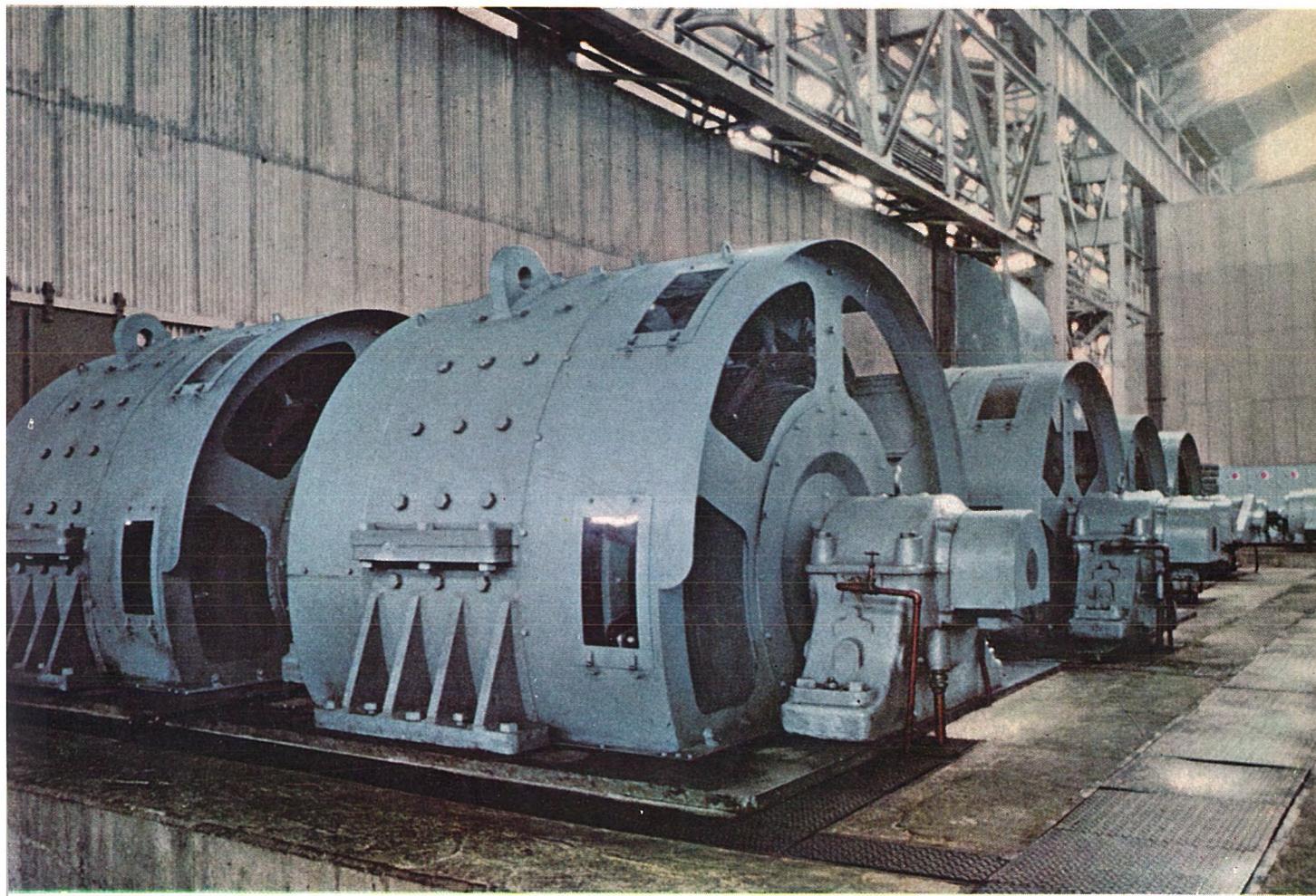


MITSUBISHI DENKI

三菱電機



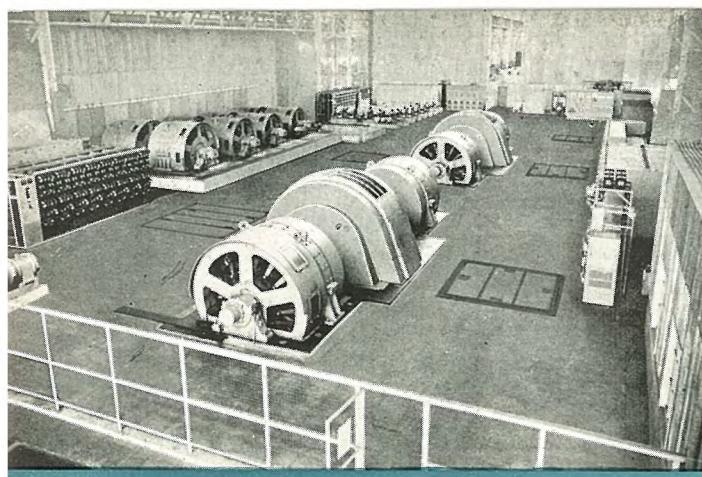
スタンド電動機（川崎製鉄千葉製鉄所納）

12

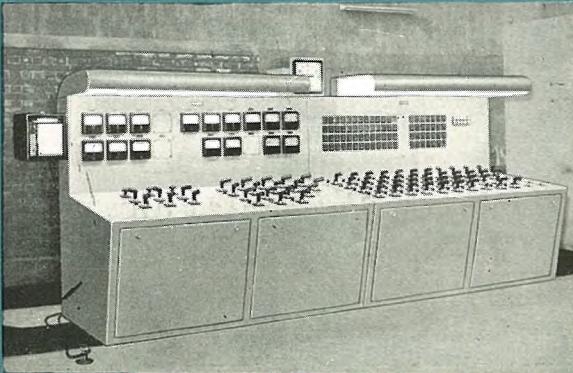
VOL 32 1958

川崎製鉄千葉製鉄所向

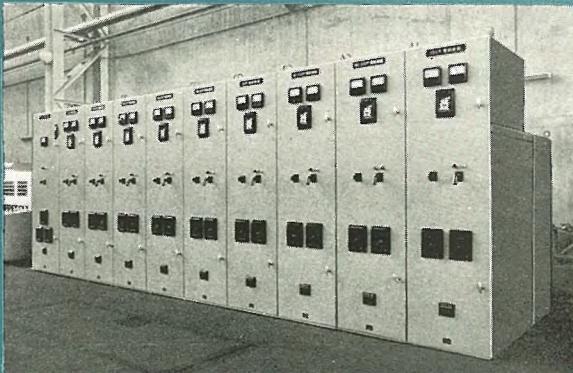
冷間圧延設備用 電機品完成



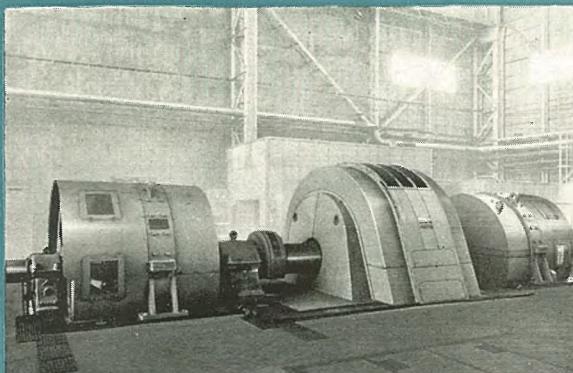
電気室全景



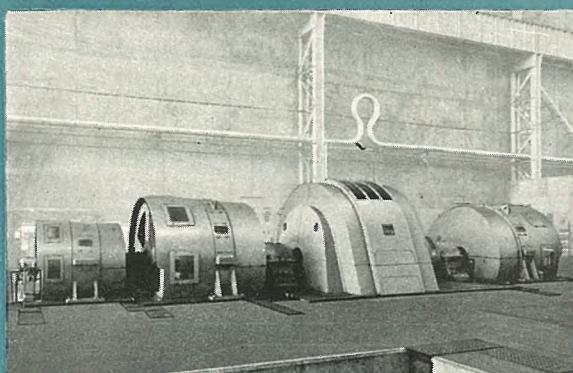
機形集合監視盤



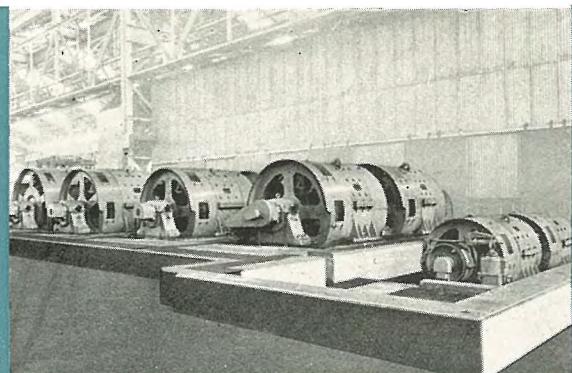
メタルクラッド配電盤群



第1電動発電機



第2電動発電機



スタンド電動機

川崎製鉄(株)千葉製鉄所に新設されたストリップミル工場に当社は、去る5月連續酸洗装置および冷間圧延設備(タンデムコールドストリップミル)電機品1式を製作納入、現在好調に運転中である。納入品概略は下記のとおり、なお圧延速度は最小1,275 FPM、最大3,190 FPMである。

○スタンド電動機

No. 1	スタンド	2,980 kW (2×2,000 HP)
	直流電動機	90/270 rpm
No. 2	スタンド	2,980 kW (2×2,000 HP)
	直流電動機	125/360 rpm
No. 3	スタンド	2,980 kW (2×2,000 HP)
	直流電動機	200/500 rpm
No. 4	スタンド	2,980 kW (2×2,000 HP)
	直流電動機	250/580 rpm
	リール	750 kW (2×500 HP)
	直流電動機	225/900 rpm

いずれも750 V 連續定格 閉鎖他力通風形
他励 二電機子形

○主電動発電機

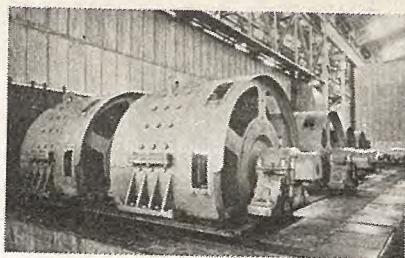
No. 1	M-G	2×3,200 kW + 6,900 kW
		同期電動直流発電機
No. 2	M-G	2×3,200 kW + 820 kW + 7,800 kW
		同期電動直流発電機

○励磁機

励磁機セット 7組

○その他

補助交流電動機 直流電動機 制御装置
通風冷却装置 油圧装置 1式



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

川崎製鉄株式会社の発注で製作した 56 in コールドストリップミル電機品は本年 5 月すえ付完了、順調に運転中であるが、この写真は当社の製作した電機設備 1 式中の各スタンド用 2,980 kW (2×2,000 HP) 直流電動機群である。各電動機は別置された 2 組の M-G セットに組まれた 4 台の 3,200 kW 直流発電機により直流電圧を受け、米国 UE 社製作の各スタンドのロールを駆動し、最大 3,190 FPM の速度で鋼板を圧延するもので、昭和 31 年 12 月以来 1 年 5 ヶ月の歳月と当社技術の粋を集めて完成した設備である。

三菱電機株式會社

本社 東京都千代田区丸の内（東京ビル）
(電) 和田倉(20) 代表 1631・2331
研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町
伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
長崎製作所 長崎市平戸小屋
無線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水
大船工場 神奈川県鎌倉市大船
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町
郡山工場 福島県郡山市字境橋町
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町
福山工場 福山市沖野上町
中津川工場 岐阜県中津川市駒場町
和歌山工場 和歌山市岡町
福岡工場 福岡市今宿青木
静岡工場 静岡市小鹿 110
家庭電器工場 名古屋市東区矢田町
無線機製作所 東京都世田谷区池尻町
東京工場 札幌市北二条東 12
札幌修理工場 大阪市北区堂島北町 8番地 1
(電) 大阪(34) 代表 5251
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通
(電) 本局(23) 代表 6231
福岡営業所 福岡市渡辺通り 2 丁目(電気
ビル内)(電) 福岡(2) 代表 6031
札幌営業所 札幌市大通り西 1 丁目(大通
ビル)(電) 札幌(2) 代表 7236
仙台営業所 仙台市東一一番丁 63
(電) 仙台(2) 代表 6101
富山営業所 富山市安住町 23 の 2
(電) 富山 4692・5273・2550
広島営業所 広島市袋町 6(富国生命ビル)
(電) 中(2) 2211
高松営業所 高松市寿町 1 丁目 4(第一生命
ビル)(電) ビル代表 2-5021
直通代表 2-4416
小倉出張所 小倉市京町 10 丁目(五十鈴
ビル)(電) 小倉(5) 8234

昭和 33 年 第 32 卷 第 12 号

目次

圧延機用電機品特筆

日亜製鋼株式会社呉工場熱間連続圧延機用電機品	高月 一・伊藤嗣郎・室賀 淳… 2
冷間連続圧延機用電機品	茶谷三郎・田野和夫・武藤 哲… 8
連続酸洗設備用電機品	紙谷鉄男… 15
連続せん断設備用電機品	紙谷鉄男・香川重光… 21
連続電気めっき装置	紙谷鉄男… 26
調質圧延機用電機品	田野和夫… 33
アルミ箔圧延機用電気設備	中村登喜生・紙谷鉄男・高月 一… 36
東北パルプ向 142 インチ新聞紙抄紙機電機品	
	己斐健三郎・坂田邦寿・細野 勇・紙谷鉄男… 41

300 kV, 5,000 MVA 節油タンク形遮断器

油入変圧器保護用衝撃圧力繼電器	新井正元・五十嵐芳雄・永田秀次… 53
小容量自励交流発電機	鳴 裕史… 63
ブリッジ結線方式のイグナイトロン変換装置	杉山昌司・町野康男… 71
	加藤又彦・己斐健三郎・坂田邦寿・塚本昭三・鯨岡春次… 81
12 相ブリッジ結線イグナイトロン整流器の回路現象の検討	平塚 篤・坂東修三… 93
新形超音波探傷機 FD-5 形とその応用例	
	馬場文夫・大鳥羽幸太郎・松元雄蔵… 100

DXM 形開放ドロップアウト カットアウト

技術解説	岩崎行夫… 113
火力発電シリーズ：電気集塵装置(1)	129

W 社文献抄訳

電子による撮像および像増強・Cypak for Industry	132
----------------------------------	-----

ニュースフラッシュ

交直電車用シリコン整流器完成・電力経済配分計算機・日本原子力研究所納 均質炉実験用重水蒸発装置完成	135
------------------------------------------------------	-----

特許と新案

(新) 電気あんかの発熱体ならびに温度調節器取付台 (新) 天井扇冷却装置	137
---------------------------------------	-----

次号予定

最近登録された当社の特許および実用新案	7, 14
最近における当社の社外講演一覧	138
最近における当社の社外寄稿一覧	139
昭和 33 年(第 32 卷)総目次	140

日亞製鋼株式会社吳工場熱間連続圧延機用電機品

神戸製作所 高月一*・伊藤嗣郎*
伊丹製作所 室賀淳*

Electric Equipment for Hot Continuous Rolling Mill for The Nichia Steel Manufacturing Company

Kobe Works Hajime TAKATSUKI · Tsugio ITO
Itami Works Jun MUROGA

In Kure Plant of the Nichia Steel Manufacturing Co. electric equipment was supplied formerly for use with hot continuous rolling mill. With the changes in the facilities to expand the width of band steel from 600 mm to 800 mm, the revamping of the finishing stand and its electric equipment was taken up, resulting in a new demand for finishing stand motors, boosters and ignitron rectifiers for a static Ward-Leonard system control equipment of the latest design was also in need. Mitsubishi supplied all the above apparatus in last May and since then they have been operating with success, contributing to the excellent performance of the rolling mill.

1. まえがき

日亞製鋼株式会社吳工場には熱間連続圧延機用電機品としてさきに図 1.1 のような電機品が納入されていた⁽¹⁾。今回帶鋼の巾を 600 mm より 800 mm に広げられることになり、仕上スタンドの改造とともに、電機品も増強されることになった。増強用電機品として仕上圧延電動機、昇圧機、および静止レオナード用イグナイトロン整流器を新製し、また制御装置も最新式のものに改造して納入し、去る 5 月 19 日試圧延を行い翌日より生産にはいり現在好調に運転中である。この仕上圧延機は増強の結果 No. 5~8 スタンドが共通母線方式 (Common bus system) の昇圧機制御で、No. 9~11 スタンドが静止レオナードによる各個

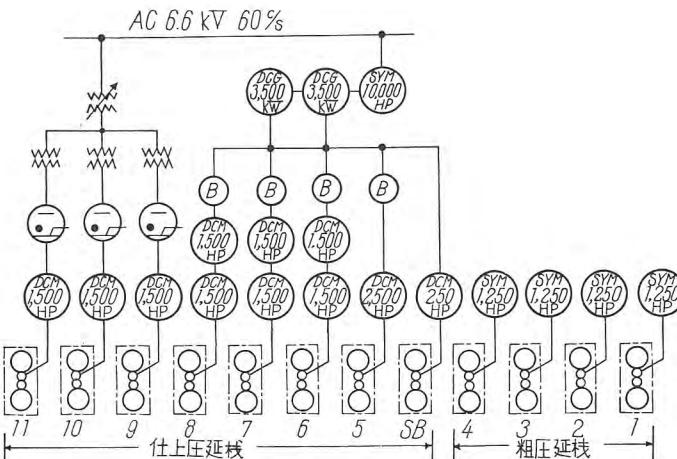


図 1.2 増強後の電機品

Fig. 1.2 Layout of revamped electrical equipment.

駆動方式 (Individual drive system)
というわが国でも最初の形となったわけである。増強後の電機品を図 1.2 に示してある。本文は増強用電動機、昇圧機、イグナイトロン整流器ならびにそれらの制御方式の概要と試験結果について述べたものである。

2. 主要回転機

主要回転機は表 2.1 のとおりであつて、*印をつけたものが出力増強のために今回新設されたものである。新設分のうちでとくに変っているところは
(1) No. 6~8 スタンドはタンデム結合である。

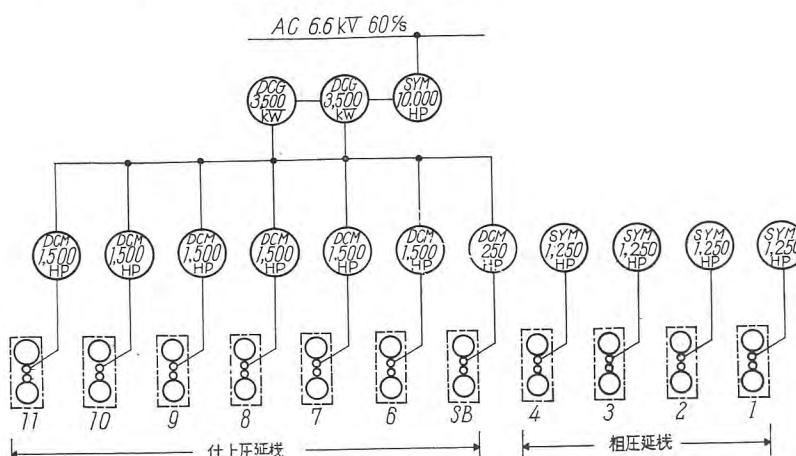


図 1.1 既納電機品

Fig. 1.1 Layout of formerly supplied electrical equipment.

表 2.1 主要回転機リスト

* 印新設分

用	途	台数	機種	容	電	回	備考
				量	圧(V)	転数(rpm)	
粗圧延	No. 1~No. 4 スタンド	4	同期電動機	1,250 HP	3,300	514	
仕上圧延	No. 5 スタンド	*1	直流電動機	2,500 HP	600	230/575	(他社製作)
仕上圧延	(負荷側)	*3	"	1,500 HP	"	400/1000	タンデム結合
仕上圧延	No. 6~No. 8 (反負荷側)	3	"	"	"	150/375	
仕上圧延	No. 9 スタンド	1	"	"	"	200/563	
"	No. 10 "	1	"	"	"	"	
"	No. 11 "	1	"	"	"	"	
堅形	圧延	2	"	250 HP	"	350/700	
"	"	2	"	150 HP	"	400/1200	
仕上スケールブレーカ		1	"	250 HP	"	350/875	
No. 5~No. 8 用	電源	2	直流発電機	3,500 kW	600	360	
同上	駆動用		同期電動機	10,000 HP	6,600	360	
No. 6~No. 8 用	加減圧機	*3	直流発電機	200 kW	50	720	
同上	駆動用	*1	同期電動機	800 HP	3,300	720	
No. 6~No. 8 負荷平衡用		*3	ロートトロール	3 kW	220	1,750	
No. 6~No. 8 速度制限用		*3	"	3 kW	220	1,750	
同上	駆動用	*1	誘導電動機	35 HP	220	1,750	
定電圧励磁電源		*1	直流発電機	100 kW	220	1,180	
基準	励磁	*1	"	5 kW	300	"	
同上	駆動用		誘導電動機	175 HP	3,300	"	
磁気増巾器用	電源	*1	同期発電機	15 kVA	110	2,400	
同上	駆動用	*1	直流電動機	20 HP	220	"	400 c/s

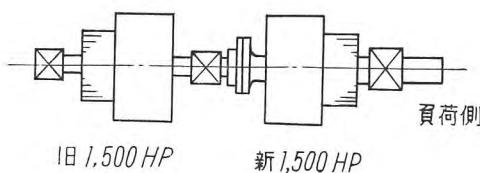


図 2.1 仕上圧延スタンド No.6~8 のタンデム結合
Fig. 2.1 Tandem coupled arrangement for finishing stand No. 6~8.

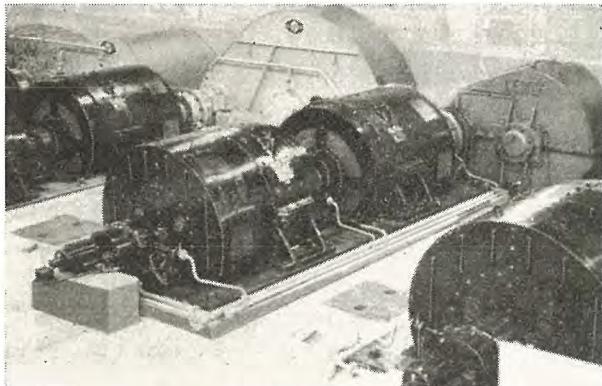


図 2.2 No. 6~8 主電動機
Fig. 2.2 Main drive motor for stand No. 6~8.

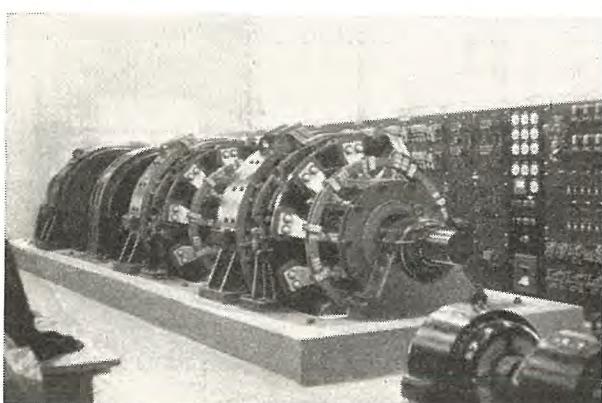


図 2.3 昇圧機セット
Fig. 2.3 Booster set.

熱間圧延機用にタンデム結合の電動機を用いることは珍らしいが、今回は旧品と新設機とを現地で結合し、定められた建屋寸法内に納めるために図 2.1 のような結合方式として軸方向の寸法を短くした。熱間圧延用電動機には急激に負荷がかかるからその過渡時の負荷平衡をやさしくするために各電動機の特性は厳密に調整され、定常時の負荷平衡のためにロートトロールを用いた。図 2.2 は No. 6~8 スタンド電動機を示す。

(2) 大電流昇圧機の成層フレーム

迅速な速度制御を行うために主電動機回路に直列に昇圧機が用いられたが、4,000 A の大電流であり、過渡時の整流と制御特性が問題となる。われわれは二重重巻電機子コイルを採用し、磁気回路はフレームまで全部成層構造としてこの難問を解決した。速度制御用ロートトロールももちろん成層フレームである。図 2.3 は電気室内の昇圧機セットの全景を示す。

3. 制御電源設備

(1) 定電圧励磁機

100 kW 定電圧励磁機は電子管式自動電圧調整器で定電圧制御を行っている。

(2) 基準電圧発電機

5 kW 基準電圧発電機は定電圧励磁機と同様に電子管式自動電圧調整器で定電圧制御を行っている。

(3) 高周波発電機

15 kVA 400 c/s 高周波発電機は 14.9 kW 直流電動機で駆動され、抵抗器形自動電圧調整器で定電圧制御を行っている。14.9 kW 直流電動機の電源は前述の 100 kW 定電圧励磁機であり、高周波発電機の負荷変動はきわめてわずかであるから周波数も一定に保たれる。

4. No. 6~8 スタンドの制御方式

このスタンド 1 基分の主回路および制御回路を図 4.1 に示す。既設のスケールブレーカ、新設の No. 5 スタンドおよび出力を増強した No. 6~8 スタンドの電源としては、既設の 3,500 kW 直流発電機 2 台を用いている。

No. 6~8 スタンドの出力増強の際にとくに考慮を払ったことは、既設機と新設機との負荷平衡の問題であった。熱間圧延用電動機には急激な負荷が印加されるから、過渡時の負荷平衡を良好にするために新設機は既設機と同一設計のものとされた。既設機と新設機はタンデムに結合され出力は 2,200 kW に増強された。また図に示してあるように 2 台の電動機には負荷平衡界磁を設け、負荷平衡ロートトロール (LBR) により励磁して両電動機の負荷平衡をはかった。この 2 台の電動機の特性をあわせることにより負荷平衡ロートトロールとあいまって、過渡時も定常時も良好な負荷平衡が得られた。

図において RHG は発電機電圧設定用可変抵抗器で、

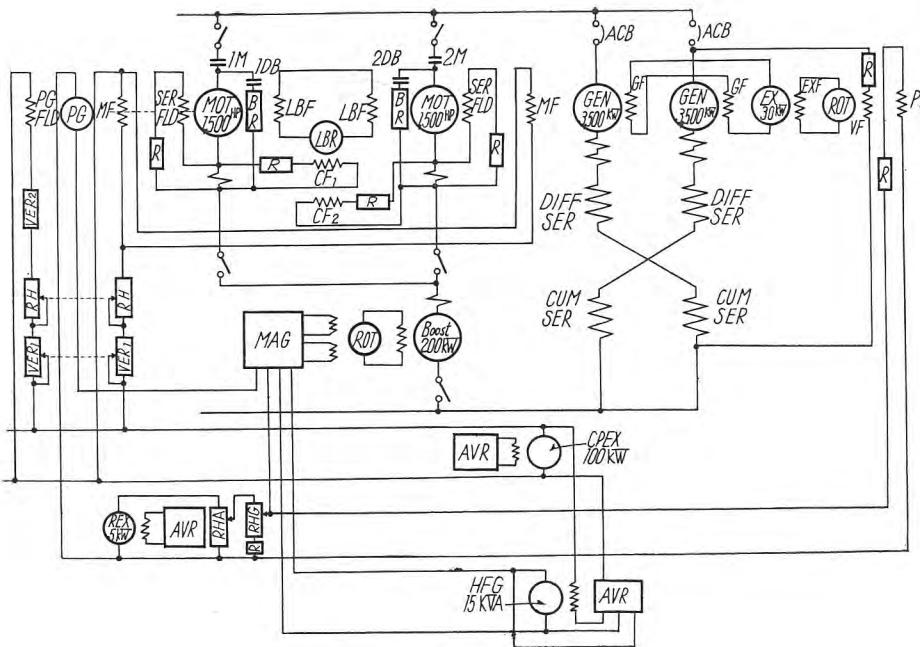


図 4.1 No. 6~8 スタンド制御方式
Fig. 4.1 Control system for No. 6~8 stand.

発電機電圧を DC 600 V から 450 V まで調整できる。RHG によって分圧された電圧が発電機電圧と電動機速度の基準となる。RHA はいわゆる加速器で後述のイグナイトロン整流器制御用の移相器と連動しており、運転盤上の加速ボタンにより RHA の分圧電圧を零から 100 %まで上昇させる。イグナイトロン整流器の制御角を適当な値にするために、RHA は途中では停止できないようにしてある。

界磁制御により電動機の速度を変更する時には、発電機電圧したがって基準電圧は一定であるから、パイロット発電機の電圧も一定になるようにパイロット発電機の界磁をも調整する必要がある。RH は電動機速度粗調整用界磁調整器で、電動機界磁とパイロット発電機界磁とを同時に加減するように連動されている。VER₁ は密調整用界磁調整器で、これも電動機界磁とパイロット発電機の界磁を同時に加減する。スタンドの速度のプリセットトミスにより材料に過大の張力またはループを生じた時に、VER₁ を操作してスタンドの速度を修正する。電動機とパイロット発電機の飽和曲線の相違から RH の位置により VER₁ を操作した時にパイロット発電機の電圧を一定にすることは不可能である。VER₂ はこの誤差を

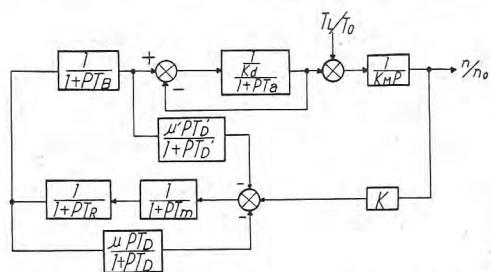


図 4.2 No. 6~8 スタンドブロックダイヤグラム
Fig. 4.2 Block diagram for No. 6~8 stand.

修正するために設けてある。

熱間連続圧延機においては

(1) 電動機の瞬時速度降下率、
(2) 回復時間、(3) 固有の速度変動率の 3 点が重要な問題であるが⁽¹⁾、今回の増強設備に対してはかなりきびしい要求があったため、電動機電機子回路に直列に入れた昇圧機の電圧制御により定速度制御を行った。すなわち電動機に直結されたパイロット発電機の電圧と基準電圧との差電圧を磁気増幅器により増幅し、ロートトロールを介して昇圧機の電圧を制御し電動機の速度を基準値に一致させるようにした。磁気増幅器の電源には 400 c/s を使用した。制御系の各部の定数はアナログコ

ンピュータにより解析し負荷試験により決定した。そのブロックダイヤグラムを図 4.2 に示す。

5. イグナイトロン整流器

今回使用したイグナイトロン整流器は風冷密封式 6 相 12 タンクで定格は DC 600 V, 1,200 kW B 種定格のもので、苛酷な運転に対し十分考慮をはらった設計を行っている。

整流器の温度調整すなわち送風機ならびに陰極加熱器の運転は温度絶電器により自動的に行われることはいうまでもないが、整流器室は広大な電動機室との間に仕切りを設けて独立したものとし、冬期は室内の空気を循環させて整流器の過冷を防止し、夏期は整流器室の天井を開くとともに風洞から室外の空気を取り入れて整流器の冷却が十分行えるように考慮されている。図 5.1 はこのイグナイトロン整流器を示す。

整流器用変圧器は 6 相二重星形でその一次側接続は 3 スタンドのうち 2 台が三角接続、1 台を星形接続とし交流側の高調波による障害の軽減を計っている。なお整流器用変圧器と後述する負荷時電圧調整器は屋外用窒素封入形となっている。

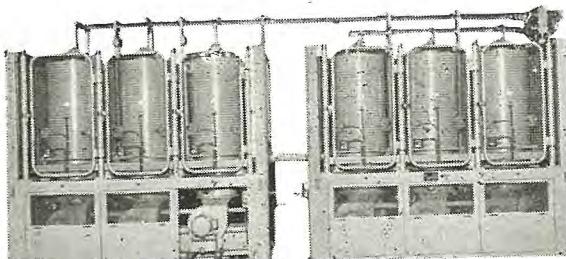


図 5.1 600 V, 1,200 kW 風冷密封形イグナイトロン整流器
Fig. 5.1 Ignitron rectifier of type 600 V, 1,200 kW air-cooled airtight.

直流リアクトルは直流電動機の整流の点では大きいインダクタンスのものを用いたほうがよいが、速度制御の過渡特性からは小さい値のほうが望ましいので、アナログコンピュータにより検討し負荷試験により適当な値のものとした。

6. No. 9~11 スタンドの制御方式

このスタンド 1 基分の主回路および制御回路を図 6.1 に示す。図の 6.6 kV 母線は負荷時電圧調整器を経て工場の 6.6 kV 母線に接続されている。この負荷時電圧調整器は受電電圧の変動にかかわらず整流器用変圧器の一次電圧を一定に保つものであるが、つぎに述べる整流器用変圧器のタップ間の電圧をやや微細に調整することもできる。

つぎに圧延電動機の運転電圧は DC 600~450 V であるが、この電圧に対応したタップを整流器用変圧器に設け、タップ切替器は電動操作式で運転盤より遠方操作で切替えるようになっている。

逆弧に対する保護としては電鉄用変電所のように単に整流器および変圧器を保護するだけではなく、圧延作業を中断しないことが望ましいので陽極遮断器を採用した。このため 1 タンクが逆弧しても残りの 5 相で圧延を完了することができる。

速度制御方式は速度に比例した電圧を発生するパイロット発電機（圧延電動機に直結）と基準電圧発電機の差電圧を磁気増圧器により増幅し、この出力によりイグナイトロン整流器の点弧回路の移相リアクトルの直流励磁を変化させて速度を基準値に一致させる方式である。磁気増圧器は他の回路に使用されているものと同様にその電源に 400 c/s を使用した。図 6.1において RHMT, RHTT は整流器用変圧器および負荷時電圧調整器のタップに対応した基準電圧用抵抗器で、これらは圧延スケ

ジュールから整流器の電圧を決定し最初に設定しておけばよい。加速器 RHA は移相器と連動しており、起動の際基準電圧を零から 100% まで上昇させるのに用いられる。このとき移相器は移相制御角のもっとも遅れた位置から零まで位相を進めるようになっている。

RH, VER₁ および VER₂ の機能は No. 6~8 スタンドの場合と同様である。

電動機の電源に整流器を用いる時は、電動機の減速時に電動機から整流器に制動電流が流れない。したがって弱め界磁で運転中の電動機を強め界磁にした場合、電動機の速度が低下しないために、電動機が過電圧になるおそれがある。また電動機を減速、停止させるために基準電圧を下げ整流器の電圧を下げる、電動機は制動電流が流れないとためになかなか速度が低下しない。したがってこの場合には別に減速回路を設ける必要がある。図の SD は減速用コンタクタで減速用磁気増圧器 MAG2 で制御される。MAG2 には電動機端子電圧で励磁される巻線と、基準電圧で励磁される巻線があり、電動機の端子電圧が基準電圧より高くなれば MAG2 により SD が動作して電動機の減速回路を閉路する。電動機の有するエネルギーが抵抗器で消費され、電動機の速度が低下し端子電圧と基準電圧とに差がなくなれば減速回路は開路する。現地試験においても MAG2 は確実に動作し、電動



図 6.2 整流器盤

Fig. 6.2 Ignitron rectifier panel

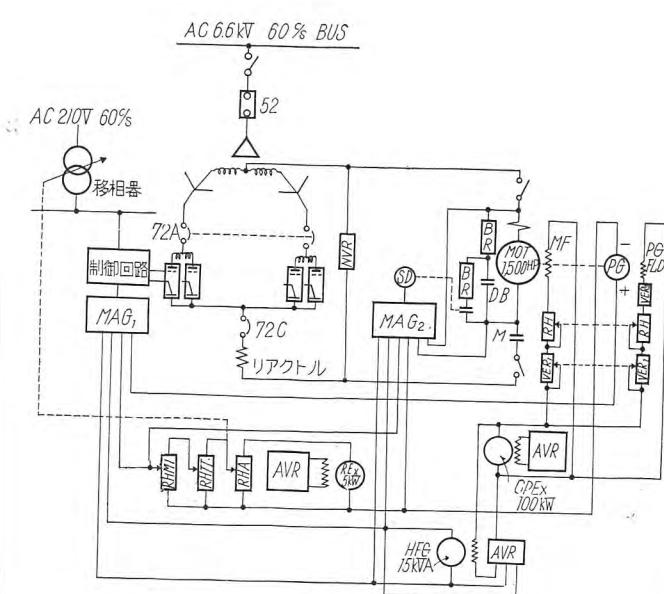


図 6.1 No. 9~11 スタンド制御方式

Fig. 6.1 Control system for No. 9~11 stand.

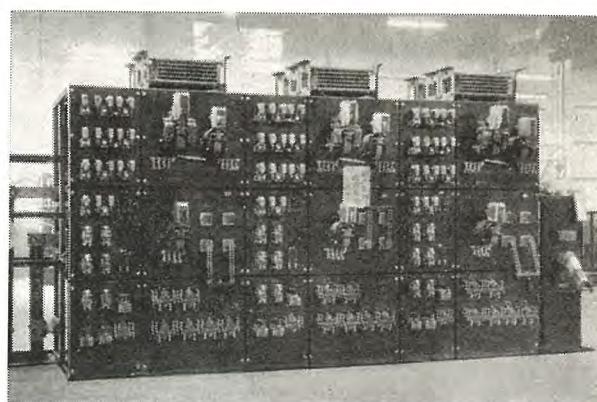


図 6.3 制御盤

Fig. 6.3 Control panel.

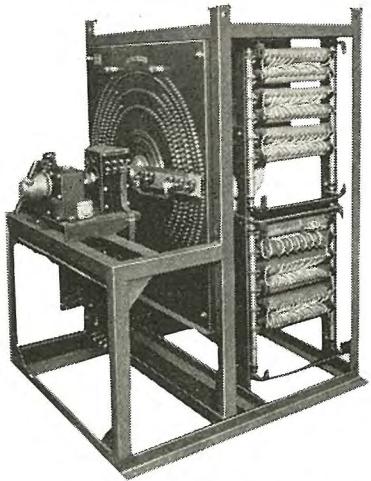


図 6.4 電動操作界磁調整器
Fig. 6.4 Motor operated field regulator.

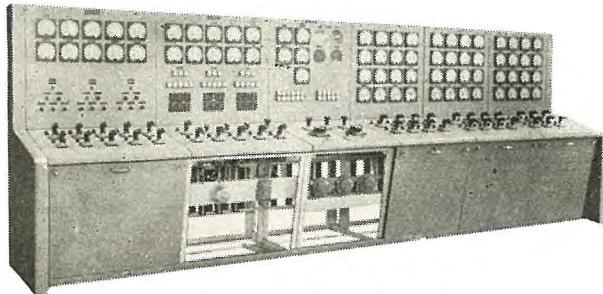


図 6.5 統合制御盤
Fig. 6.5 Supervisory desk.

機はよく基準電圧に追従して減速することが確認された。

図 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 に整流器盤, 制御盤, 電動操作界磁調整器および統合制御盤を示してある。

7. 試験結果

試験は電動機と発電機を直結し水抵抗を開閉して圧延負荷を模擬するもので、従来よりこの種の組合試験にしばしば用いられている方式である。なお試験に使用した電動機と発電機の全 GD² は実際の GD² とほとんど一致したものを選定してある。図 7.1 は昇圧機制御スタンドの速度制御試験の一例で、上より電動機速度、発電機電圧、昇圧機電圧、ロートトロール電圧および電動機電流を示している。図に示すようにきわめて良好な速度制御特性が得られた。

図 7.2 はイグナイトロン整流器制御スタンドの速度制

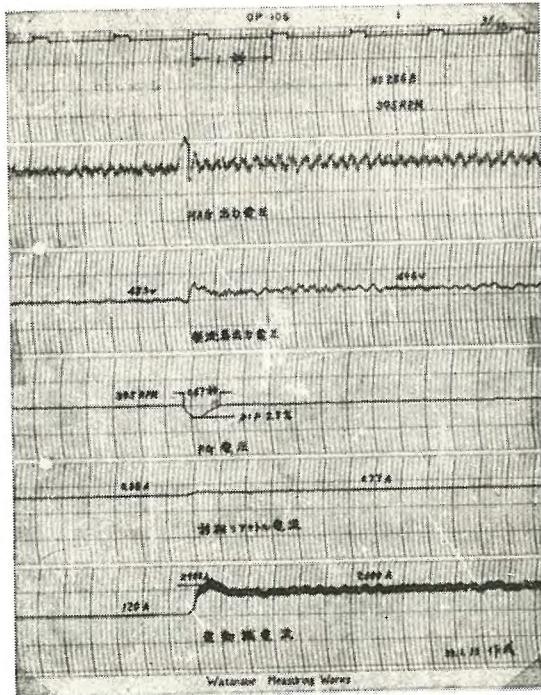


図 7.2 No. 9 スタンド速度特性
Fig. 7.2 Oscillogram for speed characteristic of No. 9 stand.

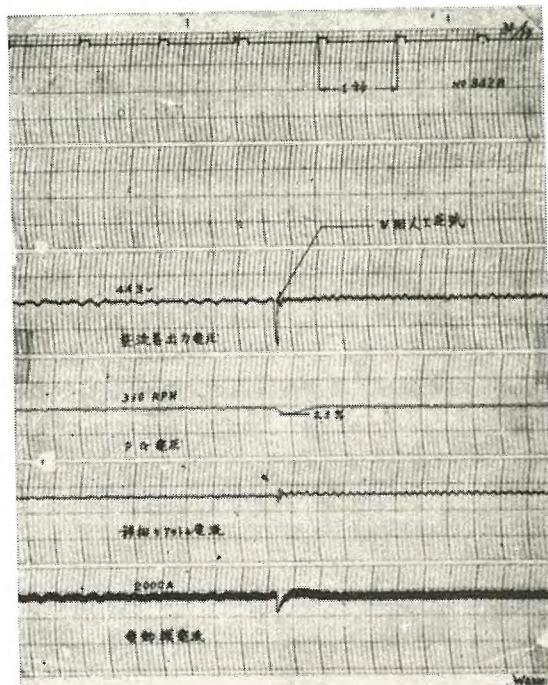


図 7.3 人工逆弧時の現象
Fig. 7.3 Phenomena of artificial arc-back.

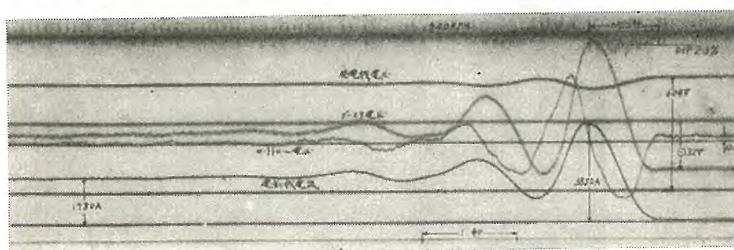


図 7.1 No. 8 スタンド速度特性
Fig. 7.1 Oscillogram for speed characteristic of No. 8 stand.

御試験の一例で、上より磁気増巾器出力電圧、整流器出力電圧、パイロット発電機電圧、移相リアクトル直流励磁電流および電動機電流を示している。イグナイトロン整流器の出力電圧が 600 V より低い値になっているが、これは工場の試験設備用変圧器を使用したためである。図に示すように、速度制御の過渡特性は Critical damping で制御系が安定に作動していること

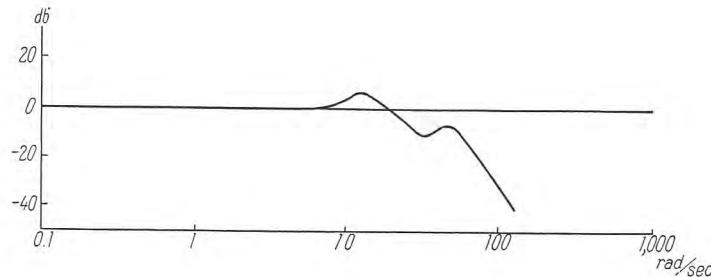


図 7.4 閉路周波数特性

Fig. 7.4 Frequency response for closed loop.

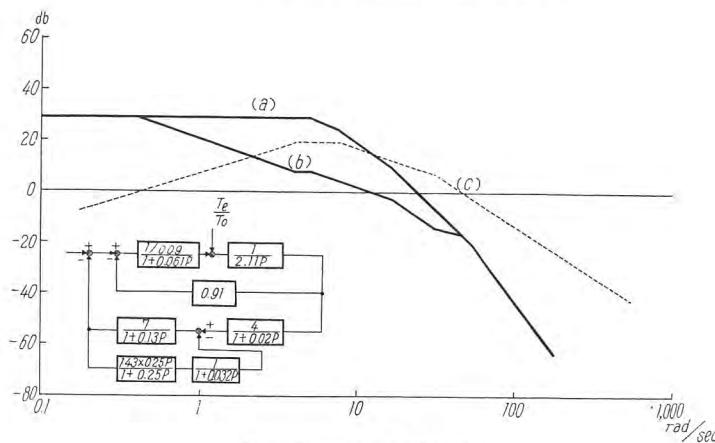


図 7.5 開路周波数特性

Fig. 7.5 Frequency response for open loop.

がわかる。

図 7.3 は人工的に逆弧を起した場合の試験結果で、この程度の速度変化ならば圧延に支障を及ぼさないであろうと考えられる。

つぎに図 7.4 に工場試験における閉路周波数特性の測定結果を示す。これによると 12.5 Rad./s 付近に主制御回路の共振点があり、この点における利得も適当な値(6 dB)を示している。この実測値と電動機機械的時定数その他の計算値より開路周波数特性を求めるとき図 7.5 に

示すような特性となる。図の(a)は補償のない場合、(b)は補償のある場合の特性を示している。

8. む す び

熱間連続圧延機を良好な特性で運転するためには圧延電動機、変圧器、整流器ならびに制御装置などの総合的な設計の協調、いわゆる System engineering が重要であることはいうまでもない。今度の場合圧延電動機は既納品であるが図 7.1, 7.2 に示す程度の特性であれば圧延には十分である。

最近の熱間連続圧延機の制御方式には定速度制御が多いようであるが、制御系の利得を大にしてオフセットを少なくするほど最初の速度設定は困難となり、ミスセットにより過電流となる機会が多くなるものと考えられる。したがってこの方面の研究ならびに圧延工場の実情に即した制御方式の選定が圧延設備の実用性能に大きい影響を及ぼすものと考える。

終りに今回の増強用電機品の製作試験にあたり終始ご指導ご鞭撻を賜わった日亜製鋼株式会社呉工場奥村副部長、上米良主任、谷尾、藤山技師に厚く感謝の意を表する次第である。

なお、この工事に引続いて八幡製鉄戸畠工場として 80 in 熱間仕上圧延機用電機品を完成した。これは 6 スタンドで電動機の総出力が 24,500 HP というわが国で最大の記録品である。電源は水銀整流器による各個駆動方式であり、好調な運転が始められたが、これについては後日に稿を改めて紹介する。

参 考 文 献

- (1) 三菱電機 Vol. 27, No. 11, 1953, 製鉄特集号

===== 最近登録された当社の特許および実用新案 =====

区 別	名 称	特許または登録日	特許または登録番号	発 明 考 案 者	所 属 場 所
新 案	交流計算盤発電機単位装置	33-5-7	476436	新井 元・早瀬通明	伊 丹
"	配線絶縁装置	"	476437	山田三男・谷口利男	"
"	接地端子	"	476438	山田三男・小原太郎	"
"	誘導電動機の速度制御装置	"	476439	吉田太郎・高岡明雄	名 古 屋
"	誘導形計器の磁気分路子	"	476440	山県 穆	福 山
"	速度自動調整装置	"	476441	武田英夫・武下定四郎	長 崎
"	回転電機の冷却器支持装置	"	476442	宇野克己	"
"	エレベータの扉開閉装置	"	476443	松尾 昇	"
"	噴流形洗濯機	33-5-20	476973	外野範吾	名 古 屋
"	計器用制動磁石装置	33-5-26	477158	東 邦弘・武井久夫	"
"	洗濯機絞り機の支持装置	"	477159	上野 弘・山県 穆	福 山
"	洗濯機絞り機の支持装置	"	477160	武井久夫・服部信道	名 古 屋

冷間連続圧延機用電機品

神戸製作所 茶谷三郎^{*}・田野和夫^{*}・武藤哲^{*}

Electric Equipment for Continuous Cold Rolling Mill

Kobe Works Saburō CHATANI · Kazuo TANO · Satoshi MUTO

Characteristics required for the electric equipment of the continuous cold rolling mill are to help the machine turn out steel plates of a definite thickness after all. With this aim in mind, the control of motors is ingeniously devised by the use of magnetic amplifiers, thus quick response of the whole control system being heightened and the stability being improved. In the revamping of the mill facilities in the Yawata Steel Mill, Tobata Plant, Mitsubishi supplied a complete set of electric equipment to satisfy the users requirements through the design mentioned above. The sets are now operating with marvelous results.

1. まえがき

鋼板の冷間圧延はその需要の増加とともに次第に発達してきたが、とくにその圧延速度、全馬力などの点においていちじるしい進歩が見られ、最近米国においては最高圧延速度が 2,150 m/min の冷間連続圧延機が出現するに至った。

わが国における冷間連続圧延設備も需要が増加するにつれ、年々高能率、最新式の設備が増設されているが、当社では昭和 28 年に八幡製鉄戸畠製鉄所に最高圧延速度が 1,250 m/min の冷間連続圧延設備電機品を納入し、現在も好成績で運転を続けている。

このたび、八幡製鉄戸畠第一冷延工場冷間連続圧延設備⁽¹⁾の更新をされるにあたり、当社がその電機品いっさいを製作しすでに運転にはいっている。また川崎製鉄千葉製鉄所へも同様な電機品一式を納入し好調に運転を行っている。最高圧延速度は前者が 920 m/min であり、後者は 1,380 m/min である。

とくにこのたびの八幡製鉄向冷間連続圧延電機設備には全面的に磁気増幅器による自動制御を採用し好結果を得たので、これを中心として最近の冷間連続圧延機用電機品について述べる。

2. 運転特性

冷間連続圧延機は図 2.1 に示すように通常 3 基ないし 5 基の四重ロール圧延機の巻取機からなり、各圧延機は一列に配置され、鋼帯材料は最初に圧延速度の 15~20% の通板速度で順次圧延機にかみ込み、最後にベルトラップにより巻取機に巻込まれる。つぎに全体を走間速度まで加速し鋼板の大部分が圧延され、その終端が近づくとふたたび通板速度まで減速し巻取を完了する。すなわち単位コイルごとに通板、加速、定速圧延、減速の一連の過程がくり返される。

したがって高能率生産をあげるために定速圧延速度

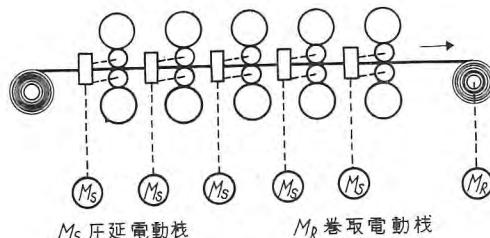


図 2.1 冷間連続圧延機（5 スタンド用）

Fig. 2.1 Continuous cold rolling mill.

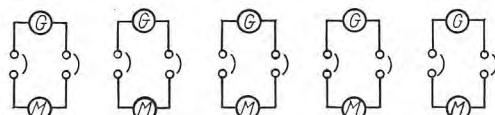


図 2.2 各個発電機制御方式

Fig. 2.2 Individual motor control system.

を高めるとともに加速、減速時の特性がとくに重要な問題であり、この間で規格はずれの鉄板が生じやすく全体の製品に対する歩留りがわるくなる。歩留りを改善するために加速、減速時間をできるだけ短縮する必要がある。

最近の冷間連続圧延機では加速、減速時間は最高圧延速度 1,250 m/min まで約 10 秒として計画されている。

冷間連続圧延機の特性は前述の運転から了解されるよう数基の圧延機に鋼帶が圧延されながら短時間で加減速を行うため、その間の各圧延機の速度協調が保たれなければならない。このため最新の高速度、大容量の冷間連続圧延機の制御には図 2.2 のように各圧延電動機に対し個々に発電機を有する各個発電機方式が採用される。自動制御特性を良くするために、これらの発電機および電動機の特性には十分な考慮をしなければならない。

3. 圧延用直流電動機および直流発電機

3.1 定 格

- (1) 川崎製鉄、千葉製鉄所納連続式冷間圧延電気設備
(圧延機械 米国 U.E. 社製, 56 in 四重 4 スタンド)

将来最高速度 1,380 m/min)

圧延用直流電動機の定格はつきのとおりである。

第1 スタンド	4,000 HP	750 V	90/270 rpm	二重電機子形
第2 "	4,000 HP	750 V	125/360 rpm	"
第3 "	4,000 HP	750 V	200/500 rpm	"
第4 "	4,000 HP	750 V	250/580 rpm	"
卷 取	1,000 HP	750 V	225/900 rpm	"
また、電動機電源は各個発電機方式で、その定格は、				
第1 スタンド用	3,200 kW	750 V	428 rpm	
第2 スタンド用	3,200 kW	750 V	"	
同期電動機	9,200 HP	6,600 V	"	50 c/s
および				
第3 スタンド用	3,200 kW	750 V	428 rpm	
第4 スタンド用	3,200 kW	750 V	"	
卷 取 用	820 kW	750 V	"	
同期電動機	10,400 HP	6,600 V	"	50 c/s

である。

将来、第5スタンドの増設が計画されており、その圧延電動機は、5,000 HP, 350/820 rpm

三重電機子形、発電機として、4,100 kW が予定されている。

(2) 八幡製鉄、戸畠製鉄所納連続式冷間圧延電気設備(圧延機械 米国 MESTA 社製、54 in 四重4スタンド、最高速度 920 m/min)

この設備は、昭和13年に設置された、第1冷間圧延の改造で、電気設備はすべて更新された。

圧延用直流電動機の定格は、つきのとおりである。

第1 スタンド	2,000 HP	750 V	110/330 rpm	単電機子形
第2 "	3,500 HP	750 V	170/450 rpm	二重電機子形
第3 "	4,500 HP	750 V	225/540 rpm	"
第4 "	4,500 HP	750 V	250/625 rpm	三重電機子形
卷 取	1,000 HP	750 V	160/600 rpm	二重電機子形
また、電動機電源は、各個発電機方式で、その定格は、				
第1 スタンド用	1,600 kW	750 V	514 rpm	
第3 "	2×1,800 kW	750 V	"	
同期電動機	7,500 HP	11,000 V	"	60 c/s
第2 スタンド用	2×1,400 kW	750 V	514 rpm	
第4 スタンド用	2×1,800 kW	750 V	"	

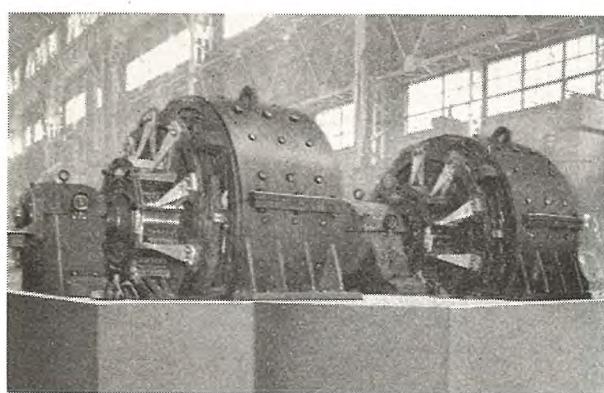


図 3.1 八幡製鉄納 冷間圧延用直流電動機
3,500 HP, 170/450 rpm (二重電機子形)

Fig. 3.1 DC motor for cold rolling mill 3,500 HP.

冷間連続圧延機用電機品・茶谷・田野・武藤

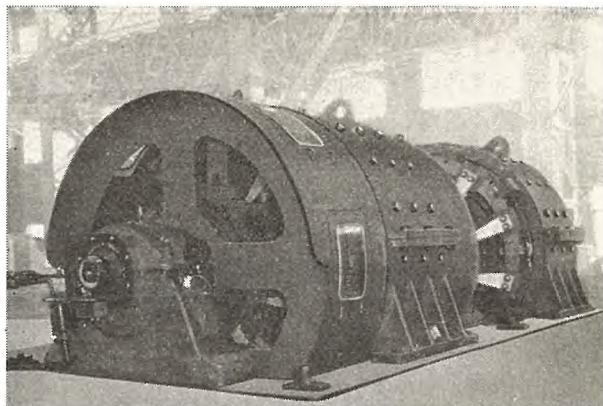


図 3.2 八幡製鉄納 冷間圧延用直流電動機
4,500 HP, 225/540 rpm (二重電機子形)

Fig. 3.2 DC motor for cold rolling mill 4,500 HP.

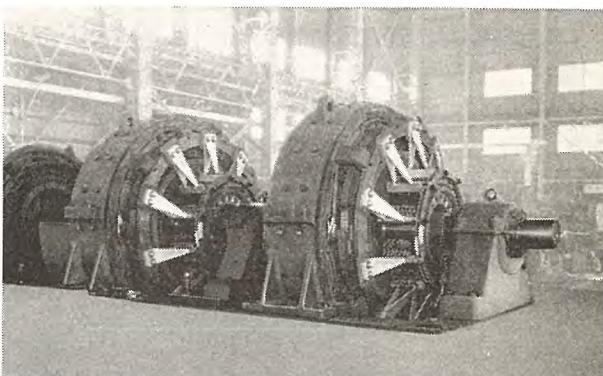


図 3.3 八幡製鉄納 冷間圧延用直流発電機
1,400 kW 514 rpm

Fig. 3.3 DC generator for cold rolling mill 1,400 kW.

同期電動機	9,200 HP	11,000 V	514 rpm	60 c/s
および				
卷 取 用	840 kW	750 V	900 rpm	
同期電動機	1,250 HP	3,300 V	"	60 c/s

である。

上記2ラインの冷間圧延用直流機は、完全B種絶縁、その温度上昇および過負荷耐量は、NEMA 規格に準拠している。形式は、閉鎖強制通風形、アップドロフト方式を採用している。

3.2 構造上の特色

冷間圧延用電動機の構造上の特色として、このことは運転特性の項にも述べ、また次の起動特性の項にも関連するが、起動時の揃速運転のために、各電動機の GD² をバランスさせる必要がある。このため、川崎製鉄納の機械は、すべて二重電機子形、八幡製鉄納のものは二重電機子形、三重電機子形がそれぞれ採用されている。また、圧延速度が 1,800 m/min をこえる大容量の冷間圧延では、その電動機の出力が圧延速度に比例的に増大し、他方 GD² に制約があるため、二重電機子双電機子形 (Double Armature, Twin), 三重電機子双電機子形 (Triple Armature, Twin) が採用されるようになってきた^{(3), (4)}。

今回の電動機は、単に電機子の分割の問題だけではなく、

電動機本体の設計に、かなりの注意が払われている。

すなわち、

- (1) 整流条件の許す範囲内で、電機子径を下げ、鉄心長を長くしたこと。
- (2) 極数を増し、ブラシ腕ごとのブラシ数を減らし、整流子長を短くしたこと。
- (3) 電機子スパイダ、クランバなどはすべて鋼板溶接構造となし、重量、 GD^2 の軽減をはかったこと。
- (4) 電機子鉄心にはダブテールをいっさい設けなかつたこと。

また、整流上の考慮として、

ブラシには全面的にタンデム形を使用し、さらに、整流子円周方向にスタガして、ブラシカバリングを大きくとったこと。

などがあげられる。

3.3 圧延および巻取電動機の起動特性

出力や回転数の異なる電動機を揃速的に起動、加速させるために、各スタンドごとのロールや電動機の GD^2 をバランスさせることは前に述べたとおりであるが、起動電流による電圧降下をほぼ一定にし、いわゆる加速遅れ(Acceleration lag)をそろえて置くことが必要とされ

表 3.1 川鉄向 圧延電動機の起動特性(10秒加速を仮定)

圧延機 No.	1	2	3	4
電動機 (HP)	4,000	4,000	4,000	4,000
回転数 (rpm)	90/270	125/360	200/500	250/580
電動機 GD^2 (TM^2)	76	38.2	15.6	13.8
圧延機 GD^2 (TM^2)	9.3	9.3	8.7	8.7
全回転体 GD^2 (TM^2)	85.3	47.5	24.3	22.5
加速電流比 (%)	57.2	56.5	55.6	69.6
定格電流電圧降下 (%)	4.86	4.14	4.1	3.38
加速遅れ	2.78	2.34	2.28	2.36

表 3.2 八幡向 圧延電動機の起動特性(10秒加速を仮定)

圧延機 No.	1	2	3	4
電動機 (HP)	2,000	3,500	4,500	4,500
回転数 (rpm)	110/330	170/440	225/540	250/625
電動機 GD^2 (TM^2)	20.7	18.8	18.8	12.9
圧延機 GD^2 (TM^2)	8.0	8.0	8.0	8.0
全回転体 GD^2 (TM^2)	28.7	26.8	26.8	20.9
加速電流比 (%)	57.4	57.0	63.9	64.9
定格電流電圧降下 (%)	4.54	4.26	4.0	3.6
加速遅れ	2.6	2.43	2.56	2.42

ている。最近の冷間圧延設備は、そのほとんどが各個発電機方式であり、電動機の電圧降下補償をはじめ、高性能の自動制御が行われているので、必ずしも、これらの値を厳正に均一にする必要がないように思われるが、制御を容易にし、かつ安定した製品を得るためにかかる考慮がなされている(起動特性の算定には文献(2), (5)を参考)。

表 3.1, 3.2 は、それぞれ川崎製鉄納、八幡製鉄納の圧延電動機の起動特性である。

また、各スタンドの電源である直流発電機は、同時に電圧を上昇、降下させるため、界磁の時定数が一致してい

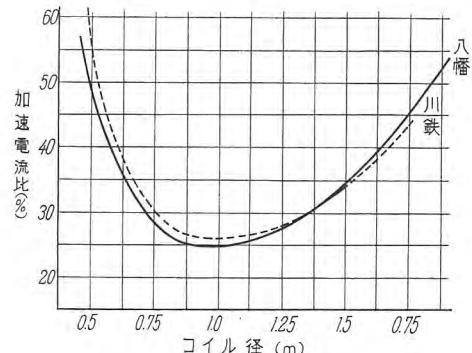


図 3.4 巻取電動機起動特性
Fig. 3.4 Winding motor starting characteristic.

ること、またそれぞれの発電機の無負荷飽和曲線がよく一致するよう設計されなければならない。

一方、巻取電動機にあっては、巻取運転中コイル径が時々刻々変化するから、その起動特性は圧延電動機と事情を異にし、圧延の途中でいったん停止し、再起動するような場合、その加速電流比を求めるに図 3.4 のようになる。とくに巻始めの加速電流のほとんどは巻取電動機の GD^2 によってきまる。この加速電流を減少し加速を容易にするために巻取電動機の GD^2 を小さく設計する必要がある。

4. 制御方式

従来冷間連続圧延電動機設備の自動制御にはロートトロール増巾機が使用されてきたが、磁気増巾器の急速な進歩により八幡製鉄戸畠第一冷延工場冷間連続圧延設備の制御には全面的に磁気増巾器が採用され、さらに特性が改善されるに至った。

各圧延電動機は図 4.1 に示すように各個に発電機を有し、その特性は均一になるように十分注意して設計されているが、制御装置としても加減速時の電圧の増減の歩調を合わせるように注意しなければならない。

4.1 圧延電動機の制御

図 4.1 に示すように各発電機には専属の励磁機および磁気増巾器を組合せ、基準励磁母線の電圧に各発電機電圧を合わせるように自動制御する方式により各圧延機の関係速度を規定値に保つように調整している。図 4.1 に

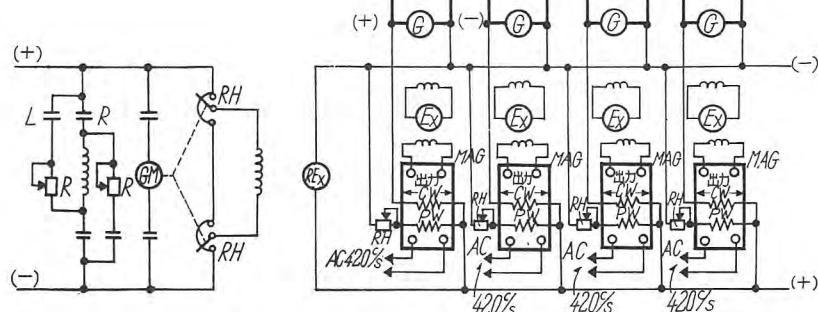


図 4.1 各個発電機方式制御回路基本接続
Fig. 4.1 Fundamental connection of control circuit of individual motor system.

おいて基準母線励磁機 (REX) は各発電機用磁気増巾器の基準巻線 (PW) を励磁し、磁気増巾器出力により発電機励磁機が励磁され発電機が電圧を発生する。したがって基準巻線により各発電機は基準母線電圧とほぼ同一の電圧を発生するように制御される。各磁気増巾器の制御巻線 (CW) は発電機電圧と基準母線電圧とを比較し、この間にわずかな差が生じてもこれを急速に是正するように動作する。このようにして基準母線電圧と各発電機電圧とはつねに一致するように制御される。

加速または減速を行うには基準母線励磁機界磁を界磁調整器により制御する。この界磁調整器操作電動機は一定電圧の制御母線より制御され、これを正逆に操作することにより加速、減速動作を行う。したがって加速、減速時間は操作電動機の速度を調整することにより増減することができる。

図 4.2 は圧延電動機制御回路の接続を示す。発電機制御回路は図 4.1 に示したものと同様であるが、安定性の向上のため磁気増巾器に負き還巻線 (FBW)、安定巻線 (DW) が設けてある。さらに制御巻線回路には電圧降下補償用磁気増巾器を設け、起動加速時にはこの出力電圧が加わり、加速時に加速電流に比例した電圧降下分だけ発電機電圧を高め、加速遅れを補償し、各電動機の加速特性を合わせるようにしている。電圧降下補償磁気増巾器には電動機の補極および補償巻線の電圧降下に比例した励磁をあたえる制御巻線 (IRW) があり、磁気増巾器

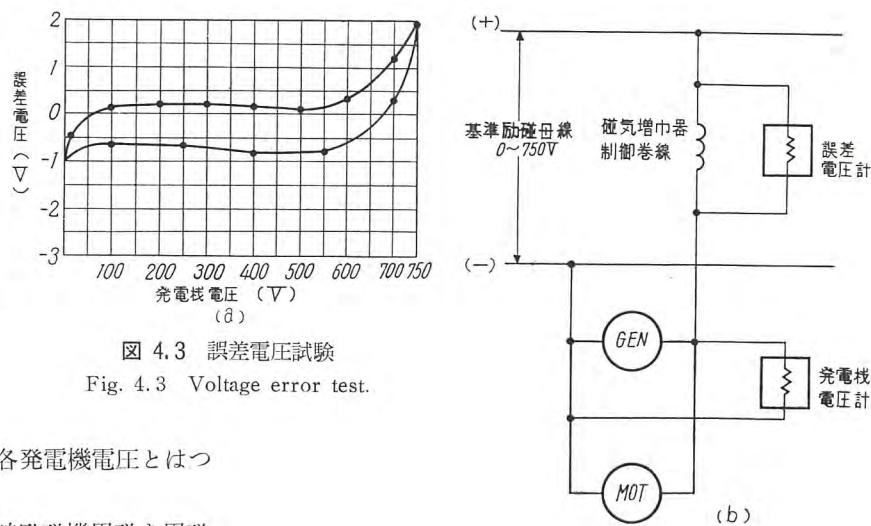


図 4.3 誤差電圧試験
Fig. 4.3 Voltage error test.

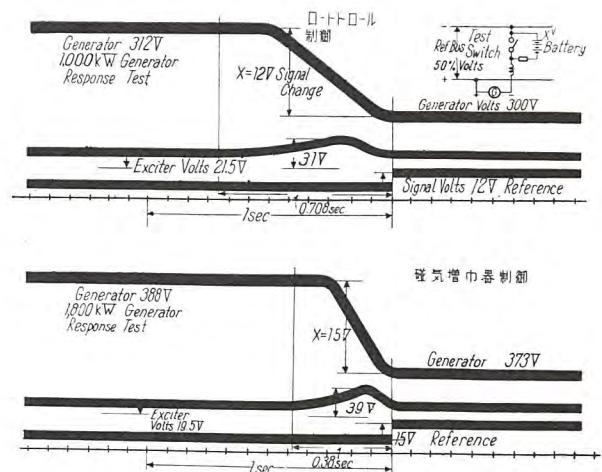


図 4.4 発電機電圧過渡特性
Fig. 4.4 Transient characteristic of generator voltage

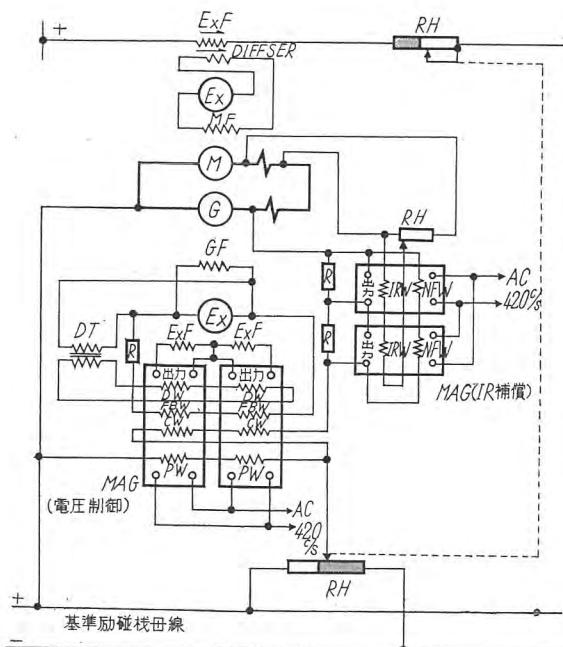


図 4.2 発電機電圧制御回路（磁気増巾器の場合）
Fig. 4.2 Generator voltage control circuit.

冷間連続圧延機用電機品・茶谷・田野・武藤

はこれにより加速電流に比例した出力を出すことになる。制御巻線には調整抵抗器 (RH) が接続され、これにより補償量の調整ができる。

図 4.3 は磁気増巾器を使用した場合の発電機制御回路の定常時の精度を示すもので、基準母線電圧を最低から全電圧まで変化させた場合、基準母線電圧と発電機端子電圧との誤差は最大 0.26% で、とくにひんぱんに使用される範囲 (100~600 V) では 0.13% 以下というきわめて良好な特性が得られた。

図 4.4 は昭和 28 年に八幡製鉄 2 冷延電機品として納入したロートトロール制御と今回の磁気増巾器制御について制御巻線による電圧の速応度を試験したオシロであって、いずれも発電機定格電圧の 1/2 電圧において約 4 % の電圧変化をあえた場合である。ロートトロールの場合には 0.7 秒、磁気増巾器の場合には 0.38 秒で回復している。速応度の点でも磁気増巾器を使用した場合のほうが急速に回復しており、安定すぐれた特性であることが実証された。

実際には電圧調整用磁気増巾器基準巻線は図 4.2 のように基準励磁母線にポテンシオメータ式に接続された調

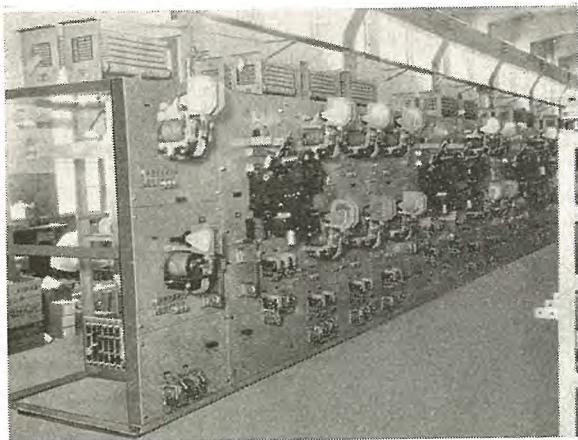


図 4.5 冷間連続圧延機用遮断器盤および主電磁接触器盤

Fig. 4.5 Circuit breaker panel for cold continuous rolling mill and main magnetic contactor panel.

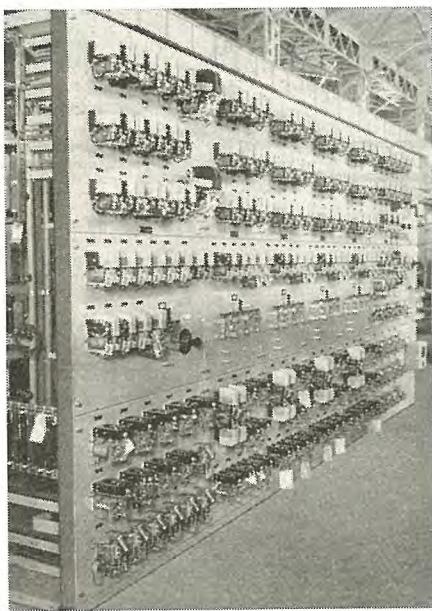


図 4.6 冷間連続圧延機用制御盤

Fig. 4.6 Control panel for cold continuous rolling mill.

整抵抗器 (RH) により励磁し、電動機励磁機界磁は定電圧電源から励磁され、直列の調整抵抗器 (RH) により調整される。

この両調整抵抗器は同軸に結合されており、各電動機の関係速度はこの調整抵抗器によりあらかじめ調整される。

一般に基準巻線には基準励磁母線と同一の電圧をあたえるように調整されるがとくに電動機の回転数を一部電圧制御によって下げる必要のある場合には基準界磁は調整抵抗により分圧された電圧で励磁することができる。

図 4.5 および図 4.6 は最近の冷間連続圧延機の制御盤を示す。

4.2 卷取電動機の制御

図 4.7 に卷取電動機の制御回路の接続を示す。卷取機の場合には圧延電動機の場合と異なり鉄板の巻取張力を一定に保つ必要がある。このため磁気増巾器により巻取機の出力を一定にするよう自動制御を行う。巻取電動機

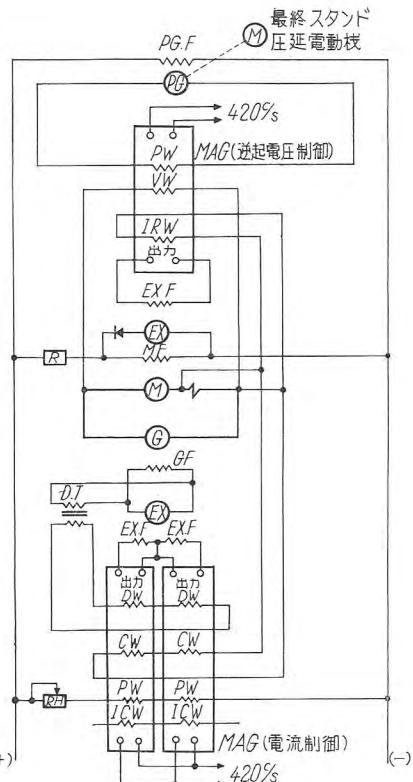


図 4.7 卷取電動機用制御接続図

Fig. 4.7 Connection diagram of control for winder motor.

の出力を一定にするためにはその負荷電流と逆起電圧の積を一定にすればよい。磁気増巾器により発電機電圧を制御して負荷電流を一定にし、巻取電動機界磁を制御して逆起電圧を一定にするように制御している。

図 4.7 において巻取発電機界磁は発電機励磁機により励磁され発電機励磁機は電流制御磁気増巾器により制御される。磁気増巾器には基準巻線 (PW), 電流巻線 (CW) があり、基準巻線は一定電圧の制御母線より励磁され、調整抵抗器 (RH) により調整できる。電流巻線は巻取電動機の補極および補償コイルの両端に接続され、負荷電流に比例した励磁があたえられる。制御巻線と基準巻線のアンペアターンを比較し、差が生ずれば磁気増巾器はその出力を変化し、発電機電圧を制御して負荷電流を一定に保つように作用する。さらに磁気増巾器には巻取機加速時の加速電流をあたえるため慣性補償巻線 (ICW) があり、安定度をあたえるために安定巻線 (DW) がある。このようにして調整抵抗器により負荷電流を所要値に調整することができる。

巻取電動機界磁は電動機励磁機により励磁され電動機励磁機は逆起電圧制御磁気増巾器により制御される。逆起電圧磁気増巾器には基準巻線 (PW), 電圧巻線 (VW), 電圧降下巻線 (IRW) があり、基準巻線は最終スタンド圧延電動機に直結されたパイロット発電機 (PG) より励磁され圧延速度の基準があたえられる。電圧巻線は巻取電動機端子電圧より励磁され、電圧降下巻線は巻取電動機の補極および補償コイルの電圧降下により巻取電動機の電圧降下に比例した励磁があたえられる。電圧巻線と電

圧降下巻線のアンペアターン差により巻取電動機の逆起電圧を検出し、基準巻線と比較し、差が生ずれば磁気増巾器により電動機界磁を制御して巻取電動機の逆起電圧を基準巻線により決定される値に保つように作用する。逆起電圧の基準は最終スタンドバイロット発電機によりあたえられるから巻取機はつねに圧延速度に同期化された巻取速度で運転することになる。

発電機用磁気増巾器は以上のように基準巻線と制御巻線とのバランスを保つように制御しているが、鋼帯の巻始めおよび破断時には巻取電動機は無負荷で運転される。この場合上記バランスが破れ発電機用磁気増巾器により負荷電流を規定値にすべく発電機電圧を上昇させる。図4.7には示されていないが、この発電機電圧の上昇をおさえ、巻込時の電動機速度を調整するため速度制限磁気増巾器が使用され発電機用磁気増巾器を制御するようになっている。

4.3 磁気増巾器

この装置に使用している磁気増巾器は自己飽和形プッシュプルまたはシングル磁気増巾器で、概略回路は図4.2に示すとおりである。動作原理、構造、回路方式などについては幾多の文献が発表されており、末尾にその2、3を掲載しているので、詳しい事項についてはそれらの文献を参照されたい。

磁気増巾器の性能は、使用している鉄心材料および整流器の特性でほとんど決定されるものといえる。とくに微小電力増巾用高性能磁気増巾器においては、く形交流ヒステリシスループで飽和磁束密度が高く、保磁力の小さいものが要求される。このためここで使用している磁気増巾器には、当社で特別に製作されているニッケル50%、鉄50%合金よりなる環状巻鉄心（商品名ハイパーロイ0）を使用し、帯状鉄心の厚みはうず電流を少なくする目的で0.05mmのものを用いている。また磁気増巾器の特性に影響する整流器としては、逆方向電流がきわめて小さくかつ正方向抵抗も小さく、劣化の少ない安定な特性をもつ当社製セレン整流器を採用している。図4.8は4.1に説明している圧延機に使用したプッシュプル磁気増巾器の静特性曲線である。プッシュプル形を採用したのは、2項で述べたとおり、加減速の時間を短縮するため、発電機界磁を急激に増減させるようプッシュプル磁気増巾器により励磁機界磁を正または負方向に強励磁する目的のためである。図4.9はこの外観写真である。

磁気増巾器の特長の一つとして応答速度の早いことがあげられるが、ここで使用してい

る磁気増巾器はいずれも交流電源に420c/sを用い、時定数は0.003～0.005秒となっている。ロートトロールを使用した場合、その時定数がほぼ0.1～0.3秒程度になると比較し、磁気増巾器の応答速度がいかに速いかといふことがわかる。

磁気増巾器は一般に直流電流増巾器として用いられるが、もちろん電圧増巾器として用いることもできる。4.1項で述べた電動機電機子電圧降下補償用磁気増巾器がこの一例である。回路、動作原理および構造などは前に述べた一般電流増巾用磁気増巾器とほ

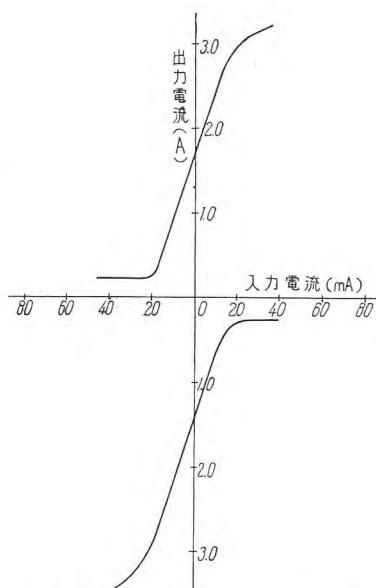


図4.8 圧延機用プッシュプル形磁気増巾器静特性曲線

Fig. 4.8 Static characteristic of push-pull type magnetic amplifier for rolling mill voltage control.

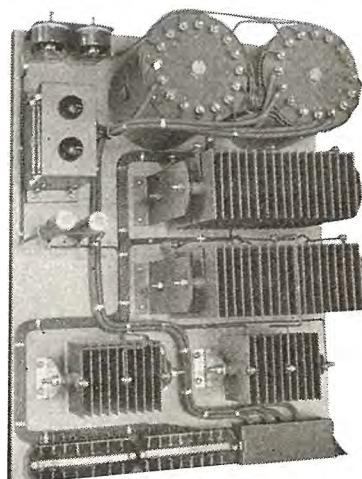


図4.9 圧延機電圧制御用プッシュプル形磁気増巾器

Fig. 4.9 Push-pull type magnetic amplifier for rolling mill voltage control.

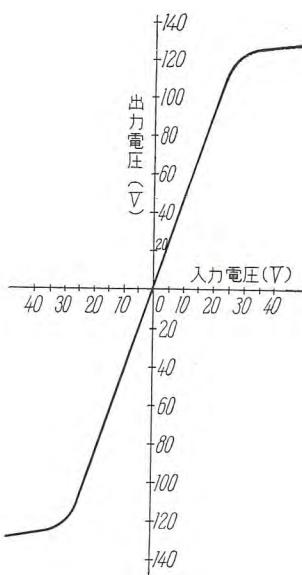


図4.10 電機子電圧降下補償用プッシュプル形磁気増巾器静特性曲線

Fig. 4.10 Static characteristic of push-pull type magnetic amplifier for armature voltage drop compensation.

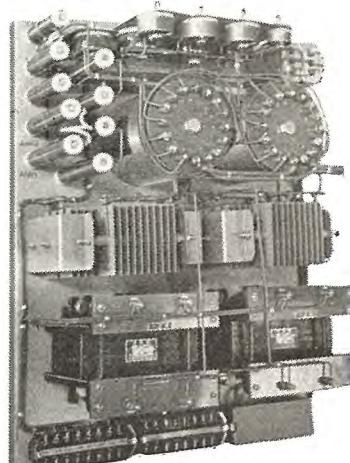


図4.11 圧延機電圧降下補償用プッシュプル形磁気増巾器

Fig. 4.11 Push-pull type magnetic amplifier for rolling mill voltage drop compensation.

とんど同一であるが、電圧降下補償用として用いる場合は、電圧増巾率よりもむしろ入力電圧対出力電圧の関係が直線的であることがとくに望ましく（この場合電圧増巾率は普通5~10倍程度でよい）、したがってここでは図4.2に示すように出力側より十分な負き還をほどこし、入力対出力電圧の直線性を得ている。図4.10は電圧降下補償用プッシュプル磁気増巾器の静特性曲線である。図4.11は同磁気増巾器の外観写真である。

最近の磁気材料および金属整流器の発達は実にめざましく、これに伴って磁気増巾器の特性も飛躍的に向上し、今日ではほとんどすべての自動制御になくてはならない存在となった。磁気増巾器はその構造がほとんど変圧器やリアクトルと同様であるため、回転増巾器や電子管増巾器にくらべ次のような特長をあげることができる。

(1) 回転部分がなく、すべて静止器よりなっているため摩耗や騒音の心配もなく、保守がきわめて容易である。

(2) 構造が強固で、振動や温度変化にもよく耐える。

(3) 電子管増巾器のようにフィラメントを加熱したり回転機の慣性に相当するものがないので始動時間がない。

(4) 入力と出力を完全に絶縁することができるので、数種類の信号を同時にしかもおののおのを絶縁して加えることができる。

5. む す び

制御方式としてはロートトロールの場合も磁気増巾器の場合もほとんど同一であるが、磁気増巾器を全面的に使用することにより制御系全体の速応度を高くし、安定

度の高い制御を行うことができた。

冷間連続圧延電機設備に要求される特性としては最終的には生産される板厚を一定にすることである。したがって連続的に板厚を測定する検出器(XRAYゲージ)によって電動機の速度または圧下量を制御するのが理想的な方式であり、米国においてはすでにこれに対する各種の方式が試みられており、特性のすぐれていることが発表⁽⁶⁾されているが、わが国においても近く実現することを期待する次第である。

参 考 文 献

- (1) 電学誌 昭和13年11月
「日本製鉄会社八幡製鉄所、戸畠新鍛力板工場の概説」
鶴田
- (2) 三菱電機 1953-11. Vol. 27.
「帶鋼冷間圧延機用電機設備」竹内・片岡.
- (3) Iron & Steel Engineer July 1954.
「Trends in Recent Cold Mill Installation」 Noble.
- (4) Iron & Steel Engineer. May 1955.
「Cold Reduction Facilities at Fairless Works」 Shedd.
- (5) Iron & Steel Engineer. July 1951.
「Acceleration Characteristics of Tandem Cold Reduction Mills」 Harris.
- (6) Iron & Steel Engineer. Aug. 1956.
「Development of Automatic Thickness Control for Tandem Cold Reduction Mills」.
- (7) Magnetic amplifiers (Wiley)
Chap. 21 H.F. STORM.
- (8) Magnetic amplifier circuit (M.G. Hill) GEYGER.
- (9) 磁気増巾器（日刊工業）茂木晃著

==== 最近登録された当社の特許および実用新案 ====

区別	名 称	特許または登録日	特許または登録番号	発明考案者	所属場所
新案	積算電力計	33-5-26	477161	山県 穆	福 山
"	誘導形計器の制動装置	"	477162	"	"
"	タイムスイッチ付モータ	"	477163	加藤義明	"
"	変圧器騒音防止装置	"	477164	谷中頼朝・西山 繁	伊 丹
"	固定子巻線素子	"	477165	松尾 昇	長 崎
"	ブラシ保持器	"	477166	杉山昌司・中村正身 内田武士	名 古 屋
"	浮囊いかだ	"	477167	尾島学二・成沢一男	世 田 谷
"	屋外用螢光灯灯器	"	477168	高島秀二・山下源一郎 田中民雄	大 船
"	インゴット鑄形	"	477169	尾島学二・矢吹真之助	世 田 谷
"	インゴット鑄形	"	477170	" · "	"
"	自動制御装置	"	477171	尾畠喜行	神 戸
特許	放電灯陰極	33-8-18	244630	久保幸正	研 究 所
"	電気機器の油槽	"	244631	小林国雄	伊 丹
"	バンドブレーキ装置	"	244632	高松茂利	福 岡
"	計器用磁石	33-8-19	244686	山県 穆	福 山
"	電磁接手制御装置	33-8-27	244840	武田英夫・平田利郎	長 崎
"	誘導電動機の速度制御装置	"	244841	阿部久康	研 究 所
"	ジーゼル電気車の弱め界磁装置	"	244842	待鳥 正・浅越泰男	伊 丹

連 続 酸 洗 設 備 用 電 機 品

神戸製作所 紙 谷 鉄 男*

Electric Equipment for Continuous Pickling Line

Kobe Works Tetsuo KAMITANI

The continuous pickling line is a device to wash steel strips coming out a hot strip mill with acid before entering a continuous cold rolling mill. On the surface of the strips just rolled are many scales, which, if not removed, impair the smoothness during the rolling process and also damage the roll. The device is, then, indispensable to the mill operation. In the post-war steel industry in Japan the rationalization is seriously considered by the mill people and the electric equipment going together with the line is also demand to give full swing to its function, Mitsubishi has built many sets of equipment, mostly using the Ward-Leonard system of d-c drive. They are possessed of many features worthy of mention.

1. まえがき

このラインは連続熱間圧延機により圧延されたストリップを連続冷間圧延機で圧延する前に必要な処理を行うものである。別名ピックリングライン (PICKLING LINE)ともいわれている。

熱間圧延機より圧延されたストリップの表面には酸化物 (スケール) があり、このスケールを除かないと冷間圧延を行ったストリップの表面の平滑性を害し、ロールの寿命を害する。このスケールを除くのが主目的である。このスケールを取るためにストリップを硫酸液で酸洗するのであるが、この方式にバッチ式酸洗と連続式酸洗の二方式がある。しかし増産という点で近年設置されるものは連続式酸洗である。

この連続式酸洗は酸洗という目的のほかに次のような操作が行われる利点を有する。(1) 熱間圧延されたストリップは弾性に欠けるためにひだ (フルーティング) を生じやすくこれを矯正することができる。(2) 熱間圧延されたストリップは長さに制限があるのでそれを溶接で継ぎ、冷間圧延用の長い連続コイルを作ることができる。(3) コイルをほどいて連続に流すためにストリップの欠陥などを検査し適宜それを取除き、塗油などの防錆操作が簡単に行われる。

この連続酸洗装置の駆動方式はほとんど直流駆動であり、しかもそれをワードレオナード方式によって制御される。コイルの溶接のためにひんぱんな起動停止が行われ、各部分の速度の同期化をとる必要があり、また材料により速度が大巾に変るので当然直流駆動のワードレオナード方式が採用される。当社は戦後このラインが輸入されるようになってからすでに5セット電機品を納入しているがその機械および電気制御の概略を述べるものである。

2. 機 械 の 概 略

このラインの機械の概略図を図2.1に示している。熱間圧延機で圧延されたコイル状のストリップはテイルタ、バギー、クレードルロールなどによりプロセッサアンコイラの所定位置に置かれ、コイルの心にマンドレルが通される。デフレクターロールでコイルを押えストリップはプロセッサに通される。この部分ではストリップは上下に数回曲げられ、ストリップ表面のスケールが起され、また多数の割目がはいるので酸タンクでの酸液の浸透が容易になり酸洗効果が高まる。ストリップはアップカットシャーでその先端が切断され、先行コイルの尾端と溶接される。一般にフラッシュバット溶接が使用され電圧は8ないし14Vで電流は1インチ平方あたり、1,500~3,000Aの電流が流される。この溶接の良否は冷間圧延で圧延する場合ストリップに非常に強い張力が掛けられるので、弱い溶接では切断するので重要な部分となっている。溶接されたストリップはフラッシュトリムマの所に移り溶接部の肉もれが除去される。この方法にカッタで切る場合とV字形のナイフの間をストリップを通して削り取る方式もあるが、時間はナイフ形が早いがカッタ式のものが多く使用されている。この作業が終ればふたたびストリップは高速で運転される。ステッチャは先行コイルと縦行コイルの継ぎを機械的なパンチで行うものである。これはこのラインで作るコイルの大きさに制限があり大体熱間圧延のコイルの3個分で1コイルとされるので4コイル目のものは溶接する必要はないので経済的なこの装置が取付けられている。これはまた万一溶接機故障の場合の非常用としての意味ももっている。継ぎ合わされたストリップはNo.1ピンチロールで送り出され入側ルーピングピットにはいる。このピットは酸洗タンクのストリップを入側には無関係に運転を続け

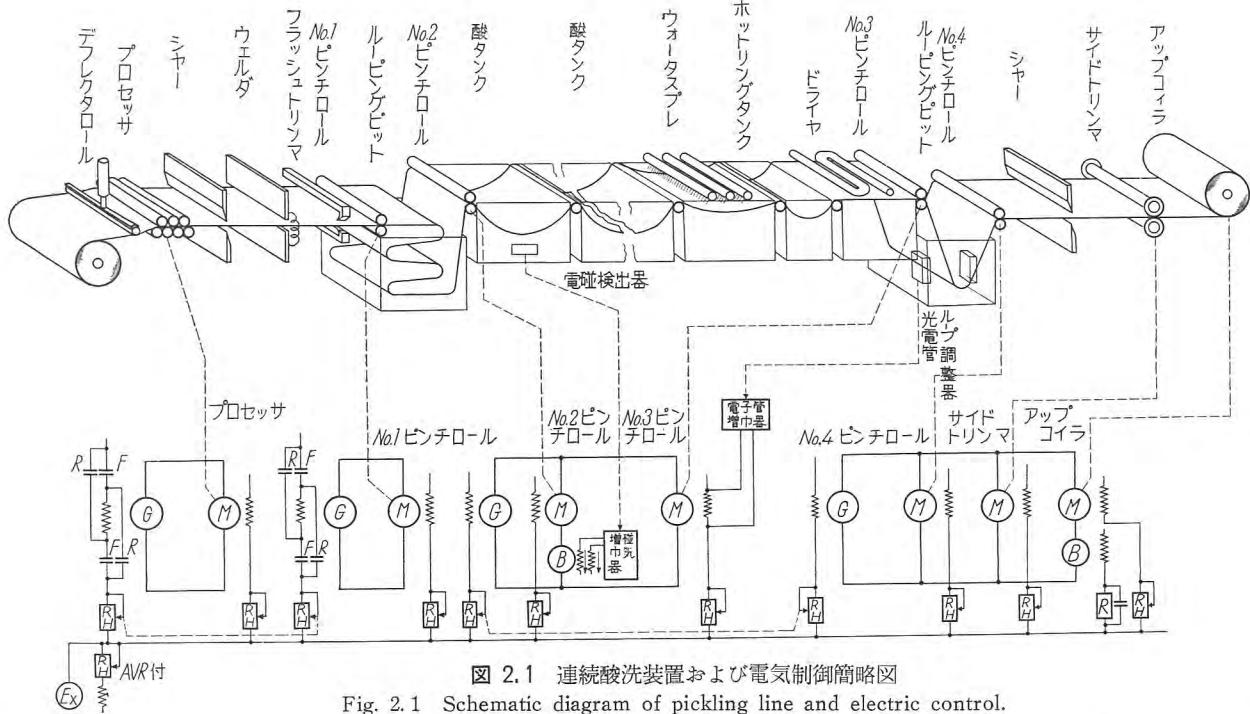


図 2.1 連続酸洗装置および電気制御簡略図
Fig. 2.1 Schematic diagram of pickling line and electric control.

することができるようストリップを蓄積するために設けられている。したがって溶接作業のために入側セクションが停止されても、ピット内のストリップが送り出されて酸洗タンクは停止せずに運転を続けることができる。つねにピット内にストリップをたくわえておくために、入側セクションの速度は酸タンクの速度の2倍ないしそれ以上の速度とされる。このピット内ではストリップは折り重なってたくわえられるので表面に傷がつかないように水が入れられている。

このピット内のストリップは No. 2 ピンチロールによって引張り上げられ酸タンク内に入れられる。酸タンクの数は速度によって決まる。タンクの温度は硫酸液の温度が高いと非常に酸洗効果が上るので大体 160~200°F くらいにされている。この酸洗液の中をストリップはループ状をなして送られるが、このループを底ずりしない程度に深くすればストリップが酸液に浸透する時間が長くなるのでストリップの速度を増すことができ、製品の増産が行われる。このために後述するループ制御を行ってこの目的を達するようにしている。この酸タンクは完全に密封されているが排気ファンでガスは逃がすようにしている。酸タンクを出たストリップはスプレイタンクで水洗され次のホットリンズタンクにはいりさらに完全な酸洗の洗落しをやり同時にストリップの温度を高め、つぎのドライヤで早く乾燥されるようにしている。ストリップは No. 3 ピンチロールで引張られ出側ルーピングピットにはいる。このピットのあるラインが多いがないものもあり、その場合には No. 4 ピンチロールがなくストリップはすぐサイドトリンマにはいる。このピットはストリップを出側シャーでせん断する時に停止して行う場合に、できるだけ酸タンクのストリップを停止させないためにこのピットとストリップをたくわえる

目的で作られていることもある。この場合にはかなり深いピットとなる。またこのピットはループをつくって、ストリップが機械の中心線に沿って送られるようにする目的で作られるが、一般にこの意味が作られるのが多く浅いピットである。出側のシャーは最近走間せん断が行われるので酸タンクのストリップは停止されないので深いピットでもよい訳である。ただしステッチャ部をせん断する時は酸洗部も停止して行われる。No. 4 ピンチロールを通ったストリップはサイドトリンマで縁切りされオイラで塗油されてアップコイラに巻取られる。所定の大きさのコイルになればストリップはシャーされ、アップコイラは停止しコイルにバインドを掛けコンベヤにけり出し次の冷間圧延機に送り出される。

3. 電気制御方式

すでに述べたようにこのラインは直流電動機で駆動され、ワードレオナード方式によって制御される。当社で多く採用している制御方式の簡略図を図 2.1 に示している。プロセッサコイラおよび No. 1 ピンチロールは

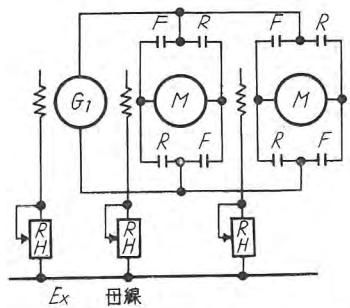


図 3.1 共通母線式による入側セクション制御方式
Fig. 3.1 Entry section control system by a common bus system.

ストリップのせん断を行う場合、また溶接作業を行う場合に両ストリップの適当な位置決めを行うためにおのおの別個にひんぱんに正逆転が行われる。プロセッサ電動機は一般にこのライン中一番容量が大きく、したがって入側セクションを図3.1のように共通母線方式で行った場合には、その正逆転のために容量の大きな接触器が必要となる。保修上からいえば好ましい方式ではなく図2.1の各個発電機方式が有利であるが、プロセッサとNo.1ピンチロールの速度の同期化という点では共通母線方式は有利である。各個発電機方式ではプロセッサ用発電機とNo.1ピンチロール用発電機の電圧調整用界磁調整器は1台の調整に組込まれ連動で操作されるが各ノッチ間の電圧を合わせるように製作される。No.2ピンチロールおよびNo.3ピンチロール用の酸タンク発電機は1台の場合もあり、おのおの専用の発電機で駆動される場合もある。このラインは全長が140ないし180mもあり、ことにその酸タンク部がその大部分を占める。しかも両ピンチロールはその両端にあるので、電動機の容量が大きくなるに従ってその配線上の費用の問題をその選定基準に入れなければならない。一応現状を説明すると電気室が1個所に設けられている場合は共通母線方式とし、発電機セットも1セットとし4台の発電機を1台の原動機で駆動している。電気室が配線上の点から入側と出側とに分割されて設置される場合は、当然発電機セットも2分割して別々の電気室に設置されるべきである。この場合にNo.2ピンチロールとNo.3ピンチロールを各個発電機方式にするか、共通母線方式にするかの問題が起る。この場合図2.1でわかるように共通母線方式の場合酸タンク内のループ制御のためにNo.2ピンチロールに昇圧機が接続されるが、発電機が別々になれば昇圧機は不要となる。

入側セクションは溶接作業のためかなりひんぱんに起動停止が行われるので、作業能率をよくするためにその加速時間を短縮することを要求される。

出側セクションのNo.4ピンチロール、サイドトリンマ、アップコイラは1台の発電機で駆動される。この出側セクションと酸タンクとは、一般に同時に起動停止されるのでその発電機の電圧調整用界磁調整器は入側と同じように1台の調整器に組込まれ連動操作される。酸タンクとの間のルーピングピットのループ調整は、光電管式ループ調整器によってNo.3ピンチロールの界磁を調整し定ループ制御を行っている。或るラインでは出側発電機を制御して定ループ制御を行わせている。出側セクション発電機でループ制御を行う場合は、アップコイラ、サイドトリンマ、No.4ピンチロールの慣性が異なるので理想的には一様に変動すべきであるのでこの点留意されなければならないが、現状ではいずれの場合でも問題なく運転されている。

出側の運転方式にはいろいろ使用者側で異なった方式を採用されているが、その代表的なものについて説明をする。アップコイラに巻かれたコイラが所定の大きさに

近づくと酸タンクおよび出側セクションは同時に減速される。所定コイルの大きさになれば低速でストリップを送りながらせん断が行われる。せん断されたストリップはそのままの速度で進み先行コイルの尾端がサイドトリンマを離れるとアップコイラは昇圧機によって高速で巻取られる。縦行コイルはそのままの速度でアップコイラに送られるので、その先端がアップコイラにはいるまでに十数秒の時間が掛るのでその間にアップコイラの運転者はコイルをアップコイラからはずしコンベヤに送り出す作業を完了し、ふたたびアップコイラを起動し縦行コイルを巻取る。再起動した時の速度は縦行コイルの速度と同じになるようになっている。コイルの先端がアップコイラにはいれば酸タンクおよび出側セクションはいつせいに加速され所定の速度で運転が続けられる。したがってステッチャ部をシャーする場合以外は酸タンク部は停止されない。

4. 酸タンクのループ調整

このラインの主目的は酸タンクでのストリップの酸洗であるからこの酸洗効果を發揮することは重要なことである。

所定の速度で十分な酸洗を行うためにストリップが硫酸液の中に浸っている時間は決まっているので、酸タンク内のループの位置が一定でなければストリップの酸洗時間は変化することになる。またそのループの位置が可能な範囲で深くされば所要時間が決まっているので酸洗速度は増速され製品の増産が可能となる。またストリップが底ずりをすると板に傷がつくことになる。したがってこのループを一定に保持する種々の制御が試みられている。当社はこのラインに対し次の三つの方式を行ったがそれについて説明を行う。

- (1) ダンサロール方式
- (2) No.3ピンチロールの負荷張力方式
- (3) 電磁検出器方式

(1) の方式による制御図を図4.1に示している。この

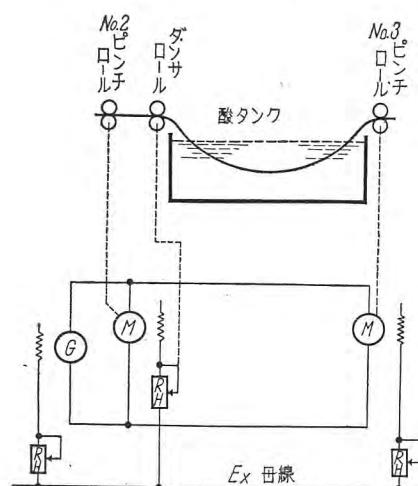


図4.1 ダンサロール方式による酸タンクループ制御
Fig. 4.1 Acid tank loop control by a dancer roll system.

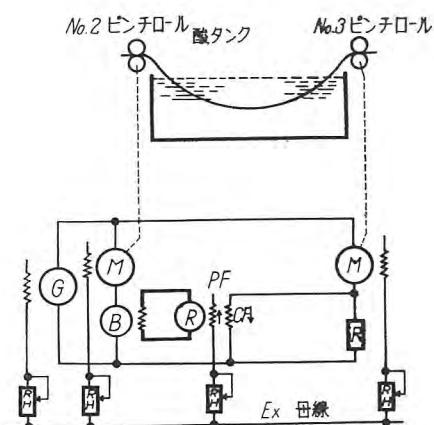


図 4.2 張力方式による酸タンクループ制御
Fig. 4.2 Acid tank loop control by a tension system.

方式はループの変動によって上下に動くダンサロールが設けられており、それに電動機の界磁調整器を機械的に結合しロールの変動によって調整器を操作し No. 2 ピンチロールの速度を調整して定ループ制御を行うものである。この方式は電気的には経済的で簡単であるので採用されているが、このラインは負荷の変動が激しくループの変動も起りやすいのでかなりひんぱんに動作する関係上機械消耗が多いのが欠点である。また電気的にも感度の調整が簡単に実行されないという不便はある。

(2) の方式による制御図を図 4.2 に示している。これはループ制御を純電気的に制御する方式であるが、酸タンクのストリップは No. 3 ピンチロールで所定のループを保つために引張っている訳であるが、ループが上るとストリップの張りが強くなるために No. 3 ピンチロールの負荷電流は増加する。したがって No. 3 ピンチロールの負荷電流の変化はループの変動に比例する。この原理を応用したものでロートトロールに基準界磁 PF と電流界磁 CF を巻いておき正常のループの位置でこの界磁が平衡を保ちロートトロールの電圧が零になるように調整しておく。No. 3 ピンチロールの電流が増すとロートトロールは電動機速度を増す方向に昇圧機を動作させ、逆の場合には電動機の速度を下げる方向に動作させる。材料によって所定ループの位置による電流値が変るが、こ

れは基準界磁 PF の調整値を変えることによっていかなる材料でも所定位置で制御することができる。この方式は純電気的で修保上の不便はないが、No. 3 ピンチロールの負荷電流はストリップの張力による要素だけでなく他の要素によっても変化するのでその点調整が非常にやっかいであるのが難点である。

(3) の方式がこの種制御としてはもっとも新しい方式でありその簡略図を図 4.3 に示している。電磁検出器についてはすでに 1958 年 5 月号で紹介されているが、この検出器の出力はストリップの位置による磁束の変化により変化する。この出力を別の基準値と比較し、その差電圧を磁気増幅器で増幅し、No. 2 ピンチロールの昇圧機界磁を制御し速度調整を行い定ループ制御を行う。また No. 2 ピンチロールと No. 3 ピンチロール電動機にバイオレット発電機を取り付けその差電圧を磁気増幅器で増幅し両者の速度の同期化をとるようにしている。この二つの作用により酸タンクのループは一定に保持される。この方式は直接ループの位置を探知する方式であるので確実な方式である。電磁検出器は耐酸処理をして酸タンクの底に取付けられる。このループの位置は指示計によって運転者に指示するようにしている。新しい設備に対してはこの方式を採用している。

5. 据助関係

このラインにはワードレオナード駆動のほかに多数の補助機械に対し電動機が使用されるが、スクラップチョッパに対し直流電動機が使用される以外は交流駆動、直流駆動といろいろ選択されている。そのうちステッチャ、アップカットシャーは作業時間を短縮するために 1 カットの時間が 2 秒程度になるような機械機構が選択される。交流駆動が値段的に安いので採用されるがその制御は複雑となる。最近のように作業時間をやかましくいわれる場合には直流駆動が制御上から望ましい。三十数台の補助電動機が使用される、ほとんど標準の誘導電動機である。

6. 当社納入設備の概略

戦後このラインが輸入されるようになってから当社は表 6.1 のように多数の電気設備を納入している。以下その設備の概略を述べる。

〔八幡製鉄納入設備〕

現在八幡製鉄戸畠工場には 1 号ラインと 2 号ラインが稼動され、近く 3 号ラインも運転される。

1 号ラインは本格的な連続ラインの最初のものである。入側セクションは 1 台の発電機で駆動されるので、プロセッサとピンチロールは電機子を切替えて正逆転を行う。酸タンクのループ制御は No. 3 ピンチロールの張力方式で行っている。このラインには酸タンクと出側セクションの間にはルーピングピットはなくしたがって図 2.1 の No. 4 ピンチロールはない。出側のせん断は走間せん断が行われるが、アップコイラの高速巻取は昇圧機を

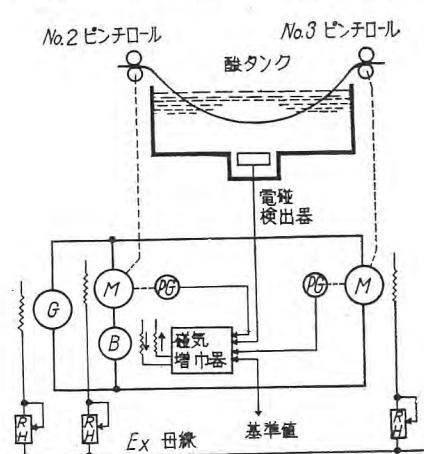


図 4.3 電磁検出器による酸タンクループ制御
Fig. 4.3 Acid tank loop control with a magnetic detector.

表 6.1 納入機器一覧表

(a) 八幡製鉄 107 cm (42 in) ピックリングライン

入側速度 236 m/min
出側速度 45.5/116 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)	駆動発電機
プロセッサ	300	220	850/1,065	G ₁
#1 ピンチロール	75	"	"	G ₁
#2 ピンチロール	60	"	"	G ₂
#3 ピンチロール	75	"	"	G ₂
サイドトリソマ	50	"	"	G ₃
アップコイラ	75	"	"	G ₃

発電機セット

G₁ 300 kW DC 220 V 1200 rpmG₂ 150 kW "G₃ 125 kW "

同上駆動同期電動機 800 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

(b) 八幡製鉄ピックリングライン (2号ライン)

入側速度 303 m/min 板巾 127 cm (50 in)
出側速度 150 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)	駆動発電機
プロセッサアンコイラ	250	220	850/1,065	G ₁
プロセッサ	500	440	"	G ₂
プロセッサドラグ	75 kW	440	"	G ₂
#1 ピンチロール	100 kW	220	"	G ₃
#2 ピンチロール	100 kW	"	"	G ₃
#3 ピンチロール	30	"	"	G ₄
サイドトリソマ	50	"	"	G ₄
アップコイラ	100	"	"	G ₄

発電機セット

G₁ 220 kW 220 V 900 rpmG₂ 500 kW 440 V "G₃ 220 kW 220 V "G₄ 150 kW 220 V "

同上駆動同期電動機 1,600 HP 3,300 V 60 c/s 900 rpm

(c) 八幡製鉄 203 cm (80in) ピックリングライン (3号ライン)

入側速度 150 m/min
出側速度 61 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)	駆動発電機
プロセッサンコイラ	800	600	850/1,065	G ₁
#1 ピンチロール	100	220	"	G ₂
#2 ピンチロール	100	"	"	G ₃
#3 ピンチロール	100	"	"	G ₃
#4 ピンチロール	50	"	"	G ₄
サイドトリソマ(将来増設)	75	"	"	G ₄
アップコイラ	75	"	"	G ₄

発電機セット

G₁ 650 kW 600 V 900 rpmG₂ 85 kW 220 V "G₃ 170 kW 220 V "G₄ 170 kW 220 V "

同上駆動同期電動機 1,600 HP 3,300 V 60 c/s 900 rpm

(d) 広畠製鉄 137 cm (54in) ピックリングライン (1号ライン)

入側速度 238 m/min
出側速度 91 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)	駆動発電機
プロセッサンコイラ	250	220	690/1,000	G ₁
ステッチャピンチロール	60	"	1,150/1,440	G ₂
エントリーピンチロール	60	"	"	G ₃
ブリシングピンチロール	100	"	"	G ₃
シャーピンチロール	30	"	"	G ₄
サイドトリソマ	30	"	"	G ₄
リコイラ	50	"	"	G ₄

発電機セット

G₁ 250 kW 220 V 1,170 rpmG₂ 50 kW "

同上駆動誘導電動機 450 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

G₃ 150 kW 220 V 1,170 rpmG₄ 100 kW 220 V "

同上駆動誘導電動機 400 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

連続酸洗設備用電機品・紙谷

(e) 広畠製鉄ピックリングライン (2号ライン)

入側速度 100 m/min 板巾 100 cm (75 in)

出側速度 33 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)	駆動発電機
アソコイラ	250	220	850/1,280	G ₁
#1 ピンチロール	90	"	1,150/1,440	G ₂
#2 ピンチロール	90	"	"	G ₃
#3 ピンチロール	100	"	"	G ₃
#4 ピンチロール	50	"	"	G ₄
サイドトリソマ	30	"	"	G ₄
アップコイラ	60	"	"	G ₄

発電機セット

G₁ 210 kW 220 VG₂ 80 kW 220 V

同上駆動誘導電動機 450 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

G₃ 165 kW 220 VG₄ 125 kW 220 V

同上駆動誘導電動機 450 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

(f) 川崎製鉄 137 cm (50 in) ピックリングライン

入側速度 425 m/min

出側速度 182 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)	駆動発電機
アソコイラ	15 kW 2台	220	70/210	G ₁
ピンチロールおよびレベラ	200	"	515/865	G ₁
#1 ピンチロール	75	"	1,150/1,440	G ₁
#2 ピンチロール	50	"	"	G ₂
#3 ピンチロール	125	"	"	G ₂
スケールブレーカ	200 HP 2台	"	400/800	G ₃
#4 ピンチロール	100	"	1,150/1,440	G ₃
#5 ピンチロール	100	"	"	G ₄
#6 ピンチロール	75	"	"	G ₅
サイドトリソマ	100	"	"	G ₅
アップコイラ	100	"	690/1,035	G ₅

発電機セット

G₁ 250 kW 220 V 1,000 rpmG₂ 150 kW 220 V 1,000 rpmG₃ 420 kW 220 V 1,000 rpm

同上駆動同期電動機 1,200 HP 3,300 V 50 c/s 1,000 rpm

G₄ 85 kW 220 V 980 rpmG₅ 240 kW 220 V 980 rpm

同上駆動誘導電動機 570 HP 3,300 V 50 c/s 1,000 rpm

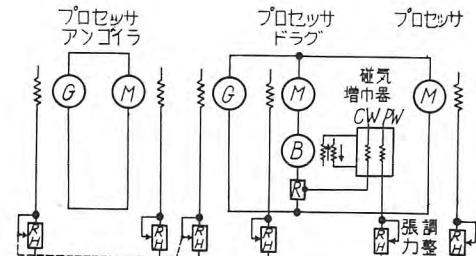


図 6.1 入側セクション制御簡略図

Fig. 6.1 Schematic diagram of entry section control.

使用せず電動機界磁によって行い昇圧機は使用していない。発電機は酸タンク、出側セクションに1台ずつ使用される。2号ラインは入側セクションは図6.1のようになっている。プロセッサドラグロールがありこのロールとプロセッサ間のストリップに一定の張力を掛けておくためにドラグロールの電動機は発電機として動作し、その制動電流を磁気増圧器によってつねに一定になるように制御している。各個発電機方式で制御される。酸タンクおよび出側セクションは図2.1とまったく同様であり、酸タンクのループは電磁検出器により、また出側の

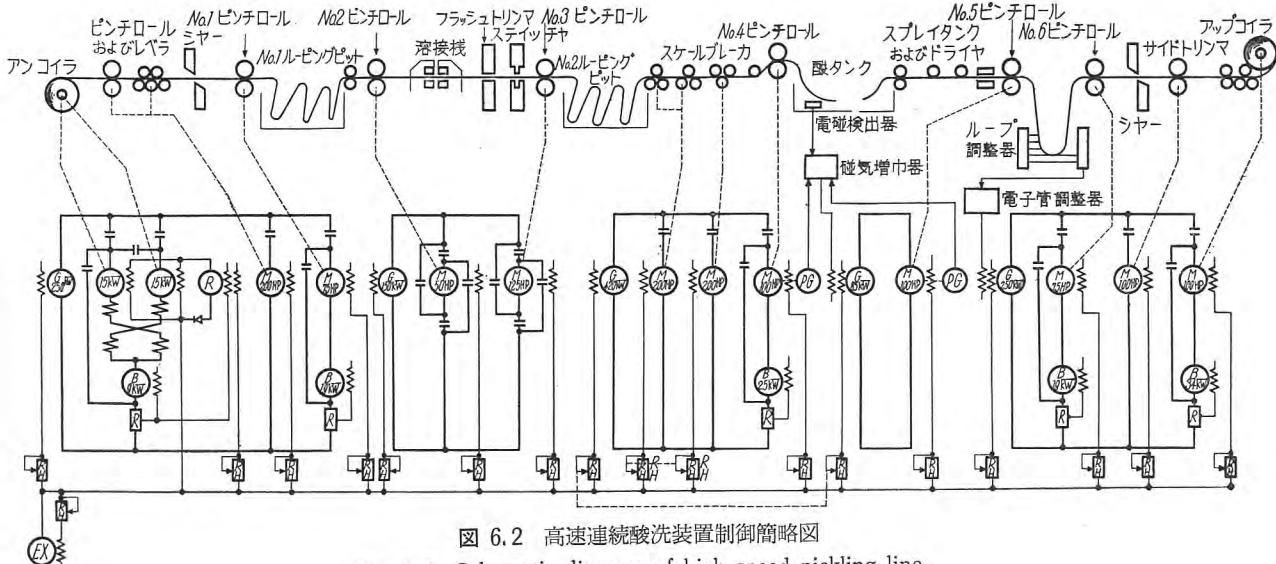


図 6.2 高速連続酸洗装置制御簡略図

Fig. 6.2 Schematic diagram of high speed pickling line.

ループは光電管式ループ調整器によって制御される。

3号ラインは図2.1の制御方式とまったく同様である。

〔広畠製鉄納入設備〕

1号ラインは入側は各個発電機方式である。酸タンクも1台の発電機で駆動されるが、酸タンクのループ調整はダンサロール方式が採用されエントリーピンチロールには昇圧機は使用されていない。出側セクションでのせん断はストリップを停止して行い、アップコイラの高速巻取は電動機の界磁制御によって行っている。出側ループは光電管継電器によってプリングピンチロールを制御することにより定ループ制御を行っている。電気室は出側と入側の2箇所に設けられている。したがって発電機セットは2セットにされている。

2号ラインは1号とほとんど同じであるが、出側ループのループ調整は光電管式ループ調整器を使用し、アップコイラの高速巻取は昇圧機を使用し出側のせん断は走間せん断を行う制御方式となっている。

〔川崎製鉄納入設備〕

このラインは本邦最高速のものでありその概略図ならびに制御の簡略図を図6.2に示している。入側セクションは他のラインに比し構造は複雑となっており、シャーと溶接機の間にルーピングピットがあり、入側の溶接作業の時間が短縮される構造となっている。したがってピンチロールレベルとNo.1ピンチロールのセクションとNo.2ピンチロールとNo.3ピンチロールのセクションとは全然別個に運転できる制御方式となっている。酸タンクの発電機は配線上の点から2台の発電機で制御している。ストリップは酸タンクにはいる前にさらにスケルブレーカに掛けられ酸洗効果を増すようにされている。酸タンクのループ調整は他のラインでは入側のピンチロールの速度制御によって定ループ制御を行っているが、このラインは入側のスケルブレーカなどが大きな慣性を有するので、入側の速度を基準としNo.5ピンチロール

を制御する方式としている。出側ループのループ調整は光電管式ループ調整器を使用しその出力で出側発電機を制御し出側セクションの速度制御によって定ループ制御を行っている。このループはせん断時出側を停止しても酸タンクのストリップは停止させないために深いピットとされている。再起動する場合にはループを正規のループとするためにループがもとの位置に復帰するまで一時的に出側の速度を212m/minまで増速するようになっている。もとの位置になれば自動的に182m/minとなり酸タンクの速度と同期化する。しかしせん断時の酸タンクの速度は低速に減速される。高速巻取はアップコイラの昇圧機によって行われる。電気室は出側と入側の2箇所に設置されしたがって発電機セットも表6.1のように2セットにされ別々の電気室に設置されている。図に示すようにこのラインは高速するためにストリップの加速特性を考慮し昇圧機を必要な部分に使用している。アンコイラはこのラインに対しては電動機駆動とされており、電動機は発電機として動作しピンチロールレベル間のストリップに張力を持たすようにされている。この調整はロートトロールにより電動機界磁を制御することによって行われる。このアンコイラはコーン形であり両側に1台ずつ電動機が取付けられ、この2台の電動機の直巻界磁を交叉接続し両電動機の負荷平衡制御を行わしている。

7. む す び

このラインの電気制御はループ制御の問題を除けばむずかしい制御方式は採用されておらず説明したような普通のレオナード方式が広く採用されている。このラインは板が厚くまた板の形状に不同が多くしたがって負荷変動が絶えずひんぱんに起るので、将来さらに高速のラインが製作されるとすればループ制御各部分の負荷平衡などの制御は次第にむずかしくなり複雑化するものと考えられる。一応現状の概略を説明した次第である。

連続せん断設備用電機品

神戸製作所 紙谷鉄男*・香川重光*

Electric Equipment for Shearing Line

Kobe Works Tetsuo KAMITANI・Shigemitsu KAGAWA

To rewind coiled steel strip and shear it into a definite length in a continued process, the shearing line is a device to answer the purpose. Usually it operates at a speed of 300 mpm from the viewpoint of mechanical construction and of the error of shearing dimensions. Its electrical control is mostly of the Ward-Leonard system instead of using complicated circuits. Generally, a loop is used so as to facilitate the coincidence of the center of the strip to that of the machine, and this loop brings problems in the control. Mitsubishi, however, has much experience in the electric equipment for the shear line, and the latest products have been much improved in comparison with the early ones, having the stability and high speed together.

1. まえがき

連続せん断設備 (Shearing Line) はコイル状のストリップを巻もどし、連続に定尺せん断しシートにする装置である。一般にこのシャーラインは機械の構造上また定尺せん断誤差の点で、大体 300 m/min 以下の速度で運転されるので、その電気制御としては複雑な制御回路は使用されず、普通のワードレオナード制御方式で運転されている。

一般にこのラインにはストリップの中心を機械の中心に合わせやすくするためにループが使用されるので、このループ制御が制御上の問題となる点である。当社はこの数年来多数のシャーラインに対する電気設備を納入している。最近の自動制御は長足の進歩をとげ、当社の電気制御も最初のものに比べれば改善され、高速のものでも安定に運転されているが、ここにその概略を述べるものである。

2. 機械設備

熱間あるいは調質圧延機からのストリップを定尺にせん断するのであるが機械としては、フライングシャー方式とアップカットシャー方式の 2 方式がある。フライングシャーは上刃と下刃がつねに所定の関係速度で回転してせん断するものであり、アップカットシャーはせん断時だけ下刃が上に上ってせん断するものである。フライングシャーはシャードラムの回転に制限があり、300 m/min 以上の速度を出すことはできないとされている。アップカットシャー方式のものはフライングシャーでは長尺のシートを同一寸法でせん断することが困難であるので、長尺シートの場合に多く使用される。

フライングシャー方式のものの構造の一例として八幡製鉄納入のシャーラインについて概略を述べる。機械配置は図 3.3 に示すようで、冷間圧延工場から送られてき

たストリップはコイルホールダとピンチロールによって一定の張力を与えつつ巻もどされる。ピンチロールとサイドトリンマ、サイドトリンマとシャーとの間にはループをもたせてあり、それぞれループ調整装置により一定のループに保つように電動機の速度を制御する。サイドトリンマにより両側の縁を切断して所定の巾に仕上げたストリップは、ゲージスタンドで板厚を測定し、レベラで鋼板の曲りぐせを矯正した後、ハルデンシャーで所定の長さにせん断される。長さの設定は歯車の組合せを変えることにより上刃および下刃の回転数を変えて行わるので、電動機の回転数の変動などによって長さの精度が悪くなることはない。

切断された鋼板は一連のベルトコンベヤによって、バイラ（堆積機）まで送られるが、その途中でレベラによる矯正とオイリングマシンにより防錆のための塗油が行われる。リジェクトバイラには不合格の鋼板が投入されるが、そのリジェクトゲートの操作は X 線ゲージにより検出された規格はずれの板がゲートに達した時に自動的に行われ、また検査員が不良板と判断した際には手動でも行われる。合格した鋼板だけが No.1 プライムバイラあるいは No.2 プライムバイラに交互に積重ねられる。各バイラで投出された鋼板が安定にしかも散乱することなく積重ねられるように、終端のコンベヤにはマグネットロールおよび多数のマグネットが装置され、またプロワで空気を吹付けるようになっている。予定の枚数だけ積重ねられた鋼板は搬出用のコンベヤで横のほうへ運び出される。

アップカットシャー方式は一例として図 3.5 のような構造のものである。この図ではループがないが、図 3.4 のようにループのついたものもある。シャーはゲージヘッドにストリップの先端があたると自動的に起動されてせん断し、せん断が完了すれば停止する。したがってゲージヘッドの位置によってシートの長さは決まり、しか

* 技術部

もその長さはつねに一定になる。せん断が完了するとゲージヘッドが上り、ゲージテーブルは或る期間だけ高速にされ、次にせん断される鋼板との間に間隔をつくるようしている。

3. 電気設備

シャーラインの機械構造の相違によりその制御方式も当然異なるが、二、三の例をあげその概略を説明する。

3.1 図3.1の方式（メスタ社製）

このラインは当社が最初に八幡製鉄に2セット納入したものである。ペイオフリールから送り出されたストリップはルーピングピットでループを作られ、サイドトリンマで縁切りされ、レベラで矯正され定尺にせん断されてパイラに送られる。これらが1台の発電機でワードレオナード制御される。ルーピングピットのループは一定のループになるように光電管式ループ調整器によって制御される。したがってそのためにはペイオフ電動機の速度はコ

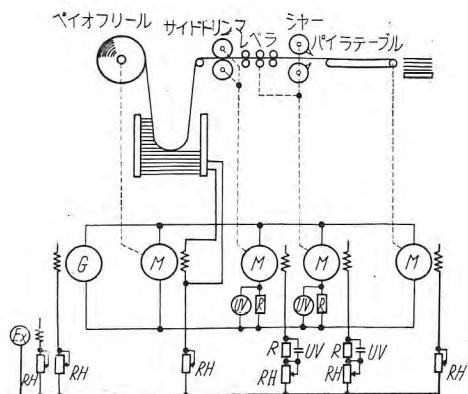


図3.1 フライイングシャーライン（メスタ社製）

Fig. 3.1 Flying shear line.

表3.1(a) 八幡製鉄シャーライン設備 (1号ライン)
速度 150 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)
ペイオフリール	15/20	220	575/2,300
サイドトリンマ	50	"	1,150/1,725
シャーレベラ	75	"	690/1,035
バイラテーブル	3	"	300/600
スクラップボーラ	30	"	400/1,200

注 スクラップボーラは定電圧駆動である。

可変電圧直流電源 1-70 kW 220 V 970 rpm
定電圧励磁機 1-30 kW " "
同上 駆動用誘導電動機 1-175 HP 3,000 V 50 c/s 6 P

表3.1(b) 八幡製鉄シャーライン設備 (2号ライン)
速度 150 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)
ペイオフリール	20/25	220	625/2,500
サイドトリンマ	20	"	1,150/1,725
シャーレベラ	60	"	690/1,035
バイラテーブル	3	"	300/600
スクラップボーラ	30	"	400/1,200

注 スクラップボーラは定電圧駆動である。

可変電圧直流電源 1-70 kW 220 V 1,450 rpm
" 1-23 kW " "
定電圧励磁機 1-30 kW " "
同上 駆動用誘導電動機 1-200 HP 3,000 V 50 c/s 4 P

イル径に応じて制御されなければならないが、光電管式ループ調整器で界磁制御することにより目的を達している。サイドトリンマとシャーは機械的慣性が加減速時に同一の加減速率を持たなければその間のストリップにたるみを生ずる。この方式としては電流継電器を使用し加速電流を界磁制御によって調整しその目的を達するようしている。現在から考えると調整器も進歩しており不満足な点もあるが当時としては、光で広範囲の速度制御を行った点画期的な制御方式であった。同方式の2号ラインはペイオフリール専用の発電機で駆動されている。表3.1にその主要機器を記載した。

3.2 図3.2の方式 (ウイーン社製)

このラインはウイーン社製のシャーラインで、当社はこの形式のものを富士製鉄広畠に2セット、淀川製鋼に1セット納入している。このラインはサイドトリンマとシャーの間にループがある点で図3.1のものと異なっている。またバイラが良い製品のバイラと悪い製品のそれと別々になっており、ゲートでその振分を行っている。

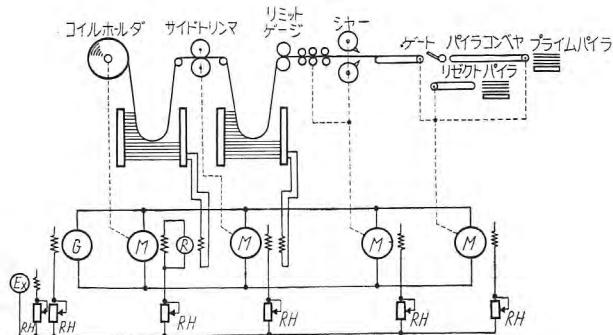


図3.2 フライイングシャーライン (ウイーン社製)

Fig. 3.2 Flying shear line.

表3.2(a) 富士製鉄広畠シャーライン設備 2セット
速度 91 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)
コイルホールダ	20	220	300/1,200
サイドトリンマ	20	"	1,150/1,725
ハルデンシャー	75	"	575/1,150
ベルトコンベヤ	10	"	850/1,700
バイラコンベヤ	10	"	850/1,700
スクラップボーラ	25	"	850/1,700

注 スクラップボーラは定電圧駆動である。2セットに対し1台である。

発電機セット
可変電圧電源 1-100 kW 220 V 1,170 rpm
同上 駆動用誘導電動機 150 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

表3.2(b) 淀川製鋼 シャーライン設備

速度 110 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)
コイルホールダ	20	220	300/1,200
サイドトリンマ	20	"	1,150/1,725
ハルデンシャー	75	"	575/1,150
ベルトコンベヤ	10	"	850/1,700
バイラコンベヤ	15	"	850/1,700
スクラップボーラ	25	"	850/1,750

注 スクラップボーラは定電圧駆動である。

発電機セット
可変電圧電源直流発電機 1-100 kW 220 V 1,170 rpm
同上 駆動用誘導電動機 1-150 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

厚み計がシャーの前に取付けられているが、これはフライングマイクロ形式のもので、規格はずれのものは信号を出すようになっている。板厚は2個の車輪の間に通して直接測定されるものであり機械的なものであるが、現在ではX線式のものがほとんど使用され、しかもゲートの操作はこの厚み計によって自動選別される新しい自動制御が採用され、測定器の進歩を痛感させられる。その主要機器の一覧表を表3.2に示した。

3.3 八幡製鉄 1.3 m (50 in) シャーライン

この設備は最近八幡製鉄に設置された高速のシャーラインで最新の制御方式が採用されている。コイルホールダからパイラに至るおもな機械設備は、図3.3および表3.3に示したような2群のワードレオナード制御直流電動機によって駆動される。第一群の発電機電圧によりシャーの速度が決まりそれを基準にして2組の光電管式ループ調整器によってサイドトリンマ、ピンチロール、およびコイルホールダの昇圧機電圧を制御して速度制御を行なう。コイルホールダは発電機として動作し、ピンチロールとの間のストリップに後面張力を掛け、たるみなしにストリップを送るようにされている。しかもコイル径のいかんにかかわらずその張力はつねに一定に保たれる

表 3.3 八幡製鉄 1.3 m (50 in) シャーライン設備
速度 250 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)
コイルホールダ	30	220	400/1,630
ピンチロール	40	220	1,150/1,440
サイドトリンマ	30	220	1,150/1,440
ハルデンシャー	125	220	690/1,200
コンベヤ	10×8台	220	1,150/1,750
コンベヤ	15×2台	220	1,150/1,750
コンベヤ	5×3台	220	500/2,000
レベラ	60	220	1,150/1,750

発電機セット
可変電圧電源直流発電機 1-190 kW 220 V 1,180 rpm
" 1-170 kW 220 V 1,180 rpm
同上 駆動用誘導電動機 1-600 HP 3,300 V 1,180 rpm

ように張力調整が行われ、60 c/s、二段増巾の磁気増巾器を使用してコイルホールダの界磁制御により目的を達している。

加速中(減速中)にはコイルホールダおよびコイルの慣性により、余分の張力が掛かるので張力設定用の基準量を減少(増加)させて、張力の変動を補償するようになっている。

切断された鋼板を運搬するための一連のコンベヤは、14台の直流電動機で駆動されるが、この第2群用の発電機電圧は第1群のそれと一致するように、運動の電動操作界磁調整器が使用されている。各電動機は他の電動機が運転中にでも起動停止ができるように定電圧用起動器を備えている。各パイラには積重ねられたシートの枚数を示すための計数器が設けられ、枚数を指示するとともにその接点でゲートの開閉およびラインの停止、非常停止などを選択的に行なうようにされている。終端のコンベヤに使用されているマグネットロールおよびマグネットは直流で励磁され、選択スイッチと界磁調整器により鋼板の堆積状態を調整される。

上記の直流設備の他に補助の誘導電動機が約30個および電磁弁が16個使用されており、それらが作業員の意のままに操作されるように各操作盤上に制御スイッチが配置されている。

3.4 八幡製鉄ホットフィニッシングライン

この設備は熱間圧延機で圧延されたストリップを従つて厚い板を定尺にせん断する設備である。図3.4に示すようにこのラインはフライングシャーをする場合とアップカットシャーをする場合の二方式ができるようになっている。フライングシャーでの運転は前項の1.3 m シャーラインの場合と同様である。このシャーラインでは長尺のシートをフライングシャーでせん断するので、最初のせん断が任意の位置で行われると一つのコイル状のス

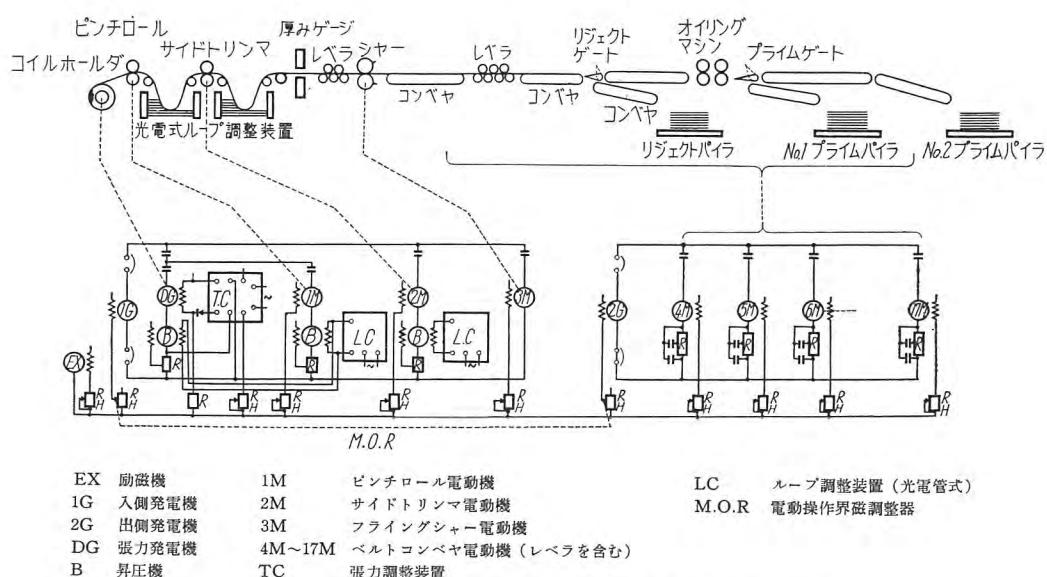


図 3.3 1.3 M (50 in) シャーライン概略図および制御簡略図

Fig. 3.3 Schematic diagram of 1.3 M shear line and control.

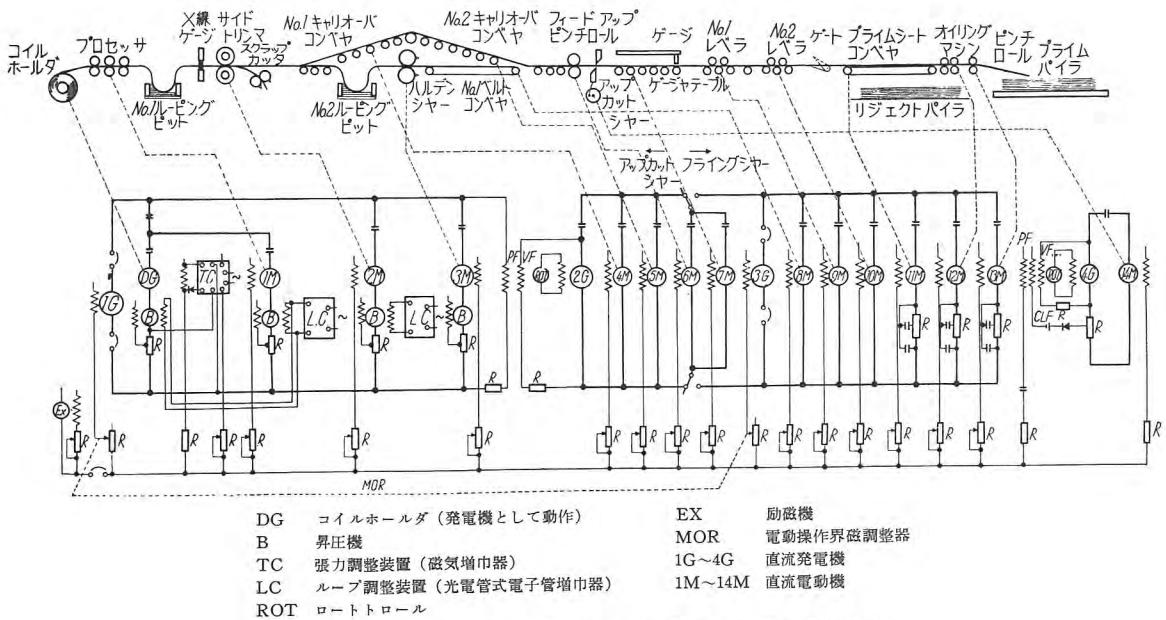


図 3.4 ホットフィニッシングライン概略図および制御簡略図

Fig. 3.4 Schematic diagram of hot finishing line and control.

トリップから作れるシートの枚数が少なくなる。そのため一つのコイルをせん断する場合、いつでも最初のせん断がコイルの先端の近くで行われるようにする自動化装置が取付けられている。制御回路図で示すようにこのフライティングシャーの時にはフィードアップピンチロールおよびゲージャーテーブルは、出側の発電機で駆動される。ただしフィードアップピンチロールの上ロールは上げられ、ただシートを通すだけである。シートコンベヤ関係の制御は 1.3 m シャーと同じである。

アップカットシャーの場合は No. 1 キャリオーバ、No. 2 キャリオーバコンベヤが使用される。そしてゲージャーテーブルおよびフィードアップピンチロールとともに 2G によって駆動される。2G の電圧はロートトロールによって 1G の電圧に追従するようにしている。すなわち No. 1 および No. 2 キャリオーバコンベヤ、フィードアップピンチロールおよびゲージャーテーブルの速度をサイドトリンマ以下速度と同期させ板に傷を付けないようにしている。この同期化制御で 2G を設けているのは製作途中に機械の仕様が変り、アップカットシャー方式が追加されたためであり、最初からこの二方式兼用の仕様であれば 2G を設けないで制御が可能であるので、この点将来この種機械の制御を行う場合に考慮する必要がある。アップカットシャーは定電圧駆動も考えられるが、ひんぱんに動作するのでワードレオナード方式とし、加減速を急速に行い、しかも電流制限を考慮してロートトロール制御とした。

アップカットシャーの場合、縁切りされたストリップはキャリオーバコンベヤを通りフィードアップピンチロールを通して所定寸法の位置におかれたゲージヘッドに進み、それに取付けられた制限開閉器により自動的にストリップの送り速度は減速され、ゲージヘッドに当ると

表 3.4 八幡製鉄ホットフィニッシャーライン機器一覧表
速度 120 m/min

機 器 名	馬力 (HP)	電 圧 (V)	回 転 数 (rpm)
コイルホールダ	40	440	400/1,400
プロセッサー・アンコイラ	250	440	575/1,150
サイドトリンマ	100	440	575/1,150
ハルデンシャー	250	440	575/1,150
No. 1 キャリオーバコンベヤ	20	220	650/1,200
No. 2 "	20	220	650/1,250
フィードアップピンチロール	20	220	650/1,250
ゲージャーテーブル	20	220	650/1,250
No. 1 ベルトコンベヤ	20	220	650/1,200
No. 1 レベル	60	220	575/1,150
No. 2 レベル	150	220	575/1,150
ピンチロール	20	220	650/1,200
プライムシートコンベヤ	20	220	650/1,200
オイリングマシン	10	220	650/1,200
アップカットシャー	100	220	485
スクラップカッタ	25	220	650/1,950

注 スクラップカッタは定電圧駆動である。

発電機セット	
1 台	520 kW 440 V 入側駆動用
1 台	240 kW 220 V 出側 "
同上駆動誘導電動機	1,100 HP 3,300 V 60 c/s 900 rpm
1 台	75 kW 220 V キャリオーバコンベヤ用
1 台	100 kW 220 V アップカットシャー用
同上駆動誘導電動機	260 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

停止する。シャーが自動的に起動せん断を行い、せん断が完了すればゲージヘッドは上げられ、せん断されたシートおよびストリップは再起動され、一時的にゲージャーテーブルの速度は所定の帶鋼速度に増速されシートとの間に間隔をおくようになる。時限继電器によりシートと送り出されるストリップの先端との間にふたたびゲージヘッドが下り同じ動作を繰返す。主要機器の一覧表を表 3.4 に示している。

このアップカットシャー方式と同形式のものを数年前に富士製鉄広畠に納入している。この配置図は図 3.5 の

表 3.5
富士製鉄(広畠) ホットシャーライン
速度 120 m/min

適用	容量	電圧(V)	回転数(rpm)
フィードリール	1- 30 kW	230	300/1,200
プロセッサ	1-150 HP	220	690/1,200
サイドトリンマ	1- 50 HP	"	1,150/1,440
レベラ	1- 75 HP	"	1,150/1,440
テーブル	1- 5 HP	"	1,600/2,000
ピンチロール	1- 5 HP	"	1,400/1,800
ゲージテーブル	1- 5 HP	"	1,600/2,000
スクラップ チョッパ	1- 15 HP	220	725/1,450
アップカット シャー	1- 50 HP	"	550
ゲージヘッド ストップ	1-7.5 HP	"	900

可変電圧直流発電機
1-250 kW 220 V 900 rpm
同上駆動用同期電動機
1-400 HP 3,300 V 60 c/s 900 rpm

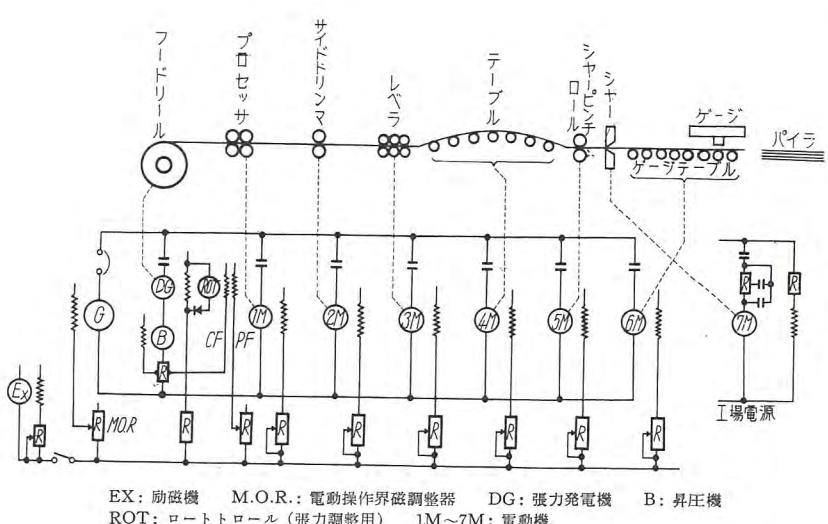


図 3.5 ホットシャーライン概略図および制御簡略図
Fig. 3.5 Schematic diagram of hot shear line and control.

表 3.6(a) 日亜製鋼向 フライングシャーライン
速度 70 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)
プロセシングアンコイラ	200	220	420/1,050
サイドトリンマ	25	220	650/1,950
フライングシャー	75	220	800/1,200

発電機セット
1 台 200 kW 220 V 1,180 rpm
同上駆動誘導電動機 300 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

表 3.6(b) 八幡製鉄 205 m (80 in) シャーライン
速度 91 m/min

機器名	馬力(HP)	電圧(V)	回転数(rpm)
コイルホールダ	25	220	400/1,600
ピンチロール	30	220	850/1,700
サイドトリンマ	25	220	1,150/1,725
スクラップボーラ	25	220	850/1,700
ハルデンシャー	100	220	575/740
ベルトコンベヤ	10	220	1,150/1,750
ロークーレベラ	60	220	575/1,150
ベルトコンベヤ	10	220	1,150/1,725
プライムシートコンベヤ	10	220	1,150/1,725
オイリングマシン	10	220	1,150/1,725

注 スクラップボーラは定電圧駆動である。

発電機セット
1 台 160 kW 220 V 1,170 rpm
1 台 90 kW 220 V 1,170 rpm
同上駆動誘導電動機 370 HP 3,300 V 60 c/s 1,200 rpm

とおりであるが、このラインではループ制御ではなく各電動機の速度を手動で同期化するように調整して操作して

いる。この場合のアップカットシャーは定電圧駆動方式で行っている。主要機器の一覧表を表 3.5 に示している。このラインの概略図で 1.3 m シャーラインの場合も同様であるが、図 3.1, 3.2 のものととくに相違しているのは、コイルホールダの速度制御である。図 3.1 あるいは図 3.2 の場合には光電管式ループ調整器によりコイルホールダのコイル径の変化による速度制御が行われるが、このラインあるいは 1.3 m シャーの場合にはピンチロールがあるためにこのループ調整器はピンチロールの速度を一定にするように制御すればよいので、ループ制御としては電気的には制御しやすい機械的構造となっている。

以上のほか近く運転されるものとして八幡製鉄向 2.05 m (80 in) シャーラインと日亜製鋼向シャーラインがあるが、その機器一覧表だけを表 3.6 に示している。

4. むすび

当社がこの数年来各社に納入したシャーラインの電気設備の概略を述べたが、種々の経験を積み、制御上の改良を加え、このラインとしては最高速と思われるものも安定に運転させている。また次第に測定器も発達し、制御に応用されており、このライン一つを見てもこの数年における自動制御の長足の進歩の一端がうかがえると思う。

連続電気めっき装置

神戸製作所 紙 谷 鉄 男*

Electrolitic Tinning Line

Kobe Works Tetsuo KAMITANI

The electrolytic tinning line has made a great stride in post-war America, and several sets have been imported to Japan in past decade. This device is superior to the old hot dipping equipment in the economy of tin and is drawing attention of mill operators. In general the processing line of steel mill apparatus has been turned to very high speed lately, accompanying the automatization of the control of high precision. This tinning line is the typical one and diversified electrical techniques are involved in its operation. The line is of three types and the one imported is a Ferrostan type. In connection with this type, Mitsubishi supplied to the Yawata Steel Mill a number of electric apparatus.

1. まえがき

薄鋼板に純すずのめっきを施したものをブリキ板と呼ばれているが、すでに知られているように耐食性および加工性において他の材料の追随を許さない利点があり、食品缶詰などに非常に多く使用されている。従来ブリキ板はホットディップによって製作されていたが、電気めっきブリキ板が1937年に米国で生産され、ことに第2次大戦によりすず資源節約が叫ばれこの項に説明するような薄めっき板にもっとも適する連続式電気すずめっきが非常に発達した。わが国にも近年八幡製鉄を中心としてこの種機械が輸入され現在稼動されているが、製鉄のプロセスラインとしては各面の電気技術が応用され興味ある問題を含んでいるので、その概略を説明するものである。当社はこの電気設備に対しては、八幡製鉄、広畑製鉄に設置された3ラインに対し、大电流直流発電機、レフロ用ヒータ変圧器、同制御用リアクタ、交流補助電動機ならびにその制御装置を納入した。直流駆動の制御装置、種々のめっき調製装置は米国クラークおよびリライアンス社より輸入されたものであるが、当社納入品の特性は調整器との関連があり仕様連絡を行い製作したものである。

2. 機械の概略

電気めっきは薄めっき作業が行われるということが非常に特長であり、ホットディップで行う場合の数分の1であり、すずが高価なものであるために電気めっきは重要視される。またすず付着量の制御が容易に行われ、ホットディップのようなめっき量のバラツキがなくまたストリップ状のままめっき表面を電気化学処理を行い耐食性などを高めることができ容易に行われ、すべての処理工程が連続して行われるので大量生産に適している。

現在行われている方式には下記3方式がある。

- (1) アルカリライン (ALKALI LINE)
 - (2) フェロスタンライン (FERROSTAN LINE)
 - (3) ハロゲンライン (HALOGEN LINE)
- (1) の方式は速度は 303 m/min まであり (2) の方式は 380 m/min でそれ以上の場合は (3) の方式が採用され速度は 760 m/min まで行われている。(1) と (2) の方式はストリップがめっき部で垂直に送られるので VERTICAL LINE とも呼ばれ、(3) はストリップが水平に送られるので HORIZONTAL LINE とも呼ばれている。現在わが国に設置されているものは (2) のフェロスタン形のものであるので、このラインについてだけ説明を行う。

この形式の概略構造図を図2.1に示している。コイル準備ライン（後述）より規定厚みのしかも所定巾に縁切りされたコイル状のストリップが、2台のコイルホールダに取付けられる。ピンチロールまでの入側セクションでの作業は1コイルの送り出しが完了すれば次のコイルにシームウェルダで溶接して交互に送り出すのがおもな作業である。このラインではめっき部にはいったストリップは停止すると良好なめっき板とならないので停止することができない。溶接作業のため入側セクションは停止されなければならないが、その間めっき槽を停止しないようにルーピングピットを作りその中にコイルをたくわえておき、入側セクションを停止した時のめっき槽へのストリップを供給するようにしている。この深さは入側セクションの加減時間、溶接時間に関係するが、それを浅くするためにその時間の短縮が要求される。コイルホールダ、シャーが2台取付けられているのも、溶接の作業時間を短縮するためのものである。溶接が完了すればふたたびピンチロールにより、ルーピングピット内にストリップは送り込まれるが、ピット内のループ量が所定量になるまではめっきセクションの速度より入側セクションの速度は高くされ所定量になれば自動的に同期速

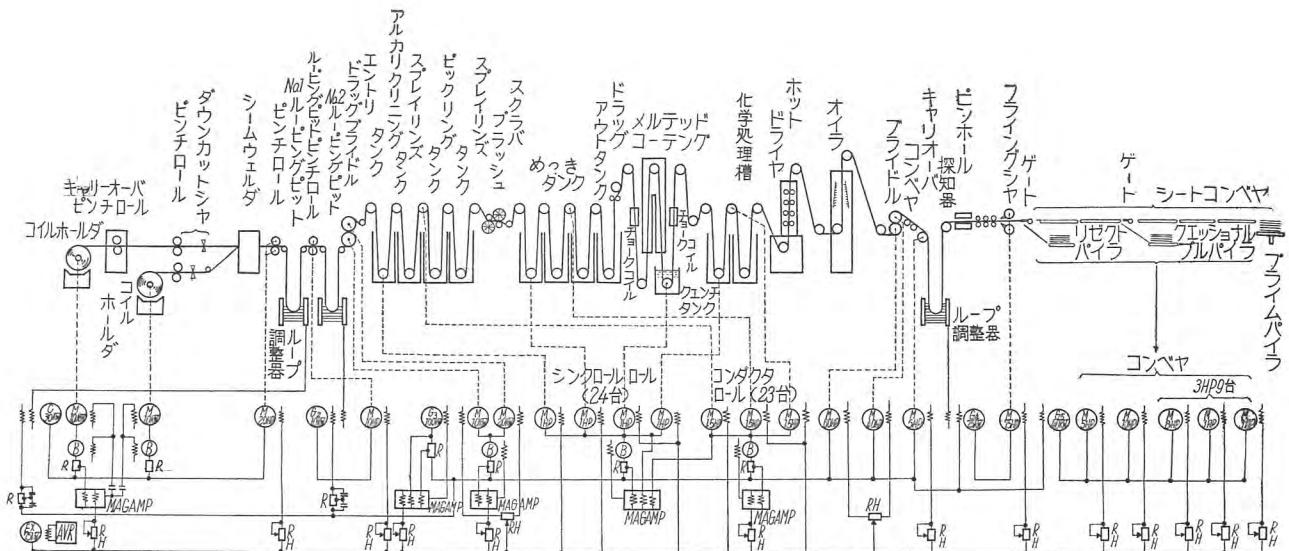


図 2.1 連続電気すずめっき装置および制御簡略図

Fig. 2.1 Schematic diagram of continuous electric tinning equipment and control.

度になる。

めっきセクションではストリップは出側のプライドルで引張られ、入側のプライドルの電動機は発電機として作用しストリップに張力を掛け、ストリップがたるみなしに各部を通過するようにされている。ストリップは狭い電極間を通過して行くので電極の短絡を防止するためにも、またストリップが長いラインの中心線をはずれずに通過して行くためにも必要なことである。入側のプライドルを通過したストリップはアルカリタンクでアルカリクリーニングされ水洗タンクで洗浄され次にピックリングタンクで酸洗されふたたび水洗いされる。めっき板はとくに板の清浄が要求され、この2個のタンクでストリップに付着したオイル、グリース、スケールならびにさびなどが化学処理され除去される。ストリップの速度が高いのでこの操作を迅速に行いその機構のスペースを小さくするために電気清浄が行われ、両者ともに16,000A程度の電流が流される。清浄されたストリップはめっきタンクにはいり図3.1のような機械ですすめっきされる。めっき液の主成分は SnSO_4 と H_2SO_4 でこれに数種の添加剤が加えられたものである。タンクはすべてゴム張りされ絶縁されている。タンク数は速度によって異なるが、当社の関係したラインでは60,000Aの電流が流れ電圧は6ないし15Vである。ドラッグアウトタンクでは薄い電解液でめっき板を洗いストリップ表面にある濃厚電解液を回収される。めっきタンクでの電着すずは微粒状でストリップに対する付着も弱く光沢もないで、ストリップを加熱しすず層だけを溶かし均一に広がらせ、クエンチタンクで冷却して光沢のあるめっき板とする。これをメルテッドコーティング(MELTED COATING)あるいはレフローイング(REFLOWING)と称している。フェロスタン形のものは、ストリップに直接電流を流しストリップの抵抗損失によって加熱する方式が採用されている。2,000kVAの変圧器が使用され二次電圧は180~12Vに調整される。ここまでで完全なめっき板となった訳であるが、耐食性をもたらすために化学

処理タンクにはいる。このタンクではめっき板が陽極処理と陰極処理が電気的に行われ、めっき板にクロームなどの耐食性物質の薄い層をつくり、また酸化すずを取除くための処理が行われる。この部分での電流は陽極処理で3,000A、陰極処理で400A程度の電流が流される。その後ストリップは乾燥されオイラで少量の油が塗られるが、これは静電塗油方式が採用されている。

ストリップはフライングシャーで定尺にせん断される。このセクションでは良い製品と悪い製品が種々の測定器によって探知され、自動的に選別され所定のパイラに積重ねられる。フライングシャーでのせん断は速度が1,000 FPM以上となると不可能であり、その場合には巻取機を設置しコイル状に巻取り、別のせん断機でせん断される。

3. 電気制御方式

このラインの電気制御の一例を図2.1に示している。このラインは機械配置図からわかるように、下記の3個の部分に分けられる。

- (1) 入側セクション
 - (2) めっき処理セクション
 - (3) シャーおよびパイラセクション
- 以下各セクションにつき簡単に説明を述べる。

3.1 入側セクション

このラインの入側セクションには溶接作業に要する時間を短縮するために2台のコイルホールダが取付けられおののおの専用の電動機で駆動される。1台のコイルホールダが運転中に他のコイルホールダにコイルを入れ、先端をせん断しピンチロールで溶接機の近くまで送り込む作業を行うが、その準備運転は電動機の昇圧機によって行われる。このストリップはピンチロールによって引張られルーピングピットに送り込まれるが、その間のストリップはたるみなく送り出される必要があるので、コイルホールダの電動機は発電機として動作しストリップに後面張力を掛けるが、この後面張力を一定にするために

磁気増巾器によって電動機の界磁を制御し電動機の制動電流を一定になるように制御している。この入側セクションは単独に起動停止するために専用の発電機でレオナード制御されるが、その速度を自動的にめっきセクションの速度に同期化させるために主界磁はめっきセクションの発電機の電圧によって励磁される。すでに述べたように入側セクションは1コイルごとに溶接のために停止されるので、めっきセクションを停止しないで運転を続けるためにその間にルーピングピットが設けられる。このルーピングピット内のループの位置はつねに一定に保持する必要があり、光電管式ループ調整器によって入側セクションの発電機のループ制御界磁を制御し定ループ制御を行う。主界磁をめっきセクションの発電機電圧で励磁するだけでは完全な両セクションの速度の同期化は行われないが、このループ制御界磁によって精密な速度同期を行うことができる。ループは2個所にあり#1ルーピングピットのループがなくなるとルーピングピットピンチロールが停止し#2ルーピングピットのループのストリップが送り出される。溶接が完了すると入側セクションは再起動されるが、ループの深さが所定の位置になるまで入側セクションの速度はめっきセクションより20~30%高速にされ、ループが所定の深さになれば同じ速度となり運転が続けられる。この高速運転はピット内の光電管継電器によって発電機のループ制御界磁を段階的に制御して行われる。ルーピングピットのピンチロールも専用の発電機で駆動されるが、この界磁も光電管式ループ調整器によって制御される。この入側セクションの起動停止は時間継電器を使用し、段階的に電圧を上昇させて起動する方式が採用されている。

ルーピングピットの深さに制限がある場合には、溶接作業中めっきセクションは中間速度くらいまでつねに減速される制御方式も行われている。しかし電気めっきタンクの項で述べるように自動的に電流調整が行われ製品には影響ないようにはされているあまり低速にすることはできない。

3.2 めっきセクション

このラインの中核部をなすセクションである。後述するめっきタンクならびにメルテッドコーティングの制御上の点からこのセクションのストリップは定速度で運転されることが望ましいので、このセクション発電機の電圧は負荷のいかんにかかわらず定電圧になるように磁気増巾器によって制御される。このセクションでの速度変動率は1~0.5%といわれており、基準速度となる出側ブライドルに取付けたバイロット発電機により出側ブライドルの速度が一定になるようにセクション発電機を制御する方式が採用されている場合もあり、その方式のほうが精度の高い速度制御が行われるが、当社の関係したラインでは定電圧制御による速度制御方式で運転されている。

このセクションのストリップは出側ブライドルで引張り入側ブライドルの電動機は発電機として作動し、その間のストリップに張力をたもつようにしている。この張力制御は入側ブライドルの昇圧機界磁を磁気増巾器で制

御し、そのトルクを一定にするように制御している。この張力を保持することの必要な理由は、すでに述べたようにストリップが狭い電極間を通って行くのでたるみにより電極を短絡することを防止すること、コンダクタロールで非常に高い密度の電流をストリップに流すために強い圧力をストリップとコンダクタロール間に掛けておかないとスパークを生ずる懸念があること、ストリップの中心線が機械の中心線からはずれることによるものである。図2.1に示すようにコンダクタロールおよびシンクロールに対しては、ほとんど各ロールごとに直流電動機を取付け駆動するヘルパドライブ方式が採用されている。古いラインではロールはストリップで駆動され電動機は使用されていなかったが、速度が高くなるとロールとストリップ間にすべりを生じやすく新しい設備では図のように多数のヘルパ電動機が使用されるようになっている。図に示すようにシンクロールとコンダクタロールは2分割されおののおのに昇圧機を取り付け、コンダクタロール用昇圧機は磁気増巾器によりヘルパ電動機のトルク調整を行い、そのトルクは適宜調整可能になるようにされている。シンクロールは同様に磁気増巾器で制御されるが、ヘルパ電動機に掛かる電圧をコンダクタロールの昇圧機電圧に比例するように制御し自動的にトルク調整をするようにされている。

3.3 シャーおよびパイラセクション

図に示すようにシャーおよびパイラはおののおの専用の発電機によって駆動される。これはシャーされたストリップはコンベヤで一定の間隔をおいて送られなければならないが、その間隔を任意に調整する場合に調整が簡単に行われるからである。このセクションの制御としては、ストリップが所定の間隔をおいて送られることに留意すべきであり、したがって各コンベヤの速度が同期化する必要があるが、一般に負荷変動が少くないのでほとんど速度の変動はなく図に示すような簡単なレオナード制御で実用上なんら支障なく運転されている。この速度はめっきセクションの速度と自動的に同期化するためにその主界磁をめっきセクションの発電機電圧によって励磁し、両セクション間のループを所定値に保持するために光電管式ループ調整器を使用し、その出力でシャー発電機のループ制御界磁を制御し定ループ制御を行ふとともに完全なる同期速度をとるようにしている。すでに述べたようにパイラは3個所にあり完全に不良の製品はリゼクトパイラに、再検査を要するものはクエッショナブルパイラに、良好な製品はプライムパイラに積重ねられる。リゼクトパイラのゲートはX線厚み計、 β 線ピンホール探知器により自動的に開閉されリゼクトパイラにおとされるようになっている。プライムパイラの枚数は電子管計数器で所要枚数だけ積み重ねられ、所要枚数になればクエッショナブルパイラのゲートを開いてシートをクエッショナブルパイラにおとし、運転者が所要枚数になった時に必要な操作を行う時間をあたえるようにしている。このコンベヤには多数のドラッグマグネットが取付けられ、高速で流れているシートがおどらない

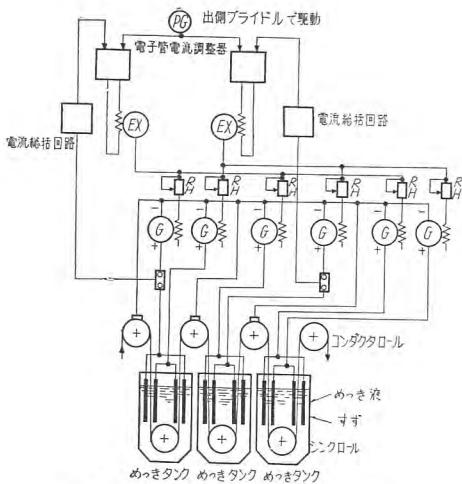


図 3.1 めっきタンク制御簡略図

Fig. 3.1 Schematic diagram of plating tank control.

ようにされている。

3.4 電気めっきタンク

図 3.1 に電気めっき制御の簡略図を示している。タンクに挿入されたすず電極とストリップ間に電流を流してストリップの表面にすずめっきをする。所定量のすずをストリップに電着させる場合の必要な電流の式は下記のとおりである。

全電流(A)=

$$\text{ストリップ巾(cm)} \times \text{kg/BB} \times \text{ストリップ速度(m/min)} \times K$$

めっき能率

K: 定数

上式において BB は BASE BOX の略号でめっき板の 217.78 平方フィート (19.6 平方メートル) の大きさを表わす。めっき能率は設置されたラインによって異なるものと考えられるが、タンクの新しい間は 98% くらい出るといわれている。この式によって了解されるようにめっき量を一定にするにはもし速度が一定であれば当然所要電流は一定でなければならない。速度が変化してもそれに比例して電流が変化すればそのめっき量は一定となる。そのめっき量によって速度と電流の関係値を調節しておき、速度を基準として電流を調整するような調整器を使用すれば一定のめっき量が速度のいかんにかかわらず保持される。この原理によってめっき用大電流発電機を制御する方式が採用されている。図に示すようにストリップは裏表めっきされなければならないので 4 個のすず電極が入れられその間をストリップが通ってめっきされる。表面めっき用発電機と裏面めっき用発電機が別々に取付けられ、その通電電流がおのおの別個に調整されるようになっているので裏表めっき量の違うめっきを行うこともできる。これは食料用缶詰のように内側を厚く外側を薄くめっきしたブリキ板を製作する場合に必要であり、DIFFERENTIAL COATING と呼ばれている。発電機は全部負極側は共通に接続されおのおののコンダクターロールに接続されるが、その接続部は電動機の整流子部と同じようにブラシによって通電される。正極側はおのおのすず極に接続されるが、表側発電機の界磁およ

び裏側発電機の界磁はそれぞれ並列に接続され各別個の励磁機で励磁される。各発電機は単独にも調整されるよう調整器が取付けられている。この励磁機の界磁を電子管電流調整器によって制御し、速度に応じた電流値になるように制御する。この調整器は磁気増幅器で移相制御するサイラトロンを使用したものであるが、ストリップ速度の基準として出側ブライドルで駆動されるパイロット発電機の電圧と電流要素としての分流器の電圧とを比較しその差入力で磁気増幅器を動作させて移相制御を行う。各発電機の分流器の電圧は電流総括回路で 1 個の制御要素として動作するようにされている。

3.5 アルカリクリーニングおよびピックリングタンク

このタンクの構造はめっきタンクと同様でありコンダクターロールに接するストリップと電極間に電流を流す。

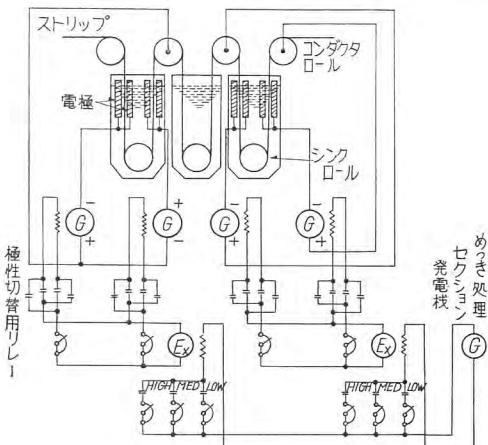


図 3.2 アルカリクリーニングおよびピックリング制御簡略図

Fig. 3.2 Schematic diagram of alkali cleaning and pickling control.

この制御簡略図を図 3.2 に示す。この電流値は電気めっきのような精度の高い電流調整は不要であり各専用の励磁機界磁を手動で調整し電流調整を行う。アルカリクリーニングの電流はストリップ速度に比例して電流を変化させるためにその励磁機界磁をめっきセクション発電機の電圧によって励磁をしている。またコイルホールダのコイルが替るごとにその極性を切替えるようにしている。ピックリングの電流はアルカリクリーニングほど速度に比例して電流を変える必要はないといわれているが、図では同じ方式を採用している。この極性切替えは自動的に行わざ運転者が手動で任意に切替えている。すべての大電流発電機に共通したことであるが、停止時の残留電圧を少なくすることが必要である。ストリップが張ったままで停止することが望ましいが時々たるものがありその場合ストリップが極と接した場合の短絡電流を少なくするために必要なことである。

3.6 化学処理タンク

すでに述べたようにこのタンクでめっき板の耐食性の処理が電気的に行われるが、この構造もめっきタンクと同一である。陰極処理用発電機と陽極処理用発電機があり、陰極処理の場合の電流制御は精密な電流制御は行われないが、陽極処理の場合電流は少ないがめっきタン

クで述べたと同様に電子管電流調整器によって精密に電流調整が行われる。これはめっきされたすずがふたたびめっき板から遊離する可能性があるためである。

3.7 メルテッドコーティング

この部分でめっき板は光沢のある板とされる。この制御方式を図3.3に示している。フェロスタンタイプのものでは図のようにストリップに直接電流を流しその I^2R 損失によって加熱される方式が採用される。めっき板はレフロタワーの中を通るが、このタワーは保温を考慮した構造となっており、下部の2個のコンダクタロール間に変圧器の二次電圧が加えられストリップに電流を流す。図に示すように接地ロールとコンダクタロールの間にシリコンスティールの積層されたチョークコイルが取付けられ接地電流を制限するようにされている。このメルテッドコーティングの制御はケンチタンクにはいる時のストリップの温度がストリップの速度のいかんにかかわらずつねに所定値に保持されることが必要である。その関係を保つために必要な変圧器の二次電圧とストリップの速度の関係は次式となる。

$$K \frac{V}{A\sqrt{v}} = T$$

K : 定数 V : 変圧器二次電圧 v : ストリップ速度
 T : ストリップ温度 A : ストリップの断面積

したがってストリップの速度に対し変圧器の二次電圧

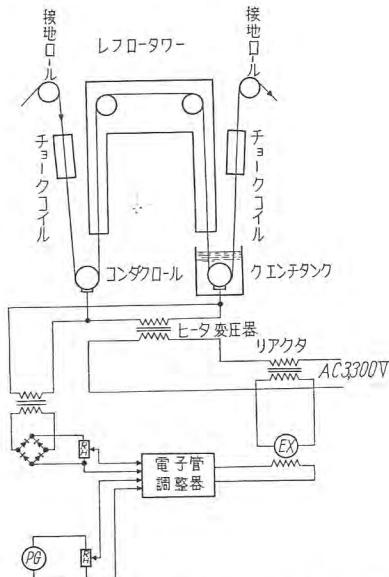


図3.3 メルテッドコーティング制御簡略図

Fig. 3.3 Schematic diagram of melted coating control.

を制御する場合に速度の基準となるブライドルに取付けたパイロット発電機の電圧が速度に対し2乗特性で電圧を発生させ、そのパイロット発電機に比例した電圧にヒータ変圧器の二次電圧がなるよう制御されれば、速度のいかんにかかわらずストリップ温度は一定に保持されることになる。ヒータ変圧器の一次電圧は3.3kVでありそれを飽和リアクトルによって制御されるが、その飽和リアクトルの直流励磁巻線用励磁機を電子管調整器に

よって制御する。この調整器も磁気増幅器により位相制御されるサイラトロンであるが、速度に対する2乗特性を有するパイロット発電機の電圧とヒータ変圧器の二次電圧が比較されその差電圧により磁気増幅器が動作し制御される。図はただその動作説明の簡略図であるが、ヒータ変圧器は1,000 kVA 2台よりなり、リアクタも1,000 kVA 2台よりなり、それが並列に接続され2,000 kVAとして動作する。

4. 当社納入電機品

すでに述べたようにこのラインに対する直流電動機ならびに制御装置、各種調整器ならびに測定器具はすべて輸入され、当社では別表のような主要機器を納入した。そのほかに約50台(44.5ないし0.74 kW)近い補助交流電動機ならびに制御装置、高圧メタクラ配電盤を納入した。主要機器の特性、補助交流電動機の制御で直流制御と関連のある回路はクラーク社と仕様を打合わせ、クラーク社製作の調整器の特性に合致するようにしている。交流補助電動機は耐食性といふことも考えられるが、標準の誘導電動機で広く使用されている。このラインで

表4.1 八幡製鉄 No. 1 電気すずめっき

					1 セット
アルカリクリーニング用発電機セット					
2 台	180 kW	24 V	7,500 A	60 c/s	600 rpm
同上駆動同期電動機		650 HP	3,300 V		
ピックリング用発電機セット				1 セット	
2 台	112.5 kW	15 V	7,500 A	60 c/s	600 rpm
同上駆動同期電動機		450 HP	3,300 V		
電気めっき用発電機セット			2 セット		
4 台	112.5 kW	15 V	7,500 A	60 c/s	600 rpm
同上駆動同期電動機		900 HP	3,300 V		
化学処理用発電機セット			1 セット		
1 台	54 kW	18 V	3,000 A		
1 台	3.2 kW	8 V	400 A		
同上駆動誘導電動機		110 HP	3,300 V	60 c/s	600 rpm
メルテッドコーティング用ヒータ変圧器					
2 台	1,000 kVA		3,300/180 V	60 c/s	単相
2 台 同上リアクタ	1,000 kVA		2,300/1,150 V	60 c/s	単相
定周波定電圧発電機セット					
1 台	10 kW	200 V	60 c/s		単相
1 台	25 kW	110 V	60 c/s		単相
同上駆動直流電動機		50 HP	DC 220 V		1,800 rpm
同上駆動誘導電動機セット					
1 台 発電機	45 kW	DC 220 V			
同上駆動誘導電動機		75 HP	200 V	60 c/s	1,800 rpm

表4.2 富士製鉄(広畠) 電気すずめっき

					1 セット
アルカリクリーニング用発電機セット					
2 台	180 kW	24 V	7,500 A	60 c/s	450 rpm
同上駆動同期電動機		650 HP	3,300 V		
ピックリング用発電機セット			1 セット		
2 台	112.5 kW	15 V	7,500 A	60 s/r	450 rpm
同上駆動同期電動機		450 HP	3,300 V		
電気めっき用発電機セット			3 セット		
4 台	60 kW	15 V	4,000 A	60 c/s	600 rpm
同上駆動同期電動機		450 HP	3,300 V		
電気めっき用発電機セット			2 セット		
2 台	60 kW	15 V	4,000 A	60 c/s	600 rpm
同上駆動同期電動機		250 HP	3,300 V		
ディフェレンシャルマーキング発電機セット			1 セット		
1 台	40.5 kW	27 V	1,500 A	3,300 V	60 c/s 900 rpm
同上駆動誘導電動機		80 HP			
化学処理用発電機セット			1 セット		
1 台	54 kW	18 V	3,000 A		
1 台	3.2 kW	8 V	400 A		
同上駆動誘導電動機		110 HP	3,300 V	60 c/s	900 rpm
メルテッドコーティング用ヒータ変圧器					
2 台	1,000 kVA	3,300/180 V	60 c/s		単相
2 台 同上リアクタ	1,000 kVA	2,300/1,150 V	60 c/s		単相
定周波定電圧発電機セット					
1 台	11 kW	220 V	60 c/s		三相 1,800 rpm
1 台	11 kW	220 V	60 c/s		三相 1,800 rpm
1 台	24 kW	110 V	60 c/f		单相 1,800 rpm
同上駆動直流電動機		60 HP	220 V		1,800 rpm
同上駆動誘導電動機セット					
1 台 励磁機	3 kW	DC 220 V			
1 台 直流発電機	50 kW	DC 220 V			1,750 rpm
同上駆動誘導電動機	80 HP	3,300 V	60 c/s		1,800 rpm

表 4.3 八幡製鉄 No. 2 電気すずめっき

すず回収発電機セット		1 セット			
1 台	48 kW	16 V	3,000 A		
同上駆動誘導電動機	90 HP	200 V	60 c/s	900 rpm	
メルテッドコーティング用ヒータ					
2 台	1,000 kVA	3300/180 V	単相		
2 台 同上用リアクタ	1,000 kVA	2,300/1,150 V	60 c/s	単相	
定周波定電圧発電機セット					
1 台	11 kVA	200 V	60 c/s	単相	
1 台	11 kVA	200 V	60 c/s	三相	
1 台	24 kVA	110 V	60 c/s	単相	
同上駆動直流電動機	60 HP	220 V		1,800 rpm	
同上用発電機セット					
1 台	発電機	50 kW	DC 220 V		
1 台	励磁機	3 kW	DC 220 V		
同上駆動誘導電動機	90 HP	200 V		1,800 rpm	

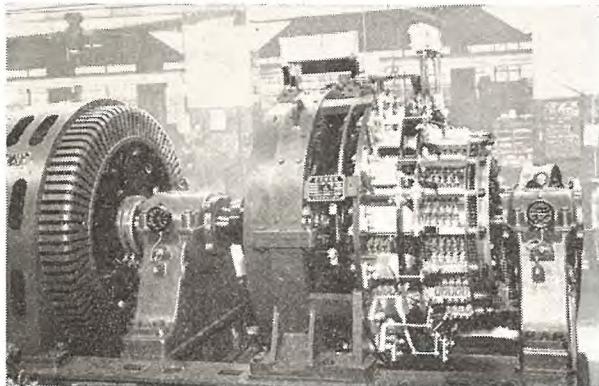


図 4.1 低電圧大電流発電機

Fig. 4.1 Low voltage high current generator.

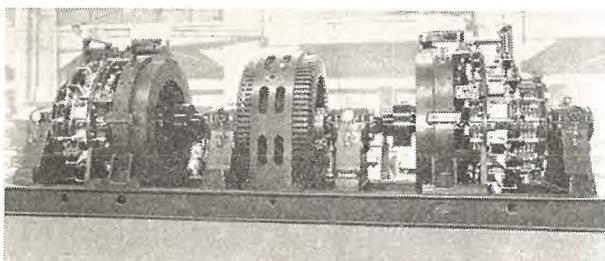


図 4.2 低電圧大電流発電機

Fig. 4.2 Low voltage high current generator.

は今まで述べたように精密な調整が行われ、また精密な測定器具が使用されるのでその電源は安定なものが要求される。工場電源を使用せず別個に定周波定電圧発電機セットを設置してその電源としている。近く運転される八幡製鉄の2号ラインは大電流電源としてすべてゲルマニウム整流器が使用されている。最近の静止器の発達によりこのラインのような低電圧大電流電源としては静止器の使用は当然考えられるところである。この整流器の起動盤、極性切替盤、補助継電器盤は当社で製作納入している。

5. コイル準備ライン

このラインはスキンパスミルで調質圧延されたストリップをめっきラインに掛ける前に縁切りを行い、厚みを測定し規格はずれの部分、表面の悪い部分などをシャーで取除き良いストリップだけを溶接機で継ぎ合わせふたたびコイル状に巻取る装置である。速度は当社製作のものは 610 m/min くらいであるが、このラインは停止す

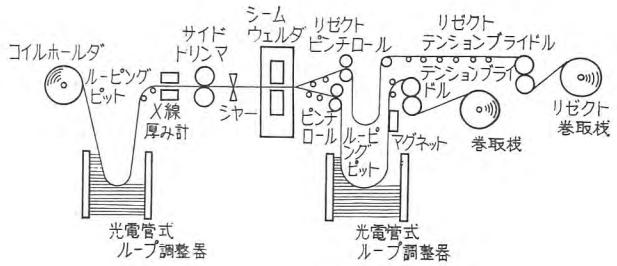


図 5.1 コイル準備ライン概略図

Fig. 5.1 Schematic drawing of coil preparation line.

る回数が多いので平均速度は遅くなる。めっきラインは所定速度で連続運転されるのでコイル待ちのような状態にならないようにするために、大体このラインの速度はめっきラインの倍以上の速度のものが設置される。その概略図を図 5.1 に示している。この形式のものをループタイプの準備ラインといわれているが、この形式のものでの最高速度は 610 m/min くらいといわれており、それ以上のものが要求される場合にはテンションタイプのコイル準備ラインが使用されている。ループタイプのものは図に示すように 2 個所にループがありこれを光電管式ループ調整器で定ループ制御を行っているが、この制御が電気的にも高速になると困難となり、矢張り 610 m/min くらいが限度ではないかと考えている。このループ制御はただ電気的な問題だけでなくストリップの形状、機械構造が非常に影響するので高速運転ではその方面的考慮がなければなかなか安定な運転は困難である。テンションタイプのものはループがないのでその点電気的には制御は容易であるが、巻取機のコイル縁を一様にして巻取ることが困難となりこの点の制御上の問題が生じ一利一害のようである。

当社は八幡製鉄の 1 号めっきラインが設置された時に 547 m/min のこのラインを納入し、本年 610 m/min のものを納入した。またすでに広畠製鉄に納入した 610 m/min

表 5.1 納入機器一覧表

(a) 八幡製鉄 No. 1 コイル準備ライン

速度 545 m/min リゼクト 150 m/min

コイルホールダ	30 HP	DC 220 V	200/1,200 rpm
サイドトリンマ	40 HP	"	1,150/1,750 "
テンションプライドル(上)	25 kW	"	1,150/1,440 "
"(下)	50 kW	"	1,150/1,440 "
巻取機	125 HP	"	200/1,200 "
リゼクトテンションプライドル	20 kW	"	1,000/1,200 "
リゼクト巻取機	30 HP	"	400/1,200 "

(b) 八幡製鉄 No. 2 コイル準備ライン

速度 610 m/min リゼクト 242 m/min

コイルホールダ	40 HP	DC 220 V	400/1,920 rpm
サイドトリンマ	40 HP	"	1,150/1,750 "
テンションプライドル(上)	25 kW	"	1,150/1,600 "
"(下)	50 kW	"	1,150/1,600 "
巻取機	125/150 HP	"	300/1,400 "
リゼクトプライドル	30 kW	"	850/1,750 "
リゼクト巻取機	50 HP	"	400/1,200 "

(c) 広畠製鉄 コイル準備ライン

速度 610 m/min リゼクト 242 m/min

コイルホールダ	40 HP	DC 220 V	400/1,600 rpm
サイドトリンマ	40 HP	"	1,150/1,750 "
テンションプライドル(上)	25 kW	"	1,150/1,600 "
"(下)	50 kW	"	1,150/1,600 "
巻取機	125/150 HP	"	300/1,200 "
リゼクトプライドル	30 kW	"	850/1,700 "
リゼクト巻取機	50 HP	"	400/1,200 "

のラインが本年初旬から好調に運転を続けられている。このラインに対する納入機器の一覧表は表5.1のとおりである。

5.1 機械概略

その概略を図 5.1 に示している。コイルホールダのコイルはルーピングピットに送り込まれ、X 線厚み計でその厚みが測定されサイドトリンマで両縁が縁切りされる。縁切りされたものはスクラップボーラに巻取られる。シャーはエヤー操作式のものであるが、規格はずれのものは悪い。悪い製品はこのシャーで切断され悪いものは悪いもの同志でシームウェルダで継ぎ合わされリゼクト巻取機に巻取られる。良い製品の部分にくるとふたたびシャーでせん断し前の良い製品の端に継ぎ合わせ巻取を行う。このストリップはピンチロールを通りルーピングピットにはいるが、このピンチロールは通板時にだけ使用し運転中はロールは上げられる。このルーピングピットのループは一般にストリップを流れやすくするために深くされるのでストリップの踊りを防止するためにマグネットが使用される。ストリップは 2 個のロールよりなるブライドルを通って巻取機に巻取られるが、この間のストリップは一定の張力をもって巻取られるように制御される。

5.2 電気制御

この機械の電気制御の簡略図を図 5.2 に示している。これは広畠製鉄、八幡製鉄 2 号準備ラインの 610 m/min に使用している回路である。図に示すように巻取機の張力調整はロートトロールにより電動機界磁を調整して行っている。ブライドルは上ロールと下ロールに別個の電動機が取付けられるが、この 2 台の電動機は発電機として動作し、その負荷平衡は電動機の負荷に対する垂下特性を利用する方式で制御している。ブライドルとサイドトリンマ間のループ調整は光電管式ループ調整器の出力でサイドトリンマ電動機の界磁を制御しその調整を行っている。このラインで制御上問題になる点はサイドトリンマとコイルホールダ間のループ調整である。コイルホールダの速度はコイル径の変化によって速度が変化しなければループを所定値に保持することはできない。すなわちループ調整器によってコイルホールダのコイル径補償を行わなければならない。図に示すようにコイルホールダの電動機界磁には電動操作の界磁調整器が挿入され、その駆動電動機が磁気増巾器と継電器を組合させた装置によって制御される。光電管ループ調整器は直接コイルホールダの昇圧機を制御し、その電圧制御によって速度制御される。この昇圧機の調整器による電圧調整範囲は狭くしてあり、コイルホールダのコイル径が小さくなりループが上ると昇圧機電圧によってコイルホールダの速度は上昇されるが、その電圧調整範囲の限度

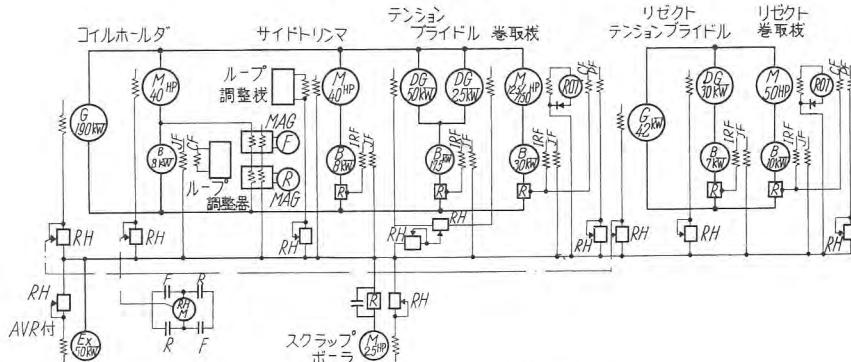


図 5.2 ヨイル準備ライン制御簡略図

Fig. 5.2 Schematic diagram of coil preparation line control.

に達すると磁気増巾器が動作し継電器 F を動作させ電動機の界磁調整器を界磁弱めの方向に操作する。したがって昇圧機電圧は減少しその値が或る所定値に達すると磁気増巾器は動作しなくなりふたたび昇圧機の電圧制御によってループ制御が行われる。したがって自動的にコイル径に応じた電動機の界磁の位置が追隨されるので、ループ調整器の利得を下げて使用することができる。系の安定性がとりやすく安定した運転が行われる。

八幡製鉄の1号準備ラインでは、このコイル径に応ずる界磁の追随は純電気的な方式を採用している。ループ制御はやはり昇圧機制御で行うがコイルホールダに取付けたパイロット発電機の電圧によって電動機界磁を制御し、コイルホールダの速度が上昇すれば逆に電動機界磁を弱めるような回路とし精密な追随でなく近似的な追随を行わせている。パイロット発電機は過渡現象的な変化によっても変動するので、安定性としては2号機の方式がよりよい安定性が得られ、また起動時つねにコイル径に応じた界磁で起動するので起動特性はよくこの点改良されている。1号ラインは現在 37 kW 5,000/1,000 rpm の電動機で駆動されており、コイル径の1:4の変化に対し2倍は電動機界磁により後の速度範囲は昇圧機による方式に改造され良好に運転されている。この点一覧表のものと異なるが一応ウイーン社指定のものを記載しておいた。

6. む す び

製鉄関係においてストリップのプロセスラインの技術は非常に進歩し増速と同時に自動化の制御に対する要求度はますます強くなっている。この電気めっきラインは各面の電気技術を使用しその自動化の制御を生かしたその好適例と考える。このラインにはストリップのピンホール探知器、X線厚み計、すず付着量測定器、電子管シート計数器など種々の近代的な測定器が使用され自動化に利用している。将来ますます設備の自動化は進められることと思うが、このラインでも了解されるように製鉄機械にも各種の技術を総合した制御を進めなければ、均一な良製品の増産という要求に応ずることはできないと感ずるものである。

調質圧延機用電機品

神戸製作所 田野和夫*

Electric Equipment for Temper Mill

Kobe Works Kazuo TANO

Mitsubishi has many years' experience in the electric equipment for the temper mill—sometimes called the skin pass mill. With the development of the cold continuous rolling mill, this temper mill has made progress. It will roll coiled up steel strip after annealing it at the reduction rate of below 5% so as to make it glossy, give it proper hardness and finish it smooth and with uniform thickness. The company's latest products are electric apparatus supplied to Yawata Steel Mill for the drive of reconstructed temper mills No. 1. and No. 2. In the design Mitsubishi engineers took painstaking effort to make the apparatus to exhibit their fullest ability for particular requirements on the part of the mill operator.

1. まえがき

調質圧延機は別名をスキンパスミルまたはテンパー・ミルともいわれ、冷間連続圧延機の発達とともに次第に発達してきたものである。冷間連続圧延機により圧延されたコイル状に巻取られた鋼帯材料は焼純され調質圧延機に通される。ここで圧下率5%以下の非常にわずかな圧延作業を行い、焼純により柔軟になった材料に光沢を出し、適度の硬さをあたえ厚味の均一な表面の平滑ないわゆる品質のよい鋼板を作るのが調質圧延の目的である。

調質圧延機は通常、巻もどし機、入側張力ロール、圧延機、出側張力ロール、巻取機からなりそれぞれ駆動電動機が設けられている。圧延機は1基または2基の時もあり入側張力ロールは省略されることもある。図1.1は最近の代表的な調質圧延機を示す。鋼帯材料は巻もどし機を出て入側張力ロールを通し圧延機にはいる。圧延機から出た材料は出側張力ロールを通り巻取機に巻取られる。

当社では、この種の圧延機用電機設備の経験⁽¹⁾は古く昭和28年にも八幡製鉄戸畠製鉄所に最高圧延速度が、1,000 m/minの2連続圧延式調質圧延設備電機品を納入し好成績で運転を続けているが、このたび八幡製鉄所の合理化計画により調質圧延機旧設備の更新をされるにあたりNo.1調質圧延機およびNo.2調質圧延機の電機

設備いっさいを製作し運転を始めた。改造後の性能はNo.1調質圧延機の最高圧延速度は760 m/minとなりNo.2調質圧延機は450 m/minである。この改造により製品コイルの重量は両設備とも6.5tから18.2tに増加した。とくにNo.1調質圧延機電機設備には全面的に磁気増巾器による自動制御を採用し好結果を得たので、これを中心として最近の調質圧延機電機設備について述べる。

2. 圧延電動機および発電機

調質圧延機における電動機および発電機については、いずれも冷間連続圧延機と同様な考慮⁽²⁾を必要とする。

すなわち電動機についてはその加速電流、加速遅れ(加速時の電圧降下)、加速に対する時定数を、発電機については界磁の時定数をできるだけ小さくし、その磁気飽和度を高くする。とくに、2連続圧延方式の場合、圧延電動機および発電機についてこれらの特性を合わせるよう注意しなければならない。

今回製作した八幡製鉄戸畠製鉄所向電機品について紹介する。No.1調質圧延機は各個発電機方式とし、No.2調質圧延機は昇圧機付共通母線方式とした。

圧延機形式は両者とも単独圧延式であって入側張力ロ

表 2.1 No. 1 調質圧延機電動機

用 途	容 量	電 壓 (V)	回 転 数 (rpm)	形 式
巻もどし発電機	200 kW	220	300/1,200	單電機子
圧延電動機	2×330 HP	440	500/700	二重電機子TWIN
出側張力ロール電動機 (上)	250 HP	220	500/700	"
" (下)	125 HP	220	500/700	單電機子
巻取電動機	600 HP	440	125/490	二重電機子

表 2.2 No. 1 調質圧延発電機

用 途	容 量 (kW)	電 壓 (V)	回 転 数 (rpm)
巻もどし機	200	220	900
圧延機	550	440	900
出側張力ロール	310	220	900
巻取機	500	440	900

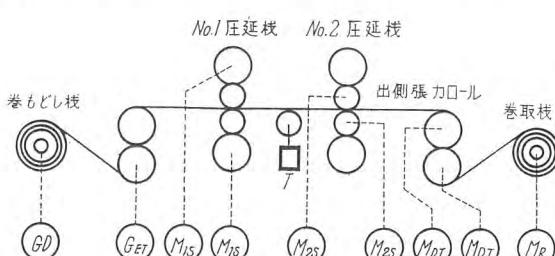


図 1.1 調質圧延機(2連続圧延式)

Fig. 1.1 Temper mill.

GD 卷もどし発電機
GET 入側張力ロール発電機
M1S 第1圧延電動機
M2S 第2圧延電動機

MDT 出側張力ロール電動機
MR 巷取電動機
T 張力調整機

表 2.3 No. 2 調質圧延電動機

用 途	容 量	電 壓 (V)	回 転 数 (rpm)	形 式
巻もどし発電機	125 kW	220	300/1,200	単電機子
圧延電動機	500 HP	220	250/350	"
出側張力ロール (上)	150 HP	220	275/500	二重電機子
" (下)	75 HP	220	275/500	単電機子
巻取電動機	300 HP	220	300/1,200	"

表 2.4 No. 2 調質圧延発電機および昇圧機

用 途	容 量 (kW)	電 壓 (V)	回 転 数 (rpm)
発電機	830	220	720
巻もどし昇圧機	35	60	880
出側張力ロール昇圧機	22	25	880
巻取昇圧機	68	60	880

ールは設けられていない。No. 2 調質圧延機の圧延電動機は当社が昭和 13 年に納入した旧品をそのまま流用したものである。表 2.2 の No. 1 調質圧延機用各発電機は 2,000 HP 同期電動機により駆動され、表 2.4 の No. 2 調質圧延機用主発電機は 1,250 HP の同期電動機により駆動されている。なお No. 2 調質圧延機用各昇圧機は 200 HP の誘導電動機により駆動される。

3. 制御回路

高能率生産をあげるために電動機や発電機の特性は前述のように加速、減速動作を速くするように注意して設計されるが制御装置のほうでも速応度の高い安定なものが必要である。このためにロートトロールや磁気増巾器を使用した数種の自動制御方式が用いられる。最高圧延速度が 1,000 m/min 程度の調質圧延機の加速、減速時間は約 10 秒として設計される。

図 3.1 および図 3.2 は調質圧延機電機設備の簡略結線図を示す。図 3.1 は各個発電機方式と呼ばれ、図 3.2 は

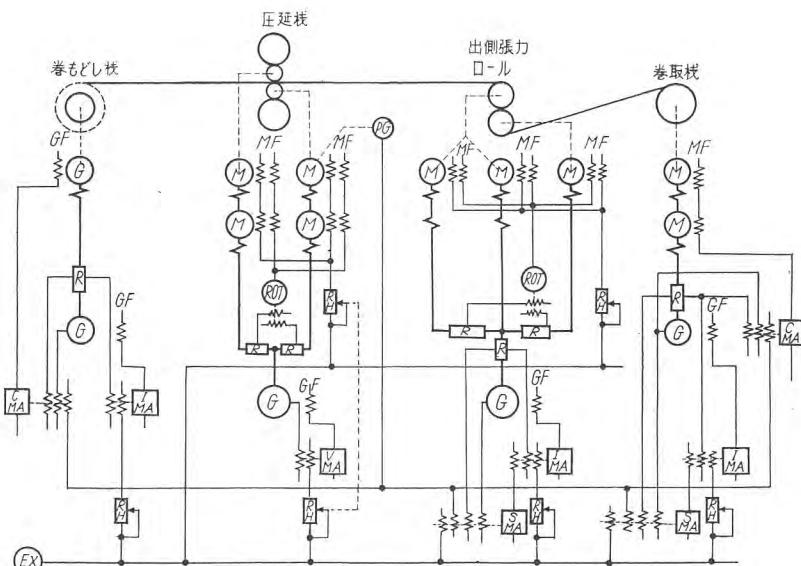


図 3.1 調質圧延機各個発電機方式簡略結線図

Fig. 3.1 Schematic diagram of temper mill individual motor system.

G 発電機
M 電動機
Ex 定電圧励磁機
ROT 負荷平衡ロートトロール

CMA 逆起電圧制御磁気増巾器
VMA 電圧制御磁気増巾器
IMA 電流制御磁気増巾器
SMA 速度制限磁気増巾器

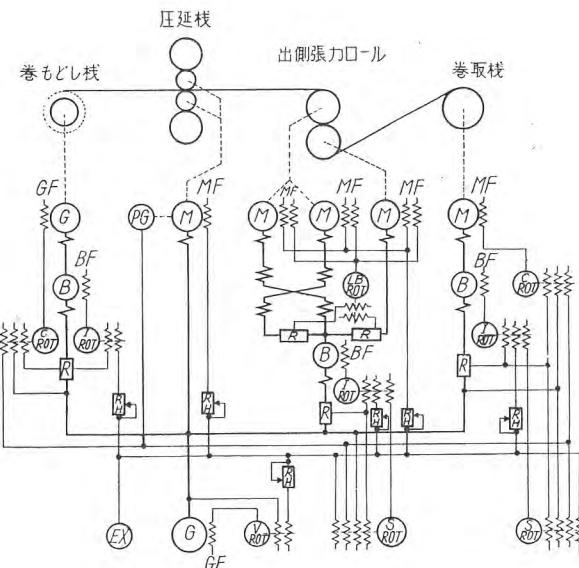


図 3.2 昇圧機付共通母線方式簡略結線図

Fig. 3.2 Schematic wiring diagram of common bus system with booster.

G 発電機	C ROT 逆起電圧制御ロートトロール
M 電動機	I ROT 電流制御
Ex 励磁機	S ROT 速度制限
RH 調整抵抗	V ROT 電圧制御
B 界圧機	LB ROT 負荷平衡

昇圧機付共通母線方式と呼ばれている。両方式の利害得失は多少あるが基本的な運転特性においてはまったく同一であって圧延電機品の計画の時、両方式の選択にあたってまず第一に経済的にいずれが有利であるかを検討すべきである。

各個発電機方式のおもな利点として次のものがあげられる。

- (1) 大電流低電圧の昇圧機を使用しないこと。
- (2) 遮断容量の大きい気中遮断器が不要となり主回路の母線が小さく簡単になる。
- (3) 各発電機の回転が高くとれ、発電機は小さくできる。したがって使用材料も少なくななる。
- (4) 発電機が小形になると界磁のインダクタンスが小さくでき速応度の点で有利である。
- (5) 発電機電圧が各個に調整できるから広範囲な圧延計画ができる。

各個発電機方式は以上のような利点はあるが共通母線方式に比べると、どうしても制御回路は複雑になる。圧延速度が高くなってくると発電機容量もほぼ比例的に増大し各個発電機方式のほうが有利となってくる。

図 3.1 および図 3.2 では、いずれも圧延機が 1 基の場合を示すが図 1.1 のように圧延機が 2 基ある場合には張

力調整器による圧延機間の鋼帯の張力制御が必要となる。

圧延機は図3.1および図3.2に示す単独圧延方式の場合には基準母線励磁機は使用せず調整抵抗器RHにより磁気増巾器またはロートトロールを制御して発電機電圧を制御する。このほかは冷間連続圧延機の制御と同様である。

卷もどし機、出側張力ロール、巻取機および入側張力ロールなどの制御には、いずれも鋼帯の張力を一定にする自動制御が採用される。張力を一定にするためには各電動機の出力を一定にすればよい。このため磁気増巾器またはロートトロールにより電動機の負荷電流および逆起電圧を一定にする自動制御方式が採用される。出側張力ロールは圧延機との間に一定の張力をかけながら巻取機に送り出すものであるから定電流制御を行うだけよいが巻取機および巻もどし機は運転中に鋼帯コイル径が変化するから、もし電動機界磁が定励磁とすればその逆起電圧はコイル径の変化につれて変化するため定電流制御のほかに定逆起電圧制御を行う必要がある。このため図3.1および図3.2では発電機または昇圧機の電圧を制御して定電流制御を行い、電動機の界磁制御により定逆起電圧制御を行っている。これらの自動張力制御を行う場合次の点に注意しなければならない。

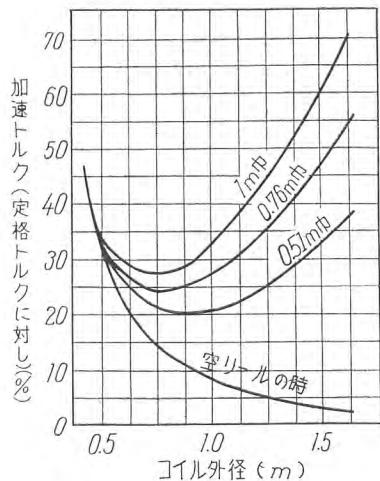


図3.3 巾取電動機の加速トルク

Fig. 3.3 Winding motor acceleration torque.

- (1) 電動機の機械的損失をできるだけ小さくすること、機械的損失が大きくなってくると鋼帯に働く電動機の有効出力が変化し巻取張力が変化することになる。
- (2) 巾取機および巻もどし機を加速する場合の加速

トルクは鋼帯巾とコイル径の状態により図3.3のように変化するのでこれを短時間(約10秒)で加速するためには、電動機の GD^2 を極力小さくするとともにコイル径の変化による加速トルクの補償を考慮しなければならない。

巻取電動機の場合、発電機用磁気増巾器または昇圧機用ロートトロールは基準巻線と制御巻線のアンペアターンを比較し発電機または昇圧機の電圧を制御して定電流制御をしているから鋼帯の巻始めおよび破断時には巻取電動機は無負荷で運転される。この場合制御巻線のアンペアターンがなくなり基準巻線により負荷電流を規定値にするように発電機電圧を最高値まで上昇させる。発電機電圧の上昇を防ぎ巻込時における巻込速度を規定するため速度制限磁気増巾器または速度制限ロートトロールが使用される。この装置は出側張力ロールの発電機電圧制御回路にも設けられる。巻もどし機および入側張力ロールの発電機制御回路においては、基準巻線は電動機がドラッグ発電機として働くため巻取機の場合と逆になるので速度制限装置の必要はない。

図3.1および図3.2における圧延機または出側張力ロール電動機のように上下ロールが別々の電動機により駆動される場合には上下ロール径やロール温度が異なった場合、負荷の不均衡が起るため、これら電動機の負荷平衡制御を考えなければならない。これに対して図に示すようにロートトロールにより電動機界磁を制御して自動負荷平衡制御を行っている。

4. む す び

以上調質圧延機電気設備の概要について述べたが要するに加減速に対し電動機の GD^2 や起動時の時定数を小さくし発電機の界磁時定数を小さくし、これらの値をできるだけ合わせようしなければならない。制御回路としては制御系全体の増巾率を高くし精度と速応度と安定度の3者を備えたものであることが必要である。このためNo.1調質圧延機に使用した磁気増巾器の電源には420c/sの高周波電源が使用された。

参 考 文 献

- (1) 電気学会雑誌 昭和13年11月
日本製鉄会社八幡製鉄所戸畠新鐵力工場の電気設備
鶴田
- (2) 三菱電機 27巻11号
帶鋼冷間圧延機設備 竹内、片岡
- (3) Iron and steel engineer June 1952
Temper mill symposium

アルミ箔圧延機用電気設備

昭和アルミニウム株式会社 中村登喜生*

神戸製作所 紙谷鉄男**・高月一**

Electric Equipment for Aluminium Foil Mill

Showa Aluminium Co. Tokio NAKAMURA

Kobe Works Tetsuo KAMITANI · Hajime TAKATSUKI

The demand for aluminium is on the increase nowadays. It was four years ago when Mitsubishi supplied electric equipment for an aluminium foil mill with the highest speed of 360 MPM in Japan at that time. Following this installation, another electric equipment for a far higher speed mill of 485 MPM was built by the company and is now operating successfully. The mill is to produce the foil of 0.005 mm in thickness which is very easy to break. To turn out the products very thorough care is needed for the electric control of the mill as well as high technical skill in comparison with other rolling mills. This latter equipment has been designed based on the experience of the former and is provided with improved arrangement e.g. even in the rewinding side is used an electric driving system.

表 2.1 回転電機品

1. まえがき

最近アルミ箔の需要が高まり、4年前当時日本最高の360 m/min の速度を有する圧延機を計画し、その電気設備を三菱電機で製作し好成績をうることができた。ついで本年当初にさらに高速の485 m/min の2号機を設置し、1号機と同様に電気設備は三菱電機に発注し現在好調に運転を続けている。この圧延機は0.005 mm という製品を造るものであるために切れやすく、他の金属圧延に比し圧延技術はもちろんその電気制御上留意すべき点が多く、またその張力調整の精度も高いものを要求される。2号機は1号機の種々の経験を生かし、電気的に改良を加え、また機械構造も巻もどし側を電気駆動方式とし、電気的には複雑な制御方式となっているが、その電気設備の概略を紹介するものである。

摘要		台数	容量	電圧(V)	回転数(rpm)	付属品
粗圧延ミル	主圧延用直流電動機	1	400 HP	600	450/900	電磁ブレーキ
	巻取用直流電動機	1	100 HP	220	550/1,260	
	主圧延用可変電圧直流発電機	1	320 kW	600	1,200	
	巻取用"	1	100 kW	220	"	
	定電圧励磁用直流発電機	1	15 kW	220	"	
	同上 駆動用同期電動機	1	650 HP	3300	60 c/s 6 P	
フォイルミル	巻取張力制御用ロートドロール	1	15 A	—	1,750	電磁ブレーキ
	同上 駆動用誘導電動機	1	15 HP	220	60 c/s 4 P	
	主圧延用直流電動機	1	200 HP	220	450/1,250	
	巻取用直流電動機	1	50 HP	220	575/1,150	
	"	1	15 HP	220	1,150/2,300	
	主圧延用可変電圧直流発電機	1	200 kW	220	1,200	
1号	巻取用"	1	50 kW	220	"	
	定電圧励磁用直流発電機	1	15 kW	220	"	
	同上 駆動用同期電動機	1	400 HP	3300	"	
	巻取張力制御用ロートドロール	1	15 A	—	1,750	
	"	1	5 A	—	"	
	同上 駆動用誘導電動機	1	15 HP	220	60 c/s 4 P	
フォイルミル	主圧延用直流電動機	1	200 HP	220	400/1,300	1 kW バイロット発電機 電磁ブレーキ
	巻取用"	1	50 HP	220	575/1,250	
	巻もどし用直流発電機	1	15 HP	220	1,050/2,300	
	巻もどし用"	1	37.5 kW	220	575/1,250	
	主圧延用可変電圧直流発電機	1	11.5 kW	220	1,050/2,300	
	巻取用"	2	20 kW	220	"	
2号	同上 駆動用同期電動機	1	400 HP	3300	"	
	巻取、巻もどし用ロートドロール	3	1 kW	220	1,750	
	定電圧励磁用直流発電機	1	20 kW	220	"	
	同上 駆動用誘導電動機	1	40 HP	220	60 c/s 4 P	

2. 主要回転電機品

回転電機品は表2.1のとおりであるが、その特長は

(1) 主圧延用直流電動機はNEMA-N規格相当でB種絶縁、コイル部の温度上昇限度40°C、125%負荷2時間で55°C、過負荷耐量200%1分間という仕様で最高の信頼度をもっている。

(2) 非常に薄いアルミ箔を巻取り、巻もどしするためにこの部分の直流機はとくに低慣性で制御特性をよくする必要がある。低慣性のために巻取り、巻もどしの直流機はAISE準拠の600番シリーズのミルタイプのフレームを用い、温度上昇限度を高くした。なおブレーキホイールも軽合金製として慣性を小さくした。

(3) 巷取り、巻もどしの機械の配置は図2.1のよう

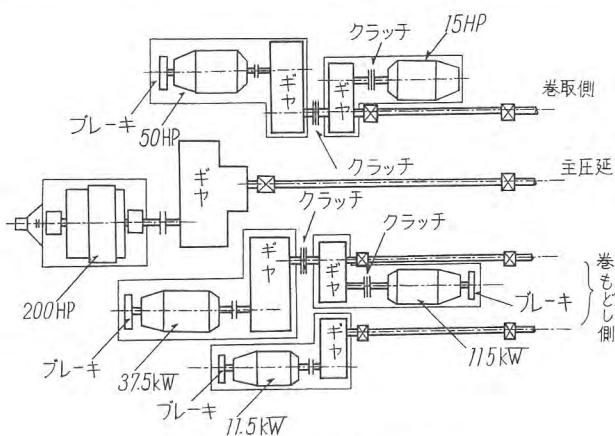


図 2.1 フォイルミルの配列
Fig. 2.1 Arrangement of foil mill.

になっている。これは張力をとくに小さくして運転するときには慣性、機械損をできるだけ減らすために容量の小さいほうを用いるようになっていて、切替クラッチがある。

3. ブレーキダウンミル制御方式

この圧延機は分塊圧延機で圧延されたコイル状のアルミ板をフォイルミルに掛ける厚さの板に圧延するものである。その機械構造およびその制御の簡略図を図3.1に示している。圧延機は四段ロールであり、巻もどし機は機械的ブレーキにより板に後面張力を掛け、巻取機は電動機で駆動し電気的に張力を掛けている。駆

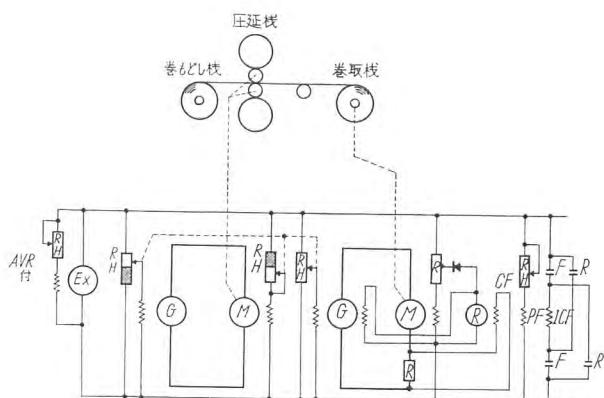


図 3.1 ブレーキダウンミル制御簡略図

Fig. 3.1 Schematic diagram of break-down mill control.

動は一方向だけの圧延であり速度は通常 120 m/min である。

圧延機および巻取機はおのおの単独の発電機によって駆動される。巻取機の速度範囲は電動機の界磁範囲と巻取機のコイル径の変化を考慮すると 1:4 となる。電動機の界磁範囲を 1:2 に選定したので共通母線方式としても昇圧機が大形となることと、巻取電動機の単独運転の制御上の点から各個発電機方式とした。図3.1に示すように圧延機発電機、圧延電動機、巻取機用発電機の3個の界磁調整器は機械的に結合し1個の駆動電動機で調整する構造としている。この調整器の調整範囲の半分までが圧延用発電機の電圧調整範囲でそれ以上は圧延電動機の界磁調整範囲である。巻取機用発電機の界磁調整器は圧延電動機の最高速度の位置で発電機が定格電圧になるように結合されている。圧延機の電動機用界磁調整器と発電機用界磁調整器とを別々としてバスごとに電動機界磁を調整する方式もあるが、1個とした場合つねに強め界磁で起動するので加速特性上有利であり、また各バスごとの加速率を一定にでき、さらに操作箇所が少なくなる点を考えこの方式を採用した。加速時間はベース速度まで 5 秒間である。

巻取機の張力制御は電動界磁を調整して行う定電流制御方式を採用した。調整器としてはロート

トロールを採用している。ロートトロールには基準界磁 PF、電流界磁 CF が巻かれ、PF のアンペアターンに等しいアンペアターンを CF に与えるような主回路電流をつねに流すようにロートトロールは動作する。コイル径が大きくなるに従ってロートトロールは電動機界磁を強め、自動的に電動機の速度を減じ所定の張力を保持する。慣性補償界磁 ICF は加速減速時の板の張力を運転中の張力と同一にするために巻かれており、加速中は加速トルクに相当する電流を余分に流し、減速時には逆に減ずるように動作する。巻取機用発電機には補助界磁が巻かれており、ロートトロールの出力によって励磁されるように接続されている。これは圧延されたアルミ板を巻取機に巻く場合、始めは固く巻きコイル径が大きくなるに従ってゆるく巻くのが好都合であるために、巻取張力に傾斜をつける目的で行った制御回路である。したがってこの場合主回路電流は一定に保持されるが張力としては一定となっていないが、厚みに対する影響はないのでこの方式が採用されている。その量は適宜調整されるようになっている。

4. フォイルミル制御方式

4.1 1号フォイルミル

ブレーキダウンミルと同時に1号フォイルミルが設置され、好調に運転されているがその制御方式の概略を述べる。

フォイルミルはブレーキダウンミルで圧延されたアルミ板をアルミ箔に圧延するものである。0.5 mm 程度のアルミ板を数回のパススケジュールで大体 0.01 mm くらいまで圧延し、その箔を 2 枚重ねて 50% の圧下率で圧延して 0.005 mm くらいまでのアルミ箔を製作する。最高速度は圧延機で 320 m/min、巻取機で 360 m/min である。その制御簡略図を図4.1に示している。アルミ箔が非常に薄いので切れやすく、圧延上の技術はもちろん電気的にも精度の高い制御を要求されることは当然である。

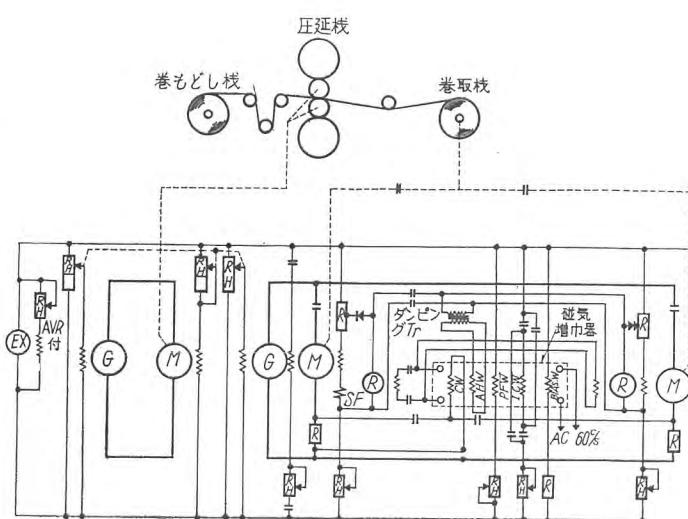


図 4.1 1号フォイルミル制御簡略図

Fig. 4.1 Schematic diagram of No. 1 foil mill control.

る。巻もどし機は機械的ブレーキで制御され電動機は使用されない。ブレーキダウソミルと同様に圧延機ならびに巻取機用電動機は別個の発電機で駆動され、3個の界磁調整器の操作方式も同様である。フォイルミルの制御で重要な点は巻取機の張力調整である。アルミ箔の厚みは張力によって影響され、ことにコンデンサペーパのような場合には一様の厚みが要求される。わずかなゆるみが生じてもしわを生じ、またわずかなショックでも切れやすいので、精度が高くしかも応動性の高い制御方式が必要とされる。図に示すように張力制御は電動機界磁の制御によって行うが、その調整器にはロートトロールと磁気増巾器とを組合せたものを使用し、その目的を達するようにしている。

アルミ箔を圧延する場合数回のパスにより所期の製品に圧延するが、パスごとに張力馬力が少なくなり、最初のパスと最終パスでは一例をいえば 50 HP が 3 HP 程度まで変化する。このリールを 50 HP の電動機 1 台で駆動した場合、この全範囲にわたって同一制御回路で同じ精度の張力制御を行うことはできない。たとえば 50 HP で精度を 0.5% にしたとすれば、5 HP の張力の時には 5% の精度しか得られることとなる。回路の要素を変えてかなりの範囲にわたって精度を高く保つことは可能であるが、張力を変えるごとに回路の調整を行うことは操作が複雑となり実際的でない。張力馬力が小さくなると、電動機ならびに歯車装置の損失が張力馬力に対し大きな要素となり、電動機の電流を一定に保持しても電動機ならびに歯車装置の損失が速度によって変動すれば張力は変化する。たとえば 50 HP 駆動の損失が歯車損失を含め 1 HP とすれば 50 HP に対しては 2% であっても 3 HP の場合には 33% となる。一般に電動機の風損は速度が減少すれば少なくなり歯車損失も減少するので同一電流としておいた場合巻取機のコイル径が大きくなるに従って張力は強まってくる。つぎに薄箔の場合一定速度で運転中に切れることはあまりなく、加減速時に一番切れやすい。したがってこの加減速をゆるみなしに円滑に行なうことが重要な点となる。薄箔の場合大きな電動機ならびに大きな歯車装置を早く加速するとすれば、その加速電流も大きくなり加速完了時に慣性補償を切放した時のショックが問題となる。上記のような理由から巻取電動機として 50 HP と 15 HP の 2 台を取付け、アルミ箔が厚く張力馬力の大きい時は 50 HP 電動機を使用し薄くなると 15 HP 電動機を使用する。速度も 50 HP の時は最高速 182 m/min であり 15 HP の時は 365 m/min となっている。クラッチ機構で 50 HP と 15 HP 電動機を切替えて巻取機に結合し、その歯車機構も別々に使用される。電動機としては損失を少なくすることはもちろん、その GD^2 を極力少なくする必要があり、歯車装置も能率精度の高いものが要求される。15 HP 電動機には加速時の GD^2 の点からブレーキを取付けない。

制御装置は図に示すように磁気増巾器の出力をさらに

ロートトロールで増巾し電動機界磁を励磁している。ロートトロールは調整上の安定性の点から 50 HP, 15 HP おのおの専用に取付けているが、磁気増巾器は 1 台で出力回路を切替えて使用している。この切替えはクラッチを切替えれば自動的に切替わるようしている。磁気増巾器には基準巻線 PFW, 電流巻線 CW, 慣性補償巻線 ICW が巻かれ、その作用はロートトロールの場合と同様である。そのほかに乱調防止用として AHW をダンピングトランスによって作用させ安定性を得るようにしている。偏倚巻線 BIASW は磁気増巾器の特性調整用である。磁気増巾器は 60 c/s 電流を使用している。

巻取機は巻初めあるいは圧延中にアルミ箔が切れた場合、圧延機を起動すると同時に巻取機も起動し、圧延機から出るアルミ箔を巻取機のスプールに運転者が巻きつけるのであるが、この場合スプールの円周速度がアルミ箔の速度とほぼ一致していないとその巻付け作業がうまく行われない。電動機に負荷が掛からない場合調整器は電動機界磁をねじり弱めた状態にするので、この同期化のために電動機速度を調整する必要がある。そのため電動機界磁に通板速度調整器を取り付け速度調整を行うようにしている。通板速度は 1.5 m/min くらいの低速であるので発電機電圧は残留電圧を少なくするように注意する必要がある。加速時間は短くすることが望まれるが、大体 30 秒くらいで行われる。

4.2 2 号フォイルミル

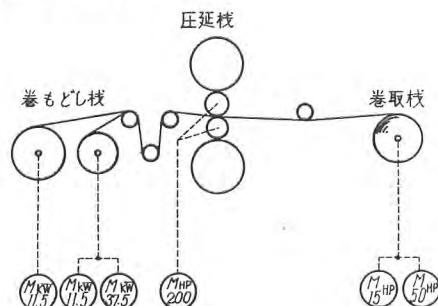


図 4.2 2 号フォイルミル概略図

Fig. 4.2 Schematic diagram of foil mill No. 2.

アルミ箔増産のため昨年図 4.2 のような 2 号機を計画し、本年初めに運転を開始した。2 号機は 1 号機と異なり巻もどし機に機械的ブレーキを使用せず、電気的ブレーキによって張力調整を行う方式を採用した。これは機械的ブレーキの場合、ブレーキシューの摩耗が激しくその取替費用がかさむことと調整の精度の点から電気ブレーキを考慮したものである。また巻もどし機を 2 台設置した。すなわち 1 号機では 2 枚重ねのアルミ箔を圧延する場合にはダブルという機械を使用して 2 枚重ねのコイル状のアルミ箔をつくり、それを巻もどし機に取付け圧延してさらに薄い箔をつくっている。2 号機ではその作業をやめ、2 個のコイルを別々に駆動される 2 台の巻もどし機に取付け 2 枚重ねにしてただちに圧延する方式を採用した。電気的な方式は機械的ブレーキにくらべ非常に高い精度を保持し得る。その制御方式を図 4.3 に示す。

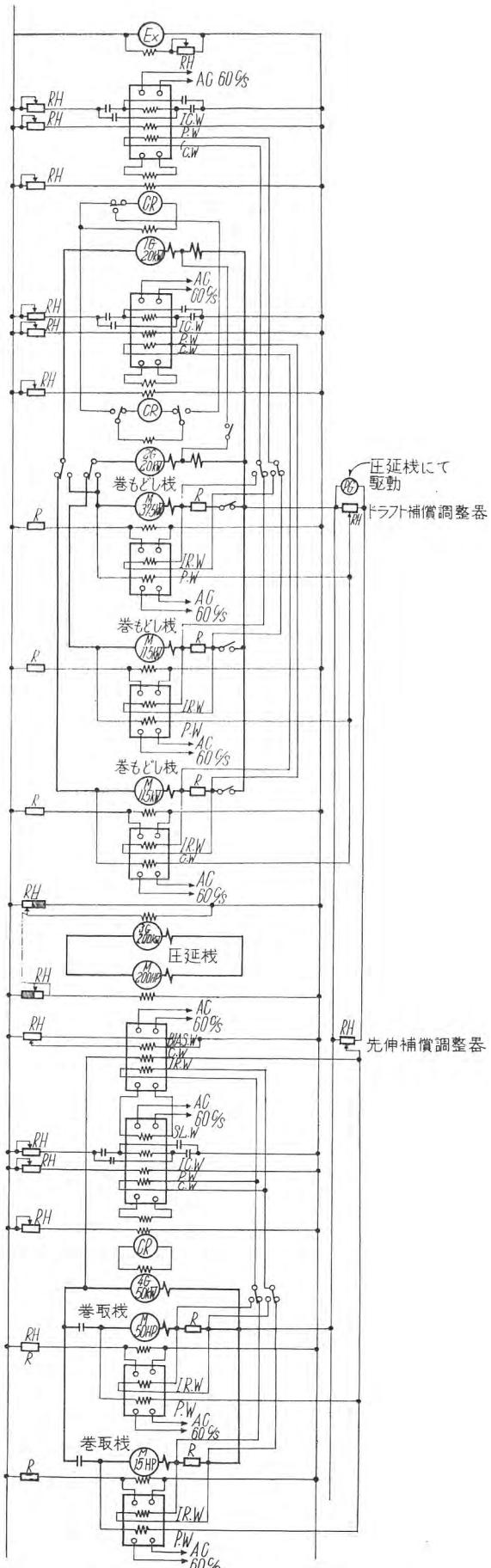


図 4.3 2号フォイルミル制御簡略図
Fig. 4.3 Schematic diagram of No. 2. foil mill control.

アルミ箔圧延機用電気設備・中村・紙谷・高月

している。図は説明上の簡略図であり電動機の界磁制御用磁気増巾器に初段および第二段の2台の磁気増巾器が使用されているが1台の図にして示している。

2号機も最終製品は0.005 mmであるが、速度は最高480 m/minである。1号機の経験ならびに速度の高くなった点を考慮し2号機では図4.3のように定逆起電圧方式による張力制御方式を採用した。この方式では以下説明するように電流調整は発電機電圧で行われるので、その負荷変動に対する応動性が早く加速時の慣性補償も発電機で行われるので加減速時の特性は良好となり、電流調整の精度もよい。また界磁制御方式による場合には、巻取電動機の界磁範囲は電動機の内部電圧降下、慣性補償、アルミ箔の圧延時の先伸(Extrusion effect)を考慮すると、コイル径の変化範囲よりも広い界磁範囲が必要となるが、この方式によるとコイル径の変化範囲と同じ界磁範囲を有する電動機を選択できる。

この方式による巻取機の張力調整は原理的には1号機と同様に巻取機の定馬力制御によって間接的に張力を一定にする方式であるが、電流調整は発電機電圧によって行われる。発電機電圧はロートトロールと磁気増巾器によって制御されるが、磁気増巾器には基準巻線PWと電流巻線CWが巻かれしており、CWの電流がPWのアンペアターンに応じた電流になるよう制御される。また慣性補償巻線ICWが巻かれ加減速時の補償を行っている。この補償量は起動時のコイル径の大きさによって異なることはよく知られている。したがってコイル径によってその補償量を起動特性に応じて変え、加減速時の張力をつねに運転時の値に保持することが望ましい。この巻取電動機は界磁範囲が狭いのでコイル径の変化は磁気増巾器電圧に大体比例するので、電圧平衡継電器を使用し運転中の磁気増巾器の電圧変化によってこの継電器を動作させ、ICWの慣性補償調整器の駆動電動機を操作し、コイル径に応じた慣性補償の位置に追随させるようしている。

電動機界磁は磁気増巾器によって励磁されるが、これは圧延速度に応じた逆起電圧をコイル径に関係なく運転中つねに一定に保持するように制御される。一般に電動機の逆起電圧は次式で表わされる。

$$V_m \text{ (逆起電圧)} = V_T \text{ (端子電圧)} - IR \text{ (内部電圧降下)}$$

図4.3において磁気増巾器には電流巻線IRWと基準巻線PWの二つの巻線が巻かれIRWは主回路のIR電圧降下で励磁され、PWは圧延電動機で駆動されるパイロット発電機の電圧と電動機の端子電圧の差電圧によって励磁される。上式の関係を保つために所定の電流が流れた時に生ずる電動機の内部電圧降下と等しい差電圧がPWに掛かった時にCWとPW巻線のアンペアターンが等しくなるように調整されている。したがって上式の関係を保持するように動作することになる。パイロット発電機の電圧は圧延速度に比例するので、巻取電動機の逆起電圧は圧延速度に比例した値となり、コイル径に関係なくつねに一定に保持される。コイル径が大きくなる

と箔が切れないかぎり巻取機の回転数が減少して逆起電圧が減少し電流が増そうとするが、発電機の電流調整器は発電機電圧を減少させて所定の電流になるように動作する。しかし巻取電動機の端子電圧が減少すればパイロット発電機の電圧は一定であるから PW の電流が減少し、磁気増巾器は電動機界磁を強めるように動作して電動機の逆起電圧を所定値になるようにする。逆起電圧が一定になれば当然端子電圧も一定となり、電動機の入力も一定となるので定馬力制御が行われる。

巻取発電機の電流調整回路に速度制限磁気増巾器が使用されているが、これはアルミ箔が運転中切れた場合、電動機電流は減少するが発電機の電流調整回路は動作しているので整定された電流値を保持しようとして発電機電圧を上昇させ電動機を過速度にする傾向を有する。これを防止するのがこの磁気増巾器の目的であり電流巻線 IRW と基準巻線 PW が巻かれており、この巻線の関係は巻取電動機界磁制御のものと同じである。したがって上記のような現象が起った場合発電機電圧が上昇すれば PW 巾線の電流が増し速度制限磁気増巾器の出力がまし電流調整磁気増巾器の速度制限巻線 SLW を励磁する。この巻線は発電機電圧を減ずるように動作するので発電機電圧の上昇は阻止される。バイアス巻線 BIAS.W は IRW と PW のアンペアターンが運転中は平衡状態にあるので、わずかの電圧変化でもこの磁気増巾器が作動するため運転中の過渡的な電圧変動では動作しないようバイアスをかけておくものである。この値は過速度を運転速度の 10% 増しに押えるように調整している。またこの巻線は巻初めの巻取機の通板速度を選定する役目もしている。すなわちこの調整によって発電機電圧が選定されるからである。アルミ箔が切れた場合にはアルミ箔が伸びるために巻取機の周辺速度より巻取機の周辺速度を早くしなければならない。その伸びの % を先伸率と呼んでいるが、このために巻取機に取付けたパイロット発電機の電圧は巻取電動機の発生しなければならない逆起電圧の基準とはならない。したがってその先伸率によってパイロット発電機の電圧を補正する必要がある。図に示すようにパイロット発電機に調整器を入れてその補正を行っている。もちろん電動機はその先伸

率を考慮して仕様を決定されている。

2 号フォイルミルの特長の一つは巻もどし機が電動機駆動となっていることであるが、この制御は図 4.3 に示されている。電動機は運転中は発電機として動作し、アルミ箔の後面張力が一定になるように動作する。箔の厚いパスでは 37.5 kW が使用され、薄くなると 11.5 kW が使用される。すでに述べたように最終の 0.005 mm アルミ箔を製作する場合には、箔は 2 個の巻もどし機から 2 枚の箔を送り出し 2 枚重ねにして圧延するので 2 台の 11.5 kW が使用されるが、各巻もどし機のコイル径の違う場合をも考慮し、各専用発電機を取付け別個に張力調整をする方式としている。37.5 kW 使用の時は図に示すように 2 台の発電機を並列に接続して使用するが、その負荷平衡は直巻界磁を均圧線で接続することによって行っている。この場合の発電機の電流調整は IG 用の調整器によって行い 2 台の発電機の界磁を直列に接続して制御する。

この巻もどし機の後面張力の制御方式は巻取機の場合と同様であって、発電機電圧は巻もどし機電動機の制動電流をつねに一定になるように制御し、電動機界磁は電動機の制動発電機としての無負荷電圧が一定になるように制御される。すなわち発電機側は制御電流が増した場合には発電機電圧を増して電流を減少するように動作し、電動機は $V_m = V_T + IR$ の関係が保持されるように制御される。巻もどし機の速度は圧延機におけるドラフトの量によって左右せられ巻取機の速度より低くなる。たとえば 50% のドラフトが掛かれれば速度は巻取機の 50% となる。したがって巻もどし機電動機の発生電圧の基準となるパイロット発電機電圧はドラフトによって補正されなければならない。このためにドラフト補償調整器を取り付けて手動でその補正を行い、コイル径の変化による界磁調整範囲が電動機の所定範囲内で動作するように調整される。巻もどし機の場合には IRW, PW の極性は巻取機の場合とはすべて逆に動作し、IRW は界磁を弱めるように働き、PW は界磁を強めるように動作する。巻もどし機の場合はアルミ箔が切れても調整器は発電機電圧を減ずるように動作するので速度制限磁気増巾器は使用されない。

1 号フォイルミルを設備すると同時にダブラおよびセパレータが設置された。ダ布拉は前述のように 2 枚重ねの圧延を行うために 2 個のコイルを 2 枚重ねて 1 個のコイルとする機械であり、セパレータはその 2 枚重ねのコイルがフォイルミルで圧延されたものをはがして別々のコイルにする機械である。ともに 20 HP 電動機をレオナード方式で制御するものであるが、簡単な制御回路があるのでその説明は割愛する。

5. むすび

1 号機は日本における最初の高速広巾箔圧延機であった。運転の結果二、三の改造を行い、現在好調に運転されている。2 号機の建設にあたっては、1 号機での経験を生かし制御方式ならびに操作方式などに改良を加え短時間で所期の目標に達することができた。その設備ならびに電気制御の一端を紹介した次第である。

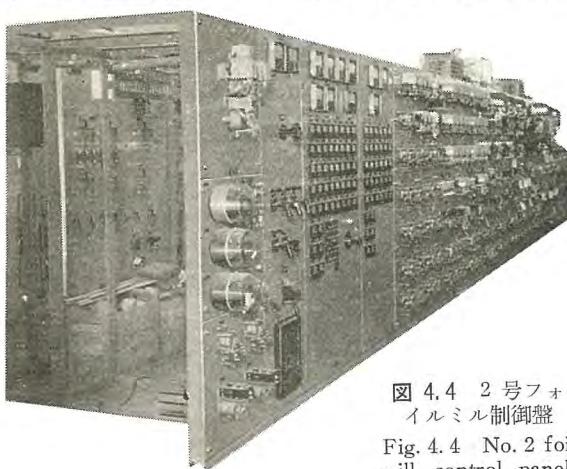


図 4.4 2 号フォイルミル制御盤
Fig. 4.4 No. 2 foil mill control panel.

東北パルプ向 142 インチ新聞紙抄紙機電機品

伊丹製作所

己斐健三郎**・坂田邦寿***・細野勇***

神戸製作所

紙谷鉄男***

Electric Apparatus of 142 inch Paper Machine for Tohoku Pulp

Itami Works

Kenzaburo KOHI・Kunitoshi SAKATA・Isamu HOSONO

Kobe Works

Tetsuo KAMITANI

Spectacular is the progress of paper machines after the use of the sectional drive system. The paper making speed has been turned to high speed day after day, reaching more than 1,000 feet per minute even in Japan. But with high speed has come difficulty in control of the speed, which may lead to breakage of paper at a slight deviation, thus high grade of the control in a crucial need. The paper machine delivered to Tohoku Pulp Ishinomaki Plant is the highest in speed in this country, its speed being 2,000 ft. per minute. It is provided with section motors connected to a common bus with a power source of ignitron rectifiers which are precisely controlled. The feature of no time lag makes the rectifier very suitable in very quick control of the speed against the internal voltage disturbance. Aside from it, the electric apparatus used have many advantages worthy of mention.

1. まえがき

セクショナルドライブ方式が採用されるようになってからの抄紙機の進歩は実にめざましく、抄速も日を追つて高速化して現在では日本においても毎分千数百フィートの抄速で運転が行われるようになった。しかし、高速化するにともない、わずかの速度偏差でも紙切れの原因になるなどその制御にはきわめて高度の性能が要求される。今回東北パルプ石巻工場に納入した新聞紙用抄紙機はわが国最高速の抄速毎分 2,000 フィートの高速機であり、精密に制御されたイグナイトロン整流器を電源にして、共通母線に接続されたセクショナル電動機による駆動方法を採用している。イグナイトロン整流器は本質的に時間遅れをもたないため電圧外乱に対して非常に速度の早い制御が可能であるとともに定常状態における制御特性もきわめてすぐれており、静止器であること、騒音の少ないとことなどと相まってこのような用途に実によく適合した電源である。

各セクション電動機の速度制御は高速であるため、おのの直列に昇圧機を接続し電圧制御によって速度制御を行なう方法を採用している。その昇圧機の界磁は差動歯車式速度調整器により制御され、その微分割御と積分割御特性により精密な速度制御が行われる。この抄紙機は高速であるため、ヘルパードライブ方式が採用されているが、直列に接続されている昇圧機の電圧制御により、ヘルパ電動機に流れる電流を一定する制御を行っている。運転開始後短時日で営業運転が行われ、現在も好調に運転が行われている。以下この抄紙機の駆動部分および制

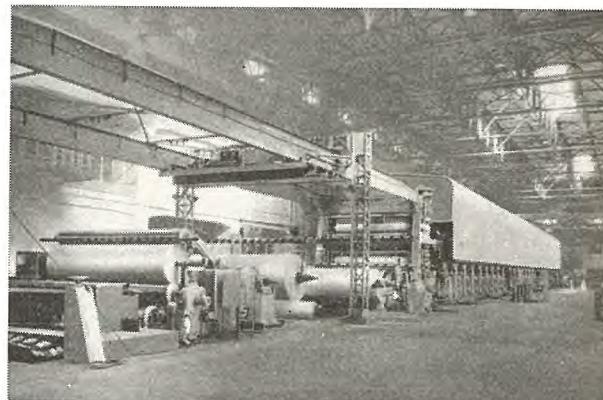


図 1.1 セクショナルドライブ抄紙機
Fig. 1.1 Sectional drive paper machine.

御系について述べる。

2. 抄紙機および駆動方式の概要

東北パルプ向新聞紙用抄紙機はその概略を図 2.1 に示すようにヘルパードライブ方式を用いた最新の駆動方式を採用している。ヘルパードライブを設けた主要部分はワイヤパートとプレスパートであり、補助駆動用のヘルパロールを取り付けてこの部分に起る紙切れや毛布切れ網切れを防ごうとするものである。

紙料液は図の左端にあるフローボックスからワイヤパートの網と同速度で流出され、ワイヤパートで纖維をあみ合わされ、サクションボックス、サクションクーチロールで水分を吸脱されてプレスパートにはいるのであるが、クーチロールより第 1 プレスロールに至る間は水分も多く非常に切れやすい。そのためこの部分の紙切れを

* 技術部整流器課副課長 ** 技術部

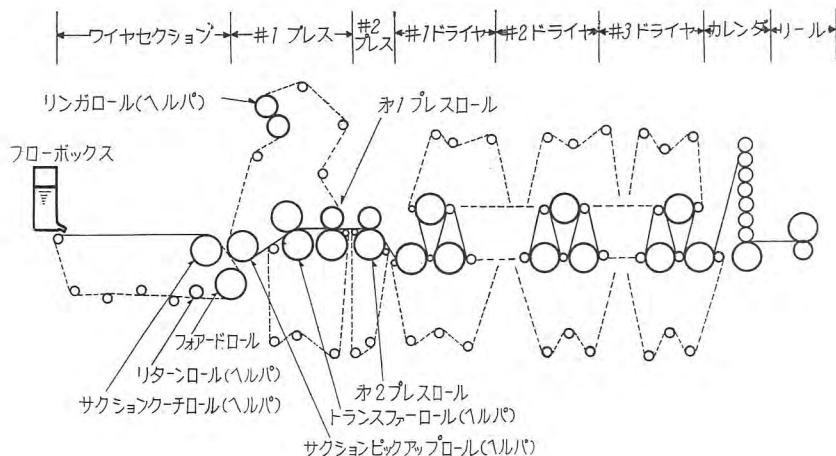


図 2.1 抄紙機概略図

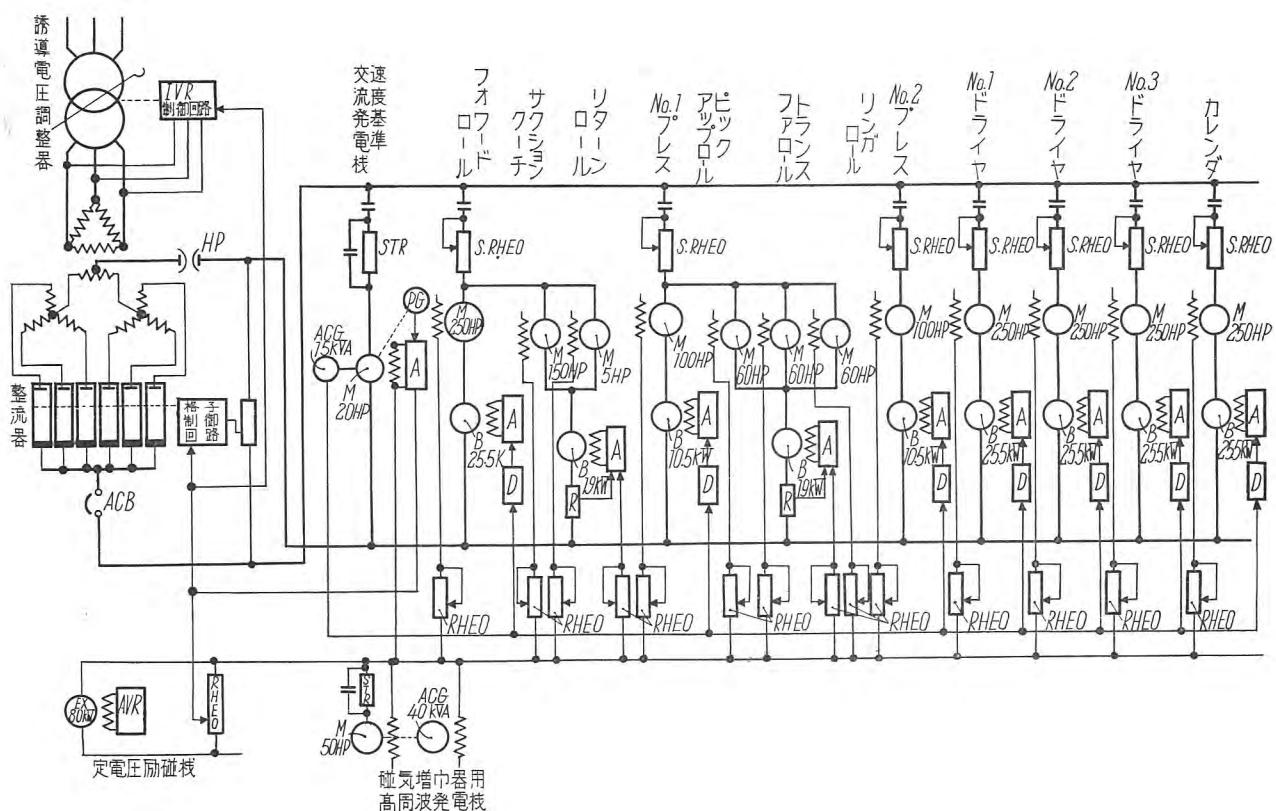
Fig. 2.1 Rough sketch of paper machine arrangement.

少なくする目的でヘルパドライブ方式が考えられた。この方法はサクションピックアップロールによってワイヤ面上に軽く圧着した毛布面に紙を真空吸引してピックアップし第1プレスパートに移し、この部分を通る紙に力がかかるないように考慮されたものである。なお、この部分の複雑に張られた毛布や網を1個のロールで駆動するのはきわめて困難となりまた毛布や網の寿命を縮めることにもなるので定トルク制御された補助のロールをつけて毛布や網に無理をかけないように駆動している。図2.1においてフォワードロール、および第1プレスロ

ールがそれぞれワイヤパートおよび第1プレスパートの主駆動用ロールであり、ワイヤパートのヘルパロールはリターンロール、サクションピックアップロール、第1プレスパートのヘルパロールはピックアップロール、トランスマッフル、リングロールである。このようにしてプレスパートに移された紙は第1プレス、第2プレスを通る間にさらに水分が除去されて、ドライヤにはいる時には50%ほどの水分が除去されている。ドライヤは蒸気で熱せられた多くの鋼の円筒からなり、第1、第2および第3ドライヤの3群にわかれ3組の電動機により駆動されている。ドライ

ヤを出るころには紙の水分はすっかり除かれ、カレンダを通る間に艶出しが行われて最後にリールに巻きとられる。リールに巻かれた紙は巻きかたさを一定にして商品化するため、リワインダでふたたび巻きとられる。

駆動電動機の制御回路の略図を図2.2に示す。図に示すようにこの駆動電動機制御方式は共通母線式セクションナルドライブ方式であり、直流電源としてイグナイトロン整流器を使用し、イグナイトロン整流器の出力を定電圧に保たれた共通母線に全セクション直流電動機および速度基準交流発電機駆動用の直流電動機すなわち基準電



A : 磁気増巾器 D : 差動歯車式速度調整器 HP : 高速遮断器(逆性) ACB : 気中遮断器(正性) AVR : 電子管式自動電圧調整器

図 2.2 駆動電動機制御回路
Fig. 2.2 Control system of sectional drive

動機が接続されている。制御系としては共通母線の直流電圧を一定に保つ電源の定電圧制御系および各セクション電動機の速度を一定にする速度整定制御系の二つに分れる。前者は誘導電圧調整器による定電圧制御系およびイグナイトロン整流器の格子制御による電圧制御によって母線電圧を正確に定電圧に保っている。後者の制御系としては、2,000 FPM という高速であるため、当然高い速応性を要求されるので各セクション電動機に直列に昇圧機を接続し、その電圧制御による速度制御を行っている。したがって本質的には各個発電機制御方式と同様の制御となっている。この昇圧機はすでに紹介された差動歯車式速度調整器によって制御される。この積分制御と微分制御を併用する調整器によりその速度は精密に一定に保持され、また早い速応性が得られる。各セクション

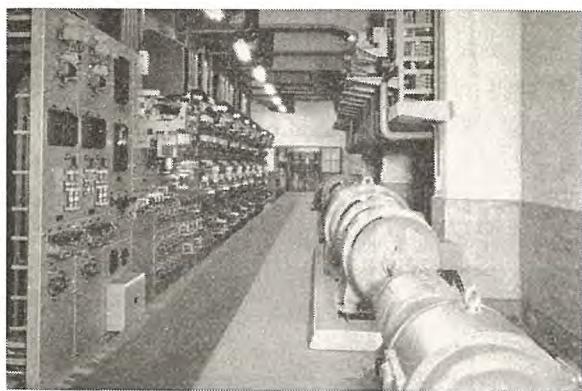


図 2.3 電 気 室

Fig. 2.3 Motor room.

電動機の速度基準はこの調整器の中のリアクションモータの回転数によって決定されるが、その電源は速度基準交流発電機より供給され、その周波数に同期した回転数で起動される。この発電機は直流電動機で起動されるので、その周波数は電動機の回転数に比例する。この直流電動機はパイロット発電機方式によってその速度を一定に保持するように制御し、運転中の抄速の変動がないようにしている。この電動機の速度基準と水銀整流器の出力電圧基準とは同一基準値より与え、各セクション電動機が母線電圧に応じた回転数で駆動されるようにしている。したがって昇圧機の電圧は低くなり容量も小さいも

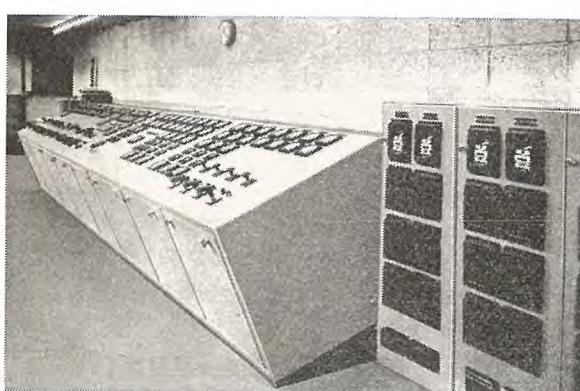


図 2.4 総 合 監 視 盤

Fig. 2.4 Supervisory desk.

のとなる。この母線電圧基準ならびに速度基準は定電圧励磁機より与えられるので、この励磁機の電圧は電子管式自動電圧調整器によって定電圧に保持し、電源の変動の影響を受けないようにしている。また昇圧機セットは同期電動機で駆動されるので電源電圧の影響は受けない。磁気増巾器の電源としては 430 c/s を使用し、専用の発電機を設置し、その駆動は直流電動機によって行われる。電気設備の監視としては図 2.4 に示す総合監視盤を設置し、運転準備、計器の監視、各種信号を行うようしている。

3. 電源部主要機器

紙切れ、しわなどの原因をなくするために各電動機の回転数はどのような擾乱に対しても厳密に一定に定められていないなければならない。抄紙機の速度に影響を及ぼす擾乱としては、クーチロール、サクションボックスなどの真空度の変化、クーチワイヤの異常振動、フローポックスよりの紙料液の流出量の変化、プレスロールの真空度変化、ドライヤの乾燥ロール内の復水の異常状態、カレンダの摩擦の変化など抄紙機本体の擾乱も多くあるが、そのほかに電源電圧、周波数の変化などが大きな擾乱の原因となる。そのため交流側電源電圧、周波数などの変化に対してついに直流電圧を一定に保つことが必要である。この定電圧特性は定常状態においてはいに及ばず、過渡状態における変動が大きいと、そのために起る各セクション電動機の速度変化がロールの慣性能率によって異なる変化率をとり、電動機間の速度偏差が過渡的に大きくなつて紙切れなどの原因になるので、過渡偏差も極力小さくまた回復時間もきわめて短かいことが望ましい。そのため速応性に富んだイグナイトロン整流器を用いた定電圧制御回路が採用された。抄紙速度としては 800~2,000 フィートが要求されたので、これに対応する整流器出力電圧は 188~440 V となり、この範囲を整流器の位相制御で行うことは入力の力率を低下さすため、交流側電圧制御を併用することとした。この電圧制御は負荷時タップ切替装置によるものと考えられたが、タップ切替時の電圧急変（これはきわめてわずかであるが）が電圧変動の一因となることを考え、最良のものをえらび、ここに用いられたのは誘導電圧調整器とイグナイトロン整流器による、微分制御に積分制御を加味した制御系であり、過渡特性、定常状態の精度ともに十分に補償された回路である。

3.1 対形誘導電圧調整器

普通の三相誘導電圧調整器を整流器用変圧器の交流側に挿入して整流器の直流電圧を微細に調整することができるが、この場合整流器の格子制御用の変圧器の一次側はその構造上記の誘導電圧調整器の出力側に結ぶことができず、かならず入力側に結ぶ必要がある。その時はこの制御変圧器の電圧位相は誘導電圧調整器を回転させて電圧調整するごとに最大、最小調整位置のほかは整流器用変圧器の交流側の電圧位相と差異を生じ、ひいては

整流器の格子に加わる電圧位相がずれて満足な位相制御を行うことができないことがある。

この欠点をなくして誘導電圧調整器の入力電圧と出力電圧（整流器用変圧器の交流側に加わる電圧）間の位相差をあらゆる調整位置においてなくそっとするものが対形誘導電圧調整器である。

このためには図3.1のようなベクトル関係を満足させねばよいことになる。図の最大または最小調整位置について考えると分るように、対形誘導電圧調整器の直列巻

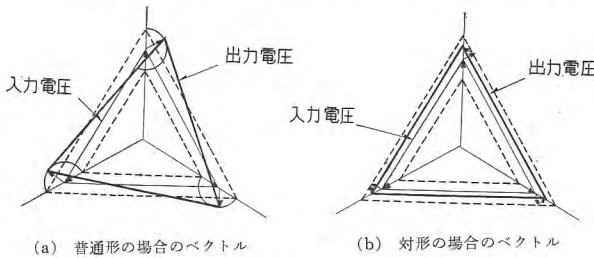


図 3.1 電圧ベクトルの比較

Fig. 3.1 Comparison of voltage vectors.

線は必要な調整電圧の1/2の誘起電圧を生ずるような2個の巻線に分割する必要がある。また負荷電流は2個の直列巻線を直列に流れるため対形誘導電圧調整器は全自己容量の1/2の容量を有する普通の三相誘導電圧調整器を2個組合せればよいことが分る。今回の仕様についていえば、入力電圧3,150Vが(80~100%)に変動しても整流器用変圧器の直流巻線電圧を(510~310V)の範囲に調整可能のように調整電圧を選んである。したがって整流器用変圧器の容量から下記のようになる。

三相 屋内用 油入自冷式 自動操作

周 波 数 50 c/s

並列巻線電圧 3,150 V

直列巻線電圧 $\pm 570 \times 2$ V

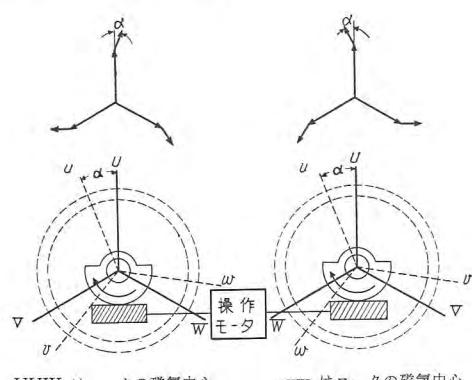
自 己 容 量 620 kVA

定 格 連続

操作用電動機 直流複巻 1 HP (円すい摩擦ブレーキ付)

総 重 量 11,000 kg

油 量 2,850 l



UVW はロータの磁気中心

uvw はロータの磁気中心

図 3.2 直列巻線の電圧位相と回転角の関係

Fig. 3.2 Relation between the voltage phase and rotation angle of series winding.

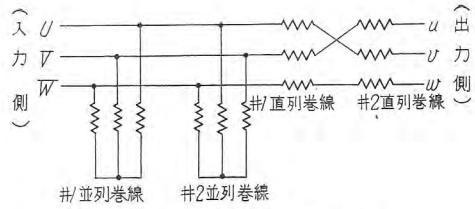


図 3.3 対形の場合の結線方法

Fig. 3.3 Connection diagram of symmetrical arrangement.

自己容量がきわめて小さい場合は前記2個の誘導電圧調整器の直並列の各巻線は同一の回転軸に取付けることが可能であるが、容量の大きい場合は実際にはこの方法をとることが不可能に近くなる。したがって今回は図3.2のように2個の回転軸を2組のウォーム、ウォーム歯車を用いて1台の直流モータで同一方向に回転させることにした。この場合図3.1(a)のベクトル関係を満足させるため図3.3のような結線となり直列巻線は交叉させる必要がある。このほうがウォーム、ウォーム歯車はすべて同一製品でよい利点をもっている。

上記のような2個の誘導電圧調整器を同一フレームに取付けて回転軸相互間隔が所定寸法より離れることのないように機械工作に細心の注意を払い、さらに入力電圧に対して2個の直列巻線誘起電圧の位相が完全に対称となるように調整可能とするため、扇形ウォーム歯車の大きさに余裕をもたせた。

図3.4はこの対形誘導電圧調整器の外観を示すが、入力電圧と出力電圧との位相差の検出は図3.3のUVW, uvw端子にそれぞれ位相計を接続し回転軸を0~180度まで回転させたとき、その最大位相差は30分であり非

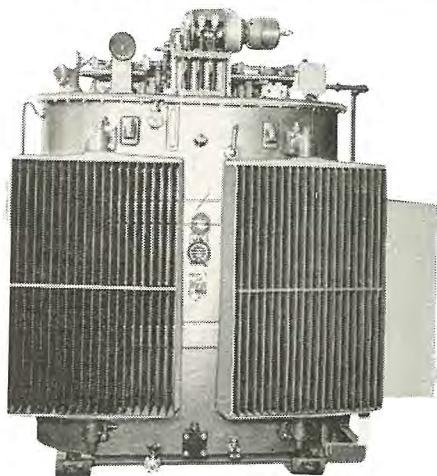


図 3.4 誘導電圧調整器外形

Fig. 3.4 Induction voltage regulator.

常に満足すべきものであった。また整流器、整流器用変圧器と組合せて実際に負荷した場合にも上記端子をそれぞれブラウン管オシロに接続して調べたがほとんど位相差は認められなかった。

3.2 整流器用変圧器ならびに陽極平衡コイル

整流器用変圧器の仕様は直流電圧、ならびに出力から次のようになる。

3/3×2 相	屋内用	油入自冷式
周 波 数	50 c/s	
電 壓 交流側	3,640 V	三角形
直流側	510~446~382 V	二重星形
容 量	1,980 kVA	
定 格	連続	
総 重 量	13,200 kg	
油 量	4,800 l	

上記仕様中交流巻線電圧 3,640 V は前項の誘導電圧調整器の電圧調整範囲より考えて奇異の感じをいだかせるが、これは前述のとおり電源電圧 3,150 V が変動しない時直流巻線電圧を (510~310 V) まで負荷時に調整可能のように選定したもので、電源電圧 3,150 V 一定の時は誘導電圧調整器出力電圧が上記値以上にならないように制御回路によって自動的にインターロックすることとした。

交流巻線は円板コイルを採用し、直流巻線タップ電圧はこの交流巻線中央に設けられたタップを無負荷時に切替えることにより得られる。無負荷タップ切替器は 6 極 3 変換とし、1 タップは巻線中央より同時に上、下方向に抜いて短絡時の機械力の減少をはかってある。なお無負荷時タップ切替器ハンドルは外箱側面より出して地上より容易に操作できるようにした。

直流巻線は u , x 相を巻き合わせた、らせん巻とし交流巻線の内側に巻かれる。この構造では各直流巻線の電流平衡の必要かつ十分条件である転流リアクタンスは相

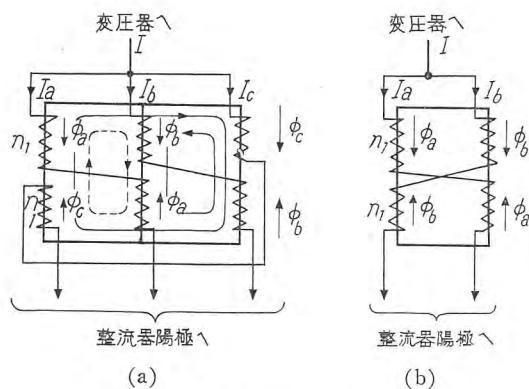


図 3.5 陽極平衡コイル動作説明図

Fig. 3.5 Operation of anode balancing coils.

等しくなり、さらに半径方向にスペーサを有するために機械的にも上下に強固に締め付けることができる。

つぎに陽極平衡リアクトル (B 種絶縁、乾式) であるが、一相あたりのイグナイトロンのタンク数は 3 個であるので図 3.5 のような巻線構造とした。

同図 (a) に示す巻線中上部のものは外側に、下部のものは内側に巻かれた円筒巻線であり、巻き方向は図中矢印直線で示すような磁束ができるように巻かれている。この時なんらかの原因で I_b , I_c だけ電流が流れ始めたとするとそれぞれ矢印曲線で示す方向の磁束ができるが、鉄心 c 中では互に打消されて鉄心 a , b 中に破線のような磁束ができる。この磁束のために a 巾線にはイグナイ

トロン陽極側が正となるような電圧を誘起する。この電圧に他巻線、たとえば b 巾線中の電圧降下、およびアーカドロップが加算されたものが a 巾線のイグナイトロン陽極に働きかけて、初め通電を起さなかった a 巾線に電流を通せしめる。3 群の巻線に電流が流れ始めると 3 巾線は初めに述べたように互に全部と組合わされ、かつ相互磁束を打消す方向に巻かれているため各巻線電流は平衡するように流れる。図 3.5 (a) (b) を比較すると分るよう b , c 巾線にだけ電流が流れた時鉄心 a , b 中の起磁力は 2 タンク用陽極平衡コイルの場合の 1/2 となるので、2 タンク用陽極平衡線の巻線端子間に誘起される電圧と等しくするために今回は鉄心断面積を約 2 倍にして同等の効果を生ぜしめた。

3.3 イグナイトロン整流器

今回使用したイグナイトロン整流器の定格は表 3.1 のとおりで水冷式密封形の二重格子構造である。電流容量が大であるにもかかわらず水冷式を採用したため非常に小形にまとまり、すえ付面積もわずかである。各整流タンクの内部構造は図 3.6 に示すとおり、点弧子、バッフルよりなる陰極部と陽極、格子よりなる陽極より構成されている。陰極部は 2 本の点弧子と補助極をもち点弧子は衆知のように毎半サイクルの始めに陰極点を形成する。従来点弧子には調整装置があったが、点弧子の特性がいっそう向上したため、GU-21 形においては点弧子は調整装置をはぶいて固定式となっている。

陽極部の陽極と格子は特殊高温処理されたグラファイトで作られ、二重格子のうち第 1 格子 (陰極に近い格子)

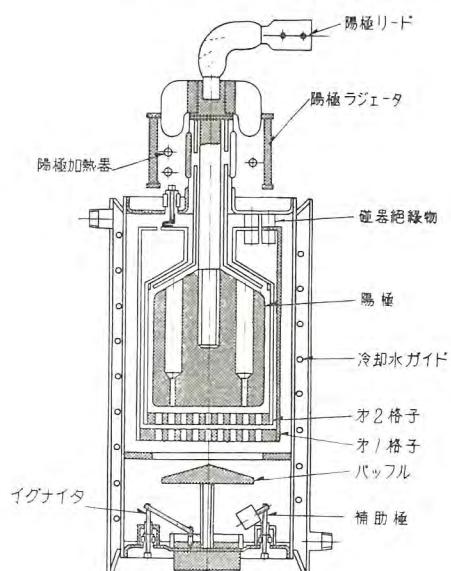


図 3.6 GU-21 形密封形イグナイトロン

Fig. 3.6 Vertical sealed ignitron.

表 3.1

形 容 電 定 タ ン ク	式 量 压 流 格 数	GU-21 形 (水冷式 密封形)
		1,400 kW
		440V
		3,180A
		B 種
		18 タンク

は陽極点弧時の電離の増強および半サイクル間の陰極点の保持を、また第2格子（陽極に近いほうの格子）は陽極通電開始位相の制御および通電終了後の阻止機能の増強を受持っている。

タンク壁はステンレススチールであり、組立後化成炉に入れてタンク壁が赤熱状態になるまで加熱しながら排気するため、十分に排気されて、最高度の真空状態を保つことができる。

冷却水系は水槽—循環水ポンプ—整流タンク→(再冷器)一水槽、の閉路循環式であり、温度リレーによって再冷器回路または加熱器回路に水系をつなぎかえて整流タンクを最適温度に保つように温度制御を行っている。水系はすべてステンレススチールおよび黄銅で構成しており、また閉回路の冷却水にはイオン交換樹脂で処理した純水を使用しているため、電食やその他の腐食は完全に防止されている。冷却水系はイグナイトロンタンクといっしょに一つのキュービクル内におさめられ、「水冷式」を用いたために整流タンクが小形になったことと相まって非常に小さくまとまっている。このイグナイトロン整流器は小形であるが非常な高性能をもっており、信頼性

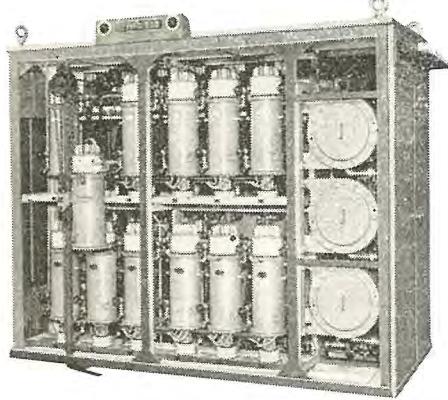


図 3.7 イグナイトロン整流器キュービクル内部
Fig. 3.7 Interior of ignitron rectifier.

が高くかつ操作が簡便であり電動機の制御用としては最適のものである。図3.7に整流器キュービクルの表板をはずした場合の内部の写真を示すものである。

3.4 イグナイトロン整流器の制御系

イグナイトロン整流器のすぐれた速応性を十分に生かすために、制御系には電子管増巾器および1/2 c/s 応答の電圧リセット形（レーミ形）磁気増巾器を応用して十分に速応性に富んだ制御回路を形成している。その結線は図3.8に示すようにイグナイトロン整流器の出力電圧を分圧して基準電圧と比較し、差電圧を電子管増巾器で増巾して格子位相制御回路を付勢する。格子位相制御回路はイグナイトロン整流器を位相制御して定電圧制御を行うのであるが、この場合に回路の安定度を害することなく低周波における増巾率を上げて定常偏差を小さくするために二次の位相遅れ回路が付加されている。この回路は電子管増巾器の前に挿入されているフィルタがそれであり、次のような伝達関数 G_L で表わされる特性を有

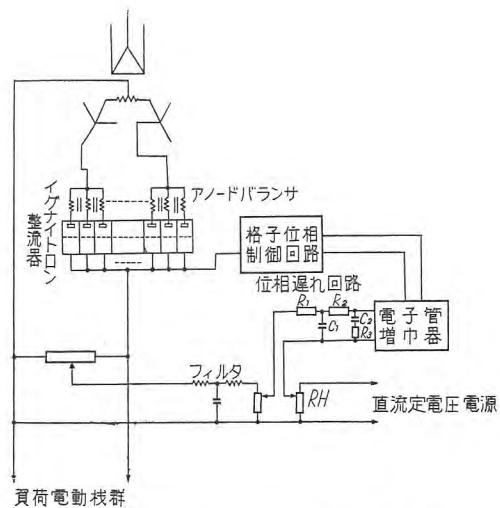


図 3.8 イグナイトロン整流器制御回路
Fig. 3.8 Control circuit of ignitron rectifier.

している。

$$G = \frac{1}{1+PT_1} \frac{1+PT_3}{1+PT_2} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ただし

$$T_1 = R_1 C_1$$

$$T_2 = C_2 (R_2 + R_3)$$

$$T_3 = C_2 R_3$$

(1) 格子制御回路

この回路は速応性電圧リセット形磁気増巾器（レーミ形磁気増巾器）を移相回路に用いた1/2 c/s 応答の格子位相制御回路である。その基本回路は図3.9(a)に示すように、磁気増巾器負荷巻線端子にセレン整流器 S 、抵抗 R_L および変圧器 T の二次巻線 T_s が直列に接続され、 R_L の両端より格子抵抗およびバイアス電源を経てイグナイトロン整流器のグリッドおよび陰極端子に接続されている。磁気増巾器のリセット巻線は調整抵抗 R_c 、真空管 VT および変圧器 T の三次巻線 T_r に接続されている。格子位相制御は磁気増巾器のリセット回路にある真空管 VT の格子電圧を変化することによって負荷回路の電圧の立ち上り点を制御し、抵抗 R_L の両端に表われる電圧をもってイグナイトロン整流器を格子制御する

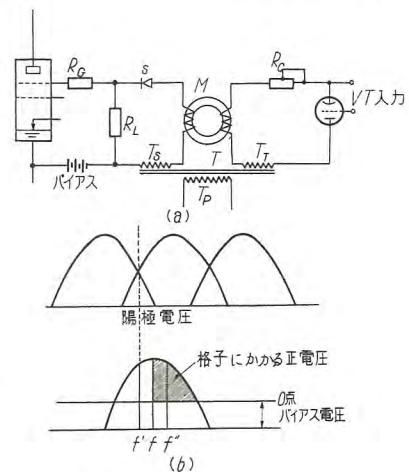


図 3.9 格子位相制御回路
Fig. 3.9 Grid phase control circuit.

ものである。抵抗 R_L の両端に表われる電圧、すなわちイグナイトロン整流器の格子に加えられる電圧は図 3.9 (b) に示されるような急峻な立上がり波形を有する電圧である。この回路を今少し詳細に説明する。磁気増巾器の鉄心の磁束一電流曲線を図 3.10 とし、初期磁束を図 3.10 の a 点とする。印加電圧の正の半波の間は整流器 s は不導通であるから負荷に電流は供給されない。この期間に磁気増巾器はリセット回路の電圧によりリセットされて磁束レベルは図 3.10 の b 点を経て半サイクルの終りには c 点に達する。この場合、この c 点の磁束レベルは真空管 VT の入力格子電圧によって c' , c'' のように変化する。負の半サイクルにおいては今度はリセット回路が真空管 VT によって不導通となり、逆に負荷回路が通電状態となる。そのため磁気増巾器にリセットの半サイクルとは逆向きの電圧がかかり磁束レベルは d , e 点を経て f 点に向かう。この期間中は負荷回路電圧はほとんどすべて磁気増巾器に吸収されて抵抗 R_L の両端にはほとんど電圧を誘起しない。磁束レベルが f 点に到達すると磁気増巾器は急激に飽和し、もはや電圧を吸収することができなくなり回路電圧は急峻な立上がり波形をもってほとんど R_L の両端に表われる。この電圧をもってイグナイトロン整流器の格子制御を行うわけであるが、この場合、 c 点が c' , c'' などと変わることにより図 3.9 (b) の f 点が f , f'' と変わりこれによってイグナイトロン整流器の通電開始点を制御することができるわけである。この回路の格子入力対移相角特性をグラフに表わすと図 3.11 のようになり、利得は約 $8^\circ/V$ で比較的広範囲において直線性を有する。なお格子位相制御回路およびイグナイトロン整流器を含めたものに対する

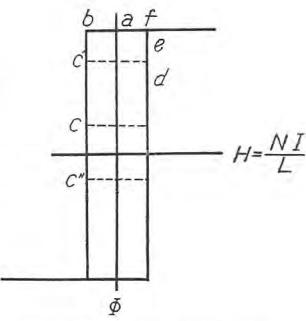


図 3.10 磁気増巾器鉄心の特性曲線

Fig. 3.10 Characteristic curve of magnetic amplifier core.

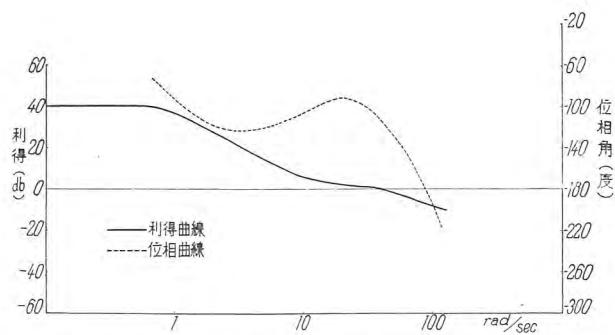


図 3.12 イグナイトロン整流器制御回路の周波数特性

Fig. 3.12 Frequency characteristic of ignitron rectifier control circuit.

する電源電圧変動の影響は、イグナイトロン整流器の電圧外乱を軽減する方向に働くために、定電圧制御回路としてはきわめて好適な特性を示している。なおこの回路を用いると電源周波数の変動は直流電圧にはなんら影響を与えない。

(2) 総合特性

格子位相制御回路は $1/2$ c/s の時間遅れであり、イグナイトロン整流器の時間遅れと加え合わせても 1 c/s 以内である。また電子管増巾器はここに考へているような周波数領域に対しては時間遅れがないと考えてよい。これらに前に述べた位相遅れ回路の特性および主回路の特性をも考慮して電圧制御回路の開路周波数特性を示せば図 3.12 のようになり安定な制御系が得られていることがわかる。

3.5 誘導電圧調整器制御回路

格子位相制御回路によって行われる比例制御に対して誘導電圧調整器は無定位制御すなわち積分制御を行う。この制御は断続制御であるが、制御系に繼電器を用いず、飛躍特性をもった磁気増巾器を用いて繼電器と同じような動作をさせる新しい制御方式であり、電圧変動率が 0.3% 以内の制御が可能である。この誘導電圧調整器の制御系は図 3.13 に示すように検出部、電圧増巾用磁気増巾器、飛躍特性をもった開閉用磁気増巾器および電磁接触器の組合せ回路であり、電磁接触器を用いて操作

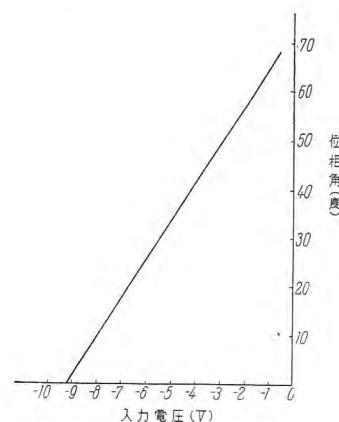


図 3.11 格子位相回路の特性曲線

Fig. 3.11 Characteristic curve of grid phase circuit.

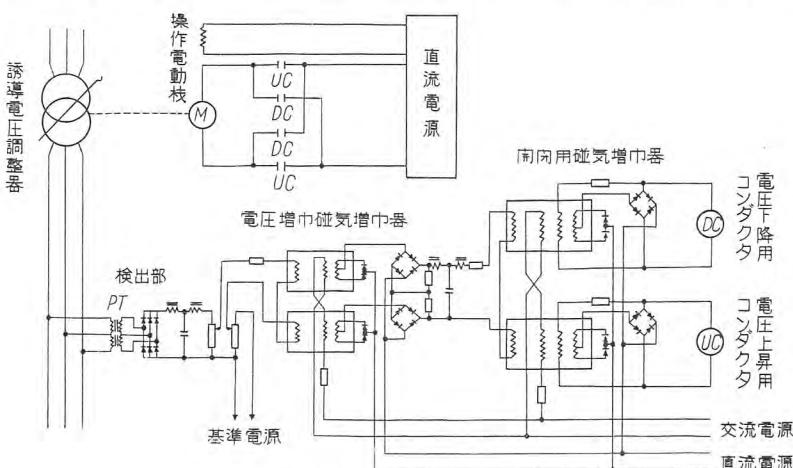


図 3.13 誘導電圧調整器制御回路結線図

Fig. 3.13 Connection diagram of induction voltage regulator control circuit.

表 4.1 セクション電動機一覧表

セクション	馬力(HP)	特性	制御
フォワードロール	250	DC 440V 1,000 rpm	差動歯車式調整器制御
サクションクーチ	150	" " 638 rpm	ヘルバ制御
リターンロール	5	" " 1,000 rpm	差動歯車式調整器制御
No. 1 プレス	100	" " 1,000 rpm	差動歯車式調整器制御
サクションピックアップ	60	" " "	ヘルバ制御
リンガロール	60	" " "	"
トランスマッフル	60	" " "	"
No. 1 プレス	100	" " "	差動歯車式調整器制御
No. 1 ドライヤ	250	" " "	"
No. 2 ドライヤ	250	" " "	"
No. 3 ドライヤ	250	" " "	"
カレンダ	250	" " "	"

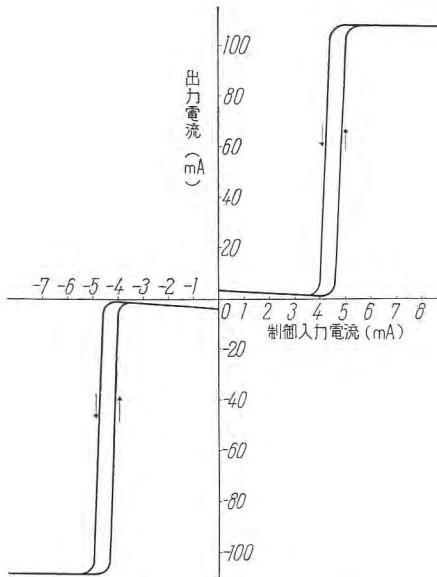
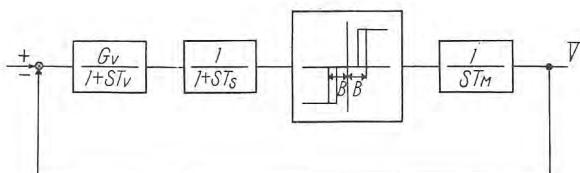


図 3.14 開閉用磁気増巾器特性曲線

Fig. 3.14 Characteristic curve of magnetic amplifier for switching use.



G_v : 電圧増幅用磁気増巾器利得
T_v : 電圧増幅用磁気増巾器時定数
T_s : 開閉用磁気増巾器時定数
T_m : 電動機の機械的時定数
S : Laplace の演算子
B : 開閉用磁気増巾器の不感域

図 3.15 誘導電圧調整器制御回路のブロックダイヤグラム
Fig. 3.15 Block diagram of induction voltage control circuit.

用直流電動機の電機子回路を開閉し、また切替えて制御を行うものである。その動作を説明するに、検出部の計器用変圧器によって検出された誘導電圧調整器二次電圧は整流されて基準電圧と比較され、プッシュプル形磁気増巾器で増巾された後開閉用磁気増巾器の入力に加えられる。開閉用磁気増巾器は正き還をほどこして飛躍特性を持たせた磁気増巾器であり、図 3.14 のような特性を有し入力電流がある値までは増巾器出力は零であるが、ある点をこえると飛躍的に全出力にまで増大するもので、継電器と同様の作用をして、電磁接触器をチャタリングを起すことなく操作することができる。電磁接触器は図 3.13 のように操作用直流電動機の電機子回路を開閉または切替えて誘導電圧調整器を制御するのである。この回路のブロックダイヤグラムを作ると図 3.15 のようになる。図よりわかるようにこの回路は積分項のある伝達関数を有するためにその誤差は、開閉用磁気増巾器に作られたデッドゾーンだけによってきまる。制御精度は後ほど述べるように 0.3% 以内であった。

4. 駆動部

4.1 セクション電動機および主要機器

各セクション電動機は上記一覧表のとおりである。各セクション電動機は 2 群に分割し、2 台の送風機で強制通風される。

各セクション電動機は昇圧機により速度制御あるいは電流調整を行うが、その昇圧機セットは下記のとおりである。

昇圧機 25.5 kW 55 V フォワードロール用
昇圧機 19 kW 55 V サクションクーチおよびリヤターニング用
昇圧機 19 kW 55 V サクションピックアップ
リンガロール
トランスマッフル } 用
昇圧機 10.5 kW 55 V No. 1 プレス用
昇圧機 10.5 kW 55 V No. 2 プレス用
駆動電動機 150 HP 同期電動機 3,300 V 50 c/s 1,000 rpm

昇圧機 25.5 kW 55 V No. 1 ドライヤ用
昇圧機 25.5 kW 55 V No. 2 ドライヤ用
昇圧機 25.5 kW 55 V No. 3 ドライヤ用
昇圧機 25.5 kW 55 V カレンダ用
駆動電動機 150 HP 同期電動機 3,300 V 50 c/s 1,000 rpm

その他補助セットとして下記のものがある。
定電圧励磁機 85 kW 220 V
同上駆動電動機 130 HP 誘導電動機 3,000 V 1,500 rpm

磁気増巾器用 40 kVA AC 220 V
高周波発電機 430 c/s 1,720 rpm
同上駆動電動機 50 HP DC 220 V 1,720 rpm

速度基準交流発電機 15 kVA AC 220 V 60 c/s 1,200 rpm
同上駆動電動機 20 HP DC 440 V 1,200 rpm

4.2 セクション電動機制御 (図 4.1 参照)

すでに述べたように各セクション電動機は昇圧機により電圧制御される。各セクション間のドロー調整もすべて昇圧機によって行う。したがってセクション電動機は一定界磁の電動機でよいのであるが、電動機の特性上その負荷に対する速度特性が各速度において異なるため、できるだけ昇圧機の電圧を低くするよう、またドロー調整の量によってもできるだけ昇圧機は低い電圧で動作す

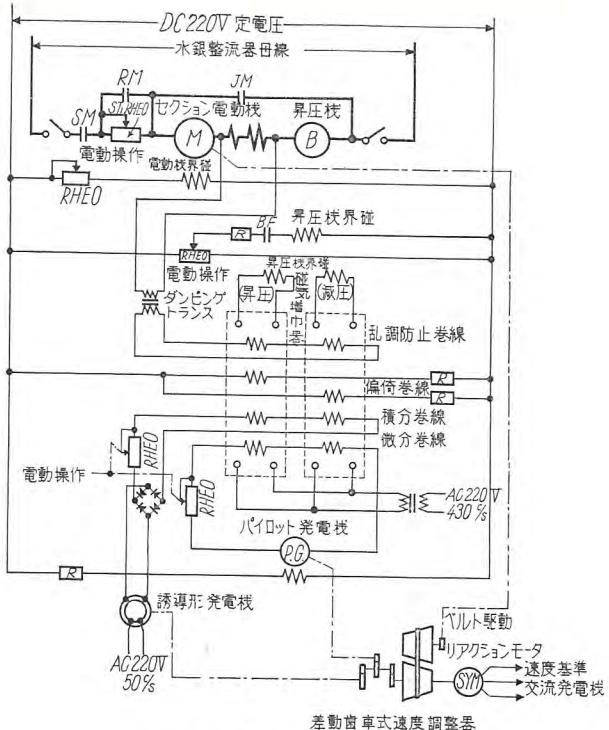


図 4.1 セクション電動機制御
Fig. 4.1 Control system of section motor.

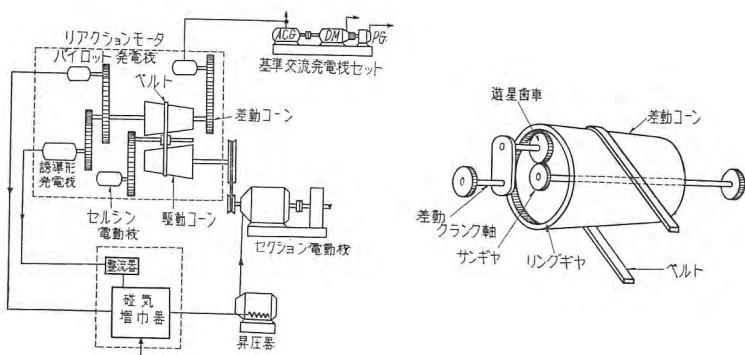


図 4.2 差動歯車式速度調整器による制御簡略図
Fig. 4.2 Schematic diagram of differential gear regulator.

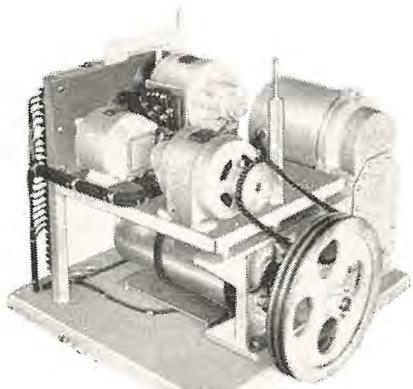


図 4.3 差動歯車式速度調整器
Fig. 4.3 Differential gear regulator.

るよう電動機界磁調整器を捲入し調整するようにしている。図 4.1 に示すように昇圧機の界磁は 2 個の磁気増巾器を使用し電圧を正逆に制御するようにしている。この磁気増巾器の制御入力は差動歯車式速度調整器より供給される。[差動歯車式速度調整器についての詳細説明は三菱電機 1957 年 8 月号に掲載している]。この動作説明図を図 4.2 に示している。差動コーンはセクション電動機に比例した回転で駆動され、サンギヤーはリアクションモータで駆動され、その回転数が制御されるセクションの速度の基準となる。この回転数はすでに述べたように速度基準発電機の周波数によって決定され、その周波数に対する同期速度で回転する。差動歯車の原理よりもサンギヤーと差動コーンの関係回転数が相違すれば、差動クラランク軸が回転する。この軸にパイロット発電機および誘導形発電機が直結され、クラランク軸の回転を電気的勢力に変換し磁気増巾器で増巾して昇圧機界磁を制御する。パイロット発電機の回転数はギヤーにより増速されているので、負荷変動による急激な変化に対しては高い増巾率を示して回復時間を早める作用をし、誘導形発電機はセクション電動機の微細な速度変化を積算して、その速度変動率を少なくする作用を行う。この積算形制御ということがこの調整器の特長であり高い精度が保持される所以である。セクション電動機の起動は、起動用発電機が使用されないので、起動抵抗器による減電圧起動方式が採用されている。この方式によれば各セクション電動機が、まったく別個に任意に起動停止が行われ得るという利点を有する。セクション電動機を起動する場合には、各セクション操作盤の運転ボタンを押す。セクション電動機は昇圧機により 60 FPM の速度に起動され、昇圧機界磁に取付けられた界磁調整器（電動操作）により 300 FPM まで加速される。300 FPM の速度に達すれば自動的に昇圧機との接続が切れセクション電動機は水銀整流器母線に接続される。起動抵抗器による起動方式としては、コンタクタによる段階的に起動する方式も考えられるが、機械的なショックを避けるためと、大容量のコンタクタを多数必要とする点から、図のように電動操作式の調整器を使用して円滑に起動するようにしている。起動抵抗器が全部短絡されれば、自動的に磁気増巾器ならびに差動歯車式速度調整器が作用し速度の同期化作用が行われる。この速度調整器が作用する場合、電動機が完全にその所定の同期速度で回転していることは保証されないので、その動作時調整器のあふりにより機械的ショックを与える場合もあるので、この調整器の電気的入力を電動操作の調整器により順次出力を増加させて円滑に同期化させるようにしている。上記の動作は運転ボタンを押すことによりすべて自動的に行われる。

フェルト洗あるいは機械の調整などのためにセクション電動機を低速で連続に回転する必要がある。この運転は 30 FPM, 300 FPM の二段速度で昇圧機により連続

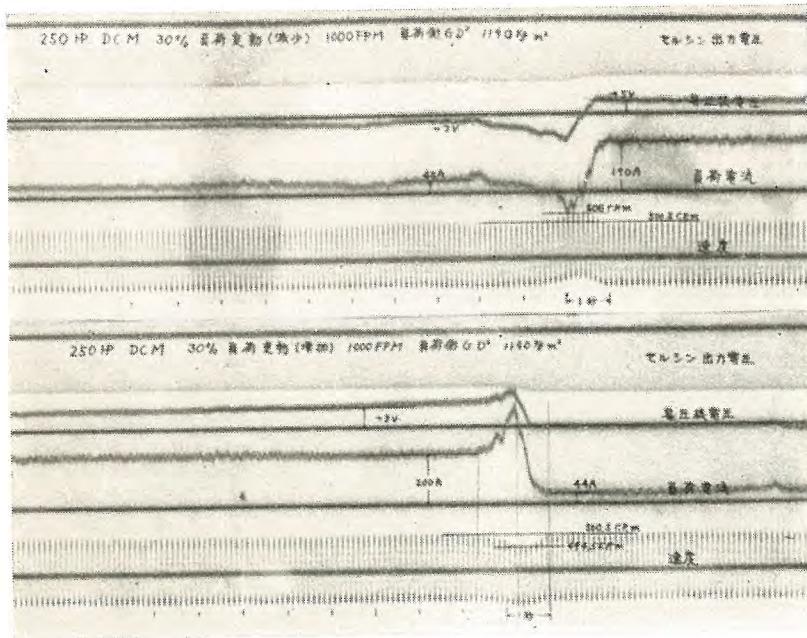


図 4.4 セクション電動機の負荷特性オシログラム
Fig. 4.4 Load characteristic oscilloscopes section motor.

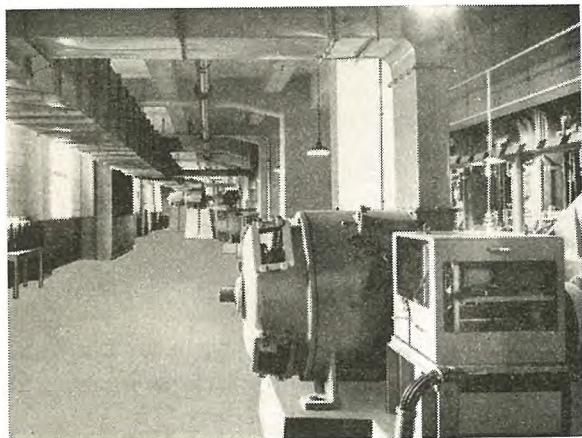


図 4.5 差動歯車式速度調整器を取付けたセクション電動機
Fig. 4.5 Section motor couple to differential gear regulator.

運転ができるようになっている。操作盤には差動歯車式速度調整器のドロー調整用ベルトの位置を指示する指示計を取付けている。したがって運転者はこの指示計によりセクション間のドロー差を調整することができる。

カレンダと No. 3 ドライヤ間の紙には或る程度の張力が掛けられるので、その張力を保持するように速度調整が行われる。しかしこの部分の紙の乾燥度は長時間の抄紙運転の間に変化を生じその張力に変化を生じ、紙切れを生ずる。これを防止するために張力変化によるカレンダ電動機の負荷変動が或る限界をこえれば、磁気増圧器が動作し、それによってリレーを動作させ警報を発するようにしている。したがって運転者はその警報によりドローの再調整を行い、紙切れの防止を行なうようにしている。

この昇圧機制御による負荷変動による動作のオシログラムを図 4.4 に示している。

4.3 ヘルパ電動機制御 (図 4.6 参照)

抄紙機の構造の概略が図 2.1 に示されているが、湿紙部のサクションロール、リターンロールはフォワードロールとの間に掛かっているワイヤによって駆動されていた。したがってフォワードロールに結合されている電動機によってその動力は供給され、トルクはワイヤとロール間の接触面の摩擦トルクによって伝達されていた。また No. 1 プレス部のリングロール、サクションピックアップロール、トランスマッフルロールは No. 1 プレスロールとの間に掛かっているフェルトによって駆動され、その動力は No. 1 プレスに結合された電動機で供給されていた。最近このような構造のものに対し、上記補助ロールに電動機を結合して駆動するヘルパドライブ方式が採用されている。とくにサクションピックアップロールは、新聞紙のように薄物でしかも抄紙

速度が高い場合には、ワイヤ部とプレス部との間を、90 %は水分である弱い紙溶液をうまくわたすことが困難であるので、この方式が採用されたがってヘルパドライブ方式が多く採用されている。このヘルパ方式を採用すれば、ワイヤならびにフェルトは補助ロールを駆動する強度を必要としなくなり薄い物を使用することができる

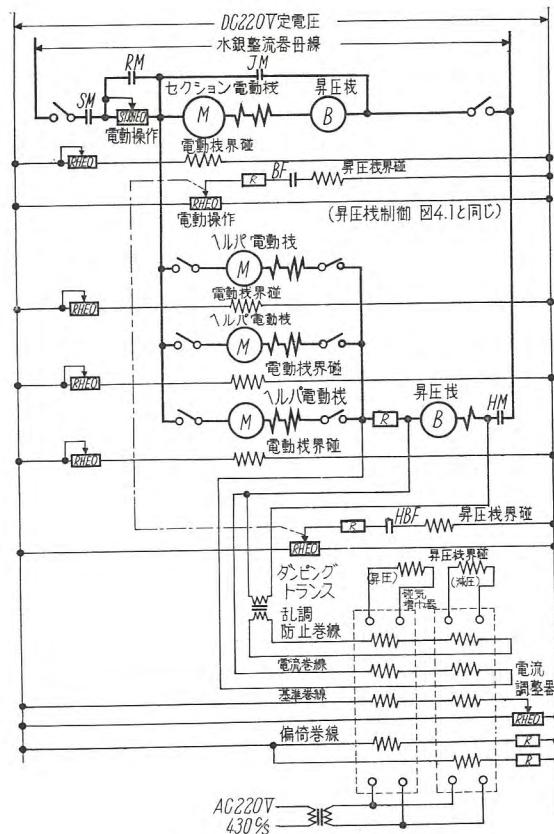


図 4.6 ヘルパ電動機制御
Fig. 4.6 Control system of helper motor.

ので、その部分での水はけがよくなり紙の速度が上げられるとともに紙の質によい影響を与える。またフェルトの伸び方が少なくなり紙の纖維の構成を阻害せず紙の強度もよくなる。またフェルトがロールを駆動することができなくなるので、フェルトの寿命が長くなりコストが低くなるとともに取替えによる休止時間が少なくなる。

この電気的な制御方式としては、ヘルパ電動機が採用される原理から当然考えられるように、フェルトからロールに伝達されるパワーを電動機から供給すれば、その間にパワーの授受はなくなり上記の目的が達せられる。したがって図に示すように電動機の発するトルクを一定にする、すなわち電動機に流れる電流をつねに一定にする方式を採用している。ヘルパ電動機の電源はセクション電動機と同一電源でありその起動は主駆動と同時に行われる。直列に接続された昇圧機の電圧制御によってその電流が制御され、昇圧機の界磁は電流調整磁気増圧器で制御され、ヘルパ電動機に流れる全電流が一定になるように制御される。その電流値は基準巻線に挿入されている調整器により任意に調整される。もし電動機の速度がフェルトの速度より低くければ電動機はフェルトにより駆動されるのでその電流は減少する。磁気増圧器は昇圧機電圧を制御し電動機の端子電圧を高くするように作用し、その電流値を所定値になるように制御する。逆の場合は電圧を下げるフェルトの速度と同期化させるので、この方式により電動機の速度はフェルトの速度と同期化するように制御される。

この方式は各ヘルパ電動機の全電流を一定に保持する方式であるが、各ヘルパ電動機間の負荷分担は各電動機の界磁調整器によって調整される。この種調整器ならびに計器は機械側に取付け、運転者がその都度調整可能のようにしている。

5. 試験結果

5.1 水銀整流器制御回路の試験

今回のように共通母線式の制御系では負荷の都合上工場において組合わせて総合制御特性をしらべることは非常にむずかしい。そのため今回はイグナイトロン整流器の制御入力が非常に小さくてすむことを利用して、電子管計算器を用いて直流電動機群を模擬し電源部イグナイトロン整流器の総合制御特性を試験した。その試験回路は図5.1に示すとおりである。

図5.2は等価試験方法を用いて整流器制御系の過渡特性をしらべたもので、10%の電圧外乱に対してインパクトドロップ 1.1% 回復時間 0.1秒と良好な特性を有している。なお、その時の電動機の速度特性は図5.2(b)および(c)線のようであり(b)線は機械的時定数の大きな電動機、(c)線は機械的時定数最少の電動機を模擬している。なお、定常偏差は現地で測定した結果 10% の電源電圧変動に対して 0.03% 以内であることがわかった。図5.3に等価試験回路器具および誘導電圧調整器制御回路の写真を示す。図中左前方にあるのが等価試験回路を組んだ電子

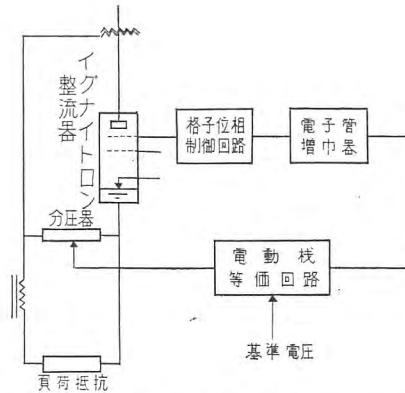


図 5.1 イグナイトロン整流器試験回路
Fig. 5.1 Testing circuit for ignitron rectifier.

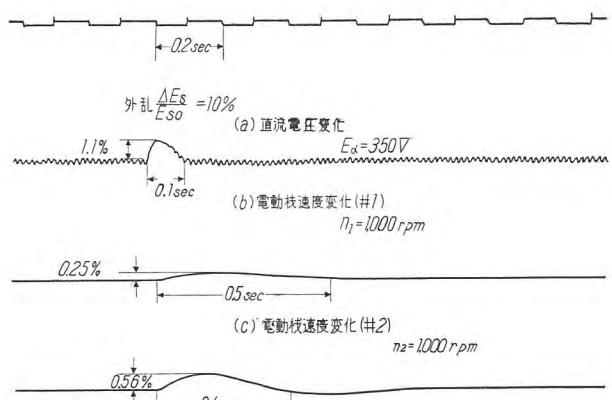


図 5.2 イグナイトロン整流器の制御特性
Fig. 5.2 Control characteristic of ignitron rectifier.

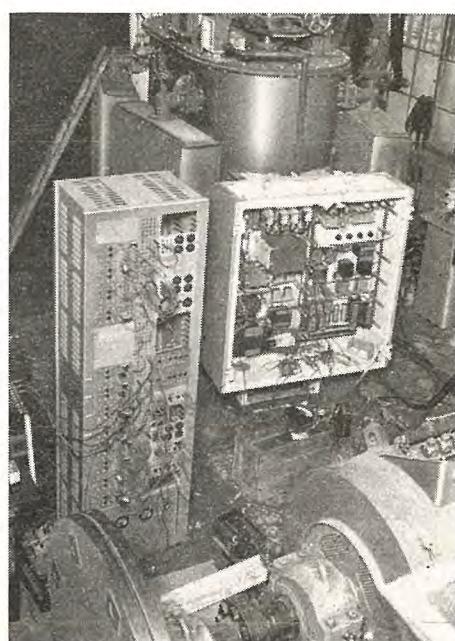


図 5.3 誘導電圧調整器制御装置および等価試験装置の外形
Fig. 5.3 Induction voltage regulator control equipment and equivalent testing apparatus.

管計算器であり、右後方にあるのが誘導電圧調整器およびその制御回路箱である。

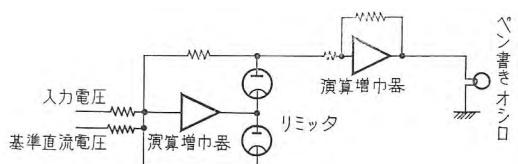


図 5.4 誘導電圧調整器制御特性の測定回路

Fig. 5.4 Measurement circuit for control characteristic of induction voltage regulator.

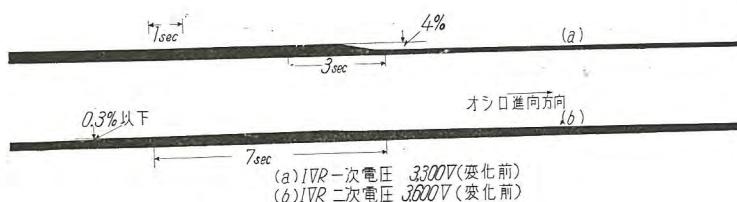


図 5.5 誘導電圧調整器の制御特性

Fig. 5.5 Control characteristic of induction voltage regulator.

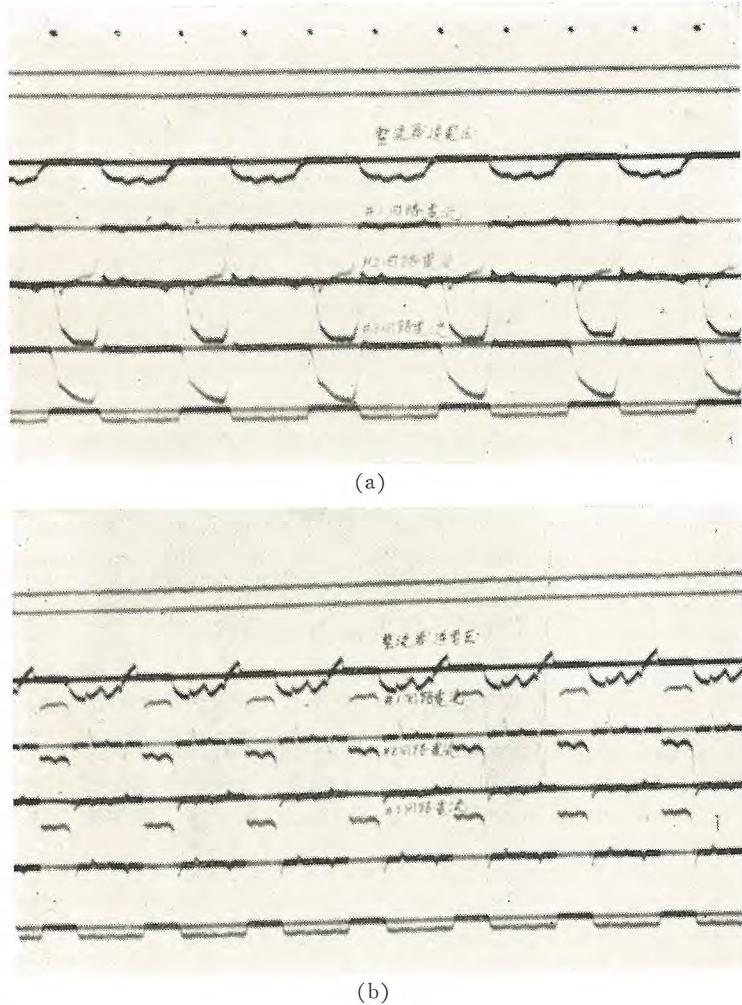


図 5.6 陽極電流平衡試験のオシロ

Fig. 5.6 Oscillogram of anode current balancing test.

5.2 誘導電圧調整器制御回路の試験

図 5.4 のような測定回路を電子管計算器を用いて作成し電圧変動の変動分だけを増幅して誘導電圧調整器の制御特性を測定したものが図 5.5 である。これによると 4 % の入力電圧の変動に対して出力電圧の定常偏差はほとんど読みとることができず十分 0.3% 以内に収まっていることがわかる。しかもこの定常偏差は外乱と逆方向に表われているが、これは直流電動機の制動が遅れたためであろう。この制御系は無定位制御系であるため、誘導電圧調整器の制御可能範囲内においては、いかなる外乱に対しても制御精度は 0.3 % 以下である。なお回復時間は図 5.5 に見るとおり約 7 秒である。

5.3 イグナイトロン整流器の 3 並列回路の負荷平衡試験

整流器の使用タンク数は 18 タンクであり、6 相整流回路を採用しているので 3 タンク用陽極平衡リアクトルを用いて各タンク間の電流平衡を計った。図 5.6 (a) は陽極平衡リアクトルのない場合であり、同図 (b) は陽極平衡リアクトルがある場合である。これによつて陽極平衡リアクトルが十分満足に動作していることがわかる。

6. む す び

科学および技術という 1 分野が今日ほど世人の注目を集めた時代はなかったろう。しかし、人工衛星にしろミサイルにしろ、これらの新しい発展はその各部分を構成する基礎技術の進歩なしには成し得なかつた。その意味で、東北パルプ向 2,000 フィート抄紙機の完成は東北パルプならびに三菱電機の確固たる基礎技術と総合技術の成果であるといふ得よう。終りにいろいろご協力をいただいた小西氏を始め東北パルプの方々、および工場試験において種々協力していただいた当社大谷技師、影山技師、鈴木技手、佐野、横畠技師見習の諸氏に深く感謝する。

300kV, 5,000MVA 節油タンク形遮断器

伊丹製作所 新井正元*・五十嵐芳雄**・永田秀次***

300kV, 5,000MVA Low Oil Content Circuit Breakers

Itami Works Masamoto ARAI・Yoshio IGARASHI・Hidetsugu NAGATA

New 300 kV 5,000 MVA 800 A rating has been added to the ultra-high voltage low oil content circuit breakers, four of them being delivered to Hirakata substation and one to Shin-aimoto substation of the Kansai Electric Power Company. Prior to the delivery various kinds of tests were conducted to prove their performance satisfying all the requirements of ultra-high voltage power systems. Especially the one for the latter substation was verified capable of interrupting the line charging current without restriking of arc even at 375 kV, which proves it applicable to the sending end of long transmission lines.

1. まえがき

さきに発表したように、当社は超高压節油タンク形遮断器を製作中であるが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、今回関西電力株式会社枚方変電所に4台、新愛本変電所に1台、300 kV, 5,000 MVA, 800 A 定格のこの遮断器を納入した。

超高压遮断器について要求される遮断性能について要約すれば、接地故障で 1.3 E (E は相電圧) の回復電圧において再投入再遮断の責務を行い 3 サイクル遮断できること、定格遮断電流の 1/4 程度で位相はずれ遮断を考え、2 E 程度の回復電圧で完全な動作のできること、線路充電電流、変圧器励磁電流の遮断のときの異常電圧係数の低いこと、とくに長距離送電線の送端では、全負荷時に受電端でさきに遮断した場合の電圧上昇を考え、運転電圧の 130% ぐらいで充電電流遮断できること、進展事故に対しても十分な安全率のあること、などである。このほか、主要幹線に用いられるものであるから、できるだけ寿命が長く、保守が少なくてすみ、点検も簡単にできるものが要求されるのも、当然である。

節油タンク形遮断器が上記の点について、すぐれた性能をもっていることは、以下に説明するようであり、また米国 Westinghouse 電機会社 (以下 W 社と略す) で同種遮断器について行った多くの試験結果に示されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁸⁾。これはこの遮断器に用いられた多重切消弧室のすぐれた性能によるもので、この消弧室は当社においても W 社においても、広く他の定格の油遮断器に用いられるようになった⁽⁷⁾⁽⁹⁾。また節油タンク形としての利点である、占有空間の小さいこと、積雪地、塩害地で絶縁の危険度の少ないと、ブッシング変流器、コンデンサブッシング形計器用変成器との組合せ使用による価格の低減可能性などは、他の遮断器にまさる点として広く認められるに至り、また目下製作中の電源開発株式会社田子倉発電所の 300 kV, 12,000 MVA の定格が示

すように、この形の遮断器の本来の特長である、大遮断容量における好性能を発揮する機会も得られようとしている。

以下項を追って、この遮断器の構造と納入に先だって行われた形式試験の結果とについて詳細に説明を行いたい。

2. 定格その他

枚方変電所に納入した 4 台の遮断器と、新愛本変電所に納入した 1 台の遮断器とは、若干異なる定格をもっている。前者は変圧器用遮断器として使用されるため、5 サイクル遮断器で再投入装置をつけていないが、後者は 3 サイクル遮断、単相再投入責務のものであるうえ、超高压幹線の送端にあたり、しばしば異常上昇した電圧で線路充電電流を遮断する必要があるので、330 kV で充電電流を無再点弧遮断することが要求されている。このため、後者の消弧室は標準よりも 2 点多い 8 点切の構造をとり、遮断器の重量、油量もそれに応じて若干多くなっている。定格とおもな数値は表 2.1 のようである。なおこの遮断器はいずれも JEC-57 (1940) に従って定格を表示しているが、近く改訂される新しい JEC の要

表 2.1 定格および主要数値

	枚方変電所納	新愛本変電所納
定格電圧	250-GW-500 287.5 kV (300 kV) 800 A	250-GW-500 T 287.5 kV (300 kV) 800 A
定格電流	5,000 MVA	5,000 MVA
定格投入電流	25,000 A (26,300 A)	25,000 A (26,300 A)
定格短時間電流	20,000 A-1 秒 (9,700 A-2 秒)	20,000 A-1 秒 (9,700 A-2 秒)
定格対地絶縁電圧	230 kV	230 kV
(絶縁階級)	(200 号) 60 c/s	(200 号) 60 c/s
定格周波数	0.045 秒	0.03 秒
(定格遮断時間)	(5 サイクル)	(3 サイクル)
定格投入操作圧力	15 kg/cm ² g	15 kg/cm ² g
定格引はず電圧	DC 100 V	DC 100 V
標準動作責任	0-1 分-CO-3 分-CO	0-0.3 秒-CO-1 分-CO
総重量(油を含む)	48,500 kg	55,900 kg
油	25,500 l	29,400 l

* 技術部次長 ** 技術部遮断器課長 *** 技術部

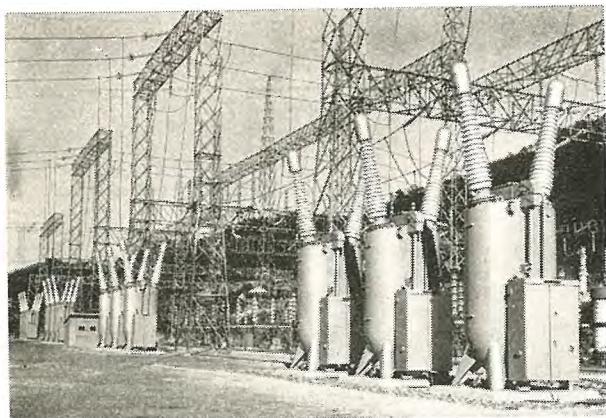


図 2.1 枚方変電所納 250-GW-500 形油遮断器
Fig. 2.1 Type 250-GW-500 oil circuit breakers
at Hirakata substation.

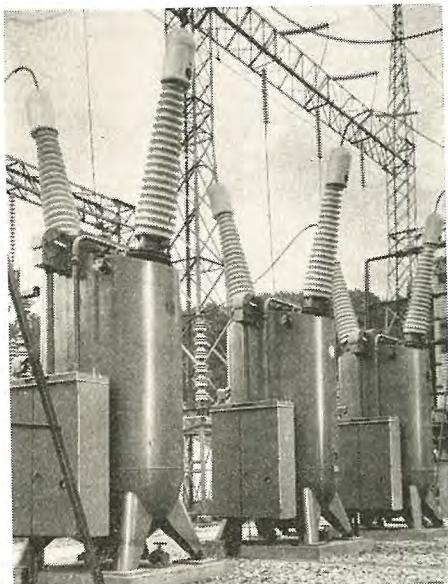


図 2.2 新愛本変電所納 250-GW-500T 形油遮断器
Fig. 2.2 Type 250-GW-500T oil circuit breaker
at Shin-aimoto substation.

求も完全に満たすことができるもので、とくにこの値も参考として括弧内に示しておく。

図 2.1 は枚方変電所納の 250-GW-500 形、図 2.2 は新愛本変電所納の 250-GW-500T 形の写真である。

3. 構 造

3.1 一般構造

図 3.1 の遮断器断面に示すように、タンクは下部が半ダ円球となったダ円筒で、4 本の溶接された足ですえ付けられる。タンクの背面には大きなマンホールが設けられ、内部点検保守は容易である。現在使用されている節油タンクの構造は 2 種類に大別され、W 社 Allis-Chalmers 社と当社がこの形で、GE と BTH とはレンズ形である。レンズ形に比べると、このタンクは構造が簡単で上部の空気室が大きい利点をもっている。大容量のタンク形遮断器では、大電流遮断時に消弧室から発生するガスによる圧力波が、上部は空気室で吸収されるに反し、下部はタンク底部で反射されるので、この力の不つり合

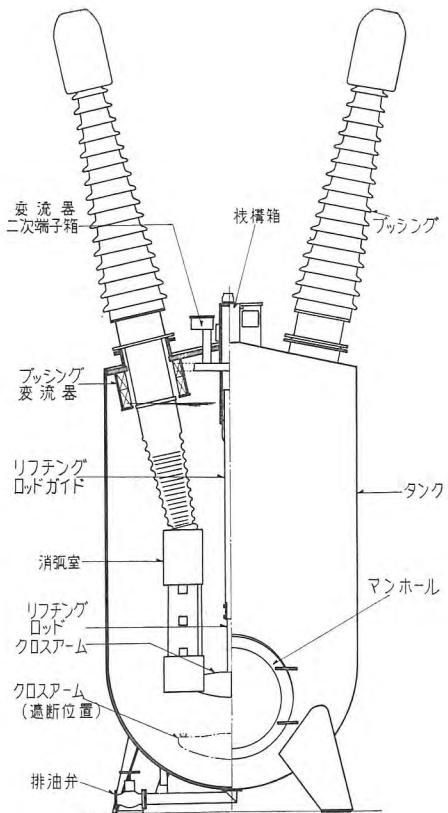


図 3.1 遮断器断面図
Fig. 3.1 Pole unit sectional view.

から、タンクの動くような衝撃の生ずることが経験されている。しかしこの形のタンクでは底面がこの圧力波を吸収しやすく、衝撃が小さくて大容量に適している。

タンク頂部には機構室とブッシング取付座が溶接されており、内側にはブッシング変流器が取付けられる。操作機構は図 3.2 に示すように、二重トグルを利用した垂直運動機構で、6 角の回転操作軸によってタンクの外から操作され、タンク内外はこの軸受によってできている。開極時間をへらし、必要な加速力をへらすため、大部分の軸受には重荷重で小形な針状コロ軸受を用い、それぞれのレバーは特殊鋼を用いて質量をへらしている。タンクの外の操作レバーは水平操作棒によって、ベルクランクと加速ばねに連結されている。ベルクランクは水平垂直の運動変換を行ない、空気操作機構に連結されており、2 組のレバーの組合わせで操作機構の出力をへらしている。遮断のときの可動部の衝撃は機構室の最下部につけられた油ダッシュポットで吸収される。投入のときは、消弧室および各部のばねで、余分のエネルギーが吸収されるのでダッシュポットを設ける必要がなく、固定ストップだけが用いられている。

空気操作機構はタンクの前面に溶接された山形鋼に直接とりつけられており、すえ付けによる狂いや、長年月の使用による狂いはまったく生じない。

可動接触子（クロスアーム）は長いウッドマイカルタ製のリッピングロッド操作機構と結ばれ、その運動はこれに並んでつけられたガイドによって垂直に保たれて

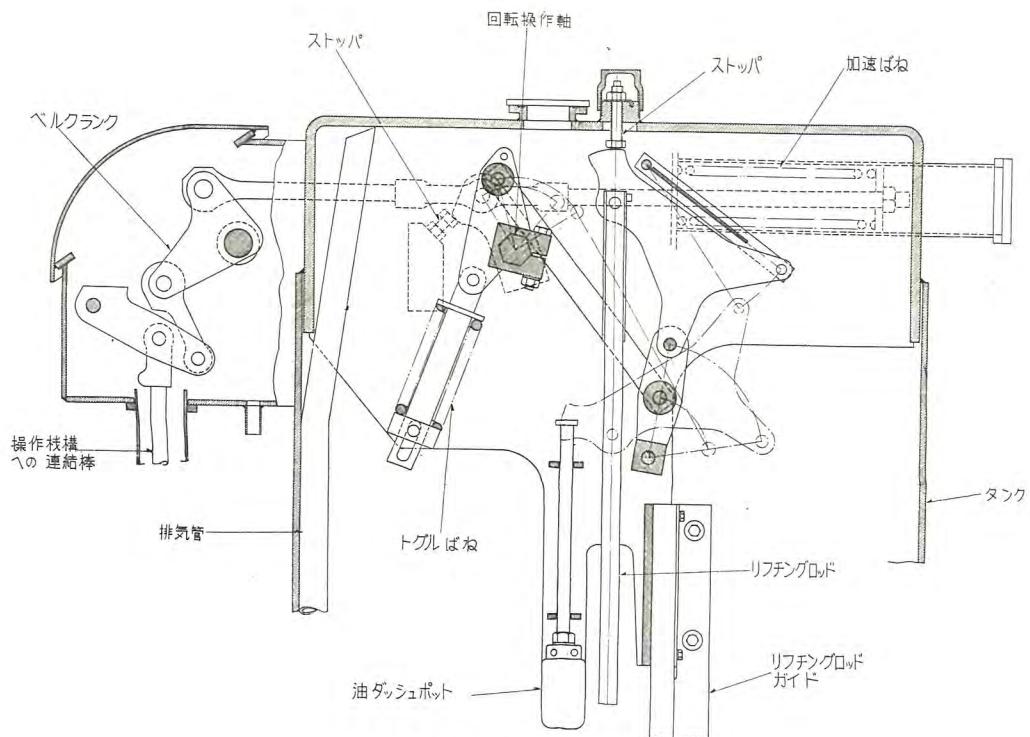


図 3.2 遮断器操作機構
Fig. 3.2 Pole unit mechanism of circuit breaker.

る。

消弧室はブッシングの下部に取付けられ、ブッシングの中心導体のねじを利用して位置が調整される。ブッシングは機械的電気的に強度の高いOT形密封式油入コンデンサブッシング⁽¹⁰⁾で、投入遮断のとき生ずる機械的衝撃には十分な安全率をもっている。消弧室はかなり重量は大きいが、タンク頂部のつり手に 500 kg のチェーンブロックを取りつけて、簡単に取りはずしができる。しかし後に説明するように、常時の保守点検で消弧室を取りはずす必要はない。

排気ガスはタンクの内部に溶接された管をへてタンクの下部から放出される。図 3.2 に示すように、この管の先端は機構室の最高部におかれ、遮断時に油がこの管に

はいることはない。出口は排気弁によって常時ふさがれている。

図 3.3 はこの遮断器の外形寸法図である。

3.2 消弧室

消弧室は図 3.4 に示す多重切構造で、これがそれぞれブッシングにつけられている。枚方変電所納の遮断器は図とは同じ 3 点切消弧室を用い、新愛本変電所納のものはこれより 1 点多い 4 点切消弧室を用いている。構造はまったく同一で、強度の高い絶縁筒に囲まれ、上部の金属室に強力な油ピストンがある。可動接触子は 2 本の絶縁棒によってはしご形に組まれ、その上部の加速ばねで動かされる。固定接触子も同様に絶縁棒に組立てられたものが絶縁筒にボルトでとめられている。これらの接触子部品はすべて共通で、遮断点の数が変わったときは絶縁棒の長さを変えるだけでよい。取付寸法はすべて治具工具によって定められているので、調節する個所は存在しない。図に示すように、可動接触子は 2 組の固定接触子によってはさまれており、投入のとき上下の固定接触子を電気的に連結する。中間の固定接触子の上端は上の段の可動接触子とすべり接触し、下端は下の段の可動接触子との遮断接触部となっている。この構造のため、可動部分にはたわみ導体が使用されないので、機械的寿命がきわめて長い。最上部の固定接触子は、ばねで接続導体と接触し、電流はこれからブッシングに流れる。このため固定接触部は非熟練者によっても簡単に取りかえられ、接続状態の変ることはなく、接触部はすべてフィンガ形で、アーケ

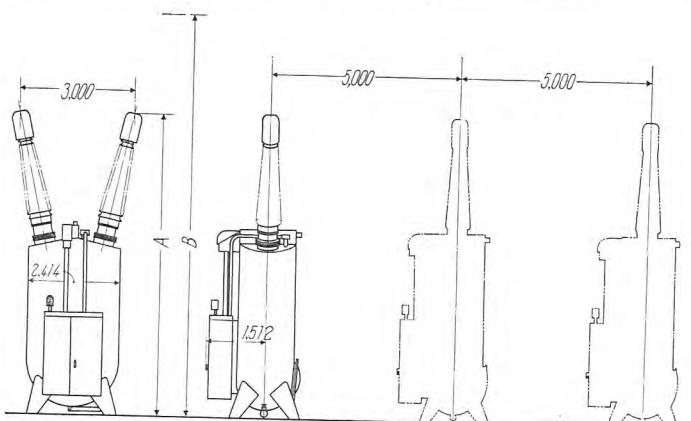


図 3.3 外形図
Fig. 3.3 Outline diagram.

300 kV, 5,000 MVA 節油タンク形遮断器・新井・五十嵐・永田

形名	A	B
250-GW 500	7,600	9,650
250-GW-500T	7,872	9,915

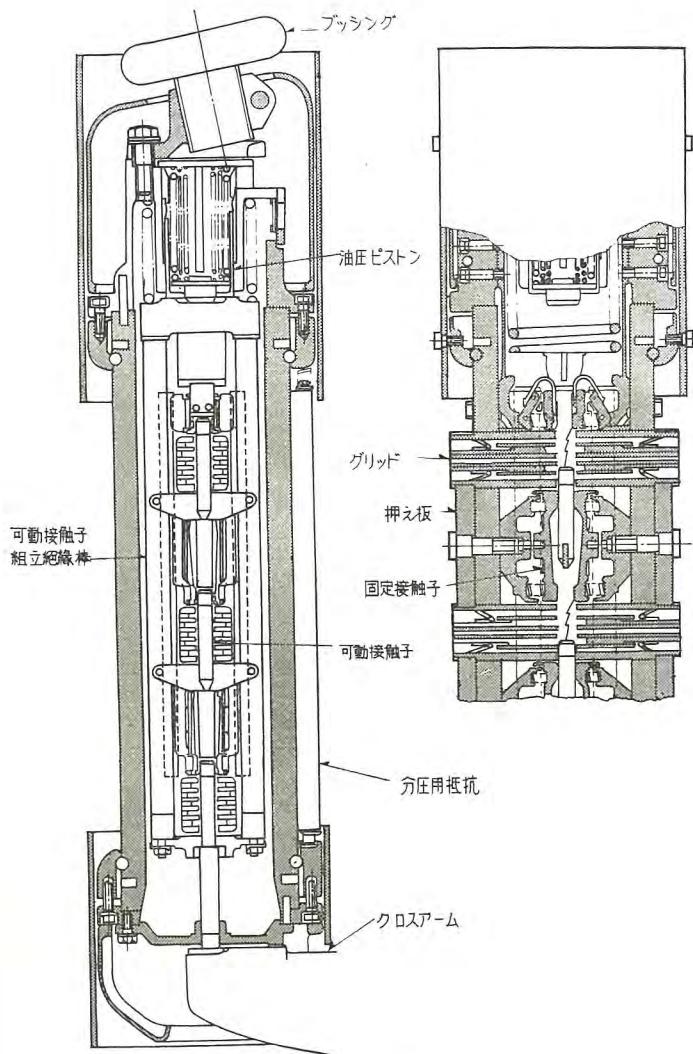


図 3.4 消弧室断面図

Fig. 3.4 Interrupter sectional view.

の生ずる所は銀タングステン合金が用いられている。高速度遮断器は開極時間をへらすため、突合させ接触を用いることが多いが、この消弧室は苛酷な使用条件で寿命を長くし、電流容量を増すため、とくにフィンガ形を使用した。

アーク発生部には、油流ガス流制御用のグリッドがつけられている。このグリッドはファイバをはり合わせたブロックで、絶縁筒の穴にはめこんで固定され、接触部が遮断状態にあるとき、押え板をはずせば、簡単に取りはずすことができる。またこの穴から可動と固定のアーク接触子を見る能够である。普通の点検はグリッドを取りはずすだけで十分に行うことができる。また接触部は下部の鋳物を取りはずせば、下に引き抜くことができる。可動接触子は投入のとき、クロスアームの先端でおし上げられ、上部の加速ばねを圧縮するとともに、油ピストンのばねも圧縮する。ピストンと接触子とは連結されていないので、遮断のときは別個に運動できる。遮断行程の最後で可動部の一部が下部鋳物にはまり込み油ダッシュポットが作られ、衝撃が緩和される。

この多重切消弧室は各点が消弧に必要な最少距離だけ

を持っているように作られ、消弧室内の可動接触子の移動距離のすべてが消弧のためのものである。遮断器は消弧に必要な距離よりも長く動かなければならないのは当然で、この機能をクロスアームが行う、すなわちこの遮断器の可動接触子は消弧室の可動接触子とクロスアームとに分けられている。クロスアームは両側の消弧室を電気的に連結し、消弧室内の接触子を動かすので、機械的に強く、良導体であり、また必要な加速力をへらすため、質量も小さくなければならない。このためクロスアームはアルミニウム合金でできている。

このように可動接触子を分けることで、二つの利点が得られる。一つは消弧室内の可動接触子の移動距離を最小にして消弧室の全長を短くできることであり、もう一つは消弧室可動接触子とクロスアームとを突合させ接触することで、消弧室取付位置の調節が容易になることである。旧式の油遮断器は可動接触子が相当距離動いたのち、消弧室内にはいるものであったため、消弧室と接触子との間隙、いわゆる throat はつねに問題をおこし、小電流遮断特性を悪くするだけでなく、ときには取付けによって遮断性能が異なることさえあった。これを考えれば、このように可動接触部を分けることが、高圧遮断器でとくに有利になることは明らかであろう。

遮断のときは、クロスアームと消弧室可動接触子は接触したまま下降し、消弧室内には直列にアークが発生する。各アークは周囲の油を分解してガス圧を発生し、接触子の運動によって、グリッドの噴出孔が開くと、外部にガスを放出する。このときアークは強いガスの乱流作用を受けて消イオンされ、電流零値になると、絶縁耐力を急速に回復し、再起電圧に耐えて遮断が行われる。このようにガスの放出速度、内部ガス圧が消弧力に関係するため、小電流で単位時間のガス発生量が少ないとときは、短時間に短距離で遮断することは困難になるので、この消弧室はこの特性を改善する二つの設備を設けている。一つは上部のピストンで、もう一つはグリッド内のばね弁である。ピストンの作る油圧は、消弧室全体の内圧を高めて、アークのガス発生量を増加して消弧を容易にする。この消弧室はピストンの油流を直接アークに吹きつけることを考えていないので、グリッドの油流入口はせまく、ピストンからの距離によって、各点の消弧力に差を生ずることはない。グリッドのばね弁は、當時噴出孔の一部をふさいでおり、小電流のようにガス発生量の少ないときは、放出されるガス量をへらして内圧の高くなるのを助ける。大電流遮断のときは、すぐに開き遮断に妨害を与えない。

大電流遮断のときは、ピストンの圧力よりアークによる圧力が高く、ピストンの運動は止められ、遮断完了後残ったガスの放出を行う。この動作は高速度再投入で効果があり、電流に関係なく確実な再遮断動作を保証している。充電電流遮断のときのこのピストンの有効さにつ

いては、改めて説明する必要はないであろう。

図3.5は3点切消弧室、図3.6は4点切消弧室の写真であり、図3.7は4点切消弧室を分解した写真である。一番手前が可動接触子、そのうしろが固定接触子、グリッドが左右におかれている。また図3.8はマンホールから見た消弧室とクロスアームである。



図3.5 絶縁シールドをはずした3点切消弧室
(250-GW-500形)

Fig. 3.5 3-break interrupter with insulating shield removed.



図3.6 4点切消弧室
(250-GW-500T形)

Fig. 3.6 4-break interrupter.

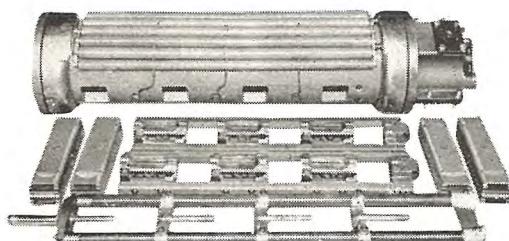


図3.7 4点切消弧室の各部品
Fig. 3.7 Components of 4-break interrupter

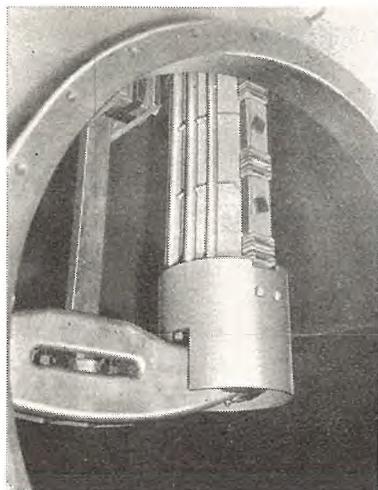


図3.8 マンホールから見た消弧室とクロスアーム

Fig. 3.8 View through a manhole of breaker.

300kV, 5,000 MVA 節油タンク形遮断器・新井・五十嵐・永田

油遮断器は空気遮断器と異なり、高い電圧でも1点で遮断できると考えられ、欧州では380 kVで2点切のがいし形遮断器が実用されている。しかし高電圧で高速度遮断するためには、非常な高速度を必要とするうえ、小電流特性を改善する装置を付属するのも、きわめて困難である。また長い消弧室はガスの置換が困難で再投入責務で性能を悪化させる。多重切方式が油遮断器で採用されるようになったのは、短時間で必要な遮断距離を得るのが容易であり、また油ピストンのような装置が簡単に取りつけられることにもとづくもので、アーカ区域からの排気もきわめて容易である。

近時進展事故 (défauts évolutifs⁽¹¹⁾) に対する遮断器の性能が問題にされるようになったが、これは線路充電电流や変圧器励磁电流のような小电流を遮断するとき、異常電圧の発生によって回路の一部にフラッシュオーバーが生ずると、遮断中の接触子の間に突然大電流アーカーの生ずる現象のこと、遮断器は普通の短絡に比べ大きな苛酷度を受ける。とくに小电流と大电流とで消弧距離に大きな差のある遮断器では、予期されていない長さの大电流アーカーが突然発生するので、消弧室の破壊を生ずることもある。多重切消弧室では、この現象が発生することあっても、大電流アーカーはつねに予期される長さで生じ、消弧室に過大圧力を生ずることはない。

多重切消弧室の利点の一つは試験の容易なことであるが⁽⁴⁾、これは空気遮断器のように単位試験によって遮断性能を検証できるという意味ではない。おなじ室内にはいろいろな遮断点について、厳密な部分試験法を適用することは意味がないことは明らかである。しかし小出力の短絡試験所で、大容量遮断器の試験を行なうときは、部分試験によらなくても、多重切のほうが確実な試験を行いやすいものである。この点については次章に詳しく説明したい。

多重切の性能を完全に發揮するには、各遮断点に同じ

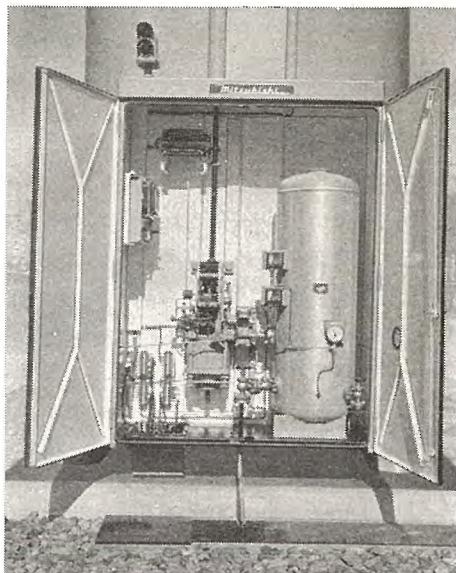


図3.9 圧縮空気操作機構

Fig. 3.9 Pneumatic operating mechanism.

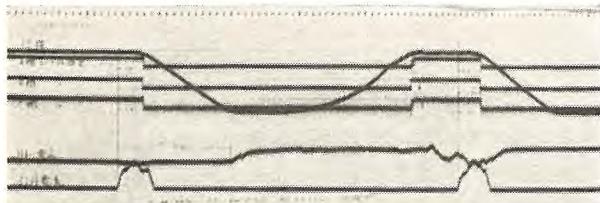


図 3.10 無負荷操作オシログラム

Fig. 3.10 Oscillogram of no-load operation.

責務が加わるよう、再起電圧をできるだけ均一分布させることが必要である。この消弧室は電圧分布改善のため、各遮断点に並列に抵抗とコンデンサを入れ、300 kV の系統の再起電圧に対しては、両消弧室で 6:4 より悪い分布は生じない。

遮断器の電流容量はおもに可動部の断面積できまるが、可動部の質量を軽くするためには、大電流でもあまり大きな断面はとれない、この消弧室は油の対流を利用して、放熱量を増加し、小断面積の接触部で電流容量を大きくすることができる。ほとんど密閉されているこの消弧室は、上と下に逆止め弁があり、内圧がなければねの力で開いているので、内部の熱発生によって、消弧室は煙突のように作用し、油の対流を強くして接触部の冷却を助ける。

3.3 操作機構

空気操作機構は $15 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ の気圧を用いる標準形のもので、その構造はすでに紹介されたものと同じである。図 3.9 は扉を開いた操作機構箱を示す。

わが国では単相再投入方式の用いられることが多く、また超高压遮断器では、相間の連結部が長くなって、すえ付が面倒になるとともに、必要な加速力も増加する。これらを考えて、この遮断器はすべて単相をユニットとして製作されている。三相の投入時間の調節は空気回路の絞り弁によって行われるが、すでに多くの使用例により、狂いが少なく、調節も容易であることが確かめられている。図 3.10 は無負荷の三相再投入操作オシログラムであり、機械連結がなくても接触不ぞろいはほとんどないことを示している。

4. 試験結果

4.1 耐電圧試験

この遮断器はいずれも関西電力株式会社の新北陸幹線に使用されるものであるため、既設のがいし形遮断器と同じ耐電圧試験を行った。すなわち商用周波、対地 500 kV、極間 620 kV、衝撃波 1,160 kV で近く定められる JEC の 200 号の値より 10% 以上高い。

4.2 温度上昇試験

800 A の温度上昇試験の結果は、図 4.1、表 4.1 のよう、規格の許容限度に対して十分余裕がある。3.2 節に述べたように、油の対流による冷却効果が明らかで、消弧室の接触部は最下部が最高温度になっている。一部の通電部が 800 A に設計されているので、これ以上の電流による試験は行わなかったが、電流の増加によって

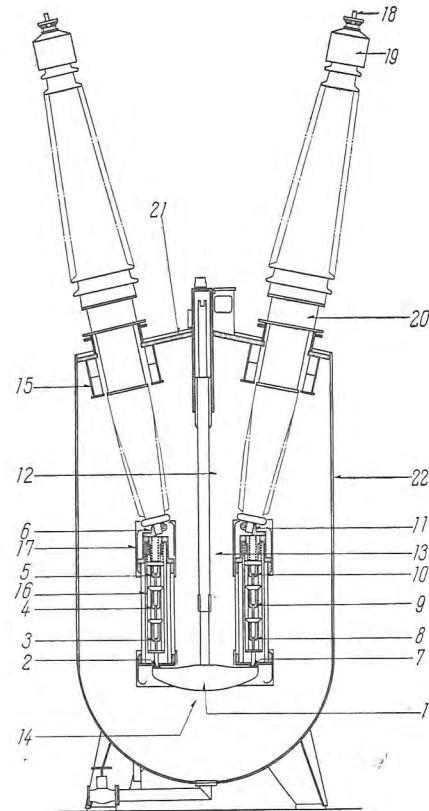


図 4.1 温度上昇試験測温位置 (表 4.1 参照)

Fig. 4.1 Diagram showing the temperature measuring points.

表 4.1 各部温度上昇 (図 4.1 参照)

番号	場 所	温度上昇 (°C)	番号	場 所	温度上昇 (°C)
1	クロスアーム	5.5	12	油(上部)	7.5
2	クロスアーム接触部	14.5	13	油(中部)	7.0
3	下部接觸部	22.5	14	油(下部)	5.0
4	中間接觸部	21.0	15	変流器外箱	10.0
5	上部接觸部	12.5	16	消弧室内油	9.0
6	消弧室取付足	4.5	17	上部金属シールド	9.5
7	クロスアーム接觸部	16.0	18	端子	22.5
8	下部接觸部	22.5	19	ブッシュング	20.5
9	中間接觸部	16.0	20	ブッシュング	11.5
10	上部接觸部	12.0	21	タンク(上面)	2.5
11	消弧室取付足	10.0	22	タンク(側面)	6.0

対流は強化されるので、1,200 A 以上の設計は容易である。

4.3 短時間電流試験

20,400 A を 1.04 秒通電したが、接触子にはまったく異常が認められなかった。 $I^2t = \text{一定}$ として換算すれば、この電流は 2 秒で 14,500 A に相当し、新規格による 9,700 A 2 秒の要求に対して十分の余裕がある。

4.4 充電電流遮断試験

設備の関係上、試験はすべて 1/2 相で行われた。抵抗体が並列されているため、各遮断点の電圧分布はよく、とくに商用周波数では、抵抗によって電圧分布が定められるので、再点弧を生じないかぎり、ここに得られた結果は電圧を 2 倍にして考えられる。再点弧を生じたとき発生する高周波振動に対しては、抵抗による電圧分布改善の効果がへるので、試験の等価性は失われるであろうが、すべての試験でこのような条件は生じなかった。250-GW-500 形は 1/2 相に 100 kV を加え、5 A, 16 A

32 A を遮断し、250-GW-500T 形は 115 kV, 6 A, 120 kV, 26 A, 125 kV, 7 A, 130 kV, 14 A を遮断して、すべて無再点弧であった。250-GW-500 形の試験のときは設備の都合上、これ以上電圧を上げることができなかつたので、過電圧の性能が確かめられなかつたが、2 点切消弧室で 79kV を無再点弧遮断できることから考え⁽¹⁾、再点弧発生の限界ははるかに高いと考えられる。

この試験電圧は、第 1 遮断相の極間に生ずる電圧がほぼ 1.2 E であることを考慮に入れて、250-GW-500 形は三相 280 kV, 250-GW-500T 形は 375 kV の遮断と等価になる。後者の値はこの遮断器の保証である、330 kV における無再点弧遮断の条件をはるかにこえており、250 kV 幹線で全負荷時に遮断が行われたときの電圧上昇条件で、充電電流遮断が行われても、十分安全に動作できることを示している。

表 4.2 当所コンデンサ・バンクによる充電電流遮断試験結果
(遮断器 1/2 相を使用)

形名	給与電圧(kV)	充電電流(A)	再点弧数	再発弧数	遮断時間(サイクル)	コンデンサ対地電圧(%)
250-GW-500	100	5	0	0	1.89・2.14	100 以下
		16	0	0	1.97・2.23	"
		32	0	0	2.05・2.38	"
250-GW-500T	115	6	0	0	2.02・2.13	"
		13	0	0	2.02・2.27	"
		26	0	0	2.02・2.30	"
		125	7	0	1.97・2.12	"
	130	14	0	0	1.95・2.25	"

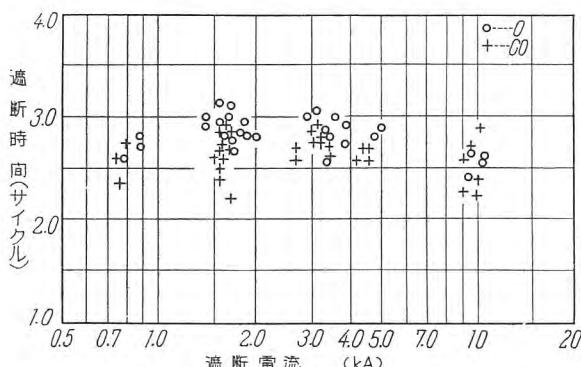


図 4.2 250-GW-500 形遮断器短絡遮断試験結果

Fig. 4.2 Short circuit test results of type 250-GW-500 oil circuit breaker.

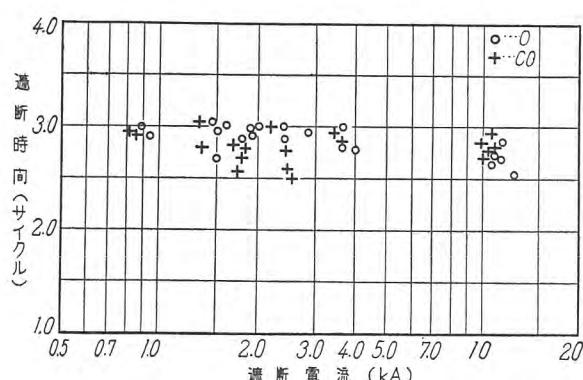


図 4.3 250-GW-500T 形遮断器短絡遮断試験結果

Fig. 4.3 Short circuit test results of type 250-GW-500T oil circuit breaker.

300 kV, 5,000 MVA 節油タンク形遮断器・新井・五十嵐・永田

この試験の結果は表 4.2 に示す。

4.5 短絡電流遮断試験

図 4.2 は 250-GW-500 形、図 4.3 は 250-GW-500T 形の短絡遮断試験の結果を示すものである。試験はすべて再投入動作責務で行われ、図中の○印は第 1 回遮断、+印は第 2 回遮断を示している。全電流範囲にわたって、両者の遮断時間に差は認められない。

試験電圧は設備の都合上、両方とも単相 166 kV で試験したほか、1/2 相で、250-GW-500 形は 100 kV, 83 kV, 50 kV, 27.8 kV, 250-GW-500T 形は 130 kV, 110 kV, 100 kV, 83 kV, 27.8 kV を用いた。このほか両方とも 1/2 相で 140 kV の遮断を行い、250-GW-500T 形はピストンからもっとも離れた 1 点だけで、再投入動作責務を行った。

有効接地系の三相接地故障で第 1 遮断相の回復電圧は 1.3 E に達し、新しく定められる JEC の単相試験電圧には、この値が指定されている。当社の試験設備は 166 kV 以上の単相試験ができないので、この値を用いたが、表 4.4, 表 4.5 に示すように、固有再起電圧の振幅率は 180 %、周波数が 4 kc/s で、ともに規格値の 130%, 18 kc/s を十分こしておらず、再起電圧波高値を比較すれば、規格の条件と同一で、上昇率はこれよりも高くなる。1/2 相の試験電圧も、2 消弧室間の電圧分布が最悪等条件で 4:6 程度としても、同じような考え方で、100 kV が大体条件を満たしていると考えられる。表 4.3 は 130 kV から 83 kV までの給与電圧に対する、アーク時間の変化であるが、アーク時間は電圧によって、大きな影響をうけない。したがって約 3,000 A までは十分実負荷条件で試験されていると考えられる。

表 4.3 1/2 相の短絡遮断試験における給与電圧の影響

遮断点数	給与電圧(kV)	固有再起電圧		遮断電流(RMS A)	アーク時間(サイクル)
		周波数(kc/s)	振幅率		
4	130	4	1.8	1,310・1,590	0.90・1.35
	110	5	1.6	2,470・2,850	0.75・1.20
	100	5	1.6	2,240・2,400	0.85・1.30
	83	8	1.6	3,610・4,080	0.90・1.20
3	100	3.5	1.7	1,360・1,400	1.00・1.20
	83	4	1.6	1,550・1,630	0.80・1.25
	83	5	1.6	2,710・3,130	0.95・1.35
	83	5.5	1.7	1,580・2,000	0.80・1.10
	83	8	1.6	3,050・3,880	0.85・1.20

油遮断器は特性上、大電流になれば消弧能力が増大するので、消弧室の機械強度が耐えられれば、遮断は確実に行なわれる。したがって小電流でもっともアーク時間の長くなる、いわゆる臨界電流域について、できるだけ定格電圧に近い条件の試験が行われれば、それより大きな電流に対しては、給与電圧を下げて試験し、機械強度だけを確かめれば遮断器の性能は十分検証できる。当社における試験と W 社の試験とから、この消弧室の臨界電流域は 3,000 A 以下と判断されるので、当社の試験設備によってほぼ必要条件が満たされている。

ただしいわゆる延伸法であるこの方法は、大電流で給与電圧を下げたとき、アーク時間が大きくなってしまい、より高い給与電圧でより長いアーク時間が予想されると、消

弧室の機械強度は確かめられず、試験の等価性は失われる。1点切りの消弧室では、こういうことがあるが、多重切り消弧室ではきわめて急に消弧距離に達するので、有効な消弧の行われる区域では、電流零値がほとんど1回生ずるだけで、電圧を下げてもアーカ時間は半サイクル縮めることはなく、このような試験で等価性を失うことはほとんどない。これを確かめるため、とくに1点切と4点切で27.8 kV, 10 kA の比較試験を行ったが、1点切でアーカ時間は0.7…1.15 サイクル、4点切で0.9…1.15 サイクルで、差は認められなかった。27.8 kV は必要な電流をうるために選んだ値であるが、定格遮断容量における再起電圧周波数 0.36 kc では、各遮断点の電圧分布はほとんど等しくなるので、実際の電圧条件に十分近い値である。他の遮断点にアーカがないため、ピストンが有効に働く条件で再投入責務を行っていることを考えれば、電圧条件はむしろ苛酷であろう。したがって4点切で27.8 kV を遮断したときの消弧室内圧は、実負荷試験と同一で、試験の等価性は証明できる。

位相はずれ遮断は定格遮断電流の1/4 ぐらいまでは、2E ぐらいまでの電圧で遮断することを要求しているが、

表 4.4 250-GW-500 形遮断器短絡遮断試験結果（立会試験）

遮断点数	動作責務	給与電圧(kV)	回復電圧(%)	固有再起電圧周波数(kc/s)	遮断電流(RMS A)	開極時間	アーカ時間	遮断時間	投入電流(A)	第2-1回								
										全遮断電流	直流分	Y/X (%)	RMS(A)	開極	アーカ	遮断	電圧(%)	周波数(kc)	投電流(A)
6	O	94.5	1,800	33	1.80	1.10	2.90											
	-CO	166	1,570	10	1.75	1.00	2.75	3,300										
	-1分-CO	93.0	1,570	10	1.75	0.85	2.60	4,400										
	O	96.5	1,630	0	1.80	1.30	3.10											
	-CO	166	1,560	10	1.75	0.90	2.65	3,650										
	-1分-CO	92.5	1,570	3	1.75	0.65	2.40	3,170										
4	O	93.0	1,380	11	1.80	1.10	2.90											
	O	93.0	1,380	14	1.80	1.20	3.00											
	O	92.5	3,280	4	1.80	1.20	3.00											
	-CO	83	3,120	3	1.75	1.05	2.80	5,680										
	-1分-CO	93.0	3,240	3	1.75	0.85	2.60	5,700										
	O	93.5	3,440	27	1.80	1.00	2.80											
	-CO	83	3,230	14	1.75	1.05	2.80	8,050										
	-1分-CO	93.0	3,200	3	1.75	0.95	2.70	5,450										
4	O	93.5	4,730	13	1.80	1.00	2.80											
	-CO	50	4,600	12	1.75	0.95	2.70	10,300										
	-1分-CO	93.0	4,560	3	1.75	0.95	2.70	9,250										
	O	95.5	5,000	24	1.80	1.10	2.90											
	-CO	50	4,560	12	1.75	0.85	2.60	10,700										
	-1分-CO	95.0	4,450	3	1.75	0.85	2.60	8,800										
4	O	95.0	10,200	3	1.80	0.75	2.55											
	-CO	27.8	10,000	0	1.75	0.65	2.40	16,200										
	-1分-CO	94.0	9,950	5	1.75	0.45	2.20	19,400										
	O	93.0	10,350	13	1.80	0.80	2.60											
4	-CO	27.3	10,150	12	1.75	1.15	2.90	21,000										
	-1分-CO	91.0	9,800	11	1.75	0.95	2.70	26,000										

表 4.5 250-GW-500T 形遮断器短絡遮断試験結果（立会試験）

遮断点数	動作責務	給与電圧(kV)	回復電圧(%)	固有再起電圧周波数(kc/s)	遮断電流(RMS A)	開極時間	アーカ時間	遮断時間	投入電流(A)	第2-4回								
										全遮断電流	直流分	Y/X (%)	RMS(A)	開極	アーカ	遮断	電圧(%)	周波数(kc)	投電流(A)
8	O	95	1,860	20	1.80	1.10	2.90											
	-CO	166	1,720	14	1.85	1.00	2.85	4,820										
	-1分-CO	92	1,770	15	1.85	0.70	2.55	4,860										
	O	93	1,490	23	1.80	1.20	3.00											
	O	95	2,850	25	1.80	1.15	2.95											
	-CO	110	2,470	5	1.85	0.75	2.60	5,550										
4	O	95	11,400	23	1.80	0.90	2.70											
	-CO	92	10,100	4	1.85	0.85	2.70	23,100										
	-1分-CO	93	10,500	8	1.85	0.90	2.75	22,000										
1	O	95	12,300	36	1.80	0.75	2.55											
	-CO	27.8	10,200	6	1.85	1.00	2.85	21,900										
	-1分-CO	92	10,400	3	1.85	1.00	2.85	20,100										

このときは遮断器の両側に電源がある形になるので、電位分布は良好となり、振巾率は125%ぐらいであるから⁽¹²⁾、当社の行った140 kV, 1,400 A の遮断は、ほぼ必要な試験条件を満たしている。なお W 社の試験結果⁽⁴⁾によても、これ以上の電流で位相はずれ遮断の可能なことが示されている。

以上の試験結果から、この遮断器は 300 kV, 5,000 MVA の3サイクル遮断器として要求される特性を十分

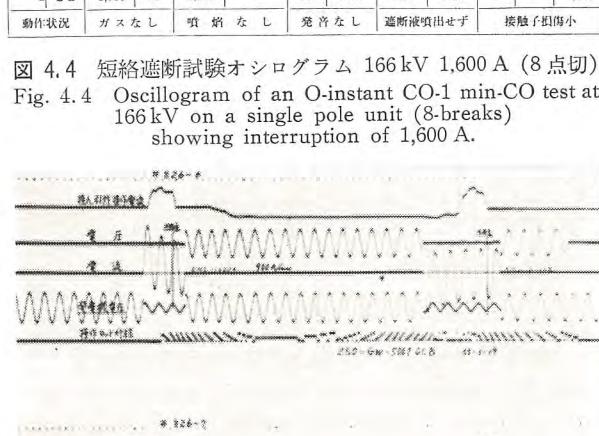
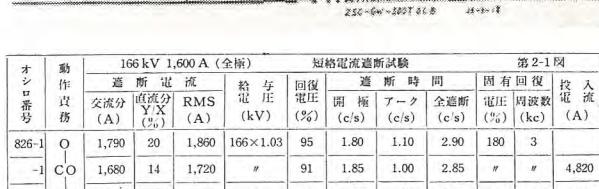
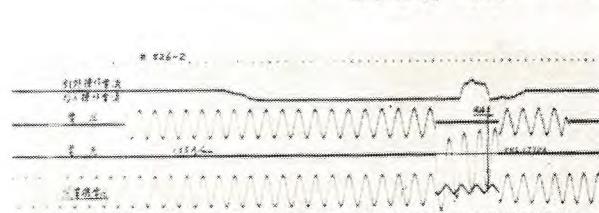
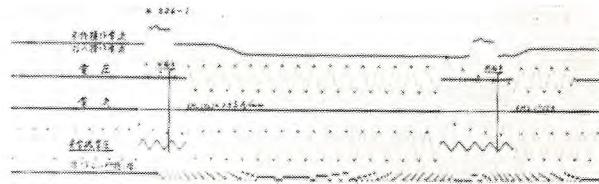


図 4.5 短絡遮断試験オシログラム 27.8 kV 10 kA (4点切)

Fig. 4.5 Oscillogram of an O-instant CO-1 min-CO test at 27.8 kV on a half pole unit (4-breaks) showing interruption of 10,000 A.

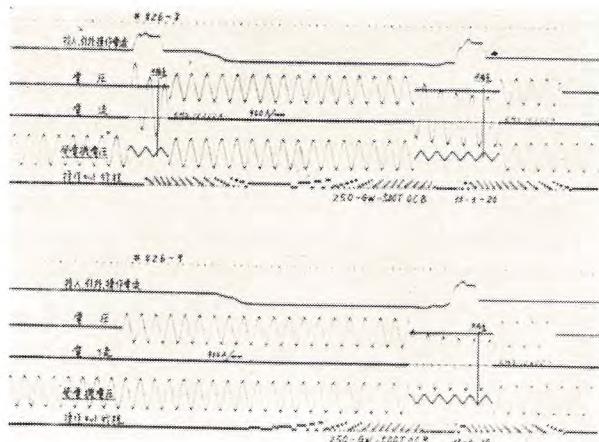


図 4.6 短絡遮断試験オシログラム 27.8 kV 10 kA (1点切)
Fig. 4.6 Oscillogram of an O-instant-CO-1 min-CO test at 27.8 kV on one-break showing interruption of 10,000 A.

に満足するものであることが確かめられた。

表 4.4 と表 4.5 はそれぞれ昭和 32 年 9 月と昭和 33 年 3 月に行われた立会試験の結果である。枚方変電所納の 250-GW-500 形は操作機構をかえ、単相再投入 3 サイクル遮断器として試験を行なった。開極時間だけが納入品と異なっているが、その他はまったく同じである。図 4.4 から図 4.6 までは、この試験中の代表的オシログラムである。とくに図 4.5 と図 4.6 は同じ条件で行った 4 点切と 1 点切のオシログラムである。図 4.7 と図 4.8 はそれぞれ立会試験後の接触子とグリッドで、図 4.9 は 1 点切の試験を行った接触子を拡大して示している。すべて消耗はきわめて少なく、なお多数の繰返し責務に耐える状態であった。

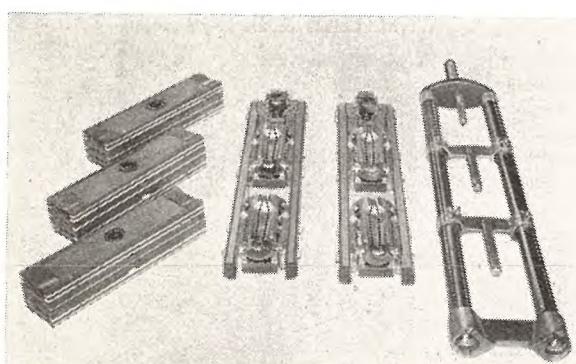


図 4.7 遮断試験完了後の 3 点切消弧室の接触部
Fig. 4.7 View showing the condition of contacts and grids of 3-break interrupter after the short circuit interrupting test.

300 kV, 5,000 MVA 節油タンク形遮断器・新井・五十嵐・永田

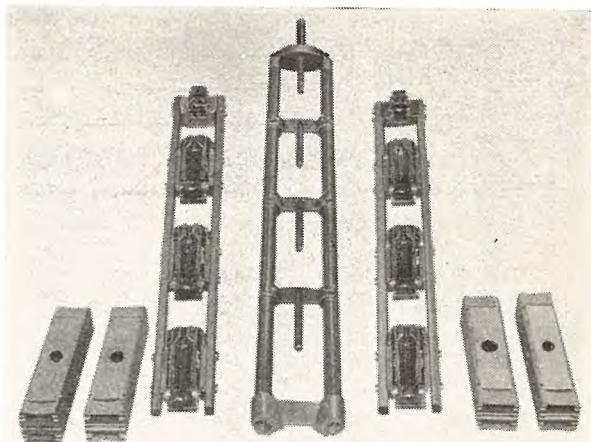


図 4.8 遮断試験完了後の 4 点切消弧室の接触部
Fig. 4.8 View showing the condition of contacts and grids of 4-break interrupter after the short circuit interrupting test.

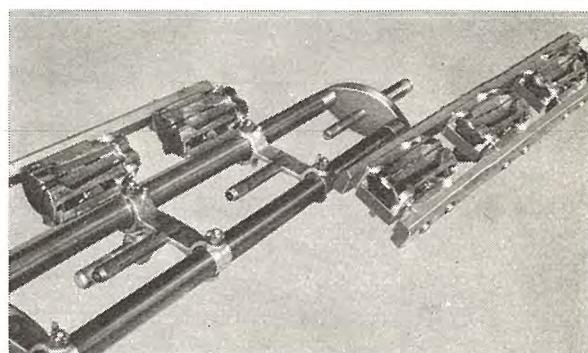


図 4.9 遮断試験完了後の接触子拡大図
Fig. 4.9 View showing the condition of contacts after the short circuit interrupting test.

4.6 現地試験

昭和 32 年 8 月、枚方変電所で枚方鳩ヶ谷間の新北陸幹線 1 号線と、同所の 1 号変圧器バンクを用い、充電電流遮断と励磁電流遮断を行なった。前者は 114 A、後者は約 5 A である。時間の関係上試験回数が少なく、十分な資料とはならなかったが、この遮断器の性能の一端は示されている。充電電流は完全に無再点弧無再発弧、励磁電流は変圧器の最高電圧 165% で遮断できた。図 4.10 と図 4.11 は代表的なオシログラムである。図 4.11 は最高異常電圧を生じた例であるが、励磁電流はなお過渡状態にあり、この条件で 165% の電圧発生はやむを得ない。常規使用条件では異常電圧ははるかに低いであろう。

昭和 33 年 7 月 6 日、新愛本変電所においても、充電電流と励磁電流の遮断試験が行われた。充電電流は新愛本成出間 52 A で完全に無再点弧無再発弧であり、励磁電流は同所の 1 号バンクを用い、約 5 A の励磁電流を遮断したが、変圧器側対地電圧は 1.44 倍以下であった。このほか変圧器の三次にリアクトルをつなぎ、リアクトル負荷変圧器として 56 A の遮断も行ったが、最大電圧は 1.54 倍で、すべてすぐれた成績をおさめることができた。

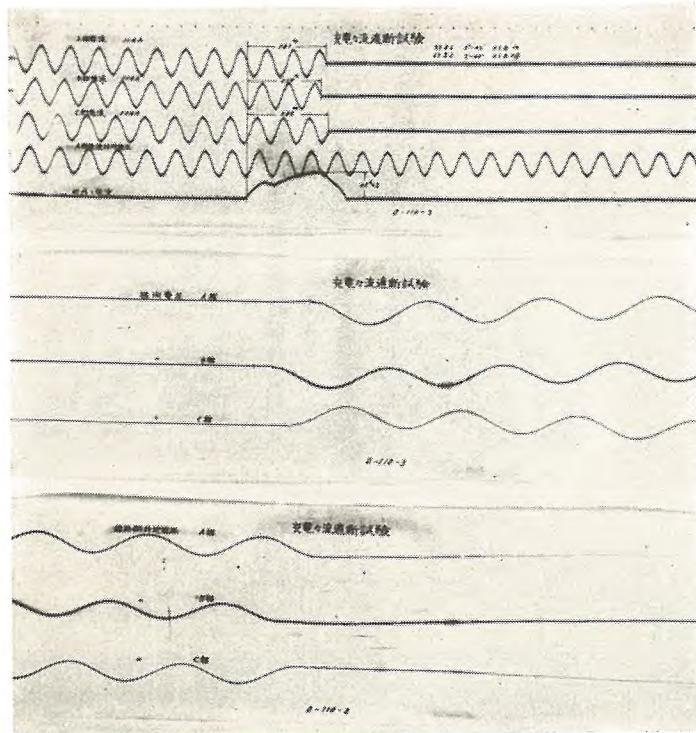


図 4.10 線路充電電流遮断オシログラム

Fig. 4.10 Typical oscillogram of line dropping test.

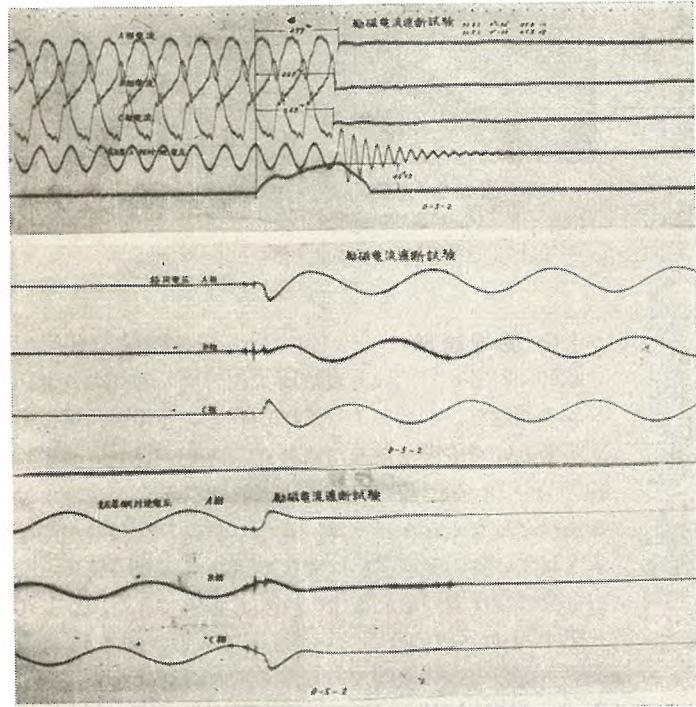


図 4.11 変圧器励磁電流遮断オシログラム

Fig. 4.11 Typical oscillogram of deenergizing no-load transformer.

5. むすび

以上述べたように、新に製作された 300 kV, 5,000 MVA 節油タンク形遮断器は超高压用遮断器として、すぐれた特性を示し、とくに 8 点切の遮断器は、長距離送電線の起点となる発電所用として、起りうる最悪の条件にも十分な安全度をもっていることが示された。この遮断器は 10,000~15,000 MVA の大容量 300 kV 節油タンク形遮断器の出発点となり、今後さらに本形遮断器のすぐれた性能が確認される機会を得ようとしている。

擱筆するにあたり、この遮断器の製作にご協力下さった諸氏に対し、紙上から厚く感謝の意を表したい。

参考文献

- (1) 新井・五十嵐・永田 三菱電機 31 (32) 139—148; 新井 電力 40 (31) 511—518.
- (2) 新井・五十嵐・永田 昭和 32 年電気四学会連合大会 361.
- (3) 五十嵐・永田 昭和 33 年電気四学会連合大会 517.
- (4) W. M. Leeds & G. J. Easley TAIEE III 73 (1954) 304—313.
- (5) O. Naef & R. E. Friedrich TAIEE III 75 (1956) 598—605.
- (6) B. P. Baker & R. E. Friedrich TAIEE III 75 (1956) 286—292.
- (7) G. J. Easley & F. L. Reese TAIEE III 75 (1956) 58—63.
- (8) A. W. Hill, Elec. Wld 147 No. 11 (1957) 76—77.
- (9) A. W. Hill & R. E. Friedrich TAIEE III 76 (1957) 637—644.
- (10) 広尾・堀・南角・印藤 三菱電機 31 (32) 903—915.
- (11) M. E. Laborde, Y. C. Baron, M. Fallou, M. Mascarin et M. Pouard CIGRE 149 (1954).
- (12) W. M. Leeds & D. J. Provejsil TAIEE III 71 (1952) 88—96.

油入変圧器保護用衝撃圧力繼電器

伊丹製作所 嶋 裕 史*

Sudden Pressure Relays for the Protection of Oil Immersed Transformer

Itami Works Yūshi SHIMA

Spectacular is the recent development of power transformers. With the progress in the electrical industry, their capacity is enlarged and their voltage is heightened to the practical limit. Their role in the power system is so vital that their protection is imperative at any cost. Under the circumstances, a new protective relay, named Sudden Pressure Relay, has been completed by Mitsubishi. Its operating principle is that, set up in a gas chamber of the transformer, it will sense the sudden pressure rise due to the break-down of insulation, tripping off the circuit breaker. Various tests verifies their dependability and practicability.

1. まえがき

近年の電力用変圧器は、材料・構造・工作処理法が日進月歩で向上しつつあり、信頼度はいちじるしく高くなっています。また回転機にくらべて静止器であるため、その事故率もきわめて低いのをねとするが、変圧器は送電線、配電線に直接に接続されるため、線路から侵入する衝撃波、異常電圧、故障電流などの脅威につねにさらされており、完全な無事故を望むことは不可能に近い。最近とくに系統の容量、電圧がますます大きくなる傾向にあるとき、電力用変圧器の占める重要性は非常に大きいものであり、事故時に系統に与える影響、種々の障害も当然大きくなることを考え、事故発生時には、故障変圧器をできるだけすみやかに回路から遮断して系統の安定を保つとともに、変圧器自体も、事故の拡大を最少限度にとどめる必要性が痛感される。このような目的で、従来から種々の保護装置が採用されているが、最近さらに高い感度と信頼性の要求にこたえるため、衝撃圧力繼電器を製品化し、大形変圧器には標準的に採用しつつある。本文はこの衝撃圧力繼電器について概略を紹介したものである。

2. 変圧器の故障の形態と保護方式

変圧器の事故は、非常に多種の原因と過程とをもっており、一概に分類することは困難な場合が多いが、これを大別すると次のとおりとなる。

- (1) 持続的過負荷による異常温度上昇
- (2) 卷線、リード、タップ切替器などの絶縁破壊
 - a. 卷線の相間短絡、層間短絡、巻回間短絡
 - b. 卷線から鉄心、タンクその他接地部への絶縁破壊による地絡事故
 - c. 高圧と低圧巻線相互間の混触
 - d. 不完全接続、断線、タップ切替器の不完全接触

(3) とう管の絶縁破壊

(4) 鉄心の積層間絶縁破壊

(5) 絶縁油の異常劣化、油面低下、湿気の侵入

(6) 窒素封入装置の故障

(7) 付属品、主として冷却器の故障

このうち、(2), (3), (4) 項のいわゆる絶縁破壊事故は、系統の異常電圧、雷撃、外部短絡による機械的衝撃、過負荷による絶縁物の劣化などが原因としてあげられるが、事故により系統に与える動搖が大きく、誘導障害などの悪影響を及ぼすとともに、たとえ比較的軽微な内部絶縁破壊であっても、加速度的に拡大され、一瞬にして危険な状態に至るのが普通であるから、できるだけ速く変圧器を回路から切り離す必要があり、高感度、高速度の保護方式が望ましい。これに対し、(1), (5), (6), (7) 項の事故は、二次的に絶縁破壊を招くおそれを多分にもっているが、変圧器をただちに遮断する保護方式では、かえって有害な場合も少なくないから、適当な警報装置により警告する方法を採用するのが普通である。

現在用いられている種々の保護方式を大別すると、概略次のとおりである。

(1) 内部事故に対する保護装置

- a. 電気的保護方式……過電流繼電器、差動繼電器、比率差動繼電器など
- b. 熱的保護方式……温度計、抵抗式温度繼電器など
- c. 機械的保護方式……ブッホルツ繼電器、圧力繼電器、放圧警報装置など

(2) その他の事故に対する保護装置

- a. 熱的保護方式……冷却ファン、ポンプの過負荷遮断器、停電警報器など
- b. 機械的保護方式……警報接点付油面計、油流繼電器、断水繼電器など

* 技術部

これらのうち、内部絶縁破壊に対する即時遮断式の保護装置として、在来もっとも多く用いられるものは、比率差動継電方式およびブッフホルツ継電器であった。これらはそれぞれに長所短所があり、かつ変圧器の形式、構造によっては適用できない欠点があるが、普通はこれらを適宜組合せて、その長短が相補うように配置されることが多い。今回製品化した衝撃圧力継電器も上記の機械的保護装置にあたるが、形式を問わずほとんどの油入変圧器に採用でき、従来絶対的信頼性に難点のあったブッフホルツ継電器に代り得る高感度、高速度の継電器である。

3. 衝撃圧力継電器の構造、動作原理

油入変圧器の内部で絶縁破壊を起すと、二次的に熱お



図 3.1 衝撃圧力継電器の外観
Fig. 3.1 Appearance of sudden pressure relay.



図 3.2 衝撃圧力継電器の中身要素
Fig. 3.2 Internal element of sudden pressure relay.

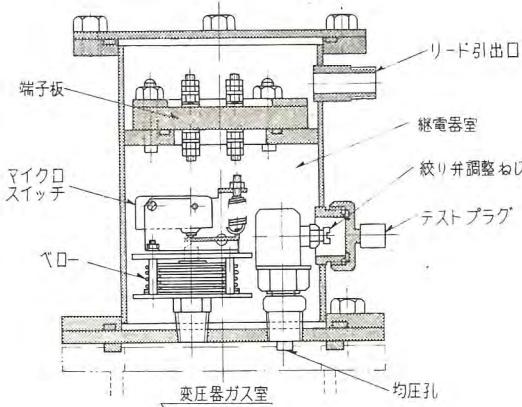
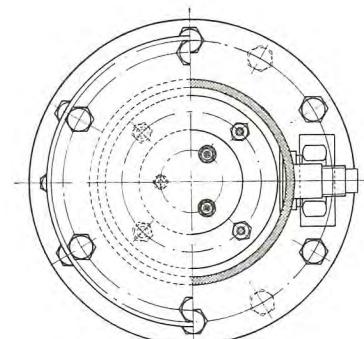


図 3.3 衝撃圧力継電器の構造図

Fig. 3.3 Construction of sudden pressure relay.

よび油中アーキのため絶縁物や油が分解し、多量の分解ガスや油の蒸気を発生し、タンクの内圧が急激に上昇する。そこでこの内圧上昇を機械的に検出し、遮断器操作回路を閉じるようにすれば、変圧器を回路から遮断することができ、変圧器のタンク側壁またはコンサベータガス室部に圧力継電器を取付けることによってその目的を達し得る。しかし最近の電力用変圧器では、絶縁油の劣化を防ぐため窒素封入式あるいは完全密封式とすることが多く、封入ガスと絶縁油は温度変化によって膨張、収縮するため、常時でもタンク内圧がかなり大巾に変動する。したがって普通の圧力継電器では、感度をあまり高くしておくと、常規運転中でも温度変化によって誤動作するおそれがあるため、感度をある程度落さなければならない不利があり、早期検出の目的に反することになる。この欠点を補うため、常規運転時の内圧に無関係に異常時の圧力上昇だけを検出するように考案されたものが、この衝撃圧力継電器である。図 3.1～3.3 にその外観、内部要素および断面図を示す。

この継電器は、油入変圧器のガス室部に取付けられ、常時運転中には変圧器ガス室部の圧力が緩慢に変動しても、ガス室内の圧力と、継電器室の圧力とは均圧孔を通じてつなに等しい値に保たれるから、継電器は動作しないが、ガス室の内圧が事故で急激に上昇したときには、継電器室内は均圧孔の抵抗のために圧力上昇が遅れ、圧力差を生じてベルが膨張し、マイクロスイッチの接点を閉じる。

この接点を補助継電器を介して遮断器操作回路に結んでおけば、変圧器回路を遮断することができる。すなわち、均圧孔の抵抗効果によって、内部事故が大きく圧力上昇が速いときは短時間に継電器が動作するという反限時特性をもたらすとともに、常時の内圧値に無関係に感度を高くすることができる。図 3.4 は衝撃圧力継電器を用いた保護回路の一例であり、図 3.5 はこの継電器を取付けた電力用変圧器の写真である。

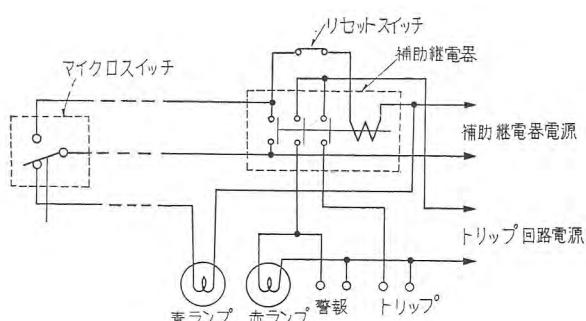


図 3.4 衝撃圧力継電器を用いた保護回路の一例

Fig. 3.4 Example of protection circuit using the sudden pressure relay.

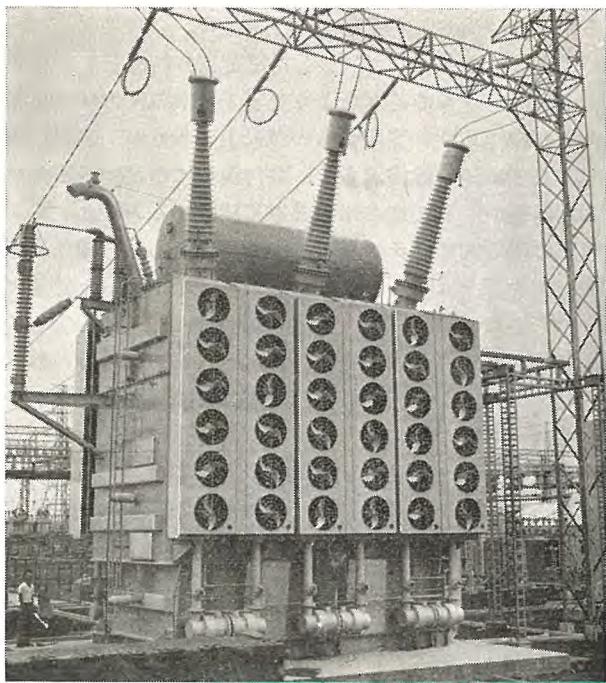


図 3.5 衝撃圧力継電器を取付けた変圧器の一例
東京電力中東京電気所納三相 260 MVA 変圧器
放圧管の頂部に衝撃圧力継電器が見える

Fig. 3.5 Example of transformer fitted with the sudden pressure relay.

4. 動作特性および等価回路

いま図 4.1において、急激にストップバルブを開いた場合を考える。

$P_0 \cdots t=0$ のときの継電器室内のガス圧力

$P_1 \cdots$ ガス室内のガス圧

$p \cdots$ 時間 t のときのガス室内と継電器室内のガスの圧力差

$V \cdots$ 継電器室の容積

$n_0 \cdots t=0$ のときの継電器室内のガスのモル数

$n \cdots$ 時間 t のときにガス室から継電器室内へ流入したガスのモル数

$q \cdots$ ストップバルブを通過するガスの単位時間あたりのモル数

$K \cdots$ ストップバルブの断面積、長さ、ガスの粘性に関する抵抗係数

とし、かつガスの移動はすべて等温変化であり、 K はガスの流速に無関係に一定であると仮定する。いま $t=0$ においてバルブを開いたとすれば

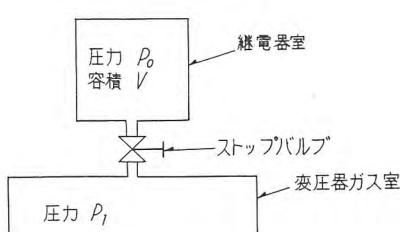


図 4.1 動作説明図

Fig. 4.1 Explanatory drawing of operation

油入変圧器保護用衝撃圧力継電器・嶋

$$q = \frac{dn}{dt} = \frac{p}{K} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

と表わし得る。また $P_1 = \text{const.} > P_0$ とし、ガスは理想気体であると仮定すれば

$$p = P_1 - P_0 \frac{(n_0 + n)}{n_0} = P_1 - P_0 - \frac{P_0 n}{n_0} \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

式 (4.1), (4.2) から

$$\frac{dn}{dt} + \frac{P_0 n}{Kn_0} = \frac{1}{K}(P_1 - P_0) \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

式 (4.3) を解き、式 (4.2) に代入すれば

$$p = (P_1 - P_0) e^{-\frac{P_0}{Kn_0} t} \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

ここで気体の状態方程式 $P_0 V = n_0 R T$ より $\frac{n_0}{P_0} = \frac{V}{RT} = V_0$ とおけば、式 (4.4) は次のように表わし得る。

$$p = (P_1 - P_0) e^{-\frac{t}{KV_0}} \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

上式は $t=0$ において継電器室にストップバルブを通して P_0 から P_1 に急激に圧力変化を与えた場合、ガス室と継電器室の圧力差 p の時間的変化を表す。この式は電気回路における CR 直列回路の過渡現象と等価であ

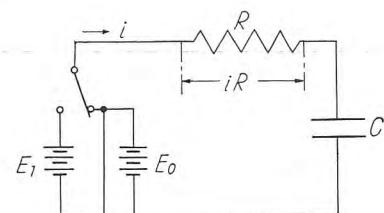


図 4.2 等価回路図

Fig. 4.2 Equivalent circuit

る。すなわち、図 4.2 の回路において、端子間にまず E_0 なる電圧を与えて充電しておき、さらに E_1 なる電圧を重畠して加えた場合、回路に流れる電流は周知のとおり

$$i = \frac{1}{R} (E_1 - E_0) e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$iR = (E_1 - E_0) e^{-\frac{t}{RC}} \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

となり式 (4.5) および (4.6) において

$$p = iR, \quad P_1 - P_0 = E_1 - E_0$$

$$K = R, \quad C = V_0$$

とおけば種々の圧力変化に対する衝撃圧力継電器の動作特性は等価回路によって容易に解析することができる。

いま、変圧器内部に絶縁破壊事故が発生し、ガス室の圧力が P_0 から $P_1 = P_0 + rt$ なる定上昇率の変化をする場合を考える。等価回路において

$$E_1 = E_0 + rt \quad \dots \dots \dots (4.7)$$

とおきこれを解けば

$$i = rC(1 - e^{-\frac{t}{rc}}) \quad \dots \dots \dots (4.8)$$

を得る。この式から明らかなように、電流 i は $t=0$ までの電圧の初期値 E_0 に無関係であり、電圧の上昇率 r および回路定数 $C \cdot R$ だけによって決まる。換言すれば、衝撃圧力継電器の動作特性は、定数 $K \cdot V_0$ が一定であれば、ガス室の初期圧力に無関係に圧力上昇率だけによっ

て決まるといい得る。かつ圧力继電器により圧力差 ρ を検出することは、等価回路においては抵抗 R の降下電圧を検出するに等しい。すなわち、

$$iR = rRC(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad \dots \dots \dots (4.9)$$

$$\rho = rKV_0(1 - e^{-\frac{t}{KV_0}}) \quad \dots \dots \dots (4.10)$$

の両式で対応させることができる。

いま、マイクロスイッチの最低動作圧力差を ρ_0 とすれば、式 (4.10) の圧力差 ρ が $\rho = \rho_0$ となるまでの時間 t_0 は式 (4.10) から

$$t_0 = KV_0 \log \frac{rKV_0}{rKV_0 - \rho_0} \quad \dots \dots \dots (4.11)$$

から求めることができる。

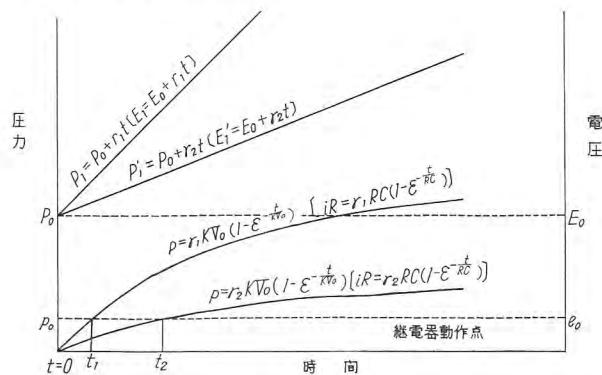


図 4.3 差圧一時間特性

Fig. 4.3 Pressure difference time characteristic.

図 4.3 は、ある時定数を有する衝撃圧力继電器を取付けた変圧器のガス室に、種々の上昇率の圧力上昇を与えた場合の動作特性を表わす。縦軸左側は圧力値、右側は等価回路における電圧値をとる。たとえば $P_1 = P_0 + r_1 t$ のガス圧上昇を与えたときには ρ は $t = t_1$ において動作点に達し、また $P'_1 = P_0 + r_2 t$ の圧力上昇のときには、 $t = t_2$ で動作点に達することを表わす。かつ、式 (4.11) から明らかなように

$$r < \rho_0 / KV_0 \quad \dots \dots \dots (4.12)$$

のときには $\rho < \rho_0$ となり $t = \infty$ においても继電器は動作し得ない。換言すれば圧力上昇率が一定値以下のときは、その範囲内で圧力絶対値がいかに変動しても继電器は誤動作しないといえる。

5. 動作特性的調整、点検

衝撃圧力继電器の動作特性を調整するには式 (4.12) から明らかなように ρ_0 を加減して继電器の動作点を調整するか、または KV_0 を加減して時定数を調整してやればよい。このことは等価回路においては抵抗 R の両端に接続する電圧继電器の感度を調整すること、および $R \cdot C$ の値を加減することに等しい。実際の继電器では、図 3.3 のように、 ρ_0 はベローに設けた調整ばねの張力を加減して調整し、また均圧孔に設けた絞り弁を加減して K の値を調整することにより、かなり広い範囲にわたって任意の動作特性にセットできるようになってい

る。

またこのようにして調整した继電器の特性をチェックするには、さきに述べたような定上昇率の圧力変化を与えて、動作特性を実測するのが最上であるが、装置、測定器などに種々障害が多く、取付現地での試験が困難な場合が多い。そこでこれを簡単に試験する方法として、実際の继電器にはテストプラグが設けてある。図 3.3においてまずテストプラグを取除いて、继電器室と外気とを通じておき、変圧器ガス室内の圧力 P_1 を外気圧 P_0 より高いある一定値に保つ。このときはベローの内外に圧力差 $\rho = (P_1 - P_0)$ を生じ、继電器は動作状態にある。いま $t = 0$ においてテストプラグを急激に閉じれば、继電器室のガス圧力 P_0 は均圧孔からのガスの流入により徐々に上昇し、或る時間経過後に继電器が復帰する。この間の時間を測定すれば继電器の時定数を知ることができ、静的試験により继電器の動作特性をチェックすることが可能である。

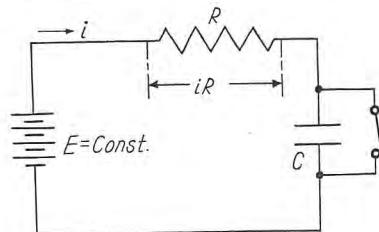


図 5.1 静的試験時の等価回路図

Fig. 5.1 Equivalent circuit during static testing.

このことは、等価回路においては、図 5.1 の回路に最初 $E = \text{const.}$ なる電圧を加え、 C の両端子を短絡しておき、 $t = 0$ においてこの短絡を開いたときの R の降下電圧を検出するに等しい。すなわち降下電圧 iR は

$$iR = E e^{-\frac{t}{RC}} \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

となり、继電器においては、ベローに働く圧力差は

$$\rho = (P_1 - P_0) e^{-\frac{t}{KV_0}} \quad \dots \dots \dots (5.2)$$

となる。いま继電器復帰圧力差を ρ_0' とし、 $\rho = \rho_0'$ となるまでの時間を t_0' とすれば式 (5.2) から

$$t_0' = KV_0 \log \frac{P_1 - P_0}{\rho_0'} \quad \dots \dots \dots (5.3)$$

となる。そこで、実測により復帰時間 t_0' を実測すれば式 (5.3) から時定数 KV_0 を知り、これを式 (4.10)、(4.11) に代入することによって、上昇率 r の圧力上昇を与えたときの圧力差 ρ の時間的変化、およびある動作点 ρ_0 のときの動作時間 t_0 を知ることができる。

図 5.2 は、テストプラグによる試験にあたり、種々のガス室圧力差 ($P_1 - P_0$) に対する继電器に働く圧力差 ρ の時間的変化を表わしたもので ($P_1 - P_0$) の圧力差のときは继電器は t_1' で復帰し、($P_1' - P_0$) のときは t_2' で復帰することを示す。このように、静的試験で動的特性をあらかじめ知り得るとともに、逆に動的特性の继電器の ($P_1 - P_0$) 対 t の曲線を与えておけば、この曲線

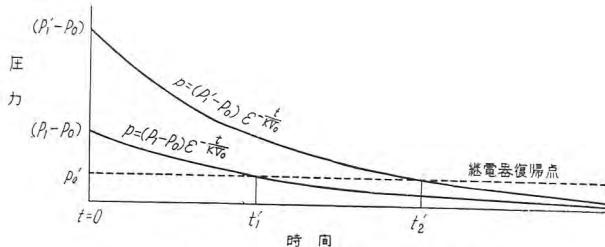


図 5.2 静的試験時の差圧一時間特性
Fig. 5.2 Pressure difference-time characteristic during static test.

と実測値を照合して、継電器の特性が正常であるか否かをチェックすることができる。(図 7.3 参照)

6. 衝撃圧力継電器の特長

今まで述べた衝撃圧力継電器の動作特性を総合し、在来の変圧器内部事故保護装置に比較すれば、下記に列举するような多くの特長を備えている。

- (1) 微少な圧力上昇ですみやかに動作し、かつ、反限時特性をもっているため事故の規模が大なるほど短時間で動作する。したがって障害、被害を最小限に止め得る。
- (2) 動作特性は當時内圧に無関係であるから、窒素封入式、完全密封式変圧器に取付けても感度が変わらず誤動作のおそれがない。
- (3) 比率差動電方式、ブッフホルツ継電器の採用できない特殊な変圧器や、負荷時タップ切替機構室などにも簡単に取付けて保護させることができる。
- (4) 保守にほとんど手間を要せず、取付け、取はずし、交換が容易にできる。
- (5) 動作特性のチェックが容易であり、任意の特性に簡単に調整できる。
- (6) 詳細は後述するが、とくに外鉄形変圧器に取付けた場合にその長所を發揮する。

7. 動的模擬試験およびブッフホルツ継電器との比較

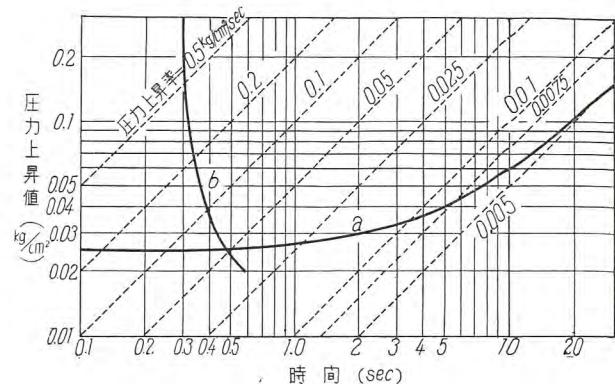
図 7.1 は、衝撃圧力継電器に模擬的に定上昇率の圧力上昇を与えた場合の動作特性を示す。試験には図 7.2 のような装置を用い、加減弁を加減して種々の上昇率の圧力上昇を与えたものであって、計算により求めた数値と非常によく合致する結果を得た。この曲線によれば、継電器の特性は

最低動作圧力差 0.025 kg/cm^2

最低動作圧力上昇率 $0.005 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$

時定数 $0.025/0.005 = 5 \text{ sec}$

であることを示している。たとえば、変圧器ガス室に $0.1 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ の圧力上昇を与えたときには継電器は 0.25 秒で動作し、 $0.01 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ の圧力上昇のときは 3.5 sec で動作することを示す。かつ圧力上昇率が $0.05 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ 以上の範囲では、均圧孔の抵抗はほとんど無限大に近いが、それ以下では徐々に抵抗効果が下



a: 衝撃圧力継電器
b: ブッフホルツ継電器(トリップ接点)

図 7.1 動作特性曲線
Fig. 7.1 Operating characteristic curve.

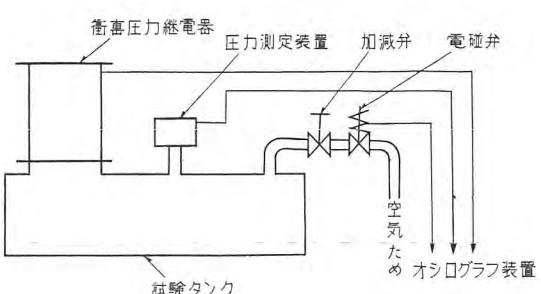


図 7.2 動作特性試験装置図

Fig. 7.2 Operation characteristic testing device.

がり $0.005 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ 以下では抵抗効果は 0 となって、継電器は動作しないことを示している。

普通の電力用変圧器では、運転中に油温度、ガス温度が相当急激に変動しても、ガス圧力の上昇率はきわめて低いものである。いま簡単のために完全密封式変圧器を考え、その運転条件を次のように仮定する。

- (1) ガス室容積は油量の 5 % である。
- (2) ガス室圧力は 1.0 kg/cm^2 ($\equiv 760 \text{ mmHg}$) である。
- (3) 周囲温度は 0°C から毎分 1°C ずつ上昇する。
- (4) 変圧器の油温度上昇は 0°C から規格値 50°C に達するものとし、その時定数を 50 分とする。かつ油温度上昇の勾配は始発時の値を維持するものとする。したがって、油温度上昇の上昇率は毎分 1°C である。
- (5) 結局、油の温度は、 0°C から毎分 2°C ずつ上昇する。
- (6) ガス温度は油温度につねに等しいものとする。
- (7) タンク、ガス室の容積はつねに一定であり、膨張変形を起さないものとする。
- (8) 油の膨張係数を 7×10^{-4} とする。

以上の仮定は、実状から比べれば非常に苛酷な条件であるが、これにより始発から 60 秒経過後のガス室圧力は

$$0.05 / (0.05 - 2 \times 7 \times 10^{-4}) \times \left(\frac{273 + 2}{273} \right) = 1.036 \text{ kg/cm}^2$$

すなわち毎秒あたり上昇率は

$$\frac{0.036}{60} = 0.0006 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$$

となり、図 7.1 の特性の継電器の最低動作圧力上昇率 0.005 kg/cm²/sec から見れば約 8 倍の安全率を有するから、常時運転中の誤動作は絶対にないといえる。

図 7.3 は、図 7.1 の特性に整定された衝撃圧力継電器に対し、テストプラグを用いて静的試験を行うときの圧力対時間曲線である。テストプラグによる実測値がこの曲線と合致すれば、継電器は図 7.1 の動的特性をもつとみなしえる。

図 7.1 曲線 b は、参考として従来当社で標準製品としているブッフホルツ継電器（トリップ接点）との比較のため、図 7.4 の試験装置により模擬的に試験した結果である。図 7.1 の a, b 両曲線によれば、圧力上昇率が比較

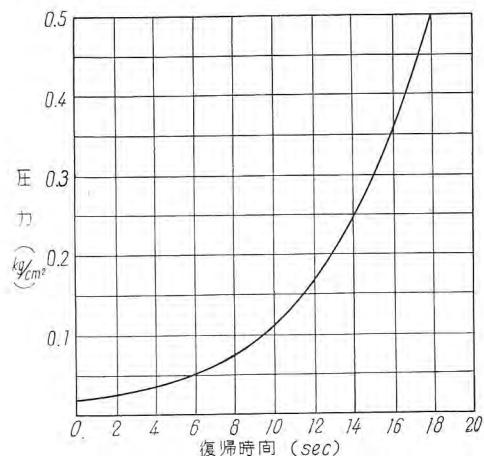


図 7.3 静的試験時の圧力一時間特性

Fig. 7.3 Pressure-time characteristic of static test.

の大きい範囲では衝撃圧力継電器は反限時特性を示すに對し、ブッフホルツ継電器は定限時特性に近く、事故の規模の大小にかかわらず動作時間はほぼ一定であり、かつ圧力上昇率が 0.03 kg/cm²/sec 以下ではまったく動作し得ないといふ点において、衝撃圧力継電器に劣るものである。また、油中含有ガスの集積、機械的衝撃などによって誤動作する実例があった点、取替え調整が困難であり、コンサベータをもたない変圧器には採用できない点などの難点に比べれば、衝撃圧力継電器は非常にすぐれた性能、特長をもつことが実証された。

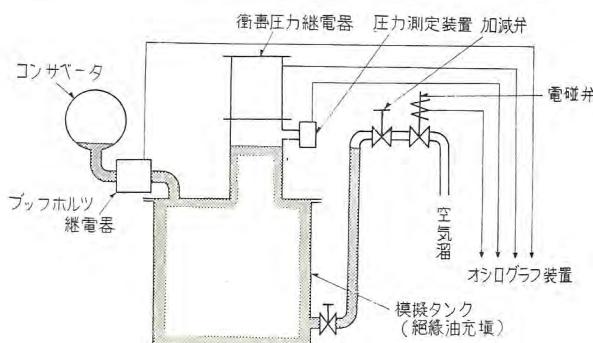


図 7.4 模擬タンク試験装置図

Fig. 7.4 Mimic tank testing device.

8. 変圧器破壊試験時の実用例

最近、当社において変圧器の機械的強度を試験する目的で、老朽変圧器を試料として繰り返し短絡による破壊試験を行う機会を得、参考としてこの変圧器に衝撃圧力継電器、ブッフホルツ継電器および比率差動継電器を取り付け、各継電器の保護能力をあわせて試験することができた。試料として用いた変圧器の仕様は大略下記のとおりである。

形式 単相外鉄形 油入自冷式

容量 2,000 kVA

周波数 60 c/s

一次電圧 75-72-69-66-63-60-57-54 kV

二次電圧 22-11 kV

製造 昭和 5 年

また、試料としての衝撃圧力継電器、ブッフホルツ継電器の特性は、いずれも図 7.1 a, b とまったく同一なものを用い、衝撃圧力継電器は変圧器の構造上放圧管（バースティングチューブ）の上部に取付け、放圧管とコンサベータを結ぶ連結管の径を大きくしてコンサベータに直接接付けたと等価的な配置とした。短絡試験回路の概略は図 8.1 のとおりである。

供試変圧器は種々の条件による繰り返し短絡ののち、最終的に内部絶縁破壊を起したが、このときのオシログラ

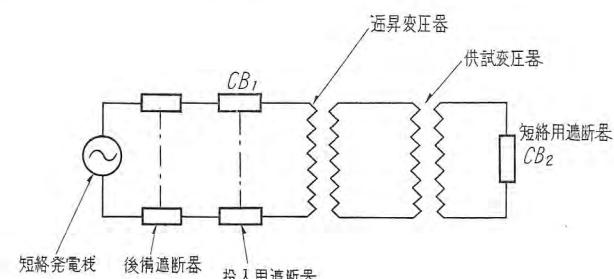


図 8.1 短絡試験回路図

Fig. 8.1 Circuit for short-circuit test.

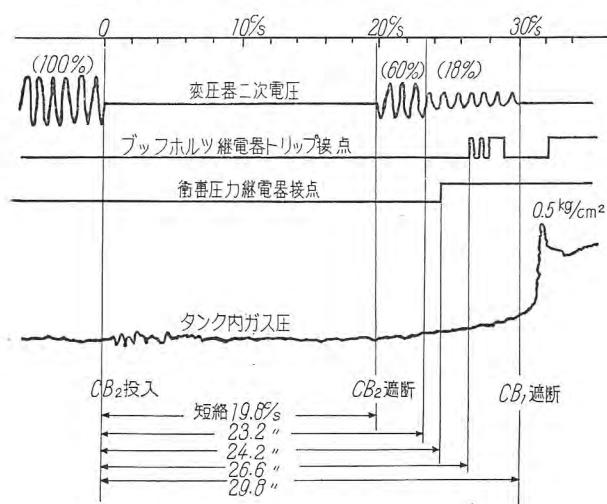


図 8.2 短絡破壊時のオシログラム

Fig. 8.2 Oscillograms of short-circuit destruction.

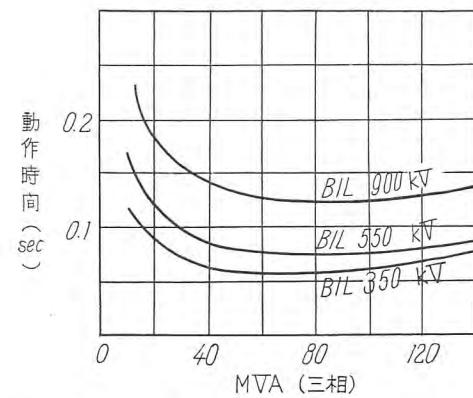
ムは図8.2のとおりであった。すなわち、19.8サイクル間の短絡のうち遮断器を開いたが、変圧器の二次電圧は100%まで回復せず、さらに23.2サイクルに至って大きな故障電流が絶縁破壊部分に流れたと想像される。油中アーカ発生の時刻は明白ではないが衝撃圧力继電器は短絡開始より約24.2サイクル後に動作し、ブッフホルツ继電器は約26.6サイクル後に不完全な動作32サイクル後に完全な動作が認められ、衝撃圧力继電器の動作がブッフホルツ继電器よりも速いことを示した。また衝撃圧力继電器のマイクロスイッチは確実に閉じたのに対し、ブッフホルツ继電器の水銀接点は、機械的振動によって、バタツキが認められ、完全な動作は相当時間経過後に認められた点で衝撃圧力继電器の優位性を実証し得た。

9. 電力用変圧器に採用した場合の保護能力

衝撃圧力继電器は、製品化以来すでに数十個の多きにわたり実際の変圧器に取付け、運転中であるが、内部事故を発生して動作した実例にはまだ遭遇していない。したがってその実績については未知数であるが、さまざまの内部事故を予想し、種々の仮定を設けて動作時間を近似的に推定することは不可能ではない。

米国ウェスチングハウス社の文献によれば、種々の電圧、容量の標準形式の外鉄形変圧器（三相二巻線送油風冷式 フォームフィット構造）に対し、同社で製作の標準特性の衝撃圧力继電器（最低動作圧力差0.3LBS/平方インチ、最低動作圧力上昇率0.07LBS/平方インチ/秒）を取り付けた場合、種々の条件を簡略化して概算したときの内部事故発生から继電器動作までの時間を発表している。

内部絶縁破壊事故には、2項にあげたように種々の形態があるが、そのうちで故障電流が少なくとも検出がむずかしい場合の继電器の動作時間を知れば、これより規模の大きいあらゆる事故にはすべてこの動作時間以内に検出し得るはずである。いま、一次側巻線から最も遠い位置にある二次側巻線の一部に1ターン短絡が起ったものと仮定すれば、短絡回路のリアクタンスは他の個所のときに比べて最大となり、故障電流がもっとも小さいという条件を満たす。この条件のもとに概算したものが図9.1であって、これを見るに40~120MVAの範囲に最短動作時間をもち、この範囲外では時間が長くなる傾向をもつ。この理由として考えられることは、容量の比較的小さい変圧器では、巻線1ターンあたりの誘起電圧が低く、かつ短絡回路のリアクタンスが大きく、短絡部分に供給されるアーカエネルギーが小さいために圧力上昇率が低いことなどが挙げられる。逆に、比較的大容量の変圧器では、巻線1ターンの誘起電圧が大きく、アーカエネルギーは大となるが、変圧器のガス室容積がそれ以上の増加分で大きくなるため、曲線としてこのような傾向をもつ結果となった。また同一容量の変圧器にあっては、絶縁階級が高くなるほどその短絡回路のリアクタン



（一次巻線から最遠部にある二次巻線に1ターン）
（短絡を仮定したとき）

図 9.1 動作時間曲線
Fig. 9.1 Operation time curves.

スを増し変圧器の容積も増すから電圧階級の低い変圧器に比べ、巻線1ターンの誘起電圧が等しくてもアーカエネルギーおよび圧力上昇率が小さくなり、继電器の動作時間が長くなる傾向をもつことは当然である。もちろんこの曲線は構造上の制約を大巾に簡略化した概略値であって、実際の事故の場合はこれらの制約をうけて動作時間は長くなるから、この曲線は単なる目安であってこのとおりの動作時間有するか否かは疑問であるが、逆にこの制約をできるだけ緩和するように設計、继電器の取付方法などを考慮すれば、たとえ1ターン短絡というもともと検出困難な条件においても、衝撃圧力继電器はかなりの高速度で動作し得るものであること、さらに相間短絡、層間短絡、地絡など大規模な内部事故に際しては继電器はその規模に逆比例した短時間で検出、保護し得るものであることを明らかにしたものである。

外鉄形変圧器は内鉄形変圧器に比べ、その構造上巻線1ターンあたりの誘起電圧を比較的高い値とするのが通常である。したがって、1ターン短絡の場合に短絡個所に供給されるエネルギーは内鉄形の1ターン短絡よりも大きく、ガス室の圧力上昇率が高い。換言すれば内鉄形では検出できないような内部微小事故でも外鉄形では検出が容易であって、保護装置の使命である事故を最小限に止める目的にかならず点において、外鉄形変圧器に採用してとくにその長所を發揮できるものである。

以上の考察は、すべて標準整定の衝撃圧力继電器についてだけ進めたものであるが、実際に変圧器に取付けるにあたっては、変圧器の定格、形式、構造、继電器の取付け状況などの周囲条件や、さきの概算では無視した種々の条件を加味すれば、继電器の保護能力は変圧器によって大巾に変動することは避けがたい。換言すれば继電器はその対象となる個々の変圧器に対し、これら周囲条件に応じてつねに最適の特性をもつよう調整する必要があることはもちろんである。この調整値の選定は非常にむずかしく、ある程度今後の実績を待つ必要があるが、定性的には推察することも可能であって、現在その範囲において適宜調整したものを製作、出荷すべく心掛けて

いる。この点からも同一形式の衝撃圧力継電器でもって動作特性を大巾に任意に調整でき、かつ特性の点検が容易であることは、非常な利点というべきであろう。

10. む す び

以上で衝撃圧力継電器についての概略を紹介した。電力用変圧器の重要性はいまさら説くまでもないが、とくに最近のように変圧器が超高压、大容量化され、その重要度を増しつつあるとき、その保護装置に課せられる責務は、決して等閑視すべきではなく、実際の運転にあたっては、おののの実状に応じ、最高、最適の保護方式を適用し、変圧器の機能を最大限に發揮させるべきことはもちろんである。ここに紹介した衝撃圧力継電器は、保護能力、信頼性において今までにない多くの長所をもつものではあるが、従来慣用されている比率差動継電方式、ブッフホルツ継電器などにもなお捨てがたい多くの利点があり、実際にはこれらを多重に組合わせてその長短あい補うべく配置するのが最良であろう。衝撃圧力継電器は現在多方面に好評裏に採用願っているが、なにぶんまだその歴史が浅く、なお研究、改良に多くの問題を

残している。今後の運転実績をまち、より高性能化への努力を推進したいと考えているが、ここにその一端を披露し各位のご批判、ご鞭撻を仰ぎたい所存である。

終りにのぞみ、衝撃圧力継電器の試作、試験および変圧器短絡破壊試験にあたり、種々ご便宜、ご協力を賜わった関西電力株式会社、当社伊丹製作所第一工作課、品質管理課の方々に対し、紙上をかりて深く感謝の意を表するとともに、さらに今後のご援助をお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) E. A. Klingshirn, H. R. Moore, E. C. Wentz; Detection of Fault in Power Transformers. A. I. E. E. Trans. Pap. 57-21.
- (2) V. Sterner; The Protection of Large Transformers. C. I. G. R. E. 予稿 (1957).
- (3) 村上・嶋; 電力用変圧器の保護装置、電気公論 5, 6 月号 (1958).
- (4) 嶋; 油入変圧器保護用衝撃圧力継電器、四学会連大予稿 (1958).

新刊紹介 論理数学入門

三菱電機研究所物理第一研究室長

菅野正雄著

B6判 176ページ 定価 290円 〒30円 電気書院発行

近年、工業界の趨勢はオートメーション化の方向に進みつつある。すなわち、これまで、われわれ人間がいちいち頭の中で段取りを考え、そのつど手を下して機械に仕事をさせていたものを、極度に切りつめて、機械にさせようとする作業の段取りをあらかじめテープやカードに仕込んでおいて、これらを機械に挿入しさえすれば、あとは機械が自動的にすらすらと事を運んでくれるという状態が実現されるようになってきた。電子計算機や数値制御式工作機械などはそのいちじるしい例である。

ところで、オートメーション化によって、カードやテープに仕込んだ予定段取りのとおりに機械を動作させるには論理数学の助けを借りなければならないが、本書ではこの論理数学の入門的解説とそのいくつかの応用を述べてある。

目 次

1章	論理数学とは	8章	2進数の和における対等の応用
2章	基礎論理演算	9章	ダイオード・マトリクス選択回路
	—論理和・論理積・共轭—	10章	検算回路の例 I. 剰余検算
3章	論理式と電気接点回路との対応関係	11章	検算回路の例 II. 対等検算
4章	対等	12章	循環2値符号
5章	OR, AND, NOT, INHIBIT 回路と その組合せ	13章	論理函数の図式表示
6章	2進法演算と2進-10進法演算	14章	安定回路
7章	論理演算装置の論理設計		付 錄

小容量自励交流発電機

名古屋製作所 杉山昌司^{*}・町野康男^{*}

Small Capacity Self-Excited AC Generators

Nagoya Works Masashi SUGIYAMA · Yasuo MACHINO

Self-excited AC generators are excited by current available from a rectified power of own generation without resorting to a rotating exciter. This system is roughly divided into the one without the automatic voltage regulator and the other with it. Both have features unknown to the conventional AC generator with a rotating exciter. The advent of this machine has made possible the line start of a relatively large capacity motor with a small generator, which was considered impracticable formerly, because of little momentary voltage drop and quick recovery. There are a numbers of other features which give promising future of the generators.

1. まえがき

自動電圧調整器をもたない小形交流発電機は負荷の変動に対し端子電圧を一定に保つため、つねに界磁調整器を調整しなければならない。また一般に従来より使用されている振動形あるいは抵抗器形の自動電圧調整器付といえども、励磁機界磁電流を制御して交流発電機の端子電圧を一定に保つ方式であるから、急に大きな負荷をかけると端子電圧は急激に低下し、また電圧の回復時間もかなり大きな値となる。そのため電磁開閉器や継電器の落下はもちろんのこと、運転中の電動機の停止や通信機の一時的な機能低下などの障害を起すことがしばしばある。このような問題に対して回転励磁機を省略して乾式整流器によって直接交流発電機を励磁する方式が、乾式整流器の信頼度の向上とあいまって近時ふたたび脚光を浴びるにいたった。この方式による交流発電機は一般に自励交流発電機と呼ばれ、種々の回路方式が実用化されているが、発電機の出力電圧より供給される電流と、負荷電流に比例した電流をベクトル的（大きさと位相関係を考慮）、あるいはスカラ的（大きさだけ考慮）に重畠して界磁回路に加え、発電機端子電圧を負荷に無関係にほぼ一定に保とうとするものである。自励交流発電機は変流器によって励磁を強制する静止励磁方式であるため

- (1) 負荷が変動しても端子電圧の変動が少ない。
- (2) 負荷急変時の電圧回復時間が非常に短い。
- (3) 整流子がないため通信電波障害が少ない。
- (4) 可動部分がないため保守が容易である。
- (5) 発電機のすえ付面積が小さくてすむ。

など従来の自動電圧調整器付の場合にはみられない多くの特長をもっている。それゆえ通常は自動電圧調整器を付属することがないような小形交流発電機はもちろんの

こと、すえ付面積や価額の関係から比較的容量に制約のある移動用あるいは非常用発電機の場合もこの方式を採用して非常に効果をあげている。本誌においてはさきに第32卷第8号に「三菱自励交流発電機」としてその概要が報告されているので、本稿においては125 kVA以下の小形自励交流発電機についてすでに製作納入した製品を主体にその概要を紹介して各位の参考に供したい。

2. 自励交流発電機の動作の概要

自励交流発電機の方式は大別してAVRなし自励交流発電機とAVR付自励交流発電機に分類される。このおののおのの特長と原理はすでに内外の各種文献に詳細に紹介されているが、順序としてその原理を簡単に説明する。

2.1 AVRなし自励交流発電機

図2.1にその接続図を示す。前記したように発電機端子電圧より供給される励磁電流 I_{10} と、変流器より供給される付加励磁電流 I_{20} をベクトル的に合成して界磁回路に加え、発電機端子電圧をほぼ負荷に無関係に一定に保とうとする方式である。

今発電機が円筒形回転子で飽和を有せず電機子抵抗を無視すれば、発電機端子電圧 E_t を維持するに必要な誘起電圧 E_0 は

$$E_0 = E_t + jX_s I \quad \dots (2.1)$$

X_s 同期リアクタンスとなり、図2.2に示されるベクトルとなる。

一方リアクトルの値と変流器の変流比を適当に選んで電流 I_{10} I_{20} の関係を同様にベクトル図で表わし、両者で構

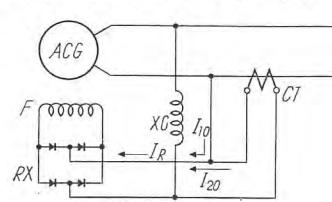


図2.1 AVRなし自励交流発電機説明図

Fig. 2.1 Schematic drawing of self-excited AC generator without AVR.

* 技術部

成される $\triangle OAB$ と $\triangle OCD$ が相似であれば負荷の増減に従って励磁電流も自動的に調整され、端子電圧 \dot{E}_t はつねに一定に保たれる訳である。

図 2.1 の等価回路を図 2.3 に示す。変流器の漏洩リアクタンスおよび巻線の抵抗を無視すると、無負荷励磁電流 \dot{I}_{10} は発電機端子電圧より供給されて

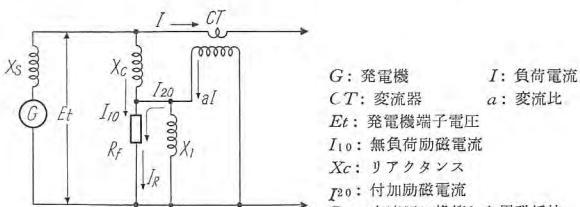


図 2.3 図 2.1 の等価回路
Fig. 2.3 Equivalent circuit of Fig. 2.1.

$$\dot{I}_{10} = \frac{\dot{E}_t X_1}{(X_1 + X_c)(R + Z_0)} = \frac{\dot{E}_t X_1}{(X_1 + X_c) \sqrt{R^2 + X^2}} \angle \theta_1 \quad (2.2)$$

$$Z_0 = \frac{X_c X_1}{X_c + X_1} = jX \quad (2.3)$$

$$\theta_1 = -\tan^{-1} \frac{X}{R} \quad (2.4)$$

となる。つぎに負荷がかかるて変流器に電流 I が流れたとき、二次側には aI なる電流が流れ、その結果 \dot{I}_{20} の電流が付加されるものとすると \dot{I}_{20} は

$$\dot{I}_{20} = \frac{aI Z_0}{R + Z_0} = \frac{aI X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \angle \theta_2 \quad (2.5)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{R}{X} \quad (2.6)$$

となる。ゆえに \dot{I}_{10} と \dot{I}_{20} の合成界磁電流 \dot{I}_R は

$$\begin{aligned} \dot{I}_R &= \dot{I}_{10} + \dot{I}_{20} = \frac{\dot{E}_t X_1}{(X_1 + X_c) \sqrt{R^2 + X^2}} \angle \theta_1 \\ &\quad + \frac{aI X}{\sqrt{R^2 + X^2}} \angle \theta_2 \end{aligned} \quad (2.7)$$

となり θ_1 と θ_2 の関係は

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{\pi}{2} \quad (2.8)$$

となる。

いま負荷電流 I が \dot{E}_t より ϕ だけ遅れているものとすると、 \dot{I}_{20} は端子電圧 \dot{E}_t に対し θ'_2 だけ遅れる。また θ_1 と θ_2 の関係は式 (2.8) のとおりであるから、 θ'_2 は

$$\theta'_2 = \theta_2 - \phi = \theta_1 + \frac{\pi}{2} - \phi \quad (2.9)$$

となる。また \dot{I}_{10} と \dot{I}_{20} の位相角を β とすれば

$$\beta = \theta'_2 - \theta_1 = \frac{\pi}{2} - \phi \quad (2.10)$$

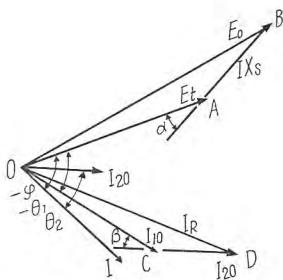


図 2.2 AVR なし自励交流発電機ベクトル図
Fig. 2.2 Vector diagram of self-excited AC generator without AVR.

である。一方同期リアクタンス降下 $jX_s I$ と端子電圧 E_t との位相角 α は

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \phi \quad (2.11)$$

となって、式 (2.10) と式 (2.11) より

$$\alpha = \beta \quad (2.12)$$

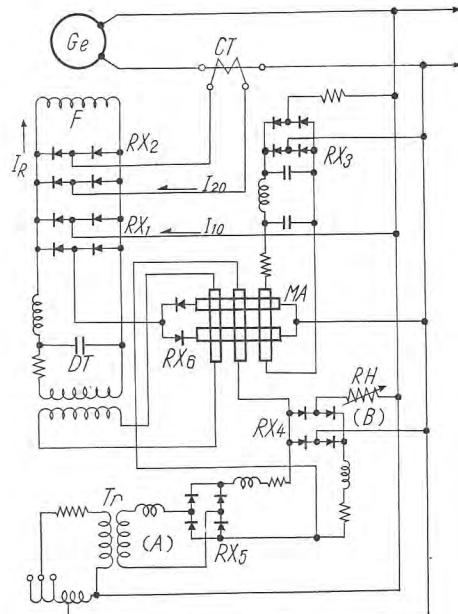
となる。ゆえに X_c, X_s および α の値を適当に選んで

$$a = \frac{X_s}{X_c} \quad (2.13)$$

になるよう変流比およびリアクトルの値を選べば、前記したように発電機の電圧と励磁電流の関係を示す二つの $\triangle OAB$ と $\triangle OCD$ は相似となって、負荷電流ならびに力率には無関係に端子電圧を \dot{E}_t に保つための内部誘起電圧 \dot{E}_o に対応した界磁電流 \dot{I}_R を与えることができる。

2.2 AVR 付自励交流発電機

この方式の交流発電機は図 2.4 に示されるとおり発電機端子電圧より供給される励磁電流 I_{10} と、負荷電流に比例した付加励磁電流 I_{20} をおのの整流器を介してスカラ的に合成して界磁巻線に加え、端子電圧を一定に保とうとするものであるが、付加励磁電流 I_{20} は負荷電流の絶対値に比例するだけであるから、ある力率で良好な外部特性を示すよう各部の要素を調整されたものは、そのままでは力率の変動による励磁電流の調整を行うことができない。そのため発電機電圧より供給される励磁電流 I_{10} を AVR によって調整し、端子電圧を負荷電流に無関係に一定に保とうとするものである。励磁電流 I_{10} は磁気増幅器 MA を通じ整流器 RX_1 によってあたえられ、付加励磁電流 I_{20} は変流器 CT より整流器 RX_2 を通じてあたえられる。負荷がかかったとき



CT: 変流器
RX: 整流器
MA: 磁気増幅器
DT: 安定用変圧器
RH: 電圧調整器
(A): 定電流回路
(B): 電圧応答回路

図 2.4 AVR つき自励交流発電機接続図

Fig. 2.4 Connection diagram of self-excited AC generator with AVR.

付加励磁電流 I_{20} は発電機端子電圧を一定に保つ励磁電流以上の値に励磁を増加するような値に選ばれているので、負荷電流の増加とともに励磁電流 I_{10} は減少する。このことは磁気増幅器の動作が負荷電圧、すなわち界磁電圧の増大とともに出力電流の減少する特性と一致して非常に好都合であり、磁気増幅器の動作範囲が非常に狭くなつて良好な動作を行うことになる。

検出回路は図2.4に示されるとおり周波数補償を有する静止回路で、飽和変圧器 T_r をもつ定電流回路(A)と、発電機電圧に対し応答する電流回路(B)とを組合せて、その差電流を磁気増幅器制御巻線に流すものである。飽和変圧器の飽和磁束は入力電圧の時間積分値で電圧の大きさにかかわらず一定である。したがつて二次電圧の平均電圧は一次電圧に無関係に一定となり、その平均電流もまた一定となる。周波数に対する補償は飽和変圧器二次回路に不飽和リアクトルを入れて、たがいに周波数に対する影響を打消し合うよう動作させている。

発電機電圧の調整は調整用の抵抗器 R_H を発電機電圧に応答する回路(B)に入れてその電流を調整している。その他発電機のハンチングを抑え良好な過渡特性を得るため安定用変圧器 DT をつけている。

3. 自励交流発電機製作上の諸問題

自励交流発電機は回転励磁機をもたない同期発電機であつて、小形機は回転電機子形、中形機は回転界磁形である。構造的にはとくに普通の同期発電機と変わることはないが、下記の点が異なつていて。

(1) 自励式であるため図2.1の接続図に示されるように励磁電流 I_{10} はつねに電機子電流より供給しなければならず、また変流器の一次電圧降下を補償する必要がある。そのため小形機においては磁気回路の磁束密度は上昇し、鉄損が増大し、温度が上昇するので、電機子電圧の増加分、分路電流の量を考慮して磁束密度や冷却方法を決定する必要がある。

(2) 界磁電圧は静止励磁器による電圧調整を容易ならしめ、かつ乾式整流器の経済枚数などを考慮して決定する必要がある。

(3) 従来の交流発電機の短絡比はかなり大きく1以上を原則としていたが、自励交流発電機は負荷変動に対する電圧回復の速応性があり、かつ電圧変動が少なく功率には関係なく一定となしうるため、短絡比は1以下でも実用上さしつかえない。そのため励磁電流は減少し機械寸法を小さくすることができる。

(4) AVRなし自励交流発電機は普通のAVRの働きで一定電圧を保持するのではなく、最初から一定電圧を保持するよう調整されたものであるから、原動機の速度変動の影響をうけるほか、磁気回路のヒステリシス現象により電圧調整が左右され、いちじるしい時は電圧変動率以上に設定電圧が変化し、負荷変動や加速の状態によって出力電圧が変る。そのためヒステリシス現象はなるべく小さくする必要があるので鋼塊の使用をさけ、な

るべく薄板を積層し、やむをえない場合は完全な焼純をする必要がある。

(5) 上記のようにヒステリシス効果を減少させるため残留磁気が少なく、そのため初期の電圧確立が困難となり、かつわずかの電圧では乾式整流器による電圧降下で電圧を漸増させることができなくなる。その場合初期励磁をする必要があるが、そのため特別の初期励磁用磁石発電機を付属させるかまたは他の電源(バッテリなど)にたよらなければならない。DP形ダイヤパワーではエンジンの着火用磁石発電機を利用し、またその他ディーゼルエンジン直結のものは初期励磁用磁石発電機を主軸端に直結するか、エンジン始動用バッテリを利用して初期励磁をなさせている。

(実用新案 479630, 479631, 出願中1件)

(6) AVRなし自励交流発電機の静止励磁器に使用されるリアクトルは空隙リアクトルであるが、発電機製作上の誤差や原動機速度変動率を考慮して可調整形のものでなければならない。そのため巻線に中間タップを付けているが、さらに空隙を可調整形として最良の特性を得るよう試みられている。

(7) AVR付自励交流発電機の場合は今までのAVRと同様に電圧調整器によって端子電圧を微細に調整することができるが、AVRなしの場合はリアクトルタップによって微細な調整はできない。そのためAVRなし自励交流発電機には界磁に並列に調整抵抗器を入れてあらかじめ界磁電流の一部を分流し、それを加減して端子電圧を調整している。

(8) 付加励磁電流 I_{20} を供給する変流器も同様に可調整形であることが必要で二次巻線を切替えて使用できる構造にしなければならないから、さらに励磁リアクタанс X_1 の値や整流器保護のため鉄心の飽和特性を考慮し、必要にして十分な付加励磁を供給できる容量を決定しなければならない。

4. 実施例

小形自励交流発電機の試作研究は各種の方式について

表4.1 自励交流発電機製作経歴表

納入先	台数 (kVA) (15 kW)	電圧 (V)	周波数 (c/s)	回転数 (rpm)	相数	力率	エンジン	AVRの うむ	発電機盤 形式	製作 年月
防衛庁(海幕)	1 (15 kW)	200	50/60	1,500/600	3	0.8	新三菱	なし	開放垂直 自立形	33-1
新得営林署	1	15	220	50	1,000	3	0.8	ヤンマー	"	33-10
足利銀行(高崎)	1	15	220	50	1,000	3	0.8	"	開放垂直 壁支持	33-3
有楽ビル	1 (15 kW)	220	60	1,200	1	0.9	"	あり	"	33-5
中部日本放送	1 (15 kW)	100	60	1,200	1	0.95	新三菱	"	閉鎖垂直 自立形	33-4
日本IBM	1	12.5	110	60	1,800	1	0.8	流交電動 機	なし	
建設省(宮崎)	1	3	110	60	1,800	1	1.0	ヤンマー	閉鎖ベン チ形	33-8
宮城県庁	1	3	110	50	1,500	1	1.0	"	"	33-8
東北電材	1	2	110	50	1,500	1	1.0	"	"	"
帯広営林局	1	2	110	50	1,500	1	1.0	"	"	"
土別市、住友 鉱、宇都興産 松下電器など	80	2	100	50	3,000	1	1.0	新三菱	箱形	33-10
中部電力、国 鉄、東都製作 NHKなど	30	1	100	50	3,000	1	1.0	"	"	"

かなり長期にわたって進められてきたが、現在ではすでに 1~2 kVA 程度のものは量産されるまでになり、表 4.1 に示されるように多方面に製作納入され好評をはくしている。以下その代表例の構造ならびに特性を紹介する。

4.1 DP 形ダイヤパワー発動発電機

今まで山間僻地用のラジオ電灯電源として、あるいは移動電源として製作されていた小形発電機は、回転励磁機をもつていて、その電圧調整は励磁機の界磁を調整していた。しかし手動調整のわざらわしさに加えて負荷の急激な開放による端子電圧の瞬時上昇は、同時に接続されている他の機器に悪影響を与えるが、自動電圧調整器は価額、重量あるいはスペースの関係から取付けられなかった。今回かかる発電機を静止励磁方式を採用した自励交流発電機とするにいたり、今までの難点はまったく打開され、瞬時の電圧変動はもちろんのこと、整定時の電圧変動も非常に少なくなり移動用電源あるいは非常用電源として多方面に利用されることになった。

(1) 構 造

ダイヤパワー発動発電機は図 4.1 に示されるもので、1 kW 用を DP-1 形、2 kW 用を DP-2 形と称し、表 4.2 に示される仕様で量産されているが、調整することによって 50 c/s, 60 c/s 共用定格として使用されるのも非常に特長であることである。

原動機は新三菱重工業株式会社製の三菱メイキガソリ

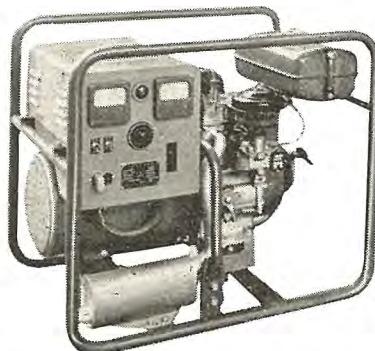


図 4.1 DP-1 形ダイヤパワー発動発電機

Fig. 4.1 Type DP-1 Diapower gasoline engine generator.

表 4.2 DP 形ダイヤパワー発動発電機仕様

容量 仕様			
発 電 機	形式	自励単相交流発電機	
	形名	DP-1	DP-2
	出力 (kW)	1	2
	電圧 (V)	100	100
	電流 (A)	10	20
	周波数 (c/s)	50 または 60	50 または 60
	回転数 (rpm)	3,000 または 3,600	3,000 または 3,600
	功率	1.0	1.0
	電圧変動率	±3% 以内	±3% 以内
	形式	空冷立形 1 シリンダ 4 サイクル側弁式	
エンジン	形名	メイキ G3M	メイキ A5M
	出力 (HP)	2.5/3.0	4.0/4.5
	回転数 (rpm)	3,000/3,600	3,000/3,600
	始動方式	リコイルスタート ガソリン	ロープスタート ガソリン
	燃料		



図 4.2 ダイヤパワー発電機盤

Fig. 4.2 Diapower generator panel.

エンジンを使用し、これに交流発電機を共通台上に直結し、発電機盤とともにパイプフレームに配置した発動発電機である。発電機は回転電機子形突極同期発電機で静止励磁器は図 4.2 に示されるように発電機盤内に収納し必要な計器、器具を盤面に取付けている。

本機の回路方式は 2.2 項に記述したように AVR なしの静止励磁方式であるためその接続図は図 2.1 ほとんど変わることはない。ただ前記のように始動時の電圧発生はエンジンの着火用磁石発電機を利用しているのでその切替スイッチと、定格電圧設定のための分路界磁調整器をそれぞれ追加して盤面に取付けてある。

(2) 外部特性

AVR なし自励交流発電機の場合は前記したように発電機の回転数変動の端子電圧におよぼす影響は絶対に見逃すことのできない要素の一つであって、変流器、リアクトルを最適値に調整するにあたってはつねに原動機速度変動率を考慮して決定されなければならない。本機のような原動機がガソリン機関の場合はその一般的な用途から考えて、それほど高性能の速度変動率を要求されることもないのですが、自励交流発電機用としてはとくに高性能で速度変動率の少ない調速機をもった原動機を採用しなければならない。図 4.3 は機関の速度変動率とその速度変動を含めた発動発電機の外部特性曲線である。原動機ならびに発電機にはわずかに負荷の増減によるヒステリシス現象が表われているが、実用状態では回

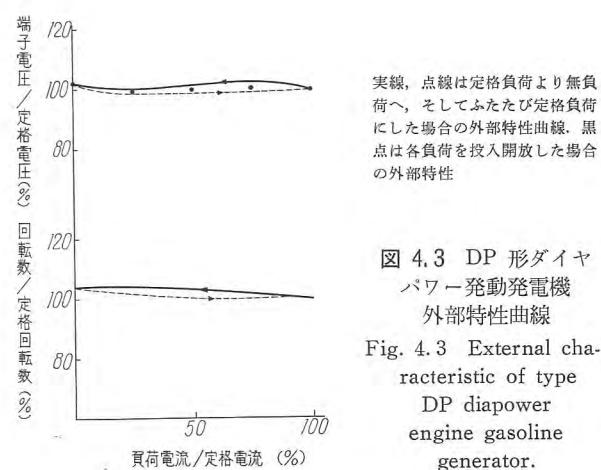
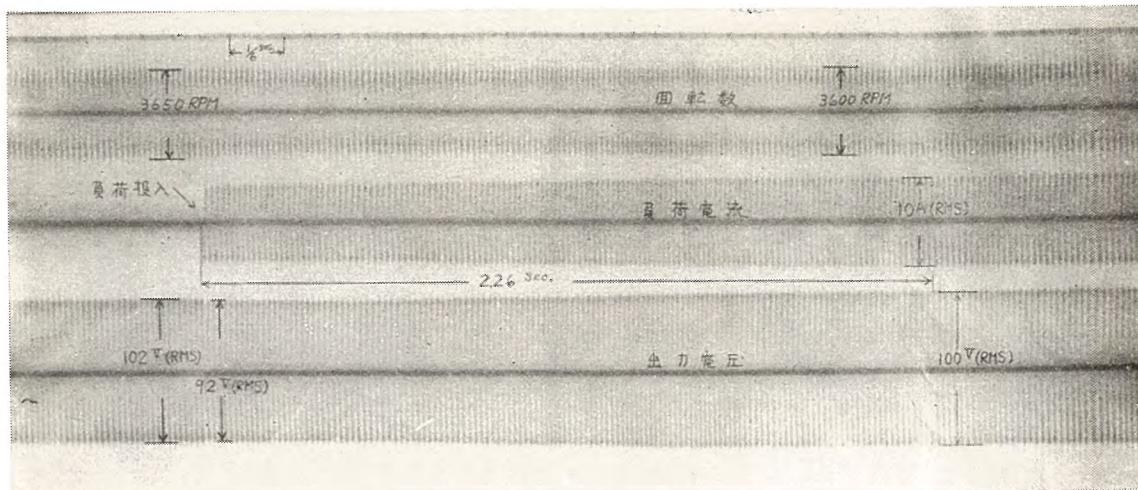
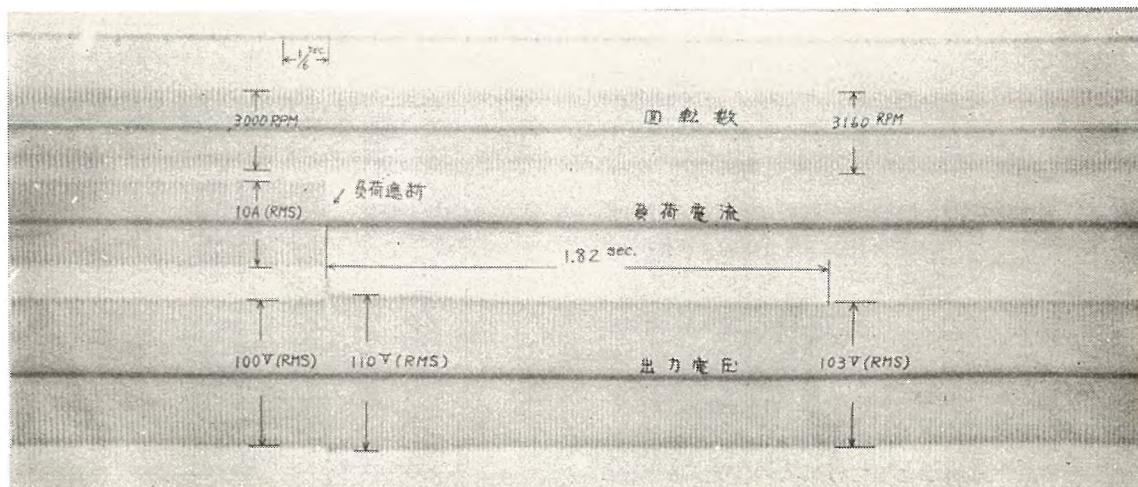


図 4.3 DP 形ダイヤ
パワー発動発電機
外部特性曲線

Fig. 4.3 External characteristic of type DP diapower engine gasoline generator.



(a) 全負荷投入



(b) 全負荷遮断

図 4.4 DP-1 形ダイヤパワー発動発電機試験
Fig. 4.4 Full load test of type DP-1 Diapower engine generator.

転数、電圧ともにその中間の値をとり、定格力率のものとで速度変動率約 $\pm 4\%$ として電圧変動率 $\pm 3\%$ 以内の値となる。

(3) 過渡特性

突発負荷の投入あるいは遮断時の端子電圧の瞬時変動は原動機の瞬時速度変動率によって影響されるところがとくに大きく、図 4.4 は瞬時の速度変動率約 10~12%，電圧変動率約 6~10%，静定時間約 2 秒の好特性をもった一例を紹介したが、さらに速度変動が少なければ電圧は瞬時に回復してただちに整定する好特性をもっている。

回路の短絡に際しては瞬間に界磁電流は数倍に上昇するが、短絡電流はわずか 3 倍程度に抑えられ、また短絡が開放されると、ただちに発電機電圧は回復して定格電圧に復帰する。

4.2 小形ディーゼル用 AVR なし自励交流発電機

2 kVA から 15 kVA 程度の小形ディーゼル発電機は山間僻地の常用電源のほか、通信機非常用、あるいはビル非常用電源として今までに多数納入された。2 kVA 程度のものは特別の場合をのぞき発電機盤は壁掛形の手動

界磁調整のものであり、15 kVA 程度の小容量発電機では電動機じか入起動の場合、AVR 付といえども瞬時電圧降下が大きくなり、問題も多々あったが、これを自励交流発電機とするにいたり難なく解決されることとなった。

(1) 構造

交流発電機は自励交流発電機といえどもとくに普通の同期発電機と変るところではなく、先に述べた製作上の諸

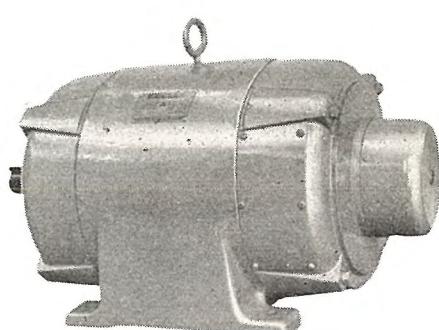


図 4.5 3 kVA 110 V 60 c/s 4P AVR なし自励交流発電機
Fig. 4.5 Self-excited AC generator without AVR.



図 4.6 図 4.5 の発電機盤

Fig. 4.6 Generator panel of Fig. 5.4.

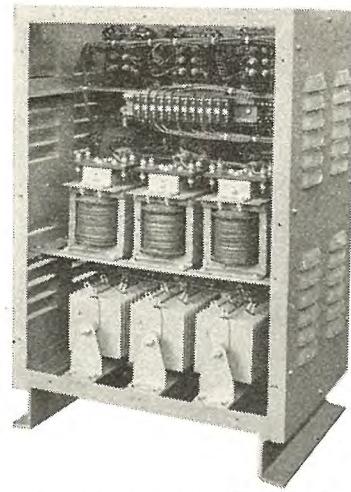


図 4.8 図 4.7 の静止励磁器

Fig. 4.8 Static exciter of Fig. 4.7.

問題を考慮して設計製作されている。図 4.5 は 2~3kVA 程度の自励交流発電機の外観であって、軸端の反対側に初期励磁用磁石発電機を直結させている。

図 4.6 は上記用ベンチ形発電機盤で必要な計器、器具を盤に取付け、内部に静止励磁器を収めている。接続は先に述べたダイヤパワーの場合とほとんど同一で電灯その他の予備電源として利用されている。

図 4.7 は銀行ビルに納められた 15 kVA 220 V 50 c/s 三相六極自励交流発電機でその静止励磁器を図 4.8 に示す。この場合発電機盤裏面の空間を利用して静止励磁器をすえ付けるため別箱に納めたが、図 4.9 のように発電機盤裏面に直接静止励磁器を取付けてそのすえ付面積の縮少を計ることもできる。接続は図 4.10 とおり整流器、リアクトル、変流器とも三相用として構成されているが、さらに後記するように外部特性改善用の移相変圧器を追加している。また発電中界磁を遮断する必要のある場合は界磁と並列に接続されている変流器、リアクトルを短絡して無励磁とする方式を採用している。(実用新案出願中)

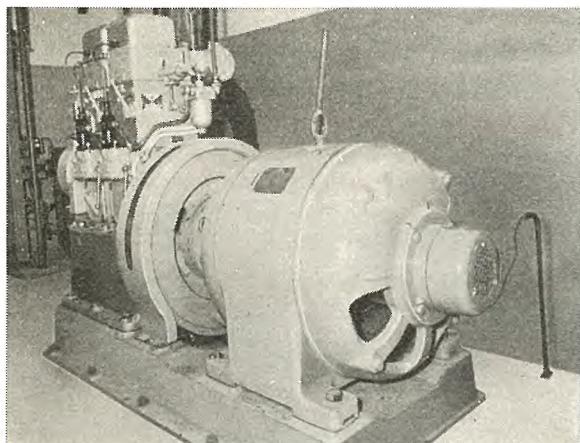


図 4.7 15 kVA, 220 V, 80% PF 3φ 50 c/s 6p
AVR なし自励交流発電機

Fig. 4.7 Self-excited AC generator without AVR.

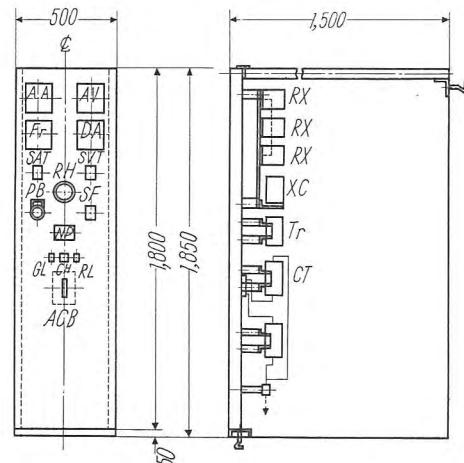
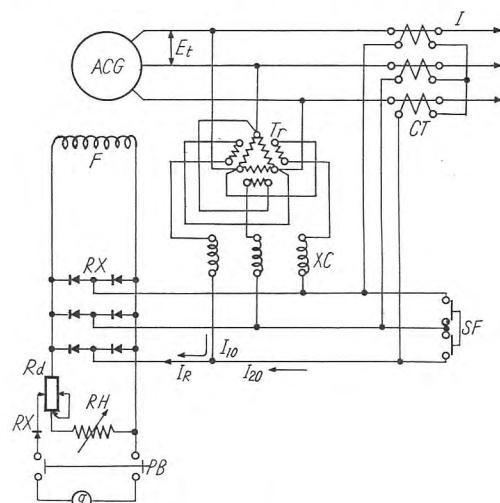


図 4.9 静止励磁器を組込んだ発電機盤外形図
Fig. 4.9 Generator panel mounted with a static exciter.



PB: 押しボタンスイッチ	SF: 界磁開閉器
RH: 界磁抵抗器	Rd: 固定抵抗
XC: 空隙リアクト	g: 磁石発電機
CT: 変流器	I ₁₀ : 無負荷励磁電流
RX: 整流器	I ₂₀ : 負荷時の付加励磁電流
I: 負荷電流	IR: 励磁電流
E _t : 端子電圧	Ty: 移相変圧器

図 4.10 AVR なし自励交流発電機接続図

Fig. 4.10 Connection diagram of self-excited AC generator without AVR.

(2) 外部特性

AVR なし自励交流発電機の場合の基本特性は 2.1 項に述べたように力率および負荷電流に無関係に端子電圧を一定に保持できるものであるが、実際には発電機が突極機であることや飽和を有することなどにより、励磁電流は図 4.11 に示されるとおり定格電圧を保つに必要な値より多少の誤差を生ずることになり、力率 80% で変流器、リアクトルを最適値に設定した場合は、力率 100% になったとき過励磁になって発電機端子電圧を上昇させ力率 0% では不足励磁となって発電機端子電圧は低下する特性となる。この傾向を改善するため図 4.10 に示

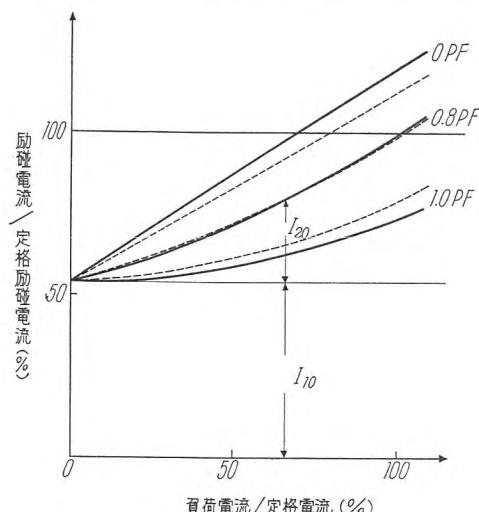


図 4.11 励磁電流特性曲線 実線は所要の励磁、
点線は実際の励磁状態

Fig. 4.11 Characteristics curve of exciting current.

されるような発電機端子とリアクトルの間に移相変圧器を入れて、発電機電圧より供給される励磁電流 I_{10} と端子電圧 E_t との位相角 θ_1 を移相させ、その結果 I_{10} と I_{20} との移相角 β を任意に調節して力率変動による補正を行っている。(実用新案出願中)

図 4.12 は先に述べた 15 kVA 220 V 50 c/s の場合の外部特性曲線で移相変圧器によって調整されているが定格力率 80% で約 $\pm 1.5\%$ 以内の特性を示し、力率 100% ではわずかに上昇特性を示している。またディーゼル機関の速度変動率を考慮した場合は上昇特性のものもかなり改善されて良好な電圧変動特性となる。

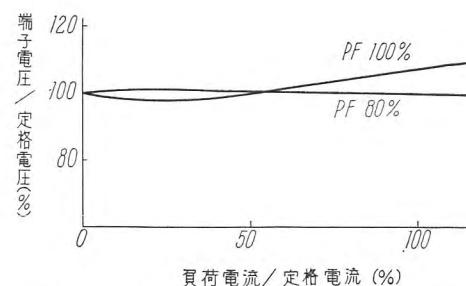


図 4.12 AVR なし自励交流発電機外部特性

Fig. 4.12 External characteristics of self-excited AC generator without AVR.

(3) 過渡特性

一般に交流発電機の瞬時電圧降下を少なくするために発電機および励磁機の諸定数を改善して機械寸法を大きくする必要がある。自励交流発電機の場合は前記したように、原動機の瞬時の速度変動がすくなければ非常に

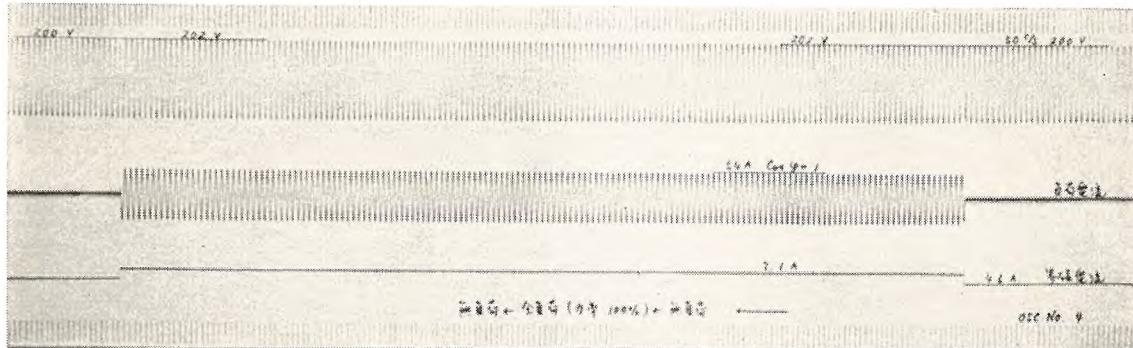


図 4.13 (a) 50 c/s 100% PF 全負荷投入遮断試験

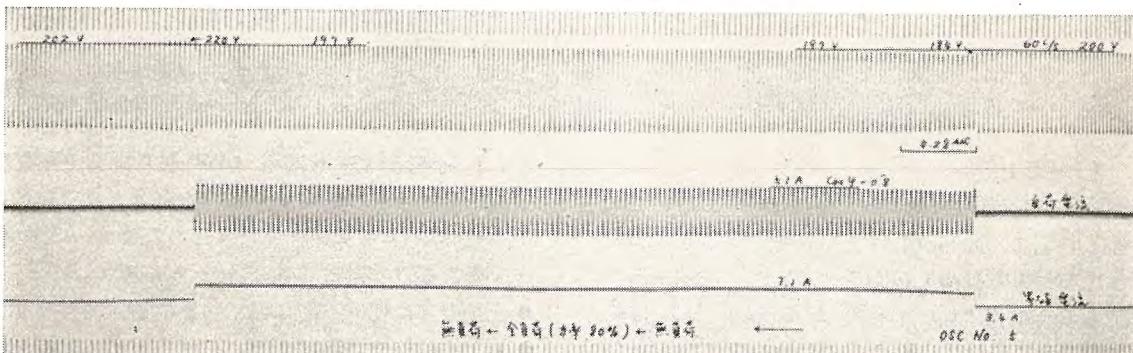


図 4.13 (b) 60 c/s 80% PF 全負荷投入遮断試験

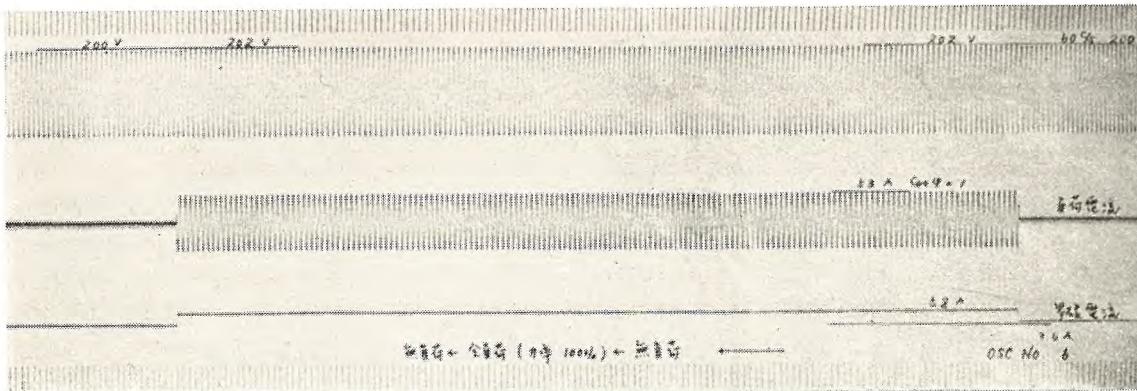


図 4.13 (c) 60 c/s 100% PF 全負荷投入遮断試験

図 4.13 15 kW, 200 V 80% PF 50/60 c/s AVR なし自励交流発電機試験

Fig. 4.13 Full load test of self-excited AC generator without AVR.

好特性を示すが、その一例として 15 kW 200 V 50/60 c/s 自励交流発電機の力率 100% および 80% における負荷の投入遮断時の電圧の変化の状態を図 4.13 に示す。力率 100% ではほとんど電圧の変動はなく投入あるいは遮断と同時に電圧は整定し、わずかに 1% の電圧変動率があるだけである。力率 80% の場合は 100% に比べやや劣るが、それでも 0.28 秒で静定し、瞬時の電圧変動もわずか 8~10% 程度である。また本機は 50 c/s, 60 c/s 共用定格のものであるがリアクトルと変流器のタップ切替えだけでいずれの場合も良好な電圧変動特性を示している。

が、電動機が無負荷の場合は 0.6 秒で起動完了し、最大電圧下降は約 40%，電動機全負荷の場合といえども約 2 秒で完了している。

(5) 電圧上昇特性

残留磁気が十分ある場合は発電機の回転数上昇とともに徐々に電圧が発生して定格電圧となる。もし界磁開閉器を開放の状態において無電圧のまま発電機を定格回転数とし、かかる後界磁開閉器を投入すれば電圧の上昇は非常にすみやかである。

図 4.15 は上記の場合を示す一例で、界磁開閉器投入後わずか 1.5 秒で定格電圧を発生している。

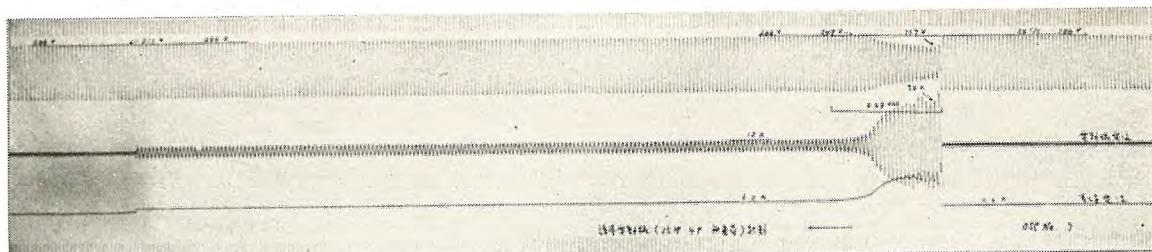


図 4.14 (a) 電動機無負荷起動

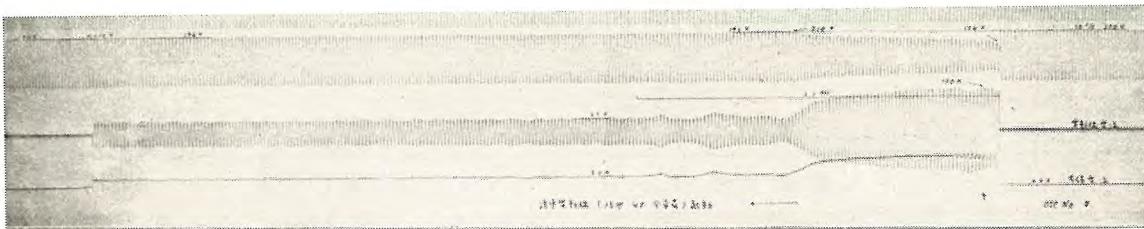


図 4.14 (b) 電動機全負荷起動

図 4.14 15 kW, 200 V, 80% PF AVR なし自励交流発電機の 15 HP 4P 誘導電動機じか入起動試験

Fig. 4.14 Test on line start of 15 HP induction motor with 15-kW self-excited AC generator without AVR.

(4) 電動機起動特性

誘導電動機の起動特性は自励交流発電機の場合とくに興味のある問題で、図 4.14 は上記自励交流発電機に 15 HP 4 P の誘導電動機を起動させた場合の特性を示したものである。本機の場合電動機の起動 kVA は約 400% にもなり、通常の回転励磁機付交流発電機の場合にはまったく起動不能となるような苛酷な条件である

4.3 小形ディーゼル用 AVR 付自励交流発電機

電圧変動率が 1% 以下の特性を要求される特別の場合や、商用電源と並列運転を行うような場合、AVR 付自励交流発電機は非常に有効で、回転励磁機に AVR を付属させた場合に比べ下記に示した構造、特性などよりわかるように格段の優位が認められる。

(1) 構 造

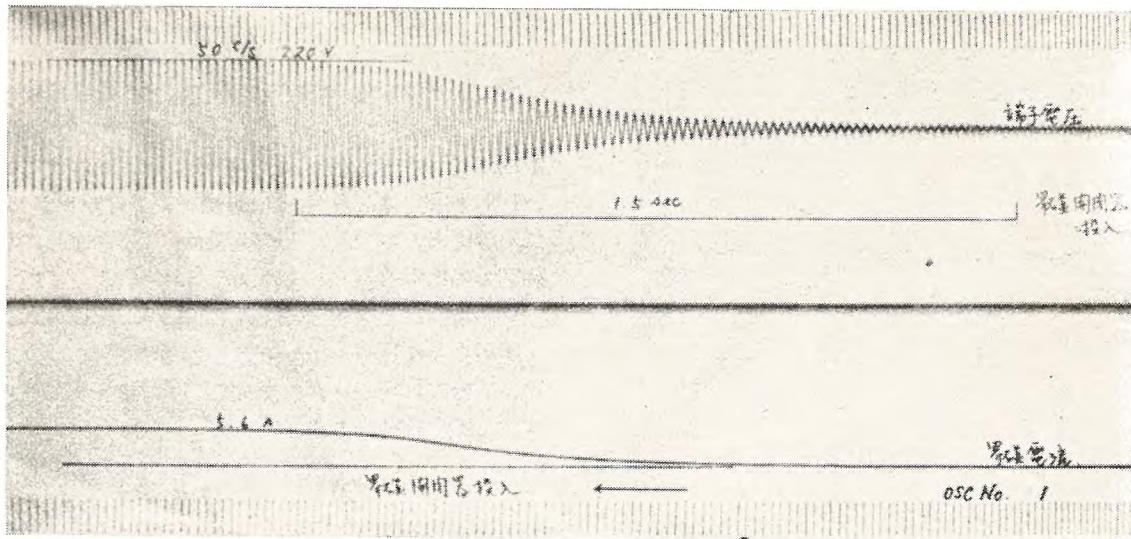


図 4.15 AVR なし自励交流発電機電圧上昇試験
Fig. 4.15 Test on voltage build up of self-excited AC generator without AVR.



図 4.16 テレビカー用電源車外観
Fig. 4.16 Electric source for T.V. car.

実施例としてあげたものは定格 15 kVA 100 V 95% PF 50 c/s 1φ の自励交流発電機で、図 4.16 のテレビ電源車に設備されたものである。図 4.17 に示されるように本体は回転界磁形の同期発電機で新三菱重工業製

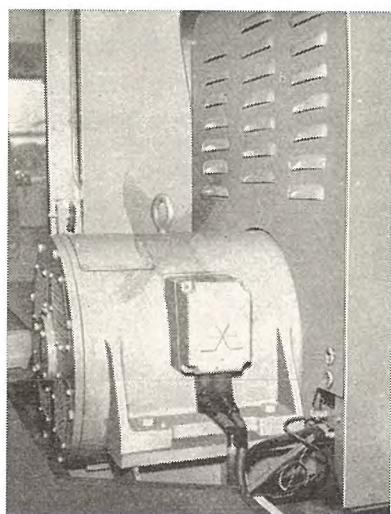


図 4.17 15 kVA, 100 V, 95% PF 1φ 60 c/s 6P
AVR つき自励交流発電機
Fig. 4.17 Self-excited AC generator with AVR.

小容量自励交流発電機・杉山・町野

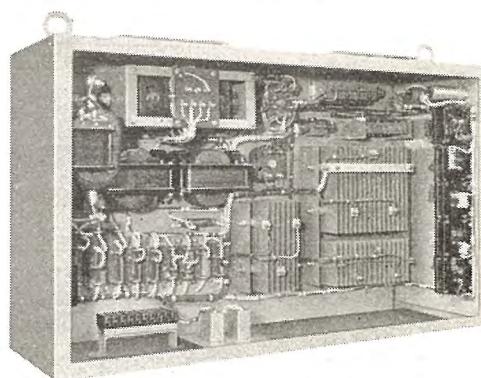


図 4.18 図 4.17 の静止励磁器
Fig. 4.18 Static exciter of Fig. 4.17.

KE-5 形ディーゼルエンジンと 3 点支持可撓接手方式で直結されているが、回転励磁機がないため軸方向の長さが短く、容易に自動車車体の横方向に搭載し、通行できる程度のスペースをもつことができる。静止励磁器も図 4.18 のとおり横形の構造として発電機同様車体内部のスペースを有効に利用している。内部構成は 2.2 項に紹介したように図 2.4 の回路方式で出力整流器、磁気増巾器、変流器のほか各種整流器、抵抗、コンデンサ類よりなっている。

(2) 特性

AVR 付自励交流発電機の電圧変動率はもちろん $\pm 1\%$ 以下の良好な特性を示しているが、その良否を決定する重要な要素は電圧検出回路の特性である。

しかして発電機端子電圧を入力電源とする定電流回路が入力電圧および周波数にまったく無関係に一定電流を得ることが発電機外部特性を最良のものとするゆえんである。

図 4.19 は上記 15 kVA の定電流回路であり、その特性を図 4.20 に示す。

発電機が定格電圧のとき飽和変圧器一次電圧 V_1 を 120 V 以上に選べば飽和変圧器二次電圧はほとんど一定

で、したがって直流出力電流 I_d も一定である。さらに周波数が 56 c/s から 63 c/s まで変動しても直流出力電流 I_d は 1 mA 程度しか変化しない。

以上の電圧検出特性を有する自励交流発電機の特性は

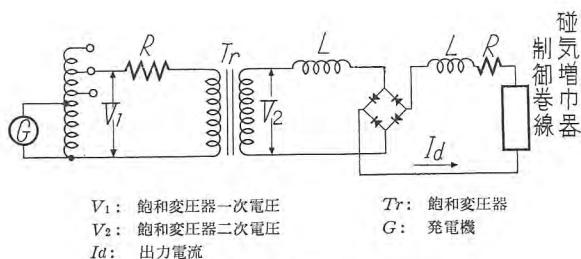


図 4.19 定電流回路接続図

Fig. 4.19 Connection diagram of constant current circuit.

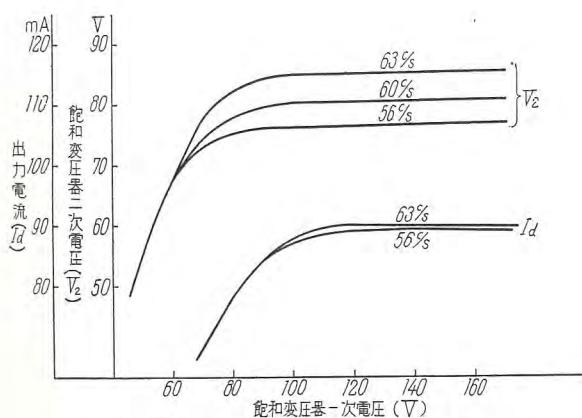


図 4.20 図 4.19 の回路の特性曲線

Fig. 4.20 Characteristic curve of circuits in Fig. 4.19.

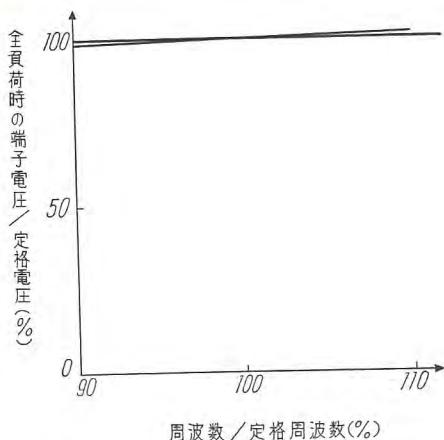


図 4.21 AVR つき自励交流発電機周波数特性

Fig. 4.21 Frequency characteristic of self-excited AC generator with AVR.

きわめて良好で、力率 80% から 100% までの範囲において約 ±0.5% 以下の電圧変動率である。

また上記の特性で周波数変動に対する端子電圧の影響は図 4.21 に示されるように、周波数が ±7% 変動しても電圧変動は発電機が無負荷から全負荷の間において ±1% 程度であるため、原動機の速度変動率が 3~4% である本機の場合、とくに速度変動率を考慮して静止励磁器の各部を調整する必要はない。

過渡特性はその回路の性質上 AVR なし自励交流発電機の場合に比べわずかに劣るが、全負荷投入時は約 0.6 秒、遮断時は約 0.9 秒で静定し、瞬時電圧変動はいずれも約 12% 程度である。

5. む す び

以上原理的には 2 種類に大別される自励交流発電機について、最近製作納入された製品を主体にしてその動作、構造、特性の概要を報告し、幾多の特長を列挙したが、使用上の観点からこれをまとめると

- (1) 瞬時電圧降下が少なく電圧の回復が早いため、小形発電機でも比較的容量の大きい電動機が起動できる。
- (2) 電圧変動率がきわめて少なく電圧の調整が不要になったため、普通は AVR を付けない小形発電機に適している。
- (3) 励磁は静止励磁でブラシや回転部分がないため保守点検が容易となる。
- (4) スパークの原因になった整流子がないので、通信機に対する電波障害の心配がない。
- (5) 発電機のすえ付面積がすくなくてすむので、地下室、あるいは限られたスペースにおいても有効にすえ付できる。
- (6) 励磁器が分離されて別置きとなり発電機重量が軽減されたため、移動用電源としての利用価値が増大した。

などがあげられる、当社では陸用だけでなく船用においてさらに大容量の自励交流発電機を納入または製作中であるが、今後ともますます研究を重ね、品質の向上に努力して多方面に利用されることを期待するものである。

参 考 文 献

- (1) H.F. Storm: A Static Magnetic Exciter for Synchronous Alternator E.E. 12 p 1084~1088 (1951)
- (2) A. Lang: Selbstregelnde Erregermaschinenlose Synchron-Generatoren ETZ-A Bol. 76. H. 10. 11. 5 353~357. (1955)

ブリッジ結線方式のイグナイトロン変換装置

伊丹製作所

加藤又彦*・己斐健三郎**・坂田邦寿**
塚本昭三**・鯨岡春次***

Ignitron Rectifying Equipment of Bridge Connection System

Itami Works

Matahiko KATO・Kenzaburo KOHI・Kunikazu SAKATA
Shozo TSUKAMOTO・Haruji KUJIRAOKA

The recent development of manufacturing technique of sealed-off mercury rectifiers and the progress of machinery has made possible the practicability of rectifier tanks for rolling stock and the a-c electrification of railways. The most up-to-date one is the introduction of bridge-connected rectifiers built by Mitsubishi in the ratings of 3,000 kW and 2,000 kW at 1,500 V and 500 kW at 600 V. The bridge connection is not new but was mostly applied to rectifier circuits provided with metal rectifiers in the past, because the multi-anode mercury rectifier is not suitable for this connection, the pumped-up rectifier tank offers much difficulty, and the air cooled unit is disadvantageous in the point of current ratings. However, all these obstacles have been ingeniously removed by the completion of the liquid-cooled, sealed-off type ignitron rectifier.

1. まえがき

近時封じ切り形水銀整流器の製作技術の発達改良と諸機器の進歩とは車両用整流タンクの実用化を可能にし交流電化を具体化するにいたった。ことに電気鉄道用直流地上変電所は古くから各種各様の形式のものが採用されてきたがここにまた新しい意図と構想のもとにブリッジ結線方式の直流変電所が建設され、運転するにいたった。今回製作、納入り運転実績をえたブリッジ結線方式の液冷式、密封形イグナイトロン整流器の定格出力は 3,000 kW, 1,500 V; 2,000 kW, 1,500 V; 500 kW, 600 V の 3 種であり、納入台数は 4 セットである。これらのうち 3,000 kW, 1,500 V, 12 タンク、12 相方式のブリッジ結線方式のイグナイトロン整流器は直流出力において本邦において最高にして最初であり、外国でもその例をきかぬものである。

ブリッジ結線方式、換言すれば三相全波整流回路方式は全金属整流器を用いた整流回路にしばしば用いられておりこと新しいものではないが水銀整流器を使用した場合は直流送電、周波数変換器など高直流電圧のものに限定されており、中電圧のものにはほとんど採用されていなかった。これが理由はそれぞれの見地からみればまたまちまちの理由が提出されるかもしれないが大体において次のとおりである。すなわち

- (1) 多陽極水銀整流器では実施できること。
- (2) ポンプ付整流タンクでは絶縁をどこか上に困難性が大きいこと。
- (3) 風冷式整流タンクでは電流定格上不利であること

と。

以上の 3 条件が液冷式、密封形イグナイトロン整流タンクによってすべて解決されたためブリッジ結線方式が採用されるにいたったものである。

本文は上記 3 種類のイグナイトロン整流器のブリッジ結線方式の回路を解析し、その特性、イグナイトロン整流器およびこれの諸試験結果を記述し、考察した結果を報告せんとするものである。

2. ブリッジ結線回路の特長

三相ブリッジ結線回路は周知のとおり最小構成タンク数 6 本をもって図 2.1 に示すように接続したものである。これらの整流タンク中 1.3 および 5 は整流タンク陰極が共通に結ばれて 1 転流群をなし、直流出力の正極端子を構成する。今一つの転流群は 2.4 および 6 の 3 整

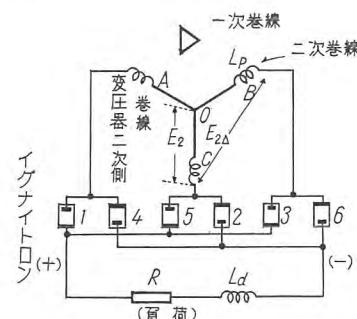


図 2.1 イグナイトロン変圧器の二次結線が 1 の場合のイグナイトロン整流タンクと R および L_d の負荷との結線状況を示したもの

Fig. 2.1 Connected state of ignitron transformer.

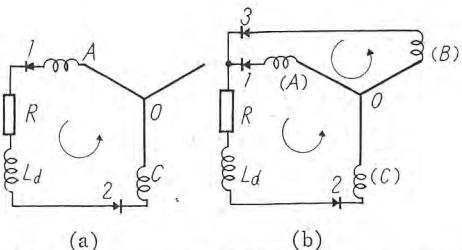


図 2.2 (a) A 相より C 相への通電を示すもので (1) と (2) の整流タングが同時にかつ直列に通電を行なうことを示す
(b) A 相電流が B 相へ転流しはじめて両者の重畠した期間で C 相は動作状況にあるときを示す

Fig. 2.2 State showing current flowing from A phase to C phase.

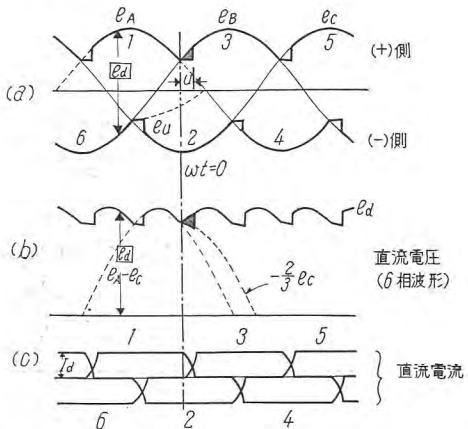


図 2.3 図 (a) は相電圧 e_A, e_B, e_C とそれを受け持つ 1, 3, 5 の (+) 側整流タングと (-) 側 6, 2, 4 整流タングの受け持区间を示す

図 (b) は直流電圧 e_d を示す。それは (+) (-) の相電圧の長さで表わされる

図 (c) は 1, 3, 5, 6, 2, 4 の各整流タングに流れる電流の期間と大きさを示す

Fig. 2.3 AC voltage, DC voltage and DC current of rectifier.

流タングで陽極端子が共通に結ばれ負極端子を構成している。各整流タングの転流は上記の 2 転流群内の 3 タング中で行われる。これが転流状況は図 2.2 (a), (b) にそれぞれ示す。各整流タングの通流期間は図 2.3 に示すように $(2\pi/3 + u)$ の電気角の期間である。また通電する電流は 1, 3, 5 の転流群の 1 整流タングから 2, 4, 6 の他の転流群内の 1 整流タングへ負荷を経て直列に通流する。よって直流波形は図 2.3 のうち図のように 6 相の波形となり、在来の相間リクトル付二重星形結線となんら異ならない。

このことはいいかえると万一逆弧した場合に他の並列電源より逆流が流入する場合も 2 個の整流タングが同時に逆弧しなければならないことを示している。一般に逆弧時の故障電流は交流側の相間短絡電流と直流側よりの逆流に分けられ、前者は整流器自体の格子または点弧子による消弧遮断によって 1 c/s 以内に遮断することができる。後者の遮断は逆性の直流高速度遮断器または陽極遮断器などによっているが、負荷容量が大となり並列変換器の台数が多くなると遮断器の責務も大となり逆弧保護が非常に困難となる。この点ブリッジ回路の場合は交

流側の短絡電流だけを考えればよく単に変換器用変圧器のインピーダンスを適當の大きさにすることによって逆弧電流を任意の大きさに押えることができる。これは単に逆性高速度遮断器を不要とするだけでなく、整流タンクの設計構造と製作を容易にするものである。このことは大きな逆弧電流によって整流タンクの器壁が溶損し、あるいはポンプなし整流器では真空低下のために使用不能となることがあることを想起するうなづける。また相間リクトル付二重星形結線方式のときの陽極電流を比較するに図 2.3 に示されているように同一の直流出力を出すのにブリッジ回路に用いる整流タンクは相間リクトル付二重星形の場合に比して電流責務は 2 倍となつても電圧責務は 1/2 となる。

つぎに変圧器直流巻線電流の実効値は同一の直流電流に対してブリッジ回路のときは $\sqrt{2}$ 倍となる。このことから同一の直流出力をうるための変圧器直流巻線容量は

$$\text{三相ブリッジ回路} \cdots 3 \times \frac{E_2}{2} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_d$$

$$\text{相間リクトル付二重星形回路} \cdots 2 \times 3 \times E_2 \times \frac{I_d}{2\sqrt{3}}$$

となり、二重星形の $1/\sqrt{2}$ すなわち約 30% 小さくなる。一次側巻線も考えた等価 kVA は約 15% 小さくなる。またブリッジ回路では相間リクトルが不要であり、それだけ変圧器重量、油量も少なくてよく経済的である。さらに付言すれば巻線の設計構造ががんじょうにでき機械的強度と信頼性をます結果となる。

なおすえ付工事として、変圧器と整流器間の配線も 3 本ですむため工事が簡単となる利点があり、変圧器を屋外に設置した場合とくに便利で二重星形のように負荷直流母線も整流タンク器側からただちにとることができる。三相ブリッジ回路の変圧器に中性点が不要であることは、電源より変圧器なしに直接整流タンクに給電し得ることを意味しており、たとえば三相 400 V あるいは 200 V 母線より変圧器なしで整流し直流電動機に給電するきわめて経済的な方法も行われている。もちろんこの場合小容量のリクトルを電源側に挿入することが好ましい。静止形周波数変圧器の場合も順、逆両変換器を結ぶ直流電圧は任意に選びうるゆえ、リクトルあるいは单巻変圧器によって、整流器用変圧器に代えてきわめて経済的なものをうることが考えられる。

ブリッジ結線方式の理論式を記述すれば次のとおりである。

無負荷直流電圧

$$E_{d0} = \frac{1}{2\pi/6} \int_{-\pi/6+\alpha}^{\pi/6+\alpha} \sqrt{2} E_{2\Delta} \cos \theta d\theta \\ = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} E_{2\Delta} \cos \alpha = 1.35 E_{2\Delta} \cos \alpha$$

負荷時直流電圧

$$E_d = 1.35 E_{2\Delta} \cos \alpha - (2e_x + e_r + 2e_a) \\ = 1.35 \sqrt{3} E_2 \cos \alpha - (2e_x + e_r + 2e_a) \\ = 2.34 E_2 \cos \alpha - (2e_x + e_r + 2e_a)$$

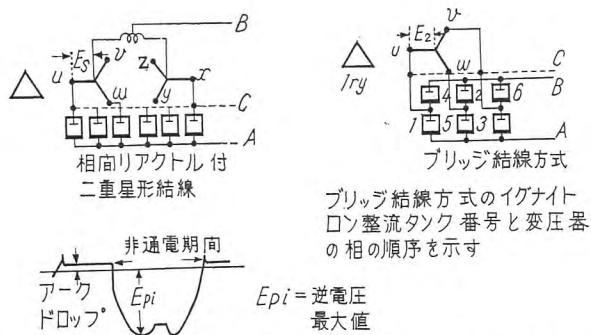


図 2.4 在來の相間リアクトル付二重星形結線方式との比較および動作電圧値

Fig. 2.4 Comparison with conventional double star connection system with interphase reactor and operating voltage value.

表 2.1

回路方式	せん頭逆電圧値	動作波高電圧値				
		陽極一 陽極間	陽極一 陰極間	母線 A-B	陽極一 母線 A	陽極一 母線 B
△/△	$\sqrt{6} E_s = \frac{2\pi}{3} E_{d0}$	$\sqrt{6} E_s$	$\sqrt{6} E_s$	$\sqrt{2} E_s$	$\sqrt{6} E_s$	$\sqrt{2} E_s$
△/入	$\sqrt{6} E_s = \frac{\pi}{3} E_{d0}$	$\sqrt{6} E_s$	$\sqrt{6} E_s$	$\sqrt{6} E_s$	$\sqrt{6} E_s$	$\sqrt{6} E_s$

ただし e_x =リアクタンス降下 e_r =抵抗降下
 e_a =アーカー電圧降下 $\angle\alpha$ =制御角
 u =重畠角 I_d =負荷直流電流
 $E_{2\Delta}$ =変圧器二次線間電圧
 E_2 = " " 相電圧
 $E_d = E_{d0} \cos \frac{u}{2} \times \cos(\alpha + \frac{u}{2})$
 陽極電流 $I_a = \frac{I_d}{\sqrt{3}} \sqrt{-3\phi(u\alpha)}$
 変圧器直流巻線相電流
 $= \sqrt{2} I_a = 0.816 I_d \cdot \sqrt{1-3\phi(u\alpha)}$
 " " 線電流
 $= \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{2} I_a = 0.472 I_d \cdot \sqrt{1-3\phi(u\alpha)}$
 変圧器の容量 $P_1 = P_2$ (二次側)
 $= 3 \cdot \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \cdot \frac{E_d}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = 1.045 P_d$

在來の相間リアクトル付二重星形結線方式とブリッジ結線方式との比較および動作電圧値を図示したものが図 2.4 および表 2.1 である。

3. 液冷式、密封形イグナイトロン変換装置

3.1 整流器の概要

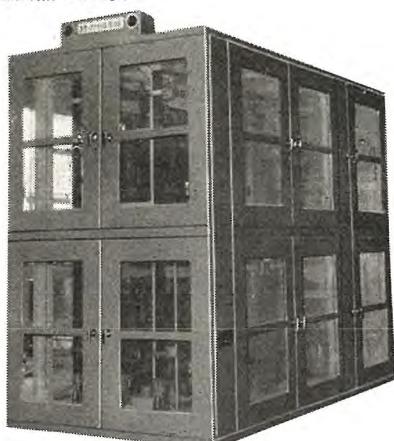


図 3.1 国鉄戸塚変電所納 3,000 kW, 1,500 V ブリッジ結線イグナイトロン整流器

Fig. 3.1 Bridge connection ignitron rectifier, 3,000 kW, 1,500 V.

ブリッジ結線方式のイグナイトロン変換装置・加藤・己斐・坂田・塚本・鯨岡

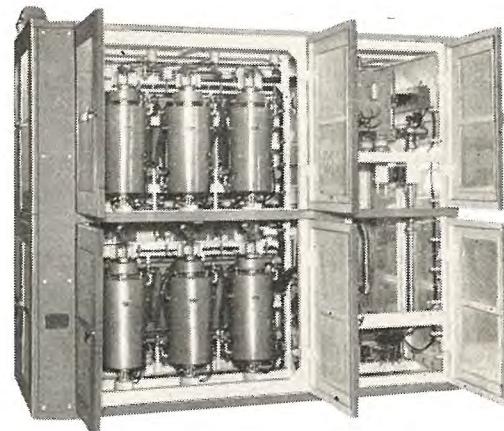


図 3.2 図 3.1 の整流器の扉を開いたところ

Fig. 3.2 Rectifier with its door open.

現在運転中のブリッジ結線方式の整流器は前述のように西日本鉄道新八幡変電所 500 kW, 600 V 小田急電鉄藤沢変電所 2,000 kW, 1,500 V, および国鉄戸塚変電所 3,000 kW, 1,500 V の 3 種であるがいずれも当社の誇る液冷式密封形イグナイトロン整流器でキューピクル形であり、これには 6 または 12 タンクの整流タンクが温度調整装置とともに収納されている。

図 3.1 は戸塚変電所 3,000 kW 整流器の外観、図 3.2 はその扉を開いたところ

を示す。図から明らかなように整流タンク 12 タンクはキューピクルの一間に納められ、他の半分には冷却装置が納められている。ただしこのときは再冷器は風冷式が採用されたためこれだけキューピクル外に設置されている。もちろん水冷式再冷器が使用されるときは再冷器も当然キューピクルに納められる。図 3.3 に示される西日本鉄道の整流器がこの例である。

いずれのときは整流タンクは 3 タンクずつ二段に設置され、12 タンク 1 セットのときはこれが 2 列に配列される。この点ブリッジ結線を可能にさせる単極形密封式イグナイトロンの特長にさらに水冷式の利点が相加わってできる構成で、風冷式整流器のときはまず不可能な配列である。この配置は同一キューピクルに温度調整装置を納めても全体のすえ付の大きさを風冷式整流器のときとほぼ同程度のものとすることを可能とする利点をもつ。また 12 タンクのときは整流タンクは 6 タンクずつ 2 列に配列されるがこのとき装着の関係から各整流タンクは両側におかれ必然的に生ずる中央の空間は配線および冷

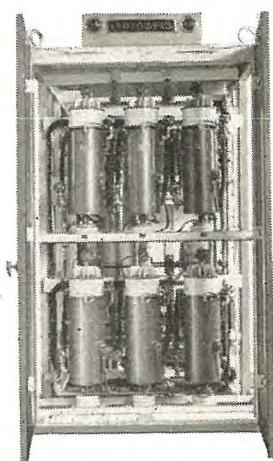


図 3.3 西鉄新八幡変電所納 500 kW, 600 V ブリッジ結線イグナイトロン整流器

Fig. 3.3 Bridge connection ignitron rectifier, 500 kW, 600 V.

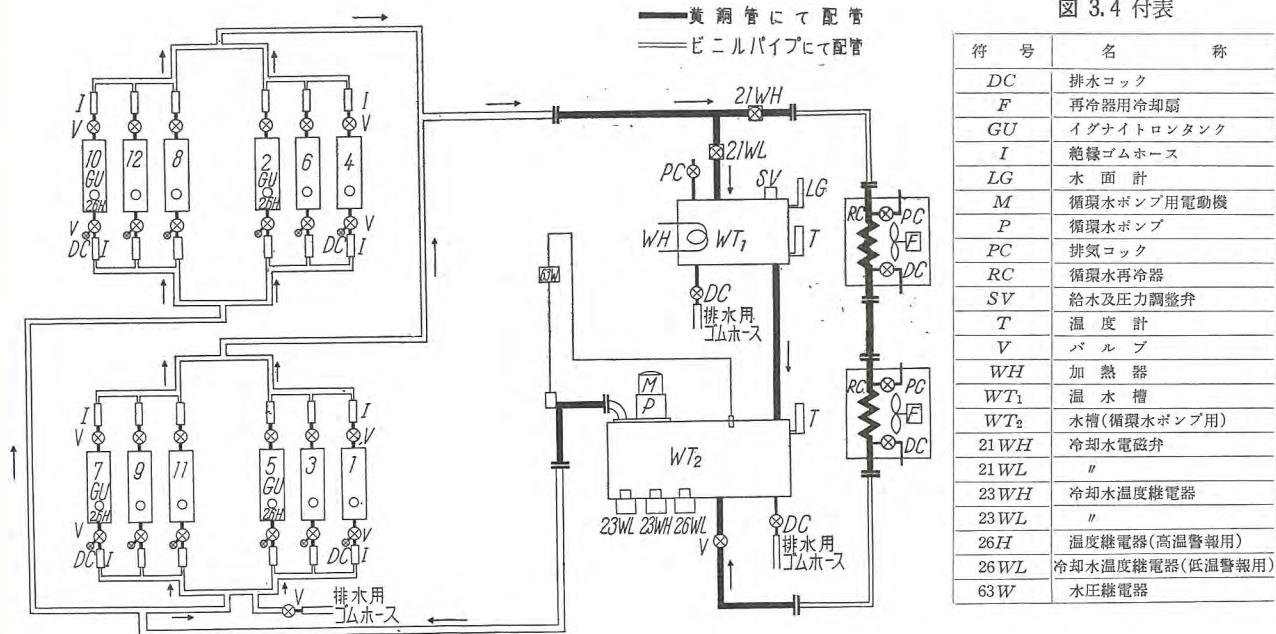


図 3.4 液冷式整流器冷却系統図

Fig. 3.4 Cooling system of liquid cooling rectifier.

却系の配管に使用され、配線はきわめて容易となり、全配線長も短くなる利点をもつ。これは冷却系の配管についても同様である。さらにキュービカル自体を大地電位とするため各整流タンクは絶縁物を介して取付けられているがこれは同時にブリッジ結線のときの直流（-）に接続される各整流タンクは互に絶縁されなければならないという条件も満足している。またブリッジ結線では 1 タンクの整流タンクの陰極と別の 1 タンクの陽極が同電位であるがこの接続は上下二段の配列のときにもっとも容易となる。

つぎに温度調整装置は循環水ポンプ、温水槽、再冷器より構成され、完全閉路方式が採用されており、また電食の防止を完全にするため水系は黄銅、不銹鋼およびビニルが使用され、また再冷器を除いて大地に対して絶縁

されている。図 3.4 は代表的な冷却系を示す。冷却用配管としてのビニルパイプの使用は冷却媒体に対する各整流タンク間の絶縁を十分のものとするのに役だっている。

液冷式のときの温度調整は温度繼電器と電磁弁により自動化されており、温水槽加熱器と再冷器により整流タンクは適温に保たれる。このとき温度繼電器は温水槽加熱器、再冷器冷却扇または冷却水ポンプとともに電磁弁を制御し、温水槽加熱器が動作しているときは再冷器は冷却系から分離され、逆に再冷器が動作しているときは温水槽が冷却系から分離される。その中間の温度に対しては負荷の性質によりあるいは温水槽を経由して冷却を抑制し、あるいは再冷器を通じて自然冷却が利用される。

3.2 液冷式密封形イグナイトロン整流タンクの概要

現在ブリッジ結線方式整流器に使用されている整流タンクは GU-20, GU-31 の 2 種類である。このうち前者は昭和 30 年に開発された電鉄用、化学用にすでに多数納入されている。これについては本誌 31 卷第 2 号に発表されている。

後者 GU-31 は今回新しく開発されたもので前記 GU-20 の特性に基いて設計製作されたものでその外観は図 3.5 に、また内部構造は図 3.6 に示されている。その特長を列記すると GU-20 のときと同じく

- (1) 整流タンク真空外被はステンレスチール製の主円筒をもち、これにより製作工程の最終段階の熱化成を可能にするとともに水冷のときの水素の透過による真空低下をなくしている。



図 3.5 GU-31 形密封形液冷式イグナイトロン整流タンク

Fig. 3.5 Type GU-31 sealed liquid cooling ignitron rectifier.

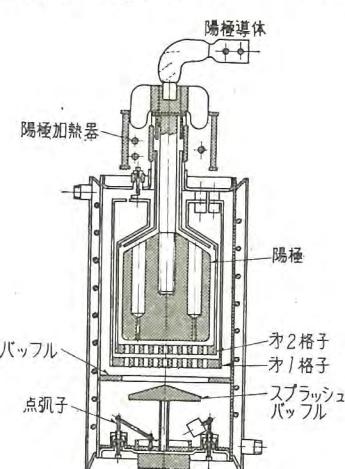


図 3.6 GU-31 形密封形液冷式イグナイトロン

Fig. 3.6 Type GU-31 sealed liquid cooling ignitron.

図 3.4 付表

(2) 絶縁密封部はガラス・コバーロイ・シールを使用しているがその気密性、機械的強度は GU-20 その他すでに実証済みのものである。

(3) 陽極板、陰極板は格子つり金具とともにプレス製品であって多量生産に適している。

(4) 点弧子は陰極板より挿入し、特性の改善から調整の必要がなく固定式となっている。GU-20 と同じく点弧子は複数個装着されていてその半永久的な寿命とあいまって整流タンクの寿命を制限することはない。

以上の項目があげられるがさらに風冷式イグナイトロンのときの設計方針を基礎にして

(5) 格子はカゴ形格子の概念を採用、金属円筒により保持して陽極を完全に包囲し、かつ二重格子構造とした。

(6) GU-20 のときと同じくスプラッシュバッフルを設けているがこれにさらにバッフルを追加して陽極部、陰極部の機能的分離をおし進めた。

の二つの特長がつけ加えられている。とくに後の 2 特長により液冷式のときには冷却条件が風冷式のときより、はるかにすぐれていることと相まって、整流タンク使用温度の拡大が可能になったほか、二重星形結線のときの電圧耐量、ブリッジ結線のときの電流耐量の相反する条件を同時に満足する特性を示すことができた。このことは水銀整流器の弁作用を支配する水銀蒸気流および蒸気圧分布を幾何学的設計とともに熱的設計により制御したこと、また二つの格子に陽極空間の電荷分布、移動の制御に対してそれぞれ特有の作用を与えたことにより十分に発揮されている。

3.3 ブリッジ結線変圧器

2 章で述べたように直流電圧は次式で示される。

$$E_d = 1.35 E_{2\Delta} \cos \alpha - (2e_x + e_r + 2e_a)$$

ただし $2e_x = I_d X / 6$

$$e_r = W/I_d$$

ここで X : 転流リアクタンス (Ω)

W : 全銅損 (W)

同様に変圧器直流側線路電流 I_2 は次のようになる。

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d \sqrt{1 - 3\phi(\mu \cdot \alpha)}$$

上記 2 式に示した $E_{2\Delta}$, I_2 を用いて変圧器の実際の容量を示すと次のようになる。

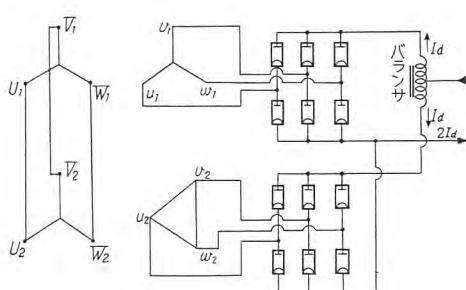


Fig. 3.7 Main circuit of 12 phase bridge connection.

ブリッジ結線方式のイグナイトロン変換装置・加藤・己斐・坂田・塚本・鯨岡

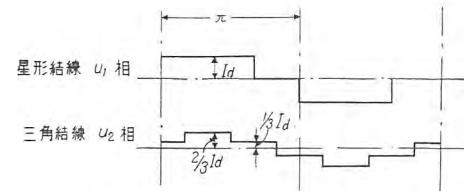


図 3.8 変圧器直流巻線電流 (6 相)

Fig. 3.8 Current of 2 nd. winding of Tr.

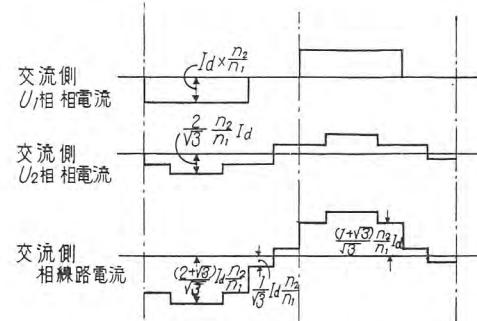


図 3.9 12 相 各 電 流 波 形

Fig. 3.9 12 phase current wave form.

$$P_1 = P_2 = \sqrt{3} \times E_{2\Delta} \times 1_2 \times 10^{-3} \text{ (kVA)}$$

ブリッジ結線の場合には交、直流巻線とも交番電流が流れるから、交、直流巻線容量は上式のように相等しくなり、巻線の利用率も種々の結線のうちでもっとも良い。

つぎに図 3.7 のように直流巻線の電圧位相を互に 30 度ずらして直流電圧波形を 12 相としたときの交流巻線容量がいかになるかを述べる。

直流巻線が星形、三角の場合の巻線電流波形を図 3.8 に示す。したがって交流巻線には直流巻線とまったく同一波形の電流が流れるはずであり、ただその位相が 180 度異なるだけである。さらに交、直流巻線の電圧比を $(E_1/E_2 = n_1/n_2)$ とすれば、直流巻線星形の時の交流巻線相電流の大きさは $(I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_d)$ となり、三角結線の場合は図 3.8 から想像できるようにそれぞれ $(\frac{1}{3} I_d \times \sqrt{3} \frac{n_2}{n_1})$, $(\frac{2}{3} I_d \times \sqrt{3} \frac{n_2}{n_1})$ という 2 個のピークを有する波形となる。以上の結果を図 3.9 に示す。図 3.9 の U 相線路電

表 3.1

納入先	形式	c/s	容量 (kVA)	電圧 (kV)		絶縁		台数
				交流側	直流側	交流側	直流側	
国鉄(戸塚)	CR	50	3,310	66	1.21	入	入△	1
小田急(藤沢)	"	50	2,270	22	1.2	△	入	1
西鉄(新八幡)	"	60	595	6.6/3.3	0.498	△	入	2
国鉄(大井町)	SR	50	1,160	22	1.23	入	△	1

流波形よりつきのようにして交流側線路電流の実効値を求めることができる。ただし簡単のため重なり角の影響を考えない。

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{\pi} \left\{ \left(-\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \frac{n_2}{n_1} I_d \right)^2 \times \frac{\pi}{6} + \left(-\frac{2+\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \frac{n_2}{n_1} I_d \right)^2 \times \frac{2\pi}{6} + \left(-\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \frac{n_2}{n_1} I_d \right)^2 \times \frac{\pi}{6} + \left(-\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{n_2}{n_1} I_d \right)^2 \times \frac{\pi}{6} \right\}}$$

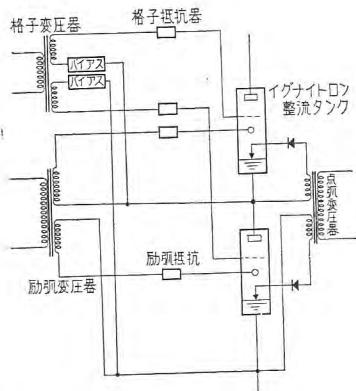


図 3.10 ブリッジ結線方式点弧、格子回路

Fig. 3.10 Bridge connection system ignitor and grid circuit.

$$= \frac{(1+\sqrt{3})}{\sqrt{3}} \frac{n_2 I_a}{n_1}$$

いま交流側線間電圧を E_1 とすれば 12 相グレーツ結線のときの変圧器交流巻線容量は次のようにある。

$$\therefore P_1 = \sqrt{3} \times E_1 \times \left(\frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_2 I_a}{n_1} \right) \times 10^{-3} \quad (\text{kVA})$$

2 章で示したように、同一直流出力の場合、ブリッジ結線変圧器平均容量は二重星形結線のそれの $0.78 \left(= \frac{1.05}{1.35} \right)$ 倍となり、さらに相間リアクトルを必要としないこととを考え合わせれば変圧器容量は約 20 % 程度減少する。

また直流巻線は二重星形の場合のように u, x 相の転流リアクタンスを相等しくするために特別の考慮を払うというようなことなく、一般電力用変圧器とまったく同じである。したがって強度的にがんじようすることも容易である。表 3.1 に電鉄向として製作せるブリッジ結線変圧器の実績を示す。このうちで 3,310 kVA 変圧器は図 3.7 のような接続で 12 相結線したものであるが、この場合は直流巻線間循環電流制御のためにバランスを別置してある。

3.4 制御回路

ブリッジ結線方式整流器用の制御回路は、在來の二重星形結線方式に対するものと根本的に相違するところは



図 3.11 ブリッジ結線方式 3,000 kW 整流器用制御盤

Fig. 3.11 Control panel for bridge connection system 3,000 kW rectifier.

ないが、ブリッジ結線方式のときは直流マイナス側の整流タンクの陰極は変圧器直流巻線に接続されるためその電位を異にし、したがって点弧回路は結合変圧器を介して互に絶縁され、また格子回路のバイアスは各個に設置されることが必要となる。しかし直流プラス側の各整流タンクに対しては、従来の二重星形結線のときと同じである。今回採用した点弧、格子回路の一相分が図 3.10 に示されている。もともと各整流タンクは直流電位にあるため電源とは絶縁変圧器を介して接続する必要があり、この点直流マイナス側整流タンクの格子回路、点弧回路相互間の絶縁はこの絶縁変圧器を流用することができ、したがってバイアスの分離を除いては構成上従来の二重星形結線に対するものと大差はないこととなる。国鉄戸塚変電所納 3,000 kW 整流器用制御盤の外観は図 3.11 に見るようである。

つぎに考慮すべきことはブリッジ結線方式では負荷電流は直流プラス側の整流タンクとマイナス側の整流タンクを直列に流れる点で、このため従来二重星形結線方式に対して使用されていたせん頭波形変圧器を格子変圧器に使用すると起動ができなくなるため、ブリッジ結線方式に対しては格子電圧を 60 度以上正に保つような変圧器を格子回路に使用する必要がある。

しかしこのことは直流プラス側またはマイナス側のいずれかの群の整流タンクが通電状態でなければ負荷電流は流れることができないことを意味し、したがっていずれかの群の整流タンクの格子または点弧回路の開放により負荷電流が容易に遮断される利点をもつことになる。

4 試験および運転状況

4.1 ブリッジ結線方式、イグナイトロン整流器の工場試験

以上述べたようにブリッジ結線方式の密封形イグナイトロン整流器は液冷式であり、これが形式試験および受入試験を次の 3 種について実施した。すなわち 3,000 kW, 1,500 V, 2,000 A, 12 タンク方式, E 種定格; 2,000

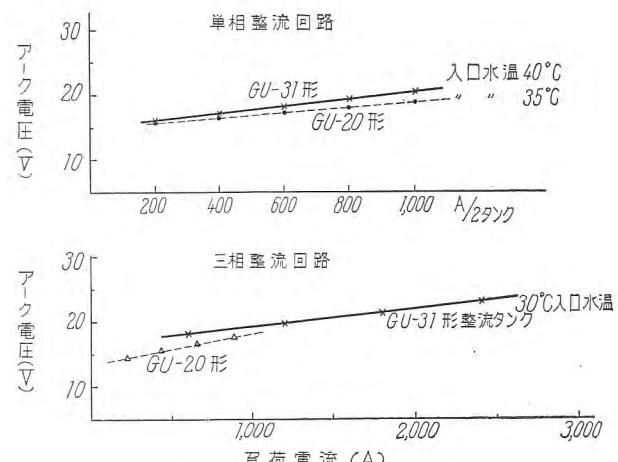


図 4.1 GU-31 形, GU-20 形アーケ電圧降下曲線

Fig. 4.1 Arc voltage drop curves for type GU-31 and GU-20.

kW, 1,500 V, 1,334 A, 12 タンク方式, D 種定格; 500 kW, 600 V, 834 A, 6 タンク方式, D 種定格のものである。

これらのもので 3,000 kW 出力の整流タンクは GU-31 形, その他のものは GU-20 形とよぶ 8 インチ級の整流タンクである。前者に対しては次に記述するようにアーカ電圧の測定, 位相制御試験, 各電圧における負荷試験を実施したが GU-20 形に対してはイグナイトロン電気機関車に使用した実績をもっており, そのため整流器および付属装置に対して負荷試験を中心として短絡消弧, 温度上昇試験を行った。

以下は上記の各種試験の内容と結果を記したものである。

(1) アーカ電圧の測定

GU-31 形, GU-20 形両整流タンクのブリッジ結線方式時のアーカ電圧の測定は, 三相半波整流回路で測定した。測定方法は電磁オシログラフ法によって実施した。これらの諸結果を単相, 三相整流回路について比較した

ものが図 4.1 である。この図よりみて単相回路のものは三相回路のものに比して 2 V 程度低いことがわかる。また相間リアクトル二重星形結線のものとアーカ損失を比較すると 3,000 kW, 1,500 V では (ブリッジ結線 12 タンク)/(相間リアクトル 6 相風冷式 6 タンク) = 160 % であり, 2,000 kW, 1,500 V では 138 %; 500 kW, 600 V では 145 % であった。

(2) 位相制御試験

この試験は GU-31 形整流タンクのものについて制御率試験と制御能試験の両者を行い, その性能を確認した。GU-20 形整流タンクは一重格子構造であり, 格子制御は原則として使用しないもので点弧子制御を実施している。

今回製作したブリッジ結線方式の整流器中 3,000 kW, 1,500 V の国鉄戸塚変電所へ納入したものでは既設の 2,000 kW, 1,500 V ポンプ付水冷式イグナイトロン整流器と並列運転を行う必要上, 出力電圧制御を行うことも考えられたので工場においては整流タンク 3 本を三相半

波回路に接続して定格電流制御率 = 24 % で水抵抗負荷によって負荷試験を 7 時間実施するとともに直流電流を零より 1,200 A まで変化させて所期の制御能特性が得られるか否かを試験したのが図 4.2 である。この試験期間中の冷却条件は入口水温で 40 °C, 出口水温 45 °C である。このブリッジ結線方式の整流タンクは冷却水温を比較的高く使用し, アーカ損失を少なくすることにつとめ, 整流タンクに印加される逆電圧値が他種整流回路のものに比して少ない点を利用していることは留意されなくてはならない。そして上記の制御率がさらに大き

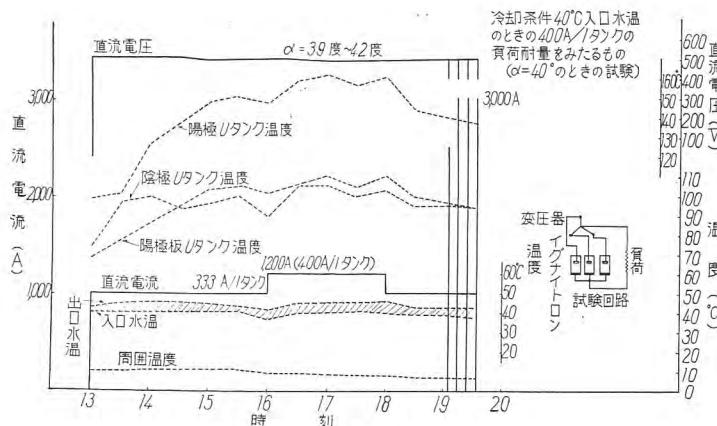
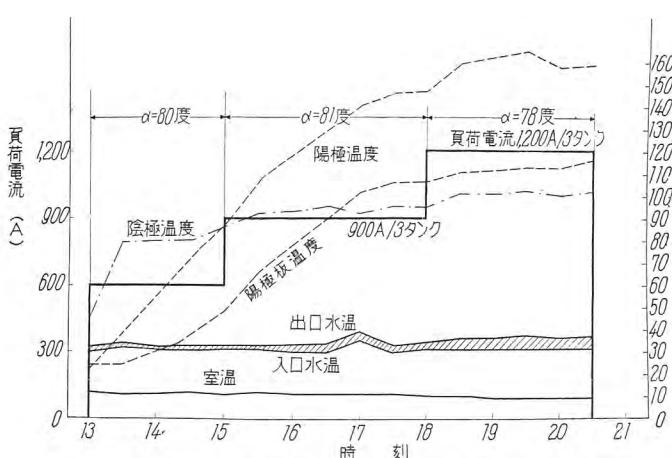


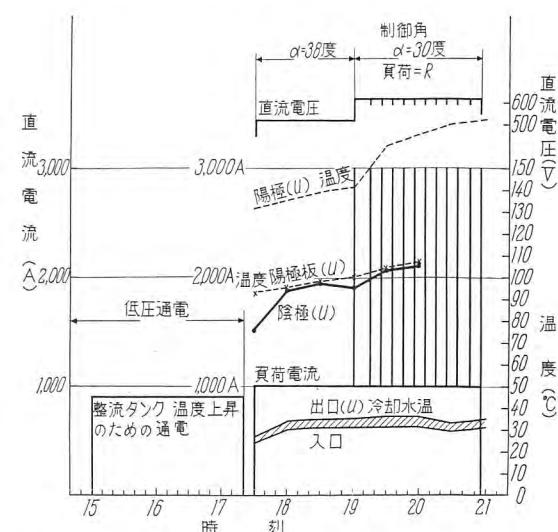
図 4.2 GU-31 形 3 タンク負荷試験
Fig. 4.2 Type GU-31 3 tank load test.



制御角 $\alpha=80$ 度に電圧制御して 1 整流タンクあたり 400 A 通電するも異常なし。直流側は 5 mH を入れて $E_s=695$ V を短絡して行った試験である。

図 4.3 GU-31 形 3 タンクを使用しての負荷試験

Fig. 4.3 Type GU-31 3 tank load test.



制御角 $\alpha=30$ 度における加速負荷試験を示す。

" " $\alpha=0$ における直流電圧 715 V

すなわち 700 V 級で 1 タンク容量は 333 A 平均で 300 % 1 分間の定格は十分もっていることを示す。

図 4.4 GU-31 3 タンク使用しての負荷試験

Fig. 4.4 Type GU-31 3 tank load test.

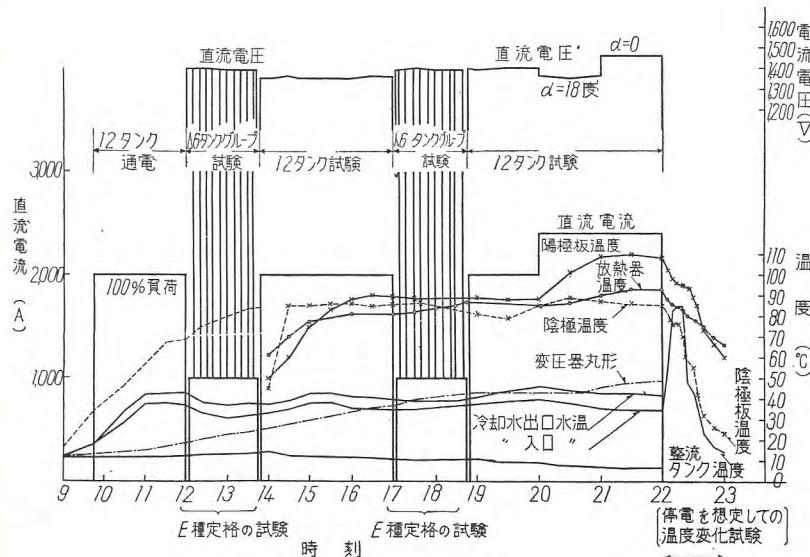


図 4.5 3,000 kW, 1,500 V 12 タンクブリッジ結線方式
液冷式密封形 (GU-31 形) イグナイトロン整流器試験
Fig. 4.5 Test on 3,000 kW, 1,500 V 12 tank bridge connection system liquid cooled.

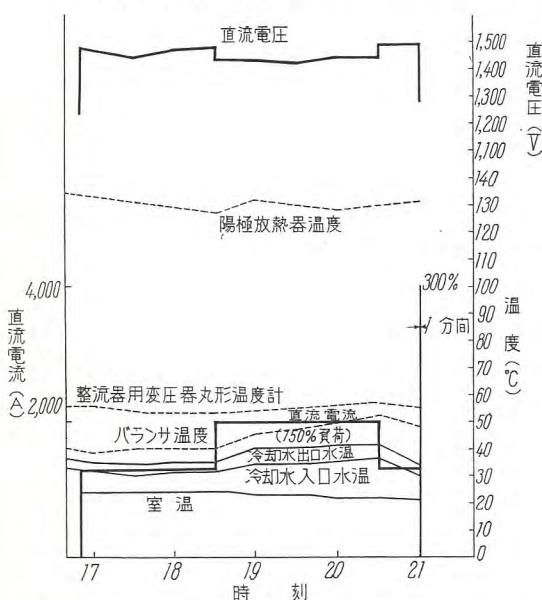


図 4.6 2,000 kW, 1,500 V 12 タンク液冷式密封形
(GU-20 形) イグナイトロン整流器負荷試験
Fig. 4.6 Load test on 2,000 kW 1,500 V 12 tank liquid cooled sealed ignitron rectifier.

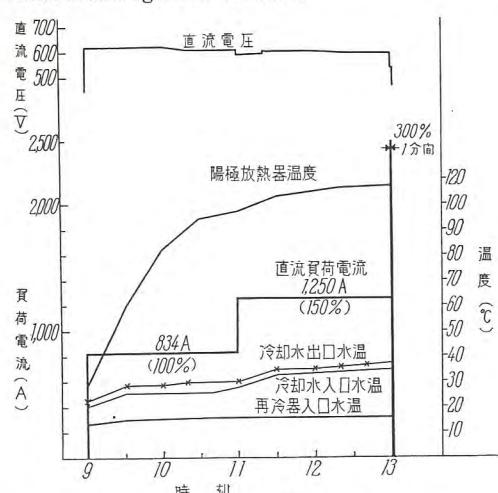


図 4.7 500 kW, 600 V GU-20 形イグナイトロン負荷試験
Fig. 4.7 Load test on 500 kW, 600 V type GU-20 ignitron.

くなり 90 % に近くなったときに
は負荷側を小抵抗値で短絡した状
態と同一になる。かかる状況下で
は整流タンクの責務は最大値に近
い、この条件下で試験したのが図
4.3 である。

以上の位相制御試験によって
GU-31 形整流タンクの 1 整流タ
ンクあたりの電流値と位相制御との
関係は図 4.4 に示す結果をえた。
これによって戸塚変電所における
並列運転の出力電圧制御の条件を
満足しうることを立証した。
また GU-20 形整流タンクを
使用した小田急電鉄向 2,000 kW,
1,500 V および西日本鉄道向 500
kW, 600 V イグナイトロン整流
器では位相制御をしない設計内容

のものであるためとくに試験を行わなかった。しかしこ
の整流タンクはイグナイトロン電気機関車において $\angle \alpha = 30$ 度の位相制御を行っている実績を有する。

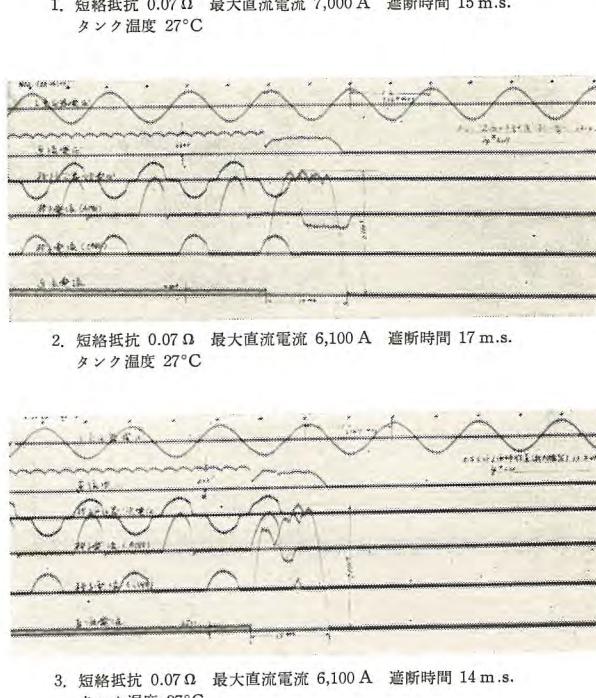
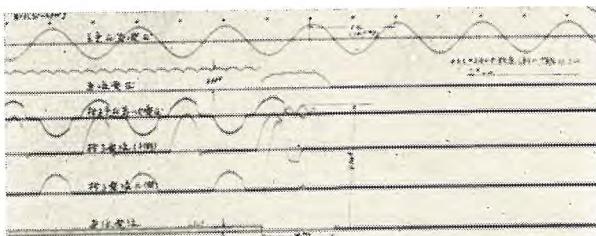


図 4.8 500 kW, 600 V 水冷式イグナイトロン短絡試験オシロ
Fig. 4.8 Oscillograms of 500 kW, 600 V water cooled
ignitron short-circuit test.

(3) 水銀順変換器用水銀整流器の負荷試験

納入すべき水銀整流器用変圧器とイグナイトロン整流器とを組合せて水抵抗器負荷を使って負荷試験を行った。3,000 kW, 2,000 kW, 500 kW の3種の試験結果は図 4.5, 4.6, 4.7 に示したとおりである。

図 4.5 では 3,000 kW, 1,500 V の E 種定格の受入試験を冷却条件 35°C の場合について行った。この E 種定格の形式試験は上記受入試験と次に述べる特殊試験によって確認を行った。2,000 kW, 1,500 V, 12 タンク, D 種定格の受入試験は納入すべき水冷式再冷器と組合せた閉路循環水系で冷却水入口水温 30~35°C の条件下で実施した。また 500 kW, 600 V は 35°C の冷却水入口水温下で D 種定格の試験を水冷式再冷器と組合せて実施している。

(4) 短絡消弧試験

上述のとおりブリッジ結線方式では負荷電流は正側、

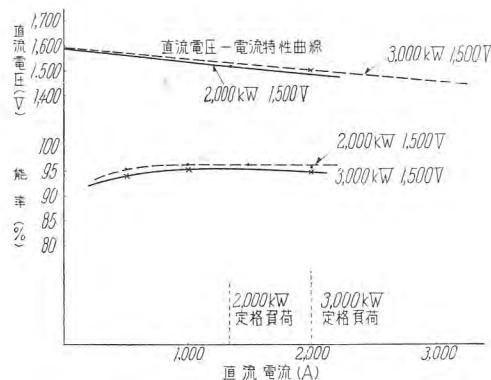


図 4.9 3,000 kW, 1,500 V, 2,000 kW, 1,500 V イグナイトロン整流器電圧変動率曲線および能率曲線

Fig. 4.9 Voltage regulation curve and efficiency curve for 3,000 kW, 2,000 kW ignitron rectifier.

負側の整流タンク 2 本を直列に通電するため正側整流タンクだけの格子遮断によって定格電流および故障電流を遮断しうる。この原理を採用したのが 500 kW, 600 V の西日本鉄道へ納入したイグナイトロンである。これが短絡消弧試験のオシログラフを図 4.8 に示す。これでみると在来の相間リアクトル付二重星形結線方式のもとのなんら差異はない。ただ 3,000 kW, 2,000 kW の国鉄および小田急電鉄のものは購入仕様書に立脚したため上記の簡易化が実施しえず、全整流タンクの格子に格子バイアスを印加して短絡消弧試験を実施した。

(5) 電圧変動率の測定

上記の整流器中 3,000 kW, 2,000 kW, 1,500 V の各整流器は既設のイグナイトロン整流器と並列運転を実施する設計になっていたため、安全運転と負荷分配の見地から変換装置の電圧変動率を測定した。図 4.9 は 3,000 kW, 1,500 V, 66 kV 受電のもの、および 2,000 kW, 1,500 V, 22 kV 受電の電圧変動率曲線である。

4.2 研究試験

液冷式、密封形イグナイトロン整流器でブリッジ結線方式を最初に適用したものは、1,500 V, 450 A イグナイトロン電車用単相全波整流回路である。このときは 1 整

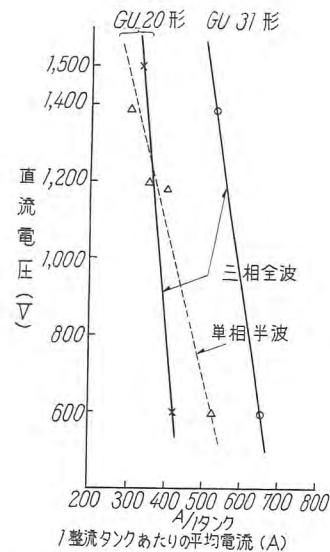


図 4.10 GU-20 形、GU-31 形整流タンク電流定格

Fig. 4.10 Type GU-20, type GU-31 rectifier tank current rating.

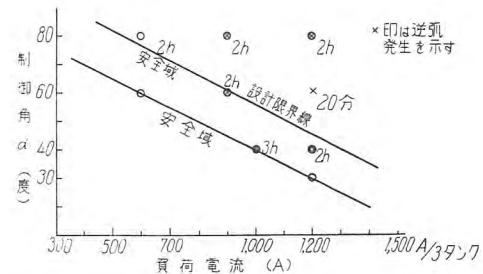


図 4.11 600 V 直流電圧時の制御角と負荷電流容量の関係曲線

Fig. 4.11 Curves showing relations between control angle and load current capacity at 600 V DC voltage.

流タンクあたりの電流容量は 225 A (平均電流値) であり、小田急電鉄へ納入した 2,000 kW, 1,500 V、ブリッジ結線方式の整流器は電流容量が 333 A/1 タンクであるにもかかわらず上記電車と同一整流タンクを使用したため、電流容量的に、また整流タンクの過渡安定性をば研究し検討する必要があった。なお GU-31 形整流タンクは前項に説明したとおり新しく開発された液冷式、二重格子構造の高温用イグナイトロン整流タンクであるためその電流容量決定のために加速負荷試験を実施し、かつ内部構造の安定性を確認する目的でとくに振動試験を行った。

(1) 整流タンクの電流容量

ここに示す 1 整流タンクの電流容量なるものは実負荷運転の経験のあるものについて記入したものであり、なお研究すれば裕度の介在することが判明する性格をもつた数値である。図 4.10 は GU-20 形の三相および単相回路の整流タンク電流定格、ならびに GU-31 形のものを示した。この曲線は冷却条件、位相制御率によってそれぞれ変化する傾向があるため、ここに示したものは 1 規準にすぎない。また位相制御の度合と整流タンクの電流容量との関係を GU-31 形整流タンクについて測定し

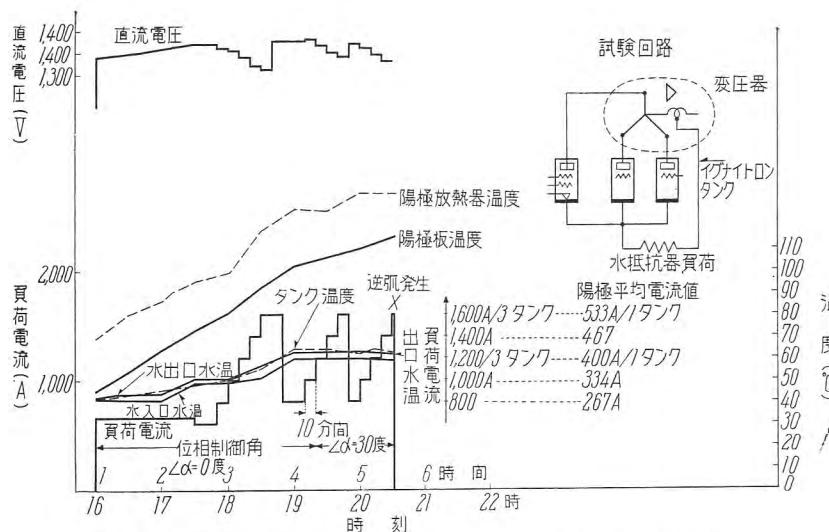


図 4.12 液冷式 GU-31 形イグナイトロン整流器の負荷試験

Fig. 4.12 Load test on type GU-31 liquid cooled ignitron rectifier.

たものが図 4.11 である。加速負荷試験によって冷却条件と逆弧発生限界とを試験した一例が図 4.12 である。この方式はフランス国鉄より指示された方式に準拠して実施した試験方法でもある。またこの整流タンクを相間リアクトル付二重星形結線方式の整流回路において試験した結果が図 4.13 であり、これによつて 6 タンクで 2,000 kW, 1,500 V, E 種定格の容量をもつてゐることが確認された。

以上の試験によつて整流タンクの電圧耐量は 400 A/1 タンクの負荷電流において直流 1,500 V の逆電圧耐量を有することが確認された。

(2) 振動試験

GU-20 形整流タンクでは ED-70 形電気機関車、交直両用電車などで車両の振動に対しても内部構造の安定性は立証されていたが GU-31 形整流タンクではこの点未試験のため振動台にのせて設定加速度 0.1~2 g の間上下；左右の各種の振幅で試験したが異常をみとめなかつた。

図 4.14 は GU-31 形整流タンクを松平式 UBC 8 形振動試験機にとりつけて試験しつつある状況を示したものである。

4.3 現地試験および運転実績

現地試験を総合的に実施したの

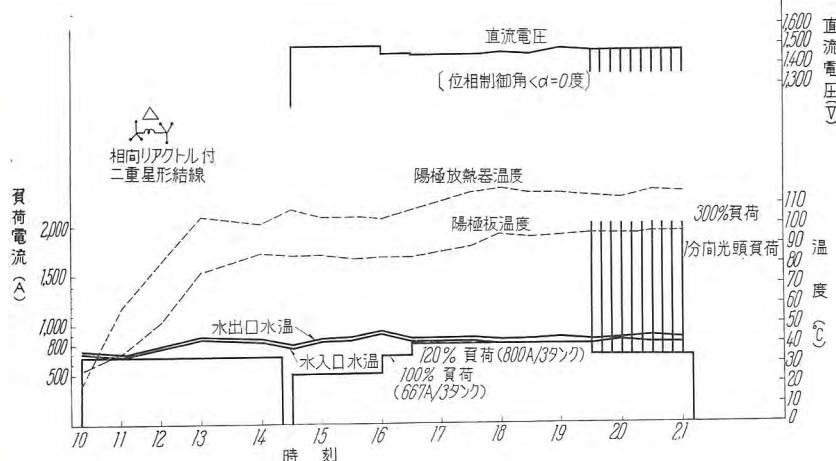


図 4.13 2,000 kW, 1,500 V 6 タンク (GU-31 形) 液冷式イグナイトロン整流器負荷試験 (相間リアクトル付二重星形結線方式)

Fig. 4.13 Load test on 2,000 kW, 1,500 V ignitron rectifier and this unit is consisted 6 tubes (GU-31).



図 4.14 GU-31 形整流タンク振動試験状況

Fig. 4.14 Type GU-31 rectifier tank vibration test state.

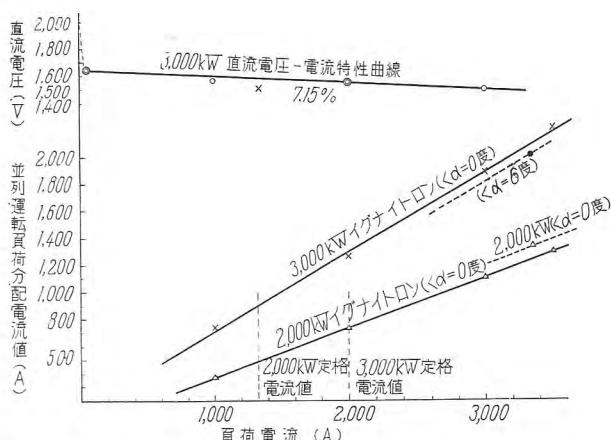


図 4.15 3,000 kW, 1,500 V 戸塚変電所における電圧変動率の測定と既設 2,000 kW, 1,500 V 整流器との並列時の負荷分担を示す

Fig. 4.15 Measurement of voltage regulation at 3,000 kW substation and load sharing with the existing 2,000 kW rectifier in parallel operation.

は国鉄戸塚変電所であって、当変電所では次の研究項目のもとに国鉄関係者の立会のもとに実施した。

- (1) 3,000 kW, 1,500 V, ブリッジ結線方式の整流器単独運転時の諸特性の測定。
- (2) 12 相運転時のろは装置への影響。
- (3) 2,000 kW, 1,500 V, 既設ポンプ付イグナイトロン整流器との並列運転。

3,000 kW イグナイトロン単独運転時の諸特性の測定は水抵抗負荷と実負荷き電との二つの場合について実施したがこのときは出力電圧—電流特性曲線の測定、12 相運転時の直流リアクトルの動作の確認、6 相用ろは装置をつないでの人工的失弧時の過渡特性をも研究的に試験したがすべて予想したとおりであり、特筆すべき事項はなかった。

2,000 kW と 3,000 kW との間の並列運転による負荷分配は変圧器のタップの選定という課題もあるが 3,000 kW のブリッジ結線の変換装置に 2:3 より若干多く負荷されており、3,000 kW の整流器を約 6 度、電圧制御すれば完全に 2:3 の負荷分配になる。図 4.15 は上記のこととを示した曲線群である。

小田急電鉄、藤沢変電所における並列運転は既設のポンプ付 2,000 kW 水冷式イグナイトロンと同一容量のブリッジ結線方式の水冷式、密封形イグナイトロン整流器との並列運転であった。これも実用上は支障ない負荷分配であったが 150 % 負荷で約 370 A の負荷の不均衡が予想されるため、ブリッジ結線方式の出力電圧を抑制することにした。

この整流器は上記の不均衡が予想されたままの状況で夏季の海水浴客の運転をはたしており、負荷分担の問題も二次的のものとなっている状況にある。

西日本鉄道の新八幡変電所の 500 kW, 600 V ブリッジ結線方式のイグナイトロンもすべて満足すべき運転状況にある。

5. 試験結果の考察

以上は 3,000 kW, 2,000 kW, 1,500 V および 500 kW, 600 V 液冷式、密封形イグナイトロン整流器のブリッジ結線方式の整流器について工場試験ならびに実負荷状況の一端を記述したものであるが新方式の整流器であるため今一度設計的見地から考察してみよう。

5.1 ブリッジ結線方式と単位変電所

3,000 kW, 1,500 V E 種定格の単位変電所は現有の風冷式、標準整流タンク 6 本を使用しての構成であり、これが主回路の構成上制限要素となっているのはやはり風冷式整流タンクの陽極平均電流である。しかし水銀アーケ変換装置の定格出力と冷却条件（液冷式、風冷式など）その他の付属装置ならびに保守条件を総括的に考慮したときには再検討の必要があると考える。将来の単位変電所の姿を新しい構造のもとに成立した水銀アーケ変換装置の観点からいかに保守され、制御され、簡易化されるかを考えよう。

ブリッジ結線方式のイグナイトロン変換装置・加藤・己斐・坂田・塚本・鯨岡

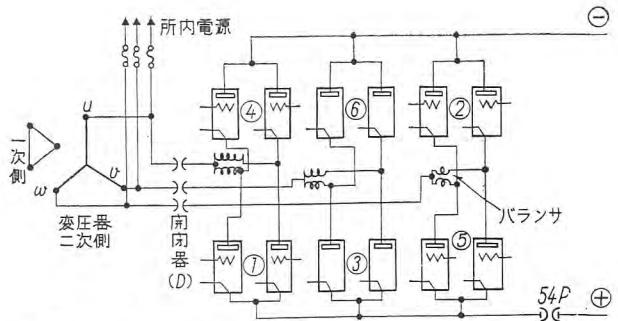


図 5.1 ブリッジ結線方式 (6φ 結線) (3,000 kW, 1,500 V 12 タンク)

Fig. 5.1 Bridge connection system.

第一の問題はなぜ今まで相間リアクトル付二重星形結線を使用しきたったかということである。それは簡単に述べれば標準の風冷式、密封形整流タンク 6 本をもってブリッジ結線方式を採用すれば 1,500 kW, 1,500 V の定格しか出しえないからである。換言すれば液冷式の整流タンクにして 1 整流タンクの電流容量が増加したのである。こうした内容的変化と交流側、直流側遮断器の発達は保守上の責務を軽減し、無人単位変電所の成立を容易にした。また故障電流の消弧と外線の故障電流の遮断作用はブリッジ結線にしてその有効性が実証されるにいたった。1 整流タンクの逆弧はブリッジ回路では整流器用変圧器の二次側短絡にすぎない、よって整流器の短絡消弧作用でその保護は十分であると仮定すれば受電側の遮断器は可溶片ヒューズでも代用しうる。また図 5.1 に示すように変圧器の二次側に交流の 3,000 V 級の遮断器を挿入し 54 P と並置すれば受電側遮断器は省略しうる利点がある。

ブリッジ結線方式の特異点を列記すれば次のとおりである。これはすなわち変電所の簡易化を意味している。

- (1) 正側の ①③⑤ の整流タンク；負側の ②④⑥ の整流タンクの中の 1 整流タンクだけの逆弧は整流器用変圧器の二次側相間短絡を意味し、その時には格子遮断によって故障電流を開放する。この際は直流側からの逆流は考えられない。
- (2) 整流器用変圧器の二次側へ挿入した遮断器は 54 P 開放後はいかなる場合にも直流を遮断することはないゆえ交流 3,000 V 級の遮断器でよい。
- (3) 整流タンクへ印加される P.I.V. の数値は小さいが陽極平均電流値は相間リアクトル付二重星形方式の倍である。そのため整流タンク内損失は増加するので液冷式として整流タンク内放電特性の安定性をます。
- (4) 12 タンクより構成されたブリッジ結線方式では図 5.1 に示すようにバランスサを挿入するときも 3 台ですみ、所内電源は整流器用変圧器の二次側よりとり、交流側開閉器を省略できる。
- (5) 正側整流タンクは多陽極形整流タンクでよいが負側は单陽極形整流タンクでないとブリッジ結線方式はできない。

このブリッジ結線方式の整流回路の利点は整流タンクに印加される P.I.V. の値が少ないこと、また標準の液冷式整流タンクを使用して各種の定格出力の水銀順変換装置ができることである。換言すれば 1 段下位の電圧階級の整流タンクを上位の電圧階級に使用しうることである。またこの方式は整流タンクのアーク損失が在来の相間リアクトル付結線方式に比して 160~140 % 増加する、したがって同一冷却装置を使用すればそれだけ高温度で運転する必要が生じる。その場合同一冷却装置を使用して理論計算すれば冷却水入口水温は 8~10°C たかくなり、この冷却条件にかなった整流タンクであればなんら問題はない。これは印度など南方の気温のたかい地方で使用される整流タンクとその使用目的を同じにすることである。

ブリッジ結線方式の負荷側の短絡消弧は正側 3~6 整流タンクの格子遮断によって消弧され、負側整流タンクの格子遮断を必要としないがこれに対して工場試験結果では設計どおり実施され満足すべき状況にあるがこの点に関しては念のため実負荷試験の経験をつむ必要があろう。ブリッジ結線方式で 6 相か 12 相かの問題は変電所建設の外的条件と経済条件によって左右されて決定されるもので一律に結論を出すことはできない。一般的には 6 相方式でよいと思う。

5.2 整流タンクの定格条項

この課題は整流タンク直径と陽極平均電流との関係を考究しようとするものである。図 4.10 に示した GU-20 形と GU-31 形整流タンクとの内面積の比は 2.25 倍、GU-31 形が大きい。それにもかかわらず陽極平均電流は 600 V で 1.62 倍、1,500 V で 1.55 倍になっている。この比率はさらに研究試験することによって増減することがあるかもしれないが実用上はこの比率程度であろう。単相半波整流回路、換言すれば交流電気機関車の場合に対してはその負荷の性格からして陽極平均電流をさらに大きくとることができる。これは短時間定格とでも呼ばれる性格のものである。

5.3 並列運転について

上記のとおり水銀アーク変換装置の定格出力の差のあるもの同志の並列運転はブリッジ結線方式の特長である逆弧時の逆流がない点でもっとも歓迎されるべきものである。そしてブリッジ結線の整流器の 1 整流タンクの逆弧は並列器の過負荷を誘起させないだけか停電とはならない。

小田急電鉄に納入した 2,000 kW, 1,500 V の液冷式密

封形イグナイトロンと同一容量のポンプ付整流器との並列運転は主回路方式の差による電圧変動率の差に応じた負荷電流の不平衡は認めざるをえない。しかしその不平衡も二つの曲線がある所定の交叉点を中心とした高、低負荷領域での差であってその二曲線の交点は任意に変更できうる性格のものである。よって必要に応じて並列器の一方の負荷の分配を他方の整流器へかえることができる便がある。

小田急電鉄におけるこの種負荷分配の不平衡の課題は今年の夏季ダイヤを上記の不平衡の状況のままで完遂されたことによって問題は二次的になったといえよう。

6. む す び

ブリッジ結線方式の電鉄用地上変電所の実用化はわが国において最初のものであるばかりか諸外国においてもその例をあまりみないものである。ことに 3,000 kW, 1,500 V の定格負荷の実例はまだきいたことがなく、2,000 kW, 1,500 V の主回路方式の相違した水銀アーク変換装置との並列運転の実用化は最初のものであると思う。

ブリッジ結線方式にも 6 相と 12 相方式とがあるが今回は 12 相方式を採用して新分野への開拓という特筆すべき事項を選定したことは国鉄関係各位の理解あるご援助によったものであり本稿をかりて厚くお礼申上げる次第である。

以上説明したとおり GU-31 形整流タンクの標準化は新しい回路方式の採用とあいまって水銀整流器の定格負荷の領域を拡大し、応用分野を拡張した結果となって直流電動機の駆動方式にもっとも良好な仕様を決定しうる確信をえた次第である。最後に今回の各種定格の液冷式、密封形イグナイトロン整流器の製作から運転にいたるまでの間基礎試験、現地試験に関して、納入先の方々ならびに各方面から多大のご協力とご援助をいただいたことに對し、関係者一同とともに厚く御礼申上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 三菱電機第 31 卷、第 2 号、加藤「液冷式、密封形イグナイトロン整流器。」
- (2) AIEE. Technical Paper 53-36; I. K. Dottort "Extended regulation curves for six-phase double-way and double-wye rectifiers".
- (3) AIEE. Technical Paper 53-54; R. L. Witzke & J. V. Kresser & J. K. Dillard "Influence of A-C reactance on voltage regulation of six-phase rectifiers".

12相ブリッジ結線イグナイトロン整流器の回路現象の検討

研究所 平塚篤*・坂東修三*

Investigation on Circuit Phenomena of 12 Phase Bridge Connection Ignitron Rectifier.

Engineering Laboratory Atsushi HIRATSUKA · Shuzo BANDO

To give the full play to the features of the Mitsubishi ignitron rectifier 12 phase bridge connection has been worked out for the installation of the Japanese National Railways, Totsuka Substation. The set is now in a practical operation with success. The reason of employing this bridge connection rectifier consists in the following: 1. completion of water cooled single anode rectifier tank. 2. Because of no reverse current in case of arc back in one tank, troubles never occur on other rectifier sets and other allied advantages. 3. one phase misfiring does not bring about serious faults. 4. Higher harmonics waves on d-c side arc much decreased to reduce inductive disturbances. With an anticipation of these merits careful tests were conducted before entering into the design just to discover varied phenomena.

1. まえがき

当社イグナイトロン整流器独特の特色を發揮させる目的から電鉄用変電所にブリッジ結線整流器を採用することが計画されて、国鉄戸塚変電所その他に新方式のイグナイトロン整流器セットの納入が決定し、すでに実運転にはいって好成績を収めている。

ブリッジ結線整流器を採用した理由としては次の諸点があげられる。

(1) 水冷式単極形整流タンクが完成した。

(2) 1タンクに逆弧が発生した場合に直流側からの逆流がないため逆弧電流が小さく他の整流器セットに被害を及ぼさず、最大の利点は高速度回路遮断器(54P)が逆弧による逆流がないため働くだけで、逆弧以外の原因による母線短絡のような不測の事故が発生した場合においてback-upとして働くだけとなり、54Pの責務が軽減されることである。

(3) 12相ブリッジ結線整流器では1相失弧時に他の整流器セットとの並列運転時はもちろん、単独運転時でも並列健全6相ブリッジ回路が存在するため、直流電圧の変動、回路各部の過渡的異常電圧、直流電流の変動などがいちじるしく緩和される。

(4) 12相ブリッジ結線整流器では直流側高調波電圧が減少し、誘導障害の軽減が期待される。

ブリッジ結線整流器はこのような利点を有するのであるが、今回はじめて採用することもあり、設計に先だって地上電鉄用変電所を対象としてとくに6相二重星形結線整流器と並列運転する場合をも考慮した12相ブリッジ結線整流器回路の諸現象の検討を行うことになり、研究所モデルセットによって行われた試験結果を以下に報告する。

2. ブリッジ結線方式採用に伴う諸問題

2.1 12相整流器用変圧器の結線方式

将来12相ブリッジ結線整流器用変圧器として一次側△、二次側△および△の三巻線変圧器が採用されるが、60kV受電3,000kW整流器用変圧器としては一次巻線容量の関係上別個の△/△、△/△変圧器を同一ケースに収納して使用することになるので、この場合について検討した。

2.2 循環電流

相電圧が30度の位相差を有する12相ブリッジ結線の各6相整流器間には電位差による循環電流が流れる。この場合直流電流が循環電流以下になると電流の切目を生じ、失弧が発生した場合と同様の現象となり、そのため直流リアクトル、直流フィルタに振動を生ずる恐れがある。したがってこの循環電流がどの程度になるか、また循環電流を制限するための12相ブリッジ結線の各6相整流器間に挿入する平衡用直流リアクトルをいかにすべきか、既設の6相二重星形結線整流器と12相ブリッジ結線整流器の並列運転における循環電流は12相ブリッジ結線整流器を単独運転した場合に比較してどうなるかなどの諸点を検討した。

2.3 失弧および逆弧

失弧および逆弧による直流側リアクトル、フィルタの過渡現象が問題になることも考えられるため、ブリッジ結線整流器の単独運転および二重星形結線整流器との並列運転のそれぞれの場合に対する失弧ならびに逆弧発生時の現象を模擬回路により検討した。

2.4 直流側高調波

12相ブリッジ結線整流器では6相二重星形整流器と比較して直流側高調波電圧が減少することが予想される

がさらに 6 相二重星形結線整流器と並列運転した場合の直流側高調波電圧なども検討した。

3. ブリッジ結線整流器変電所の回路現象の検討

図 3.1(a) は国鉄戸塚変電所の既設 2,000 kW 6 相二重星形結線整流器回路を示す。これはポンプ付 6 タンク、水冷 2,000 kW 整流器 2 セットで

整流器変圧器 2,240/3,160 kVA, 66-63 -60/1.37 kV, % imp. 7%, 2 台

直流電流 各 1,333 A

その他図示のとおりである。

図 3.1(b) は同変電所に新設予定の密封形 12 タンク、水冷 3,000kW 12 相ブリッジ結線整流器回路を示す。

整流器用変圧器 3,000 kVA, % imp. 7%

一次 入、二次 入-△, 1 台

直流電流 2,000 A

図 3.2 は国鉄戸塚変電所に新旧両整流器を設置した場合を模擬するために構成された実験用回路を示す。

図 3.2においてイグナイトロン整流器はサイラトロン整流器 (6G76) をもって模擬され、6 相二重星形結線整流器用変圧器は 500 VA, 220 V/146 V で並列器と直流電圧を合わせるために 入/入 変圧器と △/入-△ 変圧器

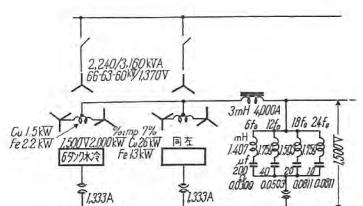


図 3.1(a) 国鉄戸塚変電所既設 2,000 kW 6 相二重星形結線イグナイトロン整流器回路

Fig. 3.1 (a) 2,000 kW 6 phase double star connection ignitron rectifier for the Japanese National Railways.

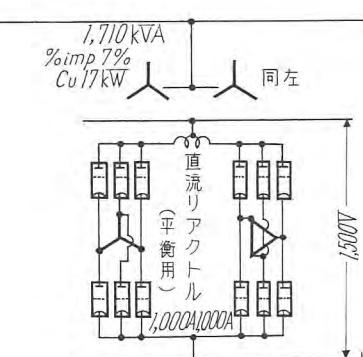


図 3.1(b) 国鉄戸塚変電所新設 3,000 kW 12 相ブリッジ結線イグナイトロン整流器

Fig. 3.1 (b) 3,000 kW 12 phase bridge connection ignitron rectifier for the Japanese National Railways.

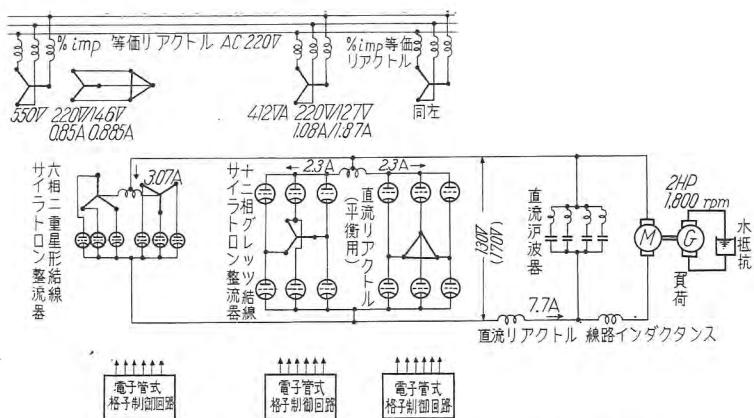


図 3.2 サイラトロンを使用した国鉄戸塚変電所模擬回路
(6 相二重星形結線整流器-12 相ブリッジ結線整流器並列回路)

Fig. 3.2 Mimic circuit of Totsuka substation where thyratron is used.

を直列接続したので実回路と比較して電源電圧に対する位相関係が 30 度異なる。

グレッツ結線整流器用変圧器は 400 VA, 220/127 V, 1.08/1.87 A で、それぞれ 入/入 および 入/△ 結線とした。

直流リアクトル、直流フィルタ、線路リアクタンスもそれぞれ図 3.2 に示すように模擬し、負荷として 2 HP, M.G に水抵抗負荷を接続した。

この模擬回路は研究所直流送電モデルセット、同電子管格子制御回路を結線変更して使用し、実回路に対する電流比は 0.0023 倍、電圧比は 0.114 倍である。したがってインダクタンス、抵抗の値は実回路の 50 倍、容量の値は 1/50 倍とした。

3.1 各整流器の負荷電流分担と 12 相ブリッジ結線整流器直流リアクトルのインダクタンス

循環電流は 12 相ブリッジ結線整流器の直流リアクトル（平衡用）の特性によって影響される。しかも直流リアクトルは 12 相ブリッジ結線整流器の △ 側および入側の間に挿入されるので△側および入側の負荷電流の分担状態に応じて鉄心の直流励磁が変化し、循環電流に対するリアクタンスが変化する。したがって循環電流の推定にあたり、各整流器の負荷分担特性を検討し、適当な模型直流リアクトル（平衡用）の直流励磁特性と関連させて平衡リアクトルの動作特性を決定することにした。

図 3.1(a), (b) に示すように各整流器変圧器の % インピーダンスは 7% に設計されるが、実際に生じうる最大誤差が 1% であることより、6 相二重星形整流器用変圧器と新設ブリッジ結線整流器の 入/入 側が 7%，同じく 入/△ 側が 6% であると仮定した場合の各整流器の負荷電流の分担特性は図 3.3 (a) のようになる。これより図 3.3 (b) に示すように直流電流に対する 12 相ブリッジ整流器用直流リアクトル（平衡用）の鉄心に対する直流励磁電流が決まる。

つぎに模擬回路用模型直流リアクトル（平衡用）の特性と、図 3.3 (b) を組合わせると図 3.4 のように % 負

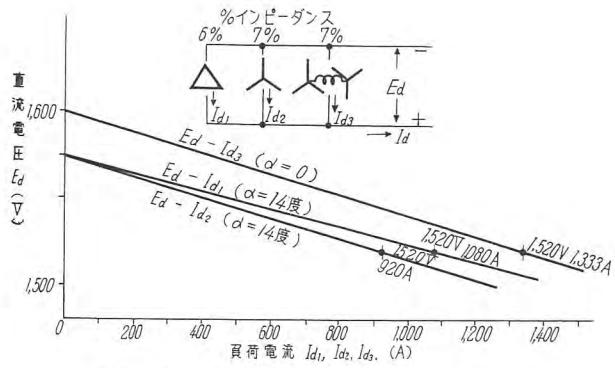


図 3.3(a) 6 相二重星形結線整流器と 12 相
ブリッジ結線整流器の並列負荷分担特性

Fig. 3.3 (a) Parallel load share characteristic of 6 phase double star connected rectifier and 12 phase bridge connected rectifier.

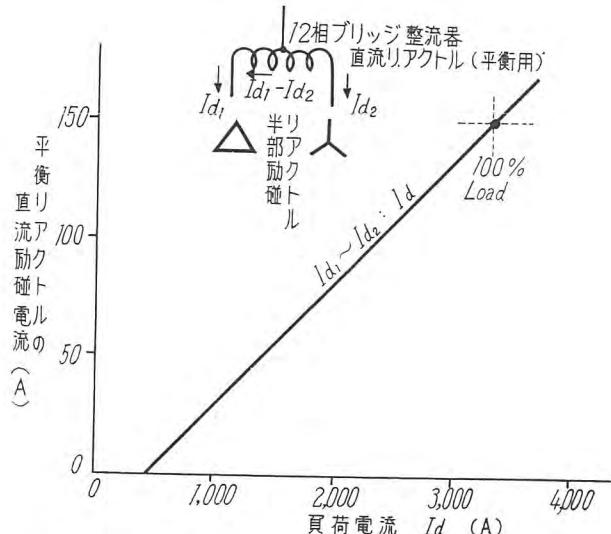


図 3.3(b) 12 相ブリッジ結線整流器の △-△ 間不平
衡電流による直流リアクトル(平衡用)の励磁

Fig. 3.3 (b) Excitation of DC reactor by unbalance current between delta star connection.

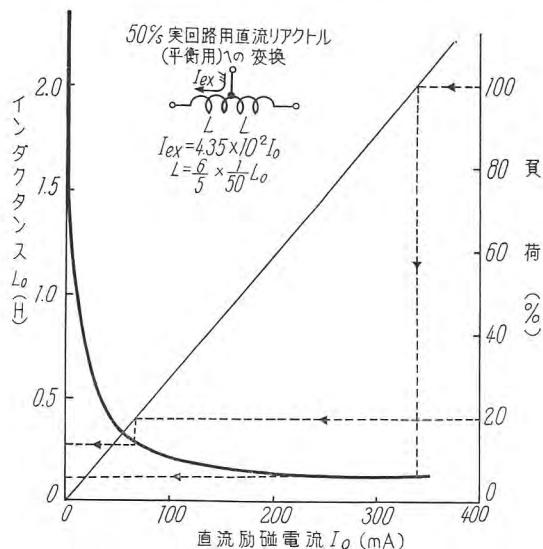


図 3.4 12 相ブリッジ結線用模擬直流リアクトル
(平衡用)のインダクタンス

Fig. 3.4 Inductance of mimic DC reactor.

荷に対する直流リアクトル(平衡用)のインダクタンスの値が決まり、これを用いれば次に述べる循環電流の計算が可能になる。

3.2 並列運転時の各整流器間の循環電流

上に述べたように戸塚変電所における 12

相ブリッジ結線整流器と 6 相二重星形結線整流器の変圧器の % インピーダンスを 7% (ただし、ブリッジ結線△側だけ 6%) と仮定して回路の抵抗を無視すると並列運転時の循環電流の等価回路は図 3.5 のようになる。

図 3.5において

$L_{\Delta-Y}$: 二重星形変圧器転流インダクタンス

L_{Δ} , L_{λ} : ブリッジ変圧器転流インダクタンス

$e_{\Delta-Y}$: 二重星形整流器電圧高調波

e_{Δ} , e_{λ} : 12 相ブリッジ整流器直流リアクトル(平衡用)

各半部の自己および相互インダクタンス

$i_{\Delta-Y}$, i_{Δ} , i_{λ} : 各整流器高調波電流

また図 3.5 で各整流器の電流 $i_{\Delta-Y}$, i_{Δ} , i_{λ} はそれぞ

れ

$$i_{\Delta} = i_{\Delta}(e_{\Delta-Y}) + i_{\Delta}(e_{\Delta}) + i_{\Delta}(e_{\lambda})$$

$$i_{\lambda} = i_{\lambda}(e_{\Delta-Y}) + i_{\lambda}(e_{\Delta}) + i_{\lambda}(e_{\lambda})$$

$$i_{\Delta-Y} = i_{\Delta-Y}(e_{\Delta-Y}) + i_{\Delta-Y}(e_{\Delta}) + i_{\Delta-Y}(e_{\lambda})$$

であると考えられる。すなわち重畠定理に従って $i_{\Delta-Y}$ ($e_{\Delta-Y}$) は回路に高調波起電力 $e_{\Delta-Y}$ だけ存在して e_{Δ} , e_{λ} が存在しない場合に二重星形整流器の共通陰極回路を流れる高調波電流で $i_{\Delta-Y}(e_{\Delta})$ は起電力 e_{Δ} だけ存在する場合に同回路を流れる高調波電流であるとしてこれらを加算して $i_{\Delta-Y}$ を求めている。

$e_{\Delta-Y}$, e_{Δ} , e_{λ} は直流電圧を周知の計算式により分析して得た $n=6, 12, 18, \dots$ などの高調波電圧を表わす。なおここでは $n=6, 12$ だけ考慮し、これ以上の次のものは影響が小さいとして無視した。もちろん循環電流の計算による整流器間の位相差、重り角の影響も考慮されている。(ただし $\alpha=0$)

循環電流の計算にあたって直流リアクトル(平衡用)が

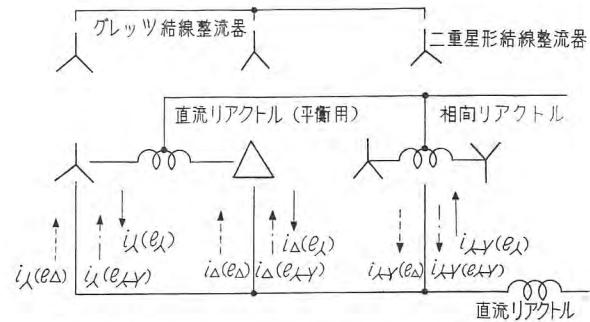


図 3.6 並列整流器回路の循環電流成分 ($n=6, 12$)

Fig. 3.6 Circulating current component of parallel rectifier circuit.

未設計であったので便宜上図3.4のように模型リアクトルの特性を実回路に換算して使用しその結果によって直流リアクトルの設計資料を求める目的で、図3.4に示すように $L=50/60 \cdot 1/50 \cdot L_0$, $I_{ex}=435I_0$ を求め、50サイクル系実回路の循環電流を計算した。

図3.6は上に述べた循環電流成分 i_{Δ} , i_{λ} , $i_{\lambda-\gamma}$ を直流リアクトル(平衡用)を有する12相ブリッジ結線整流器と6相二重星形整流器との並列運転について図示したものである。

図3.7および図3.8は図3.4の平衡リアクトルを使用し、図3.5の等価回路により、図3.6に示す循環電流の成分を求めた結果を示す。

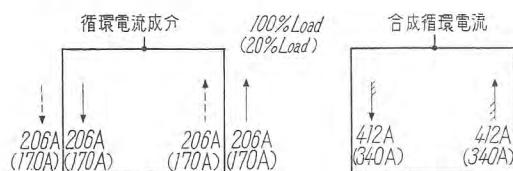


図3.7(a) 12相ブリッジ結線整流器の循環電流波高値
直流リアクトル(平衡用)なし

Fig. 3.7 (a) Crest value of circulating current of 12 phase rectifier with no DC reactor.

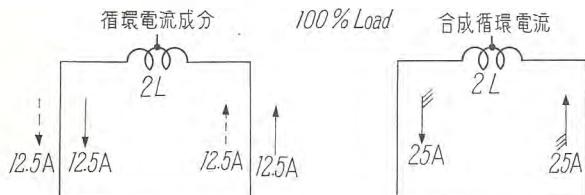


図3.7(b) 12相ブリッジ結線整流器の循環電流波高値
直流リアクトル(平衡用)あり

Fig. 3.7 (b) Crest value of circulating current of 12 phase rectifier with DC reactor.

図3.7(a)は直流リアクトル(平衡用)のない12相ブリッジ結線整流器の単独運転時の循環電流成分とその合成波高値を示すが(図3.7(b)のように)直流リアクトルを使用すれば、循環電流は大巾に減少して100%負荷でも25Aとなる。 $(\alpha=0)$

図3.8は新設予定12相ブリッジ結線整流器と既設6相二重星形結線整流器の並列運転における循環電流成分とその合成波高値を示したものである。

図3.8(a)は並列運転時、直流リアクトル(平衡用)のない場合の循環電流成分とその合成波高値を示すもので100%負荷で△/△ブリッジ回路(% imp. 6%)に入/入ブリッジ回路および二重星形回路(% imp. 各7%)より波高値500A以上の循環電流が流れ、その他は245A, 288Aとなり、20%負荷においてはそれぞれ437A, 198A, 240Aとなることを示している。

図3.8(b)は並列運転時、直流リアクトル(平衡用)のある場合の循環電流およびその合成波高値を示すもので100%負荷で△/△ブリッジ回路140A、二重星形回路240A、入/入ブリッジ回路90Aとなるが、20%負荷ではそれぞれ101A, 182A, 81Aと減少するが、12相ブ

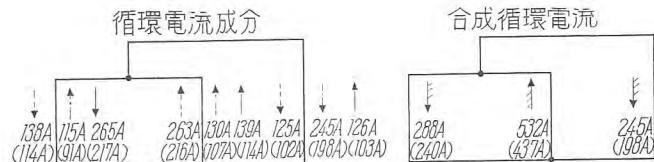


図3.8(a) 直流リアクトル(平衡用)なし
(100% Load) (20% Load)

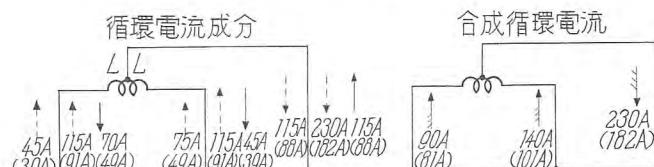


図3.8(b) 直流リアクトル(平衡用)あり
(100% Load) (20% Load)

図3.8 12相ブリッジ結線と6相二重星形結線整流器との並列運転における循環電流波高値($\alpha=0$)

Fig. 3.8 Crest value of circulating current in the parallel operation of 12 phase bridge connection and 6 phase double star connection.

リッジ結線整流器単独運転時に比較して100%負荷、20%負荷いずれの場合も循環電流が増大している。

このように6相二重星形結線整流器と12相ブリッジ結線整流器を並列運転する場合ブリッジ結線回路に直流リアクトルを挿入すればブリッジ結線回路の循環電流は平衡に近づきかつ波高値を減少するが、二重星形結線回路の循環電流はあまり影響を受けない(図3.10参照)。また負荷電流が変っても循環電流はあまり大きく変化しない。

図3.9はその後設計された国鉄戸塚向直流リアクトル

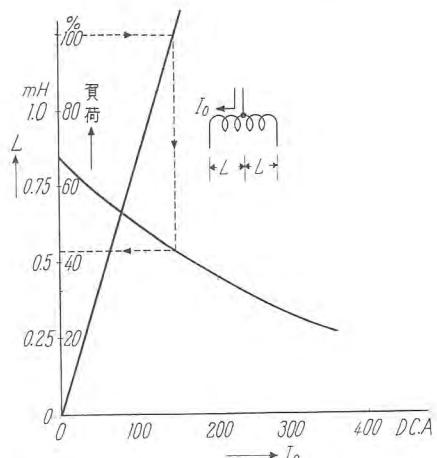


図3.9 国鉄戸塚向直流リアクトル(平衡用)の
%負荷に対するインダクタンス

Fig. 3.9 Inductance against percent load of DC reactor.

(平衡用)の%負荷に対するインダクタンス値を示すもので、この値を使用して上と同様に実際の場合の循環電流を計算した結果を次の図3.10に記入した。

図3.10は相間リアクトルのいろいろのインダクタンスの値に対して100%負荷、 $\alpha=0$ における循環電流を同様にして計算した結果を総括して示したものである。

図3.10に示すように平衡リアクトルのインダクタン

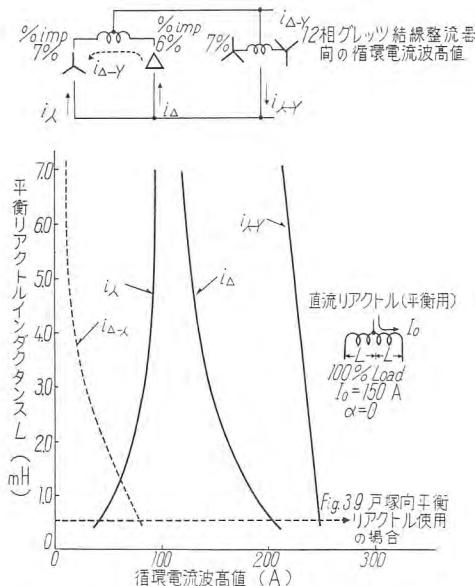


図 3.10 国鉄戸塚変電所の 100% 負荷時における直流リアクトル(平衡用)のインダクタンスに対する循環電流波高値(100% Load $\alpha=0$)

Fig. 3.10 Crest value of circulating current against inductance of DC reactor during 100% loaded hour.

スを大きくすれば 12 相ブリッジ結線整流器の循環電流波高値は単独運転時に点線で示した $i_{△-Y}$ のように減少し、6 相二重星形整流器と並列運転する場合は入/入トランス側 (% imp. 7%) の循環電流 $i_{△-Y}$ の波高値は増大し、入/ Δ トランス側 (% imp. 6%) の循環電流 i_{Δ} の波高値は減少し両者は平衡状態に近づく。一方並列二重星形整流器側 (% imp. 7%) の循環電流は 12 相ブリッジ結線回路に挿入された直流リアクトル(平衡用)のインダクタンスを大きくしてもあまり減少しない。

3.3 失弧および逆弧による直流リアクトル、直流フィルタの過渡現象

12 相ブリッジ結線整流器および 6 相二重星形整流器がそれぞれ単独あるいは並列に運転している際、いずれかの 1 相が失弧すると直流電圧が急変して直流リアクトルや直流フィルタに振動電圧を発生するおそれがある。けれども 1 相失弧による直流電圧の変動は並列運転時には健全並列器により軽減されることも予想される。これらを検討するために前述の図 3.2 の戸塚変電所模擬回路の各整流器に 1 相失弧あるいは逆弧を発生させた場合のオシログラムを検討した。

なお図 3.2 に示す模擬回路に使用した直流フィルタの共振高調波次数 n は 6, 12, 18, 24 であるが、模擬回路では鉄心リアクトルを使用するため実効抵抗を実回路に換算すると既設フィルタよりかなり大きく、表 3.1 のようになっている。

表 3.1

次 数	模擬回路 (Ω)	実回路に換算 (Ω)	実回路 (Ω)
6	20	0.40	0.031
12	47	0.94	0.050
18	72	1.44	0.081
24	100	2.00	0.081

なお格子制御電圧の中によって現象が異なることも予想されるが、一応この実験では電子管格子制御回路を最

大格子巾(電気角 100 度)にセットして使用した。

- (1) 12 相ブリッジ結線整流器の入/入トランス側に 1 相失弧を発生させた場合。

図 3.11 (a): 12 相ブリッジ結線整流器と 6 相二重星形結線整流器を並列に運転した場合にブリッジ結線入/入トランス側に強制的に 1 相連続失弧を発生させた場合の直流電圧、直流リアクトル電圧およびフィルタの第 1 共振リアクトル電圧および直流電流を示す。並列器によって直流電圧その他の変動が小さく、危険電圧は発生しないようである。

図 3.11 (b): 12 相ブリッジ結線整流器の単独運転時に入/入トランス側に強制的に 1 相連続失弧を発生させた場合で、並列器がないため直流電圧その他の変動が大

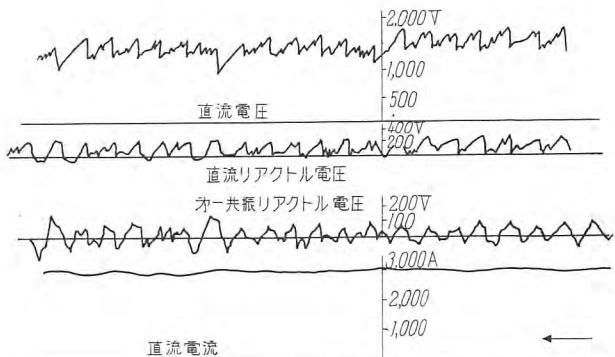


図 3.11 (a) 12 相ブリッジ結線 6 相二重星形結線並列運転 グレッジ結線入側 1 相失弧直流リアクトル(平衡用)あり

Fig. 3.11 (a) Parallel operation of 12 phase bridge connection and 6 phase double star connection.

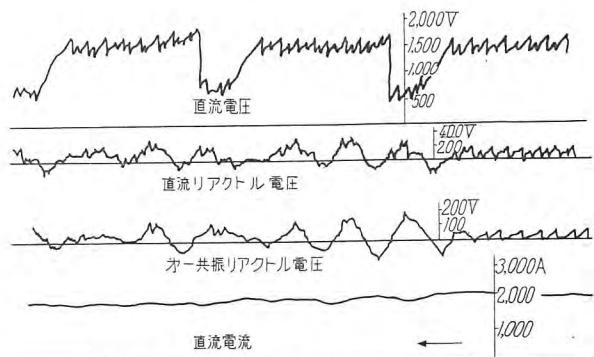


図 3.11 (b) Δ/Δ 12 相ブリッジ結線だけ運転 入側 1 相失弧、直流リアクトル(平衡用)あり

Fig. 3.11 (b) Delta-star 12 phase bridge connection alone in operation.

きいが、正常な並列 6 相ブリッジ回路のため直流電圧が零に低下することはない。

- (2) 12 相ブリッジ結線整流器の入/ Δ トランス側に 1 相失弧を発生させた場合。

図 3.12 (a): 図 3.11 (a) と同様並列運転時に 12 相ブリッジ結線整流器の入/ Δ トランス側 1 相連続失弧を発生させた場合の直流電圧、直流リアクトル、フィルタリアクトルの電圧および直流電流でやはり並列器のため直流電圧その他の変動が小さい。

- 図 3.12 (b): 図 3.11 (b) と同様単独運転時にブリッ

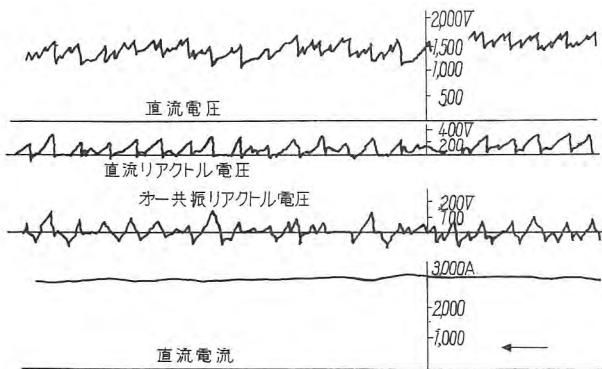


図 3.12(a) 12 相ブリッジ結線 6 相二重星形結線並列運転
△側 1 相失弧、直流リアクトル(平衡用)あり

Fig. 3.12 (a) Parallel operation of 12 phase bridge connection and 6 phase double star connection.

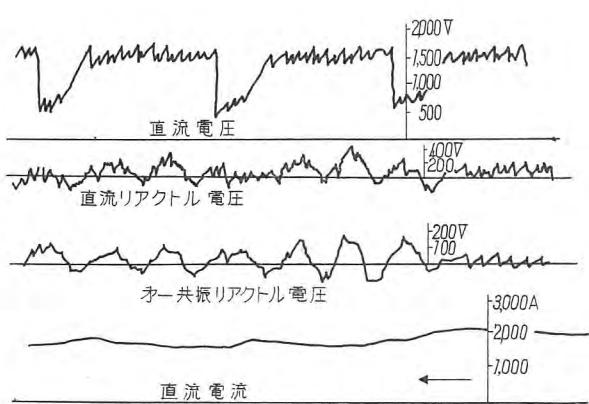


図 3.12(b) △一人 12 相ブリッジ結線だけ
△側 1 相失弧、直流リアクトル(平衡用)あり

Fig. 3.12 (b) Delta-star 12 phase bridge connection alone.

ジ結線整流器の Δ/\triangle トランシス側に強制的に 1 相失弧を発生させた場合で、並列器がないので直流電圧その他の変動が大きくなるが正常な並列 6 相ブリッジ回路のため直流電圧は零まで低下することがない。

(3) 6 相二重星形整流器に 1 相失弧を発生させた場合

図 3.13(a): 12 相ブリッジ結線整流器との並列運転時に 6 相二重星形結線整流器側に 1 相失弧を発生した場合の直流電圧、直流リアクトル、フィルタリアクトルの電圧および直流電流で並列器のため直流電圧その他の変動は小さいが、前述のブリッジ結線側失弧に比較して若干変動が大きい。

図 3.13(b): 単独運転時の 6 相二重星形結線整流器に強制的に 1 相連続失弧を発生させた場合で、前述の 12 相ブリッジ結線整流器の場合より直流電圧その他の変動が大きく、直流電圧は零まで低下する。

(4) 6 相二重星形整流器に逆弧を発生させた場合

逆弧が発生した場合について述べたように問題はないとして、並列運転時および単独運転時において 6 相二重星形整流器に強制的に連続逆弧を発生させた場合のオシログラムを図 3.

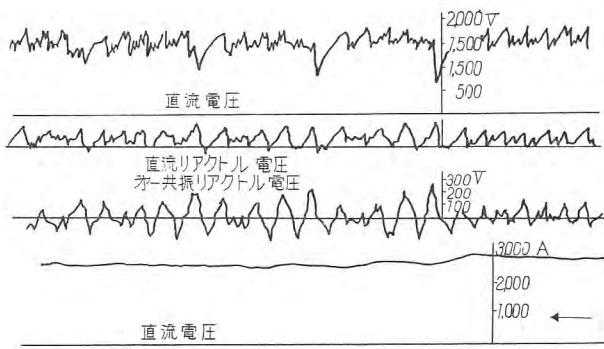


図 3.13(a) 12 相ブリッジ結線 6 相二重星形結線並列運転
6 相二重星形結線 1 相失弧、直流リアクトル(平衡用)あり

Fig. 3.13 (a) Parallel operation of 12 phase bridge connection and 6 phase double star connection.

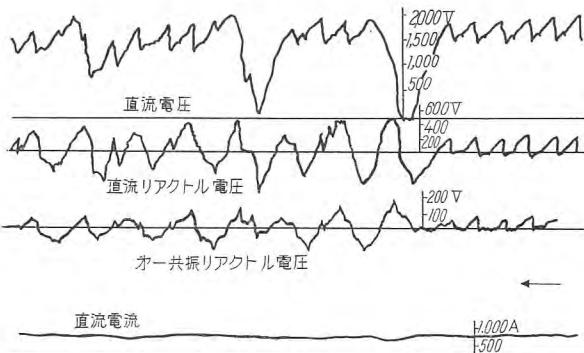


図 3.13(b) 6 相二重星形結線だけ、1 相失弧
Fig. 3.13 (b) 6 phase double star connection alone.

14(a) および図 3.14(b) に示した。

3.4 直流側高調波電圧

12 相ブリッジ結線整流器の採用により、6 相二重星形整流器の場合より直流側高調波電圧が減少し、誘導障害

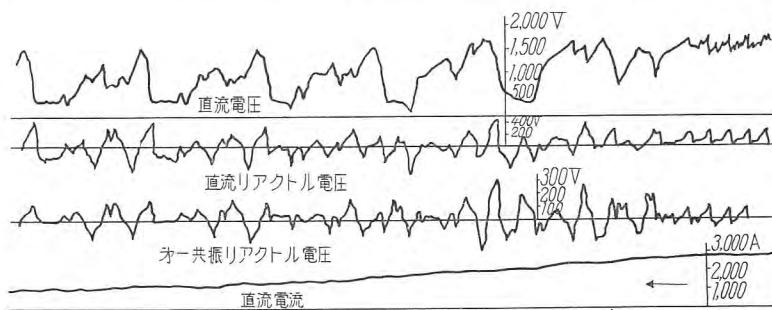


図 3.14(a) 12 相ブリッジ結線 6 相二重星形結線並列運転
(6 相二重星形結線 1 相逆弧)

Fig. 3.14 (a) Parallel operation of 12 phase bridge connection and 6 phase double star connection.

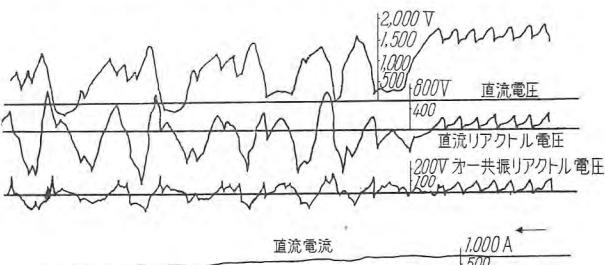


図 3.14(b) 6 相二重星形結線 (1 相逆弧)

Fig. 3.14 (b) 6 phase double star connection alone.

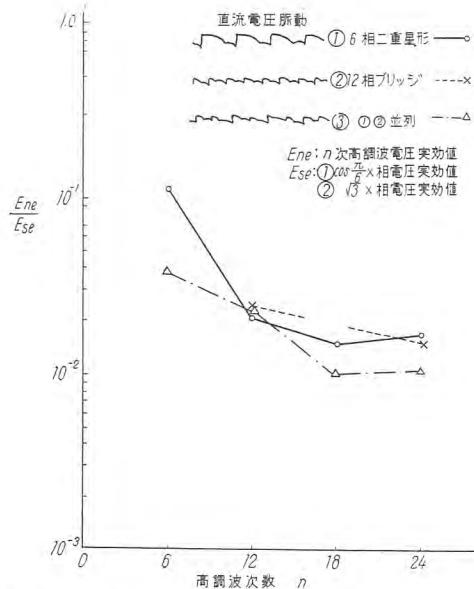


図 3.15 直流側高調波電圧の波形分析（フィルタなし）
 $\alpha=0$ 100% Load.

Fig. 3.15 Wave form analysis of DC side higher harmonic voltage.

が軽減されることが予想されるが、さらに 6 相二重星形回路と並列運転した場合をも検討するため図 3.15 のように 6 相二重星形回路、12 相ブリッジ回路および両者並列運転回路の直流脈動電圧のオシログラムを計算により波形分析した。

図 3.15 は直流側フィルタなし、 $\alpha=0$ 、100% 負荷の場合であるが、陽極電流の重なりのためのこぎり歯状波脈動電圧となっている。12 相ブリッジ結線回路では第 6、18 調波は消失し、6 相二重星形結線と並列運転すると第 6、18 調波も現われるが、6 相二重星形整流器の単独運転時と比較して各高調波電圧が減少している。

4. 実験結果の考察

電鉄用変電所向として今回はじめて採用された 12 相ブリッジ結線整流器の問題点を説明し、これらを検討するために行われた模擬回路による実験について述べたがその結果より次の諸点が考察される。

4.1 循環電流

12 相ブリッジ結線整流器では 2 組の 6 相整流器相電圧の間に 30 度の位相差を有するため循環電流が流れるが、これは直流リアクトル（平衡用）を使用すればいちじるしく軽減できる。ただし 6 相二重星形整流器と並列運転する場合はこれとの間に流れる循環電流は直流リアクトル（平衡用）によって制限できないけれども、この場合でも直流リアクトル（平衡用）によって 12 相ブリッジ結線整流器の各 6 相回路の循環電流が平衡状態に近づき相当軽負荷となるまで電流が断続することがない。

4.2 失弧、逆弧による回路の過渡現象

12 相ブリッジ結線整流器の単独運転時に 1 相失弧すれば健全 6 相整流器が並列に存在するから直流電圧変動、直流リアクトル、フィルタリアクトル誘起電圧、直流電

流変動は 6 相二重星形整流器に比べて小さく、直流電圧も零まで低下しない。

6 相二重星形整流器と並列運転する場合はさらに条件がよくなり、回路の過渡的変動がいちじるく減少する。この場合 6 相二重星形整流器側で 1 相失弧をしても若干変動が大きい程度に過ぎない。

6 相二重星形整流器側に逆弧が発生すると、直流電圧が零点まで低下し、直流リアクトルに相当振動電圧を発生するが、ブリッジ結線整流器と並列運転している場合には直流電圧の変動や直流リアクトルの電圧振動が緩和されている。ただし並列運転時において逆弧発生後の直流側フィルタリアクトルの振動が大きく表われているがこれは逆弧発生位相によって電圧振動が大きく出る場合があるためかどうか未検討である。

4.3 直流側高調波電圧

フィルタなし、100% 負荷、 $\alpha=0$ の場合の直流電圧脈動のオシログラムを波形分析した結果

(1) 12 相ブリッジ結線整流器では二重星形整流器の場合と比較して第 6、18 調波が発生しない。

(2) 12 相ブリッジ結線整流器と 6 相二重星形整流器の並列運転時には第 6、18 調波も発生するが、各次数調波ともおおむね低減する。したがって 12 相ブリッジ結線整流器を採用することによって誘導障害が軽減することが期待される。

5. むすび

今回はじめて電鉄用変電所向としていろいろ利点を具備した 12 相ブリッジ結線イグナイトロン整流器を採用するにあたり、国鉄戸塚変電所を対象として新方式整流器の回路現象の検討を行った結果

(1) 逆弧に対して被害が軽小で、かつ 54P の責務を軽減できる。

(2) 循環電流は直流リアクトル（平衡用）によっていちじるしく軽減でき、6 相二重星形整流器と並列運転してもあまり大きくならないから、十分軽負荷になるまで電流が断続することがない。

(3) 6 相二重星形結線整流器と並列運転する場合はもちろん、単独運転の場合にも従来の 6 相二重星形整流器に比較して失弧、逆弧による回路の過渡的擾乱がいちじるしく軽減される。

(4) 直流側高調波電圧が低減するから誘導障害の軽減が期待される。

などの諸点が明らかになり、新方式 12 相ブリッジ結線整流器を採用することの有望性に対して確信を深めたのであるが、この確信はすでに実運転にはいった現在、着々と裏づけられつつある。

おわりにこの報告に対していろいろご助言をいただいた安藤電気第一研究室長、加藤整流器課長およびご援助をいただいた己斐整流器課副課長、阿部研究員の各位に対し御礼申上げて擲筆する。

新形超音波探傷機 FD-5 形とその応用例

無線機製作所 馬場文夫^{*}・大鳥羽幸太郎^{**}・松元雄蔵^{**}

New Ultrasonic Flaw Detectors Type FD-5 and Their Application

Electronics Works Fumio BABA · Kōtarō ŌTOBA · Yūzō MATSUMOTO

The ultrasonic method of flaw detection—a newcomer in the field of non-destructive testing—is rapidly gaining popularity in the industry because of their applicability to the material in the stage of fabrication and to the product in service. New Mitsubishi ultrasonic flaw detectors, Type FD-5, the latest development of the kind that pioneered the circles, have found their way into new application. A wide range of new techniques including an angle beam method and an immersion method prove themselves very successful in the medical examination of human hearts, promising a bright future of this equipment.

1. まえがき

すべての近代工業において製品の品質向上のために材料に対する要求がきびしくなるにつれて、非破壊検査するわち材料あるいは製品の品質を原形や機能をまったく変化させずに検査することができますます重要となってきた。

非破壊検査を行えば全数検査ができるので抜取の破壊試験に比べてはるかに製品の信頼度を高めることができ、また製品の加工前あるいは加工途中で欠陥を未然に発見することができるので、原価低減にもいちじるしく功献する。

従来の代表的非破壊検査法はX線検査であったが、最近数年間における超音波検査法のいちじるしい発達と普及により今や超音波探傷機は非破壊検査法の代表的地位を占めるに至っている。これは超音波のすぐれた性質によるもので

- (1) 透過能力が大きく大形材料から薄物まで検査できる。
- (2) 装置が簡単で可搬形、移動も容易でかつ測定精度が高い。
- (3) 測定が容易で個人差が少なく放射線障害などのおそれがない。

などがそのおもな理由である。



図 1.1 FD-5 形超音波探傷機
Fig. 1.1 Ultrasonic flaw detector type FD-5.

超音波探傷機は初期には大形の鍛鋼品などに用いられていたが、最近では他の電子工業機器と同様装置も改良されまたその応用方法も種々考案され後述する応用例にみると薄板、原子炉用材料あるいは人体への応用も行われており、ことに



図 1.2 FD-5 形超音波探傷機本体前面カバーおよび付属品箱
Fig. 1.2 Front view of type FD-5 flaw detector (cover removed and box for accessories).

最近の原子力工業の発達には不可欠の装置となってきている。

当社のFD形超音波探傷機は本邦における超音波探傷のパイオニアとして開発以来つねに新しい技術を取り入れ、各種の要望に答えてきているが、昨秋図1.1および図1.2に示すような外観の新形超音波探傷機FD-5形を発表しすでに50台近く各方面に納入して好評を得ている。

この項ではその装置の概要といくつかの応用例を述べ非破壊検査の参考に供する次第である。

2. 超音波探傷の一般事項

FD-5形探傷機の性能、仕様および各種試料についての応用例を述べる前に、すでによく知られていることではあるが、超音波探傷に関する一般事項および探傷方法について述べておくことは、さらにその理解を容易にするのに役立つと思われる所以以下簡単に触れる。

2.1 超音波の性質および勢力反射率

超音波は可聴周波数以上の音波であるが、音波としての性質はまったく変わらず物質中の伝播速度は表2.1のように空気中で毎秒330m、水中で1,430m、鋼鉄中で約6,000mであり、波長は探傷に用いられるMc領域ではきわめて短い。

表 2.1 各種材料中の伝播速度および波長
伝播速度 (cm/sec) 波長 (mm)

物質	縦波	横波	1 Mc	3 Mc	5 Mc	1 Mc	3 Mc	5 Mc
	縦波	横波	縦波	横波	縦波	横波	縦波	横波
アルミニウム	6.35×10^5	3.13×10^5	6.35	2.12	1.27	3.13	1.04	0.63
銅 鉄	5.88 "	3.31 "	5.88	1.94	1.17	3.31	1.10	0.66
真 錫	4.63 "	2.07 "	4.63	1.54	0.93	2.07	0.69	
水	1.43 "		1.43	0.48	0.29			
鉛	2.26 "	0.74 "	2.26			0.74		
ポリスチロール	2.67 "							

表 2.2 各種物質境界面の勢力反射率

	空気	水	ポリスチロール	鉛	真鍮	銅 鉄	アルミニウム
アルミニウム	100	72	51	4	16	20	0
銅 鉄	100	88	78	8	0.5	0	
真 鍮	100	87	75	5	0		
鉛	100	80	64	0			
ポリスチロール	100	11	0				
水	100	0					

$$\text{勢力反射率} = \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2} \quad \rho: \text{密度} \quad c: \text{伝播速度}$$

通常音波は疎密波（縦波）であるが固体中では振動方向が音波の伝播方向に垂直ないわゆる横波も生ずる。この横波の伝播速度は縦波のそれの約 1/2 である。

超音波探傷機の原理はレーダーと同様で、試料中に欠陥あるいは異種金属介在物などが存在すると超音波パルスの一部は反射されてもとの方向にもどる。

境界面における勢力反射率は表 2.2 のようだ、たとえば試料中にごくわずかな空隙すなわち傷があっても音波は、100 % 反射されるから十分反射波として受信することができる。たとえその空隙がクラックやラミネーションのように厚さがほとんどないと考え得る場合でも十分反射する。X 線の場合は、板厚の少なくとも 10 % 以上の空隙がないと検出できないが超音波の場合は試料の厚さに関係なく、たとえば 3 Mc で 3×10^{-3} mm 程度の薄層からでもなお 50 % 以上反射してくるから十分探傷できる。この性質は放射線の透過検査に比べて超音波探傷の非常に大きな利点である。

2.2 周波数選定、感度規正および接触条件

超音波は試料内を伝播する際散乱および粘性などによって減衰する。一般には鋼その他組織の緻密な物質中の減衰は少ないが組織のあらいもの、多孔質や介在物の多い物質では減衰が大きい。周波数が高くなれば分解能は上り検査精度はよくなるが減衰は増す。減衰の状態は

表 2.3 超音波検査の適用例

種目	被検査物	適用周波数 (Mc)	検査方式
+	鋼板材 (大形、小形) パイプ傷、砂傷、ゴーストなど	2~5	探傷 (反射) および透過 (水浸法を含む)
	車輌など長尺物	1~3	探傷 (多重反射法を含む)
	鉄 銅 製品	0.5~3	探傷および透過
	鋼 材 溶接部	1	探傷および透過
非 金 屬	鋼板ラミネーション	2~5	探傷
	アルミニウム インゴット	2~5	探傷
	軽 合 金	3~5	探傷および透過 (水浸法を含む)
	銅 合 金	1~3	探傷および透過
金 屬 材 質 判 定	各種金属接着状況	1~5	探傷および透過 (多重反射を含む)
	金属材質判定	1~5	探傷および透過
非 金 屬	黒 鉛 電 極	0.5~1	探傷および透過
	コ ン ク リ ト	0.3~0.5	探傷
	人 体 内 异 物	1~5	探傷
更 改 用 等 査	機械部品疲労	3~5	探傷 (多重反射を含む)
	一般回転軸	1.5~5	探傷
	車 輛 ク ラ ッ ク	1.5~3	探傷 (多重反射を含む)
	ボイラーウルトラソニック	2~5	探傷 ("")

材質によって大きく異なるので周波数の選定が適当でないと検査精度の低下や減衰のための測定不能を招来する。

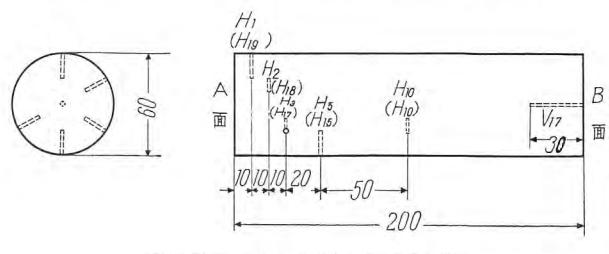
適用周波数範囲の一例を表 2.3 に示すが実際には探傷方法や目的によって異なるので或る程度の予備実験によって材質と目的に適した周波数を見出すことが望ましい。

探傷にあたって必要なことは探傷の条件が再現でき、かつそれが問題となるべき傷に対して適当であることである。すなわち感度を上げれば検出できる傷も感度を下げれば検出できないから同種の材料は互に同一条件で探傷することが必要になる。このためには標準あるいは対比標準試験片を用意しその試験片にドリル穴などの人工傷を与え、それからの反射波により総合感度を規正することが広く用いられている。この際総合感度に影響するすべての要素すなわち出力、増幅度、水晶振動子の直径などを同一条件にしないと同一感度に規正してもなお誤差を生じるので注意を要する。さらに試料の表面の仕上げの粗密により音波の試験片内への伝播が異なるのでできるだけ探触子と試料との音響的結合を良くして十分試験片内に勢力を投射することが必要でありこのため通常マシン油などが用いられるがさらに凹凸のはなはだしい場合はグリース、水ガラス、粘土を用いたり、試験片を水中に浸漬する水浸法が行われる。

2.3 標準試験片および探傷方法の JIS

超音波探傷が広く用いられ、材料の受渡しなどにも使用されるようになって前項に述べた感度規正が重要になってきた。すなわち納入検査の際製造者側と購入者側で同一感度で検査を行なうようにしないと適切妥当な合否判定が行えずつねに紛争が起る。また感度の再現が不正確であると判定がその都度異なり、超音波探傷そのものの信頼性も疑われるようになる。

このため日本学術振興会第 19 委員会 (製鋼) が中心となり学振 I 形および II 形感度標準試験片を制定した。



H₁~H₁₀ 0.4 mmφ, 15 mm ドリル穴
V₁₇ 2 mmφ, 30 mm 平底 ドリル穴

図 2.1 学振 I 形標準試験片

Fig. 2.1 GAKUSHIN standard test block type I.

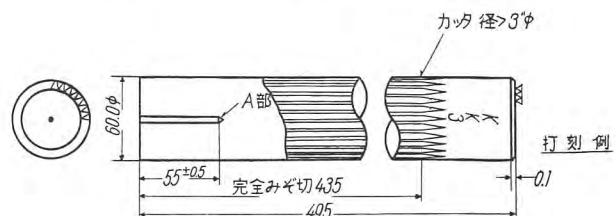


図 2.2 学振 II 形標準試験片

Fig. 2.2 GAKUSHIN standard test block type II.

I形およびII形の寸法は図2.1および図2.2に示すとおりで、純アルミ素材にドリルにより人工傷を与えてあり、素材は住友金属名古屋伸銅所で製作、加工は新三菱重工神戸造船所で行い関係者に配布されている。現在では探傷の感度規正はほとんど試験片により行っているが昨年秋シカゴで開催された第2回国際非破壊検査会議にも報告され、米、英、独などよりも多大の関心が寄せられた由である。

さらに探傷の方法や報告の形式も従来思い思に行われてきたが、昨年JIS-Z2344「金属材料の超音波試験方法」が制定され、探傷方法や用語も統一されたので報告書などもすべてこの方式によるのが便利である。

3. 超音波探傷の方法

3.1 探傷法の概要

超音波探傷を行うにあたっては、試料の寸法、材質に適した周波数を選定することとともに、予想される傷の検出に適した実用的な探傷方法を選ぶことが必要である。探傷方法は大別すれば垂直法、斜角法、透過法、水浸法などに分けられさらにまた、一探触子法と二探触子法あるいは直接接触法と水浸法といった分類もあるが簡単のため前記四方法に分けて述べることとする。なお注意しなければならないことはこれらの方法はそれぞれ独立したものではなく互に関連を持っていることで、たとえば5.1で述べる六角ボルトの探傷例でもわかるように垂直法でボルト内部の欠陥反射をみている場合も単に欠陥反射波だけによる判断だけでなく底面反射波の高さにも十分注意しないと、傷が角度を持った大きいものである場合、欠陥反射は現われず底面反射もいちじるしく小さいという像を得ながら、傷がないというまちがった判定を下すことが往々にしてある。この場合は破壊試験などによりこの傷は大きいとした判定が正しかったことが証せられたが欠陥の形、大きさなどにより試料内での減衰あるいは散乱が変化することも重要な要素で欠陥反射がないということだけでは判定にならないことに留意しなければならない。この点が超音波探傷で重要なことでその性質を十分理解し的確な総合判定が下せるよう多くのデ

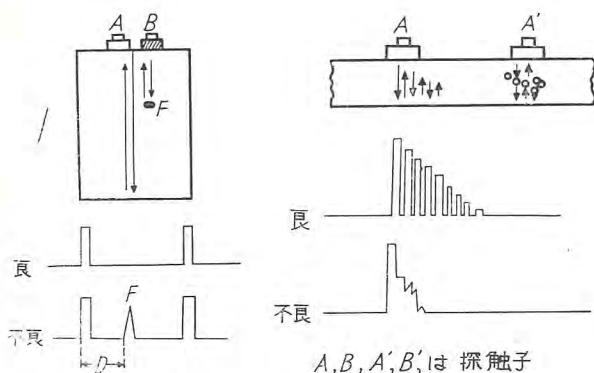


図 3.1 垂直法（多射法）
Fig. 3.1 Vertical method (reflection method).

ータを積上げ探傷に熟達することが必要である。

3.2 垂直法（欠陥反射および多重反射）

図3.1は縦波を使用するもっとも一般的な方法で一探触子の場合は探触子Aは送信受信を兼用する。二探触子の場合は送受別々に探触子ABを使用する。

判定は欠陥反射Fによるか、図3.2のように試験中の多重反射すなわち超音波の減衰の程度で材質を判定する。二探触子法の場合送信パルスが直接受信回路にはいらないのでみかけの送信パルス巾も狭くまたいわゆる追込み現象による近距離領域での受信機の感度低下がないから探傷面に非常に近い欠陥も検出できる利点があるが、指向性のずれによる不感域ができ取扱も一探触子に比べてやっかいである。英國ではあらかじめ適當な角度を持ったくさびをとりつけたものが広く用いられているがこれは縦波による斜角法と称すべきである。

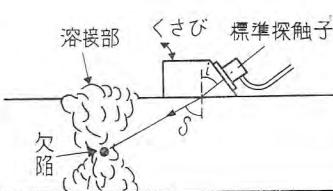


図 3.3 斜角探傷法
Fig. 3.3 Angle beam method (transverse wave).

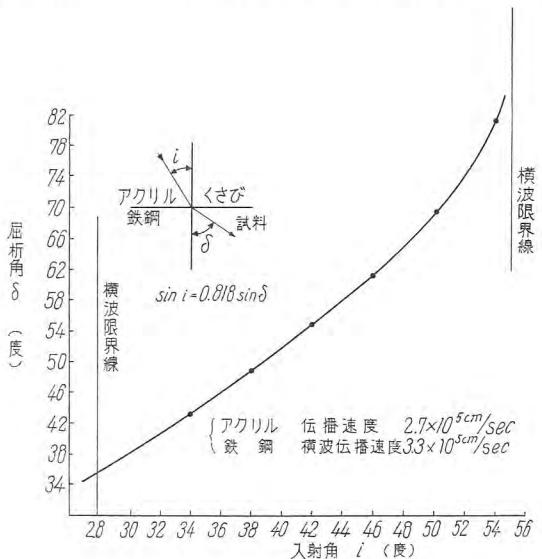


図 3.4 アクリルから鉄鋼への入射角と屈折角との関係
Fig. 3.4 Angle of incident beam in steel plate.

3.3 斜角法（主として横波）

垂直法による探傷が困難な場合たとえば図3.3のように溶接部の欠陥などをみる場合に用いられる。

合成樹脂のくさびを用いて試料に縦波を入射角*i*で投入すると図3.4に示すような関係で試料内に屈折角*δ*なる横波が投入される。横波の伝播速度は縦波の約半分くらいであるから同一周波数であれば横波のほうが探傷面に近い欠陥の探傷が容易であり薄物材料に広く用いられる。

欠陥からの反射率、分解能などは縦波の場合と同様であるがくさび内での減衰と一探触子の場合には遅れエコーがあるので感度を若干上げるとともに遅れエコーを除く。

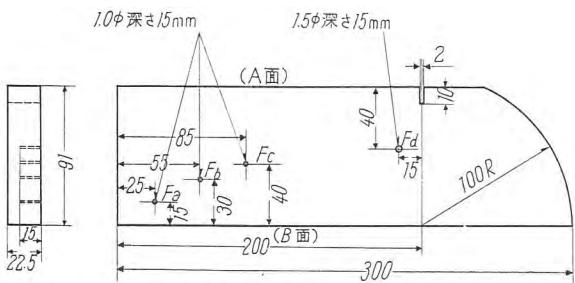


図 3.5 斜角探傷用基準片

Fig. 3.5 Reference test block of angle beam method.

去する方法が必要である。二探触子の場合は遅れエコーの妨害はないから薄板の溶接部の探傷では二探触子のほうがすぐれており溶接部に起るブローホール、スラッグ、溶込み不良などの欠陥の類別も判定できるが両探触子の保持には注意を要する。一般に反射、屈折は光学的原理と同様に扱ってよいから板厚に対して適当な角度を幾何学的に選定することができる。ただしきさび内の音速が異なると屈折角も異なるから実際には図 3.5 のような斜角探傷用基準片を用いくさび内での音束の中心と、試料への屈折角を実測するのが便利でこの基準片はオランダで発表されているものであるが非常に便利である。

3.4 透過法

図 3.6 のように試料の片側から送信し、反対側で受信して試料内での減衰から材質の良否を判定する方法である。探触子の指向性が鋭いのでその対向にとくに注意しないと誤差を生じる。この方法は個々の細い欠陥を問題とせず材質の程度を判定する場合、あるいは薄板内のラミネーションの検査などに便利で、5.3 項で述べる厚さ 1 mm の実験用原子炉燃料板の探傷は後者の実例で、この方法以外実際には不可能といつても過言ではない。また応用例の最後で述べるようにこの方法を活用して密閉された容器内の液面の測定を透過波によって行うといったことも可能である。

3.5 水浸法

図 3.7 のように試料を水槽中に浸し水を通して超音波を投入する方法である。水中での減衰が比較的大きいという不利はあるが、それを補ってあまりある多くの利点すなわち

(1) 表面のあらい

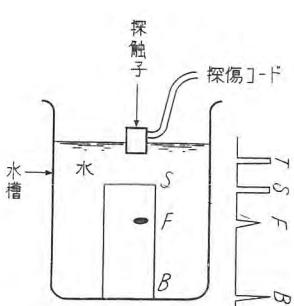


図 3.7 水浸法

Fig. 3.7 Immersion method.

新形超音波探傷機 FD-5 形とその応用例・馬場・大鳥羽・松元

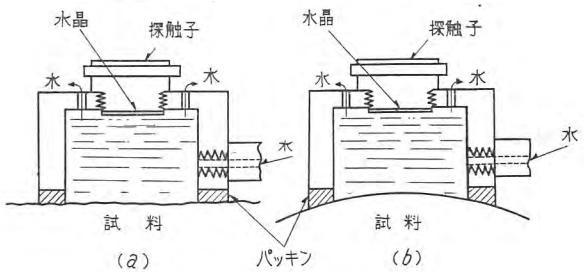


図 3.8 簡易式水浸法

Fig. 3.8 Simplified immersion method.

あるいは凹凸曲率のあるものでも十分探傷できる。

- (2) 連続全面検査が可能で、探触子の接触による誤差がなく検査の精度および能率がいちじるしく向上する。
- (3) 直接接触法に比し、追込み現象、近距離音場の影響、横波の干渉などを除去できる。

等々の特長を持っているので最近非常に重要視され、ことにマスプロの過程で非破壊検査を行なうには絶対に必要な方法である。

ただ試料を水槽中に浸漬することが手数でもありまた不可能な場合もあるので当所では図 3.8 に示すような方法を開発、簡易式水浸法と呼んで種々実用に供しており、当社伊丹製作所の原子炉用ボイラの全面検査にも使用される予定である。水浸法では垂直法、斜角法、透過法がすべて可能であるが、水中での音速が比較的小さいので入射角と屈折角の関係は合成樹脂の場合と大きく異なる。

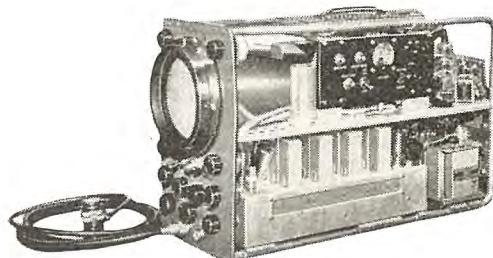


図 4.1 FD-5 形探傷機の内部構造

Fig. 4.1 Inside view of type FD-5 flaw detector.

4. FD-5 形超音波探傷機

FD-5 形超音波探傷機の外観は前掲の図 1.1 および図 1.2 のとおりで、前面カバーの内側には常用の探触子 2 個と探傷コードが収納できるようになっていて携帯に便利である。観測用のプラウン管は 120 mm、緑色ハンマートーン塗装のスマートな構造で重量約 20 kg、寸法は 20×29×54 cm で移動もきわめて容易である。

本機の特長とするとところは

- (1) 一探触子法と二探触子法が切替で簡単にできるので応用範囲が広い。
- (2) 標準周波数は 5 周波、図 4.1 に示すようなブロック式構造で周波数の変更も容易である。
- (3) 距離目盛は連続可変、感度の調整は円滑でかつ

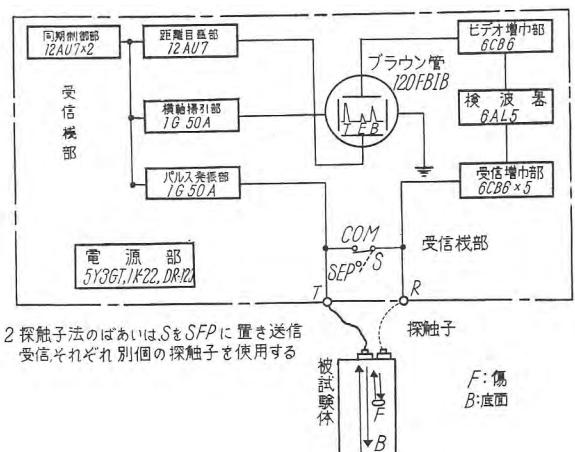


図 4.2 FD-5 形超音波探傷機電気系統図

Fig. 4.2 Schematic diagram of type FD-5 flaw detector.

範囲も広く反射波の比較が容易である。

(4) 付属の標準探触子は水浸法にも使用できる。また簡単なアタッチメントを付して斜角法を行うことができる。

などで、新しい超音波探傷法がほとんど本機 1 台で行えるように設計されている。

本機の電気的系統図は図 4.2 のとおりで使用真空管もほとんどが標準形ミニチュア管であり、またサイラトロンの保護のため遅延リレーを用いるなど装置の信頼度と寿命にとくに留意している。

屋間屋外での使用的ためには折たたみ式フードを備えまた記録の撮影はキャノン撮影装置で簡単に行える。電源電圧の大巾な変動に際しては 90~120 V まで切替えて使用することができ、電源電圧計を自蔵し総合感度の保持に役だせている。

FD-5 形探傷機の主要性能は以下のとおりである。

測定距離	1~6 m (垂直探傷法)
測距誤差	10 % 以内
使用周波数	標準 1, 1.5, 2, 3, 5 Mc
パルス波形	衝撃性高周波減衰振動
パルス巾	約 1~30 μs 連続可変
パルス出力	せん頭値約 650 V
受信増幅度	100 db 以上

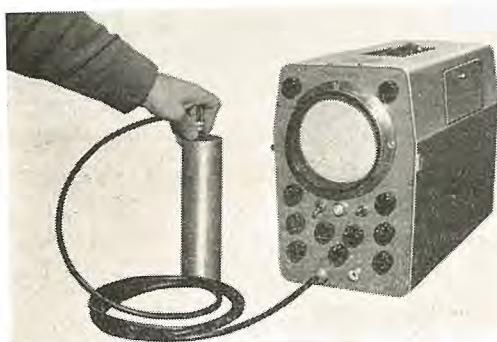


図 4.3 学振 I 形試験片の探傷状況

Fig. 4.3 Inspection of GAKUSHIN type I standard test block.

利得調整範囲

60 db 以上

距離目盛

約 3~30 cm 連続可変

ただし材質中の音速により異なる

電源電圧

AC 100 V, 50~60 c/s

ただし 90~120 V 切替可能

消費電力

約 120 W

取扱いはきわめて簡単で危険はまったくない。図 4.3

は FD-5 形で学振 I 形標準試験片の探傷状況を示す。通常探触子と試料との接触を良くするため探傷面に清潔な油を塗布する程度の注意で十分である。標準探触子は簡単に探傷コードの先端で着脱でき周波数の変更も容易である。探触子には X カット水晶振動子を用い 1 Mc 用は 25 φ 他は 20 φ であるから指向性はきわめて鋭くたとえば 3 Mc では鋼材中で約 6 度である。振動子はいわゆる無接地電極式であるから金属材料の探傷の場合はそのまま表面に接触させれば良いが、合成樹脂のくさびを用いて斜角法を行う場合や水浸法の場合は接地電極を錫またはアルミなどの箔で簡単に形成してやる必要がある。通常金属材料の場合試料をとくに接地する必要はないが、高感度のため放送局に近接した地域などで 1 ないし 1.5 Mc に放送波が混信する場合は接地をとることによりほとんど妨害電波を除去できる。

探傷コードは標準長 3 m でありほとんど通常の測定に支障はないが、特別な場合 6 m 程度まで延長したものを供給できる。ただし、高周波であるからケーブル内での減衰はそれだけ増加し、3 Mc 以上では相当総合感度が低下するのでできうれば標準長のものを使用することが望ましい。

探触子の水晶の径がさらに小さい 15 φ あるいは 10 φ 程度のものあるいは曲率を持った振動子のものも供給可能であるから特殊な形状のものも探傷することができるが、水晶の径が小さくなれば、出力および指向性が低下し総合感度は標準の探触子より低下する。

FD-5 形超音波探傷機の標準の構成はつきのとおりである。

- (1) 本体.....1
- (2) 探触子.....1, 1.5, 2, 3, 5 Mc 各 2 個
- (3) 探傷ケーブル.....標準長 3 m 2 本
- (4) 電源コード.....標準長 5 m 1 本
- (5) 現用真空管、サイラトロン.....16 本 1 組
- (6) 付属品箱.....予備ヒューズ 1 組、
予備サイラトロンおよびリレー管
各 1 およびフードなどを収納
- (7) 取扱説明書および試験成績表.....各 1
(なおキャノン撮影装置は別途注文により付属する)。

5. FD-5 形探傷機の応用例

すでに述べたとおり新形超音波探傷機 FD-5 形の製作と、探触子の改良および斜角法、水浸法などの活用によって、超音波探傷の応用領域はいちじるしく広がり、従来不可能視されていた材料、あるいは寸法のものでも

十分探傷が行えるようになってきている。以下当所および当社伊丹製作所ならびに客先におけるいくつかの実例を図あるいは記録により説明する。

探傷の記録の説明に使用した記号は下記のとおりである。

パルスおよびエコーの名称	記号
送信パルス	T
欠陥エコー	F
底面エコー	B
表面エコー（水浸法）	S
不明エコー	X
横穴によるエコー	H
縦穴によるエコー	V
透過パルス	P

なお同一の原因からの多重反射に対しては記号の右下に 1, 2, 3, … を、径路が異なるための遅れエコーには記

号の右上に ' , " , をつけることとし、2 個以上の欠陥反射の場合は記号の右下に a, b, c をつける。

5.1 垂直法

(1) 学振 I 形標準試験片

学振 I 形標準試験片は主として 2 Mc, 3 Mc の感度規正に使用される。寸法その他については 2.3 節および図 2.1 にて説明したがこの試験片には標準傷が探傷面（A 面）より 10, 20, 30, 50, 100 mm の距離にあるので最小探傷距離を測定するのにも便利である。

この試験片により総合感度を規正する方法は、たとえば「学振 I 形の V-17（縦の平底あとの人工傷）よりの反射波の波高値が飽和値の 90 % である」というように、水平の傷の場合は H, 垂直の傷の場合は V で表わし、探傷面から人工傷までの距離を Cm で示した数字を付し、波高の絶対値ではなく、飽和値との比率で現わすようになる。

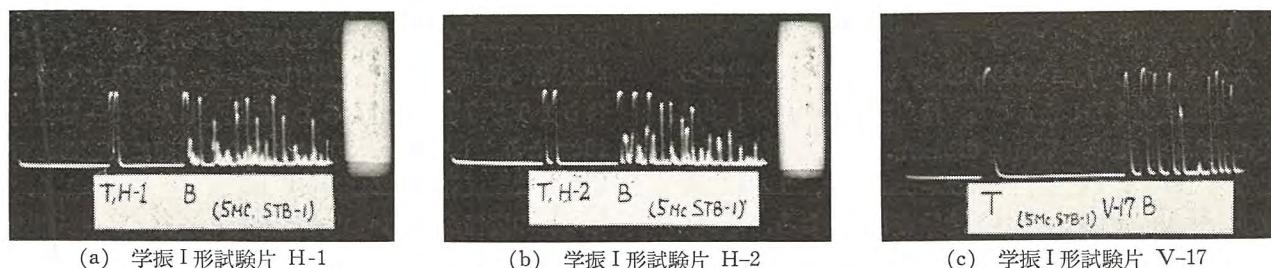


図 5.1 学振 I 形標準試験片の記録
Fig. 5.1 Records of GAKUSHIN S.T.B. type I.

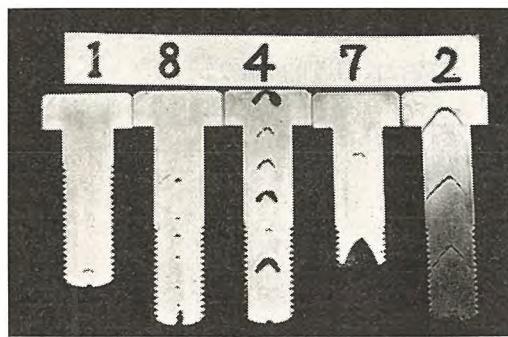


図 5.2 六角ボルト断面のカラーチェック写真
Fig. 5.2 Color check record of hex bolt sections.

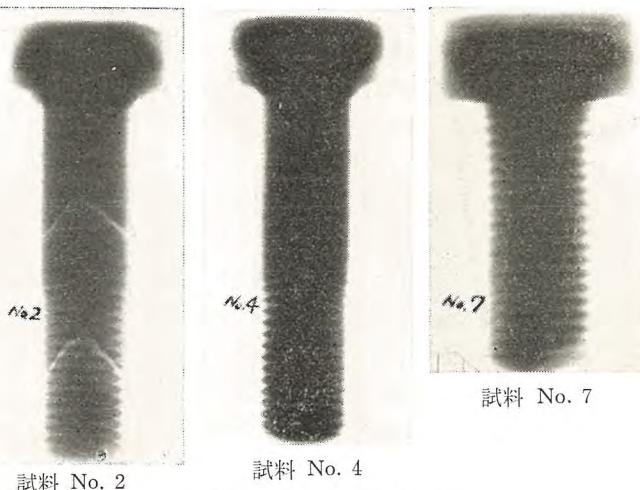
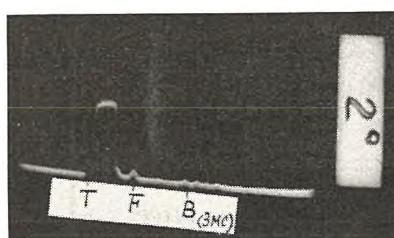
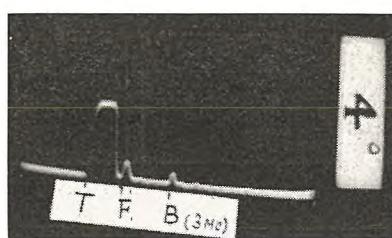


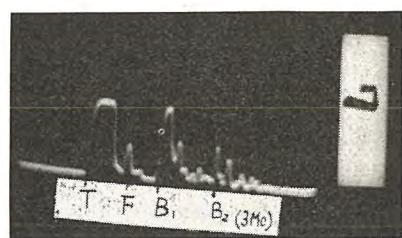
図 5.3 六角ボルトの X 線写真
Fig. 5.3 X-ray record of hex bolt.



(a) 試料 No. 2

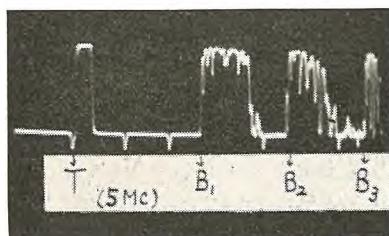


(b) 試料 No. 4

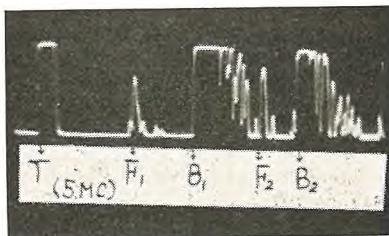


(c) 試料 No. 7

図 5.4 六角ボルトの超音波探傷記録
Fig. 5.4 Ultrasonic inspection of hex bolts.



(a) 欠陥なし



(b) 欠陥あり

図 5.5 鋼棒つき合わせ溶接部探傷記録

Fig. 5.5 Inspection of butt weld joint of steel bars.

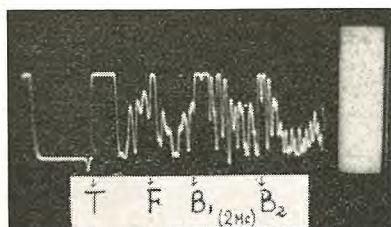
この場合探触子を若干移動させて、規準とする欠陥からの反射波が一番高いところをとる。

図 5.1 (a), (b), (c) は H-1, H-2 および V-17 よりの反射波の状況を示す。使用周波数は 5 Mc, 探触子は標準の 20 φ のものを使用、出力(パルス巾)最小で、それぞれ H-1 および H-2 は 100 %, V-17 は約 95 % である。図をみれば相当分解能が高いことがわかる。

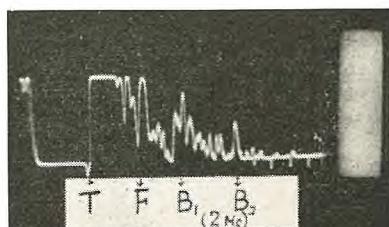
(2) 六角ボルトの探傷

六角ボルト $1\frac{1}{4}$ in $\times 140 \sim 95$ のもの合計 676 本について全数検査を施したこと、はなはだしいロットでは実に 22.6 % という不良率であった。この超音波探傷の結果を確かめるため、X 線、カラーチェック、サルファープリントなどで代表的な試料を検査したところ、この種のものの探傷は超音波が非常に適しており、超音波探傷は X 線よりも確実であるとの結論を得た。

図 5.2 は断面のカラーチェック写真で各ボルトの上の数字は試料の番号である。これらはすべて超音波で不良と判定されたものであるが、図 5.3 の X 線写真でみると No. 2 および No. 4 の試料では欠陥が検出されているが、No. 7 の小さいほうの欠陥になると検出は不可能である。



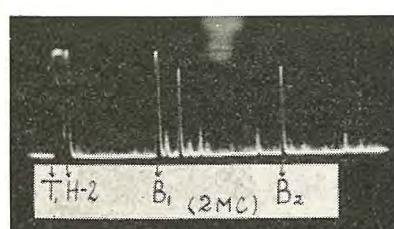
(a) ノジュラの探傷



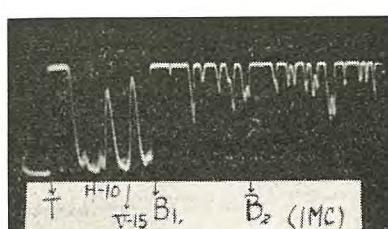
(b) 普通鉄の探傷

図 5.6 普通鉄およびノジュラの探傷

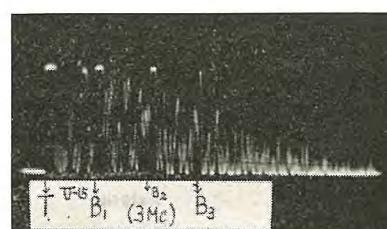
Fig. 5.6 Record of nodular and cast iron.



(a) H-2 (2 Mc)



(b) H-10 および V-15 (1 Mc)



(c) V-15 および B3 100 % (3 Mc)

図 5.7 銅押出し機試験片探傷記録

Fig. 5.7 Ultrasonic record of extruded copper test block.

図 5.4 はそれらの超音波探傷記録である。(a), (b) は傷の形状から欠陥反射および底面反射がともに不明瞭である。これは 3.1 でも述べたとおりで欠陥反射があまり大きくないというだけでなく底面反射が非常にすくないという重要な判定の良い例である。試料 7 では欠陥波も相当あり、かつ底面反射は 100 % に達していること

比較すればよくわかると思う。この判定の基準は多くの測定結果から「欠陥反射波がなく底面反射が飽和値の 80 % 以上あること」と決めた。使用周波数は 3 Mc, 感度は学振 I 形で V-17, 90 % を標準としている。なおこの素材は、冷間引抜みがき六角鋼であった。

(3) 鋼棒つき合わせ溶接部

図 5.5 (a), (b) は 10 φ \times 300 の鋼棒のつき合わせ溶接部の探傷記録である。(a) は欠陥のまったくないものの記録で、底面反射は 3 回飽和している。目盛りはこの場合ちょうど棒を 3 等分するように調整したので一目盛約 10 cm とみなしてよい。(b) は中央の溶接部に欠陥のあるもので欠陥反射は第 2 底面反射の前にも明了にみえる。なお棒の直径が小さいので底面反射の遅れエコーが相当たくさん出ている。周波数は 5 Mc, 学振 I 形 H-10, 90 % の感度で測定した。

(4) 普通鉄およびノジュラの探傷記録

鉄は鍛鋼に比べ組織があらいので超音波の減衰が大きく主として透過による材質の判定以外困難であるとされていた。しかし、ノジュラ、ミーハナイト、マリアブルなどの高級鉄物では相当高い周波数でも十分超音波は

透過するし、探傷も可能であることがわかった。

図 5.6 はノジュラおよび普通鉄の試料 30 φ \times 230 mm の中央部に 2 φ の人工傷(ノジュラの場合深さ 11 mm, 鉄は貫通孔である)をあけたものの探傷例である。周波数は 2 Mc でノジュラのほうが鉄に比して欠陥反射の状態も底面反射の状況もよほどは

つきりしている。

周知のようにノジュラでは黒鉛の球状化が進んでいるので超音波の透過も良く、1.5 Mc, 出力感度, ともに最大とした場合, この試料の底面反射は10回まで飽和するが, 鋳鉄の場合は3, 4回程度である。図5.6(a)で

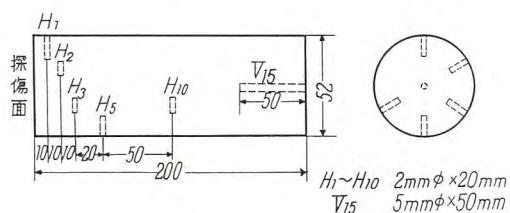


図 5.8 銅試験片寸法図

Fig. 5.8 Dimensions of copper test block.

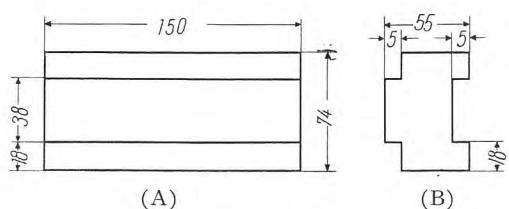
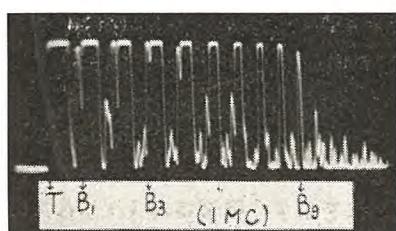
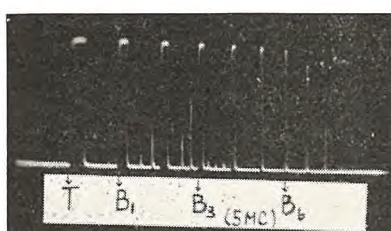


図 5.9 原子炉用鉛レンガ寸法図

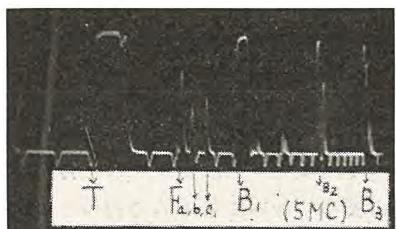
Fig. 5.9 Dimensions of lead block for radioactivity protection.



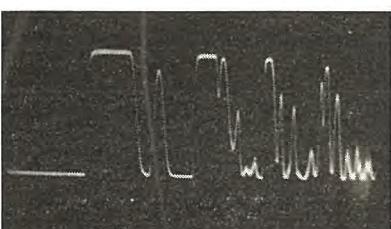
(a) 底面反射 1 Mc



(b) 底面反射 5 Mc



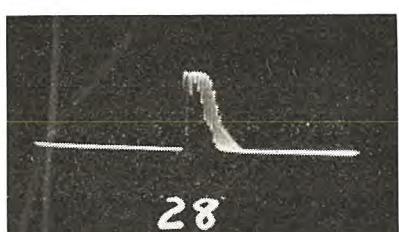
(c) 欠陥反射 5 Mc



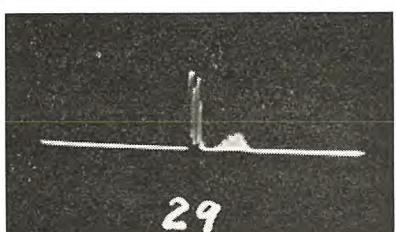
(d) 欠陥反射 1 Mc

図 5.10 原子炉用鉛レンガの探傷記録

Fig. 5.10 Records of lead block used for radioactivity protection.



(a) 良品



(b) 不良品

図 5.11 銀タングステンチップの多重反射 (5 Mc)

Fig. 5.11 Multiple echo Ag-W contact tip.

も人工傷のほかに相当数の欠陥反射波がある。これは必ずしも傷ではなく、介在物からの反射もあると思われるがこの点についてはなお今後数多くの試料について実例を調べる必要があると考えられる。

(5) 銅押出し材

M 金属で試作された銅押出し材の学振 I 形に類似した試験片について探傷した結果は、図5.7のとおりで、一般的に非常に減衰が多くて銅の超音波探傷は困難と思われているにもかかわらずこの種の材料では十分探傷可能であることがわかった。試験片の寸法は図5.8のとおりである。図5.7(a), (b)は感度最大、パルス巾約50%に調整し、2 Mc および 1 Mc にて探傷したもので試料内での伝播速度がアルミ材の約 2/3 すなわち 4.4×10^5 cm/sec である関係で 2 Mc でパルス巾を相当広げてもなお探傷面より 2 cm の傷を分離しうることがわかる。

分解能だけからいえば、3 Mc, 5 Mc で十分 H-1 を分離することができるが減衰は当然ふえる。3 Mc で出力、感度最大とすると (c) のように 3 回まで底面反射は飽和し、2 Mc では 5 回まで飽和するのでこの種の材質であれば 1 m 程度のものまで 2 Mc で探傷可能である。

(6) 原子炉用鉛レンガ

原子炉の遮蔽用には鉛レンガの図5.9のようなものを積上げるが、この種のものに大きい巣があると危険である。鉛は X-Ray による探傷ができないから当然超音波で探傷する以外に方法がない。

手もの試料で探傷を試みたところ図5.10 a~d に示すように明了な記録を得た。

まず透過能力を検査したところ (B) の面から 1 Mc で 8 回飽和、5 Mc で 5 回飽和する。その状況は図5.10 (a), (b) のとおりでともに感度およびパルス巾最大であるが超音波は十分透過することがわかる。ことに 5 Mc の減衰が 1 Mc のそれに比して比較的少ないのは他の場合と比べておもしろい例である。(c) は 5 Mc で欠陥部をみたところ、(d) は 1 Mc によるものでパルス巾はともに約 50% である。5 Mc の記録はとくに明了で、さらに (A) の面から 5 Mc, 10 μ の探触子で探傷すると欠陥部の広がりが相当明了に検出できたので鉛レンガの超音波探傷は十分可能と考えられるしそれが放射能に関係するだけに今後は全数検査を行う必要があると考える。

(7) 銀タングステンチップ
大形の遮断機に使用する銀タングステン接点で厚さ 6 mm 直径 20 mm のものの多重反射の記録を図 5.11 に示す。3 節探傷法においても述べたとおり寸法がまったく同じ材料であれば、多重反射によって試料内の超音波の減衰の状態を調べ材質の判定を行うことができる。

焼結合金で寸法が小さいものの場合はこの方法による以外にない、しかしこの場合もどの程度多重反射があれば良いかは、数多くの試料について探傷後実際に寿命試験なども行い慎重に決めなければならないが、現在は大体減衰の程度で 5 階級程度に分けている。この試験はまた後述する接点のロー付け部の探傷のための予備的なデータとして必要だからである。

この方法は寸法のまったく同じものの場合は良いが異なるものの場合には像が変る、また測定の際の探触子の接着方法によっても像が異なるのでできうれば水浸法などによって、測定条件を一定にし誤差を少なくする必要がある。

探触子はチップの径と同じ 20 φ, 5 Mc の標準探触子を使用し、学振 I 形 V-17, 90 % で探傷しているが、図 5.11 (a) は A 級合格品、(b) は不合格品である。

なお垂直法では上記六例の他にも、たとえば自動車後車軸（中空車軸）探傷用の扇形振動子を使用した探触子、あるいは凹凸曲面探傷用の特殊探触子を作成し、所期の成果を収めていることを付記する。

5.2 斜角法

(1) 軌条溶接部の探傷

鉄道技術研究所のご指導により、37 kg 軌条のユニオ

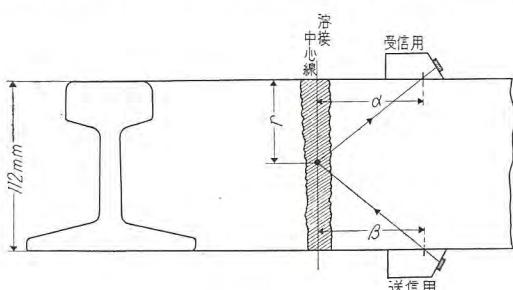


図 5.12 軌条溶接部斜角探傷方式

Fig. 5.12 Angle beam method applied for welded joint of rail.

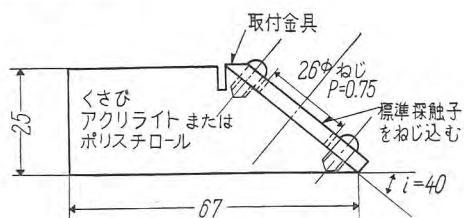


図 5.13 斜角探傷用アタッチメント

Fig. 5.13 Attachment of angle beam method.

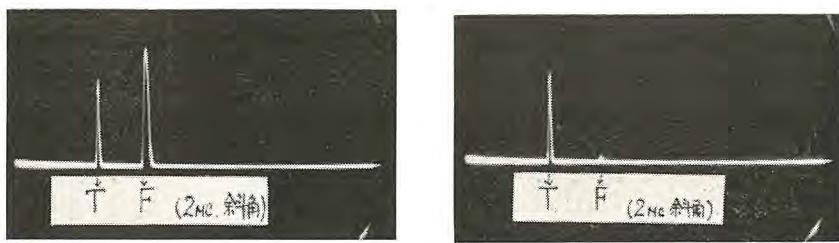


図 5.14 軌条溶接部斜角探傷記録
Fig. 5.14 Records of angle beam detection of rail joint.

ンメルト溶接部にとくに欠陥の残る状態としたものを、二探触子斜角探傷法により図 5.12 の要領で実験的に探傷した。この方式によれば送受の斜角探触子の位置を溶接中心に対し、 $\alpha + \beta$ が一定になるように移動すれば、映像面で欠陥反射の現われる位置は変わらず、肉盛り部から欠陥と見まちがう反射波があっても弁別できる上に、傷の位置も屈折角をあらかじめ知っておけば、溶接中心からの探触子の距離で簡単に決定できる利点がある。

実験に使用した斜角探傷用のアタッチメントは図 5.13 に示す入射角 40 度のもので、材質がアクリライトであるから屈折角は 53 度であった。標準探触子には外筒の先にねじが切ってあるので、単にこのくさびの取付金具にねじ込むだけでただちに斜角探触子として使用することができる。探傷は 2 Mc を使用したが二探触子法であるからくさび内での遅れエコーなどの妨害はまったくない。

図 5.14 は記録で (a) は軌条表面より約 95 mm の所にある欠陥、(b) は表面より 20 mm の所に出たごくわずかの欠陥からの反射波を示す。探傷時の状況から判断するに (a) の欠陥は、ブローホールのようなものではないかと思われた。

なお記録はパルス巾および感度最大のものであるが、発振パルスが二探触子法のため非常に小さく現われていることに注意されたい。

(2) 薄板の斜角探傷および厚み測定の可能性

二探触子斜角法で送受両探触子の距離および角度を一定にすれば或る特定の板厚において最大の透過波を得ることができる。この関係を用いれば薄板の板厚の測定および薄板中のラミネーションの検出ができる訳で、一、二実験したところではくさびによる吸収のため測定に誤差を生じるのでまだくさびの改良の余地があると思うが、R. Wilson の報告によれば、薄板の方向性まで弁別できる由であるから、表面の仕上げの良い 1 mm 程度の薄板のラミ

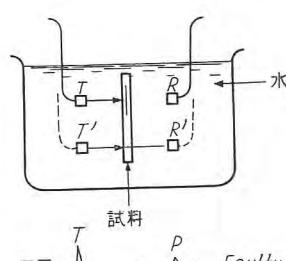


図 5.15 水浸透過法による薄板のラミネーション検査法

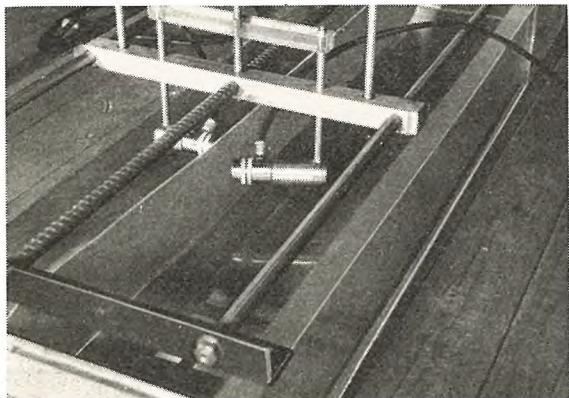
Fig. 5.15 Inspection of lamination by immersed penetration method.

ネーションの検出はこの方法で十分できると思われる。

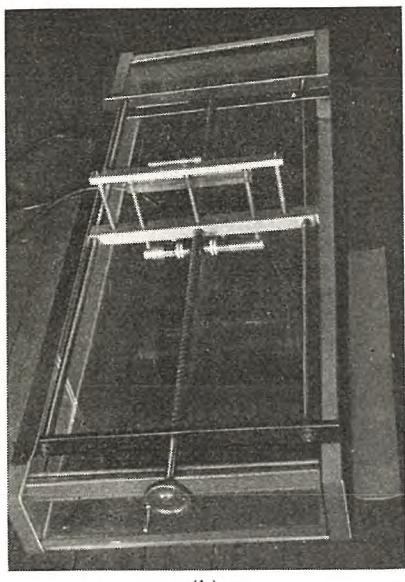
5.3 水浸法

(1) 薄板のラミネーションの検査

1 mm 程度の薄板のラミネーションの検出は通常の方法ではなかなか困難で、斜角法でもくさびの接着に相当注意を要する。種々試みた結果もっとも確実で簡単な方法は水浸透過法であった。原理は図 5.15 に示すようにきわめて簡単で、水中では超音波の指向性が 3 Mc で約 1 度と非常に鋭くなるので、送受探触子を正対させて関係位置をくずさないように試料をはさんで移動すれば、きわめてせん銳にラミネーションを検出できる。透過波の波高値によりおおよそのラミネーションの広がりをマークした上で、試料の X 線写真を撮影し比較したところよく一致した。図 5.16 はこの方式の実験装置の一例を示すもので、上下、左右に円滑に両探触子を移動できるようにしてある。また現在当社伊丹製作所でステンレスの 10 mm の板の定尺物を探傷する装置を製作中である。この方法の利点は測定結果に探触子と試料との接触条件による誤差のはいる余地がないことで、さらに進ん



(a)



(b)

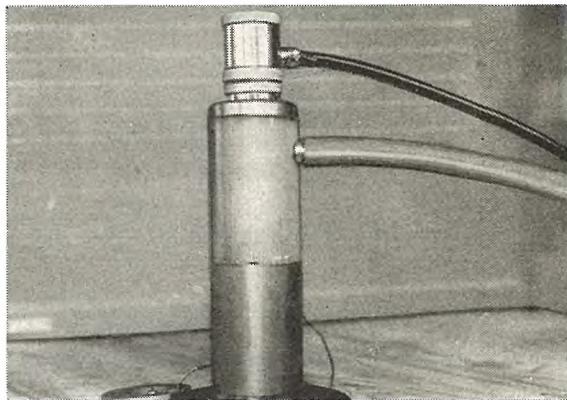
図 5.16 薄板ラミネーションの水浸透過法実験設備

Fig. 5.16 Experimental equipment of immersed penetration method inspecting lamination in thin sheet.

新形超音波探傷機 FD-5 形とその応用例・馬場・大鳥羽・松元



(a) 簡易水浸法の探触子アタッチメントおよび治具を示す



(b) セットしたところ

図 5.17 チップ、ロー付け部探傷用アタッチメント

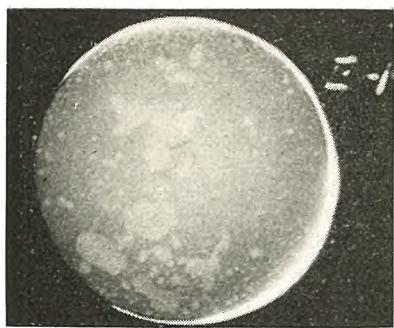
Fig. 5.17 Assembly of simplified immersion method applied to silver-soldered joint.

で透過勢力の大小により警報を発する方法、あるいは自動走査で記録紙に記録させる方法を検討中である。記録方式が行えれば、とくに精密に検査したい部分の拡大もでき、試験成績を自動的に記録できるから非常に便利となるし、検査能率もいちじるしく向上すると考えている。なお図 5.16 は S 電工において実験用原子炉の燃料板 (1 mm) の検査に使用しておられるものである。

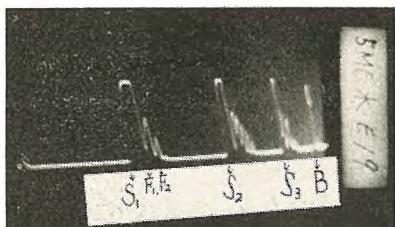
(2) 銀タンクステン、チップロー付け部の探傷

5.1, (7) で述べたチップを、母材にロー付けする際 100 % ロー付けが完全に行われているか否かは、遮断器にとって重要である。この検査は素材の検査と同様な方法で行えるが、判定は逆になり、ロー付けが完全であればロー付け部からの反射がほとんどなく、不完全であればあるほどチップ部分での多重反射が多くなるということで行われる。この場合探触子を直接接触させると微妙な像の判定に誤差を生じるので図 5.17 に示すようなアタッチメントにより簡易水浸法を行っている。

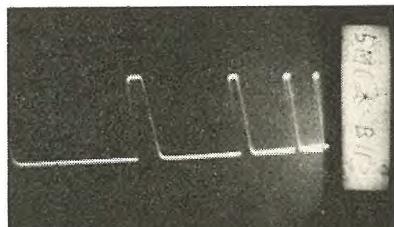
探傷の記録の一例を示せば図 5.18 のとおりである。すなわち (a) の X 線写真にみるとロー付け面積の約 20 % 以上が剥離していると (b) のように表面波に続いて数回の多重反射が現われ、接着面がほぼ完全でプローホールがなければ (c) のように多重反射はほとんど現われない。この場合も周波数は 5 Mc で感度の規準は学振 I 形で V-17, 90 % である。この試験は 100 個に近



(a) 不良品 X-線写真



(b) 不良品



(c) 良品

図 5.18 銀タングステンチップのロー付け部の記録

Fig. 5.18 Records of Ag-W tip silver soldered joint.

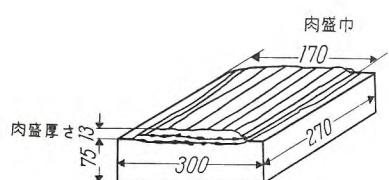


図 5.19 ステンレスクラッド材試験片

Fig. 5.19 Dimensions of stainless clad test block.

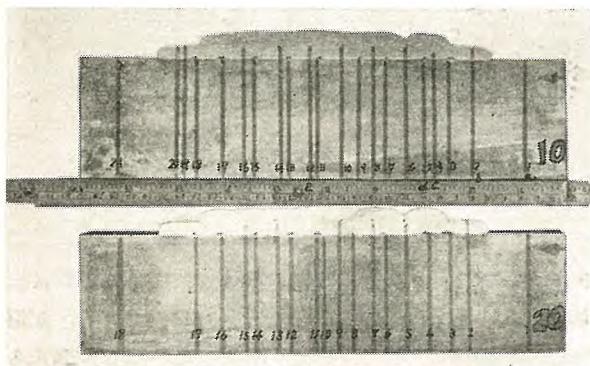


図 5.20 ステンレスクラッド材の断面

Fig. 5.20 Cross section of stainless clad test block.

い試料について行い、超音波検査の記録と、試料のロー付け部を中心として薄く削ったものの X 線写真とを対応させてその信頼性を確めて基準を作成した。現在接着部の面積の 15 % 以上が離れていれば検出できるまでになつたが今後は探傷面が曲率を持ったものについて同様の方法を適用する予定である。

(3) 原子炉用ステンレスクラッド材溶接部

加圧水形原子炉のボイラの内部にステンレスの肉盛りを行うが、この溶接部を検査するための予備実験として図 5.19 のような 30 B 材を母材としらかじめ肉盛り部に欠陥を持つと思われるような試験片を試作探傷した。

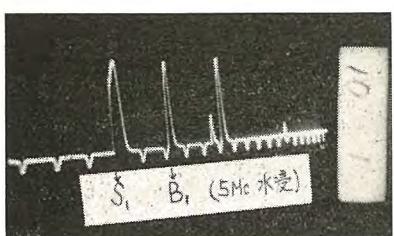
探傷は母材の面から行うが、実際には連続全面検査を実施する必要がありかつボイラの外面の仕上げ精度もさほど良くなくまた曲率を持っているから簡易水浸法を用いなければならないので、この方法で実験を行つた。

試験片を探傷して大体欠陥と思われる反射波が得られることを確めた後、巾約 30 mm のブロックに切断した。断面に欠陥が相当はっきり現われているブロック No. 10 および No. 20 の断面の写真は図 5.20 のとおりである。

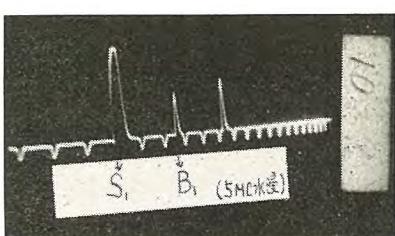
溶接の肉厚は約 6 mm で二層にわたり肉盛りを行つてるので欠陥は母材と一層目および一層目と二層目の間に出来るはずであり、この分離検出

ができるか否かに主眼をおいたので 5 Mc を使用しパルス巾を最小として探傷した。

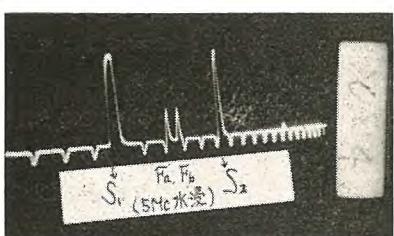
図 5.20 のブロック No. 10 に縦に線を入れてある所は探傷記録を撮影した個所で、そのうち 1, 2, 4, 5, 12 の位置での記録をそれぞれ図 5.21



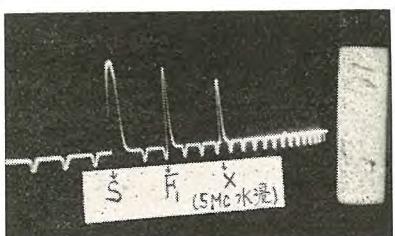
(a)



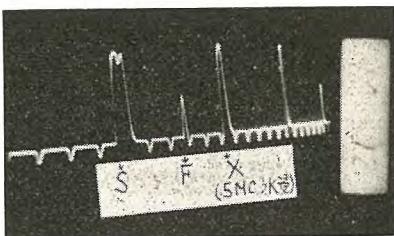
(b)



(c)



(d)



(e)

図 5.21 ステンレスクラッド材探傷記録

Fig. 5.21 Inspection of stainless clad layer.

(a)～(e) に示す。各層の肉厚が 6 mm であるから欠陥の位置を見きわめるため、距離マーカを調整しメインパルスから数えて二つ目と三つ目のマーカの、前に寄った所に現われるのが一層目欠陥、うしろに近く現われるのが二層目の欠陥と弁別できるようにした。肉盛り部の底面が平坦でないから底面反射の高さは相当異なり、この場合あまり参考にはできないが、欠陥波は非常に明了に現われている。

図 5.21, (a)～(e) の説明は以下のとおりである。

- (a) 断面の 1 の位置は溶接のない所であるから母材の底面反射を示している。
- (b) 一層目肉盛り部の底面反射で溶接部に欠陥はない、反射波と距離マーカとの関係位置に注意。
- (c) 一層目の欠陥と二層目の欠陥が現われている。
- (d) 一層目の欠陥反射、位置は (a) と同じである。
- (e) 二層目の欠陥反射、位置は (b) と同じ。

上記の予備実験によりステンレスクラッド材の連続探傷は 5 Mc を用い簡易水浸法により可能であるとの結論を得た。分解能については別に近接したドリル穴をあけた試験片により実験したが、探傷方向に 4 mm 程度離れた近接欠陥は分離できた。

使用探触子は標準形、水晶の直径 20 mm である。

(4) 医学的応用、心臓の記録

超音波探傷機を医学的診断に使う試みはすでに二、三行われている。当所でも最近人体の心臓標本に接する機会があったので、水浸法により標本の記録をとった。

標本となった心臓は 8 歳の小児のもので、大きさは小児のこぶしに近くまた心臓壁の肉厚は約 6～8 mm 程度である。

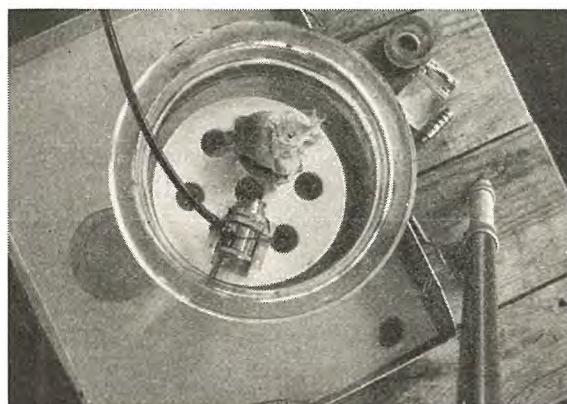


図 5.22 心臓標本の水浸検査

Fig. 5.22 Inspection of human heart specimen.

図 5.22 のように水槽に収め 2 Mc を使用、パルス巾を約 50 % で探触子と標本を動かないようにして超音波をあてた、記録の一例は図 5.23 のとおりである。

この場合は心臓の外壁および心室の隔壁からどのように反射波が得られるかを検査した訳で相当明了に記録は出ている。元来人体内での音波伝播速度および音響インピーダンスは水のそれに近いので 2 Mc 程度でも外壁の内外面からはっきりした反射波が得られる。

新形超音波探傷機 FD-5 形とその応用例・馬場・大鳥羽・松元

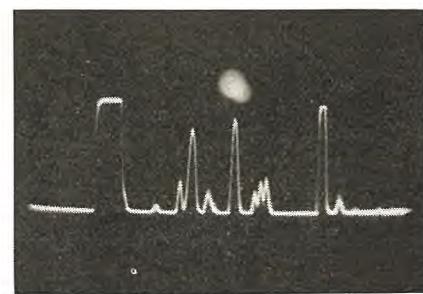


図 5.23 心臓壁の超音波記録

Fig. 5.23 Ultrasonic record of human heart

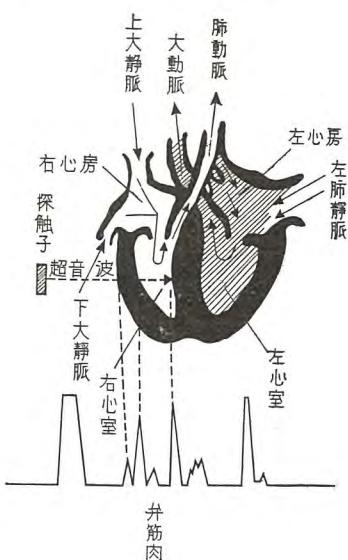


図 5.24 超音波の記録と心臓との対応

Fig. 5.24 Relation of ultrasonic record with heart.

記録と心臓の解剖図との対照を示せば図 5.24 のとおりで、壁の内外、および隔壁からだけでなく小さい弁筋肉からの反射波をも明了に得ている。この像から心臓壁の厚みその他心臓の診断に超音波探傷機が十分利用可能なことがわかるし、今後なお多くの応用面が医学の分野で開かれることと考えている。実際に人体に応用する場合は簡易水浸法か、水袋を用いて診断する方法がとられるであろう。

(5) 超音波探傷機による密閉容器内の液面監視

この例は探傷ではないが超音波探傷機の変った応用例の一つとして簡単に述べる。

高温高圧を使用する化学工業などにおいて、密閉された反応用容器の中の液面を監視する必要がある。液面を監視するだけならば他にもっと簡単な方法もあるが、高温高圧であるのでできるだけ容器の壁を貫通するような工作を施さずに測定できればこれにこしたことではないというので、超音波探傷機を用いて液面を測定する実験を行った。音響測定機の原理すなわちパルス反射法を使って底面から測定することも考えたが容器の壁での多重反射と液面よりの反射波が重複して弁別できないので図 5.25 のような方法で透過法により測定した。(底面の肉厚がうすければ反射法でも十分である) すなわち送受探触子を結ぶ線上に液面がくれば、壁および液体を透過した

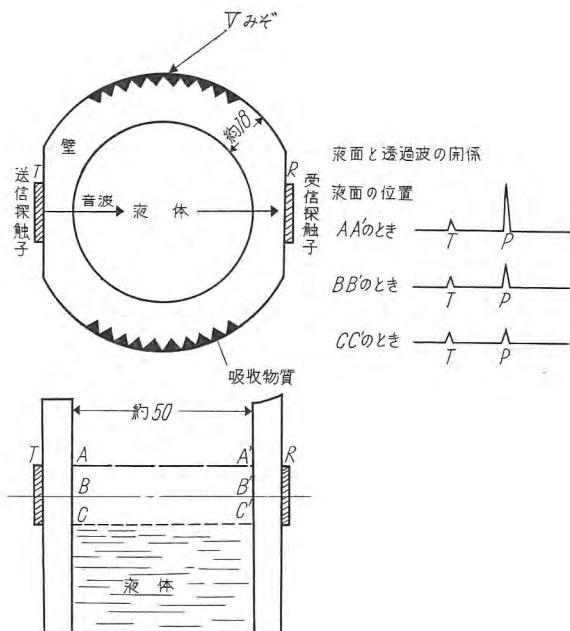


図 5.25 液面監視の実験例

Fig. 5.25 Principle of liquid level indication
flaw detection.

音波が受信でき透過波の波高値は液面の高さと探触子の関係位置で図 5.25 に示すように変る。

最初壁内を伝播する直接波が若干あり、弁別がさほどシャープでなかったが図のように壁面に V みぞを切り吸收物質を充填してその減衰を図った結果、妨害波が除去され相当明了に透過波の波高値が变成了。この際の最適周波数は 3 Mc で 20ϕ の振動子を使った実験でも ± 5 mm に近い精度で液面がよみとれるほどであった。

実験的な設備での測定としてはこの程度で十分で水晶のキューリ点は 400 度以上であるから高温でも問題はない。さらに進んで自動制御を行う段階になれば周波数をずらせて送受探触子を二組用意し、両者の透過波の値の組合せで制御する方法などを用いればその目的にかなった装置とすることができると思われる。

6. む す び

超音波探傷の応用分野はきわめて広いが、新しい検査

法であるだけに使用法や測定基準が標準的に十分確立していない点もみうけられる。すなわち超音波があまりに鋭敏であるため、性急に結論を急ぐと、機械的にまったく問題のない材料にまで不信感をいだくといった行きすぎからかえって超音波探傷法そのものの信頼を失わせるということが起る。

個々の材料についての検査法を確立するためにはまず熟練と忍耐により、数多くのデータを積上げ、他の検査法を併用して探傷結果を慎重に検討し十分信頼のおける客観的な判定基準を定めることがもっとも大切である。

現在非破壊検査協会を中心に多くの研究者によってそれぞれのテーマについて研究が続けられており、第 3 回国際非破壊検査会議が 1959 年には日本で開催されるので、研究も活発となり、さらに飛躍的な発展が行われることと期待している。

以上 FD-5 形の応用例について述べたが、拙文が少しでも超音波による非破壊検査の参考になれば幸である。超音波探傷の今後の展望はきわめて明るいものであり、工業のオートメーション化にマッチした検査装置として、精度と能率の高い、自動操作、連続記録、あるいは警報などの行いうる方式へ進むことが、緊急の課題であると考えているので今後とも各方面のご指導を望む次第である。

終りに本稿執筆に対し種々ご指導いただきまた貴重な資料を提供していただいた国鉄技術研究所他多くのご需要家各位、および当社伊丹製作所、品管課牧田技師はじめ関係者に対し厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 学振：超音波探傷法 (1956).
- (2) A. E. Crawford: Ultrasonic Engineering (1955).
- (3) R. Wilson: Sheet Metal Industries (Nov. 1952).
- (4) J. Brigg: Review of Modern Techniques in U.S Testing (1955),
- (5) 丹羽：音学誌 13 卷 1 号 (1957).

DXM 形開放ドロップアウト カットアウト

伊丹製作所 岩崎行夫*

Type DXM Open Dropout Cutout

Itami Works Yukio IWASAKI

To meet severe requirements of the modern distribution system large capacity highly efficient type DXM open dropout cutouts have been developed. They are of three kinds with regard to the interrupting capacity: at rated voltage of 7.8kV, 3,000A, 5,000A and 10,000A. Their continuous rating is 100A and by the use of a buse holder with load break device they can be used for breaking load of current up to 100A. With these new cutouts service facilities of power distribution have been greatly bettered compared with the conventional cutouts. They are applicable to a system that needs a small interrupting capacity as well as relatively high current lines. Their inexpensive cost is one of their features.

1. まえがき

昔から 3kV 配電用変圧器一次側保護ヒューズには、がいし形開閉器(ダルマスイッチ)が主として用いられてきたが、少し変圧器容量が大きくなると保護能力の不足から問題を起すので、完全なサービスと、保守の安全性増加のために、より高性能な保護器具の使用が一部では要望されていた。しかし 3kV 配電線用としては、或る程度の実用性能は有すること、取扱が簡単なこと、とくに価格が安いことなどから今まで数十年にわたり依然としてがいし形開閉器が使用してきた。

ところが、最近配電の合理化のために、配電線の 6kV 昇圧が諸方面で実施され、またがいし形開閉器についても種々試験された結果、6kV ではがいし形開閉器はほとんど保護能力がなく近代化された配電線で、系統や他の機器と協調のとれた保護動作をして停電個所や回数を極限することは不可能であることがわかり、それに代るものとして、米国で使用されているカットアウトがようやく注目を浴びるに至った。

当社もこの機運に答えるため電力ヒューズ製作の経験を基とし、米国 Westinghouse 電機会社の技術もとりいれ、2 年ほど前より開発をはじめ、当所 50 MVA 遮断試験設備などにて種々試験研究を行った結果その商品化に成功、既報のように本年初めの関西電力会社現地試験にも参加好成績を約めた。

以下配電線用カットアウトの一般説明ならびに今回開発した DXM 形カットアウトの性能、用途、応用方法などについて記述する。

2. 配電線用カットアウトの定義と分類

2.1 カットアウトの定義

カットアウトはもともと米国で配電線用として発達した保護器具で、わが国では実用され始めて日が浅く、いま

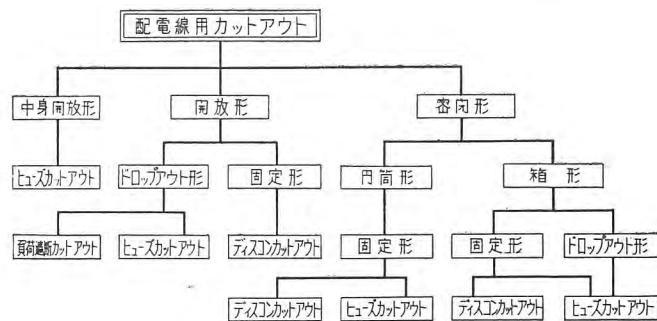


図 2.1 配電線用カットアウト分類図

Fig. 2.1 The classification charts of distribution cutout.

だ規格もなく定義もはっきりしていないが、NEMA 規格⁽¹⁾ SG 2-1954 によれば、配電線用カットアウトは、配電系統用のヒューズあるいは断路器の総称で、発電所に設置される電力ヒューズ (POWER FUSE) とは、その用途で区別されており、両者の大きな差異は、

(1) Max. Design Voltages (最高設計電圧) および耐圧試験電圧が電力ヒューズよりも低い。

(2) 取付方式がカットアウトは電柱あるいは横木取付けとなっている。

(3) 配電線用カットアウトは、遮断電流、過電流強度とも、電力ヒューズよりも小さい。
の 3 点である。

2.2 カットアウトの一般的構造

配電線用カットアウトは使用目的により、故障保護用のヒューズカットアウト (Fuse Cutout) と接続分離用のディスコン・カットアウト (Disconnecting Cutout) と負荷電流遮断用の負荷遮断カットアウト (Loadbreak Cutout) の 3 種に分れるが、米国製のカットアウトは、できる限り可動部だけをヒューズ筒、負荷遮断レバー付ヒューズ筒あるいは断路ブレードに交換するだけで、いずれにでも使用できる構造を採用している。当社が今回開発した DXM 形カットアウトも、可動部だけの取替えで、3 様に使用できる。

* 技術部

ヒューズカットアウトは配電系統用で遮断容量は少なくてよいから、高圧ヒューズの中ではもっとも構造簡単なファイバ管を利用する放出形消弧方式が採用されており、一端開放他端密閉のファイバ管内に取替中身を収納、発弧時はアーカ熱でチューブ内壁より分解ガスを発生、開放端よりガスおよびアーカを放出消弧する機構となっている。

取替中身としては普通、長い可撓銅線と、コンタクト板との間に、可溶片を接続し、その周囲に消弧チューブをかぶせた構造のヒューズリンクが使用される。NEMA規格ではこのヒューズリンクの外形寸法を規定し標準化を図っている。

ヒューズ筒の故障遮断後の動作により、筒が自動的に開位置まで開放するドロップアウトヒューズ(Drop Out Fuse)と、閉位置にそのままどまっている非ドロップアウトヒューズ(Non-Drop Out Fuse)との2種に分れる。ドロップアウト作用はヒューズ動作の表示ともなるので、一名表示ヒューズ(Indicating Fuse)とも呼ばれるが、表示ヒューズの中にはドロップアウトせず、ただ動作表示だけするものもある。ヒューズ筒あるいはヒューズリンクが遮断後も回路に残っていると、回路電圧による漏れ電流で絶縁物が熱破壊を起したり、雷撃を受けて再せん絡をする危険などもあるので、米国では5kV以上はほとんどこのドロップアウト形を採用している。

2.3 カットアウトの本体構造

本体部分の外観、構造によって図2.1のように、中身開放形、密閉形、開放形の3種に大別される。

(1) 中身開放形(Open-link Type): これはヒューズ筒なしでヒューズリンクを直接本体に取付けた簡易カットアウトである。わが国では、ほとんど使用されていないが、米国では、短絡力率が0.6以上、短絡電流1,200A以下の配電線末端において使用している。この種の代表的外形を図2.2に示す。

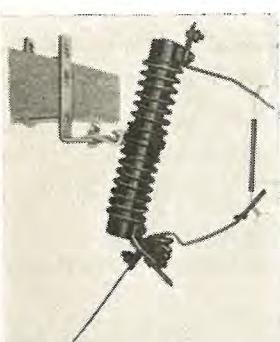


図2.2 中身開放カットアウト

Fig. 2.2 Open-link cutout.

(2) 密閉形(Enclosed

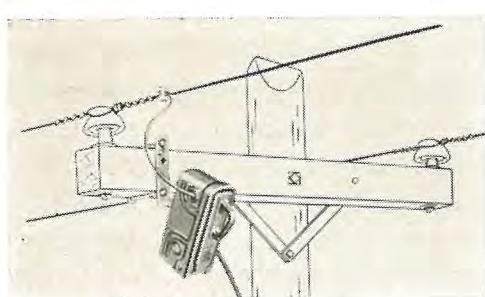


図2.3 箱形密閉カットアウト

Fig. 2.3 Enclosed cutout of box type.

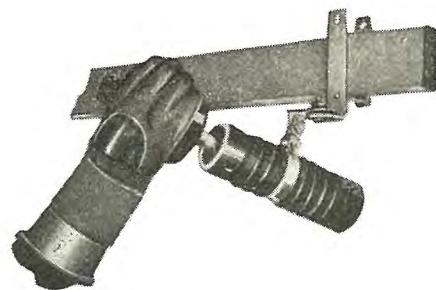


図2.4 円筒形密閉カットアウト

Fig. 2.4 Enclosed cutout of cylinder type.

ed Type): ヒューズ筒あるいは断路ブレード、コンタクト、端子部分など導電部は、すべて磁器などの絶縁物内に収納され、表面に充電部が露出していない構造のカットアウトで、さらに図2.3図2.4のように、箱形と円筒形に分れる。箱形は絶縁物製の箱およびふたとからなり、ふたのほうにヒューズ筒が固定され箱内にコンタクト、端子が収納されている。ドロップアウト形式には、ふたが前方に180度開放するものと、ヒューズ筒だけが下方に落下開離するものと2種ある。

円筒形カットアウトは下方が開口した円筒形磁器内に充電部を収納したもので、ヒューズ筒下端を直接手あるいは専用フック棒にて保持して、上下に動かし開閉する。このヒューズカットアウトのほとんどは非ドロップアウト形式であるが、筒の一部が落下、電極を開離する構造となっているものもある。

密閉形カットアウトは、主として5kV以下で、作業者および近接者の安全から、充電部の露出を好まない場所に使用される。しかし、電圧が5kV以上になれば、つぎに述べる開放形が、それ自身の長所もあって、米国では多用されている⁽⁹⁾。

(3) 開放形(Open Type): 充電部が露出したカットアウトの総称で、普通1本のがいしの上下にコンタクトおよび端子を取り付け、その間にヒューズ筒あるいは断路ブレードを接続し、がいし中央部を電柱などに支持する。

この形は、ヒューズ筒が直接雨水にあたるのでヒューズカットアウトはすべてドロップアウト形となっている。今回発表するDXM形カットアウトもこの開放形で、図2.5にその外観を示す。

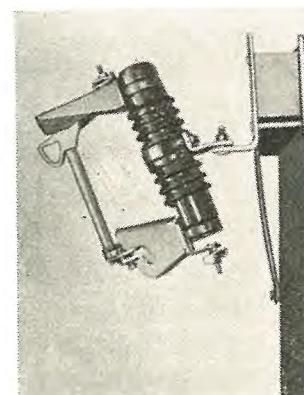


図2.5 開放形カットアウト

Fig. 2.5 Open cutout.

3. 開放形カットアウトの利点

3.1 開放形カットアウトの構造上の利点

わが国ではがいし形開閉器からカットアウト使用へ移行した関係から、今日、配電線用カットアウトとして使われているのは密閉形だけで、開放形は全然採用されていないが、回路電圧が 6kV 程度になると次に述べるように使用上、および製作上から、開放形のほうが有利になってくる。

当社も密閉形、開放形を同時に開発、研究していたがその有用性から、先に開放形 DXM 形カットアウトを完成了。以下その利点をあげると、

- a. 構造上、機械的に強く、とくに耐衝撃性が大で、故障電流遮断時や、フック操作による開閉時の衝撃に対して強い。したがって大電流の遮断や、乱暴な取扱にも耐える。
- b. 使用がいしが多ヒダ形となっており、汚損時の絶縁耐力が大である。
- c. 絶縁耐力が、カットアウトの開閉に関係なく一定している。
- d. 回路電圧が高くなれば、密閉形よりも安価にできる。
- e. コンタクトや端子の状態が、外部より容易に観察され、保守に便利である。
- f. 負荷遮断装置なしでも、小負荷電流は断路器のみに、フック操作にて開閉できる。⁽²⁾
- g. ヒューズ筒にレバー機構を付するだけで簡単に負荷電流遮断が可能となる。

3.2 開放形の使用上の利点

しかし国内では、がいし形開閉器の概念から、開放形に対し、密閉形よりも

(1) ヒューズ筒部分が直接雨水にさらされているので絶縁劣化の恐れがある。

(2) 導電部が露出しているので危険である。

と考えられている方が多い。この問題はカットアウトの使用条件で影響を受けるので、一概にはいえないが、米国における使用実績をみても、今まで実用されていないための懸念と考えられる。

まず第1項であるが、最近は絶縁材料も発達し、屋外にても使用できる材料が製作可能となってきた。また筒表面の汚損も、使用場所によっては、密閉形のほうが湿気や塵埃、塩分が内部にこもり、はなはだしい場合もある。DXM 形のヒューズ筒については、関電読書発電所における現地試験で、120°C, 8 h/日を 1 週間、湿度 90% 8 h/日を同じく 1 週間、高温高湿劣化処理を施しても実用的にはまったく劣化せず、新品同様の性能を有すことが証明されている。

つぎに第2項であるが、回路電圧が 6kV 以上になり、その故障電流も、1,000 A 以上になると、遮断時の放出ガスは相当広範囲にまで広がるので、當時使用状態（ガス放出を考慮しない時）よりは大きな対地絶縁距離が必要

となり、すえ付寸法は密閉形でもなんら小さくならない。

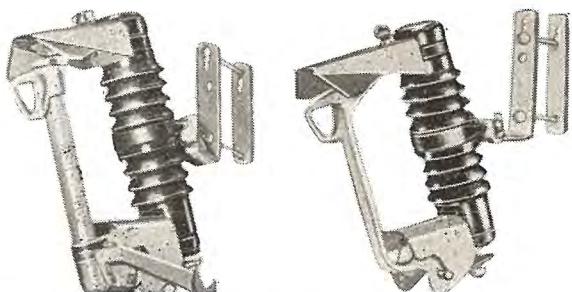
また、フック棒も 500 mm ほどの短いものでは、無電圧開閉以外「操作者の安全」は保証できない。すなわち、操作時に短絡事故が発生したり、あるいはヒューズ動作後中身を取替えて強行送電した場合に、回路が短絡していれば、フック棒が短いと放出ガスが操作者へ吹き付ける危険がある。それを予防するためにはフック棒は少なくとも 1.5 m 以上必要で、フック棒がこのように長いときはなんらカットアウトは密閉形にする必要はない。むしろ、密閉形であればがいし形開閉器の場合の習慣から直接ハンドルあるいはフック穴を手で握り操作して放出ガスを浴びる危険がある。このことは操作者だけでなく近接するすべての者に対していえることで「安全」といった面ではむしろ開放形の方が危険表示となって、作業者の近接を防ぎ、有効であると考えられる。

4. DXM 形カットアウト

以上述べた開放形カットアウトの利点を積極的に利用して製作した DXM 形カットアウトは、近代的な配電系統の苛酷な要求に適合するよう NEMA 規格にて設計されており、正確な動作と長い寿命を保証するために、綿密な機械的、電気的試験がなされている。長年月保守なしで、屋外に使用し、乱暴な取扱をしても確実な動作が要求されるような場所には好適である。とくにこのカットアウトは「シリーズ」をなしており、支持部は共通で可動部分だけを取り替えれば、遮断容量が、標準、大、特大と 3 種類に変り、また断路器あるいは負荷遮断カットアウトにもなるので、あらゆる場所、いかなる用途にでも順応して使える。図 4.1 にそれぞれ DXM 形ヒューズカットアウト、ディスコンカットアウト、負荷遮断カットアウトの外観を示す。



(a) DXM-1 形ヒューズカットアウト



(b) DXM-LB2 形負荷遮断カットアウト (c) DXM-D 形ディスコンカットアウト

図 4.1 DXM 形配電線用カットアウト

Fig. 4.1 Type DXM distribution cutout.

表 4.1 DXM 形カットアウト定格表

名 称	形 名	定格電圧 (V)	定格電流 (A)	定格遮断電流 RMS (A)	定格負荷遮断 電流(A)
支 持 部	DXM	7,800 15,000	100 断路ブレード付場合の 200 A	最上DXM-3 形ヒューズ筒付のとき 10,000 負荷遮断レバ ー付のとき 100	
ヒューズ筒	DXM-1	7,800 15,000	100	3,000 2,000	
	DXM-2	7,800 15,000	100	5,000 4,000	
	*DXM-3	7,800 15,000	100	10,000 8,000	
負 荷 遮 断 レ バ ー 付 ヒ ュ ーズ 筒	DXM-LB1	7,800 15,000	100	3,000 2,000	100
	DXM-LB2	7,800 15,000	100	5,000 4,000	100
	*DXM-LB3	7,800 15,000	100	10,000 8,000	100
閉 略 用 ブ レ ー ド	DXM-D	7,800 15,000	200		

表 4.2 DXM 形カットアウト対地絶縁耐力表
(JEC 57 改訂案との比較表)

回路電圧	JEC 57 改訂案			DXM 形カットアウト		
	商 用 周 波 (kV)	基 準 衝撃 波 (kV)	分注水 10 秒 乾 燥	定 格 電 圧	商 用 周 波 (kV)	基 準 衝撃 波 (kV)
3,300	16	45		7,800	24	75
6,600	22	60		"	24	75
11,000	28	90		15,000	30	95
12,000				"	30	95

4.1 定 格

NEMA 規格の採用で、表 4.1～4.2 に示すように、定格電圧は 7.8 kV, 15 kV, 定格電流は 100 A (断路ブレード付のときは 200 A) 遮断電流は 2,000～10,000 A, 絶縁耐力は JEC 57 改訂案遮断器耐地絶縁耐力の値以上と、現在日本で製作されているカットアウトよりは、はるかに大きな定格値を有している。

4.2 特 長

- (1) NEMA 規格品で定格値が大きい。
- (2) 単純なトグル機構で、ヒューズ筒遮断後迅速確実に筒がドロップアウトする。
- (3) ヒューズ筒を普通のフック棒で安全確実に本体よりはずせる (特殊なフック棒は必要としない)。
- (4) 独特なヒンジ構造は、ヒューズ筒をフック棒での方向から投入しても固定、可動コンタクトの一定確実な接触を保証する。
- (5) 厚く銀めっきされた可動、固定コンタクトは、長年、軽快な操作と良好な接触を保証する。
- (6) 上下コンタクトは雨除けカバーにより保護されている。
- (7) がいしは多ヒダ形で耐汚損性が大きい。
- (8) 凹部や縮少部分のない大きな強いがいしを使用している。
- (9) がいしと金具との取付けはすべて帶金締付式で、セメントはいっさい使用していない。
- (10) 帯金は全周絶縁被覆されており、鳥による接地事故を防いでいる。
- (11) ヒューズ筒を取替えれば、遮断容量は、RMS 10,000 A まで大きくなる。
- (12) ヒューズ筒の下端にレバー機構を取り付ければ、

フック操作で 100 A の負荷電流が遮断できる。

(13) 断路ブレードと取替えて 200 A 断路器として使用できる。

(14) 端子は特殊締付形でリードを水平、垂直などの方向からでも接続できる。

(15) EEI⁽³⁾-NEMA 規格の取付金具が付属しており、横木、柱、壁取付けが自由にできる。

4.3 構 造

標準の DXM-1 形ヒューズカットアウトの構造詳細を図 4.2 について説明する。

(1) 端 子

上下とも図 4.3 に示すアイボルト形の強力な銅合金鋳物製締付形端子が付属している。この新式の端子は外径が 4～10 mm までの銅線あるいはアルミ線が、水平あるいは垂直方向に自由に接続できる。

(2) 雨除カバー

上下コンタクトは大きな鉄製ヒサシで、雨あるいは氷雪から保護されているから、冬季でもヒューズ筒のドロップアウト動作には故障を起さない。

(3) 帯 金

金具のがいしへの取付けはすべて帶金締付式で、セメントはまったく使っていない。全部品はナットをはずして簡単に取はずせるので、部品取替修理ができる。帶金はがいし締付前に耐圧 15 kV の絶縁被覆を施し、鳥による接地事故を防止している。中央帶金後部の L 形金具は取付金具に連結、柱あるいは横木上に取付けられる。

(4) コンタクト

可動、固定コンタクトはすべて銀めっきされており、固定コンタクトは十分大きいリン青銅板製で長年使用しても、強い接触圧力を失わない。

ヒューズ筒が投入される際、下コンタクトは上コンタクトが接触する前に、ワイピングはじめめる。ヒューズ筒の開閉は上固定コンタクト先端を利用した単純な、ラッチをはずして行う。

このラッチはまた、負荷をかけたままカットアウトを開閉した場合、発弧点となってコンタクトの損傷を防ぐ。

(5) 絶縁がいし

帶金締付構造であるため、セメント付の場合に必要ながいし凹部はなくなり、またがいしの中心部をとくに大



図 4.2 DXM-1 形ヒューズカットアウト

Fig. 4.2 Type DXM-1 fuse cutout.

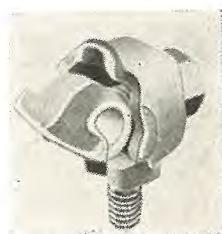


図 4.3 端 子

Fig. 4.3 Terminal.

きい径だったので、非常に機械的に強くなっている。

(6) ヒューズ筒

上のフック穴と、下のトグル機構上の穴は大きく、どんなフック棒でも容易にヒューズ筒の開閉、取はずしができる。上下のコンタクト鉄物は線コンタクトを形成、開閉の際になめらかなワイピング作用を行う。

ヒューズ筒は消弧用ファイバの内張を有する強力なフェノールレジン管で、内部に挿入されるヒューズリンクのコンタクト板はヒューズ筒頭の銀めっきされたキャップによって強く締付けられる。外側にはオレンジ色の防水塗料が3回以上塗装されている。

a. 強力形ヒューズ筒

非常に大きい遮断容量が必要な場合、ヒューズ筒を標準形より強力形に取替えるだけで大容量カットアウトになる。

b. 負荷遮断ヒューズ筒

負荷遮断が要求される場合は、負荷遮断レバー付ヒューズ筒に交換すれば、100 Aまで負荷電流が遮断できる。

c. 断路用ブレード

ヒューズ筒を強力な断路用ブレードと取替えれば200 Aの線路用断路器として使用できる。

(7) ハンジ機構

特殊設計の下部ハンジは、どんな角度からヒューズ筒を投入しても、接触不良を起したり、ヒューズ筒を落すような心配はない。

また機構の前面が完全に開いていて操作しやすいので、フック棒によるヒューズ筒の取はずしが非常に容易である。

4.4 動作

閉路時は、図4.4(a)に示すように、ヒューズ筒上部のコンタクト鉄物が固定コンタクト先端部のラッチで支持され、下部トグル機構も、ナール切ナットあるいはちょうねじでヒューズリンクケーブルを締付けることにより、緊束されているため、上下二つの強力な固定コンタ

クトはたえず通電に十分な接触圧力と、ドロップ作用に必要な、トグル機構への下向きの力とを与えている。この場合ヒューズリンクに必要以上に大きな張力がかかり、ヒューズメントを機械的に切断しないよう、トグル機構の構造には、とくに留意されている。

過電流が流れヒューズエレメントが溶断すれば、図4.4

(b) のように、ヒューズリンクのシャントで拘束されていたトグル機構が開放されて固定コンタクトのばね圧力で強制的に右方に回転、ヒューズ

筒は下方に移動して筒先端のラッチがはずれる。カットアウトは垂直より約20度傾斜してすえ付けられているから、この際筒全体の重心が右下方に落ち、筒は180度ドロップアウトして開放される。なおこのドロップアウト動作は、筒内で電流を完全に遮断後行われるので、コンタクトはなんら損傷しない。

図4.5にDXM-1形カットアウトのドロップアウト動作後の位置を示す。

4.5 すえ付および保守、取扱い

DXM形カットアウトは、操作を便利にするためヒューズ筒のドロップアウト動作を確実にするために、約20度傾斜を付けてすえ付けるのを標準としている。

すえ付用金具は標準として図4.6に詳細寸法を示す。

EEI-NEMA規格の横木取付用金具が付属しているので、65×100から100×130までの横木に、あるいは裏当板を除いて直接電柱あるいは壁面に自由に取付けられる。また、カットアウトとは一本穴で連結されているので、操作の便利な方向にカットアウトの向を振って取付

けることができる。

結線は、ヒューズ筒を本体から取はずしてから行う。下部端子には負荷側、上部端子には電源側接続線をつなぐ。負荷側の線は、ヒューズ筒よりのガス放出範囲およびドロップアウト動作範囲を避けて架線することが必要である。

DXM形ヒューズは、フック棒で完全に操作できる構造となっており、ヒューズ筒を投入する場合は、図4.7のようにフック棒先の突出部をトグル機構のフック穴に突込んで、ヒューズ筒をつり上げ、ハンジ金具に挿入する。その後図4.8のようにフック棒先を筒上部のフック穴に入替えて、ヒューズ筒を前方に振りあげながら閉位置に投入する。この場合最後のラッチングは必ず確認しておかなければならない。

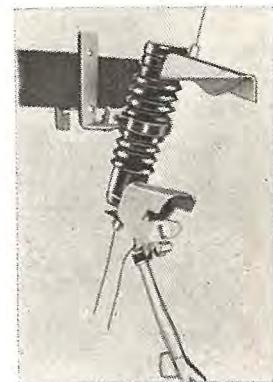


図4.5 DXM-1形カットアウト、ドロップアウト動作位置

Fig. 4.5 Type DXM-1 cutout in drop out position after fuse link blowing.

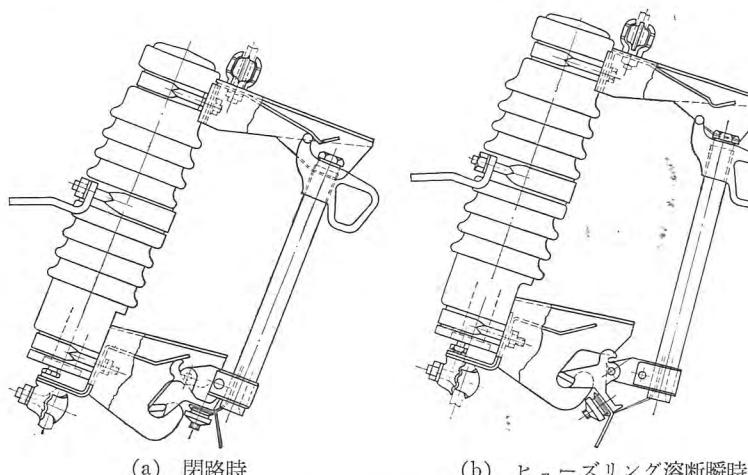


図4.4 DXM形カットアウト動作説明図

Fig. 4.4 Expository views of DXM cutout operation.

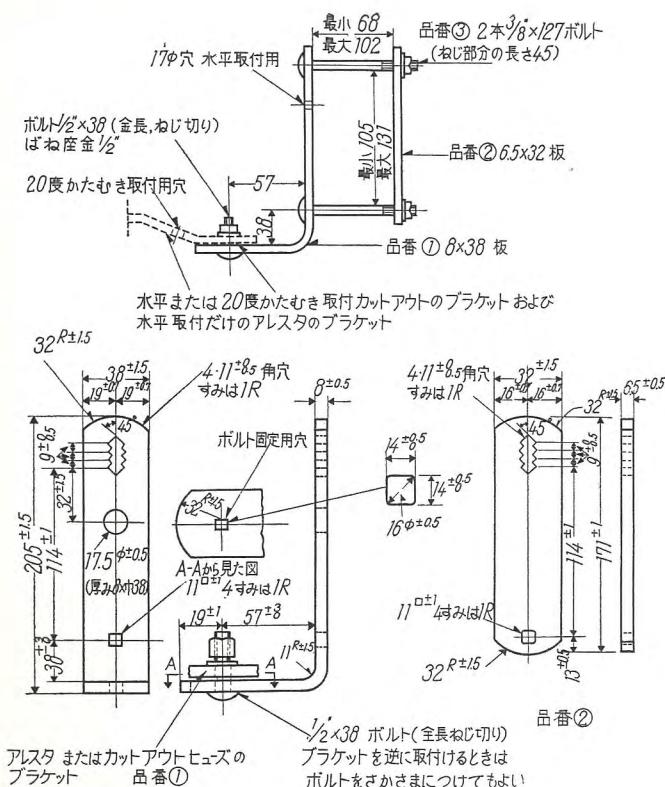


図 4.6 NEMA 規格取付用金具
(NEMA SG-2-1954 による)

Fig. 4.6 NEMA Standard mounting bracket.

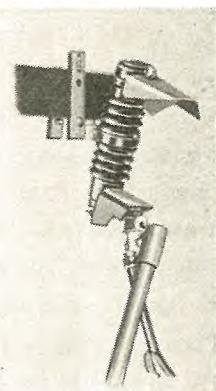


図 4.7 フック棒による
ヒューズ筒のつり上げ

Fig. 4.7 Hanging fuse
holder with a hookstick.

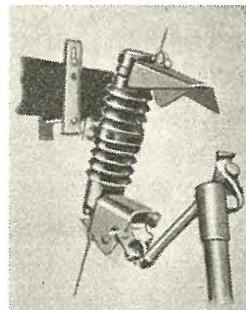


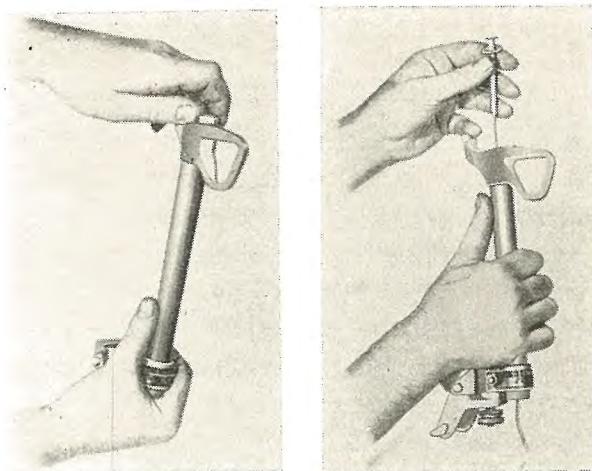
図 4.8 ヒューズ筒を振上げ
てカットアウトを
閉鎖する

Fig. 4.8 Closing cutout
by swinging fuseholder.

ヒューズ筒を開路する場合は、遮断レバー付を除き、普通まず、負荷を切放す。(もちろん、気象条件、すえ付条件が良好であれば 10 A 以下の小負荷電流は普通のヒューズ筒で開放できるが、安全のために負荷は切放すよう推奨する) 負荷が切放されてから、ヒューズ筒上部フック穴にフック棒を引かけて、下方に強く引張りラッチをはずしヒューズ筒をドロップアウト位置まで開放する。この場合、ヒューズ筒には最後まで下向きの力を加えておくこと。

ヒューズ筒を本体から取はずす場合は、まずカットアウトを開放しておいてから、図 4.6 (a) と同じくヒンジ金具に掛っているヒューズ筒をトグル機構穴にてフック棒でつり上げて取はずす。

DXM 形カットアウトは中身取替式ヒューズで、動作

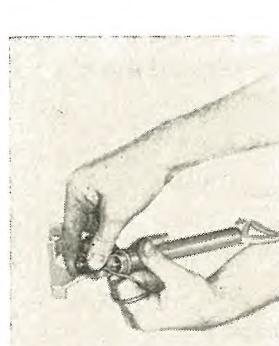


(a) フック金具からキャップをはずす

(b) ヒューズ筒内へリンクを挿入する



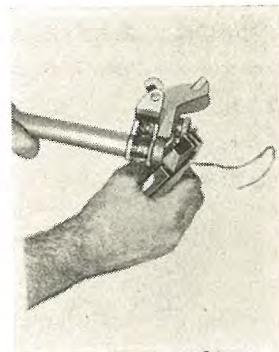
(c) フック金具にキャップをねじ込む



(d) ヒューズリンク先を締付棒に右回りに巻き付ける



(e) ナットを堅く締め付ける



(f) 余分のリンクはヒンジ金具から 35 mm で切り取る

図 4.9 ヒューズ取替方法
Fig. 4.9 Process for inserting new link in fuse holder.

後はヒューズリンクを新しく取替えれば、反復して使用できる。その方法は図 4.9 (a) から (f) までに図示してあるように非常に簡単迅速に取替完了するので、予備ヒューズリンクだけあれば、故障の即時復帰が可能である。

この DXM 形ヒューズカットアウトは、堅牢な構造で保守なしで長年使用できる。とくにヒューズ筒は、定格

遮断電流を十分保守なしで5回遮断し、電気的、機械的に異常を起さない強力なものである。しかし多数回故障遮断すると、ヒューズ筒内部の消弧用ファイバが消耗していくので、もし内径が下端吹出口でもとの内径よりも0.8~1.6 mm 大きくなれば、新しいヒューズ筒と、取替える必要がある。

4.6 負荷遮断構造と操作法

(1) 細隙形消弧室付カットアウト

最近カットアウトに過電流保護だけでなく、負荷電流を開閉する能力をも与え、二次側および一部の一次側のスイッチを省略して保護系統を単純化する考え方方が、関西電力会社をはじめとして配電関係者の間に現われてきており、そのため関西電力会社などで種々のカットアウトについて負荷開放試験が行われたが、その結果は消弧装置の付かないものは、アーク時間が非常に長く生のアークが周囲にのびて、気象条件、すえ付状況によっては、接地側にせん絡、遮断不能となったり、操作者に危害をおよぼす恐れのあることが判明、消弧装置付カットアウトが要求され始めた。

当社でも、最初、先に本誌上に発表した⁽⁴⁾、負荷断路器

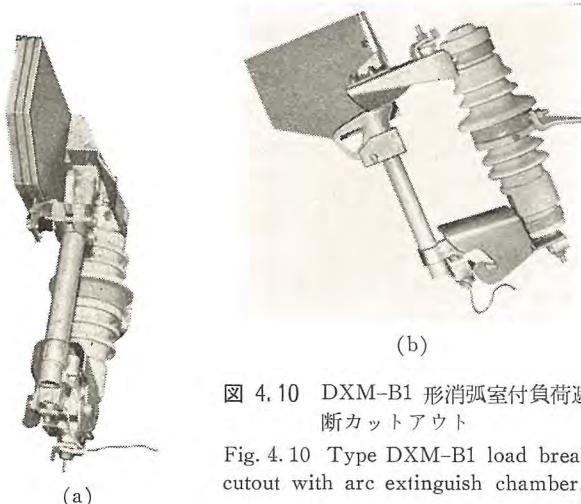


図 4.10 DXM-B1 形消弧室付負荷遮断カットアウト

Fig. 4.10 Type DXM-B1 load break cutout with arc extinguish chamber.

のアークチュートを利用して図4.10のような細隙形消弧室付カットアウトDXM-B1形を試作、読書発電所における現地試験にも供試し 6.8 kV 300 A (p.f. 0.7) をアーク時間 2.5 c/s 以内で5回連続に遮断する好成績を得たが、細隙形消弧室は本質的に遮断電流域に限度があるため、小電流遮断用細隙形消弧室付カットアウトには、短絡電流を投入した場合消弧室を損耗あるいは破損して操作者を負傷させないよう特殊な早切、早入などの装置を付ける必要があり、したがって構造複雑な高価なものになった。

それに代るものとして次に述べる保守の安全性と、価格的な面を合理的に解決する米国式の遮断レバー付方式を採用、新しくDXM-LB形負荷遮断カットアウトを開発した。

(2) 遮断レバー付カットアウト

この遮断レバー付負荷遮断カットアウトはDXM形ヒ

DXM形開放ドロップアウト カットアウト・岩崎

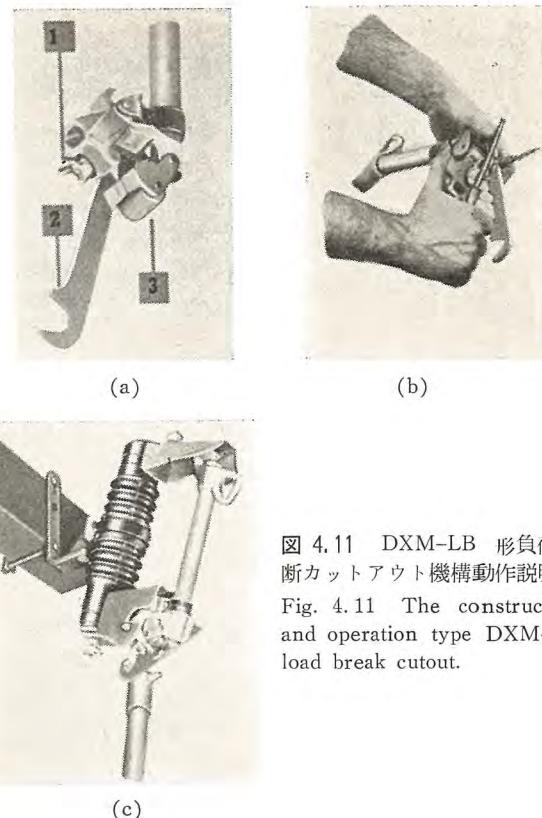


図 4.11 DXM-LB 形負荷遮断カットアウト機構動作説明図
Fig. 4.11 The construction and operation type DXM-LB load break cutout.

ューズカットアウトのヒューズ筒下端に、図4.11(a)に示すローラとレバーとを付したもので、レバーを引張ればローラでヒューズリンクに張力が加わり、ヒューズエレメントが機械的に切断されヒューズ筒内で発弧、以下普通の過電流と同様に、ヒューズリンク消弧チューブの作用で負荷が遮断される機構となっている。すなわち自己のヒューズ筒を負荷遮断時の消弧室として利用するものである。ただし無負荷開放操作は、ヒューズカットとまったく同じで、ヒューズ筒上部のフック穴を利用して、ヒューズリンクを消耗せず何回でも行うことができる。

投入時はヒューズカットアウトと同じく、ラッチとコントラクト先端との間の金属対金属の気中放電現象であるから、たとえ短絡回路であってもカットアウト自身は電気的、機械的になんらの損傷を受けず、安全、確実に投入できる。

この方式は負荷遮断操作ごとにヒューズリンクを消耗し、その都度新しいヒューズリンクを用意しなければならないが機器自身、細隙形消弧室付よりも構造簡単で廉価にでき、またヒューズリンクも非常に安いものであるからひんぱんに操作しない普通の個所へは、むしろこの方式のほうが、ヒューズリンク代を含んでも経済的となる。

構造詳細を図4.11(a)にて説明すると、

(1) はヒューズリンクケーブルの締付具で、ケーブルは鋭い凸起のある面に、ちょうどねじで、効果的に締め付けられ、ゆるんだり、抜けたりしない。

(2) はフック操作して外力を加えるためのレバーである。

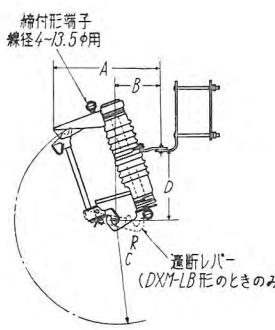


図 4.12 DXM 形カットアウト外形寸法図
Fig. 4.12 Outline dimensions of type DXM cutout.

定格電圧 (V)	A	B	C	D
7.8	321	122	297	200
15	335	108	379	229

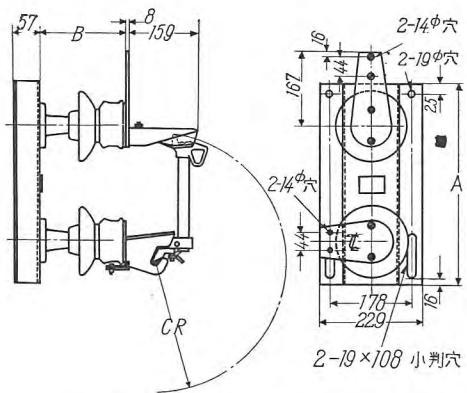


図 4.13 DXM-TS 形 2 本がいしカットアウト外形寸法図
Fig. 4.13 Outline dimensions of type DXM-TS cutout with two insulators.

定格電圧 (V)	A	B	C
7.8	464	170	297
15	546	240	379

(3) がローラで、當時はヒューズリンクに必要以上の張力をかけずレバーが操作されれば、ヒューズ筒内でヒューズエレメントを切断するよう動作する。

図 4.11 (b) に負荷遮断ヒューズ筒のヒューズリンク装填法を示しているが、その方法は普通のヒューズ筒とまったく同様で、ただ、ヒューズリンクケーブルをローラの上に載せ、必要以上の張力を与えないよう注意の上締付ければよい。

図 4.11 (c) に負荷遮断の際のフック操作法を示すが、フック棒を図のようにレバーに掛け引張るだけでよい。この場合機構内の回転軸が、ヒューズ筒に上向きの力を与えコンタクト圧力を増すような位置にあるので、コンタクトにはアーキは発生せず、ヒューズ筒内で確実に負荷は遮断される。

4.7 外形寸法

図 4.12 に標準の 1 本がいし付 DXM 形カットアウト外形図を示す。なな、発電所構内で電力用として 1 本がいし付以上の高い絶縁耐力が要求される場合には図 4.13 のように、2 本がいしカットアウト DXM-TS 形を使用すればよい。

表 5.1 ヒューズリンク定格表

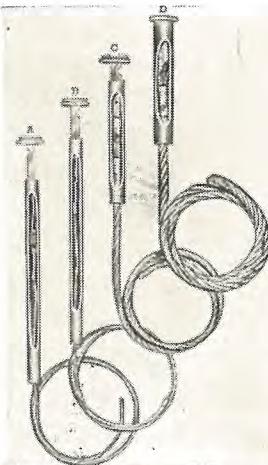
形名	定格電流 (A)
UT	1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 85, 100
スーパーサージ	1/2, 1, 2, 3, 5

5. ヒューズリンク

5.1 概要

カットアウトの取替中身用ヒューズリンクには 2 種ある。一つは一般用の低温ヒューズリンク、UT 形で他の一つは雷撃などの突入電流でヒューズリンクがひんぱんに動作するのを避けるため、変圧器の短時間定格特性と協調させ、つくられたスーパーサージヒューズリンクである。

表 5.1 は当社ヒューズカ



A=1.2 A 1 or 2 A
B=3~15 A 3 to 15 A
C=20~50 A 20 to 50 A
D=65~100 A 65 to 100 A

ットアウトの定格表である。図 5.1 UT 形ヒューズリンク。このヒューズリンクは Fig. 5.1 Type UT fuse links. DXM 形専用ではなく、筒内にはいりさえすれば、定格電圧、15 kV 以下のあらゆる形のヒューズスカットアウトに、開放形、密閉形の別なく、中身ヒューズとして使用できる。なお NEMA 規格では、この種ヒューズリンクのはん用のために、カットアウトおよびヒューズリンクに寸法規定があり、互換性を要求している。わが国では規格もなく、いかなる寸法が適當であるか不明であるので、ただいまのところとりあえず NEMA 規格に合わせている。また張力ヒューズとして 5 kg 以上の抗張力を有している。

5.2 特長

(1) UT 形ヒューズリンク

a. 耐サージ容量が大きく、雷撃による溶断が少ない。

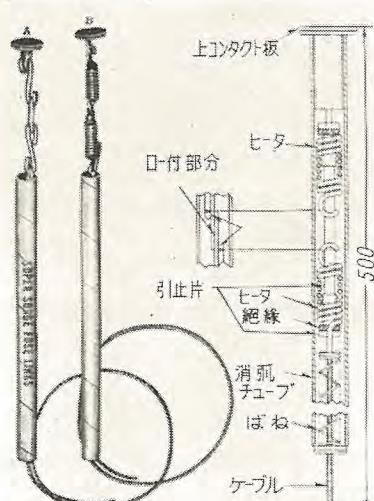


図 5.2 スーパーサージヒューズリンク
Fig. 5.2 Super surge fuse links.

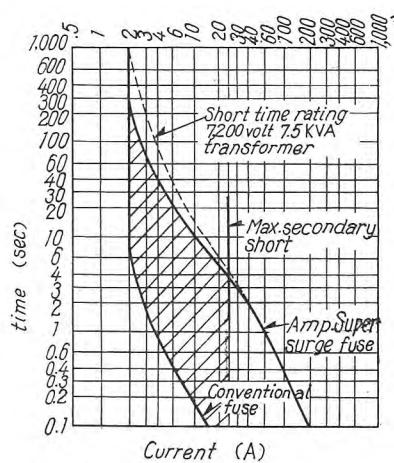


図 5.3 スーパーサージヒューズリンクと普通ヒューズとの比較図

Fig. 5.3 Comparison of super surge with conventional fuse.

- b. リンク用チューブは完全な防湿処理が施されており、変形しない。
- c. 低温で動作し、ヒューズ筒を焼いたり、焦がしたりしない。
- d. UT 形ヒューズリンクは、その電流時間特性曲線が大きく倒れているから、鋭く立っているヒューズリンクよりも、他の機器との協調がとりやすい。

(2) スーパーサージ、ヒューズリンク

- a. 特別に大きい耐サージ容量をもち雷撃などの突入電流で溶断しない。
- b. 変圧器に耐する過負荷保護特性がすぐれており二次側短絡や、過負荷による撓損が防止できる。
- c. 小定格の変圧器まで、完全に保護される。

5.3 構造、動作

(1) UT 形ヒューズリンク

図 5.1 に示すように、ヒューズエレメントは、上コンタクト板と可撓銅燃線との間に、ロー付され、消弧用チューブで密封されている。エレメントは低温溶融材料を使用しヒューズ筒内で、高温が発生するのを防止している。

ケーブルは、ヒューズが溶断したとき、どんな形のヒューズ筒からでも容易に放出されるよう、とくに可撓性の高い銅燃線を使っている。

また 1~15 A は、つる巻きばね付でこの放出作用を助けている。3 A 以上のエレメント部分は引張強度を上るために、抗張力の高い抵抗線を引上片として、ヒューズエレメントに並列させ使用している。

1, 2 A は抗張力の強い材料をエレメントとして使っている。UT 形ヒューズリンクは、定格の 100A 電流では、連続通電に耐え、定格の 230% 電流では 5 分以内に溶断する。

(2) スーパーサージヒューズ

このリンクは図 5.2 に示す二重エレメントヒューズで低電流域ではロウ付部分が溶け、高電流域ではコイルあるいはヒータ部分が溶融動作する。その電流時間特性は図 5.3 に示すように、大電流域が非常に遅れ、変圧器の過負荷特性によく適合している。このエレメント部分を除くと、その構造、動作は UT 形ヒューズリンクと同一である。

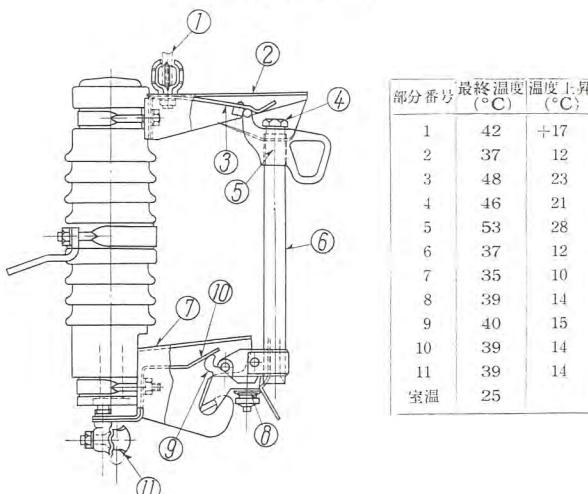
6. DXM 形カットアウト試験成績

開発始めてから、2 年間にわたり種々の試験を、DXM 形カットアウトについて実施してきた。カットアウトはまだ JEC 規格がなく慣例的に準用されている電力ヒューズ規格⁽⁵⁾ JEC 113 も制定後、約 10 年を経て、相当改訂を要する規格であるので、一応 NEMA 規格⁽¹⁾ #SG-2 に準拠して行った。

6.1 温度試験

遮断容量がもっとも少なく、温度上昇が一番高い DXM-1 形の定格電圧 7.8kV ヒューズ筒に UT 形 100A ヒューズリンクを入れて行った 100A 連続通電試験結果

表 6.1 DXM-1 形 7.8kV 100A ヒューズカットアウト
温度試験成績表



を表 6.1 に示す。

接続導体には #1 の銅線を使い、電流は 60 c/s の低電圧電源から温度飽和するまで 3 時間 15 分供給、温度はヒューズ片の温度だけ熱電対にて、他は温度計にて測定した。その結果は温度上昇 30 度以下にて NEMA 規格に合格している。

6.2 動作電流時間特性試験

(1) NEMA 規格と日本電力会社規定との比較

NEMA 規格が「時間をベースとして定格電流値の 200~240% で 300 sec にて溶断」と規定しているに反して、日本では電気工作物規定の「電流値をベースとして定格電流の 2 倍で 2 分以内に溶断」を基準としているので、ヒューズリンクは、NEMA 規格品と日本の電力会社規格品とでは、同じ電流定格品でも電流時間特性は異なってくる。大体電力会社定格は NEMA 定格より 1~2 段低い。たとえば、日本の 30 A 定格は NEMA の 20 A 定格位である。両者の比較であるが、電流定格が大きくなると、電気工作物規定の「定格電流の 1.25 倍の電流に耐えて、2 倍で 2 分以内に溶断する」ものは材料的に製作困難となるが、NEMA 規格のほうは、定格電流値に比べ、溶断電流時間特性が遅れているので、製作が容易である。また誤差の規定も時間を基準として +20%~-0% の溶断電流値誤差を許す NEMA 規格のほうが、電流値を基準として溶断時間を 2 時間以下に抑えそのバラツキは何ら規制していない JEC 113 よりも明確でより合理的であるといえよう。

(2) 試験結果

図 6.1~図 6.4 に UT 形およびスーパーサージヒューズリンクを DXM-2 形に装填、測定した試験結果を示す。この特性は当社製以外のカットアウトに装填使用しても長時間域を除きほとんど変化しない。

a. 最小溶断特性

図 6.1, 6.2 の最小溶断電流時間曲線は、室温 25°C にて測定された最小値をプロットして作成したもので全電流域にて、この時間以下では、ヒューズリンクは溶断

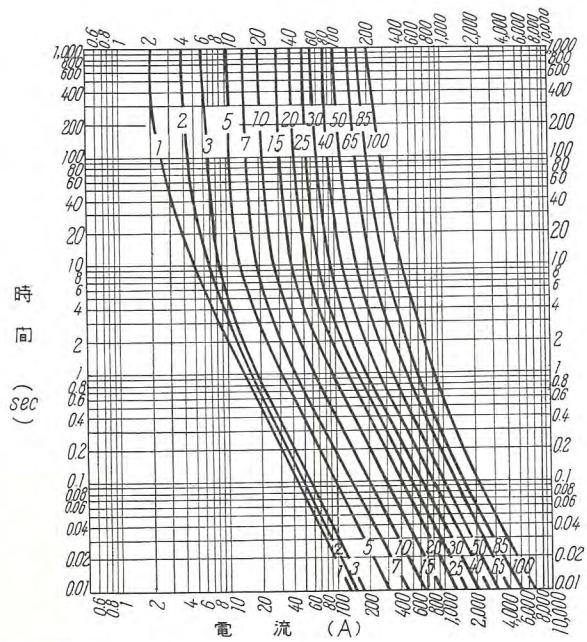


図 6.1 UT 形ヒューズリンク最小溶断時間電流特性曲線

Fig. 6.1 Type UT fuse link minimum fusing time current characteristic curves.

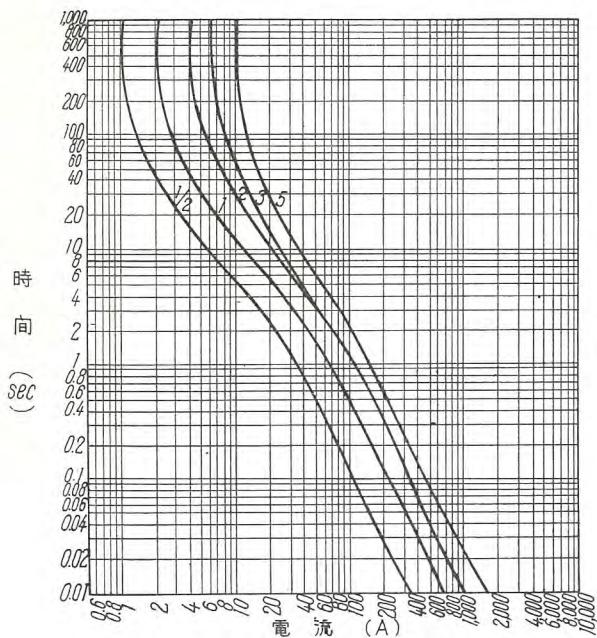


図 6.2 スーパーサージヒューズリンク最小溶断時間電流特性曲線

Fig. 6.2 Super surge fuse link minimum fusing time current characteristic curves.

しない。この曲線は、あらかじめ電流をまったく流さないリンクについて試験した結果であり、実際の場合は必ず負荷電流がとおっていて、故障が発生するのであるから、この曲線はヒューズの電流定格を選ぶのにはあまり参考とならない。

溶断時間のバラツキはヒューズの性質上完全になくせないが動作協調上できる限り少ないほうが望ましいので

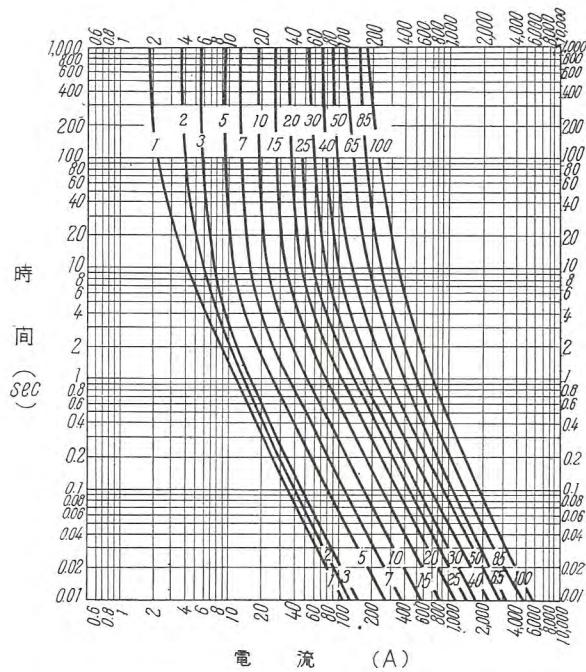


図 6.3 UT 形ヒューズリンク短時間定格時間電流特性曲線

Fig. 6.3 Type UT fuse link short time rated time current characteristic curve.

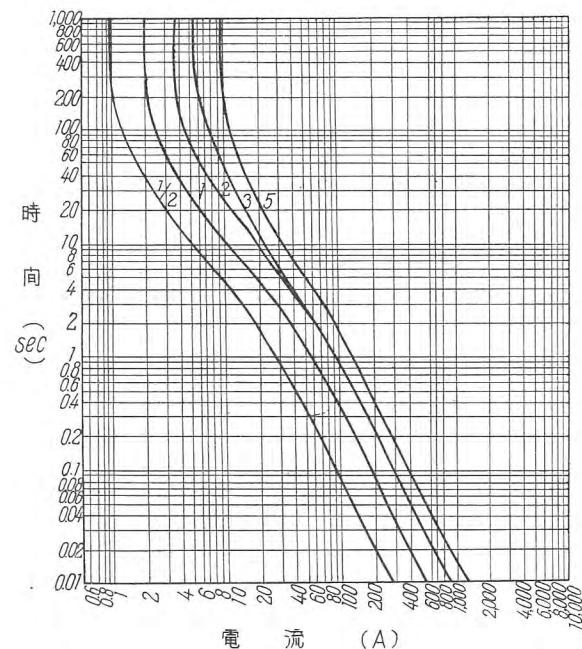


図 6.4 スーパーサージヒューズリンク短時間定格時間電流特性曲線

Fig. 6.4 Super surge fuse link short time rated time current characteristic curve.

これが減少には努力している。その結果、試験結果は時間を基準として電流値の誤差範囲は $\pm 5\%$ 以内で十分の余裕をもって NEMA 規格に合格している。しかしロット間の誤差もあるので、最大誤差範囲として NEMA と同じく $+20\% - 0$ を採用した。この誤差は図 6.7, 6.8 の全遮断時間特性曲線内に含まれている。

b. 短時間定格特性

全負荷電流を流していて事故が起った時の特性を調べるために、試験した結果が、図6.3、6.4に短時間定格時間一電流曲線として示されている。この曲線は先の溶断時間特性とは異なり、ヒューズリンクに或る電流を流したとき、エレメントの温度が変質点以下にとどまって、ヒューズリンク自身、なんらの損傷も受けず、安全に流しうる最大時間が作図されている。これによれば安心して流しうる時間は定格電流付近では溶断時間よりも相当低くなっている。

従来ヒューズが自然劣化し無事故時に動作することの多かったのはヒューズの電流定格を選定するさいこの短時間定格を考慮せず、溶断特性をヒューズの動作特性と考え、他の機器との動作協調を図っていたため、一寸の過負荷でもってエレメントの劣化がはじまっていたのではないかと思われる。動作協調、とくにヒューズの無事故溶断を防止するためににはかならずこの短時間定格特性を使用しなければならない。

しかし定格電流値の10倍以上の大電流域になると、このエレメントの変質時間と溶断時間との時間差は非常に短かく、この間に消費するエネルギーは、リンクが発弧するまでの全エネルギーのわずかな部分しかあたらないので実際事故の場合には、リンクが切断せずに損傷することはほとんどないと考えられる。事実、工場にて条件を制御して実験したが、大電流で溶断させず、エレメントを損傷させることは非常に困難であった。

なお、次項図6.6には関西電力の現地試験に供試したUT-J形(電気工作物規定に適合する特性を有するもの)5A、30Aヒューズリンクの電流時間特性を示す。

6.3 遮断試験

カットアウトの死命を制する重要な試験項目であるから、いかなる苛酷な系統へも使用できるよう、当所50MVA遮断試験設備はじめ研究所2MVA遮断試験設備などで、小電流から大電流まで、種々回路条件もえて、実負荷試験を実施した。そのうち代表的な結果とオシログラムを表6.2と図6.5に示す。DXM-3形の6kV 10kAは目下試験中で後日報告する。

なお、本年初頭、関西電力読書発電所にて行われた現地試験でも表6.3、図6.6の成績を認め、DXM形の性能の一端が実証された。

遮断状況は遮断電流にて異なるが、200~500A以下

表6.2 代表的 DXM形ヒューズカットアウト遮断試験結果

試験番号	ヒューズリンク 形名 および定格電流(A)	給電圧(kV)	回復電圧(kV)	短絡力率	遮断電流(A)		遮断時間(c/s)		
					RMS(A)	直流分(RMS%)	非対称RMS(A)	溶断アーケット	全遮断
800-11	DXM-2	UTJ-5	6.9	6.9	0.5	11	0	11	233 2.5 235.5
800-3	"	"	"	"	0.11	50	0	50	5.85 3.7 9.55
L-2-7	"	UT-5	6.75	6.2	"	77.8	70	105	0.5 3.2 3.7
799-8	"	UT-1	7.25	7.1	0.05	500	0	500	0.11 0.34 0.45
799-13	"	UT-5	7.05	6.9	"	1100	46	1310	0.11 0.69 0.8
795-24	DXM-1	"	6.9	6.75	0.02	1900	91	3100	0.07 0.65 0.72
802-11	"	"	"	"	"	3060	15.7	3280	0.05 0.39 0.44
7105-4	DXM-2	UT-30	7.25	6.9	0.11	5200	9.0	5260	0.145 0.27 0.415
795-25	"	UT-5	"	7.0	0.06	3060	91	5000	0.08 0.59 0.67

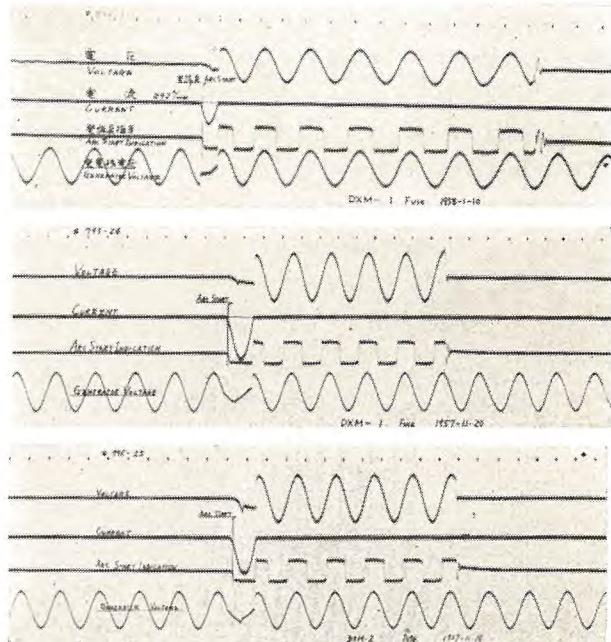


図6.5 代表的 DXM形ヒューズカットアウト遮断試験
オシログラム

Fig. 6.5 Representative interruption test oscillograms of type DXM fuse cutout.

表6.3 DXM形ヒューズカットアウト関電第三期試験成績表

試験番号	ヒューズリンク 形名 および定格電流(A)	給電圧(kV)	回復電圧(kV)	短絡力率	遮断時間(c/s)		遮断電流(A)		
					溶断アーケット	全遮断	交流分直流分波高值	実効値	
AR-100-1	DXM-2	5	6.8		0.7	2.35	1.0	3.35	163 0 115.3
AR-300-1	"	5	"	6.75	"	0.324	0.295	0.619	453 -23.8 321
" -6	"	30	"	6.6	"	19.26	0.75	20.01	" 0 320
AR-600-5	"	5	"	6.7	0.38	0.15	0.4	0.55	850 -468 761
" -6	"	30	"	6.65	"	4.35	0.58	4.93	" 0 601
AR-1000-1	"	5	"	6.74	0.34	0.116	0.42	0.536	1670 -946 1513
" -6	"	30	"	6.8	"	1.235	6.235	1.47	" -6.28 1180
AR-1500-3	"	5	"	6.65	0.27	0.099	0.499	0.599	2350 -1715 2388

注：(1) 試験日 33-1-18~33-1-18

(2) 場所 関西電力読書発電所

(3) ヒューズ筒は DXM-2 形を使用していたが、負荷消弧室付であったので形名を “DXM-B1” と称した。しかし遮断試験には消弧室は関係ないので実質的には DXM-2 形の遮断試験である

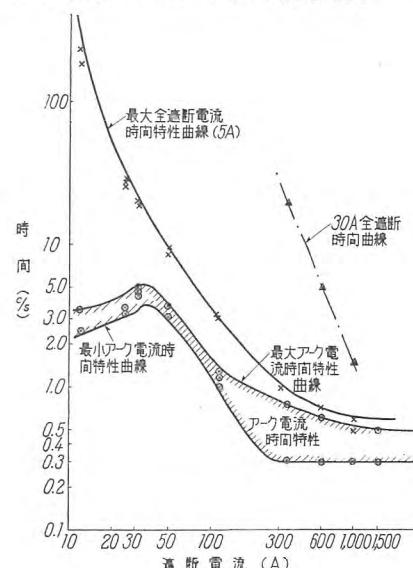


図6.6 DXM-2形ヒューズカットアウト関電第三期試験成績曲線

Fig. 6.6 Field test result curve of type DXM-2 fuse cutouts at Kansai.

の小電流ではヒューズリンクの消弧チューブのガス放出作用と引ばねのアーク引のぼし作用とで遮断される。ヒューズ筒内は少し黒化するが内面の消弧ファイバ自身はなんら損傷しないので、ヒューズ筒自身の寿命はこの程度の小電流は何回遮断しても減少しない。

小電流域ではこのDXM形も、放出形ヒューズ共通の特性として、電流の減少とともにアーク時間が増大する傾向をもっている。しかもドロップアウトヒューズでは、ヒューズリンクが溶断すれば、自動的にコンタクトは開

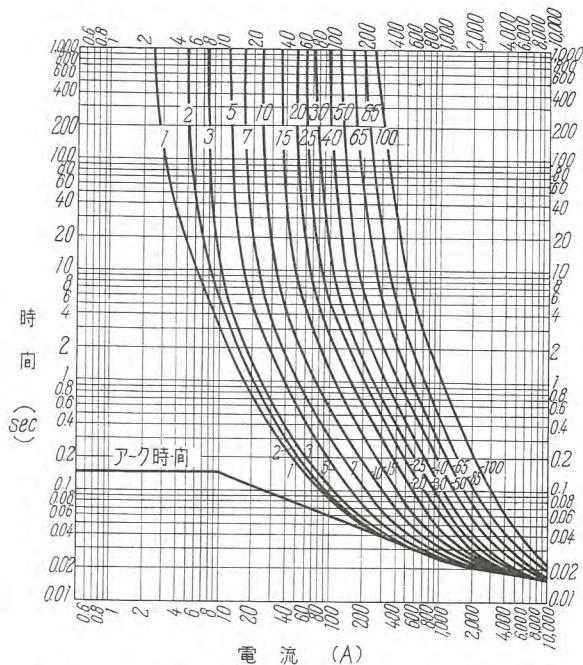


図 6.7 UT 形ヒューズリンク全遮断時間電流特性曲線
Fig. 6.7 Type UT fuse link full interrupting capacity time current characteristic curves.

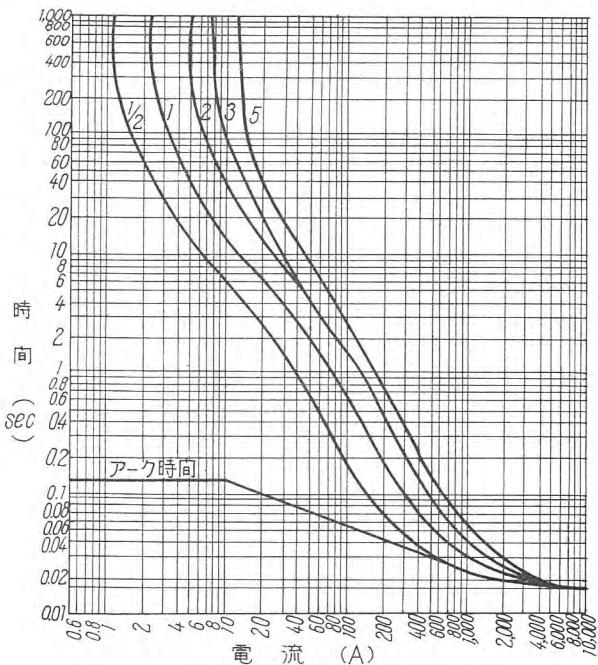


図 6.8 スーパーサージヒューズ全遮断時間電流特性曲線
Fig. 6.8 Super surge fuse link full interruptive time current characteristic curves.

離するので、もしアーク時間が 10 c/s 以上になると、コンタクト間にはアークが発生、遮断不能の原因ともなる。これを防止するため 15A 以下の UT 形およびスーパーサージヒューズリンクには、アーク引込用ばねをいれ、他力消弧力を付与してあるが、試験結果は図 6.6, 6.7, 6.8 の最大アーク時間一電流曲線にて示すように、10A 以下で 9 c/s 以内の一定アーク時間を保証している。

500 A 以上の場合はヒューズリンクの消弧チューブは発弧瞬時に破裂飛散し、アークはヒューズ筒の作用で大体最初の電流半波にて遮断される。ヒューズ筒内部の消耗もこの電流値頃よりはじまり、電流の増加とともに大きくなる傾向をもっている。ヒューズ筒の寿命を試験するために繰返し遮断試験を行ったが、定格遮断電流は最小 5 回は異常なく遮断し、引続き使用に耐えた。読書発電所の試験でも全ケース 26 回を劣化、新品の二本のヒューズ筒でアーク時間 1/2 c/s 程度にて遮断し、機械的に強く、寿命の大きいことが認められた。

6.4 負荷遮断試験

(1) DXM-1 形カットアウトによる負荷開放

閉路中の DXM-1 形カットアウトをフック操作にて 1~3 m/s の速度で開放、励磁電流あるいは小負荷電流の開放能力を試験した。その際アークに 1~10 m/s の風を吹きつけその影響をも調べた。その傾向は電気学会報告とまったく同一で 3~5 m/s 程度の風が吹くと遮断は非常に困難になる。

試験結果の一部を表 6.4 に示すが、アークはヒューズ筒先端と固定上コンタクトラッチとの間に弧状に発生、相当引延ばされてから消滅する。アーク時間の長い割にコンタクトは損傷せずこの程度の負荷電流は保守なしで何回でも操作できる。表 6.5 に十分なすえ付距離を有する場合の DXM 形カットアウトの負荷遮断限度を本試験結果から安全側にとって示した。

表 6.4 DXM 形カットアウト（遮断レバーなし）
負荷開放試験

給与電圧 (kV)	回復電圧 (kV)	力率	電流 (A)	風速 (m/s)	電弧時間 (c/s)	遮断成功率 (%)
7.2	7.1	0.7	21	0	30~40 (20~35)	100
				4.5	60	
				10	10~30	100
7.9	7.3	0	35	0	50~60	100
				1~2	"	100
				4.5	0	
7.1	6.8	0	57	10	20~40	100
				0	(60~80)	50

注：(1) ヒューズー相を 1.5 m 鉄わくに取付、上方前方には 5 m 以内他の構造物なし。

(2) 風の吹付方向は正面。

表 6.5 DXM 形カットアウト（遮断レバなし）
負荷開放能限度

遮断電流の種類	力率	回路電圧 (kV)	負荷開放能限度		
			電流値 (A)	三相変圧器容量 (kVA)	単相変圧器容量 (kVA)
磁電流	0.1 以下	6.9 以下	3	750	400
負荷電流	0.7 以上	6.9 以下	10	100	75

条件 (1) 相間距離 0.5 m 以上。

(2) 上方、前方には他の構造物なし。

(3) 降雨時は除く。

しかし先に 4.6 節 (1) 項で述べたように、生の電流が四回に及び気象、すえ付などの実地条件によって大いにその遮断性能は影響を受けるので、負荷電流遮断はすべて負荷遮断装置付ヒューズ筒で行うが安全確実である。

(2) 遮断レバー付 DXM-LB 形カットアウトによる負荷開放

これは人為的にヒューズリンクを切断するだけでその後の消弧機構は事故電流による自然動作の場合とまったく同一であるから、この遮断レバーで開放してもその遮断状況は 6.3 節の結果と同一となりアーケ時間は 9 c/s 以下で生のアーケはまったく外部に出ず安全である。ここに改めて詳細な試験結果は示さない。

もちろんヒューズリンク内でアーケを遮断するから何回負荷開放操作しても、ヒューズ筒自身はなんら損耗しないから寿命は永久である。

7. DXM 形カットアウトの用途

元来配電線用として設計されてあるので、配電系統で

- (1) 配電線用変圧器の過負荷、一、二次側短絡の保護および系統への接続分離用。

- (2) 配電線用キャパシタ、レギレータなどの短絡保護および系統への接続分離用。

- (3) 配電線路の保護、分離用。
として好適であるが、電力系統にも

- (4) 発電所構内の所内用小容量機器の保護、接続分離用。

として短絡容量の少ない個所に、遮断器、電力ヒューズの代りに使用すれば、設備の経済化に役立つと考えられる。

しかしカットアウトは、定格の選定、使用方法を誤るとその能力が 100 % 活用できず、かえって事故を惹起する恐れもあるので、使用にあたっては、次章の「使用上の注意」をよく参照願う。

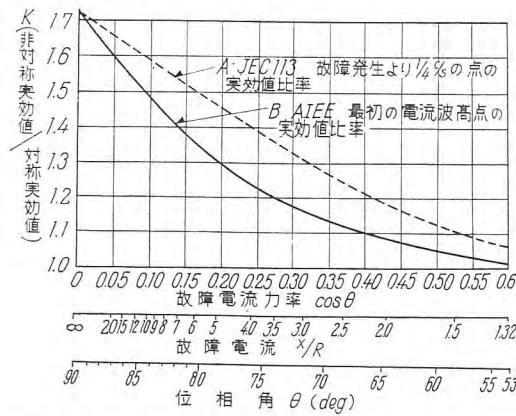


図 8.1 故障電流の非対称実効値対称実効値の比率 K と故障力率および X/R との関係曲線

Fig. 8.1 Curve showing the relation between the ratio of rms asymmetrical amperes to rms symmetrical amperes for to fault current power factors or X/R ratios.

注：この図は次の条件を基として作成した

- (1) 交流分の減衰は 0
- (2) 故障は電圧 0 にて発生
- (3) 非対称実効値 = $\sqrt{(\text{交流分実効値})^2 + (\text{直流分})^2}$

8. 使用上の注意

8.1 遮断容量

ヒューズカットアウトは、大電流を遮断した場合、大体 1/2 c/s 以内に発弧するので、遮断電流は故障発生位相によっては過渡直流分がはいり大きくなる。その直流分は回路の短絡力率によっても影響を受け、力率の良い回路では瞬時に減衰するから、たとえ 1/4 c/s 以内に発弧しても直流分はほとんど 0 となる。反対に非常に力率の悪い個所ではほとんど減衰せず、100% に近い直流分が含まれ、実効値は最高の場合は回路の対称短絡電流実効値の $\sqrt{3}$ 倍にもなる。しかし電流半波以内に遮断完了した場合のヒューズの遮断電流値は、JEC 113 では故障発生より 1/4 c/s の点で、米国規格では最初の電流波高点すなわち大体は 1/2 c/s 付近で測定した交流分、直流分の瞬時値から計算することになっているから、同じ故障電流を遮断してもその遮断電流値は異なってくる。

図 8.1 に交流分の減衰は 0 として、故障が電圧 0 で発生した場合の短絡力率と遮断電流の最高非対称実効値/対称実効値、との関係が、JEC、米国規格⁽¹⁾⁽⁶⁾、両方式にて計算作図してある。

その結果は図 8.1 に示すように、JEC のほうが米国規格よりも、見かけの上で遮断電流値が大きくなる。当社では先に述べたように、NEMA 規格に準拠しているので、B 線のほうを使用している。

以上のことから、カットアウトの遮断容量を検討する際には、回路のインピーダンス・マップより計算した対称短絡電流に、短絡力率から得られる図 8.1 の比率 K を乗じて求めた非対称値をば、カットアウトの所要遮断電流値としなければならない。

電力系統では、回路の短絡力率はほとんど 0 に近いので従って比率 K も 1.6 を採用しているが、配電系統では配電線の抵抗がはいり短絡力率の良い場所が多いので、比率も 1.6 より小さいことが予想される。カット

表 8.1 6.6 kV における変電所からの距離と三相短絡電流概略値

I_0 =対称分実効値 A X/R=回路のリアクタンス/抵抗 I=非対称実効値 A

距離 (km) 容量 (kVA)	X (%) R (%) 容積 $\frac{I_0}{I}$	距離 (km)		0	0.1	0.3	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	
		$I_0 \times R$	$I_0 \times X$	$I_0 \times R$	$I_0 \times X$	$I_0 \times R$	$I_0 \times X$	$I_0 \times R$	$I_0 \times X$	$I_0 \times R$	$I_0 \times X$	
50	2.5 (R=1.8%)	140	1.39	143								
100	3.5 (R=1.5%)	227	2.38	250								
300	4.0 (R=1.5%)	615	2.67	700								
500	4.0 (R=1.5%)	1000	2.67	1130								
∞		5.6		3.49 2000		1540	2.75	1800	1470	2.3	1700	1250
1000	(R=1.2%)	22		660 3.49 *		1569	2.9	1850	1450	2.48	1750	1270
		38		3.87 2100		1580	3.27	1900	1530	3.1	1800	1320
3000	(R=1.0%)	22		3.08 5600		4010	1.96	4400	3280	1.54	3400	2460
		38		5100 5.00 7000		4770	3.73	5900	4240	2.75	4900	3440
		60		4.38 6000		4390	3.27	5200	3860	2.9	4500	3180
6000	(R=0.8%)	22		2.7 10500		6050	1.46	7000	4770	1.1	8000	2899
		38		9680 3.6 11000		7050	2.2	7200	5950	1.73	8000	3810
		60		4.4 11500		7350	3.03	8300	6150	2.4	9200	4500
		100		5.2 7680		8160	4.16	9500	6700	3.7	8200	4800
10000	(R=0.5%)	22		13600 2.25 15000		7950	1.15	8000	5700	0.87	8500	3250
		38		14000 3.44 17000		10000	1.88	11000	7300	1.46	12000	4480
		60		4.6 18000 10300		12000	4.00	14000	10700	2.14	13000	5300
		100		6.3 19000 10600		13500	4.23	15000	11000	3.27	16000	5850

注：使用 Cable は硬鋼線、線間距離は水平 500 とする。K=II₀ は図 8.1 を使用

アウト使用の手引として、表 8.1⁽⁷⁾⁽⁸⁾に 5 φ から 100 mm²までの硬銅線を使った場合の変電所出口、および変電所より 0.1~6 km 離れた地点の対称短絡電流、短絡力率および図 8.1 の比率 K を乗じた非対称短絡電流値（所要遮断電流）を示す。

従来、小形柱上変圧器などの小容量機器一次側保護ヒューズ類は、被保護機器の容量が小さいから、遮断容量はほとんど不用と考えられる向もあったが、遮断容量はカットアウトより先の条件できるもので、カットアウト以後の被保護機器の容量にはまったく無関係である。たとえば配電用変圧器の容量が 10,000 kVA、変圧器からの距離で 1 km、導線が硬銅線 22 mm²であれば、たとえ 10 kVA の柱上変圧器用一次側カットアウトであっても表 8.1 に示される 3,300 A の遮断容量は必要である。DXM 形カットアウトを使用する場合には、ヒューズ筒 DXM-1 形では遮断電流 3,000 A で容量不足するので、DXM-2 形が必要となる。もしカットアウトでは、遮断

表 8.2 DXM 形カットアウト使用可能な変電所よりの概略最小距離 (6.6 kV において)

ヒューズ筒 形名	DXM-1 DXM-LB1			DXM-2 DXM-LB2			DXM-3 DXM-LB3					
	遮断電流 (A)	3000	5000	10000	遮断電流 (A)	3000	5000	10000	遮断電流 (A)	3000	5000	10000
導線寸法 mm	22	38	60	100	22	38	60	100	22	38	60	100
変圧器容量	22	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	—
500	0	0	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—
1000	0	0	—	—	0	0	—	—	0	0	—	—
3000	0.7	1.0	1.5	—	0.2	0.3	0.4	—	0	0	—	—
6000	1.0	1.5	2.0	3.0	0.5	0.7	1.0	1.5	0.2	0.2	0.2	0.3
10000	1.5	2.0	2.5	3.5	0.7	1.0	1.5	2.0	0.3	0.4	0.4	0.7

注：表 8.1 より算出した

容量不足するようなときは大遮断容器の電力ヒューズを使用しなければならない。

表 8.2 にはこのように表 8.1 の値から求めた DXM 形カットアウト概略使用可能な変電所よりの最小距離を DXM-1, 2, 3 形別に示してある。たとえば、DXM-1 形カットアウトは定格遮断電流 3,000 A で、導線 22 mm² であれば変電所変圧器の容量が 6,000 kVA の場合、導線長が 1 km 以上の地点でなければ遮断容量不足で使用できないことを示している。DXM-3 形の項で示す距離以下のところには遮断電流 10,000 A 以上の電力ヒューズが入要である。

8.2 ヒューズリンクの電流定格選定法

(1) 一般の場合

使用回路の全負荷電流値を基準として選ぶが、ヒューズで過負荷保護をするのは一般に良策でない。普通は系統の短絡保護を主目的として全負荷電流値の 2 倍以上の電流定格をもつヒューズリンクを使用し、少しの過負荷とか、雷サージ、投入電流などの過渡的な過電流では不必要にカットアウトが動作しないようにするほうが得策である。

表 8.3 に系統短絡保護を主とした場合の、ヒューズリンク電流定格推奨値を示す。

(2) 他との協調を考え変圧器保護に使用する場合

変圧器一次側に設置されるヒューズカットアウトの役目を詳細に分析すると次の 5 項目に分れる。完全な動作協調を求めるためにはその各項を 100 % 満足させる電流定格を選定しなければならないが普通はまず、(a)(b) 項にて最適のヒューズリンク電流定格を選定し、その後保護機器の電流時間特性をリンクの特性に合わせて調整し、やむを得ない時だけ、リンク定格を保護機器に合わせて変更する方法がとられている。

a. 変圧器の全負荷電流の永久通電および短時間定格電流の無変質通電

カットアウトは規定値以上温度上昇せずに全負荷電流を永久通電し、過負荷や投入時の過渡現象による過電流および雷撃によるサージ電流などは、大電流、小電流を問わず、変圧器の短時間定格以内では、ヒューズリンクを変質させず耐えなければならない。

本項を完全に満足させるためには、ヒューズの短時間電流一時間特性が変圧器の短時間定格特性と全電流域で合致せねばならない。この条件を備えているのが、スーパーサージヒューズリンクで、これを使用すれば不必要的停電は回避され、理想に近い保護が可能である。

b. 変圧器の過負荷による焼損の保護

変圧器の寿命を減さないためには過負荷は短時間定格以内で遮断しなければならないから、ヒューズリンクの全遮断時間特性が過負荷電流域で変圧器の短時間定格特性以下になる必要がある。

表 8.3 変圧器保護用ヒューズリンク推奨電流定格表

変圧器容量 (kVA)	3,450V			6,900V			11,500V			13,800V			
	全負荷電流 (A)		ヒューズ定格 (A)	全負荷電流 (A)		ヒューズ定格 (A)	全負荷電流 (A)		ヒューズ定格 (A)	全負荷電流 (A)		ヒューズ定格 (A)	
	UT 形	スーパーサージ	UT 形	スーパーサージ	UT 形	スーパーサージ	UT 形	スーパーサージ	UT 形	スーパーサージ	UT 形	スーパーサージ	
単相変圧器	1.5	0.435	2	1/2	0.217	1	1/2	0.131	1	1/2	0.109	1	1/2
	3	0.87	3	1	0.434	2	1/2	0.216	2	1/2	0.217	1	1/2
	5	1.45	5	2	0.725	3	1	0.362	2	1/2	0.362	2	1/2
	7.5	2.17	5	2	1.08	5	1	0.650	3	1	0.542	3	1/2
	10	2.9	7	3	1.45	5	2	0.867	3	1	0.724	3	1
	15	4.34	10	5	2.17	5	2	1.30	5	2	1.09	5	1
	25	7.25	20	—	3.61	10	5	2.17	5	2	1.81	5	2
	37.5	10.85	25	—	5.43	15	—	3.26	7	5	2.71	7	3
	50	14.5	30	—	7.25	20	—	4.34	10	5	3.62	10	5
	75	21.7	50	—	10.8	25	—	6.50	15	—	5.42	15	—
	100	29.0	65	—	14.5	30	—	8.67	20	—	7.24	20	—
	150	43.4	100	—	21.7	50	—	13.0	30	—	10.9	25	—
	200	57.9	100	—	29.0	65	—	17.3	40	—	14.5	30	—
	250	72.5	—	—	36.1	85	—	21.6	50	—	18.1	40	—
	333	96.5	—	—	48.4	100	—	29.0	65	—	24.2	50	—
	400	115.6	—	—	57.8	100	—	34.6	85	—	38.8	85	—
	500	145.0	—	—	72.5	—	—	43.4	100	—	46.2	100	—
三相変圧器	5	0.835	3	1	0.42	2	1/2	0.25	1	1/2	0.208	1	1/2
	10	1.67	5	2	0.84	3	1	0.50	2	1/2	0.417	2	1/2
	15	2.5	7	3	1.25	5	2	0.75	3	1	0.626	3	1
	25	4.17	10	5	2.08	5	2	1.25	5	2	1.04	5	1
	37.5	5.25	15	—	3.13	7	3	1.87	7	2	1.56	5	2
	50	8.35	20	—	4.2	10	5	2.50	10	3	2.08	5	2
	75	12.5	25	—	6.26	15	—	3.75	10	5	3.13	7	3
	100	16.7	40	—	8.4	20	—	5.00	15	5	4.17	10	5
	150	25.0	50	—	12.5	25	—	7.50	20	—	6.27	15	—
	200	33.4	75	—	16.7	40	—	10.0	30	—	8.35	20	—
	300	50.0	100	—	25.0	50	—	15.0	50	—	12.5	25	—
	450	75.0	—	—	37.6	85	—	22.5	50	—	18.8	40	—
	500	83.5	—	—	42.0	85	—	25.0	65	—	20.9	50	—
	600	100.0	—	—	50.0	100	—	30.0	85	—	25.0	50	—
	850	125.0	—	—	62.6	—	—	37.5	100	—	31.2	65	—
	1,000	167.0	—	—	84.0	—	—	50.0	—	—	41.7	100	—
	1,500	250.0	—	—	125.0	—	—	75.0	—	—	62.6	—	—
	2,000	334.0	—	—	167.0	—	—	100.0	—	—	83.5	—	—

しかし 6.2 節で述べたようにヒューズの短時間特性と全遮断特性との差は大電流域ではごく少ししかないが、小電流域では大きくあらわれるから、この方法で電流定格を選定すると、ほとんど過負荷のない系統か、あるいは通常負荷が非常に軽く、過負荷でも十分ヒューズリンクの短時間特性以内にはいるとき以外は、リンクは変圧器の全負荷電流の通電、および短時間定格以内の長時間過負荷で変質を起し、たびたび、溶断すなわち回路の停電を起す可能性がある。最近の配電用変圧器は経済的に設計、使用されており、過負荷祐度はほとんどないと考えられるので、一次側ヒューズで変圧器の長時間過負荷の保護をすることは特別な場合を除き困難である。二次側に適当な保護器具をいれて、小電流の長時間過負荷はすべて二次側で除去することが望ましい。

c. 二次側短絡時の、変圧器および二次側機器系統の保護

二次側に保護器具があれば、その遮断容量までは、カットアウトの短時間特性曲線が保護器具の全遮断時間特性曲線より上にあって、リンクの変質を防ぎ、保護器具の遮断容量以上では、保護器具の短時間定格特性より早く遮断完了して、保護器具の破損を防ぐ必要がある。

二次側に保護器具がなく一次側ヒューズで二次側も保護する場合は、二次側のケーブルや器具の短時間定格特性以内にヒューズの全遮断時間特性がくる定格電流値を選ぶ。もちろん、いずれの場合も電源側保護機器よりも早く動作し、事故を区分、系統を保護することは必要である。

d. 一次側短絡時の系統保護および変圧器の爆発防止

事故発生すれば、電源側保護機器の動作よりも早く瞬時に遮断完了して、変圧器の爆発、炎焼、系統の騒乱、事故および停電地域の拡大を防止することが必要である。そのためには許される限り低電流定格を選び、最大の場合でも全遮断時間特性が、電源側の回路、および保護機器の短時間定格特性に等しい電流定格でなければならない。もちろん、この場合にはカットアウトには一次側短絡も十分遮断できる遮断容量が必要である。

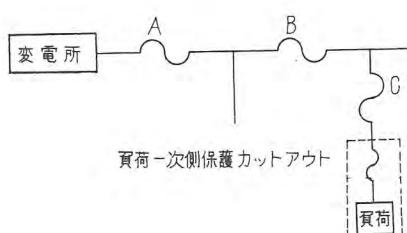


図 8.2 回路分離用ヒューズカットアウト結線図

Fig. 8.2 Wiring diagram of typical fuse cutout applications in series as line sectionalizing devices.

DXM 形開放ドロップアウト カットアウト・岩崎

表 8.4 回路分離用 UT 形ヒューズリンク推奨電流定格表

保護リンク 電流定格	接続数	被保護ヒューズリンク電流定格												
		3	5	7	10	15	20	25	30	40	50			
1	1	10	70	140	240	400	620	800	1100	1400	1700	2300	3100	4000
	2	..	15	75	140	250	400	500	700	940	1150	1550	2100	2700
	3	..	43	97	190	310	380	520	710	900	1240	1650	2200	
2	1	..	58	125	230	400	620	800	1100	1400	1700	2300	3100	4000
	2	..	55	125	250	390	500	700	940	1150	1550	2100	2700	
	3	..	..	17	84	170	290	380	520	710	900	1240	1650	2200
3	1	..	..	110	220	380	610	800	1100	1400	1700	2300	3100	4000
	2	..	..	33	120	225	370	490	700	940	1150	1550	2100	2700
	3	..	..	..	70	160	270	370	520	710	900	1240	1650	2200
5	1	..	..	..	160	350	600	800	1100	1400	1700	2300	3100	4000
	2	..	..	..	..	175	340	475	690	910	1120	1550	2100	2700
	3	..	..	..	..	85	245	345	510	700	880	1240	1650	2200
7	1	..	..	..	..	270	520	760	1000	1350	1700	2300	3100	4000
	2	..	..	..	..	55	250	430	610	860	1100	1490	2100	2700
	3	..	..	..	..	130	270	430	640	840	1160	1650	2200	
10	1	..	..	..	..	..	380	650	910	1250	1650	2300	3100	4000
	2	..	..	..	..	..	275	460	710	1000	1450	2100	2700	
	3	..	..	..	..	..	70	260	475	710	1100	1600	2200	
15	1	..	..	..	..	..	..	420	770	1150	1550	2150	3000	4000
	2	..	..	..	..	..	..	125	540	890	1300	1950	2600	
	3	..	..	..	..	..	..	..	160	550	950	1500	2000	
20	1	..	..	..	..	..	..	..	175	880	1400	2000	2800	3800
	2	..	..	..	..	..	..	..	..	430	1080	1700	2480	
	3	..	..	..	..	..	..	..	..	..	500	1200	1820	
25	1	..	..	..	..	..	..	..	..	350	1100	1800	2700	3700
	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	680	1500	2300	
	3	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	850	1650	
30	1	..	..	..	..	..	..	..	..	600	1400	2500	3600	
	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1100	2050	
	3	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	340	1280	
40	1	..	..	..	..	..	..	..	..	750	2000	3200		
	2	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1450		
50	1	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	1100	2600	

従来カットアウトは遮断容量がないので一次側短絡は電源側遮断器で遮断するという考え方で使用されていたこともあるが、その場合には、カットアウトには、保護機器の全遮断時間まで、故障電流を流す短時間容量が入要である。しかしヒューズリンクの特性は図 6.3、図 6.4 に示すように、一般に斜めに立っていて大電流域では非常に微少時間となり、リレー保護のように横にねている特性とは一般に協調はとりにくい。大体 DXM-1 形カットアウトで遮断容量が足りないところ、すなわち、短絡電流が RMS 3,000 A 以上の個所では、電源側保護器具が、特別早く動作しない限りは、この協調は不能と考えられる。

この(c) (d) 項の具体的な協調法は先に「電力ヒューズ⁽¹⁶⁾」にて発表すみであるから、ここでは省略する。

e. 変圧器の系統よりの接続分離

この項目は(a) 項にて選定された定格で十分、その過渡電流にも耐え、満足される。

(3) 回路分離用の場合

図 8.2 のように、カットアウトを各分岐線ごとに 2 個あるいは 3 個直列に回路保護用として使用する場合は、そのおのが動作協調するよう電流定格を選定する。図 7.1 の A, B, C のカットアウトについて考えれば、A は B により保護され、A, B は C にて保護されなければならない。

今、A を被保護ヒューズ、B を A の保護ヒューズと称すれば短絡電流が流れたとき、保護ヒューズが動作し、遮断するに要する時間は被保護ヒューズの短時間特性時間以下でなければならない。また保護ヒューズが 2 個あ

あるいは3個直列に接続されているときは、被保護ヒューズはその2,3個の保護ヒューズが動作するに要する全エネルギーには溶断せず、十分耐えなければならない。

UT形ヒューズリンクを使用して1ないし3個カットアウトを直列に使用する場合の協調資料を表8.4に示す。

たとえば、負荷を6,600V 1φ 10kVA 変圧器と仮定すれば変圧器一次側には表8.3より5Aリンクが必要である。今、変圧器の一次側短絡電流を最高400Aとすれば、5Aリンクで先のヒューズを保護するためには、表8.4によって、1個接続の場合、20Aを2,3個接続する時は、1個目には20A、2個目には25A、3個目には30Aのヒューズリンクが5Aの被保護リンクとして必要である。

しかしこの場合でも2,3個目を20Aカットアウトにより保護される被保護ヒューズとするためには20Aヒューズでの1,2個目として40A、50Aのヒューズリンクが必要となる。

(4) コンデンサ保護用

コンデンサは電圧、周波数および静電容量でkVA容量があらわされており、定格電流はこの電圧、周波数で使われたときの回路電流である。しかし、投入時の突入電流、過電圧時、高調波出現時、あるいは過電圧と高調波とが組合ったときの回路電流は、定格電流値より非常に大きくなるから、配電線用コンデンサの一次側にヒュ

表8.5 コンデンサ保護用一次側ヒューズカットアウト推奨電流定格表

コンデンサ容量		UT形ヒューズリンク 定格電流(A)
定格電圧(V)	kVA	
6,600	45	3.9
	75	6.6
	90	7.9
	150	13.2
	180	15.8
	225	19.8
	300	26.3
		15 20 25 30 40 50 65

ーズカットアウトを使用する場合は、表8.5のように、コンデンサ定格電流値の200%から250%の電流定格をもつUT形ヒューズリンクの使用を推める。

9. む す び

サービスの強化を経済的に行なわなければならない配電系統では、事故は瞬時に遮断し故障電流は小さくしづらしきかも価格低廉なヒューズカットアウトがもっとも適合した保護器具である。系統の合理化に伴い短絡容量も増加してそのカットアウトにはますます高度な性能が要求されることが予想されるが、DXM形は十分その要求を満足させる性能を備えている。また電力系統へも短絡容量の少ない場所には電力ヒューズに代り相当使用できるのではないかと考えられる。

参 考 文 献

- (1) "High voltage Fuses." NEMA Standard Pub. No. SG 2-1954
- (2) 「屋外用断路器の開閉能力」 JEC 規格 No. 125-1952, 附録 I.
- (3) "Standard Mounting Bracket" NEMA Pub. No. 100-1949.
- (4) 新井他:「新高圧負荷断路器」三菱電機 Vol. 31, No. 3 1957.
- (5) 「電力ヒューズ」 JEC 規格 No. 113-1947.
- (6) "Standard for Fuses above 600 Volts." AIEE No. 25-1952.
- (7) Russell A. Wood. "The how and why of Expulsion fuse cutouts" AIEE Trans. paper No. 57-724.
- (8) F.W. Linder. "Graphical Method of Calculating Fault Currents on Rural Distribution Systems" AIEE Trans. 64. 1945 p. 16~19
- (9) J. S. Parsons etc. "Fusing Practices on Distribution" AIEE Trans. 63, 1944 p. 89~91, 198~600.
- (10) 新井他「三菱硼酸電力ヒューズ」三菱電機 Vol. 28 No. 5, 1954.

次号予定

三菱電機 Vol. 33 No. 1

33年度回顧特集

- 発電機器
- 送配電機器
- 変換機器
- 工業用電機品
- 鉱山用電機品
- 船舶用電機品
- エレベータ・エスカレータ
- 冷房・冷凍・冷藏・空気清浄装置
- 車両用機器

- 電気品
- 電子機器
- ランプ・照明器具および照明施設
- 家庭用電気品
- 材料
- 原子力関係
- 研究所の概況
- ニュース・フラッシュ



電気集塵装置 (1)

最近の新鋭火力発電所には電気集塵装置を設置するのが常識となっており、またこれまで機械的集塵器にたよっていた既設発電所で電気集塵装置を新設する所も少なくない。このように電気集塵装置の利用が盛んになった一つの原因是、都市近郊の火力発電所の出す煤煙に対して煤煙禁止条例などによる抑制が強化されたこともあるが、もっと大きな原因はフライアッシュの回収であろう。

フライアッシュは JIS-A6201 にも「微粉炭燃焼ボイラの煙道ガスから集塵器で採取するアッシュをいう」と定義されているが、ダム工事などでセメントの一部 20~30% をフライアッシュにおきかえると、硬化熱がひずみの形であとあとまで残ることが防げ、しかもフライアッシュの価格はセメントの半分以下であるため、良質のコンクリートが安価に得られることとなり、あるダムで数億円の節約になったという例もある。このようなわけで電源開発ブームとともにフライアッシュの利用はますます盛んになり、フライアッシュ回収会社も相次いで設立されている。フライアッシュの化学成分および物理的性質の JIS 規格を表1および表2に示す。

表1 JIS 規格フライアッシュの化学成分

シリカ (%)	45 以下
水分 (%)	1 "
強熱減量 (%)	5 "

表2 JIS 規格フライアッシュの物理的性質

粉末度	比重	重	1.95 以上
		表面积 (ブレーン方法) (cm^2/g)	2.700 "
標準網フルイ 44μ 残分 (網フルイ方法) (%)		25 以下	
単位水重量比 (%)	100 "		
圧縮強度比 (%)	28 日 91 日	63 以上 80 "	

(粉末度はブレーン方法、また網フィル方法によって決める)

火力発電所側としても、一例では1缶1日あたり約100トンのフライアッシュを回収しており、電気集塵装置の建設費も1~2年で取もどすこととなる。

この情勢に伴って電気集塵装置の研究も盛んで、集塵部分、電源および制御方式などの進歩もいちじるしいものがある。以下火力発電所煙道ガス用の電気集塵装置について概説する。

1. 特 性

ガス中のダストは、負極性の放電線の周囲のコロナ放電によって生じた陰イオンおよび陰電子との衝突、付着によって荷電され、放電極と集塵極との間の電場を通じて正極性の集塵極に吸引されてそこに付着する。

ダストを半径 r の球状粒子と考えると、 ne_0 なる電荷をうけたとき電界強度 E_1 の電場内でクーロンの法則に基き $ne_0 E_1$ なる吸引力をうけて、ガス流と直角の方向に分速度 V_a を生ずる。周囲ガスの粘度を μ とするとストークスの抵抗力 $6\pi\mu r V_a$ をうけ、この両力がつりあう状態で V_a が決定される。よって

$$V_a = \frac{ne_0 E_1}{6\pi\mu r}$$

となり、電界強度によって左右されることがわかる。またこの分離速度は r に反比例するので、細粒の場合にも機械的集塵器のように極端に集塵効率が低下することはない。火力発電所に普通に用いられる一定間隔の平行集塵極板の中間に放電線を設けた配列では、不平等電界のために V_a はダストが集塵極に達するまでの間に変化するが、いずれにしてもダストの粒子が電場を通過するより前に集塵極に到達することが必要で、このため電場内のガス速度 V_g を小さくするか、集塵極板のガス流方向の長さを大きくすることが必要になる。

電気集塵装置の粒度別集塵効率としては次の算式が用いられる。

$$\eta_r = 1 - e^{-\frac{\xi E_1^2}{6\pi\mu V_g A} r}$$

ここに ξ = ダストの誘電率などに関する数

L/A = 集塵電極の寸法、配列によって経験的に定まる数すなわち機械的集塵器ではせいぜい 10μ までであるのに反し、電気集塵装置では微細ダストに対しても極板寸法を大きくすると高い効率が得られるので、フライアッシュの回収には電気集塵装置が不可欠になる。また圧力損失が小さく送風機の所要動力が少なくてすむことも電気集塵装置の大きな特長である。

2. 構 造

火力発電所では、ボイラ出口の押込送風機と煙突手前の誘引送風機との間の煙道の途中に、水平ガス流屋外設置形に設けられるのが普通である。しかも機械的あるいは電気的集塵装置単独の場合は良質フライアッシュを得るために回収ダストをさらに分級して粗粒を除かねばならないが、これらを組合わせてサイクロン、マルチクロンなどの機械的集塵器で粗粒を取り除いた後に電気集塵装置に通すと、ここで捕集したダストはすべてフライアッシュとして使用できるので、この組合せ方式のものが多い。図2.1にその例を示す。

集塵極および放電極は鉄骨鋼板製で外周に保温を施した気密集塵室の内部に、ガス量や所要集塵効率に応じて適当数納められる。集塵効率向上のためには電場内のガスの流速分布を均一

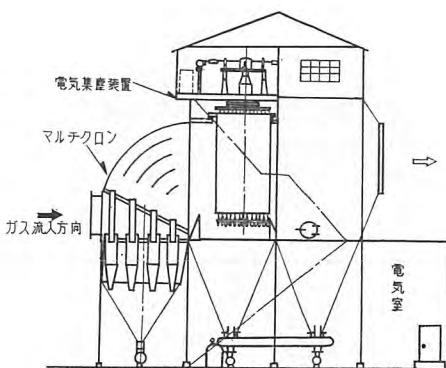


図2.1 組合せ集塵装置

技術解説

にすることが肝要で、このために集塵室出入口に遮風板を設ける。また機械的集塵器によってみだされたガス流は電気集塵装置への接合部の整流板によって整えることが必要である。

集塵極板に捕集されたダストは、普通つい打あるいは電磁振動によって電極から離れて脱落させホッパに収容するが、この際ガス速度が過大であるとダストの再飛散が増加する。極板形状もポケット部分を設けるなど再飛散の防止に工夫がはらわれる。

ホッパに集められたダストは閉塞を起さないよう、しかも気密に排出しなければならない。ホッパ下端のロータリバルブから貯蔵サイロまでの輸送にも、空気圧送、真空輸送など種々の方式があるが、最近はフライアッシュの流动性を利用したエヤスライドを行い、またサイロ以降に自動袋詰装置を設け、袋詰から貨車積込までコンベヤにより自動的に行うなど、フライアッシュ回収装置の進歩もいちじるしいものがある。

3. 電気設備

放電極に印加する直流高圧電源としては本邦では数年前まで機械整流機が使用されていたが、最近は変圧器を内蔵した油入式のセレン整流器がもっぱら使用されるようになった。これにより電波障害、騒音、保守などの点でも大いに改善されたが、もっとも大きな利点は波形率の改善による集塵効率の向上であろう。単相機械整流のように電圧波形の悪い場合には実効電圧が低下するのはもちろん、1サイクル中にコロナ始発電圧よりも低い電圧になる期間があり、そのときに逆集塵力により放電線が肥大する傾向があるので、二重に集塵効率を低めることになる。

ケノトロンを電源に使用すればすえ付空間はやや縮少されるが、寿命、取扱、過負荷耐量などの点でまだ問題があるので、現在では三相全波セレン整流器が適当であろう。セレン整流器の外観を図3.1に、電源部接続の一例を図3.2に示す。

集塵効率向上のためには、なるべく高い電圧で運転することが望ましい。従来のように電圧を手動調節する方式では、ガスの濃淡や電極上のダスト堆積状態の変化によって弧絡事故を起す危険があり、一方この危険に備えて低い電圧に設定しておく

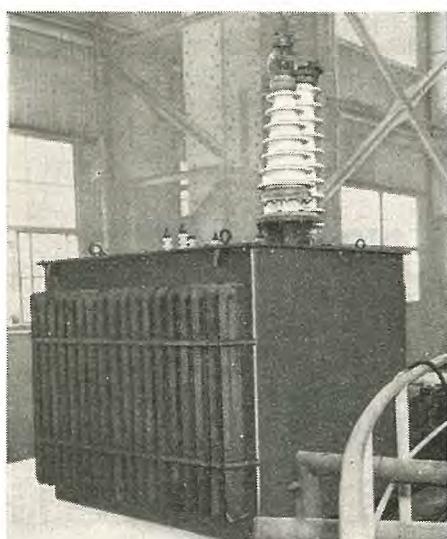


図 3.1 三相全波セレン整流装置

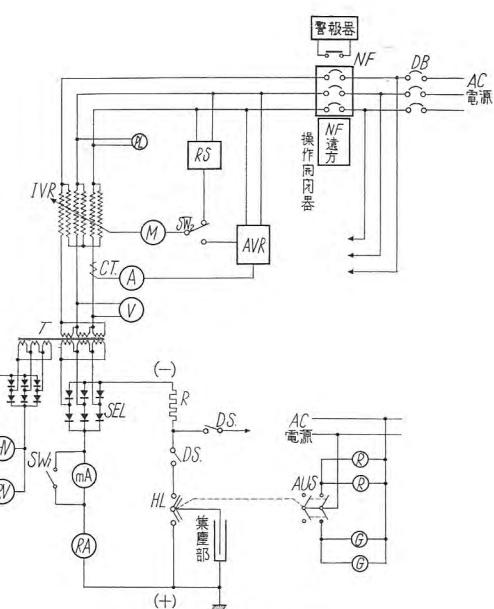
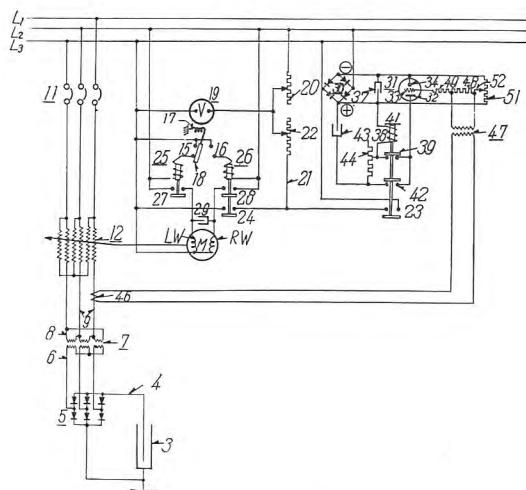


図 3.2 電源部概略接続図



そのときどきの状態で最高電圧を利用できるので、この方式はもっとも能率的である。火花放電のひん度と集塵効率との関係は Hoesen, White などによると図 4.4 のように最適点があり、あまり放電回数が多いと集塵効率は低下する。最近では同方式のもので、火花検出回路によりパルス分だけを探り出して積分し、これを標準設定値とつねに比較してその偏差に比例した信号によって、サイラトロン、過飽和リアクトルなどを介して電圧の自動制御を行ったものも発表されており、電気集塵装置の自動制御の今後の方向を暗示するものと考えられる。

4. 性 能

ダストの粒度は集塵効率に大きな影響をおよぼす。このことは前述の算式からも明らかで、その関係の一例を図 4.1 に示す。

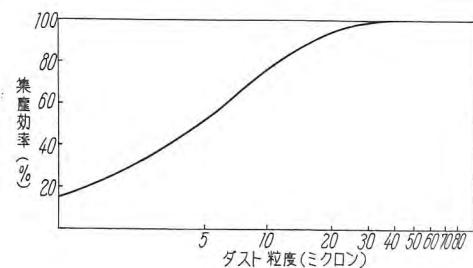


図 4.1 粒度別集塵効率の一例

集塵装置の設計にあたっては入口ダストの粒度分布をできるだけ正確に把握することが肝要である。

集塵電圧は高いほど効率が上昇する。一例では 40 kV で約 92%, 50 kV で 97% となっており、その関

係を図 4.2 に示す。前述の自動電圧制御方式によればつねに最高の集塵効率を利用するわけである。装置の大きさや配列などによって変化はあるが、大体ガス量 $1,000 \text{ m}^3/\text{min}$ あたり 15 kVA 電源 1 個の割合で設備するのがよいようである。

ダストの電気抵抗がある程度以上に大きいと、極板上に堆積したダスト層内の電位傾度が大きく、したがって放電線表面の電位傾度は小さくなっている。この部分の正常なコロナ放電が妨げられ、逆に極板上のダスト層内で逆放電を生ずるようになる結果かなり低い電圧でもはげしい火花閃絡を生ずるために所期の集塵効率を得られないことがある。この限界の電気抵抗は大体 $2 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ といわれている。ダストの電気抵抗を減らすためにガス中に蒸気を吹込んだり、ガス温度を下げたりして相対湿度を高めるのがよいが、相対湿度が過大になると絶縁がいしの表面電気抵抗が急減するので湿度は 65% 程度以下に押える注意が肝要である。またガス中に SO_3 が含まれていると電気抵抗が減るので SO_3 を吹込むことも行われ、少量の SO_3 によって生成した硫酸はダストに吸着されてしまうので腐食を増す心配はないといわれている。

ガス量と集塵効率との関係を図 4.3 に示す。ガス量したがってガス速度が高くなると極板上の捕集ダストがつい打や振動に

よってホッパに落下するときに再飛散する危険が多くなるので、速度は最大でも 2 m/sec 程度で、普通はもっと低速で使用される。

ガス中のダスト濃度すなわち含塵率は、とくに 50 g/m^3 というような大量になればコロナ放電に影響

するが、火力発電所向で普通機械的集塵器を経て電気集塵装置にはいる場合は、大体 $10 \sim 20 \text{ g/m}^3$ であって、この範囲では含塵率は集塵効率に影響しないと考えてよい。ただ含塵率が大きくなると一般に粒度も大きくなるため、集塵効率がいくぶん良くなる傾向はある。

ダスト中のカーボンはボイラの燃焼状態がよいときは 2~7% である。これが 10% をこえるようになると、再飛散しやすい多孔性の粒子が多くなるためとくにガス速度が大きいときには集塵効率が急減することが報告されている。フライアッシュとしても未燃焼カーボンが多いと、コンクリートに加える空気連行剤を吸着してその効果を減殺するため、JIS でも強熱減量を 5% 以下に制限している。

5. 保 守

電気集塵装置の集塵効率をあげるには、電場内のガス流速分布を均一に保つことが肝要である。煙道の曲りなどやその他の流れがみだされる部分には整流板が必要である。また使用中に出入りの遮風板やダンバなどにダストが堆積して目つまりを生じ分布が不均一になることがあるから注意を要する。

電極のつい打や電磁振動の強度や周期が不適当であると放電線や集塵極板にダストの堆積が多くなり能率のよい集塵を妨げることになる。これらはボイラ燃焼状態やガス状態に応じて現地の実態によって、操作盤のタイムスイッチを正しく設定すべきである。

ガス温度が露点以下になると、ダストが電極に固着してつい打でも取れなくなったり、ホッパ出口で橋絡して排出困難になる。装置の停止中にこれらのダストを集塵室内に残しておくことは良くない。また湿度が過大であると壁貫がい管の表面電気抵抗が低下するので停止中でもヒーターにより表面を乾燥状態に保っておく必要がある。その他腐食や、ガス速度の過大による再飛散の問題、使用中の電極の片より、電極やグリッドの過度のダスト堆積による短絡、断線した放電線片による短絡などにも注意を要する。

電源から放電極への高圧給電ケーブルは、垂直に設けられる部分が多いので含浸絶縁油が徐々に低下して上部にオイル枯れ部分を生じ、ここから破壊を起す例が少なくない。ケーブルヘッドからの給油が肝要である。

以上保守の主要点にふれたが電気集塵装置の対象は他の機器との関連で変化の多いガスであるため、装置本来の機能が保守によって良くも悪くもなる度合が大きい。適切な管理保守により機能が十分発揮されることが望まれる。

(神戸製作所・田附和夫)

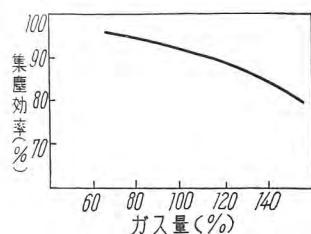


図 4.3 ガス量の影響

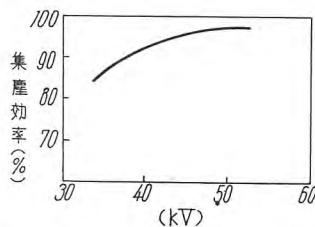


図 4.2 集塵電圧の影響

電子による撮像および像増強

J. Lempert: Electronic Imaging and Intensification
(Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 3, May 1958,
p. 82~87)

光による撮像の科学はそう新しいものではないが、最近電子による新しい撮像技術が紹介され、これによると撮像可能能力の限界が広がり、TV ではすでにこの方法を使っているのである。また X 線像の増強装置も社会的恩恵は大きく、これは X 線の運動像を螢光面に増強してうつすものである。その他赤外線像を可視像に変換する方法や電子顕微鏡、X 線顕微鏡なども開発された。これらの装置の基本的構成は光電変換装置、増倍装置、および電光変換装置とからなり、信号を遠くにおくるためには映像信号を分解する走査段階が必要である。

光電変換装置

光信号を電気信号に変換するのに二つの方法がある。一つは光電子放射効果を利用するものであり、他は光電導効果を利用するものである。原理的にいうと光電子放射といふのは膜中の自由電子に光子 (photon) があたり、その持つエネルギーを膜中の電子にあたえそのために電子が膜表面からとび出しうるに至る現象であって、とびださせるに必要な最小のエネルギーを仕事関数といふ。光電導装置は約 0.3 ミルの半導体の膜であつて比較的に高い暗抵抗を持っているが、入射光の強度に比例して電導体となる。この場合の電荷担体は Valence electron あるいは正孔であるが、これらは各原子に拘束されていて、光子から表面脱出に十分なエネルギーをもらうまで離れられない。すなわち光電導物質は半導体であつて電界および光の刺激が加えられると電子や正孔のために電導体となるのである。

量子効率 100% という光電面の最高効率は各光子が光電膜の変換部分に到達するごとに一つの電子が表面から出るならば得られるものであるが、実際の光電面の量子効率は 5~20% である。この低効率のためにいつも連続的な増強が必要となるのである。しかしながら光電導効果では元来の固体増倍効果のために各入射光子の関数として 1 個以上の信号電子を作り出しうる。

変換膜は普通透明ガラス上につけられるが、電気的な接続はガラス上に付着した透明電導被膜によりなされる。光エネルギー像はガラスを通って入射しその裏側より変換された電気像がとり出せるようになっている。

電光変換装置

光電変換装置のあとにはかならず電気信号を可視像に変換する装置が必要である。この変換には電子で発光する物質が使用され、十分のエネルギーをもった電子でたたかれると、大部分のエネルギーを可視信号に変換するものである。電気信号を光信号にかえることのできるもう一つの物質はエレクトロルミネセンス蛍光体である。これは AC 電圧が加えられると光出力がその電圧値により変るものである。

連続増強装置

像を遠隔地に伝送しないときにはこの連続強像が行われる。光電子放射効果を利用した変換装置からの電子は出力螢光面上に増強機構を経て連続的に結像される。図 1 に示すのは典型的なこの増強装置で二つの機構がある。一つは電子が比較的広い

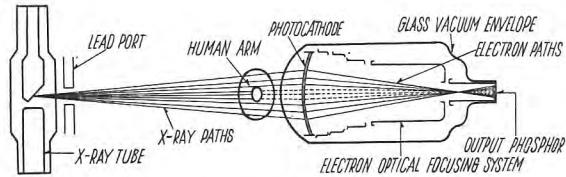


図 1

入射光電面から比較的小さい出力結像面に結像される場合で、出力面で電子密度を増大させるものである。実際には適当に設計されたレンズで明るさをあまり損しないものと大きさに拡大する方法がとられる。もう一つは増強を電子エネルギーの増大により得る方法である。この結果光増幅は供給電圧と入射光電面および出力光電面の効率により 10~40 に変えることが可能である。このような構造の管の一例として、縮少率 20、光電面効率 5%，信号電力の 10% を可視光に変換する出力光電面をもつ 30 kV の像増強装置が考えられる。

出力面における信号利得は“出力光の光子数/入力面における信号光子”として表わせる。励起された各電子は出力面に達するとき 30,000 eV のエネルギーを持っており、光子のもつ平衡エネルギーは 2 eV であるから、1 個の 30 kV の電子は 15,000 個の光子を作り出す。また 10% の出力面効率では 30 kV 電子 1 個で 1,500 個の光子が作り出される。この装置で入射光の 5% のものが第一段から有効電子を作るとすると、理論的に増幅度は

$$0.05 \times 20 \times 1,500 = 1,500$$

となる。X 線像増強装置の場合 X 線に感ずる螢光体は光電面のごく近くに設けられる。この管の出力の明るさと、管を使用せずに管の位置に螢光面をおいた場合の明るさを比較すると 200~600 の実際の利得が認められる。

イメージオルシコン

イメージオルシコンの略図を図 2 に示す。これは光学像を同期した映像信号に変換することのできる蓄積形の撮像管で四つの部分から成っている。すなわち連続結像部分、蓄積部分、走査部分および前記の 3 部分で得られた映像信号を増幅する部分である。

第一結像部分の機能は光学的像を適当に結像された電荷像（電子像）に変えるもので、この電子像と同形のものが管の蓄積ターゲット部分に図で見られるように結像される。この過程では信号を蓄えるだけでなく、高い二次電子放出比をもつセシウムを被覆したガラスターゲットにより約 3 倍に増強される。管のこの部分は連続像を連続映像信号に交換すること目的とした蓄積ターゲットをもつ連続撮像段階として働く。イメージ

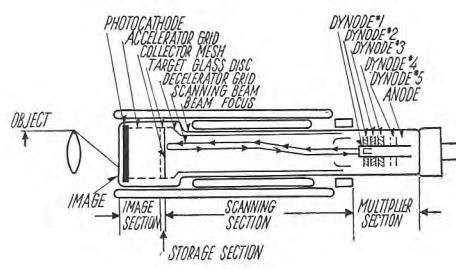


図 2

オルシコンのターゲットに蓄えられた信号は走査ビームでとり出される。電子銃から出るビームは 300 eV に相当する速度に加速され、さらに減速グリッドにより減速されるから、ビーム電子がターゲットに達したときの電子の速度では二次電子放出比は 1 より小さい。

撮像に必要なおもな段階はつぎのようなものである。光信号の形をとる information が光陰極上の与えられた面積上をたたき、そこよりこの information に比例した光電子信号をたたき出す。この電子は静電界および磁界の作用によりターゲットの記録側に結像される。そしてこのターゲットの記録側は最初カソード電位にあったものが、記録像に比例して正に充電される。これは対応した読み取り側のエレメントの電位は容量的に結合しているので正になってくる。正に帶電したターゲットの各部分は無信号のときの平衡電位までターゲット電位を引きもどすに十分な走査ビームの付着 (landing) を受ける。ターゲットを走査するビームからこの正の電荷を中和するに要した電子を引いた値が映像信号となる。ゆえにこのビームはターゲット上の信号量に比例した映像変調を受けることになる。

この映像変調をうけたビームは、ターゲット上の白黒陰影を放電した残りのビームで、適当な電界をかけることによりふたたびこのビームを管のダイノード部分にもどすことができる。そしてこのダイノード部分でさらに二次電子増倍を受けるのである。二次電子増倍器は“板スダレ”の形をした多くの二次電子放出電極からなっていて、電子は各部の露出面をたたき、次段との間にかかっている静電界によりつぎの部分に吸引される。各段の電圧比は前段からの電子が二次電子放出比 1 以上の値をとるように設計され、かくて各段で平均 3.5 倍の電子を作り出してゆく。大体総倍率は 500 に達する。標準光では走査中に変調を受けて得られる映像信号は撮像管についている増倍器より発生する雑音にくらべて小さく、ダイノード増倍器で増幅しないときは低照度で S/N が悪くなる。

ビジコン

ビジコンの分解図は図 3 に示してある。光電変換はガラス前面板にコーティングされた透明導電被膜上に蒸着によってつけられてある光導電膜によっておこなわれる。蓄積素子に信号を記録するには直接光を作用させておこなう。ターゲット電極は走査ビームを出す陰極に対して 30 V の電圧をかけてあり、光の入射しない状態ではターゲットのビーム側は陰極電位に落ちている。光の像がターゲット上に結ばれるとターゲットの光の当っている部分はその受光強度に比例して導電度が増し、照射信号の強度に比例してターゲットの電荷を放電する。この管ではターゲット上の各絵素がつぎの走査までの期間中信号を蓄積する作用があって好都合である。走査によって各絵素の電位は平衡電位まで降下し一度記録した信号を消去することになる。読み取り

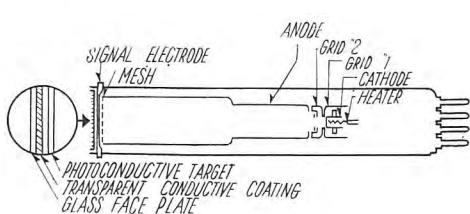


図 3

取りはこれと同時に行われ、各絵素はターゲット回路と容量的に結合しているので、これより光信号に比例した信号電流を得ることができる。ビジコンでは光電変換の部分と蓄積部分とが同一であるから比較的強い照度では高感度の光電導膜のため増幅器の入力として S/N の良い信号出力を与えることができる。強照度の場合の高利得より見て光電導段階はイメージオルシコンの増幅部と同様の機能を持ったものと考えられる。ビジコンは高照度ですぐれた S/N をもっておりこれは第一に高い光電変換率をもっているためであるが、低照度ではイメージオルシコンの感度の 500 分の 1 くらいである。これはターゲットが比較的大きい電気的容量をもっているためと増幅段階のないためであるがその他に好ましくない残像効果が低照度の場合に付随する。それは一部はターゲットの大きい容量によるものと、一部は信号入射光が遮断された後の導電度残留効果によるものである。この光電導効果は Valence electron の光子による励起によるものであって、この電子励起に必要な最小エネルギーは光電子放射の場合の必要最小エネルギーより原理的に小さくてよいから、さらに長波長の入射信号の変換も可能である。その上ビジコンはイメージオルシコンよりもはるかに管や回路を安価に作ることができ、動作もそうむずかしくない。ビジコンは TV のフィルム送像用に広く使用されているほか、工業的にも広く使用されるに至っている。

受像管

この管の動作は原理的には単純で、走査させるためのビーム偏向は時間的に変化する静電界もしくは磁界によりなされ、これを撮像管の走査と同期させて電子ビームでラスターを描かせるようにしてある。小さい電子出口穴をもった第一格子は陰極の近くに設けられていて、像を映すにはこの格子に映像信号を入れるのである。

蓄積管

蓄積管の新しい形は図 4 に示すとおりである。この管は連続的な記録期間中の信号蓄積能力を除けば、標準受像管と似ている。映像信号の形ではいってくる information は記録電子銃の第一格子に加えられる。この点は標準受像管と同様である。記録電子銃は走査作用により映像信号を蓄積格子上に電荷像の形に変換させる。

読み取りは flood gun からの一率なラスターサイズのビームを蓄積格子で変調することによりなされ、蓄積格子を通って映像変調をうけた電子ビームは螢光面と蓄積格子との間にかけられた高い電界により加速されて出力螢光面上に所要の像を映し出す。電極配置および電圧を適当にえらべばビームで読み取り中蓄積格子面を放電することなく比較的長い期間信号を蓄

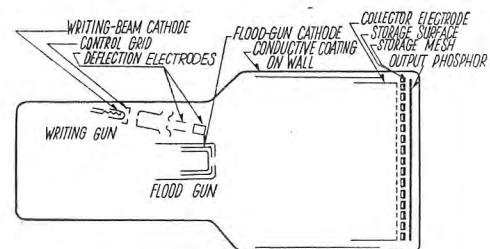


図 4

積することができる。この蓄積能力のゆえにこの管は 1,000~10,000 ft-Lb の明るさで動かすことが可能で、高高度の飛行機機器として利用することができる。

固体光増幅器

適当な性質をもった固体物質からなる膜を組合わせて、影像の増倍および転換が真空技術の手をかりずに可能である。断面が非常にうすい固体光増幅器の例を図 5 に示す。これはエレクトロルミネセント膜と光電導膜との組合せよりできており、AC 電圧がこの二つの外側電極間に加えられ、光信号のないときは大部分の電圧降下はこの光電導膜でおきる。したがって無信号のときにエレクトロルミネセント膜にかかる電圧はあまりにも低いので、信号出力を生ずることは不可能である。光像が光

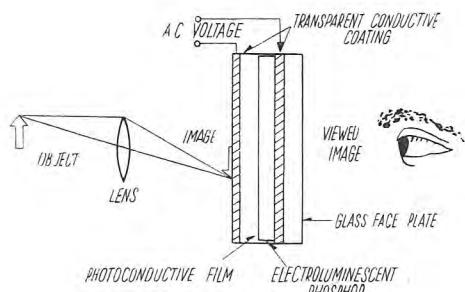


図 5

電導膜上に加えられると、照らされたところはその光の強度に比例して電導度が増加し、これに対応するエレクトロルミネセント膜には光の強度に比例した大きい電圧がかかることがある。この高い AC 電圧をうけた膜の部分は光励起を受けて発光する。現在光の入射強度の 100~100 以上の増倍率が報告されている。固体光増幅器の他の形のものは蓄積効果をとりいれたものであるが、現在実験段階にある。それらは構造の複雑さや感度不足、一様な高レベルのレスポンスを必要とする固体膜の処理のむずかしさなどがある。しかし 10 年以内にはこれらの構造のものが光増幅器として、また現在使用している TV 受像管と同様の機能をもった拡大装置として広く使われると思われる。

(研究所 鶴尾信雄訳)

Cypak for Industry

Application of Power (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 1, Jan. 1958, p. 14~15)

Cypak for Industry

1955 年に Cypak static switching system が初めて発表されて以来、各方面に応用されてきたが、さらに 1957 年にはいっそう大々的に製鉄、自動車、食品、製材などの工業に実用化された。

溶鉱炉の自動装入装置

U. S. Steel Ohio 工場に納入した溶鉱炉の自動装入装置の最終的調整が 1957 年末に完了した。この装置は製鉄工業に Cypak system を使用した最大規模の設備である。溶鉱炉は鉱石を連續的に製錬し不純物を取り除いて銑鉄を作るもので、鉄鉱石、燃料、溶剤を一定の順序にしたがって、炉頂からスキップによって装入する必要がある。現行の方式では溶鉱炉は 2~3 年間連続的に運転され、スキップは毎分上下するのでこの種の制御には極端な信頼性が要求されている。Cypak system は 20 スキップまであらかじめ選択された順序にしたがって材料を自動的に炉内に装入し、またスキップに材料を積み込むフィーダーやゲートの自動制御も行っている。この方式の大きな特長は、従来使用してきた継電器類の代りに完全な無接点制御方式になっていることで、周囲条件に影響されることなく長期間にわたり保守、点検の必要がないことである。

大容量の食品貯蔵運搬設備

Chelsea Milling Company に設備された食品貯蔵運搬設備はこの方面における最初の Cypak 応用品で、1 日で 30 種類 40,000 箱に達する製品を 4 個所の発送場に選択して送り込むように 72 本のコンベア式の倉庫に自動的に選り分けて送り込む設備である。製品は 3 交代制で製造されるが、発送は普通屋間にだけ行われるので 3,400 m もあるコンベア式倉庫に一時貯えられる。Cypak 方式は 3 個所の工場の製品をより分けて箱に入れ、品種別に各コンベア式倉庫に収納する頭脳的役目を行っている。

製材機の押しボタン制御

Lutcher and Moore Lumber Company で Cypak 方式を用いた製材機が運転開始した。これは木材の縦挽き、横挽き、背板の除去などを押しボタンを押すだけであとは自動的に行う装置で、この設備で従来 1,000 board feetあたり 26 人工を要していたものが、8 人工に低減されさらに近い将来 6 人工でも可能であろうと予想されている。

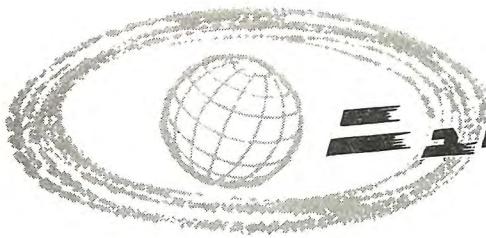
シンクロトロン制御装置

Brookhaven にある National laboratory に建設中の 30 bev (300 億電子ボルト) の微粒子加速装置に Cypak system が応用された。大形の電磁石に 1.16 秒間で 0 より 30,000 kW に達するせん進電流を 3 秒ごとに供給する 5,500 HP のイルグナーセットの自動制御を Cypak system で行うもので、絶体誤動作の許されないこの種設備にもっとも適している。

静止形リミットスイッチ

制御回路にはリミットスイッチが多数使用されているが、接点を使用したものでは高速度の自動制御を行う場合はその寿命、信頼性が問題となる。このため新しく可変リアクタンス形の無接点式リミットスイッチを開発した。これは完全なスナップ動作を行い電源電圧や周囲温度に影響されることなく、ほとんど無限回の使用に耐えるもので約 8 W の出力を有している。

(神戸製作所 新谷保次訳)



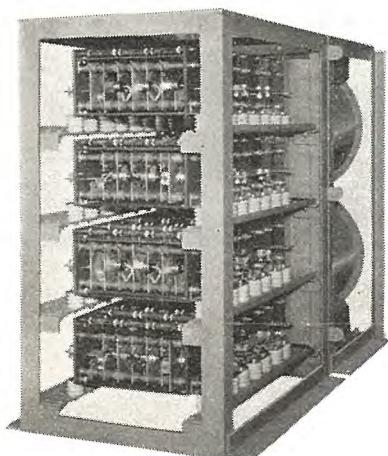
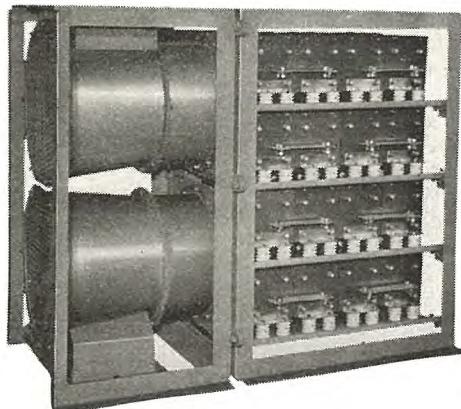
■ 交直電車用シリコン整流器完成

イグナイトロン整流器を積載した交直電車が仙山線に納入され良好なる成績をおさめているが、今回はこのイグナイトロン整流器のかわりに風冷式シリコン整流器を上記電気車に取付けて運転するものである。

交直電車用シリコン整流器は工場において試験され、下記の特性を有することが判明した。

仕様および特性

1. 単相、全波整流回路において 1,500 V, 300 A 2 時間、
200% 1 分間の過負荷定格をもっている。
2. 強制風冷式の冷却方法を採用している。
3. シリコンダイオードは P.I.V 400 V で平均電流 110 A/



1,500 V 300 A 交直電車用シリコン整流器

1 個 のものを使用している。

4. 外形寸法 700×1,200×1,500 mm 2 組

5. 全 重 量 900 kg

シリコン整流器は温度特性、ことに高温度運転特性がセレン、ゲルマニウムに比して良好である。また振動、耐湿特性もよいため在来の水銀整流器より保守が容易であり、かつ将来は小形軽量化が考えられるため有望視されている。

■ 電力経済配分計算機

最近大容量の発電所や送電線が建設されて、電力系統が複雑となってきた反面、ある程度の余裕と融通性が生じてきたので、電力系統の経済運用が重要な問題になってきた。本機は各火力発電所の増分燃料費（能率）および燃料単価と発電所から負荷点までの送電損失とを考慮して、系統全体の発電燃料費が最小になるように、各発電所の発電量を迅速に計算する一種の単能機的なアナログ形計算機である。この計算機の原理をごく簡単に説明すると、 λ を負荷点における増分送電電力原価としたとき、各火力発電所について、

$$[\text{増分燃料費}] + \lambda [\text{増分送電損失}] = \lambda$$

が成立しているとき、電力系統はもっとも経済的に運用されていることになる。上式の左辺第2項は、送電損失を価格に換算したものと表わし、したがって上式は、電力が負荷点に達するまでの能率が、各発電所についてすべて等しいことを意味している。

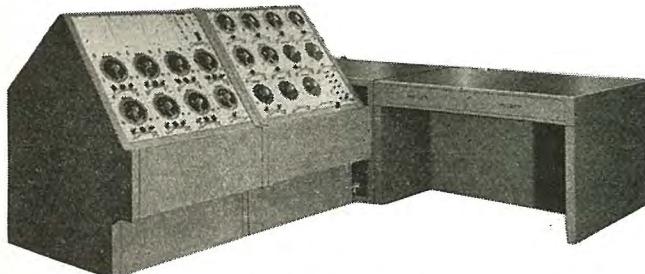
当社研究所で試作したものは、火力発電所単位 6 個、連繫線単位 6 個であるが、必要に応じて、増減することができる。本機は、この増設に際しても、計算精度が落ちないような回路構成になっている。

各単位には、電子管増幅器と平衡電動機があって、平衡電動機が静止したとき、ダイアル上の指針の位置によって、発電すべき電力量を読みとることができる。また将来は電力系統の全自动化が考えられるので、これに便利な構成にもなっている。

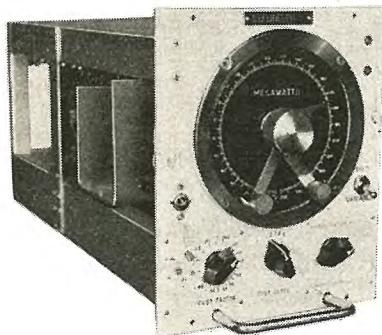
自己の電力系統と、他の電力系統の間で電力を授受する場合には、これを連繫線単位で表わすが、この際、売買される電力の適正な価格をも計算することができる。また連繫線単位は流込式水力発電所にも使用でき、さらに電力系統の負荷が 1 個所でなく、多数ある場合、これを負の出力の発電所と考え、これに連繫線単位を使用できる。

さて、このような計算機を実際に使用したとき、節約される経費の一例をあげると、米国の Southern company power pool (火力 2,200 MW, 水力 900 MW) では、年 60 万ドル (1 億 4,200 万円) の経費を節約することが可能といわれ、また West Penn (peak load 1,500 MW, 水力 52 MW) では、年 5 万ドル (1,825 万円) の経費が節約されたことが報告されている。

本機の計算精度は、各火力発電所の増分燃料費の傾斜によって異なるが、1% 以下であることが、ディジタル形計算機による計算値と比較して確かめてある。



電力経済配分機外観図



発電所単位

■ 日本原子力研究所納均質炉実験用重水蒸発装置完成

本年 1 月、日本原子力研究所から受注した水性均質臨界集合

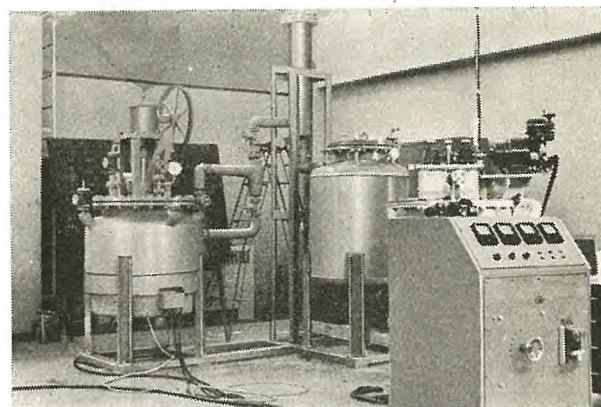
体の主要部の一つである重水蒸発装置はほぼ製作を終り、現在動作試験を実施中である（写真参照）。

水性均質炉は動力用原子炉の有望な形式の一つとしてアメリカのオークリッジ国立研究所やウエスチングハウス社において早くから研究されており、原子力研究所においても将来の研究計画の一つに 2 領域スラリ形水性均質炉をとりあげている。

この蒸発装置は集合体炉心部の UO_2 燃料と重水減速材との混合比の調節や燃料取替えのための重水分離をつかさどり、臨界量、転換比、周期の測定のような物理的実験や流体摩擦損失、粘度、侵食率測定のような工学的実験の心臓部をなすものである。その構成は蒸発器本体、ミスト分離器、重水コンデンサ、貯槽および付属装置からなり、仕様は表に示すとおりである。

重水蒸発装置仕様

蒸発器 本体	温度調節器
内 径 800 mm	形 式 感温部サーミスタ 高さ 約 600 mm ヒータ断続——リ 材 質 SUS-7 ミットスイッチ
人孔内径 600 mm	ミスト分離器
総 高 約 1,620 mm	形 式 サイクロン
制限圧力 2.5 kg/cm ²	ノズル流入速度 15 m/sec
電熱器 容量 5 kW × 3	総 高 250 mm
形 式 円形熱板	コンデンサ
攪拌機 容量 1 HP	容 量 3,500 kcal/h
形 式 軸封、翼形	形 式 タテ置シェルチューブ形
流体出入口 ミスト蒸気出口 3/4 in φ	1-2 热交換器
N ₂ 出入口 3/4 in φ × 2	制限圧力 2.5 kg/cm ²
粉体帰管 3/4 in φ	貯槽
スラリ出入口 1 in φ	形 式 タテ置円筒形
	容 量 400 lr



日本原子力研究所納 均質炉実験用重水蒸発装置

特許と新案

電気あんかの発熱体ならびに温度調節器取付台

考案者 増 谷 良 久

この考案は、軽量にしてしかも搬送時の衝撃に基く部品支持金具の変形による故障発生を少なくするように、電気あんかの上記支持金具の構造および、これに取付けられる各部品の組立構成を改良したものである。

すなわち単一金属板を図2の形状に打抜き、これを図に鎖線で示す折曲線(1)(2)ならびに(3)(4)および(5)に添って、図1に示すように折曲げることによって支持金具の脚部(6)(7)、ならびに一对の平行な側板(8)(9)、および後板(10)を形成し、この後板(10)には温度調節器(11)を、また上記側板(8)(9)の両端部(12)(13)間には、ボビン状の発熱体(14)を挿着し、上記脚部(6)(7)をあんかの木製台板(15)にねじ止めし、これにその他のあんかの付属部品たとえば温度ヒューズ(16)、パイロットランプ(17)、端子台(18)、温度調節器の調整用回転円板(19)などを、それぞれ図3のように取付けて電気あんか本体を構成したものである。

したがって搬送その他の種々の原因によってあんかに衝撃

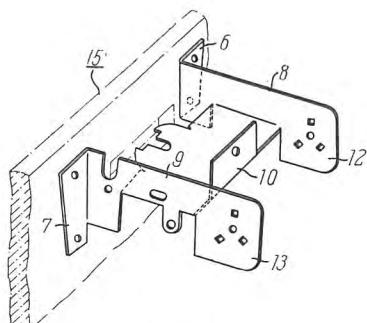


図 1

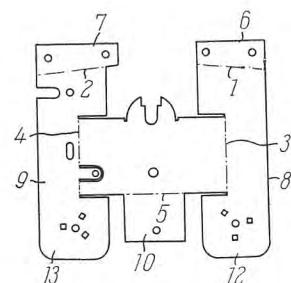


図 2

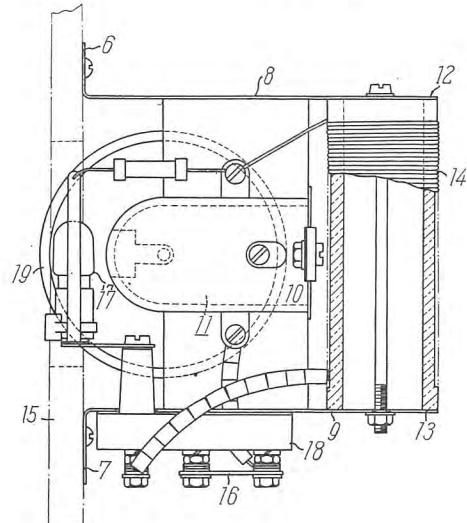


図 3

がかかったときは、上記支持金具の特殊折曲げ形状によって相互に補強作用を呈するばかりでなく、さらに木製台板(15)、発熱体(14)、温度調節器(11)および、その調節用回転円板(19)がそれぞれこの支持金具の補強となって、支持金具の変形による故障発生を防止するとともに、この支持金具の製作に要する所要材料が少なくその節減はもちろん、あんか全体を軽量にし得さらに、その製作に要する手数も大いに軽減し得られるものである。 (実用新案登録第474471号)

(長谷川記)

天井扇冷却装置

考案者 神 谷 昭 美

扇風翼を取付けた外わくが回転する外転形の天井扇では、従来外わくの適当個所に通し穴を設けて内部の駆動装置を冷却するようしているが、外わく自体が回転するために外気吸入が少なく冷却が十分できない欠点があった。

この実用新案は図に示すように、外わく(1)の回転方向に向って開口する吸気案内(2)により外気を導入させ、これを外わく外周の排気口(3)から排出するように構成し、外わく内部の駆動装置を十分に冷却するようになったものである。

(実用新案登録第469424号) (山田記)

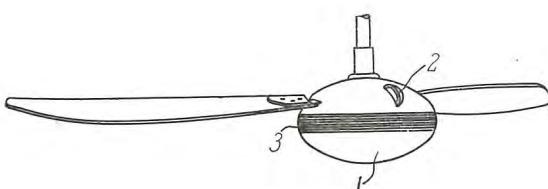


図 1

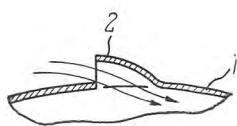


図 2

==== 最近における当社の社外講演一覧 ====

講演日	主催または開催地	演題	講演者	所属
33- 5- 8 〃-5-28, 29, 30, 31 33-6-2, 3	日大電気懇話会 当社札幌営業所 (各労働会館、産業会館) 33-6-2, 3	最近の照明技術(カラースライド併用) 最近の照明技術問題——照明器具展示説明会	小堀富次雄 〃	本社 〃
〃- 6-10	国立市弘電社傘下の 日進商会	螢光灯および水銀灯新製品展示説明会	〃	〃
33- 7- 9	早稲田大学	航空機用テールキャップアンテナ	喜連川 隆 武市 武明	研究所
〃- 7-17	M A P	ジルコニウム中のハウフニウムの分離に Hf^{181} の利用 (イオン交換樹脂法について)	立原 芳彦 石橋 勝仁 小巻 仁	〃
〃- 7-27	北海道電力 (帯広第一生命ビル)	商店照明講習会	小堀富次雄	本社
〃- 7-28	〃 (釧路公民館)	〃	〃	〃
〃- 7-28	NHK テレビ	救命具(救命イカダおよび救命胴衣)の実演および解説	成沢 一男	世田谷
〃- 7-30	北海道電力 (旭川、岩見沢、室蘭、 各公民館、産業会館)	商店照明講習会	小堀富次雄	本社
33- 8- 2 〃- 8- 4	東京国鉄	磁気遮断器「講義」	富永正太郎	伊丹
〃- 8- 5	照明学会九電(人吉営業所)	旅館照明について	佐々木武敏	本社
〃- 8- 6	北海道電気協会、 家庭電化研究会	家庭の照明、電気設備、家庭医療	小堀富次雄	〃
〃- 8- 7	照明学会九電(山鹿小学校)	旅館照明について	佐々木武敏	〃
〃- 8- 8	北海道電気協会、 家庭電化研究会	家庭の照明、電気設備、家庭医療	小堀富次雄	〃
〃- 8-14	大阪電気クラブ	最近の高圧ヒューズ	岩崎 行夫	伊丹
〃- 8-20	当社特約店青菱商会	最近の照明の傾向	小堀富次雄	本社
〃- 8-30	婦人生活文化研究会	住まいの照明と衛生	〃	〃
33- 9-16	名古屋大学工学部	図面管理の問題点(図期短縮、標準化)	松尾 準一	本社
〃- 9-26	カラー受像管試作委員会	カラー受像管の試作および試験結果	鷹野 泰	研究所
〃- 9-27	関西電力	欧米における最近の電力技術	潮 恒郎	〃
〃- 9-30	日本自動制御協会	電車の加減速制御装置	大野 栄一	〃
33-10- 4	応用物理学会	砒酸塩螢光体の電子磁気共鳴	立原 芳彦 秦 卓也 栗津 健造	研究所
〃-10- 6	関西能率技師協会	プレス加工技術講座「プレス加工技術と方法」	杉山 道治	名古屋
〃-10-10	中国照明普及会	住宅の照明(眼の愛護デー記念講演会)	小堀富次雄	本社
〃-10-15	材料試験連合講演会	絞り加工性判定因子として引張試験特性	福家 章	研究所
〃-10-17	電気通信学会	Bendix G-15D 電子計算機の使用経験	八島 英之	〃
〃-10-17	日本化学会	ステレニルトリメトキシンランならびに関連化合物	馬波 久	〃
〃-10-17	〃	電導性シリコンラバー	(馬波 久 西崎俊一郎	〃
〃-10-17	東京大学	同軸形無反射抵抗内の電磁界と等価分布常数	小林 信三	無線機
〃-10-18	〃	無反射移相器を用いた広帯域定位相差発生装置	(喜連川 隆 立川清兵衛	研究所
〃-10-19	規格協会	ファラデ回転特性を利用する実用機器	喜連川 隆	〃
〃-10-22	〃	QC ゼミナー “工場管理からみた QC”	前田 幸夫	本社
〃-10-23	東京産経会館	〃 “工場管理”	和田 巍	〃
〃-10-23 24	電気関係学会	(第一回標) 研究発表 “三菱電機の社内標準体系” (準化大会) パネル討論 “多種少量生産の標準化”	前田 幸夫	〃
〃-10-24	〃	超高压変電所機器(シンボジウム)	田宮 利彦	伊丹
〃-10-24	電気関係学会	変圧器の衝撃電圧試験(部門講演)	岩崎 晴光	〃
〃-10-24 25	電気関係学会 関西支部連合大会	避電器に関する二、三の動作責務試験結果	岡田 昌治	〃
〃-10-24 25	〃	マイカ積層板の長時間耐圧特性	原 仁 吾 平林 庄司	研究所
〃-10-24 25	〃	電流峠度測定器	(蔭山長三郎 近藤博通	〃
〃-10-24 25	〃	Cds 光電動セルによるリレーサーボ形回転再追尾装置	吉山 裕二	〃
〃-10-24 25	〃	同期機の進相運転と AVR	林 重雄	〃

==== 最近における当社の社外寄稿一覧 ====

原稿送付月日	寄 稿 先	題 名	執筆者	所 属
33- 5- 6	電気計算	東洋最大の大手町ビル照明	小堀富次雄	本 社
〃 6- 6	照明学会誌	大手町ビルディングの照明設備	"	"
〃 6- 6	東京支部見学会資料	大手町ビルディング照明設備概要	"	"
33- 7- 3	日本電気技術者協会	ポリエステル樹脂およびエポキシ樹脂の常識	石黒克己	研究所
〃 7-12	オーム	超小型ゲルマニウム・ダイオード	清水潤治	"
〃 7-16	"	電力経済配分計算機	{前川善六 中塚正三郎	"
〃 7-16	"	Bendix G-150-電子計算機	八島英之	"
〃 7-18	電気計算	電子管メガ	山田栄一	本 社
〃 7-21	電気知識	住いの照明	小堀富次雄	"
〃 7-25	食品衛生研究	照明と衛生	"	"
〃 7-25	日本機械学会誌	ゴムポートについて	{尾島学二 成沢一男 大久保貢一	世田谷
33- 8- 1	電気商品	螢光灯、健康灯および殺菌灯、螢光健康灯、殺菌灯およびブラックライトランプ	小堀富次雄	本 社
〃 8- 5	電 力	田子倉発電所向 105,000 kVA 水車発電機	三浦 宏	神 戸
〃 8-14	電気学会誌	高速度電車電動機の騒音	松本安弘	伊 丹
〃 8-14	"	コンデンサブッシングの汚損閉絡特性	岩崎晴光	"
〃 8-19	"	避雷器に関する二、三の動作責務試験結果	岡田昌治	"
〃 8-19	"	2,000 kVA 外鉄形変圧器短絡破壊試験	田村良平	"
〃 8-19	"	交直両用電車	待島 正	"
〃 8-19	"	変圧器の衝撃電圧試験	岩崎晴光	"
〃 8-20	計 測	無接点リレー (Static Relay)	浜岡文夫	研究所
〃 8-20	溶接学会	超高压変電所機器	田宮利彦	伊 丹
〃 8-20	"	ステンレス鋼の軟鋼への内盛り	広田隆一	"
〃 8-31	新生活と電気	建築化照明の進歩	小堀富次雄	本 社
33- 9- 6	新電気	新しい磁石とその応用	中村 弘	大 船
〃 9- 6	電気公論	最近の変圧器の進歩について	村上 有	伊 丹
〃 9- 8	"	最近の発電所照明の傾向	小堀富次雄	本 社
〃 9-10	粉末冶金技術協会	OP 磁石の研究 (第1報) フェライト粉末の焼結に及ぼす固相反応の影響	{中村 弘 河合 登 久高 克也	大 船
〃 9-22	オーム	放電形ほり装置について	{斎藤長男 岩村武志	研究所
〃 9-24	産業と電気	自励交流発電機	武藤 哲	神 戸
〃 9-24	"	サイパック (無接点リレー方式) について	新谷保次	"
〃 9-26	電気学会誌	半導体整流器の電流バランス	{岡 久雄 池内和郎	研究所
〃 9-26	粉末冶金技術協会	粉末冶金関係特許イ報	政木淑人	"
〃 9-30	電設工業	最近の学校照明の考え方	小堀富次雄	本 社
33-10- 4	工場管理	「品質管理を解剖する」質問に対する回答	大神朝喜	福 岡
〃 10- 6	オーム	極光分光器自動露出装置	{八島英之 安東滋	研究所
〃 10- 6	電子工業	航空機およびミサイル搭載用ディジタル計算機について	{村西有三 三谷尚正	無線機
〃 10- 7	照明学会誌	平衡状態での硫化亜鉛螢光体の電場発光	伊吹順章	研究所
〃 10- 7	電気学会誌	132 kV 合成樹脂接着紙コンデンサブッシング研究および現場試験	岩崎晴光	伊 丹
〃 10- 8	自動制御技術レポート集	サイパック無接点繼電器, "マグアスタッタ" 磁気増幅器形自動電圧調整器	新谷保次	神 戸
〃 10- 8	"	交流電機のリアクトル制御	吉田太郎	名古屋
〃 10- 8	"	オートセレクトパタンオート方式エレベータ	{宮城晃平 板垣晃平	"
〃 10- 8	日本電気技術者協会	FTU テスト・スイッチ	{岡本孝治 立石俊夫	神 戸
〃 10- 9	自動制御技術レポート集	①三菱質量分析装置 ②電力経済配分計算機	{①後藤正之 ②甲斐潤二郎 ③中塚正三郎 前川善六	研究所

三菱電機 総目次

第 1 号 昭和 32 年度回顧特集

卷頭言	取締役社長 関 義長	3
発電機器		4
汽力発電機器（タービン発電機・汽力発電補機器・中央制御盤補機器・制御装置・火力発電所主要配電盤）		4
ジーゼル機関発電機と配電盤		9
水力発電（水車発電機・水力発電所主要配電盤・水力発電の研究概況・水力発電補機器）		10
送配電機器		13
変圧器（大形変圧器・中形変圧器・負荷時電圧調整器・乾式変圧器・巻鉄心変圧器・移動変電所制御装置・柱上変圧器・その他特殊小形変圧器・誘導電圧調整器）		13
交流遮断器および直流遮断器		19
避雷器・断路器および変成器その他（避雷器・衝撃電圧発生装置・断路器・高圧可溶器・計器用変成器）		22
電力用コンデンサ		26
配電盤および計器（メタルクラッド配電盤・交流変電所用配電盤・遠方監視制御装置・積算計器その他・2種料金制積算電力計・切替用タイムスイッチ・繼電器・ZX型電圧降下補償器）		27
交流計算盤（関西電力向交流計算盤）		36
交換機器（イグナイトロン整流器・三菱セレン整流器・半導体整流器・直流変電所用配電盤・移動変電所・周波数交換機）		37
工業用電機品		42
製鐵その他金属工業用電機品（既設備の更新・製鐵関係同期電動機・製鐵関係誘導電動機・製鐵補機用誘導電動機・電線機械用電機品・モータローラ・高炉装入巻上機用電機品・電弧炉・電弧炉電極制御用電機品）		47
化学・石油・ガス工業用電機品		50
セメントおよびゴム工業用電機品		51
荷役・運搬および建設機械用電機品（起重機用電機品・ゲート用電機品・コークス炉用電機品・電気ホイスト・総括制御装置）		51
工作機械用電機品および電動工具（工作機械用電機品・誘導電動機・マグネットクラッチ・電動工具）		53
一般工業用電機品（誘導電動機・減速電動機・同期電動機・直流電動機・小形直流機・一般制御装置および器具・ノーヒーズ遮断器および分電盤・試験設備用電機品・高周波発電機・抵抗溶接機・通風機）		56
鉱山用電機品		65
船舶用電機器		70
エレベータ・エスカレーター		77
冷房・冷凍・冷蔵・空気清浄装置		83
車両用機器		89
電気品		99
無線機器		104
ランプ・照明器具および照明施設		114
家庭用電気品		122
材料		132
絶縁材料、金属材料、ゴム製品、ポリエスチル製品		132
原子力関係		141
研究所の概況		145
半導体関係、電子管関係、マイクロ波関係、計測関係、電気機器に関する測定試験関係、電力変換装置関係、その他ニュースフラッシュ		145
		154

第 2 号

新鋭火力発電機の特性と製作上の問題点	加賀貞広	160
タービン発電機形式の選定	志岐守哉	169
火力発電所の騒音と指令電話	馬場文夫・大鳥羽幸太郎・開発久次・藤木一	177
タービン発電機のガス系統の 2, 3 の問題	加賀貞広・今井光・遠藤裕男	185
火力発電所におけるコントロールセンタ	蟹江邦雄・梶田保雄	193
名古屋地下鉄、栄町変電所	加藤又彦・中村幸雄・荻野脩・小滝喜久二・岩垂邦昭	200
24,000 Mc/s レーダ	櫻本俊弥・吉田武彦・渡部優	212
電弧炉による電圧変動とその防止法	馬場準一	217
電力系統における回復電圧に関する諸問題（その 2）	潮恒郎	225
汎用電機品の特殊試験法	大野寛孝・服部謙・野村博	233
技術解説 力率発電シリーズ：発電機と励磁機（2）定態安定度と過渡安定度		240
原子力情報		
加圧水型原子力発電所について（1）	木村久男・前沢芳一・川口修・迎久雄	247
W 社文献抄訳		
刷子なし機器へのシリコン整流器の応用、新形空気遮断器の設計、原子炉圧力容器の光弾性試験に成功		260
ニュースフラッシュ		262
特許と新案		266

第 3 号

水力発電機器特筆		
工作機械用電機品特筆		
可逆ポンプタービン	水室 實	268
チューブラタービン	織田明男	271
チューブラタービン誘導発電機	片山仁八郎	275
台湾電力公司竜潭発電所 54,000 kVA 水車発電機および配電盤設備	山下喜美雄・松尾潔	279
最近の水力発電所用変圧器	村上 有・田村良平	288
水力発電所におけるコントロールセンタ	蟹江邦雄・町野康男	295
水力発電所補助ジーゼル発電機および配電盤	杉山昌司・町野康男	299
ゲート用三相誘導電動機	八木勝	303
ゲート閉閉用制御装置	佐藤正夫	305
工作機械用電動機	本間吉夫	307
工作機械用 NP 形電動油ポンプ	稻垣武次	313
工作機械用制御装置	吉野敏夫・奥島欽伍	315
工作機械用制御器具	篠崎善助	325
工作機械用 JK 形電磁クラッチ	三矢周夫	331
ED-70 形整流器式交流機関車	小川清一	336
ED-70 形整流器式交流機関車の衝撃電圧試験	岩崎晴光	347

ED-70 形整流器式交流機関車用空気遮断器	富永正太郎	353
技術解説		
火力発電シリーズ：発電機と励磁機（3）発電機の可能出力曲線、屋外形発電機		357
原子力情報		
加圧水型原子力発電所について（2）	木村久男・前沢芳一・川口修・迎久雄	360
W 社文献抄訳		
新形繼電器ライン、単相モートルの容量は拡大された		372
ニュースフラッシュ		
閑電カットアウトヒューズ第三期現地試験に DXM 形ヒューズ優秀な成績を収む、日本電波塔用エレベータ受注、岩手県岩洞第二発電所用主要機器受注、最高級 14 インチテレビ発売、新発売 5P-130 形小形ラジオ、新形噴流式電気洗濯機 PW-154 形		374
特許と新案		
（特）電気車制御装置		376

第 4 号

トーラ式移動変電所	国松賢四郎・西村恭一郎・加藤又彦・亀山三平・坂田邦寿・小滝喜久二・岩垂邦昭	378
東京電力大手町地下変電所の概要と変圧器の新冷却方式	三宅義治・山田三郎・村上 有・谷中頼朝・田村良平	392
70-GM-350 形油入遮断器		399
超小形ゲルマニウムダイオード		404
小又川直接接地系保護継電装置	藤井重夫・北浦孝一・天野 恒	411
ゼレンの金相学的研究（1）		418
水素冷却器の特性試験（1）	明石克寛・荻野 治	427
ケーブル系統保護用 HCB-2 形表示線継電器の高調波および過渡現象応動特性	藤井重夫・北浦孝一・古谷昭雄	431
ビニール基およびフェニール基を含む低粘度シリコーン油	馬波 久・小山二郎	439
技術解説		
加圧水形発電用原子炉とその問題点	長沼辰二郎・小倉成美	442
火力発電シリーズ：発電機と励磁機（4）発電機の水管系統		448
原子力情報		
加圧水型原子力発電所について（3）	木村久男・前沢芳一・川口修・迎久雄	450
W 社文献抄訳		
負荷断路器と自動接地開閉器の応用、W 社シャロン工場の変圧器テストセンタ		467
ニュースフラッシュ		
電源開発田子倉発電所向 105,000 kVA 水車発電機、台湾電力谷関発電所用 57,500 kVAr 水車発電機 2 台受注、神戸製作所の工場拡張、電源開発南川越変電所用 312 MVA 変圧器受注、交直両用電車完成す！三相交流機関車完成、内部冷却発電機製作進む、京都市交通局トロリーバス用電機品受注、三菱金属鉱業川口第二発電所竣工、水銀燈の生産本格化す、秩父セメント向 2,500 Mc-SS-FM 多重無線装置受注、三菱原子力会社発足す、NA-2 形自動電気釜（1 升炊き）		470
特許と新案		
（特）電力系統の充電電流補償方式		475
最近における当社の社外講演一覧		476
最近登録された当社の特許および実用新案		478

第 5 号

自動制御機器特筆		
自動制御系のアナリシスとシンセシス	真鍋舜治	480
磁気論理要素による計数指令装置	浜岡文夫・大野栄一	490
磁気増巾器形サーボ	浜岡文夫・今出昭彦・大野栄一	500
帶鋼のループコントロール装置	武藤 哲	507
ビスコースプラントのプロセス制御	蟹江邦雄	513
電気式衡器	吉山裕二	518
阪神ビルにおける最新式電気室設備	平木 寛・立石行男・糸岡義郎	523
160 in 厚板圧延用 10,000 HP 電気設備	竹内真一・片岡高示	528
衝撃波比較試験器	浅見辰巳・蔭山長三郎	537
電力用シリコン整流器	加藤又彦	542
H 種絶縁乾式変圧器	荻野 脩・神谷友清	553
極光分光器自動露出装置	八島英之・安東 滋・村西有三	565
技術解説		
火力発電シリーズ：発電機と励磁機（5）発電機の不平衡負荷		573
原子力情報		
加圧水型原子力発電所について（4）	木村久男・前沢芳一・川口修・迎久雄	575
W 社文献抄訳		
最近の用途に適した直流電動機、通風機の形式選定		586
ニュースフラッシュ		
台湾電力納 11.5 kV, 1,500 MVA 4000 A C 形空気遮断器、交流電車用 23 kV 空気遮断器完成、閑門海底国道トンネル用エレベータ活躍し出す、事故時に発生する内雷を処理しうる新形直流避雷器国鉄技術研究所における試験に優秀なる成績をおさむ、電源開発株式会社（南川越変電所）向本邦記録の大容量屋外キュービクル受注		588
特許と新案		
（特）電気機器並列運転装置		591
最近における当社の社外寄稿一覧		592
最近における当社の社外講演一覧		499, 572

第 6 号 材料特集

材料雑感	世田谷工場長 尾島学二	595
絶縁油に及ぼす紫外線およびワニス溶解の影響	白井万次郎	596
電気絶縁塗料の品質管理	村山三郎・関口 澄	601
マイラとその Combination の特性	森田義男・坂田桂三	608
硫化カドミウムの結晶成長	伊吹順章	620
ゼレンの金相学的研究（2）	山森末男	630
スリップリング傷損とブラシ摩耗（BC3 リングと金属黒鉛質ブラシ）	森田義男・米沢康夫	641
ハイパーオイ-O（異方性 50 Ni-Fe 磁性合金）の特性	野口英男・政木淑人・土屋英司・長谷川邦弘・小倉忠利	662
コロンビウム含有 18-8 ステンレス鋼の溶接	前田祐雄・南日達郎	670
銅クロム合金の研究	政木淑人	677
国産クロムを用いたニッケルクロム電熱材の試作（1）	尾島学二・加藤伸司	682

イオン交換分析法の銅合金への応用	石橋 勝・小巻 仁	695
比色法による Be-Cu 中の Be 迅速分析法	鈴木重宣・松井文夫	700
自記熱膨張計	福家 章	707
技術解説		
火力発電シリーズ：発電機と励磁機（6）励磁機		711
原子力情報		
加圧水型原子力発電所について（5）	木村久男・前沢芳一・川口 修・迎 久雄	715
W 社文献抄訳		
原子力発電所の運転、10 MW マグネットロンの開発		733
ニュースフラッシュ		
わが国最大の超高圧 260 MVA 変圧器完成す、日本最初のブリッジ結線方式のイグナイトロン整流器完成す、関西電力新愛本変電所納 287.5 kV 節油タンク形遮断器完成、関西電力 20 kV ケーブル系統に使用される閉鎖サージ処理用避雷機		
93 相を受注、パイロオシレータ、JRR-2 実験用原子炉製作進む		735
特許と新案		
（特）強韌鉄の製造法、白金の電解研磨法		738
最近における当社の社外寄稿一覧		607

第 7 号 エレクトロニクス特集

卷頭言	取締役社長 関 義長	740
新工場の落成に際して	無線機製作所長 更田健彦	741
最近の電子機器	津村 隆	742
レーダ電波を捕捉するに要する時間の問題	喜連川 隆・有田不二男	752
狭帯域 VHF/FM 無線機	佐藤 晋・黒田忠光・東 勇・奥村 徹	758
航空機用テールキャップアンテナ	喜連川 隆・武市吉博・黒田忠光	771
航空電子機器用回転機	戸谷利雄・小島敏男	776
広帯域無指向性誘電体アンテナ	喜連川 隆・信岡正祐・有田不二男・武市吉博	779
レーダ用エコーボックス	若田和明	783
TZ-2 形電子管式自動誤字訂正（ARQ）時分割多重電信端局装置		
竹内彦太郎・熊谷 黃・山内確郎・富岡欣造・馬場文夫・大鳥羽幸太郎・鶴村和也・鈴木昌三	792	
パラメトロンを用いたモールス五単位符号変換機		
竹内彦太郎・大島信太郎・中込雪男・和田太作・馬場文夫・大鳥羽幸太郎・磯崎 真	814	
トランジスタ直流増幅器	中塚正三郎・小林吉三郎	827
金属検出装置	馬場文夫・寺本吉一	833
レール探傷機 CM-1 形クラックメータ	山下精一・飯川三郎・藤沢 豊・渋谷 祐・田村祥一	841
試聴室の音響特性	藤木 一・進藤武男	848
FM ラジオ	武居 明・藤田恒雄	851
三菱オートラジオ	上野芳雄・岡本春樹・中村信弘	858
水銀中ににおける抵抗形点弧子の特性	岡田武夫・青木伸一	866
密封形イグナイトロンの構造・定格・応用	竹内宏一	871
技術解説		
火力発電シリーズ：発電所全般（1）タービン発電機の温度計の形式と配置		880
蒸気タービン（1）タービンプラントにおける熱管理		
原子力情報		
加圧水型原子力発電所について（6）	木村久男・前沢芳一・川口 修・迎 久雄	889
W 社文献抄訳		
今日と明日の航空通信および航法、航空機探知組織、誘導弾		899
ニュースフラッシュ		
万能形電子計算機の設置、東武鉄道 2,000 Mc 多重無線回線工事完成、同期機保護用 COQ 形逆相電流絶電器の改良形完成		901
特許と新案		
（特）主幹制御器		904
最近における当社の社外寄稿、講演一覧		775, 778
最近登録された当社の特許および実用新案		751, 840

第 8 号

荷役用電機品特筆

最近の交流クレーン用三相誘導電動機	三浦鎌市	906
交流クレーンのアクトル制御方式	蟹江邦雄・吉田太郎	910
サイロ用穀類搬送機械の総括制御	木内 修・堤 卵三郎	916
電気ホイスト	安松靖彦・藤木博愛	921
三菱自働交流発電機	甲斐 高	928
交直両用電車	侍鳥 正・小原太郎	937
電車用主電動機の現車試験	内海権三・宇川 彰・森田義男	946
南海電鉄（軌道線）納電車制御装置	相田茂夫	956
磁気消弧直流避雷器	佐藤五郎・蔭山長三郎・岩崎晴光・鎌田隆好	962
直流避雷器の内雷動作責務とその適用	岡田昌治	971
生産工場におけるロードセンタ	井上八郎	977
G 形記録計器	岡本孝治・渡辺 宏	981
三菱トランジスタラジオ	芝田正巳	986
技術解説		
火力発電シリーズ：ボイラ（1）最近のボイラ形式の概要とその特色		
発電所全般（1）発電所機器の配置		994
W 社文献抄訳		
タービンおよび発電機、新形タービン監視計器、ますます大容量化する発電所用変圧器、大形変圧器輸送用新貨車、電動機設計の進歩		1004
ニュースフラッシュ		
九州電力納 200-GW-500 形節油タンク形遮断器完成、NFM 形引出形電動操作式ノーヒューズ遮断器、炭坑・工場防爆用 SHX 形防爆形高圧水中電磁開閉器完成！配電線の 6 kV 昇圧に伴うタイマrans、巻鉄心形柱上変圧器、超高压負荷時タップ切替変圧器 120 MVA 2 台受注		1007
特許と新案		
（特）誘導電動機の発電制動装置（特）電気機器端子		1010
最近登録された当社の特許および実用新案		909
最近における当社の社外講演一覧		927, 980, 985

第 8 号 臨時増刊 電力技術特集

卷 頭 言	常務取締役 山口良哉	1013
避雷器の有効なる適用	荒井 潔	1014
交流遮断器の遮断容量不足の対策	浅井徳次郎	1021
安定度問題	安藤安二・馬場準一	1024
電気機器の防食問題	中野光雄	1032
原子力発電所をわが国の電力系統に導入する場合の諸問題	木村久男	1038
第7回「電力質」受賞	木村久男	1048
軸電流の推定	中村芳雄	1049
台灣電力における技術的諸問題	木村久男・山田栄一・迎 久雄	1053
直 流 送 電	木村久男	1062
発電機の接地方式	山田栄一	1071
富士製鉄室蘭製鉄所における絶縁試験	中野 勇・永井一男・中村芳雄・山田栄一・西村鉄治・大町久次・米野俊彦・原 仁吾・川上 剛・影山 隆	1078
技術解説		
火力発電シリーズ：変圧器（変圧器定格、変圧器の形式、冷却方式）		1097
原子力情報		
ショッピングポート原子力発電所	渡辺泰男・渡辺信三・川口 修	1100
W 社文献抄訳		
原子力発電所の機器、46 kV リクローザ、世界でもっとも純粋なシリコン、ダイニスター・ターピン発電機の単機出力増加		
さる、配電用変圧器の耐熱性増強		1121
ニュースフラッシュ		
耐塩害用の絶縁階級 200 号 TO 形油入密封式コンデンサブッシング完成、住友電工向電力ケーブル耐圧試験設備完成、4,500 馬力 6 組の圧延電動機駆動用イグナイトロン整流器完成す、60 W FK 形小形直流電動機、近畿日本鉄道新鋭特急車「ビスタ・カー」完成		1123
特許と新案		
(特) 直流送電装置 (特) 直流送電装置におけるインバータ遮断方式		1126
最近における当社の社外講演一覧		1031, 1061

第 9 号 照明特集

卷 頭 言	常務取締役 岸本久雄	1128
照明 10 年の歩み	谷鹿光治	1129
アメリカにおける照明の現況雑感	河合 登	1132
照明普及運動の動勢	吾郷侃二	1134
螢光灯における電極加熱が発光効率に及ぼす影響	竹田俊幸・山下博典	1138
新しい形の螢光水銀灯	立原芳彦・秦 卓也・栗津健三	1147
カラー螢光ランプ	太田重吉	1150
光り天井照明	上川忠夫	1154
高出力ラピッドスタート螢光灯の経済問題	小堀富次雄	1167
工場照明の経済的計画の一方法	佐々木武敏	1171
電源電圧変動に対応する螢光灯と白熱球の光束変動の比較	高島秀二・増田 裕	1174
防爆形螢光ランプおよび照明器具	佐々木武敏・高島秀二・山本壯司	1176
螢光灯の周波振動	久保幸正・土井貞春	1182
螢光水銀灯によるテニスコートの照明	上川忠夫・立原芳彦・栗津健三	1189
螢光健康灯による佝偻病予防の至適照射値および全実験動物の病理解剖学的所見およびその眼に対する影響に関する実験的研究	赤坂京治・宮沢寿一郎・足立 健・藤村敏行・小堀富次雄	1192
家庭用螢光灯器具とインダストリアルデザイン	堀田輝太郎	1205
織物検査光源と螢光ランプ（第 2 報）	上川忠夫・安東 澄	1209
照 明 意匠	小笠原善丸	1214
技術解説		
火力発電シリーズ：AVR の問題		1222
最近の米国照明施設の展望（2）		1226
W 社文献抄訳		
超高出力螢光ランプ、照明用電源のトランジスタ化、新しい航空機の電気系統（兵器体系による）		1242
ニュースフラッシュ		
第5回日本国際見本市のソ連およびチエコスロバキア館、四国電力加賀発電所に三菱製電気ガバナを取付、LSH 形交流気中配電箱		1244
特許と新案		
(特) 列車位置表示装置（特）冷蔵庫		1246
最近登録された当社の特許および実用新案		1166

第 9 号 臨時増刊 建築と電気特集

建築と電気機器との融合	鬼丸勝之	1249
名鉄ビルのオートセレクトパタン・オートエレベーターの実態調査	木村武夫・宮城 晃・板垣晃平	1250
エレベーターの塗装とその品質管理	森光幸次	1258
最近の三菱エレベーターの標準とその適用	宮城 晃・外野範吾・白村義郎	1265
非常用小形交流発電機と制御装置	杉山昌司・町野康男	1288
三菱トローベータ	河合武彦	1296
新構想のビル用変電設備	井上八郎	1301
MC 形高速多気筒冷凍機および凝縮装置	中村長一	1305
ビルの空気調和	志波東一	1310
ワインデヤ（窓掛式冷房装置）	牛田善和	1318
自動扉	瀬原田三郎	1320
洗浄管走行形クリネヤ	斎藤 寛・武藤 哲	1324
技術解説		
火力発電シリーズ：発電所全般（3）母線保護方式		1333
W 社文献抄訳		
ショッピングポート発電所・遊星空間における通信と航法		1356
ニュースフラッシュ		
豪華な名古屋城のエレベータ、250 VA 逆用回転変流機（Inverted Rotary Convertor）、JRR-II 原子炉の熱中性子柱（Thermal Column）、関西電力 20 kV ケーブル系統に使用される開閉サージ処理用避雷器 93 相を納入、耐薬品形螢光灯器具		1358

特許と新案

(新) 昇降機制御装置 (新) 密閉形冷凍機	1361
最近登録された当社の特許および実用新案	1362

第 10 号

国鉄山陽線直流電化特筆

国鉄山陽線新電化方式と無人変電所集中制御方式——鉄研 B 形について	能木貞治・1364
国鉄山陽線(姫路系)変電所集中制御装置	大木城爾・1371
無人直流変電所機器	加藤又彦・小滝喜久二・1376
260,000 kVA 特別三相式超高压変圧器	村上 有・谷中頼朝・1393
ケーブル系統一線地絡時の零相電圧・電流の振動	馬場準一・森本英男・芝滝寿宏・森 健・1402
イグナイトロン電気機関車の交流側高調波電流	阿部久康・平塚 篤・1410
近畿日本鉄道「ピスター・カー」用主電機および制御装置	浅越泰男・相田茂夫・1421
最近の三菱静電コンデンサー	南角英男・神谷友清・1429
水銀アーク順変換装置の人工的逆試験	加藤又彦・塚本昭三・1438
硫化カドミウム光導電セル PZC-801	山下博典・伊吹順章・1448
7,500 Mc 带 SS-FM 方式極超短波多重無線通信装置	樺本俊弥・北垣成一・阿部 修・室田 慎・篠原 博・1453
技術解説	
火力発電シリーズ: 変圧器 (2) 発電所における密閉形母線	1461
電気機器における絶縁方式の進歩 (1)	森田義男・原 仁吾・1464
W 社文献抄訳	
配電用変圧器の改善、ラジオ障害の測定に関する問題	1474
ニュースフラッシュ	
わが国最大容量の自励交流発電機完成、三菱 HSK 形交流ウインチ完成、BL-1 形温度繼電器完成	1476
特許と新案	
(特) 位相比較式搬送保護繼電装置 (新) 内鉄形変圧器	1478

第 11 号 誘導電動機特集

巻頭言	常務取締役 弘田実禧・1481
電動機小形化の問題点と各国の現状	関野 博・1482
電動機の容量と電源電圧の問題	宗村 平・1498
電力系統における誘導機の過渡現象	馬場準一・1502
誘導電動機の起動時における諸問題	甘粕忠男・秋吉俊男・八木 勝・1509
誘導電動機の最近の絶縁	伊藤昭八郎・1521
誘導電動機の振動と騒音	米野俊彦・鈴木文夫・臼田長一・佐藤良雄・1525
電動機の運転と保守	藤原辰二・1541
スーパーライン A モートル	関野 博・小野勝啓・1553
最近の大形誘導電動機	片山仁八郎・田中義孝・高原洋介・1566
単相モートルにおける諸問題	梶谷定之・1573
誘導電動機応用品	安松靖彦・中野大典・新良由幸・稻恒武次・1585
誘導電動機の制御器	篠崎善助・1598
技術解説	
火力発電シリーズ: メタルクラッド配電盤 (1)	1606
電気機器における絶縁方式の進歩 (2)	森田義男・原 仁吾・1610
W 社文献抄訳	
F/A 形電動機、レクティフィロウ駆動機、液体中で使用する電動機、トランジスタライズされたレーダ指示機	1621
ニュースフラッシュ	
タービン発電機について竣工検査終る、日本最初の大電流用シリコン整流器完成、電源開発田子倉発電所納 300 kV, 12,000 MVA 鋼油タンク形しゃ断器組立、2,000 kVA 外鉄形変圧器の短絡電流による破壊試験、日本で初めての固体用二重収斂質量分析器完成、これがないがいし	1623
特許と新案	
(新) 電気ストーブ (新) 発熱体	1626

第 12 号

圧延機用電機品特筆

日亜製鋼株式会社吳工場熱間連続圧延機用電機品	高月 一・伊藤嗣郎・室賀 淳・1628
冷間連続圧延機用電機品	茶谷三郎・田野和夫・武藤 哲・1634
冷間酸洗設備用電機品	紙谷鉄男・1641
連続せん断設備用電機品	紙谷鉄男・香川重光・1647
連続電気めっき装置	紙谷鉄男・1652
調質圧延機用電機品	田野和夫・1659
アルミ箔圧延機用電気設備	中村登喜生・紙谷鉄男・高月 一・1662
東北バルブ向 142 インチ新聞紙抄紙機電機品	己斐健三郎・坂田邦寿・細野 勇・紙谷鉄男・1667
300 kV, 5,000 MVA 鋼油タンク形遮断器	新井正元・五十嵐芳雄・永田秀次・1679
油入変圧器保護用衝撃圧力繼電器	鶴 裕史・1689
小容量自励交流発電機	杉山昌司・町野康男・1697
ブリッジ結線方式のイグナイトロン変換装置	加藤又彦・己斐健三郎・坂田邦寿・塚本昭三・鯨岡春次・1707
12 相ブリッジ結線イグナイトロン整流器の回路現象の検討	平塚 篤・坂東修三・1719
新形超音波探傷機 FD-5 形とその応用例	馬場文夫・大鳥羽幸太郎・松元雄蔵・1726
DXM 形開放ドロップアウト カットアウト	岩崎行夫・1739
技術解説	
火力発電シリーズ: 電気集塵装置 (1)	1755
W 社文献抄訳	
電子による撮像および像増強、Cypak for Industry	1758
ニュースフラッシュ	
交直電車用シリコン整流器完成、電力経済配分計算機、日本原子力研究所均質炉実験用重水蒸発装置完成	1761
特許と新案	
(新) 電気あんかの発熱体ならびに温度調節器取付台、天井扇冷却装置	1763
最近における当社の社外講演一覧	1764
最近における当社の社外寄稿一覧	1765
最近登録された当社の特許および実用新案	1633, 1640

CA-5形

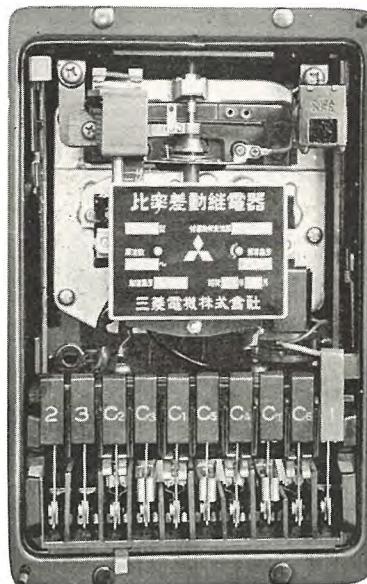
飽和比率差動繼電器完成

CA-5形飽和比率差動繼電器完成

差動方式で外部事故の場合、故障電流が大きくなると CT 誤差が急に増大するものである。したがって故障電流が小さいときには小さな動作比率で動作し、電流が大きいときには大きな動作比率で動作するのがもっとも合理的である。とくに発電所や工場でのフィーダ母線連絡ケーブルの差動誤差をおこなうような場合、短絡事故電流は非常に大きいにもかかわらず、地絡事故電流は大きくなことが多い。このような場所にさきにのべたような飽和比率差動特性をもった繼電器をもちいると、地絡事故には十分高感度でありながら短絡事故には誤動作の心配のない瞬時保護をおこなうことができる。

今回完成した CA-5 形比率差動繼電器はこのような飽和比率差動特性をもつもので、上記ケーブルなどの瞬時保護用として最適であるほか、発電機や変圧器などの差動保護にももちいられる。

CA-5 形比率差動繼電器は飽和変成器が付属していて、これには 12-19-25-38 の四つのタップがあり、比率特性を相当広範囲に変更できる。また最小動作値には高感度調整と低感度調整の二つの調整があり、低感度調整の場合は 0.14A を標準としており、高感度調整の場合は 0.5 から 2.0A の間の任意の値に調整できるようになっている。



CA-5 形比率差動繼電器（引出形でカバーをはずしたところ）



付属飽和変流器箱

昭和 33 年 12 月 20 日 印刷 昭和 33 年 12 月 25 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	大久保謙	常任委員	宗村平
副委員長	石川辰雄	常任委員	岡屋精
常任委員	浅井徳次郎	〃	二和彦
〃	荒井潔	〃	立原芳一
〃	安藤安二	〃	竹内真
〃	木村武雄	〃	津村一隆
〃	小堀富次郎	〃	松尾又
〃	高井得一郎	幹事	上八郎
〃	中野光雄	〃	井上宗明
〃	馬場文夫	〃	市村宗明
〃	松田新市	〃	山田栄一

(以上 50 頁順)

編集兼発行人	東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地	市村宗明
印刷所	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目	大日本印刷株式会社
印刷者	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目	長久保慶一
発行所	三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部	電話 和田倉 (20) 1631
		日本出版協会会員番号 213013
発売元	東京都千代田区神田錦町 3 の 1	株式会社オーム社書店
		電話 (29) 0915・0916 振替 東京 20018