

MITSUBISHI DENKI

三菱電機

電 鉄 特 集

イグナイトロン整流器式交流電気機関車（インド国鉄納め）



3

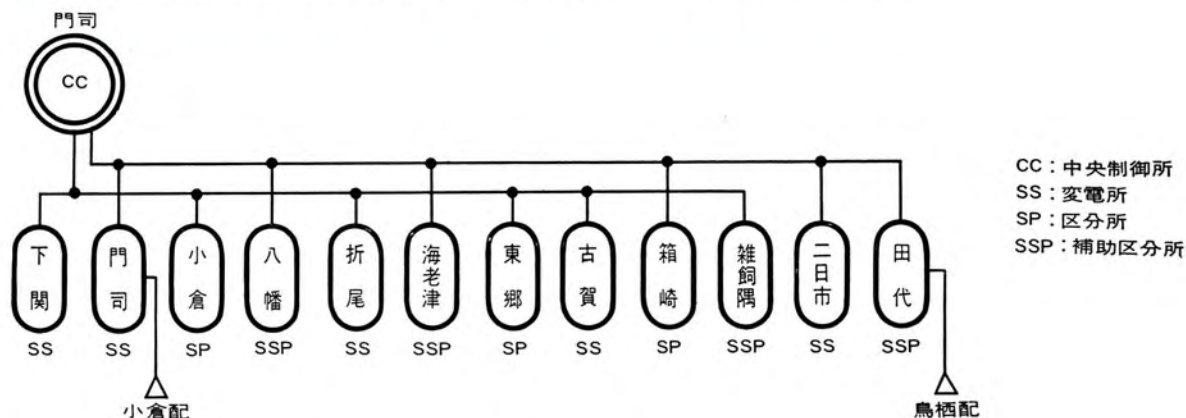
VOL 35 1961

◆ 完成近づく国鉄北九州（門司～久留米）の電化

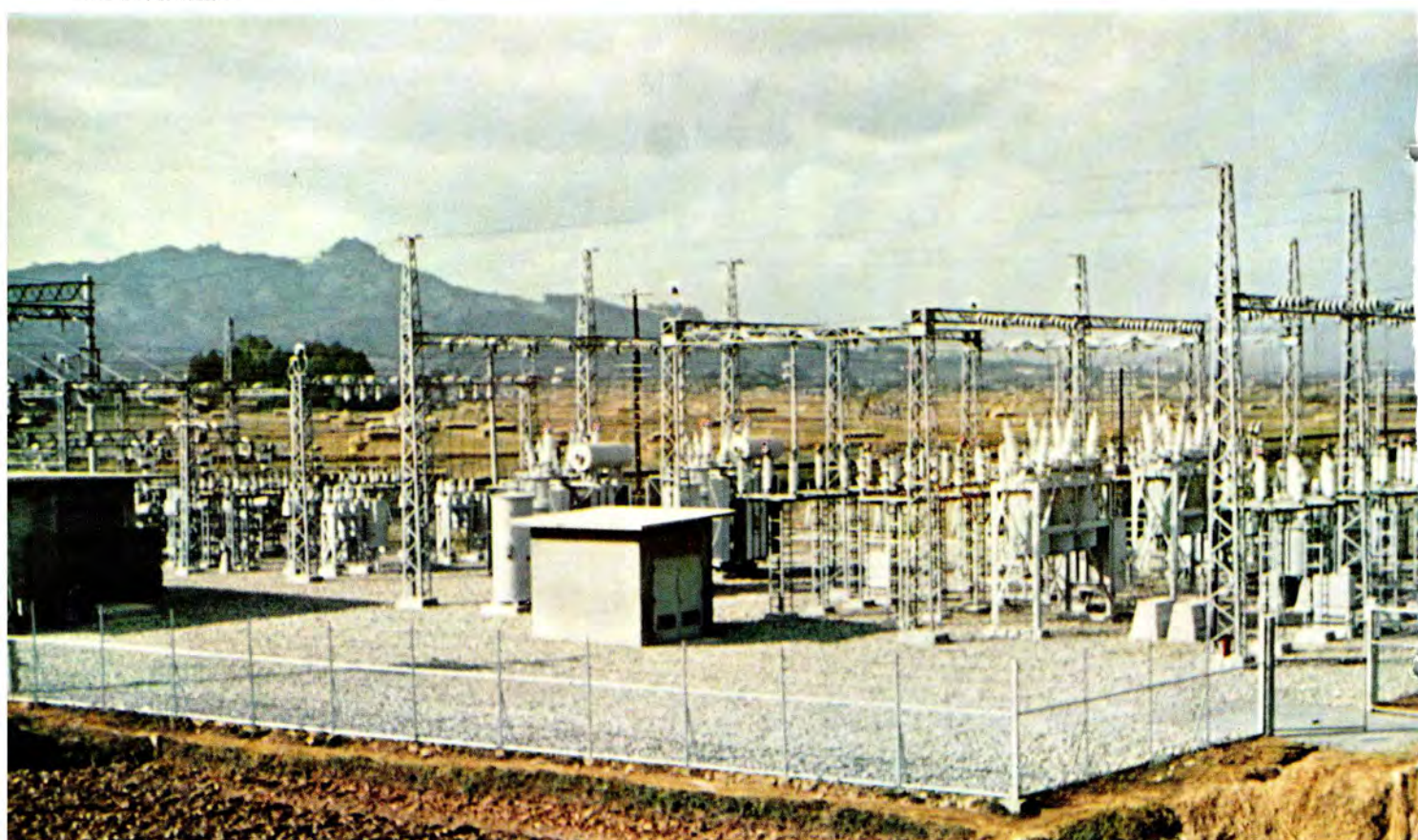
鹿児島線門司～久留米間約 110 km の交流電化用地上変電所の主要機器は 一括三菱電機が製作納入した。

⚡電用変圧器	6,000 kVA	5 台
⚡電用変圧器	3,000 kVA	1 台
高配用変圧器	2,000 kVA	2 台
高配用変圧器	300 kVA	2 台
各種交流シ断器		47 台
各種配電盤		107 面
遠方監視制御装置		1 式

これらの機器は割付により変更の制御系統で、門司中央制御所から遠方制御監視される。



(二日市変電所)





表紙説明

インド国鉄から受注したイグナイトロン整流器式交流電気機関車 10 両のなかの 1 両である。交流電気機関車の輸出は、わが国最初のことである。電機品は国際規格 IEC に準拠しているが何分酷暑地のこととて温度上昇は同規格よりも約 20 度低くなるよう設計され 温度 45°C 湿度 100% の最悪条件にも全然支障なく運転できる。

三菱電機

昭和 36 年 第 35 巻 第 3 号 (電鉄特集)

目 次

インド国鉄向け イグナイトロン電気機関車	藤野友爾・松田新市	2
北九州用交直電車	相田茂夫	24
最近の トリパス	正木周四郎・宮内圭次	29
WN ドライブ電車電動機 および駆動装置の進歩	内海権三	35
車両用单相交流整流子電動機	河村寿三	40
電車の プログラムコントロール と無接点化	北岡 隆	44
自動列車制御装置	小原太郎・北岡 隆	51
回生制動の問題点	小川清一・己斐健三郎	58
車両用冷房装置	牛田善和・加藤敏夫	63
直流変電所の計画方針	加藤又彦	68
電鉄用水銀整流器の二、三の問題	塚本昭三・阿部久康	73
電鉄変電所用 シリコン整流器	横島洋志	82
整流器用変圧器	田村良平・坂田邦寿	90
移動変電所	加藤又彦	95
電鉄用直流変電所の制御	小滝喜久二	99
北九州国鉄交流電化用変電設備	能木貞治・南角英男・森岡昭二・小滝喜久二	104
北九州国鉄変電所集中遠方制御装置	大木楨爾	113
電鉄用避雷器と絶縁協調	大木正路・岡田昌治	118
《技 術 解 説》		
粒子加速装置の展望(3)	今村 元	126
《文 献 抄 訳》		
大容量半導体整流器の検討・冷却用熱電モジュール・全トランジスタ式数値制御装置・可逆ラートミルの プロダック制御		133
《ニュース・フラッシュ》		
電源開発発電所向け 50,000 kVA 水車発電機・275 kV 172.5 MVA 変圧器完成・近鉄恩智変電所向け 1,500V 3,000 kW シリコン整流器完成・帝都高速度交通営団日比谷線新車用電機品完成・配電線用柱上電圧調整器 ボールレグ完成・関西電力姫路第二発電所向け 320 MVA タービン発電機受注・関西電力多奈川発電所向け 192 MVA タービン発電機受注・電源開発伊予変電所向け 99,000 kVA 単巻変圧器受注		135
《特 許 と 新 案》		
(新)扇風機用タイムスイッチ・(新)扇風機支持装置・(新)超音波探傷器・(新)フラッシュホールダ支持装置		72, 138
《最近における当社の社外講演一覧》		57, 62, 139
《最近登録された当社の実用新案》		34
《表 紙》		
2. 完成近づく国鉄北九州(門司-久留米)の電化		
3. 最近開通した東京の地下鉄		
4. 三菱車両用ファンデリヤ		

インド国鉄向けイグナイトロン電気機関車

新三菱重工業株式会社 三原製作所 藤 野 友 爾*
三菱電機株式会社 伊丹製作所 松 田 新 市**

Ignitron Electric Locomotives for the Indian National Railways

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited, Mihara Works Uji FUJINO
Mitsubishi Electric Manufacturing Company, Itami Works Shinichi MATSUDA

In the year of 1957 the Indian National Railways drew up a project of AC electrification of its line at 25 kV and 50 cycles. The authorities of the railways placed an order for 100 electric locomotives with a group of European manufactures involving 8 representative companies and for 10 units of the same design with a Japanese group consisting of 4 companies. Mitsubishi is in the center of the group, assuming the responsibility of the design and manufacturing with 5 years guarantee. This is an epochal opportunity for Japanese builders to vie with global machine builders for their technical skill. It will not be long before Japanese made locomotives make a gallant appearance under the tropical sun with an amazement of spectators.

1. ま え が き

1957年、インド国鉄は第2次5カ年計画の最重要工事として25 kV、50 c/s 単相交流電化の実施に踏切り、これに初めて運転する貨客両用機関車として、フランス、スイス、ドイツおよびベルギー等欧州4カ国の代表的著名メーカーであるつぎのような

ALSTHOM, JEUMONT, SCHNEIDER-

WESTINGHOUSE フランス

B. B. C. OERLIKON スイス

A. E. G. SIEMENS-SCHUCKERT ドイツ

A. C. E. C. ベルギー

等8会社の連合になる欧州グループに100両のイグナイトロン機関車を発注し、三菱電機、新三菱重工を中心と

し、日立、東芝の協力を得た日本グループに10両を発注した。すでに欧州グループは全両をインド現地へ送っているし、日本グループも厳重な試験検査ののち、ようやく完成して昨年末船積したので、地上施設の完成を待って今春にはインド国鉄史上画期的な交流機関車が東部鉄道東南部鉄道およびカルカッタ周辺を走ることとなるだろう。

この機関車の設計製作の全責任は三菱電機にあって、三菱電機が機関車性能に関する全般の設計を行ない、契約条件にある5カ年の保証の代表的責任を持つのであるが、各機器についてはそれぞれを担当したメーカーで設計製作し同時に保証の責任を持つものである。

製作担当を大別するとつぎのように、三菱電機、新三菱重工、日立、東芝に分割され、一部の機器は互換性ならびに取扱いを同じにしたいというインド国鉄の要求により、欧州グループと同一のものを輸入して取付けている。

(a) 日本メーカーの設計ならびに製作担当機器

三菱電機……主変圧器、イグナイトロンおよび制御盤、主電動機および駆動装置、アルノ相変換機および補助回転機、直流リアクトル、電気装置。

新三菱重工……車体、台車、機械装置

日立……制御装置、計器類

東芝……電動送風機、台車

(注、台車については新三菱重工が設計を担当しその製作は半数ずつ新三菱重工と東芝が分担した)

(b) 輸入機器



図 1.1 インド国鉄向けイグナイトロン電気機関車

Fig. 1.1 Ignitron electric locomotive for the Indian National Railways.

FAIVELEY (フランス)……パンダグラフ
 B. B. C. (スイス)……空気シャ断器, マップ切換器
 OERLIKON (スイス)……空気ブレーキ用圧縮機 および
 真空ブレーキ用真空ポンプ
 FRENCH. WESTINGHOUSE (フランス)……空気お
 よび 真空ブレーキ装置
 HASLER (スイス)……速度記録計

このたびの インド の交流電化には フランス国鉄が、インド
 国鉄から テクニカル、アソシエートに委嘱されて電化計画の一
 般設計、仕様書の作成、請負者提出の設計および図面の
 審査、製作工場における検査、試験、その他の技術的援
 助を行なうこととなったので、日本の製作代表である三
 菱電機と フランス国鉄 との協議により詳細なる製作なら
 びに試験仕様書が作成され、この試験仕様書によって
 タイプテスト と ルーチンテスト が行なわれた。

タイプテスト は フランス国鉄、ルーチンテスト は日本国鉄の監
 督員が立会い、インド国鉄監督員 は随時にいずれの テスト
 にも立会うことができることと取決められた。

この試験仕様書は IEC を骨子とし、インド の特殊な気
 象条件、たとえば、周囲温度 45°C というようないわゆる
 熱帯地向けの特殊条件を十分考慮に入れ、さらに フラ
 ンス国鉄流の 試験仕様を加味して 作成されたものである。
 この機関車の設計の特長は、周囲温度 45°C 、湿度
 100% 、乾季の激しい砂 ぶん、雨季の沛然たる豪雨などの
 インド特殊 の悪条件に特別な注意が払われていることであ
 る。

また、欧州グループ の イグナイトロン機関車 と類似の運転
 室機器配置、ならびに運転取扱いが、インド国鉄 から要
 求されているため、機関車の制御方式、ブレーキ方式、な
 らびに安全装置の方式はほぼ 欧州グループ の設計と類似
 となっている。

以上のような一部の輸入機器以外のものについては欧
 州グループ とは異なる日本独自の設計を行なったが、機関
 車性能は同じものであるだけに 欧州グループ とほぼ同様の
 の試験仕様が適用されて、国際的規準のもとにフランス国
 鉄監督員の立会いを受けたという点において初めての経
 験であった。それだけに従来、日本で行なってきた試験
 法と異なっていて参考になった点がたくさんあったし、
 フランス国鉄技術者に接してとくに要求された試験など興
 味もあり、重量と スペース の制限を受けて切り詰めた設
 計を余儀なくされていたため苦労も重ねたが、貴重な経
 験を得たことは幸いであった。

日本が初めて外国に輸出する交流機関車であり、欧州
 流の試験仕様書のもとに フランス国鉄技術者 のタイプテスト
 を受けたという点でも初めての経験であったので、以下

に主要機器についてその概要、と タイプテスト のうち、主
 として日本における試験法と相違している点などについ
 てのべてみたいと思う。

2. 機関車の主要性能と輸入機器

2.1 設計条件

インド国鉄仕様書 に示された設計条件はつぎのとおり
 である。

(1) 気象条件

- a. 温度 日蔭……最高 45°C 最低 5°C
 日照……最高 70°C
- b. 最高湿度 100%
- c. 雨季 豪雨
- d. 乾季 砂 ぶんストーム

(2) 線路条件

- a. 区間 東部鉄道……HOWRAH-MOGHAL-SARAI
 東南部鉄道……ASANSOL-KALIPAH-ARI-ROURKELA
 RAJKHARSWAN-BARAJAMDA
 カルカッタ地区……カルカッタ郊外線
- b. 営業距離 約 1,080 km
- c. 軌間 1,676 mm (5 ft 6 in)
- d. 最小曲線半径 174.7 m
- e. 最大軸重 18.8 t
- f. 最大コウ配 東部鉄道 1/200
 東南部鉄道 1/100

(3) 電車線条件

- a. 電気方式 単相交流 50 c/s
- b. 電車線電圧 公称 25 kV
 平均 22.5 kV
 最高 27.5 kV
 最低 19 kV (小時間 17.5 kV に降
 下することあり)
- c. 周波数変動 48.5~51.5 c/s
- d. 電車線高さ (レール上) 最高 6,000 mm
 標準 5,500 mm
 最低 4,500 mm

(4) 機関車条件

- a. 用途 貨客列車、両用
- b. 軸配置 B-B
- c. 動力方式 整流器式
- d. 起動条件
 (a) 1/625 コウ配 で 3,660 t の貨物列車を ケン
 引起動できること。

(b) 1/200 コウ配 で 2,340 t の貨物列車を ケン
 引起動できること

e. 均衡速度

列車の 各種コウ配 に対する均衡速度は電車線電
 圧 22.5 kV, 車輪タイヤ が半摩耗のとき表 2.1 の値
 であること

表 2.1 均衡速度

荷 重		686 t (旅客列車)	3,660 t (貨物列車)	2,340 t (貨物列車)
コウ配	0 ‰	112.6 km/h	64.2 km/h	—
	5 ‰	88.5 ″	—	48.4 km/h
	10 ‰	72.4 ″	—	—
	12.5 ‰	64.4 ″	—	—
	15 ‰	—	—	—

ただし列車抵抗の等式は次式による

旅客列車 $R = 1.45 + 0.005 V + 0.000257 V^2$ kg/t

貨物列車 $R = 1.40 + 0.0065 V + 0.0002 V^2$ kg/t

ここに $R = \text{kg/t}$ $V = \text{km/h}$ $1 \text{ t} = 2,240 \text{ lbs}$

f. 最大許容安全速度 120.7 km/h

g. 動輪直径 1,016 mm (40 in) 以上であること
 ただしインド国鉄 の標準は 1,092 mm
 (40 in) である。

h. ブレーキ方式 機関車用 …… 空気ブレーキ
 接続列車用 …… 真空ブレーキ

表 2.2 機関車主要性能

項 目	日本グループ	欧州グループ
1. 電 気 方 式	単相交流 50 c/s 25 kV	同 左
2. 線 路 式	イグナイトロシ 形水銀整流器式	同 左
3. 軸 配 置	B-B	同 左
4. 運転整備重量	75.2 t	同 左
5. 寸 法		
車 体 長	14,700 mm (連結間隔)	15,400 mm (連結間隔)
車 体 高	3,500 ″	3,500 ″
車 体 幅	3,100 ″	3,000 ″
車 輪 径	2,600 ″	2,600 ″
車 輪 軸 距	1,090 ″	1,140 ″
6. 機 関 車 性 能		
連続定格出力	2,100 kW	2,180 kW
引 張 力	14.5 t	14.5 t
速 度	52 km/h	52 km/h
7. パンタグラフ	空気上昇自重下降式	同 左
8. 空気シャ断器	25 kV 200 MVA	同 左
9. 主 変 圧 器 式 量	外鉄形送油風冷式 連続定格 3,000 kVA (19 ノッチにて)	送油風冷式 連続定格 3,150 kVA (19 ノッチにて)
10. 整 流 器 式 量	イグナイトロシ密封水冷 725 V 780 A/2 タンク 8	同 左 1,250 V 920 A/2 タンク 4
11. 主 機 動 機 式 量	直流、直巻、弱界磁 50 ‰ 6 連続定格出力 525 kW 725 V 780 A 940 rpm 4 台車装置	同 左 4 545 kW 1,250 V 460 A 1,020 rpm 4 同 左
12. 動力伝達装置式 比	一般歯車減速 WN 式 17 : 66 = 1 : 3.88	一般減速中間歯車付ケメル式 16 : 65 = 1 : 4.06
13. 直流リアクトル	4.5 mH (780 A にて) 電動機	6 mH (920 A にて) 2 電動機
14. 制 御 装 置 式 量	主変圧器一次側タップ制御 永久並列接続弱界磁制御 非重連 タップ切換器式 20 3 DC 110 V	同 左 重 連 同 左 同 左 同 左
15. 蓄 電 池 量	ニッケル・カドミウム 110 V 60 Ah, 72 セル, 5 時間半 あ り	同 左 な し
16. 相 変 換 機 式 量	アルノ、相変換器 400 V, 150 kVA 抵 抗 起 動	同 左 380 V 110 kVA 同 左
17. 補 助 回 転 機 式 量	AC 三相 50 c/s 400 V 誘導電動機	AC 三相 50 c/s 380 V 誘導電動機
18. ブレーキ装置	空気ブレーキ (機関車 用) と真空ブレーキ (接 続列車用) との併用	同 左
19. 車 輪 軸 受	インテルモス形平面軸受	同 左

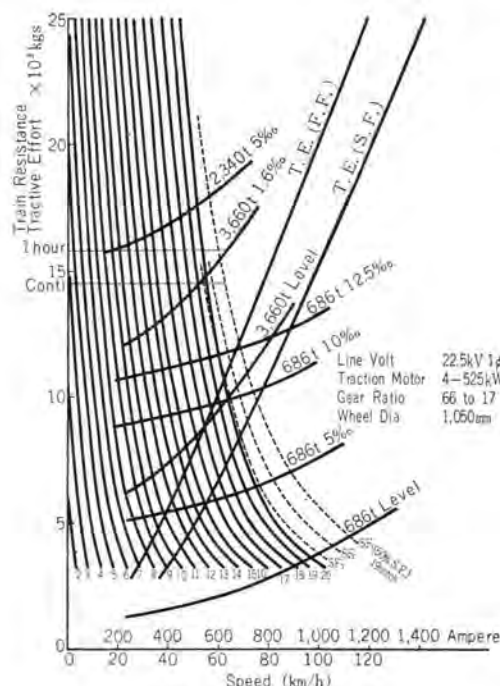


図 2.1 速度引張力曲線

Fig. 2.1 Traction speed ampere curves.

i. 標準規格 電機品の標準規格は IEC による

j. 制御電圧 DC 110 V

k. 絶縁物の温度上昇限度

インド の特殊事情により, IEC より 20°C 低き
 値を採ること

2.2 主要性能

インド国鉄仕様書 によって設計した機関車の主要性能
 を 欧州グループ と比較して表示すると表 2.2 となる。

この機関車は旅客列車 686 t 貨物列車 2,340 t および
 3,660 t をケン引して表 2.1 の均衡速度を得る引張力が第
 19 ノッチ の 50 ‰ 弱界磁が得られるよう設計し, 第 20 ノ
 ッチ は回復運転速度を得るための 予備ノッチ としてい
 る。この関係を示す速度—引張曲線を図 2.1 に示す。

図 2.2 は 主回路ツナギ である。

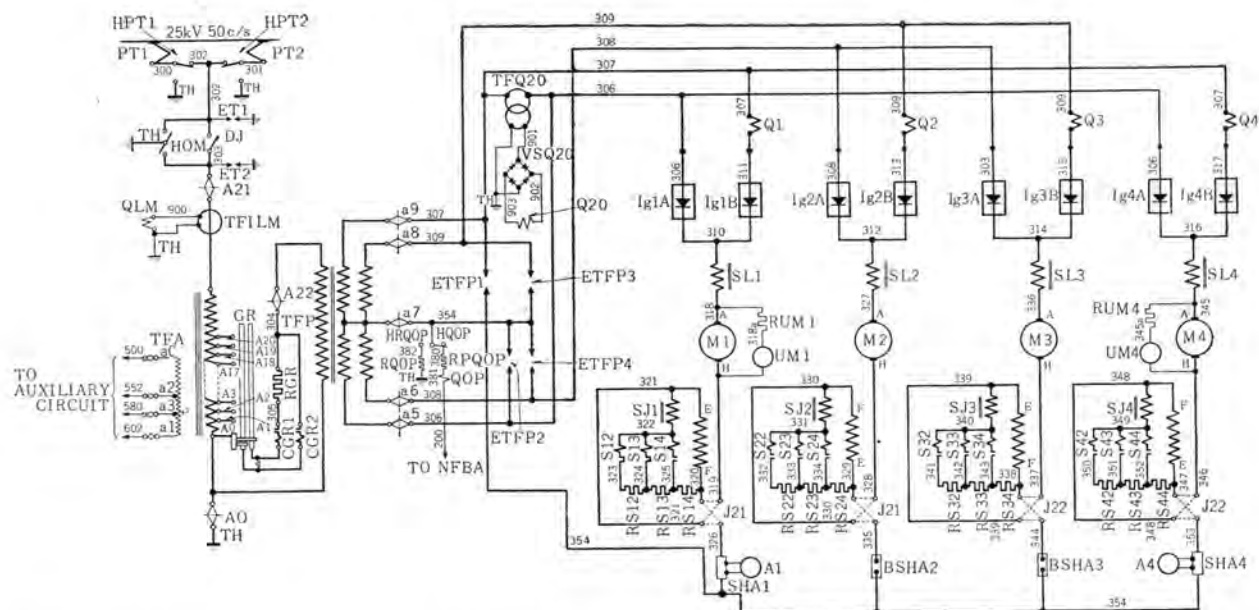
2.3 輸入機器

(1) パンタグラフ および パンタグラフ断路器

1 両に 2 台ずつの パンタグラフ を取付けるが, これはフ
 ランス の FAIVELEY 製 AM 形空気上昇自重下降式で
 図 2.3 に示したように半菱形の特殊の形状であるのが特
 長である。

集電舟端の ホーン は絶縁物で作られていて, パンタグラフ
 故障の場合には パンタグラフ断路器 が回路から切放され,
 切放した パンタグラフ はこの断路器で接地される。パンタ
 グラフ の接触圧力は 5 ~ 9 kg に調整できる。

パンタグラフ の操作は電磁弁制御を 回転弁ハンドルで行な
 い, 下降, #1 上げ, #2 上げ, 全上げの 4 位置がある。
 また, 締切コック によっても上昇, 下降ができる, それぞ



PT 1.2 パンタグラフ
HPT 1.2 パンタグラフ断路器
PF 主遮断器
DJ 空気シャ断器
HOM 主接地断路器

TFILM 変流器
QLM 交流過電流継電器
TFP 主変圧器
TFPA 主変圧器補助巻線
CGR 1.2 タップ切換閉路器
RGR タップ切換抵抗器
ETFP 主変圧器サージアレスタ
TFQ 20 過電圧継電器用変圧器
Q 20 過電圧継電器
Q 1~4 主電動機回路過電流継電器
I_g 1A,B~4A,B イグナイトロン整流器
SL 1~4 直流リアクトル
M 1~4 主電動機
J 21.22 逆転器
RS 11~13, 21~23 弱界磁抵抗器
31~33, 41~43
SJ 1~4 誘導分置器

S 11~13, 21~23 弱界磁接触器
31~33, 41~43
UM 1.4 主電動機電圧計
A 1.4 主電動機電流計
SHA 1.4 主電動機電流計分置器
QOP 主回路接地継電器
RQOP 主回路接地継電器用抵抗器
R₁QOP 主回路接地抵抗器
HQOP, HR₁QOP 主回路接地スイッチ
QOA 補助回路接地継電器
RQOA 補助回路接地継電器用抵抗器
R₁QOA 補助回路接地抵抗器
HQOA, HR₁QOA 補助回路接地スイッチ

図 2.2 主回路ツナギ

Fig. 2.2 Power circuit diagram.



図 2.3 AM パンタグラフ

Fig. 2.3 Type AM pantograph.

れの下降位置にしたとき、パンタグラフが電流を切ることのないようインターロックがあって、空気シャ断器を開く。

(2) 空気シャ断器

これも輸入機器で、スイスの B.B.C. 製 D.B.T.F. 形である。空圧のシャ断部と制御部とからなっていてシャ断部は抵抗を入れている。閉電磁石のコイルを励磁すると閉じて保持電磁石のコイルを消磁するか、または電圧が下がると開く、また空気圧力の低圧継電器があり、圧力が下がるとシャ断器を開く。

定格電圧 25 kV 定格電流 400 A
定格周波数 50 c/s 定格シャ断容量 200 MVA
制御空気圧 4~7 kg/cm²

(3) タップ切換器

タップ切換器の B.B.C. からの輸入については、B.B.C. ならびに欧州グループの反対があって、輸入交渉は難航したがようやくフランス国鉄のあっせんて実現した。N 40 h 形、15 kV、250 A 定格のタップ切換器で走行用タップの総数は 20 であり、別に渡り用の中間タップ 20 がある。タップ切換の渡りは 2 個のローラによる選択開閉器



図 2.4 空気シャ断器

Fig. 2.4 Type DBTF air blast breaker.

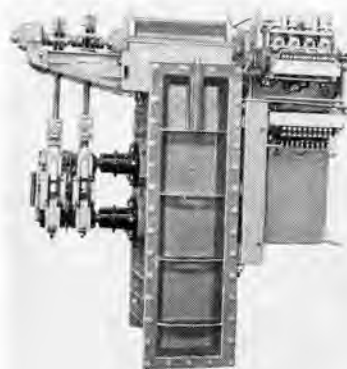


図 2.5 タップ切換器

Fig. 2.5 Tap changer.

と2個のカム式転移開閉器で行なう。ローラとカムは一軸で機械的連動となっている。この軸は1ステップ1回転で電磁弁制御による圧縮空気サーボモータで回す。転移開閉器回路には渡りの際の短絡電流を制限する減流抵抗がはいっている。また、サーボモータおよびこれの制御回路故障の場合は手動操作による駆動を行ないうるよう駆動機構切換用クラッチを備え、運転室には手動操作用のハンドルを備えている。

ステップ中間で減流抵抗を焼かないために、ステップ中間ではインターロックにより限時継電器の励磁を切っておくから、万一中間ステップで渡りが止まることがあっても5秒たつと空気遮断器が開いて保護する。図2.5はタップ切換器を示す。

3. 主 変 圧 器

架線電圧25 kVから電動機に適当な直流電圧を得るために、主変圧器が搭載されるが、これは単に特殊な整流器用変圧器であるだけでなく特別に車両用としての制約と条件を強く要求される、それはつぎのような点である。

- (a) 重量の軽減
- (b) 外形寸法の縮小
- (c) 耐震動性
- (d) 安全度と保守簡易

(a)(b)(c)が車両用機器として重要な問題であることは論をまたない。このために最大の苦心が払われたのであるが、とくに三菱電機は欧州製に比して整流器の安全度を高く採った事情から変圧器は割あて重量、寸法がはなはだ小さくなり、信頼度と限定温度上昇値をこえない限度であらゆる部分の合理的切結の設計をおこなった。

(d)については変圧器の生命である絶縁と、負荷時タップ切換器の安全度に意を用いた。

3.1 定格容量

電動機出力に対応して変圧器容量を定めるが、これは欧州製との関連もあり、一次入力3,000 kVA連続となった。

温度上昇限度はIEC-77の周囲温度25°Cのとき75°Cなる規定を適用し、インドの気象条件から周囲温度45°Cとして温度上昇限度は55°C(巻線、抵抗法、定格タップ第19ノッチにおいて)と定められた。電動機、整流器、主変圧器などのそれぞれの熱特性は互いに相違し、これを合理的に決めることは運転状況を完全に定めないと求められなく、またはなはだ困難な問題である。今回は欧州製と統一して定められており、その適否は今後の

運転実績により検証されよう。

3.2 仕 様

形式 外鉄形フォームフィット式 送油風冷放熱器床下取付
 定格 3,000 kVA 連続定格(温度上昇55°C)

単相 50 c/s(二次全波整流)

一次 22.5 kV(定格電圧25 kV)

二次 1,010 V-960-910-860-810-760-710-660-610-560-510-460-410-360-310-260-210-160-110-60-0(負荷時タップ、高圧側切換式)

総重量 7,650 kg 油量 1,560 l

3.3 特 長

交流機関車用主変圧器は、すでに日本国鉄向けとして仙山線ED-451形、北陸線ED-70形および東北線ED-713形などの製作経験を持ち、すべて外鉄形変圧器を採用しているが、ここに三菱電機設計製作の特長の根源がある。

(1) 外鉄形フォームフィット構造

鉄心および巻線すなわち中身と外箱が作りつけになったいわゆるフォームフィット構造によって重量、寸法、油量を縮小している。

(2) 冷却器

冷却器は送油風冷式に熱放散率の良い、管とフィンが一体にできているアルミ製の特殊の冷却管を用いて、重量、寸法を小さくした。なお、機械室に置くスペースが得られないので、床下に配置して風冷することにして配置を合理化した。また実験により冷却油道を最適に設計して冷却条件を均等化した。

(3) 磁気回路

整流器用変圧器とタップ変圧器と組合して主変圧器が構成されているが、両者の磁気回路を継鉄部を共通にして寸法、重量を減小せしめた。

(4) 電流回路

整流器用変圧器の直流巻線は2組に分けてそれぞれの2群の整流器に接続し、両者の対称性を保つとともに、

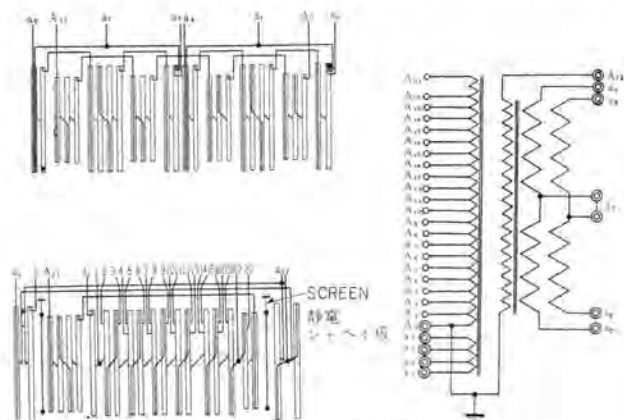


図 3.1 接 続 図

Fig 3.1 Diagram of internal connections.

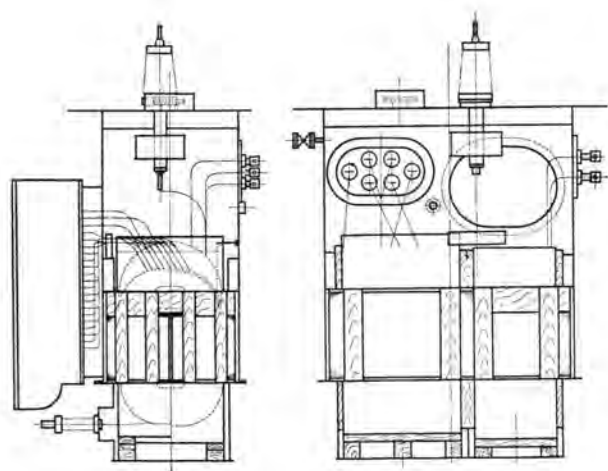


図 3.2 内部構造
Fig. 3.2 Inner construction.

分離した2群並列とし、これに対する交流巻線は2群にわたり直列としてあるので、正常運転の電圧変動が少なくにもかかわらず、逆弧発生時の短絡電流を小さくするよう考慮した巻線構造となっている。

3.4 構造

(1) 総体構造

前述のように、主変圧器は整流器用変圧器とタップ変圧器の組合せになっている。結線図を図3.1、総組立構造図を図3.2に示す。両者ともに外鉄形変圧器であり、巻線は平板矩形状で一次、二次が交互配置され直立して、その四周を絶縁を介して鉄心で積層包囲されて中身が構成される。この鉄心は下部のタックの縁上に積層され、これに中身

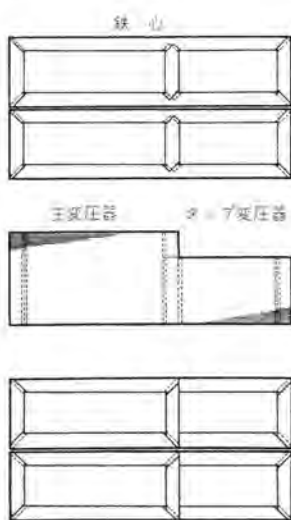


図 3.3 鉄心
Fig. 3.3 Schematic view of magnetic circuits.

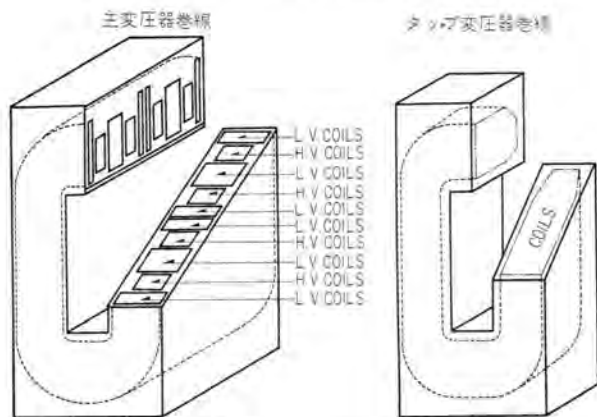


図 3.4 巻線配置図
Fig. 3.4 General view of the transformer.

とピッタリあった上部タンクをかぶせ溶接することによって巻線、鉄心ともに完全に締付固定される。

鉄心の形状を図3.3に示す。整流器用変圧器とタップ変圧器が継鉄を共通にして一体になっていることがわかる。巻線の形状、配列を図3.4に示す。整流器用変圧器は交流側、直流側巻線が交互配置され、タップ変圧器は

単巻式で、他端子は接地されるので、各部絶縁は段絶縁となっている。図3.5に冷却油の巡環系統を示す。油ポンプはウズ巻形電動機直結油漬式で、電動機は8kW 4P 三相400Vである。4個のユニットの組合せから成り油流、風流が直列に通る。変圧器の上タタはそのまま車体の屋根の一部となり、この上に25kVの端子ラッシングが出る。コンサベータは設けず、上部タンクの上部に空気スペースがあり、吸湿呼吸器を通して外気に通じる。

(2) 鉄心

鉄心材としては最高級の冷間圧延ケイ素鋼板、アメリカARMCOのM-6Xを使用している。これは圧延方向に磁束を通さなければならない方向性を有しているため、鋼帯を斜角切断して額縁形に組合せあり、図3.3のように積層される。整流器用変圧器とタップ変圧器は鉄心断面面積が相違するが鉄心幅と窓幅を等しくして積高さだけを変え共通パンチングを用いて作られる。もちろん完全な焼鈍作業を行なって最高の特性が得られるように工作されている。

(3) 巻線

整流器用変圧器は交流巻線12枚、直流巻線16枚からなり、図3.1のように接続される。半波の2相は完全に平衡を保つように並列におのおのを絶縁して巻回され巻線間で転位してある。2群は相互の結合度が粗になるように離れた配置になっている。これに対応して交流巻線が群を分けて配置され、群は直列に結ばれている。この巻線配置によって前述のように正常運転のときの起磁力分布と逆弧時の起磁力分布が大きく、相違することになり、後者のもれ磁束が増大して短絡電流を制限しうる訳である。

タップ巻線は22.5kVの巻線の15kVから接地端まで

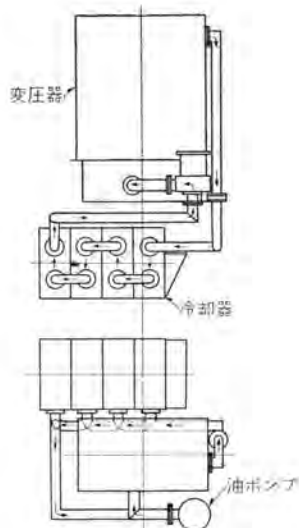


図 3.5 油流系
Fig. 3.5 General layout of oil circuits.

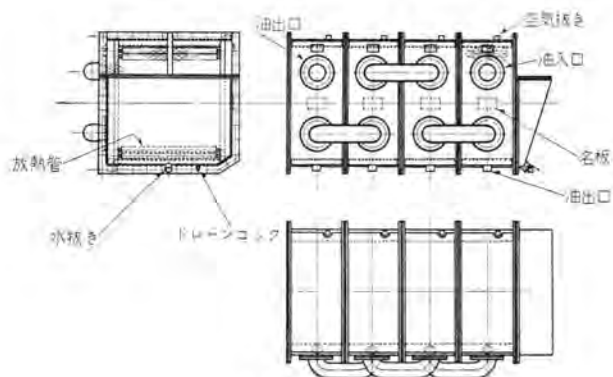


図 3.6 冷却器

Fig. 3.6 General layout of oil cooler.

均等に 20 個の ヲツヲ を出し、いわゆる単巻式になっている。別に補機の電源となる巻線を巻回している。ヲツヲ 巻線は 22.5 kV 端から接地端へ絶縁を階段状に低下した段絶縁である。補機巻線は 25 kV からの移行電圧を減ずるために 静電シヤイ接地板 を巻線の対向面に設けている。図 3.1 にこの接続を示す。

(4) 冷却器

冷却器に用いる放熱管はいわゆる ハイ・フィン・チューブ と称せられ、フィン と チューブ が一体に押し出されて製作される熱伝達の良い構造で、冷却面が最大に活用され 230 m³/min の風量で冷却される。重量軽減のため チューブ の材料は アルミニウム を用いている。これは 1 組 4 コ のユニットから成り、万一の破損に対して互換性があるように作られている。図 3.6 に冷却器の構造を示す。

送油ポンプ は 8 kW の誘導電動機と ウズ巻形 の羽根と一体の 溶接ケース に入れた構造で、漏油がないようになり、変圧器タンク に取付けられている。

3.5 試験結果

試験結果を下記に示す。

(1) 損 失

鉄損最大 4,840 ワット

銅損最大 82,030 ワット (75°C にて)

(2) 励磁電流 2.84 アンペア

(3) 温度上昇 (カッコ内 は限度を示す)

油 (最高) 32°C (45°C)

コイル (抵抗法) (図 3.1 参照)

A₀-A₁₉ 39.8°C (55°C)

A₀-A₂₀ 53.0°C (55°C)

A₁₀-A₂₁ 50.2°C (55°C)

a₅-a₇ 49.3°C (55°C)

4. イグナイトロン整流器および温度調整装置

4.1 イグナイトロン整流器

イグナイトロン整流器 の定格は

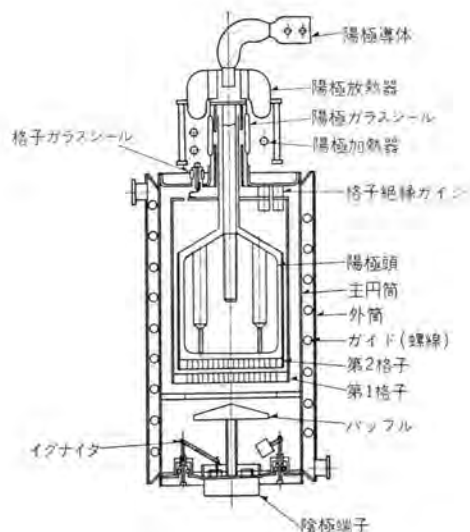


図 4.1 イグナイトロン整流タンク

Fig. 4.1 Ignitron rectifier.

連続定格 725 V 780 A × 4

1 時間定格 725 V 835 A × 4

であり、GU-31 改造形整流タンク 8 タンク を使用した。同形の GU-31 を使用した ED-713 形の連続定格 660 V、775 A × 4 に比し、約 10 % の容量増加であるが室温最高 45°C あるいは 50°C といわれ、国内に比し約 10°C 使用温度が高くなるが、この温度上昇は水銀整流器の電流限界容量に大きく影響する。通常 10°C の温度上昇により限界電流は約 30 % 余り低下するとされている。この両方の条件から容量は上述の実績に比し約 60 % の容量増加となる。さらに後述の試験仕様に見られるように水銀整流器に対してはかなりの過負荷が要求され、結局容量とくに電流容量についてはきわめて苛酷な仕様といえる。これに対し 整流タンク数 は従来と同様の 8 タンク であり、容積、重量は逆にかかなりの軽減が要求された。

整流タンク の構造は図 4.1 に示されるとおりで概念的には従来国内向けに製作されてきたものととくに変わりはない。しかし上記の特性を満足させるために種々の点の改造について、逆弧等価試験装置などによって慎重な検討がなされた。この タンク の特長を列記すると、

- (1) 重量軽減、容積縮小および前述の温度条件を考慮して水冷式とし、かつ二重格子構造とした。
- (2) 仕様と定格とは別に相当の過負荷が要求されたためそれに応じて工作処理が強化された。
- (3) 高温、多湿の気候条件に対する表面処理に考慮が払われた。
- (4) 振動試験を繰り返し、振動に対する陰極構造が詳細に検討され簡素化された。使用イグナイタ は 1 本であり、他の 2 本は予備となる。
- (5) 陽極加熱器の取付けが簡略化されかつ耐震性が強化された。



図 4.2 イグナイトロン整流器
Fig. 4.2 Ignitron rectifier.

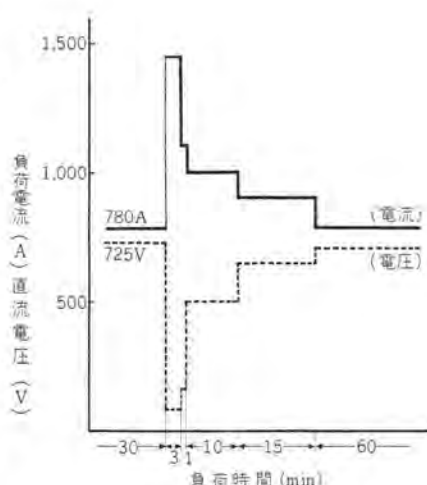


図 4.3 短時間過負荷試験
Fig. 4.3 Temporary over load test.

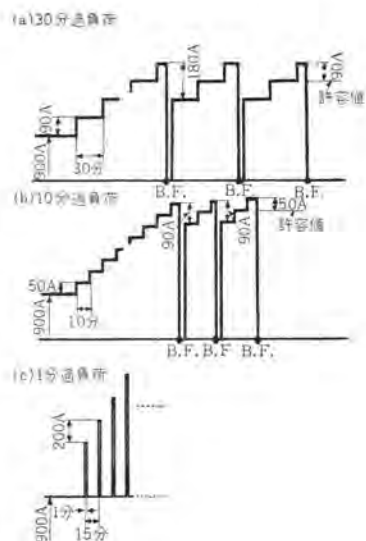


図 4.4 特殊試験経過
Fig. 4.4 Process of special test.

(6) 起動時間短縮のため陰極加熱器が追加された。
この整流タンクは恒温室での等価試験、あるいは低温室での起動試験で種々検討され、最後には加速負荷試験でその特性が確認された。これらの試験は後述の試験仕様に規定されている特殊試験でこの整流タンクの過負荷耐量が試験されるがその判定基準が示されていなかったこともあり、できるだけその耐量を上げるよう改造のためとられた経過で、このため結果的に低温における特性がいくぶん犠牲になった感があり、これを補う意味で陰極加熱器が追加され低温特性が改善された。

機関車には1両につきこの整流タンク8タンクが積載されたが、図4.2に示すように4タンクが1群とされて一つのワックに納められ、その上部に制御回路が装置されている。このワック2組が1両分となり整流器用変圧器の前後に設置された。従来は8タンクが1群にまとめられ、四面打抜鋼板でカバーされていたが今回は4タンク1群で前面は開放されている。また軽合金材が使用され、整流器箱に過電流継電器、制御装置箱に接地継電器および冷却水出口温度指示用ダイヤル温度計がとりつけられた。これらは取扱上の便宜を考えて欧州グループとほぼ同様の配置とするよう指示されたものである。さらに従来は各整流タンクに取付けられている高温継電器は指針付であり、冷却水温度を概略知ることができたが今回は冷却水温度は廊下に面して取付けられたダイヤル温度計で測定されるため高温継電器はパイメタルの接点式となった。

製作された整流タンクは10両分、80タンクにさらに予備20タンクを加えて100タンクに及ぶが、試験はタイプテストとルーチンテストに分れ、最初に1電動機分2整流タンクについてタイプテストとして種々の試験が行なわれた。

国内では通常タイプテストは定格に対する試験であり、ルーチンテストはただ動作を確認するだけの試験であるが今回はルーチンテストは同様にその動作を確認するだけのもの

のであったがタイプテストはその性能限界を決定する試験として行なわれた。すなわち今回のタイプテストはきわめて念入りな仕様で、延々1ヵ月余りにわたって行なわれ、その大部分は特殊試験の名称で実施された過負荷耐量決定試験に費された。

これは後述のように種々の電圧における過負荷許容値をいわゆる加速負荷試験で推定するもので実際に逆弧を生ぜしめて行なうものである。

タイプテストは、定格試験、短時間過負荷試験および特殊試験より成っている。

定格試験は連続定格、1時間定格を確認するための試験である。

短時間過負荷試験は図4.3に示される電圧、電流の経過をとり、明らかに機関車としての運転時の条件を考慮し、それを確認するためのものと考えられる。

特殊試験は30分、10分および1分間の過負荷許容値推定のためとされ、基本負荷900Aより規定時間ごとに規定電流値ずつ段階的に電流を増加し、整流器が逆弧するまで続け、逆弧すれば2段階電流をさげて試験を繰り返す。3回の逆弧発生で1段階の試験は終わり、逆弧を発生した電流値より1段階下の電流値が過負荷許容値とされる。この試験の経過は図4.4に示される。この試験は種々の電圧に対して行なわれ、結果的には電圧に対する過負荷容量の関係が求められた。今回のタイプテストで得られたこの関係は図4.5に示される。ただし1分間過

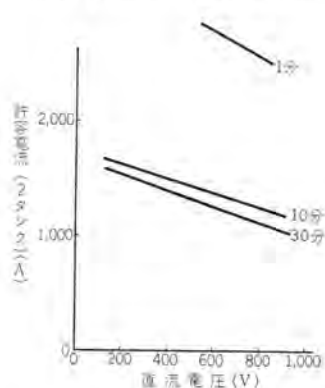


図 4.5 試験結果
Fig. 4.5 Test results.

負荷試験は電源の関係で途中で打ち切った。

この過負荷許容値を決定する特殊試験の仕様がどんな根拠に基づいて決定されたものか、またこの試験で決定される過負荷許容値が定格に対しいかなる関係にあれば良いかは不明である。しかし同一定格の欧州グループで製作された整流タンクと比較されたことは確かである。ここでこの試験値をいささか検討してみると図 4.4 に示される試験方法で与えられる過負荷許容値は段階的な電流増加で決定された値であり、したがって、基本負荷から単位関数的に過負荷されて決定される値より低くなることは明らかである。たとえば直流電圧 800 V における 10 分、30 分の過負荷試験に対し、整流タンクにかかる責務の経過を追ってみると図 4.6 のようになり、逆弧時の電流値、時間からこの整流タンクの限界責務は約 6.3×10^3 VA/sec と考えられる。この値から定格電圧において定格電流を基本負荷として単位関数的に過負荷したときの限界値を計算し図 4.5 の結果より得られる値と比較すると図 4.7 の

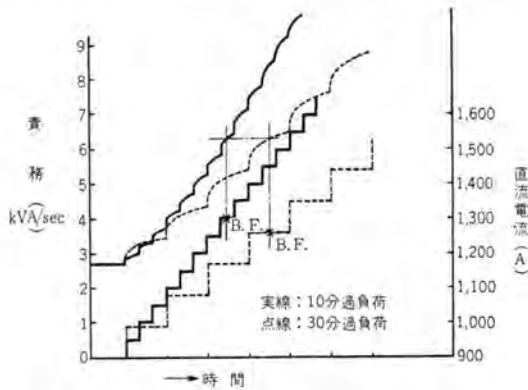


図 4.6 800 V での過負荷の責務
Fig. 4.6 Duty for over load test at 800 V.

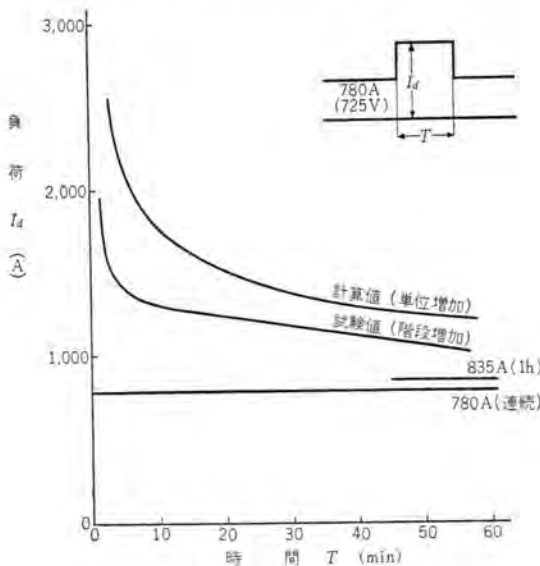


図 4.7 定格における過負荷特性
Fig. 4.7 Over load characteristics at rated voltage and current.

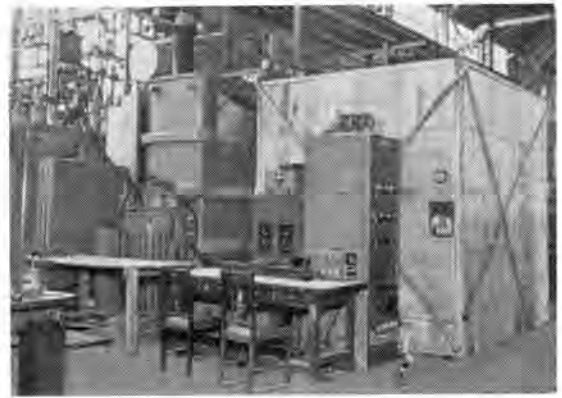


図 4.8 試験状況
Fig. 4.8 Test of ignitron rectifier.

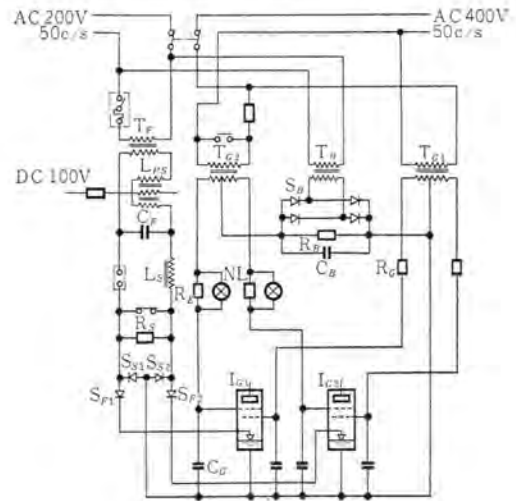


図 4.9 制御回路接続図
Fig. 4.9 Excitation circuit diagram.

ようになる。実際に使用するときにはこれだけの裕度をとることは妥当とも考えられる。

以上のマイテストで整流タンクの特性が確認されたあとはルーチンテストとして、1時間定格と起動試験 (80 V 1,700 A 3 分) が全タンクについて行なわれた。

なおこれらの試験に際しての温度条件は現地で予想される条件の最高、すなわち冷却水温 60°C 、周囲温度 50°C が要求され、恒温室で行なわれた。図 4.8 はこの試験の状況である。したがって常温あるいは極低温での試験は三菱電機独自の立場で実施し、極低温における種々の試験は低温試験室が利用された。

4.2 イグナイトロン整流器制御回路

図 4.9 に制御回路の接続を示す。点弧回路はイグナイトロン電気機関車用として従来より実績のある鉄共振形の点弧回路を使用し、点弧変圧器 T_F 、移相リアクトル L_{FS} 、点弧用蓄電器 C_F 、可飽和リアクトル L_S 、およびセレン整流器などから構成され、点弧変圧器の二次電圧により点弧用蓄電器が移相リアクトルを経て充電され、この蓄電器の端子電圧が十分上昇すれば可飽和リアクトルが飽和し、そのインピーダンスが急激に減少するためピーク放電電流を

イグナイタに供給し、陰極水銀上に陰極点を発生せしめる。

点弧回路とイグナイタは図4.9に示すように、点弧用セレン整流器 S_R と短絡用セレン整流器 S_S によって接続されており、イグナイトロン I_{G1} を点弧するときは、 I_{G2} のイグナイタ回路は、セレン整流器 S_{S2} によって短絡されている。このような接続を行なうことによって、1組の点弧回路により陽極電圧の位相が180度異なる2本のイグナイトロンを点弧させることができる。

整流器主回路に故障電流が流れて過負荷継電器が作動すれば、点弧回路を短絡してイグナイタに電流が流れないようにするとともに、格子回路も開放してイグナイトロンの通流を停止せしめる。

今回の電気機関車に用いたイグナイトロンは二重格子であって、第1格子を補助極、第2格子を制御極として使用している。第1格子変圧器 T_{G1} および第2格子変圧器 T_{G2} の一次は相変換器の出力に接続され、その二次電圧は陽極電圧より約60度進んだ移相にあり、イグナイタにピーク波電流が流れて陰極点が発生するときは、第1格子は十分正の電圧を有しており、アークをピックアップし半サイクルの間だけアーク電流が流れ、アークを確実に保持する。第2格子は通常バイアス電圧によって負に偏倚されているが、イグナイタがピックアップするときには、第2格子変圧器により正電位となって陽極電流を通流せしめる。このときランプNLで点弧を確認できる。点弧回路、格子回路、バイアス回路、陽極ヒータ絶縁変圧器、温度継電器絶縁変圧器などすべて整流器箱上部のワック組に取付けてあり、機器の配置は点検の容易なように考慮し、また高温、高湿や振動により損傷を受けないようにとくに留意されている。

なお、上述の各回路に用いた変圧器、リアクトルの絶縁は可飽和リアクトルがH種、その他の変圧器、リアクトルはB種

であるが、インドにおける高温、高湿を考慮して、すべて周囲温度は45°Cとして、さらに、温度限界は、IEC規格より20°C低い値の仕様でつくられている。

4.3 温度調整装置

整流器の冷却系は図4.10に示すように、冷却器、水ポンプ、加熱器、膨張タンク、自動温度調節弁、各種温度リレーなどより構成されている。

いずれも配置場所に制限を受け、小形軽量で使用水量もできるだけ少なく、インドのばあいジニアイが多いので、冷却管の清掃しやすいことなどが要求された。

冷却器は、空気の入口となる車体の窓の内側に、空気の通過面積を大きく、厚さを薄くして取付けられた。全部で8個で、図4.11はその1個を示す。これはさらに3個に分割できて、冷却管を清掃するときは、人間の力で窓から出し入れできる。冷却管は、銅管の外にアルミフィン付アルミパイプをかぶせたアライトロンチューブを使用した。

水ポンプは、モータ軸にインペラを直結し、メカニカルシールで漏れを止めている。加熱器は、中にアルミヒータを收容し、最低気温のばあいでも約15分以内でイグナイトロン整流器が運転でき、また整流タンクの高温継電器の動作試験ができるような加熱容量とし、44kWがはいっている。

自動温度調節弁は、整流器を冷却する水温を一定の範囲内に止めるために、冷却器回路とバイパス回路の水量を自動的に調節するためのもので、フロンを封入したベ

ローを使用し、ベローの温度による伸縮を利用して、ピストンバルブにより、冷却器とバイパス両回路の水量を調節する。図4.12はその構造図で、水温の調節範囲は約35°Cないし45°Cである。図の(a)は冷却器側が(b)はバイパス側が開いた状態を示す。

リレー類には次のようなものがある。

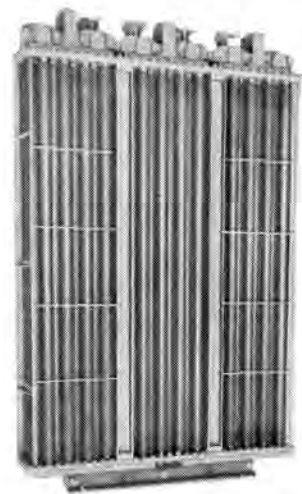


図 4.11 冷却器
Fig. 4.11 Radiator.

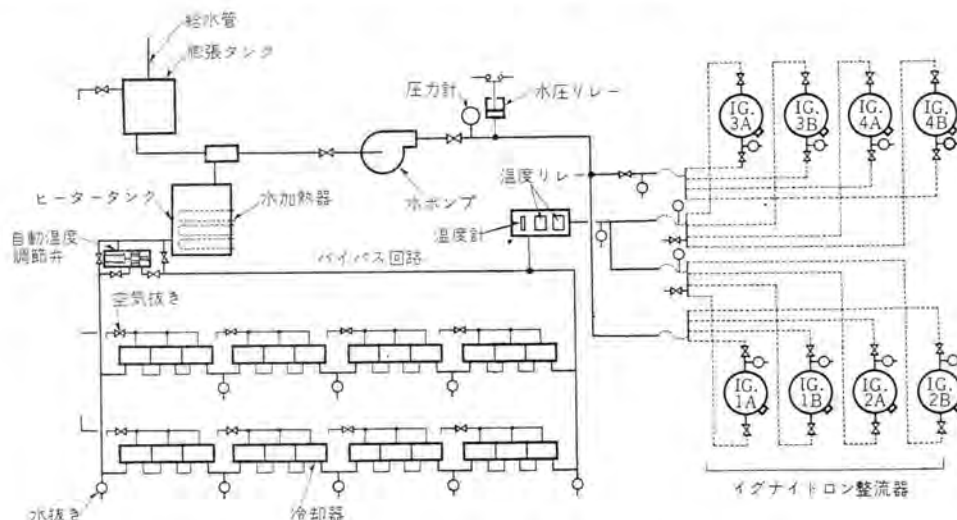


図 4.10 冷却系統図

Fig. 4.10 Diagram of cooling circuit.

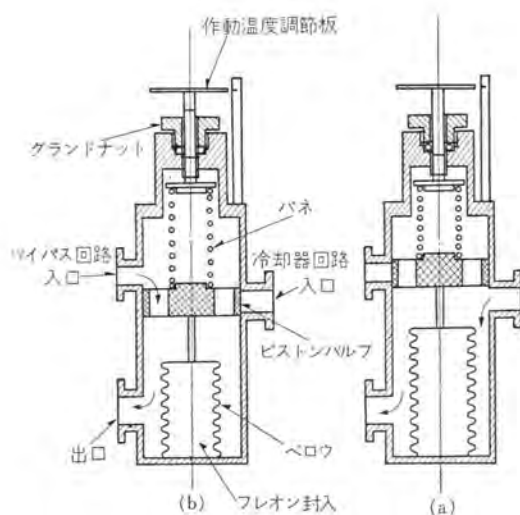


図 4.12 自動温度調節弁

Fig. 4.12 Automatic thermo regulating valve.

- (1) 水温が約 30°C 以下になると ヒータ の電源をいれるためのもの
- (2) 水温が約 25°C より下がると警報を発するためのも
- (3) 水ポンプ が止まったときに警報を発するためのも

以上の機器はすべて車体の外板の内側に取付け、黄銅パイプ でつながれ、適当な位置に空気抜きと水抜きのための コック をつけ、自動温度調節弁が故障をおこしたときは、手動でも温度調節ができるように バルブ がつけられている。図 4.13 によって 加熱サイクル を説明すると、水温が 30°C より低いときは ヒータ がはいていて、冷却水は自動温度調節弁の作用によって、冷却器側を通らず、バイパス回路 だけを通れる。水温が上昇して約 35°C になると、ヒータ が切れる。そしてさらに温度が上がると調節弁の作用によって、冷却水は、冷却器回路を少しだけ流れ始める。水温が上がるにつれ、冷却器回路を通れる水量は段々多くなり、バイパス回路 を通れる水量はそれだけ少なくなる。水温が約 45°C になると、冷却水は冷却器回路だけを流れるようになる。こうして整流器の発生熱量と、冷却器の冷却能力が パランス を保つ。水温が下がって 30°C になると ヒータ がはいて、それでもな

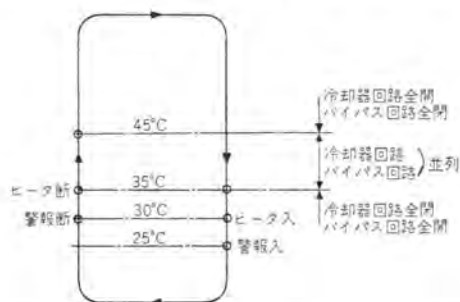


図 4.13 加熱サイクル

Fig. 4.13 Heating cycle.

お水温が下がって 25°C にもなると警報を発する。

今回は、主電動機その他の電気機器の冷却用の空気は、すべて車体の側面に取付けた冷却器を通して、車体内に吸いこまれるようにされたので、車内の圧力低下を少なくするために、冷却器を通る風速は大きくとることができず、加えて、最高周囲温度 45°C という条件のため、冷却器は比較的大きなものとなった。冷却効果の試験の結果は、周囲温度と整流器出口の水温の差は 14°C で予定どおりの結果が得られた。

5. 主電動機および駆動装置

5.1 主電動機

(1) 仕様

形名 MB-3045-A 形

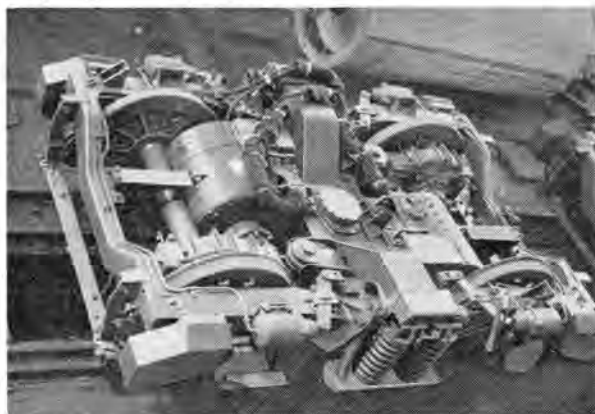


図 5.1 台車にとりつけられた主電動機および駆動装置
Fig. 5.1 Traction motors and driving equipment mounted on the truck.

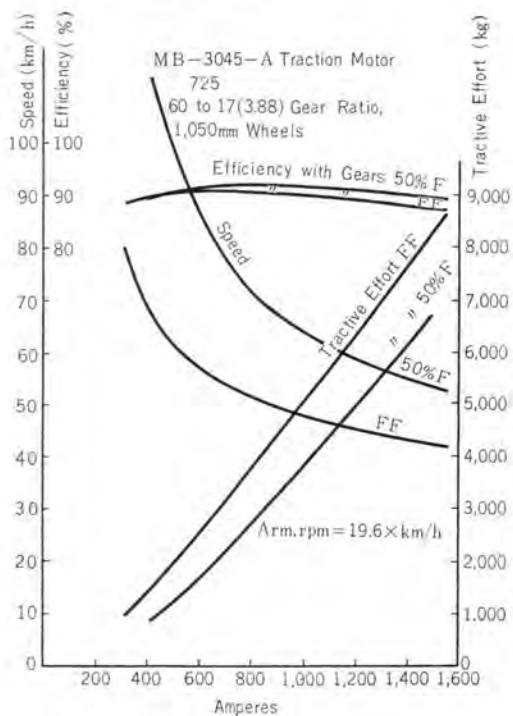


図 5.2 MB-3045-A 形主電動機特性曲線

Fig. 5.2 Type MB-3045-A traction motor characteristic curves.

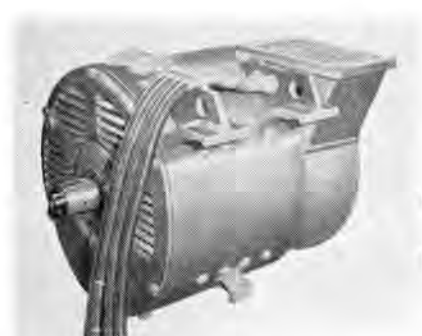


図 5.3 MB-3045-A 形主電動機
Fig. 5.3 Type MB-3045-A traction motor.



図 5.5 静止部
Fig. 5.5 Stator.

形 式 脈流直巻 六極丸形ワ 台車装架 WN ド
ライヴ式

連続定格 525 kW 725 V 780 A 1,020 rpm

1 時間定格 550 kW 725 V 815 A 1,000 rpm

通風量 85 m³/min

最弱界磁率 50 % (誘導分路)

最高試験回転数 2,750 rpm

絶 縁 電機子 F 種, 界磁 H 種

重 量 2,200 kg (実測)

特性曲線 図 5.2

(2) 特長および構造概略

この主電動機はこの機関車の重量的制約より相当の軽量化が要求された。また インド の暑い外気条件に対応するため IEC 規格の温度上昇限度より 20°C 下げることが要求され、しかもこれを脈流運転において保証せねばならなかった。これらの点に設計上の苦心があり、連続 525 kW の容量で 2,200 kg、すなわち 4.2 kg/kW という数字はこの種機関車用主電動機としては世界水準を上回るものである。

以下に特長、構造の概略を列記する。

(a) 主電動機は台車装架式とし、駆動方式は軌間の広い点を利用して三菱電機が電車用として多年の実績を有する WN ドライブ方式を採用した。機関車用の WN ドライブは日本国鉄向けの EF 30 形交直両用機関車とともに世界にその類例を見ないものである。

(b) 軽量化のために六極丸形構造を採用した。後述

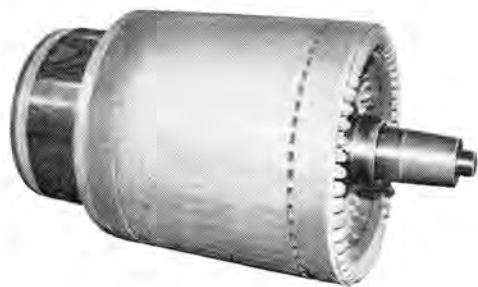


図 5.4 電機子
Fig. 5.4 Armature.

の界磁の新絶縁方式の採用もあわせて相当の軽量化が計られた。欧州グループの機関車の主電動機は四極角形ワ使用で重量は同一定格で 2,800 kg となっており三菱電機のものより 600 kg も重くなっている。

(c) 界磁の永久分路は行なわず、弱界磁は誘導分路方式を採用し最大弱界磁は 50 % である。

(d) 電機子は F 種絶縁とし、整流子は リングパネ締付による強固なアーチバンド締付方式を採用した。

(e) 主極、補極巻線はいずれも エッジワイズ巻で絶縁はシリコンゴムガラステープ (三菱電機商品名ダイヤテプ) を使用した特殊の H 種絶縁方式を採用した。これはダイヤテプを特殊の接着剤で巻線表面に焼付成形したもので、完全ボイドレス絶縁層を形成することによりシリコンゴムの良好な熱伝導性と相まって、従来のオーブンフェース形絶縁よりも一段とよい放熱効果が得られ温度上昇の低減に顕著な効果が得られた。

(f) 軸受は円筒コロ軸受を使用し、グリースパルプ構造の給油方式をとっている。

(g) 通風は強制通風式であるが、風の出口は洪水に備えて上半分だけあけている。また整流子点検カバーも下部は水密構造としている。

(3) 試験結果

この主電動機の試験は前述の試験仕様にもとづき、脈流電動機としての徹底的なタイプテストが行なわれた。試験項目は大略下記のものである。

(a) 温度上昇試験 (脈流および直流)

連続、1 時間、過負荷 (界磁、電圧を種々変えた場合につき)

(b) 整流試験 (脈流および直流)

電圧 1.1 E の場合

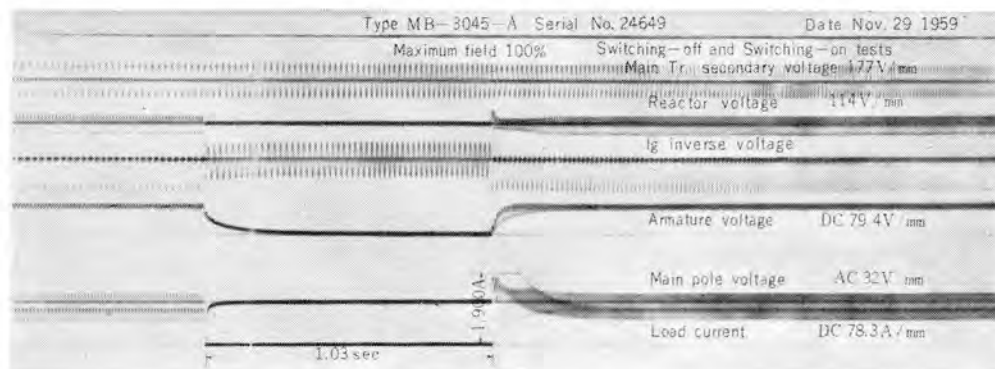
(c) ショ断再投入試験 (脈流)

IEC. 48 による。

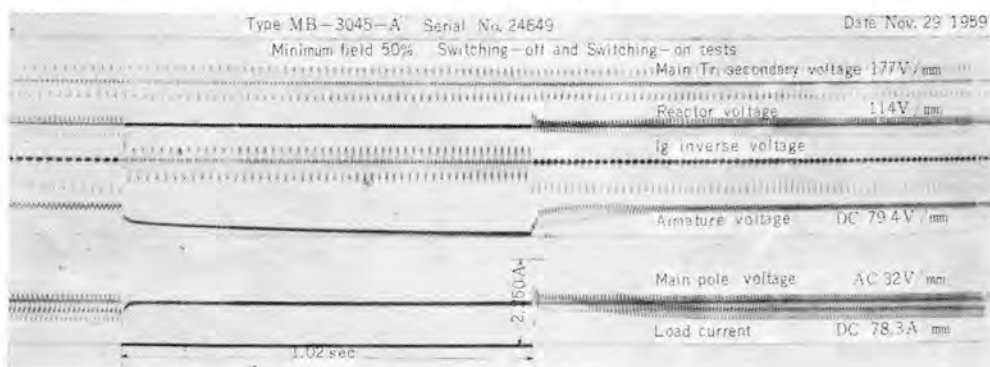
(d) 起動試験 IEC. 48 による。

(e) 特性試験 (脈流および直流、電圧、界磁を種々変えた場合につき)

(f) 過速試験 IEC. 48 による。



(a) 全界磁の場合



(b) 50% 弱界磁の場合

図 5.6 シュ断再投入試験 オシロ

Fig. 5.6 Oscillograms of switching-off and on test.

表 5.1 定格温度上昇試験結果

製造番号	電流	定格	電圧 (V)	電流 (A)	温度上昇 (°C)		
					主極	補助極	電機子
# 24649	眼 流	1 時間	725	815	124	125.5	118
		連続	725	780	128	124	119.2
	直 流	1 時間	725	815	111	120	117.5
		連続	725	780	113	114	116.5

(g) 耐圧試験 IEC. 48 による。

その他特殊試験として変圧器起電力測定、無通風時の温度上昇試験が行なわれた。定格温度上昇試験の結果を表 5.1、シュ断再投入試験のオシロを図 5.6 に示す。特性はほぼ計画と一致し、脈流運転における整流も良好で満足な結果を得ることができた。

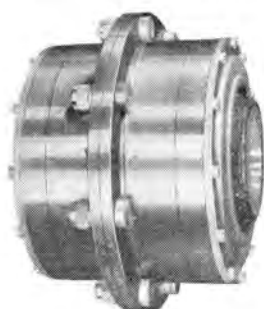
5.2 駆動装置

(1) 仕様

(a) ギヤカップリング

形名 WN-580-A 形

形式 ダブルインタルエキスタナルギヤ形



両軸許容偏位 偏心 ±17mm

左右 ±12mm

重量 125 kg

図 5.7 WN-580-A 形ギヤカップリング

Fig. 5.7 Type WN-580-A gear coupling.

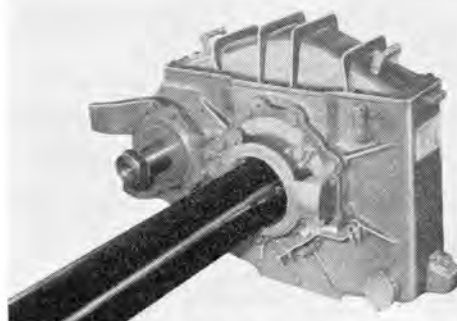


図 5.8 WN-80-A 形ギヤユニット

Fig. 5.8 Type WN-80-A gear unit.

作したものである。電車用と異なって満空差によるバネたわみの差がないことは有利な条件であるが、空転時の台車の振動（主としてピッチング）や取付誤差を考慮してギヤカップリングの許容偏心量は十分大きくしてある。ギヤカップリングのインタルギヤおよびピニオンは滲炭鋼でヒズミを最小にするように焼入が施されている。潤滑油はギヤコンパウンドを使用し、オイルシールによって密封を行なっている。ギヤユニットの構造は一体鋳鋼ギヤケースを使用しておりギヤピニオンとも滲炭焼入を行なって研磨仕上をしてある。ギヤケースは車軸に、ピニオン軸はギヤケースにそれぞれテーパー軸受で両側を支持されているから、高荷重にもかかわらず片当たりなどの不安はなく、ヘリカルギヤとあいまって円滑な運転が確保される。

(b) ギヤユニット

形名 WN-80-A 形

形式 全密閉一体鋳鋼ギヤケース付一段減速シングルヘリカルギヤユニット

歯車比 66 : 17 =

3.88 : 1

モジュール 11 ねじれ角

材質 大歯車、小歯車とも Ni-Cr-Mo 滲炭鋼

重量 825 kg

(2) 特長および構造概要

前述したようにこの機関車の駆動装置は外国にも類例を見ない WN 方式を採用している。国内における電車の多年の実績を参考にして慎重に設計製

図 6.1 相変換機
150kVA 4P 400V
50 c/s

Fig. 6.1 Phase converter.



6. 補助制御回路ときそう

6.1 補助回路と回転機

補助回転機は変圧器の三次巻線より電圧を供給されて単相の交流入力を三相の交流出力に変換する相変換機を電源として、三相誘導電動機を使用している。

相変換機は連続定格 400 V 150 kVA で起動時は分相抵抗起動方式を取り、同軸に 4 kW 直流発電機をオーバーハングしている。

その他の補助電動機は下記のとおりである。

用途	台数	出力
主電動機送風機	2	37 kW (50 HP)
空気圧縮機	1	8.3 kW (11 HP)
真空ポンプ	2	8.3 kW (11 HP)
水ポンプ	1	2.2 kW (3 HP)
油ポンプ	1	7.5 kW (10 HP)

主電動機送風機用電動機は主電動機、直流リアクトル、主変圧器放熱器とタップ切換器用抵抗器の冷却用であり、なおキャビネットにちりがはらないよう空気圧をかけるにも利用する。相変換機が起動完了してから接触器により起動する。

空気圧縮機用電動機は機関車ブレーキ用。その他の圧縮空気を供給し、相変換機が起動完了してから接触器により起動できる。

真空ポンプ用電動機は列車の真空ブレーキ用を使用するもので、高速と低速が得られ接触器で切換える。接触器のコイルの回路に4位置のスイッチがあり、常時はブレーキ作用時に1台だけ高速、他は低速としているが、いずれかを開放することもできる。相変換機が起動完了しなければ起動できない。

表 6.1 相変換機起動時間

架線電圧 (kV)	制御電圧 (V)	時間 秒			
		T_1	T_2	T_3	T_4
19.0	68	4.17	4.96	4.93	2.43
22.5	"	3.73	4.16	4.13	2.13
27.5	"	2.70	3.13	2.73	1.33

T_1 —シー断器投入ボタン操作から起動完了ランプ点灯まで

T_2 —補助リレーの無効値時間

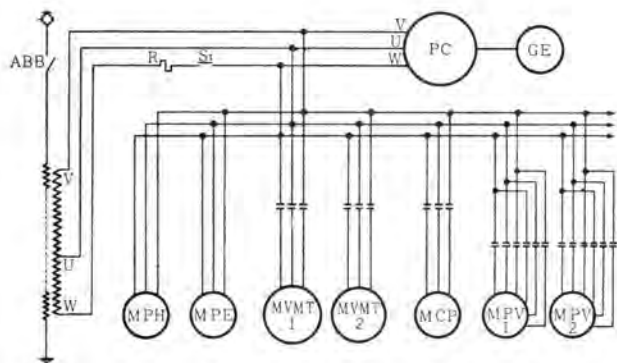
T_3 —シー断器投入ボタン操作から水圧リレー引上まで

T_4 —油圧リレー引上まで

水ポンプはイグナイトロンの冷却水循環用で、油ポンプは変圧器の送油用であり、その電動機は相変換機と同時に起動である。前者には停電の場合に水の循環を確保するために直流 100 V で駆動される直流電動機が同軸に連結されている。

相変換機停止のときは直流発電機の電圧リレー、その他の送風機水ポンプ、油ポンプの停止のときは圧力リレーの接点が励磁回路にはいつている補助リレーの動作により、補助回転機停止の場合に空気シー断器を開放し電源を切るようになっている。

補助回転機は定格電圧 22.5 kV に対して最



- PC : 相変換機
GF : 直流発電機
MPH : 整流器水ポンプ用電動機
MPE : 主変圧器油ポンプ用電動機
MVMT₁ : 1号送風機用電動機
MVMT₂ : 2号送風機用電動機
MCP : 空気圧縮機用電動機
MPV₁ : 1号真空ポンプ用電動機
MPV₂ : 2号真空ポンプ用電動機
R : 相変換器起動抵抗器
Si : 相変換器起動接触器

図 6.2 補助回転機接続図

Fig. 6.2 Connection diagram of auxiliary rotating machine.

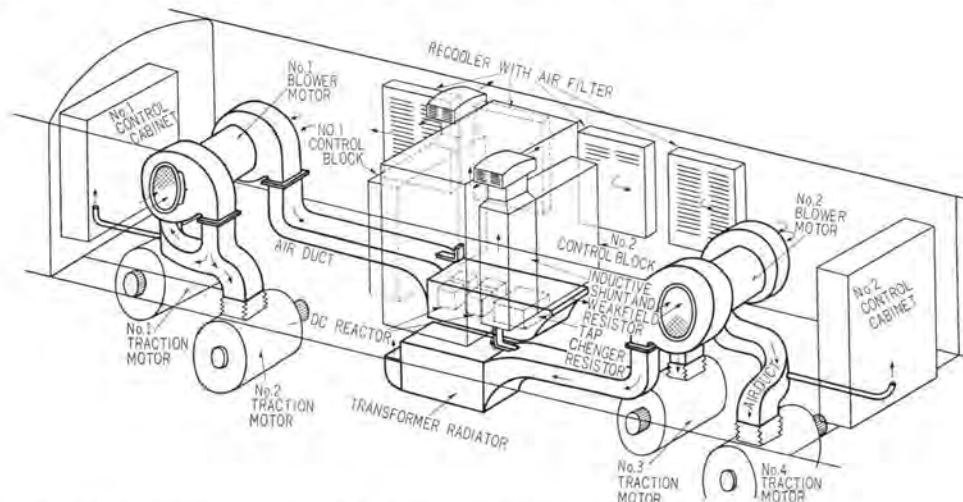


図 6.3 通風経路

Fig. 6.3 Schematic diagram of ventilation system.

6.2 制御回路と器具

空気シヤ断器の投入と相変換機の起動は、タップ切換器

が0ノッチにあるとき パネ復帰押しボタン で操作する。

空気シ断器 は 主回路過電流リレー、主と補助の接地リレー、交流過電流リレー と、補助シ断リレー の動作で空気シ断器 の 保持コイル が消磁されてシ断 される。補助シ断リレー は 過電圧リレー、整流器リレー、補助回転機保護リレー の動作で動作する。

主幹制御器は 逆転ハンドル、主ハンドル と弱め界磁ハンドルを備え、主ハンドル は5位置あり、N位置は ノッチ止め、+位置は1ノッチ進め、++位置は 全ノッチ 進め、-は1ノッチ戻し、0位置は 全ノッチ戻し をする。弱め界磁ハンドルは タップ切換器 と電気連動で12ノッチ以上 で弱め界磁が3段にできる。

リレー と接触器の仕様は表6.2、6.3のとおりである。リレー には ターゲット があり動作すると外部で確認できるようになっている。

6.3 安全装置

この機関車には乗務員のために通電中の機器に手をふれないための安全装置が完全に備わっている。これは従来われわれの留意しなかった点で注目すべきことである。

高圧機器は カギ をかけた扉のある部屋に納めてあり、この カギ をあけるには、

運転台の机上にある パンタグラフ操作スイッチを0位置にしてパンタグラフを降下し、空気シ断器を開く。つぎにこのスイッチのハンドルを抜き 主接地スイッチの操作軸に挿入して90度回転すると高圧回路を接地し、パンタグラフの空気を排気する。この操作で カギ箱のハンドル がまわせるようになる。

カギ箱のハンドルをまわすとパンタグラフ操作スイッチのハンドルは回転不能となり、カギ箱のカギが取出せる。

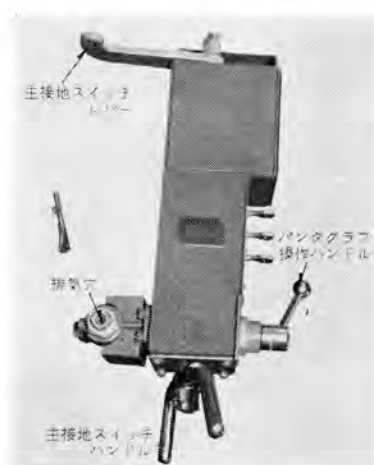


図 6.4 カギ箱 Fig. 6.4 Key box.

カギ が一つでも取出してあると カギ箱 の ハンドル は回転不能である。したがってカギが取出せる状態ではパンタグラフの操作は鎖錠されている。このカギで高圧室の扉を開けて、高圧室に出入して高圧機器に手をふれることができる。カギは扉をしめない限り扉から抜けない。

以上によって高圧機器にふれうるのはパンタグラフ下降と高圧回路が接地され完全に無電圧状態ということが確保される。

高圧機器箱の開閉も同じカギを必要とし屋上に登るには固定のハシゴがなく車内に格納したハシゴをかけるがこのハシゴを取出すにも同じカギを必要とする。

中圧の機器は制御箱などにおさめ、扉を開けるには乗務員の持っているベルンキーでだけ操作でき、なお機器の前面に金網が取付けてありこれをはずさないで手をふれることができない。

6.4 き そ う

機械室では高圧機器は金網の部屋に入れ、扉は安全装



図 6.5 機械室 (通り抜け廊下)
Fig. 6.5 Machine room. (through corridor).

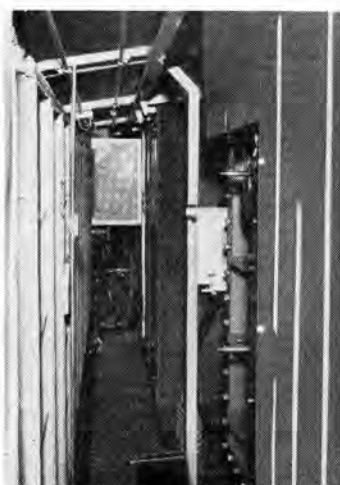


図 6.6 機械室 (高圧室廊下)
Fig. 6.6 Machine room. (high tension side corridor).

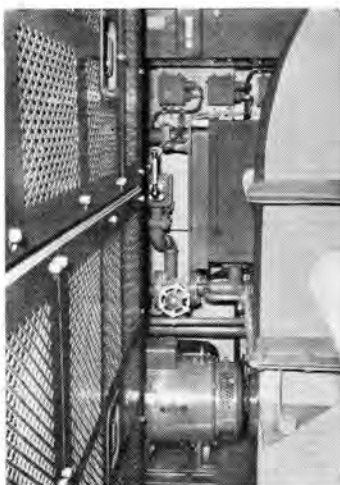


図 6.7 冷却装置
Fig. 6.7 Cooling unit.

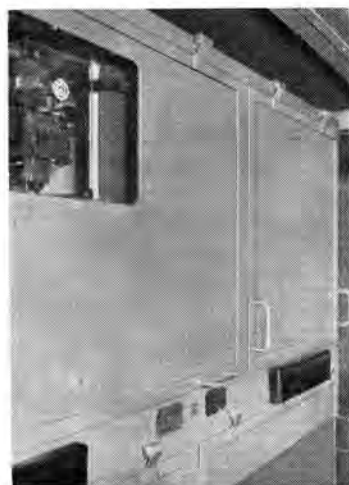


図 6.8 キャビネット
Fig. 6.8 Cabinet.

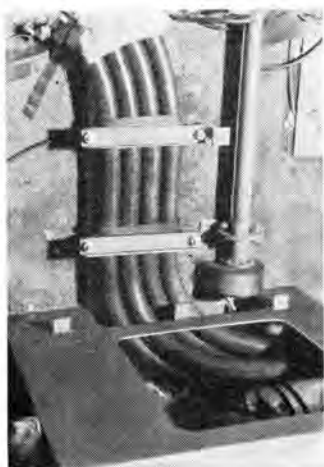


図 6.9 主回路配線

Fig. 6.9 Wiring of main circuit.



図 6.10 制御回路配線

Fig. 6.10 Wiring of control circuit.

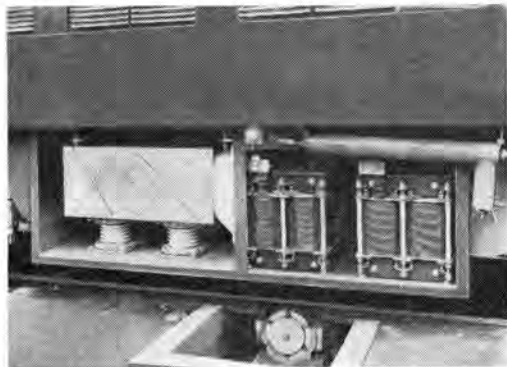


図 6.12 床下の 直流リアクトル と抵抗器
Fig. 6.12 DC reactor and resistor
mounted under the floor.

置の項で述べた カギ で開けられて高圧部には通電中は手をふれないようになっていいる。廊下の片側は完全な通り抜けが可能で、廊下側に操作に必要な スイッチ と点検に必要な表示灯などがある。

主回路機器は主として 機器ワク におさめて高圧室にあり、補助制御回路機器は運転台の後壁にある キャビネット におさめてあり、外板は軽合金を使用し軽量化を計っている。扉は ベルキー でだけ開閉でき、中圧機器の前面には金網がはってあることは前述のとおりで、 リレー類 は防シンのために 透明カバー でおおってある。

配線は 耐圧ネオプレン電線 を使用し、高圧とその他を車体の右と左の床上に分けてあり、線径の大なるものはそのまま線径の小なるものは グループ ごとにたばねて テーピング し、適当な間隔で ゴムシート を介して クリート した、各線は線番を マーキング し、識別を容易にしている。

運転台には前面の 斜デスク に空気圧力計、主回路電圧計および電流計が置かれさらに 操作スイッチ をまとめたスイッチ箱 と 空気シ断器 および 発電機温度の表示灯がある。中央デスク に ノッチ表示器、警報レバー、ブレーキゆる

め ボタン、パンタグラフ操作スイッチ がある。この前面に タップ切換器の手動ハンドル がある。

運転室の前左右柱には換気のために扇風機が取付けてあるが、人がふれても危険でないように羽根は ゴム製 である。

床下には 直流リアクトル、タップ切換器用抵抗器 を ダクト に入れ通風し、変圧器の放熱器もある。

7. 台車および車体

前述の電機品と同様に機械関係も重量軽減にはとくに留意して徹底的な重量軽減をはかったが、台車、車体には荷重試験があり、輪心、フック、連結器には破壊試験がタイプテスト として行なわれて、その強度が確認された。特長としては インド の特殊な気象条件に対応するため防湿、防水、防シン には注意して製作してあるほか取はずしのできる部品は型板や治具を使用して互換性を満足している。

7.1 台車構造

わが国でもっとも経験の多い 揺マクラ式 2 軸ボギー を採用した。主要寸法は下記のとおりで、外観は図 5.1 に示す。

軸距	2,600 mm
動輪径	1,090 mm
軌間	1,676 mm

マクラバネ剛性 (1 台車当たり)	68.2 kg/mm × 4
軸バネ剛性 (1 台車当たり)	80 kg/mm × 4

(1) 輪 軸

動輪径は 1,090 mm の タイヤ焼バメ の鋳鋼製セミディスク輪心である。引出し時の粘着力の大きい トルク に耐えるため比較的重量の軽いセミディスク輪心を採用した。タイヤと輪心は焼バメ した上に 11 個のリベットを打ち込んでタイヤの回り止めにしている。

車軸の片側には ギヤユニット が組立てられ、ギヤカップリング



図 6.11 運転室
Fig. 6.11 Driver's desk.

で主電動機と連結されており、ギヤユニットの大歯車は車軸に圧入されている。

(2) 軸箱および軸バネ

軸受は ISOTHERMOS 式平軸受を採用した。この軸受は軸箱内の潤滑油を カクハン して軸受に強制給油するもので フランス国鉄 では一般に使用されており優秀な軸受といわれている。軸箱は 二重コイルバネ の ウイングバネ式で、軸受の両側に 軸バネがバネ座 を介して上面は 台車ワッ に、下面は軸箱に取付けられている。

(3) 台ワッ

台ワッは車両限界、軌間の関係で簡単な プレス加工 ができず 端バリ を除き全溶接で箱形にした。材料は重量軽減のため厚さ 9 mm の高抗張鋼板 SHIS54 を使用し重要部分の溶接は X 線試験を行なっている。軸箱守部は 高マンガン鋼 を溶接している。

(4) 揺マクラ装置

上揺マクラ と 下揺マクラ の間にある マクラバネ は オイルダンパ を用いた 二重コイルバネ である。マクラバネ と 軸バネ の剛性比は 0.43 になっている。側受には 心ざら荷重の 30~40 % の荷重をかけて ヨーイング を防止している。側受荷重の調整は、側受の下 の 防振ゴム の高さで行なう。心ざらは中央部を筒形にし、横バリ と 揺マクラ の当たり面は極端に低く (365 mm) して、軸重移動を少なくして引出し時の引張粘着力を助長している。心ざらには 高マンガン鋼 の スリーブ を挿入してある。心ざらの給油装置は車体側面の マクラハリ部 の給油口とパイプで心ざらと連結している。オイルダンパ は 上下揺マクラ 間の上下動用のほかに、車体中心側の 端バリ と 車体台ワッ 間にピッチング防止のオイルダンパ が取付けてあり、側バリの上には蛇行防止のストッパがある。

(5) 主電動機取付

主電動機は 横バリ部 へは 2 点、端バリ部 へは 1 点でささえている。主電動機の サエ部 は キー を打ち込み正確に前後の位置を決めている。

主電動機取付ハリ および WN ギヤユニット の ツリボルト が破損した場合に備えて安全装置を設けている。

(6) 基礎ブレーキ

日本国鉄同様普通の抱合せ式である。ブレーキシリンダ は 台ワッ側面 に 1 台車当たり 4 個取付けてある。ピン が破損した場合にブレーキテコ やブレーキ引棒 の脱落防止のために安全装置がある。すべてのピンには グリスカップル で給油できるようにしてあり、ピン の摩耗を防止している。手ブレーキ は第 1 台車よりとり、基礎ブレーキ とともに、正味ブレーキ 効率が 80% になっているため日本国鉄の機関車より割増しになっている。

(7) その他

インド国鉄向けイグナイトオン電気機関車・藤野・松田

40 l の秒箱 8 個が 台ワッ に取付けられている。

速度計は輸入した HASLER 社製の TELOC, RT835 形の自動記録式で、第 2 軸左側の軸箱内に装備した発電機が電源となり作動する。

7.2 車体構造

普通の箱形の車体であるが、車体と台車は リンク で連結されていて、機関車が脱線した際、車体をつり上げれば台車もいっしょに持ち上がる構造になっている。車体つり上げ位置は マクラハリ部 と 緩衝バリ に 2 箇所あり、また 緩衝バリ の下には ジャッキ で持ち上げられる構造にもなっている。

(1) 車体台ワッ

車体台ワッは両端に 緩衝バリ、その間に 2 組の マクラハリ があり、それらを 300 の I 形鋼 の 中ハリ と、150 の [形鋼 の 側バリ、各 2 本用いて車体 台ワッ骨 にしてある。床板の厚さは 6 mm で廊下の部分は 3.2 mm の鋼板を使用している。緩衝バリ、マクラハリ、中ハリ は箱形にして剛性を強くしてある。風道は 車体台ワッ に溶接してあり、緩衝ハリには、緩衝器、フック が取付けられるようになっている。



図 7.1 車体屋根

Fig. 7.1 Car roof.

(2) 柱構、外板および屋根

柱は剛性の強い軽量形鋼を使用し、外板は 2.3 mm の鋼板を使用した。車体の中央部は エアフィルタ取付 のため大きな切欠がある。屋根は大部分取はずしができるようになっている。中央には主変圧器の屋根があり、その前後には取はずし屋根が各 1 個ある。屋根には厚さ 40 mm のモルトレン をはりつけて防熱している。

7.3 機械ぎそう

(1) 運転室

入口戸、仕切戸は 欧州グループ と共通の ベルンキー で開閉する。ガシ のかかる所はすべてこの ベルンキー が使用されている。床張りは 2.3 mm の打抜鋼板の上に 3 mm の ゴムシートをしき、天井にはモルトレン をはりつけている。腰掛は自動折たたみ式で、運転は立って行なうことになっ

ている。2 端側の助士の チェール の下は全部道具箱になっている。

(2) 機械室と屋根

廊下は一方通路で、右側にはイグナイトロ冷却水用の 水ポンプ などがあり、通り抜けられないようになっている。歩み板は アルミニウム の鋼板を使用して重量軽減をはかった。

外板には屋上へ上がる階段はなく、取はずしのできる ハンゴ で屋上へ上がることができる。

屋根は 3 個の取はずし屋根でほとんど切欠かれているため各ブロックの機器の出し入れは便利になっている。中央の屋根になっている主変圧器屋根は主変圧器の一部で車体とはボルト止めせず、丸形のスポンジゴムをはさんでただ載せているだけである。そのために スポンジゴム はやわらかくして水密にしてある。前後の取はずし屋根は パッキン を介してボルト付け にしてある。天井には防熱のためモルトレン をはっている。

(3) エアフィルタ

インドは雨期には集中豪雨があり、乾期にはほこりが非常に多いので、防水、防じんには苦心して製作した。エアフィルタはルーバ付の ウツ の中にビニロックを入れたものであるがそれだけでは十分な防水ができないため、エアフィルタの内側の再冷器にもルーバを取付けて雨が車体内にはいらないようにしてある。

(4) 連結器

フックとネジ連結器はインド国鉄の標準品で緩衝バリの中央に取付けてある。フックは蒸気機関車用とは異なり、ピンにより左右に動き、2 個のウズ巻パネを直列に取付けて、急激な引張力を緩衝している。緩衝器は 6 mm の鋼板製の本体の中にフックのウズ巻パネと同一のパネが 1 個はいっている。この緩衝器は欧州で使用されているものと同一である。

なおフックとネジ連結器を取はずせば自動連結器が取付けられるようになっている。

(5) その他

運転室前面の固定窓には保護格子があり、緩衝バリには大きな キャトル・ガード があるのはわが国では見られない外観である。

8. タイプテスト

今回行なわれた タイプテスト について参考となる点あるいは今後の研究課題と考えられるおもなものを拾って見るとつぎのとおりである。

8.1 主変圧器

交流車両用変圧器は実用されてからまだ日も浅く、昭和

30 年 10 月に仙山線の試験車に初めて使用され、ついで北陸線、東北線の営業線に運転されて目ざましい発達をしている実状であるが、その特異性にもかかわらず試験に対しては確立した規定がなく一般変圧器の試験規定を準用しており、現在車両用変圧器の新規定を作るべく検討中のものである。

交流車両用変圧器の特異性については、まずその寸法、重量を最大限に縮減するよう考慮されており、たとえば巻線の電流密度は相当に高く、冷却の送油量、あるいは送風量は出力の割合に大きいのが普通である。したがって一般の電力用変圧器に比して、とくに巻線の温度時定数が小さい。これは後述の温度上昇測定に問題となる点である。つぎに一次巻線は単相負荷の 1 線接地の状態で使用され電力用の三相送電と違って常時線間電圧と対地電圧とが等しい。このことはその絶縁耐力の評価に問題があると見なければならぬ。

(1) 温度上昇試験

前述のように インド 向け機関車は原則的に IEC に準じて試験された。IEC の車両用変圧器の温度上昇限度は周囲温度を 25°C と割切って 75°C にしている。電力用変圧器では周囲温度を 40°C とし温度上昇限度を 60°C と定めているので、巻線温度の絶対値は同じであるが、温度上昇の設容限度が高いだけ車両用はきりつめた設計が許されている。もっとも インド 向けでは周囲温度が高くて 45°C であるので温度上昇は 20°C 下げて 55°C と仕様書に規定されたが考え方は IEC と同じで日本でも最近では IEC の考え方に従っている。

温度上昇試験は一般に精度の高くないものとされ電力用変圧器では測定結果に疑義を生じない程度の余裕があることを要求されるのが普通で、設計に当たっても相当に余裕が見込まれる。しかし前述のように切りつめた設計を行なうので、理想的な車両用変圧器ではこの余裕がほとんどない。したがって測定の精度を特別に上げることが必要である。しかるに車両用変圧器は巻線の電流密度が一般変圧器の 1.5~2.0 倍程度に高くとられるので、油と巻線との温度差が高く、発熱停止後の冷却が早い。これは温度上昇の測定をますます困難にする。

かかる理由から インド 向け変圧器では最初、測定精度が悪いために データ がばらついて迷わされた。データに不信があるので改定方針もたえず、最適設計はできないはずである。このときに貴重な測定上の技術を立会監督員である フランス 技術者 から指摘された一例がある。

巻線の温度上昇はいわゆる抵抗法により ケルビン・ダラル・ブリッジ で巻線の抵抗値を計って既知冷温の抵抗値と比較して銅線抵抗の温度係数より求める訳であるが、熱試験

で電流遮断直後より抵抗値の時間的変化を測定時点でプロットして外挿法により、巻線の最高温度（抵抗値）を求める方法が行なわれる。問題はこの測定時点であるが、外挿法であるから最初の測定点が早ければ早いほど精度は高まる。従来は最初の測定点は電流遮断後1～2分を要していたし、IECにもBSSにも何分以内に測定せよという明確な規定はない。これに対しフランス技術者の指示により30秒以内に測定させられたが、これにより精度は格段に向上した。

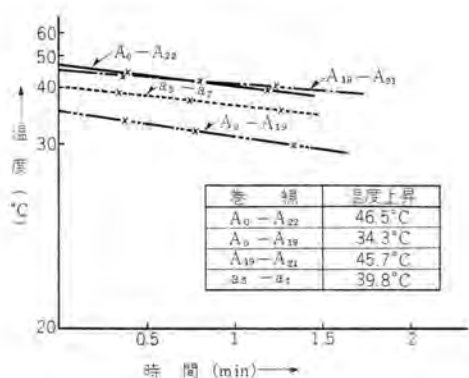


図 8.1 コイルと油の温度差の冷却曲線
Fig. 8.1 Cooling curves of coils referred to the oil temperature.

また当然のことながら巻線と油の温度差の温度時定数は数分のオーダーであり、変圧器油の温度時定数は1～2時間もあって、前者に比すれば無限大と見なしてよく、温度差と時間とをセミログ曲線でプロットすれば理論的に冷却曲線は直線になるはずで、これにより外挿法の精度を上げることができた。今回の経験で測定精度は±1°C程度が得られたものと考えられる。

(2) 絶縁耐力試験

IECの規定では絶縁耐力試験が非常に単純であって衝撃電圧試験は行なわれない。これは車両用電機品の主要機器の一部として見た重要度の置きかたに根拠があると思うが変圧器の生命は特高架線を安全な低圧電力に変成するものであり、絶縁こそ、その最大の任務であることを考えれば絶縁耐力試験は十分に検討する必要があるのではないと思う。もっとも電力用変圧器と類似の試験電圧をもってすることは、使用回路条件が相違するから不合理のはずである。

インド向けの場合はIECによって一次側定格電圧25kVに対してAC耐圧59kV、1分間（誘導）であり衝撃電圧試験は行なわなかった。これに対する日本国鉄規格では定格電圧22kVに対し50kVであるからほぼ等価であり、衝撃電圧は120kVである。製作者としては規定された試験電圧に耐えるように絶縁構造を設計するのであって、もちろん製作上の余裕はあるが製作者とし

てはこの余裕を極力切りつめるように努力している。

車両用変圧器はタップ切換器が付属し、プレスボードと油の絶縁のほかにフェノール積層板を多く使用している。このような複雑な絶縁構造のものに1分間試験と衝撃電圧試験で完全に安全性が確認できるであろうか、電力用変圧器の場合と違って常時電圧が√3倍である車両用変圧器で1分間試験の等価性を考えて上記の試験電圧が妥当か、われわれとしては一応の疑問を残すものであるが、もちろん現在日本でも検討されていることである。インド向け変圧器ではIECだけを対象にすれば、別の絶縁設計によれたかも知れないが製作者としては運転実状を考慮してより高度の絶縁設計をおこなったので今後の運転実績の結果を待ちたい。しかし絶縁試験は製品のあらゆる条件をすべて検証できるように定められるのが理想であるから、車両用変圧器の絶縁耐力試験については再検討の必要がある。

(3) 特殊温度試験

このたびおこなったタイプテストの中で興味あるものとしては特殊温度試験である。これは実際列車を運転する走行曲線に等価的な負荷条件を変圧器に与えて巻線の平均温度上昇を抵抗法により求めるものである。これは数種の巻線を持っているこの種変圧器の温度上昇のもっとも高い巻線についてだけ測定したものである。

試験はつぎのような負荷条件で三つのサイクルについておこなった。

- (a) 連続100%+185%15秒+140%5分
- (b) 連続100%+185%15秒+140%5分+130%10分
- (c) 連続100%+185%15秒+140%5分+130%10分+115%15分

この結果から運転時の巻線の温度上昇がほぼ推定できて実用性能の確認に役立つ合理的な試験法の一つであって、車両用変圧器の最適容量を決定する上の資料となるものと考えられる。

8.2 水銀整流器の負荷試験

車両用水銀整流器については変圧器の場合と同様に実用されてから日が浅くIECにも明確な規定がない。IECではルーチンテストで定格が確かめられ、タイプテストは顧客の仕様に任されている。日本では通常水銀整流器が電動機制御に使用されるときはタイプテストとしてJEC133のB種定格が適用されているが、交流電気機関車の現状は主電動機の連続定格、1時間定格が水銀整流器の定格として指定されているに過ぎない。したがってどれほどの裕度を持った整流器を使用するかは、タイプテストを通じて製作者に一任されている。水銀整流器の逆弧はある確率をもって発生することからその試験仕様は使用上の仕様

にさらに裕度を持ったものである必要がある。

今回のインド向け機関車用イグナイトロンのタイプテストは、まず定格の確認から始められた。すなわち、連続定格 (725V 780A) 1 時間定格 (725V 815A) での負荷試験がおこなわれた。つぎに短時間過負荷試験がおこなわれたことは 4 章のイグナイトロン整流器の項で述べたとおりである。ただ今回の試験では、この過負荷耐量試験について試験仕様書中には合否判定基準が示されていない。したがってどれほどの過負荷耐量を持つべきかは、製作者の設計にまかされたが重量とスペースに制約を受ける車両用水銀整流器においては、必要以上の裕度をねらうことにより、他の条件が制約を受けることにもなるので妥当な過負荷耐量が指定されることが必要と思われる。なお、これらの試験に際しての温度条件はインド現車で予想される条件の最高すなわち冷却水温 60°C 、室温 50°C が要求され恒温室で試験がおこなわれた。

8.3 主電動機

このたびの試験は IEC に基づいておこなわれたが、重点は実際に使用される脈流運転状況における性能の確認ということにあって、脈流における連続定格出力と 1 時間定格出力を温度上昇試験によって決定し、この場合の端子電圧と電流値を直流でさらに試験して脈流と直流との間の関係をタイプテストで求めてルーチンテストは直流による 1 時間定格試験だけをおこなった。

(1) 温度上昇試験

(a) 最高温度の測定

国鉄規格 SE6 (昭和 24 年) では抵抗法による場合は電機子巻線の温度は電流シャ断後、2 分後の温度を求め、固定子巻線の温度はシャ断直後において測定することとなっている。

IEC では電機子巻線の温度は電流シャ断後、すなわち冷却開始後 30 秒以内に最初の測定をおこない以後 15 秒間隔で測定をおこなって、セミ・ログ曲線にプロットして冷却曲線を描き、この冷却曲線から外挿法により冷却開始点における温度上昇値を決定する。

今回のインド向け主電動機は電機子最高温度を IEC によって測定したが、図 8.2～図 8.5 に示すとおり、2 分後の温度と冷却開始点の温度との差は約 20°C あることがわかる。このことは電機子の最高温度は SE6 によれば 20°C 低い値を示していたこととなり、逆にいえば従来の試験データを基にして設計し IEC によって測定すれば予想よりも 20°C 高い温度上昇となることを意味する。

30 秒以内に冷却曲線の最初の測定をおこなうことは、全速度の電動機を瞬時に停止させた後さらに間髪をいれず抵抗測定をおこなうことを要するため、かなりの熟練

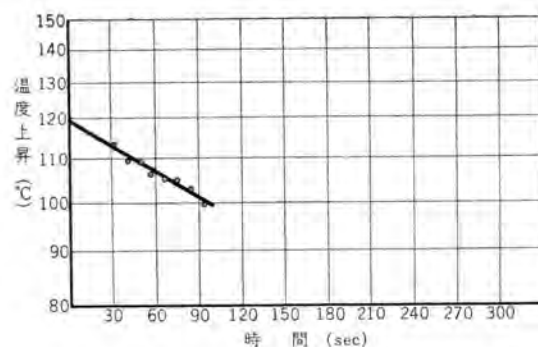


図 8.2 電機子冷却曲線 (脈流連続定格試験後)
Fig. 8.2 Cooling curve (armature) temp, rise test with (pulse) current rated voltage 725 V current 780 A field 100 % continuous.

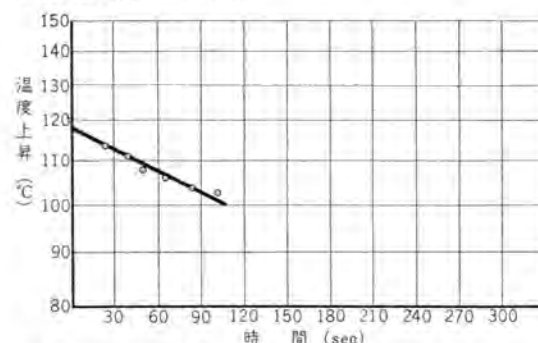


図 8.3 電機子冷却曲線 (脈流 1 時間定格試験後)
Fig. 8.3 Cooling curve (armature) temp rise test with (pulse) current rated voltage 725 V current 815 A field 100 % one hour.

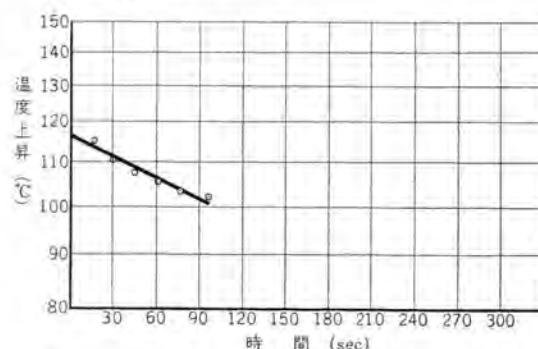


図 8.4 電機子冷却曲線 (直流連続定格試験後)
Fig. 8.4 Cooling curve (armature) temp rise test with (DC) current rated voltage 725 V current 780 A field 100 % continuous.

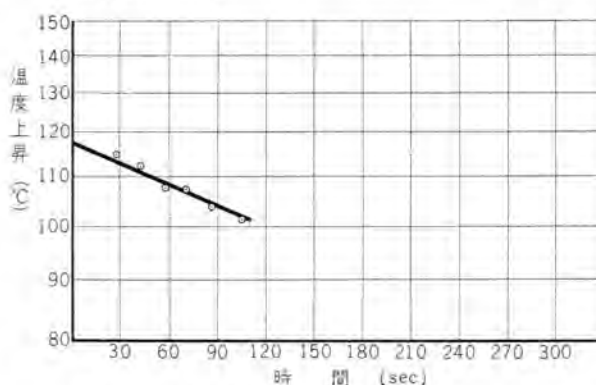


図 8.5 電機子冷却曲線 (直流 1 時間定格試験後)
Fig. 8.5 Cooling curve (armature) temp rise test with (DC) current rated voltage 725 V current 815 A field 100 % one hour.
と困難をともなったが最高温度を正確につかむという点

で前述の車両用変圧器の場合と同様にきわめて合理的である。

(b) 抵抗法による巻線の温度測定

抵抗の測定に電圧計—電流計法を用いるとき、抵抗値の測定に用いる電流は SE6 によると 1 時間定格電流の約 50% と規定されているが、IEC では電動機の冷熱いずれの状態のときも 1 時間定格の 20% 程度であることと規定されている。今回は冷いときの巻線抵抗が測定電流によって加熱されることを避け、なお精度をあげるため、測定に用いる電流は 1 時間定格電流の 12, 16 および 18% の 3 点で測定しその平均値をとるよう指定され、熱いときは 18% が指定された。

(c) 界磁巻線温度上昇値のバラツキの範囲

これはルーチンテストの問題であるが主界磁および補極界磁の 1 時間定格試験における温度上昇値のバラツキについては、工作精度を確認する意味でバラツキの範囲が限定明示された。従来、IEC においても SE6 においても温度上昇値については許容限度は規定されているが許容限度内でのバラツキについては明示されたものはなかった。

(d) 温度上昇に対する周囲温度の影響

今回のように電動機の生産が長期間にわたる場合は、夏期に試験した電動機と冬期に試験した電動機とでは、周囲温度の高低が温度上昇値に影響して、かなりのバラツキを示すことは経験上からも理論上からも明らかである。SE6 にはこの点に関する規定はないが、IEC では周囲温度が異なる場合の温度上昇値はつぎの算式によって電流値を修正して 25°C に換算するよう規定している。

$$I_{25} = I_a \left(1 + \frac{t_a - 25}{800} \right)$$

I_{25} ……周囲温度 25°C のときの電流値
 I_a ……周囲温度 t_a °C のときの電流値
 t_a ……周囲温度 °C

周囲温度が異なる場合には、その温度に比例して銅損が異なってくる。また界磁巻線の損失の大部分は銅損であり、温度上昇は銅損にはほぼ正比例すると考えてよいので界磁巻線の温度上昇に対する周囲温度の影響については今回 フランス 技術者の承認を得てつぎの算式によって 25°C における温度上昇に換算した。

$$T_{25} = \frac{T_a(235 + 25)}{235 + t_a}$$

T_{25} ……周囲温度 25°C のときの温度上昇
 T_a ……周囲温度 t_a °C のときの温度上昇
 t_a ……周囲温度 °C

すなわち、IEC は周囲温度を 25°C に換算するために電流値を修正すべきことを規定しているが、今回は界磁巻線の電流値はそのまま測定した温度上昇値を周囲温度 25°C に換算した。このように周囲温度の異なる場合

その温度上昇値を周囲温度 25°C に換算して比較し、(c) 項記載のバラツキの許容範囲におさめて電動機の工作精度を確認したことは、初めての試みである。

(2) 起動試験

起動試験は SE6 には規定されていないが、IEC には電機子を静止させたままの状態でも 1 時間定格における電流の少なくとも 1.7 倍の電流に 1 分間耐えなければならぬと規定されている。今回は電機子静止の状態でも連続定格電流の 1.7 倍を 1 分間通電試験を繰り返し行ない異状のなきことを確かめた。これは実際使用の場合を考慮した試験であろうが苛酷な試験である。

9. む す び

交流電気機関車の輸出は日本では初めての経験であるが、ヨーロッパの一流メカの合作からなる欧州グループの機関車と同じ仕様のもとに日本独自の設計をした機関車が外国の同じレールの上を走るということは誠に痛快なことである。したがって試験仕様書も苛酷と思われた点もあったが欧州グループのおこなう試験は日本でも実施すべしという考え方から作成したので欧州グループとほぼ同じレベルの試験がフランス国鉄技術者の立会のもとにタイプテストとしておこなわれた。試験の内容はあくまでも厳格であって、私どもの目を開いてくれた点もあって勉強にもなり、今後の国際競争に対処するためには得がたい体験であった。反面これらの厳格な試験に合格するために改造も余儀なくされて約 10 か月の納期の遅延となったことは申訳ないことであった。

日本、フランス、インドの 3 か国の技術者の立会を受けたことも初めての経験であり、これらの試験を通じて、ヨーロッパの一流メカの技術の程度を伺い得たことも良い経験であった。とくにフランス国鉄技術者が高度の知識と経験を身につけているばかりでなく、その技術が実際的であることに感服した。たとえば NOUVION 氏のごときも作業服を着て、直接自分の手で試験をおこない、主電動機の整流状況を何回となくのぞいてその良否を自ら判断していた姿は筆者の脳裏に強く焼きついて残っている一つである。この主電動機の整流が良いので三菱電機の開発したカーボンブラシをフランス国鉄で試用して見たいとの NOUVION 氏の申出で 1 両分のブラシをフランスに送ったこともこの機関車の取持った縁といえよう。

苦労も重ねたが、得がたい経験と勉強をしてようやく完成の運びとなったことは日本国鉄ならびにフランス国鉄関係各位のご援助と日立、東芝関係者のご協力の賜であり厚く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 大野・八木・臼田・和田：インド向け交流電気機関車用相変換機、「三菱電機」, 34, No. 8, No. 9 (昭 35)。

北九州用交直電車

伊丹製作所 相 田 茂 夫*

AC-DC Electric Cars

Itami Works Shigeo AIDA

Electric system of railway differs on both sides of Kanmon undersea tunnel connecting the main land and Kyushu. The former side is DC electrified while the latter AC. To run through these sections via the tunnel, AC-DC electric cars have been on the plan of the Japanese National Railways for some time, trial two trains being completed now. These cars are provided with almost the same DC apparatus as that of "Tokai" type electric cars; in addition an AC side power supply apparatus with silicon rectifiers is equipped. The change over from one system to the other is to be made on the car. The most of AC main apparatus involving the main transformer and silicon rectifier, the products of Mitsubishi, are mounted under the floor with due consideration of compactness and lightness.

1. ま え が き

日本国有鉄道の幹線電化計画によると、山陽線は直流1,500kV、鹿児島線は交流20kVによる電化が決定されており、その間の接続用として車上切換装置を有するEF301形交直電気機関車が先に当社によって試作されたが、同じように車上切換装置を有するシリコン整流器式旅客用交直電車が、昭和34年以来日本国有鉄道によって計画され、このたび421系交直電車として試作2編成がデビューすることとなった。

この電車は関門海峡を通過するため、屋根上機器に対して塩害対策をほどこしてある点以外は、先に常磐線用として試作された401系交直電車とほぼ同じ方式のものであるが、421系のほうはその主要電気品の製作を当社が担当したので、以下その概要について述べることにする。

なお、この電車は目下量産されつつあり、将来は山陽線小郡駅と鹿児島線久留米駅の間を営業運転することになっている。



図 1.1 421 系電車全景

Fig. 1.1 Full view of type 421 electric coach.

2. 電車の概要

(1) 概 要

この電車は東海形電車を基板とし、交流区間運転用として主変圧器とシリコン整流器を装備したものであって、主電動機や直流側制御装置は部品の互換性を考慮して、従来の101系・153系に使用しているものとほとんど同じものを使用し、ただ一部の機器に脈流対策を施しているだけである。

歯車比は、この電車が通勤車と準急車の両方の性格をもっているため、4.82 という値が選定された。

交直の切換えは、EF30形交直機関車と同じように交直切換器と交直転換器を使用して、いっせいで行、順次力行の車上切換方式を採用し、交流回路の保護方式もまたEF30と同じ方式である。

さらに異電圧冒進保護方式もまたEF30と同じ方式であって、交流冒進に対しては直流避雷器で直流側機器を保護するとともにその放電電流を拾って空気シ断器を開放し、直流冒進に対しては主ヒューズによって主変圧器を保護している。

図2.1に主回路を示す。

(2) 電車編成と主要機器の配置

この電車は図2.2に示すようにTc-M-M'-Tcの4両が1単位となって、4両または8両で編成されるものである。

M'はいわゆる電源車で、主変圧器、シリコン整流装置、空気シ断器、平滑リアクトル、交直切換装置および保護装置などが配置され、そのほかMおよびM'に従来の101系・153系に使用している直流関係の制御装置などが配置されている。なお前と後のTcはまったく同じものである。

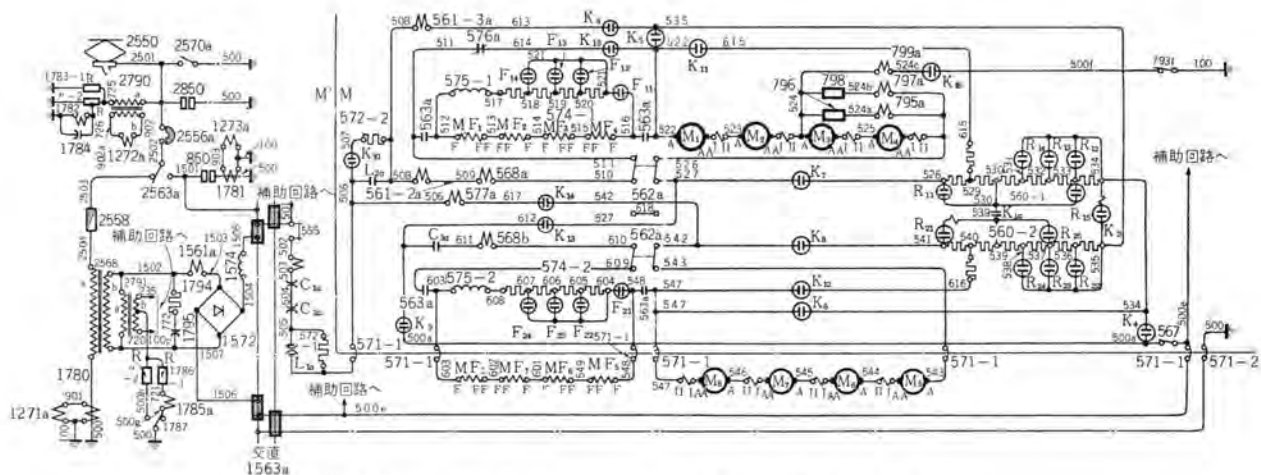


図 2.1 主回路

Fig. 2.1 Main circuit.

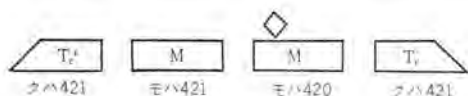


図 2.2 電車編成

Fig. 2.2 Train composition of car unit.

表 3.1 主変圧器要目表

形 式		TM 3, 外鉄形, 送油風冷式
性 能	周 波 数	60 c/s
	相 数	単 相
	容 量	800 kVA
	定 格 電 圧	一次側 20 kV, 二次側 1,820 V
	定 格 電 流	一次側 40 A, 二次側 440 A
能	絶 縁 階 級	一次側車両用 20 号, 二次側 3 号
	油 量	600 l (不燃性油ダイアクロール)
	重 量	約 3,400 kg
電 油	電 動 機	0.55 kW, 200 V, 単相コンデンサラン形
送 風	送 風 機	0.75 kW, 200 V, 単相コンデンサラン形

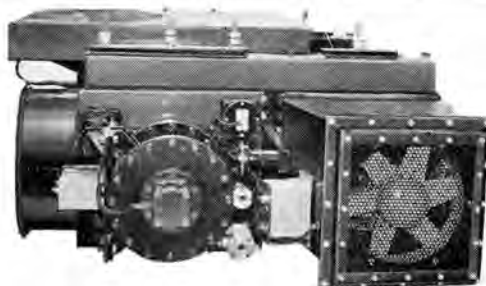


図 3.1 主変圧器

Fig. 3.1 Main transformer.

表 2.1 主要要目表

定員および自重	クハ 421Tc	116 名	約 30 t
	モハ 421M	128 名	約 37 t
	モハ 420M'	128 名	約 42 t
1 時間定格出力		775 kW	
引張力		4,800 kg	(70 % 界磁)
速 度		59.5 km/h	()
最大運転速度		110 km/h	
車 輪 径		860 mm	
歯 車 比		82/17=4.82	
主 電 動 機		MT 46 B, 375 V, 100kW, 300 A, 1,860 rpm	
主 変 圧 器		フォームフィット送油風冷式, 床下つり下げ用 800kVA	
整 流 装 置		強制通風式シリコン整流器, 単相ブリッジ結線 810kW	
交直切換方式		いっせいだ行, 順次力行, 車上切換方式	
制 御 方 式		直並列抵抗制御, 弱め界磁, 電空併用ブレーキ付	

(3) 主要要目

この電車の主要要目は表 2.1 に示すとおりである。

3. 当社の担当した主要電気品

この電車の電源設備ともいべき交流機器のうち、主要なものはほとんど当社が設計製作を担当した。以下それらのうちおもなものについて述べてみよう。

3.1 TM 3 形主変圧器

M' の床下につり下げられるエレファントフッシング付のこの変圧器は、まず第一に床下装備の関係上高さの制約を受けたこと、さらには旅客電車用であるため不燃性油を用い、しかも重量を極力ぎりつめなければならなかったことなど設計上いろいろな制約を受けながら完成したものであってつぎのような特長をもっている。

(1) 当社独得の外鉄形 フォームフィットタイプであるため、何の懸念もなく中身を横倒しすることによって、きわめて容易に高さを制限内におさめることができた。

北九州用交直電車・相田

(2) いわゆる銅機械と呼ばれる設計にして、極力重量を軽減し実測 3,400 kg におさめることができた。量産形ではさらに各部の設計に検討を加えることによりいっそう軽くなるみとおしである。

(3) 高圧コイルの一部と低圧コイルの一部の間に静電シタハイ板を設け、静電移行電圧の減少を図った。完成後 AC フィルタ および シリコン 整流器と組合せ、サージアライザによる方形波で測定を行なったところ、直流巻線側各端子と大地間に現われる移行電圧の波高値は、交流側へ侵入する衝撃電圧の約 6 % におさえられ、直流側各端子間では約 7.5 % となつて、空気シタ断器の負荷側に挿入されている避雷器の制限電圧から考えて十分な絶縁協調が得られた。

(4) 複管式冷却装置を用いるとともに冷却用電動送風機は吸込形として冷却器の冷却効率を向上させた。この結果完成後の温度上昇試験では、コイルの温度上昇 75°C

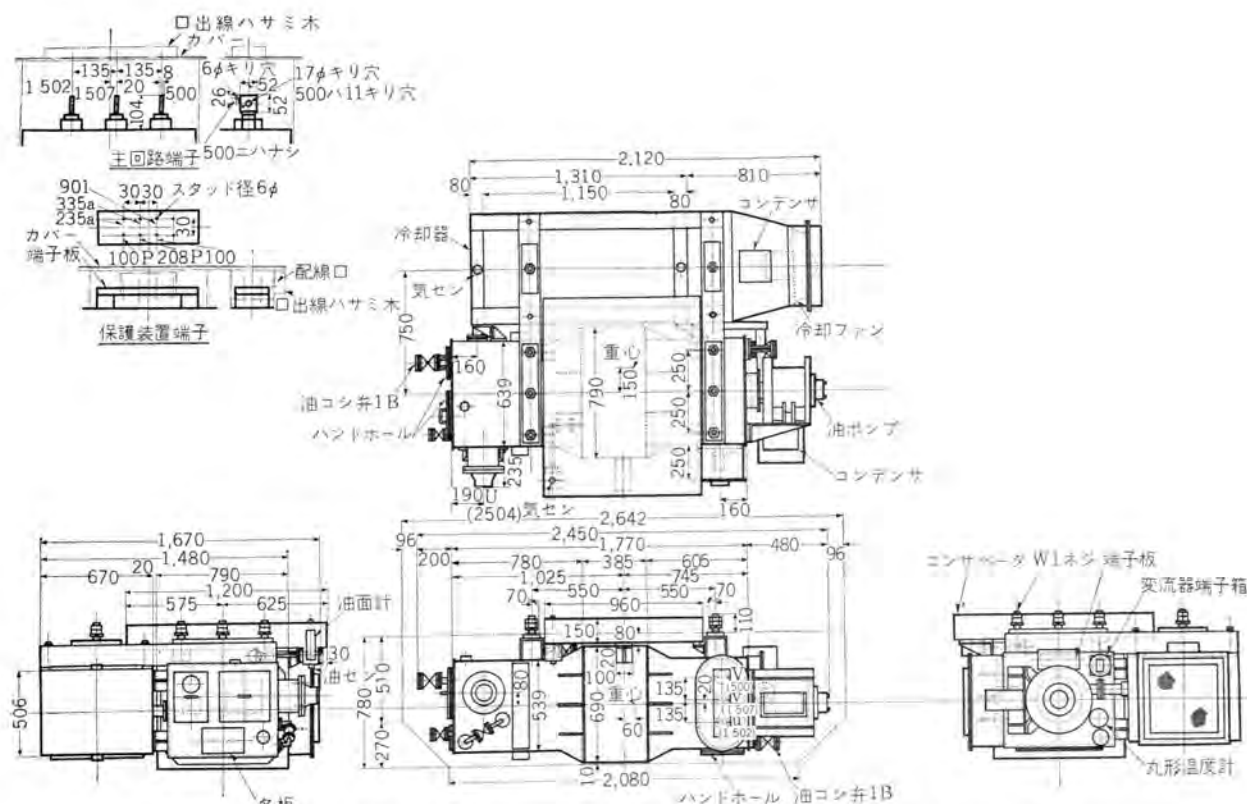


图 3.2 主变压器外形图

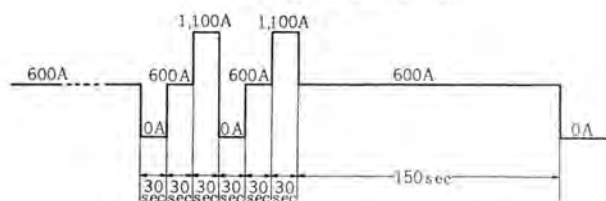


图 3.3 加速模拟电流

Fig. 3.3 Simulated acceleration current.

の限界に対し十分の余裕を示した.

図 3.1 にこの主変圧器の外観を、図 3.2 に外形寸法を、さらに表 3.1 に主要要目を示す。

3.2 RS5形シリコン整流装置

(1) 設計

設計条件としてつぎのことがらが提示された。

a. 単相ブリッジ結線とし、600 Aの電流（主電動機の1時間定格に相当）に連続耐え、さらに加速時を模擬した図3.3のような負荷に耐えること。

b. 変圧器の一次側が22 kVのとき二次側に現われる電圧の2倍の波高値5,650 Vに耐え、さらに避雷器で制限された80 kVの電圧が主変圧器の一次側に加わっても十分耐えること、ただしこの条件はシリコン整流素子1個が短絡した状態で成立すること、

c. 主電動機閃絡のときの事故電流に、シャ断器が開放するまで耐えること。



図 3.4 シリコン整流素子
Fig. 3.4 Silicon diode.

表 3.2 シリコン 整流器要目表

素 子 整 流 装 置	形 式		SR-200E
	性 能	順 方 向 電 流	200 A
		逆 耐 電 圧	700 V (イシパルス 850 V)
	性 能	形 式	RS 5
		容 量	810 kW
		電 圧	1,350 V
		電 流	650 A 連続
		外 気 温 度	35°C
	電 動 送 風 機	結 綫 方 式	10 S×2 P×4 A 单相プルッジ
		電 動 機 送 風 機	1.5 kW, 200 V, 单相コンデンサラシ形
多翼形, 静風圧 35 mmAq, 風量 75 m³/min			
劣化検出装置			ネオンランプ式
装 置	温度保護装置	バイメタル式温度継電器, 絶縁変圧器および補助継電器	
	分 圧 器	抵抗ならびにコンデンサ	



図 3.5 シリコン 整流装置
Fig. 3.5 Silicon rectifier.

これらの条件から シリコン 整流素子として当社製 SR-200 E 形を 80 個使用し、 $10\text{S} \times 2\text{P} \times 4\text{A}$ なる構成とした、表 3.2 に素子ならびに装置の要目を示し、図 3.4 に素子の外観を示す。

(2) 權 造

前記 80 個の シリコン 整流素子を 20 個ずつ 4 個のトレイに収納し、ネオラップ式 劣化検出装置と温度保護装置ならびに冷却装置とともに一つの箱に納め、M₁の床下につり下げる構造とした。図 3.5 にその外観を、図 3.6 に外形寸法を示す。

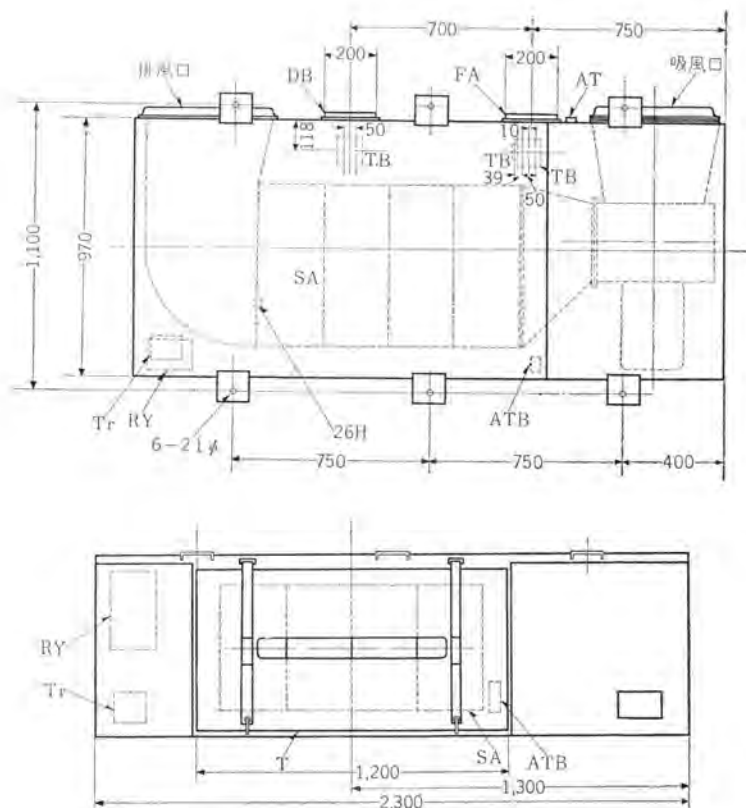


図 3.6 シリコン 整流装置外形寸法

記号	名 称	個数	備 考
AB	交 流 端 子	1	
DB	直 流 端 子	1	
FA	冷却用排気扇	1	1.5kW 200V
SA	整 流 器 箱	4	
TB	端 子 盤	4	ANP 端子 #32252 ヲ用イル
TB'	"	1	ANP 端子 #33465 ヲ用イル
ATB	補助回路端子盤	1	
RY	接 触 継 電 器	1	MC 形
TY	絶 縁 変 圧 器	1	40 VA
T	ト ビ ラ	1	
26H	温 度 継 電 器	1	X-2 形
AT	補助回路端子	1	

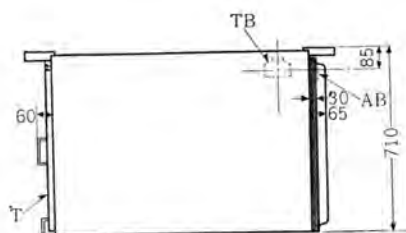


Fig. 3.6 Out line dimension of silicon rectifier.



図 3.7 トレイに収納された シリコン 整流素子
Fig. 3.7 Silicon diodes with a tray.

(3) おもな特長

a. トレイ式を採用したため、素子の点検、取扱いが便利であり、また冷却効果も大きい。

図 3.7 に トレイ の写真を示す。

b. 図 3.8 の結線に示されるようなネオランプ式劣化検出装置を備えているため、シリコン整流素子 1 個の短絡をも検知することが可能であり、しかも透明窓を通じて箱の外部からもこれを確認することができる。

c. 温度保護装置はバイメタル式温度継電器を採用したため、装置としてきわめて簡単である。

(4) 温度試験

工場において行なった温度試験はいずれも満足な結果
北九州用交直電車・相田

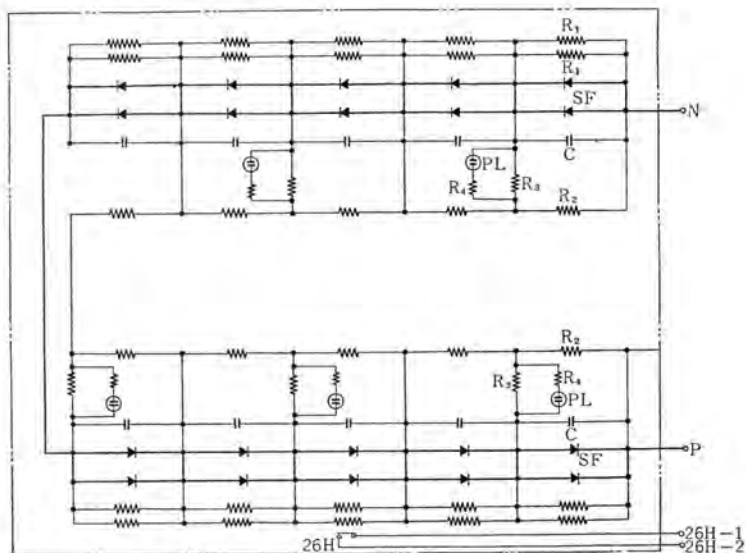


図 3.8 シリコン 整流装置結線図

Fig. 3.8 Connection of silicon rectifier.

記号	名 称	形 名, 定 格	個数
SF	シリコンダイオード	SR-214	20
R ₁	抵 抗 器	QG 15W 4kΩ	20
R ₂	"	QG 15W 2kΩ	10
R ₃	"	RD2LY 15kΩJ	5
R ₄	"	RD1LZ 30kΩK	5
C	コ ン デ ン サ	0.1μF 600V	10
PL	パイロットランプ	85 V 4mA	5
26H	温 度 継 電 器	X-2 形	1

を示し、たとえば 600 A 連続通電ではベース温度上昇の許容値 75°C に対し 57°C (入口風温基準) と十分の余裕を示した。

3.3 IC 5 形および IC 6 形平滑リアクトル

主回路用の IC 5 形主平滑リアクトル および 空気圧縮機

表 3.3 平滑リアクトル 要目表

C 5	形 式	IC 5 巻鉄心形
	定 格 電 流	440 A 連続
	インダクタンス	6 mH (600 A において)
	冷 却 方 式	自冷式
IC 6	形 式	IC 6 巻鉄心形
	定 格 電 流	5.7 A 30 分
	インダクタンス	600 mH (5.7 A において)
	冷 却 方 式	自冷式

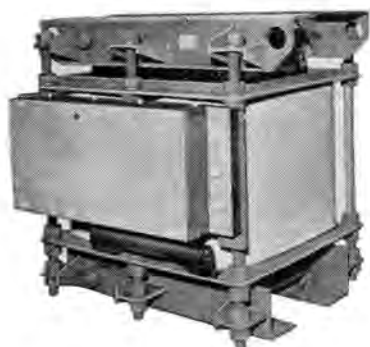


図 3.9 IC 5 形平滑リアクトル (主回路用)
Fig. 3.9 Type IC5 smoothing reactor.

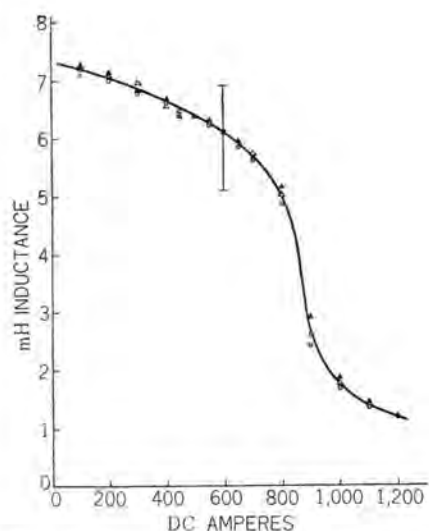


図 3.10 IC 5 形平滑リアクトルインダクタンス 曲線
Fig. 3.10 Smoothing reactor inductance curve.

用の IC 6 形補助平滑リアクトル も当社の担当品で、つぎのような特長をもっている。

(1) 鉄心はインクレメンタル透磁率の高い巻鉄心を切断した、いわゆる C コアを使用しているため、リアクトル はひじょうに小形軽量化された。

(2) 絶縁はエポキシ樹脂を用いてリアクトル 全体を固めてあるため、機械的にじょうぶであるほか熱放散がきわめてよいので自然冷却方式とすることが可能となり、電車の床下つり下げ用としてたいへん便利である。

表 3.3 に 2 種の リアクトル の性能を示し、図 3.9 に IC 5 の外観を、また図 3.10 に実測 インダクタンス 曲線を示す。

3.4 SH 1401 形保護接地スイッチ

この電車では、非常の場合、非常スイッチ を操作することによって、交流区間では架線を接地して変電所の シャ断器を開放させることができるようになっている。

この SH 1401 形保護接地スイッチ も当社の製品で、M' の屋根上に装備され、電磁弁の励磁で空気圧力により、パンタグラフ が接地される。図 3.11 に写真を示す。



図 3.11 保護接地 スイッチ
Fig. 3.11 Protecting switch.

4. む す び

以上試作電車の大要と、当社の担当した主要交流機器 についてその概要を紹介した。

前述のとおりこの電車は目下量産に移されているので 山陽線の直流電化、鹿児島線の交流電化の完成と相まっ て小郡一久留米間にその英姿を現わすのも間近いことであらう。

終わりに当社担当品の製作にあたって、いろいろご指導下さった日本国有鉄道臨時車両設計事務所の方々に厚くお礼申し上げる次第である。

最近のトロリス

新三菱重工業株式会社三原製作所 正木 周四郎*

三菱電機株式会社伊丹製作所 宮内 圭次*

Recent Trolley Buses

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited, Mihara Works Shushirō MASAKI

Mitsubishi Electric Manufacturing Company, Itami Works Keiji MIYAUCHI

Surface traffic of late has turned highly effective and overcrowded, a fact which leads to the requirements of control equipments of trolley buses to be highly efficient and highly dependable. In addition, rationalization of the management comes to call for reduction in prices, ease of maintenance and inspection, and also small sum of upkeep on them as essentials of the design features. Super-series traction motors, apparatus and control equipment for exclusive use of trolley buses produced by Mitsubishi are the answers to these requirements, operating with success on the surface traffic facilities in Kyoto and Osaka cities. This is the manifest of excellent application of the apparatus.

1. ま え が き

一般自動車の高性能化とその台数の増加による都市路面交通の輻輳化に伴ってトロリスの制御装置も高性能、高信頼性が強く要求されるようになった。さらに経営合理化に沿って価格の低下と保守点検の容易、維持費の僅少も重要な項目となっている。

最近当社で製作しているスーパーシリーズ電動機やトロリス専用の器具ならびに差動制動回路による電制と操作容易な空制の併用による制御方式はこれらの要求に応じたものである。

この主要器具および装置の性能と特長について概略を説明する。

2. スーパーシリーズ主電動機

いわゆる直巻特性は車両用として理想的とされているのであるが、発電制動時にスムーズで一定の制動力が得がたいために、制御装置を複雑にしたり、制御段数を多くする必要がでてくる。これに対して、分巻や複巻特性は力行には適さないが、制動時には有利であるところから、この両者の利点を兼ね備えた電動機としてトロリス専用に設計製作されたものが、このスーパーシリーズ電動機でこれは直巻電動機であるが、発電制動用の分巻界磁巻線をも内蔵し、力行時は直巻界磁だけを使用して直巻電動機のすぐれた加速特性を維持し、発電制動時は分巻界磁だけを使用して差動制動回路によって差動複巻特性をもたせすぐれた制動特性を発揮するものである。

なおこの電動機は高信頼性、低保守費という見地から



図 2.1 MB-1442-N2 形 “スーパーシリーズ” 主電動機
Fig. 2.1 Type MB-1442-N2 “Super-series” traction motor.

設計上電氣的機械的に十分の検討を加え、かつ加速および発電制動時の整流状態を良好に保つよう特別の考慮を払い、弱め界磁も 35 % まで可能である。

この電動機の要目は次のようになっている。

形 式	MB-1442-N2, -N3
方 式	直流直巻, 補極, 発電制動用分巻界磁付, 丸形閉鎖自己通風式
1 時 間 定 格	100 kW 600 V 194 A 1,700 rpm (65 % F で)
最大弱め界磁	35 % F (誘導分路制御)
最大許容回転数	4,500 rpm
絶 縁	完全 B 種
重 量	710 kg (本体)

またこの電動機の特長とするところは

(1) 電機子 コイルエンド を支持する電機子 スパイダ および クランパ は、従来の鋳鋼に代わり非磁性鋳物とし、整流電圧の減少によって整流改善を計っている。

(2) 力行 かつ時は ノッチ 戻しを行なうので高加速運転の場合でも ショック を生ずることがない。

(3) 制動力は制動ペダルの踏み加減により3段階に変えることができ(2)の場合と同様運転の自在性にすぐれている。

(4) 制動時は、スーパーリズ電動機が差動複巻特性となり停車寸前までステップレスでほぼ一定の制動力が得られるので諸器具の動作回数が少なく、頻繁な制動操作に対しても器具の寿命が長い。

(5) 制動ペダルをさらに深く踏み込む場合はその踏

み込み加減に応じた空気制動力が追加され、電空併用制動となって大きな制動力が得られる。

(6) 主要器具は1枚の制御器板に平面的に取付けてあるので保守点検が容易である。

(7) 起動用の抵抗短絡 カムスイッチは空気操作のため、機構が単純で小形であり、また他の器具も小形軽量である。

(8) 操作頻度の大きい、力行ペダル、制動ペダルおよび抵抗抗絡カムスイッチの補助接触指にはローラ付カムスイッチを用いているので長い寿命をもっている。

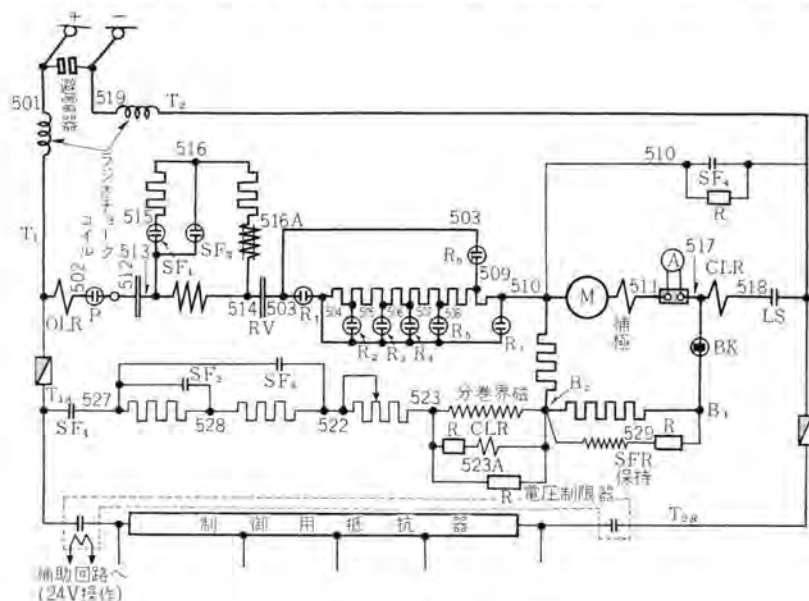


図 3.1 主回路 ツナギ
Fig. 3.1 Connection of main circuit.

	動力機器	転動機器	カム軸接器	電磁接器
	抵抗格用	短絡格用	分巻用	分巻磁用
アスコット	S	L S P R K	R ₁ R ₂ R ₃ R ₄ R ₅ R ₆ R ₇ F S F S	S F S F S F S F S F
力	1	○	○	
行	2	○	○	
	3	○	○	
	4	○	○	
	5	○	○	
	6	○	○	
	7	○	○	
	8	○	○	
	9	○	○	
	10	○	○	
	11	○	○	
	12	○	○	
管巻組	13	○	○	
力 = 1	14	○	○	
第1		○	○	
制動1		○	○	
n = 2		○	○	
n = 3		○	○	

後進時も同一開閉順序である

PBKC	制動轉換器 (制動回路接点)
CC	カム軸接觸器
SFR	界磁繼電器
CLR	限流繼電器
OLR	過負荷繼電器

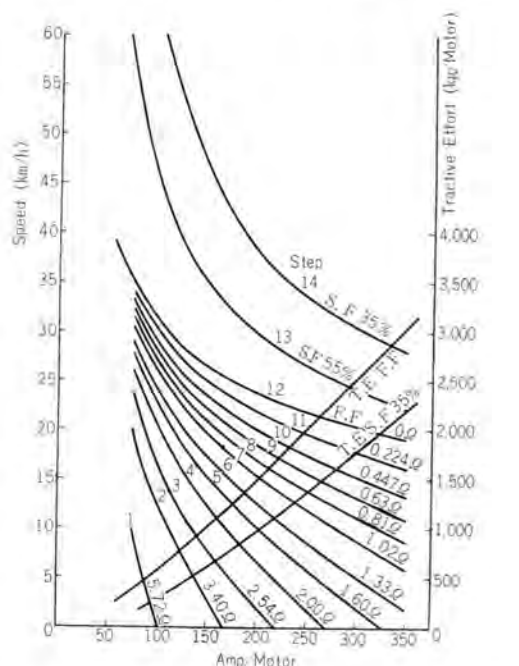


Fig. 3.2 Notching curves (powering).

Motor type	MB-1443-N 2	Wheel Dia	1,020 mm
Gear Ratio	11.65	Line Voltage	DC 600 V

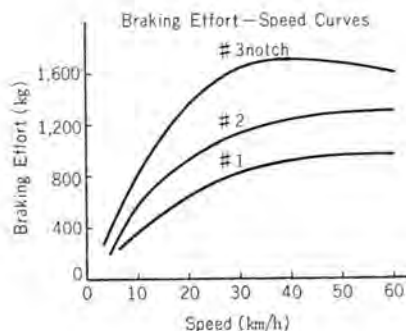
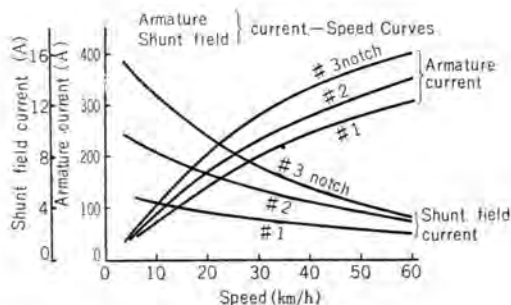


Fig. 3.3 Braking characteristic curves.

Motor type	MB-1442-N 2	Gear Ratio	11.65
Tires	1,020 mm	Line Voltage	DC 600 V



(9) 制動転換器は 力行ステップ の位置に関係なくただちに制動回路に転換できるので非常制動の場合の応答が早く、運転が安全に行なえる。

(10) 制御回路電源は短絡用 カムスイッチ の駆動が空気シリンダ方式のため、小容量のもので良く、M-G を使用しない場合は架線から抵抗器で分圧して制御電圧を得る方式で十分である。

この制御装置の代表的な 主回路ツナギ、力行ノッチ 特性曲線および 制動ノッチ 特性曲線を図 3.1～図 3.3 に示す。

つぎにこの制御装置の動作の概要はつぎのとおりである。

3.1 力 行

力行は 力行ペダル を踏むことにより on, off 2 個の電磁弁を装備した 空気シリンダ操作 の カムスイッチ が限流継電器の支配により起動用抵抗器および直巻界磁の弱め率を自動制御する。

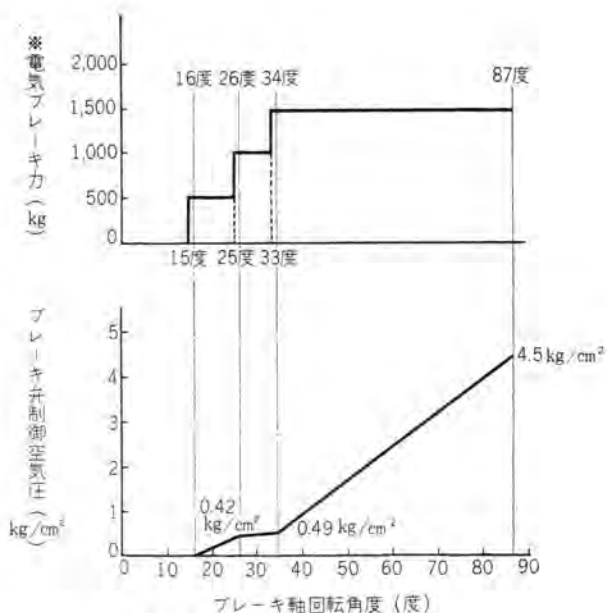
この限流継電器は ステップ 刻みの時に主電動機の分巻界磁巻線に誘起される電圧で引上作用を加勢される構造となっているので動作が敏感で正確な ステップ 刻みが得られる。また 力行ペダル の踏み込み量により限流継電器の限流点が変わり、任意の加速度が得られる。この力行ペダル をゆるめると ステップ は戻り力行回路に順次抵抗が挿入されて ショック のない力行 off が得られる。

3.2 制 動

制動抵抗の一部で電機子電流と分巻界磁電流を合流させてあり、高速で電機子電流が大きい時はこの電流により合流部分の抵抗の電位差が大きくなるので架線から励磁されている分巻界磁電流は少ない状態にあり、速度が低下して電機子電流が減少してくるとこれに応じて分巻界磁電流が増加し、これによって広範囲の速度に対してほぼ一定の制動力が得られる。

停車寸前になれば分巻界磁電流が増しても界磁束は飽和のためにそれほど増加しないので電制力は次第に小さくなり スムース な停車が得られる。

この制動中は完全な ステップレス で器具の動作もなく非常になめらかな制動となる。この分巻界磁回路は停車して電機子電流がなくなれば界磁開放継電器の作用により架線から切離されるので停車後 制動ペダル を踏み続けても分巻界磁電流が流れ続けることはない。制動ペダル の踏み込み加減によりこの制動力の大きさが 3 段階に選択できさらに大きな制動力を必要とする時は 制動ペダル をいっそう深く踏み込むことにより、これに応じた空気制動が電気制動に関係なく作用し、電気と空気の両制動が同時に作用する。この関係を図示すれば図 3.4 のとおりである。



主電動機 MB-1442-N 2 形
 タイヤ径 1,020 減速歯車比 1 : 11.65
 線電圧 600 V 車速 22km/h

図 3.4 制動ペダルと電制力および空制力の関係
 Fig. 3.4 Diagram showing relation between braking pedal angle and dynamic of pneumatic braking effort.

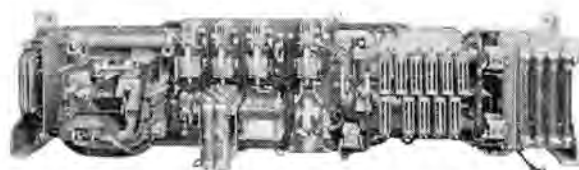


図 3.5 制御器板
 Fig. 3.5 Control panel.

つぎに主要器具である制御器板を図 3.5 に示す。この制御器板には主幹制御器、断流器、抵抗短絡用 カムスイッチ、制動転換器、限流継電器、分巻界磁接触器、過負荷継電器、界磁開放継電器、電圧制限器、分巻界磁回路抵抗器、制御抵抗器を納めてある。

主抵抗器には 鉄クロムリボン形 抵抗体を使用し耐振的で、長期の使用においても抵抗値が変化しない。

4. ブレーキ装置

この ブレーキ 装置は安全、確実かつ操作容易な直通式空気ブレーキであって 発電ブレーキ と容易に併用できる トロリス用 MB-2 形 ブレーキ 装置である。

この装置には UH-10 A 形空気圧縮機と S-16-C 圧力加減器を有し、ブレーキ制御は足踏式で ブレーキ力 を増減する。R-11 形 セルフラッピングブレーキ弁 を有するので、ブレーキの急速なるゆるめおよび作用が 手動ブレーキ の場合と同様に行なわれ、また主幹制御器 ブレーキ軸 をブレーキ弁 カム軸 に組合わすことにより、電気ブレーキ が容易に併用される。

この装置に使用する部品の配置は図 4.1 に示す トロリバ

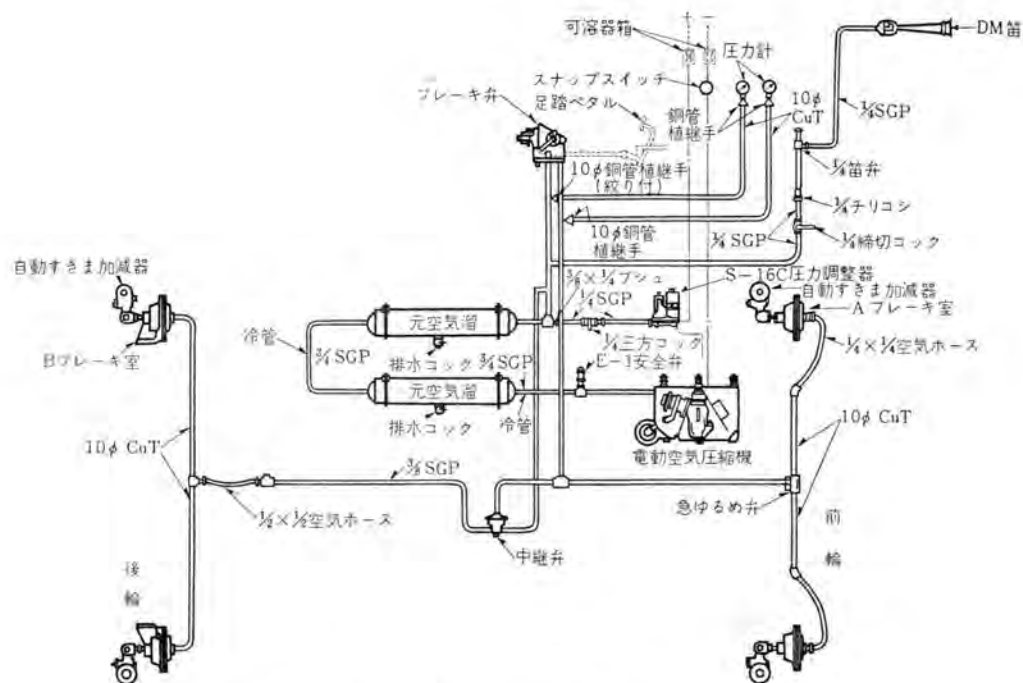


図 4.1 MB-2 ブレーキ 装置配管 ツナギ
Fig. 4.1 Piping connection of type MB-2 brake equipment.

ス配管図のとおりで、これら主要部品の機能、構造についてつぎにのべる。

4.1 UH-10A 形電動空気圧縮機

本機の特長は

(1) 小形かつ軽量である。

本機は小形電車および無軌道電車用として設計されたもので、圧縮機は電動機より高速回転で直接駆動されるので、小形でかつ軽量である。

(2) 効率が良い。

吸入弁、吐出弁とも作動遅れの少ない板弁を使用し、かつすきま容積を小さくして容積効率を良くしてある。

(3) 潤滑油の消費量が少ない。

ピストンに2本の油かきリングを設けてあるのでシリンダ内に油が浸入しない。

また、油ポンプを使用しているので油面に関係なく各運動部分へ常に一定の油圧で一定の油量を強制給油できるので焼付きの心配がなく、かつ油の浪費がない。

(4) 振動が少ない。

振動を少なくするため圧縮機の運動部分は極力軽く設計してあり、かつつり手は3点支持方式を採用し、車体に振動が伝わらないように防振ゴムを挿入してある。

(5) 点検、手入れがしやすい。

各部の点検、手入れがしやすいようにとくに留意しており、電動機は整流子端に大きな窓を設けてあるので点検、手入れおよびブラッシュの調整が容易にできる。

本機の形式および容量はつぎのとおりである。

本機は電動機と直結して圧縮機を駆動する3シリンダ単最近の トロバス・正木・宮内

動で吸排弁は板弁になっている。

電動機部分と圧縮機部分は別々に組立て、電動機部分は クランク軸 端に直接取付けられる。

また、この圧縮機は 防振ゴム付 のつり手で3カ所でつり、吸入側口にはチリコシが取付けてある。このチリコシは大きなジョアを取り除く巻毛と細かい粒子のジョアの流入を防ぐ一層のフェルトからなっている。

4.2 R-11 セルフラッピングブレーキ弁

このブレーキ弁は足踏みペダルで操作されるものでブレーキペダルの移動量によりブレーキシリンダ圧力を自動的に維持するセルフラッピング式構造になっている。ブレーキ弁作用テコ(ブレーキロッドによりブレーキペダルに連絡される)の作用位置は約87度の間で全ゆるめ、全ブレーキ位置をとる。

4.3 中継弁

元空気溜溜空気をブレーキ弁の操作によりブレーキ室に供給するために用いられる。すなわちブレーキ弁の作用およびゆるめ操作を中継し、ブレーキ弁により供給されたと同圧のブレーキ室圧力を与える。供給、排気ともに大きな容量を有しているため、ブレーキ室の大きさおよび数にかかわらず急速な作用およびゆるめを行なうことができる。

4.4 急ゆるめ弁

前輪のブレーキ室に込められた直通空気管空気を急速に排気するためのものでこの作用はつぎのとおりである。

ブレーキの主要な2方式は電気ブレーキと空気ブレーキで、

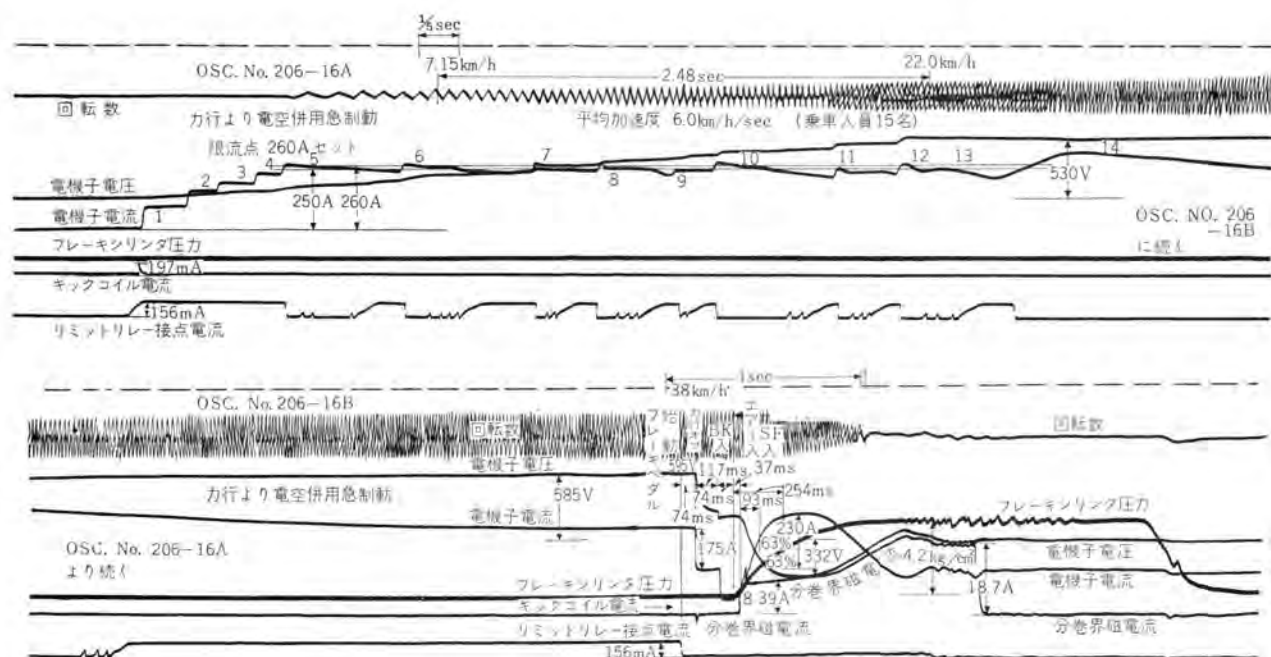


図 4.2 現車試験
Fig. 4.2 Trolley coach field test.

ブレーキペダルの一動作で作用する。ペダル1段から3段までは電気ブレーキが主でこの角度以上になると空気ブレーキ力が追加されるが、3段までは図3.5のようにわずかの圧力空気がブレーキ室に込められる。すなわちブレーキ弁から直通空気に圧力空気が供給され前輪ブレーキ室は急ゆるめ弁を通り直接込められ、後輪ブレーキ室は中継弁を通り直通空気が制御圧力となって込められ、空気溜の圧力空気が供給される。

ブレーキ弁作用テコがゆるめ位置方向に移れば直通空気が管圧力はゆるめられ、前輪ブレーキ室は急ゆるめ弁を経て直通空気が管圧力と同圧まで急速にゆるめられる。後輪ブレーキ室は同様に中継弁を経てゆるめられる。

5. む す び

ほかの交通機関と共用の路面を走るトロリバスとしては一般の自動車やバスと同等以上の性能を持ち、操作が容易で安全に運転が行なわれることが必要である。このために専用の軌道を有する一般の電気車とは異なった機能も必要となる。

これに対し前述のように新たなトロリバス専用の機器と制御方式によりこれに答える制御装置を完成し、現在京都市交通局および大阪市交通局に多量に納入してすぐれた運転実績をあげている。さらに今後も引続いて多量の受注が予測されている。

最近登録された当社の実用新案

区 別	名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	所 属 場 所
新 案	ケイ光灯器具の反射板取付装置	35-10-27	522596	山下源一郎・西山 貞	大 船
"	二重料金制積算電力計用 タイムスイッチ	"	522597	加藤義明	福 山
"	インバータ	"	522598	河合 正・杉本盛行	研 究 所
"	フライホイール型 マグネト	"	522599	藤田隆徳	姫 路
"	真空掃除機の吹込金具	"	522600	祖父江常雄・飯塚 保	菱 電 機 器
"	電気車制御装置	35-10-31	522601	北川和人・湯浅倬史	本 社 ・ 伊 丹
"	フライホイール型 マグネト	"	522602	藤田隆徳	姫 路

WNドライブ電車電動機および駆動装置の進歩

伊丹製作所 内 海 権 三*

Progress in WN Drive Traction Motors and Gear Unit

Itami Works Gonzō UTSUMI

Eight years have elapsed since the introduction of WN drive traction motors and gear units developed in America. Together with the adaptation of the original design, special conditions in Japan have brought a trend of increase in output from the development of narrow gage WN drive and demands of combination of trailers with all M composition. Further this system has been applied to large sized electric locomotives, diffusing to all lines of electric vehicles. The writer has made a descriptions on this history and efforts made by Mitsubishi, in the hope of paving the way to the betterment of devices.

1. ま え が き

WNドライブ 電車電動機および駆動装置は、現在わが国電鉄界各方面よりご愛顧をいただき、昭和35年11月現在、電動機だけで製作中のものを含み3,016台に及んでいる。最近は高速度電車用だけでなく、さらに大形電気機関車用にも発展させることができた。ここに代表的ものの開発の経過を二、三ふりかえって見ることにして、精細については、すでに発表された資料、パンフレットなどを参照されたい。

2. 標準軌用 WN ドライブ 電車電動機と 駆動装置のわが国への導入⁽¹⁾

WNドライブの名称は、すでにご承知の方も多いと思うが、Westinghouse 電機会社（以下W社と略す）のWと、駆動装置を製作した Nuttall 歯車会社（現在はW社に合併されている）のNをとって命名した駆動方式であって、1925年に初めて製作されたもので、以後電気車用高速度電車電動機の開発とともに改良を加えて、ついに

1948年 ニューヨーク 地下鉄に750両採用されるに至り、現在 アメリカ では電車用台車装架駆動方式として圧倒的に多数使用されている。

わが国においては、帝都高速度交通営団が、いち早くその優秀性に着目され、おりから W 社との技術提携を再開した当社に、電動機、制御装置、制動装置などとともに ニューヨーク 地下鉄道の最新のものと同一のものを31両分発注されたのは、当時わが国電鉄界に画期的な刺激を与えたものである。当時としては アメリカ の技術の消化について設計はもちろん、材料工作法にわたって慎重な研究努力を重ねて、新たに国産品を開発すること、当時の国産品を特別に改良すること、工作法にもっとも多くの努力と日時を費した。この尊い研究努力の成果が1954年1月納入後の実績として見事にみどり、引続きご愛顧をいただいている次第である。またこの経験は以後の開発、改良の方法の基本として残され、当社高速度電車電動機はもちろん、車両用回転機設計、製作のすべてにおり込まれることになった。

当時問題になったことの中から拾って見ると次のようである。

2.1 WN 駆動装置

アメリカ どのりの材料と熱処理は行なえないので、精度がよく円滑な歯車のかみ合いが期待できるかどうかを心配した。

テーパローラーベアリングは従来電動機に使用した経験なく、台車には使用されていたが、最高4,000 rpmの電動機で回転されるピニオン軸に使用されたものはなかったので、チムケンローラ形 のものを輸入せざるを得なかった。その後は国内ベアリングメーカーの努力により相当品ができ、現在ではすべて国産品を使用することができるようになった。

潤滑油は W 社仕様のものをスタンダード・バキューム 社より購入して現在に至っている。

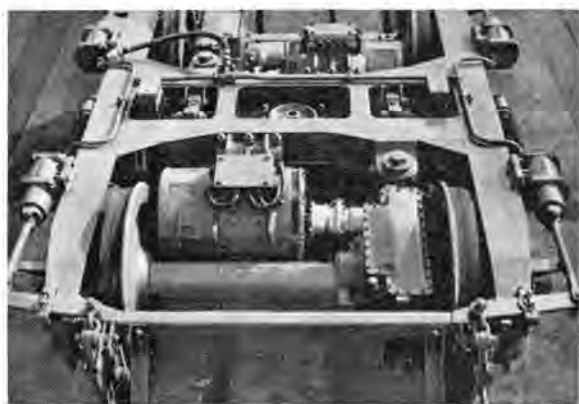


図 1.1 WN ドライブ 電動機および駆動装置
Fig. 1.1 WN drive traction motor and gear unit with coupling

* 技術部電鉄課副課長

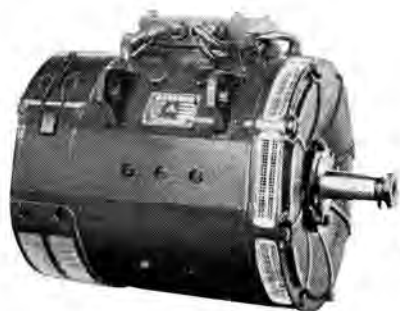


図 2.1 WN ドライブ
高速度電動機
Fig. 2.1 WN drive
high speed motor.

2.2 高速度電動機

1 時間定格 75 kW 300 V 280 A 1,200 rpm (弱界磁)

(1) 弱界磁定格の意味が最初よくわからなかったが、従来の全界磁、弱界磁の意味とは違い、誘導分路で弱界磁を行なうため、適当な弱界磁のところで定格を決めることができ、実際の運転に適合した合理的・経済的なものであることが判明した。当時規格委員会などでもしばしば反論を受けたものであるが、今日では常識となってしまった。

(2) スピード・レシオが高いので、電動機の軸受についても小形で、しかも高速回転のものを使用しているので、とくに リテーナ の材質、工作法については ペアリングメカ に無理をいって、精度も上級のものを作ってもらい、JIS が決まるまで Hs 規格として購入して来た。

(3) 激しい ダイナミック・ブレーキ にとくに適する電動機 (定格電圧の 250 % の過電圧に耐える設計) とするため 300 V の低電圧として、パーセントを大幅に下げ、電車電動機として初めて 均圧コイル、重ね巻を採用した。

(4) ウェッジ 材料は、高速度の遠心力に耐え、枯れによってゆりみを生じないように ガラス布 ベースにした。これは最初積層後、所定の寸法に バイト 仕上げしていたが、相手が ガラス なので バイト の消耗が多くて困った。スシ巻 モールド法 にして解決した。

(5) 電機子 コイル素線絶縁 は 二重ガラス巻線 であったが、当時 ガラス繊維 の細くてじょうぶなものが得られず、また屈曲強度、耐圧が悪く、何回か電線 メーカー に試作してもらってようやく アメリカ 並のものが得られた。

(6) 絶縁材料 薄くて耐圧、耐熱性の良好な材料仕様であったが、これと同等のものを作らなければ、とうてい高速度電動機が成立しないと考え、当社内であらゆる種類の絶縁材料の試作研究を行ない、全力を集中して開発に努力した。

合成樹脂工業のまだ幼稚な時代であったわが国として、合成 ワニス原料 の入手にもっとも苦労したが、試作品が アメリカ 製品と同一であることを確認するため、アメリカ より輸入せざるを得ないものもあった。いわゆる完全 B 種

絶縁と称するもので、基材として アスベスト・マイカ などの無機質絶縁物を、接着剤および処理用 ワニス としてフェノリック・アルキッド系 の合成樹脂を主成分として用いるもので、当社の完全 B 種絶縁の標準として用いられ現在に至っている。

(7) ファン 従来用いていた鋳鋼製の ファン で鋳巣、ヒケ になる内部応力のための破損に悩まされていたわれわれは、4,000 rpm もの高速で回転する電動機内で、軽合金鋳物を採用することは、目新しいものであり、軽量化の意味にも万全を期した。そして欠陥の検出のために各部の回転中の応力を ヒメシ計 で実測し、材料の機械的強度、形状、鋳物工作法の研究を行ない、初期は全数回転試験を行なって欠陥の有無を確認した。

(8) カーボンラシ 当時国産品で欠損、サイドウェア の問題を経験していたので、高速度電動機で、しかも過酷な電気ブレーキ 時の整流を良好に確保できるものが国産品にあるかは疑問であったので、客先のお推めもあって、W 社 カーボン を輸入して使用した。しかし高速度電車電動機の生命はあくまで整流の良好なことであることを確信していたわれわれは、早く外国製品以上の国産品の開発の必要性を痛感し、直ちに国産 カーボンメーカー のもっとも推奨するものを入手して基礎的性状、整流特性の比較試験を行なった。いずれも W 社 カーボン とは相当な特性の開きがあり、原料系の変更をやらない限り、早急には解決できそうには思えず、また一方 カーボンメーカー として

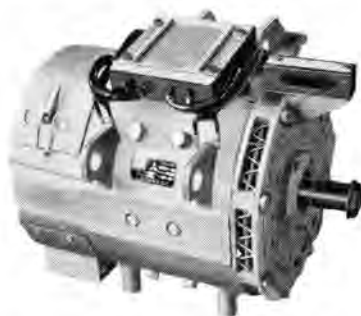


図 2.2 標準軌用 WN
ドライブ 125 kW 電車
電動機
Fig. 2.2 125 kW trac-
tion motor for WN drive
of standard gauge.

も製造工程を変更することになり、相当の犠牲を払う覚悟で特別の共同研究を必要とした。幸い相当の成果をあげる結果となり、その後の種々の高性能の電車電動機の開発にも好成績をあげることができた。

(9) その他沢山あるが紙面の都合上割愛する。

3. 狭軌高速電車用 WNドライブの実現

上述のように、広軌電車用の WN ドライブ 電動機および駆動装置は、他の方式の追従を許さない信頼性をかち得て来た実績をもとにして、研究の結果、軸方向寸法の大幅の短縮が技術的に可能となり、昭和 31 年度に 富士山麓電鉄に 55 kW 電動機、長野電鉄に 75 kW 電動機

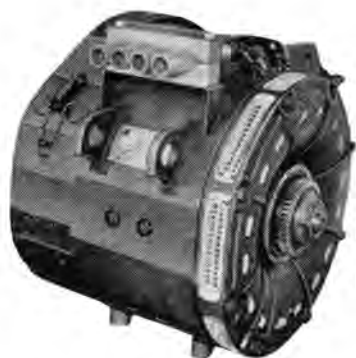


図 3.1 狭軌用 WN ドライブ
120 kW 電車電動機
Fig. 3.1 WN drive 120
kW traction motor for
narrow gauge.

を駆動装置とともに納入して以来、小田急電鉄、近鉄南大阪線 90 kW、昭和 34 年度には小田急電鉄 HE 車用として狭軌電車用台車装架式高性能電動機として、わが国最大容量の 120 kW WN ドライブ 電動機を納入した。⁽²⁾ HE 車に要求された高加減速用のものについては、容量的にも、性能的にも一段と進歩を促したが、

3.1 主電動機として設計上とくに考慮を払ったのは次の点である

(1) 軸方向短縮のため電機子および整流子直径は比較的大きくなり、最大周速も限度いっぱい値に近くなるので、回転部は機械的に強固にした。

(2) 高率弱界磁 (35 %) 運転および高速電気制動時に安定した整流を確保するため、比較的弱電機子、強界磁とし、構造上不利な補償巻線は設けなかった。

(3) 電気制動時の最大許容端子電圧を定格の 2.8 倍にとっても、フラッシュオーバーの防止をはかるため、セグメントマイカは 1.1 mm 厚を使用した。(通常は 0.8 mm である。)

3.2 WN 駆動装置として設計上考慮を払ったのは次の点である

(1) ギヤユニットは高加減速用に大歯車比 6.13 を採用したので、ピニオン軸の油切りの構造を改良して、歯幅を増大したにもかかわらず、軸方向寸法の増大を最小限にした。

(2) WN ギヤカップリングは、大きいトルク伝達のために、従来の狭軌用標準形にくらべて 1.5 倍の容量をもった新製品とした。

4. F 種絶縁の実現

極度にぎりつめられたスペース的制限を受けて、容量的にも限度に達したかに見える現在、絶縁としてシリコンワニスを使用した H 種絶縁を採用し、温度上昇も IEC の 180°C の温度上昇限度まであげて設計しないかとの質問をよく受けるが、

(1) 界磁 コイル については、大した問題はないように思われるが、口出部のクリーページの不足が、コイルの小

形化するほど問題となる。

(2) 電機子については、まず電機子導体の整流子ライザ部の接続が問題である。また電機子コイル導体の熱膨張によって絶縁層とのズレの問題が生ずる。また温度上昇を高くすると抵抗損失の増大となり、電動機の能率の低下をきたすこととなる。

最近完全 B 種絶縁と H 種絶縁の中間の F 種絶縁の採用によって、対地絶縁の固化を行ない、温度上昇は低下し、結果的には現在の H 種絶縁と十分対抗しうるものが得られた。とくに電車電動機のように外部からの汚損のほうも、温度上昇より以上に絶縁寿命上の問題となりうる場合には、明らかにエポキシコイルのほうがシリコンコイルよりもすぐれているといわれている。帝都高速度交通営団日比谷線に納入した MB 3054 A 形電車電動機 (75 kW) の界磁コイルには全面的に採用した。

エポキシ絶縁には一連のレジンが存在し、そのそれぞれが自々独得の性質を持ち、これがまた変成剤や共重合反応剤を添加することによって種々変化する。したがってマイカレジ ン絶縁方式で理想的な結果を得るには、レジ ンおよびレジ ンの組合せの選定に注意し、これを正しく調合し、適切な処理法を用いてコイルに施すことが必要である。

現状ではエポキシレジ ンのポットライフが短いのが最大の欠点で工作上問題であるが、合成樹脂工業の進歩の早い現状では、この問題も案外早く解決されるものと期待している。

5. 大形電気機関車用 WN ドライブの実現

インド国鉄向けイグナイトロン電気機関車用に製作した超大容量の WN ドライブ 電車電動機および駆動装置は世界にその例を見ないものとして世の注目をあびているものである。出力連続定格 525 kW は、当時当社の実績は最大 400 kW であり、軌間は 1,676 mm で、標準軌より 241 mm 大きいので、WN ドライブ方式を採用したが、何分大容量であるため設計的には相当苦しいものとなった。



図 5.1 大形電気機関車用 WN ドライブ 525 kW 電車電動機
Fig. 5.1 WN drive 525 kW traction motor for
large electric locomotive.

た、制限を受けた項目を列挙すると、

(1) 車輪径 1,090 mm に対して車両限界が 102 mm (日本国鉄では パネ下 60 mm パネ上 85 mm) と大きいので、大歯車の直径が大きくとれず、歯車中心距離も制限されて、モータの直径も 810 mm と小形にしなければならなかった。

(2) 温度上昇は インド のような高温・高湿地向けのため IEC 規格より -20°C の制限をうけたため

電機子 F 種 $140^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}=120^{\circ}\text{C}$

界磁 H 種 $180^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}=160^{\circ}\text{C}$

となり、最高級の絶縁を使用しながら、一段下の絶縁に相当する温度上昇限度の制限を受けたことになり、設計的に苦しいものとなった。

(3) 風出口は防水上下半分をふさぐことを要求され、したがって通風効果が悪く電機子および界磁 コイル の温度上昇が苦しくなる。

(4) 電機子温度上昇は、従来日本の規格が停止後 2 分の値をとっていたのに対し、IEC 規格は 30 秒後より測定をはじめ、停止後の値を推定することになっているので、従来の方法で推定していた温度上昇より 15°C くらい低くなるように設計する必要があること。

WN ギヤカップリング も画期的な大容量の伝達能力を必要としたので、数種の材料を手配してそれぞれに適合した熱処理を行なって、最良のものを選定して量産を行なったものである。

潤滑油については、従来電車用には前述のように スタンダードバキューム社 の製品を使用しているが、油膜強度を四球式試験機によって検討した結果、WN ギヤカップリング 新製時の ナジミ 運転には潤滑に対して速効性の パーダル油 を使用して、初期の焼付を防止し得た。なお長期における潤滑性能については今後の実績を見ないと何ともいえないが、この方面の潤滑油の基礎的研究も早くから手掛けてある程度の見通しを得ている。

6. WN ドライブ の応用

日本国鉄関門ずい道用 EF 301 形 交直両用電気機関車⁽³⁾は昭和 35 年 3 月に完成したが、これに採用した 1 電動機 2 軸駆動の方式は、WN ドライブ を応用したもので、まったく新しい構想によるものである。すなわち主電動機の動力を 2 方向にわけけるために伝導歯車装置を軸端にとりつけ、主電動機に固定されるのでパネ上になる。また車軸には減速装置をとりつけるのでパネ下で、両者のピニオン軸を互に対抗する位置に配置して WN ギヤカップリング で連結したものである。

この主電動機は 1 台車 1 電動機方式のため一般の場合

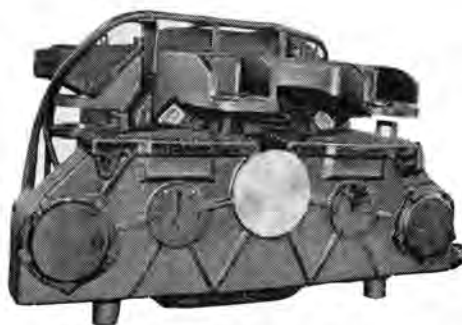


図 6.1 大形電気機関車用伝導 ギヤユニット
Fig. 6.1 Transmission gear unit for large electric locomotive.

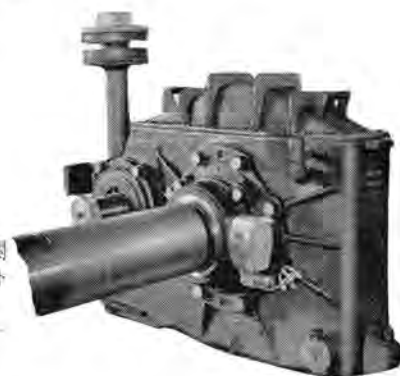


図 6.2 大形電気機関車用 WN ギヤユニット
Fig. 6.2 WN gear unit for large electric locomotive.



図 6.3 狭軌大形電気機関車用 600 kW 電車電動機
Fig. 6.3 600 kW traction motor for large electric locomotive of narrow gauge.

の 2 台分の出力が要求され、出力は 1 台で 600 kW (1 時間定格) で電圧は 1,500 V のため大容量機にもかかわらず 4 極とし、なお外形寸法上の制約を受けて、国鉄在来の直流電気機関車用 MT 42 形主電動機 (325 kW) と同程度にきりつめた。

主電動機は台車に組立てられた状態において台車構造および引張力伝達装置の重要メンバをなすもので、つには引張棒取付座および引張力を伝達する場合、ヒズミを最小にするための補強、また車軸に装備した減速装置のツリ座などが設けられていて重量としては大きい。上記のメンバを除いた主電動機だけとしての重量は、4 極 600 kW 機として十分軽量化をはかったもので、絶縁は電機子完全 B 種、界磁は F 種で、風量 $130 \text{ m}^3/\text{min}$ 、定格回転数 1,000 rpm、試験高速回転数は 2,150 rpm で

ある。

7. WN ドライブ 電動機および駆動装置の 軽量化と SSRP の増大

電車電動機の定格回転数をあげれば小形軽量化されることは明らかであるが、それだけで電動機の進歩の判定基準とすることはできない、電車電動機は低速度の定格が必要（起動トルク大）であるとともに、さらに定格速度の2～4倍の範囲の最高速度で運転される能力をも要求される、高速度電動機の進歩を評価する一つの尺度と

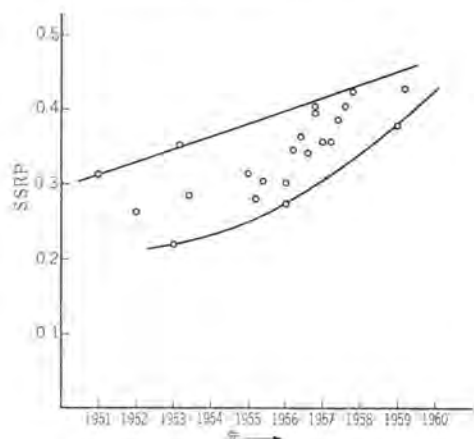


図 7.1 電車電動機 SSRP の進歩
Fig. 7.1 Progress of "SSRP" of traction motors.

して、スピード・レシオ・パワー（略して SRP という）が用いられており、さらに電動機重量の因子を加味した単位重量当たりの SRP で表わしたものを、スペシフィック・スピード・レシオ・パワー（Specific Speed Ratio Power）と称して次の式で表わされる。⁽⁴⁾

$$\text{SSRP} = \frac{\text{最高許容回転数}}{\text{定格回転数}} \times \text{定格容量} \times \frac{1}{\text{重量}}$$

当社の WN ドライブ 電車電動機の進歩の推移を図 7.1 に示す。かくして得られた小形軽量化の傾向を、従来の釣掛式電動機と参考までに比較したものが図 7.2 で、電動機の大容量化とともに重量減がきわめて大きく、資材の大幅の節約となることを示している。

8. む す び

電車電動機および駆動装置は、電気車の原動力をなす

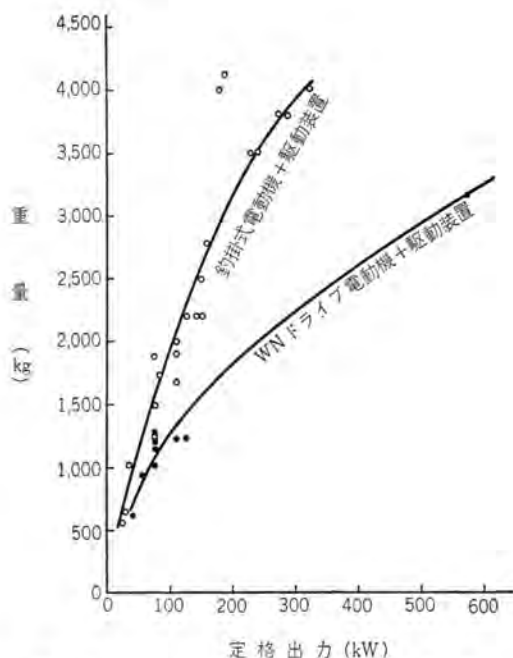


図 7.2 電車電動機および駆動装置の重量比較
Fig. 7.2 Comparison of traction motors and driving units.

ものであって、また電気車の性能を決定するものである。一大転機をもたらすような革新は一朝一夕にして現われるものではなく、まして机上の計算とか思いつきだけで成果のあがるものではない、そこには長年の地味な設計、材料および工作面での研鑽の上に立って初めて実を結ぶもので、今日の WN ドライブ 電車電動機および駆動装置の発達をもたらされたものである。

今後さらに各方面のご愛顧とご鞭撻、ご指導によって、WN ドライブ の順調な歩みを続けるとともに、新しい駆動方式を生み出す基礎として、さらに優良な製品の完成を期したいと念願している。

参 考 文 献

- (1) 佐藤久数：MB-1447-A 型電車電動機および WN 式駆動装置、「三菱電機」、27, No. 12, p. 27 (昭 28)。
- (2) 浅越泰男 他：小田急電鉄 HE 車用電機品および空制装置、「三菱電機」、34, No. 7, p. 13 (昭 35)。
- (3) 浅越泰男他：関門ずい道 EF 301 形交直両用電気機関車、「三菱電機」、34, No. 10, p. 69 (昭 35)。
- (4) 松田新市著：高速度電動機と駆動装置, p. 13 (昭 33-6 刊)。

車両用単相交流整流子電動機

伊丹製作所 河村 寿三*

Single Phase AC Commutator Type Traction Motors for Electric Coaches

Itami Works Toshimi KAWAMURA

As a means for AC electrification of railways rectifier type locomotives have been widely acknowledged as a result of wonderful achievements on Senzan line of the Japanese National Railways. However, application of single phase AC commutator type traction motors are not to be made light of depending on the cases. Mitsubishi has built 150 kW commutator motors for trial operation in a northern Kyushu district and also 170 kW units for use on electric coaches of new Tokaido trunk line. They have merits and demerits in comparison with rectifier type apparatus. If proper application is made in consideration of circumstances, advantages of commutator motors offset various drawbacks.

1. ま え が き

交流電動方式の一つに、いわゆる直接式と呼ばれるところの単相交流整流子電動機式があり、整流器を必要としないことがその特長である。当社でも北九州向けの直接式電車用主電動機に、150 kW の容量を有する交流整流子電動機を試作し、また東海道新幹線電動列車用としての整流子電動機も 170 kW の容量のものを試作した。



図 1.1 交流専用電車 クモヤ 793-1

Fig. 1.1 AC electric coach. (KUMOYA 793-1)

このほか研究用として小容量のものも製作して、種々研究を重ねて来たわけであるが、一応交流電動方式としての直接式に対して概念が得られたのでここに述べる。

2. 研 究 経 過

わが国最初の交流電化はいうまでもなく国鉄仙山線において始められ、その粘着性能のすばらしさにおいて整流器式の右に出るものはなく、機関車のようにその重量が設計上できわめて大きなポイントを占めるものでは整

流器式が大きくクローズアップせられたが、一方電車用のように粘着性能がさして問題にならず、回路が簡単になる点ではむしろ整流子電動機式が研究の対象になって来た。当社では整流器式と同時に整流子電動機も小容量機を設計試作して研究し、直流機と根本的に異なるところの変圧器起電力から設計を出発して機械の電気装荷と磁気装荷のバランスをとること、および変圧器起電力をなるべく小さくするために多極、したがって低電圧大電流機械になるために極およびコイル構造さらにラジ装置に種々検討を加え、当社独自の技術を開発して、北九州向けには、世界でも最初の 60 サイクル単相交流整流子電動機式 150 kW 電車電動機を試作完了し、現在北陸本線において実走行による長期試験が行なわれている。

この電動機の仕様は

形 名	MB-5001-AV
形 式	丸形、台車架装式、他力通風、中空軸式 平行カルダン駆動
方 式	単相 60 c/s、直巻補償補極分路式、



図 2.1 MB-5001-AV 形主電動機

Fig. 2.1 Type MB-5001-AV AC traction motor.

一重重ね巻
極 数 8
定 格 200 V
(1 時間) 1,030 A

2,280 rpm (試験回転数 4,100 rpm)

であって変圧器起電力は 3 V に選ばれており、直流機に比べると比較的シビアな設計値がとられているにかかわらず、温度試験では大体満足すべき結果を得た。またベクトル図から見てわかるように、60 c/s の電流に対してもおお満足すべき力率を示した。

この電動機設計上の問題点は、与えられたスペース内でいかに磁気回路の飽和を少なくし、またいかに強大な整流子を作るかということに集約された。この種の電動機



図 2.2 ブラシ装置と鏡フラ (MB-5001-AV)

Fig. 2.2 Brush gear and end plate. (MB-5001-AV)



図 2.3 電機子 (MB-5001-AV)

Fig. 2.3 Armature. (MB-5001-AV)

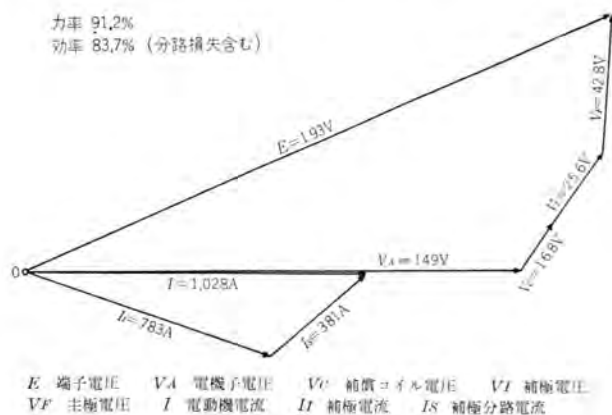


図 2.4 ベクトル図 (MB-5001-AV)

Fig. 2.4 Vector diagram. (MB-5001-AV)

では鉄心部よりも整流子部が長いという傾向をもち、しかも高い回転数に耐えるためには予想以上にがんじょうな構造を必要とし、スプリングワッシャタイプでしかも合金鋼を重点的に用いてこれを解決した。また固定子鉄心の形状に意を用いて磁気飽和を少なくし、またコイルはフォームドコイルとして鉄心ミジにおさめ、コイル形状やツナギにも留意して組立ての容易化とコストの低減をはかっている。整流子電動機はやはり直流機と異なって変圧器起電力があるためにブラシの損耗がはげしいようで、また直流機の数倍の個数を有するために、保守上しばしば問題となりやすい。また補極分路における電力損も決して少なくないところから効率が落ちやすいのが欠点である。

つぎにクロスアップせられて来たのが東海道新幹線の電動方式で、これは別線で標準軌でもあるし技術的に自由度も高く、また再生制動によって制動機器も節減できる可能性があるところから、整流子電動機式が最初に技術的テーマとして取り上げられた。容量は検討の結果 170 kW が適当と認められたので、自己通風で設計が進められ、また磁気装荷を上げるための手段として、電機子は二重重ね巻とし、しかもツナギ結線 (第二種均圧線) 付の対称巻とし、仕様は

形 名 MB-5002-A

形 式 丸形、台車装架式、歯車式継手平行カルタ駆動

方 式 単相 60 c/s、直巻補償補極分路式、対称二重重ね巻

極 数 6

定 格 200 V

(1 時間) 1,300 A

2,300 rpm (試験回転数 3,820 rpm)

のもので電車定格速度は 175 km/h にとられている。この電動機は 6 極機であるにもかかわらず 1,300 A の電流

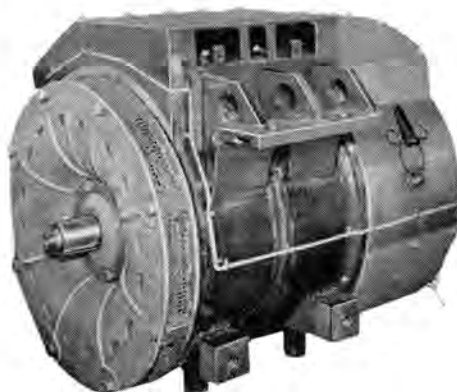


図 2.5 MB-5002-A 形主電動機

Fig. 2.5 Type MB-5002-A AC traction motor.

を集電する整流子とするために、整流子やブラシの設計はきわめてシビアにせざるを得なくなり、また一方磁気飽和もある程度犠牲にして与えられたスペースに入れる必要が生じた。また再生制動の条件も、きわめて小さな歯車比（約2あまり）にもかかわらず保安上大きな制動力が要求せられ、したがって電動機の再生回転力は定格の300%を上回り、また再生電流も180%を上回る結果となり、電動機の信頼性の上から各特性値の協調がきわめて重要な命題となった。したがって従来の設計技術ではこの命題にこたえることは困難であって、温度上昇、整流の条件はある程度協調を保って犠牲にして、さらに強大な整流子とブラシ装置、磁気回路の飽和度、補極の分路条件、変圧器起電力の低減化を検討して現在の姿の電動機が誕生したわけである。

この電動機は磁気装荷が高いためにリアクタンス降下が大きく、またしたがって補極磁気装荷も高いために分路損失も非常に大となり、力率、効率ともに相当要化することはいえない。力率、効率が磁気装荷によって大きく左右されることは一般の直流機と若干傾向を異にする。

3. 設計技術

整流子電動機が一般直流機と非常に異なった要素を持っていることは、前項でも述べたように変圧器起電力が存在することであって、これは電動機の回転数に無関係であることをその特長とする。したがってこの変圧器起電力をいかに克服するかが設計製作技術のすべてであるとさえいわれているほどであって、特性値の根元はすべて変圧器起電力に集約される。

変圧器起電力 e_t は

$$e_t = \frac{p}{a} \times 4.44 f w_a \phi \quad [\text{V}] \dots\dots\dots (3.1)$$

ただし

- p 極数
- a 電機子コイル並列回路数
- f 電源周波数 [c/s]
- w_a 電機子コイル素の巻数
- ϕ 1極当たりの磁束数 [Wb]

で表わされるから変圧器起電力 e_t を小さくするために ϕ が小さくなり、したがって全磁気装荷 $\Phi = p\phi$ がある程度要求せられるときは p すなわち極数が大きくなり、したがって極ピッチは小さく、ブラシ保持器数も大きくなり、また電機子誘起電圧 E を与える式において

$$E = \frac{p}{a} Z \frac{n}{60} \phi \dots\dots\dots (3.2)$$

ただし

- Z 電機子全有効導体数
- n 毎分回転数

ϕ が小さくなるところから E が低く、いきおい大電流機械となる。

このように基本式においてすでに変圧器起電力の影響を見ることができるわけであるが、式 (3.1) と式 (3.2) とを組合せて出力方程式を作ってみてもきわめて興味ある事実を知ることができる。

すなわち ($w_a = 1$ とする、以下同じ)

$$P = EI = A \phi \frac{n}{60} = \frac{a}{4.44} e_t A \frac{n}{60}$$

$$= \frac{m p}{4.44} e_t A \frac{n}{60} \dots\dots\dots (3.3)$$

ただし

- P 電機子の電氣的入 (出) 力
- I 電動機電流
- A 電機子全電氣装荷 ZI/a
- $m = a/p$

が得られ、直流機の A と Φ の配分は e_t と A のバランスに置きかえることができる。

ここで e_t のほかにブラシバリンク β を入れて設計特性値との関係を見ると、概念的に βe_t はブラシ両端における変圧器起電力と考えることができるわけであるがこれを導入して設計特性値との関係を見ると次のようになる。

$$q = \frac{2 f T Z b_b}{m p \beta e_t \cdot D_a D_k}$$

$$l_b = \frac{4 \pi f T}{p \beta e_t \cdot D_k \rho_b}$$

$$E = \frac{n \beta e_t \cdot D_k}{60 \cdot f b_b}$$

ただし

- q 電機子比電氣装荷 [AC/m]
- T 電機子回転力 (理論値) [m·N]
- D_a 電機子径 [m]
- D_k 整流子径 [m]
- b_b ブラシ厚 [m]
- l_b 全ブラシ幅 [m]
- ρ_b ブラシ電流密度 [A/m²]

すなわち一般設計特性値は e_t よりむしろ βe_t に関係していると見ることができる。たとえば大容量化の目的で二重重ね巻をとることは m を1から2にすることで βe_t はそのままとすれば q は半分になり目的を達する (実際は βe_t に再検討を要するからそうは行かない)。また全ブラシ幅は整流子の長さに関する量であるから整

流子電動機ではきわめて大きな ウェイト を占めるものであるが、これは極数だけに係し、電機子径、ブラシ厚等には係がなくなる、もちろん ブラシ電流密度 には反比例する、また誘起電圧の式もこのように表わすことができることは興味あることである。

したがって整流子電動機の設計に当たっては仕様ならびに スペース が与えられると α もしくは $\beta\alpha$ に従ってほぼその特性値が決まってしまう要素を非常に多く持っているわけである、これらが決定されると界磁の設計に移ることになる。

界磁の主極 コイル の起磁力は補償巻線のある場合は、必要最小限でよいわけで、回路電流が大きいときにはあまり自由な値がとれないが、おおむね 1,500~3,000 AT に選ばれる、したがって空隙長はこの起磁力に見合ったものにしなければならない、補償巻線も回路電流の大きいことが多いから、その起磁力もある程度制限をうけ、また構造的にも種々工夫をしなければならない、当社では コイル はすべて フォームコイル とし ミツ 入れまえにすべて絶縁作業や焼き固めを完了しておいてから、オープンスロット に ミツ 入れするようにしている、このようにすれば直流機の固定子とはほぼ同じくらいの容易さで組立てることができ、熱放散もよく、また絶縁も完全でこわれることも少ない。

問題は補極 コイル と空隙の設計であって、位相調整のために分路されることをあらかじめ計算に入れて設計する、とくに起動状態が長く続くようなときには何段にも切り換えをすることを考えなければならない、また抵抗で分路をしてもとくに大電流の場合や鉄系の抵抗体はインダクタンス を含むことが多く、分路が予想どおりに行なわれないことがあるのは注意を要する、普通の力行時は分路によって補極電流を遅らせるのであまり問題になら

ないことが多いが、電力回生時のように補極電流を進める必要のあるときは分路がうまく行なわれないばかりでなく、非常な電力損失を生ずる結果となるから注意を要する。

そのほか整流子は電動機の生命ともいうべきもので、スプリングワッシャタイプ が最上であって、変圧器起電力による循環電流や高速回転に対してきわめて安定性が高い、スプリングワッシャタイプ は 整流子電動機の設計上の要求から生まれて来たものである、また ブラシ保持器 は非常に剛性を高くする必要がある、研究の余地は広い、ブラシは通常三分割が用いられるが、その構造や、とくに材質はまだ検討の必要が認められる。

直流機と比較して異なる設計要素に各部の磁束密度がある、直流機では鉄損と起磁力さえ許せば一応制限はないものと考えられるが（特性上の要求があれば別）、整流子機では界磁の飽和がとくに少ないことが要求せられ鉄心部分がとくに多くなる、極数の多いことはヨークに相当する部分は少なくすむがやはり絶対値が少ないことが必要であり、さらに最大磁束密度で決まるものであるからあまり小形化は期待できない、磁束密度を下げるために鉄心長を必要以上にのばすことは整流リアクタンス電圧を上げることになるから飽和度と スペース と勘案して鉄心長を定める、また フレーム の中に固定子鉄心を積むような構造とするためには鉄心とは別に フレーム の構造なり スペース を考えなければならない。

4. む す び

交流電動方式としての直接式は結局整流器式に比して、整流器が不要であるのに対して、ブラシの保守と、より大形で若干コストの高い電動機、大電流の主回路配線がとって代わるわけで、また誘導障害もきわめて少ない、したがって電動機の設計条件が アンプル な場合には整流子電動機式が有利で電動方式全体として信頼性は大きい、電動機の設計条件が シビヤ で誘導障害が比較的問題にならないときは通常の直流機を用いた整流器式が有利で、大容量の電動方式は通常この後者によることが多いのは当然であるといえる、したがって技術的に見て整流子電動機式が有利なのは、電動機設計条件が アンプル であって、誘導障害も極度に避けなければならない個所とか、また回生制動が要求されるような方面である。



図 3.1 三分割ブラシ
Fig 3.1 3-parted brushes.

電車のプログラムコントロールと無接点化

伊丹製作所

北岡

隆*

Turning Electric Coaches to Program Control and Contactless Operation

Itami Works

Takashi KITAOKA

Program control and contactless operation are newly developed technique for electric coaches, elevating the car performance a great deal like other features such as reduction in weight of car bodies, radical design of trucks, and development of traction motors and driving equipment. To improve the traffic efficiency the schedule speed must be increased by high speed acceleration and retardation control. But this will at times lead to ill effect to the comfortable riding of passengers. This drawback is overcome by the introduction of program control system. In parallel with this, contactless operation is taken in for improving dependability of control equipment, all contributing to the progress of traffic facilities.

1. ま え が き

最近の電車の発達が目ざましいものがあり、電気装置、ブレーキ装置、台車、車体等いずれも格段の進歩を示している。すなわち、車体の軽量化、台車の合理的設計、主電動機および駆動装置の発達等によって電車の乗心地は快的なものとなったが、同時に制御装置も非常に高性能のものができるようになり、電車の輸送能率、経済性、乗心地等の改善に大いに寄与している。

電車の制御装置が最近とくに発達を示して来たのは自動制御の大幅な適用にあるが、それと同時に制御器具自体の開発改良も忘れてはならないことである。

従来の制御装置の考えは、旧形の市電に用いられているような直接式制御を単に限流継電器を用いて自動化したものにすぎずこれが間接式自動制御と称されていた。しかしながら、単に、10数ステップ程度の段数で限流作用を自動的に行なう程度の装置では運転手の操作は多少簡単にはなるが、人間を運ぶ車両としての性能を十分に発揮することはできない。すなわち、電車制御の高性能化のために考えるべき条件としては、

乗客の乗心地の改善

粘着力の最大利用および空転対策

使用電力量の節減

変電所に与えるピーク電流の低下

などの点を考慮する必要がある。機器の信頼度向上、保守の簡易化も同時に配慮するべきである。これらの点を一挙に解決するために開発されたのが、電車制御のプログラムコントロール方式であって、この考えをさらに自動運

転に応用することもできるのである。

2. 電車のプログラムコントロール

プログラムコントロールとは、与えられたプログラムに沿って制御を行なう追従制御のことであって、電車の運転および制御に応用する場合

a. 加減速度のプログラムコントロール

b. 自動運転のプログラムコントロール

に大別することができる。

電車の加減速度制御の目的は、乗心地の改善、粘着の最大利用が主であって、付随的に使用電力量の節減、変電所に与えるピーク電流の低下にも効果がある。

加減速度のプログラムコントロールによる乗心地改善できるのは次の理由による。

すなわち、人体の加減速度に対する感応度は、一般の高加減速車といわれている程度の加減速度の場合問題にならない程度である。すなわち、電車の場合水平方向の加減速度を受けるわけであるが、人体にはつねに約1gの重力加速度を受けているので、たとえば、5 km/h/s程度のいわゆる高加速度で発車したとしても水平方向に0.14gを受けるに過ぎず、これはちょうど床が8度傾いて体重が1%増加した場合に相当する程度であるから、一定加減速度で走行している間はまったく感じないはずである。しかし、一般に高加減速車の乗心地が悪いと感じられるのは、加減速度の変化、すなわち加減速度が問題となるからであって、図2.1に示すように、加減速度が放物線状に変化するのがよいとされており、その立上がり時間は2秒程度を限度とする。それゆえ電車の加減速

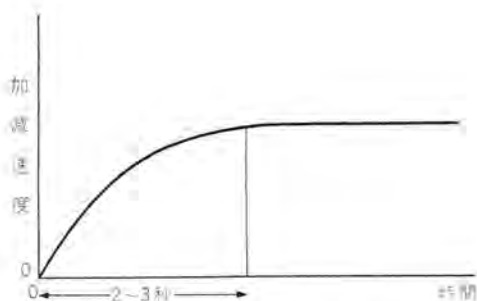


図 2.1 加速度および減速度変化の理想曲線

Fig. 2.1 Ideal curves of acceleration and retardation.

度をこの値に適するようなパターンによりプログラムコントロールしてやればよいわけで上記の数値については、プログラムコントロール装置を備えた試験車によって種々実験を行なった際、乗心地に対するアンケートを各種の条件に対して行なった結果得られたデータによって裏付けをすることができた。

加減速度のプログラム制御を行なうためには、検出部、調節部、操作部、ともに連続的かつ円滑な動作が要求されるわけであって検出部としては従来の限流継電器による ON-OFF 制御では困難であり、当社の開発した装置では磁気増幅器式のものを採用したので無接点かつ連続的に検出できる。調節部も磁気増幅器を大幅に採用して無接点化をはかっている。操作部としてはカムスイッチ式を採用したが、ステップ数は 60 以上のものを採用することによって加減速度変化がスムーズとなるように計る必要がある。このように、もっとも理想的と考えられる加減速度パターンによって制御を行なう目的は単に乗心地をよくすること以外に、電車の粘着力を最大に利用することにも有効なのである。すなわち、従来のステップ数の少ない装置では進段時の電流ピークすなわちトルクのピークが 10% 以上となるので粘着限界より考えて、平均加減速トルクはそれだけ低目にとる必要があり、また、スリップ、スキッドを起こすのはトルクの急変時に多いから、加減速力をさらに余裕をもたして低くとらなければならない。したがってステップ数を超多段とすることが必要で、それには従来の ON-OFF 方式では性能、寿命ともに満足な結果が得られない。しかるに超多段式連続制御によるプログラムコントロール装置によればパターンにより指示された基準値に対して、数パーセントの誤差内で追従でき、粘着限界内いっばいに使えるので有効加減速度は大きくとれるし、また、トルクの不連続要素がないので、スリップ、スキッドを発生する確率も少ない。一方スリップ、スキッドを起こした際これを検出して処理する際も、パターンにより再粘着が容易なようにトルク制御が行なえるので、再粘着に対して有利となるわけである。

このように加減速度のプログラムコントロールを行なうこと
電車のプログラムコントロールと無接点化・北岡

により種々の効果が得られるが、一方超多段制御を行なうには、従来の器具では不可能であって検出部はもちろんのこと、操作部の主回路器具も、保守、信頼度、寿命、重量容積等の点で、すぐれたものであつてかつ超多段制御がスムーズに行なわれなければならない。当社では、あらゆる検討を試みた結果、セレクトスイッチ、トランスファスイッチ、パーコスイッチを備えたカム式操作機構を完成し、進め、戻し、ストップともに可能な高性能装置を実現することができた。

一方プログラムコントロールを電車の自動運転に応用することについても現在検討中であつて、この方式は、運転の自動化によって、理想的ランカーに沿った運転を行なわせるものである。これにより、運転の安全、消費電力の節減、も同時に解決できるわけである。自動運転方式にはディジタル制御を大幅に取入れ、装置の信頼度、寿命、小形化を計るため無接点継電方式として、サイバック、トランジスタリレーなどを用いるがこれについては別に詳しく述べることにする。

3. 無接点化

交通機関としての電車は、機器の信頼度が非常に高くなくてはならない。とくに通勤用として使用される郊外電車や地下鉄などは、運転頻度がとくに高いから故障が出ると運転ダイヤが乱れ都市交通は麻痺状態となる。また保守点検の点でもできるだけ手数が省略できることが望ましいことはいふまでもない。

一方従来の統計で見ると電車の故障の大半は電気接点部に関するものであつてこの対策としていろいろ考えられている。消弧回路はこの代表的なものであるが、本質的にこれをなくするには無接点化することが第一である。接点部の故障はアークまたはスパークに基づく接点の化学的変化によるものと、可動部分の機械的損傷、たとえばヒンジの摩耗、接触腕の折損などによるものがあるが、いずれも無接点化することにより解決できるわけである。したがって電気接点部はできるだけ無接点化することが望ましいが、経済性、外形重量などの面から制約を受け、主回路、制御回路の接点部分をすべて無接点化することは現在の技術では困難であり、しいて無接点化すれば、かえってコスト高になるおそれがある。

最近になって急速な進歩を示した半導体製品として、トランジスタ、コントロールド・ダイオード、があり、前者は弱電部門ではすでに広く使用されており、後者も実用時期にはいりつつある。また磁気増幅器もその堅牢の面が買われてかなりの容量のものまで広く実用されている。

当社では以前より無接点化について研究を重ねて来た

が最近の電車用制御装置にはこれらの適用がひろく行なわれており、さらに広い応用についての試験が行なわれている。

たとえば従来用いられていた限流継電器の無接点化は第一番に行なわれたもので、信頼度と堅牢さの面から角形ヒステリシス鉄心を用いた直流変流器を使用し、限流進段制御用の短絡継電器は磁気増幅器におきかえられた。これらはいずれも静止器で、特殊な樹脂またはワニスで固められ、耐衝撃、耐蝕などの面でも十分の考慮がほどこされている。また継電用としてのリレーも無接点リレーが標準化されており、速応性磁気増幅器の原理を応用した無接点リレーがサイパックという名で知られている。

またトランジスタを用いた NOR エlement による無接点リレーも標準化されている。

無接点化する場合単に有接点リレーをそのまま無接点リレーに置き換えられるということだけではなしに、性能の面でもそれによって向上させることができるのである。たとえば限流継電器を無接点化についていうと、数年前 PCC カーで行なった限流継電器による超多段制御の方法はすでに古典的方法となり、これにかわる直流変流器と磁気増幅器による方式は単に無接点化しただけでなく、安定度、速応性の点から見ても格段の向上がなされているのである。この方法は小田急電鉄に納入した高性能 HE 車ですばらしい実績を記録しており¹¹⁾、さらに帝都高速度交通営団日比谷線用新車でも高加速車として成功をおさめたのである。また一般的なリレーとしてのサイパックもトランジスタリレーもその動作の時間が一般の電

磁リレーにくらべて非常に速く、継電むだ時間も極端に短縮することができるのである。また特殊な記憶作用、長時間の限時性などの面でもすぐれた性能を有している。サイパックは帝都高速度交通営団日比谷線向け新車の自動列車制御装置の論理継電装置として大幅に使用し、すぐれた結果を得た。自動列車制御装置はとくに信頼度が要求されるので、無接点化が必要であり複雑な論理継電も小形にまとめられるという点で、サイパックがその威力を発揮できたのである。

また自動列車制御装置に使用する速度照査器でトランジスタが大幅に採用されている。これは誘導形速度発電機の交流出力を位相検波して周波数基準で精密な速度検出を行なうもので、トランジスタの高感度を利用するとともに無接点化も行なっているのである。

4. 新形制御装置

当社の電車用制御装置はプログラムコントロールの採用と無接点化によっていちじるしい進歩をとげたが、このたび帝都高速度交通営団に納入された日比谷線向け新車について紹介する。

日比谷線は北千住一中目黒間を走るものでその再終点でそれぞれ東武鉄道および東京急行電鉄と接続し、相互乗入れを行なう関係上軌間および架線電圧は 1,067 mm 1,500 V 架空線式とし地下鉄では異色のものである。

新車は全電動車で当分は 2 両で運転されるが、正式には 4 両固定編成となる。

主電動機は MB-3054 A 形 75 kW 狭軌 WN ドライブ主

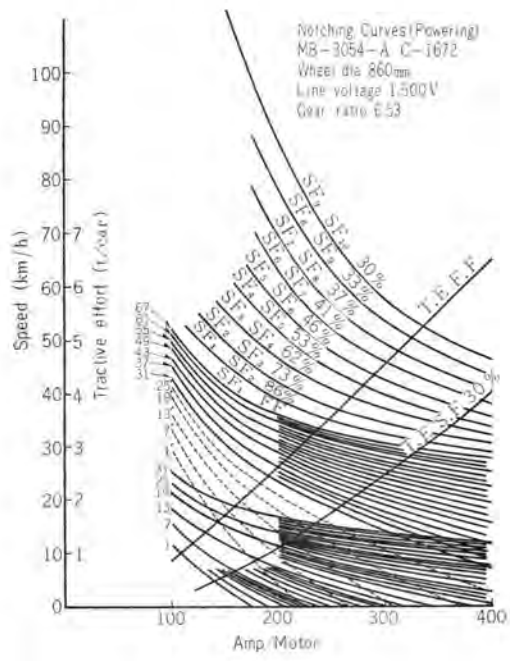


図 4.1 ガ力ノッチ曲線
Fig. 4.1 Powering notching curves.

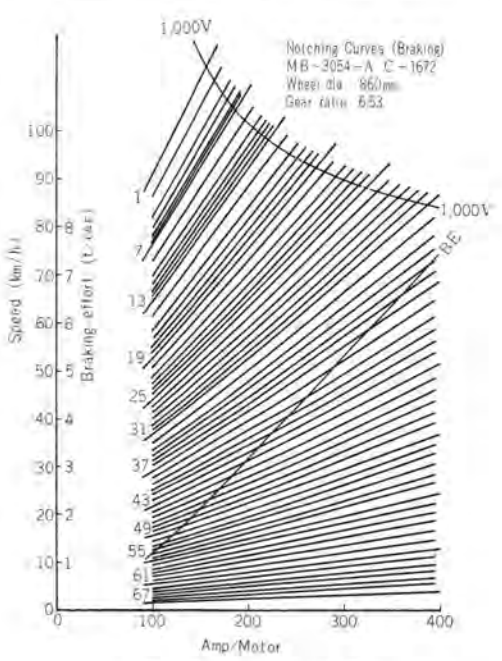


図 4.2 ブレーキノッチ曲線
Fig. 4.2 Braking notching curves.

電動機で大幅な弱界磁を補償巻線なしに行なっている。

そのほか 空気ブレーキ装置 も最新形を使用し、さらに自動列車制御装置を備えて安全確実な運転が行なわれるよう考慮されている。

4.1 諸 元

編 成	CM ₁ -CM ₂ またはCM ₁ -M ₂ -M ₁ -CM ₂ 固定編成
定 員	150 人
自 重	34 t
最高速度	100 km/h
加減速度	$\alpha=4$ km/h/s または 4.5 km/h/s $\beta=4$ km/h/s (常用) 4.5 km/h (非常)
車輪径	860 mm
制御装置	ABFM-108-15 MDH 形 応荷重超多段プログラムコントロール方式
架線電圧	1,500 V
集電方式	パンタグラフ による剛体架空線式
制御電圧	AC 200 V 120 c/s DC 100 V (バッテリー付)
空気ブレーキ	HSCD 方式 No. 60 ユニットブレーキ (レゾナモールドシュー使用)

4.2 主回路の構成

最近の一般産業機器における自動制御の進歩はいちじるしく、この理論的研究も並行して行なわれ、百花撩乱の靨がある。当社でもこの研究が盛んで、各部門の製品に自動制御が取入れられ従来は不可能であると考えられていたような性能が、簡単に得られるようになった。

しかし、直流方式の電車の制御装置について考えるといわゆる自動制御を適用する場合、ある特殊性がある。すなわち、電車の運転の面から考えるとこの制御は大略次の二つに分けることができる。

- 電車を加速または減速する
- 電車速度をある一定の値に保つ

電車の目的は貨客を輸送することが目的であるから、かならず起動後ある速度まで加速し、つぎにほぼ定速で走行し、つぎに減速して停車するという経過をたどる。しかるに一般の産業機器では、モータの定速運転とか、糸の太さを一定にするとかいういわゆる定値制御は盛んに行なわれるけれども、これを起動して加速するに至るまでの経路を制御することは、あまりに重要と考えられていない。しかし電車のばあいには、輸送効率をあげるための表定速度の向上が非常に重要なことである。したがって加速または減速の状態を制御することが問題であって、とくに通勤用の各停車電では乗心地を害することなく、できうる限り加減速度を向上することが制御のキーポイントとなる。一方電車に使用される主電動機は大別して

a. 直巻式電動機

b. 複巻式電動機

がある。

電車は一定の電圧を架線などから受けて主電動機を駆動させるから、その加減速の制御は一般に

a. 抵抗制御

b. 界磁制御

が行なわれている。まれにはメタインなどの直流変圧機を使用することもあるが、コストの点や保守などの面で実用がはばまれている。このように加減速制御が、直流主回路であるがために旧態依然たる抵抗制御を相当な速度範囲で行なわなくてはならない面に主回路制御の困難さがある。将来半導体器具の発達により主回路の無接点制御が容易となった場合には別であるが、現段階ではスイッチ またはそれに類するもので、主抵抗器の抵抗値制御を行なわなくてはならない。

これは力行すなわち加速制御だけでなく、ブレーキすなわち減速制御についても同様であって、回生ブレーキを行なうばあいは界磁制御しか行なわないが、これはブレーキ速度範囲が狭く、大幅な速度範囲での電気ブレーキは必ず発電ブレーキすなわち抵抗制御の必要に迫られる。

抵抗制御を行なう場合、PCCカーでの例のように超多段制御がもっとも望ましいことは制御上の点以外に乗心地、スリップ、スキッド超低速 (3 km/h) まで電気ブレーキを最大減速度で作用させるなどの面から考えて当然のことであるが、これを経済的にかつ小形装置で行なうことが要求される。しかも変電所への影響を考えると直並列制御を行なって電力消費量をできるだけ減らすことも必要であり、直並列の渡りの際に乗心地を害するような加速度変化があってはならない。すなわち、最近の新車は軽量化されて、自重が非常に軽くなり、この新車では34 tしかない。そのため乗客の多少により車の重量が大幅に変わり、一定加速度とするためには満空により限流値は

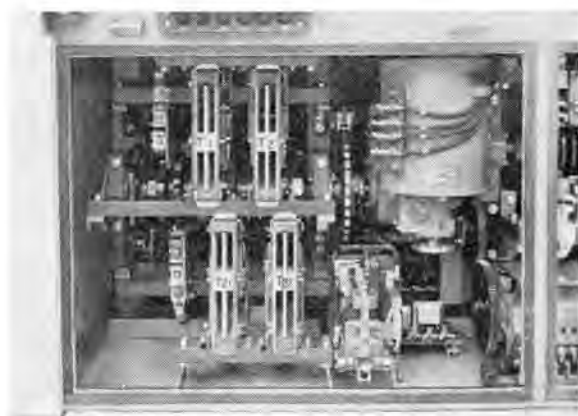


図 4.3 トランスファスイッチ部分

Fig. 4.3 Transfer switch.

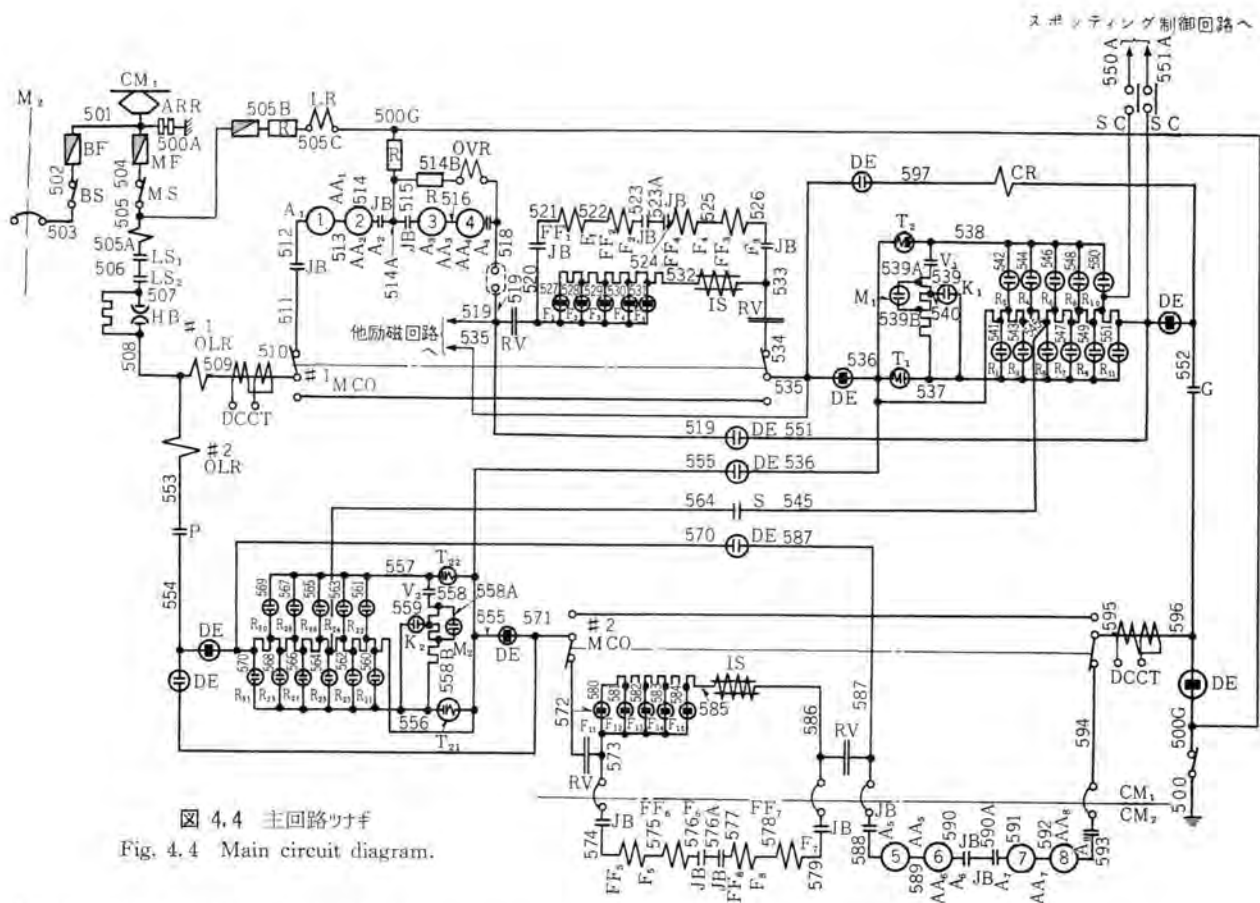


図 4.4 主回路ツナギ
Fig. 4.4 Main circuit diagram.

大幅に変化する。したがって直並列の渡りの際従来の方法ではすべての場合 ショックレス に行なうようにすることが不可能である。このような特殊な条件を克服しなければ単に一般の自動制御の技術を簡単に取り入れることは不可能で、高度の制御を行なうためにはまず、主回路をそれに相当するだけのものにしなければならない。一方電車の床下スペースの関係、コスト、保守などの関係よりあまり複雑化したものは実用的でない。

このような点を考慮してこの装置では、特殊直並列渡り制御を行なうと同時に、パーニアによる超多段 67 ステップを有している。パーニア方式はすでに小田急電鉄に納入した HE 車制御装置で経験済みのもので、1 車当たり 11 個のセレクタスイッチと 1 個のパーニアスイッチおよび、2 個のトランスファスイッチを有している。パーニアカム軸とセレクタカム軸との結合はギヤによっているから、速動的な制御が可能である。特殊直並列渡りとは、限流値が満空により変化すると渡りの際電流が急変するので、直列最終ステップまで進まずに、渡りの際の主電動機電流が変化しないステップに来たとき並列回路に切換えるので、渡りのショックはまったくなくまたそれによる限流値の低下もないので平均加速度も低下しない。しかし、マスコンを直列ノッチにおいたときは直列最終ステップまで進段してから直列運転にはなんらさしつかえない。(特許申請中)

また抵抗制御中のノッチオフ、ブレーキゆるめの際は戻しステップによる多段減流シャ断を行なうからショックがま

ったくない。

つぎに力行界磁制御であるが、MB-3054-A は 30% 弱界磁を行ない速度比が高い。したがって界磁制御段数は 10 段行っており、高速まで高い加速度を保持することができる。これを利用して 41% 以上の弱め界磁に進段したときのノッチオフは、強め界磁減流シャ断を行ない抵抗挿入の戻しステップは行なわない。強め界磁操作により、加速度は 1/3 以下になるのでショックはほとんどなく、ノッチオフに必要とする時間も 1 秒でよい。(特許申請中)

このようにして種々の新しいアイデアをもち込み、地下鉄電車の特異性を生かした制御を行ない、高度な性能が得られるよう考慮されている。

4.3 制御回路

(1) 制御回路構成

前に述べたように超多段無接点制御を行なうため信頼度の高い磁気増幅器を使用しプログラムコントロールを行なっている。力行、ブレーキともパターン発生器により加減速

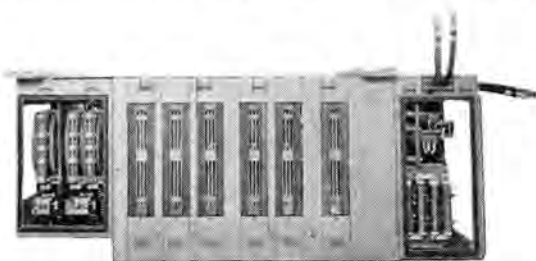


図 4.5 帝都高速度交通営団納め断流器箱
Fig. 4.5 Line switch box.

度のパターンが発生されるが、電流基準の制御を行なうので、パターン回路は可変荷重装置により満空に応じて最大限流値を規定するようになっている。

力行時の制御は主幹制

御器によりパターン発生回路に指示を与えるので加速度はパターンにより定められた値に制御される。もちろん主幹制御器のノッチに応じて直列最終ステップで停止させることもできる。

常用ブレーキ時の制御はブレーキ弁ハンドルの操作により直通管圧力が制御され、この圧力によりアクチュエータをかいてパターンの値を加減するので減速度は運転手の意のままに選択できる加減速度の立上がりもスムーズに制御される。なお発電ブレーキは3 km/h まで減速度4 km/h/s の値を保つことができるが、停止後の電車の固定をするため空気ブレーキが作用して車輪を止めるようになっている。

また地上信号に連動して自動列車制御装置（以下 ATC 装置という）が動作した場合には、これが運転手に代わって力行、ブレーキの指示を与えるようになっており、パターンによる制御が行なわれる。

この ATC 装置は運転手操作により優先するようになっているので、絶対安全な運転が行なえるのである。

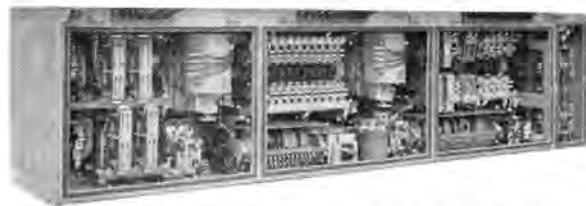


図 4.7 帝都高速度交通営団納め主制御器箱
Fig. 4.7 Main control box.

(2) 限流制御回路

主回路電流の検出は無接点式の直流変流器を使用している。この直流変流器は1個であるが、力行並列ツナフのとき交互進段をする関係上、M₁ 車用主電動機回路電流と、M₂ 車用のそれとが2本並行して通してあり変流器はこの平均値を検出する。

この直流変流器の精度は非常に高く、制御用と同時に運転台の電流計用としても並用している。パターンと変流器出力とを比較した後、この差を磁気増幅器に入れてパイロットモータを制御するが、これには適当な負帰還をかけてハンチングを起こさずに高精度が得られるように考慮されている。なおこの負帰還は力行ブレーキでその精度を

電車のプログラムコントロールと無接点化・北岡

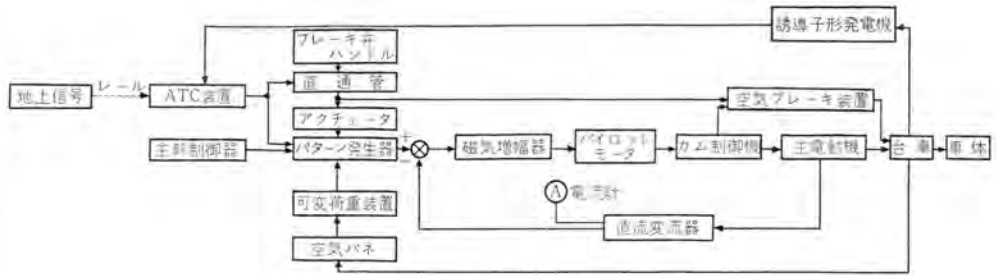


図 4.6 制御回路簡略説明図

Fig. 4.6 Block diagram of control circuit.

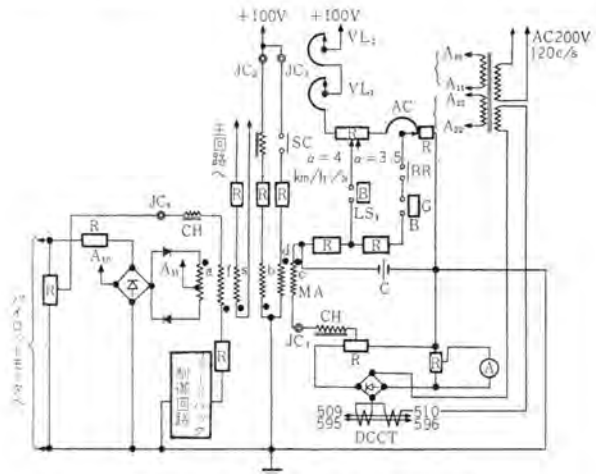


図 4.8 パターン回路と限流制御回路

Fig. 4.8 Pattern circuit and current control circuit.

変えてあるが、この量も非直線をもたせてあり、定常偏差が大きくなならないようになっている。（特許申請中）

なお最大限流値を規定する可変荷重装置は空気パネ圧力を利用しているが2両の平均をとるため、M₁、M₂に各1個をそなえ電氣的に平均をとっている。

(3) スポットティング

発電ブレーキが有効になるまでのむだ時間を少なくし、かつはブレーキ電流の立上がり制御を容易にするためにスポットティングを行なっているが、さらにオフスポットティングとし惰行中自動的にスポットティング制御がなされるようになっている。なお、このオフスポットティング方式の欠点として惰行後すぐ再力行した場合や、ブレーキゆるめ後すぐふたたびブレーキをかけた場合にスポットティングが無効となることがあるが、この装置では特殊な回路を使用してこの欠点をなくしている。

とくにブレーキゆるめ時は弱め界磁にすると同時に戻しステップを行ないブレーキ力が消失するステップまでくるとただちにスポットティングに切換えるようになっている。

なお、スポットティングは約50%弱め界磁としたブリッジ回路とし、片側の界磁を補助励磁して制御を容易にしている。スポットティング制御回路は電流制御用磁気増幅器を流用しもちろん無接点制御によっている。

(4) 自動列車制御装置

日比谷線は輸送効率を高くするため運転間隔を非常に

せまくとるので電車が確実に運転されなくては危険が伴なう。

したがってこの車では、地上からの信号電流を受けて自動的に加減速できるようになっている。

この機能の詳細については省略し使用した無接点リレーなどについて述べる。

この構成は受電器、受信器、誘導子形速度発電機、速度照査器および論理継電器装置よりなるが、いずれもその確実性と信頼度の点で無接点化されている。すなわち、力行、ブレーキ指示を行なうリレー以外は全部トランジスタおよびサイパックを使用している。

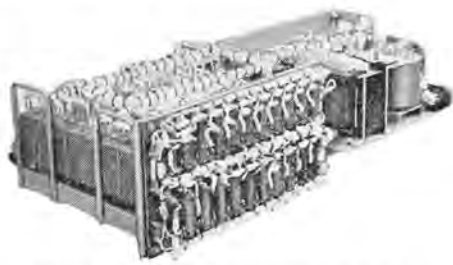


図 4.9 自動列車制御装置論理継電器箱

Fig. 4.9 Relay box with cypak for ATC apparatus.

4.4 試験結果

工場における等価試験では電車相当のフライホイールを回し加減速およびスポッティングの試験を行なった結果所期の好結果が得られた。

とくに ATC 装置との組合せ試験が好調で信号電流に従って自由に速度制御されることを確認できた。

5. む す び

上に述べたように最近の電車の発達はずばらしく、プログラムコントロールと無接点化により地下鉄のような高加減速車の性能が格段に進歩した。

今後半導体製品の発達によりさらに主回路に至るまで無接点化されることも近いことであろう。

なお日比谷線新車の設計に当たり、帝都高速度交通営団の各位よりご指導いただいたことを深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 木島・浅越・管田・北岡：小田急電鉄“HE車”用電機品および空制装置、「三菱電機」34, No. 7, p. 13 (昭35)。

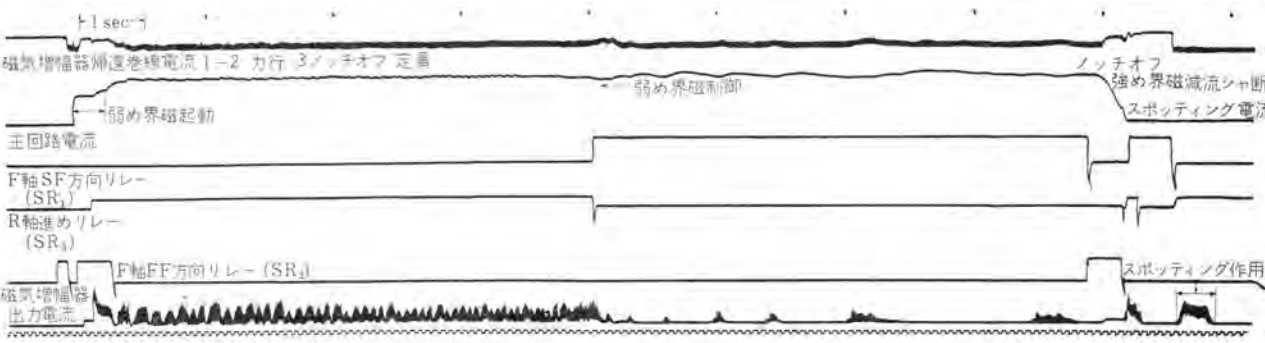


図 4.10 工場等価試験オシログラム (1)
Fig. 4.10 Equivalent test oscillogram. (1)

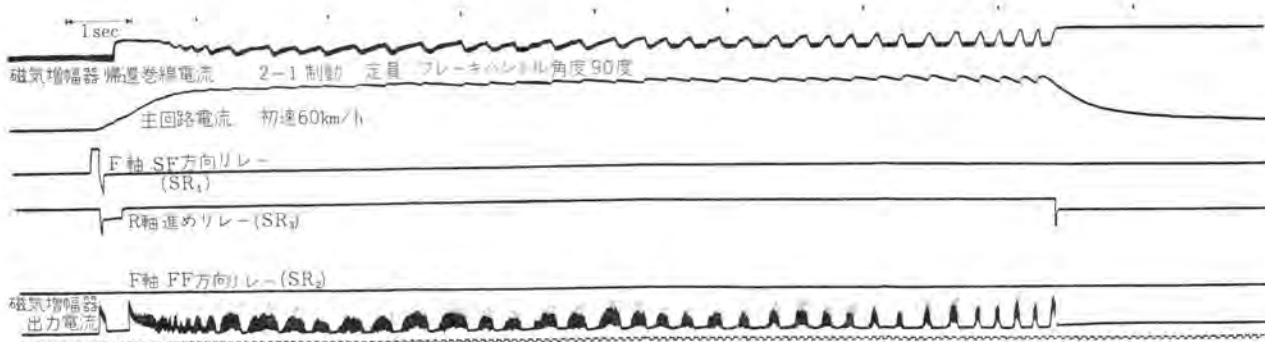


図 4.11 工場等価試験オシログラム (2)
Fig. 4.11 Equivalent test oscillogram. (2)

自動列車制御装置

伊丹製作所 小原太郎*・北岡 隆*

Automatic Train Control Apparatus

Itami Works Tarō OHARA・Takashi KITAOKA

Safety of high degree, exactness in running time, and comfort in riding are vital essentials of train operation. To cope with the latest soaring traffic volumes, the train speed is increased with highly developed performance as well as an enlarged number of train operation. This makes it difficult for the operator to assure safety by only having the recourse to his skill and caution. Under the circumstances, automatic train control is becoming a final answer to free human effort and reinforce traffic facility with high dependence. The article describes the most up-to-date apparatus for this purpose.

1. ま え が き

列車の運転において、もっとも重要なことは絶対的な安全性と正確な運転時間の確保ならびに快適な乗心地であることはいうまでもない。

とくに、最近の激増する輸送量に対し列車をますます高性能・高速化して運行時分を短縮するとともに、その運転密度を大きくして合理的に輸送能率の向上が図られるようになった。

このように列車が高性能となり、複雑化した運転ダイヤが組まれるようになると従来のような運転手の熟練と注意力によって行なう運転操作も保安上、完璧なものとは断言できないようになってきた。

これらのことから考えて、安全第一にしかも輸送力を増強するためにはさらに新しい方法、すなわち自動運転方式が必要で今まで種々検討されてきたが、この自動運転方式を行なうためには列車の特性のほか、線路条件や乗客の多寡あるいは架線電圧の変化などの制御因子を定量的に把握することが必要であるため、正確な運転制御を期待することは非常に困難であった。

しかるに、最近の電子工学ならびに自動制御理論の急速な進歩はこれらの複雑な制御も可能とし、国内においてもまた外国においても広く実用化されつつある。

さいわい、当社は帝都高速度交通営団（日比谷線）のご指導を得て、地上信号と連動した自動列車制御装置（Automatic Train Control Apparatus 略して ATC 装置という）をこのほど完成、多数納入し斯界の絶讃をあびたほか、目下、日本国有鉄道のご指導により新幹線用 ATC 装置や Digital program による完全自動運転装置（Program Train Control Apparatus 略して PTC 装置という）を設計、試作中であり、これらの成果は今後の

自動運転のエポックとして大いに期待される。

以下、これらの内容を紹介しご参考に供したいと思う。

2. 自動運転方式

運転の自動化を図る目的は、安全に輸送力を増強するためであって、具体的にはつぎの条件を満足する必要がある。

（1）列車運転密度を高め、輸送能率の向上を図ることによって生じる先行列車への追突ならびにその他の事故を完全に防止すること。

（2）速度制限箇所などでは確実に自動減速して、制限速度を超過しないこと。

（3）所定の地点、たとえば駅や停止信号区間では侵入速度いかんにかかわらずつねに一定位置に乗り心地よく停車させること。

（4）定められた運転ダイヤどおりに走行する、いわゆる定時間運転を行なうこと。

これらを満足するため、発車から停車までの運転を自動化することは理想的であるが、運転条件や列車性能ならびに経済性を考慮して逐次適用してゆくことが望ましいが、まずこれらの現行方式ならびに新しい自動運転方式について考えてみよう。

2.1 閉そく運転方式

列車速度が向上し、かつ運転列車密度が高くなると先行列車と後続列車とが相互に支障のないよう所定の間隔において運行することが保安上必要である。この所定の間隔をおく方法として、時間的に行なう場合と空間的に行なう場合がある。前者は、時間間隔法とよばれるがこの場合先行列車が支障なく運転をつづければ問題はないが、なんらかの都合により途中で停車したり、また遅延することを考えると、後続列車が所定の時間において発

車したとしても安心して高速運転をつづけることができない。このため、低速列車の簡易線区、たとえば路面電車などにはこの方式が使用されている。

後者は、空間間隔法とよばれるもので先行列車が所定の地点を通過したことを地上信号その他により確認したのち、後続列車を発車させる方法で、換言すれば一定区間に1個の列車だけを運転させる閉そく運転方式とよばれ、現在国鉄始め大部分の鉄道がこの方式によっている。

この閉そく運転方式を行なうためには、閉そく区間の入口に閉そく装置を設けこれを扱う場合、関係者相互の打合せにより行なう手動閉そく式と、軌道回路を用いて列車自体によって自動的に行なう自動閉そく式があり、前者には通信式、通票式、票券閉そく式、通票閉そく式などがあり、後者には連動閉そく式、自動閉そく式、移動閉そく式、および中央集中制御方式（Centralized Traffic Control System、略して CTC 方式という）があるが、自動運転を行なう場合はその本質から後者を大幅に利用することはいうまでもない。

2.2 自動列車制御方式

（Automatic Train Control 略して ATC 方式という）

従来の自動閉そく運転方式では、列車の存在の有無を現示する信号機を所定の間隔において設置し、その現示信号を接近列車の運転手が確認して速度制御を行なってきたが、高速、高密度運転を行なう場合にはさらに進歩した運転方式が望まれる。

ATC 方式はこれを代表するもので、原理としては、あらかじめ定められた速度に対応するコード電流を軌道回路に流し、これを車上受電器で受信、増幅するとともに列車速度と比較照査して、減速ならびに停車を行なう方式であって現行信号方式を容易に利用できる上、列車間隔を極端にぎりつめることのほか、制限速度に対する制御も可能であり、すでに帝都高速度交通営団で実施されているが、その画期的成果から今後の利用は広範囲にわたるものと思われる。

なお、この方式の実施に伴い留意すべき点としてはつぎのとおりである。

（1）軌道回路と受信方式

キロサイクル軌道方式については国鉄の交流電化においてすでに実施されているが、多種類の信号入力を変化させて制御指令とする場合、この方式が好適で選別も確実に行なうことができる。

なお、故障などで無入力するとき、すなわち0コードのときは、保安ブレーキを作用させるよう連続入力方式とし車上へは、軌道に近づけて台車に装備した受電器により

誘導的に受電、増幅すれば安全で確実である。

（2）速度照査方式

一般の速度計装置と異なり、連続的に得られる検出入力に指定された限界速度域において オン、オフ 情報入力に変形する照査装置が必要であるが、この方法としては速度の高低によって出力レベルが変動しないことが望ましく、正確さにおいて周波数基準式がすぐれている。

（3）情報入力の継電方式

車上信号装置からの信号入力と、速度照査装置からの速度入力とを比較し組合せる継電方式としては、信頼度や応答早さの面から最近発達してきた無接点継電方式があり、サイパック や トランジスタリレー の活用が望ましい。また、万一の故障による情報入力の消失や継電不能のときは保安ブレーキ作用が働く安全側にしておくことが肝要である。

（4）ブレーキ系統

速度制限のための減速作用と強制停車用非常ブレーキ作用の2系統のブレーキが必要であって、いずれも電磁弁制御により制御することが好ましい。なおこの場合両ブレーキ系統は ATC 装置のほか運転手のブレーキ扱いによっても制御できるようにしておくことはいうまでもない。

2.3 自動列車停止方式

（Automatic Train Stop System 略して ATS 方式という）

もっとも単純な方法としては、列車が停止信号現示を無視して進行した場合、列車の車上装置と地上信号と連動したトレンストッパの機械的接触により、自動的にブレーキをかける打ち子式自動列車停止装置があり、従来の地下鉄に用いられてきた。これは単なる保安ブレーキ用であるが、この考えをさらに進展し乗心地の許す範囲内でできるだけ短時間に、しかも、一定位置に正確に停車させることにより運転時間を短縮するとともに、列車の編成長さをプラットフォームの長さまで長大化することにより輸送能力を一段と引き上げようとするのが ATS 方式の主目的で、定位置停止方式が クローズアップ されるゆえんである。

ATS 方式は、国内においても試作試験されているが、その原理は停止地点の手前に必要な制御地点を設け、列車がそこを進行するに伴い自動的に減速制御を行なうもので、標準ブレーキ速度曲線をパターンとし、これにより実際の列車速度を制御する方式で、パターンは列車性能や気象条件により修正することも可能である。かくすることによって列車速度いかにかわらずつねに定位置に停車させることができる。

このような ATC 方式と ATS 方式を組合せることにより安全な自動運転、換言すれば無人運転も可能とな

るわけであるが、列車運転の条件の一つである定時間運転は満足することができない。このため、自動化を含めた定時運転方式が必要となってくる。

2.4 プログラム運転方式 (Program Train Control System 略して PTC 方式という)

さきに述べたように力行およびブレーキなどの運転操作を完全に自動化するとともに、定時間運転を可能とする方式で、主として、時間—距離、距離—速度、あるいは距離—ノッチを要素とする運転曲線をパターンとしこれにより列車の速度制御を行なうもので線路条件はもとより架線電圧の変化などのいわゆる外乱に対しても、自動的に速度補償を行ない定時間に所定位置に到達することができる特長を有している。

なお、先行列車が万一の事故により停車しているときなどを考慮して、パターンによる指令速度よりも地上信号による制限指令速度を優先させることによってさらに安全度を高めることができる。

とくに、国鉄新幹線用列車については最高速度 250 km/h という超高速であり、かつまた将来の列車間隔が非常に短くなることを考えると、この PTC 方式も注目されることになり、当社でも目下設計試作中でその原理については後述してある。

3. 自動列車制御装置 (車上装置) の概要

このたび、帝都高速度交通営団 (日比谷線) 向け新車につけられた自動列車制御装置は、一種の電車自動運転装置であって、従来行なわれていた打ち子式突当弁のような機械式によらず、電気式であり性能も高度のものである。すなわち高周波連続誘導式を用いたキロサイクル信号方式であって、車上装置も重要部分は無接点継電方式を用いている。これにより地上信号に連動して自動的に電車の速度を制御しようとする装置である。この装置をつけた目的は、電車の安全確実な運転を行なうことにあり、最近のように都市での交通量が激増すると地下鉄の輸送量は莫大なものとなり、したがって運転間隔はきわ



図 3.1 ATC 装置 ブロック 構成図
Fig. 3.1 Block diagram of ATC apparatus.

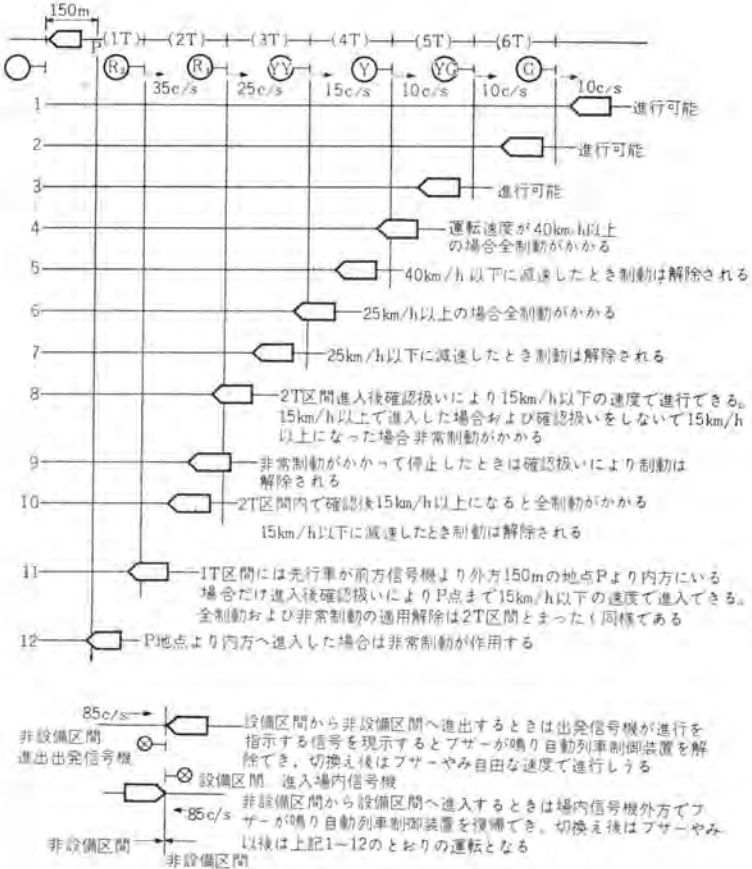


図 3.2 ATC 装置動作説明図
Fig. 3.2 Chart for explaining operations of ATC apparatus.

信号区間	6T	5T	4T	3T	2T	1T	切換区間
信号現示	G	YG	Y	YY	R ₁	R ₂	
信号入力	10c/s(A)	15c/s(B)	25c/s(C)	35c/s(D)	0	85c/s(X)	
全ブレーキ	—	—	40 km/h	25 km/h	確認後 15 km/h	D信号確認後 15 km/h	—
非常ブレーキ	—	—	—	—	15 km/h	絶対停止	—

図 3.3 信号と制限速度
Fig. 3.3 Signal and limit speed.

めて短くなる。しかし表定速度は落してはならないから運転手に高度の技術を要求することになり、一度運転を誤ると大事故を発生する危険性がある。しかし、これを地上信号に連動して自動的に運転させるようにすれば追突などの事故を完全に防ぐことができるから輸送効率の向上を容易に行なうことができる。

3.1 構成

ATC 装置の構成は図 3.1 に示すように地上装置と車上装置とに分けることができる。

地上信号装置より速度指示を与える 5 種類の信号が必要に応じて送信されると、車上では台車についている受電器により、この信号をキャッチする。この信号はレールを介して送られるが特殊なばあいには添線を用いることもある。つぎに受信器によりこれを増幅選別して地上信号装置からの信号がどの種類に属するものであるかを判断し、速度指示を与える。一方、速度発電機から電車速度が何 km/h かを速度照査器により判別し、論理継電装

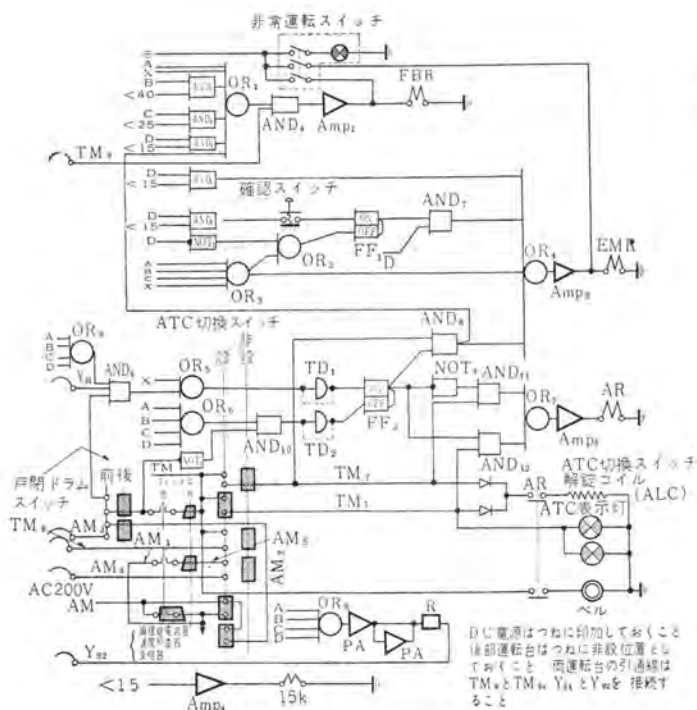


図 3.4 ATC 回路 ツナギ
Fig. 3.4 Diagram of ATC circuit.

置によって、指示速度と照査速度とから力行または惰行、全ブレーキ、非常ブレーキなどの判断をし制御装置にそれらの指示を行なうわけで、図 3.2 にその動作系統を、図 3.3 に信号と制限速度の関係を、図 3.4 に制御系の回路 ツナギが示してある。

(1) 受信装置

地上送信機より送られた高周波信号電流を受電器で誘導受電し、これを受信器に入れて ABCD いずれの信号が送られて来たかを弁別増幅する。信号は Phase shift 変調をされているので、主回路、制御回路からのノイズを受けても誤動作することがなく非常に安定である。

また、装置はトランジスタを用い完全に無接点化されているので信頼度が高い。

(2) 誘導子形速度発電機

信号により電車速度を制御するためには、まず電車の速度を知らなければならない。この発電機はそのためのもので主電動機のギヤケースに取付けられ、ギヤの歯が通過したとき磁路の磁気抵抗を変化させ、永久磁石による磁



図 3.5 誘導子形速度発電機
Fig. 3.5 Inductor type speed generator.

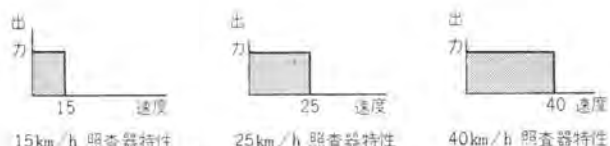


図 3.6 速度照査器特性
Fig. 3.6 Characteristic of speed checker.

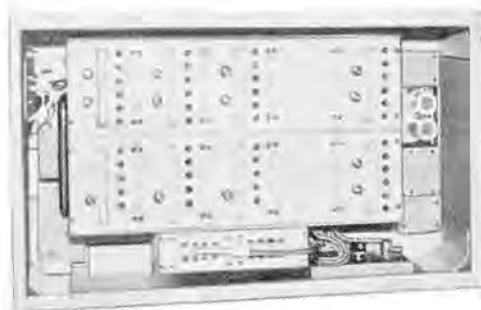


図 3.7 速度照査器
Fig. 3.7 Speed checker.

束を変化させてギヤの歯が通過する周波数と同一の周波数をもつ交流電圧を発生する。このような構造のため可動部分がなく、半永久的使用に耐える。この発電機の出力によって速度計および速度照査器を駆動する。

図 3.5 はその外観を示してある。

(3) 速度照査器

上記発電機の出力により必要速度を検出するもので、検出速度は 15 km/h、25 km/h、40 km/h の 3 種類であって図 3.6 のような出力特性をもち外観は図 3.7 に示してある。

これは照査器または発電機故障の際出力が止まれば検出速度が、実際速度より高いというように表示されるので、故障時安全側の動作をする。この動作は周波数を検出対象とする方式を採用している。すなわち、位相検波回路と、検出周波数付近で位相の変化がはげしい移相器を組合せて周波数を直流に変換するものである。したがって、精度および信頼度がきわめて高く経年変化、温度変化に対しても安定な動作をする。

(4) 論理継電器箱

受信器からの信号出力と速度照査器出力を受けて、電車の速度が信号により指示された制限速度以上であるか、

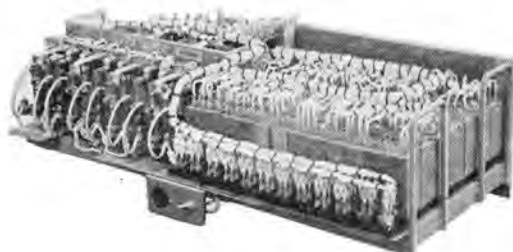


図 3.8 論理継電器箱
Fig. 3.8 Relay box with cypak.

以下であるかを自動的に チェック し、制限速度以上であればそれ以下となるまで全ブレーキリレー FBR を落下させて制動をかける指示をする装置であって外観は図 3.8 に示してある。

ただし、ある信号によっては EMR を落下させて非常ブレーキ 指示を与えることもあり、適当な確認操作を行なえば非常ブレーキが解除されるなど、地上からの信号と電車速度と 運転操作との条件により 自動的に制動指示を与える論理継電をする一種の人工頭脳装置である。内容品は論理継電を確実にかつすみやかに行なうために無接点リレー（サイパック）を主として使用し、増幅器としては磁気増幅器を用いている。

なお、制御回路、電磁弁回路、切換回路用などのため FBR、EMR、AR、15K 等の補助 リレー も内蔵している。

この箱は速度照査器、受信器とともに運転台の一部に収められる。

（5） ATC 切換スイッチ

運転台 デスク 上に、レバー により操作できるよう取付けられる一種の多接点切換スイッチで、信号設備区間で使用する「設備」位置と、非設備区間で使用する「非設」位置に切換えられるようになっている。

設備区間を走行する場合は「設備」位置におくが、非設備区間に乗出すときはこれを「非設」位置へ切換えないと走れない。ただし、切換えは信号によりその条件が与えられた場合でないと機械的な ロック のためスイッチ が動かないように考慮されているので、運転手の意志で故意にこれを反対位置に転換することはできない。この切換スイッチは主として設備、非設備区間での ATC 切換えの確認操作の目的で備えられたものである。

（6） 非常運転 スイッチ

電源 M-G、速度照査器、サイパック などが万一、故障した場合 FBR、EMR 等の リレー が落下して制動がかかり車が動けなくなるおそれがある。このような場合に FB R、EMR を直流電源により引上げて不要な制動作用を解除させるための 電源切換用スイッチである。これも運転台のそばにつけられ常時は封印されており、非常時だけこれを切換えられるようになっている。切換えた際はフタは、しまらないようになっていて箱付属の非常 ランプ が点灯するようになっている。

（7） 電源用 M-G

ATC 装置の電源は AC 200V 120c/s を必要とするが、これは専用の M-G から給電されるようになっている。この M-G の M 側は制御電源の DC100V で駆動されるようになっているが、これは架線が停電した場合でも制御電源の蓄電池によって ATC 用の M-G が駆動されて停止



図 3.9 工場等価試験全景

Fig. 3.9 Full view of equivalent test.

しないので、ATC 装置が有効に働くようになっている。

なお、現在静止形直流交流変流器も試作が完成しており、小形で高能率の電源が出現することであろう。

3.2 試験結果

この装置は電車の総合的な特性を考えないとその効果ははっきりしないため、工場試験では各機器単独試験はもちろん、等価組合せ試験も行なった。すなわち、台車、主電動機、制御装置、ATC 装置、信号装置などを全部組合せその動作を試験したが所定の動作を円滑に行ないきわめて良好な結果を得た。図 3.9 は工場試験の様子を示してある。

3.3 高速運転用自動列車制御装置

さきに紹介したのは通勤用各駅停車の電車に マッチ するよう考えられたものであるが、さらに高速運転を行なう電車にも適用することができる。すなわち、東京—大阪間を 3 時間で走行する超特急新幹線用として国鉄より試作のご指示を受け現在製作中のものは、高速から安全に減速停車する目的で設計されたもので、速度段階を 250 km/h、210 km/h、160 km/h、110 km/h、70 km/h、30 km/h、0 km/h の 7 段階に分け、運転手の勘にたよらず自動的に減速停車しようとするもので、構成はさきに紹介したものと大体同じで作用は図 3.10 に示すとおりである。

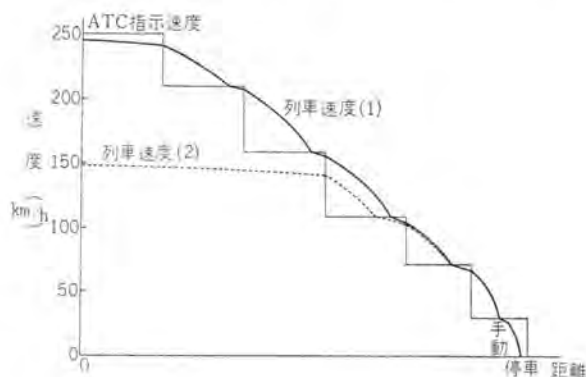


図 3.10 高速車用自動列車制御概要 (例)

Fig. 3.10 Example of ATC apparatus for high speed railway.

このように自動運転のための ATC 装置が備えられることにより、安全確実しかも快的な運転が容易になることであろう。

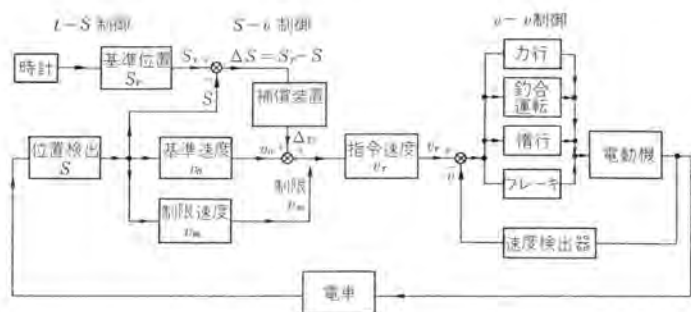


図 4.1 PTC ロック 構成図

Fig. 4.1 Block diagram of PTC apparatus.

4. プログラム運転装置の概要

4.1 内 容

基本的には時間 t に対応する距離 S が正確に得られるよう御制することが必要であって、その制御方式としては種々考えられるが結論として制御系が安定で誤差が少なく、かつ回路、装置を簡素化することが望ましい。このような見地から試作中の一例はつぎの3方式を併用しブロック構成図は図4.1のとおりである。

(1) t - S 制御

基本距離 (S_r) は運転条件により決まっているのであらかじめプログラムとして時間に応じた距離信号をテープに読み込んでおき、車の起動とともに一定速度のサーボモータなどでテープを送り S_r をたとえばアナログ電圧として発生する。

一方、列車が走行した距離は車軸発電機でまず、速度を検出し、それを時間で積分して距離 S を前者同様アナログ電圧で発生させる。この S と S_r を比較器で比較し、その差 ΔS を検出し ΔS に応じた速度信号 Δv を発生させる。

かくすることによって、距離差により $-\Delta S$ のときは増速、 $+\Delta S$ のときは減速する指令信号 Δv が得られる。

この t - S 制御は列車運転の最終目的である定時運転から考えると最も理想的であるが、これだけでは線路条件その他による速度制限を加味することが困難である。したがってつぎの S - v 制御を併用する。

(2) S - v 制御

列車の走行位置に応じて必要な速度は、運転路線やダイヤなどによってあらかじめ与えることができるから、これを S - v のプログラムとしてテープに読み込んでおく。したがって走行した距離 S が検出されると、これに応じた指令信号 v を容易に発生する (前記と同様たとえばアナログ電圧とする) ことができる。一方、線路条件により当然制限速度があるがこの場合も S に応じた最大速度 v_{max} をプログラムとして読み込んでおき、 v_{max} の信号は

$v \pm \Delta v$ を制限するように与えておくから (たとえば limiter で) つねに $v_r < v_{max}$ である。なお先行列車に対する保安信号も同様に扱うことができるから列車の力行、ブレーキは $v_r = v \pm \Delta v$ なる指令速度によって制御されることになる。

(3) この v_r と車の検出走行速度 v_0 を比較し

$v_r > v$ のときは 力行制御を行なって増速し

$v_r < v$ のときは ブレーキ制御を行なって減速し

$v_r > v$ のときは 惰行または釣合運転を行なわせることができる。

(4) 上記制御は連続制御でも サンプル制御でも、どちらでも可能であって、制御系の特性や許容運転誤差によってきめることができる。

以上を要するに t - S_r , S - v_r なる二つの基準プログラムによりつねに $v_r = v$ なるよう列車の速度制御を行なって運転ダイヤどおりに、いわゆる定時運転を行なうものとすることができる。

4.2 特 長

この装置のおもな特長はつぎのとおりである。

(1) 走行位置や速度がつねにプログラムによる基準の位置と速度で照査され、指令速度 v_r と走行速度 v が一致するように制御されるため運転時分精度を大幅に向上できるほか、走行抵抗や架線電圧などの外乱による速度変化を自動的に修正しうる機能を有している。

(2) したがって、先行列車への接近や制限速度に対しても安全にしかも定時運転が可能となり無人運転の夢が実現しうる。

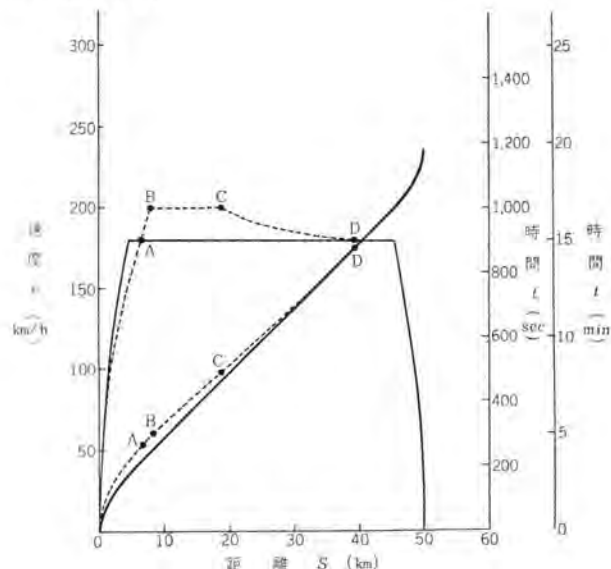


図 4.2 PTC の動作説明図

Fig. 4.2 Diagram explaining PTC operation.

- (3) プログラムに Digital tape を用いるため 運転ダイヤ 変更の場合でも容易に取換えが可能である。
- (4) プログラム 装置や制御装置は トラジスタ などの無 接点リレー を用いるため応答早さが大で信頼度が高い上、 車両用としてコンパクトにすることができる。
- (5) また、従来車のように運転手が走行時分や場所 をつねに注意する必要がなく、その疲労度を大幅に軽減 でき、この面からいっても保安度を向上しうる。

4.3 動 作

装置の動作を概念的に示すと図 4.2 のとおりであって、 実線は目標とするプログラムで区間距離 50 km、運転速度 180 km/h、加減速度は 1 km/h/s 最大運転速度 200 km/h とする。点線はなんらかのじょう乱のため、加速度が 0.67 km/h/s に減少した場合、この PTC 装置による回 復運転の模様を示してある。

すなわち、まず起動後 A 点まで最大加速度で力行運転 を行ない速度 180 km/h に達するが加速度が所定値より 減少しているため ΔS の距離おくれを生じている。

一方基準速度は $S-v$ プログラムにより発生し 180km/h で あるが $-\Delta S$ のため補償装置が作用して $v_0+\Delta v$ の信号 を発生する。しかるに $v_0+\Delta v > v_m=200$ km/h なるゆえ 指令速度 v_r は 200 km/h の速度を保持する、そののち C

点に達すると ΔS が減少したことによって $v_0+\Delta v < v_m$ となり、 $v_r=v_0+\Delta v$ となってその後 ΔS の減少に従って v_r も減少する、このため $v_1 < v$ となり列車は惰行気味 になりついに D 点で $t-S_r$ のプログラムに合致する。

このようにすることによって、あらかじめ定めた プログラム どのりの運転を行なうことができるが装置全体とし ては、必要以上に力行、ブレーキなどの動作をくりかえさ ず安定であって精度を向上する必要がある。

なお、この装置については試験完了後、詳細報告した いと思う。

5. む す び

列車運転における輸送能率を向上させるための新しい 運転方式の概要ならびに当社で実用化した例について述 べたが、この種方式は最近とくに脚光をあび実用期には いったといっても過言でなく今後の発展が注目される。 これに対して、さらに高度の電子工学の技術や自動制御 理論を結集してより安全に、しかも経済的な自動運転方 式の完成に努力したいと考える。

さいごに、この種方式の製作にあたり終始ご指導下さ れた国鉄当局、帝都高速度交通営団当局の各関係者なら びに社内関係者に深い感謝をささげてむすびとしたい。

最近における当社の社外講演一覧

講演年月日	主催および開催場所	題 名	講 演 者	所属場所
35-10- 1	応用物理学会	大電流イオン源の研究	藤 永 敦	研究所
"-10- 3	金属学会	Zr およびその合金の高温酸化	実 博 司	研究所
"-10- 5	日本金属学会	酸化物陰極用基体 ニッケル の酸溶解電位	泰 卓 也	研究所
"-10- 6	"	人工海水中における鋼の接触腐食	松岡 宏 昌	研究所
"-10- 7	冷陰極放射研究会	水銀陰極輝点の発生について	岡田 武 夫	研究所
"	日本規格協会関西支部	検査 (QC セミナ)	吉 川 洸	本 社
"-10- 8	振動談話会	振動測定と検振器について	浦 中 朝 一	研究所
"-10-11	経営管理協会	監督者と社内標準化	松 尾 準 一	本 社
"-10-12	日刊工業新聞社	抜取検査の理論	吉 川 洸	本 社
"-10-13	電通学会 アンテナ専門委員 会	菱形格子金網の電波反射	有田不二男	研究所
"	日本オーディオ協会	モレキュラエレクトロニクス	大久保利美	研究所

回 生 制 動 の 問 題 点

伊丹製作所 小 川 清 一*・己 斐 健 三 郎**

Problems on Regenerative Braking

Itami Works Seichi OGAWA・Kenzaburō KOI

When regenerative braking is employed in electric railways, provision must be made at substations to absorb the regenerated power with high efficiency by selecting adequate apparatus, altering the voltage regulation at the feeder and devising protection against circulating current. On the part of the electric cars, braking force varies with the speed, becoming small at both high speed and low speed. This means that there is a proper speed range for application of braking. To improve this, it is necessary to lower the rated speed by the use of compensating windings and deliver high speed performance, thus a number of requirements being to be met with traction motors and control equipment. With all these points taken into account, the regenerative braking becomes effective to lighten the substation peak.

1. ま え が き

近年電気鉄道において常用回生制動を使用する電車が製作されている。目的は変電所のピークの軽減、変電所設備容量の軽減、制御器の重量減と簡単化などである。しかし回生制動力を得るには電力を他の車両が変電所で吸収しなければならないので変電所で、制動力を円滑に制御し所要の制動力を出さなければならないので車両にても種々問題がある。本文は回生制動を実施する場合の問題点を両方面から取上げて述べているが、決して回生制動が不可というのでなく、実施に当たって考慮しなければならない点を論じている。

2. 回生制動の問題点

回生制動について考えなければいけない点は

- (1) 変電所一電力吸収、循環電流
- (2) 制動性能一制動力、速度範囲、電力消費
- (3) 電動機
- (4) 制御装置

であり、以下に項別に詳述する。

3. 変 電 所

回生制動を行なう場合回生電力を消費するものがあって初めてブレーキ力のでるので、その回生電力の大部分は力行中の他の電気車によって消費されるが、変電所においてもこの回生電力を吸収しうる態勢にななければならない。

ここでは簡単に電力回生変電所について説明し、三問題点についてのべてみたい。電鉄用回生変電所として

は回転変流機を使用した場合と水銀アーク変換器を使用した場合が考えられるがもちろん前者の場合は既設設備の流用についても考えることとした。

3.1 回転変流機を使用した場合

回転変流機の場合は回生制動がかけられ電気車出力電圧が \pm 電線電圧より大となると、そのまま電流が逆流し回生が行なわれうる。ただ一般の回生を行なわない変流機には逆流防止用の直流シャ断器があり、定格電流の15~20%にセットされているからこのセット値を上げておく必要がある。

ただしこの逆用時の定格は整流上よりみて正方向定格の70%程度に押えることが好ましい。分巻式の場合は問題はないが、複巻式の場合は直巻界磁が逆電流の場合は差動的に働くため電圧変動率がいちじるしく大となり力率も低下するゆえ分巻式に改造すべきである。

ここで問題となる点はこの並列電源よりの逆流である。並列機が同一変電所内にあるときは差動継電器によって比較的容易に検出できるが、隣接変電所よりの逆流を電気車の回生電流と区別することは困難である。もっともこの逆流は普通線路電圧降下によって押えられ、あまり大とならないが交流側電圧変動とこの線路降下を十分検討する必要がある。交流側電圧変動が大きい場合は、逆流も大となるゆえ負荷時電圧調整器あるいは誘導電圧調整器を設置して自動的にこれを補償する必要がある。他に変電所ごとに \pm 電区域を区分して隣接変電所間の並列運転を行なわない方式も考えられるが運転保守上より許されない場合が多いであろう。電気車の運行数の少ない閑散時だけ回生変電所が必要となるような場合は早朝、深夜だけこの区分 \pm 電方式を採用して回生変

電所を生かすということも考えられる。

なお回転変流機を逆用する場合 交流側シヤ断器 だけが開放されると、直流側よりの逆電流によっていちじるしく加速され変流機を破壊するに至った例もあるゆえこの点保護運動に注意し 交流側シヤ断 の場合は必ず直流側も連動シヤ断 さす必要がある。

3.2 水銀アーク変換器を使用する場合

水銀アーク変換器 の電流はその弁作用のために 陽極より陰極方向にしか流れえない、したがってこれを直流→交流の逆変換器（インバータ）として使用するためには回転変流機とことなり直流端子を図 3.1 のように切換えなければならない、またこの陽極点弧位相を約 150 度遅らせる必要がある。図 3.2 はこれを示すもので簡単のため 3 相半波回路について示してある。図中 e_1, e_2, e_3 はそれぞれ陽極 1, 2, 3, につながらる変圧器直流側巻線の相電圧で、たとえば陽極 1 は整流器運転の場合は t_0 で格子が正となり（位相制御を行わない場合）陽極 1 が流れ始め電角で 120 度流れる、一方 インバータ の場合はこの位相が遅れ t_1 で陽極 1 が流れ始める、この場合陽極に加えられる交流電圧 e_1 は負となっているが、直流端子に加えられる直流電圧が大であれば陽極電流が流れ直流側よりの電流は交流側に押込まれることになる。

水銀アーク変換器 を用いた山岳地方の回生変電所は多くの実例があるが直流主回路の切換えを必要とするため普通図 3.3 (a) に示すように整流器および インバータ を併置している、この場合主変圧器は両者に専用のものをお

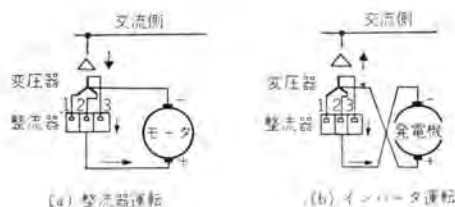


図 3.1 整流器接続図

Fig. 3.1 Connection diagram of rectifier.

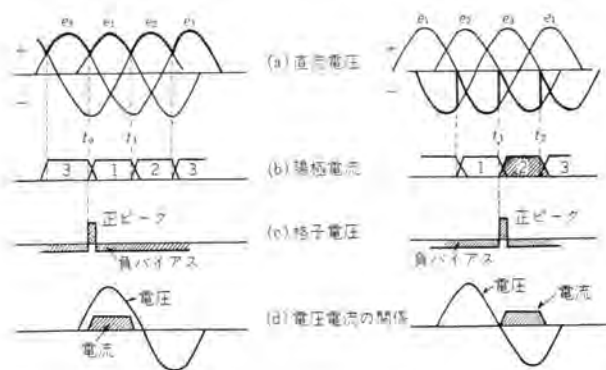


図 3.2 整流器動作図

Fig. 3.2 Diagrammatized operation of rectifier.

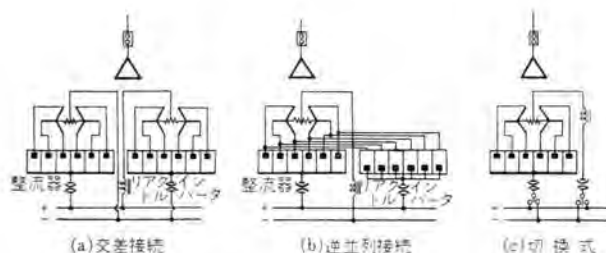


図 3.3 インバータ の結線方式

Fig. 3.3 Connection systems of inverter.

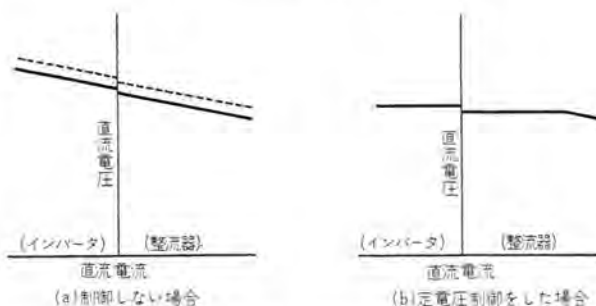


図 3.4 整流器電圧電流特性

Fig. 3.4 Voltage-current characteristic of rectifier.

く必要はなく、直流巻線だけを分ける方式あるいは図 (b) に示すように 1 組の巻線に逆並列に変換器を接続してもよい、ただしこの方式は単陽極形整流器を使用する場合に初めて可能となるものである（多陽極形では陰極が分割されてないため実施できない）、なお (c) のように予備としての 整流器切換スイッチ で インバータ にも使用できるようにしたものもある。

水銀アーク変換器 の場合の直流電圧電流の関係は図 3.4 (a) に示すようになり、交流側電圧が変化すればほぼこれに比例して点線のように変化し並列器からの逆流も考えなければならない、このため普通 (a) に示すような定電圧制御方式がとられる、これは位相制御によって比較的容易に行なわれしかも十分な即応性をもたすことができる、逆流を防ぐために図に示すように インバータ逆起電力をわずか（普通定格電圧の数%）整流器電圧より高くしてある、しかし図 3.2 (a) に示すように変換器電圧には脈動がありこれにもとづく循環電流が流れるため図 3.3 に示すように塞流用の 直流リアクトル が インバータ回路に挿入される、なお整流器出力領域では図に示すように 100~150% 負荷以上は定電圧制御を解き普通の垂下特性をもたす必要がある、これは過電流を防止し一方位相制御範囲をできるだけ少なくするためである、一般的に 水銀アーク変換器 は位相制御範囲が広くなると転流時の電流変化率が大となりまた転流直後に陽極陰極間にかかる逆電圧も大となるため逆弧確率が増加する、したがって既設器に定電圧制御を行なう場合はある程度の定格通減が伴うことを考えておく必要がある。

ここで定電圧制御を行なった場合の回生限界について

具体的に考えてみよう。整流器の定格電圧 1,500 V の場合インバータの電圧を 1,550 V 一定に選ぶ。定格 1,500 V の電気車の許容過電圧は一般に 1,800 V であるから

$$1,800 \text{ V} - 1,550 \text{ V} = 250 \text{ V}$$

が許容線路降下となる。線路抵抗を $0.05 \Omega/\text{km}$ と仮定すると変電所より 5 km の地点の電気車からは 1,800 V の過電圧限界に押えられて

$$250 / 0.05 \times 5 = 1,000 \text{ A}$$

までの再生電流しか吸収できないことになる。変電所設置にあたってはこの点を十分検討して変電所間隔を決定する必要がある。

その他問題となる点はインバータ運転の場合力率はほぼ 85% となることでこれは再生電力の約 1/2 の遅相電力を必要とすることである。

また再生を行なう場合はインバータ運転あるいは整流器定電圧運転によって脈動電圧が大となるため誘導障害が若干大となることを予想して R 器を強化するなど対策を考慮しておく必要がある。

また保護方式の面からみるとインバータに対しては逆弧現象はなくなるがいわゆる転流失敗が重要な事故となる。この原因は過電流通弧、失弧で逆弧も転流失敗に移行する。これは外部よりみるとインバータの逆起電力の喪失で電気車あるいは並列整流器がインバータによって短絡されたことになり大電流が流れる。この保護としてはインバータに正性の高速度直流シャ断器を設ける必要がある。

再生制動を実施する場合、変電所側としては上記の点を勘案して、再生制動による経済的利益を十分検討しておく必要がある。

4. 制動性能

4.1 制動力と速度

制動をかける場合に高速から低速までブレーキハンドルの角度に応じて一定の制動が得られることが望ましい。

電動機の制動力 F_B は回路抵抗を無視して、電機子電流を I_A 、界磁磁束を Φ とすると、

$$F_B \propto I_A \times \Phi \quad (4.1)$$

一方電動機の電圧 E は、速度を S とすると

$$E \propto \Phi \times S \quad (4.2)$$

制動力を一定にするには $I_A \times \Phi$ を一定にすればよい。従来の直巻電動機では抵抗制動を使用すると全界磁では Φ は I_A で決まるから I_A を一定にすればよい。ところが Φ を一定にすると速度が高いと式 (4.2) から電動機電圧が高くなり、電動機の整流上から最高電圧が制限されこれを定格電圧の 2 倍とすれば、定格速度の 2 倍まで

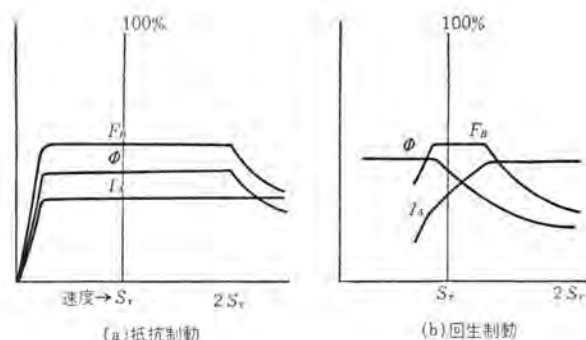


図 4.1 電気制動特性
Fig. 4.1 Characteristic of electric braking.

Φ を一定にして制動力が 100% 出せる。それ以上の速度では弱め界磁にして Φ を減少しなければいけないから F_B も減少する。

一方再生制動では電動機電圧 E は架線の電圧に等しくなければならないので速度 S が增加すると磁束 Φ が減少しなければいけない。定格速度の 2 倍では磁束 Φ は 1/2 になり電機子電流を定格速度より以上で整流限度まであげても、高速度で制動力がいちじるしく減少する。また定格速度以下になっても磁束 Φ は界磁電流量の制限が磁気飽和のために増加できないので、定格速度より少し下で再生不能になる。

4.2 再生制動を有効にする対策

再生制動では従来の抵抗制動に比べて高速、低速において制動力が出ないのでそれに応ずる対策が必要である。

(1) 再生制動では従来の抵抗制動に比べて高速で制動力が出せない。このため減速度が大きくとれないから制動初速を高める必要があり、平均速度を同じにするためには力行時間を長くして高速まで持っていく必要がある。これは力行中の電力消費の増加を伴う。また制動初速が実際運転において低いと再生電力が減少する。

(2) 再生制動では高速から制動をかけるほど磁束が小になるから電機子電流による電機子反作用が整流を害するので、この磁束を打消すために補償巻線付電動機とする必要がある。

(3) 再生制動では磁束を前述のように広範囲に制御しなければならないので、界磁電流の少ない分巻界磁のほうが制御しやすい。また架線電圧の変化によって制動力の変化が少ないためには、架線電圧が増加して分巻界磁の磁束が増加し電動機電圧が上昇し電機子電流が増加すると、これによる直巻界磁の磁束の増加が分巻界磁の磁束を打消すようにすると変化が防止できる。一般には直巻電動機より力行中は和動で制動中は差動の複巻電動機が適する。

(4) 再生制動では電動機の磁気飽和のために定格速

度以下になると、所定の制動力が得られないので、回生率を向上するためには定格速度を低くする必要がある。これは(1)(2)の条件をさらに苛酷にする。低速の引張力は増大し加速度を増加し、加速のときの電力消費も少なくなるが、高速における加速や減速が減少するので高速性能が劣り、電動機の定格回転数の減少により出力は減少しても重量容積は減少しない。従来の郊外電車で回生制動の下限が55km/h くらいのが30 km/h くらいになる。制動初速の半分の速度まで制動をかければ制動エネルギーの75%は回収されるから、特別な工夫をし制動速度の下限をさげたり、抵抗制動に切換えて回路や器具を複雑にするのは得策でない。

4.3 回生制動回路の問題

回生制動の回路について過電圧、電流不平衡そのほかについて注意すべき点がある。

(1)回生制動では制動力の安定のために差動特性をもたせているので、回生電流が流れなくなると電圧があがるので、補助回転機に危害が加わらないように保護する必要がある。なお線路抵抗が大で変電所しか電力を吸収しないとき過電圧から押えられて電力の返還が不十分で制動力が得られない場合もおこる。

(2)複巻電動機になると回生制動の安定のために分巻界磁の割合が大きくなり、分巻特性になるので力行中の車輪径の差などによる不平衡が大きくなり、架線電圧の変化による電流の変化も大きくなる。また制御段数も多くとらないと電流のピークが出る。

(3)惰行中から再力行、回生制動に切換えるときに、回路と架線の電圧を比較していないとショックや過電流のおそれがあるので、惰行中も回路を切らず架線電圧と電動機電圧が等しくなるようにスプリットングする必要がある。

5. 電 動 機

制動性能で要求される条件に適するため電動機はどうなるかを考えて見よう。

5.1 複巻電動機

回生制動用の電動機については次のことが問題となる。

(1)界磁を広範囲に制御しなければならないので、分巻界磁で15~20 A 程度の小電流の回路を制御をするほうが、電力損失が少なく制御器具が小さくなる。直巻電動機では界磁電流が大であるから、架線より励磁すれば電力損失大となり、励磁機より他励磁すれば励磁機を含

表 5.1 電動機性能比較表

製作会社	用途	界磁	出力 (kW)	電圧 (V)	電流 (A)	回転数 (rpm)	最高回転数 (rpm)	速度比	重量 (kg)	速度比×出力重量
A	回生	複巻	75	150	550	1,300	4,500	3.46	800	0.32
B	"	"	85	375	225	1,050	"	4.30	850	0.43 *
C	"	"	75	375	225	1,180	"	3.80	650	0.44 *
A	非回生	直巻	70	300	265	1,300	"	3.46	650	0.37
C	"	"	75	300	280	1,400	"	3.20	620	0.39

* 製作年代新しいもの

む装置やスイッチ、抵抗器が重量、容積が大きくなる。ある場合には速応性はよいのであるが。

(2)架線電圧の変化に対し電圧安定性をよくするために、直巻界磁を力行のときには和動にし制動中には差動にしている必要がある。

(1)(2)の点から複巻電動機が望ましい。分巻界磁を増せば制御範囲は広がるが、安定度を減ずるから適当な割合にする必要がある。一般に分巻6直巻4から分巻8直巻2の間に適当に選ぶ。

(3)分巻界磁があるので速度特性はねてくるから制御上とか電流平衡に注意を要する。

(4)分巻界磁は細い線を多く巻くのでスペースファクタが悪くなり、インダクタンスが大きくなるので電流変化に対するサージの保護を必要とする。

5.2 補償巻線そのほか

(1)高速において界磁を弱める率が多いから、電機子反作用を打消すために補償巻線をつける必要がある。

(2)補償巻線を巻く場所が磁極に必要となり、これは分解組立を複雑にする。

(3)高速において大電流と弱界磁率大なこと、低速において界磁の飽和が少ないことで、静止部も回転部も苦しいので寸法、重量は一般の電動機より増大する。

(4)補償巻線をつけると電気的な速度比が増すが、現状では最高回転数は機械的の制限を受けているので、回生電動機では定格回転数を低くしなければならないので速度比が大となったのである。したがって電動機出力の割に重量は重くなる。

6. 制 御 装 置

複巻電動機を使用したものとして考える。

6.1 回 路

回生制動の速変範囲を広くするためと、制動開始と終期の切換えを円滑にするために下記の点が考えられる。

(1)高速では界磁を弱めるがさらに高速まで有効にするには、電機子回路に抵抗を直列に挿入し電圧を上げることが考えられる。この場合は抵抗による電力損失がある。

表 6.1 制御器重量比較表

単位は kg

製 作 会 社	A	A	B	B
用 途	非 回 生	回 生	非 回 生	回 生
主 電 動 機	75 kW×4	75 kW×4	75 kW×8	100 kW×4
主制御器箱	460	517	610	350
断流器箱	290	239	380	260
界磁制御器		205		
主抵抗器	380	140	800	140
誘導分流器	250		250	
予備励磁装置	55			
界磁抵抗器				20
計	1,450	1,101	2,040	770

(2) 制動速度の下限を低くするためと、回路を簡単にするために、4 台永久直列の接続が有利である。

(3) 惰行中も回路を架線に接続しておき、架線電圧と電動機電圧の比較検出をし、適応した スポルティング を行ない制動開始を円滑にする。

(4) 低速においては空気制動と切替えるのは抵抗制動の場合とおなじである。

(5) 弱め界磁率が大であるから、力行中にも最初は抵抗制御を行ない、その後広範囲の界磁制御をするのが有利である。

(6) 界磁の制御には架線あるいは励磁機から励磁し

て、これを界磁電流が少ないので無接点回路で制御する。

6.2 器 具

器具は抵抗制動に比較して軽量になる。

(1) 抵抗制動のように大電流を抵抗に流し熱を発生しないから、抵抗器の重量容積は減少する。

(2) 電流が 15~20 A くらいの界磁回路を制御するのが大部分であるから、スイッチや抵抗が軽量になる。

(3) 制御電流が少ないので磁気増幅器、論理継電器などの無接点装置が使用でき、接触不良や接点の消耗がなくて事故を減少する。

(4) 確実な電圧検知装置を設けて、惰行より力行、制動に直ちに入れることが必要である。

7. む す び

回生制動を適用する場合に変電所と電車に既述の問題点があるので、これを解決するとか得失を比較する必要があると思う。回生制動が実施されているいろいろ経験の深い方々が本文を読まれて不足している点、誤っている点を見出されたならご叱正下されれば幸いである。

最近における当社の社外講演一覧

講演年月日	主催および開催場所	題 名	講 演 者	所属場所
35-10-13	電通学会 アンテナ専門委員会	飛しょう体テレメータ用アンテナ	河 村 孝	無線機
"-10-13, 14	規格協会	品質管理と標準化セミナー	久 田 義 八	福 岡
"-10-14	情報処理学会	自動電子計算機総合演算高演化について (MELCOM における高演算方式)	豊 田 準 三	研究所
"	日刊工業新聞社	電気絶縁材料の新しい試験法	原 仁 吾	研究所
"-10-15	早稲田大学	起業投資の経済性	高 田 真 蔵	本 社
"	ラジオ会館	マイクロミニチュア化について	忍 足 博	無線機
"-10-18	通信学会	写真測光による電子衝撃陰極の温度測定	岡 田 武 夫	研究所
"	大阪府立工業研究所	電気式空気清浄装置	斎 藤 寛	神 戸
"-10-18, 19	能率協会	IE 組織セミナー	前 田 幸 夫	本 社
"-10-19	大阪大学工学部	ミリ波レーダの実験	近 藤 敬 吉	無線機
"-10-20	ヤマハホール	単純化の問題点	前 田 幸 夫	本 社
"-10-22	放射科学協会	ジェット機首ラドーム	尾島学二・石黒克巳 前田祐雄・喜連川隆	研究所 世田谷
"	工業技術振興会・日刊工業新聞社	誘導機の最近の進歩	八 木 勝	名古屋

車 両 用 冷 房 装 置

静岡製作所 牛 田 善 和*・加 藤 敏 夫*

Car-Mounted Air Conditioners

Shizuoka Works Yoshikazu USHIDA・Toshio KATO

Newly-built passenger cars are mostly equipped with air conditioners to provide for comfortable riding. They consist of unit coolers, the outcome of the latest development. Mitsubishi has been producing a number of unit coolers since the first successful installation on the limited express of the Japanese National Railways, "Asakaze" (Morning breeze) in 1959. They are mounted under the floor of the car so as to be free from vibration and noise. Novel features of recently completed units are the installation of germicide lamps to assure the circulation of sterilized air and also oil both dampers with much improved air purifying function as compared with conventional sets.

1. ま え が き

最近新しい客車が作られ、これらの客車に冷房装置が取付けられるものが多くなった。車両用の冷房装置は近時急速に進歩し、その多くはユニット式のものが使用されている。当社では昭和34年に特急“あさかぜ”号の編成列車に初めてユニット式の冷房装置（ユニットクーラ）を製作し、その後多数のユニットクーラを納入した。ここに最近製作したユニットクーラの主として構造について説明する。

2. 1号編成客車用ユニットクーラ

2.1 形式および定格

(1) ユニットクーラ

形 名	AU-23
外形寸法	高さ×幅×奥行 795 mm×1,905 mm ×1,370 mm
電 源	三相 AC 200 V 60 c/s
製品重量	900 kg
冷 媒	R-12
冷房能力	12,800 kcal/h
圧 縮 機	半密閉形 5.5 kW 電動機
凝 縮 器	強制通風空冷プレートフィン形
送風機（凝縮器用）	多翼形両吸込 風量 120 m ³ /min
送風機用電動機（凝縮器用）	全閉外扇形 1.5 kW
冷 却 器	強制対流プレートフィン形
送風機（冷却器用）	多翼形両吸込 風量 28.2 m ³ /min 静風圧 40 mm（水柱）
送風機用電動機（冷却器用）	全閉外扇形 0.75 kW

(2) 配 電 盤

外形寸法 高さ×幅×奥行 1,700 mm×700 mm
×200 mm

電 源 三相 AC 200 V 60 c/s

製品重量 177 kg

2.2 構造および作用

このユニットクーラは日本国有鉄道の1号編成客車すなわちご料車に取付け車室内を冷房するものである。ユニットクーラは客車床下に1両で2台つり下げ、配電盤は1面を車室内に取付けてある。このユニットクーラはユニット式で、車室内の空気をダクトによって導き、冷却器によって冷却し、ふたたびダクトによって送風して車室内の冷房と空気の清浄をするようになっている。配電盤はユニットクーラおよび暖房用ヒータの電気制御をおこなう。ユニットクーラの電源は列車に接続された別の客車に設置したディーゼル発電機を駆動して集中発電し、三相交流200Vを供給されている。ユニットクーラはユニット式で、車両床下に設置されているので、振動や騒音はきわめて少なく、すえつけ、点検などの保守は容易にできる。またダクト式のため車室内は均一な温度に冷房される。配電盤はその操作が非常に簡単にできる構造となっている。いずれも客車に似合った美しい外観のものである。

(1) ユニットクーラ

このユニットクーラは図2.1、2.2のように、圧縮機、凝縮器、送風機、電動機、液溜、冷却器、ダンパ、エアフィルタなどを一つのワグ組に取付けてカバーで包んだユニット式のもので、圧縮機、凝縮器、液溜、送風機、電動機などを取付けて冷媒を凝縮液化化する凝縮室と、冷却器、送風機、ダンパ、エアフィルタなどを取付けて冷媒を蒸発させ空気を冷却する冷却室からできていて、ユニットとだいたい同じ構造である。しかし凝縮器は

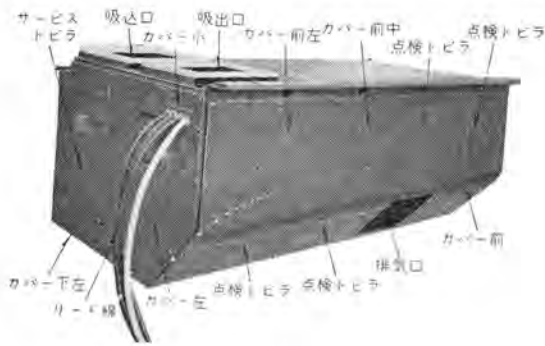


図 2.1 AU-23 形ユニットクーラ (正面)
Fig. 2.1 Type AU-23 unit cooler front view.

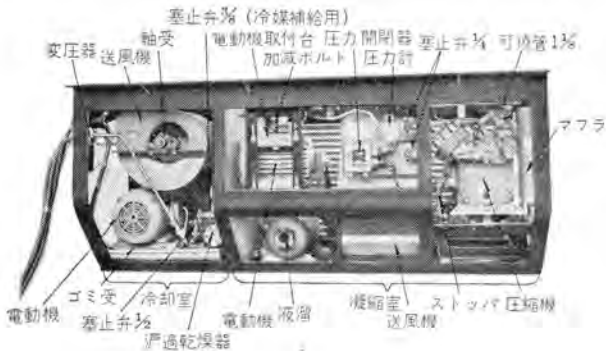


図 2.2 AU-23 形ユニットクーラ (カバーを取ったところ)
Fig. 2.2 Type AU-23 unit cooler with a cover removed.

水が使用できないため、強制通風による空冷式のものとなっている。車両用として各機器は振動や衝撃に耐えるように強固に製作し、また各種の安全装置を装備している。カバーには各部に点検トビラがあって内部機器の操作や点検が容易にできる構造となっている。

このユニットクーラは車室内よりダクトにより温かい空気を吸い込んで冷却器で冷却し、新鮮空気とともにダクトを通して車室内へ送風し循環する。この空気はいずれもエアフィルタによって、ゴミが除かれて清浄なものとして客車室内を快適なものとする。

a. 圧縮機

この圧縮機は電動機直結の半密閉形で R-12 用として設計したものを使用している。圧縮機は往復動式でクランクケースに 2 コの気筒が V 形に配置されている。吐出弁部分は安全パネによって押さえられていて、油または液冷媒を圧縮して、異常高圧になったとき押し上げられ、そして吐出弁受け側面および吐出弁受け、吐出口よりシリンダヘッドに油および液冷媒を逃して吐出弁の破損を防止する構造となっている。油の潤滑は、はねかけ式でピストン、ピストンピン、軸受、クランク軸軸受および気筒壁に油を供給する。この潤滑油には SUNISO 4 G を使用している。

b. 新鮮空気の入入れ

新鮮空気の入入れは図 2.3 のように冷却室の後面(車両中心側)に取付けたダンパによっておこなう。ダンパは車室内にあるスイッチによってダンパモータを回して軸端のクランクアームが連結棒をかいしてダンパの羽根を自動的に開閉する機構である。車室内よりダンパの開閉ができるため列車がトンネルにはいって煤煙や汚物が新鮮空気取入れ部分より侵入するおそれのあるときはダンパを閉じてその害を防止できる。

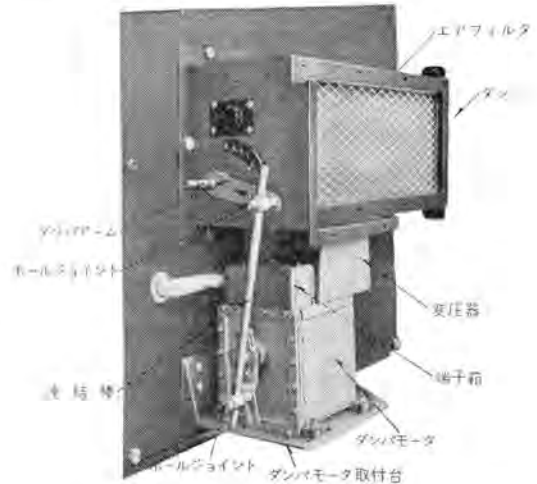


図 2.3 ダンパ
Fig. 2.3 Damper.

c. オイルバス式フィルタ

新鮮空気の入入れ部分には、従来はメタルウールをエレメントしたエアフィルタを使用していたが、煤煙などの細かい粒子や、多量のジニアイを吸い込むため、その効果は不十分であった。このユニットクーラに使用したオイルバス式エアフィルタはエンジンに使用されている油そう式エアクリーナとその原理は同じものである。吸い込まれた空気は流速を速められて油面に衝突し、このとき吸い込み空気中のジニアイは油に吸着され、油の微滴を含んだ空気はメタルウールのエアフィルタで油だけ残し、完全に除ジニされた清浄な空気は、車室内からの吸い込み空気と混って車室内に吹き出される。この方式によるときは従来のメタルウールを使用した場合に比較し、格段に除ジニ効果が上がった。

d. 殺菌灯

ユニットクーラ内への殺菌灯の組込みは、先に当社で製作した、日本国有鉄道の特別急行列車“さくら”号の食堂車に設置したユニットクーラに初めて使用されたが、1号編成客車では全車両のユニットクーラに

殺菌灯が組込まれている。殺菌灯は冷却室内の吸い込み空気部分に取付いており、電源は換気送風機用電動機から取っていて、換気用送風機が運転しているときは点灯している。この殺菌灯は車室内からの循環空気およびダンパから吸い込まれた新鮮空気中の大腸菌、結核菌などの細菌を殺して空気伝染性の病気の感染を防止し、車室内の環境衛生を向上することができた。

(2) 配電盤

配電盤は図2.4のとおりのもので、その回路接続は図3.5のとおりである。車室内の換気だけおこなうときは、配電盤の換気用押しボタン“入”を押すと、換気用の送風機が起動し、新鮮空気を取入れるとともに室内空気が循環する。室内の冷房をおこなうときは、冷暖房切換用の切換スイッチを“冷房”に合せ、換気用の押しボタン“入”を押す、つぎに冷暖房の押しボタン“入”を押せば圧縮機は運転を開始し、冷風を車室内に送り冷房する。ユニットクーラは必要に応じ押しボタンで手動により1台または2台を運転できる。室内温度は車室内に設置してある1コの温度調節器で2台(1車両)のユニットクーラを制御する。すなわち室内の温度がある低温度より上昇し、規定温度になると、はじめにNo. 1のユニットクーラが運転し冷房する。それでもまだ室内温度が高くなって規定温度に達するとNo. 2のユニットクーラが運転を開始し、冷房する。2台のユニットクーラによって室内が冷却され温度が下降し、規定温度まで下がると、No. 2のユニットクーラは運転を停止する。なおも温度が下降して規定温度になるとNo. 1のユニットクーラも停止し完全に冷房を中止する。

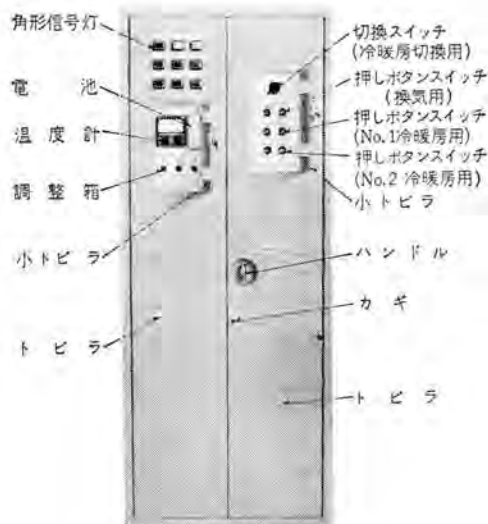


図 2.4 配電盤
Fig. 2.4 Switchboard.

以上のように2台のユニットクーラは温度調節器によって制御され室内温度を自動的に一定範囲内に保つようになっている。室温の測定には、隔測温度計があって、配電盤によりご座所、ご休憩室および冷風吹き出し口の温度が測定できる。車両の床下には点検スイッチがあって、ユニットクーラの点検などで床下から操作して単独運転する場合に使用できるようになっている。ユニットクーラの新鮮空気取入れダンパを開閉するためのダンパモータは、別の客車内のスイッチにより配電盤内の電磁継電器を作動させて、ダンパモータを起動する。

室内を暖房するときは、まず切換スイッチを“暖房”の位置に合せ、つぎに換気用の押しボタン“入”を押す。換気用送風機が起動し、車室内の換気がおこなわれる。さらに冷暖房の押しボタン“入”を押すと暖房ヒータがはいる。なお暖房ヒータはNo. 1の押しボタンを押せば半分がはいる、さらにNo. 2の押しボタンを押せば全部がはいる。室内温度は前述の冷房のときと同じように、冷房と同じ1コの温度調節器により自動的に一定範囲内に保たれるようになっている。配電盤の押しボタンを“入”にしたときこれとは別に、次室、ご休憩室、およびお化粧室の各室内にある“全”“半”“切”の押しボタンによって、それぞれの部屋だけ暖房ヒータを“全”“半”“切”にすることもできる。

3. オロネ 10 寝台車用ユニットクーラ

3.1 形式および定格

(1) ユニットクーラ

形 名	AU-31 B
外形寸法	高さ×幅×奥行 785 mm × 2,520 mm × 1,238 mm
電 源	三相 AC 200 V 60 c/s
製品重量	1,080 kg
冷 媒	R-12
冷房能力	19,000 kcal/h
圧 縮 機	半密閉形 7.5 kW 電動機
凝 縮 器	強制通風空冷プレートフィン形
送風機(凝縮機用)	多翼形両吸い込み 風量 120 m ³ /min
送風機用電動機(凝縮器用)	全閉外扇形 1.5 kW
冷 却 器	強制対流プレートフィン形
送風機(冷却器用)	多翼形両吸い込み 風量 56.5 m ³ /min 静風圧 55 mm (水柱)

(2) 配電盤

外形寸法	高さ×幅×奥行 1,200 mm × 800 mm × 300 mm
------	---------------------------------------

電 源 DC 24 V (電圧変動範囲20~30 V) 三相 200 V 60 c/s

3.2 構造および作用

このユニットクーラは日本国有鉄道のオロネ10形1等寝台車に取付け、客室内を冷房するものである。図3.1のようにユニットクーラは客車の床下に1車両に1台をつり下げ、配電盤は1面を車室内に取付けてある。このユニットクーラは、1号編成客車と同じように、ユニット式のもので、ダクトによって送風する方式である。配電盤はユニットクーラおよびディーゼル発電機の電気制御をおこなう。ユニットクーラの電源はユニットクーラを取付けた客車の床下に、ディーゼル発電機をつり下げて発電し、三相交流200Vを供給されている。この方式では冷房する客車にユニットクーラ用のディーゼル発電機を装備しているため、列車より切り離して、客車単独によってユニットクーラを運転し、冷房することができる。

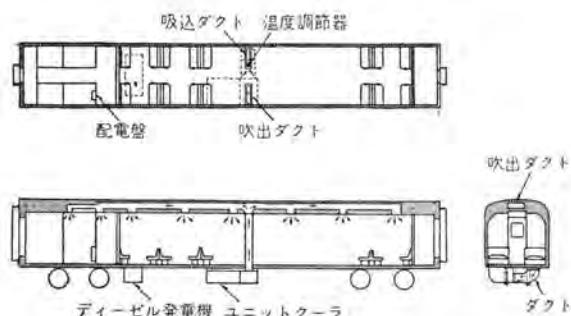


図 3.1 ユニットクーラを取付けたところ
Fig. 3.1 Unit coolers mounted on a car.

(1) ユニットクーラ

このユニットクーラは、図3.2、3.3のように、冷房能力が大きいこと、新鮮空気取入れ部分にダンパモータのないこと、凝縮器に散水装置のあることのほかは、1号編成客車ユニットクーラとほぼ同じである。

(2) 配電盤

ユニットクーラおよびディーゼル機関は、配電盤の押しボタンを押すだけでも、いずれも自動的に起動する方式となっている。車室内の換気のみおこなうときは、配電盤の“送風”の押しボタンを押せば、ディーゼル機関お

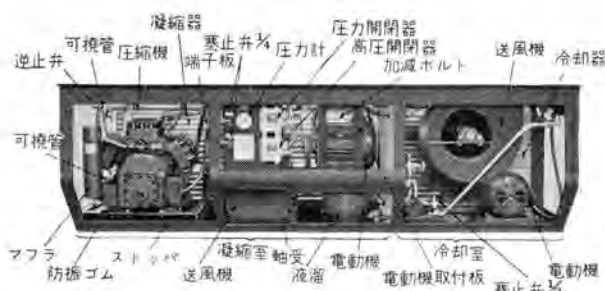


図 3.2 AU-31B形ユニットクーラ (カバーを取ったところ)
Fig. 3.2 Type AU-31B unit cooler with cover removed.

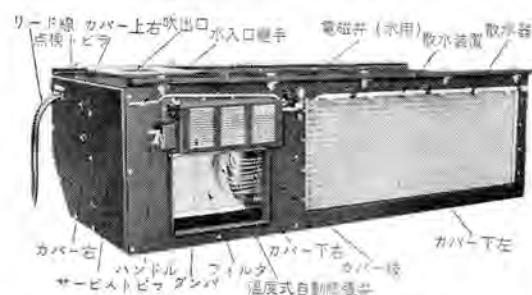


図 3.3 AU-31B形ユニットクーラ (裏面)
Fig. 3.3 Type AU-31B unit cooler rear view.

よびユニットクーラの換気用送風機が起動し、車室内の換気がおこなわれる。冷房するときは“冷房”の押しボタンを押せばディーゼル機関およびユニットクーラが自動的に起動し、運転し、車室内を冷房する。室内温度は温度調節器によりユニットクーラを制御し、自動的に一定範囲内に保たれる。冷房または換気を停止するときは“停止”の押しボタンを押せばユニットクーラおよびディーゼル機関は運転を停止する。

4. む す び

以上最近当社で製作したおもな車両用冷房装置について概略を述べたが、床下形のユニットクーラは多くの経験により、種々の改良がおこなわれ、取扱いが簡単になり、サービスも容易で、故障の少ないものとなった。今後の車両用冷房装置としては、多くの特長をもつユニットクーラ式のものが多く採用されるものと考えられる。このユニットクーラ設計製作に関しては、国鉄臨時車両設計事務所関係者各位のご指導ならびに当社名古屋製作所の関係者の方にご協力をえた。ここに深く謝意を表する次第である。

直流変電所の計画方針

伊丹製作所 加 藤 又 彦*

Directions in Planning DC Substations

Itami Works Matahiko KATŌ

Development of apparatus in the latest DC substations is spurred by the introduction silicon rectifiers of power use. In planning new ground substations combination of these semi-conductor rectifiers and sealed-off mercury rectifiers is the first problem to be taken into account. With ever increasing load of electric cars in and around large cities, the ratio of peak load to average load is also enlarging more and more at one substation. Some countermeasures must be worked out to get over the predicament. The writer discusses the present status of railway substations and lays stress on the adaptation of silicon rectifiers so as to rationalize the substation operation.

1. ま え が き

最近の直流変電所用機器の発達とこれの運用上の新方式とはともにいちじるしく進歩した。なかでも電力用シリコン整流器の発達は電鉄用地上変電所の総合計画とその設計に新分野を開拓した観があり、無人運転を前提とした新構想の各種定格の半導体整流器は在来の封じ切り形水銀整流器にとってかわろうとする傾向にある。

このときあたり、半導体整流器、封じ切り形イグナイトロ整流器を中心に、新しい運転制御方式を加味して総合的に地上直流変電所のありうべき方式を論述することは有意義なことと思う。なお現状では電車負荷は大都市を中心に増加の一途をたどり、そのため1変電所の平均負荷電流値とそのピーク値との比率はますます増大し、1日の時間帯によっては複雑な変化をしている。かかるピーク負荷対策に対して現有の回転変流機、水銀整流器をいかに運用し、かつ新形整流器をいかに増設して協調させるかが問題であり、本紙の意図するところである。整流器の運転信頼度の向上、遠方制御方式の改善、その他各機器の改良ならびに直流主回路の新保護方式の採用は在来の集中変電所方式(2,000 kW または 3,000 kW 級整流器、2~3 台、1 変電所内で並列運転し、主電する方式)から 3,000 kW 級 1 組の単位変電所を分布させる、分布変電所となりこれに関連した遠方制御方式「鉄研 B 形」なる集中制御方式の誕生をみた。しかしこの方式は新しく幹線を電化するとき、将来増加するであろう負荷を想定して実施できる計画と方式であって、その目的とするところは単位変電所は無人化し、各変電所間隔を在来の方式の 1/2 程度として主電線の電圧降下の補償、電力損失の軽減、変電所事故時の影響の波及防止を策し、上

記のピーク負荷電流対策にも応じようとしたものである。

これに対し、すでに電化した線路のピーク負荷電流対策が考えられなくてはならない。これには最近の幾多の新技術による合理化と若がり法があるが具体的諸条件により、また時間的にも、経済的にも制約されて絶対的な結論はえられないのが普通である。しかし一つの想定のもとに各場合場合を技術的、経済的、保守的内容の観点から比較、検討することは確かに可能である。かかる観点から技術的内容の概要をご紹介します、ご参考にご供する次第である。

2. 直流変電所機器

2.1 概 要

在来の集中変電所方式の変電所ではその代表的なものといえば 3,000 kW、1,500 V、D 種定格の機器が 2~4 台並置され、各台とも交流側開閉器から直流側開閉器にいたる間のすべて機器がそれぞれ完備されていてその機器内では電氣的接続上共通部分がなかった。そのうち 1 台は予備器としての性格をもちかつピーク負荷時の救援用であった。しかしこの既設設備への考え方は電車負荷の増加に従ってやぶれ全機器運転の必要性が生じ、さらに機器の信頼性の向上と無人化しようとする思想が加わって影がうすくなった。他方既設機器の使用年数がかさむにつれて保守的見地から一定の負荷限度が把握されるようになり、ピーク負荷対策はますます困難視された。これが救助法は増設と若がり法で補充されているが 2~3 年後の電車負荷の増加を見込んでの企画の試みをいかなる新形機器でいかなる方式で実施するかの解答をうる方法は目下のところ電気計算機のたすけによって一定の想定のもとに計出されている。

最近、電力用半導体整流器で シリコン整流器 を地上変電所用に採用しようとする傾向は国鉄をはじめ各社で研究されている。この シリコン整流器 は将来性ある直流変換機器としての特性は十分備えているが、昭和 35 年度末においては運転実績が少なく、かつ サージ 電圧電流耐量を十分もたした設計にした場合には経済的に水銀整流器変電所と比較してつねに優位にあるとはいえない経済上の弱味がある。

したがって シリコン単位変電所 または集中変電所内における増設機器の一環として並列運転の責務をかせられたときには、総合設計の観点からすれば受電側ならびに直流側機器類の電気的特性の再検討とその性能の改善の必要性に直面する次第である。

以下のべる変電所の各機器は無人化を前提とした単位変電所、集中変電所、さらに変電所群の系統構成に関する事項である。構成機器の分類上直流変換器よりのべることにする。

2.2 直流変換器

直流変換器とよぶのは従来の回転変流機、水銀整流器および半導体整流器を総括した言葉である。ここで問題にされなくてはならないものは風冷式、大容量の封じ切り形 イグナイトロン と シリコン 整流器との本来の性格の相違点である。表 2.1 は両者の比較と付属機器の相違を示したものである。

機器の特性にもとづいて シリコン整流器 を採用することになった場合、下記の事項が要約できる。

- (1) 主回路結線方式の決定は直流側の電圧、電流の諸条件と並列運転の有無などによりきまる。
- (2) 整流器の保護方式は受電電圧、直流負荷側の諸条件、定格出力および運転方式などにもとづいて決

表 2.1 イグナイトロン および シリコン 整流器の特性比較

比較項目	
① 過負荷電流耐量	シリコン整流素子の並列個数に左右されるが一般的にみてイグナイトロンより少ない。 P-N整流素子自体ではピーク電流制御ができない。ピーク電流制御はシリコンではリアクトルに依存する。イグナイトロンは逆換後再使用ができるがシリコンは劣化または破壊は取換えをいみする。よって過電流保護はシリコンでは一般に強化される。
② 過電圧耐量	シリコンのほうが一般に低い。そのため交流側、直流側へサージ吸収装置を設けるのが普通でとくに直流側が問題。
③ 冷却条件	イグナイトロンは上限、下限の冷却条件があるがシリコンは上限だけで下限の制約がない、無人化の1条件
④ その他	① シリコンには逆流のような突発的短絡は少ない。 1アーム直列、並列個数内の整流素子の劣化がありうる。……サージ電圧をきめる。 ② 並列運転時の他種整流器との電圧変動率を符号させるために出力電圧を制御する方式はシリコン整流器は容易に実施できない。

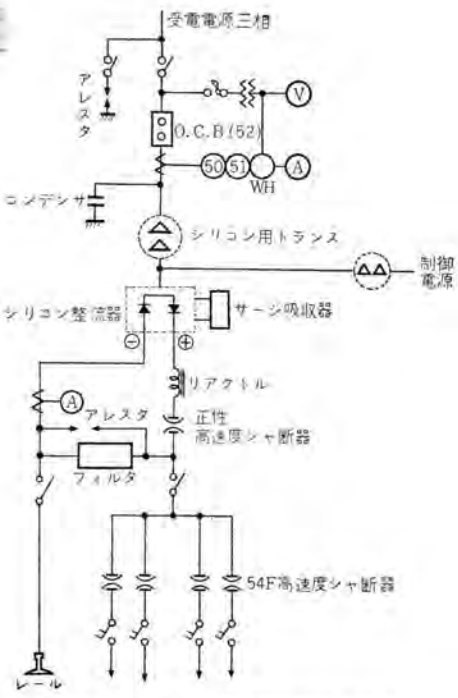


図 2.1 シリコン 単位変電所構成内容
Fig. 2.1 Composition of silicon unit substation.

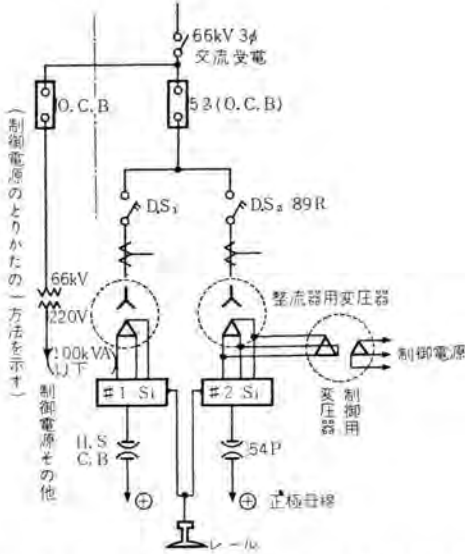
定される。

- (3) 建家の構造、その他一般は周囲条件と受電機器、直流側機器、制御方式により左右される。

図 2.1 は代表的単位変電所の単線結線図である。

2.3 交流側機器

交流側機器は受電電圧、シヤ断容量、電流定格値などにより左右されるが遠方制御という条件により機器台数が制限され、動力断路器の利用が増加し、整流素子の構成条件から整流器用変圧器の結線方式がきまる。問題は変電所内所内電源のとり方である。これは受電電圧が66kV



並列運転時1号器故障したときは 52 シヤ断開放し 89 R の DS₁ 自動開放、52 自動再投入、2号器 (2 Si) 自動運転となって運転はけいぞくされる。
図 2.2 単位変電所主回路方式
Fig. 2.2 Main circuit system of unit substation.

級であれば整流器用変圧器の二次側よりとればシヤ断器の節約ができて有利であるが負荷変動による制御電圧の変化とシヤ断器 動作時の停電とのために特別の考慮が必要である。図 2.2 は上記関係を示す 2 方法を図示したものである。受電用 O. C. B と小容量の制御変圧器を設ける不利が図 2.1 の方式へ進展して行った。

3. 直流地上変電所の設計

直流変電所といってもその用途、目的、定格出力などによって各種の方式のものがあってたとえば固定変電所、移動可搬式変電所、臨時的な簡易変電所などに区別される。しかし上記の各種の変電所の設置に先だって下記の事項はあらかじめ調査、計算して研究しておかななくてはならない。

- (1) 変電所の ピーク 負荷最大値の計出と 1 時間最大値、平均値の算出。
- (2) 定格出力を受電電源 インピーダンス、変電所間距離、キ電線電圧降下などから決定する。
- (3) 負荷増加に対する考慮を算入する。
- (4) 受電電圧周波数の変動とその絶対値の四季の変化の調査、電源系統の容量の調査。
- (5) キ電線を通じての並列運転、同一変電所における並列運転の諸条件の決定。
- (6) 直流変電所の運転方式、とくに制御方式の決定と運用効率、経済的考究など。

以上の諸条件が算出、調査されれば要望条件を満足させた整流器主回路結線方式、整流器の種類と構成がきまり、ついで過電圧保護方式、過電流保護方式、整流装置としての電圧変動率、運転操作、連動方式がきまって整流装置としての電気的性格が決定する。表 3.1 は操作方法の分類を、表 3.2 は保護装置の動作分類を示した一例である。

表 3.1 シリコン 単位変電所機器操作方式 (案)

機 器 名	操 作 方 式 記 号	機 換 器 操 作 の 作 業	配 電 盤 に お け る 操 作		自 動 操 作	遠 方 操 作	そ の 他
			単 操 換 作	直 動 接 換 連 作			
受 電 用 断 路 器	89R	○					
変 換 器 用 シヤ 断 器	52G	○					
変 換 器 用 断 路 器	89G	○	○	○		○	
シ リ コ ン 冷 却 装 置	88B	○					
正 極 用 高 速 度 シヤ 断 器	54P	○					
キ 電 用 高 速 度 シヤ 断 器	54F	○					
キ 電 用 断 路 器	89F	○					
バ ッ テ リ 充 電 装 置		○			○		
圧 縮 空 気 発 生 装 置		○			○		
非 常 停 止	5E	○				○	
故 障 鎖 錠 復 帰	86	○					
断 路 器 一 括 鎖 錠						○	

表 3.2 シリコン 単位変電所機器保護装置動作表 (案)

故障原因	動作リレー	30秒による表示	動作するシャ断器	縮小するシャ断器	検出リレー取付場所	故障表示器取付場所	そ の 他
1 変換器系交流過負	51	52			シリコン整流器盤	シリコン整流器盤	
2 変換器系直流過負	54P	52				同 上	
3 変換器系短絡	50	52			シリコン整流器盤	同 上	
4 整流素子故障					同 上	同 上	警報だけ
5 整流器用変圧器故障	63T	52	○		変 圧 器	同 上	
6 整流器冷却装置故障	63B	52	○		整 流 器	同 上	
7 直 流 過 電 流	32	52, 54F	○		整 流 器	総 括 盤	
8 制御電源過負荷	51C (8A)	52	○		整流器盤	整流器盤	8AはO.T.単独のときだけ
9 制御電源欠相	47C	52	○		同 上	同 上	
10 停 電	27C	54P	○		同 上	同 上	
11 直流高圧接地	64P±	52, 54F	○		別 設 置	総 括 盤	接地線一負極
12 火 災	28	52, 54F	○		同 上	同 上	
13 主電線過電流		54F			キ 電 盤	キ 電 盤	
14 遠測装置異常	80B				蓄電池盤	蓄電池盤	

3.1 単位変電所

これは無人化、簡易化、経済化ならびに変電所の運用効率の向上を目的として設計されたもので 1 組の直流変換装置を設置する。図 2.1 は一変換単位方式の簡易化したものである。これは集中制御方式か無人化の子変電所としての成立条件を満足させるもので据付面積に制約されている場合、キ電線電圧降下補償用に好適である。

3.2 集中変電所

既設の水銀整流器にシリコン 整流器 を新設して運転する場合か、シリコン 整流器 2 台以上を新設して並列運転を実施する場合に相当する、重要な パワーセンタ としての変電所である。この場合異種の整流器間の並列運転はその

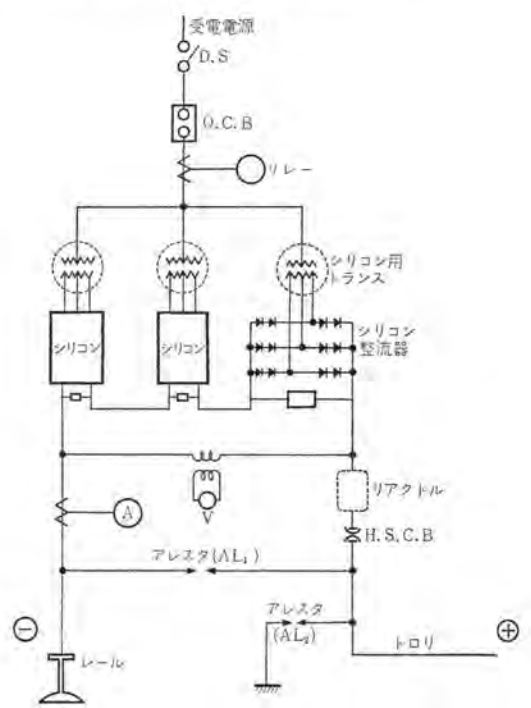


図 3.1 変圧器分割方式

Fig. 3.1 Transformer dividing system.

表 3.3 シリコン および イグナイトロン単位変電所方式の比較

項 目	シリコン整流器	イグナイトロン整流器
定格出力	風冷式 3,000 kW 1,500 V D 種 定格 無人運転	風冷式、封じ切り形 3,000 kW 1,500 V D 種定格 6 タンク 無 人運転
整流回路	3 相ブリッジ結線方式が標準で ときにより相間リアクトル付二 重星形結線そのときはトランス の中性点が正極側	相間リアクトル付 6 相二重星形 結線
過電圧保護 方 式	交 流 側 (a) ACアレスタ (b) 変圧器一次側にコン デンサ(必要により) (c) 変圧器静電シャヘ イ板 (d) 整流アームに並列 にコンデンサと抵抗と を挿入 (e) バリスタ	(a) ACアレスタ (b) な し (c) な し (d) 整流タンクと並列にコン デンサと抵抗を挿入 (e) 過電圧放電器
	直 流 側 (a) DCアレスタ (正極一負極母線間にも 挿入) (b) DC リアクトルを 正極母線側に挿入 (c) 整流アームに並列 にコンデンサと抵抗と を挿入 (d) 整流アームにバリ スタ	(a) DCアレスタ (正極母線一大地間) (b) なし (フィルタのリア クトルは負極母線に挿入してあ る) (c) な し (d) な し
過電流保護 方 式	(a) 直流高速度シャ断器 (正極性) (b) 上記 DCリアクトル (c) 各種リレー	(a) 直流高速度シャ断器 (逆極性) (b) な し (c) 各種リレー (d) 格子シャ断
電圧変動率	受電する交流電圧でことなる (数パーセント)	同 左
運 転 条 件	(a) 整流器の制御方式 により差あり、無人運転 が標準。 (b) 保護連動は過負荷に対 して厳密に行なう必要あり。 (c) 整流素子の破損とそれ に対する運転休止との関係でサ ービス階級を定め、シリコン 整流素子の接続方式に相違が でき、設計内容が異なる。す なわちトレイ式などの構造で ある。	(a) 同 左 しかし運転制御がシリコンに 比してやや難点をもつ。 (b) 一応の限度あるも道狭し ても再使用可能の特性あり。 (c) かかることなし
そ の 他	(a) 建屋に対する要求内容が 少ない、したがって小さくで きる。またシリコン整流器を 半屋内形として建家の軸小を はかりうる便がある。	(a) 建家に関しては整流器の 温度調整の点からみて要求度 が高い。

特性上、保護方式はとくに留意しなければならない、またそれぞれの機器の長、短相おぎなうような運転方式と保守内容とを必要とする

3.3 特殊変電所

これは別稿で述べる移動変電所、可搬式変電所その他特定の目的をもって作られた特別な変電所であって、使用目的とその使用範囲とが限定されたものでそれぞれ一つの特長をもっている。図 3.1 は電力用標準変圧器とシリコン整流器とをそれぞれ直列に接続して特定の用途としたものであり、1,000 kW 1,500 V の一例である。

以上の 3 種の変電所を単独または群を構成して制御しかつ個々の変電所間の連動保護方式を交換装置の特性に

合致させるように設計して電車運転に万全をきすることが肝要である。

以下 シリコン整流器単位変電所と イグナイトロン 整流器単位変電所の主回路方式、過電圧保護方式、過電流保護方式、その他を比較し、表にまとめたものが表 3.3 である。

4. そ の 他 一 般

シリコン 整流器は表 3.3 に示したように冷却の面からみて半屋外に設置しても保守上困難をますことは少ないとみられている。そのため盤関係と直流高速度シャ断器類は屋内に入れるもその他は屋外でよいといえる。かかる見地から機器の配置を考えると狭小な敷地で分布変電所が設立できることになるが都会地においては変圧器、シリコン 整流器の冷却ファンなどの騒音もところによっては問題化するおそれがある。この単位変電所は図 2.1 でわかるように機器を許す限り節約しているため引止鉄柱も減少しており経済的である。また定格出力のことなる機器の組合せ方式で電車負荷への合理化をはかり経済的運用を実施するのも誠に有意義であると思う。

5. む す び

以上電鉄用直流変電所の最近の状況と設計内容の一端とをご紹介したのであるが紙面が制限されているため十分な説明はできなかった。また他日期をみて記述することにしたい。ご承知のように 電力用シリコン整流器 が発達して整流器自体はいかなる容量のものでも、いかなる定格の種類のものまでも製作される状況になってきた。しかし経済的な観点からするとなお問題があるようにきいている。そこで直流変電所全体としてシリコン整流器の特性をいかして総合的に設計し、無人化、簡易化、合理化ならびに運用効率の向上を目的とした方式が打出されてよいはずである。その代表例が上記の単位変電所であると思う。しかし電気機器はその内容が進歩してやまなものであるから、それを応用した制御方式も時とともに改変されてゆくことであろう。本文もこの観点に立てば再考の余地があると思う。

最後に関係各位のご批判をお願いして擱筆する次第である。



扇 風 機 用 タイム スイッチ

考案者 加 藤 義 明

この考案は、羽根車を回転駆動する電動機の回転数をもって扇風機の使用時限を設定しようとするものである。

すなわち、この考案は図1に示すように減速歯車装置(6)および摩擦パネ(13)を通して電動機軸(1)と連結する回転板(11)と、この回転板の輪周に係合して常時接点(15)(16)を閉じ可動接点(15)が図2に示すように切欠(a)に落ち込んだとき、接点を開放して電動機回路を開く開閉器とを備え、つまみ(17)を時計方向に回転操作して接点(15)(16)を閉じ、回転板(11)を所定の角度回転することにより扇風機の使用時限を設定するものである。

上記のようにして時限が設定されると、当然電動機が回転し減速歯車装置および摩擦パネを介して回転板(11)を、接点開放方向(反時計方向)に回転する。したがって、所定の時間経過すると、可動接点(15)が切欠(a)に落ち込み接点(15)(16)を開放し扇風機すなわち電動機を自動的に停止させる。

また扇風機を連続して使用することを望む場合には、回転板(11)を時限設定方向とは逆方向(反時計方向)に回転操作し、ストップ(12)を電動機カバーの突片(14)に係合させる。この状態にすると回転板(11)を駆動する歯車(7)が摩擦パネ(8)に抗して遊動することになり、時限装置は完全に開放され扇風機は連続運転することができる。

このように、この考案は電動機の回転数をもって扇風機を時限運転できるようにしたので、従来の扇風機のように時限

装置を別個に設置する必要がなく構造が簡単になり、また電動機後部に簡潔に収容できるので、新たな装置を取付けることによって扇風機が大形化するのを防止することができる。

(実用新案登録第503460号)(藤田記)

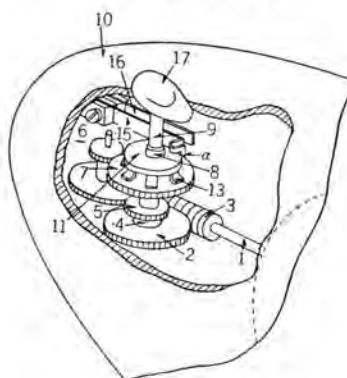


図 1

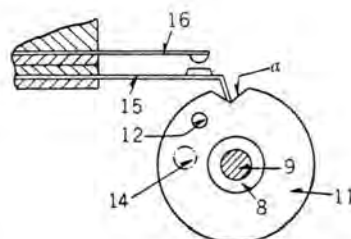


図 2

扇 風 機 支 持 装 置

考案者 柘 植 恵

この考案は、スタンド扇風機における支柱の改良に関するもので、図1に示すように、支柱管(1)の上端開口(3)に嵌

合定着され、支柱(5)を貫挿した筒状の支柱金具(2)の内周面に、互いに上下に離間して上記支柱(5)を囲繞する摩擦帯(8)と振れ止め帯(7)を設け、また上記支柱金具(2)の外側には、上記摩擦帯(8)を介して支柱(5)を押圧錠止する止めネジ(10)を設けたものである。

したがって、支柱(5)を錠止したとき、摩擦帯(8)と離間して振れ止め帯(7)が支柱に接触しているので、支柱は上記両帯によってガタつくことなくきわめて安定がよいばかりでなく、支柱金具(2)を支柱管(1)の内周面に嵌合定着するようにしたので、図2に示す従来のもののように、支柱管(1)の肉厚を厚くする必要がないから材料の節減に寄与する効果がある。

(実用新案登録第505658号)(土居記)

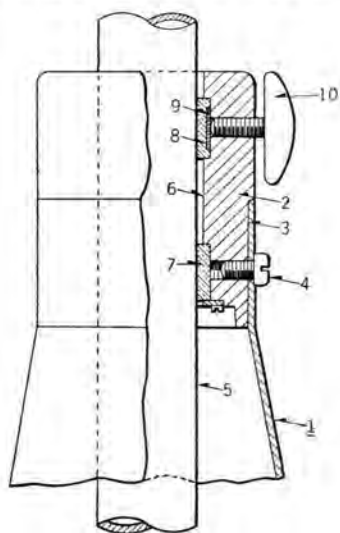


図 1

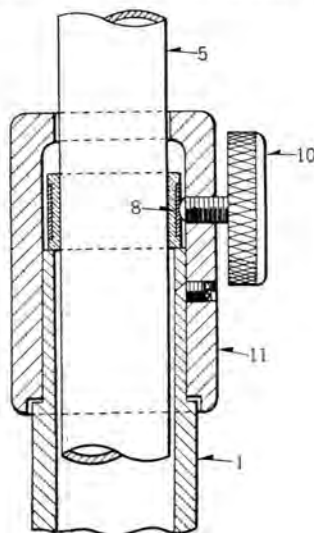


図 2

電鉄用水銀整流器の二,三の問題

伊丹製作所 塚 本 昭 三*
研 究 所 阿 部 久 康**

Problems on Mercury Arc Rectifiers for Transportation Service

Itami Works Shozō TSUKAMOTO
Research Laboratory Hisayasu ABE

There has been a tendency of increase in load every year of transportation service mercury arc rectifiers with the enlargement of traffic volume. This makes it necessary to have a thorough study on the characteristics of the rectifiers, one means of which, the most current practice, is to make known their duty relevant to residual ions against back firing. However, according to the writers' opinion, the study should be made by taking into account elements in response to the change of load current itself and also to the transition of load current with the lapse of time in addition to a factor determined by a circuit. On the other hand the cooling condition of the mercury arc rectifier is to be investigated according to the change of load. The development of gas filled ignitrons, now in a practical usage, is an outcome of the simplification of the method.

1. ま え が き

電鉄変電所に使用される水銀整流器について最近とりあげられている等価試験の考え方、電圧制御の応用、温度制御などの問題について若干の検討を行なってみた。

2. 変動負荷における責務

最近水銀整流器の試験方法として等価試験法が盛んに利用されている。この試験法は Lawton, Kingdon 以来種々開発されてきた方法で、種々の整流タンクの特性の比較を、従来の負荷試験法のように大量の電力消費を必要としないでより短時間に実施することができ、また種々の負荷における逆弧の確率をある程度推定することができる試験法である。

この等価試験法は、水銀整流器の逆弧は陽極電流通流終了時に陽極前面に残留する陽イオンが逆電圧により加速されて陽極に衝突することにより確率的に発生するという考えに基づいている。実験的にこの確率は

$$P = \frac{\mu^n}{n!} e^{-\mu}$$

で表わされる Poisson 分布に従うことが明らかにされているがこのとき、陽極電流通流終了時の残留イオンはそのときの陽極電流変化率 $\left(\frac{di_a}{dt}\right)_u$ に比例するとしてこの変化率と陽極に加えられる飛躍逆電圧 ΔE との積 $B_0 = \left(\frac{di_a}{dt}\right)_u \cdot \Delta E$ と逆弧確率の間に上記 Poisson 分布が成立することから積 B_0 をこのとき水銀整流器にかかる責務と

名付けられている。この責務 B_0 と上記 Poisson 分布式中の μ の間に一定の関係があり、一方 n はその整流タンクの特性を表わす係数であり、 n の大きいほうが同じ B_0 したがって μ に対して確率 P は小さくなり n の大きい整流タンクほど性能が良いということになる。対数目盛で μ したがって B_0 を横軸とし確率 P を縦軸とすると n をパラメータとする直線となり、任意の責務 B_0 に対する逆弧確率 P を求め、その整流タンクの特性直線あるいは特性係数 n がきまれば他の任意の責務 B_0 に対する逆弧確率 P を推定することができる。すなわち通常の運転状態での責務に対してはきわめて低い逆弧確率を示す整流タンクでも1時間に数回以上の逆弧確率を与える大きな責務で試験して短時間にその整流タンクの特性直線を求め、この特性から実際運転時の成績を推定することができ、整流タンクの良否を判定することができる。

この運転時に整流タンクに与えられる責務 B_0 はその使用回路条件で決定され次式で表わされる。

$$B_0 = \omega \sqrt{6} E_s I_a \cdot \frac{\sin^2(\alpha + u)}{\cos \alpha - \cos(\alpha + u)}$$

ここで E_s = 整流器用変圧器直流巻線電圧

I_a = 陽極電流頂上値 (二重星形結線では直流電流の半分)

α = 制御おくれ角

u = 重なり角

たとえば 1,500 V 3,000 kW の定格でリアクタンスが 6% のときの各負荷における責務を計算すると図 2.1 のよ

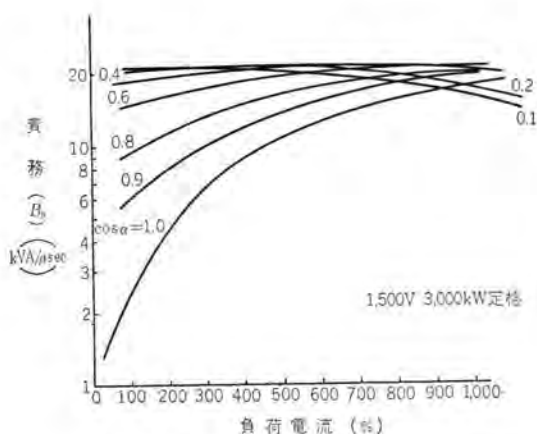


図 2.1 各負荷電流における責務

Fig. 2.1 Duty at various load current.

うになる。このときパラメータは $\cos \alpha$ である。図から明らかに責務は負荷が増加するとともに大きくなり、また電圧制御によっても大幅に増大する。

等価試験により求められた整流 タンク の特性直線と、この回路責務とから任意の負荷に対する逆弧確率 $P(I_a)$ を求めることができるが、実際の負荷のように負荷が変化するときには負荷曲線を時間帯に細分して

$$P_m = \frac{1}{T} \sum P(I_a) dT$$

から平均の逆弧確率を求めることができる。また逆に平均の逆弧確率 P_m がきまると逆算により所要の n 、すなわち整流 タンク の特性直線が決定される。

さて図 2.1 をみると電圧制御の割合が大きくなると負荷電流の変化による責務の変化は少なくなり、逆に負荷電流の多いほうが責務が小さくなり、この付近では負荷電流の多いほうが逆弧しがたいことになる。これは電圧制御により陽極電流の転流開始がおくれ、負荷電流の増大によって重なり角が増し、結局陽極電流通流終了時点が最大逆電圧の時点以後となり、転流電圧、飛躍逆電圧がかえって減少するためである。この結果は前述の責務が回路条件だけによって決定され、それ以外の条件が一定で、陽極前面の残留 イオン が陽極電流により一次的に決定されるときだけ妥当である。陽極電流通流終了時の残留 イオン については重なり角が長いときは Wasserrab により次式が導かれている。

$$n_u = \frac{n_0}{I_a} \cdot \tau_1 \left(\frac{di_a}{dt} \right)_u$$

ここで n_u = 転流終了時の残留 イオン

n_0 = 転流開始時の イオン

τ_1 = イオン の平均寿命

この式において τ_1 は整流 タンク の構造によって定まるゆえ、 n_0 が I_a に一次的に比例するなら $n_u \propto \left(\frac{di_a}{dt} \right)_u$ は成立し、上の考えかたは正しい。すなわちたとえば整流 タンク の冷却が十分で、陽極電流の変化に対し内部水銀蒸気圧があまり変化しないときだけ上の考えかたが成立すると

思われる。

しかし実際運転のときはむしろ冷却条件が一定で、負荷電流が増すと発生熱量も増し、当然内部水銀蒸気圧もいちじるしく上昇し、したがって陽極電流の増分以上に残留 イオン も増加し、もはや残留 イオン と陽極電流の間には一次的な関係が存在するとは考えられない。すなわち上述の Wasserrab により導かれた残留 イオン の式の中で n_0/I_a は常数とならず、 $n_0/I_a = f(I_a)$ の関係が成立するものと考えられる。したがって今まで考えられてきた整流 タンク に加えられる責務には陽極電流の変化率と飛躍逆電圧のほかに陽極電流値の変化そのものの直接の影響を含む要素が追加されるべきであり、したがって

$$B = \left(\frac{di_a}{dt} \right)_u \cdot \Delta E \cdot f(I_a) = B_0 f(I_a)$$

で表わされる責務を採用しなければならない。この点から等価試験で求められた特性直線から実際運転時の性能を推定するには、そのときの負荷電流に応じた陽極電流において求められた特性直線より実際の責務における逆弧確率を推定することが必要となる。すなわち今までの表現による責務により整流 タンク の特性直線を求めるときはそのときの陽極電流をパラメータとして数多くの特性直線を求めなければならない。これに対し責務の中に回路条件で決定される要素にさらに陽極電流の影響を含めるときは、この陽極電流の影響を一つの基準陽極電流に対する係数として与えれば種々の陽極電流値の影響をこの基準値に換算することができ、したがってこの基準値における特性直線 1 本から種々の負荷における特性を推定することができるようになる。

しかし、今のところこの責務に対する陽極電流の影響 $f(I_a)$ の形を理論的に決定することはできない。また整流 タンク の構造などによっても異なり、冷却方法によっても大いに変ってくる。したがって各種整流 タンク について実験的に決定しなければならない。

前述の図 2.1 に対応して代表的整流 タンク についてこの陽極電流の影響を求め、100% 負荷を基準値としたときの各負荷における責務を計算すると図 2.2 のようになる。図から負荷電流の増加とともに責務も大幅に増大することがわかる。図 2.2 で与えられる責務と、この基準値すなわち 100% 負荷に相当する陽極電流での等価試験より求められた特性直線とから実際負荷時の性能を推定することができる。

ここでさらに検討すべきは上述の負荷電流による責務の変化が水銀蒸気圧の変化に基づくと考えられる点である。すなわちある瞬間に負荷電流が突然に変化したときも水銀蒸気圧は直ちに追従せず、いくぶんの時間おくれをもって変化する。したがって責務も負荷電流の変化に

対しある時間おくれをもって変化することになる。負荷電流による責務の変化もまた理論的には明確でないがこの責務の概念の基となっている残留イオンが他方では陽極電流通電終了直後の陽極逆電流を決定することから負荷電流による陽極逆電流のピーク値の変化状況と同じ経過で責務も変化するものと考えることができる。すなわち逆電流の測定結果から、責務は負荷電流により指数関数的に変化するとみなすことができる。正確に言えば回路責務 B_0 は負荷電流に応じて直ちに变化し、他方電流要素 $f(I_a)$ が指数関数的に変化し、結果として責務 B は指数関数的に変化することとなる。

たとえば今 $t=0$ において負荷電流が I_{a1} から I_{a2} に变化したときを考える。負荷電流 I_{a1} , I_{a2} に対応する回路責務、電流要素をそれぞれ B_{01} , B_{02} , $f(I_{a1})$, $f(I_{a2})$ とすると、責務 B は $t=0$ において $B_{01}f(I_{a1})$ から $B_{02}f(I_{a1})$ となり、以後 $f(I_a)$ が指数関数的に $f(I_{a1})$ から $f(I_{a2})$ に変化することから最終的に $B_{02}f(I_{a2})$ となる。結局 $t \geq 0$ における責務 B は

$$B = B_{02} \left\{ f(I_{a2}) - [f(I_{a2}) - f(I_{a1})] e^{-\frac{t}{\tau}} \right\}$$

で表わされる。ここには指数関数的に変化する $f(I_a)$ の時定数である。

このように責務の変化の時間おくれを考慮すると図 2.2 に与えられた責務は任意の負荷電流が十分長時間流れたときのものであり、その負荷が短時間で終わり水銀蒸気圧が十分変化し終わらなければ責務もそれほど変化せず、図 2.2 で与えられる値より小さくなる。この考えに基づいて図 2.2 中の無制御時の責務に対し、たとえば時定数 15 分として時間に対し補正したものを図 2.3 に

示す。図は 100% 負荷をベースとしてそれぞれの過負荷が短時間負荷されたとき、その過負荷期間中の責務の最大、すなわち過負荷終了直前の責務を計算した一例である。図 2.2, 2.3 にはともに風冷および水冷の整流タンクについての計算結果を示すが水冷のほうが風冷に比して責務の変化が少ないが、これは負荷電流による責務の大幅な変化が水銀蒸気圧に基づくと考えてきた点で当然である。すなわち水冷式整流タンクでは整流タンク温度はほぼ冷却水温度に等しく、冷却水の熱容量、熱伝達係数も大きく、負荷電流の増加による水銀蒸気圧の増加が風冷式に比して少なく、したがってそれだけ負荷電流の増加に伴う責務の増大が少なくなるわけである。

また通常の変動負荷のように図 2.4(a) のように短時間の過負荷が繰り返されるときの責務は同図 (b) のように変化し、定常状態において短時間過負荷の終了直前の責務、すなわち繰り返し過負荷における最大責務は

$$B_p = B_{0p} \frac{f(I_p) (e^{-\frac{T_p}{\tau}} - e^{-\frac{T}{\tau}}) + f(I_p) (1 - e^{-\frac{T_p}{\tau}})}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}}$$

で与えられる。

たとえば 100% 負荷がベースのときを計算すると図 2.5 のようになる。図から明らかに時間が短いほど、また繰り返しの周期の長いほど同一最大責務を与える過負荷の程度は大きくなる。すなわち時間の短いほど、周期の長いほど過負荷耐量は大きくなる。一方負荷時間が短ければ同じ逆弧確率でも逆弧回数は減少するから時間が短ければそれだけ負荷を大きくして逆弧確率を大きくすることもでき、それだけさらに短時間過負荷耐量も大きくなる。同じ考えによれば同一の過負荷、同一の継続時間に対してもその前の負荷、すなわちベース負荷によっても責務は変化し、ベース負荷が少ないほど瞬時過負荷耐

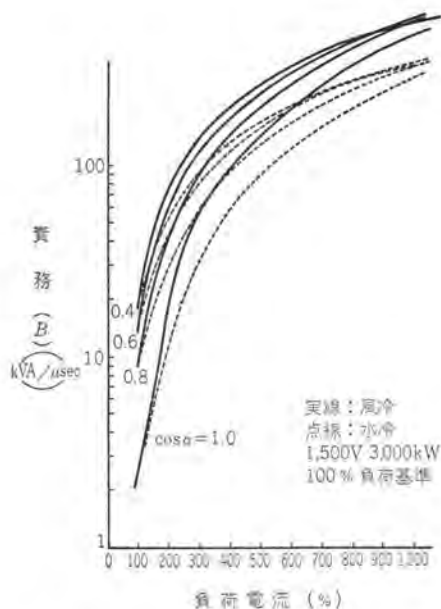


図 2.2 負荷電流に対する補正された責務
Fig. 2.2 Corrected duty corresponding load current.

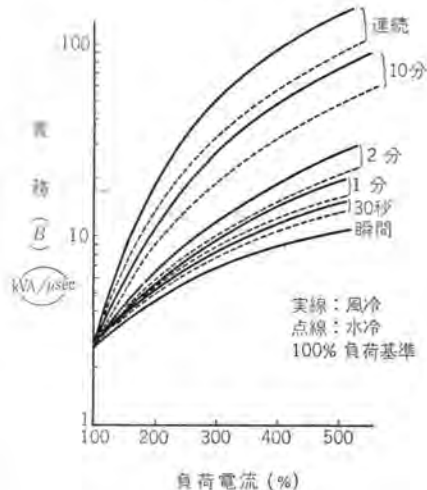


図 2.3 短時間過負荷時最大責務
Fig. 2.3 Maximum duty at peak load.

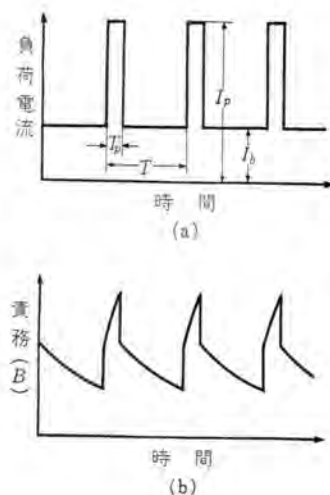


図 2.4 繰り返し過負荷時経過
Fig. 2.4 Progress at repeating peak load

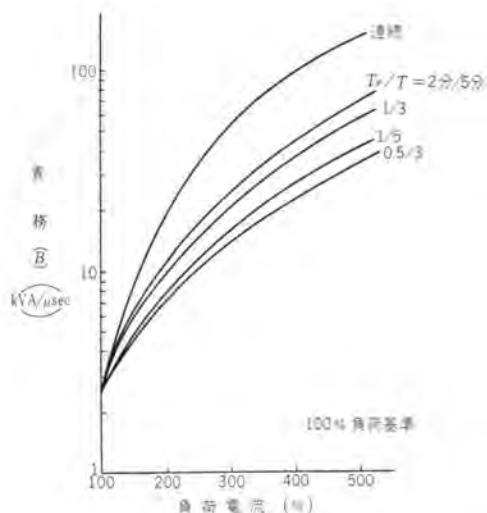


図 2.5 短時間過負荷繰り返し最大責務

Fig. 2.5 Maximum duty at repeating peak load.

量は大きくなる。

以上の例はいずれも陽極電流を種々に変化したときの等価試験結果の経過、あるいは逆電流の測定により実験的に $f(I_a)$, τ を求め計算したもので、1,500V 3,000kW 定格の定格負荷 2,000 A を基準値としており、この責務とこの基準値の 2,000 A での等価試験結果、すなわち定格電流での 1 本の特性直線より種々の負荷条件での性能を推定することができる。

しかし実際の電鉄負荷のばあい、負荷電流の変動が激しく、上述のとおり円滑な整理はできない。ただ便法として既述のように負荷変化を細分して $P(I_a) dT$ を計算して平均の確率を求めることができる。ただこのときの特性直線の基準値としては時定数 τ に応じて負荷分布の平均値をとることが妥当と考えられる。

さらに実際のときはまた冷却条件そのものが変化する。既述の計算は負荷変動の周期に対し冷却条件変動の周期が長いので、負荷変動に対し冷却条件一定と仮定したわけであるが冷却条件変動の影響も看過するわけにはゆかない。とくに風冷式水銀整流器のときは冷却風の温度は一定でなく、また冷却扇自体も自動制御によりその回転数したがって風量も変化する。この冷却条件の変化の影響も等価試験により決定することができる。しかし実際問題としてこの冷却条件の変化を考慮に入れることは問題の処理をさらに複雑とする。実用上はむしろ最近の温度制御の傾向から冷却条件一定と考えこれに裕度を見込むことによりそれほどの危険なしに性能を推定することができると思われる。事実責務の考えが水銀整流器の正常逆弧による性能の上限を目指すものである点でこのこともうなづかれよう。とくに水冷式整流器では既述のように実用上冷却条件一定とみなすことができ、風冷式のときより取扱いは容易である。

3. 電圧制御の応用

近年電鉄変電所においても負荷の増加に対処して変電所容量の増加、移動変電所の使用、変電所間隔の短縮などの傾向がみえ、これに関して水銀整流器においてもその電圧制御の特色について種々検討されている。

3.1 ピーク負荷制限

輸送量の増大に伴いピーク負荷と基本負荷の比が大きくなり、変電所容量の経済的な活用から 1 変電所のピーク負荷を隣接変電所に移すことが考えられている。この検討において採りあげられる最初の処置はピーク負荷時に水銀整流器の位相制御により出力直流電圧をさげてピーク負荷を制限する方法である。

いま定格電流 I_{a0} の水銀整流器において無制御時には I_{p1} のピーク電流をとる負荷に対し位相制御により直流電圧をさげてピーク電流を I_{p2} におさえるときを考えると、定格電流での電圧降下を E_{a0} 、等価無負荷電圧を E_{a0} 、また負荷を抵抗特性とすると整流器のアーク降下の変化を無視して次式が成立する。

$$E_{a0} \cos \alpha - E_{a0} \frac{I_{p2}}{I_{a0}} = \left(E_{a0} - E_{a0} \frac{I_{p1}}{I_{a0}} \right) \frac{I_{p2}}{I_{p1}}$$

$$\therefore \cos \alpha = \frac{I_{p2}}{I_{p1}}$$

いま 1,500 V 3,000 kW 風冷式水銀整流器においてリアクタンス 6% として定格電流をベースに I_{p1} のピークがかかるとき、位相制御によりこのピークを I_{p2} におさえるときとの責務を比較すると図 3.1 となる。たとえば無制御時には 400% の負荷電流をとる抵抗負荷があるとき、位相制御により出力電圧をさげてこれを 200% におさえるものとするときと負荷時間 30 秒で 1.7 倍、1 分で 1.5 倍ほど責務は増加する。この増加の割合は負荷時間の長いほど小さくなるがこれは電流要素 $f(I_a)$ の影響である。さらに隣接変電所の影響を考えに入れると、直流電圧の低下により隣接変電所からのキ電電流が増して中央変電所

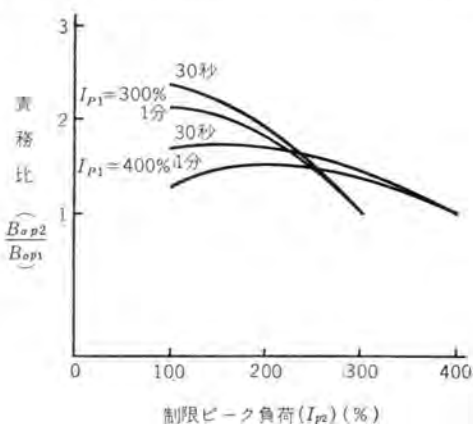


図 3.1 ピーク負荷制限時の責務比

Fig. 3.1 Ratio of duty at peak cut by phase control.

の電流減少を補償し、位相制御による直流電圧低下の割合が少なくなりそれだけ責務の増加も少なくなる。たとえば10 km間隔に設置された5変電所の中央変電所の直近に負荷があるときのピーク負荷制限の影響を検討してみると、かりに変電所容量は、1,500 V 3,000 kWで定格負荷で出力電圧は定格の1,500 V、電圧変動率は6%、+電線抵抗は0.056 Ω/kmとし変電所はピーク負荷を150%に制限するものとする図3.2のようになる。図において横軸はピーク負荷制限されないときの負荷電流、縦軸は各変電所の+電電流、ピーク負荷制限のための位相制御のおくれ角 α 、150%負荷に制限したときの責務と、ピーク負荷制限せずに所要のピーク負荷が流れたときの責務の比 $B\alpha_{p2}/B_{0p1}$ および制限時の負荷電流を示す。たとえば無制御時に6,000 Aをとる負荷があるときは変電所電流はそれぞれ4,950 A、360 A、165 Aとなるが中央変電所においてその+電電流を3,000 Aに制限すると各変電所電流は中央変電所は3,000 Aとなり、各隣接変電所はそれぞれ690 A、360 Aに増加するが、全負荷電流 i_{Σ} は5,100 Aに減少する。一方中央変電所の整流器は位相制御により負荷時間30秒のときは1.65倍、1分のときは1.55倍に責務が増加する。これはほぼ無制御時に7,500~7,000 Aのピークを流したときの責務に等しい。結局責務の増大を許せば変電所電流のピーク負荷制限は可能であるが、隣接変電所へのロードシフトは直流線路のインピーダンスが十分大きいためあまり期待できない。

3.2 並列運転

前述のとおり輸送量の増大により変電所容量の増加が多くなり、必然的に複数機器の並列運転が必要となってくる。このばあい電圧変動率の差による負荷分担の差が問題となる。通常の電圧変動率は水銀整流器で6%、回転変流機で4%、シリコン整流器で10%である。過負荷耐量の点から考えてシリコン整流器との並列運転はまず問題はないと考えられる。

いま同容量の回転変流機との並列運転を検討すると図3.3のようになる。図は300%負荷で各機器出力電圧特性を交差させたもので、したがって水銀整流器の出力電圧は300%までは変流機より高く、負荷電流300%までは水銀整流器のほうが負荷分担が大きい。変電所出力が55%になると全負荷は水銀整流器が負担し、さらに負荷が減少すると出力電圧は回転変流機の無負荷電圧を上回り、水銀整流器より回転変流機へ循環電流を送りこむ。

これをさけるために水銀整流器の無負荷電圧を回転変流機のそれに合わせ、電圧変動率の差は回転変流機にリアクトルまたは抵抗を挿入してその電圧変動率を悪くする方法が考えられる。また水銀整流器の位相制御を応用し

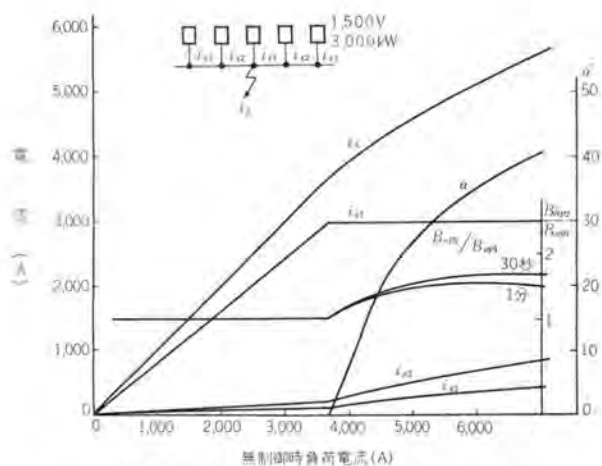


図 3.2 ピーク負荷制限時の変電所負担
Fig. 3.2 Substation load at peak cut.

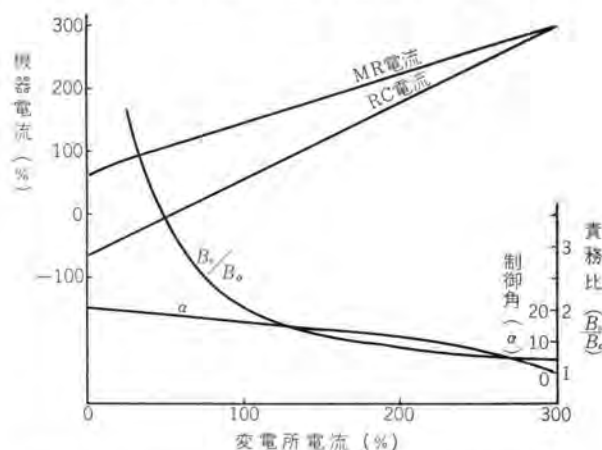


図 3.3 回転変流機との並列運転制御 (1,500 V 3,000 kW)
Fig. 3.3 Control for parallel running with rotary converter.

て水銀整流器の出力電圧が回転変流機のそれを上回る領域において電圧制御して負荷特性を合わせて負荷分担を1対1とするか、軽負荷で定電圧制御により水銀整流器の出力電圧が回転変流機の無負荷電圧をこえないようにする方法もある。前者のときは整流器用変圧器直流巻線電圧の上升、位相制御により当然責務も増加するが定格負荷で定格電圧という標準仕様の無制御時の責務と比較した値 $B\alpha/B_0$ も図3.3に示されている。軽負荷ほど電圧制御の割合が大きく、責務の増加も大きい。

3.3 回生制動

水銀整流器の位相制御を応用してこれを逆変換器として直流側より交流側に電力を回生することもできる。この詳細については別項を参照されたい。

4. 水銀整流器の温度制御

水銀整流器は衆知のように水銀蒸気中での放電を利用したものであり整流器としての動作特性はこの水銀蒸気圧に大きく影響される。水銀蒸気圧の整流器特性に対する直接の関係は整流タンクの構造に左右されるが整流器の各負荷条件に対しこの水銀蒸気圧を外部的に支配するものは整流タンクに対する冷却条件である。水銀整流器

においては他の一般電気機器におけるように使用温度に上限をもつ一方、水銀整流器の特異性として下限をもっている。すなわち使用に適した温度に幅があり単なる冷却とは考えられない点で温度制御なる言葉が使用されている。もちろん後述の希ガス封入により整流器の低温特性は改善され、使用温度の下限は解決されつつあるが高電圧長期運転に対してはなお研究の余地が残されている以上この温度制御の概念が今急に解消されるとは考えられない。

さらに最近盛んに採用されている簡易あるいは無人変電所では人為的温度制御は不可能であり保守上十分注意すべきところである。

水銀整流器の温度制御において問題となるのは整流タックの過熱、過冷および温度分布の不均一などである。水銀整流器の発熱がその負荷電流によるものであることからとくに電鉄負荷のように負荷電流が激しく変動するときは整流器の発生熱量も時々刻々と変化し、それに応じて温度制御条件も変化してくる。この点水冷式水銀整流器のときは冷却媒体として熱容量が大で、熱伝導の良いい水が使用され、したがって整流器の温度制御は循環水の温度制御にほかならず、負荷に関係なくつねに一定量の水が循環し、この循環水の温度が温度継電器、電磁弁または調節弁および再冷器で制御され、この再冷器もただ冷却の効果が与えられているにすぎない。すなわち水冷式水銀整流器では温度制御の問題は整流器装置内で処置されており、外部的にはすなわち変電所としては温度制御でなく冷却だけ考慮すれば良いことになる。

これに対し風冷式では外気が冷却媒体に使用されるため外気温が直接温度制御に影響を与え、この温度を水冷式のときの水のように適温に制御することはきわめて困難であり、また冷却風温度と整流タック温度の間には大きな差があり、これまた負荷電流によって変化し、したがって冷却扇の速度制御あるいは運転、停止により冷却風量を変化して整流タック温度を適当範囲に保つことが必要となる。この冷却風温の変化、冷却風量の変化のために、風冷式水銀整流器の温度制御はいささか複雑となる。

電鉄幹線負荷のように連続してかなりの基本負荷がかかり、これに瞬時過負荷が重畳されるときは整流器はもっぱら冷却されるべきであり、冷却扇は連続運転、冷却風温度も低いほうが望ましい。

これに反し基本負荷はきわめて少なくこれに大きな瞬時過負荷が加えられるときは整流タック温度の変化も激しく、したがって冷却条件の応動も単純でなくなり、冷却扇停止もありうる。またこの冷却扇のいったん停止したあとの再起動時に整流タックの温度分布に変化をきたし、

その不均一を招くことがありうる。これをさけるために冷却風温度を高めて冷却扇運転による整流タック温度の変化を少なくし、また冷却扇停止の頻度を少なくする方法が採用され室内循環、室外循環の併用、または室内温度制御が実施されている。すなわち整流器負荷または整流タック温度とは無関係に室内気温はある適当範囲に制御され、一方冷却扇の自動制御により負荷条件または整流タック温度に応じて整流タックへの冷却風量が制御される。すなわち近似的に気温一定、風量変化の制御となる。

結局水銀整流器の温度制御は水銀整流器が使用される負荷条件に応じてその冷却条件を考慮すべきことを意味することにほかならない。

5. ガス入りイグナイトロン

既述のように水銀整流器の使用温度条件の下限の解消策として水銀整流器に希ガスを封入することが考えられる。通常の水銀整流器では負荷条件が苛酷になるとともにその構成も強固となり使用温度の下限が重要な意味をもってくる。したがって寒冷地での運転では起動時に整流タックを所定温度まで高めるためある予熱時間を要するとともに陰極加熱器、温度継電器など付属装置の複雑化を免れない。もしこの使用温度の下限が低温域まで広げられるならば水銀整流器も他の電気機械と同様にただ冷却されるだけでよく温度制御の観念は消失し、保守も装置も一段と簡易化される。

水銀整流器の使用温度の下限が水銀蒸気密度の不足による異常電圧の発生によって支配される点でその改善策としてガス封入が採用される。

5.1 水銀整流器の異常電圧

上述のように水銀整流器を低温で起動すると、内部水銀蒸気分子の不足によりアークが不安定となり、電流が切れて回路のインダクタンスに過大な電圧サージを発生する。その通電容量はアーク通路の蒸気密度と断面積に関係し、通常整流器では格子穴の部分において、アークの断面積がもっとも狭くなるから、通電限界値も格子の形状によって決定されることが多い。図5.1は格子穴だけが異なる同一構造のイグナイトロンについて、サージ発生限界電流を比較したものである。両者の格子有効断面積はほとんど等しいにもかかわらず、格子穴の直径が大きい影響を有することが示されている。一般に格子表面における径方向の電流分布は、パツルの位置および格子の形状によって影響を受けるから、同一格子有効断面積でも内部構造により、サージ発生限界電流値はかなり広範囲に変化する。

図5.2は器そう温度 -1.5°C において整流器を起動し

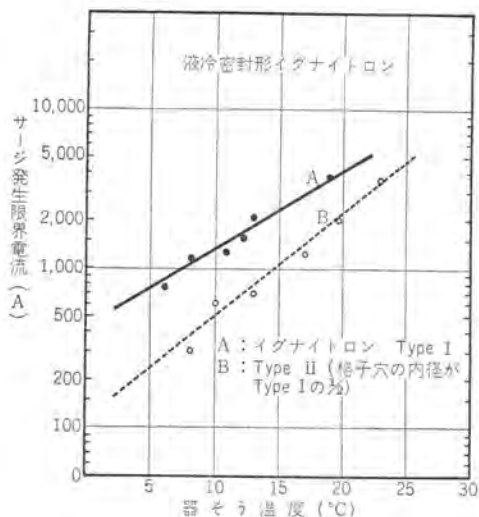


図 5.1 器そう温度とサージ発生限界電流の関係
Fig. 5.1 Relation between tank temperature and limit current of starvation.

た場合のオシロである。アーク電圧の急昇、および電流の遮断が生じており、この状態は内部温度が所定値に達するまで数秒以上継続する。

このような低温時におけるアークの消滅は数 100 A 以上の大電流でも起こりうるから、サージのエネルギーはきわめて大きい。また数サイクルないし数 10 秒間継続的に発生するときもあるから必然的に逆弧の直接原因となり、あるいは外部回路の絶縁破壊など、不測の事故の原因を構成する。

5.2 ガス入りイグナイトロンの特性

水銀蒸気圧は温度に対して指数関数的に変化する。運転中の器そう温度がたとえば 45°C では 6.5 ミクロンであるが、0°C ではわずか 0.2 ミクロンとなり蒸気密度の不足を生ずる。ガス入りイグナイトロンはこのような水銀蒸気密度

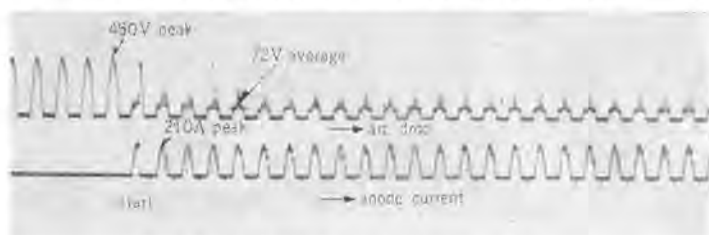


図 5.2 低温起動時のオシロ (器温 -1.5°C)
Fig. 5.2 Oscillograph at low temperature starting.

の不足を、温度によって密度が変化しない永久ガスを封入することにより補償したものである。封入ガスとしては、水銀および内部構造物に対して化学的に安定な He, Ne, Ar, Kr, Xe など、一連の不活性ガスが考えられるが、物理的性質、入手の難易、そのほか実用上の点から、アルゴンおよびキセノンが採用される。

このガス入りイグナイトロンで十分な信頼性を得るためには、封入ガスの種類およびガス圧の適量を決定し、ま

電鉄用水銀整流器の二、三の問題・塚本・阿部

た実用上の重要問題である封入ガスのクリーンアップについて対策を確立するため、広範囲な基礎研究を行ない、最良の条件を見出すことが必要である。

(1) サージ限界電流とガス圧力の関係

図 5.3 は A および Xe について封入ガス圧力とサージ発生限界電流の関係を測定したものである。一般に負荷電流を増加するとアーク電圧波形に丸味をおび、続いて凸起が現われ、さらに電流を増すと凸起が生長してアーク切れが起こり、サージ発生にいたるが、図 5.3 には、それぞれに対する限界点も示している。この結果、A と Xe の両者についてサージ発生に対するガス圧特性はほとんど相違がなく、0.5 ミクロン程度の希ガス封入により 8,000 A 以上の通電に耐えることが示された。水銀蒸気だけでは器そう温度 0°C において 50 A ですでにアーク切れが起こるからわずかのガス封入で優秀な低温特性が得られることがわかる。

図 5.4 は -1.5°C において Xe を 0.9 ミクロン封入し、7,800 A 通電したとき、また図 5.5 は -0.5°C において 3,500 A を連続的に通電したときのオシログラムであるがいずれもアーク切れの発生なく、安定に通電できることが認められる。

(2) 封入ガス圧力と耐圧の関係

ガス入り整流器では、水銀蒸気と希ガスの混合ガス中で通電が行なわれるが、ある種の混合ガスでは、いわゆるペニング効果により、それぞれ単独のガス中のときより耐圧がいちじるしく低下する現象がある。この関係を検討するため封入ガスと水銀蒸気の分圧比を広範囲に変え(水銀蒸気圧は器そう温度で制御する)順、逆耐圧を測定したが、図 5.6 は代表的に 20°C における結果を示

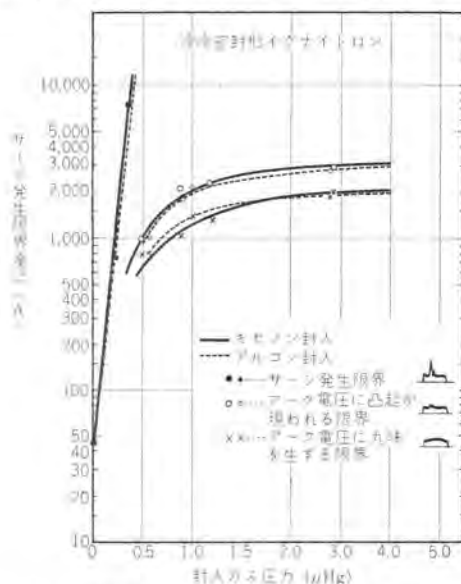


図 5.3 希ガスの圧力とサージ発生限界電流の関係
Fig. 5.3 Relation between gas pressure and limit current of starvation.

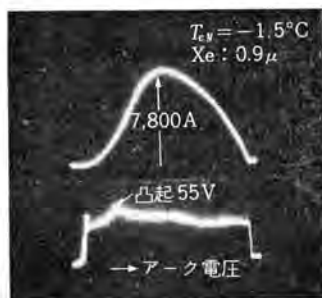


図 5.4 ガス封入時の電圧電流波形

Fig. 5.4 Current and voltage wave at gas filled.

している。

Xeでは15ミクロン以下の範囲で水銀蒸気だけのときと同等の高耐圧が得られる。Aではペニング効果による影響を予想したが、封入ガス圧が22ミクロンまで十分な耐圧を確保でき、Xeよりむしろ良好な結果が得られることがわかる。

(3) 封入ガスのクリーンアップ

上述の(1)および(2)から、ガス封入圧力がたとえばXeで、0.5~15ミクロンの範囲であれば耐圧ならびに低温特性とも理想的な条件が得られる。しかし実際には、ガスのクリーンアップ現象があり、その程度がたとえば20ミクロンであれば、低温特性を確保するため、あらかじめその値以上のガス封入が必要であり、図5.6の耐圧特性から運転時の許容電圧は2 kV程度に低下するであろう。

したがってガス入りイグナイトロンの性能は、クリーンアップ対策いかに依存しているといっても過言ではなく、この問題の究明のため徹底的な研究が必要となる。

そう内封入ガス圧の変化は、大別して長期運転中に喪失するものと、電流の通電、休止に伴って吸蔵ならびに放出するものに分けられるが、前者については、いったんそう内に封入したガスは、密封技術の進歩により、かなり長期間の通電試験でもガス圧に変化がない結果が得られ、むしろ後者が支配的な影響を有することが示された。たとえば通電中は、そう内温度上昇のため吸蔵したガスが放出されて耐圧が低下し、運転休止中はふたたび内部に吸蔵されて寒冷時の再起動時にガス圧力が不足するといういずれも不利な条件に働く。

このような通電、休止に伴うガスの移動は、

(a) 毎サイクルの通電過程において、陽極電流の消滅直後、希ガスイオンが飛躍逆電圧で加速され、陽極材質中に拡散、吸蔵されること。

(b) 希ガス分子の器壁表面への物理的吸着

(c) 運転停止後陽極材質への吸着

などによって起こるが、通電ならびに器そう温度の上昇によって、ふたたび器壁および陽極面より放出される。

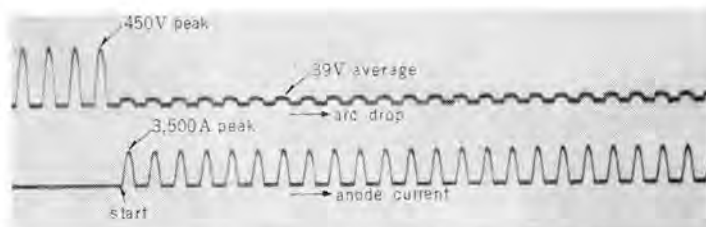


図 5.5 低温起動時のオシロ (器温-1.5°C, Xe 封入)
Fig. 5.5 Oscillograph at low temperature starting.

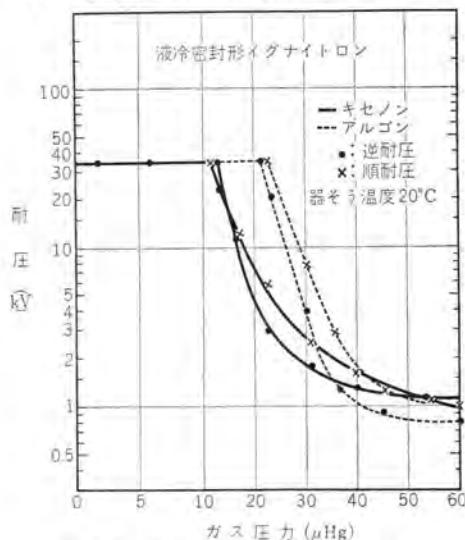


図 5.6 希ガスの圧力と耐圧の関係
Fig. 5.6 Relation between voltage blocking capacity and gas pressure.

また水銀蒸気流によって生ずる封入ガスの局部的な密度差も特性に看過できない影響を与える。

このような現象は、負荷電流、運転温度、使用材料およびタンク構造によって複雑に変化するが、研究の結果上記各要素の関係が定量的に解明せられ、特殊構造のイグナイトロンではクリーンアップの影響が非常に減少し、高压用ガス入り整流器の製作に対する設計上有利な資料が得られている。

5.3 ガス入りイグナイトロンの負荷試験結果

図5.7は研究の結果最近完成した2,000 kW 1,500 V、液冷式ガス入りイグナイトロンの負荷試験結果を示すものである。

図5.7の試験は、ガス封入後、長期間諸種の通電試験を行なったあとに実施したもので、寒冷時の起動試験および電鉄用E種負荷試験が同時に行なわれている。

低温起動試験では、冷凍機とエチレングリコール液により各部温度を0°Cにしておき、2,000 kW定格の150%過負荷である陽極電流333 Aを急激に負荷したが、アーク電圧波形は完全に平滑でなんら問題はなかった。続いて冷却液温、45°Cにおいて、100%負荷連続、150%を2時間負荷し、300% (6タンクでは4,000 A) 1分間を10回負荷したが、この間逆弧は皆無であり、きわめて良好な結果が得られた。

なお、この負荷試験は、実負荷状態を完全に再現した

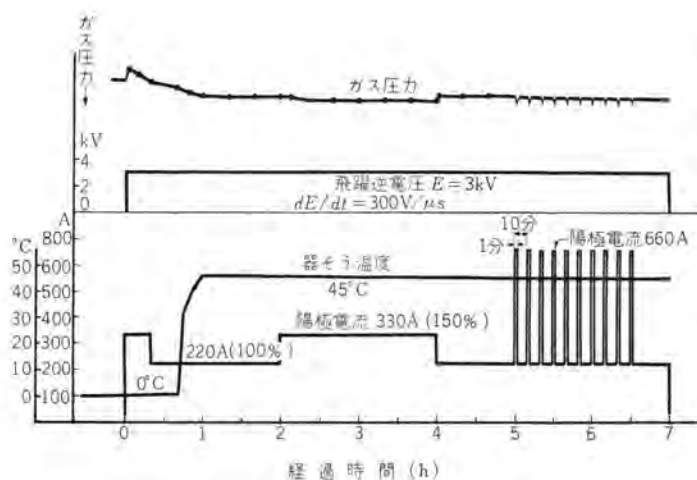


図 5.7 ガス入りイグナイトロンの負荷試験
GU-31 形 2,000 kW 1,500 V (6 タンク)
Fig. 5.7 Load test result of gas filled ignitron rectifier.

等価試験法で実施し、逆電圧はもっとも苛酷な試験条件として各負荷電流中、飛躍逆電圧 3 kV、逆電圧峻度 300 V/ μ s (実負荷運転では約 60 V/ μ s) で行なわれている。陽極電流の転流率 di/dt は各電流値において、リアクタンス 6% に相当する実負荷時の値に設定した。

同図には通電に伴う封入ガスの時間的な圧力が同時に測定記録してある。希ガス封入による耐圧の裕度は全負荷運転において、逆電圧最大値の 2.5 倍以上であり、この結果から、1,500 V 電鉄用にも適用できることが確認できる。

従来ガス入り整流器はもっぱら低圧用という通念があったが、上記結果から高圧運転可能なガス入りイグナイトロンも期待でき、低温特性の改善と相まって、今後電鉄用ならびに一般工業用として広範囲な応用分野に進出が考えられる。

6. む す び

大容量水銀整流器に対し等価試験法は、すでに実用の段階にあり、整流タンクの性能判定に盛んに利用されている。一方変電所においても輸送量の増大に伴う既設器に対する負荷増加に関連して水銀整流器の限界容量の問題が再検討されつつある。これらの問題について水銀整流器の性能を支配する逆弧の原因が、残留イオンによる

ものであるとする理論に基づいて採用された責務の考え方について再検討したわけであるが、基礎が残留イオンであることから当然内部水銀蒸気圧の影響を受け、したがって負荷電流により大きく影響され、またある時定数をもつ。すなわち実際の負荷に対する特性を推定するためには、対象となる責務をうる時の負荷電流そのもの、さらにその負荷電流の継続時間およびその前の経過も同時に考慮しなければならない。本文では実験的に代表的整流タンクについて得られた陽極電流の影響、時定数をもととして二、三の簡単な例について検討例を示したが、短時間過負荷に対しては最大責務のほかに各瞬間の責務についても考慮にいれるべきであり、別の機会に実

際に得られる変動負荷に対する責務の時間的経過、それに対する整流タンク特性の決定法などについてさらに検討結果を報告したい。

さらに水銀整流器を実際に使用する上で問題となる冷却の点について、簡単に検討したが、負荷条件によって当然冷却条件は変わるべきであり、一律に論じえない。この問題解決の一方法として最近採用されつつあるガス入り水銀整流器について基本的現象、ガス封入の効果、当社で試作されたガス入りイグナイトロンについての研究、試験の結果について略述したが、すでに実用の段階にはいったものといえる。

擧筆にあたり種々ご協力を得た品質管理課坂上茂、鈴木一男、研究所山口峯男、高島惇の各氏に厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) Wasserrab: B. B. Rev. 42, 133~143 (1955); 44, 134~141 (1957).
B. B. Mitt. 43, 92~101 (1956).
Z. Angew. Phys. VII, 176~179 (1955).
- (2) Dornheim: E. u. M. 1, 6~12 (1956).
- (3) Kubat: Direct Current, 160~189, 210~211 (1957).
- (4) Danders: A. E. G. Mitt. 48, 588~598 (1958).
- (5) 阿部他:「三菱電機」, 34, 68~82 (昭 35).

電鉄変電所用シリコン整流器

伊丹製作所 横 島 洋 志*

Silicon Rectifiers for Railway Substation Use

Itami Works Hiroyuki YOKOHATA

DC converting apparatus for railway substations have undergone bewildering changes with the progress of technique. Recently silicon rectifiers have come to bulk large the public eye. Being stationary equipment like mercury rectifiers, they have less accessory components than their predecessors and are used advantageous for unattended substations as a means of automatic control and supervisory control. Mitsubishi has experimented on a long term load test of silicon rectifier at Oimachi substation of the Japanese National Railways since 1958 to prove their successful result, easy maintenance and bright future. Now that the company is going to build 3000 kW 1500 V units, the writer makes a description on circuit systems and protection systems of the rectifiers for railway service together with the main assembly.

1. ま え が き

電動発電機、回転変流機、水銀整流器と技術の進歩につれてめまぐるしく移り変わってきた電鉄用直流変換装置は、最近になりまたしてもシリコン整流器へと遷移の道をたどろうとしている。技術の進歩とともに、能率のよい、保守に便利な機器へと変わってゆき、それに従って、その制御方式も最近新設のものは、そのほとんどが、自動制御、遠方制御方式による無人運転となっている。

折から、国鉄大井町変電所で昭和33年以来長期実負荷試験をつづけていた、1,000 kW 1,500 V の試作品も、35年春をもって一応の完了をみるところとなり、その好調な実績、保守の容易さ、および将来性が買われて、「昭和36年度以降の新設直流変電所はシリコン整流器で行なう」との国鉄当局の発表をみるに至った。

当社においては、すでに報告のように、上記大井町変電所納入の1,000 kW 1,500 V 種定格を始めとし、500 kW 600 V 種定格を近鉄玉川変電所に納入、約1年半の実績をもっているが、ここには最近の電鉄変電所用シリコン整流器のあらましを述べる。

2. シリコン整流素子

2.1 シリコン整流素子の定格と特性

大井町変電所に納入したシリコン整流器を製作した当時と比較すると、シリコン整流素子の定格は、電圧、電流ともに大きくなり、変換容量としては約4倍になっている。

図2.1に三菱シリコン整流素子SR 200 F-20を示す。SR 200 F-20は最大平均電流200 A、定格セリ頭逆耐電圧は1,000 Vであり、正方向電圧降下は、電流値400 Aにおいて1.1~1.2 Vである。

図2.2にSR 200 F-20の代表的静特性を示す。

シリコン整流素子は、非常に大きい電流密度で使用しているために、定格電流に比較してP-N接合部分の熱容量が小さく、過負荷や短絡による急激な熱損失のために、局部的に温度上昇をきたし、破損する危険性がある。それゆえ、回路の設計にあたっては、あらかじめ計算されている素子自身の過負荷耐量を越さないように、



図 2.1 SR 200 F-20 シリコン整流素子
Fig. 2.1 Silicon rectifying element SR 200 F-20.

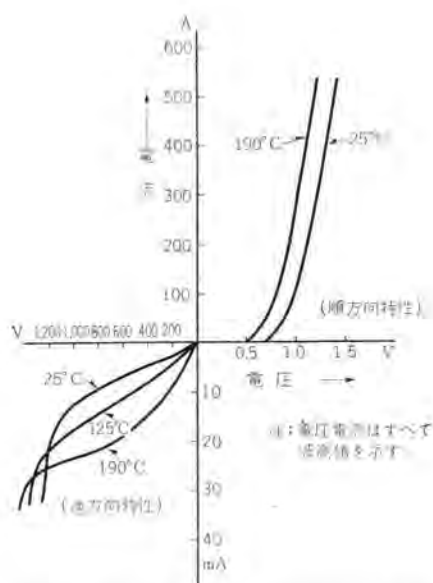


図 2.2 SR 200 F-20 シリコン整流素子の代表的静特性
Fig. 2.2 Typical static characteristics of SR 200 F-20 silicon rectifying element.

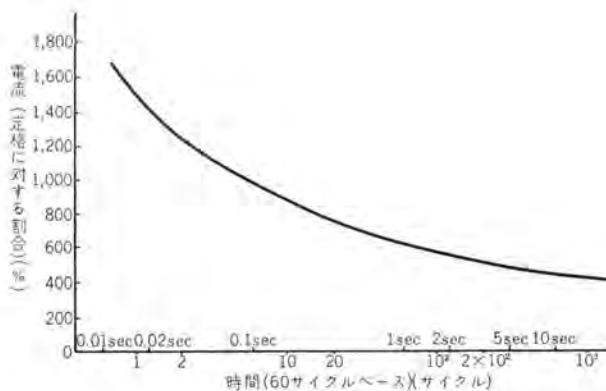


図 2.3 電鉄変電所用シリコン整流器の過負荷特性 (例)
Fig. 2.3 Overload characteristics of silicon rectifier for railway substation use.

保護装置を設けなければならない。

図 2.3 に SR 200 F-20 を電鉄変電所用整流器として使用した場合の過負荷耐量曲線の一例を示す。

2.2 電鉄変電所負荷の特異性とシリコン整流素子

電鉄用直流変電所の負荷は、大都市近郊の変電所であるか、国鉄幹線のような長距離線路に属する変電所であるか、地下鉄の変電所であるか、また路面電車やトロリバスの直流電源であるかによって種々異なった形となるが、おおむね、1 時間最大平均負荷にたいして、セム頭負荷の割合が 200~400 % 程度の短時間負荷の繰り返しであると考えられる。そのため、シリコン整流素子にとっては、それがいわゆるヒートサイクルの繰り返しとなり、素子の構成材料に大きい影響を与えることとなる。

上記のようなセム頭負荷の加えられる場合には、内部構成材料間の熱膨張係数の差のために、どこかに応力がかかり、ヒズミへと進展する可能性がある。シリコン板と銅電極の熱膨張係数の差をなくする法として、シリコン板をシリコンと熱膨張係数のよく似たモリブデン、タングステンなどの金属でサンドイッチする方法が広く採用されているが、つぎには、そのモリブデン、タングステンと銅の熱膨張差が問題となる。その結果、それらを接合するために使用するロウに応力が集中されることになり、長時間の繰り返し周期のうちに、ついには疲労する可能性がある。

この問題を解決するために考えられたのが、いわゆるハードソルダ法なる製造工程である。これによると、従来のソフトソルダ法と異なり、溶融点の高い金ロウ、銀ロウなどが使えるため、もともとシリコン整流器ではゲルマニウム整流器と比べて接合部付近の温度を高く使うために問題となっていた、構成材料の疲労をさけることができるのである。また、このハードソルダ法は、製作技術上、合金形整流素子に有効に応用されることは、注目に値することである。

ここに注意しなければならないことは、ソフトソルダ法に

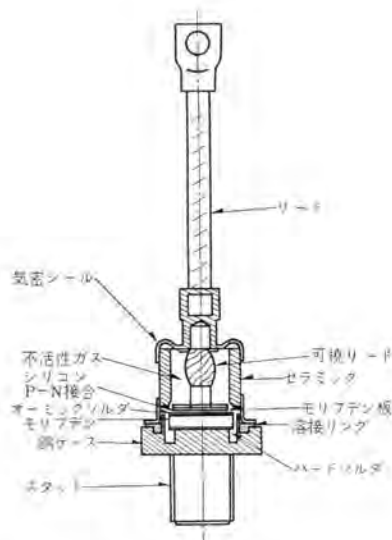


図 2.4 SR-200 F 形シリコン整流素子断面図
Fig. 2.4 Cross section of type SR-200 F silicon element.

よるシリコン素子は、電鉄用には使えないのではないということである。しかしこの場合は、シリコン整流素子の第一の特長である高温で使えるという条件を、ある程度じょう歩しなければならないため、シリコン整流素子のゲルマニウム整流素子に対する優位が半減することはいない。

図 2.4 にハードソルダ形シリコン整流素子の構造を示す。

そのほか SR 200 F-20 形シリコン整流素子の大きい特長は、ハーメチックシールにセラミックを使用していることである。定格セム頭逆耐電圧が 1,000 V にも及ぶ以上、当然両極間の耐圧が問題となる。従来のガラスシールでは絶縁距離が不足するので、セラミックシールを採用し、この問題を解消している。

3. 電鉄変電所用シリコン整流器の回路

3.1 整流回路方式

3,000 kW 程度以下のシリコン整流器として利用される整流回路としては、つぎの 3 種がある。

- (a) 3 相ブリッジ結線
- (b) 6 相半波相間リアクトル付二重星形結線
- (c) 組合せ 12 相ブリッジ結線

これらの整流回路の選定にあたっては、変圧器の利用率、回路のセム頭逆電圧、短絡発生時の電圧電流特性、サージ電圧特性、電圧波形、整流素子の直並列数などが考慮されなければならない。

このうち (c) の 12 相ブリッジ結線は、直流電圧波形の脈動が小さくなるため場合により、直流側平滑器を省略できるという利点をもっているが、変圧器が実質上 2 台となるか、または、同一鉄心 12 相巻とする場合には構造が複雑となり、その上直流電圧の位相差による循環電流防止用のリアクトルを必要とする欠点を有している。そ

表 3.1 主回路結線二方式の比較表

	3 相全波ブリッジ	6 相半波相間リアクトル付二重星形
回 路 図		
E/E_d	0.740	0.855
E_p/E_d	1.05	2.42
変 圧 器 一 次	1.05 Pd	1.05 Pd
変 圧 器 二 次	1.05 Pd	1.48 Pd
平 均 (相間リアクトル付)	1.05 Pd	1.35 Pd
リップル/ $E_d(\text{eff})$	4.2%	4.2%
(内部短絡を考慮するとき) fuse の遮断電流	AC 電流	AC 電流と DC 電流 (H.S.CB が開路するまで)
H. S. CB	正性のみ	正性と逆性
キ電調の異常電圧耐圧	1	$2/1 + \frac{\sqrt{2}E}{ES}$ 交流電圧の 波高値が重畳する
そ の 他		無負荷電圧の上昇
Tr の 流 用	MR Tr の流用不可 RC Tr の流用可能	MR Tr の流用可能 RC Tr の流用不可
見 通 し	将来シリコンが安くなると Tr が小さいので有利	

こで 3,000 kW と容量を限定した場合には、あえて(c)を採用するに及ばない。

(a),(b)について考えるとき両者とも一長一短があり、しかも現状では決定的な長所をもたないので、場合に依じて、どちらかの結線方式が採用される傾向にあったが、主として、1,500 V 用には変圧器の利用率をもっとも重視して、3相ブリッジ結線を採用し、600 V 用には直流キ電線よりの侵入サージの点から6相半波相間リアクトル付二重星形結線としている。

表 3.1 に(a),(b)両結線方式の特長の比較を示す。

3.2 シリコン整流素子の直列接続法

素子を直列接続するばあい、全体として加わる電圧が、素子個々のもっている破壊電圧の和以下であれば、あえて分圧を必要としないといった考え方もあるが、素子に考えられる破壊機構および劣化現象が、まだ完全に究明されていないため、直接接続したままでは不安が残る。

素子を直列接続して分圧器を用い、強制分圧する際、つぎの3点を考慮しなければならない。

(a) 常時繰り返し加わる回路の逆電圧の分圧

(b) サージ電圧の分圧

(c) ホール蓄積効果の除去

(a) に対しては 5~10 kΩ 程度の抵抗を用い、(b),(c) に対しては 0.1~0.5 μF のコンデンサを使用している。

3.3 シリコン整流素子の並列接続法

整流素子の並列接続のばあい、整流器としての構造も大きな影響を及ぼすが、5~6 個の素子のストリングを考えると、特別な電流平衡手段を用いないのを原則としている。配置、配列のために生ずる位置に関係した回路のリ

アクタンスの差異はなんらかの方法でなくするようにする。

強制分流法としては、抵抗法、平衡リアクトル法があるが、前者は損失の増加をきたし、その結果冷却装置も大きくなる不利があるし、後者は構造を大きくし、コストを大幅に増加する不利がある。それゆえ、経済的見地から素子の定格を低減して、そのまま使用する方法が成立する。このばあい、素子の特性をある程度そろえると、割合均等な電流分配を得ることができる。

3.4 シリコン整流素子の直並列接続法と素子劣化時の特性およびその及ぼす影響

整流素子の故障は逆方向特性の低下するものと、正方向特性の低下するものの2種に分けることができる。このうち前者は過電圧、過電流などの原因で熱的に破損すると考えられ、後者は構成材料の疲労などの現象によるが、原因はやはり熱的なものである。それゆえ、前者は単独に起こる場合が考えられるが、後者の故障は前者を伴う場合が多い。

逆方向の劣化の場合、逆電流が増加するという現象を示すがこれがついには短絡状態を示すようになる。この際の正方向の特性はその劣化の程度により異なり、短絡状態を示すものは、大体において、抵抗特性に近いものとなる。その抵抗値は、正常のものの等価抵抗よりも大きいものが多い。

正方向特性の劣化は、電圧降下の増大という現象を示して現われる。正方向降下の増加は、直列素子の数が多ければ多いほどその変化の及ぼす影響が小さく、素子自身には熱的に大きい負担となり、最悪の場合は不導通となることがありうる。この場合温度が上がるので逆方向の劣化を伴うことが多い。

整流素子がこのように破損に至ったばあい、他にどのような影響があらわれるかというのは、直並列接続法に関係する。

(a) 正方向特性の劣化した場合

直接に並列接続している場合、および直列リアクタンスを個々に挿入している場合は、電流が不平衡し、その不平衡分を他の列が均等に分担して落ちつくが、環状にフェノードバランサをつなぐ場合は、この影響が現われて隣接する健全素子も電流は減少する。また直列に接続したものを並列に接続する場合には、上にのべたように完全破損に至る大きい要素をもつが、並列に接続したものを直列につなぐ場合には、劣化の速度は外部より加速されない。故障を検出する立場からいえば、前者のほうが好ましいが、不経済な使用方法であるきらいはまぬがれない。

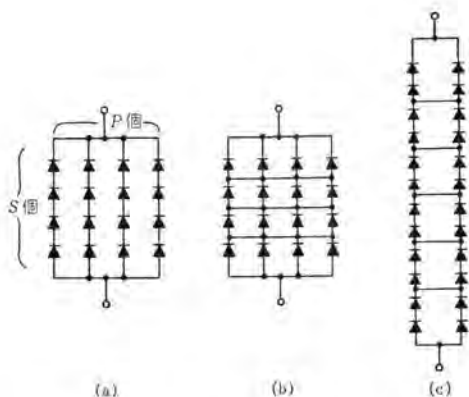


図 3.1 素子の直並列接続法

Fig. 3.1 Series parallel connections of elements.

(b) 逆方向特性の劣化した場合

逆方向の分担電圧も劣化の程度により異なるが、分圧器を使用するとその劣化は促進されるのでついには短絡に近くなる。この場合直列素子を並列につなぐときには、1列のうちの残りの健全素子に電圧が分担されて印加されるだけであるが、並列素子を直列につなぐ場合には、同じ相に属する素子が1行を除いてすべて電圧を多く分担するようになる。図 3.1 に代表的な素子の直並列法を示す。

(c) 直並列接続法

故障が発生した際の他の健全素子への影響、素子の特性のバラツキ、故障の検出法と保守法より考えて、現状では直接、直列接続したものを並列に接続する方法を採用している。

4. 電鉄変電所用シリコン整流器の保護

4.1 過負荷保護

シリコン整流素子の過負荷耐量は、他の電力機器に比較して小さく、かつ永久破壊に至るので、機器の設計に際しては、電圧変動率、保護回路機器などの選定には十分検討する必要がある。つきに過負荷の起こる種々の場合につき、その保護の考え方を示す。

(a) 直流側短絡

直流側短絡の場合、短絡インピーダンスの大小により整流素子の通電期間は異なるが、3相ブリッジ結線においても最大 240 度にも及び、波高値が大きくなるのと同時に、整流素子にとってはきびしい条件となる。

一般に過電流保護としては、交流遮断器による法、直流遮断器による法、短絡器による法、ヒューズによる法などが採用されている。

外部短絡事故に対しては、交流遮断器で保護すると時間が 5~6 サイクル かかり、短絡電流の大きさ、整流素子の過電流耐量などにとらみ合せて不経済である。短絡器は非常に早く事故電流を除去することができるが、変

圧器を短絡することになるため、電源および変圧器に悪影響がある。ヒューズによる方法は、このような用途に対しては、経済的、保守上よりみて好ましくない。

外部短絡事故を直流高速度遮断器により開放する保護方式は、すでに広く採用されている。開放時間は回路常数により異なるが、自己遮断による場合 20 ms あれば十分であるので適当な電圧変動率を選定することにより、満足な保護が得られる。

直流側のリアクタンスがない場合には、回路常数によって定まる過渡電流が定常状態よりも大きくなる。それゆえその立ち上がりを押えるような直流リアクトルがあれば、推定短絡電流に比べて、実遮断電流を相当小さくすることができて、過電流耐量の比較的小さいこの種の整流器にとっては、非常に有利となる。

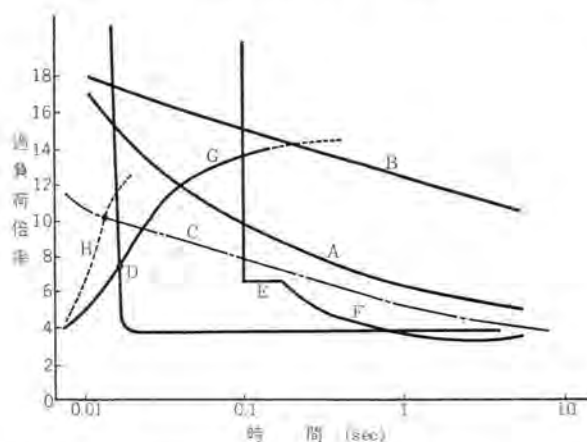
またこの場合、外部短絡は必ず高速度遮断器および直流リアクトルより+電線側に起こるものとし、それ以外の事故は起こらないものとする。

直流リアクトルとしては、直流側濾波器の直列リアクトル (1.1 mH) のある場合にはこれをその用途に兼用すれば、別に追加する必要はない。濾波器のない場合に使用する直流リアクトルも、標準化のため、濾波器用と同一仕様のものとする。

なおこの直列リアクトルは、+電線側より侵入する異常サージ電圧についても有効な働きをするものである。

(b) 内部短絡

整流回路のアームが1列全部が短絡した場合、変圧器の二次側端子間を短絡することになり、健全相につながる整流素子に大きい過負荷をもたらすことになる。このような事故に対しては、従来より高速度ヒューズが採用



- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| A : シリコン整流器過負荷特性 | E : 瞬時交流過電流リレーによる保護特性 |
| B : 速応動ヒューズ溶断特性 | F : 誘導形過電流リレーによる保護特性 |
| C : 内部短絡のばあいの速応動ヒューズの溶断特性 | G : 直流短絡電流 |
| D : 直流高速度遮断器特性 | H : 交流 (内部) 短絡電流 |

図 4.1 過負荷保護協調曲線 (例)

Fig. 4.1 Overload protection curve.

されているが、ここで問題となるのは、運転保守条件、または素子の選定のしかたによっては実用上内部短絡を考慮する必要がなくなるばあいがあるということである。1,500 V 用ともなると、ヒューズが非常に大きくなりシリコン整流器の一大特長たる小形軽量を無意味にする恐れがあるので、できる限り、ヒューズを使用しないのが好ましい。

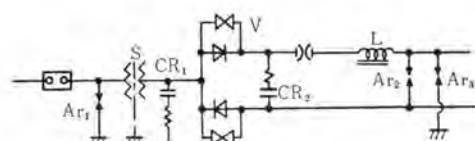
(c) その他

以上のほかに、一般的にいう過負荷がある。これは今までの変電所用機器と大きく変わるところはない。

図 4.1 に過負荷保護協調曲線の代表例を示す。

4.2 過電圧保護

異常電圧保護としては、交流側より侵入するものと、直流・電線側より侵入するものの双方について考えなければならない。



Ar₁ 交流アレスタ
Ar₂ 直流アレスタ
Ar₃ 直流アレスタ
CR₁ 交流側 C-R
CR₂ 直流側 C-R
V バリスタ
S 変圧器静電シャヘイ板
L 直流リアクトル

図 4.2 異常電圧保護方式
Fig. 4.2 Surge voltage protection system.

図 4.2 に異常電圧保護方式を示す。

交流側からの異常電圧を支配するものは、(a) 避雷器の特性 (b) 変圧器のサージ移行率であり、その移行率を低減させるための (c) 変圧器二次側コンデンサである。コンデンサに直列に抵抗を入れるのは、回路のインダクタンス分と共振を起こし振動電圧ができることを抑制するためである。コンデンサの効果は指数関数的変化で減少するため実用的に制限ができる。実際には、二次電圧波高値の 3 倍程度に押えれば十分である。

・電線側から侵入する異常電圧は、アレスタに依存しているがアレスタとしては、常用直流電圧、回路に発生する開閉サージとその頻度などによりその特性が大きく左右される。つぎに L-C-R による低減効果は波形により左右される。図 4.3 は模擬回路におけるサージ電圧の低減効果および高速度遮断器で事故電流を遮断したさいに発生する異常電圧について、アナログ計算器により計算した結果の一例である。

4.3 故障検出装置

600 V 1,500 V などの直流変電所用としては、シリコン整流素子の電圧定格が大きくなったとはいえ、直列数は相当に大きい値となる。そのため過電圧過電流保護が十分であると直列になった全個数が同時に短絡することは、ほとんど考えられなくなる。そこで、直列中の 1 素

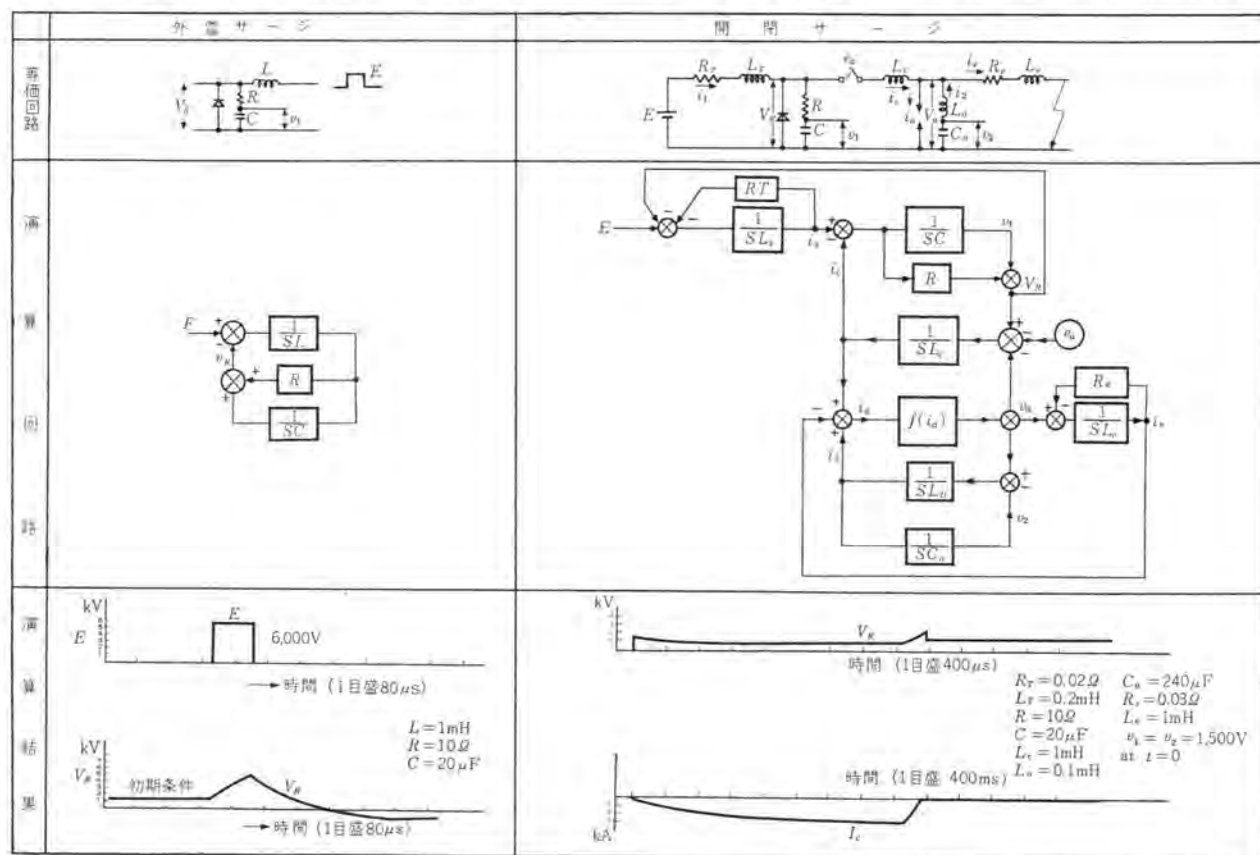


図 4.3 アナログ計算器による異常電圧の計算
Fig. 4.3 Calculation of surge voltage with an analogue computer.

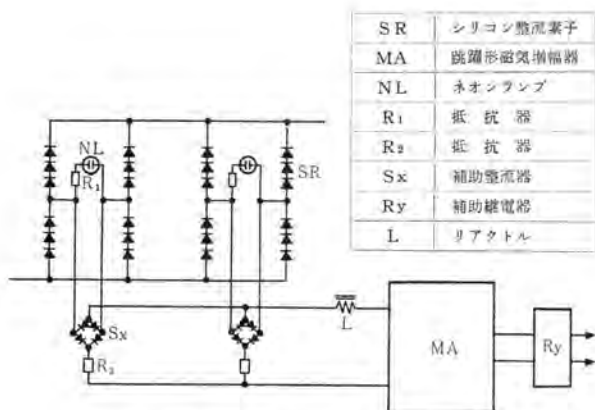


図 4.4 故障検出回路の原理図
Fig. 4.4 Fault detection circuit.

子が劣化または短絡をおこしても、残りの素子で運転を継続できるような設計が可能である。このような装置では、全直列素子が破損に至るまでに、1素子だけのうちに検出し、適当なときに交換することが望ましい。場合によっては、1素子の破損により、停電を行なうような保護とすることもある。

図 4.4 に故障検出回路の一例を示す。この装置は無人変電所を対象としたものであるが、常時点検監視のおこなわれるような場合は、ランプによる表示だけで、故障検出を行なうこともある。

素子の劣化が正方向特性だけに現われることは、まれではあるが、並列枚数が少ないような設備にとっては相当にきびしい負担となることがある。このような素子の故障にたいしては、温度差リレーを用いることにより、保護を行なっている。すなわち、同様な冷却条件にある並列回路の素子温度差がある値以上になったときに検出動作を行なう。

4.4 付属機器の保護

シリコン整流器は、水銀整流器と比較して、付属装置が非常に少ないのが特長であり、主要なものは冷却装置だけである。すでに述べたように、シリコン整流素子の熱容量は非常に小さいので、冷却装置の事故はすみやかに検出しなければならない。

送風機の事故は、断風リレーで風流の減少を検出し、温度リレーで風温の上昇を検出するとともに送風機用電動機の短絡などの事故のばあいはその回路の過電流を検出して、整流器を保護する。

4.5 並列運転

シリコン整流器間の並列運転は、相互の電圧変動率だけ合致させればとくに問題はないが、既設の水銀整流器、回転変流機との並列運転は、水銀整流器の逆弧や回転変流機のセリ絡事故などを十分に考慮し、適当な保護方法をとらなければならない。このばあい、既設の機器に電

圧変動率を合致させることが望ましいが、既設の機器の電圧変動率が非常に小さいものについては、シリコン整流器が不経済になることがあるので、適当な負荷分担法を採用しなければならない。

主電線を通しての隣接変電所との並列運転においても、電圧変動率は、負荷の分担を決定する大きい要素となる。

5. 1,500 V 3,000 kW シリコン整流器

上述のような考え方をもととして製作した、1,500 V 3,000 kW、電鉄変電所用シリコン整流器の実例を近畿日本鉄道恩智変電所および国鉄変電所納入のものについて述べる。両方に共通の仕様は次のようである。

定格出力 3,000 kW
直流電圧 1,500 V
直流電流 2,000 A
形 式 屋内形強制風冷式 (SF 形)
整流回路 3 相ラリッジ結線
受 電 20 kV 三相
周 波 数 60 c/s

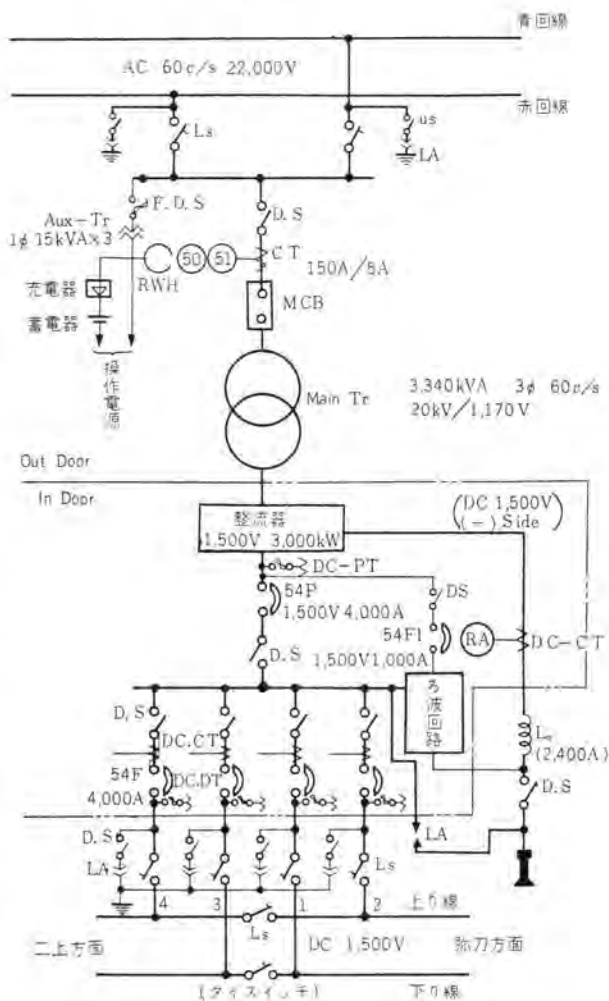


図 5.1 近鉄恩智変電所単線結線図
Fig. 5.1 Skeleton diagram of the Onchi substation.

5.1 近鉄恩智変電所向けシリコン整流器

この変電所は、近鉄本線に属し弥刀、二上変電所間に新設される全自動無人操作式変電所であり、6.3 km 離れた弥刀変電所より遠方監視制御を行なう。

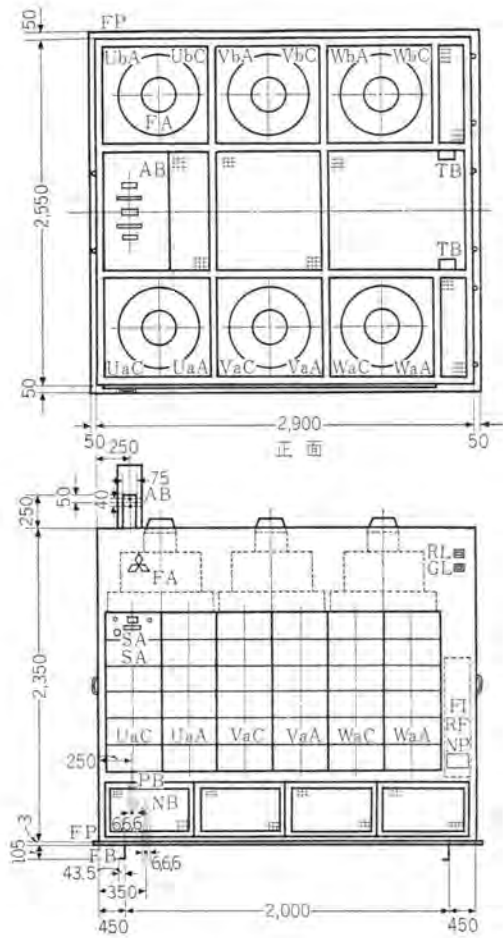
図 5.1 に近鉄恩智変電所の主回路単線結線図を示す。シリコン整流器の定格の種類は、超重負荷公称定格（特殊定格）でありその仕様は下記のとおりである。

- 100 % 負荷 連続
- 150 % 負荷 2 時間
- 300 % 負荷 1 分間 5 分間隔に 10 回反復

図 5.2 はシリコン整流器の外形図である。

表 5.1 に、保護連動一覧表を示す。

このシリコン整流装置のおもな特長を述べると次のようである。



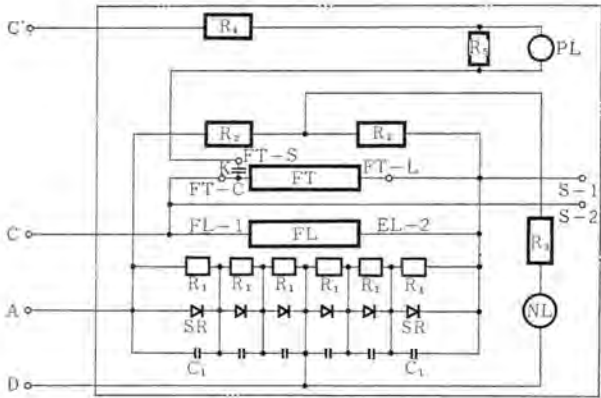
記号	名 称	個数	記号	名 称	個数
AB	交流端子	3	PB	直流正極端子	1
FA	冷却用排気扇	6	RF	異常電圧吸収装置	1
FB	基礎ボルト	4	RL	運転表示灯（赤）	1
FL	故障表示装置	1 式	SA	整流器箱	72
GL	運転表示灯（緑）	1	TB	補助回路端子	1 式
NB	直流負極端子	1	FP	絶縁敷板	1
NP	定格銘板	1			

図 5.2 3,000 kW 1,500 V シリコン整流器外形図
Fig. 5.2 Outline of the silicon rectifier rated 3,000 kW 1,500 V. (tray type)

表 5.1 近鉄恩智変電所の保護連動

故障原因または動作継電器	表 示	開放する シャ断器	ロック 有 無	記 事
交流側過電流	51	52, 54 P		瞬時要素付
交流制御電源異常	47 C	#		
直流高速度シャ断器動作	54 P	52		54 P の自動シャ断
ブッホルツ 2 段	96-2	52, 54 P	○	
直流逆 流	32	52, 54 P, 54 F	○	54 F は自動再閉路
再 閉 路 失 敗	82	52, 54 P	○	
整流器温度上昇	26 H	#	○	
ヒューズ複数個熔断	FUT	#	○	
冷却扇故障	88 B	#	○	
整流器接地	64	#	○	
変圧器温度上昇	26 T			ブザー警報だけ
ブッホルツ 1 段	96-1			#
シリコン素子故障	SDA			#
ヒューズ 1 本熔断	FUA			#
変圧器油面低下	33 Q			#

火災、正極フレーム接地、は変電所全停電とする



記号	名 称	記号	名 称
SR	シリコンダイオード	R1	抵 抗 器
FL	主ヒューズ	R2	#
FT	表示ヒューズ	R3	#
K	接 点	R4	#
PL	パイロットランプ	R5	#
NL	ネオンランプ	S-1 S-2	チェック端子
C1	コンデンサ		

図 5.3 シリコン整流器トレイ結線図
Fig. 5.3 Wiring diagram of a silicon tray.

(a) シリコン整流器はトレイ式構造とし、保守の簡便化をはかり、万一シリコン整流素子の破壊の際も負荷を切りはなすことなく、素子の取換えが行なえる。図 5.3 にトレイ内部結線を示す。

(b) 1 アーム中のトレイの整流素子群が破壊したさいにも所定の定格を低減することなく運転を継続することができるので、このような事故では無停電運転を行なう。

(c) 整流器全体を絶縁し、整流器キューピクル内での万一の接地保護を行なっている。

(d) 異常電圧の保護として、変圧器に静電シャハイ板を設けて一次側からの移行電圧を低減している。

5.2 国鉄変電所向けシリコン整流器

都市電車線に属する 3,000 kW シリコン整流器 2 台の並列運転をたてまえとし、別の制御センタから遠方制御を行なう無人変電所である。

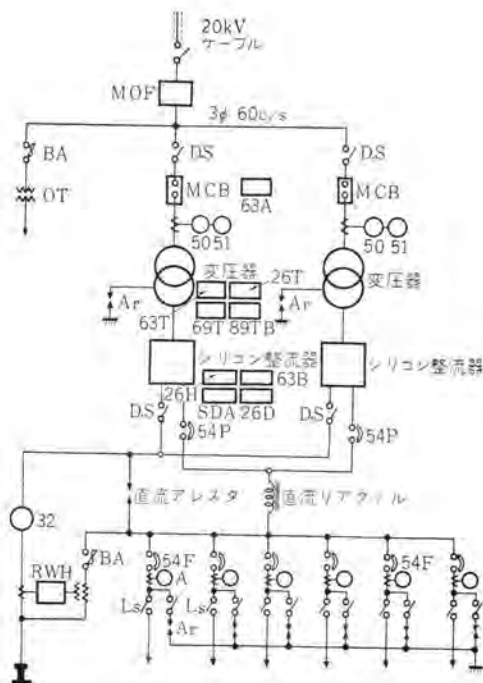


図 5.4 国鉄変電所単線結線図
Fig. 5.4 Skeleton diagram of silicon rectifier substation of J.N.R.



図 5.6 シリコン整流器ユニット
Fig. 5.6 Silicon rectifier unit.

図 5.4 に主回路単線結線図を示す。

シリコン整流器の定格は D 種定格であり、そのおもな特長は次のようである。図 5.5 はその外形図である。

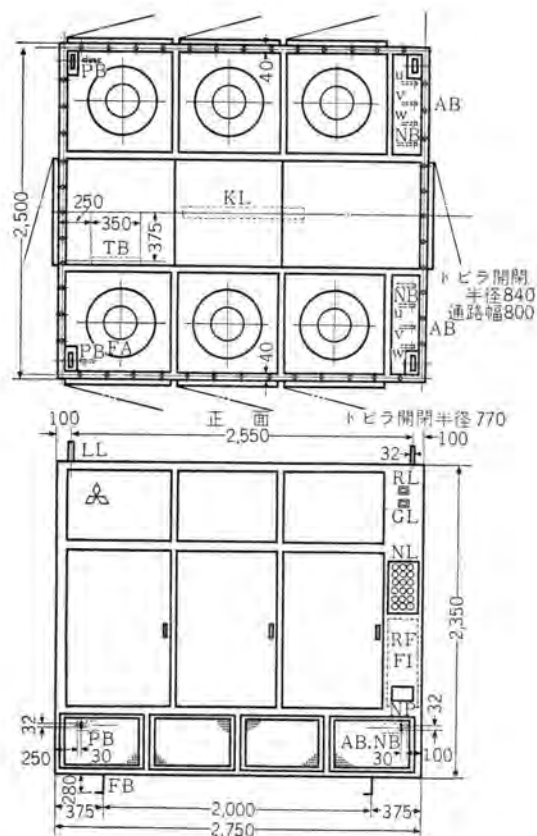
(a) シリコン整流器は、7 組に整流器ユニットを固定する構造としている。図 5.6 にそのユニットのモデルを示す。

(b) 運転は、事故補修のばあい運転停止可能であるとの条件によりヒューズを使用しない方式としている。

(c) 冷却効果をよくするため、建家に風洞を設け、室内で冷却風の循環することを防止している。

(d) 1,500 kW セットを単位として、2 セットをもって構成しているが、(c) の理由により全体を 1 キュービクルに収納したのでキュービクル内部に通路を設けて保守の便をはかっている。

(e) 直流側過電圧装置は設備しないが、直列リアクトルを使用し、外部短絡時の保護および、電線からの侵入サージにそなえている。



記号	名 称	個数	記号	名 称	個数
AB	交流端子	6	GL	運転表示灯 (緑)	1
PB	直流正極端子	2	NL	故障表示灯	36
NB	直流負極端子	2	NP	定格名板	1
TB	補助回路端子	1 式	RF	異常電圧吸収装置	1
KL	キー光	1	FI	故障表示装置	1
FA	冷却用排気扇	6	FB	基礎ボルト	4
RL	運転表示灯 (赤)	1	LL	板ツリ手	4

図 5.5 3,000 kW 1,500 V シリコン整流器外形図
Fig. 5.5 Outline of a 3,000 kW 1,500 V silicon rectifier.

6. む す び

大井町変電所で試験をしていた 1,000 kW のシリコン整流器が現在国鉄福塩線上土手変電所に移設され岡山制御センタより遠方制御運転されているのを始めとして、冷却装置以外にほとんど補助装置を必要としない便宜さのゆえに、シリコン整流器による無人自動運転、遠方制御変電所が広く採用されるようになった。まだ十分の実績がでたわけではないが、今後さらにシリコン整流素子の製作技術が発展するにつれ、小形、高能率のシリコン整流器が電鉄用直流変電所用として広く使用されることになる。

三菱電機では、豊富なシリコン整流器製作の技術と経験を生かし、需要家各位のご要望に自信をもってこたえるべく、よりよいシリコン整流素子の製作、保護方式の確立などに不断の研究努力を重ねている。

整流器用変圧器

伊丹製作所 田村良平*・坂田邦寿*

Transformers for Rectifier Use

Itami Works Ryōhei TAMURA・Kunikazu SAKATA

Progress for these ten years of electric materials has worked a marked innovation on transformer design, e.g., class H insulation, nonflammable insulation oil, and cold rolled silicon steel strips having come in use. The case of rectifiers is of no exception. Rotary converters have been displaced with multipole or single-pole mercury rectifiers, which are now about to be replaced with silicon rectifiers. This trend has brought about influence on rectifier transformers in their connection; from a diametrical star to a double wye, and further to a three phase full wave connection or to a single phase full wave or bridge connection in line with the development of AC electrification of the National Railways, the change undergoing with a bewildering speed.

1. ま え が き

ここ10年ほどの間の電気材料の進歩が変圧器の設計に一大革新をもたらした。すなわちH種絶縁、不燃性油、冷間圧延ケイ素鋼帯の使用などである。

整流器に関しても同様で、回転変流機から多極または単極水銀整流器へ、さらに半導体とくにシリコン整流器の出現である。これにつれて整流器用変圧器の結線もダイアメトリカル星形から二重星形結線へ、さらに三相全波結線の使用、あるいはまた国鉄交流電化の進展にともない単相全波またはブリッジ結線と教科書記載のもののパレードの観がある。

電鉄特集号発刊に当たって、電鉄向け整流器用変圧器の近況を述べてご参考にご供することにする。

2. 一 般

2.1 電 圧

整流器式電気機関車ならびに電車用は別として、交流側は50または60 c/sの三相電源に接続され、交流巻線電圧は、表2.1のような値を標準としている。直流電圧は国内では600、1,500 Vの2種類だけであるので、直流側結線が二重星形の場合の直流巻線電圧は560および1,370 Vを、三相全波結線の場合には1,180 Vを標準としている。ただ使用される整流器の種類、整流器用変圧器の定格の選び方、たとえば実際の電車負荷の状態、とくにピークの掛り方を考えて、整流器は3,000 kWであるが変圧器は2,000 kW相当のD種定格のものを使用するといったような場合には上記直流巻線電圧は多少変わってくる。

2.2 結 線

まず直流側の結線であるが、イグナイトロン整流器使用の

表 2.1 定格電圧とタップ電圧

定格電圧 (V)	タップ電圧 (V) (全容量)		
3,000	3,300	3,150	2,850
6,000	6,600	6,300	5,700
10,000	11,000	10,500	9,500
20,000	22,000	21,000	19,000
30,000	33,000	31,500	28,500
40,000	44,000	42,000	38,000
60,000	66,000	63,000	57,000
70,000	77,000	73,000	66,500

場合には相間リアクトル内蔵二重星形結線を、シリコン整流器を使用した直流1,500 V用は三相全波結線を標準としている。なおこの場合600 V用は直流架線側からのサージに対するシリコン整流器の協調と経済性をあわせ考えて現状では二重星形結線を推奨している。

上記結線の優劣を簡単に比較するとつぎのようになる。

(1) 三相全波結線

あらゆる結線方式中、変圧器の利用率(直流出力最大値/変圧器直流巻線容量)がもっとも良く(0.955)、整流器の陽極、陰極間に印加される逆電圧最大値は二重星形結線の1/2となる。短所としては通電時2個の整流器が直列になるので全アーク電圧降下は2倍となり、1アーム当たりのアーク電圧が二重星形結線の場合と同じならば、それだけ能率も悪くなる。また陽極電流最大値および平均値のいずれも二重星形結線の場合の2倍となる。さらにこの結線方式は水銀整流器と組合せるときは単極水銀整流器しか使用できない。

(2) 二重星形結線

リアクタンス降下がもっとも小さく、変圧器の利用率(0.676)も三相全波結線についてよいので、当社でもシリコン整流器出現まではほとんどこの方式であったといっても過言でない。相間リアクトルを使用する関係上、臨界電流値以下で直流電圧が急上昇するので、抑制抵抗を必要とする。

上記以外の結線として、整流器式電気機関車および電
車用では電源が単相電源であるので、単相全波結線また
は単相ブリッジ結線がある。車両用として重量の低減を
考える場合には、変圧器の利用率のよい単相ブリッジ結
線を採用するほうが好ましい。

つぎに交流側の結線であるが、線路電流の波形を考え
れば二重星形結線の場合では三角、三相全波結線では星
形接続が好ましいことになる。しかし1変電所の直流出力
が増大し、交流側における誘導障害を軽減する目的で
相数を増やす必要がある場合には、おのおのの整流器用
変圧器は6相（二重星形、または三相全波）として、交
流側を三角または星形としてこれを組合せて12相とする
方式を電鉄用では標準としている。

2.3 容 量

直流出力 500, 750, 1,000, 1,500, 2,000, 3,000 kWに
相当する変圧器容量の当社標準を示すと表2.2のよう
になる。この場合の直流電圧変動率は、交流側の絶縁階級
を3号〜40号、60, 70号に分けてそれぞれ約4.5%, 6.0
%を標準としている。

表 2.2 直流出力と変圧器容量

直 流 出 力 (kW)	直 流 電 圧 (V)	変 圧 器 容 量 (kVA)	
		二重星形結線	三相全波結線
500	600	570	—
	1,500	560	560
750	600	860	—
	1,500	840	840
1,000	600	1,140	—
	1,500	1,120	1,110
1,500	600	1,720	—
	1,500	1,680	1,670
2,000	1,500	2,240	2,230
	1,500	3,360	3,340

なお交流側の結線については2.2項で述べたとおりで
あるが、逆弧の際の電磁機械力に十分に耐える構造とす
るために交流巻線の導体寸法はできる限り大きいほうが
好ましい。この要求を満足させるため、交流側線路電流
が30 A以下のときは星形結線を採用している。また同じ
理由で最小単器容量にも限度を設け交流側絶縁階級60,
70号の場合は2,000 kW、30号に対しては1,000 kWを
限度としている。

2.4 形 式

整流器用変圧器の形式としては、内鉄形、屋外用、油
入自冷式を標準としている。ただ据付場所に制限を受け
る場合とか、移動変電所用あるいは整流器式電気機関車
ならびに電車用のように重量に制限を受ける場合には、
冷却効果の高い当社独自のUフィン管式放熱器を使用し
た送油風冷式を推奨している。

また地下鉄変電所用として、あるいは整流器式電車用
として不燃性を要求される場合には、H種絶縁乾式風冷
式（交流側電圧22 kV以下）かダイヤロール不燃性油（交

整流器用変圧器・田村・坂田

表 2.3 定 格 の 種 類

定 格 の 種 類	負 荷 条 件
通 統 定 格	100 % 負荷連続
A 種	100 % 負荷連続 + 120 % 負荷 1 分間
B 種	" + 125 % 負荷 2 時間 + 200 % 負荷 1 分間
C 種	" + 150 % " + "
D 種	" + 150 % " + 300 % 負荷 1 分間
E 種	" + 120 % 負荷 2 時間 + (100 % 負荷 9 分間 + 100 % 負荷 1 分間) + 10 回

流側電圧 33 kV 以下) 入自冷式または送油風冷式を製作
している。

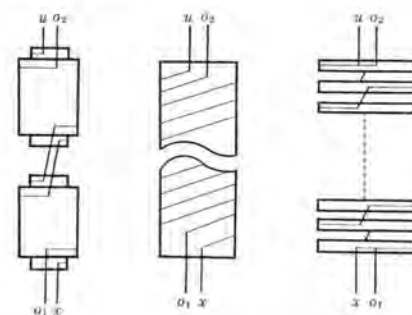
2.5 定格と温度上昇

JEC-133 (1957) には表2.3に示すような定格が規定
されているが、当社の従来の製作経験によると電鉄用と
しては同表中のC〜E種定格がもっとも多いようである。
この場合の温度上昇であるが、100 % 負荷連続に引続い
てそれぞれ規格値どおり2時間過負荷した後の巻線の
温度上昇（抵抗法）は60°Cまたは65°Cをこえないよう
にコイルの電流密度、放熱面積を適当に選定製作している。

2.6 特 長

三相全波、単相全波あるいは単相ブリッジ結線の場合
には交直流巻線の配置、構造は本質的に普通の電力用変
圧器と特別異なるところはないが、逆弧時の電磁機械力
を少なくするよう、またこれに十分耐えるように後述す
るような特別な考慮をしている。

つぎに二重星形結線の場合であるが、直流巻線6相間
の陽極電流を平衡させるためには、6相の巻線の抵抗お
よび交流巻線に対する転流リアクタンスを相等しくする必



(a)円筒コイル (b)ラセン巻コイル (c)平板コイル(連続巻)

図 2.1 二重星形絶縁直流巻線構造

Fig. 2.1 DC coils of double-wye connection.

要がある。そのために図2.1に示すような巻線構造を採
用している。交流巻線は高圧であるのでこの直流巻線の
外側に同心状に巻いてある。

しばしば述べたように逆弧の際の過大電流は単なる直
流側短絡と異なり、他相からの逆弧電流に加えて、並列
器のある場合は、それらからの逆流も加わり非常に苛酷
なものとなり、交直流巻線間に大きな電磁機械力が巻線
の半径方向、および軸方向に働く。このため半径方向の
機械力に対してはコイル自身で受けるように導体厚さ、

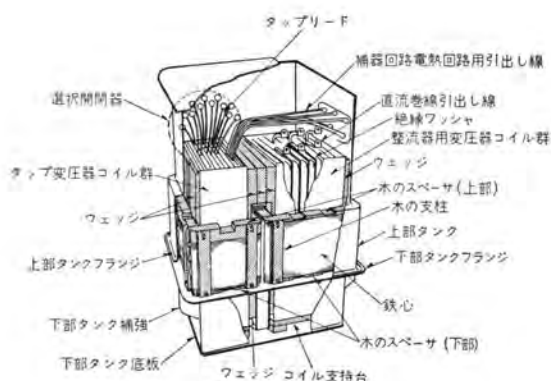


図 2.2 外鉄形 form-fit 構造説明図
Fig. 2.2 Form-fit transformer.

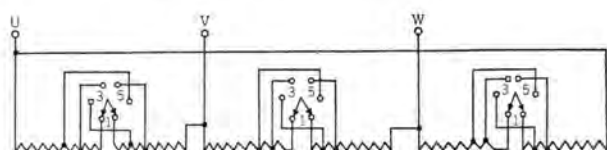


図 2.3 交流巻線 タップ の抜き方
Fig. 2.3 How to lead out AC winding taps.

または コイル幅 を設計し、軸方向の機械力に対しては導体幅をできるだけ大きく設計してある。さらに コイル 間の スペーサ の数を増やしたり、スペーサ も鳩尾状のものを使用し、軸方向油隙に固定されて動かないように種々の考慮をしている。

つぎに整流器式電気機関車および電車用は重量、とくに寸法の制限を受けるので、設計の自由度が大きいためこの要求を容易に満たしうる 当社独自の 外鉄形 form-fit 構造を採用しているが、この場合の機械力は コイル 間の反発力となって現われるので、コイル群 を両側から十分強固に締め付けてやる必要がある。図 2.2 でわかるようにコイル はそれを囲む鉄心および タンク によって、また鉄心外部に出ている部分も、タンク と コイル 間に挿入された (ウェッジ) によって強固に締め付けられている。

交流巻線に タップ を有する内鉄形の場合は図 2.3 に示すような方法で、タップ の切換えを行ない、軸方向機械力の発生源である交差漏れ磁束をできる限り小にするように考慮している。外鉄形の場合はことさらこのような考慮を必要としない。

3. 実 例

前項においては電鉄向け三菱製整流器用変圧器の仕様、特質を簡単に述べたが、以下実例について述べる。

3.1 地上変電所用

当社の国鉄、私鉄向け イグナイトロン整流器 使用の上記直流変電所向け整流器用変圧器最近10年間の製作実績は 210 MVA に達しているが、これらはすべて内鉄形、油

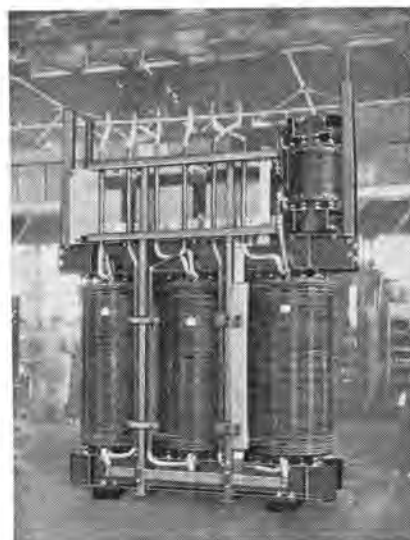


図 3.1 3/2×3 相 60 c/s 73.5/1.35 kV 3,330 kVA
整流器用変圧器中身
Fig. 3.1 Construction of rectifier transformers.

表 3.1 イグナイトロン 用三相全波結線変圧器製作表

容 量 (kVA)	周波数 (c/s)	電圧 (交流側/直 流側) (kV)	台 数	納 入 先	備 考
3,420	50	66-63-60-57/1.21	1	国鉄戸塚変電所	1,500V3,000kW用 昭 33
2,260	50	23-22-21-20-19/1.2	1	小田急藤沢変電所	1,500V2,000kW用 昭 33
1,130	60	22-21-20-19/1.2	1	富山地鉄稲荷変電所	1,500V1,000kW用 昭 33

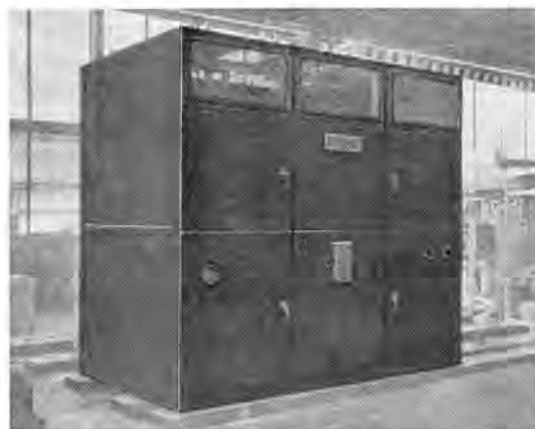


図 3.2 3/2×3 相 50 c/s 22/0.565 kV 1,730 kVA
整流器用変圧器 (H 種絶縁風冷式)
Fig. 3.2 Dry type rectifier transformers.

表 3.2 H 種絶縁乾式風冷式整流器用変圧器

容 量 (kVA)	相 数	周波数 (c/s)	電圧 (交流側/直 流側) (kV)	台 数	納 入 先	備 考
860	3/2×3	60	3.45-3.3-3.15-3/0.56	1	名古屋市電 栄町変電所	560V 750kW用 昭 30
1,730	3/2×3	50	22-21-20/0.565	1	帝都交通 新宿変電所	560V 1,500kW用 昭 35

入自冷変圧器である。なお直流側の結線は表 3.1 に示すもの以外はすべて二重星形結線である。

さきに述べた H 種絶縁乾式風冷式変圧器 としては 表 3.2 に示すような地下鉄変電所向けのものがある。

つぎに シリコン 整流器用変圧器としては昭和 33 年に国鉄大井町変電所に電鉄用としてわが国最初のものを試作

表 3.3 シリコン整流器用変圧器製作表

容量 (kVA)	相数	周波数 (c/s)	電圧 (交流側/直流側) (V)	台数	納入先	備考
1,160	3	50	22-21-20-19/1.23	1	国鉄大井町変電所	1,500V1,000kW用 昭 33
3,300	3	60	23-22.5-22-21.5-21/1.17	1	近鉄恩地変電所	1,500V3,000kW用 製作中
3,340	3	60	22-21-20-19/1.18	1	—	1,500V3,000kW用 製作中
2,230	3	60	22-21-20-19/1.18	4	—	1,500V2,000kW用 製作中

好評を博した。引き続き近畿日本鉄道、国鉄交直電車用と小容量であるが製作を行なったが、最近に至り1,500V電鉄用としてのシリコン整流器の価値も確定して来た観があり、昭和35年度は表3.3に示す3,000kW容量の変圧器を製作中である。シリコン整流器用変圧器として従来のものと異なる点は、交流側からの異常電圧の移行を抑えるために交直流巻線間に静電シールド板を設けていることである。

3.2 車 両 用

(1) 移動変電所用⁽¹⁾⁽²⁾

地上変電所の季節的な、あるいは時間的なピークに対する急援として移動変電所はその効果を最大に発揮する。当社は昭和29年他社にさきがけ、わが国最初の直流移動変電所を南海電気鉄道株式会社に納入し好評をばくしたが、その後今日まで表3.4に示すような製作実績を有し

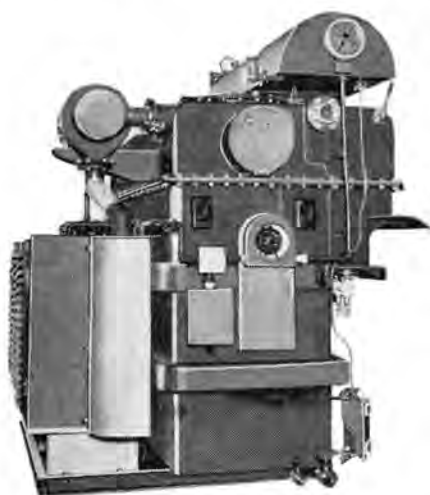


図 3.3 3/2×3 相 50 c/s 22/1.37 kV 3,360 kVA
CUB 形整流器用変圧器

Fig. 3.3 3,360 kVA rectifier transformers.

表 3.4 移動変電所用整流器用変圧器製作表

容量 (kVA)	相数	周波数 (c/s)	電圧 (交流側/直流側) (kV)	台数	納入先	備考
1,720	3/2×3	60	34.6-32.9-31.2-29.4/23-22-21-20/3.33/0.56	1	南海電気	600V 1,500kW用 陽極バランサ内蔵 昭 29
3,360	3/2×3	50/60	73.5-70-66.5-63-60/21.2-20.2-19.2/1.37	1	国鉄鉄道	1,500V3,000kW用 昭 33
2,240	3/2×3	50	22-21-20-19/1.37	1	西武鉄道	1,500V2,000kW用 昭 33
3,360	3/2×3	50	23-22-21-20/1.37	1	小田急	1,500V3,000kW用 陽極バランサ内蔵 昭 34

ている。移動変電所用変圧器は狭い車体に配置される関係上、形状、重量および寸法に制限を受ける。なお場合によってはイグナイトロン整流器の使用台数に応じて陽極バランサを内蔵する必要さえも生じる。そこで変圧器としては三相五脚鉄心を使用して中身高さを低くしたり、上記陽極バランサはタンク側面に設けたポケット内に収納したり、交直流側套管はすべてタンク側面より出しコンパネの構造にも特別の考慮が払われている。したがって変圧器の外観も図3.3に見られるような特異な形となる。重量の軽減のためには冷間圧延方向性ケイ素鋼帯を使用したり、送油風冷式として当社独自のUフィン管式放熱器を使用するなど特殊の設計を行なっている。

また移動変電所の性質上電源系統全線にわたることはもちろん、国鉄向け3,350kVAに見られるように関東、関西にわたり使用するものは周波数の共用さえも考えなければならぬことがある。表3.4に見られるような電圧の共用に対しては交流巻線の直並列切換え、三角結線より星形結線への接続変更、さらにタップ電圧を得るために特別にタップ用巻線を設けて、このタップ巻線の接続を正、逆方向に加減するようにする場合もある。

(2) 整流器式電気機関車および電車用⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

商用周波数交流による電化計画の第一歩として、国鉄は昭和30年ED-45形整流器式、ED-44形交流整流子式の両電気機関車を試作、仙山線において試験を行なった。その結果整流器式電気機関車の性能が、粘着係数その他の点において、整流子式よりもすぐれていることがわかり、その後の国鉄幹線の交流電化には整流器式がもっぱら採用されているのが現状である。

当社としては上記ED-45形機関車用を製作以来、表3.5に示すような整流器式電気機関車あるいは同電車用変圧器を製作、または製作中である。

上記変圧器はすべて機関車車間または電車車台下に取付ける関係上重量、寸法の制限を受けることはもちろん、前項の移動変電所と異なり常時運転を行なうものである。

表 3.5 整流器式電気機関車ならびに電車用変圧器製作表

容量 (kVA)	相数	周波数	電圧 (交流側/直流側) (kV)	台数	備 考
440	1/2	50	20/1.855	1	外鉄、送油自冷、不燃性油 交直両用
2,840	1/2	60	20/1.0 R	19	外鉄、送油風冷、不燃性油 低圧タップ切換、ED 70
2,200	1/2	50	20/0.966 R	1	外鉄、送油風冷、鉱油 高圧タップ切換、ED 713
2,490	1/2	50	20/1.075 R	6	外鉄、送油風冷、鉱油 高圧タップ切換、ED 71
3,000	1/2	50	22.5/0.96 R	10	外鉄、送油風冷、鉱油 高圧タップ切換、インド
310	1/2	60	20/1.8	17	内鉄、油入自冷、鉱油 EF-30
800	1/2	60	20/1.82	8	外鉄、送油風冷、不燃性油 ED-42

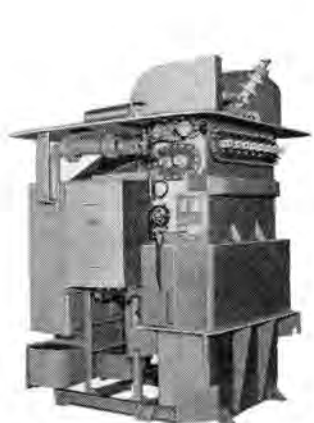


図 3.4 ED-70 形用変圧器 1/2 相
60 c/s 2,840 kVA 20/1.0 kV
Fig. 3.4 Transformer for type
ED-70 locomotive.

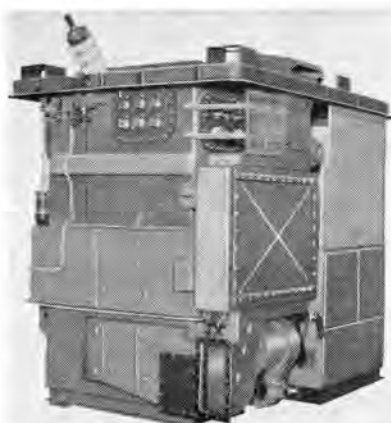


図 3.5 ED-713 形用変圧器 1/2 相
50 c/s 2,200 kVA 20/0.966 kV
Fig. 3.5 Transformer for type
ED-713 locomotive.

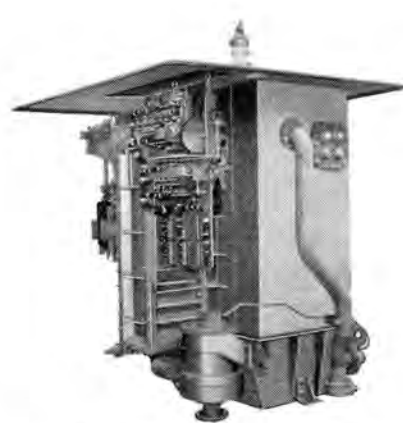


図 3.6 インド 国鉄向け変圧器 1/2 相
50 c/s 3,000 kVA 22.5/0.96 kV
Fig. 3.6 Transformer for the Indian
National Railways.

ために震動に対しても強固でなければならない。そのために同表中の、EF-30、ED-71 用以外は当社独自の冷間圧延ケイ素鋼帯使用、外鉄形フォーム・フィット構造を採用し、(図 2.2 参照)冷却方式もほとんど送油風冷式となっている。なお ED-70、71 形およびインド 国鉄向け機関車では直流電動機速度制御は、従来の電動機直並列切換えと抵抗器により行なう、いわゆる抵抗制御方式を補うために、直流電動機の端子電圧を自由に变化させる方式となっている。また電車線電圧が 80% 程度に低下したときにも一定出力を出す必要がある。そのため変圧器には高圧 (ED-71 形、インド 国鉄向け)、あるいは低圧 (ED-70 形) タップ 切換器を設けて、直流巻線電圧あるいは直流電圧を变化させるようになっているのが特長である。

4. む す び

以上概説的に最近の当社電鉄向け整流器用変圧器について述べたが、今後は地上変電所用、車両用のいずれを問わず シリコン整流器 が従来のものと取って代わるであ

ろう。そうすると水銀整流器使用時の逆弧の際に見られるような苛酷な条件が変圧器に加わる確率もきわめて少なくなり、整流器用変圧器も普通の電力用変圧器とまったく同じ (たとえば三相全波 または 単相ブリッジ結線のように) 構造のものでよいことになろう。

さらには制御電極付シリコン 整流器の実用化が進めば、現在整流器式機関車で採用しているような タップ 切換器を変圧器に付ける必要もなくなるかも知れない。

参 考 文 献

- (1) 吉岡・加藤：水銀整流器移動変電所、オーム (昭 30-4)。
- (2) 国松・西村：トレーラ 式移動変動所、「三菱電機」, 32, No. 4 (昭 33)。
- (3) 待鳥・小原：交直兩用電車、「三菱電機」, 32, No. 8 (昭 33)。
- (4) 小川：ED-70 形整流器式交流機関車、「三菱電機」, 32, No. 3 (昭 33)。
- (5) 田村・坂田：ED-713 形交流機関車用主変圧器、「三菱電機」, 33, No. 11 (昭 34)。
- (6) 浅越・小原：関門ずい道用 EF-701 形交直兩用電気機関車、「三菱電機」, 34, No. 10 (昭 35)。

移動変電所

伊丹製作所 加藤 又彦*

Mobile Substations

Itami Works Matabiko KATŌ

Mobile substations in a broad sense are vehicles mounted with sealed-off mercury rectifiers to be conveyed to a place where DC power is urgently or temporarily needed. A number of such stations have been built and appreciated by users. Recent development of silicon rectifiers now promises advent of much handier devices. Mobile substations based on the new rectifiers are coming out to supersede aged converting equipment and to reinforce power supply of a particular locality. Electric locomotives and electric coaches provided with silicon rectifiers have been manufactured one after another; their durability and performance tests are under way with part of them.

1. ま え が き

封じ切り形水銀整流器を車両に またはトレーラ にそれぞれ積載して必要時に移動して移動先で直流電力を供給する広義の移動式変電所は現在まで電気鉄道用にかなりの台数製作されている。最近 シリコン整流器が発達してきて在来の水銀整流器にとってかわらんとする傾向にある。また現在 シリコン整流器積載の電気機関車、電車などがつぎつぎ試作され、その一部は耐久性能試験が実施されつつある。こうした状況であるため老朽化してきた変換装置の更新、および電力供給能力の増強策の一端として シリコン整流器を積載した 移動変電所が企画されることは シリコン整流器 の電気的特性からみても十分考えられることである。ここに在来の既納移動変電所の特長と使用目的とを回顧し新たに シリコン整流器 を使用して製作したときの新形式移動変電所の特異性に関して記述し、ご参考にご提供する次第である。

2. 移動変電所の種類とその成立条件

日本または外国で水銀整流器を使用した移動変電所には次の種類がある。すなわち

- (1) 車両に搭載した移動変電所
- (2) トレーラ に搭載した移動変電所
- (3) スキー式 台ワク付移動変電所
- (4) キュービクル形移動変電所

以上のもののうち 封じ切り形 イグナイトロン整流器 を使って構成されたものは(1)(2)の2種類であって電気鉄道用であるが外国では電鉄用はもちろん、鉱山用、工業用などがある。当社製の電気鉄道用には 図 2.1 に示す

3,000 kW 1,500 V 液冷式、密封形 イグナイトロン整流器 の外形写真のものをはじめとして トレーラ に搭載した風冷式、密封形 イグナイトロン整流器 もある。図 2.2 は 3,000 kW 1,500 V の整流器車を示す。こうした旧形式の移動変電所が シリコン整流器をもって構成された場合、整流



図 2.1 3,000 kW 1,500 V 液冷式 イグナイトロン整流器 移動変電所全景

Fig. 2.1 Full view of mobile substation mounted with 3,000 kW 1,500V water cooled ignitron.



図 2.2 3,000 kW 1,500 V 風冷式 イグナイトロン整流器 トレーラ 牽引式整流器車

Fig. 2.2 Trailer type rectifier car with 3,000 kW 1,500V air cooled ignitron.

器本体はもちろんのこと保護装置その他を考え合せていかなる形態となり、要望事項をいかにして満足させるかが問題である。

まず上記の各種移動変電所の内容を簡単に説明する。

(1) 車両に搭載した移動変電所

これは電気鉄道または鉱山輸送用のものであり、地上変電所の補強用として随時随所に軌道上を移動して使用されるものである。定格出力、受電電圧、付属装置などにより搭載される機器が相違するので車両、1両で構成されるときと2両またはそれ以上からなるときとがある。多くの場合は2両編成で、受電用開閉器、整流器用変圧器など屋外用機器などを搭載した交流車と整流器、同用冷却装置、保護装置などを搭載した有蓋直流車とに区分されて作られている。この両車両はつねに連結されて動力車により必要な \pm 電地点へ牽引され、そこで交流電力を直流電力に変換する。

(2) トレーラに搭載した移動変電所

これは上記の車両のかわりにトレーラに搭載したものであり、編成される車両数は機器の重量、および外形寸法、道路制限、変電所開設場所、車間の電気的接続などの制約によって編成両数かわるが3～4両より構成されるのが普通である。図2.3は1,500 kW 600 V 級シリコン整流器、移動変電所の展開接続方式3種（配置(a)、同(b)、同(c)）を示したものであり、図2.4は3,000 kW 1,500 V トレーラ式移動変電所の展開図である。この

種の移動変電所は地上変電所の立地条件によって車両搭載式の移動変電所が搬入できないとき、または老朽化した既設の設備の合理化の進捗度を考えて立案した場合この種変電所を建設することは有効適切であるといえよう。

(3) スキー式 台ワク付 移動変電所

これは可搬式構造を変換機器にあらかじめ設けておいて必要な場合に必要な機器だけ移動させて、別個独立の運転ができる構造である点がすぐれている。しかし概して小容量のものに使用される。よって電気鉄道用でも小容量に分割されうるものに有効であるが一般に鉱山用、工業用などに適している。主として屋内形構造で各機器単独、または2～3の機器の組合せたものを同一スキー式台ワク上に配置しているのが特長である。

(4) キュービクル形移動変電所

この方式はスキー式のものをキュービクルに入れて並置したものであり、キュービクル間の接続はバスバクトによって行なわれる。主として屋外形の大容量のもので、可搬性をもたした設計内容のものである。この種のものは負荷の分布が変動したときに移設し、運転稼働率を向上させる性格をもっている。

以上の各種の移動変電所が成立する条件を検討するのにその基本内容は運搬することにより地上の固定変電所にまさる利点が存在することにある。すなわち

(a) 直流 \pm 電線系統の負荷の分布が季節的に異なる

ときあるいは特定の需要のため一時的に集中負荷が生じるときには地上変電所の過負荷防止策として臨時的応援を移動変電所で行なう。

(b) 地上変電所の既設機器が故障を生じ、または修理の必要に直面して一定期間運転を休止するときの応援運転の目的を持つとき。

(c) 直流 \pm 電線区間を急速に拡張工事して進んで行くような特別な建設作業のあるとき。

(d) 遠方制御方式の地上変電所よりも建設費が安くしかも利用度が多い場合。

上記の諸条件を満足させるような整流装置といえば組合せ、分割の容易なシリコン整流器がもっともよく耐震的性能や温度調整の面

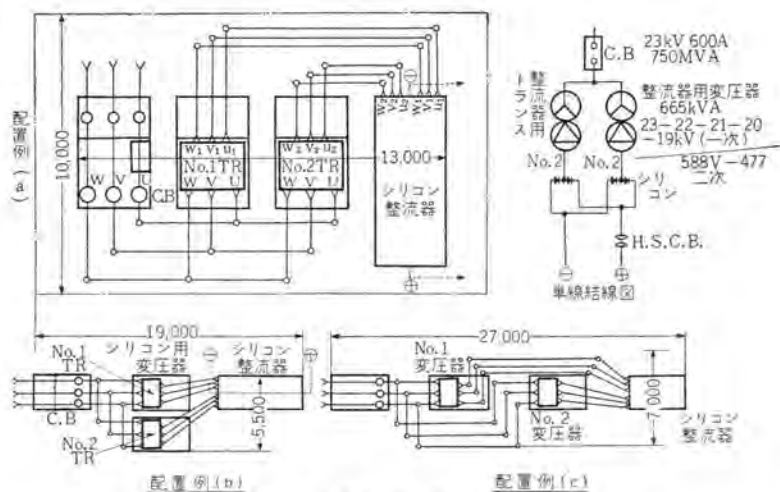


図 2.3 配置例

Fig. 2.3 Example of arrangement.

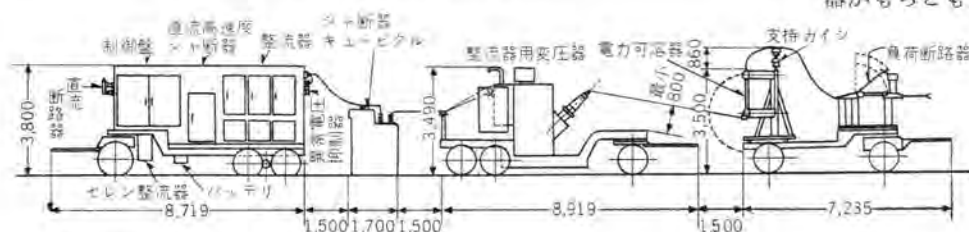


図 2.4 移動変電所展開図
Fig. 2.4 Mobile substation.

からみても保守が優位にある。ただ過負荷電流値とその持続時間に対しては少なからず制限をうけるうらみがあるがこれも設計の内容の問題である。

3. シリコン整流器を使用した移動変電所

電鉄用シリコン整流器については本誌 82 ページ 電鉄変電所用シリコン整流器で記述してあるがその特長中ことに移動変電所用としてとりあげるべき特色は次の事項である。

- (1) 小形軽量の整流素子を直列、並列に組合せて指定定格出力を構成するため外形形状を適宜に変え、車両に積載するのに便利となしうる。
- (2) 耐震性に富み、在来の整流器と比較して小形である。
- (3) 保護装置、付属品などその数量は比較的多いが各部品で劣化に注意しなくてはならないものは少なく、接続ががんにょうであれば保守上問題は少ない。
- (4) 風冷式であり、冷却風の上限温度は制限されて

も下限は制限なく、かつ上限温度も 50°C という温度域で使用可能である。

(5) 予熱、アノード加熱などの必要がなく、制御線本数も少なく開設、撤収に必要な時間が水銀整流器に比して短い。

(6) シリコン整流器は無入運転時の外界じょう乱に対して一般に信頼度がたかい。

以上の諸特性のほか、移動変電所の形式により特性に若干の変更があることはもちろんである。なお上記の特長には必然的に欠点が付随することになる。

トレーラ式シリコン整流器移動変電所の計画例をあげて説明すれば下記のとおりである。

仕 様

- a. 受 電 電 圧 22 kV 60 c/s だけ
- b. 定 格 出 力 1,500 kW 級
450 % 30 秒 5 分間隔反復 9 回
- c. 定格直流電圧 600 V/1,500 V 切換え
- d. トレーラ式 トラクタ牽引
1 車全重量は 10 トン 以内
- e. 既設の直流変電所と並列運転をすること
- f. 無人遠方監視制御を行なう
- g. 撤収から開設までの時間は 10 人、20 時間以内

以上の仕様で最初は直流 600 V で使用する設計であり、1,500 V の切換えは変圧器、シリコン整流器をそれぞれ直列接続するという方針である。図 3.1 は上記移動変電所の主回路の単線結線図であり、車両に積載する機器の区分を示したものである。変圧器を 2 台の車両に分乗させたおもな理由は重量の点からおさえられての方策であるが、変圧器は乾式または、送油風冷式、その他シリコン整流器との接続方式などを十分考えての上での結論である。図 3.2 は 2 台中 1 台の変圧器車の外形寸法図である。またシリコン整流器車はシリコン整流器本体が従来の水銀整

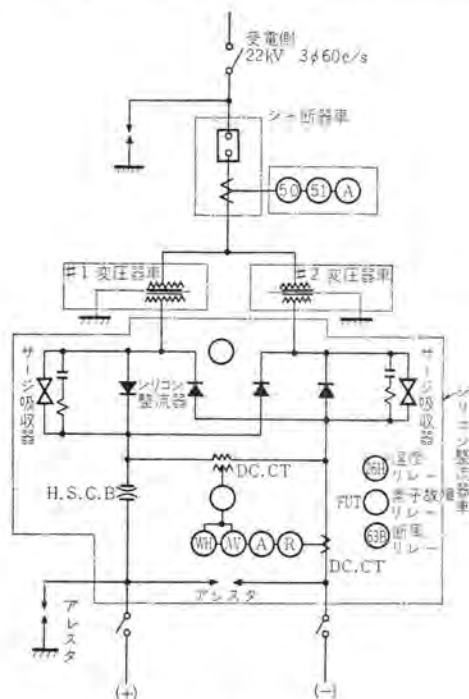


図 3.1 シリコン整流器 移動変電所単線結線図
Fig. 3.1 Skelton diagram of silicon rectifier mobile substation.

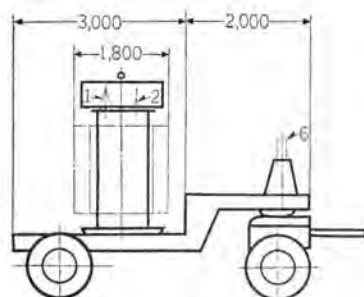


図 3.2 トランス車 外形寸法
22 kV 受電 60 c/s 665 kVA 連続定格 1,000 kVA (150 %) 2 時間
Fig. 3.2 Outline dimension of transformer car.

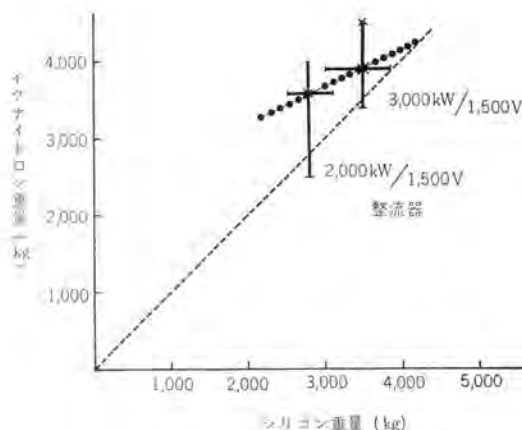


図 3.3 重量比較
Fig. 3.3 Conversion equipment weight

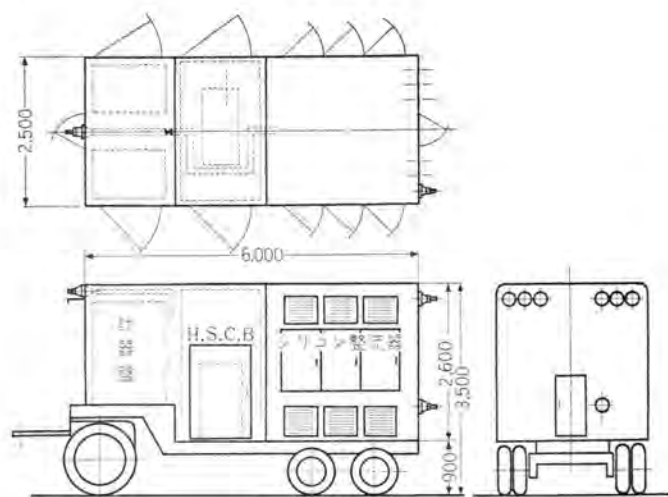


図 3.4 1,500 kW 級 600 V シリコン整流器車外形寸法図
Fig. 3.4 Outline dimensions of 1,500 kW 600 V silicon rectifier car.

流器に比して重量も外形寸法もすぐれているため（図 3.3 参照のこと）小形、軽量となり高速度遮断器と直流側計器取付盤とを積載することができた。図 3.4 はシリコン整流器車の外形寸法図を示したものである。

この移動変電所企画時の肝心事は開設場所と制御方式と既納変電所機器との並列運転の課題とである。制御方式と場所とに対しては特定の機器、たとえば整流器だけとか、変圧器だけとかの故障もありうることをゆえ一般的に説明することは困難であるが、既設の制御盤関係の系統をいかに利用し制御するかが問題である。この具体的内容と制御運転方針とがきまれば移動変電所の具体的内容が確立するものである。しかし保守の難易に重点がおかれる場合と移動変電所を過渡的変電所とみでの経済的勘案いかんによっては問題は分かれる。並列運転の課題は旧来の技術の上になった電気的特性にシリコン整流装置の特性を無理して合致させるということは一見正しいように受取れるが将来の系統全体のことを考えると必ずしも正しいとはいえない。したがって並列運転は定格出力の比率に負荷分配された運転ができれば満足すべき状況にあるといえよう。しかしそれとても現状においては困難であるというのが至当である。

この種移動変電所は企画当時から過渡的な、応援的性格をもった変電所として立案され製作される傾向がある。この観点からみればシリコン整流器は整流素子の直、並列の組合せによってその定格出力がえられるものであ

るから変圧器さえ熱的に耐えうる性能があればピーク負荷電流値の年間増加に符号させるためには整流素子の並列個数を増加させればよい。また直流出力電圧を 600 V から 1,500 V にかえるときも並列アームを直列に接続変更すればよい。こうしたシリコン整流器の特性を十分活用すればもっとも合理的な直流変電所が成立することと思う。直流変電所の計画の章でのべたように変圧器は 2,000 kW 相当出力 (2,260 kVA)、シリコン整流器は 3,000 kW 1,500 V の特殊定格であれば熱的にはすべての電気鉄道用負荷を満足させうるような状況にあるとすれば、この構想のもとでは移動変電所の成立はさらに容易なものとなることは想像にかたくな。また標準の 3.3 kV/220 V の電力用変圧器とシリコン整流器とを直、並列に接続してそれをスキースタックにのせたものを数組直列として所定の定格出力を出す方式の移動変電所は経済的要素と他日使用の方途を変更させうる融通性の観点からみてもっとも便利なものであろう。

4. む す び

以上は封じ切り形イグナイトロン整流器を使用した移動変電所の製作経験を基にシリコン整流器を利用した移動変電所の特質を論じたものであるが、本文内でのべたように移動変電所の使命がどの辺にあるかによって移動変電所の方式に若干の差異を生ずるがシリコン整流器の本来の性能と実績からみて電車負荷の急増に対応してこの種移動変電所はその重責を十分に果たすことを確信してやまない。本文が読者諸賢のご参考になれば筆者のもっともよろこぶところである。

参 考 文 献

- (1) 吉岡・加藤・小原：水銀整流器移動変電所，OHM（昭 30-4）。
- (2) 加藤・亀山・坂田・小滝・岩垂：トレーラ式 移動変電所，「三菱電機」，32，No. 4（昭 33-4）。
- (3) 加藤・横島・奥村：電気鉄道用 シリコン整流器，「三菱電機」，33，No. 8（昭 34-8）。
- (4) 小原・横島：シリコン式 交直電車，「三菱電機」，34，No. 10，p. 65（昭 35-10）。
- (5) 浅越・小原・相田・菅・横島：関門ずい道用 EF 301 形 交直両用電気機関車，「三菱電機」，34，No. 10，p. 69（昭 35-10）。

電 鉄 用 直 流 変 電 所 の 制 御

神戸製作所 小 滝 喜 久 二*

Control of DC Railway Substations

Kobe Works Kikuji KOTAKI

Expansion of electric railway systems or trend of a radical operation has made control equipment increasingly complicated. Switchboards accommodating it has made a considerable progress in their shape and composition. The method of control is roughly divided into three categories; manual, automatic and supervisory. All are based on an aim of saving human power which is becoming expensive and scarce. Steel tank sealed-off mercury rectifiers, dry type transformers and improved protective devices all play important parts to carry through the modernized control of DC railway substations. In this article are introduced a number of practical examples so as to explain the latest development of switchgear.

1. ま え が き

電鉄系統の拡大または合理的運用からますます複雑となった制御装置を収容する配電盤は、形状、構成についてもいちじるしく進歩を見せている。いうまでもなく配電盤とは電気機器を総合的に運用する頭脳であり、神経である。

すなわち人間の意志と設備とを結ぶ重要な役目を果たしており、電鉄系統の状態を監視しつつ制御するものであるから、

(1) 作業員が沈着、確実に誤動作なく監視、制御できるような形状、配置、色彩、等を有するすぐれた環境にしようものであること。

(2) 保守点検手入が容易であること。

しかし最近の配電盤は電鉄系統の拡大とともにいちじるしく大きなものとなり、その目的の一つである監視の点から到底1人で監視できない量となってきたので

(1) 機器の信頼度向上による監視部分の減少

(2) 自動制御の発達による人為的制御分の減少
等が考慮されている。

とくに最近電鉄用直流変電所の変換主機器として、水銀整流器は封じ切り形の完成によって制御装置は簡単化され、また乾式整流器の高圧、大容量化によって電鉄用に使用され始めたことにより、ますます自動化または無人化が活発に要求されている。

2. 制 御 方 式

電鉄用直流変電所の制御方式は、手動変電所、自動変電所、遠方制御変電所の3種に区別できる。

2.1 手動変電所

手動変電所としては現在主として操作の簡易化と監視

の容易を主眼とした、一人制御方式を実施している。操作をまちがえても安全な連動を設け、操作の結果はランプ式集合表示器で確認しながら進行するゆえ、操作の安全感は一段と増している。かつ整流器の温度調整など変電所の運転に関係なく最適温に、いつも保つ必要のあるものは自動制御することにより、いつでも交、直流側 シヤ断

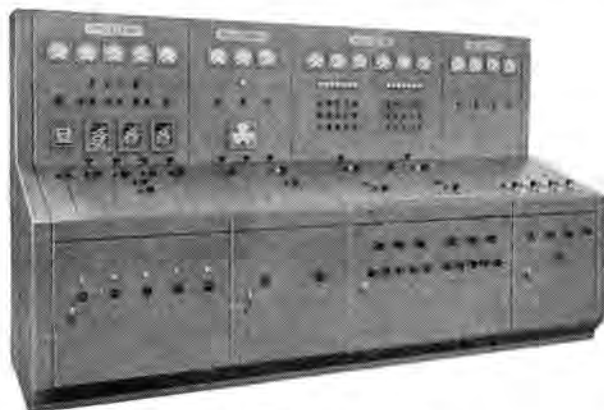


図 2.1 縮小机形配電盤

Fig. 2.1 Compact desk type switchboard.

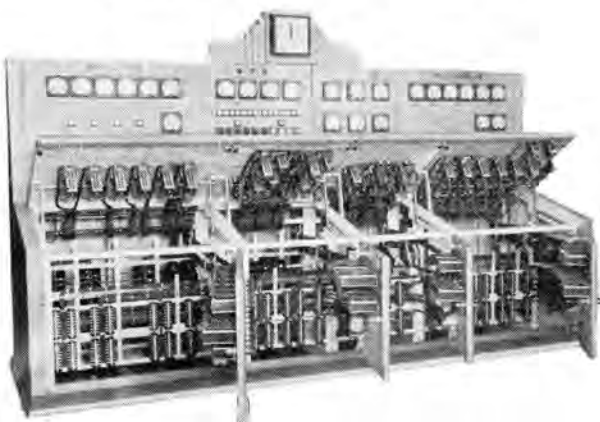


図 2.2 デスク部分を開いた縮小机形配電盤

Fig. 2.2 Compact desk type switchboard with the desk part opened.

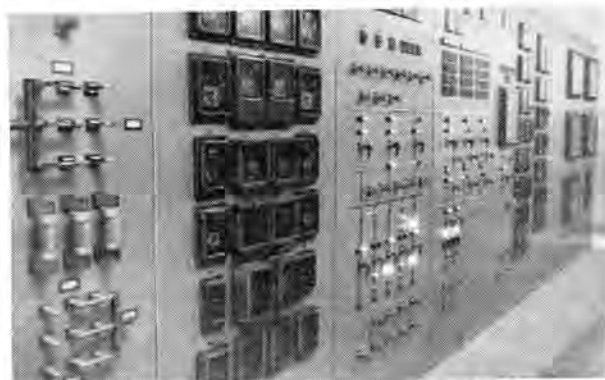


図 2.3 制御監視を1か所に集めた簡易配電盤
Fig. 2.3 Simplified switchboards concentrating control and supervising at one place.

器を投入することにより負荷するようになっている。

図 2.1, 2.2 は縮小机形配電盤、図 2.3 は監視制御に便なるよう簡易配電盤を示す。

2.2 自動変電所

全自動制御については直流電圧継電器、または時計開閉器により変電所の始動を行なうものとの二つがあるが、電圧継電器による全自動は比較的変電所容量が小さく、かつ負荷の変動の激しくないものに適し、親変電所に付随して、そのピーク負荷に運転せしめるような場合がもっとも適当で、時計開閉器による場合は運転時間の決定には変電所負荷率を低下させないよう注意を要する。また並列運転については変電所負荷が増加すれば、主機器の運転台数を増してこれに応じ、また負荷が減少してくれば並列機器の台数を減じて、効率を良好に保つようにする。この自動装置としては順序開閉器、直流過電流継電器、限時継電器などにより能率良く自動制御することもできる。

つぎに水銀整流器を時計開閉器によって自動制御した場合について述べると、規定時間を任意に調整できる時計開閉器により、制御電源が正規の状態で運転開始時間がくれば、格子負偏倚回路が形成され格子負偏倚電圧を印加する、かつ同時に直流高速度 χ 断器 開路、鎖錠継電器を動作していない条件で、交流 χ 断器 を投入する、交流 χ 断器 投入により点弧格子回路に電圧が印加され毎サイクル点弧して、直流電圧を発生し規定電圧継電器が動作すれば、直流高速度 χ 断器 が閉路し、保持状態を続ける連動動作により自動運転される。整流器の停止も運転と同様時計開閉器により行なう。停止時間がくれば交流 χ 断器 を開放すると同時に点弧回路、直流高速度 χ 断器 の保持回路、格子負偏倚回路を開放し、整流器装置を起動前の状態に戻す。整流器の温度調整は整流器の運転に関係なく、冷却扇と器そう加熱器によって行ない、制御電源が生かされ正常状態であれば、温度継電器によって自動的に入切される、陽極加熱器は季節的に使

用し不使用とするので手動開閉とする。

また変電所を自動化し、機器故障の場合、作業員のいる変電所に連絡する必要がある、一般に変電所からもっとも近い詰所または駅に故障の表示だけをさせ、そこから電話等により親変電所に連絡する方式も多く採用されている。

2.3 遠方監視制御変電所

遠方監視制御は電気系統の集中制御化による運営能率の向上と、被制御所の無人化による経費の節減を目的としている。

電鉄変電所としては相当距離的に相隔った各所に散在する一人制御の変電所の状態監視、制御が集中的に行なわれるため、一貫した主旨のもとに制御することができ、合理的に運営することもできる。とくに電鉄のように電車線に沿って適当な距離を置いて変電所が設置されている場合にもっとも適している。

方式は直接式と同期式と符号式との3種類に大別される。直接式は通常の制御監視方式において信号の極性、位相、周波数等の種類により各項目固有の動作条件を造るもの（固有信号式）と制御監視回路の簡略化によって連絡を小数化したもの（簡易直接式）とがある。同期選択式は制御所と被制御所間に同期的に送受される1種類あるいは2種類の選択信号を両所において計数登録して、両所にあらかじめ一定の序列に配置された各機器の選択継電器を順序に歩進させ、共通の連絡線の両端に所要の機器を同期的に選択接続してこの間に所要の動作を行なう方式である。また機器数が多い場合には選択序列を適当な数群に分け制御所、被制御所のいずれの側から始動する場合にも所要の項目が所属している群の間だけにおいて選択歩進が行なわれるようにして、選択時間の短縮、平均化をはかった同期群選択方式が多く使用される。符号式は1機器の監視制御を時間的に区分された選択（照合）制御、監視という一連の動作とみなし、共通の信号路によるパルス信号数をそれぞれの動作に割当てて制御監視の諸動作を符号化して送受信するものである。

電鉄用直流変電所として変電所自体の制御方式はあまり高度に自動化せず、簡単化して制御所から制御したほうがよい。遠方装置に選択点を増加することはあまり問題はないから、変電所の自動化によって機器制御装置が複雑になるのであればこのほうの簡単化を考えたほうがよい。

直接式はピーク負荷的変電所で機器を自動化することにより監視だけを遠方監視するような選択点の小さい変電所に適し、同期式は基本負荷的変電所で1か所の被制御変電所と1か所の制御変電所の遠方監視制御の変電所

表 2.1 イグナイトロン 変電所の遠方監視制御選択順序表

群 別	選 択 点	制 御 監 視 項 目 内 容
第 1 群	S ₁	表示試験切換および表示試験中表示
	S ₂	群選択 第1群 第2群
	S ₃	同 上 第3群
	S ₁₁	MR 運転停止 (52) および運転中表示 (54P)
	S ₁₂	MR 主断路器開閉制御および状態表示
	S ₁₃	同 上
	S ₁₄	制御予備
	S ₁₅	火災 1・予備
	S ₁₆	重故障-1 ・重故障-2
	S ₁₇	軽故障 27
第 2 群	S ₂₁	54 F ₁ 開閉制御および状態表示
	S ₂₂	53 F ₂ //
	S ₂₃	54 F ₃ //
	S ₂₄	54 F ₄ //
	S ₂₅	54 F ₅ //
第 3 群	S ₂₆	直接中表示・54 F ロック
	S ₂₇	DC 故障 (80B)・扉開
	S ₃₁	89 F ₁ 開閉制御および状態表示
	S ₃₂	89 F ₂ //
第 4 群	S ₃₃	89 F ₃ //
	S ₃₄	89 F ₄ //
	S ₃₅	89 F ₅ //
	S ₃₆	予備

表 2.2 シリコン 変電所の遠方監視制御選択順序表

群 別	選 択 点	制 御 監 視 項 目 内 容
第 1 群	S ₁	表示試験切換制御および監視
	S ₂	群選択信号送受 (第1群, 第2群)
	S ₃	同 上 (第3群, 第4群)
	S ₁₁	89-1 (赤外線) 開閉制御監視 (#1 受電線電圧計測)
	S ₁₂	89-2 (青外線) " (#2 " ")
	S ₁₃	タイマ使用除外切換および直流全電流計測
	S ₁₄	52 開閉制御および監視およびは線電圧監視
	S ₁₅	火災, 接地
第 2 群	S ₁₆	重故障・1・重故障-2
	S ₁₇	軽故障・SR ロック
	S ₁₈	54 P 開閉監視・54 FI 開閉監視
	S ₂₁	連動シゝ断
	S ₂₂	54 F ₁ 開閉制御および監視およびキ電線電流計測
	S ₂₃	54 F ₂ " "
	S ₂₄	54 F ₃ " "
	S ₂₅	54 F ₄ " "
第 3 群	S ₂₆	直接中表示・54 F ロック
	S ₂₇	DC 故障 (80 B)・扉開
	S ₂₈	
	S ₃₁	89 F ₁ 開閉制御監視 外線電圧計測
第 4 群	S ₃₂	89 F ₂ " "
	S ₃₃	89 F ₃ " "
	S ₃₄	89 F ₄ " "
	S ₃₅	予備 (制御および監視)
第 5 群	S ₄₁	89 L ₁₃ インターロック人制制御および表示
	S ₄₂	89 L ₂₄ " "
	S ₄₃	89 L ₁₃ 開閉制御および状態監視
	S ₄₄	89 F ₂₄ " "
	S ₄₅	予備 (制御および監視)
	S ₄₆	予備 (表 示)

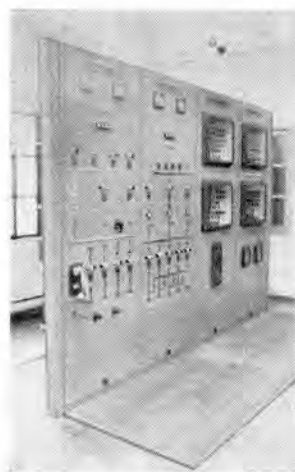


図 2.4 制御所の配電盤
Fig. 2.4 Switchboard at a control station.



図 2.5 被制御所の配電盤
Fig. 2.5 Switchboard at a controlled station.

に適し、符号式は多数の被制御変電所を1カ所から集中制御するような場合、共通の1組の連絡線を使用して制御するときに適している。

遠方計測には直送式、平衡式、パルス式の3種類がある。直送式は被測定量に比例した電圧または電流を連絡線で直接伝送し受量端の計器を直接駆動するものでもっとも簡単で、距離が近い場合に多く使用される。平衡式は伝送側の入力量と伝送量に比例した帰還量との差を0とするように入力量と帰還量との差を増幅して伝送するものである。パルス式は被測定量に比例した数の電気パルスが発生して送量し、受量側でパルスを電圧に変換して計測する方法で、両者とも遠距離の場合に使用される。

表 2.1 はイグナイトロ ン 整流器変電所の選択項目、表 2.2 はシリコン整流器変電所の選択項目の一例を示す。図 2.4、2.5 は制御所、被制御所の配電盤の一例を示す。図 2.6 は集中遠方監視制御の中央制御所に設置する制御盤の一例を示す。

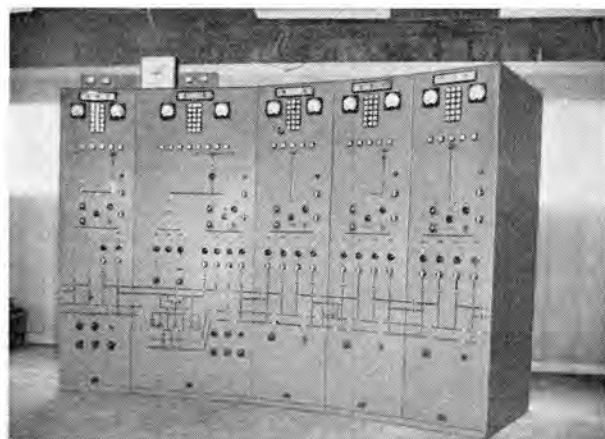


圖 2.6 集中遠方監視制御盤 (中央制御所用)
Fig. 2.6 Concentrated supervisory control panel,
(for a central control station)

2.4 直流充電線

直流 \mp 電線装置のもっとも重要な機能は、直流 \mp 電線のすべての故障をすみやかに隔離し、負荷状態がどのようであろうと、常態にある直流 \mp 電線の電力供給を維持することである。電気鉄道系統の過負荷は、一般に常時

したがってこれによれば従来のように人為的に故障抵

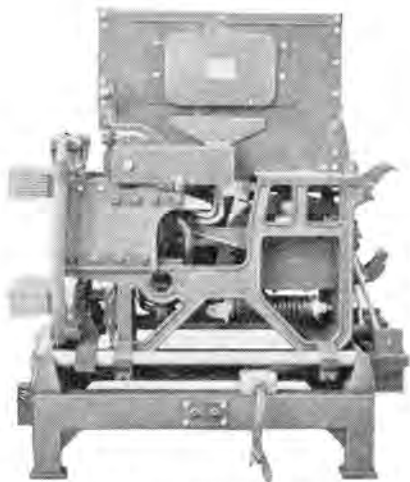


図 3.1 AHF-30 形直流高速度シヤ断器
DC 1,500 V 3,000 A (空気操作)

Fig. 3.1 Type AHF-30 DC high speed circuit breaker, 1,500 V 3,000 A (Pneumatic operation).



図 3.2 CL-H 形気中シヤ断器盤

Fig. 3.2 Type CL-H air circuit breaker.

生しなければ再閉路成功とし、5分以内に上記の故障発生すれば機器の故障とみなし瞬時に鎖錠し主機器を停止する。

3. 直流 シヤ断器

直流高圧 シヤ断器 として高速度気中 シヤ断器 が使用さ

れるが、現在のように系統が複雑多岐になるとその使命たるやますます重要視される、とくに最近是非常な進歩を示し、自己保持をしない特性、逆性高速度 シヤ断器 の誤動作防止装置、耐弧金属製の アーク接触子 を装置してペル作用 の防止、アークガス ならびに異常電圧による絶縁破壊に対する各部の絶縁強固、シヤ断容量の増大、小電流 シヤ断装置 など日進月歩の状態にある。図 3.1 は空気操作の高速度気中 シヤ断器 の外観を示す。

またキ電線 シヤ断器 としては装置の簡略化から CL-H 形気中 シヤ断器 も多く使用している。この シヤ断器 はその構造は炭素気中 シヤ断器 に似ているがその性能はむしろ高速度 シヤ断器 に近いもので、シヤ断容量が大であること、シヤ断時間が小であること、アーク 吹消しは吹消しコイル だけにたよらないよう シヤ断距離 を十分とってあるから小電流もよくシヤ断 すること、主接触部は成層接触子でなく塊状接触子を使用し接触面は銀対銀の線接触であること、アーク 接触子は破損しやすい炭素を使用せず銀タングステン を使用したこと、引はずし自由機構で再投入できること、以上のように高性能であるからキ電線 シヤ断器 として適当である。

図 3.2 はその外観を示す。

4. む す び

以上項目を無統制に、概略的に説明したが最近の配電盤の発達はいちじるしいものがある。実施例について述べればより具体的でわかりやすいと思われるが、次々と新しい制御理論の発展や装置が開発されている状況であるため、きわめて抽象的記述となり理解も困難であったことと思われるがご容赦願ひ、電鉄用直流変電所の制御装置の計画のご参考に供したいと考える次第である。

参 考 文 献

- (1) 尾畑・大木：配電盤の方式と考え方、制御と監視、「OHM」(昭33-11)。
- (2) 岩垂・渡辺：新形直流高速度 シヤ断器、「三菱電機」34, No. 3 (昭35)。

北九州国鉄交流電化用変電設備

日本国有鉄道

能 木 貞 治 *

三菱電機株式会社伊丹製作所

南 角 英 男**・森 岡 昭 二***

三菱電機株式会社神戸製作所

小 滝 喜 久 二***

Substation Equipment for AC Electrification of Northern Kyushu National Railways

Japanese National Railways

Teiji NOGI

Mitsubishi Electric Manufacturing Company, Itami Works

Hideo NAKAKU・Shōji MORIOKA

Mitsubishi Electric Manufacturing Company, Kobe Works

Kikui KOTAKI

AC electrification has been going on at Northern Kyushu to the Japanese National Railways; the section between Moji and Kurume will soon be in commercial operation under this new arrangement. Substation equipment employed in the project involves a number of novel features, the outcome of the latest progress. Outstanding is the installation of three-two phase scott connected transformers together with simplification of circuit breakers, which has gone so much as to omit some of them. This drastic measures has brought more advantages in the long run to the operation and maintenance of substations.

1. 概 説

1.1. ま え が き

国鉄動力近代化の支柱として電化は強力に推進されており、北九州地区門司一久留米間約115 kmの交流電化設備はおおむね完成し近く営業開始の予定である。この電化は九州地区電化の第1着手として地元産業に大きな利益をもたらすことはもちろんであるが、技術的にみても多くの特長がある。とくに変電、給電に関する部門には近年筆者らにより急速に進歩した新技術が織り込まれているだけでなく、最近開発した幾多の新方式⁽¹⁾⁽²⁾が関

係者の協力によりわが国で初めて実施されたという点で意義が大きい。

これら新技術は海外の電鉄技術にも寄与する点がなくなく、また内外の電鉄以外の分野にも新しい考え方を導入するのに役だつと信ずるのであえて報告し大方諸賢のご批判を願う次第である。

1.2. 電化設備の概要

設備の概要は図1.2.1に示すとおりであって、(高圧配電線系の図示は省略した、また保守作業などのための断路器類は図が見にくくなるので記入をさけた)、直流変

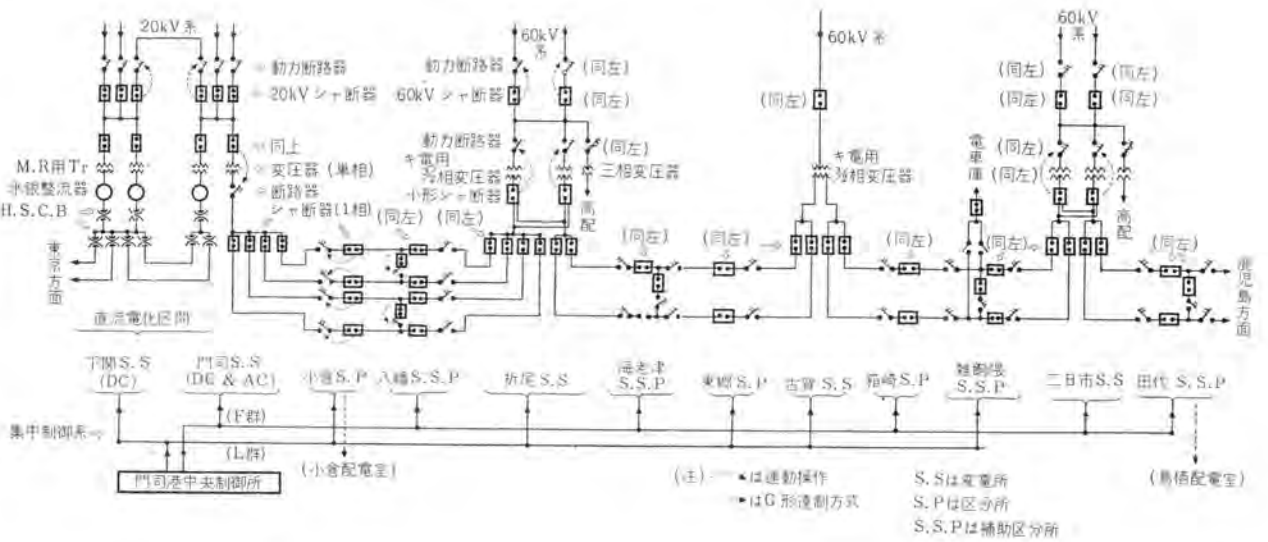


図 1.2.1 北九州電化設備系統図

Fig. 1.2.1 System diagram of Northern Kyushu electrification equipment.

電所1、直交流変電所1、交流変電所3、区分所3、補助区分所4計12個所はすべて無人で門司港の中央制御所より集中制御される。このほか高圧配電室2個所および配電線系の機器も同所より集中制御される。

変電所間隔について見れば、この地区が複線あるいは複々線で輸送量が多いので、 \pm 電圧降下を防止するために、従来より短く約30kmとなっており、したがって中間の区分所補助区分所数も少ない。この配置間隔は今後の標準である。交流変電所容量は電源の関係が強力な折尾、二日市は延長 \pm 電を考慮して6,000kVA2組、他は1組で機種統一されている。

また主要な設備の製作はたまたま一社に統一される結果となったが、これは信頼度の協調、連動方式の協調に大いに役立ち新技術導入に当たり有利であった。

以下主要な設備の特長および新技術について要点を述べる。

1.3. 新しく開発実用化された方式ならびに技術

(1) 3/2相スコット変圧器⁽³⁾⁽⁴⁾

交流電化では電源不平衡を防止するためにスコット接続を用いるが、従来は主座用とT座用を組合せて行なってきたが、 \pm 断器、断路器その他が複雑でまた鉄構および用地の経費が大となるばかりでなく、設備の運用が複雑となるので、この欠点を除くために、筆者は主座とT座を同一の \pm に納め鉄心も共通とした変圧器を考究した。幸い製作側の積極的な協力を得て実用し、すでに試用中であるが、結果は予想以上に経済的かつ取扱容易で好評を得た。この3/2相スコット変圧器は今後の電化の標準方式となったが、この種の大容量変圧器は国内はもちろん海外にも前例がない。

(2) \pm 断器類の廃止および簡略化

従来は多数の \pm 断器を用いていたが、次項にのべる変電所自動制御方式の活用により、 \pm 断器類を大幅に削減し、負荷時開閉器あるいは動力断路器に代えた。この機器類の連動は後述するが、変圧器などの事故確率はきわめて小さいから事故時の瞬時全停電を許容するならば、このように設備は簡略化され経済的となり、保守上よりみれば機能維持の平易化に伴い信頼度はかえって向上する。また連動設計は周到な注意が必要であったが、実際回路はほとんど複雑とはならないので、この方式は電鉄以外の分野にも有効と思われる。なお変圧器の切換時なども自動化によって短縮された切換時間がサービスに影響しないときは停電切換えを行なえばよいから図1.3.1のように⑥⑦は動力断路器で十分となる。

(3) 変電所自動制御方式

北九州国鉄交流電化用変電設備・能木・南角・森岡・小滝

変電所の運転に当たっては、いわゆる目的制御方式（従来のように運転の順序、各機器の操作などをいちいち人為的に行なわず、運転目的だけを指令すればその後は自動的に行なう方式）を採用していることはもちろんであるが、すでに直交流変電所で実施してきた自動切換えを電源受電にも適用した。すなわち図1.3.1に示すように1号線より受電中に停電すればその復活を僅少時間自動監視後⑦を開き⑥を閉じ切換えを行なう。（2号も停電中ならばそのまま待機する。したがって受電側にPTは用いない。）このような電源系統に関連する事項の実施は電力会社側の了解が必要であるが、新技術について深く関心を有する九州電力会社が協力されたことは感謝にたえない。

つぎに前項の変圧器事故保護は、 T_1 が事故ならば⑦開、⑥⑦開、⑦閉を自動的一連に行ない故障部分は系統より除外する。 T_2 が予備のときは⑥⑦を自動閉路して切換わる。なお隣接の変電所より \pm 電線あるいは高圧配電線により延長逆加圧されることによる異電源短絡を防止するため⑥⑦と⑧⑨および \pm 電線電圧に連動が織り込まれている。

(4) 被制御所間自動制御

前項の電源停電の場合、たとえば図1.2.1の古賀変電所が停止すれば、その \pm 電側 \pm 断器はすべて自動開放するとともに中央制御所に連絡し、中央制御所からは東郷、箱崎の両 \pm 電区分所に延長 \pm 電が指令されそれぞれ \pm 断器は閉路し、同時に折尾、二日市の両変電所の予備変圧器の投入が指令される。これらの指令連絡は集中制御装置によりすべて自動的に行なわれるので従来の人為的な運用に比し、きわめて迅速簡単確実に延長 \pm 電が完了する。

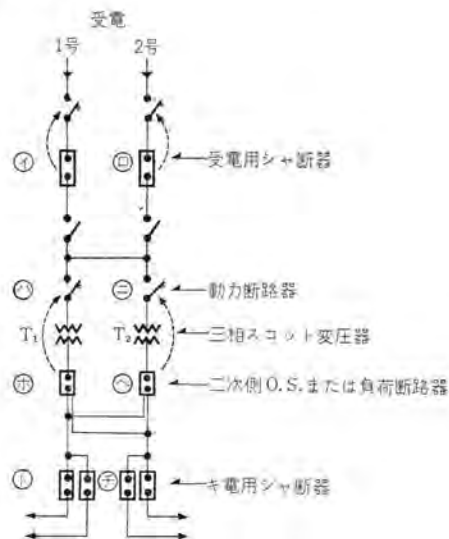


図 1.3.1 変電所主回路単線接続図
Fig. 1.3.1 Skeleton connection diagram of substation main circuit.

以上のように変電所内だけでなく、多数の被制御所を含めた系統の総合自動制御は、制御方式分野に一時期を画したものであって、この種の方式の応用は今後種々の用途に広く用いられるものと思われる。

(5) 高圧配電系のつき合せ配電および保護

交流電化におけるキ電系と配電系との混触時の2次被害を防止するため、つき合せ配電方式を採用した。保護のため継電器、アレスタなどが検討され新しい方式が確立した。これらに織り込まれた連動、自動延長などの技術もまた今後の基準となるものである。

1.4. 設備の主要な特長

前3節のほか最新の方式および設備が採用されており、これらを略記すれば次のとおりである。

(1) 集中制御装置は、少人数で広範囲の運用を行なわせるため机形制御盤が採用され、運転日報に相当する運用操作記録および電力量の自動計測は、自動記録印刷される。配電室2箇所は中央制御所より鉄研B形で最寄のステーションに達しさらにG形方式で中継されて制御される。

(2) シヤ断器、断路器

変電所受電シヤ断器は套管上部だけ70号(塩害対策)CT内蔵のO.C.Bで空気操作式である。

キ電用シヤ断器としては性能の高い空気シヤ断器で、1相用であるためきわめて小形であり、また付属断路部は動力断路器を兼ね、他の動力断路器と同様遠方制御による機構鎖錠が付加されている。

変圧器二次側およびキ電補助区分所には負荷開閉器として最小容量のO.C.Bを採用した。変圧器一次側の動力操作断路器は励磁電流を考慮したアークホーン付である。配電用変圧器には保護用として電力ヒューズを、負荷開閉用としては負荷断路器を用いた。以上の動力はすべて空気でセントラルシステムである。

(3) アレスタは60kV、20kV用ともに塩害汚損による特性変化のわずかな抵抗スパーサ式永久磁石アーク駆動形で、さらにシリコンパウンドを併用する。

(4) 被制御所配電盤は、現地運転はほとんどないので、模擬母線などを廃した、いわば器具盤で簡易なものを採用した。

(5) 保護継電器類では、交流キ電回路事故検出用として新形を採用した。また変圧器のラッフホルツ継電器は廃止し、圧力継電器とし、温度継電器とともに一段式(警報段階は無人変電所では、実用上無意味なもので廃止)とした。

1.5. む す び

以上設備の要旨をのべたが意をつくせない点が多いことを謝するものである。なおこの新技術の推進は三菱電機の技術陣を初め関係各方面の特別の努力と理解によりなし得たことを銘記し紙面をかりて重ねて謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 能木：新しい交流電化用変電設備と運用方式、「電気計算」, 27, No. 5 (昭34)。
- (2) 能木：電気協会・第39回講演論文集 581 (昭35)。
- (3) 能木・平塚・田村・南角：電連太予 657 (昭35)。
- (4) 能木・新井：3相スコット変圧器、「電気鉄道」, 14 (昭35)。

II. 機 器

II. 1. 3/2 相スコット結線キ電用変圧器

I 概説に記載のようにキ電用変圧器としては電源側三相不平衡を可及的に除去するため変圧器をスコット接続して使用するが、とくに北九州地区でははじめて一鉄心式の3/2相スコット結線器を採用した点に特色がある。定格は次のとおりである。

3/2 相 6,000 kVA 60 c/s 油入自冷式 CR 形

電 圧 一次 66-63-60-57 kV/二次 22 kV

総重量 26,500 kg

寸 法 3,500×3,700 mm 高さ 4,785 mm

製作台数 5台 (折尾2台 古賀1台 二日市2台)

中身の構造は図II.1.1に示すように三脚鉄心を使用、主座巻線、T座巻線をそれぞれ両端脚に挿入してスコット結線を行なっている。主座巻線の一次側はT座巻線の電流(V相線電流)が中性点より流入、主座巻線の上下に分流するので、主座巻線一次電流は上下間および一次二



図 II.1.1 三相スコット結線変圧器中身
Fig. II. 1.1 Core and coils of three phase scott-connected transformer.

次間に位相差を生じ、アンペア回数が局部的に不平衡となる。これを防ぐため主座巻線だけ二次側は上下に二区分し、並列に接続することによりT座分流分のアンペア回数を循環電流で打消して、アンペア回数の不平衡による交差漏洩磁束の発生を防いでいる。

この処置を構じないとT座の電圧変動率は非常に悪化する。一次巻線はまたいずれも当社内鉄形変圧器標準の高直列容量巻線 (Hisercap Winding) を採用し、衝撃電圧侵入時の内部電位振動を抑制し絶縁耐力を向上させている。

鉄心は図 11.1.2 に示すように中央脚は両端脚より流入する直角位相差を有する主座巻線磁束とT座巻線磁束との合成磁束が流入するので、断面積はほぼ $\sqrt{2}$ 倍となっている。(実用新案申請中) しかし中央脚には巻線はないので全体の寸法は通常の三相変圧器よりむしろ小さくなっている。

外觀は図 11.1.3 に示すように通常の三相電力用変圧器とまったく同一である。油保存方法としては浮動ガスタンク式 (GT 形) 窒素封入装置をとりつけ、別置式となっている。塩分害を考慮しラッシングは絶縁階級一段上を使用しているが、これらのラッシングは当社独特の完全密封式油入コンデンサラッシングで、かつ中心締付式 (centre clamp system) であるので、直径が細く塩分害に対して理想的である。変圧器の保護装置としては衝撃圧力継電器 (Sudden pressure relay) と温度継電器を使用、動作の確実を期している。これら保護装置については本誌にたびたび紹介しているので詳細は割愛する。

スコット結線変圧器はこのように一鉄心式の三相器にすることにより、従来のように単相器を2台使用するもの

にくらべて価格が割安となり、かつ占有面積は約 2/3 と大幅に節減されるので変電所敷地の節約となるほか、外部結線の簡易化とそれに付随した器具の省略も可能となるので、全体としての利益はひじょうに大である。

スコット結線 そのものは周知であるがほとんどが単相器2台の結線として知られているので、一鉄心式にすることの可否については筆者らにより種々検討を行なった。とくに整流器負荷による複雑な高周波特性に関しては三相器および単相器2台による同一仕様のスコット結線モデル変圧器を試作し、交流電気機関車とどのような単相全波整流回路 (サイatron使用) に接続し高調波特性を比較検討したが、実用上ほとんど差異はなくなんらの異常は認められなかった。

スコット結線変圧器の漏洩インピーダンスは二次側より二相回路として見れば簡単となり、下式で表わされる。

(図 11.1.4 参照)

主座回路に対して

$$\frac{\dot{Z}_U + \dot{Z}_W}{n^2} + \dot{Z}_m = \dot{Z}_{uvw} \dots\dots\dots (11.1.1)$$

T 座回路に対して

$$\left(\frac{2}{\sqrt{3}n}\right)^2 \dot{Z}_U + \dot{Z}_W + \left(\frac{2}{\sqrt{3}n}\right)^2 \dot{Z}_V + \dot{Z}_T = \dot{Z}_{uv} + \dot{Z}_{vt} \dots\dots\dots (11.1.2)$$

ただし $Z_U = Z_W$

Z_U, Z_W : 主座一次 (U 相, W 相 それぞれ) の漏洩インピーダンス (Ω)

Z_V : T 座一次 (V 相) の漏洩インピーダンス (Ω)

Z_m : 主座二次 (m 相) の漏洩インピーダンス (Ω)

Z_t : T 座二次 (t 相) の漏洩インピーダンス (Ω)

\dot{Z}_{uvw} : 主座巻線一次二次間の漏洩インピーダンスの二次側換算値 (Ω)

\dot{Z}_{vt} : T 座巻線一次二次間の漏洩インピーダンスの二次側換算値 (Ω)

\dot{Z}_{uv} : 主座巻線 U 相 W 相間の漏洩インピーダンスの二次側より見た値 (Ω)

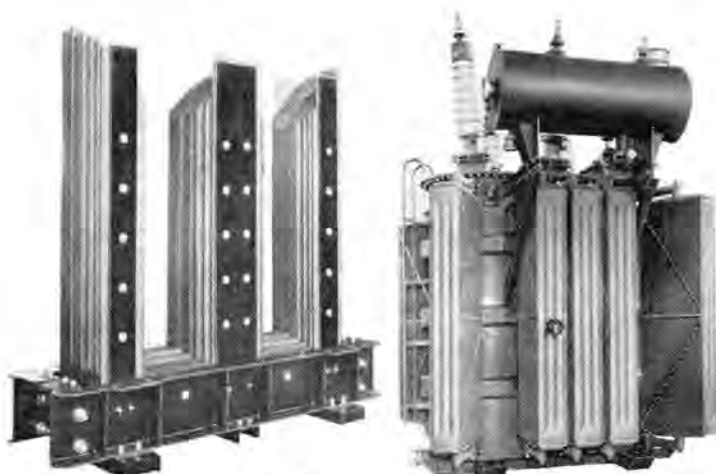


図 11.1.2 三相スコット結線変圧器の鉄心
Fig. 11.1.2 Core of three phase scott-connected transformer.

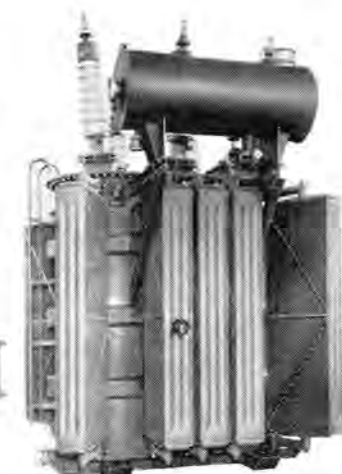


図 11.1.3 三相スコット結線変圧器
3/2 相 6,000 kVA 66/22kV 60c/s
Fig. 11.1.3 Three phase scott-connected transformer 3/2 phase 6,000 kVA 66/22 kV 60 c/s.

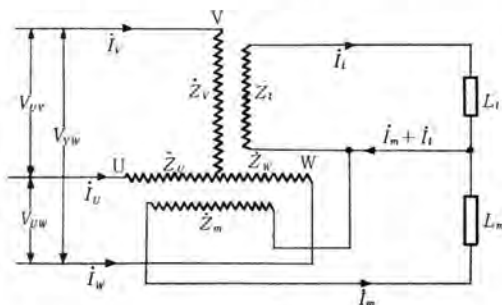


図 11.1.4 スコット結線変圧器のインピーダンス図
Fig. 11.1.4 Impedance diagram of scott-connected transformer.

n : 主座巻線の巻数比, T 座巻線の巻数比は $2/\sqrt{3}n$ となる.

すなわち同一インピーダンスの設計であれば, T 座回路は \tilde{Z}_{uw} だけインピーダンスが増大するので, \tilde{Z}_{uw} を少なくするように構造上の留意が必要である. なお $\tilde{Z}_{uw} + \tilde{Z}_{vt}$ は主座 U, W 端子を接続し UW—V 端子間を短絡し二次側よりオーム数を測定すればえられる.

なお参考のためスコット結線変圧器一次側の三相電流不平衡率を求めると下式のようになる.

$$\text{電流三相不平衡率} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$= a \frac{\left\{ 2\dot{Z}_l + \tilde{Z}_{uvw} + n^2\dot{L}_m \right\} - \left\{ 2\dot{Z}_l + \frac{4}{3}(\tilde{Z}_{vw} + \tilde{Z}_{vt}) + n^2\dot{L}_l \right\}}{\left\{ 2\dot{Z}_l + \tilde{Z}_{uvw} + n^2\dot{L}_n \right\} + \left\{ 2\dot{Z}_l + \frac{4}{3}(\tilde{Z}_{vw} + \tilde{Z}_{vt}) + n^2\dot{L}_l \right\}}$$

ただし

\dot{I}_1 : 一次電流正相分

\dot{I}_2 : 一次電流逆相分

\tilde{Z}_{uvw} : 主座一次二次間漏洩インピーダンスの二次側換算値 (Ω) $= n^2\tilde{Z}_{uvw}$

\tilde{Z}_{vw} : 主座 UW 相間漏洩インピーダンスの一次側より見た値 $= (\sqrt{3}n/2)^2\tilde{Z}_{uv}$ (Ω)

\tilde{Z}_{vt} : T 座一次二次間漏洩インピーダンスの T 座一次側換算値 $= (\sqrt{3}n/2)^2\tilde{Z}_{vt}$

\dot{L}_m : 主座回路の負荷インピーダンス

\dot{L}_l : T 座回路の負荷インピーダンス

なお

$$\frac{4}{3}(\tilde{Z}_{vw} + \tilde{Z}_{vt}) = n^2(\tilde{Z}_{uv} + \tilde{Z}_{vt})$$

の関係がある.

スコット結線の電流不平衡率は, 主座 T 座の負荷が等しいとき, すなわち $L_m = L_l$ のときは上式よりほぼ 0 で完全に平衡が保たれ, $L_m = \frac{L_l}{2}$ の場合でも $I_2/I_1 = 0.33$ である. 一方 V 結線では $L_m = L_l$ でもなお $I_2/I_1 = 0.5$ であり, スコット結線の優秀性がよくわかると考えられる.

II. 2. 24 kV 単相キ電線用屋外空気シャ断器

II. 2. 1 定格その他

このシャ断器は再起電圧の苛酷なキ電線に使用されることと, 高速度再閉路の要求を満たすために低抵抗シャ断方式を採用して開発された空気シャ断器で, 門司, 折尾, 古賀, 二日市変電所向けとして計 17 台が製作納入された. 図 II. 2. 1 は現地にすえ付けられたこのシャ断器の外観である.

定格のおもな数値を下に示す.

形 式 20-AHW-30 形

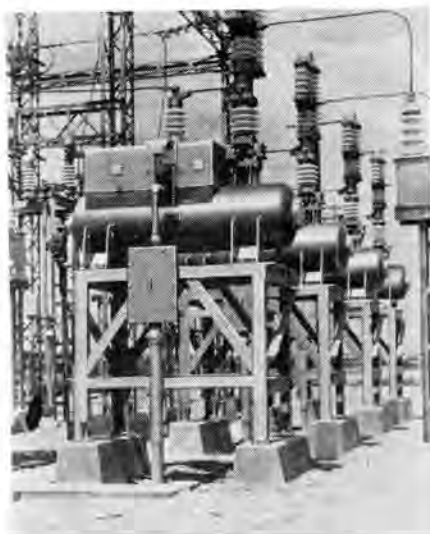


図 II. 2. 1 二日市変電所納め 20-AHW-30 形空気シャ断器
Fig. II. 2. 1 Type 20-AHW-30 air blast circuit breakers at Futsukaichi substation.

定格電圧	24 kV
定格電流	600 A
定格シャ断容量	300 MVA 単相
定格再起電圧	II 号 9 kc
定格投入電流	34.1 kA
定格短時間電流	12.5 kA
定格シャ断時間	5 サイクル
定格操作圧力	15 kg/cm ² ・g
標準動作責務	O-(0.5 秒)-CO-(1 分)-CO
総重量	700 kg

図 II. 2. 1 からわかるように, CO 2 回分に十分な 15 kg/cm²・g の圧縮空気を充填したシャ断器空気タンクの上にシャ断部と断路部を有する構造であり, 投入は断路部の投入操作によってだけ行なわれ, シャ断は消弧室内に圧縮空気を送ってノズルと可動コンタクト間に発生したアークを軸方向に吹付け, 消弧後に断路部を開いて極間の絶縁を保たせる, いわゆる外部断路方式を用いている.

このシャ断器に対して行なった試験としては, JEC-145 形式試験のほかに充電電流シャ断試験, 励磁電流シャ断試験, 冷凍試験, 10,000 回の寿命試験を行ない, いずれも満足すべき結果を得たがその詳細については, 24 kV 単相キ電線用屋外空気シャ断器, 「三菱電機」34 巻 pp. 855~859 (昭和 35 年) を参照されたい.

II. 2. 2 特 長

このシャ断器の特長としては,

(1) 再起電圧上昇率の高いキ電線用シャ断器として低抵抗シャ断方式を採用し, しかもこの抵抗はシャ断電流がある程度以上大きい場合にだけ自動的に挿入されるので抵抗の使用条件も楽であるし, 抵抗シャ断部に可動

部分がないので機械的条件も有利である。

(2) 抵抗は耐湿性を持たせるために密封構造をとっているが温度上昇は十分余裕をみて設計されている。

(3) 外部断路方式を用いているので ガイシの汚損 に対しても極間の絶縁性を確立でき、投入・開路状態が容易に観察できるのも利点である。

(4) 可動部分には各部に適当な緩衝作用をもたせてとくに機械的信頼度を高めたことは、消弧に使用された圧縮空気を大気中に放出する方式とあいまって高速度再閉路に適している。

(5) シュ断時 に使用される圧縮空気は消音室を通して大気中へ放出されるので操作音は意外に小さい。

(6) 接触子には耐弧金属を使用し、シュ断、投入時間も短いので長期間接触子の点検が不要である。

(7) 油の取扱いによるいっさいのめんどろがなく、部品は必要な部分に精度の高い加工を施してあるので互換性があるのはもちろん、分解・点検・組立時に調整をほとんど必要としないので保守点検が容易である。

(8) シュ断部 に並列に非直線高抵抗を入れてあるので 励磁電流サイ断時 に大きな異常電圧の発生はない。

(9) 投入鎖錠装置が設けられているので鎖錠時にたとえ投入電磁弁を誤動作させても投入するおそれはない。

(10) 換気装置によって常時乾燥された空気を支持ガイ管消弧室 に送っているため湿気による絶縁低下はない、などがあげられる。

II. 3. 配 電 盤

II. 3. 1 配電盤の概要

配電盤設備としては変電所用、 \pm 電区分所用、補助 \pm 電区分所用、信号灯力用に区分されるが、すべて集中制御方式による無人交流変電所である。

制御方式は操作の簡易化と監視の容易を主眼として集中遠方監視制御に適した方式を採用し、操作をまちがえても安全なような完全な連動を設け、受電および \pm 電回路ともシュ断器と断路器を三位制御に適した制御回路になっている。

制御の基本条件としては

(1) 指令の記憶および解除

a. 指令の記憶

操作が直接連動であると遠方であるとかかわらず機器に指令が与えられた場合機器側はいったん指令を蓄積しかつ記憶をとかないのを原則とする。

b. 指令の解除

故障その他により再閉路不可の場合、他の機器より指令の解除を受けた場合、逆指令を受けた場合。

北九州国鉄交流電化用変電設備・能木・南角・森岡・小滝

(2) 動力操作断路器の一括鎖錠

動力にて操作される断路器は入鎖錠の指令を受けて次のように応動すること、しかし入鎖錠は電氣的、機械的にかけるものとし入が安全の回路では逆とする。

a. 断路器が開放されているものは直ちに鎖錠され取消のあるまで指令を記憶する。

b. 断路器が閉じているものは鎖錠は行なわず指令だけを記憶する。このとき断路器を開放した場合には自動的に鎖錠される。

II. 3. 2 変電所用配電盤

変電所用として代表的主回路単線接続図を図 II. 3. 1 に示す、制御としては

(1) 受電用シュ断器 (52 R) および動力操作断路器 (89 R) の操作は次の連動による。

a. 52 R を投入する場合は 信号用シュ断器 (52 S) および 89 R が投入されていること。

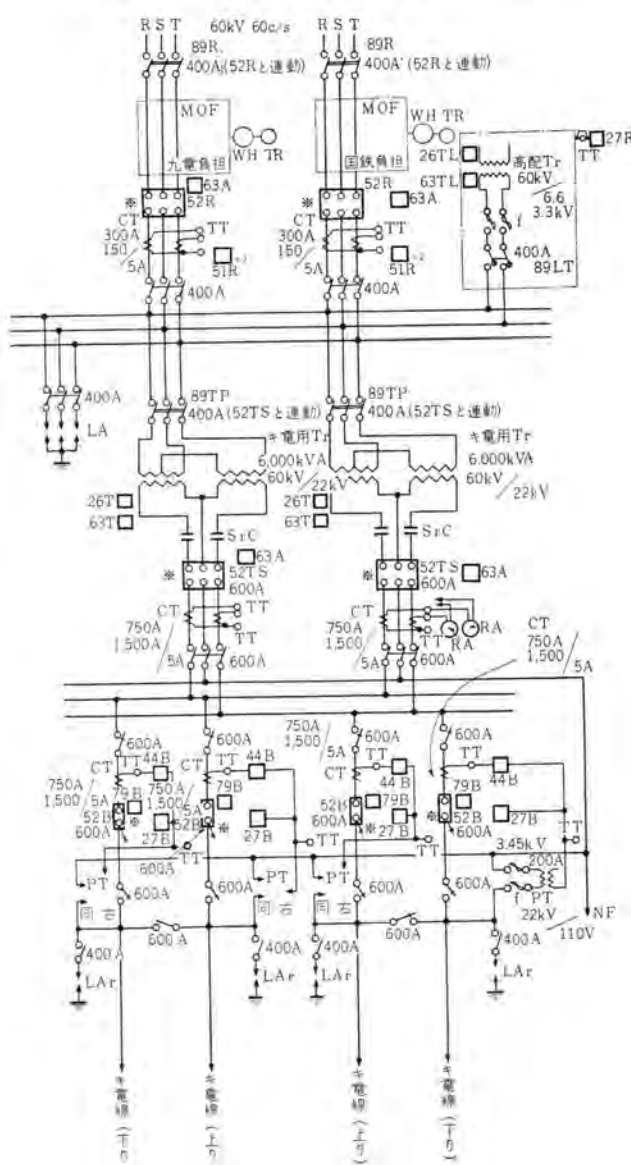


図 II. 3. 1 変電所主回路単線接続図
Fig. II. 3. 1 Skeleton diagram of substation main circuit.

- b. 52 R が開放されるときは 52 S を開放させること。
 - c. 高配用変圧器一次側断路器 (89 LT) を開放のまま 52 R を閉合する場合は 89 TL の開放を条件として低電圧継電器 (27 R) の動作に無関係に 52 R を閉合できること。
 - d. 89 LT を開放指令または高配用変圧器故障による開放の場合は (2) 項の自動切換えを抑制すること。
 - e. 電源不良によって 27 R が連続動作の場合、または 52 R あるいは 52 TS 全部が開放した場合は一定時限後 52 B を開放すること。
- (2) 受電用シ断器 (52 R) の自動切換えは次による。

- a. 電源不良により 27 R 動作した場合は一定時限後、受電中の 52 R, 89 R, を開放し、予備回線の 89 R および 52 R を閉合すること。なお電源不良が継続しても切換えは 1 回限りとし、切換えた回線はシ断しないこと。
- b. 変圧器故障の場合は 52 R を開放 (89 R は開放しない) し、故障器の変圧器二次側シ断器 (52 TS) 断路器 (89 TP) を連動開放し、その後でもとの 52 R を連動投入させること。ただし変圧器が 1 台運転中の場合は予備中の 52 TS, 89 TP, を投入した後とする。
- c. 89 LT が開放状態のとき、電源不良によって自動切換えを行なうときは、キ電線外線側が無加圧を条件として 52 B が 1 台以上閉合の場合は一定時限後切換えが行なえること。

(3) 変圧器用シ断器 (52 TS) および動力操作断路器 (89 TP) の操作は次の連動による。

- a. 52 TS を投入する場合は保護継電器 26 T および 63 T が動作しておらず 89 TP が投入されていること。
- b. 変圧器故障で 63 T 動作の場合は (2) b 項で処理するとともに故障器の 52 TS および 89 TP は鎖錠すること。

c. 27 R 連続動作の場合は (1) c 項による。

(4) キ電用シ断器 (52 B) の操作は次の連動による。

- a. 52 B を投入する場合は鎖錠継電器 (86 B) 不動作のほか、外線側が無加圧であること。
- b. 52 B 閉合一定時間 (1~10 秒) 後に再閉合回路を生かすこと。
- c. 52 B が短絡接地継電器 (44 B) によりシ断した場合は 0.5 秒以内に再閉合を行なうこと。なお自動再閉合より一定時間 (1~10 秒) 内にふたたびシ断したとき、再閉合回路を鎖錠すること。

II.3.3 キ電区分所用配電盤

キ電区分所用として代表的主回路単線接続図を図 II.3.2 に示す。制御としては

キ電用シ断器 (52 B) および動力操作断路器 (89 B) の操作は次の連動による。

- (1) 52 B を投入する場合は被延長方向の上下回線の電圧継電器 (27 L) が無加圧のときおよび上下いずれかの 52 B が上記により閉合されていること。
- (2) 52 B が短絡接地継電器 (44 B) によりシ断した場合は 89 B は開放されずに三位表示とする。
- (3) 延長キ電中停電したときは自回線の両方面の 27

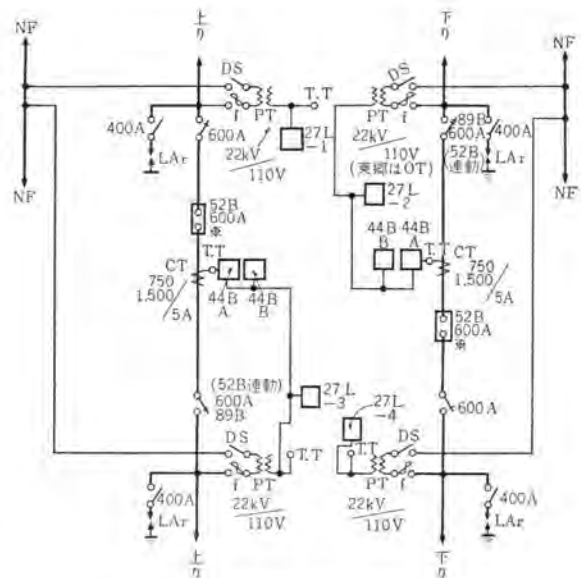


図 II.3.2 キ電区分所主回路単線接続図
Fig. II.3.2 Skeleton diagram of feeder section main circuit.

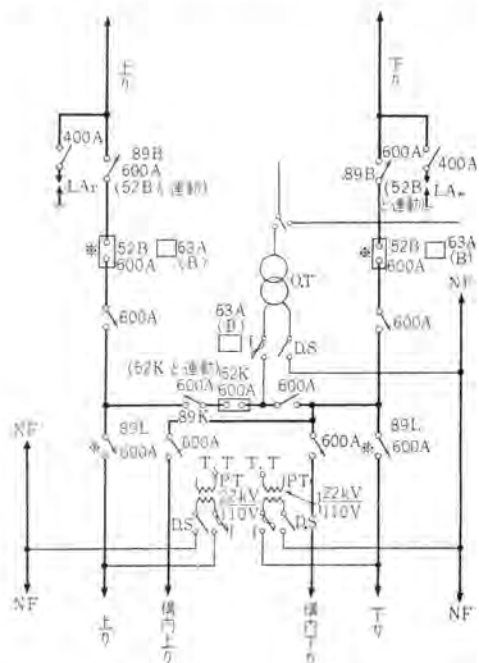


図 II.3.3 補助キ電区分所主回路単線接続図
Fig. II.3.3 Skeleton diagram of feeder section main circuit.

表 11.3.1 制御連動表 (交流+電関係)

機 器 名	記 号	自動 操作	自動 連動 操作	直 接		遠方 操作
				保より 操	本で 作	
変電所						
受電用シャ断器	52R		同線間	○	○	○
受電用断路器	89R		同線間	○	○	○
キ電用変圧器一次断路器	89TP			○	○	○
キ電用変圧器二次断路器	52TS			○	○	○
キ電用シャ断器	52B			○	○	○
断路器一括鎖錠	LK			○	○	○
高配変圧器一次断路器	89LT			○	○	○
キ電区分所						
キ電用シャ断器	52B			○	○	○
キ電用断路器	89B			○	○	○
断路器一括鎖錠	LK			○	○	○
補助区分所						
キ電用シャ断器	52B			○	○	○
キ電用断路器	89B			○	○	○
キ電線対用断路器	89L			○	○	○
キ電線対用シャ断器	52K			○	○	○
断路器一括鎖錠	86K			○	○	○
その他共通	LK			○	○	○
蓄電池充電装置		○		○	○	○
鎖錠				○	○	○

L 無加圧によって開放されること。

11.3.4 補助キ電区分所用配電盤

補助キ電区分所用として代表的主回路単線接続図を図 11.3.3 に示す。制御としては

キ電用シャ断器 (52 B) 動力操作断路器 (89 B) およびキ電線対用シャ断器 (52 K) 動力操作断路器 (89 K) の操作は次の連動による。

- (1) 52 B または 52 K を閉合する場合は 89 B または 89 K が完全に投入されてから 52 B または 52 K を閉合し、開放の場合は 52 B または 52 K が完全に開放されて後に 89 B または 89 K を開放されること。
- (2) 89 L は自回線の 52 B および 上下対用シャ断器 52 K が開放であること。

以上 11.3.2~11.3.4 で電車線関係について述べたが操作方法について分類すれば表 11.3.1 のようである。なお 交流+電線 の短絡接地故障を高速度で選択除去するため変電所およびキ電区分所に KZC 形

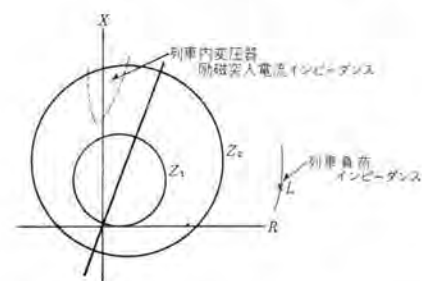


図 11.3.4 交流+電線保護用 KZC 形継電器位相特性
Fig. 11.3.4 Phase characteristic of type KZC relay for the protection of AC feeder.



図 11.3.5 KZC 形高速度方向短絡距離継電器
Fig. 11.3.5 Type KZC high speed directional short circuit distance relay.

高速度方向短絡距離継電器が使用されている。この継電器は 四極誘導シリンダ要素 を主要素とし、電圧回路に フェジフタ を内蔵したきわめて正確な距離測定原理を採用してあるのでその動作特性は図 11.3.4 のように R-X 図で表わすとき原点を通過するいわゆる モー特性 となり、距離測定と方向判定とを兼備した交流電車線保護として最適のものである。かつ図でわかるように 2 段階の距離動作時間を有し、第 1 段は瞬時動作、第 2 段は後備保護用として時限継電器と組合せて 時限トリップ を行なうようになっている。図 11.3.5 は外観を表わす。

故障表示器は二重表示式を使用しており、保護装置動作のときは白色表示を行なうが、故障を確認して復帰用押しボタンを押すと故障状態継続の場合は黄色の表示を行ない、故障が回復するまで黄色の表示を継続する。

表 11.3.2 に保護連動を示す。表 11.3.3 は被制御所より制御所に表示する保護装置の分類を示す。

11.3.5 信号灯力用配電盤

信号灯力用として代表的主回路単線接続図を図 11.3.6 に示す。配電盤としては 屋外ユニット形 で 6kV、3kV 回路器具および制御監視保護装置をすべて配電盤内に収納し、保守点検に便なるように考慮されている。制御としては

表 11.3.2 保護連動表 (交流+電関係)

故障原因 または動作継電器	30 による 表示	開放する シャ断器、断路器	連動で投入する シャ断器、断路器	鎖錠の有無	警報 の種類
受電系過負荷	51R	52R 一定時間後	なし	なし	ベル
受電電源不良	27R	52R, 89R および 52S	予備中, 89R, 52R	〃	〃
〃 断絶	〃	52F	〃	〃	〃
〃	〃	52TP, 52B	なし	〃	〃
〃	〃	一定時間後で外線 無加圧で 52B	〃	〃	〃
変成器系故障	63T	52R, 52TS, 89TP	予備中 52TS, 89TP およびもの	故障器 ロック	〃
〃	〃	52TP, 89TS	なし	〃	〃
〃	〃	52R	〃	〃	〃
〃	26T	63T に同じ	同左	なし	〃
〃	〃	〃	〃	〃	〃
〃	〃	〃	〃	〃	〃
変圧器過負荷	51T	52TP	なし	〃	〃
外線事故	44B	52B	一定時間後 52F	〃	〃
再閉路失敗	79B	52B	なし	ロック	〃
外線事故	50B	52B	〃	なし	〃
箱機故障	63A	〃	〃	〃	〃
〃	80B	〃	〃	〃	〃
〃	27C	〃	〃	〃	〃
高配用変圧器故障	63TL	52S, 52F, 89LT	なし	故障器 鎖錠	ブザー
〃	26TL	〃	〃	なし	〃

表 11.3.3 被制御所よりの状態表示 (交流+電関係)

種 別	記 号	設 当 記 事
機 器 表 示	開 (三位表示) 閉 (二位表示)	52R (89R), 52TP (89TS), 52B (89B) 52TS, 52B
故 障 表 示	重 故 障 特高電源不良 高配故障 経 故 障 機 器 故 障	変電所 51R, 51T, 63T, 26T, 44B, 79B 〃 27R 〃 63TL, 26TL 〃 63A, 27C 区分所および 補助区分所 44B, 50B, 63A
遠 測 装 置 異 常	遠 測 異 常	80B, 27C (補助区分所だけ)

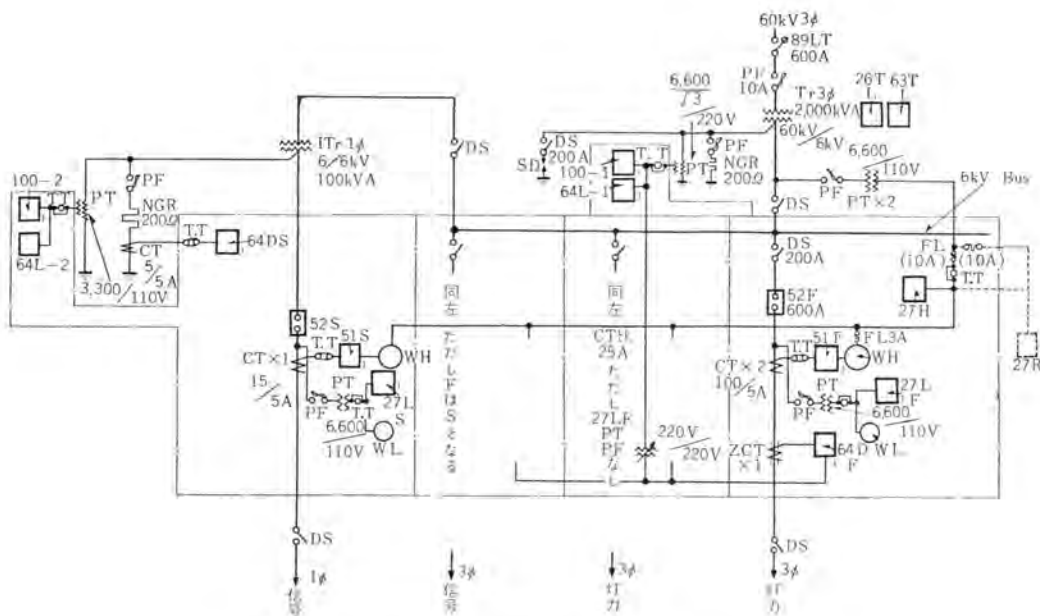


図 II. 3.6 信号灯力主回路単線接続図
Fig. II. 3.6 Skeleton diagram of signal light main circuit.

表 II. 3.4 制御連動表 (信号, 灯力関係)

機器名	操作方法	記 号	直 接 操 作	遠 方 操 作
灯力用 (古賀方面) シャ断器		52F	○	○
信号用および 灯力用 (門司方面) シャ断器		52S 52F	○	○

表 II. 3.5 保護連動表 (信号, 灯力関係)

故障原因または 動作継電器	30による表示	開 放 す る シャ断器	鎖錠の有無	警 報 種 別
灯力系過負荷	51F	52F	ナ シ	ブザー
灯力系接地事故	64DF	"	"	"
信号系過負荷	51S	52S	"	"
信号系接地事故	64DS	"	"	"
高配系接地事故	64L-1	ナ シ	"	"
"	64L-2	"	"	"
20kV 6kV 混触	100-1	52B Trip 後 52F 52S	"	"
"	100-2	52B Trip 後 52S (古賀方面)	"	"
高配母線電圧低下	ナ シ	52S 52F	"	"

(1) 信号用シャ断器 (52S) の操作は次の連動による。

- 52S を投入する場合は母線電圧が調整値以上で外線電圧が定格値の 40 % 以下で投入指令があること。
- 52S の 自動シャ断 は母線電圧が調整値 以下、交流過電流継電器、方向接地継電器動作したとき。
- 母線電圧が調整値以上で外線電圧が定格値の 40 % 以下に降下すれば 52S は自動閉合すること。

(2) 灯力用シャ断器 (52F) の操作は次の連動による。

- 52F を投入する場合は投入指令で行なう。
- 52F の 自動シャ断 は、交流過電流継電器、方向接地継電器動作したとき。

以上 II. 3.5 で信号灯力関係について述べたが操作方法について分類すれば表 II. 3.4 のようである。なお 交流 6kV 電線 20kV と信号灯力線 6kV または 3kV の高低圧混触保護としては信号灯力用変圧器の二次側中性点に 200

表 II. 3.6 被制御所よりの状態表示 (信号, 灯力関係)

種 別	記 号	該 当 記 事
機器表示	開 (二位表示)	52F (灯力古賀方面)
"	開 (三位表示)	52F (灯力門司方面)
故障表示	主配故障	51S, 64DS, 51F, 64DF, 64L-1, 64L-2
"	火災接地	100-1, 100-2

Ω 抵抗接地とし、混触時はもちろん 6kV または 3kV 回路の特種避雷器により保護しているが、後備保護として中性点抵抗器の端子電圧が一定値以上になれば高速度過電圧継電器により、変電所の交流電線シャ断器 (52B) を開放するとともに、52B 開放条件で 6kV または 3kV 回路シャ断器 (52S と 52F) を開放する。ただし混触時 6kV または 3kV 回路の交流過電流継電器および方向接地継電器の動作を抑制するとともに再閉路させないようにしている。表 II. 3.5 に保護連動を示す。表 II. 3.6 は被制御所より制御所に表示する保護装置の分類を示す。

II. 4. む す び

以上で北九州国鉄交流電化の無人変電所および開閉所の機器一般についてその概要を記述したのであるが、交流電化複線区間としても初めてでもあり、かつ単位変電所として集中遠方制御される保守条件下で制御、保護その他の観点から検討され、上述のようにすべて簡易化し、保守検点の分野の負担を減少した設計になっており、ひいては機器の信頼度がより要望され、またそれに答える設計と工作を実施して今回の好成績をおさめるにいたったものである。かかる新しい方式の採用はすべて日本国有鉄道関係各位のご指示とご計画によったもので、当社にとっても参考になる点が多く深く謝意を表する次第である。

北九州国鉄変電所集中遠方制御装置

神戸製作所 大 木 掀 爾*

Centralized Remote Control Equipment

Kobe Works Kenji ŌKI

In AC 20 kV electrification of the Japanese National Railways of Kyushu district, the first section of the work—Kagoshima main line (between Moji and Kurume extending over 120 km—has been completed. All the substations in the section: Shimonoseki, Moji, Kokura, Yahata, Orio, Ebisu, Koga, Hakozaki Zashonokuma and Tashiro, are controlled by Mojiko control center. This centralized remote control equipment has been designed with special consideration on the simplification of manual operation, resulting in an introduction of new functions such as objective control and combined control for example.

1. ま え が き

九州における国鉄交流電化の第1期工事として、今回鹿児島本線門司・久留米間延長約115 kmの電化が行われたが、この区間に設けられた変電所（門司・折尾・古賀・二日市）、+電区分所（小倉・東郷・箱崎）、補助+電区分所（八幡・海老津・雑餉隈・田代）は既設関門トンネルの直流電化区間変電所（下関、門司）とともに門司港中央制御所において集中制御される。中央制御所と各被制御所との関係配置は図1.1に示すとおりで、全被

など被制御所同志が制御所を仲介として必要な情報を送受し、人為的操作によらないで目的動作を行なう、いわゆる系統制御装置としての性格が強くなったことが目立ち、構造的には制御盤および継電器盤が基準寸法に統一されたこと、および盤間渡り線がすべて同種類のケーブルによる挿込接続となり、試験・移設が非常に簡易化されたことなど多くの進歩改良が加えられている。とくにこの装置の制御区間は、AC 20 kVの複々線+電系統を含むため被制御所相互間の連動条件が複雑であり、この条件を装置の機能に織り込んだ点にこの装置の設計製作上の特長がある。以下にこの装置の機能および構造の概要を説明する。

2. 装置の特長

2.1 制御基準

この装置によって制御される被制御所の数は図1.1に示す12個所で、これがL群・F群の2群に分けられる。制御所より被制御所に対して行なう制御指令は優先操作（試験切換、表示試験、非常停止）と普通操作（各機器の個別操作、計測切換）との二つの優先群に分けられ、被制御所より制御所に対して行なう表示信号は優先表示（故障表示）と普通表示（機器状態表示）との二つの優先群に分けられる。

優先群の順位は優先操作・優先表示・普通表示・普通操作となっており、同じ優先群の中では被制御所順位が定められている。被制御所順位はL群では下関SS・折尾SS・古賀SS・小倉SP・東郷SP・雑餉隈SSPの順、F群では門司SS・二日市SS・箱崎SP・田代SSP・海老津SSP・八幡SSPの順になっている。制御所および

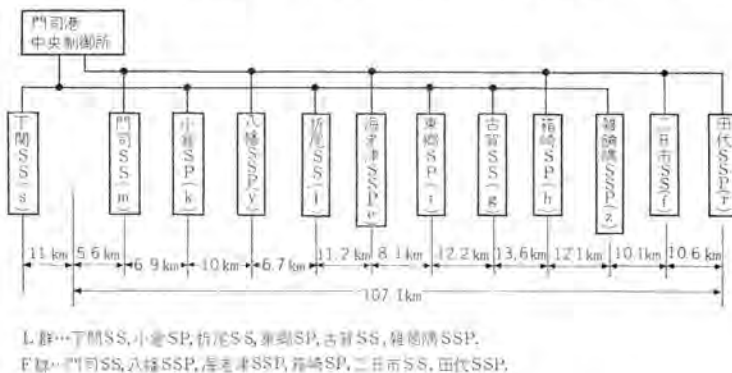


図 1.1 北九州・門司港制御所系被制御所群配置図
Fig. 1.1 Arrangement of a group of substations controlled from Mojiko control center Kita-Kyushu.

制御所が2群に分けられている。集中監視制御方式は、先に当社で製作された国鉄山陽本線（姫路 c/c 系）および上越線（高崎 c/c 系）の集中制御装置と同じく鉄研B形方式を採用しており、制御盤における常時滅灯式状態表示、挿込形小形継電器の使用、電力量のデジタル計測、優先操作群・優先表示群・普通表示群・普通操作群および各被制御所の優先順位判別方法など従来の特長のほかに、性能においては、自動+電延長、自動配電延長

各被制御所内においては機器項目を重要度に応じて順位づけており、結局 1 群中の制御および表示項目は一連の優先順位をつけられている。この優先順位は装置の動作を合理的に秩序づけるもので、制御所と 1 群の全被制御所との間に設けられた共通の連絡線を介して、2 項目以上の同時発信が行なわれた場合にも混乱を生じることなく、重要度の高い制御あるいは表示項目から順に送受信

表 2.1 操作および表示項目指令コード割当表 (L 群)

優先群	群内機器選択コード							被制御所名
	1	2	3	4	S	T	U	
優先操作	X	X	X	X	sST	tST	zST	
	Y	sVE	tIT	gIT	kIT	tIT	zIT	
優先表示	X	sSA	sST	sEF	sRV	sHA	sLA1	(s)
	Y	sLA2	sDA	sEF	sRV	sHA	sLA1	下関 SS
優先表示	X	sSA	sST	sEF	sRV	sHA	sLA1	(i)
	Y	sLA2	sDA	sEF	sRV	sHA	sLA1	折尾 SS
優先表示	X	sSA	sST	sEF	sRV	sHA	sLA1	(g)
	Y	sLA2	sDA	sEF	sRV	sHA	sLA1	古賀 SS
優先表示	X	sSA	sST	sEF	sRV	sHA	sLA1	(k)
	Y	sLA2	sDA	sEF	sRV	sHA	sLA1	小倉 SP
優先表示	X	sSA	sST	sEF	sRV	sHA	sLA1	(t)
	Y	sLA2	sDA	sEF	sRV	sHA	sLA1	東郷 SP
優先表示	X	sSA	sST	sEF	sRV	sHA	sLA1	(z)
	Y	sLA2	sDA	sEF	sRV	sHA	sLA1	雑餉隈 SSP
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(s)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	下関 SS
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(i)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	折尾 SS
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(g)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	古賀 SS
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(k)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	小倉 SP
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(t)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	東郷 SP
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(z)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	雑餉隈 SSP
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(s)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	下関 SS
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(i)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	折尾 SS
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(g)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	古賀 SS
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(k)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	小倉 SP
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(t)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	東郷 SP
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(z)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	雑餉隈 SSP
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(s)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	下関 SS
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(i)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	折尾 SS
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(g)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	古賀 SS
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(k)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	小倉 SP
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(t)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	東郷 SP
普通	X	s1R	s2R	s3R	s1G	s2G	s1L	(z)
	Y	s1H	s2H	s3H	s4H	(s5H)	(s6H)	雑餉隈 SSP

動作が行なわれるようにする役目をもっている。表 2.1 は L 群、表 2.2 は F 群の制御および表示項目に対する符号割当を示し、表 2.3 は制御および表示項目の記号説明を示す。表中 カッコ内 は将来設置の機器項目を示し、各項目の頭文字は被制御所名の略号を示す。

L 群……s (下関 SS), k (小倉 SP), l (折尾 SS), t (東郷 SP), g (古賀 SS), z (雑餉隈 SSP)

表 2.2 操作および表示項目指令コード割当表 (F 群)

優先群	群内機器選択コード							被制御所名
	1	2	3	4	S	T	U	
優先操作	X	mST	fST	hST	rST	eST	yST	
	Y	mVE	fIT	hIT	rIT	eIT	yIT	
優先表示	X	mSA	mST	mLF1	mEF	mRV	mHA	(m)
	Y	mLA1	mLA2	mDA	mEF	mRV	mHA	門司 SS
優先表示	X	fSA	fST	fLF2	fEF	fRV	fHA	(f)
	Y	fLA	fDA	fLF2	fEF	fRV	fHA	三井 SS
優先表示	X	bSA	bST	bHA	bHA	bHA	bHA	(h)
	Y	bSA	bST	bHA	bHA	bHA	bHA	船島 SP
優先表示	X	rSA	rST	rEF	rHA	rDA	rDA	(r)
	Y	eSA	eST	eHA	eHA	eHA	eHA	田代 SSP
優先表示	X	ySA	yST	yHA	yHA	yHA	yHA	(y)
	Y	ySA	yST	yHA	yHA	yHA	yHA	海老井 SSP
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(m)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	門司 SS
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(i)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	折尾 SS
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(g)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	古賀 SS
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(k)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	小倉 SP
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(t)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	東郷 SP
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(z)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	雑餉隈 SSP
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(s)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	下関 SS
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(i)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	折尾 SS
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(g)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	古賀 SS
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(k)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	小倉 SP
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(t)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	東郷 SP
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(z)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	雑餉隈 SSP
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(s)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	下関 SS
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(i)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	折尾 SS
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(g)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	古賀 SS
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(k)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	小倉 SP
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(t)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	東郷 SP
普通	X	m1R	m2R	m3R	m1G	m2G	m1T	(z)
	Y	m1L	m1B	m2B	m3B	m4B	m5B	雑餉隈 SSP

表 2.3 制御・表示項目の記号一覧表

略符号	制御・表示項目の機器種別	制御 表示
ST	試験切換	2/2
VE	変電所非常停止 (5 E)	1/0
IT	表示試験	1/0
SA	遠制異常	0/2
EF	火災・接地または高圧圧混触	0/2
HA	重故障	0/2
LA	軽故障	0/2
DA	高配故障	0/2
RV	特高電源故障	0/2
LF ₁	キ電延長	0/1
LF ₂	配電延長	0/1
1R~3R	受電用交流シャ断器 (52 R)	2/2
	同上 (52 R+89 R)	2/3
1G~2G	整流器用交流シャ断器 (52)	2/3
1T~3T	キ電用変圧器用一次側シャ断器 (52 TP+89 TS)	2/2
	同上 二次側 (89 TP+52 TS)	2/2
1L	高配変圧器用シャ断器 (52 L)	2/2
1B~8B	交流キ電用シャ断器 (52 B) (52 B+89 L)	2/2
	同上 (52 B+89 L)	2/3
1H~7H	直流キ電用高速度シャ断器 (54 F+89 F)	2/3
1Q~11Q	交流キ電用断路器 (89 L)	2/2
1K	同上 (対用) (89 K)	2/2
LT	高配変圧器一次側断路器 (98 LT)	2/2
1S~3S	信号用交流シャ断器 (52 S)	2/3
1F~4F	灯力用 " (52 F)	2/2
	同上	2/3
1C~2C	区分用油入開閉器 (OS)	2/2
LK	動力断路器一括鎖錠	2/2
1M~2M	直流キ電電流測定 (A)	2/0
1W~2W	交流積算電力測定	1/0

表中 2/2 は 2 位制御 2 位表示、2/3 は 2 位制御 3 位表示、0/2 は 2 位表示、1/0 は 1 位制御、0/1 は 1 位表示を示す。

表 2.4 信号の種類一覧表

(a) 信号種類一覧表 (8 種類)

コード種類	X	Y	R	S	T	U	V	W
連絡線 A 同路	+	+	○	-	-	○	+	-
連絡線 B 同路	+	○	+	-	○	-	-	+

(b) 操作および表示信号表

種類	13 段	X	S	W
操作	入	切		
表示	入	切	3 位	

(c) テレメータ 切換信号表

種類	13 段	X	Y	R	T	U
計測切換	リセット	1 A	2 A	3 A	4 A	

(d) 積算電力量 テレメータ 表示信号表

段数	偶	X	Y	R	T	U	13 段
数字	X	0	1	2	3	4	T
(各ケタ)	Y	5	6	7	8	9	

(各ケタ 2 段のコードによって構成され、1, 2 段……100 位数字、3, 4 段……10 位数字、5, 6 段、1 位数字の 3 ケタの数字によって計測指示を行なう)

(e) 特殊信号一覧表

最優先	2 段	X	Y
1 段			
X (ロンドン)		ESS	FSR

F 群……m (門司 SSP), y (八幡 SSP), e (海老津 SSP),

h (箱崎 SP), f (二日市 SS), r (田代 SSP)

信号の種類は表 2.4 に示す 8 種類で、各項目の指令符号はこれらの順列組合せによって構成されており、選択 6 段、照合返信 6 段、指令 1 段、計 13 段の パルス 符号になっている。各符号間の優先判別は表 2.1 および表 2.2 に示すように第 1 段から第 4 段までの間に X 符号と Y 符号の強弱によって行なわれる。

2.2 連絡線および制御電源

中央制御所と各被制御所とを結ぶ連絡線は国鉄規格の市外星搬送複合 ケーブル (心線径 1.2 mm) とし、前記各群ごと (L 群・F 群) に 1 カッド (4 本) を使用している。

制御電源は各所とも定格 100 V とし、変電所 (SS)・キ電区分所 (SP) には蓄電池を設けるが、補助区分所 (SSP) は高圧配電線から AC 電源 (单相) をとり、鉄共振形定電圧装置付 セレン整流器 を介して直流電源を得ている。また前記と別に連絡線に接続される線路継電器用制御電源として、小形の専用蓄電池 (ライパッテリ、DC 100 V, 2 Ah) を各所に設けて 被制御所の電力機器制御回路に異常電圧が発生した場合にもこれが連絡線によって他所へ伝達されて不測の災害を発生することのないようにしている。補助区分所のうちとくに雑餉隈 SSP だけは他の SSP と異なり、単相交流電源を整流する代わりに蓄電池が設けてある。

2.3 目的制御

広い範囲にわたって散在する多数の機器がお互いに密接な関係をもつ系統を構成している場合、これらの機器を 1 制御所において集中制御することが系統の運営能力の向上に大きく寄与することは一般によく知られていることであるが、普通には各被制御所の機器より制御所に送られてくる状態報告の情報を制御所において操作員が系統全体の関連において判断し、必要な制御指令を被制御所に送るという形態がとられている。ここにいう目的制御とは、被制御系統のある状態に対して制御所における判断処置が一義的に定められるような場合、制御所における人間の判断は不要になるため被制御所よりの機器状態変化の情報信号を制御所が受ければ、関連する他の被制御所の機器に対して制御所より直ちに適切な制御指令が自動的に送られ、この間に人間介入の煩わしさを省くとともに人為的な誤りを防止するものである。直流キ電系統の集中制御においては、すでにキ電用シャ断器の連動シャ断としてこの考え方が織り込まれているが、交流キ電系統においては今回が最初であり、自動キ電延長や自動配電延長など具体化された機能の一つ一つが、この種装置の将来のあり方を指向するものとして大きい意

義をもっている。

自動 1 電 延長について簡単に述べれば次のとおりである。

普通 1 電系統 はいくつかの区間に分れその各区間をそれぞれの変電所が担当して 1 電 しているの、一つの変電所がつぶれるとその区間は全停電となり、列車の運転に支障をきたすことになる。したがって、このような場合には隣接する変電所より停電区間に対して急速に 1 電 延長してやる必要がある。ところが変電所の上り側と下り側とは相を変えて 1 電 しているため、誤って生きている区間に 1 電 延長動作を行なうと AC 20 kV 回路の短絡となり大事故をひきおこすことになる。したがって、変電所および制御所において 1 電延長指令の送受にあたって必要条件の確認が非常に大切である。この装置の制御区間において行なわれる 1 電延長動作を次に述べる。

古賀 SS または門司 SS で特高側停電のとき、受電用 1 断器 (52 R) はトリップせず、低電圧 リレー (27 R) 落下後一定時間後、1 電用 1 断器 (52 B) が開路する。この際上記 SS で 52 B 全部の開路を確認すれば、制御所に対して 1 電延長の依頼を行なう。制御所でこれを受信すれば関係する区分所 (古賀 SS の場合は東郷 SP と箱崎 SP、門司 SS の場合には小倉 SP) に対して、1 電延長用 1 断器 (52 B) の投入指令を送り、それぞれ隣接する SS より延長 1 電 を行なう。ただし、門司 SS、古賀 SS より逆に隣接 SS までの 1 電延長は考えない。また門司 SS、古賀 SS において高低圧混触が発生した場合には、その SS で判断して 1 電延長の依頼を行なう回路を鎖錠し上述の自動動作は行なわない。1 電延長中に停電すれば SP の 52 B は開路するが、停電回復後にふたたび 自動 1 電延長は 行なわない。制御所の集中制御盤には 1 電延長停止用スイッチ を方面別にそれぞれ設けて任意に目的制御を鎖錠できるようにしている。

自動配電延長についても同様に、古賀 SS、折尾 SS、二日市 SS のいずれかにおいて受電が停電した場合に、その SS より自動配電延長の依頼を制御所に対して行ない、制御所でこれを受信すれば関係する区分用油入開閉

器の投入指令を出して自動配電延長を行なう。

このほか、受電回路・1 電回路の 1 断器 と断路器および主変圧器の一次側の 1 断器 と二次側の断路器あるいは一次側断路器と二次側 1 断器 とをそれぞれ 1 組として制御動作および状態表示動作を行なうようにするなど、被制御機器の増大に対応して制御所における操作ができるだけ少なくすむようにして保守上の便をはかっている。断路器と 1 断器 が組として扱われる場合、制御所においては 機器開閉器の指示方向によって 1 位 (DS・CB ともに入)、2 位 (DS・CB とともに切)、3 位 (DS 入・CB 切) として表わしている。(図 2.1 参照)

2.4 構造

制御所の集中制御盤は図 2.2 に示すように縮小形机盤



図 2.2 門司港制御所継電器盤
Fig. 2.2 Mojiko c/c control desk.

とし、広い制御区間を操作者が楽に受け持つことができるようになっている。継電器盤は挿込形継電器用ユニットパネルを 7 組に数段ずつ取付けた構造にして着脱の便をはかっており、制御盤と継電器盤との渡り線および継電器盤相互間の渡り線はすべて カブラ-ジョイント になっている。制御所において、制御盤は 2 階に、継電器盤は 1 階に置かれるためこの間の渡り線の長さは約 14 m となり、線束 (0.5 mm², 0.6 mm 被覆の ビニール線 32 本を 1 線束とする) の数は 50 である。各線束の両端には 32 端子の同一種類の カブラ を使用して渡り線相互の互換性をもた

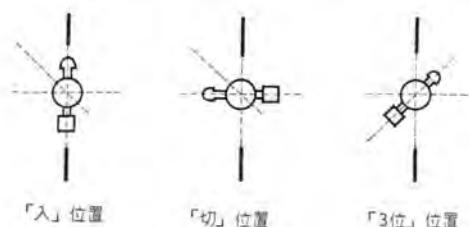


図 2.1 機器 スイッチハンドル 表示
Fig. 2.1 Switch handle indication.

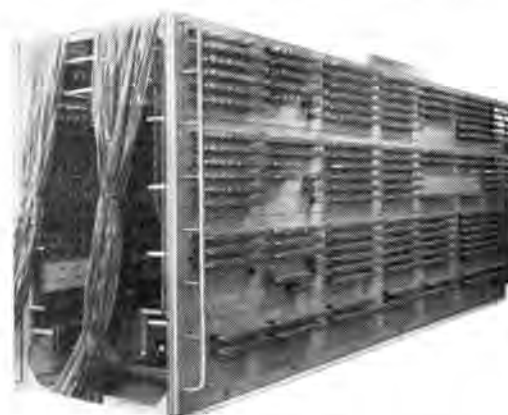


図 2.3 門司港制御所継電器盤
Fig. 2.3 Mojiko control station relay panel.

3. む す び

系統の構成が複雑になってくるに従い、その構成単位相互の関係がますます密接になってきて、系統運営上どうしても集中制御の方式によらないと能率の向上を期しがたい場合が多くなってきているが、集中制御の範囲が広くなり、被制御機器数が多くなってくると、制御所における操作を能率よく行なうためには人間の判断を要しない事がらはすべて自動的に処理して、人為操作を単純化することが必要である。このため集中制御装置としては機能の高度化と操作の単純化とが同時に要求されることになる。

ここに紹介した国鉄北九州電化区間に対する集中制御装置は、制御区間が AC 20 kV 複々線 ㊦電系統と DC 1,500 V ㊦電系統とを含むため、種々の新しい問題があり、従来の集中制御装置よりも上述の方向に前進した考え方が多くとりいれられている。目的制御はその代表であり今後ますますこのような方向に発展することが予想される。

装置の動作機能の詳細説明については省略している事がらが多いので、不明の点は別記参考文献によらねたい。

終わりに、この装置製作にあたり終始ご指導いただいた能木技師をはじめ国鉄本社電化課の各位、当所配電盤設計課、品質管理課の各位に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 能木貞治：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、『三菱電機』, 32, No. 10, pp. 1~7 (昭33).
- (2) 大木楢爾：国鉄山陽線(姫路系)変電所集中制御装置『三菱電機』, 32, No. 10, pp. 9~13 (昭33).

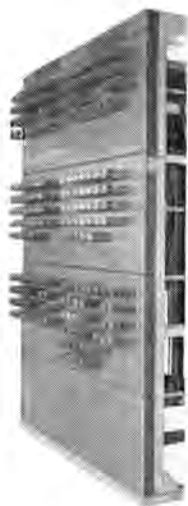


図 2.4 被制御所継電器盤
Fig. 2.4 Controlled station relay panel.

せている。このように盤間渡り線に カプラ・ジョイント を使用することにより、現地据付けの際につなぎ込みとチェックの手数が省けることになり、保守上も接続を部分的に切離す作業が簡単に行なえるという便利がある。制御盤には装置の動作を記録するプリンタが付属され、装置が動作するたびごとに時刻(時分…24 時制)、被制御所名(漢字略号…F 群では門・八・海・箱・二・田、L 群では下・小・折・東・古・雑のうち1字)、機器名(たとえば 52 B 1, 89 L 1 など以示す)、制御または表示の種類(制御は入・切、表示は R・G・W・有・無の記号以示す)を用紙に印字するようにしている。なお前記のほかに電力量の印字も行なうことができるようになっている。

図 2.3 は制御所の、図 2.4 は被制御所の継電器盤を示す。

電 鉄 用 避 雷 器 と 絶 縁 協 調

伊丹製作所 大 木 正 路*・岡 田 昌 治**

Lightning Arresters for Railway Use and Insulation coordination

Itami Works Masamichi OHKI・Masaji OKADA

Recent development of railway electrification has brought about enlargement of the line length accompanied by increase in lightning disasters which threatens the dependability of traffic facilities. In view of the above, insulation coordination has become a vital problem for the safety of operation. The writers herein introduce the trend of the insulation coordination in substations and for rolling stock provided with electric apparatus in the AC electrification as well as in the case of DC. The article also covers Mitsubishi lightning arresters for railway use, which are all of non-linear resistor type employing a permanent magnet type interruption. Though they have made a marked development in the performance as compared with conventional arresters, there still remains several questions to be settled about switching surges on a DC circuit and fractional harmonics abnormal voltages on an AC circuit.

1. ま え が き

最近の鉄道電化の飛躍的發展に伴い、世界でも有数の雷の多いわが国では、電気鉄道の雷害防護と絶縁協調がますます重要になってきた。線路延長の増大に伴う雷撃頻度の増加と交通機関としての安全性からこのことは当然であるが、技術的な面でも一般の電力系統のそれと異なる点が少なくない。電鉄用避雷器と絶縁協調といっても交流電化方式と直流電化方式あり、変電所と車両あり、さらに高低混触保護や交直混触保護などの問題もあって、きわめて広範多岐にわたり、しかもこれらは進歩発展の途上にあって、避雷器の特性や規格も日進月歩で変わりつつあり、また絶縁協調の方式などいろいろな論議検討されていて、最終的な方式が決定されていない現状である。

したがって現段階では一貫した合理的な絶縁協調について論ずるということは時期尚早であるが、本文では主として当社で製作している電鉄用避雷器の概要と絶縁協調の最近の動向についてご紹介することとしたい。

2. 直流回路の絶縁協調

直流回路の絶縁協調も、線路、車両、変電所、全般にわたって考察する必要がある。表 2.1 は 1,500V 機器に対する絶縁協調対照表ともいうべきものであるが、実際の衝撃電圧に対する破壊値は図 2.1 および図 2.2 に示すように、線路絶縁は十分の裕度があるが、とくに車両用機器の使い古したものでは規格値を下まわるものが見られる。したがって保守点検に注意をはらうとともに、避

表 2.1 直流 1,500 V 用機器の衝撃絶縁耐力試験電圧値

試験電圧 kV	品 名	加 圧 部 分
8	避雷器 1,000 A 制限電圧	
9	避雷器 衝撃放電開始電圧	
10	主 抵 抗 器	導体—ワタ板
12	カノピースイッチ 電空式接触器 電動機電動機 送電機電動機 主 抵 抗 器	主接触部間 高圧端子に一方の端子および低圧導体は大地に接触しかつ印加点を正逆反対にしてそれぞれ行なう。
15	高圧側計器および付風品 直 流 変 換 器 主 抵 抗 器 刃形および円筒閉閉器 断 路 器	導体—大地 導体—大地 (非充電金属部—大地) 高圧導体—大地 (低圧導体は大地に接続して行なう) 高圧導体—取付金属部 (低圧導体は取付金属部に接続して行なう) 導体—大地 ワタ板—大地 高圧導体—大地 (低圧導体は大地に接続して行なう) 導体—大地
20	高 圧 ヒ ュ ー ズ カノピースイッチ 電空式接触器 電動機電動機 送電機電動機 主 抵 抗 器	導体—大地 非充電金属部—大地 導体—非充電金属部 導体—ハンドム 導体—大地 (取付ワタ—大地) (高圧導体—低圧導体) (高圧導体—取付ワタ)
25	断 路 器 (屋外用) 断 路 器 (屋内用) 断 路 器 (絶縁部分)	導体—大地 導体—大地 高圧側導体—取付ワタ

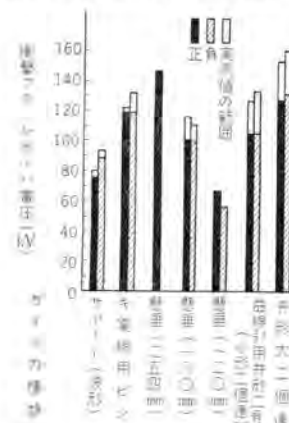


図 2.1 直流 1,500V 線路用 ガイシ の衝撃フラッシュオーバー電圧
Fig. 2.1 Impulse flashover voltage of isolators for DC 1,500V feeder.

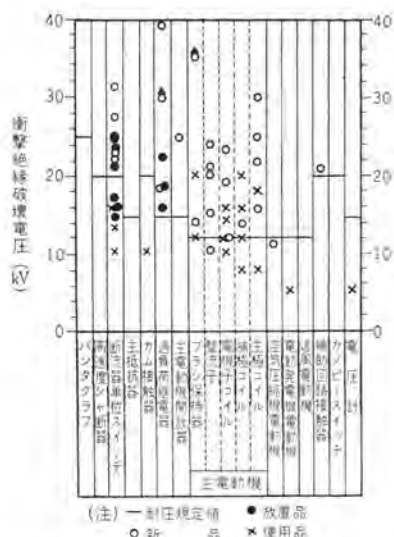


図 2.2 直流 1,500 V 用部品の衝撃絶縁破壊電圧
Fig. 2.2 Impulse breakdown voltage of electrical devices of DC 1,500V car.

雷器の保護レベルの低減が望まれる訳である。

ところで直流回路に使用される避雷器は、現在すべて非直線抵抗形で、直列「ギャップ」と非直線抵抗体とを容器内に入れた構造のものであるが、保護レベルの低減は、異常電圧の性質とにらみ合わせて考えないと、避雷器を損傷するおそれもあるので、この点について二、三の説明を加える。

3. 直流回路用避雷器

近年避雷器は画期的な進歩をとげ、交流電力系統においては BIL の低減も論じられているが、直流用避雷器も磁気消弧方式を用いた新形避雷器の製品化にともない、直流回路の外雷だけでなく内雷の保護も可能となってきた。図 3.1 は当社の PR 形直流避雷器の外観を示すが、これは永久磁石を用いた「ギャップ」によりアークを耐弧性絶縁物中に引きのばして消弧する方式のもので、表 3.1 のように従来の直流避雷器に比し約 30% 低い保護特性を有し、5 倍以上の放電耐量と外雷だけでなくある程度の

表 3.1 PR 形避雷器特性と規格値

鉄道電化協会試験要項 (昭和 28 年 6 月)			国鉄仕様書 電 72730 号 A (昭和 33 年 11 月)	PR 形	
公称電圧	1,500 V	750 V	1,500 V	1,500 V	600 V
許容端子電圧	1,650 V	825 V	1,800 V	1,800 V	720 V
直流放電開始電圧	5,200 V 以上	3,500 V 以上	5,000 V 以上	5,000 V 以上	3,000 V 以上
衝撃放電開始電圧	9,000 V 以下	6,000 V 以下	6,500 V 以下	6,500 V 以下	5,000 V 以下
制限電圧	1,000 A	8,000 V 以下	4,000 V 以下		
	2,000 A			6,500 V 以下	4,300 V 以下
	5,000 A			7,700 V 以下	5,000 V 以下
放電耐量	大電流	5,000 A, 20 μ s 3 回	30kA, 15 μ s, 3 回	30kA, 15 μ s, 3 回	
	長時間電流	100 A, 1 ms 目標	200 A, 2 ms, 20 回	300 A, 2 ms, 20 回	
動作実務特性	普通	100 A, 20 μ s 正負各 5 回	3,000 A, 15 μ s, 正負各 10 回	5,000 A, 15 μ s, 正負各 5 回	
	特殊		200 A, 2 ms, 正負各 10 回	300 A, 2 ms, 正負各 5 回 ヒューズ電流 300 A, 20mH	



図 3.1 永久磁石消弧式 PR 形直流避雷器

Fig. 3.1 Type PR permanent magnet arc interruption type DC arrester.

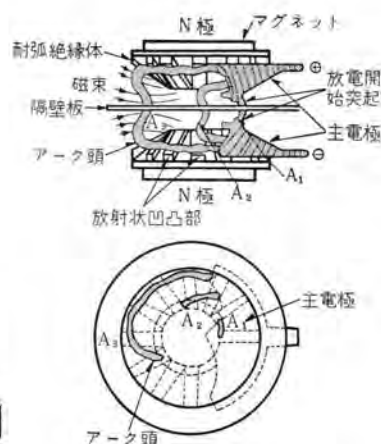


図 3.2 永久磁石消弧式「ギャップ」の動作機構略図

Fig. 3.2 Operation mechanism of permanent magnet arc interruption gap.

内雷処理能力をも有する避雷器で、変電所、車両、線路など直流回路全般の保護に適するものである。

これは国鉄の新しい変電所用避雷器の仕様に合格し、また最近鉄道電化協会で改訂が検討されている車両用も含めた全般的な直流避雷器規格の要求事項を折り込んだもので図 3.2 について「ギャップ」の特長を示すと次のようである。

(1) 雷「サージ」その他危険な過電圧が印加されたときは直ちに主電極の放電開始点で放電を生ずる。

(2) 上記放電電流およびそれに続くアークに対しては永久磁石による強力な一定放射磁界が作用しているから、アークはまず A_1 のように引きのばされる。

(3) A_1 には横向と外向の磁力が働き、かつ主電極は扇形をしているから、アークの足はすみやかに電極周辺に移動し、 A_2 , A_3 のように引きのばされていく。

(4) 磁極と主電極間には多数の放射状凹凸を有する耐弧性絶縁板があり、伸長したアーク長を長くするとともに冷却効果を増して消弧する。

(5) アーク長が伸び、アーク電圧が高くなると主電極間に短絡アークを生ずるおそれがあるので、これを防ぐために電極間に隔壁板が設けられている。

(6) 永久磁石は抗磁力大なるフェライト磁石を用いており、これを非磁性金属容器に収納し、電流はこの金属容器を均等に流れるような構造になっているから、数万アンペアの大電流が繰り返して放電しても磁力は弱らない。

4. 直流避雷器の動作実務と適用

雷電流の中には大電流短時間成分のほか、長時間続く小電流成分が含まれているばあいがあり、また放電開始電圧を低くしたことに伴って回路操作やヒューズ溶断に伴う内部異常電圧で避雷器が動作することが考えられる。

かかる動作に対して避雷器が完全に続流をシャ断して現状に復帰できるかどうかを調べるのが、動作責務試験で、避雷器両端に直流電圧を印加しておき、衝撃電圧を重ねして行なう普通動作責務のほか、PR形避雷器では長時間サージを流したときの特殊動作責務試験およびヒューズが熔断したときの内雷による動作責務試験も行なってその裕度を確かめている。

図4.1～図4.3はその回路およびオシログラムの一例で、従来許容端子電圧1,650 V、重畳衝撃電流1,000 Aで行なわれていた試験に比し、3,000 A、20 μ sのサージおよび、300 A、2 msの長時間サージを重ねたばあいでも確実に続流をシャ断している。

またこれらのオシログラムを見ると続流はきわめてなだらかに減少し、二次的に電圧を発生して回路にじょう乱を与えるというようなこともまったくない。

とくに図4.3のばあいヒューズで357 Aの電流をシャ断すると、回路のインダクタンス31.2 mHには約2 kJのエネルギーがたくわえられ、これが避雷器を通して消費されるとともに、電源からさらにエネルギーが供給され、避雷器が耐えるべきエネルギーは3 kJ以上になる。避雷器に流れるエネルギーは電流波高値が同じなら回路のインダクタンスに比例するので、インダクタンスがもっと少なければより大きな波高値の電流に耐えられることを意味する。したがって変電所用避雷器としてはこのPR形でほぼ十分と考

えられ、昭和33年8月、9月にわたっての国鉄高崎線の現地実測においても変電所の高速度シャ断器動作時に異常なく放電動作した記録が得られている。

しかし内雷保護を考えるばあい、回路条件によってはさらに苛酷な責務となるばあいがある。すなわち直流回路の内部異常電圧は、高圧線からの誘導や混触を除けば、もっぱら $L \frac{di}{dt}$ によるもので、シャ断器やヒューズで電流を切る際、避雷器の放電開始電圧に達する瞬時の電流を i_0 とすれば、避雷器の消費エネルギーは電源のない場合は $\frac{1}{2} Li_0^2$ 、電源がつながっている場合は、これに電源から供給されるエネルギーが加算されて図4.4に示すような関係になる。したがって電源電圧が高い場合、あるいは制限電圧が低い場合は図4.5に示すように、きわめて苛酷となる。

したがって容量が大きくても、保護レベルの低い避雷器を用いれば、危険度は同じになる訳である。

またシャ断器を開くときの異常電圧で、線路大地間の避雷器が放電した場合は、シャ断電流は、たとえいくらでも避雷器に移されるから、シャ断器の反対側では電流の減少割合がそれだけ早められ、結局 $\frac{di}{dt}$ が大となって、避雷器が働かない場合より大きな電圧が現われることになるから、シャ断器の両側に避雷器を取付け得ない場合はむやみに内雷で動作するような低い特性の避雷器を用いることは一考を要する。

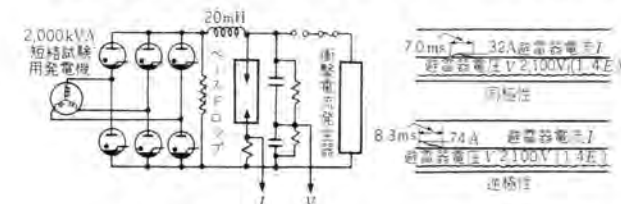


図4.1 3,000 A サージによる1,500 V PR形 避雷器1.4 E 動作責務試験
Fig. 4.1 Operation duty test of type PR 1,500 V arrester by surge current of 3,000 A

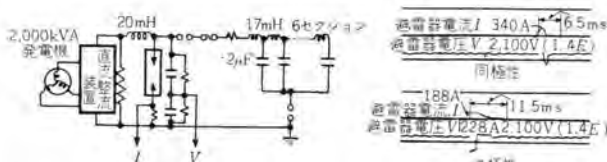


図4.2 長時間サージによる1,500 V PR形 避雷器1.4 E 動作責務試験
Fig. 4.2 Operation duty test of type PR 1,500 V arrester by long duration surge.

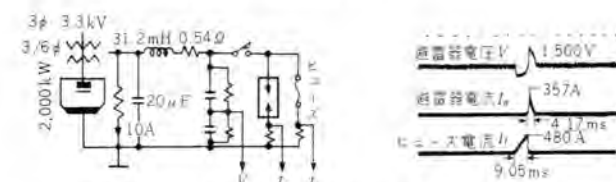


図4.3 ヒューズ熔断時のサージによる1,500 V PR形 避雷器動作責務試験
Fig. 4.3 Operation duty test of type PR 1,500 V arrester on surges by blown up fuses.

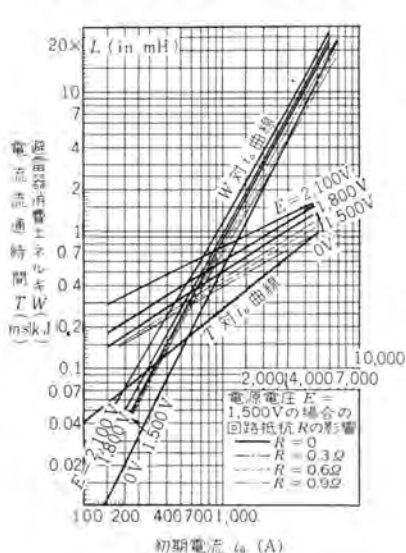


図4.4 i_0 なる電流をさい断したときのサージによる避雷器動作時の消費エネルギー W (kJ)と電流通過時間 T (ms) (縦軸の数値にmHで表わした回路インダクタンスの値を掛けると求める。)
 Fig. 4.4 Consumed energy W (kJ) and current flowing time T (ms) of arrester in operation by surge due to interruption of current.

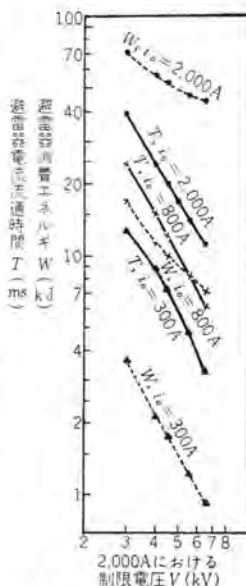


図4.5 異常電圧発生時シャ断電流 $i_0=2,000$ A、800 A、300 Aのときの避雷器電流通過時間および消費エネルギーに対する制限電圧の影響。ただし電源電圧 $E=1,650$ V、回路抵抗 $R=0.4 \Omega$ 、避雷器のcut off voltageを1,980 V、非直線係数を0.2と仮定した。
 Fig. 4.5 Effect of residual voltage on duration and energy of arrester discharge initiated by surge due to chopped current of 300 A, 800 A and 2,000 A.

従来の外雷を対象とした直流避雷器規格では直流放電開始電圧の最低限は 5.2 kV となっていたが、それでも内雷による放電と考えられる事故が報告されている。

かかる現状においては避雷器の特性を極端に下げても、避雷器の信頼性を向上して行くことがたいせつと考えられる。したがって内雷処理能力をもった新形避雷器においても直流放電開始の下限は従来どおりとし、 γ ファクトの特性を改善して、保護レベルを下げることは望ましいが、どの程度まで下げるべきかはその使用実績を見てから考慮すべきであろう。

また系統構成上、同一定格ヒューズ溶断による避雷器責務の線路長に対する変化は図 4.6 のようになるから長距離主電をさけることが望ましい。図 4.6 は溶断瞬時に高い異常電圧が出て避雷器が放電した場合であるが、最

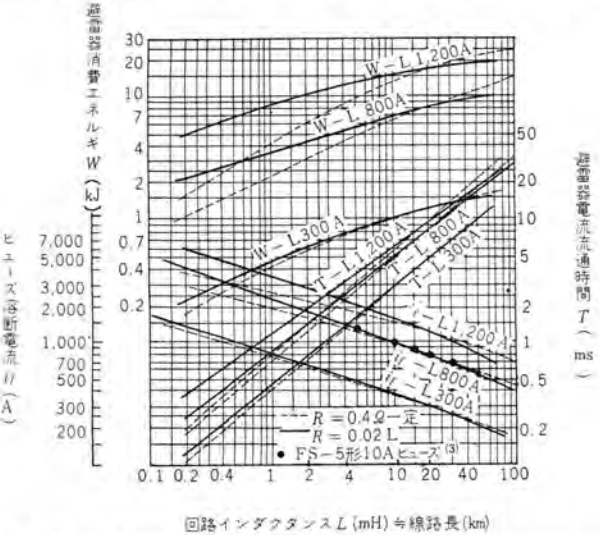


図 4.6 $E=1,650\text{ V}$, $L=20\text{ mH}$, $R=0.2\text{ }\Omega$ の回路短絡時 300 A, 800 A, 1,200 A で溶断するヒューズのインダクタンスによる溶断電流値の変化およびこのヒューズによる避雷器責務のインダクタンスによる影響（避雷器特性は $V=5.5\text{ kV}$, $\alpha=0.2$, $\beta=1.25$ とした。）

Fig. 4.6 Changes of fuse cut-off voltages by inductance and effect of arrester operation duty by inductance.

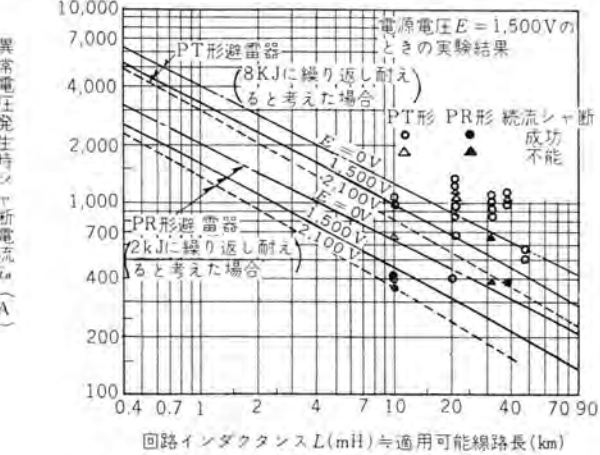


図 4.7 1,500 V 新形直流避雷器の内雷処理能力
Fig. 4.7 Protective ability of types PT and PR 1,500 V direct current arresters for switching surges due to $L \frac{di}{dt}$.

初に高い電圧が出ず電流が少なくなってから出るのであれば i_0 が小となるからもっと楽となり、今後はヒューズや遮断器のアーチ電圧を規定する場合、異常電圧発生時の電流値を考慮に入れることが必要となろう。

図 4.7 は PR 形避雷器および、容量の一段と大きい PT 形避雷器についての試験結果と適用範囲を示すものである。

5. 交流回路用避雷器

交流電化用変電所の特高受電側および直流変電所の特高交流受電側に使用される交流避雷器は、通常の電力系統に使用されるものと特性上もなら差異はないが、交流電化のフィード側、ブースタ用あるいは車両用避雷器は一般のものと少しく異なった特性あるいは構造寸法の仕様が要求されている。しかし本質的な内部構造や基本的の特性の点ではとくに差異があるわけではない。

現在発電所用 オートバルブ 避雷器として製作されている形としては、SV- W_2 形、SV- W_2A 形および SSV 形の 3 種と、3 および 6 kV 用の SV-G 形避雷器がある。

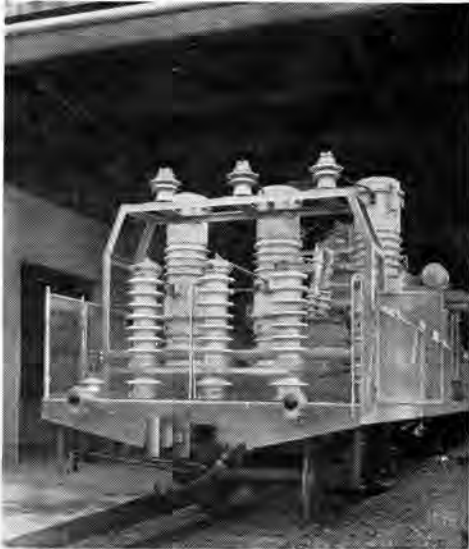


図 5.1 移動変電所に取付けられた SV- W_2 形 20 kV オートバルブ 避雷器

Fig. 5.1 Type SV- W_2 20 kV autovalve arrester mounted on a mobile substation.

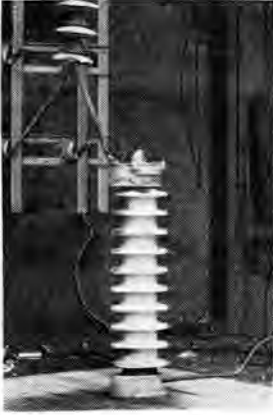


図 5.2 爆発防止装置の動作試験を行なった後の SV- W_2A 形 20 kV オートバルブ 避雷器

Fig. 5.2 Type SV- W_2A 20 kV autovalve arrester after operation test on explosion preventing device.

SV-W₂ 形の一例を示すと図 5.1 のようで、これに爆発防止装置を設けたものが図 5.2 に示す SV-W₂ A 形であり、さらに各避雷器 ユニット 内部を 3 円柱に分割し、この三つの円柱を幾何学的には並列に配置し、電気的には直列に接続することにより、背の高さを従来のものの 60% くらいとし、100 kV 以上でも鉄構なしに自立形としたものが SSV 形である。

したがってこれらの 3 種の形の基本的動作原理は共通であって、いずれも永久磁石消弧式 ギャップ と改良された特性要素円盤の組合せからなっている。ギャップの内部構造は図 5.3 に示すようで、円環状の電極と平板電極とを対向させ、抵抗 スペース と アーク 隔壁環とで両電極を隔離してある。円環状の電極は環状の突起のついた 2 枚の真チウ 板を背中合わせにして構成するわけであるが、この電極内部の空間の部分に円環状の永久磁石を收容してある。この永久磁石は図 5.4 に示すようにたとえば円環の内側に S 極、外側に N 極という具合に着磁してあり、かつ磁石の特性上磁束が周辺の空間に出やすくなっている。隣接する磁石の磁束とも相まって ギャップ 部分の空間に強力な放射状磁界を生ずる。したがって図 5.5 に示すように ギャップ 部分に生じたアークはこの放射状磁界の影響を受けて円環状電極に沿って駆動されることになる。この駆動によって アーク の足も移動するから、冷却効果によって消弧能力は増大し、また電極面の消耗もきわめて軽微なものとなる。

この永久磁石は円環状電極の内部にあるため、電流は永久磁石を包むようにして流れるから電流に伴う磁界は

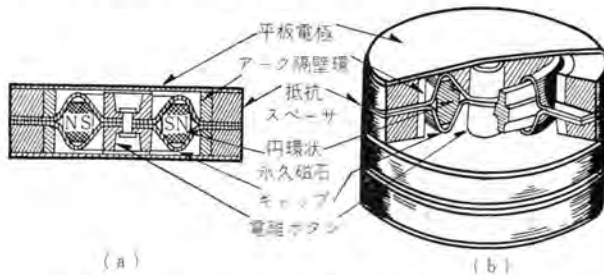


図 5.3 SV-W₂ 形 オートパルプ 避雷器の ギャップ 構造
Fig. 5.3 Constructions of arrester gaps.

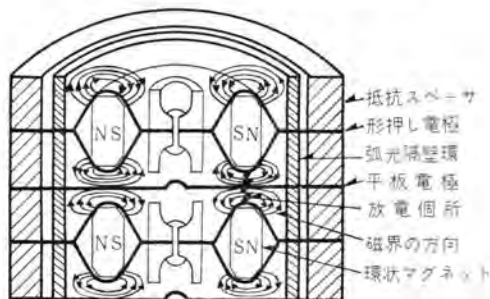


図 5.4 円環状永久磁石による磁界
Fig. 5.4 Magnetic field by ring magnet.

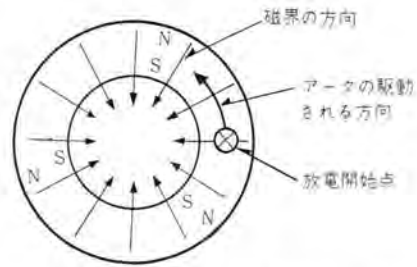


図 5.5 放射状磁界と アーク の駆動
Fig. 5.5 Arc driven in the radial magnetic field.

永久磁石に作用せず、しかもこの永久磁石は抗磁力がきわめて大きいので、大電流 サージ などによっても減磁されるおそれはない。これは永久磁石を使用する上で重要な点である。

つぎに特性要素について述べると、これは同心円筒状に材質組成の異なる炭化 ケイ素粒 を並べて成形したものである。従来避雷器特性要素円盤に流れる雷電流は図 5.6 (a) に示すように周辺部ほど大きくなるため側面 セン絡 や周辺部の貫通を生じやすく、これによって放電耐量が限定される欠点があったが、この特性要素では図 5.6 (b) に示すように周辺部は電流が流れにくいため結局電流分布が均等になり放電耐量が増大するわけである。この特性要素はさらに全数 50 kA 程度の衝撃大電流を印加して特性要素の強化安定処理を施している。かくすることにより炭化 ケイ素 粒子間の接触状態が良好になり、放電耐量がいっそう増大する。実験の結果 $5 \times 10 \mu\text{s}$ あるいは半波高時間 $15 \mu\text{s}$ で 100 kA の衝撃電流、および 2 ms, 500 A 20 回の方形 サージ に耐えうる事が明らかにされている。

さらに放電耐量の大きいものを必要とする場合には 2 ms, 600 A, 20 回に耐えうるものも製作している。

このように磁気駆動による強力な続流 シュ断 能力を有する直列 ギャップ と方形波放電耐量を有する特性要素とによって、雷 サージ だけでなく開閉 サージ もも処理する

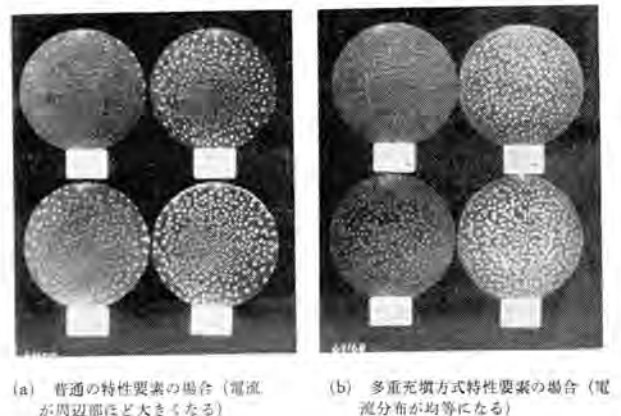


図 5.6 特性要素円盤の放電電流分布
Fig. 5.6 Discharge current distribution of characteristic element disc.

ことが可能になった。また、ギョウ部分に並列に抵抗ス
ペーサを使用して電圧分布を改善し、あるいは1ユニット当
たりの電圧定格を大きくとり、ユニットの数を減らすこと
により耐汚損湿潤特性を改善し、さらに、シリコン・コンパ
ウンドをパイ管表面に塗布することにより、相当苛酷な塩
害に対してもいちじるしい効果をあげることができる。

交流電化方式では1線が常時接地された状態でいわゆ
る線間電圧に相当する回路電圧が機器に常時印加されて
いるので、交流電化用避雷器にあっては、このように内雷
処理能力を強化した避雷器を使用することが望ましい。

6. 交流回路の絶縁協調

6.1 交流電化用変電所の特高受電側および直流変電
所の特高交流受電側

この場合は前述のように絶縁協調の点でも通常の電力
系統における絶縁協調となんら差異はない。現行の避雷
器規格 JEC-131 は目下改訂審議中であって、避雷器の
進歩をとり入れた新しい規格が近く公表されるはずであ
る。

6.2 20 kV 交流電化の絶縁協調

わが国の交流電化も、仙山線、北陸線および東北線と
次第に進展してきたが、歴史が浅いだけに絶縁協調の点
でもいろいろ検討研究すべき問題が多い。

20 kV 交流電化の絶縁協調として当初計画された数値
は概要次のようなものであった。

a. 変電所の絶縁

変電所の絶縁基準は、電線電圧を無負荷時最高 22 kV
に抑え、かつ、電線のシ断器の開閉 サージを 2.5 倍
以下に抑えるようにするなど、施設の改善を計り、電
回路の避雷器の仕様は車両用避雷器のそれと同一にする
という前提のもとに、変電所の絶縁レベルは 20 号と定め
られた。

b. 車両の絶縁

車両機器の保護は、車両に装備した避雷器によること
を前提として絶縁基準が立てられた。避雷器の許容端子
電圧の選定にあたっては、電車線路は単相一線接地回路
であり、三相送電線の問題と異なり持続異常電圧上昇は
あまり高くないだろうということで、26 kV に定め
られた。避雷器の許容端子電圧を 26 kV とした場合、避
雷器の特性としては表 6.1 の値が採用された。これに対
し主変圧器ならびに車両の主回路の ガイシ および屋外
ブッシングの耐圧は表 6.2 に示すようである。

このような絶縁協調の方針が北陸線および東北線で実
施に移されたが、交流電化はわが国最初の経験であった
だけに、運転開始以来 フラッシュオーバー 事故あるいは避雷器

表 6.1 20 kV 交流電化用避雷器の特性

許容端子電圧	26 kV
商用周波放電開始電圧	40 kV 以上
衝撃放電開始電圧	90 kV 以下
緩波頭サージ放電開始電圧	80 kV 以下
制限電圧	1,500 A 80 kV 以下
"	5,000 A 90 kV 以下

表 6.2 20 kV 交流電化車両機器の耐圧値

主変圧器		車両主回路のガイシおよび 屋外ブッシング		
商用周波 (誘導試験)	衝撃波		商用周波	衝撃波
	全波	截断波	乾燥 (1分)	注水 (10秒) (注水)
50kV	120kV	140kV	70kV	60kV
				120kV

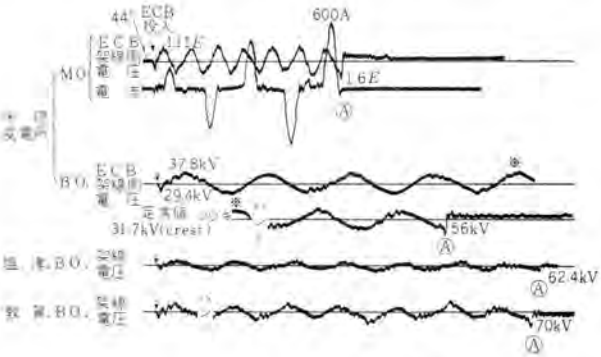


図 6.1 北陸線における異常電圧実測 オシログラム (新正田に車
両が1台あって米原変電所より敦賀までを延長 電し米原で
シ断器を投入後6サイクルでシ断した場合)

Fig.6.1 Oscillograms of surge measured on Hokuriku line.

破壊事故もかなり発生し、絶縁協調を再検討する必要が
生じた。

たまたま昭和 33 年 3 月に、北陸線米原より敦賀まで延
長 電した際、敦賀変電所 電線引出口の避雷器が破壊
した事故が契機となって、計算盤および現地実測によっ
て、異常電圧の解明が行なわれた。その結果 電回路の
直列 コンデンサ と無負荷の機関車変圧器とが鉄共振を起こ
し、分数調波異常電圧が発生することが明らかになった。
その オシログラム の一例は図 6.1 に示すように、1/3 調波の
複雑な波形を示し、最高 70 kV 波高値にも達している。
このような値は、避雷器の許容端子電圧 26 kV (実効値)
を超過しており、このような機圧のもとで サージ が発生
すれば、避雷器が破壊することは当然起こりうるわけだ
る。また避雷器が汚損していると分数調波異常電圧自
体で放電を開始し、破壊に至る可能性も考えられる。

これを避けるため、避雷器の商用周波放電開始電圧を
引上げて許容端子電圧を高めようとしても、これは同時
に避雷器の保護 レベル を引上げることに也成了り、ただで
さえ BIL の低い車両用被保護機器の絶縁協調が苦しくな
ってくる。やはり根本はこのような異常電圧の発生を防
止すべきであって、この目的のもとに交流電鉄異常電圧
対策専門委員会が設けられて研究がすすめられている。
暫定的には、変電所用避雷器だけ商用周波放電開始電圧

を 50 kV（実効値）以上にすることと仕様が変更されている。

6.3 25 kV 交流電化の絶縁協調

(1) フランス 国鉄交流電化の絶縁協調

フランス 国鉄では交流電化絶縁協調について次のように考えている。

従来の絶縁レベルに関する基準 UTE・10・100 号はそのまま適用すべきではない。この基準は各相の対地電圧が相間電圧の 70 % よりつねに低くなるように十分小さいインピーダンスをもって中性点を接地した三相系統にだけ適用しうるものである。（この 0.7 という値は実際の接地系統について定めた最大値 0.8 と、直接接地系統における値 $1/\sqrt{3}=0.58$ との平均値である。）

交流電鉄の 25 kV 系統は、単相でしかも 1 相を電車線につなぎ、他の 1 相を軌条、すなわち直接大地につないでいるという点が異なっている。したがって三相線路につながる電気機器と等しい絶縁値を保つためには、25 kV 系統の機器は $25\text{ kV}/0.7=35\text{ kV}$ の公称電圧の回路と同一の絶縁を有するものでなければならない。

変電所機器の絶縁としては、UTE 基準の公称電圧 40 kV に対応する値を採用している。すなわち

- 商用周波数 1 分間 81 kV（実効値）
- 衝撃波（正波、負波） 190 kV

実際の仕様書には、上の値を基準として次の点を指定している。

- 主変圧器套管には 45 kV 用を使用
- 耐圧試験は対地 105 kV とする

これに対し避雷器の特性としては表 6.3 の値を指定し、また線路 ガイシ の特性は表 6.4 に示すようである。

フランス 国鉄の 交流車両には 避雷器は 使用されておらず、気中ギャップによって保護されている。この点についてはインド 国鉄向け イグナイトロン 電気機関車の項で説明する。

(2) イギリス 国鉄交流電化の絶縁協調

表 6.3 フランス 国鉄 25 kV 交流電化用避雷器特性

許容端子電圧(max. working voltage)	35 kV
公称放電能力 (10×20 μs)	5,000 A
最大放電耐量	100 kA
商用周波放電開始電圧	71 kVrms±10 %
衝撃放電開始電圧 (1×5 μs)	115 kV±10 %
同 (0.5 μs 波)	130 kV±10 %
制限電圧 (10×20 μs 波)	97 kV±10 % (2,500 A)
同	105 kV±10 % (5,000 A)
同	108 kV±10 % (6,000 A)

表 6.4 フランス 国鉄 25 kV 交流電鉄線路用長幹棒子の特性

商用周波フラッシュオーバー電圧 乾燥	150 kV rms
同 注 水	125 kV rms
衝撃フラッシュオーバー電圧 (1×50 μs 波)	+270 kV -300 kV

表 6.5 イギリス 国鉄交流電化変電所用変圧器の試験電圧

定格電圧 (kV) RMS	相	衝撃電圧 (kVp)	商用周波数電圧 (kV) RMS
132	3	550	230
66	3	350	140
33	3	200	70
25	1	250	95
6.25	1	95	28

イギリス 国鉄の交流電化では、電車線へのキ電電圧は 25 kV 単相であるが、ずい道、橋梁などでクリアランスに制限を受ける地区では 6.25 kV に下げた電圧でキ電される。

変電所用変圧器の試験電圧は表 6.5 に示すようで、25 kV 単相回路の絶縁強度は、通常の三相回路の 40 号相当のものが採用されていることがわかる。

避雷器としては、25 kV キ電所の出口およびキ電線ならびに 6.25 kV の出口およびキ電線に ASEA, Västerås, Sweden 製のシリコン・カーバイト 負抵抗形避雷器が設けられている。

避雷器は電車線支持物上に取付けられ、軌条側 ケーブルと電車線間の接続個所に接続され、接地側は支持物基礎まわりの接地棒に接続されている。

(3) インド 国鉄向け イグナイトロン 電気機関車の絶縁協調

先ごろ インド 国鉄向けとして輸出された当社製 イグナイトロン 電気機関車には避雷器は積まれておらず、気中ギャップで絶縁協調する方式が採られている。

設計当初はやはり避雷器で保護する方針であったが、インド 国鉄の技術指導をしているフランス 国鉄から、欧州連合から インド 国鉄に納入する イグナイトロン 電気機関車は避雷器を使用せず、気中ギャップで保護する方式である旨の連絡があった。

当社としても、これに対し種々検討の結果、つぎのような理由でフランス 国鉄と同じく気中ギャップで保護することとした。

a. 機関車に積んである主変圧器の BIL は 200 kV であるので、相当急峻な波形でも協調しうる気中ギャップを変圧器側の屋上 ガイシ にとりつけ、またパンタグラフ側は支持 ガイシ のフラッシュオーバーを保護するための気中ギャップを屋上 ガイシ にとりつけることとして、気中ギャップの模擬試験を行なった結果が図 6.2 である。

これより変圧器側はギャップ長を 125 mm にすれば 1 μs でも 200 kV 以下となる。きわめて急峻なサージがきた場合は気中ギャップでは保護できない領域はあるが、機関車が架線にパンタグラフを上げている状態では架線の一方から進行してきたサージは架線の他の方向へ進行してゆくので、一般には変圧器端子での反射による電位上

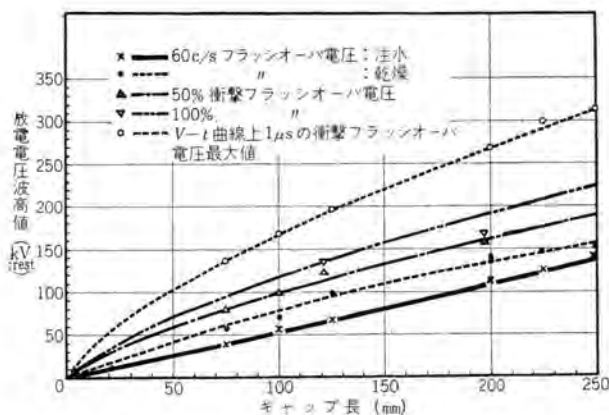


図 6.2 イグロ用保護ギャップの放電特性
Fig. 6.2 Discharge characteristic of protecting gap for ignitron locomotive.

昇はあまり生じないはずであり、パンタグラフ側のギャップと2段で保護することになるから、実際上は絶縁協調できるであろうと考えられる。

一方気中ギャップで変圧器を保護できるようにギャップ長を小さくした場合、開閉サージによって動作して停電事故を起こさないかという点を検討する必要がある。この点使用しているBBC社製空気シ断器は並列抵抗付であって、無負荷変圧器励磁電流シ断時の開閉サージは、1.78倍以下に抑えられている。すなわち、

$$25 \times \sqrt{2} \times 1.78 = 63 \text{ kV crest}$$

となり、これが最高であるからこの値で動作しないようにしておけば、停電事故を防ぐことができる。これに対しギャップ長125 mmの気中ギャップの注水状態における商用周波フラッシュオーバ電圧は図6.2に見られるように68 kV crest程度以上であるから、まずまずよからうと思われる。たとえ開閉サージで動作しても、シ断器が開放されれば変圧器側は無電圧になるのでさしつかえない。またシ断器投入時のサージはシ断時のそれよりずっと低くて問題ない。

b. パンタグラフガイシおよび屋上ガイシの衝撃耐電圧は200 kVである。ガイシのV-t曲線と気中ギャップのV-t曲線は大体同じ傾向であるからパンタグラフ側の気中ギャップは50%フラッシュオーバ電圧が200 kVより下であれば協調できると考えられる。

実際に気中ギャップを断路器と組合せて試験した結果、ギャップ長が197 mmの場合、100%フラッシュオーバ電圧が165.5 kVであって、200 mmでも大分余裕があり、欧州連合のギャップ長235 mmでもよさそうである。

c. 避雷器の代わりに気中ギャップを使用することにより、機関車設計上の最大難点である重量軽減および寸法縮小に寄与しうる。

d. 気中ギャップは保守点検が容易であるから、遠い外地に輸出する機器としては有利である。

e. 欧州連合と同じ方式であるから、現地の運転員の教育などの点でも都合が良い。

これらの点から気中ギャップ方式を採用したわけである。

(4) 国鉄新幹線の絶縁協調

国鉄新幹線の絶縁協調については、目下国鉄新幹線総局や新幹線絶縁協調委員会では種々審議検討を重ねられている段階であり、ここで採り上げるのは時期尚早であるが、現在のところ電車線電圧を交流25 kVとして計画が進められている。

変電所あるいは地上に設置される機器の絶縁は30号(BILは200 kV)となるもようであるが、車両用変圧器は重量、寸法などの制限からBILを170~175 kV程度にしようという意見が有力である。

絶縁協調は避雷器にたよることとなり、変電所あるいは地上に設置される機器の保護には、現在審議中のJEC改訂案の定格(許容端子電圧)42 kV避雷器を適用する方針であるが、車両用避雷器としては耐震、耐汚損をも加味した特殊設計のものを使用することが必要となり、国鉄新幹線総局の仕様書により各社で試作試験を行なうことになっている。

7. む す び

以上直流回路と交流電化とにわけて電鉄用避雷器と絶縁協調について概説した。なお混触保護の問題は研究途上でもあり、紙数の関係で割愛した。

避雷器と絶縁協調問題を通じて伸びゆく鉄道電化にいくらかでもお役に立ちたいと願っている次第である。

粒子加速装置の展望 (3)

三菱原子力工業株式会社研究所 今村 元*

4. 加速装置に必要な装置

これまでに粒子加速装置のエネルギーを発生する部分について主に述べてきた。これから粒子加速装置に必要なイオン源、加速管、排気装置およびビームの取り出し装置などについて簡単にその概略を述べることにする。

4.1 イオン源

電子加速用の加速装置では粒子源として電子銃とその電源、イオン加速用のものではイオン源とその電源が必要である。電子銃に関しては粒子加速装置に限らず、真空管、ブラウン管その他の分野で研究されており、最近では加速装置用としても一般に Pierce gun 形⁽³⁹⁾のものが利用されている。陰極の材料も純タンガステン、トリウム・タンガステン線をはじめ、Ba, Sr, Ca, の三元カーボネートより作る酸化物陰極、L-カソードおよびポンパーデッド・カソード等非常に多くの種類のものが利用されている。ここでは主として加速装置で問題になるイオン源について述べる。

イオン源は、もちろん、加速装置以外にも同位元素分離装置、質量分析装置において使用されている。これらに利用されているイオン源のすべてについて詳述することは多くの紙面を要するので、今までに粒子加速装置で利用されてきたイオン源のうちの代表的なものと最近新しく開発されているものについて述べることにする。

質量分析装置ではイオン源におけるイオン速度分布と混合された元素の電離の一様性などが問題になるが、加速装置では主として原子イオンだけを必要とする場合、分子イオンをできるだけ少なくすること、また必要に応じてその逆のことが問題になる。もちろん、イオンの収量が大きいこと、消費電力が小さいこと、イオン源の安定性が良いこと、寿命が長いことなどはいずれの装置でも必要であるが、とくに高圧容器内の高電圧電極内にイオン源を設置するときはなおいっそう上述の性能が望まれる訳である。

今までに利用されてきたイオン源を大別すると大体次の3種類のようになる。

- a. 低圧アーク放電形 (熱陰極放電形)
- b. P.I.G. 放電形
- c. 高周波放電形 (RF 放電形)

加速装置に使用されるイオン源でもその利用目的に応じて、それぞれ特長のあるイオン源が必要となる。たとえば、プロトン・シンクロトロンで行なわれるパルス運転のためのイオン源、中性子源としても中性子実験用としてはパルス運転を要求されるので、これに応じたイオン源が開発されている。

最近話題になっている大電流用の Von Ardenne 形とタンデム形バン・デ・グラフ形のイオン源に使用される負イオン源についても述べる。

(1) 低圧アーク放電形 (熱陰極放電形)

低圧アーク放電形は熱陰極放電形とも呼ばれているもので、図 4.1 に略図を示す。主要部分は管 S、フィラメント K、陽極 A から成立っている。この中に水素などの気体を低気圧に充填し、

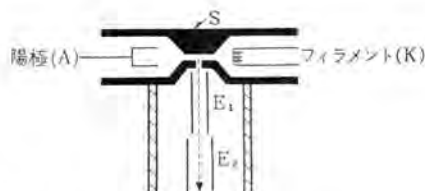


図 4.1 低圧アーク放電形イオン源の構造

A と K との間に 50 V くらいの電位差で S の細かい部分を通してアーク放電を行なわせる。この電流は普通 0.2~2 A 程度で割合に大きい。このときできた原子および分子イオンは S の中央部の細かい穴を通して拡散して下方に出てくる。S と E₁ との間には数 kV の電位差が作ってあるので、その電界の作用でイオンは S の穴から引出され、しかも出てきたイオンは加速される。この方法では原子イオンと分子イオンとの混合したもので 1 mA 程度までのイオン流が得られるのが普通である。このイオン源の良い点は、出てくるイオンの速度がほとんど均等なこと、動作させるのに要する電力が割合わずかで済むことであろう。

1956 年には W. A. S. Lamb と E. J. Lofgren⁽⁴⁰⁾ が作った低圧アーク放電形イオン源が発表されているが、連続的にプロトンを 3/4 A、20 % の duty cycle で 2 A のパルス状のプロトンを得ている。そのときのビームの集束条件は直径約 3 in であり、プロトン比は 95 % くらいであると述べている。三菱電機⁽⁴¹⁾でも大阪大学工学部と協同でこの種のイオン源を開発して 10 数 mA のイオン流を得ている。

(2) P.I.G. 放電形

P.I.G. 放電形という名称は Penning ionization gauge⁽⁴²⁾ から来ている。軸方向の磁界 (数百ガウス) によって電子が旋回運動をし、電子の衝突による電離を強化する低い圧力範囲までグロー放電の領域を拡張することができる。この形のものの代表例は図 4.2 に示すようなもので、Berkley のコスモトロン⁽⁴³⁾の入射

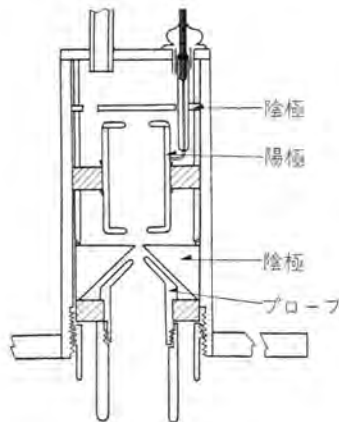


図 4.2 P.I.G. 放電形イオン源の構造

装置であるバン・デ・グラフ形加速装置用イオン源で、熱陰極を必要としないのが特長であり、放電を維持するための電子は陰極から放出される二次電子である。陰極材に Al, Mg, Be などを用いて動作電圧を数 100 V にまで下げることができる。この放電は陰極表面に酸化物が形成され、局部的に高電界ができ、そのために通常の γ 作

用に比べて非常に大きい電子放射がおこなわれるから起こるのである。長時間運転後には酸化物が破壊されるので活性化が必要である。

P. I. G. 放電形は構造が堅固で、比較的寿命が長いこと、比較的小さい出力で数 mA 程度のパルス状イオン源が得られる点が特長であり、一方この形の欠点としては陰極表面状態が不安定であること、プロトン比があまり良くないといわれている。しかし、1954 年 C. B. Mills と C. F. Barnett⁽⁴³⁾ がサイクロトロン用に開発したものではプロトン比が 82 % で全電流 330 mA が得られている。

(3) 高周波放電形

高周波放電形は radio-frequency discharge, 略して RF 放電形と呼ばれている。現在もっとも良く使用されているこの種のイオン源は、かなり良い真空度でも放電を維持することができる。これは放電管材料であるパイレックスガラス器壁から二次電子が放出され、この放出された電子が集束される過程におこす電離によってイオンが発生されるからであるといわれている。一般に RF 電力の注入方法としてはコイル 2 個を用いる容量結合方法とフレノイドによる誘導結合方法とがある。放電電圧は数 10 ～ 数 100 V で RF の周波数は数 Mc から数 100 Mc が使用されている。放電管にパイレックスガラスを用いているので、水素を用いると強い赤色の発光が認められ、原子イオンの発生方式としては非常にすぐれた方法であることがわかる。これはパイレックスガラスが他の材料より再結合係数が小さいからである。ゆえに 100 % に近い再結合係数をもつ金属の使用はできるだけ避け、カソードの部分に Al を使用してもその外側は石英管でおおるようにしてある。

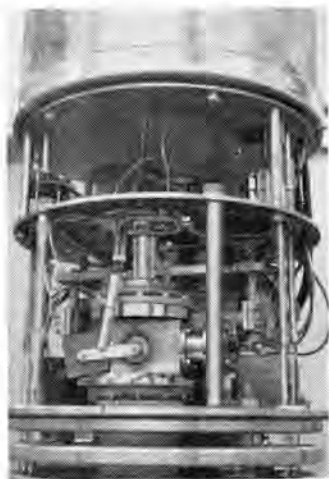


図 4.3 三菱電機製 RF 放電形イオン源

図 4.3 には三菱電機製バン・デ・グラフ形加速装置 VC-3 形に使用した RF 放電形イオン源を示す。カソードを陰極としてローラを陽極として、その間に数 kV の電圧を加え、引出電極に数 kV を加えてプロトンビームをとり出している。最近これをさらに改良したものについて行なった実験結果では 1 mA 程度のイオン流が得られている。

イオン電流の収量を増すために放電管軸に平行に磁界を加える方法と直角に磁界を加える方法とが実施されており、かなりの成功がおさめられている。

現在までもっともイオン電流をとったものは、わが国では京都大学理学部⁽⁴⁴⁾のものであり、外国では P. C. Thoneman

⁽⁴⁵⁾のものであろう。P. C. Thoneman の報告によると、プラズマ密度を増すために軸対称をもった約 700 ガウス の一定磁界を用いている。放電管内のガス圧が 3×10^{-3} mm Hg の状態において、引出電圧を 4, 6, 8, 10 kV と変化させたとき、全ビーム電流はそれぞれ 14, 28, 38, 49 mA で、10 kV のときのプロトン比は 51 %, $H_2^+ + H_3^+$ が 17 %, 高速中性原子が 21 %, 質量が 3 以上の重いイオンが残りの 11 % であったと報告している。

(4) Von Ardenne 形イオン源

加速装置の発達とともに、イオン源としても大電流のものが要求されるようになってきた。そのためには次の 3 点を解決する必要がある。

- できるだけ大きい濃度のプラズマを発生させること。
- カソードの位置においてプラズマ電位の分布がいちじらしい指向性をもつこと。
- カソードおよびその周辺での壁損失をできるだけ少なくすること。

a. と b. を満足するイオン源の最初の試みはすでに古くから磁界を加えてプラズマをしぼることによって行なわれているが、1950 年ころには Von Ardenne⁽⁴⁶⁾ とその協力者達が磁界を用いてプラズマをしぼり、水素を用いて約 200 mA のイオン流を得たといわれている。

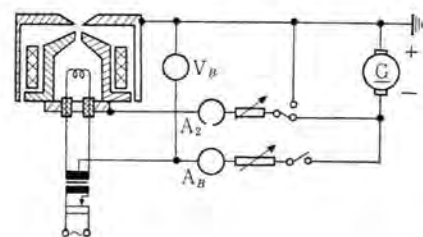


図 4.4 Von Ardenne 形イオン源の原理図

これらの実験をもとにして、H. Fröhlich⁽⁴⁷⁾ はカソード前面におけるプラズマ内部に加速区間を作る方式を考え、それによって指向性のするどいイオン流を得ることができ、連続的に 1 A の水素イオン流を得ている。このとき内部の加速区間での速度の不均一さは約 20 V であると報じている。この装置は熱陰極と陽極とその中間の中間電極とからなっている。イオン流だけでなく電子流も取出すことができ、7.5 A の電子流が得られたと報告されている。陽極と中間電極とは磁極レンズを形成し、コイルによって励磁される。この原理図は図 4.4 に示すようなものである。放電電圧は 120 ～ 130 V、中間電極は正または負の電源につなぎ、磁極レンズ電流は大体 6 A で十分である。中間電極に適当な電位を与えると、中間電極に流入するイオン流と電子流との量が等しくなる電位がある。この電位を正規中間電極電位と呼ぶ。陽極の近傍でのプラズマにおいて、イオンの壁損失は中間電極および陽極付近で起こる。この壁損失を補うためには陽極プラズマから出たイオンは中間電極へも陽極へも流れなければならない。このためには中間電極と陽極との間に正の電位の山が発生する必要がある。この正の電位の山は、中間電極のカソード近傍で加速された高エネルギーの電子が磁界による集束作用によって大電流密度の領域にはいつてくるときに強いイオン化が起こり、正の空間電荷が発生するときに可能となる。5 A の放電電流のとき、正の電位の山は約 +30 V である。陽極カソードのプラズマ電位は約 6 V であるから、この電位の山はイオンに対して分水嶺のように働き、一部は中間電極のカソード

へ、他は陽極カソードのほうへ流れ、電位分布を直線で近似すると平均エネルギー約12Vでイオンは陽極を出ることになる。このときプラズマ断面積が 1.5 mm^2 であるから、1Aのイオン流を得るには約 10^{14} 個/cm²のイオン濃度が必要である。たとえばRFイオン源ではイオン濃度は 10^{11} 個/cm²程度であるから、あらかじめ加速しないで、すなわち、拡散だけでこのような電流をうることはできないことは明らかである。もちろん、この電位の山の大きさはガス圧、アーク電流、中間電極の電位に関係してくるが詳細は省略する。

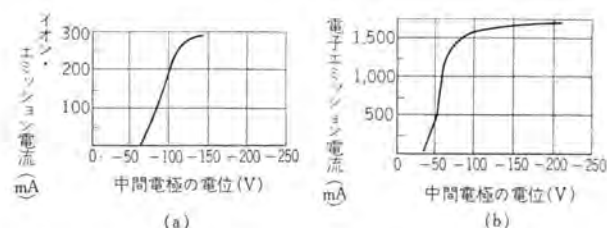


図 4.5 (a)(b) Von Ardenne 形イオン源における中間電極電位のイオン流および電子流におよぼす影響

電子の場合には、陽極プラズマ中の電位分布はイオンの場合と逆に電位の谷ができる。イオン流と電子流とに及ぼす中間電極電位の模様を図4.5 (a), (b) に示す。

三菱原子力工業では Von Ardenne 形のイオン源の試作研究に対し、科学技術庁原子力局より昭和35年度の委託研究費を交付され、目下実験装置を製作中である。この装置の開発により、イオン流はもちろんのこと電子流も得られるので、今後の加速装置への応用が期待されている。

Oak Ridge National Laboratory ではこの種の装置を核融合反応実験装置 DCX の入射装置用イオン源として採用しており、Duo Plasmatron⁽⁴⁸⁾と称している。

(5) 負イオン源

パン・デ・グラフ形加速装置の項で述べたように、タンデム形にするためには負のイオン源が必要になる。負の水素イオンはグロー放電から直接得られるが、 H^- イオンの収量は普通 $1\mu\text{A}$ 以下である。比較的、低エネルギー領域で正の水素イオンが電子を捕獲して負の水素イオンになるようにする方法が一般に採用されている。電子を与える材料としては Si, Al などの薄膜が、ガスがある。現在ではほとんどガスが使用されている。1956年、J. A. Weinman と J. R. Cameron⁽⁴⁹⁾ は $20\sim 30\mu\text{A}$ の H^- イオンを得ている。一方 J. A. Phillips と J. L. Tuck⁽⁵⁰⁾は RF



図 4.6 負イオン源 (三菱原子力研究所)

放電形イオン源を用いて $2.2\mu\text{A}$ の H^- イオンを得ている。

三菱原子力工業⁽⁵¹⁾においても、昭和34年末より検討をはじめ、RF放電形イオン源を用いて数 μA の H^- イオンを得た。図4.6にはその写真を示す。

4.2 加速管

加速管はその名前の示すとおり電子銃またはイオン源から入射された荷電粒子を加速する部分で、粒子加速装置にとってはもっとも重要な部分である。すべての形の加速装置の加速管について記述することは多くの紙面を必要とするし、これまでも簡単ではあるが加速管について一部述べた部分もあるので、ここでは円形軌道の加速装置のものと直線軌道のものでは線形加速装置のものは省略し、たとえばコッククロフト・ワルトン形またはパン・デ・グラフ形加速装置で使われているものについて簡単に述べる。

これらの加速管は、ダイン または ガラス などの円筒形の絶縁物と不銹鋼、コパル または アルミニウム などの加速電極からなっているが、加速管内部を高真空にするためにそれぞれ気密封止に注意が払われている。この気密封止にはもっとも簡単な方法はゴム・パッキングを採用することであるが、ガス放出の点で避けたほうが良く、近年アラライトのような接着材を用いたり、最近ではセラミック・シールなどが行なわれている。

加速管に使用する材料は絶縁耐力がすぐれていてしかも吸着ガスの少ないこと、電極材料には放電による損傷が少なくしかも二次電子を放出しにくいことなどの条件を満足していなければならないことはもちろんのことである。加速電極の形はコッククロフト・ワルトン形加速装置では一般に円筒形でしかも電極の数が少なくせいぜい10個くらいまでである。パン・デ・グラフ形加速装置では非常に多くの加速電極を持ち、その形は碗形または平板形のものが用いられている。加速されたビームの集束状況を良くするために電極に加える電圧配分、電極の形状などについてはイオン源を含めてイオン光学的に検討されている。たとえばコッククロフト・ワルトン形加速装置の場合、そのイオンの軌道を示すと図4.7⁽⁵²⁾のようになり、パン・デ・グラフ形加速装置の場合には加速管入口と加速管内部および出口においてレンズ作用が図4.8⁽⁵³⁾のようなイオン光学系を考えることができる。これらの例からもわかるようにイオンの速度の小さい範囲におけるイオン源と加速管入口付近のイオン光学的設計が非常に重要である。これを解決する方法としてはイオン源に続いてアインツェル・レンズ⁽⁵⁴⁾を採用し、それから加速管へ入射する方法がとられている。イオン光学的考察のほかには electron loading 現象を防止するためこれら

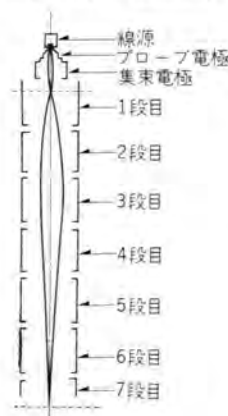


図 4.7 コッククロフト・ワルトン形加速管におけるイオンの集束軌道

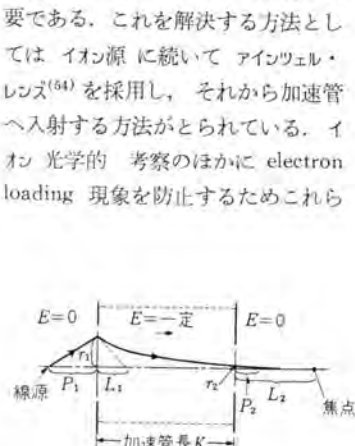


図 4.8 パン・デ・グラフ形加速管におけるイオンの集束軌道

の電極が加速管壁に及ぼすシャペイ効果についても十分注意する必要がある。

電子加速の場合、アメリカでは封じ切りの加速管がしばしば採用されており、大きな排気装置を必要としない点はすぐれており、この形式のものが今後ますます発展するものと思われる。

4.3 排気装置

電子またはイオンが加速される加速管内はそれぞれの平均自由行程の関係から 10^{-5} mmHg 程度の高真空を必要とする。排気装置の発展によって加速装置の発達が促進されてきたといっても過言ではないほど、加速装置にとって排気装置は重要な役割を示している。そればかりでなく、排気装置の良否が加速装置の性能、運転条件を左右することが多い。

排気装置は一般に回転ポンプ、ラースタ拡散ポンプ、拡散ポンプから形成されるがラースタ拡散ポンプは省略されることが多い。最近外国では新しい原理によるゲッタ・ポンプ、イオン・ポンプがしばしば利用されている。両者とも油、水銀のような流体を使用しない点が特長で、わが国でも試作されており、今後加速装置に利用されることであろう。

真空計としては低真空側ではガイス管、サーミスタ真空計、高真空側ではフィリッパ真空計、電離真空計が主として使用されている。

排気装置のうちで真空事故防止のため、三菱電機では、速動真空バルブと称する特殊バルブを製作し、加速装置に使用している。

上述の排気装置の概要について述べる。

(1) ポンプ

回転ポンプの形はセッコ (Cenco) 形、ゲーデ (Gaede) 形、キニー (Kinny) 形が広く使用されている。回転ポンプは非常に広く使用されているので詳細は割愛する。

拡散ポンプは気体分子を高速度の蒸気流に乗せて運び去るもので、油または水銀が使用されている。これは必ず回転ポンプを補助ポンプとして使用している。油拡散ポンプは工業的規模で使用される機会が多かったので非常に進歩をとげ、数年前より数万 l/sec の排気速度のものが製作されている。一方水銀拡散ポンプは油拡散ポンプに比較してその大形化は遅れ、H. R. Smith⁽⁵⁵⁾ が 13,000 l/sec のものを製作して、サイクロトロンに使用したのが有名である。とくにわが国では大形化が遅れ、150 l/sec の排気速度のものが報告されている程度であったが、三菱電機では数年前 156 mm 口径 800 l/sec の排気速度をもつ FM-800 形水銀拡散ポンプ⁽⁵⁶⁾ が製作された。ここで問題になるのは加速装置として油拡散ポンプが良いか、水銀拡散ポンプが良いかということであるが、まだいづれがよいかという点は実験的には明確にされていないようである。もちろん、拡散ポンプから油または水銀の蒸気分子が加速管内にはいると管壁に付着して、電圧破壊を起こしたり、加速電極に付着してビーム強度または集束性を悪化することが考えられる。油または水銀が加速管内へ逆流するのを防ぐためには冷却トラップ(液体窒素または液体酸素)が必要である。とくに水銀を使用する場合にはこの冷却トラップがめんどろになる。しかし三菱電機ではバン・デ・グラフ形加速装置に FM-800 形水銀拡散ポンプを使用して好成績をおさめている。一方東大核研では油拡散ポンプを二段にして油の蒸気の逆流をできるだけ少なくする方法が採用され立派な成績がおさめられている。

一方大形の加速装置の場合、たとえばシンクロトロンの場合、加速される粒子は1秒くらいの間に徐々に加速されながら、長い軌道进行する訳であるから加速管内の残留気体による散乱の問題はビーム強度の点から非常に重大になってくる。しかも加速管の容積も大きいのでビーム損失を50%以下におさえるには $1 \sim 2 \times 10^{-6}$ mmHg 程度より良くしなければならないことになる。たとえば3 BeV のコスモトロンでは20 in 油拡散ポンプを12台設置して排気を行なっている。さらにシカゴ大学のシンクロ・サイクロトロンでは32 in の油拡散ポンプが使用され、わが国でも東大核研のシンクロ・サイクロトロンに32 in の国産の油拡散ポンプが使用されている。このように加速装置が大形になるにつれて排気装置も大形化の傾向がとら

れている。これまで述べたポンプはすべて油または水銀の液体を利用したもので逆流防止のために特別に冷却トラップを必要とする点が運転上めんどろになってくる。これらの欠点を除くために新しい方法が提案された。それはゲッタ・ポンプとイオン・ポンプである。

ゲッタ・ポンプは蒸気イオン・ポンプ (Evapor ion pump) ともよばれ、真空管工業で利用されているゲッタの技術を利用するものである。Wisconsin 大学⁽⁵⁷⁾ではバン・デ・グラ

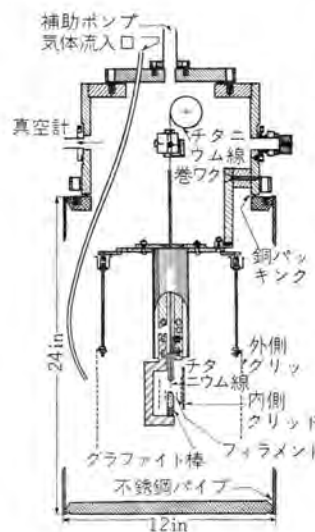


図 4.9 ゲッタ・ポンプの構造

フを採用している。これは気体を電離して蒸着金属膜への吸着能力を増し、連続的に金属の蒸発を行なわせて、蒸着表面にとらえられたイオンまたは分子を次々に埋め込むという現象を利用している。図 4.9 に示すように、一般にゲッタとしてはチタニウムが利用され、グラファイトを $2,000^{\circ}\text{C}$ くらいに電子衝撃で加熱しておき、そこに細いチタニウム線を送り込み、そこで蒸発したチタニウムは常温の壁に次々と蒸着して層を作る。フィラメントと二つのグリッドは電子の一部をこの間で振動させ、排気すべき気体を有効にイオン化する働きをする。このポンプは回転ポンプで排気し、はじめに材料に吸着していた気体を除き、 1×10^{-4} mmHg 程度になってから初めてうまく働かすことができる。あまり早目に動作させると具合が悪い、その理由はグラファイトと陰極との間にグロー放電が起こり、グラファイトがうまく加熱できないためである。不活性ガスは化合吸着を起こさないものだから、アルゴンやヘリウムに対しては、このようにイオン吸着をとり入れなければまったく排気効果をもたせることができない。このゲッタの蒸発と気体のイオン化とを結び付けたところがこの装置のすぐれた点である。表 4.1 と表 4.2 にゲッタ・ポンプの動作条件と排気速度とを示す。

つぎにイオン・ポンプについて述べる。気体をイオン化し、電界によってそのイオンを運ぶことにより容器から気体をひき出すという方法はかなり昔から考えられたが、実際に大きなポンプを製作したのは J. S. Foster, E. O. Lawrence, E. J. Lofgren⁽⁵⁸⁾ 達で図 4.10 に示すとおりである。熱陰極から放射され

表 4.1 ゲッタ・ポンプの動作条件

到達真空度	2×10^{-7} mmHg
石墨棒の電圧	1,000 V
石墨棒の電流	500 mA
グリッド電圧	1,000 V
グリッド電流	200 mA
フィラメントバイアス電圧	100 V
陽イオン電流(2×10^{-2} mmHg)	$< 10 \mu\text{A}$
フィラメント加熱電圧	12 V
フィラメント加熱電流	25 A
全消費電力	1 kW
壁の温度	20°C
チタニウムの蒸発速度	$7 \frac{\text{mg}}{\text{min}}$

表 4.2 ゲッタ・ポンプの排気速度

気体	排気速度 (l/sec)	気圧 (mmHg)
H ₂	7,000 ~ 8,000	3×10^{-6}
N ₂	6,500 ~ 7,500	1.5×10^{-6}
O ₂	6,500 ~ 7,500	1.5×10^{-6}
空気	1,000	1.5×10^{-6}
A	9	4×10^{-6}
He	4	3×10^{-5}

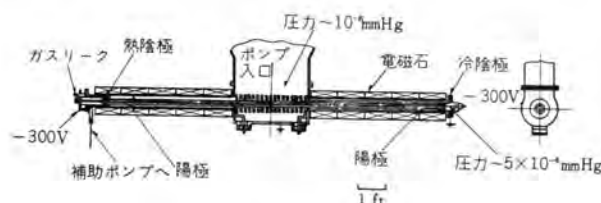


図 4.10 イオン・ポンプの構造

た電子は加速され陽極孔から中心部へ導かれる。電子の放電柱内の軌道は磁界により螺旋形をえがき、ポンプの他端にくると反射陰極によってはねかえされ、ふたたび中心部を通って戻ってくる。電子はこうしてパイプの軸に沿って放電柱の中を振動し、残留気体をイオン化して、エネルギーを失った後に陽極にとらえられる。このようにしてできた陽イオンは電子に比してはるかに速度が遅く、平均自由行程も短いので、放電柱の中に陽イオンによる空間電荷を作り、この空間電荷の電界で加速されて陰極へ運ばれる。陰極で電荷を失った気体分子の大部分は補助ポンプによって運び去られる。補助ポンプは放電を維持する程度の $3 \sim 5 \times 10^{-4}$ mmHg より高い真空度にしなければならない。イオン・ポンプの特性を示すと表 4.3 のとおりである。

図 4.11 に三菱電機製の小形イオン・ポンプの写真を示す。

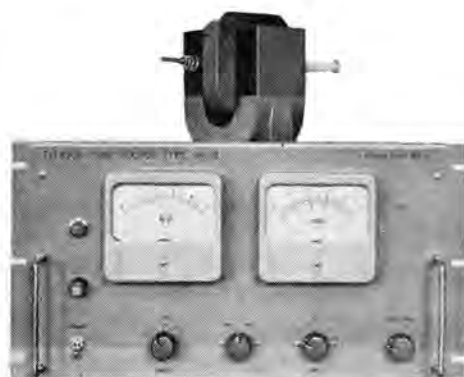


図 4.11 三菱電機製小形イオン・ポンプ

表 4.3 イオン・ポンプの特性

排気速度	3,000 ~ 7,000 l/sec
到達真空度	$8 \times 10^{-7} \sim 5 \times 10^{-6}$ mm
アーク電圧	400 ~ 300 V
アーク電流	20×10 A
陰極	輻射加熱タンダステン陰極 (入力: 4.5 kW)
マダネット	側面: 20 kW
入力	中心コイル: 12 kW

わが国ではまだゲッタ・ポンプおよびイオン・ポンプを加速装置に採用した例はないが、それぞれ大容量のものが製作でき、その取扱いが簡単化されると冷却トラップの必要がないだけに将来有望な排気装置となることであろう。

(2) 真空計

低真空側で使用されるガイスラ管とサーミスタ真空計のうち、ガイスラ管はよく知られているのでサーミスタ真空計について述べる。この真空計はピラニ真空計と同じ原理を用いるが、Mn または Ni の酸化物よりなる半導体が温度によってその電気抵抗が変化し、しかも負の温度係数を持つことを利用するもので

$10^{-3} \sim 1$ mmHg の範囲が測定

でき、リレーを付け加えることによって排気装置の保護装置としても利用できる。

フィリップス真空計は冷陰極放電の強さが気圧に依存することを利用したもので、図

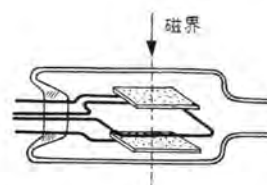


図 4.12 フィリップス真空計の原理図

4.12 に示すように両電極間に交流の高圧を加え、しかも永久磁石によって磁界を加えて電子を螺旋状に長く走らせ冷陰極放電の持続をはかったものである。電極電圧 $1 \sim 5$ kV、磁界には $500 \sim 1,500$ ガウスが用いられ $10^{-4} \sim 10^{-5}$ mmHg で安定な動作をする。

高真空側でもっともよく用いられているのは電離真空計である。この真空計の原理は、気体分子の電離ポテンシャルより十分大きいエネルギーを持った電子が低圧の気体中を通るとき、そこで作られる陽イオンの数は気体分子密度に比例することを利用している。したがって一定の電子電流に対して生ずるイオンを負電位の電極に集め、このイオン電流を測定すれば真空度がわかる。

いま電子電流 I_e 、これによって生ずるイオン電流 I_i で表わすと、その関係は次のようになる。

$$I_i = I_e n \sigma$$

ここで n は気体の分子密度、 l は電子の平均自由行程、 σ は電子が気体分子に衝突してイオン化する断面積である。

$$S = \frac{\sigma l}{kT}$$

とすれば

$$I_i = I_e S P$$

すなわち

$$P = \frac{1}{S} \frac{I_i}{I_e}$$

のようになる。ここで P は気圧であり、 S は真空計の感度を表わすことになる。 S は σ によってきまるが、 σ はイオン化をおこす電子の速度すなわち電子の加速電圧にも依存するが、200 V 近くになるとほとんど一定でむしろ気体の種類によって

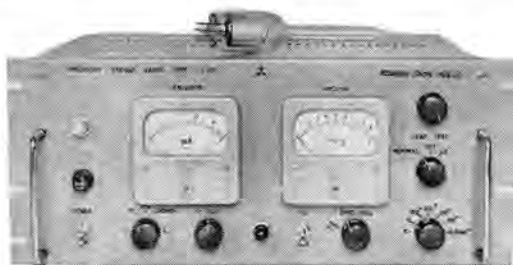


図 4.13 三菱電機製電離真空計

きまる。そのため気体の種類が正確にわからないときは“空気に相当する気圧”より補正して求めなければならない。

三菱電機製の電離真空計は Fogel 形真空計管球を使用しており、 $2 \times 10^{-7} \sim 10^{-2}$ mmHg の真空度が測定できる。図 4.13 にその管球と測定装置の写真を示す。

(3) 連動真空バルブ

加速装置のビーム取出窓はそこでのビーム損失をできるだけ少なくして真空保持を行なうように努力されているが、ビームによる過熱、わずかの衝撃、接触、または、被照射物質の放出するガスなどのために破れやすく、破れた場合には短時間のうちに装置全体に修理困難なほどの致命的な事故をひきおこすことも考えられる。そこで真空系および装置全体の安全保護を目的として作られたのが連動真空バルブである。

連動真空バルブは装置の重要部から離れた位置にある電子線取出口の近くに設けることでいっそう効果があげられるが弁閉塞が短時間であることが望ましいのは当然である。そこで真空度の低下をフィリップス真空計により検知し、その電気信号により弁閉塞機構を動作させる形式のものであるが、この形式と類似のものはすでに 1956 年 A. W. Knudsen⁽⁵⁰⁾が発表している。しかしながら Knudsen のものは機構的にやや不備な点が多いので、三菱電機では図 4.14 の写真に示すような連動真空バルブ



図 4.14 三菱電機製連動真空バルブ

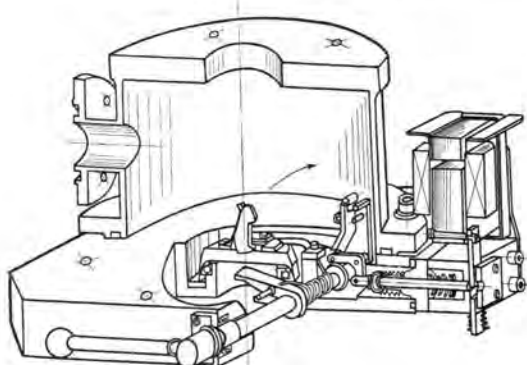


図 4.15 三菱電機製連動真空バルブの構造

を製作している。図 4.15 にはその構造の大略を示すが、弁板にバネでエネルギーを与え、このエネルギーで弁板の閉塞動作を行ない、閉塞圧力となるようにしている。弁の開放は手動で行ない、開放保持状態では引金が働き、弁を固定する。真空計によって任意の真空度で電気信号が出るようにしておき、この信号により電磁石を励磁して上記の引金をはずし弁を動作させるわけである。機構がやや複雑であるので摩擦損失の軽減に努め、電磁石の吸引力が小さくなるように留意してある。

ここで弁の動作は解析すると、まず電磁石によって可動鉄片が動作する時間は、

$$t_1 = \sqrt{2WS/F \cdot g}$$

である。ただし t_1 は吸引に要する時間 (sec), W は可動鉄片および案内棒の重量 (kg), S は可動鉄片の動作距離 (mm), F は電磁石の吸引力 (kg), g は重力加速度 (mm/sec^2) である。

つぎに掛金がはずれ弁板がバネにより回転運動を起こし、しまるまでの時間は次式で表わされる。

$$t_2 = \theta_2 - \theta_1 / \sqrt{Pg(\theta_2 - \theta_1) / W \cdot R}$$

$$\text{ただし } P = d^4 E (\theta_2 - \theta_1) / 128 \cdot r \cdot n$$

ここで t_2 は掛金がはずれ弁が閉じるまでに要する時間 (sec), θ_2 は弁開放時のバネのねじり角 (rad), θ_1 は弁閉塞時のバネのねじり角 (rad), P はバネの強さ (kg), W は弁体の重量 (kg), R は腕の長さ (弁の回転半径) (mm), d はバネの線径 (mm), E はヤング率 (kg/mm^2), r はバネのコイル半径 (mm), n は巻数である。

摩擦を無視した上記の計算結果は 0.047 sec であった。閉塞時間の測定結果は表 4.4 に示す。

表 4.4 三菱電機製連動バルブの動作時間特性

真 空 中 (ms)	大 気 中 (ms)
60.0	57.0
64.6	53.0
60.7	47.8
59.1	53.4
57.8	52.3
57.1	54.9
67.2	53.3
62.2	54.8
57.0	53.7
64.0	50.9
68.7	49.5
65.4	51.7
68.6	50.7
57.6	55.4
56.8	47.6
61.5	53.5
66.0	51.4
58.6	53.4
53.8	52.2
67.5	49.4
68.0	51.0
57.0	69.6
平均 61.8	平均 53.0

4.4 ビーム取出方法

加速装置によって加速された電子またはイオン・ビームはその利用目的によって取り出し方法が変わってくる。電子を加速する場合には X 線を発生させるか、電子をそのまま空気中に取り出す方法が採用されている。X 線を発生させる場合には金またはタングステンなどの原子番号が大きく融点の高い金属をターゲットに使用し、とくにラジオグラフィの場合にはその焦点を小さくするためにターゲットの部分の冷却も十分考慮しなければならない。一

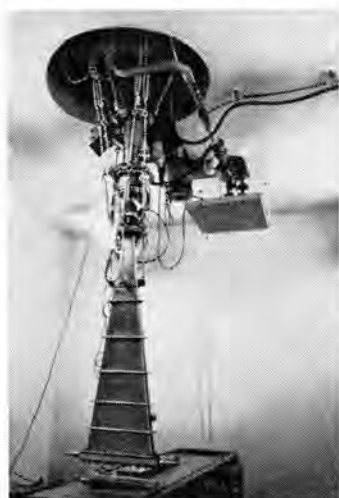


図 4.16 三菱電機製 パン・デ・グラーフ形加速装置の走査系



図 4.17 三菱電機製分析用電磁石

方照射用として電子ビームを空気中にとり出すためには、相当広い面積の試料を照射できるように電子ビームを走査する方法が採用されている。これは

テレビジョンのブラウン管において実施されているものとかかなり似ている。一般には一方向だけで 200 サイクル前後の走査が行なわれているが、一方向だけでなくそれと直角方向に数百 ke 程度の掃引を加えて照射量の均一性を増す方法も採用されている。走査波形には正弦波、三角波などが使用されており、窓からの距離によって散乱の影響で完全に均一にすることはなかなか困難な問題である。図 4.16 には三菱電機製パン・デ・グラーフ形加速装置の走査系の写真を示す。

イオン加速の場合にはたとえば活性化分析などであればそれほど問題ではないが、たとえば原子核の精密実験を行なう場合、エネルギー・スペクトル幅をできるだけ狭くするため分析用電磁石を必要とする。また分析用電磁石で単一エネルギーに絞られたビームを 5~10 m も走らせて実験を行なう場合には Q-電磁石と称する集束用電磁石を利用しなければならない。図 4.17 には三菱電機製の分析用電磁石の写真を示す。

巨大加速装置への入射用または中性子実験ではパルス状のビームが必要であり、これらはイオン源でパルス状にすることもできるが、現在は加速した後にパルス状にビームを偏向させてその目的を達している。

最後にこれらの粒子加速装置を設置する際、中性子を利用するときはもちろんのこと X 線を発生する場合には、放射線障害防止のために十分なシャヘイ設備が必要になってくる。そのためには法律⁽⁶⁰⁾で定められた処置を施す必要があり、シャヘイ計算は文献⁽⁶¹⁾を参照して行なうことができる。

日本放射線高分子研究協会東京研究所に納入された三菱パン・デ・グラーフ形加速装置の建家の模様を図 4.18 に示す。

参考文献

- (39) J. R. Pierce: "Theory and Design of Electron Beams" D. Van Nostrand and Co., Inc., New York, N. Y., (1949).
- (40) W. A. S. Lamb and E. J. Lofgren: "High current ion injector" Rev. Sci. Instr. 27, pp. 907~9 (1956).
- (41) 遠井淳友・上山善司・藤永 敦・吹田徳雄: "大電流イオン源の研究" 昭和 35 年秋季(第 21 回)応用物理学学会講演会。
- (42) F. M. Penning and J. H. A. Moubis: Physica 4, pp. 1190 (1937).

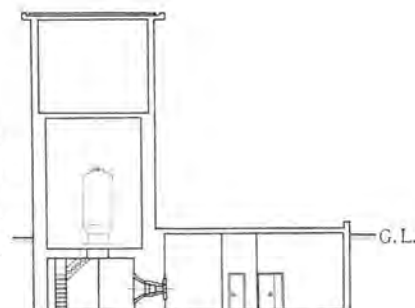
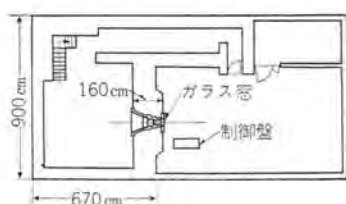


図 4.18 三菱パン・デ・グラーフ形加速装置の建家
(日本放射線高分子研究協会 東京研究所)

- (43) C. B. Mills and C. F. Barnett: "High-intensity ion source" Rev. Sci. Instr. 25, pp. 1200~2 (1954).
- (44) 湯浅・安見・向坂・梶山: 物理学会年会(昭和 30 年)。
- (45) P. C. Thoneman and E. R. Harrison: "A high current proton source" AERE GP R-1190.
- (46) M. Von Ardenne: Tabellen der Elektronenphysik Ionenphysik und Übermikroskopie Bd I und II, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1956).
- (47) H. Fröhlich: Nukleonik. イオンおよび電子ビーム用大電流ジェネレータ, Band I, pp. 183~8 (1959).
- (48) C. D. Moak, H. F. Banta, J. N. Thurston, J. W. Johnson and R. F. King: "Duo Plasmatron ion source for use in accelerator" Rev. Sci. Instr. 30, pp. 694~9 (1959).
- (49) J. A. Weinman and J. R. Cameron: "Negative hydrogen ion source" Rev. Sci. Instr. 27, pp. 288~293 (1956).
- (50) J. A. Phillips and J. L. Juck: "Negative hydrogen ion source" Rev. Sci. Instr. 27, p. 97 (1956).
- (51) 藤田彪太・井上功一・今村 元: "Negative ion source (I)" 日本物理学会分科会(昭 35)。
- (52) C. Mileikowsky and R. T. Pauli: Arkiv Für Fysik, Baud 4 nr 12 (1951).
- (53) M. M. Elkind: "Ion optics in long, high voltage accelerator tubes" Rev. Sci. Instr. 24, pp. 129~137 (1953).
- (54) C. H. Johnson, J. P. Judish and C. W. Snyder: "Focusing procedures for electrostatic accelerators" Rev. Sci. Instr. 28, pp. 942~8 (1957).
- (55) H. R. Smith: Trans. CVT 22 (1955).
- (56) 藤永 敦: 高性能水銀拡散ポンプ, 「三菱電機」, 33, pp. 414~9 (昭 34)。
- (57) R. H. Davis and A. S. Divatia: "Design and operation of evapor-ion pumps" Rev. Sci. Instr. 25, pp. 1193~7 (1954).
- (58) J. S. Foster, E. O. Lawrence and E. J. Lofgren: "A high vacuum high speed ion pump" Rev. Sci. Instr. 24, pp. 388~390 (1953).
- (59) A. W. Knudsen: "Fast closing vacuum valve" Rev. Sci. Instr. 27, pp. 148~150 (1956).
- (60) 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法令集(改正版)昭和 35 年。
- (61) 社団法人, 日本放射性同位元素協会。
- (61) T. Rockwell: Reactor Shielding Design Manual, New York, Van Nostrand (1956).

大容量半導体整流器の検討

J. L. Boyer and W. S. Albert: Evaluation of high capacity semiconductor rectifier devices (District Conference Paper 60-527)

本文は P-N 素子と制御電極付整流素子との性格の解説ならびにそれに関連した定格決定用試験回路の提案の内容説明である。半導体整流器は在米の変換装置とはちがい負荷条件が限定されるものであって、過負荷耐量の要求はすなわち素子の基本定格要素の温度、電流、電圧条件が同時に苛酷度をますため素子の連続定格をへらすことになる。また シリコン の限界温度域は比較的広いため定格の決定には時間の要素が重要な役割を演ずる。整流素子の定格電流・過負荷定格・1 分間過負荷後の 1, 5, 10 サイクル などの短絡許容値・最大許容 (定格) P. R. V.・冷却条件などを知る有力な手がかりは逆電圧試験、順電圧降下測定、加熱試験、負荷試験、負荷-短絡併合試験などあり、このうち併合試験がもっとも注目に値する。図 1 は運転時上記の各定格内容を測定する基本回路であり、指定の冷却、運転を実施しながら逆電流、順電圧降下、短絡試験時の資料をうることができる。この試験方式のよい点は仕様書指定の過負荷時の諸条件に引続いて 負荷短絡、シ+断器開放時の サージ 電圧を印加し自動測定ができることにある。制御電極付シリコン素子に対しても測定時の詳細に言及している。図 2 は 1, 5, 10 サイクルの間短絡をおこさせたときの逆電流 ピーク 値-短絡電流 ピーク 値曲線である。以上の測定にもとづいて決定された定格は使用条件を背景にしたときのものとそうでないときのものとがある。整流素子の電流定格は運転時の使用条件を勘案すればその値の 1/2~2/3 であり、P. R. V. も定格の 1/2~1/3 にするのが妥当であることを解説している。この観点は実用上の過負荷、外部短絡、

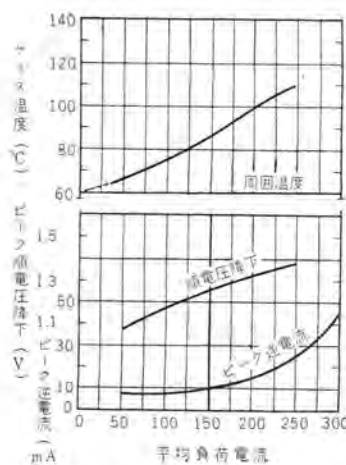


図 3 全負荷運転時の代表的特性曲線

それに付随しての サージ 電圧の印加を加味して信頼性ある大電力半導体整流器の基本設計の問題に立脚している。さらに整流素子の P. R. V. すなわち P. I. V. の定義として逆電流の急変化率の発生点よりわずかに下位の点でおさえていること、そして定格逆耐電圧というのは運転に対する期間の要素のない数値であるとしている。図 3 は代表的な平均電流-P. R. V. の電流値、その他の特性曲線である。(伊丹製作所 加藤又彦訳)

冷却用熱電モジュール

What's New in Engineering: Thermoelectric Modules for Cooling (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 3, May, 1960, p. 94)

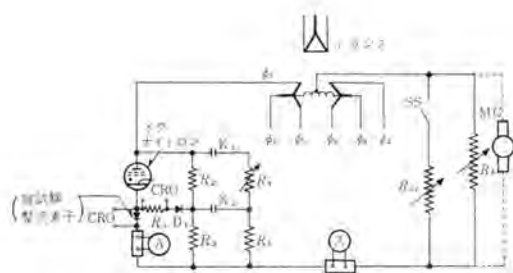
このほど W 社において大規模な研究と開発から、軍用および工業用の熱電冷却装置が作り出された。これら熱電モジュールは電子部品の冷却や、コンパクト で動く部分がなく、冷却速度の制御が必要であるようなところに応用される。

モジュール はトランジスタ、ダイオードおよび他の電子部品に使用するとき、どのような位置にも簡単にとりつけられるようにいろいろな形や大きさに設計されている。

基本的な ユニット を大きい平らな面積を冷却するために並列にするか、またはよく冷却するように建築ブロックのように直列に積み重ねて使われる。

急速に進歩する電子工学の分野では、電子部品を有効に冷却することが要求されている。電子部品は容積、重さおよび動作温度がきびしく決められているので、それらの組合された回路とともに小形化が要求される。しかしこれらのコンパクト な設計は、熱の消散問題という大きな問題を提出することになる。現在の方法による電子装置の冷却は部品による熱の発生が一様でないので非常にむずかしい。“熱い点”ができて、電子部品に激しい温度上昇をひき起こし、装置全体の性能を非常に低下させるから、最高動作温度が制限される。空気を使った冷却は危険な状態にある部品から熱の移動をよくするが、これらの方法は周囲温度以上に部品の温度が上昇するのを制限するにすぎない。

これに反して、熱電冷却は電子部品を局部的により低い温度



R₁ 逆電流測定用
R₄, R₅, K₁, K₂, SS, R₅₅ は負荷-短絡併合試験用

図 1 半導体整流器運転時の特性測定の基本回路

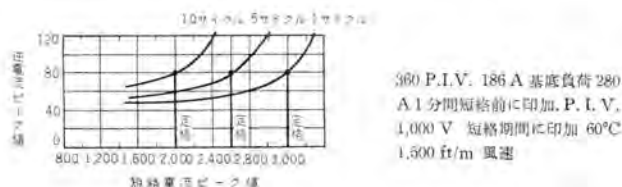


図 2 1, 5, 10 サイクル 短絡時の特性曲線

にする。その結果“熱い点”による早い部品の破壊を非常に減少させることができ、装置は高い周囲温度で確実に動作させることができる。

熱のすい上げ容量（熱がモジュール冷却器の低温側表面から取り除かれる割合）は冷却器の高温側と低温側の表面の間の温度差およびユニットへの入力によって決まる。たとえば一つのモジュール（Type WX 816）は1時間当たり17 B-tu以上の熱負荷で、25°Cの温度差を維持することができる。モジュールの熱取出量を補うために、空気または液体による冷却が熱電冷却の“熱い”側に使用される。補助冷却の正味の量、および冷却のされかたは、熱のすい上げ容量とモジュールの低温側の表面の最終温度に影響をあたえる。一般にモジュールには大きい入力電流と低い電圧の電力が必要である。電流は電池かフィルタ付整流装置から供給される。

熱電冷却に特有な長所—動く部分をもたないで、コンパクトなことに加えて、新しい局部冷却器の独特なモジュール構造は、広い応用範囲に融通性がある。このために、ほとんどの場合、電子装置は熱電冷却装置を応用するのに設計を変える必要はない。



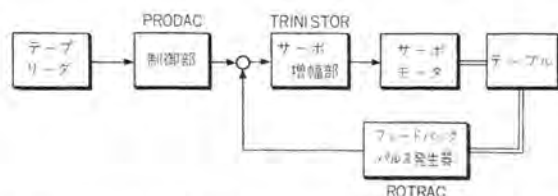
熱電冷却モジュールは、いろいろな大きさや形のトランジスタを冷却できるように、いろいろの取付具を用いて取付けられる。

右下はユニットのカバーを取って、二つのトランジスタを開いの中で冷却するための取付状態を示している。それから右回りに、四つのトランジスタを冷却する基本的なモジュール、一つのトランジスタを冷却するために囲って取付けたより小さい装置、高出力トランジスタを取付けるための1枚の固定板をもった基本的な1 $\frac{1}{2}$ in モジュール。（研究所 藤林肇次訳）

全トランジスタ式数値制御装置

All-Static Numerical Control System (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 4, Sept., 1960, p. 160)

工作機械の数値制御の新しい方式として、全トランジスタのスタティック回路を用いている。この数値制御装置は Prodac と呼称するが、つぎの五つの基本的な部分から構成される。すなわち操作部、テープリード、制御部 (Prodac)、フィードバックパルス発生



器 (Rotrac)、および駆動モータである。制御部はサーボモータ制御回路とラックに挿入するプラグイン式のトランジスタ・パッケージからなり、これは前面に取出すことができる。

入力指令はテープリードによって読取られ、制御部に送られる。コントロールテープは25 mm (1 in) 幅で8単位テープである。コントロールテープを用いないときは制御パネルのダイヤルによって、10進数値で25,000 mm (999.99 in) まで設定移動量を設定することができる。

入力指令は制御部で論理演算され、トランジスタのサーボ増幅器によってサーボモータを駆動し、機械テーブルを設定位置に位置づめる。

Prodac 制御系は1~5台の工作機械を制御でき、各設定移動量は25,000 mm (999.99 in) にして、各軸の補器は手動操作である。制御方式としては point-to-point の位置づめ制御であり、入力指令精度は ± 0.0125 mm (0.0005 in) が標準であるが、特殊なものとしてはもっと高精度のものもある。

各軸の移動量はパルス発生器で検出されるが、このパルスは機械移動量 0.025 mm (0.001 in) ごとに電気信号、1パルスを出す。パルス発生率は機械的な要求によって容易に増加することができる。

位置づめ指令は制御部にフィードバックされ、自動的にプログラムされた位置と比較される。この誤差信号は駆動サーボ系 (Trinistor) に送られ、機械本体を設定位置に駆動する。この際非常に高精度で、機械位置をチェックしながら位置づめが行なわれる。

(無線機製作所 小島一男訳)

可逆プレートミルのプロダック制御

What's New in Engineering: Produc Control for Reversing Plate Mill (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 4, Sept., 1960, p. 160)

インディアナ州ゲーリー市の U. S. STEEL Co. のプレートミルの制御は世界でもっとも完全な計算機自動制御ということができ、その被制御機器の総馬力は36,000 HP におよぶ。

各種炭素鋼、各種特殊鋼を406.4 cm (160 in) ~ 533.4 cm (210 in) の可逆プレートミルで圧延しているが、所期の厚さを得るために、ロールスタンドに取付けたヒズミ計やX線厚み計などを総合した検出信号を計算機に帰還導入し、圧延の順序、回数、圧下量などを設定している。

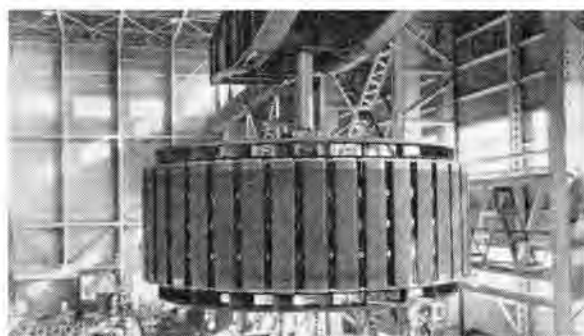
圧延駆動方式にしても以前はフライホイールやM-セットを用いていたが、現在はインバータとしてイグナイトロン整流器を用い、所用の電圧や極性の電力を圧延電動機に供給し、電力回生もできるようにになっている。（神戸製作所 斎藤 豊訳）

■ 電源開発滝発電所向け 50,000 kVA 水車発電機

滝発電所向け 50,000 kVA 水車発電機は去る昭和 34 年 5 月に受注決定し、以来慎重に設計製作をすすめてきたが、写真に見るとおり工場組立も完成に近づき近く工場試験も実施できる段階に至った。

滝発電所はさきに当社が発電機器を納入した田子倉発電所のすぐ下流に位置する ピークロードステーション で、カプラン水車としてわが国最大の記録品である 50,000 kW カプラン水車が 2 台設置される。

発電機の定格は 50,000 kVA 11 kV 150 rpm 50 c/s で、大きさの点からいえば現在特筆に値するものとはいえないが、上述のようにカプラン水車に直結しているため数々の特長をもっている。たとえばカプラン水車の特長として無拘束速度が高くなる上、水車翼による水圧推力がきわめて大きくなる。したがって推力軸受に加わる最大荷重は 1,150 トンに達し、これは前記田子倉発電所向け 105,000 kVA の軸受荷重よりさらに大きなものである。したがって当社が従来から採用している回転子上部の案内軸受を省略したカサ形を採用することは困難となりいわゆる半カサ形構造 となっている。しかし推力軸受は回転子下方に設置しているので、当社独得の推力軸受荷重調整装置である タイム・ゲージを使用した スペリ金荷重装置 を利用して発電機下部から軸受調整が可能であり、また付属の推力軸受昇降装置を利用すれば発電機本体を分解することなく軸受の点検ならびに分解を実施することができる。このほか ピークロードステーション として運転停止の頻度がはげしいことを予想して、推力軸受にはオイル・リフトを装置し、主軸は回転子を中心にして上、下軸に分割できるなど数々の特長を備えている。現地に搬入して運転開始の時期は 9 月ごろと予定されている。



一タつり込み中の発電機

■ 275 kV 172.5 MVA 変圧器完成

関西電力南大阪変電所向けとして鋭意製作を進めていた 172.5 MVA 変圧器が伊丹製作所で完成、工場試験を優秀な成績で無事終了、1 月 31 日展示会を行ない関係者多数の来所をえた。

近くシキ-400 B₂ 形大物車によって現地へ輸送されることになっている。

仕 様

三相 172,500 kVA 60 c/s

送油風冷式窒素封入形
容量 一次 150,000 kVA
(130,000 kVA)

二次 150,000 kVA
(130,000 kVA)

三次 45,000 kVA

ただしカッコ内は 140 kV

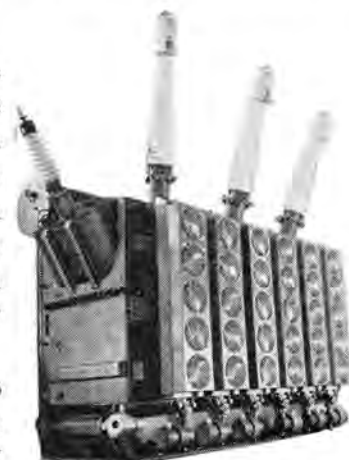
運転時

電圧 一次 275 kV-262.5
kV-250 kV (R)

および 140 kV

二次 77 kV

三次 15.4 kV



関西電力南大阪変電所向け
275 kV 172.5 MVA 変圧器

特 長

1. 外鉄形、フォーム・フィット変圧器
2. サージ・フルーフ絶縁
3. 275 kV と 140 kV の共用器

直並列の内部切換えにより 275 kV (280 kV) と 140 kV と共用できる。

4. シキ-400 B₂ 形大物車による組立輸送

変圧器は車両形で輸送重量 165 トン、シキ-400 B₂ 形貨車により窒素封入組立輸送される。

5. 冷却器

冷却効率のよい U フィン管式放熱器 を用い、冷却扇は騒音の少ない 2 枚羽根式、各電動機には オート・カット保護器 がついている。

6. その他

保護装置として プッフホルツ継電器 の代わりに動作が確実な衝撃圧力継電器 SP 形をつけている。

■ 近鉄恩智変電所向け

1,500 V 3,000 kW シリコン整流器完成

最近、シリコン整流素子の製作技術の進歩にともなって、電鉄変電所用としても、シリコン整流器が広く採用される傾向にあるが、このたび、私鉄向けとしては、わが国初めての直流電圧 1,500 V 用、しかも 3,000 kW の最大容量、超重負荷公称定格のセットが完成された。

近鉄恩智変電所は、近鉄本線に属し既設の弥刀、二上変電所間に新設される全自動無人操作式変電所であり、6.3 km はなれた弥刀変電所より遠方監視制御を行なう。

このシリコン整流器の仕様およびそのおもな特長はつぎのとおりである。

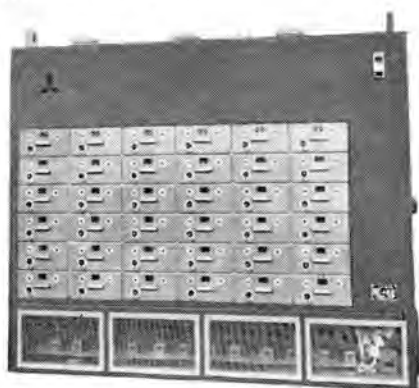
仕様

定格出力 3,000 kW
 直流電圧 1,500 V
 直流電流 2,000 A
 定 格 超重負荷公称定格
 100% 連続 150% 2 時間, 300% 1 分間 5 分間隔で
 繰り返し 10 回
 形 式 屋内用強制風冷式
 整流回路 3 相全波ブリッジ結線
 受電電圧 20 kV 三相
 周波数 60 サイクル

おもな特長

1. シリコン整流器はトレイ構造とし、保守の簡便化をはかり、万一のシリコン整流素子の破損のさいも負荷をきりはなすことなく素子の取換えがおこなえる。
2. 1 アーム中のトレイの整流素子群が破損したさいも所定の定格を低減することなく運転を継続することができるので、このような事故では無停電運転をおこなう。
3. 異常電圧の保護として、変圧器に静電シャハイ板を設け一次側よりの移行電圧を低減している。

シリコン整流器は、水銀整流器などと比較すると、冷却装置以外にはほとんど補助装置を必要としないので、無人自動運転、遠方制御変電所としての要求には有利であるので、国鉄を始めとし、各私鉄においても、今後は広く使用されることは確実である。このような折から、このセットの現地運転は、関係各方面より注目の的となっている。

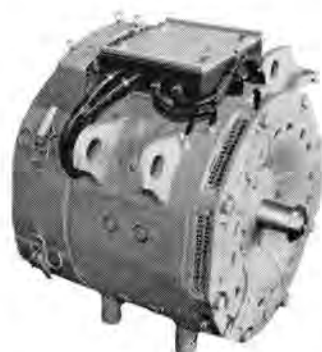


近鉄恩智変電所向け 1,500 V 3,000 kW シリコン整流器

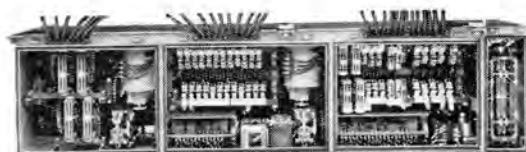
■ 帝都高速度交通営団日比谷線新車用電機品完成

このたび、帝都高速度交通営団に納入された日比谷線新車は地下鉄にもかかわらず東武、東急両線が乗入れできるよう DC 1,500 V 架空線方式を採用し、車体もステンレス製でありとくに電機品は技術の粋を集めたものである。

MB-3054-A 形主電動機の 1 時間定格は 75 kW、375 V、225 A、1,600 rpm である。主極、補極コイルにはわが国はじめての本格的なエポキシ樹脂による F 種一体固化絶縁を採用し、冷却効果改善により実質的連続出力のいちじるしい増加を計ったものである。また、整流安定度をきわめて高くする設計を行ない高率の弱界磁を活用可能とするとともに、高速よりの苛酷な電



MB-3054-A 形
主電動機



CB-54C-1 形主制御器



論理継電装置

気ブレーキ運転にも耐えうるものとなっている。駆動装置は鉄軌用 WN ドライブであるが、ギヤカップリングはラピッド式を採用し保守を便にした。

制御装置は輸送効率を高くするため制御を行なっているにもかかわらず、加減速度プログラムコントロール方式の採用により、快的な乗心地を保証している。またプログラムコントロールの性能を最大に発揮させるため スポッティング方式を 15 km/h 以上の速度で惰行時自動的に行なわれるようになっており、また、バーコ式超多段方式を採用したトランスファスイッチによる戻しステップも併用している。制御回路は保守の手を省くため、頻度の多いリレーは無接点化することはもちろんそれによりリレーではなし得ない高度の性能を得ることができる。

とくに注目すべきことは自動列車制御装置 (ATC 装置) の採用で、地上信号に連動して連続的に速度制御、停止制御を行なうようになっている。このために受電器、受信器、速度照査器、論理継電装置などを有しており、速度を検出する照査器はトランジスタを豊富に使用しており精度、信頼度ともに非常によく、論理継電装置は無接点リレー“サイバック”による人工頭脳で運転手に代わる働きをする。

この新車は来たる 3 月から営業運転にはいるが、すばらしい性能を見せることであろう。

■ 配電線用柱上電圧調整器ポールレグ完成

各電力会社では質の良い電気を供給するために、大いに努力されているが、当社ではこの配電サービスの有力な武器となる低

圧配電線用柱上電圧調整器ポールレグ（商品名）をこのほど完成した。

このポールレグは、単相三線式または単相二線式低圧配電線の自動電圧調整に用いられ、柱上に取付けて、最大 30 kVA までの柱上変圧器の低圧側に接続使用される。

その構造は、油入小形タンクに特殊な単相誘導電圧調整器、駆動モータ、および基準電圧からの差電圧を検出して駆動モータをコントロールするトランジスタコントロール回路を入れたもので、非常に経済的に設計してある。そのおもな仕様と特長は次のとおりである。

仕 様

単相	50/60 c/s 共用
調整容量	1.5 kVA
通過容量	30 kVA
一次電圧	210 V



装柱された ポールレグ

調整範囲	±5%
パンド幅	3%
外形寸法	高さ 55cm, 外径 30cm
重 量	約 60 kg

特 長

1. 非常に経済的である。
2. 小形軽量で柱上に取付けられる。
3. 静的コントロール回路であるから、信頼度が高い。
4. 騒音が小さい。

■ 関西電力姫路第二発電所向け 320 MVA タービン発電機受注

当社ではこのほど、関西電力姫路第二発電所向けとして 320 MVA 内部冷却タービン発電機を受注した。本機は タンデムコம்பラウド としてはわが国最大容量であり、新三菱重工業製作の 250 MW タービンと直結され、3,600 rpm の記録品となる。

その定格は次のとおり

出 力	320 MVA	力 率	0.85
電 圧	24 kV	ガス圧	3 kg/cm ²
短絡比	0.64	励磁電圧	500 V
冷却法	内部冷却		

一般に容量が増大すると適正な端子電圧も上昇させる必要が生じて来る。本機では 24 kV という従来にない高圧を採用している。このため固定子コイル端部のスロット出口部分にはアルミのフォイルを絶縁内に巻き込み電位傾度があまり大きくならないようにする計画である。

励磁電圧も将来増設されるであろう大容量機を考慮して 500 V とした。

ターンの絶縁には従来のマイカに代わり、すべりの良い合成樹

脂系材料を使用することになろう。

なお重量はつぎのとおり

最大重量物（固定子）	250 トン
回転子	40 トン

37 年末に工場完成の予定であるが、現在までの 192 MVA 級標準定格に代わり、本機級が新しい標準定格として続々新設されることが期待される。

■ 関西電力多奈川発電所向け 192 MVA タービン発電機受注

当社では、このほど関西電力多奈川発電所 3 号機の内部冷却タービン発電機を受注した。37 年末の電力不足に対処するため、本機を急遽建設に決定されたもので、既設 W 社製 1,2 号機 75 MW 機に次ぎ 3 号機となる。タービンは 156 MW 定格で新三菱重工業製作となる。発電機定格はつぎのとおり

出 力	192 MVA	力 率	0.85
電 圧	18 kV	ガス圧	3 kg/cm ²
短絡比	0.64	励磁電圧	375 V
回転数	3,600 rpm	冷却法	内部冷却

既設が 75 MW であるから九州電力刈田発電所や中国電力新宇部発電所とほぼ同様の配置となる。本機は内部冷却方式であるため固定子重量 153 トンに過ぎず、既設クレーンは 150 トンで間に合わせ得る。

工場完成は 37 年春となろう。

■ 電源開発伊予変電所向け 99,000 kVA 単巻変圧器受注

今回、電源開発株式会社より、同社伊予変電所に設置される 99,000 kVA 超高压単巻変圧器、およびこれと組合わせて使用される 4,500 kVA 負荷時電圧調整器各 1 台を受注した。この変圧器は、中国の 220 kV 系統と四国の 187 kV 系統を連系するために使用するものである。わが国の送電系統は、154 kV 以下は有効接地でないため、その連系に単巻変圧器が使用できなかったが、今回の 220 kV、187 kV 両系統は、ともに有効接地系であるので、単巻変圧器が採用されたものである。単巻変圧器は、普通の変圧器に比べ、損失が少ない、重量寸法が小さい、価格が安いなどの利点があり、とくに一次二次の電圧の差が少ないときに有利となるので、今後建設される超高压系統の連系用として、この種の変圧器の需要はますます増大するものと予想される。

また、4,500 kVA 負荷時電圧調整器は、99,000 kVA 主変圧器の 187 kV 側電圧を ±8.5 kV の範囲で調整するために使用される。調整変圧器と直列変圧器からなる 2 鉄心形で、タツ切換器として、気中移転開閉器を有する URA 形負荷時タツ切換器を使用するため、保守は非常に簡単になる。この電圧調整器は、必要に応じて、断路器によって回路より切離し、主変圧器だけで送電を継続できるよう考慮されている。



超 音 波 探 傷 器

考案者 藤 沢 亘

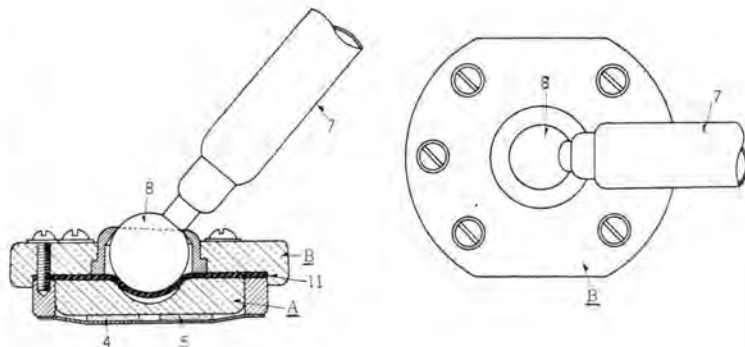
この考案は ステッキ の先端に取付けられ、たとえば軌条上をしゅう動させながら探傷する探傷器の改良に関するものである。

このような探傷器は歩行しながら探傷する際歩行につれてステッキ が動揺しても探傷子がつねによく軌条面になずみ接触すること、ならびに軌条の継目を通過する際等不測の衝撃を受けても損傷しないことが要望される。

このような要望に答えるために、この考案は、送受波用の振動子 (4) (5) を定着した下部片 (A) と、この部片上に重合定着した上部片 (B) との間に弾性緩衝座 (11) を介してこれを回動自在に操作ステッキ (7) の先端球 (8) に支承させ、これによって上記振動子 (4)

(5) に不意に加わる衝撃を吸収させて、機械的に弱い上記両振動子 (4) (5) の損傷を防ぐとともに、振動子をたとえば軌条などの被探傷面に順応できるようにしたものである。

(実用新案登録第 496031 号) (長谷川記)



ブラッシュホルダ支持装置

考案者 高 井 一 三

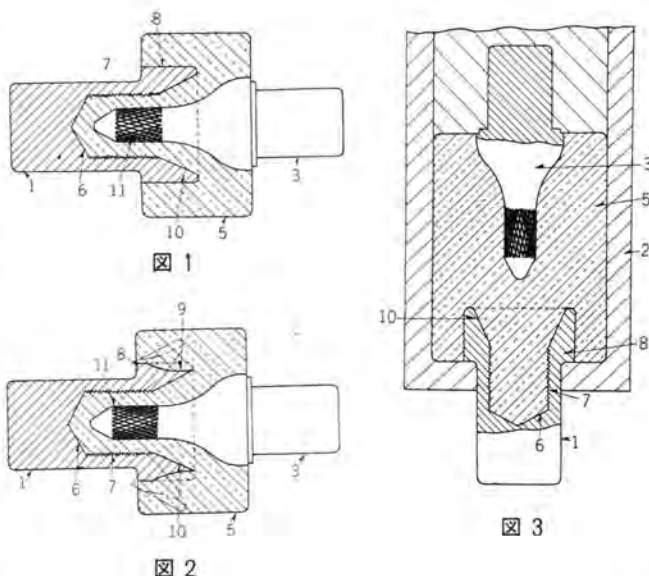
この考案は、ブラッシュホルダ支持装置の改良に関するものである。図 1 はこの考案を示す断面図、図 2 は従来のブラッシュホルダ支持装置を示す断面図、図 3 はブラッシュホルダ支持装置の構成形を示す断面図である。なお図中相当部分は同一符号であらわしている。

ブラッシュホルダ支持装置は、図 3 に示すように、あらかじめ所定の形に旋削した支持棒 (1) を筒状の下型 (2) に装着した後、この下型内に マイカレックス粉末、すなわち マイカ粉末、ホウ酸粉末を主体とした混合粉末を充填し、その上部よりブラッシュホルダ取付棒 (3) を装着した上型 (4) を挿入する。つぎに高温 (500°C くらい) 高圧 (1,200 気圧くらい) のもとにおいて、圧縮加工し、支持棒 (1) とブラッシュホルダ取付棒 (3) とを図 1 あるいは図 2 に示すように緊密に定着させた後、マイカレックス粉末の型押絶縁物 (5) の外径を旋削して仕上げるのである。

従来のブラッシュホルダ支持装置は、図 2 に示すように、支持棒 (1) の盲穴 (6) のネジ部分 (7) をたとえば右ネジのみとし、かつ径大部 (8) の外周に軸方向ミジ (9) を複数削設して、型押絶縁物 (5) との回り止めになるように構成していたので、型押絶縁物 (5) の圧縮加工に際し、高圧のため軸方向ミジ (9) が盲穴 (6) のテーパ縁部 (10) で裂け、鎖線図示のように広がって型押絶縁物 (5) の旋削成形後の予定外周に接近し、旋削時に上記絶縁物の表面にキレツを生じ、成品歩留りを低下させていたが、この考案は盲穴 (6) の内周にあたかも

斜子目ナールを刻んだように左および右方向ネジを重合して刻んでいるため、これが成形後の型押絶縁物の回り止め、抜け止めとなるので、支持棒径大部 (5) の外周に軸方向ミジを回り止め用としてとくに設ける必要がない。したがって盲穴 (6) のテーパ縁部 (10) が相当の肉厚となり絶縁物成形の際これがひらいて製品歩留りを低下させるようなおそれがない。なお (11) はブラッシュホルダ取付棒 (3) に設けたナールで型押絶縁物 (5) に対する回り止め用のものである。

(実用新案登録第 497046 号) (鈴木記)



最近における当社の社外講演一覧

講演年月日	主催および開催場所	題 名	講 演 者	所属場所
35-11- 2	日本 IE 協会	メソッドエンジニアリング	吉 川 洸	本 社
"-11- 5	早稲田大学	設備投資と IE	高 田 真 蔵	本 社
"	直江津市および商工会議所	商店経営セミナー——商店照明——臨店指導	小堀富次雄	本 社
"	電気学会東京支部	単相交流整流子電動機の再生制動	河 村 寿 三	伊 丹
"-11- 8	テレビ学会	Image intensification by transmission secondary electron emission. (文献紹介)	西 岡 直	研究所
"-11- 9	精密学会	放電加工の研究 (単発放電痕の生成機構)	齊 藤 長 男	研究所
"-11-10	日刊工業新聞社	電気用ブラシ の摺動特性	森 田 義 男	研究所
"-11-12	神奈川県私学会館	商店経営講座「これからの店舗照明と色彩」	小堀富次雄	本 社
"-11-14	市町村会館	設備投資と ブラントレイアウト	高 田 真 蔵	本 社
"	情報処理学会	電子計算機総合演算の高速化	豊 田 準 三	研究所
"-11-15	粉末技術協会	Mn 系フェライト の焼結	友 森 正 信	大 船
"-11-16	自動制御連合大会	電圧帰還形磁気増幅器	浜 岡 文 夫	研究所
"	機械工作研究会	工作機械の数値制御について	渡 辺 文 明	無線機
"	第 3 回自動制御連合講演会	座標変換計算系の発散と補償	鹿 島 孝	無線機
"	自動制御連合大会	自動最適化装置	真 鍋 瞬 治	研究所
"-11-17	情報処理学会	自動プログラミング MVSE について	菅 忠 義	研究所
"	応用物理学会	最近における CdS の研究について	伊 吹 順 章	研究所
"-11-17	第 3 回自動制御連合会	自動温度制御装置	添 田 実	無線機
"-11-18	"	ホーミングミサイル の運動学的特性	麻 生 和 男	無線機
"	大阪大学	飛翔体制御工学	小田達太郎	無線機
"	電気四学会東海支部	トランジスタリレー制御方式	吉 田 太 郎	名古屋
"	電気通信学会	空洞形パラメトリック増幅器 の広帯域化	白 幡 潔	研究所
"	情報処理学会	MELCOM-LD 1 の インデックス方式 と アウトラット方式	前田祐雄・壺井芳昭	研究所
"	"	遅延線による電子計算機総合演算高速化	豊 田 準 三	研究所
"	"	NOR を使用した組合せ論理回路の Digital Computer による経済的設計	福永圭之助	研究所
"	自動制御連合講演会	リレー要素 による空気圧自動制御	吉 山 裕 二	研究所
"-11-19	電気通信学会	マイクロ波回路 の微少損失測定法	喜連川 隆・中原昭次郎	研究所
"	通信学会	写真測光による電子衝撃陰極の温度分布測定	橋 本 勉	研究所
"	自動制御連合講演会	電子管式時分割形関数乗算器の動特性	桑 田 博	無線機
"-11-20	電気通信学会全国大会	磁気ドラム形遅延正帰還回路	小 林 信 三	無線機
"	"	時分割直線補間式関数発生装置	添 田 実	無線機
"-11-24	荷電ビーム研究会	電子衝撃陰極の特性	岡 田 武 夫	研究所
"	夙川寮	スタッフ のあり方	前 田 幸 夫	本 社
"-11-25, 26	能率協会	IE 組織ゼミナ	前 田 幸 夫	本 社
"-11-25	大阪大学	飛翔体制御工学	小田達太郎	無線機
"-11-26	京都大学	ミリ波レーダ	榎 本 俊 弥	無線機
"	"	工作機械の数値制御について	馬場文夫・小島一夫	無線機
"	精機学会	熱作用として取扱った放電加工の機構	齊 藤 長 男	研究所
"-11-27	電気学会連合大会 シンポジウム	機器絶縁の コロナ劣化 と 耐コロナ製測定法	原 仁 吾	研究所
"	照明学会	水銀灯の色補正	栗 津 健 三	研究所
"-11-27	電気関係学会関西支部連合会シンポジウム	機器信頼度と環境ストレス の検定法	市 田 嵩	無線機
"	電気学会連合大会	超高圧電気機器の最近の動向	新 井 正 元	伊 丹
35-12- 1	夙川寮	最新の管理技術	前 田 幸 夫	本 社
"-12- 2	規格協会	抜取検査	吉 川 洸	本 社
"-12- 5	電気通信学会磁性材料研究会	高周波トランスコア性能 の図表解析	水 上 益 良	大 船
"-12- 7	大阪自動車電機工業会	電装品講習会	市 村 武	姫 路
"-12- 8	石川島・芝浦機械	農発用電装品	市 村 武・市 川 和	姫 路
"-12- 9	名古屋日刊工業新聞社	図面管理の実際	松 尾 準 一	本 社
"-12-17	日刊工業新聞社	工業用半導体整流装置	加 藤 又 彦	伊 丹
"-13-22	電気通信学会磁性材料研究会	フライバックトランス の設計に関する考察	水 上 益 良	大 船

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

本社	東京都千代田区丸の内2丁目3番地(東京ビル内) (電) 和田倉 (201) 大代表 1611
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内2丁目20番地(三菱商事ビル内) (電) 東京 (211) 代表 2511・2531
本社施設部	東京都千代田区丸の内1丁目8番地(仲27号館) (電) 東京 (211) 代表 1261・1271・1281
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目20番地 (三菱商事ビル3階) (電) 東京 (211) 代表 2511
大阪営業所	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り(電)本局(23)代表6231
福岡営業所	福岡市天神町58番地(天神ビル内) (電) 福岡 (5) 代表 6231
札幌営業所	札幌市大通り西1丁目13番地 (電) 札幌 (3) 代表 9151
仙台営業所	仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル内) (電) 仙台 (2) 代表 6101
富山営業所	富山市安住町23番地2(電)富山(2)0151
広島営業所	広島市八丁堀63番地(昭和ビル内)(電)中(2)2211
高松営業所	高松市寿町1丁目4番地(第一生命ビル) (電) 高松 (2) 代表 4416 ビル直通 5021
小倉出張所	小倉市京町10丁目281番地(電)小倉(5)8234
静岡出張所	静岡市呉服町2丁目1番地(電)静岡(2)2595(3)2962
金沢駐在員	金沢市田丸町55番地1(電)金沢(3)6213
岡山駐在員	岡山市内山下30番地(佐々木ビル)(電)岡山(3)2948
研究所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目(電)兵庫(6)代表5041
伊丹製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地(電)長崎(3)代表3101
無線機製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(48)8021
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電)名古屋(73)1531
静岡製作所	静岡市小島110番地(電)静岡(3)0141~0145
中津川製作所	岐阜県中津川市駒場(電)中津川10・54・226
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地(電)和歌山(3)代表1275
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地(電)福岡(4)代表1568
福山市製作所	福山市沖野上町6丁目709番地(電)福山代表2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地(電)姫路代表6900
大船製作所	神奈川県鎌倉市大船(電)大船(067)代表2121
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414)代表8111
郡山製作所	福島県郡山市境橋町1番地(電)郡山1220~1223
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地(電)伊丹代表4736
無線機製作所	東京都世田谷区池尻町(電)東京(414)代表8111
東京工場	札幌市北二条東12丁目(電)札幌(2)3976
札幌修理工場	

次号予定

三菱電機 Vol. 35 No. 4

冷凍・冷房特筆

- 冷凍装置の制御
- 高速多気筒形冷凍機の据付、運転上の注意
- 大形パッケージ冷房装置
- クリネア付ユニット
- ヒートポンプ式ウインドー(窓掛式ルームエアコンディショナ)
- ヒートポンプ
- 冷凍機応用品
- 新小形開放形冷凍機
- オープン・ショーケース
- 熱電冷却用半導体
- クリネア(電気式空気清浄装置)
- 富士製鉄広畑製鉄所納め分塊圧延用9,000kW電気設備
- 最近の抄紙機駆動方式
- 製紙加工機用電機品
- 最近の同期電動機(1)
- 可飽和鉄心とトランジスタを用いた電圧-周波数変換器
- JRR-2 研究用原子炉(3)一製作、組立および試験一
- 変圧器の衝撃電圧試験における印加電圧波形の算定
- 電源開発十津川第一発電所用水車
- 電源開発十津川第一発電所43,000kVA水車発電機および運転制御装置
- 技術解説:最近の距離継電器(1)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	吉村 誠一郎	常任委員	宗山 村 平
常任委員	浅井 徳次郎	委員	田岡 高 一
〃	荒井 潔	〃	片岡 俊 彦
〃	安藤 安二	〃	榎本 善 祐
〃	小川 清	〃	藤原 野 八
〃	小堀 富次郎	〃	前田 祐 彦
〃	高井 得一郎	〃	米 井 上
〃	中野 光雄	幹 事	井 上 八
〃	馬場 文夫	〃	船 橋 正 信
〃	船 橋 正 信	〃	(以上 50 音順)

昭和36年3月17日印刷 昭和36年3月20日発行
「禁無断転載」 定価 1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目3番地 吉村 誠一郎

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 高橋 武夫

発行所

三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部

電話 和田倉(201) 1611

販売元

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 (291) 0915・0916 振替東京 20018

最近開通した東京の地下鉄

昨年 12 月開通した東京都営地下鉄 1 号線用電車 (軌間 1,435 mm)

東京都地下鉄第 1 号線 (押上～馬込間 17.3 km) のうち、押上～浅草橋間 3.3 km が今回開通した。東京都営としては最初の地下鉄道で、2 両永久連結車である。京成電鉄、京浜急行電鉄が相互乗入れ直通運転されるので、パンタグラフ集電装置 が用いられ、電車線電圧は直流 1,500 V である。

地下鉄としての高加、減速性能と郊外線としての高速性能を兼ね備え、車体は全金属製不燃構造で軽量化されている。

さしあたり 16 両設備され、当社はつぎの電機品を納入した。

主電動機 85 kW × 4/両
空気制動装置
ファンデリヤ (通風および排気用)
暖房器

2 月開通した帝都高速度交通営団 荻窪線用電車 (軌間 1,435 mm)

現在営業中の池袋～新宿間 (丸の内線) を荻窪まで延長工事中のところ 今回

新宿～新中野間 3 km

中野坂上～中野富士見町間 1.9 km

が開通した。荻窪線開通に伴い、荻窪線・丸の内線用として新車 56 両が建造され、さらに 10 両追加建造中である。当社はつぎの電機品を納入した。

主電動機 75 kW × 4/両
W-N 駆動方式

制御装置
電動発電機
空気制動装置
電気連結器
ファンデリヤ (通風用)



3 月開通予定の帝都高速度交通営団 日比谷線用電車 (軌間 1,067 mm)

日比谷線 (北千住～中目黒間 30.1 km) の一部 南千住～仲御徒町間 3.7 km が今回開通する。この線には東京急行電鉄、東武鉄道がそれぞれ中目黒・北千住で乗入れるので パンタグラフ集電装置 が用いられ、電車線電圧は直流 1,500 V である。

車両にはわが国最初の自動列車制御装置が取付けられ、外板はすべてステンレス張りのステンレスカーで、全線開通の暁は 6 両編成で運転される。さしあたり 16 両設備され、当社はつぎの電機品を納入した。

主電動機 75 kW × 4/両
W-N 駆動方式

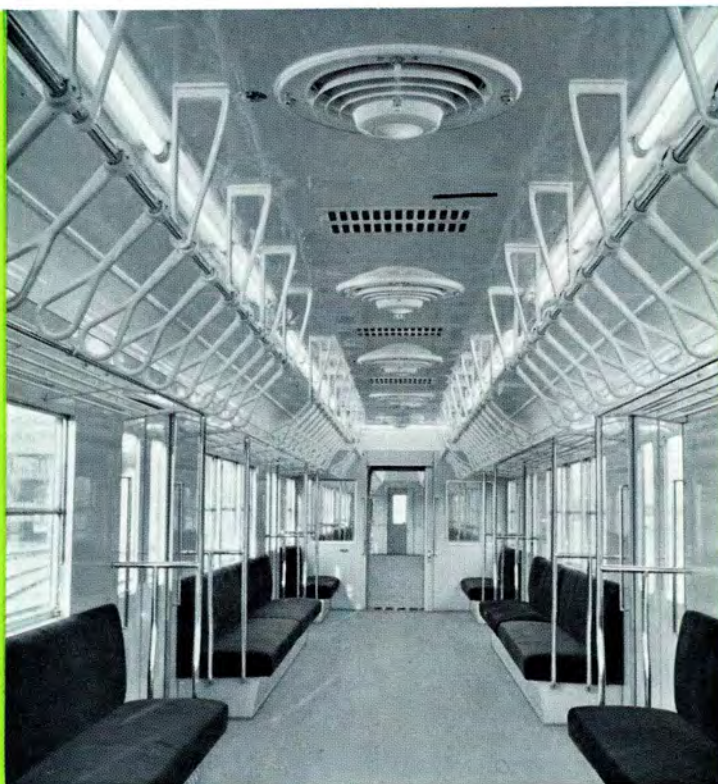
制御装置
空気制動装置
自動列車制御装置
ファンデリヤ (通風用)
暖房器



三菱車両用 ファンデリヤ

帝都高速度交通営団 日比谷線用
車両 16 両に今回も当社の 40 cm
ファンデリヤ (1 車両に 6 個) が採用
された。

従来のは定格電圧直流 200 V
であるが、今回のは交流三相 50 c/s
200 V として性能を上げるととも
に従来別途に設備されていた予備
灯を ファンデリヤ中心部の 化粧カパー
の中に納めて客室内の装飾効果を
一段と高めた。



東京都営地下鉄 1 号線用車両 16
両には当社 40 cm ファンデリヤ が採
用された。

定格電圧交流二相 60 c/s 200 V で
1 車両に 8 個取付けられ、うち 2 個
は排気専用として換気効率の向上
を図っている。

