

1 まえがき

当社は1947年に柱上変圧器を製造したのを端緒に変圧器製造メーカーへ仲間入りし、現在柱上変圧器は年間約10万台生産するまでになっており、この意味合いにおいて当社50年の歴史は柱上変圧器生産の歴史とも言える。

本レポートでは、変圧器の誕生までの歴史と当社の柱上変圧器の歴史を述べ、参考として柱上変圧器に係わりがある電気、材料、規格の歴史を世界の出来事と対比した年表と当社の柱上変圧器の歴史の年譜を添付した。

年譜の最後の部分を見ていただくと、変圧器の種類として「酸化亜鉛形避雷器素子」を内蔵した耐雷形変圧器、「無停電工事対応形」でかつ「酸化亜鉛形避雷器素子付」の「複合変圧器」である三相共用変圧器、一体形変圧器、更には「超低無負荷損失」を実現したアモルファス変圧器があり、材料ではけい素鋼帯での「超低無負荷損失」の磁区制御形高配向性けい素鋼帯があり、柱上変圧器は現在大変革の時代を迎えていることを汲み取っていただけるのではないかと考えている。

2 電池の発明と照明の時代

付表1に変圧器に係わる技術の歴史を示したが、この表に見られるように電気の実質的歴史は、1799年のボルタ（イタリア）による電堆（電池）の発明によって人類が自由に電流を取り出せる道具を得たことに始まり、これによって化学、物理学が飛躍的に発展し、1831年にファラデー（英）が変圧器作用の基本原則となる電磁誘導則と交流を発見するまでに至った。

一方電流の利用方法として、アーク灯が発明され、1876年のポール・ヤブロチコフ（ロシア）がパリで開発した電気ローソクでは交流も使われ交流発電機が多用されるようになった。

1879年から1880年にかけてエジソンは数百時間は点灯できる炭素繊維を使った実用的白熱電灯を発明した。この白熱電灯は当初直流によって点灯されていたが、照度が低く、抵抗値も高かったために低い配電電圧で多数の電灯を使えるようにと三線式の直流の並列回路が考案された。それでも直流配電では電圧と電流を同時に変成できる機器ができなかったために、長い配電線路に多数の白熱電灯を点灯させるには大電流による電圧降下を防ぐために大母線が必要であった。

※変圧器事業部 第1設計部

3 変圧器の誕生

1885年のハンガリーの全国博覧会で、ハンガリーのガッツ社の技師であるツイペルノウスキー、デリー、ブラティは銅線を環状に巻いて閉磁路にした鉄心に、一次と二次の巻線を巻いたトロイダル形変圧器を交流発電機の負荷側に繋ぎ、高い電圧を低い電圧に変成して白熱電灯を並列に組み込んで会場の照明を行い、直流配電における送電効率の悪さを解決した。

この時我々は初めて一次巻線と二次巻線を閉磁路の鉄心上に装荷した現在と同じ方式の変圧器を手にしたのである。ファラデーの電磁誘導則の発見以来変圧器が必要になるまで50年余の歳月が過ぎていた。

なお、我が国製の変圧器の始祖は必ずしも明らかでないが、宮本著「変圧器の歴史 オーム社」によると1893年に三吉氏が三吉電機工場で作製したのが最初と伝えられているとのことである。

以来変圧器の歴史は約100年の歳月を経て今日に至っている。

4 日本における変圧器規格

日本では付表2に示すように変圧器の国家規格は変遷しており、1925年（大正14年）に日本標準規格JES第31号「小型单相油入変圧器」が表1の仕様で初めて決定された。

表1/JES第31号「小型单相油入変圧器」の仕様
Tab. 1/Specification of distribution transformer in 1925

仕様項目	内 容
定格出力	1,2,3,5,7.5,10,15,20,25,30,40,50キロボルトアンペア
周波数	50サイクル及60サイクル
一次電圧	3150ボルト
二次電圧	210ボルト及105ボルト 60サイクルノ電動機用変圧器ニ限り二次電圧ヲ220ボルトト為スコトヲ得
タップ電圧	3300ボルト及3000ボルト
極性	減極性：注文ニヨッテハ加極性モ可（端子記号ハ函ノ表面ニ＋ノ符号ヲ鑄出、圧出、刻印）
特性	（能率、電圧変動率、無負荷電流ヲ規定）
最大温度上昇	温度計法（変圧器中ノ最高温度ノ測定）：45℃以下 抵抗法（一次巻線ノ温度測定）：55℃以下
耐圧試験	一次線輪ト二次線輪、鉄心及大地トノ間 10,000ボルト 1分間 二次線輪ト鉄心及大地ノ間 1,500ボルト 1分間
層間耐圧試験	標準電圧ノ2倍 1分間

その他に、函(15kVA以下は定格出力を鋳出又は圧出で明示し掛金物付、排油の装置付)、套管、口出線、端子台、油面の位置、接地端子、銘板の規定が設けられている。

更に、50kVA 超過 500kVA 以下の変圧器規格として、1938 年(昭和 13 年)に JES 第 420 号「中型高圧単相油入変圧器」が表 2 の仕様で決定された。

表 2/JES 第 420 号「中型高圧単相油入変圧器」の仕様
Tab. 2/Specification of distribution transformer in 1938

仕様項目	内 容
定格出力	75,100,150,200,250,300,400,500キロボルトアンペア
周波数	50サイクル及60サイクル
一次電圧	3150ボルト
二次電圧	210ボルト及105ボルト (定格出力200キロボルトアンペア以下ノモノ) 210ボルト (定格出力200キロボルトアンペア超過ノモノ)
使用電圧ノ変化	定格電圧ノ上下5%ノ範囲ニ於テ定格出力ニ等シイ出力ニテ使用スルモ実用上支障ナキコト
タップ電圧	3450,3300,3000,2850ボルト
瞬時短絡	短絡時間(秒)=インピーダンス電圧(%)-2 最長5秒 4%未満ノインピーダンス電圧ノ場合ハ25倍 2秒間
端子記号	一次端子U,V, 二次端子u,v
極性	減極性:注文ニヨッテハ加極性モ可
特性	(能率, 電圧変動率, 無負荷電流ヲ規定)
裕度	(能率, 無負荷電流, 電圧変動率, 巻数比, インピーダンス電圧ノ裕度ヲ規定)
温度上昇	巻線:55℃以下 油:50℃以下
絶縁耐力試験	二次巻線及鉄心ヲ大地ニ接続シ之ト 一次巻線トノ間 10000ボルト1分間 一次巻線及鉄心ヲ大地ニ接続シ之ト 二次巻線トノ間 1500ボルト1分間
誘導絶縁試験	常規誘導起電圧ノ2倍 試験時間(秒)=60×(2×定格周波数)ノ試験周波数

その他に、銘板の規定が設けられている。

その後、付表 2 に示すように制定、改廃、統合が行われ、現在では小形変圧器、中形変圧器の各規格が統合され、日本工業規格 JIS C 4304-1977 「配電用 6kV 油入変圧器」に一本化されている。定格事項のみを示すと表 3 のようになっている。

表 3/JIS C 4304 「配電用 6kV 油入変圧器」の仕様
Tab. 3/Specification of distribution transformer in 1977

定格項目	内 容
定格容量(単相, 三相共)	(3),5,(7.5),10,(15),20,30,50,75,100,150,200,300,500kVA
特性による種類	1種 無負荷損が規定された機種 (単相の3-100kVAまで) 2種 無負荷損が規定されていない機種
定格周波数	50Hz又は60Hz
定格一次電圧	6600V
定格二次電圧	単相 定格容量200kVA以下 210-105V 定格容量200kVA超過 210V 三相 210V

この規格では単相 100kVA 以下の 1 種の変圧器にしか無負荷の制限が規定されていない。

なお、規格の適用について一言申し添えると、現在の規格の例で言えば、定格が表 3 のように制定されているために、例えば定格一次電圧が 6kV と 3kV の二重定格になっている共用変圧器の場合は定格一次電圧が 6600V 専用と異なるためにこの規格を適用せずに、電気学会の規格である JEC 204-1978 「変圧器」を適用し変圧器の製造品質を保証することにしている。

更にユーザから無負荷損失の保証を求められる場合は、JIS で規定されている機種以外の機種では無負荷損失の制限値の規定がある日本電機工業会の JEM1392-1981 「配電用 6kV 低損失形油入変圧器の特性基準値」を適用し製造品質を保証することにしている。

また、電力会社など大手の需要家は個々に変圧器の規格類を制定されており、それに準拠した柱上変圧器を製作し品質を保証して納入しているのが実状である。

これら規格が時代と共に変わっている様子は付表 2 に示した国家規格の変遷を見れば明らかであり、時代の要請によって規格は制定、改定されている。前記した JEM 規格は 1973 年の石油危機の際に省エネ機運が高まり、産業用変圧器の低損失化を促進するために日本電機工業会が制定したもので、時代を象徴する規格改定の例である。

この規格は JIS の 1 種以外の変圧器に適用できるようになっており、JIS と二人三脚で日本の配電用変圧器の低損失化に貢献した。

5 柱上変圧器の材料の歴史

各種電力用変圧器の中でも、柱上変圧器は最もシンプルな構成となっているが、それでも細かく部品点数を数えると 400 点を超えている。

これら柱上変圧器の材料、部品でこの 100 年の間に大きく変化したものには次のものがある。

5.1 鉄心材料

鉄心材料の改良はけい素鋼の発明に始まっているが、今も主流はけい素鋼である。

けい素鋼板の発明(1900年)

熱間圧延けい素鋼板の製造(1903年)

方向性けい素鋼帯の製造(1935年)

この方向性けい素鋼帯は冷間圧延品であり、巻鉄心の製作を可能にし、鉄心構造をそれまでの積鉄心構造から巻鉄心構造に変えた一大変革材料であった。

当社はこの材料を使い 1958 年にノーカット巻鉄心を開発した。

高配向性けい素鋼帯の製造(1968年)

この材料は、新日本製鐵(株)が最初に開発したもので、1980 年代の変圧器の低損失化はこの材料によって達成さ

れ、現在も柱上変圧器の主流として使われている。

実用的アモルファス磁性合金の製造（1982年）

アライドシグナル社（米）が開発したこの材料を使ったアモルファス（鉄心）変圧器が現在開発され試行段階にある。

機械式磁区制御形高配向性けい素銅帯の製造
（新日本製鐵株式会社：1991年）

耐熱形磁区制御形高配向性けい素銅帯の製造
（川崎製鐵株式会社：1992年）

これら材料は30P100に比べて25%も無負荷損失を低減できる材料で現在実器適用を待っている。

5.2 巻線材料

当社の採用年譜を次に示す。

丸線材料としては、

二重綿巻銅線からPVF電線へ（1955）

平角電線材料としては、

二重綿巻平角銅線から紙巻平角線銅線へ（1966）

条材としては、

アルミ条の実用化（1971）

銅条の実用化（1983）

がある。

この中で、殊にアルミ条は当時材料費が廉価であったが、当社の特徴であるノーカット巻鉄心には巻線できなかったために、当社もステップラップジョイント巻鉄心を開発することになったエポック的材料であった。

5.3 絶縁材料

当社の採用年譜を次に示す。

絶縁紙類としては、

接着絶縁紙の実用化（1971）

絶縁処理としては、

ワニス含浸からワニスレス化（1971）

がある。

この中で、殊に接着絶縁紙の登場は柱上変圧器のワニスレス化を可能にし、変圧器の製造工場を清潔なものにした。

5.4 端子の変遷

JES第31号の規格に見られるように、当時は口出し線を箱から引き出す際に套管の中に口出し線を通し、油切りのために套管内はコンパウンドを詰めていた。

現在のようにスタッドタイプになったのは1957年頃のことであった。

5.5 タンク材料と防錆材料

JES第31号の規格に見られるように、当時は鉄板製タンクと鋳物製タンクがあり、殊に小容量変圧器では鋳物製が使われていた。現在のように全て鉄板製になったのは1958年頃のことである。

なお、塗装は鋳物製ではコールタールピッチの焼付塗装であった。

鉄板製になってからは、当社の塗装は次のように変わっている。

メラミン系塗料の焼付塗装の採用（1958年）

下塗りにエポキシ系電着焼付塗装の採用（1985年）

一部機種で上塗りに粉体塗装の採用（1991年）

など、一步一步防錆効果を高めるための変革を行っている。

6 当社の柱上変圧器の歴史

当社の柱上変圧器の歴史は付表3に示したように3つの時代に大別できる。それは、材料の変革の歴史に対応して変圧器の構造、性能が変遷しているためである。これら3つの時代における変圧器の特性の一例と外形を表4及び図1に示す。

6.1 草創期（1958年まで）

当社は1947年に初めて単相20kVAの変圧器を製造し変圧器製造メーカーへ仲間入りした。日本の変圧器の歴史からいえば、我が国の変圧器の誕生から約50年を経て製造を始めたことになる。

この時代は、我が国では鉄心材料としてまだ熱間圧延けい素銅板が使われ、鉄心構造としては短冊形積鉄心構造の時代であった。

巻線材料は一次、二次共に二重綿巻電線を使用し、絶縁処理はワニス含浸の時代であった。

タンクは、当社では当初鉄板製を採用していたが防錆上問題があり間もなく鋳物製に変え、塗装もタンクを高温にし、コールタール液の中にタンク及びカバーをディッピング焼付する方式を採用していた。

一次、二次端子は、キャンブリック線を套管内に通して、後でコンパウンドを詰めて封をする方法を採用していた。

6.2 巻鉄心の時代（1958年から）

柱上変圧器の改革は、1958年（昭和33年）に冷間圧延の方向性けい素鋼帯の製造技術がアメリカから日本に導入されて本格化した。

この当時は、Cカット、ノーカット形式の巻鉄心の時代であり、当社では1957年外鉄形Cカット巻鉄心変圧器を、1958年にはノーカット外鉄形巻鉄心（Aichi-A形）を世に送り出した。ことにノーカット巻鉄心は極めて特性が安定しており、Aichi-A形は1959年に名古屋通産局長賞を受賞している。

この時代は、各電力会社が配電電力の需要増大時代を迎え、供給能力の増大のために配電電圧を3kVから6kVへ昇圧することを決めて昇圧工事を本格化した時代で、このために柱上変圧器の小形軽量化の要請が強く、当社もこれに応えるために1958年のノーカット巻鉄心の採用を機に、タンクは鋳物製から鉄板製に、塗装はコールドピッチ塗装からメラミン塗装に、一次、二次端子は套管部コンパウンド充填シールのリード線タイプからガスケットでシールするスタッドタイプに変更している。

この変更の中でタンクについては、ノーカット巻鉄心による中身構造に適応した小判形を主として採用していたが、一部ユーザ向けには円形タンクも採用していた。

鉄心材料については、1961年には方向性けい素鋼帯のG9の製造が我が国で始まり、当社でも1960年代始めにこれを採用した。

また、1968年に高配向性けい素鋼帯の製造が始まったのを受けて、当社では1973年から電力会社向けの柱上変圧器にこれを全面的に採用することにした。

巻線材料については、1955年からPVF電線（丸線）を試行的に採用していたが、1961年には柱上変圧器の全機種的一次巻線を二重綿巻銅線からPVF電線へ変更した。

二次に使っていた二重綿巻平角線は、1966年に全機種紙巻平角銅線に変更した。

一方、産業用変圧器市場では当時廉価であったアルミ条、アルミ線を使った変圧器が1960年代の中頃登場してきた。

しかし、当社のノーカット巻鉄心では条が巻けない欠点があった。当時はまだ当社には継鉄部の一部を開口しコイルの窓内に鉄心を挿入できるステップラップ形の1TC（ワンターンカット）巻鉄心の製造技術がなかったために、1967年にけい素鋼帯を矩形に巻板し焼き純した後に

巻戻し、2.5ターン毎に切断した所謂2.5TC（2.5ターンカット）形ステップラップジョイント形の巻鉄心を開発しこの市場動向に対応した。

1TC形ステップラップジョイント巻鉄心は1971年に開発し、この巻鉄心変圧器の採用を機に輸入接着絶縁紙を使用した我が国最初のワニスレス変圧器を開発し市場に出した。

この変圧器では、50kVA以下の機種に限りタンク形状を1TC巻鉄心変圧器の中身構造に適合させて小判形から円形（産業用変圧器ではその後市場のニーズから矩形タンクに変更した）に変更し、また同時に円形タンク使用の変圧器ではコイルの加熱乾燥に我が国で初めてのインピーダンス加熱真空乾燥方式を採用し、更にコイル乾燥直後に真空注油を行う方式を採用した。

なお、電力会社向けとしては1973年に円形タンクを標準としている関西電力殿向けに初めてワニスレス変圧器を採用した。

6.3 低損失化の時代（1980年から）

1973年の第1次石油危機、1978年の第2次石油危機に遭遇して、我が国では石油消費の削減のため官民こぞって省エネ時代に突入した。

電力会社の柱上変圧器では、1980年に東北電力殿が6kV単相柱上変圧器において、無負荷損失及び負荷損失を低減した低損失形柱上変圧器を採用したのを端緒に、全国の電力会社で無負荷損失を大幅に低減した低損失形柱上変圧器を採用するようになった。

この時代には、前述したように日本電機工業会がJEM1392-1981「配電用6kV低損失形油入変圧器の特性基準値」を制定し、JIS C 4304-1977「配電用6kV油入変圧器」を補完する形で500kVA以下の単相及び三相の産業用変圧器の無負荷損失の上限を規定し、規格上JISと二人三脚で一般需要家向の産業用変圧器の低損失化時代をリードした。

この時代になって、開発当初無負荷損失特性の低いことで業界をリードし当社の誇りであったノーカット内鉄形巻鉄心は、この鉄心の断面形状が巻線を経済的に実装するために円形でなければならなかったため、断面形状が長方形の1TC巻鉄心に較べ鉄心の4隅のコーナ部の磁路長が必然的に長い欠点があり、無負荷損失特性を改善した1TC巻鉄心には経済的に対処できなくなってきた。

表4/柱上変圧器（単相 60Hz 20kVA）の特性と重量の変遷

Tab. 4/History of characteristics and mass of pole mounted transformer

	草創期-1958	巻鉄心の時代-1980		低損失化の時代	
	(1955)	前期 (1961年)	後期 (1980年)	前期 (1984年)	アモルファス変圧器
無負荷損 (W)	140	86	65	58	14
負荷損 (W)	340	338	300	277	282
総質量 (kg)	280	160	150	138	174

抵抗が大きいため圧延ロールの折損事故が多く圧延作業は困難をきわめた。その後、熱延電磁鋼板は約40年間主として現在の新日本製鐵と川崎製鐵で製造されたが昭和42年に製造が中止された。熱延電磁鋼板は鉄屑を主な原料として初期は電気炉で、後には平炉で溶解、精練した溶鋼を鑄型に鑄込んで固めた鋼塊を分塊圧延後熱間圧延して製造した。この製造方法では原料の鉄屑及び溶鋼成分の調整用に添加したフェロシリコンやアルミニウムなどから不可避免的に混入する不純物成分が多いため、製造ロット間の成分バラツキが大きかった。また鋼塊凝固時に生ずる偏析のため、鋼板長手方向、幅方向の成分バラツキも大きかった。

電磁鋼板の特性は種々の製造条件の影響を受けるが、中でも成分はすべての基本となる重要なものであり、けい素以外はなるべく少ない方がよい。特に炭素、窒素、銅などは磁性を大きく低下させる。したがって、前記の方法で製鋼、造塊、熱間圧延された電磁鋼板の特性は成分の点から限界があり、そのバラツキも大きかった。熱延電磁鋼板用に鑄造された鋼塊は分塊圧延後二重オーバー式圧延機で熱間圧延されて最終成品となった。この圧延方式で薄くできる板厚は2mm程度が限界であったので、これ以下の板厚にするためには圧延鋼板を折畳んで2枚以上重ねて圧延する必要があり、電磁鋼板の必要板厚0.35mmにするためには最終的に8枚を重ねて圧延した後、1枚ずつに剥離して成品とした。以上の圧延機への鋼板の挿入と取り出し、重ね板の剥離などの作業はすべて人力

で行われたが、その作業は高熱重筋労働の多い当時の鉄鋼業の中にあっても最も厳しいものであった。

この方法で圧延された熱延電磁鋼板の鉄心占積率の保証値は、板厚精度、形状、表面状態が劣るため低く、現在の冷延電磁鋼板の96%以上(0.35mm)に対して90%以上(S09F 0.35mm)であった。また前述の理由で成分のバラツキが大きいうえにこの熱間圧延方法では圧延温度の管理も困難なために特性のバラツキが大きかった。更に切板としてしか供給できないことや生産性が悪いため供給量も充分でないなどの欠点もあった。

表1はB、C、D、T各級熱延電磁鋼板特性値のJIS規格と平均値をけい素等の成分値⁽⁴⁾と共に示すが、B、C、D級は主にモータ等の回転機器用に、T(Transformer)級は変圧器用に使われた。このT級は八幡製鐵では昭和

表1/熱延電磁鋼板(板厚0.35mm)のJIS C 2501-1955規格値と平均値

Tab. 1/Standard and average value of hot rolled silicon steel sheets(thickness 0.35mm)

種類	Si (%)	比重 (g/cm ³)	鉄損 (W/kg)		磁束密度 (k.G.)	
			W10/50	W15/50	B25	B50
B	1.0~1.4	7.75	2.30以下 (2.15)	5.90以下 (5.29)	14.8以上 (15.0)	15.8以上 (16.1)
C	1.5~1.7	7.70	2.10	5.30	14.7	15.7
D	2.5~3.5	7.65	1.80 (1.63)	4.50 (3.54)	14.4	15.4
T145	4.0~4.5	7.55	1.45	3.60	13.9	14.9
T90	4.0~4.5	7.55	0.90 (0.85)	2.25	13.6 (14.0)	14.5 (15.0)

W10、W15、W50はそれぞれ周波数50Hz最大磁束密度10kG、15kG、50kGのときの鉄損を示す。

B25、B50は磁界250eおよび500eにおける磁束密度を示す。

() は国産熱延電磁鋼板の平均特性値⁽⁴⁾、単位は当時使用のもの

表2/単相60Hz 63kV/210-105V柱上変圧器の使用電磁鋼板種類別の寸法・重量・特性例

Tab. 2/Change of size, weight and core loss of pole mounted transformer with the type of silicon steel sheet used

使用電磁鋼板		変圧器仕様			寸法・重量					特性規格		
種類	規格 (板厚・鉄損)	製造 開始年	ケース	鉄心 構造	定格出力 (kVA)	横幅 (mm)	奥行 (mm)	高さ (mm)	油量 (ℓ)	総重量 (kg)	無負荷損 (W)	負荷損 (W)
熱延	T145 0.35mm ※3.60W/kg	昭27 (1952)	鑄鉄	積鉄心	10	595	440	730	34	200	83	—
					20	660	485	800	50	280	145	—
					30	710	520	860	67	378	200	—
方向性	G10 0.35mm ※1.00W/kg 1.51W/kg	昭35 (1960)	鋼板 小判型	ノーカット 巻鉄心	10	530	400	815	29	112	58	—
					20	575	425	895	43	160	101	—
					30	585	470	950	48	198	139	—
高配向 方向性	Z8H 0.30mm 1.22W/kg	昭48 (1973)	鋼板 小判型	ノーカット 巻鉄心	10	535	395	770	24	100	58	—
					20	590	430	850	40	150	101	—
					30	600	480	915	47	188	139	—
高配向 方向性	27P100 0.27mm 1.00W/kg	昭57 (1982)	鋼板 円筒	ワンターン カット ステップ ラップ	10	530	480	640	22	95	36	171
					20	575	530	735	32	138	59	285
					30	580	580	750	38	175	80	380

変圧器無負荷損規格 昭48年製のものまでは上限値、昭57年製のものは平均値

電磁鋼板鉄損 ※印 W15/50、無印 W17/50

表3/3相1000VA 63kV/210V変圧器使用電磁鋼板種類別の寸法・重量・特性例

Tab. 3/Change of size, weight and core loss of 1000kVA transformer with the type of silicon steel used

使用電磁鋼板		変圧器 製造年	周波数 (Hz)	寸法・重量			特性						
種類	規格・鉄損			横幅 (mm)	奥行 (mm)	高さ (mm)	油量 (ℓ)	総重量 (kg)	効率 (%)	電圧変動率 (%)	無負荷電流 (%)	無負荷損 (W)	負荷損 (W)
熱延	T145 ※3.60W/kg T90 ※2.25W/kg	昭40(1965)	50	2130	1620	2165	1500	5070	98.36	1.38	3.58	4040	12590
		昭34(1959)	60	1830	1640	2900	1750	5800	98.41	1.21	2.23	4460	11600
冷延無 方向性	S14 ※3.60W/kg	昭46(1971)	50	1950	1540	2115	1240	4650	98.34	1.48	1.65	3300	13578
		昭46(1971)	60	1890	1520	2115	1160	4230	98.42	1.43	1.43	3240	12798
方向性	G10 ※1.00W/kg 1.51W/kg	平1(1989)	50	1560	1170	1710	640	2800	98.78	1.20	1.76	1532	10812
		平1(1989)	60	1530	1140	1710	690	2670	98.83	1.12	1.06	1664	10169

電磁鋼板板厚0.35mm 昭34年製は鋼鉄心にT90、巻鉄心にT145を使用。昭40年製にはT145のみ使用

電磁鋼板鉄損 ※印 W15/50、無印 W17/50