

回転磁界による鉄損について (第2報)

小野 訓, 有賀 浩

(1972年9月10日受理)

On the Iron Loss due to the Rotating Magnetic Field (No. 2)

Kun ONO and Hiroshi ARIGA

Abstract: — The authors investigated the relation between the iron loss due to the three phase rotating magnetic field and the magnetization curve concerning with the silicon steel plates mentioned previously.

The ratio of the magnetic flux density at the knee of the magnetization curve to ditto at the suddenly changing point (so-called sharp rise) of the iron loss curve was about 93% on an average. Both were, therefore, nearly equal as Mr. F. Brailsford has insisted upon this fact.

1. ま え が き

前回は6種類のけい素鋼板について3相回転磁界による鉄損を論じたが、今回はこれら⁽¹⁾と磁化曲線との関係を検討した。

特に鉄損曲線において、鉄損が急上昇する点と、磁化曲線における屈曲点との関係を調べたのでここに報告する。

2. 磁化曲線の測定

2-1 鉄 心

鉄心に用いたけい素鋼板は6種類で、いずれも新日本製鉄株式会社の製品である。その諸元を表1に示す。ただし No. 6 (U-30) はひずみ取り焼鈍を施していない。

表 1 試 料

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
名 称	方向性けい素鋼帯 (オリエントコア)		無方向性けい素鋼帯 (ハイライトコア)			セミプロセス 冷延無方向性 けい素鋼帯 (ユーティラ イトコア)
略 号	Z-10	Z-11	H-12	H-18	H-23	U-30
厚 さ (mm)	0.35	0.35	0.35	0.5	0.5	0.5

表1は前報⁽¹⁾の記載事項の1部を再録したものである。

これらを旋盤により、内径 35 [mm]、外径 65 [mm] の円板状に加工した。その際表面皮膜の破損、切削時の摩擦による温度上昇、機械的ひずみ等には充分注意した。しかる後にロールの方向にそろえ、積みかさねて鉄心とした。

仕様を表2に示す。

表 2 磁化曲線測定用鉄心

試料	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
略号	Z-10	Z-11	H-12	H-18	H-23	U-30
かさね枚数(枚)	26	26	26	18	18	18
厚さ(mm)	9.1	9.1	9.1	9.0	9.0	9.0
重量(g)	158.3	158.6	157.9	164.9	165.4	166.4

2-2 コイル

前述の各鉄心に、全周ほぼ一様に1次コイルおよび2次コイルを巻いた。

その仕様を表3に示す。

表 3 磁化曲線測定用コイル

	1次コイル	2次コイル
線種	0.5(mm)φ エナメル線	0.5(mm)φ エナメル線
巻数(T)	400	300

2-3 測定方法

前報と同様にすべて 50 [Hz] 電源により測定した。1次電流測定用には可動鉄片形電流計(精度 0.5)を用いた。磁氣的に充分飽和した場合には電流波形はかなりひずんだが、屈曲点の付近またはそれ以下では、波形のひずみは軽微であつた。

2次側の誘導起電力測定用には入力抵抗が大きく、かつ精度のよいデジタル形電圧計(横河電機製 入力抵抗 1[MΩ], 精度 指示値の 0.1%±2digit)を用いた。

そして磁束密度(最大値)に対応させるために、1次電流を $\sqrt{2}$ 倍して、それより磁界の強さ(最大値)を求めた。

以上により各試料ごとに 50 [Hz] における磁化曲線をえがき、さらに屈曲点を求めた。ただしここに屈曲点と称するのは、最大透磁率点の付近における最大曲率の点を意味する^{(2),(3)}。

3. 測定結果

結果を図1~9に示す。

図1~3は磁化曲線の最大曲率から屈曲点を求めるために、いずれも磁化曲線の上方および下方を省略した。

屈曲点の求め方は既報⁽³⁾の4(A)の方法によつた。すなわち磁化曲線に対する曲率曲線を

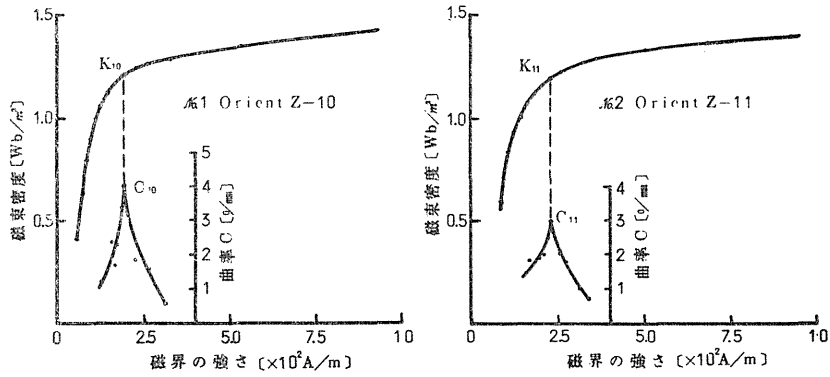


図1 磁化曲線の屈曲点

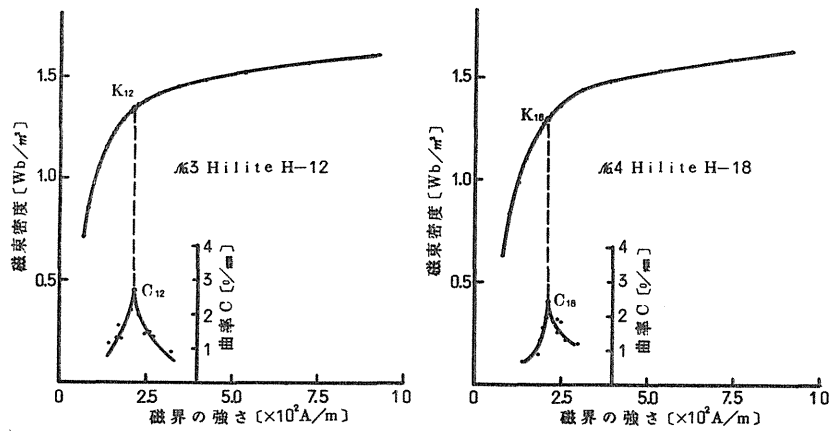


図2 磁化曲線の屈曲点

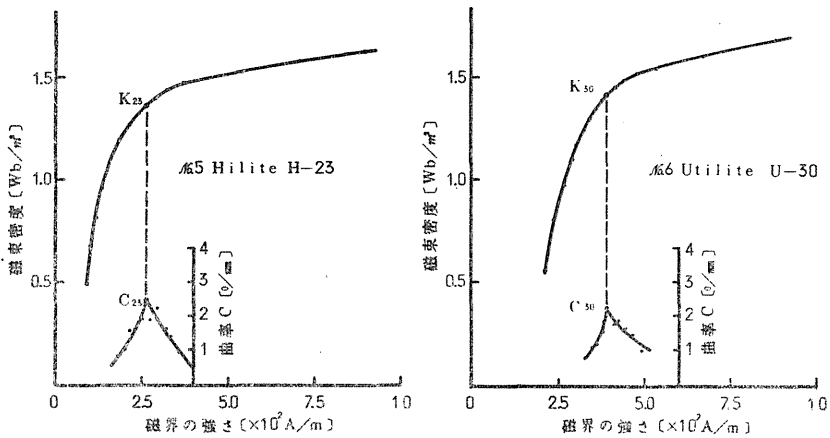


図3 磁化曲線の屈曲点

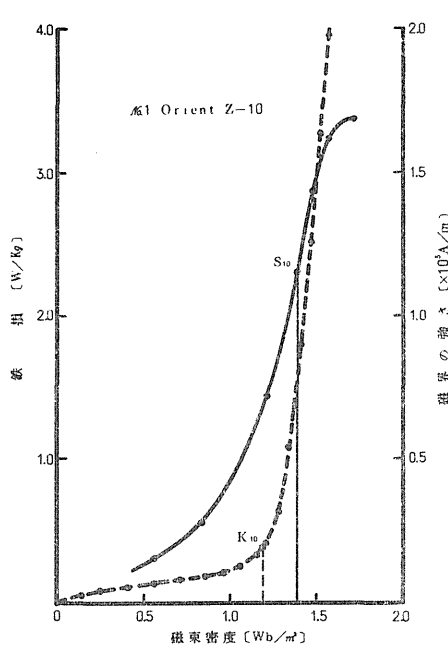


図 4 鉄損と磁化曲線の関係

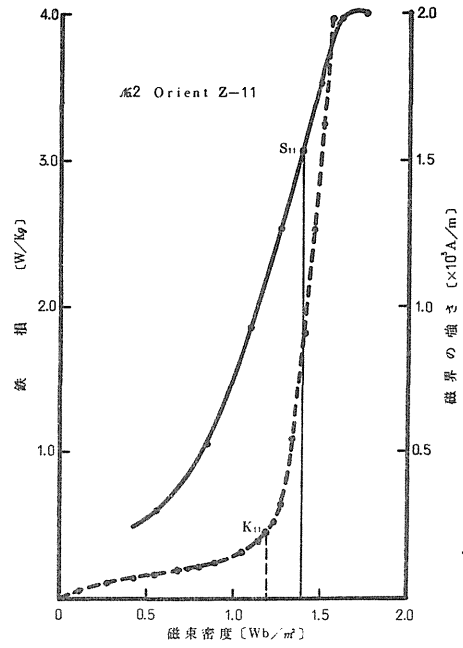


図 5 鉄損と磁化曲線の関係

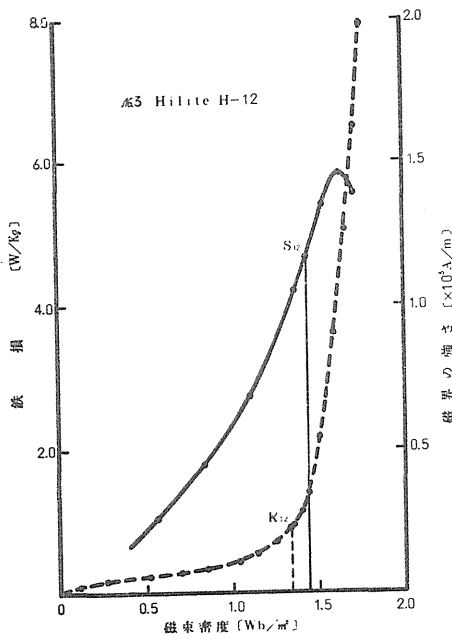


図 6 鉄損と磁化曲線の関係

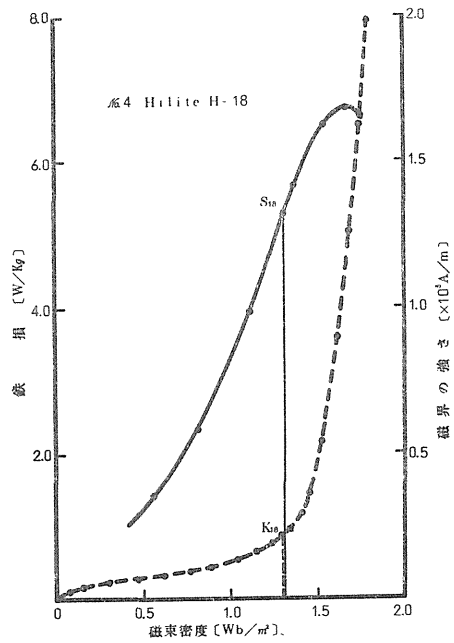


図 7 鉄損と磁化曲線の関係

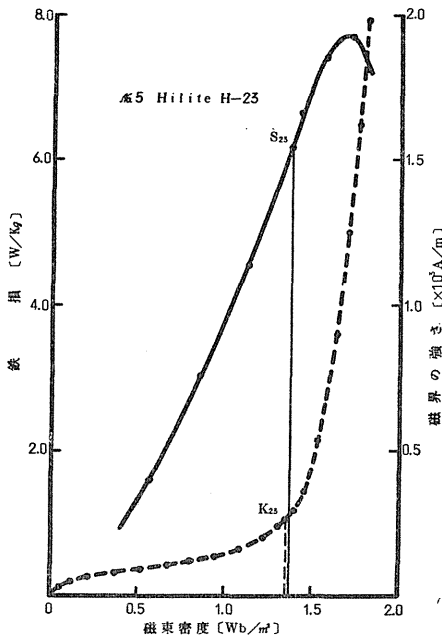


図 8 鉄損と磁化曲線の関係

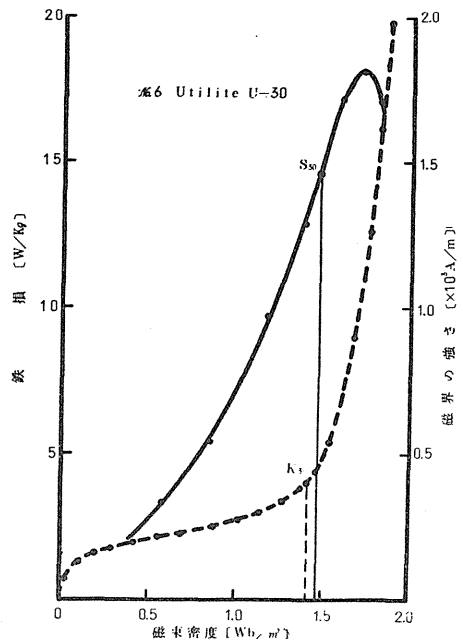


図 9 鉄損と磁化曲線の関係

えがき, それより最大曲率の点 $C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{18}, C_{23}, C_{30}$ を求め, つぎにこれらに対応する磁化曲線上の点 $K_{10}, K_{11}, K_{12}, K_{18}, K_{23}, K_{30}$ を求め, それぞれの屈曲点とした。

図 4 ~ 9 は磁束密度(横軸)を共通として, 回転磁界による鉄損(実線)と磁化曲線(点線)とを表わした。ただし前者は前報の図 10 を再録したものであり, 後者は図 1 ~ 3 に示す磁化曲線を, $H=0 \sim 2 \times 10^3 \left[\frac{A}{m} \right]$ の範囲にわたって表わしたものである。

鉄損曲線において鉄損がまさに急上昇 (sharp rise) しようとする点を $S_{10}, S_{11}, S_{12}, S_{18}, S_{23}, S_{30}$ で示した。なお磁化曲線における $K_{10}, K_{11}, K_{12}, K_{18}, K_{23}, K_{30}$ はいうまでもなくそれぞれの屈曲点を表わす。

4. 結果の検討

4-1 屈曲点について

研究者によって異つた定義を下している。すなわち英国の F. Brailsford 氏はつぎのように述べている。⁽⁴⁾

“Knee” of the magnetization curve, i. e. at the point where H begins to rise rapidly with respect to B—H.

これに対して米国の H. F. Storm 氏はつぎのように述べている。⁽⁵⁾

At the so-called “knee” there is an abrupt decrease in the slope of the magnetization curve.

よつて図10の K_B, K_S は, それぞれ F. Brailsford 氏および H. F. Storm 氏が唱える屈曲点のおよその位置を示す。しかしいずれも定量的とは思えないので, 前述のごとく筆者

のひとりにはさきに「磁化曲線において最大曲率の点を屈曲点とする。ただし最大透磁率点の付近におけるものとする」ことを提案し採択された。^{(2),(3)}

この定義にしたがえば、屈曲点の位置は一義的に定まる。本文中の屈曲点はすべてこの定義にしたがつて求めたものである。

よつて図10の中の点 K は筆者の唱える屈曲点であり、点 K は点 K_B と点 K_S との間に位置することになる。

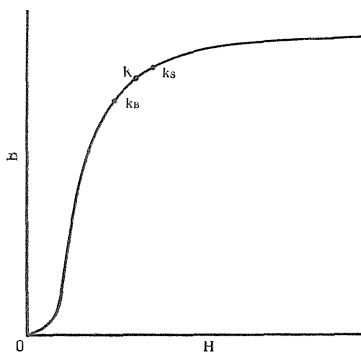


図 10 Knee の表示

4-2 鉄損曲線における損失の急上昇 (sharp rise) について

これに関しては前報⁽¹⁾に述べるべきであつたが、F. Brailsford 氏はこの事象をつぎのように説明している。⁽⁴⁾ (同氏はうず電流損を除外し、もつぱら回転ヒステリシス損のみについて論じている。)

すなわち磁化曲線の屈曲点においては、大部分の磁区に関する限り、不連続的回転を与えるのに必要な磁界にすでに到達しているか、あるいはそれ以上になつている。そして磁界をさらに強めれば、磁区内において磁化容易方向から外部磁界の方向に自発磁化を回転させることにより、これらの磁区は全体の磁化を促進させることになる。

しかしながら中には、磁界の強さが屈曲点に相当する値以上に増大するまでは、その影響を受けないような磁区もある。これらの磁区が、磁化に寄与する度合は磁区の体積⁽⁶⁾に相当するだけであるが、これらが損失に与える影響は大きい。何となれば磁化の方向が急激に変化するの、きわめて大きな磁界に達した場合であるからである。それゆえに損失は磁界の増大に伴つて急上昇するのである。

4-3 磁束密度

損失がまさに急上昇しようとする点の磁束密度は、磁化曲線の屈曲点における磁束密度⁽⁴⁾に近いと述べているので、この事実を確かめてみた。

表 4 に示すように $\frac{B_K}{B_S}$ の比は86~99%で、平均約93%であつた。

表 4 Bs に対する Bk の比

試料	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	平均
略号	Z-10	Z-11	H-12	H-18	H-23	U-30	
B_K	1.20	1.20	1.34	1.30	1.36	1.42	
B_S	1.40	1.40	1.45	1.32	1.38	1.47	
$\frac{B_K}{B_S} \times 100\%$	85.7	85.7	92.4	98.5	98.6	96.6	92.9

B_K : 磁化曲線上の Knee の点の磁束密度の値

B_S : 鉄損が急上昇しようとする点の磁束密度の値

5. む す び

6種のけい素鋼板について、すべて 50 [Hz] 3相回転磁界による鉄損と、磁化曲線との関係を検討した結果

5-1 磁化曲線の屈曲点の定義は研究者によつてそれぞれ異なるが、いずれもあまり定量的とは思われない。筆者は最大曲率の点を屈曲点とした。このように考えれば屈曲点は一義的に定まる。(詳細は4-1参照)

5-2 一部の磁区に関しては、きわめて大きな磁界を与えなければ、その磁化の方向が急激に変化しない。したがつて鉄損曲線においては、磁界を充分強めたときに鉄損が急上昇するのである。

5-3 磁化曲線の屈曲点における磁束密度と、鉄損曲線において鉄損がまさに急上昇しようとする点の磁束密度との比は、平均して約93%であつた。すなわち磁化曲線の屈曲点における磁束密度と、回転磁界による鉄損曲線において鉄損が急上昇しようとする点の磁束密度とはほぼ一致する。

参 考 文 献

- (1) 小野, 有賀 : 茨城大学工学部研究集報 第19巻 (1971) 79
- (2) 電気学会 : 技術報告 第16号 (昭32) 18
- (3) 有賀 : 茨城大学工学部研究集報 第14巻 (1967) 47
- (4) F. Brailsford : J. I. E. E. 83 (1938) 556
- (5) H. F. Storm : Magnetic Amplifiers (John Wiley and Sons, 1954) 4
- (6) 近角 : 強磁性体の物理 (裳華房, 昭34) 93