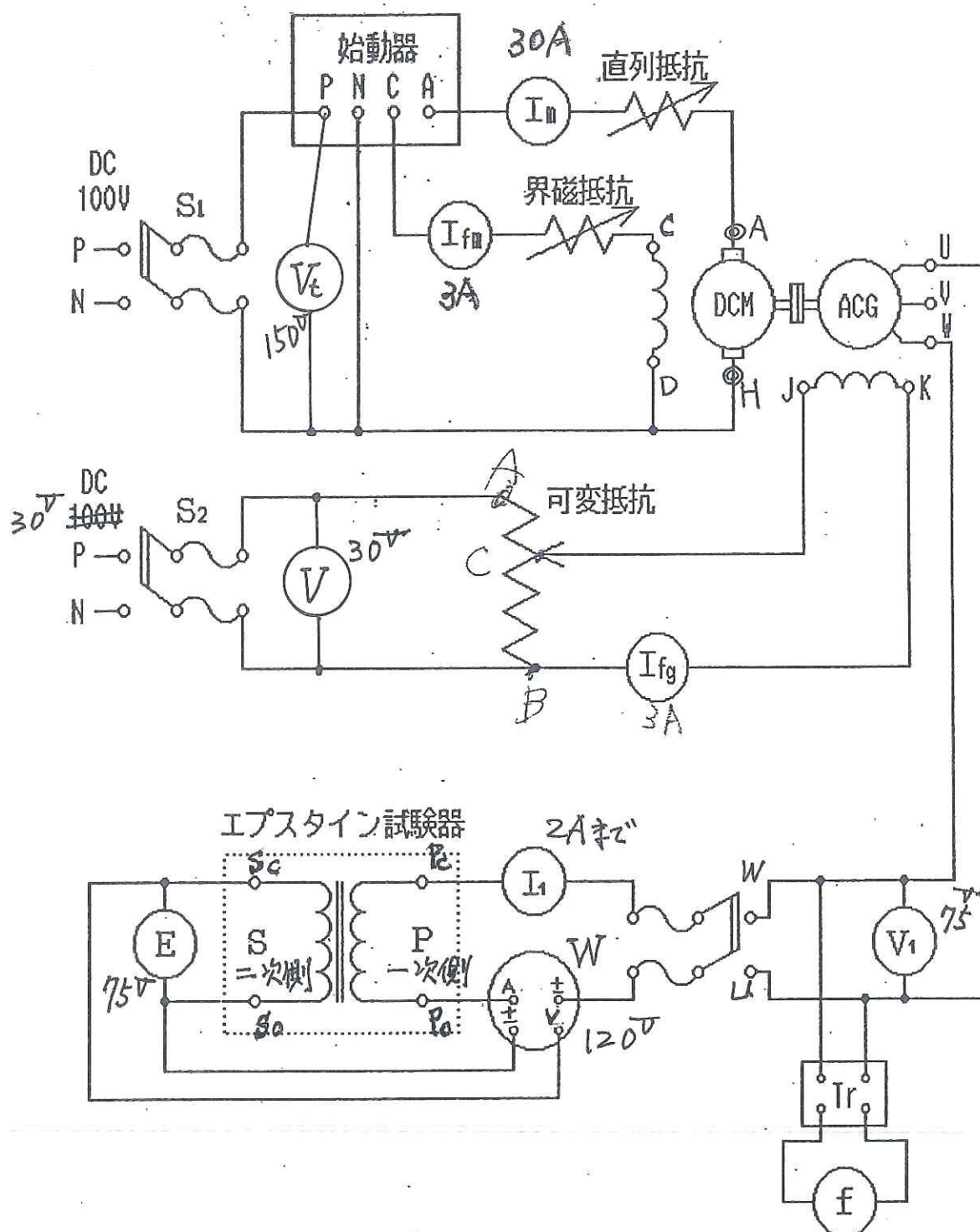


図3 接続図

3. 2 実験方法および結果の整理

(1) 鉄損の測定

- (a) 直流電動機の界磁抵抗の値を最少にし、直列抵抗を零にしておいて S_1 を投入する。
- (b) 起動器によって直流電動機を起動させる。
- (c) 交流発電機界磁回路の分圧器を出力電圧最小の位置にしておいてから S_2 を投入する。
- (d) 分圧器を徐々にあげて界磁回路の電流を増加させ発電機出力の電圧計と周波数計が振れることを確認する。
- (e) 直流電動機の界磁抵抗および直列抵抗を調整して回転数を変化させ、周波数を 50[Hz] に合わせる。
- (f) 周波数を 50[Hz] に保ったまま、エプスタイン鉄損試験器の入力電圧、すなわち交流発電機の出力電圧 V_1 を 10[V]~50[V] 程度変化させて入力電流、二次誘起電圧、入力を測定する。 V_1 を変化させるには、交流発電機の界磁抵抗を調整して界磁電流を変化させればよい。
- (g) 測定結果を下表のようにまとめる。

周波数 f [Hz]	入力電圧 V_1 [V]	入力電流 I_1 [A]	二次電圧 E [V]	電力計	
				指示 W'	倍率 α

5V ごとに変化

- (h) 以上の実験を、周波数が 40[Hz]、30[Hz]、20[Hz] の場合についても行う。

- (i) 計算の結果を下表のようにまとめ、最大磁束密度 B_m に対する単位質量当たりの鉄損 P_i の特性を曲線によって表わす (図 4 参照)。

周波数 f [Hz]	鉄心重量 M [kg]	二次回路 抵抗 R [Ω]	入 力 $W = W' \alpha$ [W]	抵抗損失 E^2 / R [W]	最大磁束 密度 B [Wb/m ²]	鉄 損 $W_i = W - E^2 / R$ [W]	単位質量当 たりの鉄損 P_i [W/kg]
-----------------	------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------	--	-----------------------------------	--------------------------------

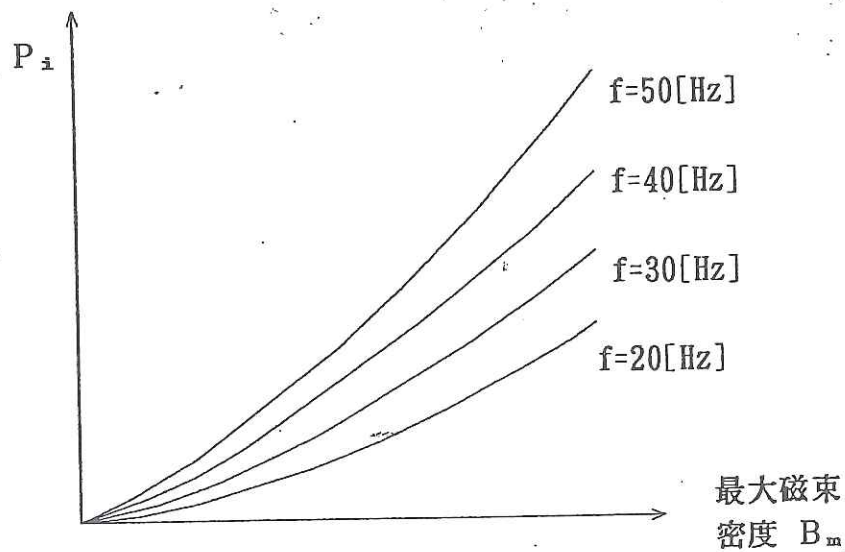


図4 最大磁束密度に対する鉄損の特性

(2) 鉄損の分離および定数の算定

前と同様の方法によって鉄損の測定を行なうが、今度は最大磁束密度 B_m を一定に保ち、周波数 f を変化させて前と同様の測定を行なう。 B_m を一定に保つためには次のようにすればよい。

(1) 式において L 、 D 、 K 、 N および M は定数であるから K_1 を定数とすれば、最大磁束密度は

$$B_m = K_1 \frac{E}{f} \dots\dots\dots (9)$$

で表わされ、 E/f を一定にすれば B_m を一定に保つことができる。ここでは $E/f=1$ に（すなわち、たとえば、 $f=40[\text{Hz}]$ のときは $E=40[\text{V}]$ に）保って実験を行なうこと。また、 f は $20\sim 50[\text{Hz}]$ の範囲に変化させること。

測定結果と計算結果をつぎの表のようにまとめる。

測定結果					
発電機 界磁電流 $I_{fg}[\text{A}]$	周波数 $f[\text{Hz}]$	二次電圧 $E[\text{V}]$	電力計		資料鉄板 の厚さ $b[\text{m}]$
			指示 W'	倍率 α	
	50	50			
	40	40			
	30	30			
	20	20			

計算結果

入 力	二次回路 抵抗	二次回路 損失	鉄 損	単位質量当たり 鉄 損
$W = \alpha W' [W]$	$R [\Omega]$	$E^2/R [W]$	$W_i = W - E^2/R [W]$	$P_i = W_i/M [W/kg]$

P_i / f	P_h / f $= \eta B_m^{1.6}$	P_e / f	P_h	P_e
$[W/Kg \cdot Hz]$	$[W/kg \cdot Hz]$	$[W/kg \cdot Hz]$	$[W/kg]$	$[W/kg]$

周波数	最大磁束 密度	ヒステリシス 定数	うず電流定数
$f [Hz]$	$B_m [Wb/m^2]$	$\eta = \frac{P_h}{f B_m^{1.6}}$	$\xi = \frac{P_e}{b^2 f^2 B_m^2}$

* 本実験では試料鉄板の厚さ $b = 0.5 \times 10^{-3} [m]$

上の計算において、 P_h / f は、図 2 をグラフ上に描いて図から決定すること。
また周波数に対する P_i 、 P_h 、 P_e の変化を曲線によってあらわす (図 5)。

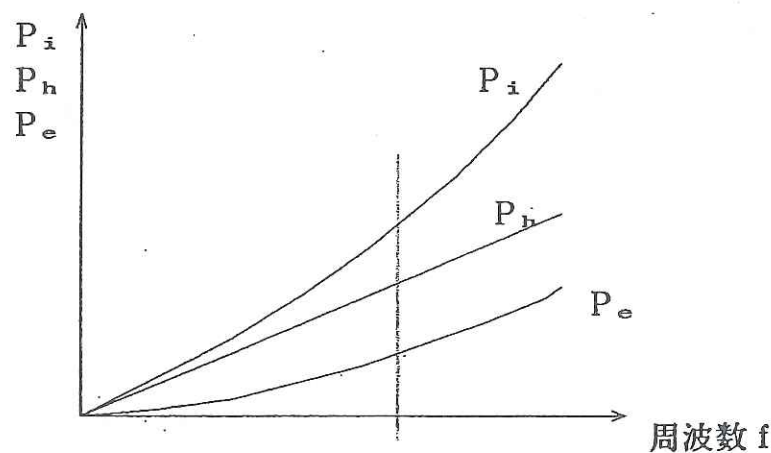


図 5 周波数に対する鉄損の特性

4. 課題

実験結果に対する考察を書くこと。