U.D.C. 621.3.017.3.083 : 621.317.784

熱電形電力計法による可聴周波の鉄損測定

The Iron Loss Measurement at the Audio-Frequencies by Thermoelectric-Type Wattmeter Method

鴨志田正弘* 小堀与一*
Masahiro Kamoshida Yoichi Kobori

内 容 梗 概

近年高周波発電機，超高速度電動機などの開発利用が進んでおり，これらへのケイ素鋼板の利用も増大しつつある。このため可聴周波数範囲でかなりの磁束密度範囲にわたっての鉄損測定法の確立が要望されている。この問題を解決する目的で，可聴周波数として最も利用度の高い2kc以下の周波数について，商用周波数における方法と大差ない方法，すなわち，12.5 cm 形のエプスタイン試験器および熱電形電力計を試作検討し，代表的なケイ素鋼板の鉄損特性を試験した。

1. 緒 言

電気機器用としてのケイ素鋼板の利用は，従来は商用周波数におけるものが主であって，鉄損値や磁化特性の測定はほとんど 50～400 c/s 範囲の商用周波数付近で行なわれてきたが，近年高周波発電機，超高速電動機など高い周波数領域での利用が盛んになり，可聴周波領域での鉄損測定法の確立が要望されてきた。これらの測定法としては，熱電形電力計法，変成器ブリッジ法など[1]~[3] いろいろ考えられているが，なお検討の段階にある。そこで商用周波数における方法と大差ない方法で鉄損特性の試験ができるように，新たに 12.5 cm のエプスタイン試験器および熱電形電力計を作製して，試験法および試料の検討を行なった。ここに試験の原理，構造および試料の諸特性について述べる。

2. 試験装置と測定法

2.1 電 源

測定電源としては，商用周波数の試験には 15 kVA 正弦波発電機，100 c/s 以上には出力 10 kVA の機械振動試験用電源の前置プリアンプを使用した。その概要を**第1表**に，外観を**第1図**に示す。電源の周波数の調整および測定は，同電源付属の制御部キャビネットの発信器により，5 c/s～10 kc まで連続可変測定ができるようになっている。

2.2 エプスタイン試験器

現用の 25 cm 形エプスタイン試験器を使用し，周波数および磁束密度を広範囲に変化させて鉄損を測定することは，周波数が高くなった場合**第1表**の電圧容量では測定できない。したがって，試料は電源容量から制限され小形化せねばならない。このため，25 cm 形を幾何学的に ½ に縮小した 12.5 cm のエプスタインわくを作製した。**第2表**は 25 cm 形と 12.5 cm 形エプスタインとの仕様の比較である。この試験器に要する試料は，寸法が 25 cm 形の ½ で 15×140 mm，重量が約 200 g で 25 cm 形の $^1/_{10}$，試験片の枚数では 25 cm 形の約½である。試験片の接合は二重重ね接合法を採用する。

2.3 電 力 計

高周波用の電力計としては，熱電形電力計のほかに真空管電力計，サーミスタ電力計，ホール電力計などいろいろ考えられるが，これらの電力計はほとんど市販されていない。そこで比較的容易に自家作製のできる熱電形電力計を用いることにした。熱電形電力計は真空熱電対の熱線電流—熱起電力間の2乗特性を利用する電力測定法で，日立製作所日立研究所ではさきに高磁束密度の鉄損測定用として作製検討し[4]，現在使用中であるが，商用周波数用として作製したために測定範囲が小さく，周波数および磁束密度を広範囲に変化させた場合の鉄損測定には使用できなかった。そこで，この電力計を参考にして電力指示が 0.004～900W の電力計を作製した。**第2図**はその電力計の内部回路図である。

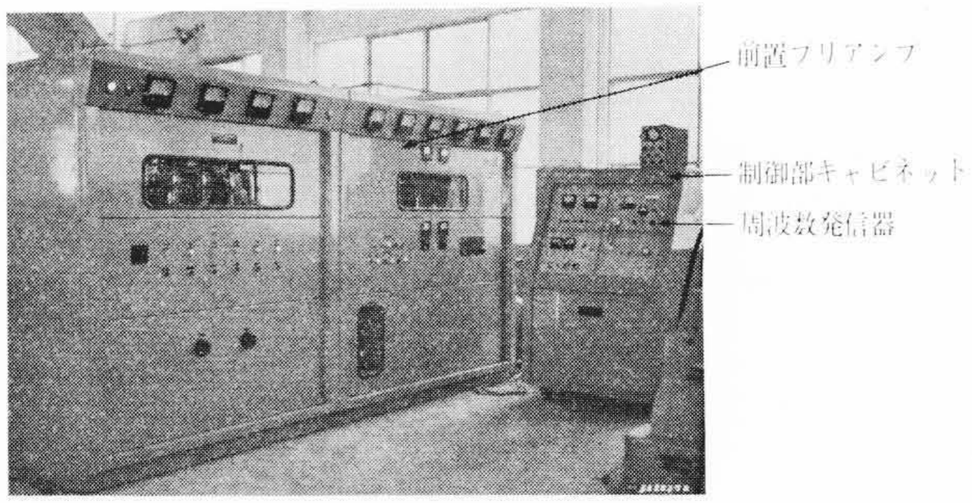
第2図で，R_1 および R_2 は励磁電流に比例した電圧を得るための無誘導巻きの抵抗器で，それぞれ 1.6 φ のマンガニン線を使用し，小電流用の R_1 には1本巻きで 0.3Ω，大電流用の R_2 には3本巻きで 0.1Ω を用いた。2次誘起電圧に比例する電流を得るための抵抗器 r_2～r_5 および r_{e1}～r_{e5} には，それぞれ 1W 形のカーボン抵抗器を使用した。これらの諸抵抗値は，鉄損測定時の操作および計算を簡単にする意味では数少なく分割したほうがよいが，反面電力計の感

第1表 測定電源（機械振動試験用電源の前置プリアンプ）の概要

出 力	10 kVA（電圧：500 V，周波数：5 c/s～10 kc 負荷インピーダンス：1，5，10，20 Ω
ひ ず み 率	5％以下（5 c/s～2 kc）
周 波 数 特 性	±3 dB （5 c/s～2 kc）

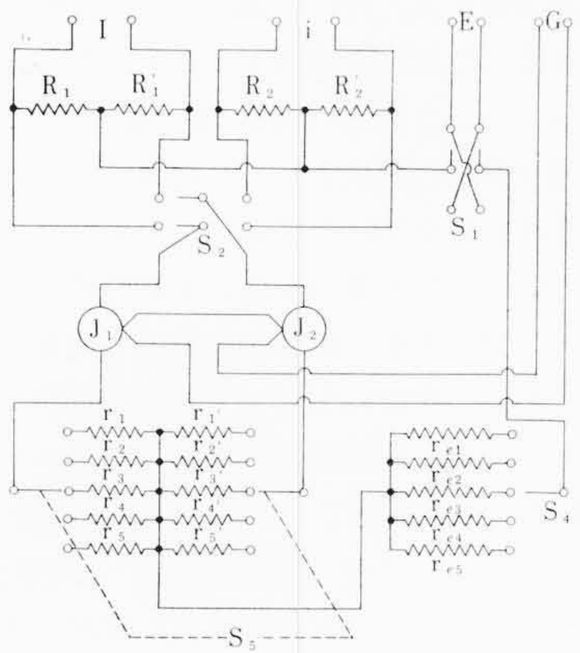
第2表 エプスタイン試験器の比較

項目			25 cm 形（JIS）	12.5 cm 形（試作）
巻線	1次コイル	線種	1.4 φ PVF（2本並列）	0.9 φ EC（2本並列）
		総巻数（回）	700（3層巻）	360（2層巻）
		抵抗（Ω）	0.54	0.48
	2次コイル	線種	0.95 φ PVF	0.8 φ EC
		総巻数（回）	700（1層巻）	360（1層巻）
		抵抗（Ω）	1.85	1.20
		実効断面積（cm²）	11.7	3.3
巻枠の寸法（mm）		巻線部の長さ	191	90.5
		内側の寸法	18.7×32	8.5×15.5



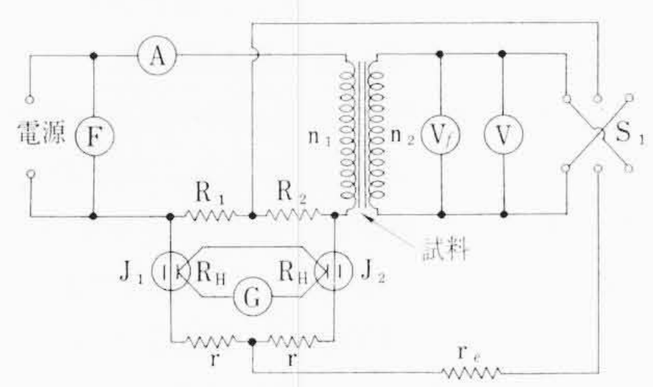
第1図 測定電源（機械振動試験用電源の前置プリアンプ）

* 日立製作所日立研究所



I：大電流用端子
i：小電流用端子
E：電圧端子
G：検流計端子
R_1：0.1Ω
R'_1：0.1Ω
R_2：0.3Ω
R'_2：0.3Ω　} 励磁電流に比列した電圧を得るための抵抗
r_1, r'_1：0Ω
r_2, r'_2：50Ω
r_3, r'_3：100Ω
r_4, r'_4：500Ω
r_5, r'_5：1kΩ
r_{e1}：5kΩ
r_{e2}：10kΩ
r_{e3}：30kΩ
r_{e4}：50kΩ
r_{e5}：100kΩ　} 2次誘起電圧に比列した電流を得るための抵抗
J_1, J_2：絶縁形真空熱電対 (5mA)
S_1～S_5：スイッチ

第2図　熱電形電力計の回路図



J_1, J_2：真空熱電対
R_H：真空熱線抵抗
R, r, r_e：抵抗器
G：検流計
V_f：磁束電圧計
V：実効値電圧計
A：電流計
F：周波計
n_1：1次コイル
n_2：2次コイル
S_1：スイッチ

第3図　熱電形電力計による鉄損測定回路

度が悪くなり，また被測定コアの2次誘起電圧の大小と使用熱電対の2乗特性にも関係があるので，両者を考慮して選んである。

2.4 測　定　法

熱電形電力計を用いて可聴周波の鉄損を測定する方法は，商用周波数の場合とまったく同じであるので詳細は省略する。その原理は，周知のように電流—熱起電力間の2乗特性がほぼ等しい2個の真空熱電対を適当に組み合わせ，両者に測定すべき電力の電圧分，電流分の和および差に比例する熱線電流を流し，両者の熱起電力の差から電力を求めるものである。**第3図**は本電力計による鉄損測定の回路図を示す。

いま，**第3図**において W_0 を被測定電力，δ を検流計の振れとすれば，W_0 と δ の関係は次式で表わされる[4]。

$$\delta=\frac{2RW_0}{(R+R_H+r)\left(r_e+\dfrac{R+R_H+r}{2}\right)}=K_eW_0 \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに，K_e：　熱電対常数　(δ/A^2)

単位重量当たりの鉄損は，電流力計形電力計法（JIS C-2550）の場合と同様にして求める。

3. 実験結果とその検討

3.1 電力計に対する検討

3.1.1 真空熱電対の2乗特性

熱電形電力計の作製にあたっての問題点としては，(1)各抵抗素子の周波数特性，(2)力率特性，(3)熱電対の2乗特性の成否などが考えられる。(1)については，各抵抗素子とも無誘導形を使用しており，また(2)については，高磁束密度用電力計の場合の実験で，力率0～100%の変化に対して W の指示が不変であることを確かめたので，ここでは(3)についてのみ検討する。すなわち，使用熱電対の2乗特性が厳密に成り立てば問題ないが，成り立たない場合は被測定電力に対応する電圧，電流は電力計の電圧回路および電流回路抵抗の値により制限される。すなわち，**第3図**の回路より熱電対の熱線電流と鉄損測定時の磁束電圧および励磁電流とは，大略次の関係になる。

$$\left.\begin{aligned} I_{ji}&=\frac{2RA}{2r+2H_r}\\ E_{ji}&=\frac{E}{r+r_e}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

ここに，I_{ji}：　励磁電流による熱線電流（A）
E_{ji}：　磁束電圧による熱線電流（A）
A：　励磁電流（A）
E：　磁束電圧（V）
H_r：　熱線抵抗（Ω）
R：　電力計の電流回路抵抗（Ω）
r, r_e：　電力計の電圧回路抵抗（Ω）

である。したがって，使用熱電対の2乗特性を調べ**第2図**の各抵抗値に対する磁束電圧および励磁電流の最大限度をおさえる必要がある。使用熱電対の2乗特性を調べた結果，定格5mAの熱電対の熱起電力と A^2 との関係が直線とみなされるのは，だいたい2.5 mAまでであることがわかった。

3.1.2 電力計の常数決定

電力計の常数，すなわち検流計1mmを振らせるに要する電力量 W_0/δ の値は，次の三つの方法で求められる。

(1)　個々の熱電対の定数を測定して計算によって求める方法。
すなわち，検流計の振れと電力との関係は(1)式より

$$\frac{W_0}{\delta}=\frac{(R_S+R_H+r)\ (2r_e+R_S+R_H+r)}{4\ K_eR_S} \quad \cdots\cdots(3)$$

となる。

(2)　交流を用い，電圧(V)，電流(A)，位相角(θ) を変化して電力 $(W_0)=VA\cos\theta$ を求め，これと検流計の振れとの関係を求める。

(3)　直流を用い，電圧(V)，電流(A)を変化して $W_0=VA$ と検流計の振れとの関係を求める。

以上の三つの方法による電力計常数は，2% 以内で一致することを確かめた。なお，試作電力計による測定鉄損値は，電流力計形電力計で測定した鉄損値と ±2% 以内で一致した。

3.2 エプスタイン試験器に対する検討

試作エプスタイン試験器の精度を検討するため，**第3表**の試料を用い12.5 cm形と25 cm形エプスタインおよび環状試料とによる鉄損比較を行なった。これらの試料は，いずれも同一鋼帯より特性が同じになるように採取し，エプスタイン用試料は切断後，環状試料では層間絶縁としてアルミナ塗付試料形成後，それぞれ同一炉内でひずみ取り焼鈍を施した。環状試料は，巻線による外部ひずみが加わらないように保護ケース内に納め，50 c/s～2 kc まで鉄損測定するための巻線1次，2次各240回が施してある。

3.2.1 25 cm形 (JIS) と 12.5 cm形エプスタインの比較

第3表の試料をそれぞれ25 cm形および12.5 cm形エプスタインにより，鉄損測定を行なった。エプスタイン試験器で試料の接

第3表　試　料　の　仕　様

鋼帯名	種　類	板　厚 (mm)	試料の寸法 (mm)	重　量 (g)	断面積 (cm^2)	備　考
冷圧延無方向性	S-14	0.35	30 W_d, 280 L	1,790	2.090	25 cm形
			15 W_d, 140 L	216	0.504	12.5 cm形
			96.5 D, 79.8 d, 15H	213	1.005	環状試料
冷圧延1方向性	G-12	0.35	30 W_d, 280 L	1,640	1.914	25 cm形
			15 W_d, 140 L	226	0.528	12.5 cm形
			97.5 D, 80 d, 15 H	213	0.998	環状試料

注　(1)　各試料とも750℃，3時間水素中でひずみ取り焼鈍を実施。
(2)　寸法の記号 W_d：幅，L：長さ，D：外径，d：内径，H：高さを示す。

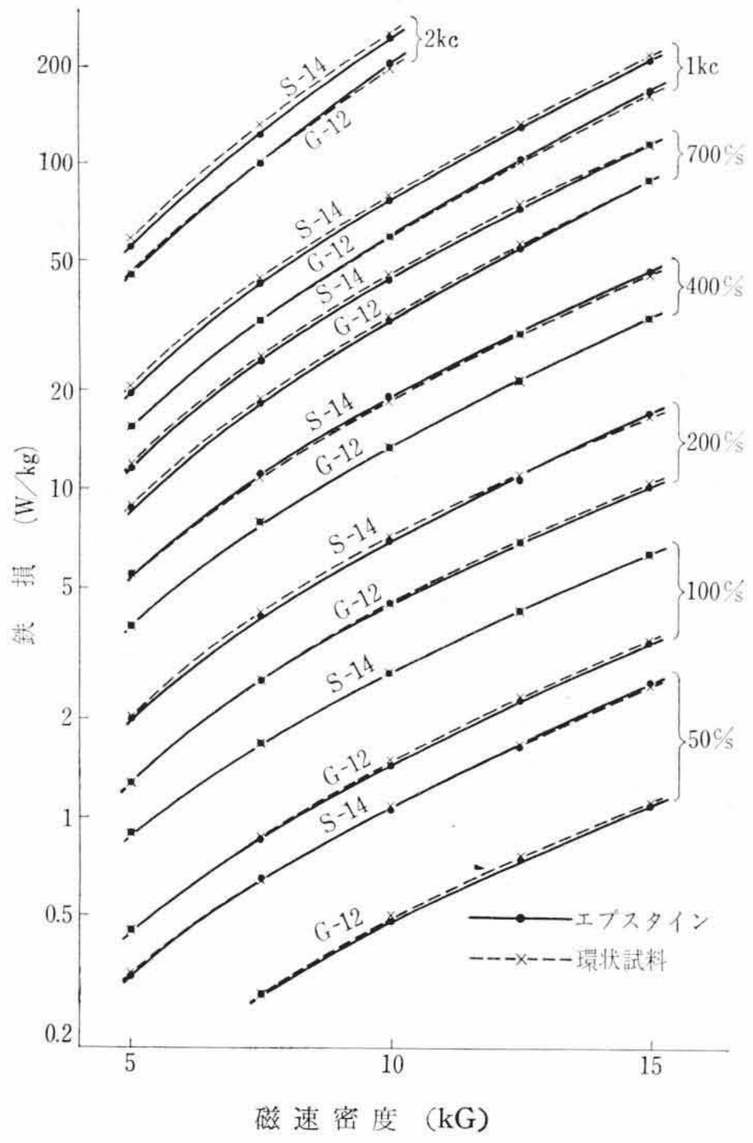
第4表　25 cm 形と 12.5 cm 形エプスタインによる鉄損(W/kg)の比較 (50 c/s)

試料 ＼ B(kG) ＼ エプスタイン		5	7.5	10	12.5	15
S-14	25 cm	0.32	0.66	1.04	1.60	2.57
	12.5 cm	0.33	0.65	1.05	1.63	2.59
G-12	25 cm	0.13	0.28	0.48	0.74	1.11
	12.5 cm	0.13	0.29	0.48	0.76	1.09

合を二重重ね接続した場合，4すみの接合部の磁気抵抗が小となり，接合部を除いた試料脚部の磁束密度の分布状態は一様性を増すが，接合部では試料の断面積が2倍となるため，常規鉄損（W/kg)の算出には試料の全重量をそのまま用いることができず，実効重量を用いねばならない。この実効重量算出の実効磁路長には25 cm 形の場合は JIS C-2550 に規定されている 94 cm を用いた。試作わくの 12.5 cm 形の場合にはこの実効磁路長のとり方に問題はあるが，エプスタインわくおよび試料の大きさが25 cm 形の½であるので，これらの寸法比から磁路長も幾何学的に 25 cm 形の½としてさしつかえないものと考え，47 cm を使用することにした。上記の実効重量を用いて求めた鉄損値の比較を**第4表**に示す。これより，25 cm 形と 12.5 cm 形エプスタイン試験器の特性は，磁束密度が 12.5 kG 以下では 25 cm 形よりも 12.5 cm 形のほうが大きい鉄損値を示し，15 kGでは反対に小さい鉄損値を示す傾向にあるが，その差は最大3.6%で比較的よい一致を示しており，12.5 cm 形の場合の実効重量算出の磁路長として，47 cm を用いてもさしつかえないことがわかる。

3.2.2　12.5 cm エプスタイン法と環状試料法とによる鉄損比較

前節でエプスタインわくを小形化しても，実効磁路長をエプスタインわくおよび試料の寸法比によって変えれば，商用周波数ではほぼ正しい鉄損測定ができることを確かめた。しかし，周波数が高くなった場合にもこの実効磁路長をまったく同一と考えて扱ってよいかは疑問である。そこで，実効磁路長などを使わずに試料の磁路長をそのまま使用でき，かつ磁束分布が最も理想的である環状試料の特性を基準とし，これと 12.5 cm 形エプスタインによる特性の比較を行ない，周波数が高くなった場合，12.5 cm エプスタインの磁路長がどのようになるかを検討することにした。



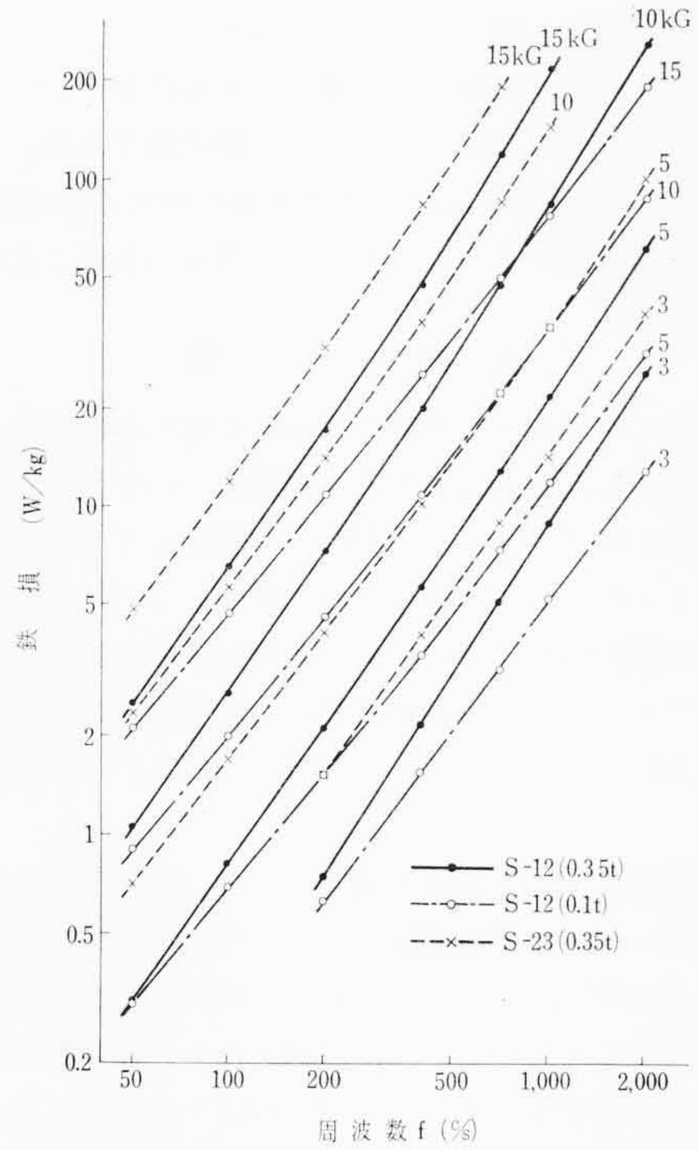
第4図　エプスタイン法と環状試料法との鉄損比較

試料としては，**第3表**に示したように無方向性 S-14，1方向性 G-12 の2種を用いた。環状試料の形状として，打ち抜き形よりも試料作製が容易でない巻鉄心形を用いた理由は，打ち抜き形で測定される鉄損値が圧延方向に対して0～90度の平均特性を示すことになり，この鉄損値とエプスタインによる鉄損値を直接比較することができないためである。すなわち，ケイ素鋼帯(板)の特性は全般的に圧延方向からの角度と比例関係にはならず，エプスタイン試料の切断角度を数多くして測定したとしても，厳密に0～90度の平均特性を求めることは不可能と思われる。このため，エプスタインおよび環状試料とも縦目方向で鉄損比較ができるように，環状試料の形状を巻鉄心とした。なお，環状試料は標準測定法を十分満足するよう平均直径と幅との比率を10対1以上にしてある。

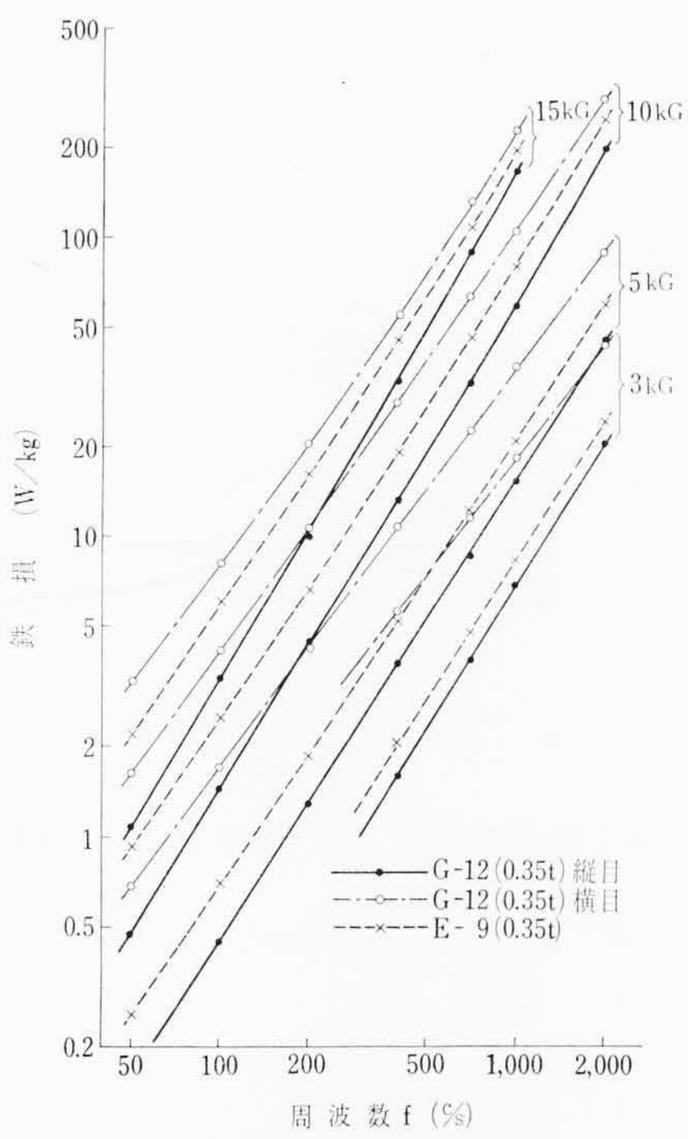
上記試料をそれぞれ 12.5 cm エプスタインおよび環状試料法により，周波数 50 c/s～2 kc の鉄損を熱電形電力計で測定した。両測定法で求めた鉄損特性の比較を**第4図**に示す。図の実線は環状試料法，点線がエプスタイン法による鉄損値である。2 kc の 10 kG 以上の鉄損値は，試料の温度上昇が大きいので測定を中止した。繰り返し測定による鉄損値のばらつきは，±2% 以内である。2次誘起電圧の波形ひずみは，S-14 の 100 c/s の 15 kG で6% 認められやや大きかったが，他の周波数および磁束密度では3% 以下となり，いずれの場合も周波数が高くなるほど波形ひずみが小さくなり，400 c/s 以上ではほとんど認められなくなり本試験の場合非常に好都合であった。

第4図より両測定法による鉄損値を比較すると，S-14 の場合は，50～700 c/s では ±3% 以内の差でかなりよく一致したが，1 kc では3～6%，2 kc では5～7% エプスタイン法のほうが小さい鉄損値を示している。G-12 の比較では，50～700 c/s まではエプスタイン法の鉄損値のほうが全般的に小さく，1 kc 以上では反対に大きくなる傾向にあるが，その差異はほとんどが3% 以内であり，比較的よく一致している。以上のように周波数が高くなった場合，12.5 cm エプスタインの実効磁路長がどのようになるかを検討するため，環状試料による鉄損値と比較した。エプスタイン法および環状試料法とも測定計算上には多少の無理はあり，また各1試料だけの結果から，その実効磁路長を断定的に判定することは必ずしも妥当でないが，以下両測定法による鉄損値の差異および環状試料の鉄損値をもとにして，12.5 cm エプスタイン試験器の実効磁路長 47 cm の可否について検討してみる。

S-14 の場合は，50～700 c/s までは両者の鉄損値の差異が ±3%以内であるので，47 cm の磁路長をそのまま使ってさしつかえないが，1 kc 以上では約4% 小の 45 cm とせねばならない。G-12 は，50 c/s～2 kc まで両者の鉄損値が ±3% 以内で一致したことから，47 cm をそのまま使用してさしつかえないと考える。以上の結果から，12.5 cm エプスタイン法の鉄損計算に用いる実効磁路長は，試料の透磁率または測定周波数によって変更するのが望ましいようであるが，その絶対値については，特別に問題になるほどの大差でもないので，今回は参考程度にとどめることにする。以後の測定でもこの点に対する考慮を払わずに，磁路長としてはすべて 47 cm を用いることにした。このための誤差によって得られた特性は試料の真の特性から多少はずれるかも知れないが，周波数が高い場合の鉄損測定にはそれほどの精度の要求は事実無理ではないかと考える。これらの点については，後日試料数を増してさらに検討を加える予定である。



第5図　無方向性 S-12, S-23 の周波数-鉄損曲線



第6図　1方向性G-12, 熱圧延E-9 の周波数-鉄損曲線

3.3　ケイ素鋼帯の鉄損特性

前節の方法により，S-12 の 0.35 t，0.1 t，S-23 の 0.35 t，E-9 の 0.35 t いずれも縦＋横目試料および G-12 0.35 t の縦目，横目の計6試料について，磁束密度 3～15 kG，周波数 50 c/s～2 kc までの鉄損試験を行なった。**第5図**および**第6図**にそれぞれの試料の周波数—鉄損曲線を示す。各図の周波数および磁束密度の高いところで測定点がないのは，試料の温度上昇が大きいため測定を中止したものである。これらの曲線より，鉄損値Wと周波数fとの関係は，試料および磁束密度の大小によって多少異なるが，大体のところf＝50～400 c/s までは直線となる。また，さらに 400 c/s～2 kc の範囲においてもほぼ直線的に表わすことができる。

以上の結果から，$\log W$ と $\log f$ との関係は，50～400 c/s および 400 c/s 以上の2段階にはなるがほぼ直線的であることから，鉄損Wの実験式として，一定の磁束密度のもとでは，$W=Kf^n$ と置きうることがわかる。**第5図**および**第6図**より，400 c/s 以下および 400 c/s 以上の2段階に分けて，ベキ指数nを各試料ごとに求めると**第5表**のようになり，指数nは試料の種類および板厚の相違によってかなりの差異があることがわかる。また，nは各試料とも高磁束密度になるほど大きくなり，この傾向は 400 c/s 以下の場合よりも 400 c/s 以上で顕著となる。

3.3.1　実測鉄損と計算鉄損との比較

前記の実測鉄損値が，直流で測定したヒステリシス損，および材料が均質であると仮定して求めたうず電流損との和と，どの程度一致するかを検討した。ヒステリシス損の測定は直流自記磁束計で行なった。**第6表**は磁束密度 10 kG における実測鉄損値と計算鉄損値の比較を示す。この表の W_h, W_e, W_c は，それぞれ直流ヒステリシスループおよび試料の板厚，固有抵抗などの諸数値を用い，各周波数ごとに次のようにして求めた。

$$W_c = W_h + W_e \ (\mathrm{W/kg}) \quad \cdots\cdots(4)$$

$$W_h = \frac{K_l A f}{4\pi d} \times 10^{-8} \ (\mathrm{W/kg}) \quad \cdots\cdots(5)$$

$$W_e = \frac{(\pi f t B_m)^2}{6\rho d} \times 10^{-13} \ (\mathrm{W/kg}) \quad \cdots\cdots(6)$$

ここに，
- W_c：計算鉄損
- W_h：直流ヒステリシスループより求めたヒステリシス損
- W_e：計算うず電流損
- K_l：ループの単位面積当たりの磁束密度と磁化力との積

第5表　鉄損の実験式 $W=Kf^n$ の指数 n

B (kG) / f (c/s)	試料	S-12 0.35 t	S-12 0.1 t	S-23 0.35 t	G-12 縦目 0.35 t	G-12 横目 0.35 t	E-9 0.35 t
400 c/s 以下	5	1.30	1.13	1.20	1.48	1.24	1.35
	10	1.32	1.14	1.22	1.51	1.26	1.36
	15	1.32	1.15	1.24	1.54	1.30	1.37
400 c/s 以上	5	1.41	1.16	1.30	1.49	1.24	1.42
	10	1.48	1.18	1.39	1.57	1.34	1.50
	15	1.53	1.18	1.43	1.68	1.47	1.49

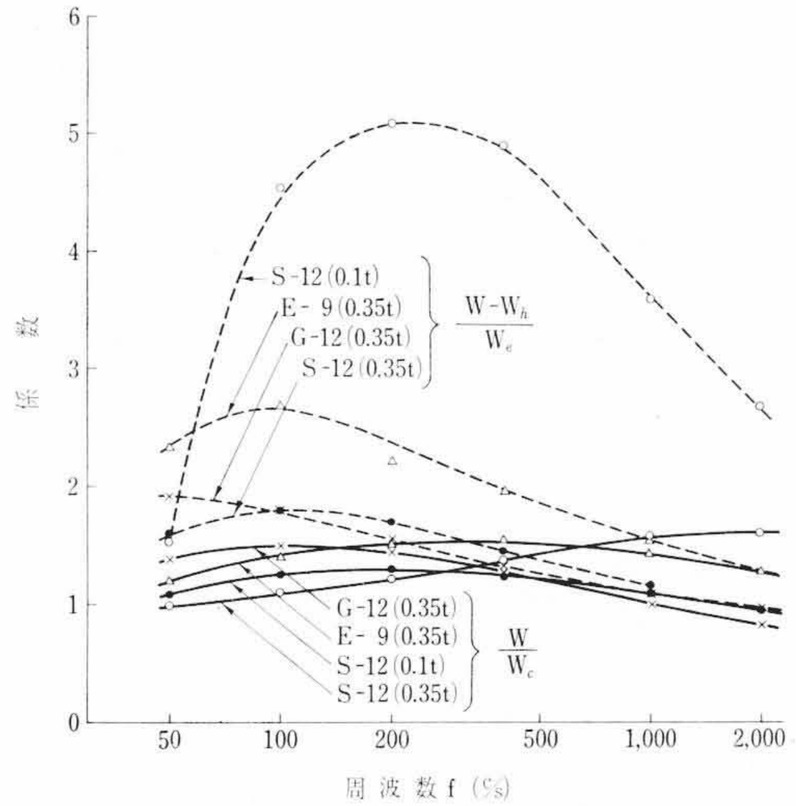
注：　t｜mm 単位の厚さを示す。

第6表　実測鉄損 W と計算鉄損 Wc との比較 (10 kG)

試料 / W/kG / f (c/s)		50	100	200	400	1,000	2,000
S-12	Wh	0.79	1.58	3.16	6.32	15.8	31.6
0.353 t	We	0.15	0.59	2.38	9.50	59.4	238
45.1 μΩ/cm	Wc	0.94	2.17	5.54	15.8	75.2	270
	W	1.03	2.66	7.18	19.8	83.5	262
S-12	Wh	0.87	1.74	3.48	6.96	17.4	34.8
0.100 t	We	0.01	0.05	0.20	0.80	5.00	20.0
43.0 μΩ/cm	Wc	0.88	1.79	3.68	7.76	22.4	54.8
	W	0.89	1.97	4.51	10.9	35.5	88.8

試料 / f (c/s)	50	100	200	400	1,000	2,000
G-12	0.19	0.38	0.76	1.52	3.04	6.08
0.353 t	0.15	0.58	2.33	9.31	58.3	233
46.1 μΩ/cm	0.34	0.96	3.09	10.8	61.3	239
	0.48	1.44	4.44	13.2	59.3	203
E-9	0.67	1.34	2.68	5.38	10.7	21.4
0.352 t	0.11	0.43	1.74	6.95	43.4	174
58.5 μΩ/cm	0.78	1.77	4.42	12.3	54.1	195
	0.93	2.49	6.48	19.0	80.2	256

注：　Wh；ヒステリシス損，Wc：渦電流損



第7図　鉄損およびうず電流損の異常係数

A：　ループの面積（cm^2）
f：　周波数（c/s）
d：　試料の密度（g/cm^3）
t：　試料の板厚（cm）
B_m：　直流ヒステリシスループの最大磁束密度（G）
ρ：　試料の固有抵抗（Ω/cm）

である。

第6表より，実測鉄損Wは S-12 の 0.35 t および G-12 の 1～2 kc では例外となったが，計算鉄損値よりもかなり大きくなることがわかる。これは，計算鉄損値のうず電流損が材料を均質と考えて求められたのに対し，実際の材料ではそれぞれ磁区構造をもち均質であるとの仮定が成立しないところに原因があると考える。すなわち，実測鉄損値の場合には材料の不均質により，局地化した磁化変化のために局所的にうず電流が大となり，いわゆるうず電流の異常現象が大きく生じたためと考えられる。これらの結果は文献(5)の説と傾向としては一致する。

第6表から鉄損およびうず電流損の異常係数として，W/W_e および $W-W_h/W_e$ を求めて示したのが**第7図**である。この曲線で見られるように，鉄損およびうず電流損の異常係数は試料の種類，板厚および周波数によって，かなりの差異のあることがわかる。

4. 結　　言

可聴周波数に対するケイ素鋼板の特性を明らかにするため，鉄損試験装置を試作し，代表的なケイ素鋼帯について特性を試験した。

（1）　25 cm エプスタイン（JIS）を小形化しても，実効磁路長をエプスタインわくおよび試料の寸法比によって同じ比率で変えれば，商用周波数では 25 cm のものと測定鉄損値はほぼ一致する。

（2）　エプスタインの実効磁路長は，測定周波数によって変更するのが望ましいようであるが，特別に問題とするほどの値ではない。

（3）　代表的なケイ素鋼帯6種について，磁束密度 3～15 kG，周波数 50 c/s～2 kc の鉄損試験を行なった結果，鉄損Wと周波数fについて，$\log W$ と $\log f$ との関係は，400 c/s 以下および 400 c/s 以上の2段階にはなるが，ほぼ直線となり，鉄損Wの実験式として，一定の磁束密度のもとでは $W=Kf^n$ と置くことができる。

（4）　実測鉄損値は多少の例外もあるが，うず電流損の異常増大現象により，計算鉄損値よりもかなり大きい。

終わりに本研究に対してご指導を賜わった日立製作所日立研究所北川部長，およびご便宜をいただいた関係者各位に厚くお礼申しあげる。

参　考　文　献

（1）　成田，山崎，柳沢：　電4連大（昭 38-7）
（2）　成田，中瀬：　電4連大（昭 38-7）
（3）　成田，佐々木，柳沢：　電4連大（昭 38-7）
（4）　杉浦，石崎：　電4連大（昭 35-7）
（5）　近角：　強磁性体の物理（裳華房 昭 34-9）p. 231

特　許　の　紹　介

特許 第240131号(特公昭32-8817)　　阿部善右衛門

振動容量型直交変換装置

一般に振動容量型の直交変換器はその入力インピーダンスが高いという特長を有する反面，直交変換能率が低い欠点がある。

本発明はこの点に鑑み，きわめて簡単に直交変換能率を上昇させることを目的とするもので，静電容量Cが $C=C_0+C_1\sin\omega t$ のような周期的変化をなす振動容量に並列に負性容量 C_n を接続したものである。

第1図はこの種直交変換器の等価回路を示し，振動容量Cと並列に抵抗 R_2 が接続されており，これに抵抗 R_1 を通じて信号電圧 V_s が加えられる。この回路は**第2図**のように等価変換することができる。今同図において $C=C_0+C_1\sin\omega t$ とおくと次式が成立する

$$V=iR+\frac{1}{C}(Q_0+a\cos\omega t+b\sin\omega t)$$

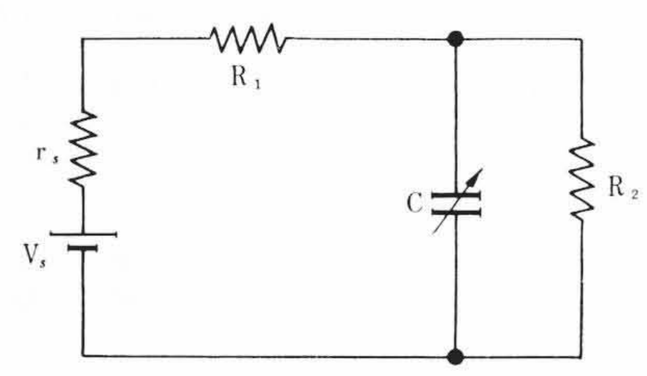
$i=dQ/dt$，$Q_0=VC_0$ を代入して

$$i=VC_1\omega(1+\omega^2C_0^2R^2)-\frac{1}{2}\cos(\omega t-\tan^{-1}\omega C_0R)$$

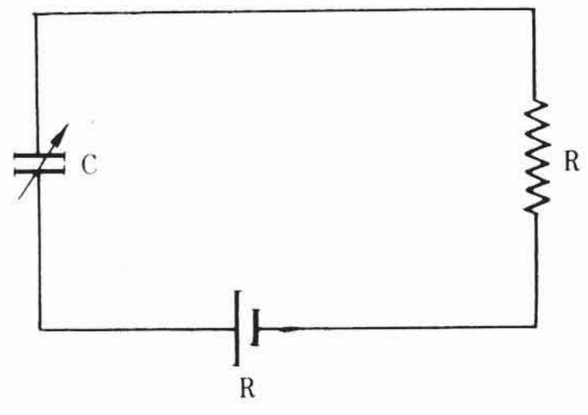
したがって直交変換能率 η は

$$\eta=\frac{iR}{V}=\frac{\frac{C_1}{C_0}\omega C_0R}{\{1+(\omega C_0R)^2\}^{1/2}}$$

ゆえに η を増大するには C_1/C_0 を増大させれば良いから C_0 を補償するよう負性容量 C_n を並列接続した本発明装置においては η を格段に上昇させることができる。　（井沢）



第1図



第2図