

巻鉄心形変圧器

Wound-Core Transformer

戸波宗昭*
Muneaki Tonami

内容梗概

電力需要の激増に伴う配電線損失の軽減と、負荷密度増加に伴う単柱装荷容量の増大とに対処するために、柱上用変圧器の特性の向上と小型軽量化が強く叫ばれている。これを同時に解決する有効な手段として、巻鉄心形変圧器がクローズアップされ、長年の研究時代から実用時代へ転移しつつある。

本稿では柱上用巻鉄心形変圧器の概要、製作法ならびに今年(1958年)初頭関西電力株式会社へ納入したわが国最初の本格的巻鉄心形変圧器の構造、特性について述べる。

1. 緒言

柱上用変圧器は配電系統における最も重要な機器で数も多く、この特性は電力損失、電圧変動の面に、また構造、重量などは装柱工事の面に影響する。最近の急激な電力需要の伸びは、変圧器の特性の向上による配電線損失の軽減と、負荷密度増大に対処するための単柱装荷容量の増加をうながした。変圧器の鉄損の軽減と小型軽量化とを同時に満足するには、巻鉄心形変圧器とするのが最も有効な方法である。しかしその製品化は優秀な方向性珪素鋼帯が得られないことがおもな原因で遅れていた。

巻鉄心形変圧器の着想は大正13年河原氏の発明が最初で米国に先んじている。巻鉄心形変圧器は変圧器界における一つの革命で、その実施は米国のG. E社、W. H社の手で行われ、米国における柱上変圧器の大部分は巻鉄心形である。日立製作所においては戦前から社内はもとより社外とも緊密な連絡をとって鋭意研究を進めており、最近になつてすぐれた方向性珪素鋼帯の量的供給可能の見通しと、電力会社の鉄損の軽減と小型軽量化の熱望に呼応してその生産設備を整えた。たまたま昨年(1957年)末関西電力株式会社の千日前地区低圧ネットワーク用変圧器が巻鉄心形と決まり、全数(24台)を受注し、積年の研究の成果と日立総合技術の粋を傾け、受注後1箇月の短期間に完納し巻鉄心時代の先鞭をつけた。

2. 巻鉄心形変圧器の製作

巻鉄心形変圧器は鉄心構成材料である方向性珪素鋼帯の特性を十分に発揮させるためいわゆる巻鉄心とするので、その製作法は短冊板積鉄心とおもむきを異にする。

2.1 方向性珪素鋼帯

巻鉄心形変圧器の鉄心に使用する方向性珪素鋼帯は、再結晶聚合組織を有しており、圧延方向に非常にすぐれ

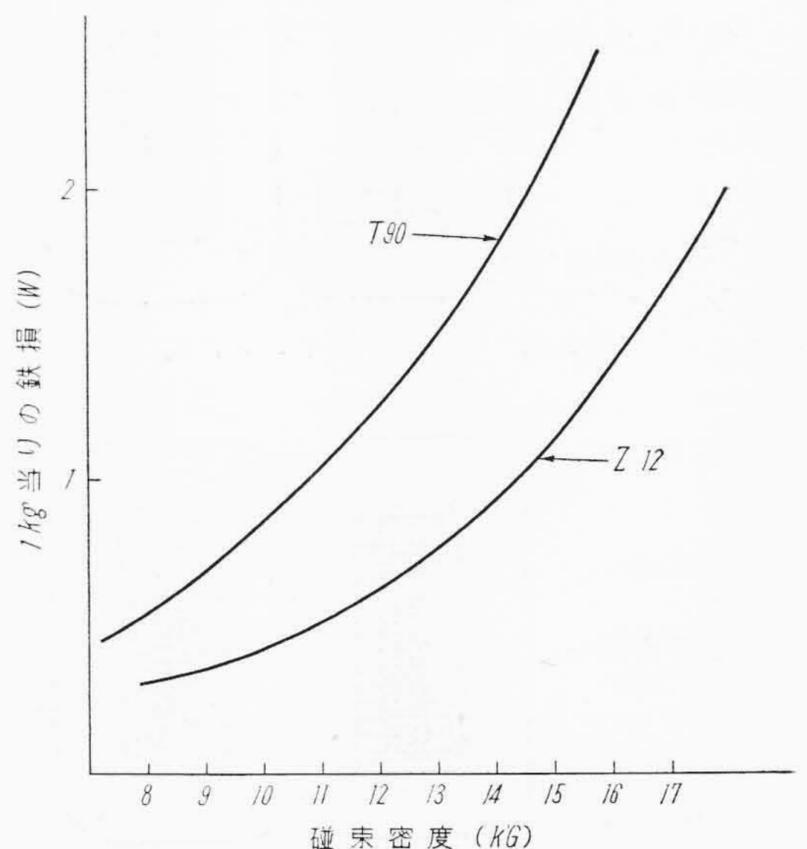
* 日立製作所亀戸工場

た磁気的特性を示す。したがって巻鉄心では磁力線を圧延方向に通すことを原則とする。わが国では八幡製鉄所から Orient-Cor として市販されているほか川崎製鉄所でも作られている。米国では W. H. 社から Hipersil, ARMCO 社から Trancor MX などの名称で売出されている。八幡 Orient-Cor Z 12 と従来の熱間圧延珪素鋼帯 T 90 との鉄損曲線、磁化曲線とを第1図と第2図に示す。

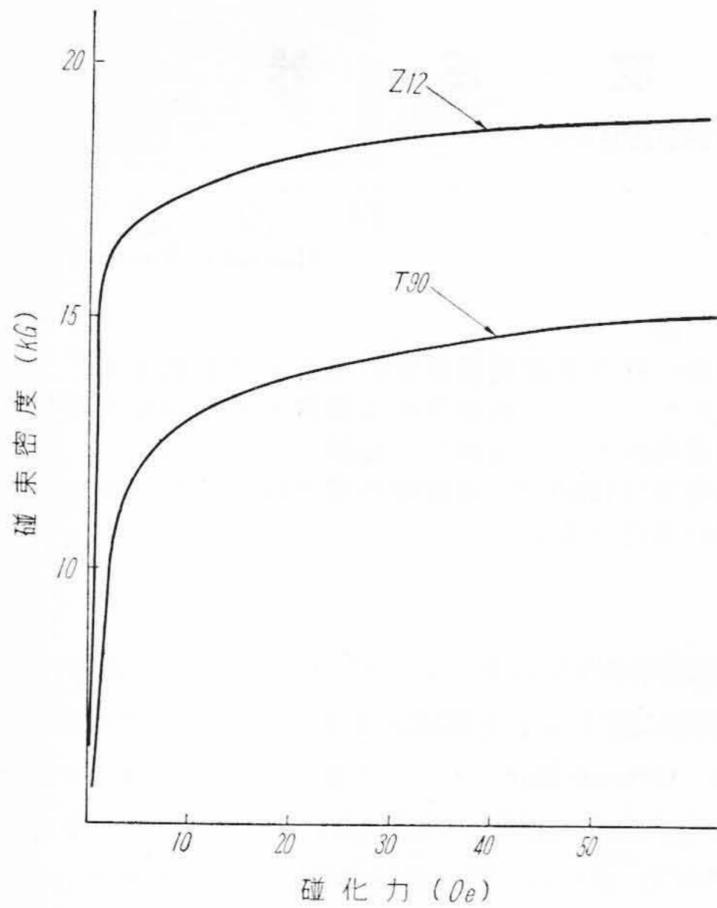
2.2 鉄心組立方式

巻鉄心形変圧器の方式に内鉄形方式、外鉄形方式の2種があるのはもちろんであるが、鉄心の組立方式に下記の3種がある。

- (a) バットジョイント方式
- (b) ラップジョイント方式
- (c) 鉄心無切断方式
- (i) 鋼帯巻込み方式



第1図 鉄損曲線(50~)

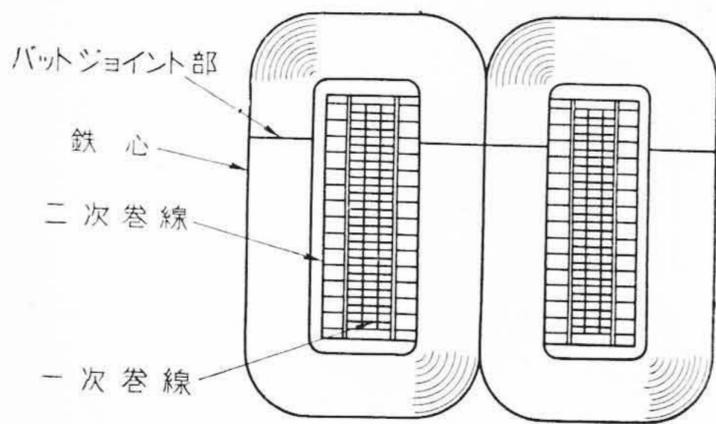


第 2 図 磁 化 曲 線

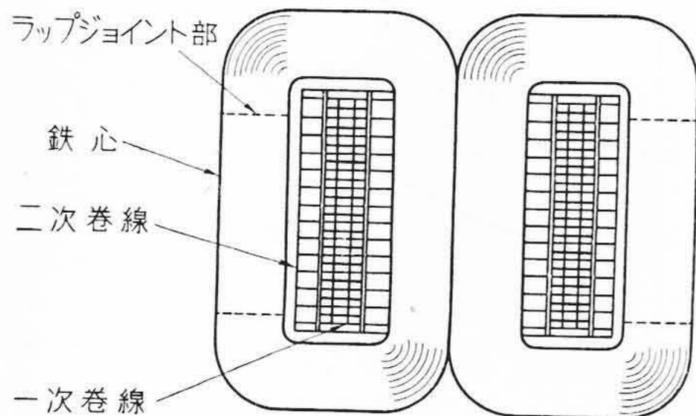
(ii) 電線巻込み方式

(a) の方式は鉄心を上下C形の2片に切断し、巻線と組合せる方式である (第3図)。

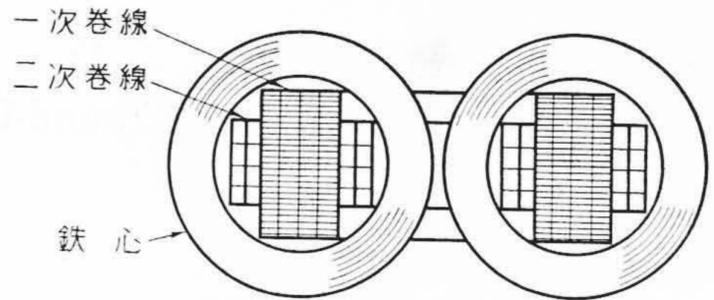
(b) の方式は焼鈍成形した巻鉄心を外周から巻ほごし、ところどころで切断した後、また内側から順次巻線にはめ込み、継目をラップジョイントする方式である (第4図)。



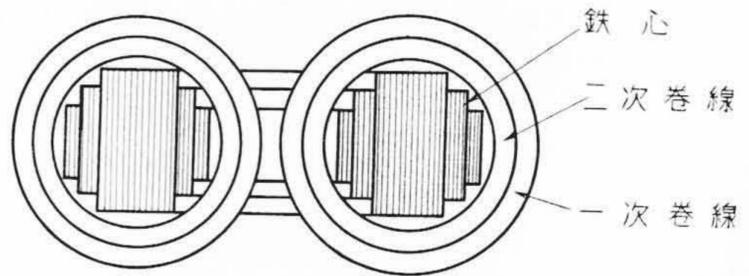
第 3 図 バットジョイント方式



第 4 図 ラップジョイント方式



第 5 図 無切断鋼帯巻込み方式



第 6 図 無切断電線巻込み方式

第 1 表 製 作 主 工 程

工 程	摘 要
形 卷	所定の形に鋼帯を巻きとる
焼 鈍	非酸化性雰囲気中でひずみ取焼鈍をする, 焼鈍温度: 約800°C
固 着	鉄心層間に合成樹脂を含浸固化させる
切 断	別途形巻した巻線と組合せるため鉄心をC形の2片に分割する
研 磨	切断面を平滑にする
接 着	別途ワニス処理を完了した巻線と組合せた後合成樹脂にて切断面を接着する
組 立	付属品を取り付けケースへ収納する

(c) の方式は鋼帯あるいは電線をあらかじめ成形した巻線あるいは鉄心に巻き込む方式である (第 5, 6 図参照)。

日立製作所では最も経済的で量産的な (a) の方式を採用している。

2.3 製 作 工 程

バットジョイント方式巻鉄心形変圧器の製作工程のおもなものを第1表に示す。

2.4 焼 鈍

方向性珪素鋼帯は、内径約 500 mm の環状になつて入荷する。これを形に巻くと鋼帯に機械的ひずみがかえられ、磁性が著しく悪化する。かえられたひずみを除去し特性を旧に復させるとともに、所定の形にセットするために焼鈍が必要で巻鉄心の製作上重要な工程の一つである。

鉄心を 800°C に加熱しても鋼帯はなお約 10 kg/cm² の剛性を有するからひずみを完全に除去することはできないが、焼鈍温度、保持時間、冷却速度、雰囲気などは磁性の恢復、時効の大小、作業の難易などに密接な関係がある。ヒートサイクル (heat cycle) は炉の形態、内容物重量などにより異なるので各炉について十分な検討

が必要である。雰囲気は絶縁皮膜の劣化、鋼帯の酸化、浸炭作用、毒性、爆発性などがなく取扱上安全で設備費、運転費の少ないことが必要である。炭素は不純物中特に珪素鋼帯の磁性を悪化させるので油脂の炉内混入を防止し、使用する治具も低炭素鋼を使用するなどの配慮が必要である。

2.5 固 着

焼鈍した鉄心は切断、研磨の加工に耐えるように接着剤を含浸させ一体に接着成形（固着という）させる。

次の点を考慮して巻鉄心用固着剤を研究し合成に成功した。

- (a) 巻層した鋼帯の層間への浸透性がよいこと
- (b) 接着力が大きいこと
- (c) 温度変化に伴い膨脹収縮する鋼帯に追従できて、鋼帯に有害なひずみを与えないこと
- (d) 耐熱油性に富み、絶縁油に害を及ぼさないこと
- (e) 作業性が良いこと

この固着剤にて固着した単相 15 kVA の巻鉄心形変圧器 4 台の長期実負荷試験結果は鉄損の変化なく時効は表われていない。

2.6 切 断

鉄心の切断は

- (a) 鉄心に有害なひずみを与えないこと
- (b) 発熱により固着剤を侵さないこと
- (c) 切断速度が量産的であること
- (d) 切断面の平坦度が良いこと

などに留意して作業を進める。

2.7 研 磨・ラ ッ ピ ン グ

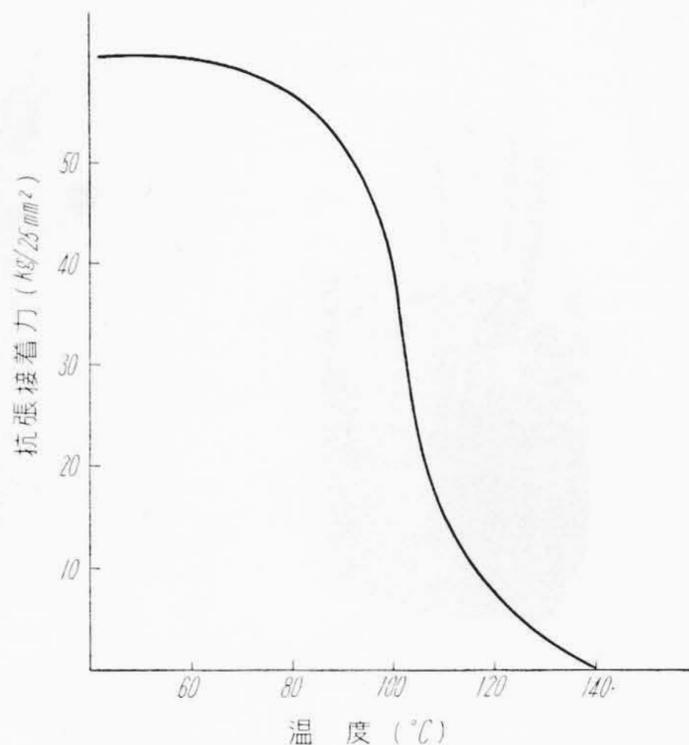
ある磁束密度における巻鉄心の励磁電流は、接合面の間隙の大小によつて大きく左右される。この間隙を小さくするために切断面を研磨する。さらに精度をあげるにはラッピング加工をする。

2.8 接 着

いつたん切断した鉄心は巻線と組合せた後切断面を接着剤で接合する。接着剤は次の点を考慮し、固着剤同様新接着剤を開拓した。

- (a) 常規使用状態で強固な接着力を有すること
- (b) 接着剤膜はできる限り薄くしうること
- (c) 接着作業はA種絶縁の巻線組込み後であるから、A種絶縁物をそこなうものでないこと
- (d) 耐熱油性に富み、絶縁油に害を及ぼさないこと
- (e) 作業性がよいこと
- (f) 必要なときには簡単にはく離できること（修理可能とするため）。

この接着剤は第7図に示すように、温度に対し抗張接着力に臨界点を有している。接着はく離の時に接着部を



第7図 接着剤の抗張接着力と温度との関係

約 120°C に加熱し樹脂を液化させれば間隙の小さい接合ができ、またはく離も容易に行い得る。

3. 実動している巻鉄心形変圧器

配電線の使命は良質の電気を需要家へ供給することであり、電化が急激に進んだ現在では特にその重要性が増加している。ことに都心部では変圧器の数がふえ架空線は錯そうし、現状のままでは上記使命を果すには行詰りの感がある。この打開策としては、ケーブルによる地中化があるが、経済性、立地条件、工事上の問題などから簡単には実施できない。架空方式で行うには

- (a) 高圧側は 6,000 V 昇圧を行つて回線を整理する。
- (b) 変圧器を小型軽量大容量に集中する。
- (c) 樹枝状配電を網状配電にする。

などが考えられる。

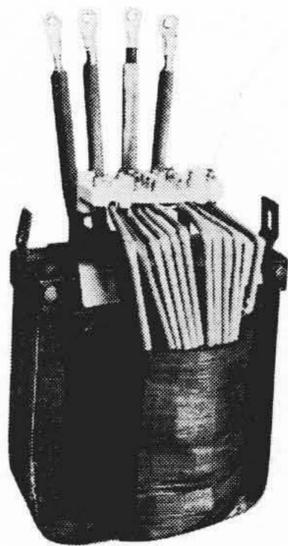
この方式の一つ、架空線式低圧ネットワーク配電方式の実施計画が関西電力株式会社において、千日前の繁華街をモデル地区に選んで立案された。このネットワークに使用される変圧器は、単相、30 kVA、60～、6,000 V 級の巻鉄心形変圧器で、特性はもちろんのこと、過負荷耐量、短絡電圧、外形寸法、外観の優美、重量、構造などに画期的かつ苛酷な条件が付けられた。製品は受注後 1 箇月の短納期で、しかもすべての条件を満足するものであつた。下記にその概要を述べる。

3.1 変圧器の仕様

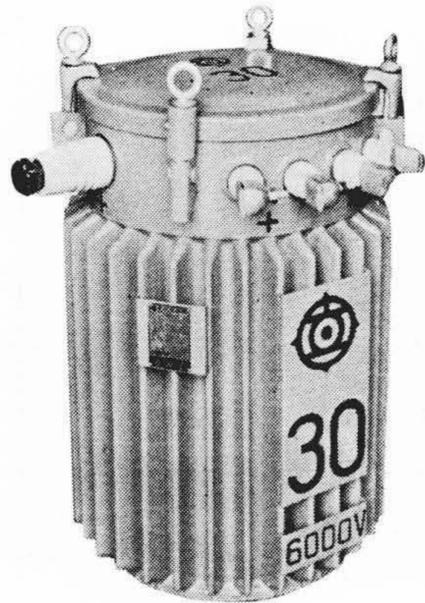
屋外用油入自冷式 外鉄形巻鉄心

単相 30 kVA 60～

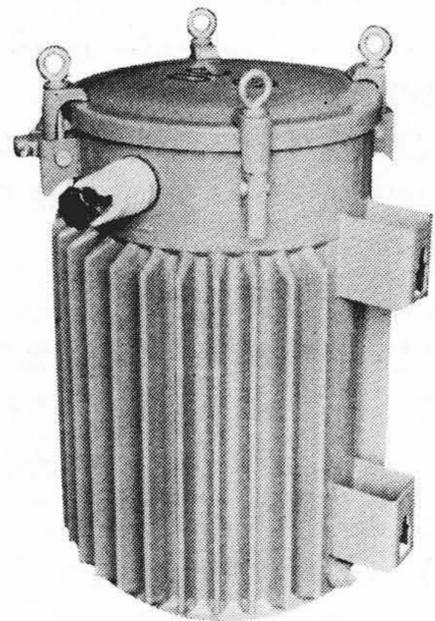
一次電圧 (V): F 6,900 F 6,600 R 6,300 6,000 5,700
F 3,450 F 3,300 F 3,150 3,000 2,850



第 8 図 外鉄形巻鉄心変圧器



第 9 図 単相 6,000V 級 30kVA 巻鉄心形変圧器正面



第 10 図 単相 6,000V 級 30kVA 巻鉄心形変圧器裏面

二次電圧 (V): 210—105
 極 性 : 減極性
 絶縁階級 : 一次 6号A
 二次 0.2号

3.2 構 造

現在の標準品と異なつた主要点を述べれば下記のとおりである。

(a) 変圧器の中身(第 8 図)

変圧器は Orient-Cor Z 12 を

使用し、外鉄形巻鉄心とした。巻線の層間にオイルダクトを設けて巻線の冷却をはかり、また短絡電圧を大きくするため二次巻線を内側に一次巻線を外側に巻いてその間に間隙を設ける構造とした。

(b) ケ ー ス (第 9 図)

ケースは外観優美な円筒形とし、側板を波打たせて冷却面積を十分広くとり、過負荷耐量を大きくした。

(c) 碍 管

碍管は一次、二次ともクランプ方式スタッド形で、一次は左右 1 本宛、二次は正面に 4 本、いずれもケース側板に直角に取り付けた。変圧器は 3 台が 1 本の柱に装柱され、二次側は人に接続されるため二次のクランプ部は 50 mm² の燃線が 3 本接続されるよう考慮した。

(d) ハンガー座 (第 10 図)

変圧器の装柱は特殊な吊下バンドが使用されるので、ハンガー座は足の高さを 100 mm とし、背面に上下 400 mm の間隔で 2 個取り付けた。

(e) 変圧器中身のケースへの固定

鉄心にひずみがかわり、鉄損が増加しないよう第 10 図に示すとき鋼製の枠を鋼帯で中身に取り付け、枠をケース側壁に強固にネジ止めすることによつて確実に固定した。

3.3 特 性

ネットワーク用変圧器の平均特性値をネットワーク用変圧器仕様書規定値、JIS 規格値、現標準品の特性と対照して第 2 表に示す。

3.4 温度上昇

ネットワーク用変圧器として過負荷耐量の大きいことが要求され特に注意を払つて設計した。製品の試験結果を第 3 表に示す。

第 2 表 特 性

規格および製品 特性の種類	巻鉄心形変圧器 1φ 6kV 30kVA (A)	ネットワーク用 変圧器仕様書の 指定値	従来型の標準変 圧器 (B)	JIS C 4304 の規格値	A/B (%)
励磁電流(%)	1.53	2.5 以下	3.45	4.5 以下	44.4
鉄 損(W)	123	150 以下	155	200 以下	85.8
銅 損(W)	414	440 以下	446		92.8
全 損 失(W)	537		601		89.4
能 率(%)	98.24		98.04	97.8以上	
電圧変動率(%)	1.518	1.6 以下	1.50	1.6 以下	
短絡電圧(%)	5.43	5.0	2.35		

第 3 表 単相 6kV 30kVA の温度上昇

測定箇所 負荷条件	油 (°C)		
	油 (°C)	一次巻線 (°C)	二次巻線 (°C)
定格負荷連続運転	35.0	48.5	47.0
定格負荷連続運転後 150% 負荷 2 時間運転	50.0	73.5	68.0

第 4 表 油量, 重量, 外形寸法

規格および製品 油量, 重量, 寸法	巻鉄心形変圧器 単相 6kV 30kVA (A)	ネットワーク用変圧器 仕様書の指 定値	従来型の標 準変圧器 (B)	A/B (%)
油 量 (l)	59		73	81.0
重量 (含油)(kg)	225	230 以下	287	78.5
左右寸法 (mm)	710	720 以下	725	
奥行寸法 (mm)	630	640 以下	540	
高さ寸法 (mm)	820	850 以下	930	

3.5 油量・重量・外形寸法

ネットワーク用変圧器の油量、重量、外形寸法の実測結果を第4表に示す。現標準品に対し鉄損、銅損を減少させ、過負荷耐量を増加させたにもかかわらず重量は78.5%に減じた。

4. 結 言

近時における電力需要の激増は、配電線損失の増加と都心における配電設備の錯そう化をもたらし、このことは必然的に柱上変圧器の特性の向上と小型軽量化の強い要望となつて表われた。この特性の向上と小型軽量化を

同時に満足する有効な手段として巻鉄心形変圧器がクロージアップされる。巻鉄心形変圧器の量産にはすぐれた方向性珪素鋼帯の潤沢な供給が確保されることはもちろん、仕様の全国的統一が切望される。

巻鉄心形変圧器時代の初めにあたり、日本最初の本格的製品を関西電力株式会社に納入し、輝かしいスタートをきり得たことはまことに喜ばしい。今後柱上変圧器が巻鉄心形にきりかわり、その使用数が増加するにつれて配電線損失が減少し、貴重なエネルギー資源が有効に活用されることが期待される。



最近登録された日立製作所の特許および実用新案 (その3)

(第21頁より続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	478617	旋回型クレーンまたは掘削機の旋回装置	亀有工場	阿部 哲義	33. 6. 24
"	478623	水力輸送装置の狭さく部におけるつまり防止装置	亀有工場	岡田 後寿	"
"	478630	放荷物の緩衝装置をもつロッカーショベル	亀有工場	橋本 久男	"
"	478634	水力輸送装置における狭さく部	亀有工場	富田 輝男	"
"	478644	歯車の冷却装置	亀有工場	井上 啓郎	"
"	478646	スラブ装入起重機のかみ装置	亀有工場	小山 儀憲	"
"	478597	輪転機ゴムローラー用ブラケット装着装置	川崎工場	小山 達夫	"
"	478601	輪転印刷機におけるローラー軸承調整装置	川崎工場	小渡 部智一	"
"	478602	輪転印刷機におけるローラー軸受調整装置	川崎工場	猪鎌 島田 正裕	"
"	478603	ローラー軸受調整装置	川崎工場	猪鎌 島田 正裕	"
"	478589	プランジャー型継電器油制動壺	多賀工場	西野 雅保	"
"	478592	電子顕微鏡等の試料保持装置	多賀工場	野田 健夫	"
"	478600	限時継電器	多賀工場	黒沢 正次	"
"	478605	ホイスト用リミットスイッチ	多賀工場	河村 三直	"
"	478606	全密閉型電動機	多賀工場	安川 昌平	"
"	478611	始動電動機用フートスイッチ	多賀工場	大内 和心	"
実用新案	478616	始動電動機用フートスイッチ	多賀工場	大宮 田光夫	33. 6. 24

(第42頁に続く)