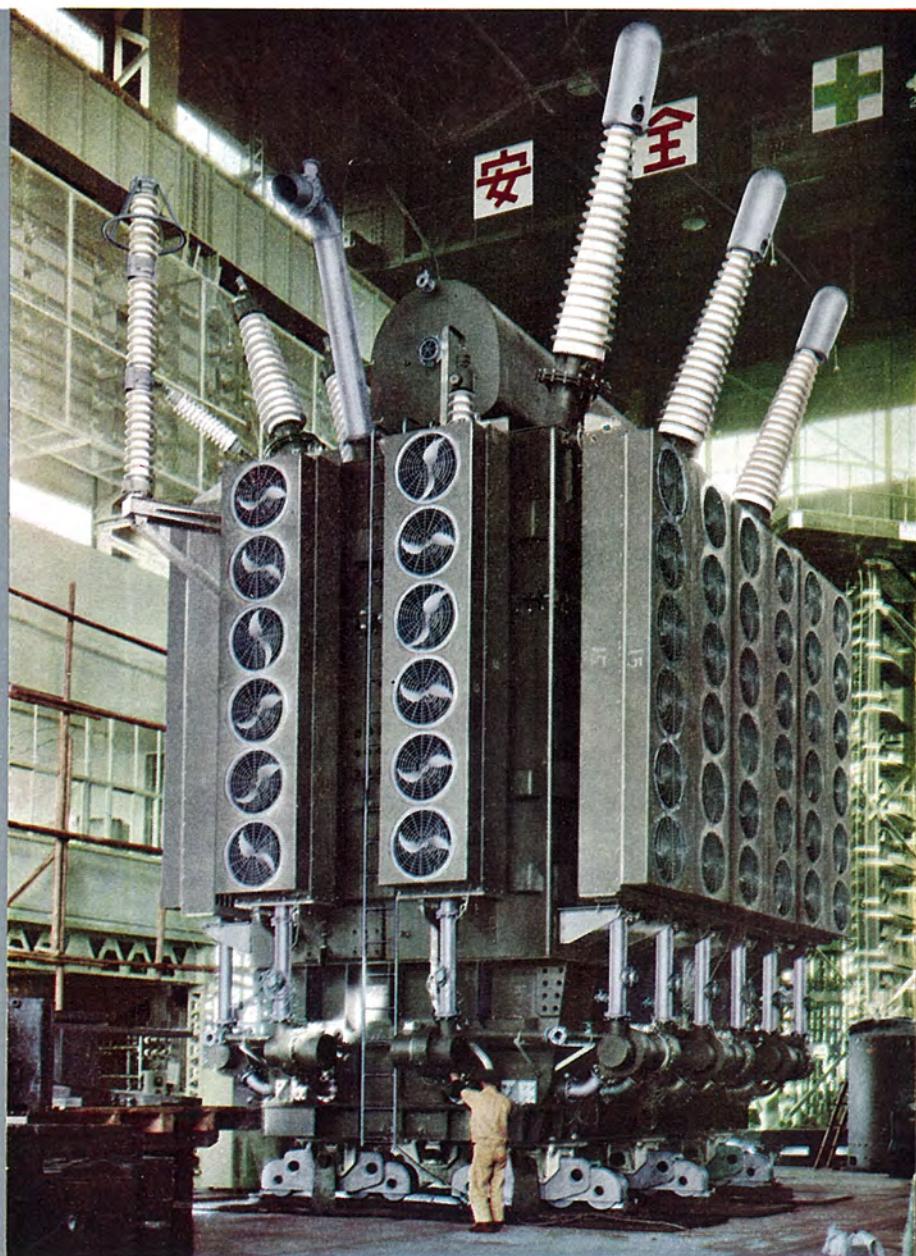


MITSUBISHI DENKI

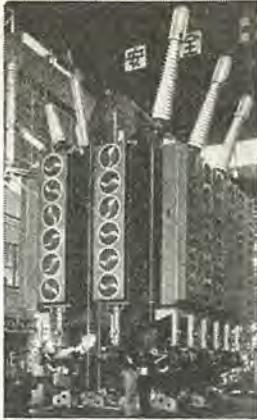
# 三菱電機



電源開発株式会社南川越  
変電所用 312,000 kVA  
特別三相式超高压変压器

3

VOL 33 1959



MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

## 表紙説明

この変圧器は、わが国最大容量の記録的製品であり、外鉄形変圧器の特長を発揮した特別三相式構造の採用による各相分割輸送と、米国アームコ社の優秀な冷間圧延方向性ケイ素鋼板を使用して磁束密度を高く設計し、重量、寸法を軽減することにより、組立輸送を可能とした点でも注目すべきものである。

一次	275-262.5-250 kV	240,000 kVA
二次	147 kV	264,000 kVA
三次	15.4 kV	120,000 kVA
等価容量		312,000 kVA
50 c/s 特別三相式		
外鉄 Form-Fit 形送油風冷式		
重量	500,000 kg	油量 90,000 l

## 三菱電機株式會社

本社 東京都千代田区丸の内（東京ビル）  
(電) 和田倉(20) 代表 1631・2331  
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町  
伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
長崎製作所 長崎市平戸小屋町  
無線機製作所 水戸市南清水  
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町  
家庭電器工場 静岡市東区矢田町  
静岡工場 静岡市小鹿町 110  
中津川工場 岐阜県中津川市駒場町  
和歌山工場 和歌山市今宿青木町  
福岡工場 福岡市今宿青木町  
福岡工場 福岡市沖野上町  
姫路工場 姫路市千代田町  
大船工場 姫路市千代田町  
世田谷工場 世田谷区池尻町  
郡研究所 研究所  
無線機製作所 東京都世田谷区池尻町  
札幌修理工場 札幌市北二条東 12  
東京商品営業所 東京都千代田区丸の内 2-20  
(三) 菅商事ビル 2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  
(電) 本局(23) 代表 6231  
福岡営業所 福岡市渡辺通り2丁目(電気  
ビル内)(電) 福岡(2) 代表 6031  
札幌営業所 札幌市大通リ西1丁目(大通  
ビル)(電) 札幌(2) 代表 7236  
仙台営業所 仙台市東一一番丁 63  
(電) 仙台(2) 代表 6101  
富山営業所 富山市安住町 23 の 2  
(電) 富山 4692・5273・2550  
広島営業所 広島市袋町 6(富国生命ビル)  
(電) 中(2) 2211  
高松営業所 高松市寿町 1丁目4(第一生命  
ビル)(電) ビル代表 2-5021  
直通代表 2-4416  
小倉出張所 小倉市京町 10丁目(五十鈴  
ビル)(電) 小倉(5) 8234  
静岡駐在員 静岡市呉服町 2丁目1番地  
(電) 静岡(2) 2595(3) 2962  
岡山駐在員 岡山市浜田町 20番地  
(電) 岡山(3) 2098

昭和 34 年 第 33 卷 第 3 号

## 目次

交流低圧架空ネットワーク方式	東松孝臣・鈴木利彦	2
配電線用放出形避雷器の動作記録	東松孝臣・鈴木利彦	12
特急“あさかぜ”用電熱器	野畠昭夫	18
特急“あさかぜ”冷暖房装置	石川嘉孝・牛田善和	25
京都市交通局トロリ・バス用新形式電動機および制御装置		
	宮内圭次・松本安弘	30
距離繼電器と将来の動向	北浦孝一	40
7.2 kV 共通タンク形油入シャンク	平田康夫	51
放射線励起による CdS 単結晶の伝導性	伊吹順章	56
三菱 SM 形安全ブレーカ	武藤 正・松尾昭二	62
高性能水銀拡散ポンプ	藤永 敦	68
電気式水位調整器	渡辺 宏	74
2,500 Mc 帯 SS-FM 方式多重無線通信装置		
	樋本俊弥・北垣成一・阿部 修・中根茂樹	81
東京タワー向けエレベータ	河合武彦	88

### 技術解説

火力発電シリーズ：ボイラの自動燃焼制御装置 (A.C.C.) (3)	93
------------------------------------	----

### W 社文献抄訳

ヤンキー発電所……原子力発展の新しい一步・自動厚み制御・電気暖房・自動 ガス切断器・新しくすえ付けられた SF <sub>6</sub> ガスシャンク・新しい原子炉用 発生器	98
---	----

### ニュースフラッシュ

放電加工機ダイアックス・チューブラービン誘導発電機受注・シリコン整 流体の試作完了・高温で使われる導電性ゴム・大形変圧器組立工場完成・富士製 鉄広畑製鉄所向け分塊圧延機用 9,000 kW イルグナ式電機設備受注・八幡製 鉄光製鉄所向け 100 kV 受電設備 1式受注	101
--	-----

### 特許と新案

(特) 密閉形直結励磁機 (新) 噴流形洗タク機の回転翼	104
------------------------------	-----

### 次号予定

# 交流低圧架空ネットワーク方式

関西電力株式会社 東松孝臣\*・鈴木利彦\*

## AC Low Voltage Overhead Network System

Kansai Electric Power Co. Takaomi HIGASHIMATSU · Toshihiko SUZUKI

Modernization of distribution systems has brought a stage to alter the old system radically and various arrangements have been put into practice, on the high voltage side. In line with this trend and for the improvement of the service, it has been keenly felt that something must be done on the low voltage side as well. The Kansai Electric Power Co., since 1957, has been trially employing a low voltage banking or low voltage network system and has finally decided to carry them into effect. The first project is a completion of three phase four wire low voltage banking system in common use for light and power services on a distribution line in a certain territory of Osaka.

### 1. まえがき

配電方式の近代化によって、旧来の方式を根本的に改良する段階となり、配電線の高圧側についてはすでに都市の昇圧、ループクシ形配線の実施など着々とすみつかるが、この際同時に低圧方式をも改良してサービスの向上をはかるため、低圧バンキング方式や低圧ネットワーク方式の必要性が痛感されるに至り、当社配電課においては昭和32年度よりこれら的方式の実施をすすめてきたが、いよいよ試験的実施の段階から、本格的実施の段階に発展しつつある。すなわち、すでに当社各支店の都市営業所においては、電灯、動力共用三相四線式低圧バンキング方式を完成し、また千日前地区の一画にわが国初めての低圧架空ネットワークを完成し、さらにこれらを拡大しようとしている。

以下本稿において、低圧架空ネットワークの概要を述べ、千日前地区ネットワーク方式の設計および運転などについて紹介することとする。

### 2. 低圧架空ネットワーク方式の概要

交流低圧ネットワーク方式は、高度の信頼性および融通性が要求される地域の配電方式として、理想的なものであることは周知のとおりである。

この低圧架空ネットワーク方式が世界で最初に行なわれたのは、1926年にアメリカのノックスビル市であり、その後多くのネットワーク方式が各地でなされてきた。

負荷の軽い場所であまり信頼度を必要としないところにおいては、このようなネットワーク方式を採用すること

とは不必要であり、不経済であるが、負荷が重く、信頼度や正常電圧の保持などを高度に要求されるような場所においては低圧線を強化したり、動力および電灯用に対して別々の変圧器、低圧線を使用する手段をとるよりも、ネットワークにするほうが有利である場合が多い。そのためこの低圧ネットワーク方式はその負荷の性質によって、それにいちばん適した方式がとられるのは当然である。

図2.1に交流低圧ネットワークの一般的な回路網を示す。需要家負荷に対しては低圧網から供給され、低圧網への供給は、ネットワークユニットを通じて行なわれる。各ユニットは変圧器およびネットワークプロテクタからなっており、普通、2回線あるいは3回線の一次フィーダにより供給される。そしてこれらのフィーダは互に隣り合う変圧器がおののおの異なったフィーダに接続されるように組合わされる。

正常状態においては負荷は変圧器の位置、定格、二次線の太さおよび需要家負荷の大キサ、位置などに応じて

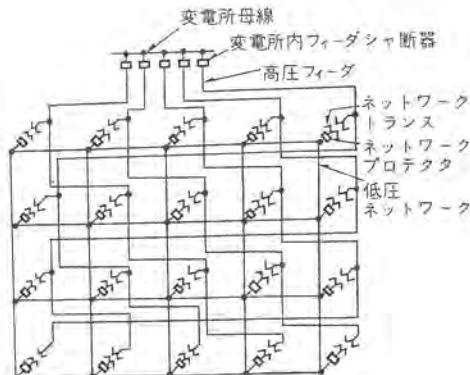


図 2.1 交流低圧ネットワーク  
Fig. 2.1 AC low voltage network.

最善の電圧状況が保持されるように分配される。しかして一次フィーダに事故が発生した場合には、その事故回線は、それに接続されているフィーダシャン断器とネットワークユニットのプロテクタの動作により、需要家への供給を停電することなく自動的に除去される。ネットワークプロテクタはリレーにより、プロテクタを通じて逆方向に、すなわち低圧側から高圧側に電流が流れるとときに開くように自動的に動作する。そして電圧状況が、プロテクタの閉じたときに二次幹線へ流れ込む状態にあれば、リレーはプロテクタを閉じるように働く。すなわちもし一次フィーダの事故が起れば、フィーダシャン断器が動作してそのフィーダをシャン断し、その回路につながるネットワークプロテクタが低圧側からの逆流を防ぐためを開く。そして事故復旧の後、その回路が生きるとネットワークプロテクタは電圧状況がよければ閉路する。

変圧器事故は、フィーダの事故と同様に除去される。二次幹線の事故は事故個所の焼け切れ、あるいは事故区間の両端にあるリミタの動作により除去される。架空ネットワークでは電線が焼け切れてたれ下るのをさけるために、後者によるのがふつうである。いずれにしてもリミタの溶断、あるいは導線の焼け切れに十分な電流が流れるよう考えなければならない。弧光事故は、普通使用される二次電圧では、アーキが持続することもなく自然に消滅する。

ネットワーク方式においては、たとえ1回線が停電してもおののの変圧器がいちじるしい過負荷になることなく全需要家に供給できるよう設計されているため、隨時、保守、点検、試験などのために1フィーダあるいは変圧器ユニットを系統から分離することが可能で、かつ停電時間の延引を憂えて急いで作業する必要もない。このようにネットワーク方式は他のどの方式よりも信頼性があり、電圧状況が良好で、負荷の増加およびネットワーク供給地域の拡張に対しても融通性があり、運転および保守が容易であるなどの利点のために、現在米国においては約250の都市がネットワーク方式を採用している。

### 3. 負荷構成と架空ネットワーク方式

ネットワーク方式を実施する場合に、その負荷の規模により、種々の段階に分けてネットワーク方式を計画することが必要である。

#### 3.1 重負荷地域ネットワーク

米国においては、都市の重負荷地域にはおもに地中交流低圧架空ネットワーク方式・東松・鈴木

圧ネットワークが実施されているが、わが国において現在架空配電線で供給されている大都会の重負荷地帯は、架空低圧ネットワークで供給しうる典型的な区域である。一般にこれらの地域は一つあるいは二つの目抜き通りに沿って数ブロックに分れ、この1ブロックの容量は数百 kVA である。これはだいたい 1 km<sup>2</sup> あたり 10,000 kVA に相当する。

低圧ネットワークの二次幹線の環状配線を作るには、その地域の配電線が目抜き通りに平行した場合が都合よく、その路地の配電線を結んで環状を作ればよく、目抜き通りの横断部分は地中線とすることが望ましい。そして不平等負荷の均等をはかるため、環状線の数を多くし、この環状を互に結ぶことがよい。

これらの地域には2回線またはそれ以上のフィーダが必要で、許される限りなるべく回線数を多くしたほうが変圧器容量の点などからも有利である。

#### 3.2 スポットネットワーク

スポットネットワークとは、2回線以上のフィーダで供給し、二次側のバスを共通にして、それから需要家負荷に供給する方式で、重負荷架空配電線供給地域では非常に有利な方式とされている。図3.1はスポットネットワークの概要である。

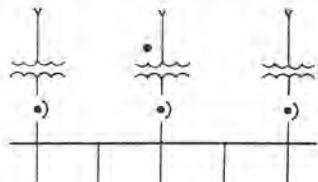


図 3.1 スポットネットワーク  
Fig. 3.1 Spot network.

この変圧器ユニットは、その負荷の大キサによって定めるわけで、たとえば、225 kVA 2ユニットを使用する場合には、だいたい 300 kVA の負荷に供給することができ、3ユニットでは、600 kVA まで、500 kVA 3ユニットでは 1,300 kVA 程度の負荷に供給できる。この場合もちろん各ユニットは別々のフィーダから供給される。

スポットネットワークでは、各変圧器が分散しているネットワークよりも各変圧器に平等に負荷されるため、同じ負荷に対して変圧器容量を小さくすることができる。

多くの場合、ビルディングのような集中重負荷に供給するため、このスポットネットワークから始め、その周辺の負荷が増大するにつれて、隣り同志のスポットネットワークの二次幹線を互に結び、一般の分散ネットワークを形成していく。

#### 3.3 小負荷地域ネットワーク

このネットワークは負荷はそれほど大きくはないが、

負荷が重要なため停電できない小さな商業地域や映画館などのある 200~300 kVA 程度のブロックからなる地域に適用される。そのためネットワークの専用フィーダを設ける必要がなく、変圧器容量もあまり大きくすることは不経済である。またプロテクタも価格を安くし、しかも十分な信頼度をもつものを考慮しなければならない。

このようにフィーダは一般樹枝状配電線の一部であるため、停電しても早急に復旧しなければならない。そこでごくまれに起る事故時以外はすべての変圧器は運転されているため、変圧器容量は少なくてすむ。したがって 1 フィーダが停電した場合に、ピーク時でも過負荷にならないように十分な裕度をみて設計されている一般のネットワークとはちがって、この小負荷地域ネットワークの変圧器容量は正常においてピーク時にだいたい容量いっぱいになるように施設される。また小負荷ネットワークプロテクタは、フィーダ間の電圧差などのためにしばしば動作するのをさけるため感度を落すのが普通である。

二次線は両端を結ばない線形のものと、図 4.1 に示すように両端を結ぶ環状のものとがあり、その線路容量は一般のネットワークよりもいくぶん大きい。それは 150 kVA あるいはそれ以下の変圧器を使用し、変圧器間隔も比較的大きいため電圧降下に制限されるためである。

この小負荷ネットワーク方式は、一般のネットワーク方式よりも設備容量を小さくでき、専用線を必要としないなどの面から、多くの場合現在の高圧線や支持物などをそのまま使用することができて、あまり資金を投入することなく信頼度の高い供給が可能になるため、わが国において行なえるもっとも効果的な方式であると考えられる。

#### 4. ネットワークの設計

##### 4.1 必要な資料

(1) 負荷の性質、大キサと位置およびピーク時の最大負荷、力率、とくに大口負荷については詳しく調査する。その上将来の需要増加を想定して設計することが大切である。

(2) ネットワーク地域に供給する一次フィーダの数、電圧、太さ、容量、変電所からの距離などを知らなければならない。とくに何回線で供給するかということは所要変圧器容量とも直接関係があるので重要である。さらに電圧調整が十分であるかどうか、また 1 回線または 2 回線が止っても全負荷を他の回線で供給しうるかど

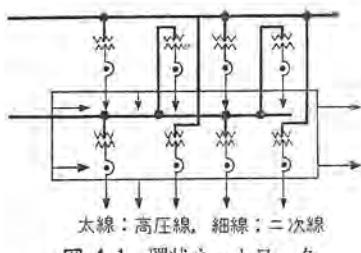


図 4.1 環状ネットワーク  
Fig. 4.1 Ring network.

うかを調べる。

(3) ネットワークに供給するフィーダの変電所の容量が十分であるかどうかを調べる。

(4) 現行設備でネットワーク方式にしても使えるかどうかを知るために現存設備を検討する。

(5) その他ネットワークの設計、運転に関する必要事項をすべて調査する。

基礎資料が正確で完全であればあるほど計画は容易になしいうるものである。

##### 4.2 二次格子と負荷の設定

設計の第 1 歩は二次格子（二次線）の設計である。これには負荷の位置と現存の二次線のルートを利用して不足の場所に二次線を加える。

つぎに変圧器ユニットの位置の選定であるが、負荷が集中している場合はよいが、分散している場合には幹線の接続点に集中する。その一つの方法として負荷と接続点との距離に逆比例して接続点間の各負荷を分配する。このようにすればどの接続点においても、そのおのおのの合計は、その点における等価集中負荷となるからである。

##### 4.3 変圧器の選定

つぎに変圧器の大キサとその位置を決定しなければならない。前にものべたように変圧器の大キサは方式の種類、負荷の大キサ、フィーダの組合せおよび容量などによって決まつてくるが、変圧器の容量を大きくすれば間隔は大きくなり、電圧降下を一定範囲におさめるために二次線は太くなる。しかしここで考えなければならないことは一次側のフィーダ、変圧器、ネットワークプロテクタ、二次線を総合し、将来の需要増加に対する裕度も考慮して年支出を最小になるよう決定しなければならないということである。

変圧器の容量決定に際し一次フィーダの組合せやその回線数が重要な要素となる。一般に変電所が停電しないかぎりピーク時に 2~3 回線同時に止まる確率は非常に小さいと考えられるため、1~2 回線停電した場合にそ

表 4.1 ピーク負荷/全変圧器容量(ネットワーク方式)

フィーダー数	米国実施例
2	0.4
3	0.54
4	0.58
5	0.60
6	0.61

の他の一次フィーダにつながっている変圧器で、この負荷に供給しうるよう合計変圧器容量を決定すればよい。表 4.1 に米国の実施例における一次フィーダの回線数に対するピーク負荷と変圧器容量との比率を示す。

変圧器の位置は、大口負荷や集中負荷が大きいところに置くわけであるが、だいたい変圧器間隔は 200~300m 以下が望ましい。変圧器の容量もあまり種類を多くすることは、予備変圧器やプロテクタの貯蔵量が多くなりユニットの取扱いが困難である。また大容量の変圧器が事故を起すと、その点の負荷は二次幹線を通じて供給されなければならないため、大きい二次幹線銅量を要し経済的に不利である。そのためなるべく同容量のものとし、間隔も同じようにするのが望ましい。

つぎに変圧器のインピーダンスボルトは 4~6% にすることが望ましい。低インピーダンスボルトの場合は電圧変動率がよく、高インピーダンスボルトにすれば事故時における健全変圧器の間の負荷の分配がよくなる。米国においては 5~5.5% の間に標準をおいている。

#### 4.4 二次線の太さ

二次線の太さを定めるには通過容量、電圧変動率および既存の二次線を検討することが必要である。

二次線の通過容量は変圧器容量の約 1/2~1/3 である。これは変圧器直下より引込線があり、1 回線停電または変圧器が故障した場合隣りの変圧器から供給する場合の通過容量を考慮した値である。

#### 4.5 一次フィーダの形態と変圧器との接続

一次フィーダはだいたい樹枝状になっているため、樹枝状配電線の設計と同様である。しかしここで重要なことは電圧変動が許容値以内にはいっているかどうかということである。そのため電線の太さと変電所からの距離および電圧調整器があるかどうかなどをよく検討しなければならない。

ネットワーク変圧器への一次フィーダの接続は、どれか 1 回線のフィーダが停電した場合、できるだけ隣接変圧器が停電しないようにしなければならず、これは変圧器の組合せをうまくすることによってなされる。

変圧器が規則正しく一様に配置されているような理想

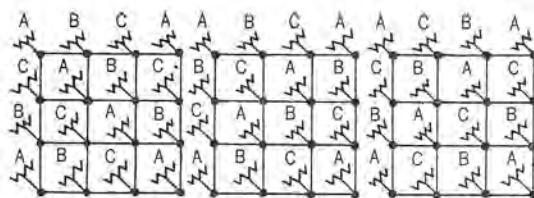


図 4.2 3 フィーダと変圧器との組合せ  
Fig. 4.2 Combination of feeders and transformers.

的な区域であると仮定した場合、3 回線で供給する場合の高压線とネットワーク変圧器との接続は図 4.2 のようになる。実際にはこのようなことは不可能であるが、できるだけ基本形にすることが望ましい。

#### 4.6 ネットワークプロテクタの特性の設定

以上の概略の設計によって一応定めた種々の回路構成のインピーダンスに基づいて、交流計算盤によって計算を行ない、正常状態および故障状態における電圧、電流分布を求めて検討すると同時に、ネットワークプロテクタの特性を設定しなければならない。

ネットワークプロテクタは、上述のとおり、ネットワーク変圧器の低圧側にあって、自動再閉路特性および開閉制御の機能をもつとも簡単な構造のもとに満足させるようにした一種のシャンク装置である。このプロテクタの特性の設定は、ネットワークの設計のもっとも重要な部門の一つで、その運転の良否を決定するものである。まず逆電力シャンク特性は、一次フィーダあるいはネットワーク変圧器短絡事故の場合には相当な逆電流が流れるが、非接地高圧配電線の接地事故の場合には、最悪の場合それがネットワーク変圧器を低圧側から励磁する程度の小さい値であり、この場合にもただちにこの逆流をシャンクするものとしなければならない。しかしあまり感度を高めると誤動作のおそれもあり、十分に系統の特性を考えてそれに合致したものとしなければならない。直接接地系においては、いずれの事故の場合も故障逆電流値は十分大きいため、ディセンシティブリレーにより逆電力シャンク特性の設定を大きくして、安定度の向上をかかるのも一つの方法である。

つぎに事故が復旧して、ネットワークプロテクタが開かれている変圧器が一次側から充電してきた場合には、シャンク器の電源側の電圧がネットワーク側の電圧よりもやや高く、かつ位相が少し進んでいるという場合に限ってプロテクタは再閉路する。これが過電圧投入特性で、この設定にあたっては、高圧および低圧側の電圧降下を十分に検討しなければならない。

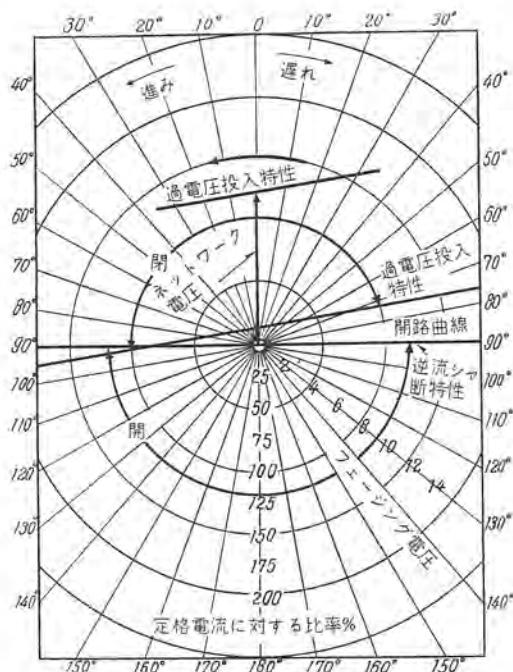


図 4.3 マスター リレーの投入およびシャ断特性

Fig. 4.3 Closing of a master relay and interruption characteristics.

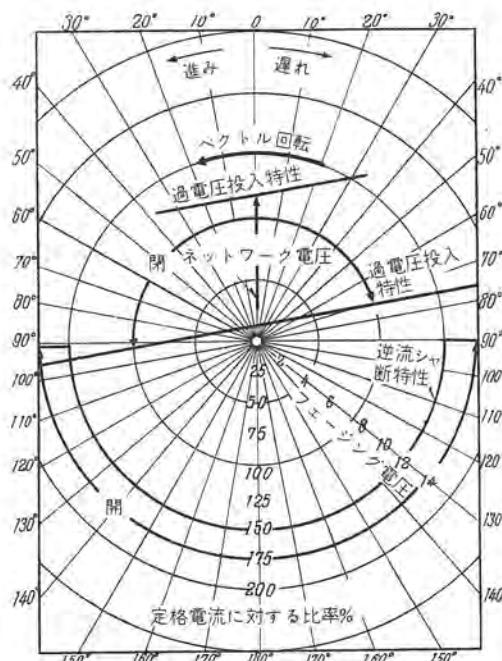


図 4.4 ディセンシティブリレーを用いた場合の投入およびシャ断特性

Fig. 4.4 Closing and interruption characteristics when relays are used.

以上の逆電圧シャ断特性および過電圧投入特性をもつたリレーがマスター リレーで、この特性を図 4.3 に示す。また図 4.4 にディセンシティブリレーを用いた場合の投入およびシャ断特性を示す。

ネットワークプロテクタには、この他に電圧と電流の関係によって起るボンピング現象を防止するための位相

リレーを備えることがあるが、これはとくにマスター リレーの特性の設定を高感度にする場合に、運転の安定をはかるために有効である。

## 5. 千日前地区における低圧ネットワークの実施例

この工事は当社の低圧配電方式近代化の一端として、規模は比較的小さいが、将来大規模なネットワークを実施する場合の基礎を確立することを目的として計画し、実施したもので、昭和 33 年 7 月竣工し、現在満足すべき営業運転を行なっている。

### 5.1 当地区の概要

当地区は千日前道頓堀の繁華街で、当社でももっとも重負荷地域に属し、かつ高度の信頼度が要求されるところである。工事前にこの地区に供給していた一般配電線は、道頓堀配電線と坂町配電線の 2 回線で、その他に劇場専用線として北劇配電線があった。これらは千日前変電所から地中ケーブルでこの付近に立ち上っている、3 kV 架空配電線（将来は 6 kV となる）で、対象地区内の設備は表 5.1 に示すとおり 95% は電灯用変圧器であった。

表 5.1 千日前ネットワーク地区設備状況

種別	配電線名	現状			ネットワーク		
		道頓堀	坂町	計	道頓堀	坂町	計
電灯変圧器	台数	2	17	19			
	容量	35	350	385			
動力変圧器	台数	1	4	5			
	容量	5	23.5	28.5			
合計	台数	3	21	24			
	容量	40	373.5	413.5	9	270	270
低压引込口数	電動計	12	97	109			
	容量	2	7	9			
	計	14	104	118			
支持物本数		4	21	25	10	15	25
高圧需要家軒数		0	2	2	1	0	1

当地区のネットワークは高圧線路はできるだけ現状形態にとどめて、前記高圧 2 回線で供給することにしたので、これら配電線はネットワーク以外の負荷も供給することになり、ネットワークとしては小負荷地域架空ネットワーク方式を採用したわけである。

### 5.2 基本設計

図 5.1 に当地区ネットワーク方式の一次フィーダ、二次格子、変圧器配置を示す。ネットワーク変圧器は図のとおり 6 パンクとし、1 パンクは単相 30 kVA × 3 台とした。その仕様は表 5.2 に示すとおり最新形巻鉄心変圧器とし、インピーダンス電圧は 5.4% で、とくに過負荷耐量については、150% 過負荷まで考慮が払われている。結線は一次側 △、二次側 Y の三相四線式直接接地とし、し

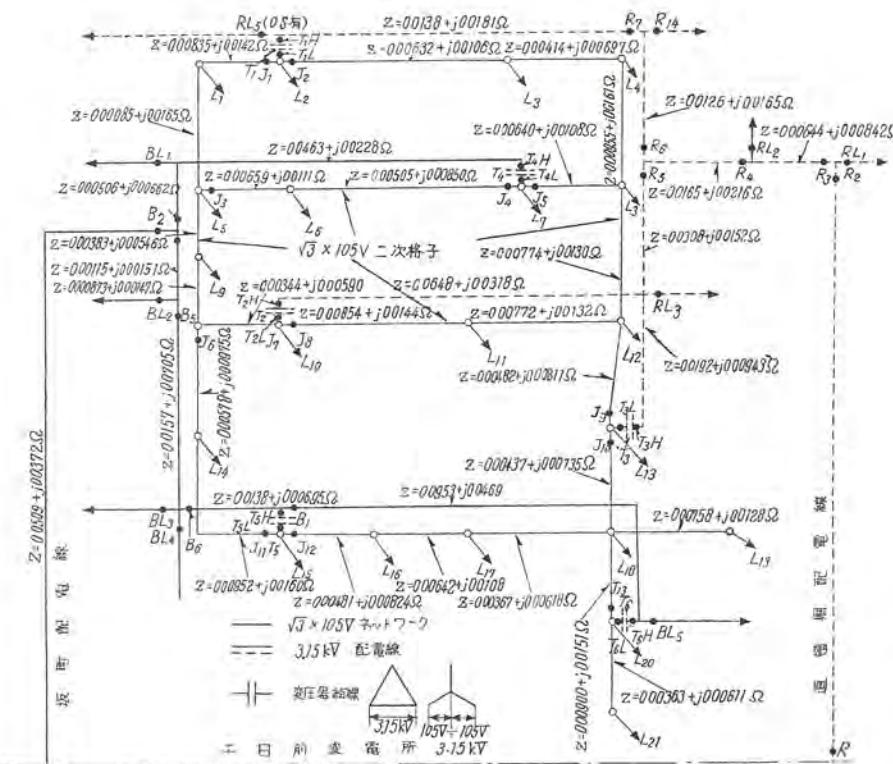


図 5.1 千日前ネットワーク系統図

Fig. 5.1 Network system diagram in Sennichimae, Osaka.

表 5.2 (a) 単相 30 kVA 卷鉄心形変圧器の特性

	巻鉄心形変圧器 (A)	従来形の標準 変圧器 (B)	JISC-4304 の規格値	A (%) B (%)
励磁電流 (%)	1.53	3.45	4.5	44.4
鉄損 (W)	123	155	200	85.8
銅損 (W)	414	446		92.7
全損失 (W)	537	601		89.4
能率 (%)	98.24	98.04	97.8	
電圧変動率 (%)	1.518	1.50	1.6	
短絡電圧 (%)	5.43	2.35		

(b) 定格負荷連続の場合の温度上昇

卷鉄心形変圧器	油 (°C)	一次巻線 (°C)	二次巻線 (°C)
	35.0	48.5	47.0

(c) 定格負荷連続運転に引続き 150% 負荷 2 時間運転後の場合の温度上昇

卷鉄心形変圧器	油 (°C)	一次巻線 (°C)	二次巻線 (°C)
	50.0	73.5	68.0

(d) 単相 30 kVA 卷鉄心形変圧器の重量および外形寸法

	巻鉄心形変圧器 (A)	従来形標準変 圧器 (B)	A (%) B (%)
油量 (l)	59	73	81.0
重量 (含油) (kg)	225	287	78.5
左右寸法 (mm)	710	725	
奥行寸法 (mm)	630	540	
高さ寸法 (mm)	820	930	

たがって二次側電圧は 100/173 V となり、200 V 負荷に対しては、173/200 V の三相あるいは単相三線式のオートトランジスタを使用し、当社の電柱にとりつけた。

プロテクタは以前に大阪市電時代に地中ネットワークに用いられたものを、三菱電機神戸製作所の配電盤設計課において、後述のとおり修理調整して使用した。また

交流低圧架空ネットワーク方式・東松・鈴木

二次幹線には 80 口の OW 電線を使用し、引込線には DV 電線を使用した。

### 5.3 二次格子電圧電流分布の計算盤による検討

以上の基本設計を交流計算盤にかけて二次格子の電圧電流分布を測定し、それによって定常時および故障時の状況および変圧器容量などについて検討した。その計算項目は表 5.3 に示すとおりで、その回路構成は図 5.1 に示すとおりである。

計算方法としては、便宜上、回路を三相平衡回路とみなし、表 5.3 の計算項目中、(1)～(3) および (5) は正相回路を、(4) は  $\alpha$  回路および O 回路を組んで計

表 5.3 千日前ネットワーク計算項目

項目	計算番号	回路条件	測定項目
(1) 定常運転状態	1-1	全点 in	電圧・全負荷点 電流・全変圧器二次リード 全線路区間 全負荷点
ネットワーク分離状態	1-2 off	ネットワーク分離点	# 1-1 同じ
	1-3 off	ネットワーク分離点 および変圧器分離点	#
(2) R 線停電	2-1	T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , off	電圧・全負荷点 電流・T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> 二次リード 全線路区間 全負荷点
B 線停電	2-2	T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub> , off	電圧・全負荷点 電流・T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub> 二次リード 全線路区間 全負荷点
3-1 全 Trin	3-1-1 T <sub>1</sub> の二次側にて短絡	電流 #	全線路区間
	3-1-2 T <sub>2</sub>	#	#
	3-1-3 T <sub>3</sub>	#	#
	3-1-4 T <sub>4</sub>	#	#
	3-1-5 T <sub>5</sub>	#	#
	3-1-6 T <sub>6</sub>	#	#
3-2 R 線停電	3-2-1 T <sub>1</sub>	電流 #	全線路区間
	3-2-2 T <sub>2</sub>	#	#
	3-2-3 T <sub>3</sub>	#	#
	3-2-4 T <sub>4</sub>	#	#
	3-2-5 T <sub>5</sub>	#	#
	3-2-6 T <sub>6</sub>	#	#
3-3 B 線停電	3-3-1 T <sub>1</sub>	電流 #	全線路区間
	3-3-2 T <sub>2</sub>	#	#
	3-3-3 T <sub>3</sub>	#	#
	3-3-4 T <sub>4</sub>	#	#
	3-3-5 T <sub>5</sub>	#	#
	3-3-6 T <sub>6</sub>	#	#
(4) 電圧線と中性線の短絡故障電流分布 (中性線には 38° の imp を挿入する)			
(5) 将來の負荷増を見込んだ場合	5-1～5-21	各負荷点に単位電流を流しておのおのの電流分布を測定する	

算した。また大地帰路および高圧側回路は省略した。

#### (1) 定常時および高圧 1 回線停電時の電圧電流分布

定常時すなわち坂町、道頓堀の両回線で運転されている場合の電流分布を図 5.2 に示す。この場合変圧器の負

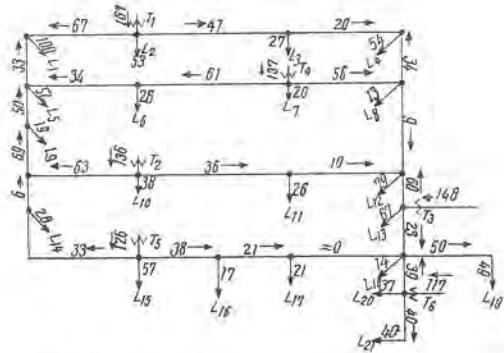


図 5.2 千日前ネットワーク定常時電流分布

Fig. 5.2 Network current distribution in regular hours.

表 5.4 変圧器負荷測定結果（1 相あたり）

變壓器	定常 (kVA)	時	道頓相配電線停電 (kVA)	坂町配電線停電 (kVA)
T <sub>1</sub>	16.7		0	24.9
T <sub>2</sub>	13.6		0	25.3
T <sub>3</sub>	14.8		0	30.0
T <sub>4</sub>	13.7		31.6	0
T <sub>5</sub>	12.6		26.1	0
T <sub>6</sub>	11.7		21.3	0

荷は表 5.4 に示すとおり定格の約 1/2 程度であるが、どちらかのフィーダが停電した場合には、変圧器負荷は定常時の 2 倍、すなわち定格容量近くかかることになる。

この場合も計算結果から見ると各変圧器が比較的均等に負荷されており、かつその時の低圧線の電圧は最悪の場所で 95.3 V であり、変圧器の配置は適切と考えられる。またこの変圧器の過負荷耐量から見て、このままの状態で将来 150% 程度の負荷増まで供給しうることが確認できた。

## (2) 負荷増に対する検討

この地区の将来の負荷増加に対するは、上述のとおり現状の 150% 程度まではこのままで送電可能であるが、それ以上の増加については対策を考えなければならぬ。その対策資料としていかなる点にいかなる負荷がかかっても、ただちに各変圧器の負荷分担および各部の電流分布を知ることができるよう Current distribution

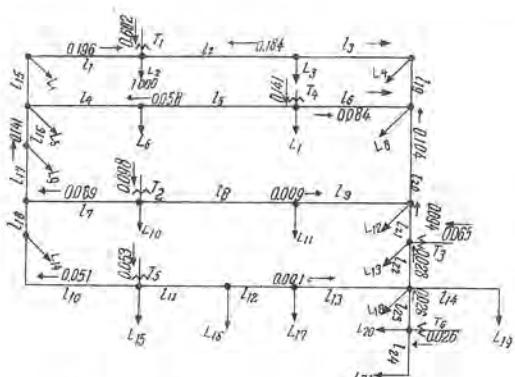


図 5.3 千日前ネットワーク  $L_2$  に対する  
current distribution factor.

Fig. 5.3 Current distribution factor for network  $L_2$

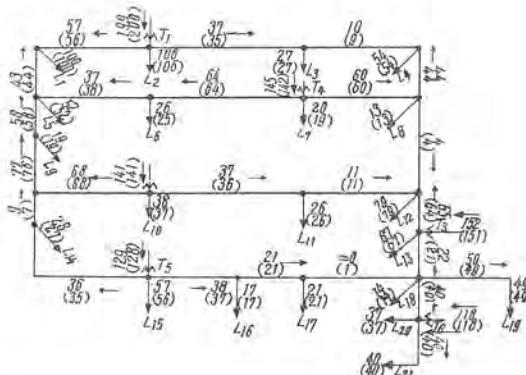
factor を求めた。すなわち各負荷点に単位電流を流したときのおののおのの電流分布を求めたわけで、その一例を図 5.3 に示す。これは負荷点  $L_2$  に対する Current distribution factor であるが、このようにして各負荷点について求めておけば、負荷点  $L_1, L_2, \dots, L_m$  の任意の点に任意の大キサの負荷  $U_1, U_2, \dots, U_m$  が負荷された場合の変圧器  $T_1, T_2, \dots$  および線路の各部  $i_1, i_2, \dots$  の電流  $i_1, i_2, \dots, i_n$  は式 (5.1) で計算することができる。当回路のマトリクスを式 (5.2) に示す。

$$\begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_m \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

$$\begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.425 & 0.602 & 0.474 & 0.392 & 0.210 & 0.172 & 0.140 \\ 0.172 & 0.098 & 0.113 & 0.122 & 0.255 & 0.182 & 0.127 \\ 0.082 & 0.065 & 0.104 & 0.127 & 0.098 & 0.103 & 0.106 \\ 0.192 & 0.141 & 0.200 & 0.236 & 0.248 & 0.400 & 0.519 \\ 0.089 & 0.053 & 0.062 & 0.066 & 0.131 & 0.004 & 0.066 \\ 0.034 & 0.026 & 0.038 & 0.045 & 0.042 & 0.040 & 0.038 \end{pmatrix}$$

0.195	0.153	0.100	0.109	0.118	0.066	0.105	0.052	0.053
0.141	0.337	0.490	0.337	0.174	0.104	0.267	0.124	0.115
0.181	0.104	0.106	0.205	0.307	0.454	0.109	0.115	0.178
0.326	0.184	0.129	0.157	0.185	0.105	0.129	0.066	0.070
0.080	0.169	0.125	0.115	0.105	0.114	0.318	0.550	0.430
0.062	0.048	0.045	0.075	0.104	0.146	0.063	0.085	0.143

$$\begin{pmatrix} 0.054 & 0.054 & 0.054 & 0.026 & 0.026 \\ 0.102 & 0.093 & 0.093 & 0.044 & 0.045 \\ 0.260 & 0.314 & 0.313 & 0.148 & 0.151 \\ 0.078 & 0.081 & 0.081 & 0.036 & 0.037 \\ 0.277 & 0.182 & 0.180 & 0.084 & 0.085 \\ 0.217 & 0.268 & 0.267 & 0.650 & 0.640 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_{20} \\ U_{21} \end{pmatrix} = \dots \quad (5.2)$$



上側数字: Current distribution factor よりの計算値と定常時分布との重ね

Fig. 5.4 Current distribution of load-multiplying

図 5.4 は図 5.3 の Current distribution factor を用いて  $L_2$  の負荷が 2 倍になったときのおのの電流増加分を算出し、これを図 5.2 の分布に重畠してそのときの電流分布を求めたものである。この図の（）内の数値は計算盤によりおのの電流を直読した値で、上記の算出値とよく一致していることがわかる。

### (3) 故障時の電流分布

三相短絡時の電流測定結果から見ると、高圧2回線運転時に変圧器直下で短絡を行なった場合が最大で、11,560 Aに達している。二次格子のこのような短絡事故に対する保護方式としては、一般に地中の場合に考えられる電線の焼き切れは架空の場合は危険なため、リミタを用いることにした。

### 5.4 ネットワークプロテクタとその特性の決定

当地区に用いたネットワークプロテクタは、上述のとおり、約20年前に同地区において実施された地中ネットワークに用いられた米国W社製のものを、三菱電機配電盤設計課において修理調整して架空用に改造したもので、その特性の設定については、交流計算盤により、この地区的ネットワーク方式の運転の安定度を確保できるように検討して決定したものである。その外観を図5.5に示し、また接続図を図5.6に示す。

#### (1) 高圧側の短絡事故時のシャ断特性

この場合もっとも問題となるのは、シャ断器のシャ断

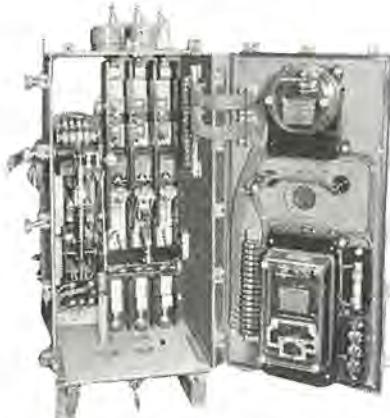


図 5.5 ネットワークプロテクタの外観  
Fig. 5.5 Network protector.

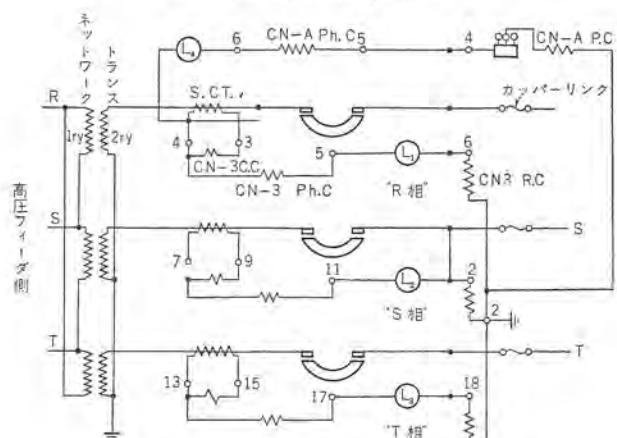


図 5.6 ネットワークプロテクタ CN-3, CN-A の組合せ三相接続図  
Fig. 5.6 Combined three phase connection diagram of network protector CN-3 and CN-A.

表 5.5 一次フィーダ短絡故障時のプロテクタトリップ状況

計 算 序	条 件	測定点	V (V)	I (A)	シ ン 断 容 量 (kVA)
1	全 T あり	T1L	13.65	1,490 51.8°	470
		T2L	21.4	2,250	710
	三相短絡	T3L	T 28.9	3,000	945
	故障	T4L	78	2,950	
		T5L	82.5	2,200	
		T6L	67	1,620	
2	T <sub>3</sub> open 同上故障	T1L T2L	17 T 27.2	1,800	
3	T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> open	T1L	T 23.5		
4	T <sub>4</sub> open 3 <sup>rd</sup> -S 故障	T1L T2L T3L T4L T5L T6L	5 13.3 T 22.6 — 80.2 88.3		
		T1L T2L	9	2,000	
		T1L	T 17	1,730	
		T1L T2L T3L	14 21 T 21		
		T1L T2L	17 T 26		
9	T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> open	T1L	T 23		

容量およびトリップコイルの電圧である。これについて交流計算盤により計算した結果の一例を表5.5に示す。

この結果より当地区的プロテクタに要求されるシャ断容量は1,000 kVA以下であり、またトリップコイルの電圧は最小  $17 \times \sqrt{3} = 29.5$  Vで、トリップ可能電圧以上となり、いかなる最悪の場合にもシャ断可能なことが確認された。

#### (2) 高圧側の接地故障時のシャ断特性

非接地高圧配電線の接地故障の場合は(1)と異なって逆流値が非常に小さい場合があり、したがって逆電力シャ断特性の決定が問題となる。この地区的ネットワーク方式はこれに供給する一次側フィーダの両回線ともネットワーク地区以外の地域に供給しているため、どちらかのフィーダが変電所出口でシャ断された場合には他のフィーダにつながるプロテクタを通じてこのネットワーク以外の地区への負荷を供給するよう流れれるため、逆流値は或る程度大きくなりシャ断は容易である。しかし故障の発生が深夜などのように、軽負荷時で、しかも二重事故か何かで大きな分岐が開放されているような場合には、逆流値はきわめて小さくなることが予想される。

このような最悪事態を考えると、リレーの感度を上げることが要求されるが、あまりに高感度にすると誤動作のおそれがあるので、6台のプロテクタの感度を同一にせず、逆流シャ断値を定格電流値の1%のものを1台、1.5%3台、2%2台とした。このようにすると、誤動作の心配もなく軽負荷時にも安全に動作させることができた。

### (3) 故障復旧後の投入特性

当系統において過電圧投入特性がもっとも問題となるのは、変圧器  $T_1$  のところであり、この点について最悪状態を想定して計算の結果

$$\Delta e = 4.57 + j1.76 \text{ V}$$

となり、同相で 0.8 V の設定値でよいことが確認され、これを他のすべてのプロテクタにも適用した。

以上でネットワーク方式の設計上もっとも重要な部門の一つであるプロテクタの特性の決定が完了したわけである。

### 5.5 運転

ネットワークでは供給方式が従来の樹枝状方式とは根本的に異なるので、その運転に際してはあらかじめ運転要則を作成しておき、日常の保守および事故時の操作はすべてこの運転要則に従って実施されなければならない。ことに高圧 1 回線が停止しても低圧側は残りの高圧線により充電されていること、ならびにネットワークに供給するいずれかの高圧線の事故時に、ネットワーク側から変圧器側への逆流シャンク装置として使用されるネットワークプロテクタの動作を熟知しておくことが運転上不可欠のことであり、日常保守に際してもプロテクタを中心実施することが必要である。

すなわちプロテクタの開閉標示灯の点灯状態についてはたえず注意し、かつ 6 ヶ月に 1 回程度開扉の上内部点検を行ない、繼電器位相コイル抵抗用ランプの断心およびプロテクタの動作回数などについてチェックする必要がある。またプロテクタ内のヒューズ、リミタヒューズおよび変圧器一次側開閉器ヒューズの溶断はプロテクタ

表 5.6 各種運転状態における開閉器の状態

運転状態	ネットワーク運転中		停電中			
	柱上変圧器 1 パンク停電中 ネットワーク低圧二次側作業のため停電(停電パンクについて)	柱上変圧器 1 パンク停電中 ネットワーク低圧全停電(停電パンクにつれて)	柱上変圧器 1 パンク停電中 高圧全回線停電中	柱上変圧器 1 パンク停電中 高圧全回線停電中	柱上変圧器 1 パンク停電中 高圧全回線停電中	柱上変圧器 1 パンク停電中 高圧全回線停電中
開閉器	高圧全回線送電中 高圧 1 回線停電中	高圧 1 回線停電中	閉路	閉路	閉路	閉路
変電所 OCB	閉路	1 回線開路 1 回線閉路	閉路	閉路	閉路	閉路
プライマリーカットアウト	閉路	閉路	閉路	閉路	閉路	閉路
取扱位置	自動位置	自動位置	自動位置	自動位置	自動位置	自動位置
ネットワークプロテクタ	C, B	停電回線接続分開路 (青色点灯) 送電回線接続分開路 (赤色点灯)	閉路(赤色点灯 ただしリミタおよびプライマリ開路により消灯)	閉路	閉路(点灯なし) 1 回線分閉路(点灯なし) 他は閉路(点灯なし)	閉路
プロテクタ二次側ヒューズ	閉路	閉路	事故相溶断	閉路	閉路	閉路
低圧線保護用リミタ	閉路	閉路	事故パンクの区分リミタ事故相溶断(事故復旧のため各相開路)	停電パンクの区分リミタ開路	開路作業により開路	閉路
引込線用ケッチャヒューズ	閉路	閉路	閉路	閉路	閉路	閉路

表 5.7 ネットワーク切換前後の変圧器負荷状況

配電線名	ネットワーク供給柱上変圧器			ネットワーク切換前負荷状況		ネットワーク切換後負荷状況	
	パンク番号	相別	変圧器容量(kVA)	最大負荷(kW)	利用率	最大負荷(kW)	利用率
道頓堀配電線	1	赤	30	15.2	50.7	11.0	36.7
		青	30	16.3	54.5	13.1	43.6
		黄	30	13.0	43.4	17.4	58.0
坂町配電線	2	赤	30	26.2	87.2	15.4	51.4
		青	30	20.2	67.3	16.0	53.4
		黄	30	13.0	43.4	10.4	34.7
坂町配電線	3	赤	30	3.1	10.3	9.6	32.0
		青	30	3.4	11.3	13.6	45.4
		黄	30	2.9	9.7	9.6	32.0
坂町配電線	4	赤	30	14.4	48.1	18.0	60.0
		青	30	17.2	57.5	15.0	50.0
		黄	30	22.4	75.0	18.6	61.1
坂町配電線	5	赤	30	3.0	10.0	16.4	54.8
		青	30	5.4	18.0	19.2	64.0
		黄	30	11.2	37.4	10.0	33.3
坂町配電線	6	赤	30	13.2	44.4	12.5	41.5
		青	30	18.0	60.2	10.8	36.2
		黄	30	15.6	52.2	11.6	38.7

の機能を失うおそれがあり、これらは容易に溶断するものであってはならない。すなわちプライマリーカットアウトにはヒューズの代りに銅線を挿入すべきで、二次側のヒューズも電流容量の十分大きいものとし、6 カ月に



図 5.7 ネットワーク変圧器およびプロテクタの装柱

Fig. 5.7 Mounting pole of network transformer and protector.

1 回程度は定期的にこれらを点検しなければならない。

当日前日ネットワークに対しては、上述の点を加味した次の 4 項目からなるネットワーク運転要則を作成して日常運転の指針としている。

(1) 正常運転の条件

(2) 各開閉器の操作基準

(3) 運転操作

(4) 保守

このうち、(2) 各開閉器の操作基準の中でネットワークの各種運転状態における開閉器

の開閉状態を表にすれば表 5.6 のとりである。

## 5.6 効 果

ネットワークの実施により、

- (a) 無停電供給によるサービスの向上
- (b) 各変圧器バンク間の電力融通による供給力の増強および電圧変動の改善
- (c) 都心部重負荷地帯架空配電線としての装柱の近代化

などの効果をあげることができた。

### (a) 無停電供給

從来当地区においてはだいだい年間1需要家あたり平均停電回数5~6回、延停電時間15~20時間程度であったが、工事後はこれが皆無となるものと期待される。

この効果の実績として、去る8月25日襲來した台風第17号により当ネットワークに供給している2配電線のうち坂町配電線が停電したが、ネットワーク地区は残りの道頓堀配電線により無停電供給を続けた。

### (b) 供給力の増強

表5.7にネットワークの切換前後の変圧器の電流測定結果を示す。これからみてもわかるとおり、変圧器の二次側をすべて連けいし、かつ三相四線式として電灯電力共用にしたため、変圧器バンク間や電灯負荷と動力負荷間の不等率を利用して負荷融通が行なわれ負荷増に対する弾力性を有することとなる。また変圧器は利用率150%までの過負荷に耐えるよう設計されているが現在各変圧器バンクの利用率は平均約45%で、当地区の年間負荷増加率を14%とみて、今後少なくとも5年間は

現設備のままで供給可能となり、新增設工事費の節減ならびに申込受付から送電までの時間を短縮できて需要家サービスの向上を期待できる。

### (c) 装柱の近代化

当地区は道頓堀の繁華街で看板などの建造物ははんぎつをきわめ、かつ重負荷地帯のため各柱に変圧器が鈴なりとなり、これの改善は重大な問題であった。経済性および立地条件から地中線化は簡単に実施できず、当面の対策として即応性のある架空方式で切抜けることを考えた。このためまず変圧器の大容量集中配置化を行なうことにし、巻鉄心変圧器によって大容量変圧器の小形軽量化を計り、図5.7のように30kVA3台、計90kVAの単柱装柱を可能とし、はんぎつな都市形態における架空配電線の一つの解決方法を確立した。

## 6. む す び

以上都市架空配電線の近代化としての架空低圧ネットワークについて述べたが、これはわが国の実情にもっとも即した方式として、今後広く推進されるものと考えられ、千日前のネットワークも34年度には約3,000kVAに拡大する計画である。

しかしこのような重負荷地帯においては、最後の理想的な供給方式はやはり地中ネットワーク方式であり、負荷の急増に即応する架空ネットワーク方式を実施しながら、一方百年の大計をたてて、経済性および立地条件のゆるすところから、地中方式へ移行することを考えている。

# 配電線用放出形避雷器の動作記録

関西電力株式会社 東松孝臣\*・鈴木利彦\*

## Operation Records of Expulsion Type Lightning Arresters for Distribution Line

Kansai Electric Power Co. Takaomi HIGASHIMATSU・Toshihiko SUZUKI

There have been a variety of countermeasures for the lightning hazard on distribution lines. However, the complicated arrangement of distribution lines, relative high prices of arresters compared with protected apparatus, and doubts on the dependability of the conventional protective apparatus hamper the diffusion and establishment of the decisive countermeasures. But from the viewpoint of the continuity of power supply, the problems should not be left neglected. The Kansai Electric Power Co. has made exhaustive studies on expulsion type arresters installed on the distribution line in a certain territory and has obtained much information with operation records, which will no doubt make a contribution to set up the countermeasure in future.

### 1. まえがき

配電線の雷害対策については、従来から種々の方法が行なわれてきたが、配電線の形態が複雑なこと、避雷器の価額が被保護機器に対して割高なこと、さらには従来の避雷器の信頼性に問題があったことなどが原因となって、まだ全面的な雷害防止対策が確立されていない状態である。電力供給の信頼性を高めるためにはたとえ天災といえどもその被害を最少限に止める必要があるが、配電線はごく一部を除いては架空方式であるため、台風や雷による被害を受けやすく、とくにこれらによる被害は、同時にしかも広範囲にわたって発生するので、これらの対策はもっとも重点的に行なう必要がある。すなわち台風に対しては、支持物の強化や電線の離隔を十分にとることによりかなり被害をくい止められるが、こと雷に対しては、これらの設備強化対策は、セン絡によって生ずる短絡電流で、二次的に発生する断線、混線などの事故を軽減できても根本的な対策となり得ないのは当然で、絶縁協調を十分考慮した線路を構成しなければならない。今参考までに、配電線の停電事故のうち、雷害によるものを昭和26年から年度別に統計をとれば表1.1のとおりで、全停電回数は最近激減しているにもかかわらず、雷害事故件数は減少せず、雷害事故率は年々上昇する傾向にあることがわかる。かかる状勢の下で、関西電力においては配電線耐雷設計基準確立のため昭和32年から一連の研究に着手し、32年には検討すべき項目を決定し、まず柱上変圧器の衝撃絶縁耐力の試験から着手

表 1.1 雷害事故率経年変化

年 度 別	26	27	28	29	30	31	32
雷による停電回数 A	589	914	1,249	460	547	735	783
全停電回数 B	24,212	13,914	56,044	30,188	8,713	7,534	5,833
A/B×100 (%)	2.4	6.6	2.2	1.5	6.3	9.8	13.4

したが、33年にはいって全国の電力会社が協同してこの問題の解決にあたることになったので、これと歩調を合わせ、引続き変圧器の試験を続行することとも、耐雷モデル配電線を選定して雷実測を行なった。以下33年度実施した雷実測結果につき報告する。

### 2. 耐雷モデル配電線

関西電力管内で過去の襲雷ひん度の高い地区から7配電線を耐雷モデル配電線として選定し、配電線に現われる雷電圧ならびに避雷器の放電電流の実測を行なった。すなわち都市環状6kV配電線として大阪北支店・中の島変電所引出の出入橋・玉江橋の2配電線、都市近郊住宅地区樹枝状3kV配電線として大阪南支店花園変電所引出萱振配電線と、これに隣接した志紀変電所引出高安配電線、農村地区樹枝状3kV配電線として京都支店向日町変電所引出川岡配電線、同じく大久保変電所引出横島配電線および滋賀支店草津変電所引出西配電線の7配電線である。これら耐雷モデル配電線は図2.1の雷雨発現回数分布図からもわかるように、当社管内ではもっとも襲雷の多い地区である。この配電線に表2.1に示す「避雷器取付基準(暫定)」に従って、三菱電機の6kV、3kVの弁形ならびに放出形避雷器の取付けを行なった。とくにモデル配電線が同一地区に隣接してある南支店の萱振

配電線と高安配電線とでは、管内雷雨発現回数分布図とモデル配電線によれば、避雷器取付基準によって避雷器を 102 個取付け、高安配電線には取付基準を下回って避雷器の取付を 57 個にとどめ、両者の比較ができるように考慮した。

避雷器の接地側には、付磁コイルを取付け、これに磁鋼片を挿入して避雷器放電電流を測定した。付磁コイルは図 2.2 に示すように各相の接地側に設けるのを原則と

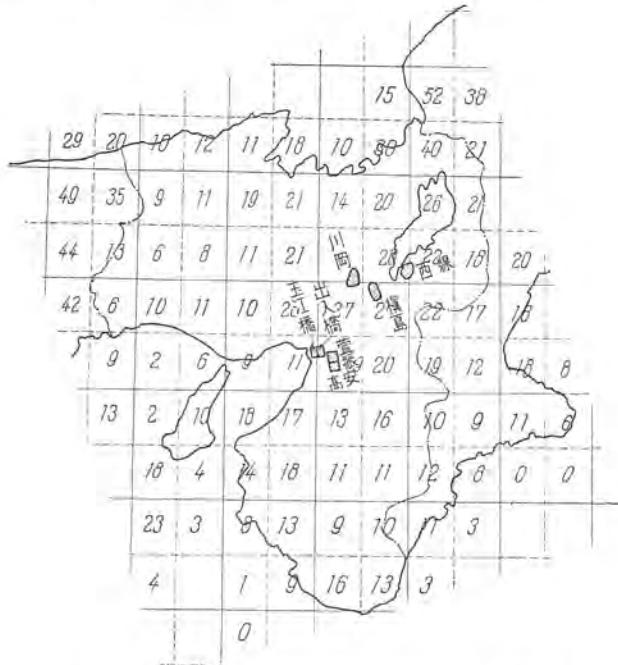


図 2.1 当社管内雷雨発現回数分布図とモデル配電線  
(1月～12月 昭和 26～30年 5年平均)

Fig. 2.1 Number of lightning storm occurrence distributed over the territory and model distribution line.

表 2.1 配電線用避雷器取付基準（暫定）

配電線用避雷器の設置は暫定的に下記により実施すること。	
(1) 基本事項	
(1-1) 避雷器の適正配置については、過去の要雷ひん度とともに、対象地区を選定し、下記の取付順位、取付位置ならびに取付方法により設置すること。	
(1-2) 避雷器の設置は、被保護機器との関係位置を十分考慮して行ない、200 m 以内に重複して取付することのないようにすること。	
(1-3) 過去の実績から見ても、同一支持物の最上段回線の被雷率が高いので、まず最上段回線の保護を対象にすること。	
(1-4) 避雷器の種類により設置場所の選定は、電力用変圧器、キ電線ケーブルの立上り部分には弁形避雷器を、その他の部分には放出形避雷器を使用すること。	
(1-5) 本暫定基準に該当しない地区ならびに機器に対しては、指示のあるまで取付ないこと。	
(2) 取付順位	省略
(3) 機器との関係位置	省略
(4) 取付方法	避雷器の取付方法は、標準柱柱によって行なうものとする。
(4-1)	本線と避雷器の接続は、コンタクトまたは巻付法により行ない、開閉装置は取付けない。
(4-2)	避雷器専用腕木（金）は使用せず、本線の腕木（金）に取付けること。
(4-3)	避雷器の接地は接地端子標準施工によること。

表 2.2 33 年度 避雷器放電電流測定個所一覧表

大阪北支店扇町営業所中の島変電所引出				大阪南支店 布施営業所				京都支店下當稲所				京都支店伏見営業所				滋賀支店大津営業所				合計				
出入橋配電線	玉江橋配電線	花園変電所	志紀変電所	向日町変電所	川崎配電線	大久保変電所	草津変電所	出入橋配電線	櫛鳥配電線	取調定不磁鋼片付個所能個所取付數														
Ar 取調定不磁鋼片付個所能個所取付數	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—													
相別	3	—	12	2	—	8	7	—	21	4	—	12	—	—	—	—	6	—	18	22	—	71		
一括	9	—	9	4	—	4	28	—	28	15	—	15	36	10	26	31	—	31	54	23	31	177	33	144
小計	12	—	21	6	—	12	35	—	49	19	—	27	36	10	26	31	—	31	60	23	49	199	33	215

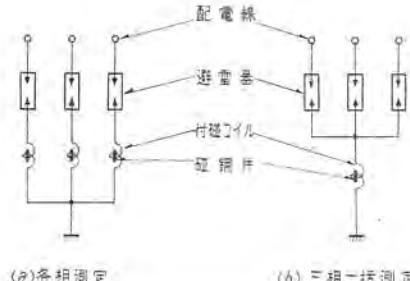


図 2.2 避雷器放電電流測定用磁鋼片取付状況  
Fig. 2.2 Mounting of magnetic steel piece for the measurement of arrester discharging current.

したが、装柱や測定上困難なものは、接地側を一括した部分にとり付けた。配電線ごとに避雷器ならびに磁鋼片の取付状況を表 2.2 に示す。

### 3. 取付避雷器

前記の避雷器取付基準に従い弁形ならびに放出形避雷器を取付けたが、大阪市内 6 kV 配電線路には、対象地区が繁華街であり、放出形避雷器よりも弁形が適當なことと 6 kV 放出形避雷器の準備が間に合わなかったので全部弁形避雷器を取り付けた。しかし他のモデル配電線は市街地を経過するものも少なく、また電圧も 3 kV なため大部分を放出形とした。また避雷器の取付方法としては図 3.1 に示すように避雷器を本線の腕木(金)に取付け、しかも本線と避雷器との接続は從来実施してきたように中間にガイシ形開閉器やプライマリカットアウトのような開閉器類を挿入せず本線にジカ付けとした。これは装柱の簡素化と工事費の節減に大いに役だったが、この思い切った工事方法に切換えたのは、開閉器の挿入に

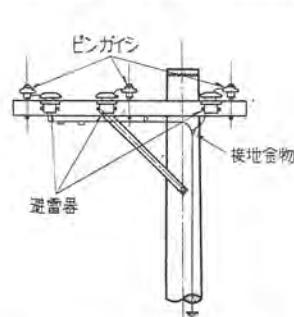


図 3.1 避雷器取付標準特性  
Fig. 3.1 Standard mounting method of arresters.

より不必要的避雷器の開放を避けるのと、最近における避雷器の特性の向上に信頼を置いたためである。

避雷器の接地工事は工規に定められた第一種接地工事とすべく種々の工事方法により接地抵抗値の低下に努めたが、砂地

表 3.1 避雷器接地抵抗値

接 地 抵 抗 値	個 所 数
10 Ω 以下	83
10~30 Ω	77
30~50 Ω	28
50~100 Ω	8
100 Ω 以上	3
計	199

などの部分では規定値まで下げるのが困難なものもあり、総数 199 個所に対する接地抵抗の分布は表 3.1 のとおりとなった。このうち抵抗値の高いものは、順次改修する予定はあるが、改修費も多額となることが予想され、効果的な接地工法の研究が痛感される。

#### 4. 測 定 結 果

33 年 6 月 15 日から 9 月 30 日までの測定期間中耐雷モデル配電線には表 4.1 に示す襲雷があり、避雷器が動作して合計 75 個の磁鋼片記録が得られた。磁鋼片の検査は襲雷後できるだけすみやかに現場におもむき測定し、たび重なる襲雷により磁鋼片の記録が重複することを避けた。

今、得られた記録を各配電線ごとに、電流 100 A 間隔に分類すると表 4.2 に示すとおりで、磁鋼片取付 215 個に対し 75 個が記録しており、平均 35% の記録率が得られた。電流側の記録では 100~400 A のものが全体の約 60% を占めているが、1,000 A を超過するものも 10% 程度得られた。また電流の極性は負極性のものが 70% で、正極性のものに比べると圧倒的に多い。図 4.1 に放電電

表 4.1 耐雷モデル配電線への襲雷状況

襲雷日時	配電線名	配電線被害状況
7月 26日	柳島(京都)	なし
8月 2日	柳島(京都)	なし
〃	(滋賀)	ヒューズ切れ 5 個所
9月 1日	川岡(京都)	浦入閉開器焼損 1 台
9月 2日	萱振(大阪南)	変圧器焼損 3 台 ガイシ形閉開器 1 個
9月 12日	西	高圧線断線 1 個所
計		6 回

表 4.2 33 年度耐雷モデル配電線避雷器放電電流測定結果

測定結果	放電電流値(A)	配電線名							百分率(%)
		出入橋(北)	王江橋(北)	萱振(南)	高安(南)	川岡(原)	柳島(京)	西(滋)	
	1~99				2		2	2	2.7
	100~199			2	2	9	3	16	21.4
	200~299		7		4	2	3	16	21.4
	300~399			5	3	3	3	14	18.7
	400~499			3				3	4.0
	500~599				1	1	2	4	5.3
	600~699			2			3	5	6.7
	700~799				1	1	2	4	5.3
	800~899						2	2	2.7
	900~999						2	2	2.7
	1,000~1,099						1	1	1.2
	1,100~1,199				1	1		2	2.7
	1,200~1,299		1		2			3	4.0
	1,300~1,399							0	0
	1,400~1,499							0	0
	1,500~1,599						1	1	1.2
	計	0	0	20	0	14	19	22	75 100
	磁鋼片取付数	21	12	49	27	26	31	49	215
	平均記録率	0	0	0.41	0	0.54	0.61	0.45	0.35

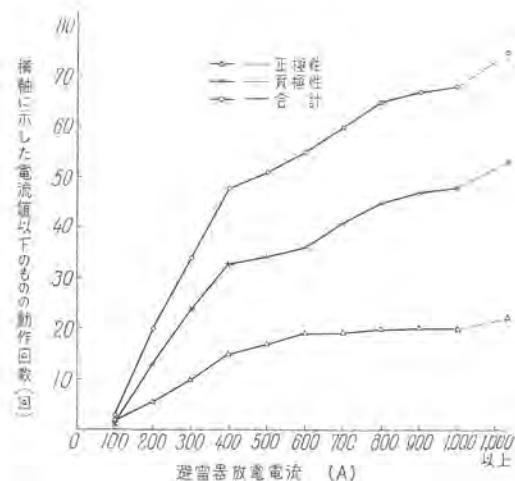


Fig. 4.1 Diagram of discharging current distribution.

流の分布を示す。

なおクリリドノグラフによる雷電圧の実測も行なったが、取扱上の不備の点もあって、記録としては大したもののが取れなかった。

#### 5. 測定結果の検討

##### 5.1 線路形態による分類

配電線路は送電線に比べると線路形態が非常に複雑であり、樹枝状を呈するものが多いが、配電線を図 5.1 のように本線・分歧線・枝線の三つに大別してこれに施設された避雷器（磁鋼片をつけたもの）とその動作回数を線路末端からの距離別に求めて線路形態による避雷器の動作状況を比較してみた。その結果は表 5.1 のとおりでこれを集約したものを表 5.2 に示す。この表からみると本線部分の避雷器の動作率が 42% であるのに対して、分歧線・枝線部分は 65% で 1.5 倍の動作率を示している。また線路末端からの距離別に動作状況を求める表 5.3 のとおりで線路末端から 6 柱間以上の動作率 49% に対し 5 柱間以内は 63% で 1.3 倍の動作率を示していることがわかる。

このことから、避雷器の取付けは本線部分よりも分歧線・枝線に集中して取付け、かつなるべく線路末端に取付けるのがもっと効果的であることが測定結果からも明了となった。

##### 5.2 電 流 値

避雷器の放電電流値は前述のように大部分が 100~400 A で 1,000 A をこえるものも 10% 程度あり、

表 5.1 放電電流測定場所別分類

		大阪南支店		京都支店				滋賀支店	
		萱振配		横島配		川岡配		西配	
		測定個所	動作回数	測定個所	動作回数	測定個所	動作回数	測定個所	動作回数
枝 線	末端	0	0	2	0	0	0	0	0
	末端より1柱間	1	0	2	2	0	0	1	1
	" 2 "	1	0	0	0	0	0	0	0
	" 3 "	1	0	1	0	1	0	0	0
	" 4 "	2	1	0	0	0	0	0	0
	" 5 "	0	0	1	2	1	1	0	0
分 岐 線	6柱間以上	1	1	2	0	2	1	2	0
	末端	1	1	5	5	0	0	2	1
	末端より1柱間	0	0	1	1	1	0	0	0
	" 2 "	1	1	0	0	1	1	1	1
	" 3 "	1	0	0	0	0	0	3	2
	" 4 "	2	1	0	0	0	0	0	0
本 線	" 5 "	2	1	1	0	1	1	0	0
	" 6柱間以上	4	2	3	4	3	2	12	10
	末端	0	0	1	0	0	0	0	0
	末端より1柱間	0	0	0	0	1	0	1	0
	" 2 "	0	0	0	0	0	0	0	0
	" 3 "	1	1	1	3	0	0	0	0
枝 線	" 4 "	1	0	0	0	0	0	0	0
	" 5 "	0	0	0	0	0	0	0	0
	" 6柱間以上	16	6	9	2	14	8	15	5

表 5.2 本線・分岐線・枝線別動作状況

	大阪南支店		京都支店		滋賀支店		計		
	萱振配		横島配		川岡配				
	測定動作個所回数	B/A	測定動作個所回数	B/A	測定動作個所回数	B/A	測定動作個所回数	B/A	
(A)(B)	(%)	(A)(B)	(%)	(A)(B)	(%)	(A)(B)	(%)	(A)(B)	(%)
本線	18	7	39	11	5	45	15	8	53
分岐線・枝線	17	8	47	18	14	78	10	6	60
計	35	15	43	29	19	66	25	14	54

表 5.3 線路末端からの距離による分類

	大阪南支店		京都支店		滋賀支店		計	
	萱振配		横島配		川岡配			
	測定動作個所回数	B/A	測定動作個所回数	B/A	測定動作個所回数	B/A		
(A)(B)	(%)	(A)(B)	(%)	(A)(B)	(%)	(A)(B)	(%)	
末端	1	1	8	5	0	0	11	7
末端より1柱間	1	0	3	3	2	0	2	1
" 2 "	2	1	0	0	1	1	1	1
" 3 "	3	1	2	3	1	0	3	2
" 4 "	5	2	0	0	0	0	0	0
" 5 "	2	1	2	2	2	2	0	0
計	14	6	43	15	13	87	6	3
6柱間以上	21	9	43	14	6	43	19	11
合計	35	15	43	29	19	66	25	14

極性は不極性のものが 70% を占めている。避雷器の放電電流値から配電線に現われる原電圧を想定できると非常に便利である。しかしこの想定には次の点に十分注意する必要がある。すなわち磁鋼片の記録は襲雷後ただちに実測しても同一襲雷時に避雷器が数回動作すれば記録が重複するおそれがあり、またたとえ避雷器が 1 回しか動作しなくても放電電流が振動性であれば波高値は相殺される恐れがある。また避雷器が三相同時に動作した場合には線路の短絡電流をも重複して記録することになる。したがって磁鋼片の記録結果から原電圧を推定した場合にはこれらのことと周知しておく必要がある。

避雷器の放電電流値から配電線に現われる原電圧については図 5.2 に示す結果が電研の大和氏により提出されている。この図からみると放電電流が 200~250 A を超

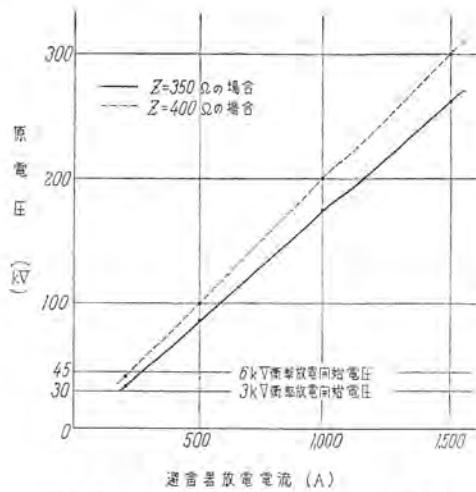


図 5.2 避雷器放電電流から源電圧の計算  
(3 kV, 6 kV 放出形避雷器の場合で、雷サージを進行波とし制限電圧を 0 として計算)

Fig. 5.2 Calculation of initial abnormal voltage from the discharge current of arrester.

過すると 3 kV の BIL を超過した電圧が線路に出ていることになり、図 4.1 の測定結果からみて避雷器が動作したものうち 75% が BIL を超過する電圧に対して有効に動作したと考えられる。また放電電流が 1,000 A を超過すると原電圧は 200 kV 以上になり、避雷器の接地抵抗が高いと、この抵抗による電圧降下分がさらに加わることになるのでこのような雷撃に対する考慮も払う必要があると考えられる。

## 6. 避雷器の効果

避雷器の効果の判定方法としては前述のように放電電流値からも推定できるが、いちばん簡単でしかも明了な方法は耐雷モデル配電線これに隣接した配電線の事故を比較してみることである。

### 6.1 配電線事故の比較

表 4.1 に示したように測定期間中襲雷があったがそのときの被害状況をモデル配電線とそれに隣接した配電線とに分類して集計すると表 6.1 に示すおりである。すなわちモデル配電線 7 回線のうち、萱振、横島、川岡、西の 4 配電線に襲雷があり被害率は 1 回線あたり 1.5 個所であるのに反してこの 4 配電線に隣接した 14 配電線は 36 個所に被害があり、被害率は 1 回線あたり 2.6 個所でモデル配電線の約 1.7 倍である。この結果からみても避雷器の効果は明確に出てくるが、モデル配電線の被害数 6 のうち、4 は萱振配電線で強烈な雷撃により一時に多数の機器が被害を受けたもので、これを除くと、横島、西線では隣接線路に比べると被害率は皆無といってよく、

表 6.1 測定期間中の雷害事故状況  
(モデル配電線と隣接配電線との比較)

配電線別	変圧器(台)			その他				合計
	焼損	破損	小計	油入開閉器(台)	ガイシ形閉鎖器	ガイシ断線	その他	
出入橋配電線								0
隣接配電線								0
玉江橋配電線								0
隣接配電線								0
萱振配電線	2	1	3		1		1	4
隣接4配電線	2	1	3	1		1	2	5
高安配電線								0
隣接配電線								0
川岡配電線				1				1
隣接配電線								0
横島配電線								0
隣接5配電線	(3)	(3)	(6)		1		1	(6)
西線	4	4	8				2	10
隣接5配電線	(5)	3	(5)	3	1	2	3	(5)
モデル配電線	2	1	3	1	1	1	2	6
7配電線計	(8)	(3)	(11)	3	3	2	2	(11)
14配電線計	18	8	26				7	36
1平 回 数 均	モデル 4配電線 隣接14 配電線							(0) 1.5 (8.8) 2.6

注 1. ( ) 内は、供給停止を伴わなかったものの再掲値

2. 1回線あたりの平均には、モデル配電線ならびに隣接配電線の両方とも事故のない出入橋・玉江橋・高安の3配電線は除いた。

避雷器の取付けが適正であったことと、避雷器が十分その成果を發揮したと考えてよい。

## 6.2 モデル配電線内の事故

モデル配電線内の事故については表 6.2 のような詳細なる配電施設雷害調書を作成し事故原因の分析に便なるようにした。モデル配電線には測定期間中 4 回事故があり、供給停止を伴ったものはそのうち 3 回であった。すなわち 9 月 2 日萱振配電線の事故状況は図 6.1 に示すように 48 号柱(避雷器接地抵抗 31 Ω)に負極性 1,200 A の放電電流記録のあることから強烈な直撃雷が考えられ、接地抵抗の電圧降下分だけでも 37 kV に達し、避雷器取付点から 150 m 以上の機器に被害を生じた。また 9 月 1 日川岡配電線は、隣接配電線との連絡用油入開閉器が破損したが、109 m 離れた避雷器(接地抵抗 10 Ω)は 1,130 A の放電電流を記録している。また 9 月 12 日西線では変電所出口近くで断線事故があったが、もよりの避

表 6.2 配電施設雷害調書

関西電力株式会社 支店 営業所		線 ( kV )		供給電源名		
製雷日時	自月日時	天候	晴、曇、小雨、雨、大雨、霧			
雷害発生時間	時間	雷害の別	直撃雷・誘導雷			
倒壊の状況	送電中・停電中	落雷地点と鉄塔との距離	m			
被害場所	被害地點電柱番号	号柱	分岐柱より	m (柱間)	引留柱より	m (柱間)
付近の状況	市街地、住宅地、工場地、村落、山地、平原、海辺 付近に高層建物又は高い樹木あり	付近に送電線あり				
被害工作物の状況	柱上変圧器	製造年月日	昭和 年 月	接 地 抵 抗	Ω	
		容量	単相 kVA	油量	基準線、基準線より上位、基準線より下位無、やや汚濁、甚だしく汚濁	
		燒破損箇所	三相	燒破損箇所		
		放電経路		放電経路		
		要造年月日	昭和 年 月	油量	基準線、基準線より上位、基準線より下位無、やや汚濁、甚だしく汚濁	
		容量	単相 A	燒破損箇所		
		要造時の開閉状態	三相 A	放電経路		
		種類および型式	開閉	油量		
		磁鋼片取付の有無	無	燒破損箇所		
		高圧ヒューズの容量		損傷、破壊の状態		
最寄の避雷器との関係位置	断子型開閉器	1 線切れ、2 線切れ				
	プライマリーカットアウト	1 線切れ、2 線切れ、3 線切れ				
	断子	種類		損傷、破壊の状態		
	電線	放電経路		損傷、破壊の状態		
	ケーブルヘッド	種類		損傷、破壊の状態		
		接 地 抵 抗	Ω	損傷、破壊の状態		
	その他の被害作物と最寄りの避雷器との距離	m	当該電柱	木柱、コンクリート柱、鉄柱	被害機器の支持	駆本・駆金
	被害施設付近の線路形態を図示し、最寄避雷器の位置を示して、それまでの距離、並びに避雷器、放電電流測定地を記入のこと。			被害柱装柱図	当該地区の裏雷状況および被害工作物の概要	
					備考	

注 1. この調書は雷害測定対象物 1 台に対して 1 枚とすること。但し変圧器雷害によりそれに付随する断子型開閉器等、破損の場合は同一用紙に記入のこと。  
2. 雷害により変圧器高圧ヒューズのみ熔断した場合も 1 枚に記入のこと。但しヒューズ切れが一度に多数発生した場合はその件数と発生場所の概略図を記入すること。  
3. 各項目を列記した欄は該当項を○印で固むこと  
4. この調書は雷害事故発生の都度報告のこと。

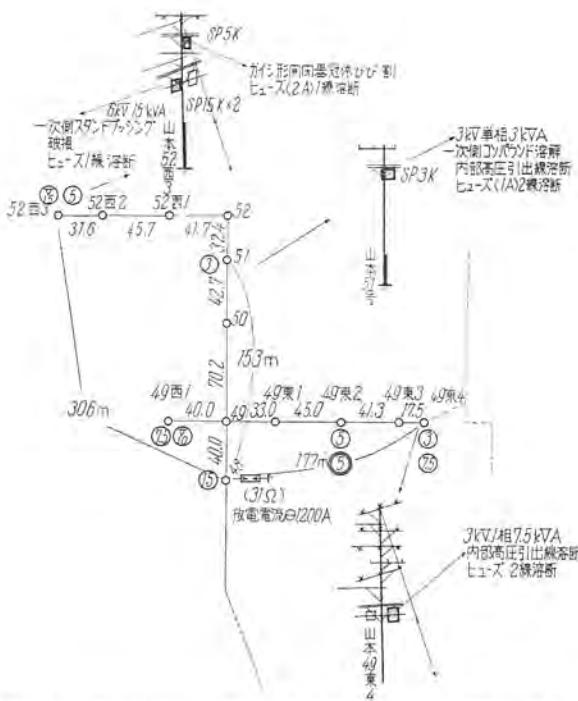


図 6.1 大阪南支店布施営業所管内配電線雷害状況図(9月2日)  
Fig. 6.1 Diagram showing the state of lightning hazard on distribution line.

雷器（600m 離隔）は全然記録がないことから、引留部分でセン絡して電圧は他に波及しなかったと思われる。なお同じく西線では8月2日の製雷でガイシ形開閉器のヒューズ切れが5個所あったが配電線の停電には至らなかった。

## 7. 配電用避雷器の問題点

### 7.1 配電線の特性に合致した放出形避雷器の開発

配電線に避雷器を取付ける場合 3 kV 放出形避雷器を使用しても 1 個所（避雷器取付け 3 個）あたりの工事費は接地工事費を含めると平均 1 万円は必要であり、弁形避雷器や 6 kV 用の避雷器の場合にはさらに工事費は増大することになる。一方被保護機器である変圧器は 2 ~ 3 万円程度であるからいかに避雷器の工事費が高いかがわかる。そこで避雷器の取付けにあたっては避雷器の有効保護範囲を十分利用して最も経済的に実施する必要がある。

避雷器取付の工事費を軽減するには避雷器自身の価格を安く製作することと、接地工事費を切りつめることにあると思われる。接地工事については、現在工規に定められた  $10\Omega$  以下に保つ必要があるが土質によっては抵抗値を規定値以下に保つためには数千円の接地工事費を要する個所も出てくるし、すでに変圧器がちょうど設されているような柱では避雷器の取付けに際し新たに接地工

事が必要となり、とくに都心部では道路くっくらびに復旧に要する費用も加わって、ますます実施を困難なものとしている状態である。このため避雷器の取付けを予想して所要箇所には十分な接地工事を計画的に施工して置くことも必要と思われる。一方変圧器の連接接地が効果的に実施できれば接地工事費もかなり軽減できるのでこの方面的研究が必要である。また避雷器自身の性能も避雷器放電時に制限電圧の小さい放出形避雷器を効果的に使用することも配電線に適しているといえる。放出形避雷器の放電開始電圧は弁形避雷器に比べるとかなり高いものとなっているが、配電線の特性を加味した適正な許容端子電圧や続流シャ断性能を有したものに改良していく必要がある。現在では、放出形避雷器の特性は 1 種類に限られているが、線路形態によって当然避雷器に階級をもたしうると考えられるので適正な特性の避雷器を安価に多く取付けることが製造者にとってもまた使用者にとっても有益なことと思われる。

### 7.2 6/3 kV 共用避雷器の開発

最近配電線は電圧改善と供給力確保のため 6 kV 弁工事が進められ、3 kV 線路は年々減少して行く状態である。したがって 3 kV 用避雷器はその使用範囲が狭くなり、耐用年数のないうちに廃却されるものも出てくることが考えられる。このため 6/3 kV 共用の避雷器を開発すれば非常に経済的となる。この場合、変圧器のタップ切換えのように装柱したままで簡単な操作で 6 kV 用に切換えられるようなものであることが理想的であるが、このため 3 kV として使用される場合、或る程度 3 kV 用だけのものに比べて性能が落ちてもやむを得ないと考える。6/3 kV 共用避雷器の開発は早急に解決を要する問題といえる。

## 8. む す び

以上 33 年度実施した配電線の雷実測の結果ならびに配電用避雷器に要求される問題につき述べたが、配電線に生ずる雷については長期にわたる実測が必要であり今後も継続して実施して行く予定である。また測定方法も磁鋼片による測定以外にブラウン管オシロによる実測やクリドノグラフを応用した簡単なサーブ電圧自動記録器などで雷の実体を調査する予定である。また、現在の耐雷モデル配電線を順次拡張して適切な避雷器の取付けを行ない、複雑な線路形態の配電線の避雷器有効保護範囲について実測結果をもとにして充実を行ない、配電線の耐雷設計基準を確立して電力供給の信頼性の向上に資したいと考えている。

# 特急“あさかぜ”用電熱器

家庭電器工場 野畠 昭夫

## Electric Heating Appliances for Limited Express Train "ASA KAZE"

Home Appliances Factory Akio NOBATA

With the progress in the electrification of the trunk lines of the Japanese National Railways, it has been planned to replace coal heated ranges in the kitchen of the dinning car with electric heating appliances or to change steam room heaters with electric room heaters. The undertaking has finally been realized in the building of the Express Asakaze (Morning Breeze) with much improvement on the old appliances for the similar purpose. Of them, electric water heaters have been recognized to possess special design feature of ease in the control of hot water temperature never expected with steam heated devices. The heating element of the new appliances consists of alonica-heater which has great strength against impact besides other features.

### 1. まえがき

国鉄では主要幹線の電化に伴って、従来列車に装備されていた調理用の石炭レンジとかスチームによる温水器 暖房装置などを、電熱器に置換えることについて種々検討されていたのであるが、今回、“あさかぜ”号固定編成客車の製作にあたりようやく実現することとなった。電気レンジは数年前に列車に装備することが計画され試作品を納入したのであるが石炭レンジに比べ単位時間あたりの発生熱量が少なくラッシュアワーの間に合わないとのことで今まで日の目を見ることができなかったもので、今度国鉄設計当局の方針として電気レンジを採用することになり種々検討、改良を加えた結果、実用性のある電気レンジとすることができた。電気温水器としては列車に装備するのは今回が初めてであるが、湯温を自動的に制御することができる点などスチームにみられない長所があり好評を博している。電気暖房器については、従来電車用暖房器として広く採用されている形式の暖房器を装備している。この暖房器には発熱体としてアルミニカヒータを採用しているので、耐振動性の点、寿命の点で十分信頼できる暖房器である。

### 2. 電気レンジ

#### 2.1 定格

形名	CR-7 形
製品重量	275 kg
電圧	三相四線式 115 V/200 V
容量	15.2 kW

#### 2.2 構造

電気レンジは、食堂車の調理室にすえ付け調理用に使用する電熱器で、ステンレス製の調理台の上に 3 kW の埋込形角形熱板 2 個と 2 kW のチューブ形丸形熱板 2 個、露出形丸形熱板 1 個を備え、各熱板のすぐ下には汁受引出しがあって熱板から滴下した汁や料理くずを受けようになっている。汁受引出しの下には正面に向って右側にオープンがあり右上方に温度指示計が取付けられている。なおオープンの内部には上下に各 1.6 kW の発熱体が取付けられている。中央には各熱板およびオープンの発熱体を加減する切換スイッチを設けその左側に料理器具や調味料のセットなどを納める戸ダナがある。またレンジ前面には料理人が振動によってふらついた場合のきさえとしてステンレス製の手スリが取付けられている。本体は骨組を山形鋼の溶接で組上げその周囲を鉄板で張りめぐらし防錆処理をした上外面を白色メラミン塗装で仕上げてある。

図 2.1 はこの電気レンジの外観であって、図 2.2 に外形寸法および各部の名称を示す。

なお電気レンジに取付けられている熱板およびオープンは切換スイッチによって容量が切換えられるようにな

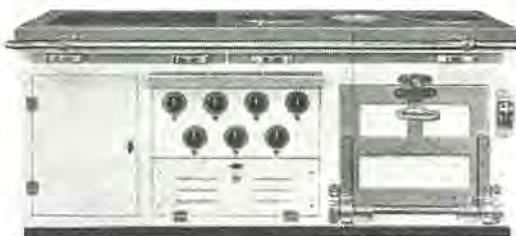


図 2.1 電気レンジ  
Fig. 2.1 Electric range.

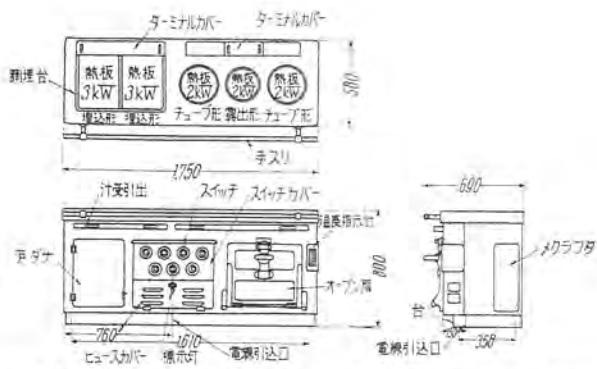


図 2.2 CR-7 形電気レンジ(三相四線式 115V 200V 15.2kW)  
Fig. 2.2 Type CR-7 electric range

表 2.1

種類	寸法 (mm)	最大容量 (kW)	表面温度 (°C)	スイッチ回 換時の容量 (kW)	数量
露出形熱板	200 径	2.0	800~850	強 2.0 弱 1.0	1 個
丸形 チューブ熱板	235 径	2.0	450~500	強 2.0 中 1.2 弱 0.8	2 個
角形 埋込熱板	300×350	3.0	400~450	強 3.0 中 2.0 弱 1.0	2 個
オープン(上)	市 458 奥行 350	1.6	350~400	強 1.6 中 1.0 弱 0.6	1 個
オープン(下)	高 380	1.6		強 1.6 中 1.0 弱 0.6	1 個

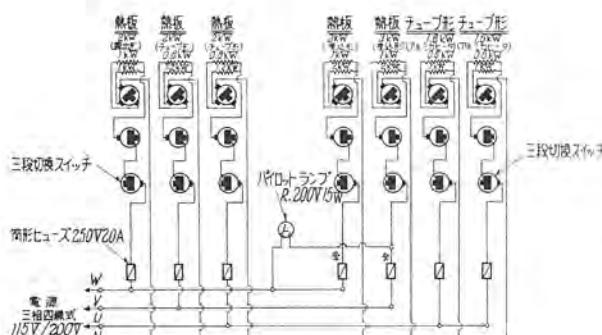


図 2.3 CR-7 形電気レンジ接続図  
Fig. 2.3 Connection diagram of type CR-7 electric range.

っているがこの熱板の仕様を示すと表 2.1 のとおりである。また図 2.3 にその結線図を示す。

この電気レンジには上記のように 3 種の熱板を使用しているが、この 3 種の熱板にはおのおの、長所短所があって、料理の種類、使用目的などによってそれぞれ使い分けされている。以下各熱板について、構造、特長など優劣を比較検討してみる。

### (1) 热板の構造および特長

#### a. 露出形丸形熱板

この熱板は図 2.4 に示すような熱板で、耐熱性陶器のミゾにコイル状に巻いた発熱線を納めたもので、発熱線を赤熱させ、おもに輻射熱を利用して被加熱体を加熱する熱板で、事新しく述べるまでもなく日常、われわれが接する機会の多い電気七輪などの熱板と同じ構造のもので

特急“あさかぜ”用電熱器・野畑



図 2.4 露出形丸形熱板

Fig. 2.4 Exposed type round hot plate.

ある。この熱板は破損しやすい欠点はあるが、他の埋込形およびチューブ形熱板に比べて、容器の形状による能率の変化が少ない点が特長で、普通フライパンなどは古くなるとなべの底が丸くなってくるが、このようなフライパンを使用する場合には他の熱板に比べて能率よく調理することができるので採用されているものである。普通、電気七輪としては、200 mm 径の熱板に 1.2 kW の容量を入れているのであるが、“あさかぜ”用の露出形熱板は 200 mm 径に 2 kW の容量を入れて、ビフテキなど短時間に大量の熱量を必要とする料理に使用することにしている。200 mm 径に 1.2 kW の容量は、日本工業規格に定められている家庭用電気七輪の数値とほぼ同様であって、これを熱板表面の単位面積あたりの容量、すなわち表面負荷率で表わすと  $3.82 \text{ W/cm}^2$  となるが、“あさかぜ”的場合は  $6.36 \text{ W/cm}^2$  と高くなっている。したがって一般用のものより発熱線の温度が高くなって寿命も短くなることが考えられるが、寿命はニクロム線の材質によっても左右されるので、とくにニクロム 1 号線を使用したこととも考慮に入れて、今後の使用状況をみて再検討する必要があると考えている。

#### b. 埋込形角形熱板

この熱板は図 2.5 に示すような熱板で、構造は表面がなめらかな鉄物の裏面にミゾを彫り、このミゾの中に耐熱絶縁物粉末でコイル状に巻いた発熱線を包み、高圧を加えて埋込み、さらに高温で焼結したものである。したがって露出形に比べて機械的にじょうぶで発熱線は完全に密閉されているので、料理の際の汁などがかかる懼れがなく安全である。欠点としては、熱容量が大きいので使用温度に達するまでの時間がかかることがあるが、一度熱くなればさめにくいで保温用熱板として取付けられている。なお発熱体表面はなめらかできれいであるためこの上で直接料理することもできる。実用試験の結果は、ビフテキなど焼いてみて好評であった。

#### c. チューブ形丸形熱板

この熱板は図 2.6 に示すような形状の熱板で、コイル



図 2.5 (a) 埋込形角形  
熱板外観  
Fig. 2.5 (a) Appearance of imbedded type square hot plate.

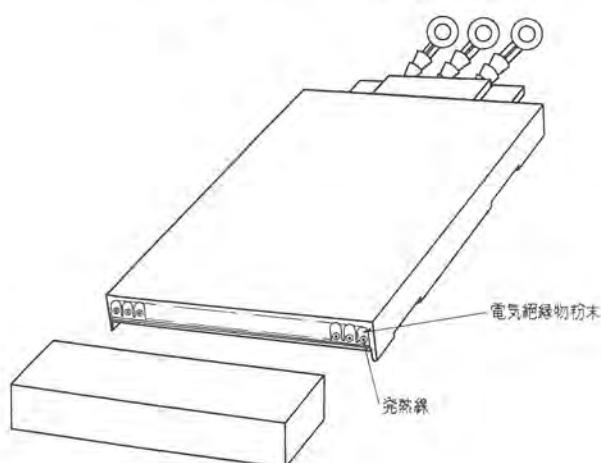


図 2.5 (b) 埋込形角形熱板構造

Fig. 2.5 (b) Structure of imbedded type square hot plate.

状の発熱線をステンレス

管の中心に保ち、空ゲキ

に耐熱絶縁物粉末を充填

固化したいわゆるアルミ

カヒータを使用し、図 2.

6 に示すようにうず巻状

に曲げたもの 2 個を組合

わせ、容器に接する部分

を平らにつぶした後、ワクに取付けたものである。埋込形熱板の特長を生かしてその欠点を補ったもので、チューブに埋込んであるので熱容量が小さく速熱性になり、かつ外気の浸入口が小さくなるので湿気による絶縁抵抗の低下が少ない。

以上 3 種の熱板の得失を一覧表に示せば表 2.2 のようになる。

表 2.2

比較項目	熱板の種類	露出形 熱板	鏡物込形 熱板	チューブ式 熱板
使用開始時の加熱速度が速い	○	×	△	
発熱線に人体が触れる恐れがない	×	○	○	
絶縁物の吸湿を防止できる	×	×	○	
容器による能率の変化が少ない	○	×	△	
発熱線の寿命が長く耐久性が大である	×	○	○	
掃除しやすい	×	○	○	
廉価である	○	×	×	
機械時にじょうぶである	×	○	○	

注 ○印は良 △印はやや良 ×印は不良を表わす

## (2) オーブンの構造

オーブンは蒸焼料理に使用されるもので、石炭レンジに比べ火力の調節が容易であるため、好評である。構造



図 2.7 オーブン(扉を開いたところ)  
Fig. 2.7 Oven (with doors open).

は内箱と外箱より成りその中に断熱材としてガラスウールをつめている。内側寸法は巾:奥行:高さ = 458mm: 350mm: 380mm で、前面には下方に開く扉を設け、開閉に便なるようスプリングを取り付けている。オーブン内部はタナ板が 2 段に調節できるようささえを設け、上下には各 1.6 kW のアルミカヒータが取付けられている。なおオーブンには温度指示計が取付けられ内部の温度を指示するようになっている。付属品として焼皿および焼網を各 1 個用意している。図 2.7 はオーブンの扉を開いたところを示す。

## 2.3 絶縁抵抗

電熱器の絶縁抵抗は湿気と熱に影響されるところが大きいのでこの両者について検討する必要がある。この電気レンジに使用した熱板も例外ではなく以下各熱板について検討してみる。まず湿気の影響を考えると、これは主として絶縁物の吸湿による絶縁抵抗の低下であって外気との接触面積の大きいものほどこの影響が大きい。図 2.8 は常温において湿度約 75% の場合の各熱板の絶縁抵抗と時間の関係の大略を示したものである。この図から

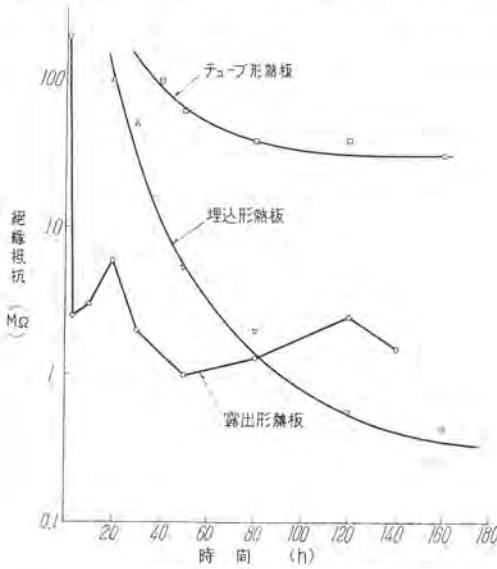


図 2.8 絶縁抵抗-時間曲線  
Fig. 2.8 Insulation resistance-time curves.

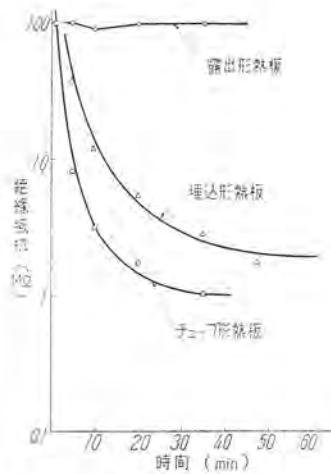


図 2.9 絶縁抵抗-通電時間曲線

Fig. 2.9 Insulation resistance-current flowing time curves.

わかるることは露出形熱板はよく焼成されているので、この絶縁抵抗の低下は表面漏洩がおもなものであるが、埋込形熱板では絶縁物の性質として吸湿しやすいので、構造上これをカバーするようにはしているがなお絶縁抵抗の低下はまぬがれない。チューブ形は絶縁抵抗がもっと高く、露出形および埋込形に比べるかによいことがわかる。しかし長時間放置すれば次第に絶縁抵抗が下ることは他の熱板と同様である。つぎに熱の影響であるが、一般に絶縁物は温度の上昇とともに絶縁抵抗は対数的に急激に減少する傾向にある。このため絶縁物の選択が重要となるが、各熱板の通電時間と絶縁抵抗の関係を示せば大略図2.9のようになる。熱板の温度上昇とともに絶縁抵抗は急激に下るが熱板の温度が一定になれば絶縁抵抗の値も安定し、断電すれば絶縁抵抗は急速に回復してものとの値になる。

#### 2.4 温度試験

電気レンジとしての JIS 規格は制定されていないが JEM の規格に家庭用電気レンジについて各部の許容温度が規定されている。したがってこの電気レンジとしては JEM 規格を準用して試験を行なった。温度試験結果を示せば表 2.3 のとおりである。また熱板の温度上昇曲線を示せば図 2.10 のようになる。埋込形熱板は熱容量が大きいので露出形に比べて温度上昇速度は遅いが断電してもさめにくく利点がある。一般に熱板においては表面負荷率を大きくとって表面温度を高くすれば輻射熱を有効に利用できるので能率を向上させることができて好ましいが、耐熱絶縁物粉末を使用している熱板ではこの絶縁物粉末の温度-絶縁抵抗特性に左右されて自ら制限され、露出形では電熱線の寿命の点から制限されることになる。

特急“あきかぜ”用電熱器・野畑

表 2.3 温度試験結果

スイッチのオープン温度 (°C)	ツマミのハンドル床面中央 (°C)	外郭表面(°C)	ヒーズの電線引込口 左右1箇所の端子 (°C)		
			左	右	ヒーズの電線引込口 左右1箇所の端子 (°C)
規格値	45	40	50	60	55 85 85
測定温度	34	36	30	34 35 40	61 ~ 53

(注 室温 28°C)

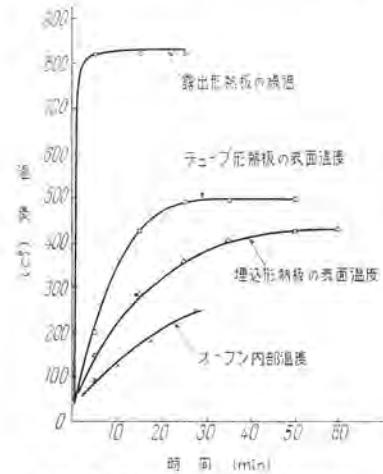


図 2.10 热板の温度上昇曲線

Fig. 2.10 Temperature rise curve of hot plate.

### 3. 電気温水器

電気温水器は食堂車の調理用と、各客車の洗面用の温水を給供するために装備されているもので、車種により使用条件が異なるため、つぎに示すように 6 種類の温水器が装備されている。

#### 3.1 定 格

定格は表 3.1 に示すとおりである。

表 3.1 温水器一覧表

形名	電 气 容 量	温水容量 (L)	用 途 别	備 考
WE-11	三相 200 V	2 kW	30 チロネA用	①ナシ用以外は温水を自動的に調節する
WE-1	三相 200 V	2 kW	30 ナロネB ナロ用	②電源を入切する
WE-2	三相 200 V	3.5 kW	30 ナハム用	③ナシ用は丸形温度指示計にて湯温を指示する
WE-3	三相 200 V	3.5 kW	30 ナハ用	
WE-5	三相 200 V	3.5 kW	50 ナハネ用	
WE-4	三相 200 V	3.5 kW	40 ナシ用	

ただし (ナロネA……2等寝台(個室)  
(ナロ……2等車  
(ナハ……3等車  
(ナシ……食堂車)

#### 3.2 構 造

構造を大別すると自動温度調節器によって湯温を自動的に一定温度に保たせるものと、温度調節器の代りに温度指示計を取付けて、湯温が外部からわかるようにしたものとの 2 種類となる。前者は各客車に装備され床下または洗面台の下に取付けられている温水器で、後者は食堂車に装備され天井から取り下げられている温水器である。

##### (1) 食堂車用温水器

この温水器は図 3.1 に示すような外観の温水器で、同



図 3.1 食堂車用温水器  
Fig. 3.1 Water heater for dinning room.

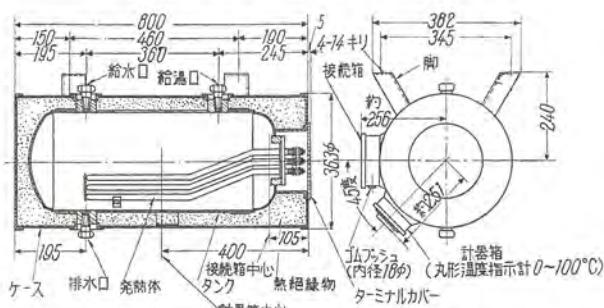


図 3.2 WE-4 形電気温水器(三相 200 V 3.5 kW)  
Fig. 3.2 Type WE-4 electric water heater.

心筒形の鋼板製タンクおよびケースから成り、これらのタンクとケースの間には、温水の冷却を防ぐため、ガラスウールの保温材が充填してある。温水器タンク内部には発熱体として3本のアルミカヒータが納められ三相に結線されている。また温水器のケース表面には電線ツナギ箱と丸形指示温度計が取付けられている。この温水器の外形寸法および各部の名称を示せば図3.2のとおりである。

### (2) 客車用温水器

客車用温水器の温水容量は30l, 50lの2種類に分れているが構造はまったく同じであって、同心筒形の鋼板製タンクおよびケースから成り、このタンクとケースの間にガラスウールの保温材が充填してあることは食堂車用温水器と同じである。食堂車用温水器と異なるところは、湯温を3個の温度調節器によって自動的にコントロールすることで、湯温が85°Cに達すると高温用温度調節器が働き電源が切れ、湯温がさめて70°Cになると別の低温用温度調節器が働

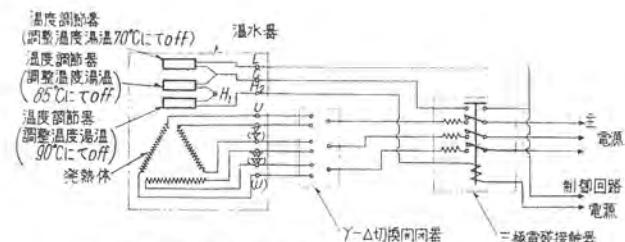


図 3.3 WE-1, 2, 3, 5 形電気温水器接続図

Fig. 3.3 Connection diagram of type WE-1, 2, 3, 5 hot water heaters.

いて電源がはいるようになっている。これは電源がひんぱんに入切するのを防ぐために考慮したもので3個の温度調節器のうち1個は補助の温度調節器であって、高温用の温度調節器が故障した場合、この温度調節器が動作するようになっている。なお発熱体としてはアルミカヒータを使用し3本の発熱体は外部でY-△の切換えができるようになっている。この温水器の結線図を示せば図3.3のようになる。なお温水器の外観は図3.4に示すとおりで、電気容量、温水容量および取付方法の相違により5種類に分れている。この中で代表的な温水器の構造を示せば図3.5のとおりである。

### 3.3 絶縁抵抗

温水器の絶縁抵抗はアルミカヒータを使用しているのでこのヒータの絶縁抵抗に左右されるが、湿気の影響は

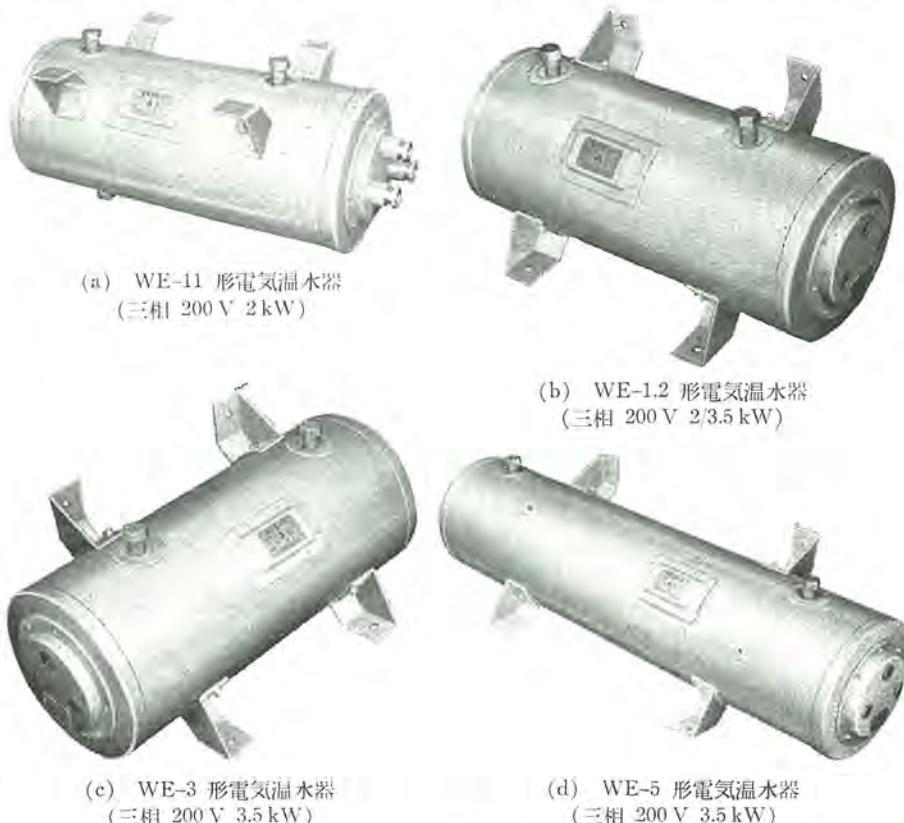


図 3.4 各種客車用温水器  
Fig. 3.4 Various kinds of water heaters.

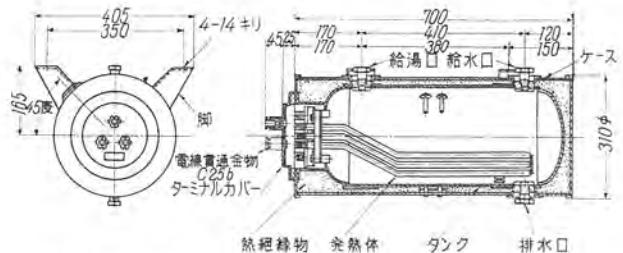


図 3.5 WE-11 形電気温水器（三相 200 V 3 kW）

Fig. 3-5 Type WF-11 electric water heater.

電気レンジの項で述べたとおりである。温度の点はアルミカヒータが直接水中に浸漬されているのでヒータの使用温度が低いため継続抵抗はきわめて良好である。

### 3.4 溫度試驗

電気レンジの場合と同様に JIS 規格がないので JEM の規格を準用して試験を行なった。温度試験の結果は図 3.6 に示すとおりである。なお保温試験の結果を図 3.7 に示す。

電気温水器としては実際の使用状態を推定することが必要であるが、食堂車用温水器は別として各客車の温水器について検討した結果を一覧表にすれば表3-2のよう

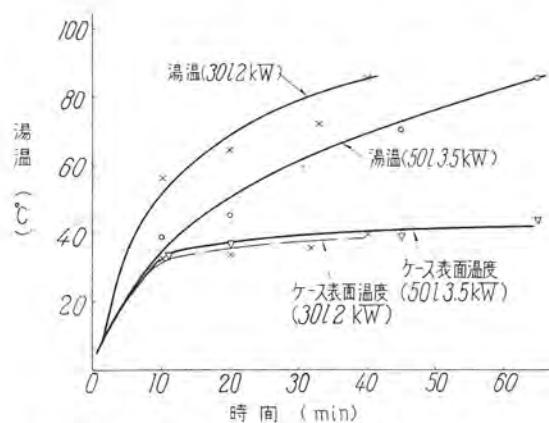


図 3.6 温水器の温度上昇曲線 (30 l 2 kW および 3.5 kW の場合)

Fig. 3.6 Temperature rise curves of water heater.

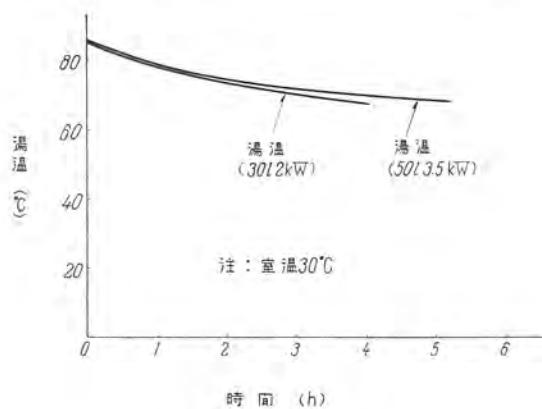


図 3.7 保温試験結果

Fig. 3.7 Results of temperatures preservation test.

### 特急“あさかぜ”用電熱器・野畠

表 3.2 温水使用量一览表

客車の種類	定員 (名)	洗面所の 数/温水 器	温水器 の定格	使用量お よび時間	同時に使 用すると考 えられる湯量 (L)	左記の湯量 を使用した 時の湯温の 降下(°C)	湯温の上 昇(5分 間における) (°C)
2等寝台A	18	7	30L 2kW	40°C 前後 の湯を1人 あたり3.5L とする	24.5	28.5	4.3
2等寝台B	28	1	30L 2kW	40°C 前後 の湯を3.5L として1人 5分とする	3.5	2.0	4.3
3等寝台	54	3	50L 3.5kW	#	10.5	3.3	4.5
3等緩急車	68	1	30L 3.5kW	#	3.5	2.0	7.5
2等車	48	1	30L 2kW	#	3.5	2.0	4.3

(注) 温水器使用時の湯温は 85°C とした。  
朝の洗面時を想定し使用量および時間を仮定した

になる。この表からわることは2等寝台(A)の場合がいちばん湯温の降下が大きいが、一度にほとんどの乗客が洗面を済ませ残りの人はわずかである点を考え実際に使用に耐えうると考えられる。また2等寝台(B)、2等車、3等車などは上記の条件のもとでは湯を使用することによってタンク内部の湯温が降下する温度より、発熱体に通電することによって湯温が上るほうが大きいので十分使用できることが考えられる。

#### 4. 電氣暖房器

電気暖房器は各車両の客室、洗面所、および売店、食堂、給仕室などに分散配置され冬期の採暖用に使用される。“あきかぜ”には3種類の電気暖房器を使用しているが当社から納入したものは下記の1種類である。

## 4.1 定格

形名 HE-55 形

形式 半密閉式對流形

電圧 三相 200 V

容量 300 W および 450 W

## 4.2 構造

この電気暖房器は図 4.1 に示すようにカバー、発熱体

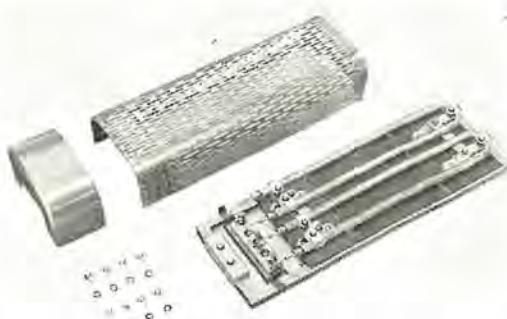


図 4.1 HE-55B・55C 形電気暖房器（三相 200 V 300/450 W）

Fig. 4.1 Type HE-55B·55C room heater.

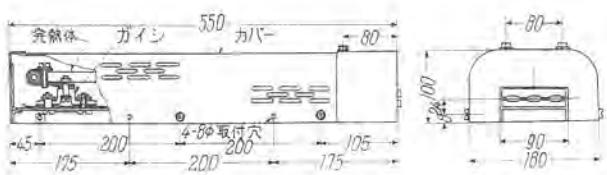


図 4.2 HE-55B, 55C 形電気暖房器 (三相 200 V 300 450 W)  
Fig. 4.2 Type HE-55B, 55C room heater.

および発熱体取付用ベースから成立っており、カバーは抜孔銅板製で、空気の循環が能率よく行なわれるようになっていている。カバーの発熱体端子側は、結線をしやすくするために簡単に取はずしができるよう端子カバーを設けている。なお本体は灰色 2 号の耐熱塗料が焼付けされているので容易にはがれる恐れはない。

図 4.2 に本体各部の寸法および名称を示す。

#### 4.3 発熱体と絶縁抵抗

発熱体にはアルミカヒータを使用しているので、耐衝撃性が大であり寿命が長い。アルミカヒータ単独の絶縁抵抗としては吸湿の点はレンジの項で述べたとおりである。

温度の影響は発熱体表面温度が 300°C をこえないよう設計されているので熱板に比べるかに高い絶縁抵抗を示す。

暖房器としてはアルミカヒータをさらにガイシで絶縁

して取付けているので、電路に対しては二重絶縁となりつねに良好な絶縁抵抗値を示すことになる。

#### 4.4 温度試験

車両用電気暖房器としては、従来国鉄の規格により電車用電気暖房器を多数製作してきた。今回の列車用暖房器は電車用に比べ線電圧が低く交流である点が異なるがその他の使用条件は同じであるためこの電車用暖房器の規格に準拠することとした。図 4.3 にこの電気暖房器の各部の温度上昇曲線を示す。暖房器を車体に取付ける場合は、暖房器の周囲をさらに化粧カバーでおおうので周囲温度が上り、この温度上昇分だけ暖房器各部の温度が上ることになる。

#### 5. む す び

“あさかぜ”用電熱器として上記のように 3 種類の電熱器を納入したのであるが、電熱器の生命は発熱体にあって、この発熱体の良否が電熱器の優劣を左右することはすでに述べたとおりである。したがって上記 3 種の電熱器を発熱体についてながめてみるとこれらの電熱器はすべてアルミカヒータの応用品とみることができる。アルミカヒータは露出形発熱体、鉄物埋込形発熱体の欠点を解決して生れた発熱体で、温水器、暖房器に使用してその特長が十分發揮され理想的な電熱器と/or ことができた。ただしアルミカヒータとしての欠点は高温における絶縁抵抗値が低く、表面負荷率をあまり大きくとることができないので輻射熱を利用するような用途には不適合であるということである。とくに電気レンジについては熱板の温度を高温にすることが要求されこのため表面負荷率を大きくとることが必要になったので、このような目的に使用するよう露出形熱板を取付けることとなつた。電気レンジとしては 3 種類の熱板を使用し実用性のあるレンジと/or ことができたが、今後の問題としては高温の使用に耐えうるアルミカヒータの開発を痛感している次第で今後とも高温用絶縁材料の研究を続けたいと思っているが材料製造者のご協力を切望するものである。

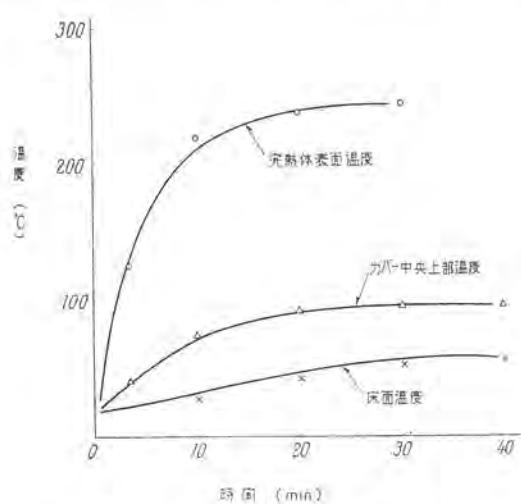


図 4.3 溫度上昇曲線 200 V 450 W  
Fig. 4.3 Temperature rise curves.

# 特急“あさかぜ”冷暖房装置

静岡工場 石川嘉孝\*・牛田善和\*\*

## Air Conditioning Equipment of Limited Express Train "ASA KAZE"

Shizuoka Factory Yoshitaka ISHIKAWA・Yoshikazu USHIDA

On the trunk line of the Japanese National Railways, the limited express train "Asakaze" (Morning Breeze)—the train de-luxe—has been running since Sept. 1 last year. It has many excellent features in its design and one of them is air conditioning equipment installed throughout the train. The cooling device used is of a unit system, eliminating long piping for refrigerant, while the heating is accomplished by space heaters installed in each car. Devices to give humidity to air is also provided to prevent unpleasant drives. They are all under proper control equipment to give the best comfort to passengers.

### 1. まえがき

国鉄では9月1日から超デラックス列車として、特急“あさかぜ”的新設計の車両が走っている。この列車は最初から編成として計画されたものであって、いろいろのすぐれた特長をもっているが、その一つとして全車両に冷暖房装置が取付けてある。当社は最初の計画から国鉄の設計に協力して、各種の装置を納入したが、ここでは主として冷暖房装置の構造ならびに性能について説明する。

### 2. 冷暖房の方式

この列車は博多側から、冷暖房、照明、厨房などの装置の発電所ともいべき電源車、2等A寝台車、2等B寝台車2両、2等座席車、食堂車、3等寝台車5両、3等座席車2両の順に連結されている。冷房装置は車種には関係なく、まったく同じものが1両あたり2台車両の中央部床下に取付けてある。この装置は従来の列車冷房装置とは異なり冷房ユニットとして冷却器まで同じケーリングの中に納めてある。車室内の空気はダクトによってユニットに導かれ冷却器によって冷されふたたびダクトによって室内に送り込む方式をとっている。この方式によると、複雑なダクトを要する点で従来の車両よりやや面倒であるが冷房装置としては全部の機器が同じケーリングの中にはいっており、従来のように長い冷媒配管を必要とせず工場で冷媒チャージまで行なって出荷できるという点で非常に楽になっている。

暖房装置は客室内にスペースヒータを取り付けてある



図 2.1 2等 A 寝台車全景  
Fig. 2.1 Second class sleeping car.

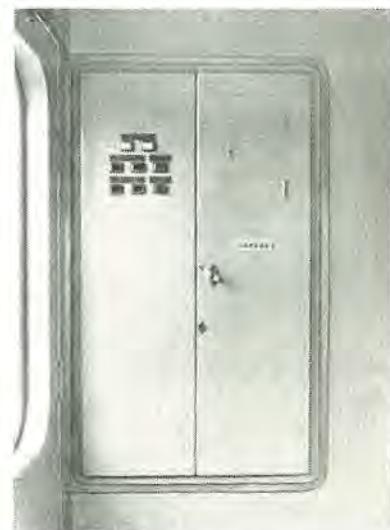


図 2.2 冷暖房配電盤  
Fig. 2.2 Switchboard for air conditioner.

がこのほか、夏に冷房装置が取付けてあった場所へ送風装置を取りつけて外気を強制的に室内に導入しているとともに加湿を行なって室内空気の乾燥を防いでいることは、従来の車では見られなかったことである。

\*技術課長 \*\*技術課

制御装置は冷房と暖房とを一つの配電盤で操作できるようにして、洗面所、廊下あるいは出入台などに取付けている。図2.1は2等A寝台車の全景であって中央部の床下に取付いているのが冷房装置であり、この反対裏面にもう1台の装置がついている。図2.2は食堂車の冷暖房配電盤であって、調理室側の廊下突き当たりに取付けてある。

### 3. ダクト

冷風を客室内に導き、また室内空気を冷房装置へもどすためのダクト(風導)は車両といふ特殊な条件があるため、もっとも苦心したものの一つであって、各車種によってそれぞれ異なった方式をとっている。

2等A寝台車は、1人用および2人用の個室からできているので、吹出口をそれぞれの部屋に備えた。すなわち車両の中央の隔壁を厚くして、その内部を二つに仕切り通路側を吸込ダクトに、車側側を吹出ダクトとし、冷房装置からの冷風はこの吹出ダクトを通って、天井で左右が合わさり、1本になって天井ダクトを通り、枝管から各個室に吹き出す。個室にはそれぞれ調整ダンバについていて、客好みによって、冷風を多量あるいは少量に吹出すことができる。個室から熱を奪って、温度が上った空気は、扇下部のよろい窓から廊下に出て、車両中央の隔壁側面に設けられてある吸込口から、吸込ダクトを通って冷房装置へもどっている。

2等B寝台車および食堂車などもこれとほとんど同じ方式であって、ただ個室がないため、冷風吹出口は、通

路天井に数個所備えている。

3等寝台車は通路が片方に寄っているため、2台の冷房装置に対して、ダクトのとり方がむずかしく最後まで論議をされたものである。結局車両の床下に箱を作つてその中を冷風を通すということで決まったが、これはこの車が外板で荷重を受ける方式の軽量車であって、中ばりなどがなかったためできたことで、従来の形式の車であれば、さらに困難な問題になったと思う。ダクトはやはり車両中央の仕切壁を厚くしてその中を二つに仕切りて吹出吸入ダクトとしており冷房装置からの吹出空気は一方の装置はまっすぐに、もう一方の装置は、床下の箱の中を通して、吹出ダクトにはいり、天井まで立上って、反対側の側面上部に導かれ、通路上に設けられた主ダクトを通り、各部屋の中央部の吹出口から、吹出している。吸入空気は廊下に集つて、車両中央の仕切壁側面の吸込口から吸入ダクトにはいり、冷房装置にもどる。

2等ならびに3等の座席車は座席の床は通路面から少し高くできており座席の下がダクトになっている。ダクトは図の点線のように冷房装置取付け部分で二つに仕切ってあり、冷房装置からの冷風は座席の下を右のほうに導かれ、車の端にある立上りダクトとを通って天井で一つに合わさり、通路上部の吹出口から車内に吹出す。

吸入空気は、車の左半分の車側下部で、通常暖房管が通っている部分から吸込まれ、席の下のダクトに導かれて、冷房装置にもどる。

以上のような方式をとることによって、冷房装置はまったく同じものを使用することができ、また負荷によつ

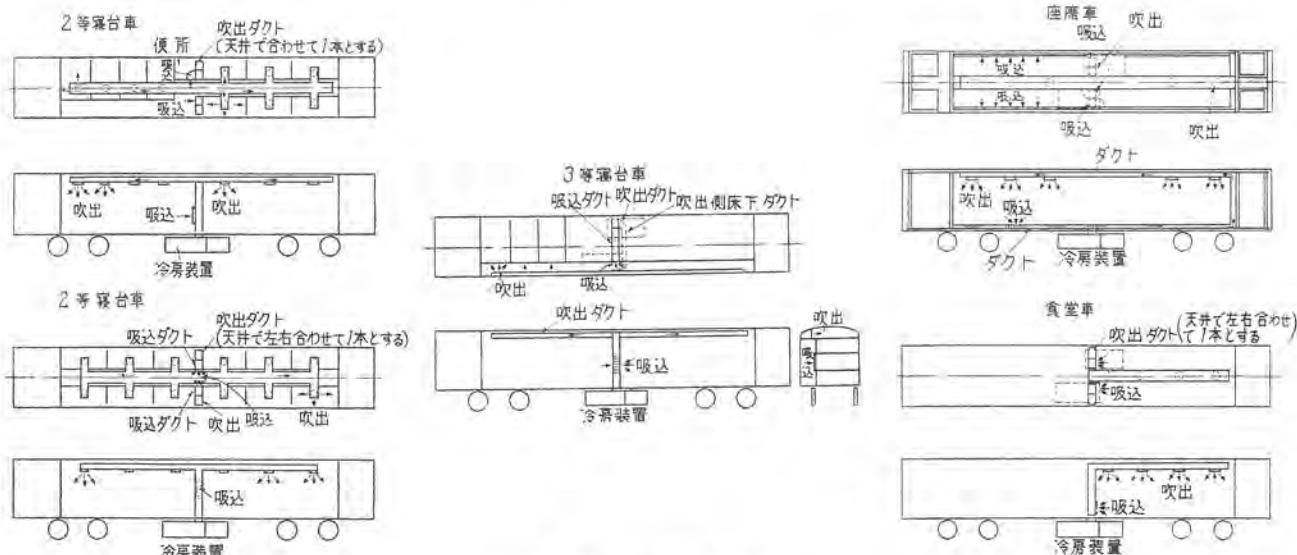


図 3.1 ダクト配置図

Fig. 3.1 Duct layout drawing.

て装置の1台を停止してもさしつかえない機構となっている。

#### 4. 冷房装置の説明

この装置は図4.1, 4.2にあるように冷房に要する各機器を一つのワク組に取付けてカバーで包んだユニット式のものである。すなわち圧縮機、凝縮器、液ダム、送風機、電動機などを取付けて冷媒を凝縮液化する凝縮室と冷却器、送風機、電動機、外気取入口ダンバ、エアフィルタ等を組み込んだ構成である。

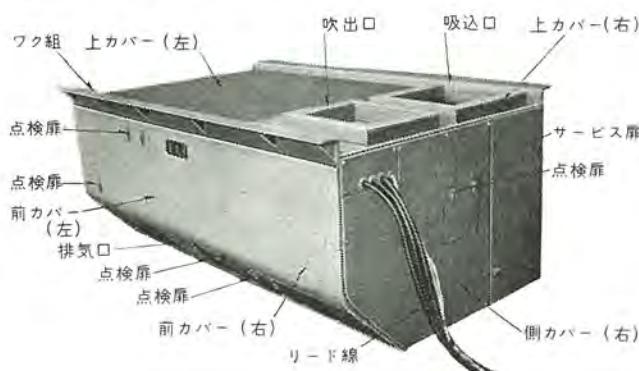


図4.1 冷房装置外観（正面）  
Fig. 4.1 Air conditioner (front view)

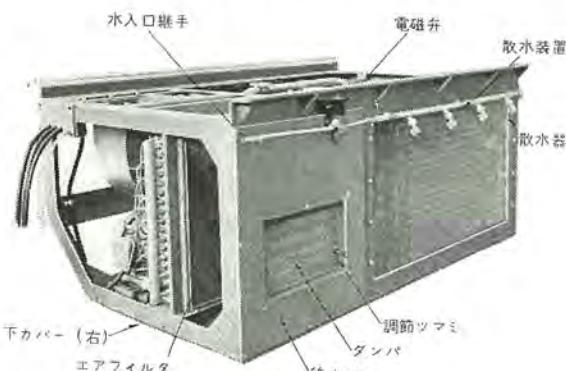


図4.2 冷房装置外観（裏面）  
Fig. 4.2 Air conditioner (back view).

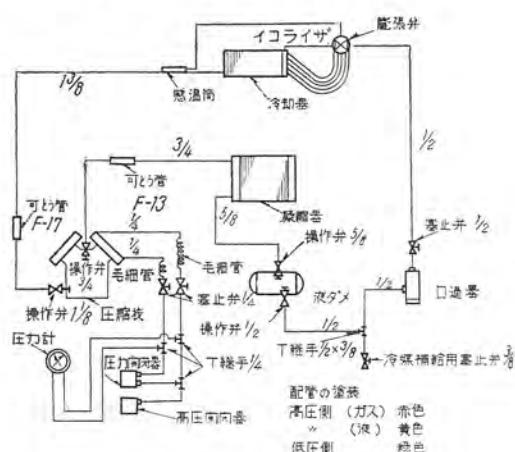


図4.3 冷媒配管系統図  
Fig. 4.3 Piping system of ref.

特急“あさかぜ”冷暖房装置・石川・牛田

表4.1 冷房装置仕様

外形寸法	高さ 805 mm × 幅 1,839 mm × 奥行 1,237 mm
電源	三相交流 200 V 60 c/s
圧縮機	半密閉形 5.5 kW 1,720 rpm
凝縮器	空冷式プレートフィン形 6列
送風機(凝縮器)	多翼形両吸込 70 m³/min
電動機(送風機)	全閉外扇形 0.75 kW
液ダメ	外径 199 mm × 長さ 450 mm
冷却器	プレートフィン形 4列
送風機(冷却器)	多翼形両吸込 28.2 m³/min
電動機(送風機)	全閉外扇形 0.75 kW

ルタを取付けて、冷媒を蒸発させて空気を冷却する冷却室からできている。室内空気は装置上面の吸込口から吸入されてフィルタ、冷却器を通り、送風機によって同じく上面の吹出口から車両ダクトに送られる。この間外気はフィルタを通って還気と混ざって冷却器にはいる。凝縮器用冷却空気は裏面の凝縮器全面から吸入されて、機械室に取付けてある送風機によって、正面下部の排気口から排出される。機械室と冷却器室とは防熱を施した隔壁によって区分されている。冷媒系統は図4.3のとおりであって、高圧ガス冷媒管は赤色、高圧液冷媒管は黄色、低圧ガス冷媒管には緑色のベンキが塗ってある。装置の概略の仕様は表4.1のとおりである。なお冷房装置は冷房期間以外は取はずすことになっている。



図5.1 送風装置外観  
Fig. 5.1 Blower arrangement.

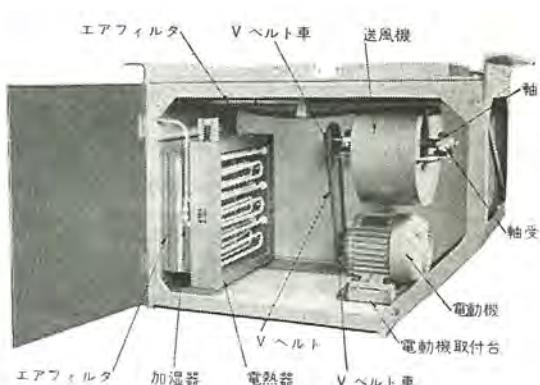


図5.2 送風装置内部  
Fig. 5.2 Interior of blower.

## 5. 暖房装置の説明

“あさかぜ”の暖房装置はすべて電気暖房器で、あってちょうど蒸気暖房管が通っている部分に取付けてある。三相交流を使用しているので相間の負荷のバランスをとるよう考慮されている。

電熱暖房であるので室内空気が乾燥する恐れがあるので加湿のため、および外気取入れのため、冷房装置をはずした後送風装置を1車両あたり1台取付ける。この装置は図5.1, 5.2 にあるように送風機、電動機、外気取入口ダンバ、エアフィルタ、電熱器、加湿器などを一つのワク組に組立て外側

をカバーで包んだユニット式のものである。室内空気は上面の吸込口から吸われて送風機によって同じく上面の吹出口から車両ダクトに送られるが、外気はフィルタを通った後、加湿器ならびに電熱器によって温潤な空気となり還気と混ざって室内に送り込む。

## 6. 制御装置の説明

制御装置は図6.1, 6.2 のとおりのもので、その電路接続は図6.3 のとおりである。操作はまず電源のノーヒューズシャンタ断器を入れれば後は正面の小扉内にある切換開閉器ならびに押しボタンを操作することによって、冷房暖房を簡単に行なうことができる。冷房を行なう場合は切換開閉器のツマミを“冷房”的位置に合わせ、つぎに換気の押しボタン“入”を押すと室内空気用の送風機が起動する。つぎに冷暖房のNo.1 押しボ

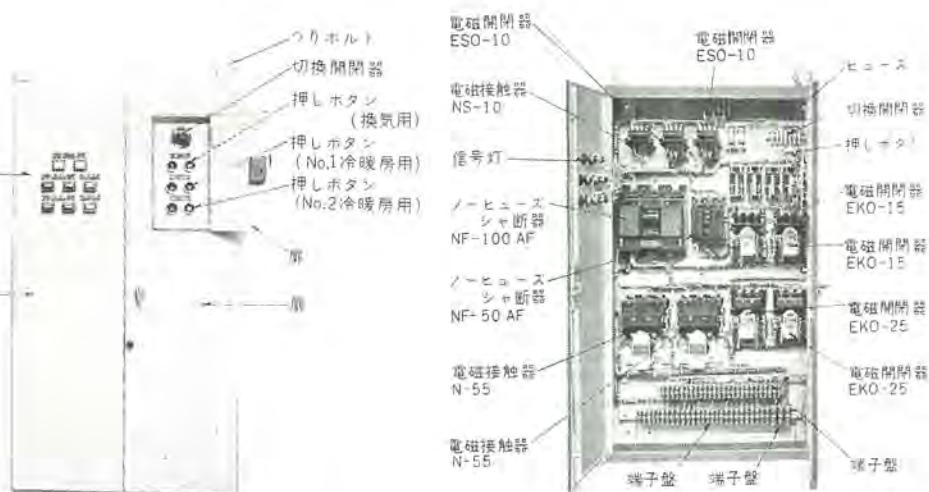


図 6.1 配電盤

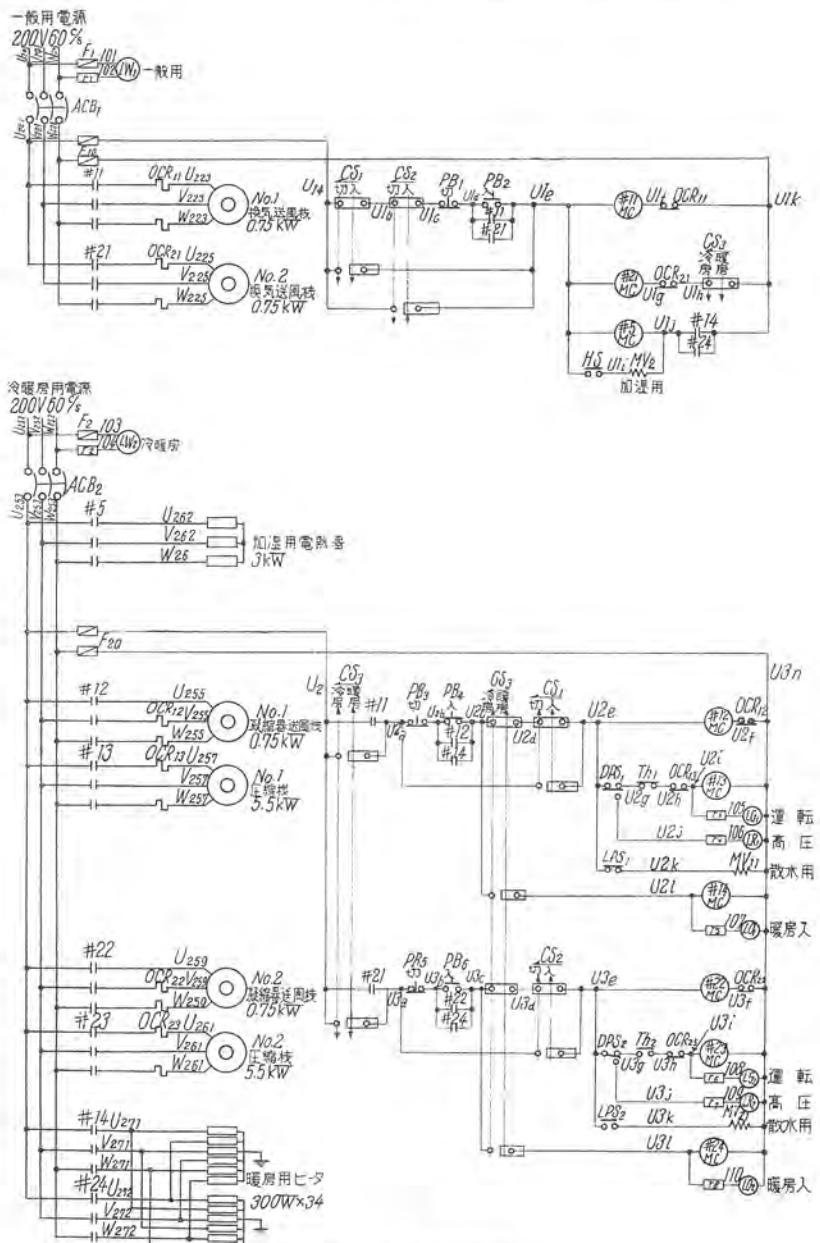
Fig. 6.1 Switchboard.

図 6.2 配電盤内部

Fig. 6.2 Interior of switchboard.

図 6.3 付表

略符号説明	
ACB	ノーヒューズシャンタ断器
CS	操作開閉器
F	危険ヒューズ
LG	緑色信号灯
LO	緑色信号灯
LR	赤色信号灯
LW	白色信号灯
MC	電磁接觸器
MV	電磁弁
PB	押しボタン
OCR	過電流保護器
r	抵抗
HS	湿度調節器
DPS	圧力開閉器
LPS	高圧開閉器
Th	温度調節器



タンの“入”を押すと冷房装置が1台だけ運転しNo.2の押しボタンの“入”を押すと冷房装置が2台運転する。温度調節は室内に設置してある1個の二段温度調節器によって冷房装置が順次制御される。なお床下には手動開閉器( $CS_1$ ,  $CS_2$ )があって、冷房装置の点検などで床下で単独運転することができる。暖房の場合も冷房と同じく、ただ切換開閉器のツマミを暖房に合わせ、換気の押しボタン“入”を押すと室内空気用の送風が起動すると同時に送風装置に取付けてある電熱器がはいり、また加湿用電磁弁が開いて、加圧水をスプレーに導き加湿を行なう。つぎに冷暖房の押しボタンを順次押せば電熱暖房器がはいって暖房が行なわれる。加湿の制御には室内に湿度調節器を取付けてあり、湿度が多い場合は加湿を行なわないよう制御する。暖房の制御は手動である。

## 7. 試験結果

冷房装置の試験結果は図7.1, 7.2のとおりである。図7.1は凝縮器吸入空気の温度を $39.6 \pm 1^{\circ}\text{C}$ におさえ、冷却器吸入空気の湿度を52%におさえた場合の冷却器吸入空気乾球温度に対する冷却能力、吸入圧力、圧縮機

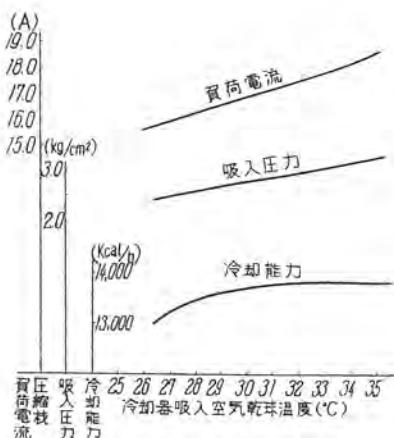


図7.1 冷房装置の能力  
Fig. 7.1 Ability of air conditioner.

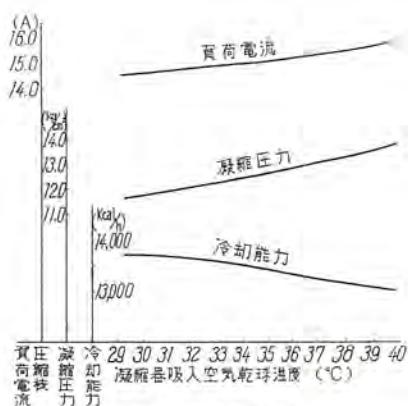


図7.2 冷房装置の能力  
Fig. 7.2 Ability of air conditioner.

の負荷電流の成績である。図7.2は図7.1とは逆に冷却器吸入空気を $26.4^{\circ}\text{C}$  52%におさえた場合、凝縮器吸入空気温度に対する同じく冷却能力、凝縮圧力、負荷電流の成績である。これを見ると、凝縮器の入口空気が約 $40^{\circ}\text{C}$ で冷却器吸入空気が $35^{\circ}\text{C}$ の場合でも負荷電流は18.6 Aであって、5.5 kWの電動機で十分余裕をもって運転できる。

## 8. むすび

この冷房装置は列車冷房として初めての試みのユニット式であって、かかる方式はまだ諸外国にもその例を見ていかない。“あさかぜ”に引き続いで、特急“平和”も同じような方式で新車両を製作することが決定され、当社も冷暖房装置を受注して“あさかぜ”的経験を生かして現在製作中である。

なお冷房装置のほか、食堂車用冷蔵庫ならびに売店用ジュースクーラも受注製作した。これらについてはまた改めて報告する。

この装置設計製作に関しては国鉄臨時車両設計事務所橋本次長はじめ各位のご指導に厚く御礼申し上げる次第である。

# 京都市交通局トロリ・バス用新形式電動機および制御装置

伊丹製作所 宮内圭次\*・松本安弘\*

## New Type Traction Motor and Control Equipment for Trolley Coaches Built for Kyoto Municipal Transportation Bureau

Itami Works Keiji MIYAUCHI · Yasuhiro MATSUMOTO

New "Super-series" traction motors which combine the advantages of the series motor in acceleration and the shunt generator in dynamic braking have been developed for the trolley coaches of the Kyoto Municipal Transportation Bureau. A new pneumatically operated control equipment and a differential control-circuit go together with these motors to accomplish, without notches, smooth and almost constant dynamic braking over a wide range of speed. A number of features are embodied in their design to ensure maximum reliability with minimum maintenance. Nine trolley coaches equipped with these devices have been in service since last fall.

### 1. まえがき

昨秋京都市交通局が四条大宮—梅津間の路線用に新造されたトロリ・バスはその主電動機および制御装置においてわが国でその例をみない新形式のものである。従来起動特性の優位から電気車にはほとんど全面的に使用されてきた直巻電動機も最近電気制動が常用されるによよんでもこれが制御と保守の繁雑さは悩みの種であった。しかるに今回のトロリ・バスではスーパー・シリーズモータの採用により主電動機自らステップレスの定減速度の制動性能を発揮することによって制御装置は制動時には単に減速度の率を選択するにすぎないものとなった。したがって制動週期中は諸機器の繁雑な動作を伴わず、その信頼性と維持費の低廉というトロリ・バスの信条はその運転実績から十分発揮し得て今後ますます斯界の注目を浴

びることは必至であろう。以下このトロリ・バスの電機品の説明ならびに性能試験について報告する。

### 2. トロリ・バスの要目および特長

#### 2.1 要 目

##### 車両および運転条件

車種	二軸六輪無軌条電車
全長×巾×高さ	12,520×2,490×2,985 mm
自重	8,350 kg
定員	75名、乗務員2名
定員時重量	12,585 kg
道路	12 cm アスファルト舗装
コウ配	なし
駅間(平均)	460 m
最大速度	50 km/h
加速度	3.5~4.5 km/h/s
常用減速度	3.5~4.5 km/h/s

##### 制御関係

電車線電圧	600 V
主電動機	600 V 100 kW × 1台
減速歯車比	11.65
制御電圧	24 V
制御空圧	3.5~4.5 kg/cm <sup>2</sup>
制御ステップ	力行 全界磁 12ステップ 弱界磁 2ステップ
制動装置	常用 電空併用式フートブレーキ 非常用 プロペラ軸緊縛式ハンドブレーキ



図 1.1 トロリ・バス全景

Fig. 1.1 Trolley coach.

## 2.2 特長

最近トロバスの発達に伴い直巻電動機のすぐれた特性をもちながらしかもスムーズな発電制動が簡単な制御装置により可能なような電動機および制御回路に対する要求が高まり、この目的を満たすべく開発された電機品が今回のものである。すなわち発電制動用分巻界磁付直巻電動機“スーパー・シリーズ”は力行時直巻コイルだけを用いることにより直巻電動機の特長である理想的加速特性とセン絡に対する固有の安定性をそのまま保持し、発電制動時には分巻コイルだけを用い、これを特殊な差動制御回路および空気操作式制御装置と併用すことにより電動機は分巻発電機となり、自動的にノッチレスで一定の制動力を発生するよう工夫されている。

図2.1はこの場合の回路接続を示す。すなわち制動時には直巻コイルを切り離し、分巻コイルだけを用い、電機子回路に制動抵抗 $R_b$ ,  $R_h$ を挿入してこれを短絡する。この場合分巻コイルは制御ノッチ抵抗“C”および $R_b$ を通して架線から励磁される。図から明らかなように分巻コイルに加えられる電圧は（架線電圧600V—制動抵抗中の電圧降下 $R_b I_b$ ）で与えられる。したがってトロバス速度が高く電機子誘起電圧が高いと $I_a$ が増し、 $R_b$ の電位降下が大となり、分巻コイルにかかる電圧、すなわち分巻コイル電流が減少して自動的に発電機の制動力を増加を制限する。これと反対にトロバス速度が低下すると電機子誘起電圧による電流 $I_a$ が減少し $R_b$ の電位降下が

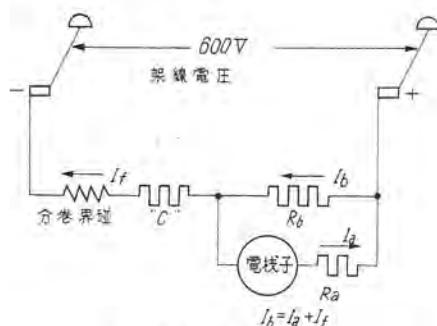


図2.1 差動制御回路

Fig. 2.1 Schematic diagram of dynamic braking  
"Differential control" circuit.

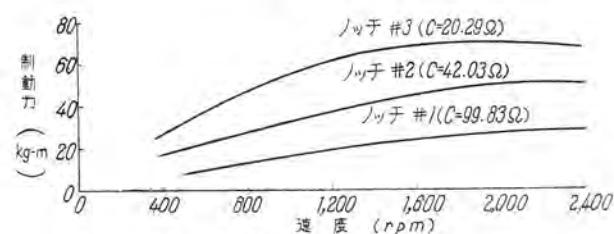


図2.2 制動試験特性

Fig. 2.2 Dynamic braking test curves.

小になるから分巻コイルの強さが増し自動的に制動力の低下を補う。

すなわちかかる差動回路を用いることにより図2.2のように広い速度範囲にわたりほとんど一定のスムーズな制動力を自動的に発生させることができる。

## 3. スーパーシリーズ主電動機

### 3.1 設計目的

直巻電動機の速度・トルク特性は車両用のように大きい起動トルクを必要とする主電動機として理想的であることは議論の余地がないが、発電制動時スムーズで一定の制動力が得にくく、複雑な制御装置およびコントロールノッチを必要とする欠点がある。これに対し分巻電動機を用うれば発電制動力は広い速度範囲にわたり一定となり理想的な特性をもっているが、力行時負荷の変化に対して比較的速度変化が少なく、構造も直巻電動機のようにがんじょうに設計できず、セン絡に対しても電気的安定性に劣るのでこのタイプの電動機を採用することは必然的に車両用としての直巻電動機のすぐれた特性を放棄することになる。この矛盾を解決し、直巻電動機と分巻発電機の利点を兼ね備えた電動機としてトロバス専用に開発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はあるが発電制動用の分巻界磁を内蔵し、力行時は直巻界磁だけを使用して従来の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純粹の分巻発電機となりすぐれた制動特性を発揮するものである。

なおこの新形電動機は高信頼性、低保守費という見地より設計上電気的機械的に幾多の改良を加え、就中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



図3.1 MB-1442-N2形“スーパー・シリーズ”主電動機

Fig. 3.1 Type MB-1442-N2 "Super-series" traction motor.

感を払い、35%まで大出力の弱界磁運転が可能で、高加速、高減速、高つりあい速度が得られる。

### 3.2 要 目

形 式	MB-1442-N2
方 式	直流直巻、補極、発電制動用分巻界磁付、丸形ヨーク、半密閉自己通風式
1 時間定格	100 kW 600 V 194 A 1,700 rpm (65%F で)

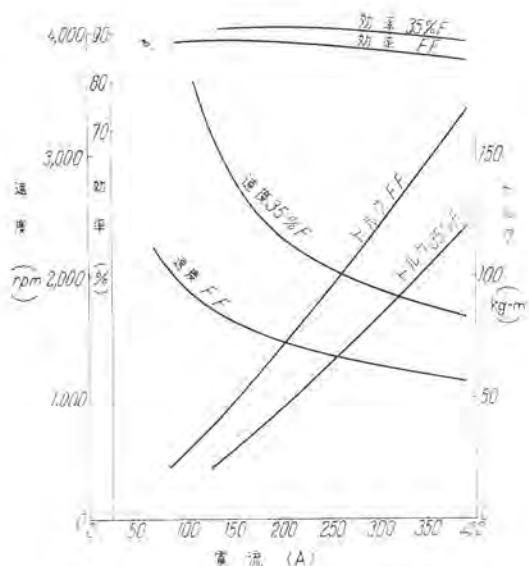


図 3.2 MB-1442-N2 形 “スーパー・シリーズ” 主電動機特性曲線

Fig. 3.2 Type MB-1442-N2 "Super-series" traction motor characteristic curves.

最大弱界磁	35%F (誘導分路制御)
最大許容回転数	4,500 rpm
巻線絶縁	完全B種
重量	710 kg (速度計を含まず)

なお直巻電動機に分巻界磁を収容したにもかかわらず新しい絶縁材料の使用、インボリュート形ファンによる通風効果の向上、電気設計の進歩などにより従来当社のトロバス用標準主電動機 MB-1005-A 形 (1 時間 100 kW 600 V 188 A 1,700 rpm FF 最大弱界磁 60%F 重量 800 kg) と比較し、大巾に小形軽量となっている。

### 3.3 特 長

#### (1) 機械設計上の特長

(a) 電機子コイルエンドを支持する電機子クランバおよびスパイダは従来の鉄鋼に代り非磁性鉄物を用い整流電圧の減少による整流改善を計っている。

(b) ブラシは整流子面に対し 15 度の傾斜をもたせ接触ショウ動を円滑にした。

(c) 整流子は強固なアーチバンド式締付構造とし高速における遠心力および熱応力によるハイバ、偏心などの変形を起さないようにした。

(d) ファンは片回転を主とするトロバス用にブレードを長くとり、バックワードインボリュートカープの形状を採用し、通風効果をいちじるしく高め、かつ通風騒音を低下させた。

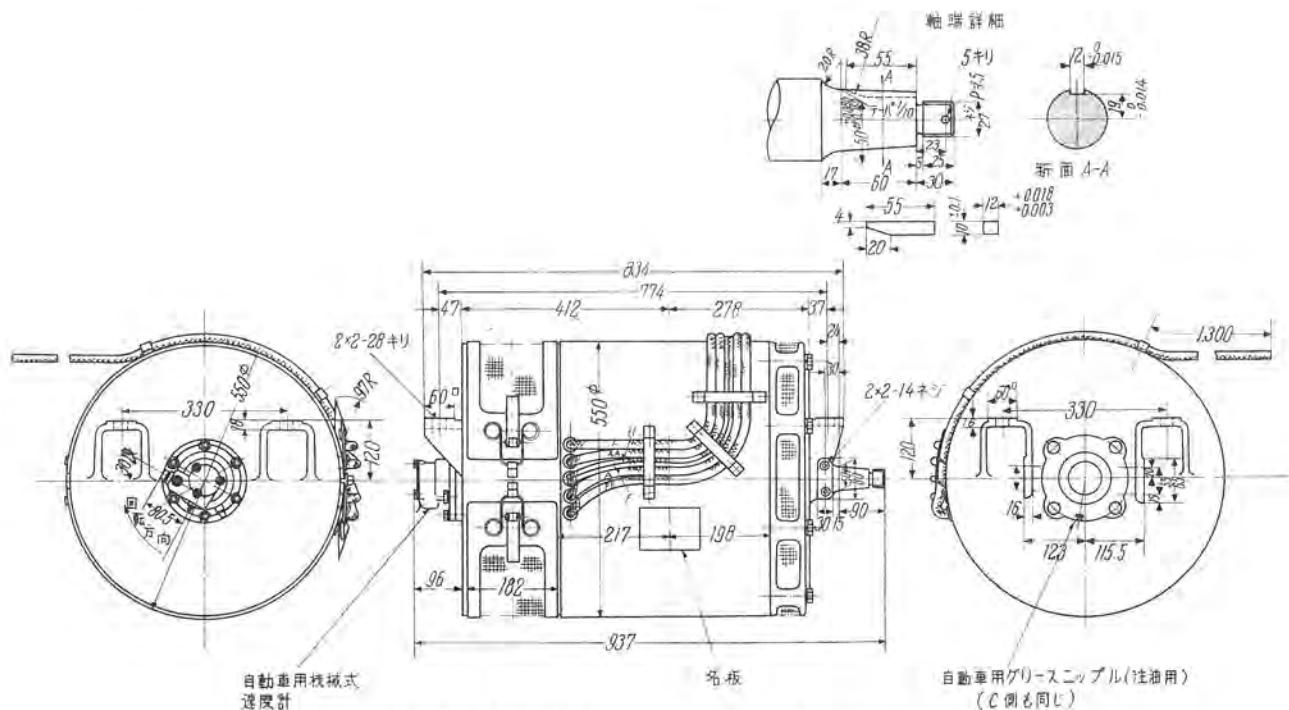


図 3.3 MB-1442-N2 形 “スーパー・シリーズ” 主電動機外形  
Fig. 3.3 Type MB-1442-N2 "Super-series" traction motor outline.

		整流器	転換器	カム種別選択器								電磁接触器			
		LS	P BK	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	F <sub>S1</sub>	F <sub>S2</sub>	S <sub>F1</sub>	S <sub>F2</sub>	S <sub>P1</sub>	S <sub>P2</sub>
マスコン スティック	21	○ ○	○ ○												
		○ ○ ○	○ ○ ○												
		○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○												
		○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○												
		○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○												
		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○												
		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○												
制動力-1		○ ○								○					
* -2		○ ○								○ ○					
* -3		○ ○								○ ○ ○ ○					

FR 界磁繼電器 CLR 領流繼電器  
OLR 過負荷繼電器 LR 低電圧繼電器

(e) 電動機ヨーク両端には車体装架用の四つの取付足を設け、駆動側軸端にはドラムブレーキ、整流子側軸端には速度計を取り付ける構造になっている。

## (2) 電気設計上の特長

(a) 主極コイルは直巻コイルと分巻コイルをそれぞれ独立ユニットとして絶縁した上一体に組立てワニス含浸により強固に固めている。

(b) 電機子鉄心は磁気特性のすぐれたD級ケイ素鋼板を用い高速回転における鉄損の減少を計った。電機子スロット数は可及的に大にとり整流、冷却、磁気騒音に意を用いた。

(c) 補極鉄心は積層し整流安定性の向上を計っている。

(d) 分巻コイルは直巻コイルと共に主極鉄心に巻かれているため相互インダクタンスにより互に電磁結合している。電動機の力行中分巻コイル端子をオープンしておけば直巻電動機としての性能になんら影響を与えないが、トロリ・ポールの離線、あるいはノッチ進め時など主極磁束が急変すると巻数の多い分巻コイルに高い電圧を誘起し絶縁破壊を起すおそれがある。このため分巻コイルは當時異常電圧制限器で短絡しておき、サージ発生時分巻コイル内に電流を流し誘起電圧を安全限度内に押える。

## 4. 制御装置

### 4.1 概要

図4.1、4.2および図4.3に主回路、力行ノッチ曲線および制動特性曲線をそれぞれ示す。

主電動機は力行時には直巻電動機、制動時には他励分巻発電機として働く。

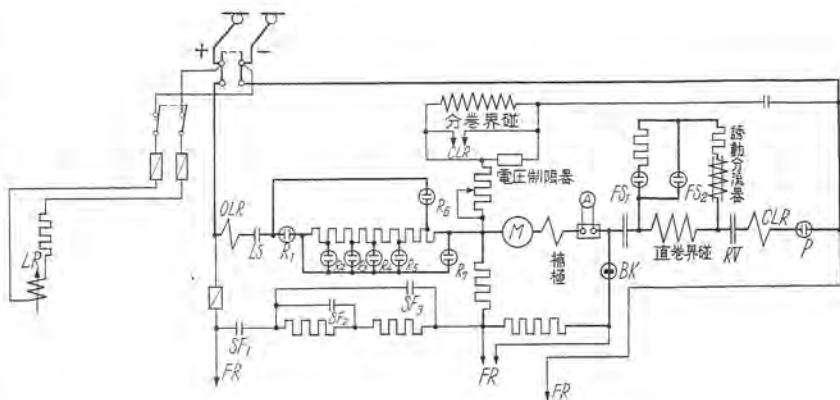


図 4.1 主回路

Fig. 4.1 Main circuit.

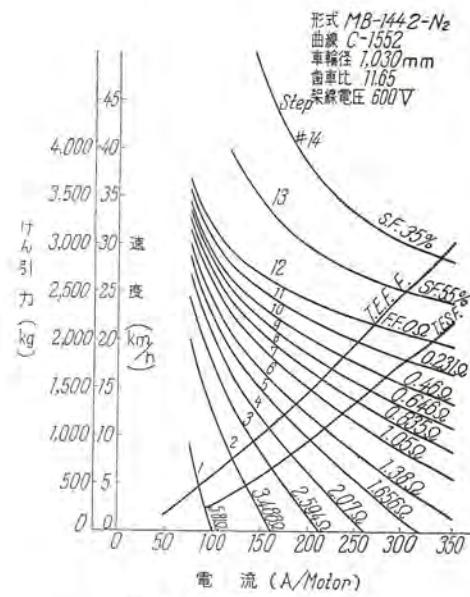


図 4.2 力行ノッチ曲線

Fig. 4.2 Notching curves (powering).

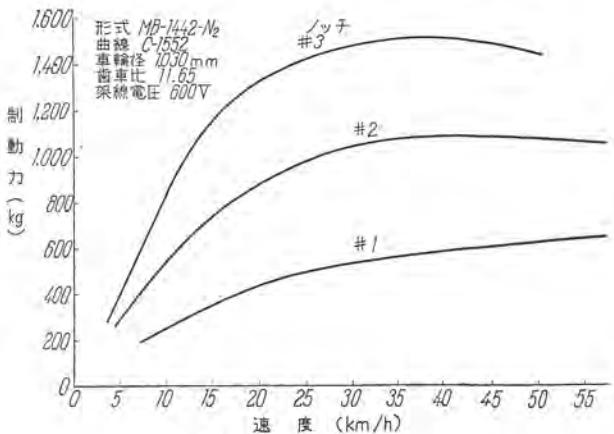


図 4.3 制動特性曲線

Fig. 4.3 Braking characteristic curves.

力行では限流继電器装置により全界磁 12 段と弱界磁 2 段の自動ステップ進めを行なう。加速度は力行ペダルの踏み加減に応じて一定範囲内で無限段階の値が得られる。制動では発電機回路の工夫によってステップレスでほぼ一定の電制力が得られる。なお必要に応じて制動ペ

ダルの踏み加減で電制力を3段階にかえることができる。制動ペダルをいっそう深く踏みこむときはその度合に応じた空制力が追加される。

#### 4.2 動 作

図4.4に力行時の主回路を示す。

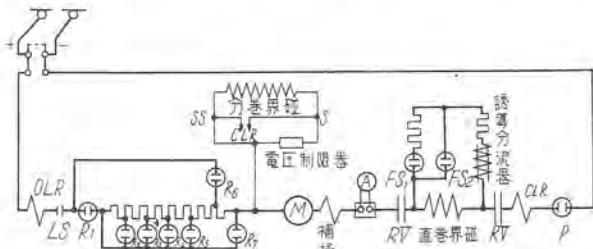


図4.4 力行時主回路

Fig. 4.4 Main circuit for powering operation.

#### (1) 力 行

##### (a) ステップ刻み

力行ペダルを踏めば限流継電器装置によって 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で抵抗および直巻界磁を自動制御する。正確なステップ刻みのためにはカム軸の円滑な動作と限流継電器の敏感な動作が要求される。限流継電器の応動をいっそうよくするために主電動機の分巻コイルが利用される。すなわち分巻コイル端子 SS, S がこの継電器の補助コイルに接続されステップが進むたびに SS-S 間に発生する誘起電圧で限流継電器の引上げ作用をたすけて接点の開放をはやめステップとびを防止している。

##### (b) ステップもどし

力行ペダルをゆるめるとステップはもどり力行回路に順次抵抗を挿入して2ステップまでもどって初めて回路を開くのでほとんどショックを生じない。

#### (2) 制 動

図4.5に制動時の主回路を示す。

##### (a) 一定の電制力

電機子回路中の A-B<sub>2</sub> 間の抵抗には電機子電流と分

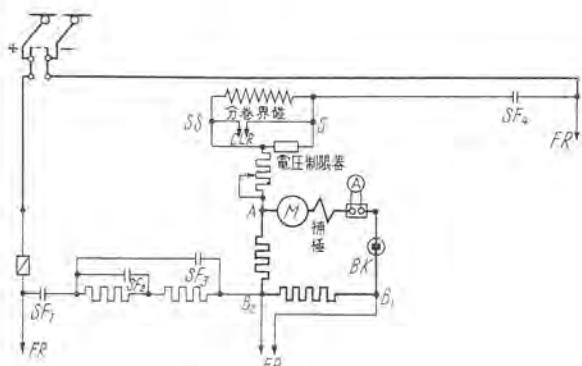


図4.5 制動回路

Fig. 4.5 Main circuit for braking operation.

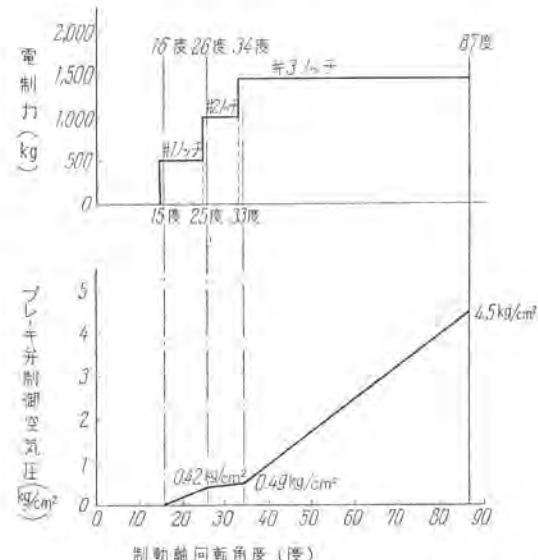
巻界磁電流が合流し、高速で電機子電流が大きいときは A-B<sub>2</sub> 間の電圧降下が増し、架線から励磁される分巻界磁電流は減少する。低速で電機子電流が減ずると界磁電流が増加するので広範囲の速度に対してほとんど一定の電制力が得られる。しかしごく低速になれば界磁電流は増しても界磁束は飽和してそれほど増加しないので電制力は次第に消失して車はスムーズに停止することができる。

##### (b) 3段階の電制力

分巻界磁の直列抵抗を制動ペダルの踏み加減で電磁接觸器 SF<sub>1</sub> または SF<sub>2</sub> によって短絡して3段階の電制力が選択できる。

##### (c) 電空制動併用

制動ペダルを十分深く踏みこむときはその踏み加減に応じた空制力も追加される。制動ペダル操作と電制力および空制力の関係を図示すれば図4.6のとおりである。



主電機 MB 1442-N2 形、タイヤ径 1,030、減速倍率 1:11.65、駆動電圧 600 V  
車速 26 km/h、制動特性曲線 図4.3 参照

図4.6 制動ペダルと電制力および空制力の関係

Fig. 4.6 Diagram showing relation between braking pedal and dynamic or pneumatic braking effort.

なおこの図では制動ペダルの踏み加減は主幹制御器の制動軸の回転角度で示している。

##### (3) 制御回路と保安について

主電動機の特殊性と電磁空気操作のカムスイッチ方式の採用により制御回路はきわめて簡単であるが一般電気車に比べればひんぱんな起動停止に対する迅速円滑な運動性能と主電動機に対する保護に関しては特別の考慮が払われている。前項までに制御回路に関する事項についても幾分言及したが、さらに若干補足説明する。

### (a) 制動初期

力行ペダルをゆるめるとステップはもどり 2 ステップで力行回路を開き、1 ステップで制動切換用カムスイッチの  $P$  を開き、 $BK$  を閉じて電機子だけ閉回路を形成し、制動ペダルを踏めば電磁接触器  $SF_1$  および  $SF_4$  (ペダル位置では  $SF_2$  あるいは  $SF_3$  も投入する) が投入して電制状態にはいる。なお力行中に制動ペダルを踏めば  $L_s$  および  $P$  はただちに開き、つづいて電制回路を形成する。電制主回路は電機子回路と分巻界磁回路の二つからなるが必ず電機子回路を先に作る。もし電機子回路を後で閉じると、 $BK$  スイッチは投入時荒損し、かつ、電機子電流の急変によるショックおよび主電動機のフラッシュオーバなどの危険を伴う。

### (b) 分巻界磁開放継電器 (FR リレー) 回路

電磁接触器  $SF$  の動作コイルは  $FR$  リレーの接点と直列であるから  $FR$  リレーが動作していないかぎり電制回路はできない。 $FR$  リレーは動作コイルと保持コイルを備えた限時リレーで落下に約 1 秒を要す。動作コイルは制動ペダルを操作しないときはねに架線から励磁されている。したがって制動にはいるとその電源は絶たれるが、リレーが落下しないうちに電機子電流が立上り  $B_1-B_2$  の電圧で保持コイルが励磁されるので保持されたままとなる。電制の終期で電機子電圧が下ると  $B_1-B_2$  間の電圧で保持し得なくなり  $FR$  リレーは落下して分巻界磁は架線から切離される。このため低速ほど界磁電流は大きいが停止近くで界磁電流はなくなるので停止後でも制動ペダルを踏み続けていても界磁コイルを過熱する

表 4.1

器具名称、形名	内 容 器 具、形 名	記 号	注 記
主幹制御器箱 KF-20-11	主幹制御器 KF-20	$RV$	逆転軸、力行および制動カム軸付
	断流器 UM-222	$L_s$	600V 20mH 800A ショート能力
	限流继電器 LA-5531	$CLR$	限流範囲 80A～270A
主制御器箱 XC-11-131	カム軸接触器 UCB-201A UCB-201B	$R_1 \sim R_7$ $F_{S1}, F_{S2}$	600V 20mH 300A ショート能力
	制動転換器 UCB-201A	$P, BK$	同 上
	電磁弁 VM2113		空気シリンダ操作用 小形 on 電磁弁
	〃 VM2114		小形 off 電磁弁
離電器箱 UMB-712-32	分巻界磁接触器 UM-712	$SF_1 \sim SF_4$	600V 10A 用
	過負荷继電器 YA-601C	$OLR$	動作値 350A
	低電圧離電器 UF-95	$LR$	落下 270V 引上 400V
	界磁開放離電器 UD-549B	$FR$	限時リレー 起動約 1 秒
	電圧制限器		
補助接触器箱 ILB-22-33	二極接触器 IL-22	$C$	コンプレッサ用
	〃	$G$	M-G 用
主抵抗器 EW-11		504～510 510～ $B_2$ $B_1 \sim B_2$	鉄クローム帶 リボン形抵抗器 2 箱
		527～ $B_2$ 510～SS	ニクロム線 ガラス形抵抗器
分巻界磁抵抗器 RB-628E			
誘導分流器 CX-116-A			電磁抵抗器付

恐れはない。

### (c) 分巻界磁電圧制限器

3.3 項に述べたようにピーク電圧を抑制して絶縁破壊を防止するために分巻コイルと並列にシリコンカーバイト円板の電圧制限器が挿入されている。

### (d) その他

停電またはトロリ・ポールの離脱などで給電が絶たれたときは標示灯を点灯すると同時に、力行中であれば  $L_s$  を開きつづいてステップは 1 ステップにもどり、再給電されれば 5 ステップ以下であればただちに力行状態に復帰する。

力行中の過電流は過負荷继電器によって  $L_s$  および  $P$  を開き、制動中での界磁回路はヒューズで保護する。

### (4) 制御機器

制御機器は概要表 4.1 に示すようである。

#### (a) 主幹制御器箱

主幹制御器には力行軸、制動軸および逆転軸があり、各軸の一端は箱外に突出して運転台の力行ペダル、制動ペダルおよび逆転ハンドルと連動桿でそれぞれ連結されている。力行軸は制御回路の切換えと同時に限流继電器



図 4.7 主幹制御器箱  
Fig. 4.7 Master control unit.

の限流点調整用のバネを伸縮させてその回軸角に応じて約 80A から 270A の範囲で限流値を変化させる。

#### (b) 主制御器箱

カム軸接触器には抵抗制御用 7 個、界磁制御用 2 個および制動転換用 2 個、合計 11 個のカムスイッチを備え、各スイッチにはアーク消弧機構を有している。このうち制動転換用カムスイッチのカムは他のカムスイッチとカム軸は共通であるが、別の電磁弁付空気シリンダで独立

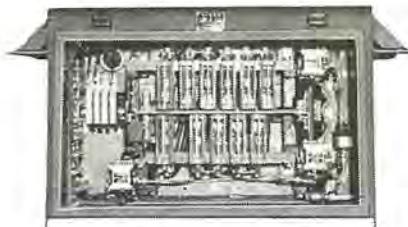


図 4.8 主制御器箱  
Fig. 4.8 Main control unit.

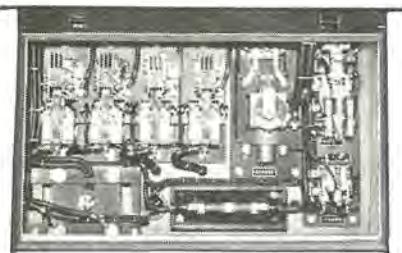


図 4.9 継電器箱  
Fig. 4.9 Relay unit.

して動作しうる構造となっている。

(c) ローラ付き接触指

主幹制御器およびカム軸接触器の補助回路用接触片はローラ付きでカムによってこのローラを押して接触片上の銀接点を開閉する。したがって接触指はひんばんな動作に対しても十分な寿命を保証することができる。

## 5. 試験成績

### 5.1 主電動機発電制動特性工場模擬試験

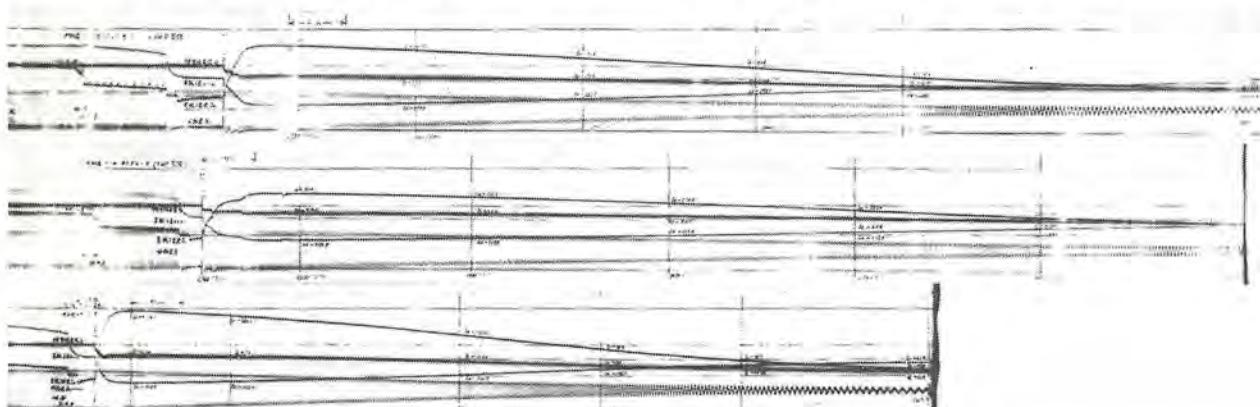


図 5.1 発電制動試験オシロ  
Fig. 5.1 Dynamic braking test oscilloscope.

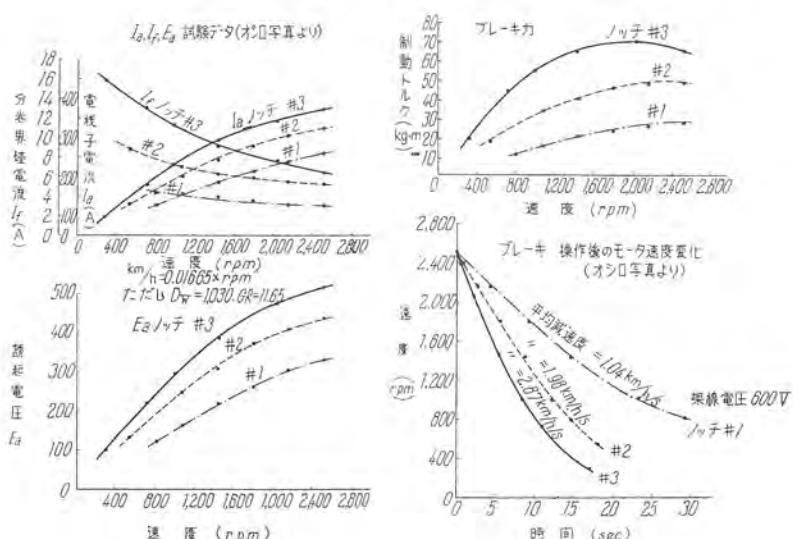


図 5.2 制動試験特性 600V 架線; #1, #2, #3 ノッチ

Fig. 5.2 Dynamic braking test curves 600 V trolley; #1, #2, #3 notches.

今回のスーパー・シリーズ電動機および制御装置はまったく新機軸の方式であるから現車試験に先だちトロバス満員車相当のフライホイールを電動機軸端に直結し制御装置と組合わせて発電制動の工場模擬試験を行なった。

オシロ図 5.1 は制動時の電機子誘起電圧  $E_a$ , 電機子電流  $I_a$ , 分巻コイル電流  $I_f$ , および電動機回転数の変化の代表例で、上から順に：

- 600 V 架線, #3 ノッチ
- 500 V 架線, #3 ノッチ
- 600 V 架線, #3 ノッチ, ただし制動抵抗  $R_a$ ,  $R_b$

(図 2.1 参照) の値を変更

の各場合のオシロを示す。

(a) の場合をオシロからプロットしたものが図 5.2 で、制動開始より約 900 rpm (=15 km/h) までほとんど一定の制動力が得られていることがわかる。

(b) の場合 すなわち架線電圧が 600 V から 500 V に低下すると #3 ノッチの制動効果は 600 V 時の #2 ノ

ッチ相当まで低下している(図 5.3 参照)

(c) の場合 すなわち制動抵抗  $R_a$ ,  $R_b$  の値を変えた場合の制動効果の変化を見るに  $R_a$  をえると最大制動力を発生する速度が変わり(試験では  $R_a$  を減少したため最大制動力点が低速のほうに移動した),  $R_b$  の値をえると各速度における制動力の値が変わる(試験では抵抗値を減じたため制動力が増大し、しかもカーブのワニ曲が強く表われている)ことを確かめた(図 5.4 参照)。

すなわち  $R_a$ ,  $R_b$  の組合せを適当に設計することにより制動力の最大値が駆動装置の安全強度をこえるのを防止し、

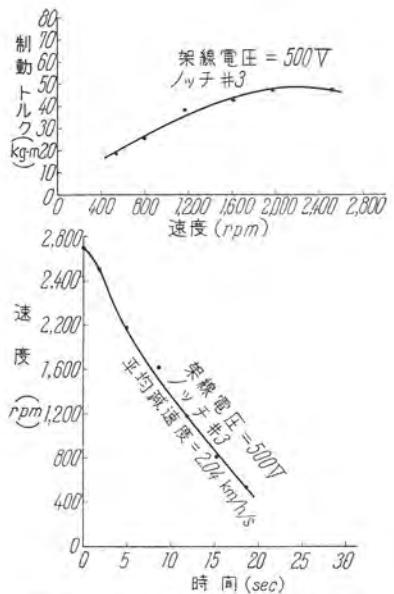


図 5.3 制動試験特性—500 V 架線  
ノッチ #3

Fig. 5.3 Dynamic braking test curves—500 V trolley #3 notche.

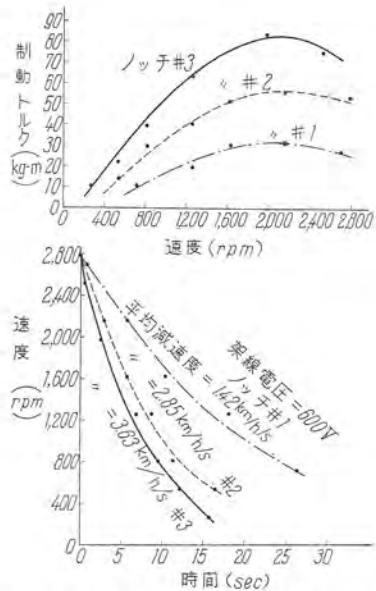


図 5.4 制動試験特性—600 V 架線  
#1, #2, #3 ノッチ

Fig. 5.4 Dynamic braking test curves—  
600 V trolley; #1, #2, #3 notches;   
brake resistance  $R_a, R_b$  changed.

電動機誘起電圧がフラッシュオーバ限度に近づくのを抑制し、しかもトロバス最高速度より 15 km/h までの広い速度範囲にわたりスムーズでほとんど一定の制動力を自動的発生させうることがわかる。

以上の試験中電動機の整流状態はいずれも 1 号（無火花）であり、新方式の制動効果は設計値とまったく一致し所期の性能を十分満足していることを確認した。

なお分巻コイル保護用異常電圧制限器の動作は正常で、約 600V 以上のインパルスで通電している。

## 5.2 制御装置性能工場模擬試験

工場模擬試験における制動試験の結果は前述のとおり

であるが、このほか力行性能、保護系統の動作の異常の有無などについて各種の試験を行ない、設計予定どおりの好結果を得た。代表的試験記録を示せば次のようにある。

### (1) 力行試験

図 5.6 高加速起動の代表例で、正確なステップの刻みとステップモドレーショングの状況を知ることができる。

図 5.7 限流リレーの補助コイル（キック作用用）を試みに使用しない場合の高加速起動例で、この場合ステップとびを起していることがわかる。図 5.6 と对比すれば分巻コイルの利用によるステップとび防止の効果がうかがわれる。

### (2) 過負荷ショット

図 5.8 起動時および過負荷時の  $L_s$

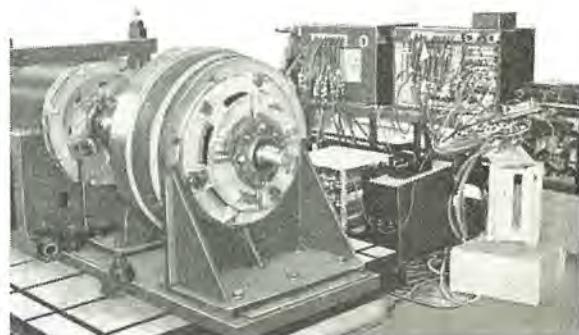


図 5.5 工場模擬試験

Fig. 5.5 Factory test arrangement.



図 5.6 力行試験  
Fig. 5.6 Powering test.

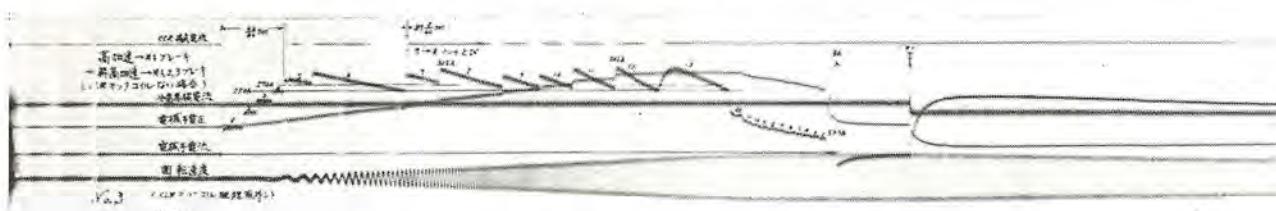


図 5.7 力行試験 [限流继電器の補助コイル使用せず]  
Fig. 5.7 Powering test with auxiliary coil of current limit relay cut-off.

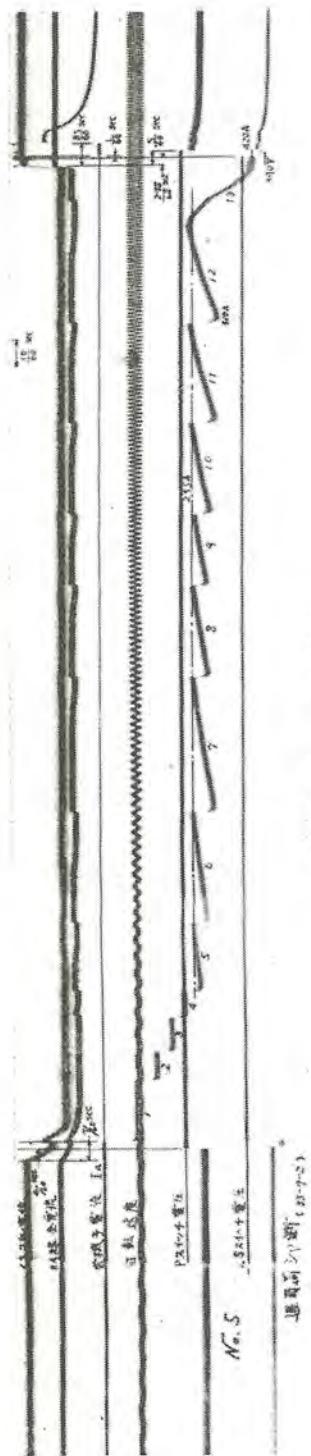


図 5.8 過負荷シャンク試験  
Fig. 5.8 Over-load interrupting test.

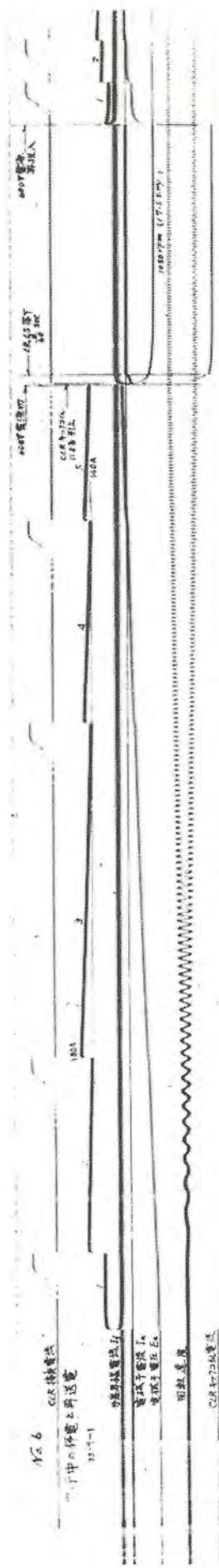
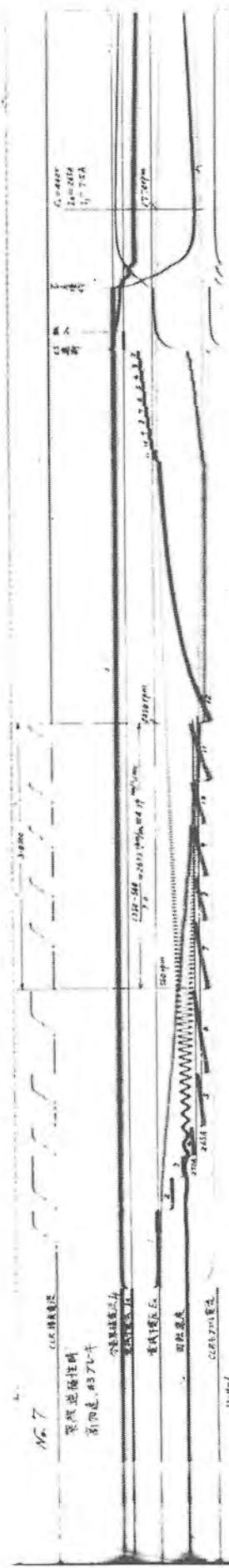


図 5.9 力行中の停電試験  
Fig. 5.9 Power supply interruption test while powering.



三菱電機・Vol. 33・No. 3

$P$ などの開閉時間の関係を示す。これによれば電流投入は  $L_s$  で行ない、過負荷時にはすみやかに  $L_s$  で電流をシャーレンし、場合によっては  $P$  が  $L_s$  のシャーレンを援助しうることが推察できる。

### (3) 力行中の停電と再送電

図 5.9 力行中停電後再給電すればただちに力行の状態に復帰することがわかる。

### (4) 架線逆極性時の力行および制動

図 5.10 力行、制動とともに正常極性時とまったく同じ性能をうることを確認した。

なお後進時の制動では FR リレーの保持コイルが逆極性になるため電制電流立上りとともに FR リレーを落下させ電制は無効となることを確かめた。

## 5.3 現車試験

工場試験においてすでに詳細試験をみたため、現車での測定試験を詳細に実施することは不要となった。力行試験に関しては工場試験結果と同様のため、制動試験結果だけ一部例示すれば図 5.11 および図 5.12 のようである。

図 5.11 は制動初速 35 km/h から電制だけの高減速制動で制動距離は 13.5 m、図 5.12 は 20 km/h からやはり電制だけの高減速制動で制動距離 7.2 m の場合のオシログラムである。

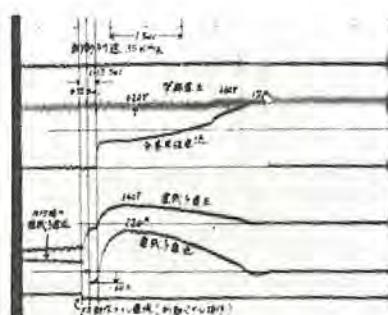


図 5.11 現車制動試験（初速 35 km/h）  
Fig. 5.11 Trolley coach field test for braking  
(initial speed 35 km/h).

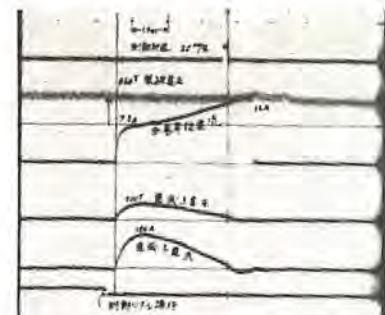


図 5.12 現車制動試験（初速 20 km/h）  
Fig. 5.12 Trolley coach field test for braking  
(initial speed 20 km/h).

前者は力行中に制動ペダルを踏んだもので、図によれば制動ペダル操作 (FR リレー動作コイル消磁) 後 0.12 秒で制動転換スイッチ BK が閉じ、さらに 0.12 秒後に分巻界磁用接触器 SF が投入して電制を開始したことがわかる。また電機子電流が最初逆方向に流れているのは力行時の残留電圧によって BK の投入で流れた電流で、制動終期のわずかの逆流は界磁電流が分流するためである。

現車においても工場試験同様所期の成績を得たので運転操作の習熟と相まって今後の営業運転成績から今後ますます好評をうることと思われる。

## 6. む す び

昨秋京都市交通局で新造された 9両のトロリ・バスには前述のように主電動機、制御装置とともに国内で例のない新設計のものが採用されたが、所期の高性能を遺憾なく発揮することができたことは誠に嬉しい次第である。なお今後その運転実績により維持費の低廉なことが証明されて名実ともにわが国トロリ・バス界の先端をゆくものと信じてやまない。終りにあたりこの電機品の設計、製作、試験に際していろいろとご指導、ご協力いただいた京都市交通局の各位ならびに当社伊丹製作所の関係者の方々に深く謝意を表する次第である。

# 距離繼電器と将来の動向

神戸製作所 北浦孝一\*

## Distance Relays and Their Future Trend

Kobe Works Kōichi KITAURA

Distance relays are the typical protective device for the transmission line by making judgement whether the fault is within the protected zone or not, based on electrical quantities proportional to the distance  $x$  to the fault point, that is, transmission impedance  $Z$ . The impedance being the ratio of voltage to current, most of the operation principle of the distance relay depend on the computation of the deduction between the operating and retaining forces in the relay element.

The relays, using this principle, however, have been believed to reach their limit to some extent in their operation, and any further improvement on them will never be expected unless new ideas are applied in the design. The writer accounts for a trend on which the future relays will be developed.

### 1. まえがき

時限保護継電方式が送電線保護の主役を演じていたころ、直線座標のゆきづまり打開のため  $R-X$  複素平面座標を伴侶として登場した距離継電器は、当時としては画期的な存在であった。じ來、この距離継電器は、具体化の面において、種々改良され、送電線保護の代表的継電器として広く適用されている。しかし、動作原理に関しては新規着想のものが現われなかったから、 $R-X$  複素平面に表示された動作特性も、円すい二次曲線、または直線に限られていた。したがって図 1.1 に示される四辺形の内部故障範囲を最小限度に完全に包含する理想特性のものを、従来の考え方で作り出すには、いくつかの継電要素を組合わせて総合特性を理想特性に近づける以外

### 方法がなかった。

多数の継電要素を組合わせると各継電要素間の動作協調が問題となるのでこれを解決する対策とかダ円特性、偏平円特性などを作り出す方法などに努力の焦点が向かれてきた。これはちょうど、プロペラ推進の航空機時代に翼とか機体をいかに航空力学的に研究しても、プロペラである以上、音速の壁を破ることができず、同じ航空機でもジェット推進とすることにより簡単にこれを打破っているのに似ているのであるが、以下本文は、従来の距離継電器の動作原理、特性、性能限界を説明し、これと対比して新規着想の動作原理および動作特性について述べ、同じ努力を払うなら、どの方面に集中すべきか論述したものである。

### 2. 従来の距離継電器の原理構造

距離測定の根本原理は、図 2.1 に示すように、継電器設置点における電圧を  $E$ 、そこを通過する故障電流を  $I$ 、継電器設置点より故障点までの送電線インピーダンスを  $Z$ 、距離を  $X$  とした時、

$$E = IZ = I(KX) \dots\dots\dots(2.1)$$

が成立することである。

$PT$  比を  $a$ 、 $CT$  比を  $b$ 、継電器のみるインピーダンスを  $Z_R$  とすれば

$$Z_R = \frac{E}{I} = \frac{E}{I} \cdot \frac{b}{a} = Z \cdot \frac{b}{a} = K \frac{b}{a} X \dots\dots\dots(2.2)$$

距離測定を行なうとは、現在の段階では、距離  $X$  を定量的に求めるということではなく、継電器設置点より保護区間限界点までのインピーダンスを継電器側に換算し

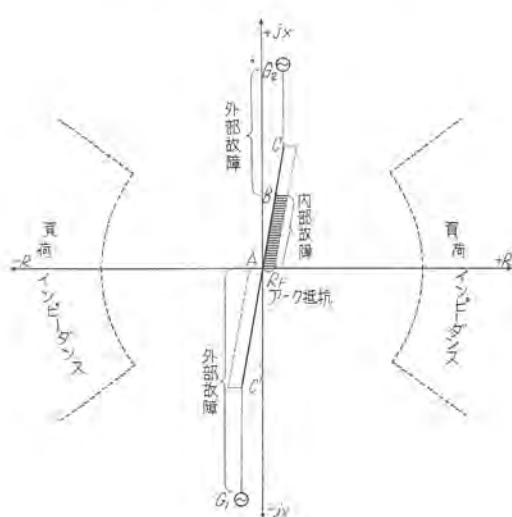
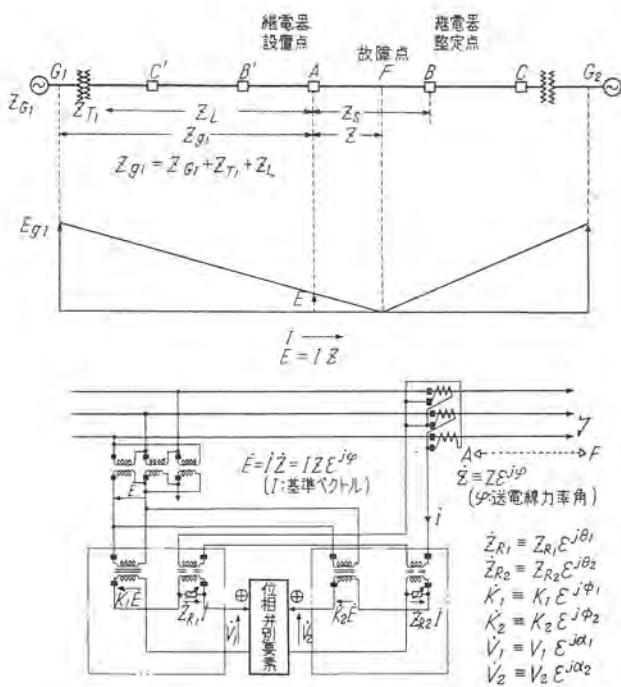


図 1.1  $R-X$  複素平面座標における各インピーダンスの存在領域

Fig. 1.1 Each impedance zone on  $R-X$  co-ordinate.



一般的表現で示されたインピーダンス 緊電器回路構成図

図 2.1 距離測定原理図  
Fig. 2.1 Distance measuring principle.

表 2.1 各種距離緑電器動作特性の数学的定義分類表

番号	電気的ディメンションに基く距離緑電器形式の分類	緑電器動作特性を定義する方程式	具体回路例	R-X複素平面上に表示された動作特性
0	General form 一般形	$T=C_1E^2+C_2EI\text{f}(\theta)+C_3I^2$		
1	Directional relay 方向リレー	$\begin{cases} C_1=0 \\ C_2=0 \end{cases}$ $T=C_2EI\text{f}(\theta)$		
2	Ohm relay オームリレー (Rheostat or Vector Impedance relay) 位相またはインピーダンスベクトルリレー	$\begin{cases} C_1=0 \\ C_2=0 \end{cases}$ $T=C_2EI\text{f}(\theta)+C_3I^2$		
3	Resistance relay レジスタンスリレー	$\begin{cases} C_1=0 \\ f(\theta)=\cos\theta \end{cases}$ $T=C_2EI\cos\theta+C_3I^2$	(電流偏極) 同上	$\phi=0^\circ$ 不動作 $\phi=90^\circ$ 動作
4	Reactance relay リアクタンスリレー	$\begin{cases} C_1=0 \\ f(\theta)=\sin\theta \end{cases}$ $T=C_2EI\sin\theta+C_3I^2$	同上	$\phi=90^\circ$ 不動作 $\phi=0^\circ$ 動作
5	Off-set or Modified Impedance relay (オフセット) インピーダンス偏移リレー	$T=C_1E^2+C_2EI\text{f}(\theta)-C_3I^2$	動作極子 偏極子 抑制子	動作 $\phi=0^\circ$ 不動作
6	(Scalar or Magnitude) Impedance relay (スカラまたはインピーダンス絶対値) リレー	$\begin{cases} C_2=0 \\ T=C_1E^2-C_3I^2 \end{cases}$ ( $Z_m \neq 0$ の時偏移インピーダンスリレー)	W 動作極子 偏極子 抑制子	動作 $\phi=0^\circ$ 不動作
7	Mho relay モーリレー (電圧抑制付の方向リレー)	$\begin{cases} C_3=0 \\ T=C_1E^2-C_2EI\text{f}(\theta) \end{cases}$	動作極子 偏極子 抑制子	動作 $\phi=0^\circ$ 不動作
8	Conductance relay (コンダクタンスリレー)	$\begin{cases} C_3=0 \\ f(\theta)=\cos\theta \end{cases}$ $T=C_1E^2-C_2EI\cos\theta$	(電圧偏極) 同上	$\phi=0^\circ$ 動作 $\phi=90^\circ$ 不動作
9	Susceptance relay (サセプタンスリレー)	$\begin{cases} C_3=0 \\ f(\theta)=\sin\theta \end{cases}$ $T=C_1E^2-C_2EI\sin\theta$	同上	$\phi=90^\circ$ 動作 $\phi=0^\circ$ 不動作

たものを  $Z_s$ 、距離を  $X_s$  とした時、

$Z_R$  が  $Z_s$  に対しいかなる関係にあるかによって  $X_s$  の  $X_s$  に対する大小関係を判定し、もって、内外故障の判断を下すことである。したがって、 $Z_s$  が距離緑電器の整定インピーダンスとなる。

$Z_R$  の  $Z_s$  に対する関係を弁別する方法は種々考えられているが、従来のものでは、緑電要素内でトルクの差引き演算を行なうものが多く、その代表的な緑電器の具体回路例を、動作特性の数学的定義分類に従って整理すれば、表 2.1 のように表わされる<sup>(1)</sup>。

表 2.1 の一般式

$$T=C_1E^2+C_2EI\text{f}(\theta)+C_3I^2 \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

において

$$\begin{cases} C_1=0 \\ C_2=0 \end{cases} \text{の時は } T=C_3I^2 \dots \dots \dots \text{ 単なる電流緑電器}$$

$$\begin{cases} C_2=0 \\ C_3=0 \end{cases} \text{の時は } T=C_1E^2 \dots \dots \dots \text{ 単なる電圧緑電器}$$

となる。これはまた  $E, I$  の一方が 0 に取れんした時に起る現象で、この場合、故障点までの距離  $X$  と整定点までの距離  $X_s$  の大小関係を判断することはできない。

以上は、円特性（直線特性は半径無限大の円と考える）であるが、円特性が  $R-X$  複素平面上、ある一定インピーダンスよりのインピーダンス絶対値が一定であるのに対し、ダ円特性、双曲線特性は、二つのインピーダンス一定の点よりのインピーダンス絶対値の和または差が一定の点であるから、このことに着目すれば、これらの特性の緑電器をうる。

以上は、従来の距離緑電器の動作特性上の分類であるがその動作原理は、具体回路例に見られるように、動作力と抑制力の差引き演算を緑電要素内で行なっている。しかしこれらを少し変形すれば、緑電要素も一つの位相弁別要素とみなすことができるから、これらの動作特性をうるための動作原理を図 2.1 の一般的原理図より求めてみる。このことは、後述の新しい着想の距離緑電器の動作原理をご理解いただく参考になると思う。

図 2.1 において、

$$\dot{K}=\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2}=\frac{V_1e^{j\alpha_1}}{V_2e^{j\alpha_2}}=Ke^{j\alpha}, \quad \alpha=\alpha_1-\alpha_2 \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\dot{V}_1 = \dot{K}_1 \dot{E} + \dot{Z}_{R_1} I = K_1 e^{\phi j_1} I Z e^{j\theta_1} + I Z_{R_1} e^{j\theta_1} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 &= \dot{K}_2 \dot{E} + \dot{Z}_{R_2} I = K_2 e^{\phi j_2} I Z e^{j\theta_2} + I Z_{R_2} e^{j\theta_2} \\ \therefore \dot{K} &= \frac{K_1 Z e^{j(\phi_1+\varphi)} + Z_{R_1} e^{j\theta_1}}{K_2 Z e^{j(\phi_2+\varphi)} + Z_{R_2} e^{j\theta_2}} \\ &= \frac{K_1 K_2 Z^2 e^{j(\phi_1-\phi_2)} + Z_{R_1} Z_{R_2} e^{j(\theta_1-\theta_2)}}{(K_2 Z)^2} \\ &\quad + \frac{K_2 Z Z_{R_1} e^{j(\theta_1-\varphi-\phi_2)} + K_1 Z Z_{R_2} e^{-j(\theta_2-\varphi-\phi_1)}}{(Z_{R_2})^2} \end{aligned} \quad (2.6)$$

$\phi_1 = \phi_2 = 0$  の時は

$$\begin{aligned} \dot{K} &= K_1 K_2 Z^2 + Z_{R_1} Z_{R_2} e^{j(\theta_1-\theta_2)} \\ &\quad + \frac{(K_2 Z Z_{R_1} e^{j(\theta_1-\varphi)} + K_1 Z Z_{R_2} e^{-j(\theta_2-\varphi)})}{(Z_{R_2})^2} \end{aligned} \quad (2.6')$$

$$\begin{aligned} \text{Real}[\dot{K}] &= \frac{K_1 K_2 Z^2 + Z_{R_1} Z_{R_2} \cos(\theta_1 - \theta_2)}{(K_2 Z)^2} \\ &\quad + \frac{K_2 Z Z_{R_1} \cos(\theta_1 - \varphi) + K_1 Z Z_{R_2} \cos(\theta_2 - \varphi)}{(Z_{R_2})^2} \end{aligned} \quad (2.7)$$

位相弁別要素においては、たとえば、二重誘導環形の動作原理(図 2.2)を考えてみると、トルクでは

$$\begin{aligned} \tau &= i_a \phi_b - i_b \phi_a - T_0 \\ &= k_A \Phi_A \cos(\omega t - 90^\circ - \alpha) \Phi_B \cos(\omega t - \beta) \\ &\quad - k_B \Phi_B \cos(\omega t - \beta - 90^\circ - b) \Phi_A \cos(\omega t - T_0) \\ &= k_A \Phi_A \Phi_B \frac{1}{2} \{ \cos(2\omega t - \beta - 90^\circ - \alpha) \\ &\quad + \cos(\beta - 90^\circ - \alpha) \} \\ &\quad - k_B \Phi_A \Phi_B \frac{1}{2} \{ \cos(2\omega t - \beta - 90^\circ - b) \end{aligned}$$

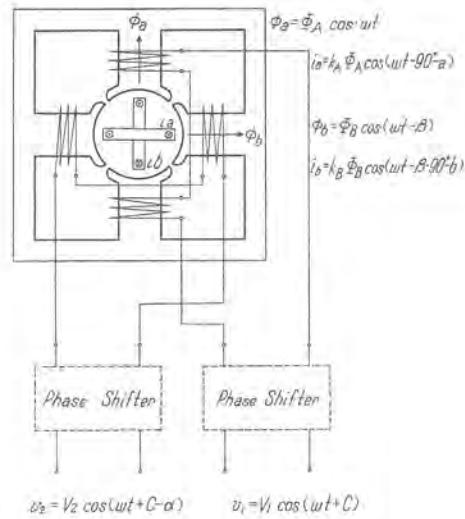


図 2.2 二重誘導環形の動作原理

Fig. 2.2 Operational principle of double-loop type relay.

$$+ \cos(\beta + 90^\circ - b) \} - T_0 \quad (2.8)$$

$k_A = k_B = k$   $a = b \equiv \theta$  の時は

$$\tau = \frac{k \Phi_A \Phi_B}{2} \{ \cos(\beta - 90^\circ - \theta) - \cos(\beta + 90^\circ + \theta) \}$$

$$= k \Phi_A \Phi_B \sin \theta \sin \beta - T_0 \quad (2.8')$$

ここに  $T_0$  は継電器の最低動作値を決定する常数である。

今もし

$$\Phi_A = k v_1 \cdot V_1$$

$$\Phi_B = k v_2 \cdot V_2$$

$\beta = (90^\circ - \alpha)$  これは図 2.2 の各 Phase Shifter によりこのように整定するものとすれば

表 2.2 各種距離繼電器“動作原理”の数学的分類表

	距離繼電器形名	(回路構成に基づく係数の条件)ならびに動作原理方程式	特性図	入力
(0)	General Form 一般形	$K_1 K_2 Z^2 + Z [K_2 Z_{R_1} \cos(\theta_1 - \varphi) + K_1 Z_{R_2} \cos(\theta_2 - \varphi)] + Z_{R_1} Z_{R_2} \cos(\theta_1 - \theta_2) > 0$	$\dot{Z} = Z e^{j\varphi} = R + jX$	$\dot{V}_1 = K_1 \dot{E} + i Z_{R_1} e^{j\theta_1}$ $\dot{V}_2 = K_2 \dot{E} + i Z_{R_2} e^{j\theta_2}$
(1)	Directional Relay 方向リレー	$\begin{cases} K_2 = 0 \\ Z_{R_1} = 0 \end{cases} \quad Z K_1 Z_{R_2} \cos(\theta_2 - \varphi) > 0$ $\cos(\theta_2 - \varphi) > 0 \quad -\frac{\pi}{2} + \theta_2 < \varphi < \frac{\pi}{2} + \theta_2$	不動作	$\dot{V}_1 = K_1 \dot{E}$ $\dot{V}_2 = i Z_{R_2} e^{j\theta_2}$
(2)	Ohm Relay オームリレー	$\begin{cases} K_1 = -K \quad Z_{R_1} = Z_{R_2} = Z_R \\ K_2 = 0 \quad \theta_1 = \theta_2 = \theta \end{cases} \quad -Z K Z_R \cos(\theta - \varphi) + Z_R^2 > 0$ $Z \cos(\theta - \varphi) < Z_R / K$	不動作	$\dot{V}_1 = -K \dot{E} + i Z_R e^{j\theta}$ $\dot{V}_2 = i Z_R e^{j\theta}$
(3)	Resistance Relay レジスタンスリレー	$\begin{cases} K_1 = -K \quad Z_{R_1} = Z_{R_2} = Z_R \\ K_2 = 0 \quad \theta_1 = \theta_2 = 0 \end{cases} \quad Z \cos \varphi < Z_R / K$ $R < Z_R / K$	不動作	$\dot{V}_1 = -K \dot{E} + i Z_R e^{j\theta}$ $\dot{V}_2 = i Z_R e^{j\theta}$
(4)	Reactance Relay リアクタンスリレー	$\begin{cases} K_1 = -K \quad Z_{R_1} = Z_{R_2} = Z_R \\ K_2 = 0 \quad \theta_1 = \theta_2 = \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad Z \sin \varphi < Z_R / K$ $X < Z_R / K$	不動作	$\dot{V}_1 = -K \dot{E} + j i Z_R$ $\dot{V}_2 = j i Z_R$
(5)	Off set Impedance Relay オフセットインピーダンスリレー	$\begin{cases} K_1 = K \\ K_2 = -K \quad \theta_1 = \theta_2 = \theta \end{cases} \quad -K^2 Z^2 + KZ \cos(\theta - \varphi) (Z_{R_1} - Z_{R_2}) + Z_{R_1} Z_{R_2} > 0$ $\left( R - \frac{Z_{R_1} - Z_{R_2}}{2K} \cos \theta \right)^2 + \left( X - \frac{Z_{R_1} - Z_{R_2}}{2K} \sin \theta \right)^2 < \left( \frac{Z_R}{2K} \right)^2$	不動作	$\dot{V}_1 = K \dot{E} + i Z_{R_1} e^{j\theta}$ $\dot{V}_2 = -K \dot{E} + i Z_{R_2} e^{j\theta}$
(6)	Impedance Relay インピーダンスリレー	$\begin{cases} K_1 = K \quad Z_{R_1} = Z_{R_2} = Z_R \\ K_2 = -K \quad \theta_1 = \theta_2 = \theta \end{cases} \quad -K^2 Z^2 + KZ^2 > 0$ $R^2 + X^2 < \left( \frac{Z_R}{K} \right)^2$	不動作	$\dot{V}_1 = K \dot{E} + i Z_R e^{j\theta}$ $\dot{V}_2 = -K \dot{E} + i Z_R e^{j\theta}$
(7)	Mho Relay モーリレー	$\begin{cases} K_1 = K \quad Z_{R_1} = 0 \\ K_2 = -K \quad Z_{R_2} = Z_R \end{cases} \quad -K^2 Z^2 + KZ \cos(\theta - \varphi) Z_R > 0$ $\left( R - \frac{Z_R}{2K} \cos \theta \right)^2 + \left( X - \frac{Z_R}{2K} \sin \theta \right)^2 < \left( \frac{Z_R}{2K} \right)^2$	不動作	$\dot{V}_1 = K \dot{E}$ $\dot{V}_2 = -K \dot{E} + i Z_R e^{j\theta}$
(8)	Conductance Relay コンダクタンスリレー	$\begin{cases} K_1 = K \quad Z_{R_1} = 0 \\ K_2 = -K \quad Z_{R_2} = Z_R \end{cases} \quad -K^2 Z^2 + KZ Z_R \cos \varphi > 0$ $\left( R - \frac{Z_R}{2K} \right)^2 + X^2 < \left( \frac{Z_R}{2K} \right)^2$	不動作	$\dot{V}_1 = K \dot{E}$ $\dot{V}_2 = -K \dot{E} + i Z_R$
(9)	Susceptance Relay セセプタンスリレー	$\begin{cases} K_1 = K \quad Z_{R_1} = 0 \\ K_2 = -K \quad \theta_1 = \theta_2 = \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad -K^2 Z^2 + KZZ_R \sin \varphi > 0$ $R^2 + \left( X - \frac{Z_R}{2K} \right)^2 < \left( \frac{Z_R}{2K} \right)^2$	不動作	$\dot{V}_1 = K \dot{E}$ $\dot{V}_2 = -K \dot{E} + j i Z_R$

$$\begin{aligned}\tau &= k_{R_1} k_{R_2} \sin \theta V_1 V_2 \sin (90^\circ - \alpha) - T_0 \\ &= K \cos \alpha - T_0 > 0 \quad \dots \dots \dots \quad (2.9)\end{aligned}$$

ただし  $K \equiv k_{R_1} k_{R_2} \sin \theta \cdot V_1 V_2$

今もし  $T_0$  を無視して考えるならば

位相弁別要素において

$\text{Real}[K] \geq 0$  の時、継電器は動作するように回路を構成していると考えてよい。

$$K_1 K_2 Z^2 + Z [K_2 Z_{R_1} \cos(\theta_1 - \varphi) + K_1 Z_{R_2} \cos(\theta_2 - \varphi)] + Z_{R_1} Z_{R_2} \cos(\theta_1 - \theta_2) \geq 0 \quad \dots \dots \dots \quad (2.10)$$

式 (2.10) が距離継電器の動作原理を示す一般式となる。すなわち  $E$  と  $I$  の比  $Z = ZE/I$  が式 (2.10) で示される範囲にはいった時継電器は動作する。この動作原理一般式を基にして前述各種距離継電器の動作原理を数学的に分類したものが表 2.2 である<sup>(2)</sup>。

### 3. 従来の距離継電器の性能限界<sup>(3)</sup>

従来の距離継電器の性能を左右する要因は種々あるが大別すると

- (A) 継電要素自体の動作原理特性に関するもの
- (B) 距離測定原理に関するもの
- (C) 統合現象に関するもの

に大別される。以下これらについて述べる。

(A) 継電要素自体の動作原理特性に関するもの  
従来使用されている継電要素はこれを大別すると  
(1) 平衡桿形 (2) 誘導形 (3) 整流器と直流  
継電器 (4) 電子管、トランジスタ (5) その他  
となる。このうち

#### (1) 平衡桿形

これは磁束の 2 乗に比例した二つのトルクの差に応動



図 3.1 (a) HZ 形高速度距離継電器 外観(FT ケース入り)

Fig. 3.1 (a) Type HZ distance relay (with FT case).



図 3.1 (b) HZ 形高速度距離継電器(内部構造)

Fig. 3.1 (b) Type HZ distance relay (in-side view).

するもので、商の演算に適しており、原理構造簡単で、比較的トルクが大きいゆえ、高速度でしかも耐震性のあるものが得られる。しかし、動作値と復帰値の差が割合大きく、過渡現象に応動しやすい傾向がある。図 3.1 に平衡桿形の代表として、HZ 形距離継電器の外観、構造を示す。

#### (2) 誘導形

これは回転磁界に比例した二つのトルクの差により応動するもの、または二つのベクトル量のベクトル積に比例したトルクにより応動するもので、商または積の演算に適しており、構造上、誘導円板形、カップ形、短ざく形、シリンダ形、誘導環形、二重誘導環形などがある。これらの中にそれぞれ、性能上の長短があり総括していくことは大胆すぎるが、一般的にいえば誘導形は平衡桿形と対照的な性能を有する。すなわち、駆動が回転磁界によるためトルクが均一となり、動作値と復帰値の差が少なく、過渡現象に対し安定性が強い。しかし平衡桿形に比し、構造がやや複雑となりトルクが少ないため、動作速度および耐震性に難点のあるものが多い。また、接点状況、クリーピングなどに対し特別の考慮を必要とする。

#### (3) 整流器と直流継電器(極性継電器)との組合せ

これは磁束差動、電流差動、磁速和動、電流和動など差または和の演算に適しており、ベクトル量の絶対値に比例した直流量を算出しているから、円特性だけでなく、ダ円特性、双曲線特性など、すべての円すい二次曲線特性が簡単に得られ、しかも高感度である。

しかし整流器は昨今めざましい発展を遂げたとはいえ、その特性は周囲条件の影響を受けやすく、経年特性が不安定であるため、寿命の点で難点がある。

#### (4) 電子管、トランジスタ

これらを使用した距離継電器には、インバ尔斯式と位相比較式のものとがあるが、いずれも位相弁別の演算を行なうもので、これは高感度高速度であるが、今のところ、電子管、トランジスタなどの特性上の寿命に難点がある。

また、かなり原理構造とも複雑であるから、現段階では、保守点検に難点がある。しかし、近き将来における花形としての素因を有している。

#### (5) その他

以上のほかにも各種継電要素があるが、あまり一般的でないので省略する。

これらに對比して、後節の新しい距離測定原理の継電

器は継電要素内での演算を必ずしも必要としないから、最終判定要素としては上述のように原理構造の複雑なものを使はずしも必要としない。ものによっては至極簡単確実な電磁形のものでもよい。

このほかに継電器自体に要求される性能は

- (1) 機械的精度が十分得られていること
  - (2) 材料が均質で、周間温度湿度などに対し経年変化が少ないとこと
  - (3) 継電要素、回路常数の周波数特性が良好であること
  - (4) 接点状況が良好であること
  - (5) 動作値、復帰値のばらつきが少なく、両者の比が1に近いこと
  - (6) 動作速度、復帰速度のばらつきが少なく、高速であること
  - (7) サージ、耐圧、絶縁
  - (8) 耐衝撃、耐震動
  - (9) 温度上昇
- などについて、一般保護継電器と同程度のレベルを保持していること

また一般的な要求として

- (10) cost が安いこと
- (11) 容積が少なく、盤面積が少なくてすむこと
- (12) 原理構造が簡単で、保守点検が容易であること
- (13) 継電器のすべての特性誤差少なく、安定していること
- (14) 機械的にも、特性上も、考えられる周囲条件下において life が長く、信頼度が高いこと

以上、継電器自体の問題については、現在の継電要素はそれぞれの形式において到達しうる性能限界まで、ほぼ、改良しつくされた感がある。

#### (B) 距離測定原理に関するもの

##### (1) 継電器の動作範囲上の性能限界

継電器のみの内部故障インピーダンスが、図 3.1 に見られるように四辺形であるにもかかわらず、継電器の動作範囲が前節の原理で述べたように円すい二次曲線で閉まれた領域、あるいは、直線により切半された領域となっていることに基づくもので、内部故障インピーダンス存在領域を最小に含むという根本思想に反するため、従来の思想のままでは、一定以上の性能向上は望めない。この対策として、理想的な四辺形特性の距離継電器を考案したのであるが後述するのでここでは省略する。

##### (2) 継電要素群の動作協調上の問題

従来の動作原理では、二つ以上の継電要素を組合せ

て総合特性が、理想特性に近づくようにしなくてはならないから、これら多数の継電要素群の動作値復帰値、動作速度復帰速度などのばらつきは総合判断を誤らせる原因となる。後述の新形距離継電器は要素群を組合せたものではないから今まで問題としていた接点協調、記憶作用などについて、苦労しなくてすむ。この動作協調上の問題がないことは、新形距離継電器の特長の一つといえる。

##### (3) 演算増巾器としての宿命的問題

距離継電器も一種の演算増巾器であるから、 $\text{入力}=0$  では判断できない。すなわち  $Z = \frac{E \rightarrow 0}{I \rightarrow 0}$  = 不定である。これについては前節の原理でも述べたように  $E, I$  の一方が 0 に取れると距離継電器も単なる電流継電器あるいは単なる電圧継電器となることに起因する。この程度を表示するものが  $E-I$  特性、最低動作値である。最低動作値はできるだけ低いほど距離測定精度は高くなるが耐震性の点で制限がある。

また、演算増巾器の入力にすでに誤差を含んでいたのでは正確な演算結果を得られないのと同様、距離継電器も、入力  $E, I$  中に誤差が含まれていると正確な距離判断を行ない得ない。この入力  $E$  に誤差を与えるものが  $PT$  であり、また入力  $I$  に誤差を与えるものが  $CT$  である。

$PT$  は比較的に誤差は少ないものであるが、この誤差がそのまま継電器判断の誤差となる。また、 $E$  の大キサが一定値より小となれば急激に大なる距離測定誤差を与えることは前述のとおりである。とくに至近端故障で  $E=0$  となれば正方向か反対方向かの判断を困難とする。これに対し記憶装置と称する電気的蓄勢装置（タンク回路）または機械的蓄勢装置（同期電動機）などを使用するが、方向判定にその効果をあげると距離測定に誤差を与えるからこれに対し、切換えその他の考慮を必要とする。

$CT$  もまた定常状態では  $PT$  と同程度の誤差をもつが  $CT$  は過電流域において DC 飽和、AC 飽和などのため波形もひずみ故障時の過渡電流に対してはかなりの誤差を与える。また逆に  $I$  の大キサが一定値より小となれば  $E$  の場合と同様急激に大なる距離測定誤差を与える。

##### (4) 故障電流中の DC 分高調波分(このことは系統現象に関する問題ともいえるが)

今かりに  $CT$  としてリニヤカプラのような DC 飽和 AC 飽和のない過渡特性の良好なものを使用したとしても故障電流中にすでに系統状態ならびに故障時の位相により決まる DC 分、高調波分が含有されており、リニヤカプラ二次には DC 分が除かれても高調波分が残存す

るゆえ継電器の判断能力がいちじるしく低下される。これに対し継電器のほうで DC 分および高調波分対策を講じなくてはならないが、ヒズミ波形をフーリエの級数に展開する時1周期分について計算することからしても明らかのように、ヒズミ波形に対する継電器の判断も最少限 1c/s を必要とするものでこの時間プラス継電器可動部の移動時間が継電器の動作時間とならなければ誤判断する。すなわち、動作時間が 1c/s というような高速度動作のものは根本的に過渡現象に対し誤判断する可能性を有する。

したがって、過渡現象に対し、安定性をもたせるには、回路網により、基本波分だけを取出して、これを入力として、演算回路に与えると同様に、継電要素自体の速度も、距離測定原理にみあった速度以上に高速度としてはならない。

### (C) 統現象に関するもの

これは距離測定原理と密接な関係を有しており、前項と明らかに区別することは困難であるが、

#### (1) 脱調現象、電力動揺の問題

系統脱調時電圧の振巾が零となる機会のある点を電気的中心と称している。図3.2の G 点である。図3.2は脱調現象の傾向を示すためのもので2機の簡単な一例である。この場合電気的中心 G は AB 間のインピーダンス(電気的距離)の中心に近い点であるが、 $E_A \neq E_B$  によっては多少ずれる。この G 点付近に距離継電器が設置

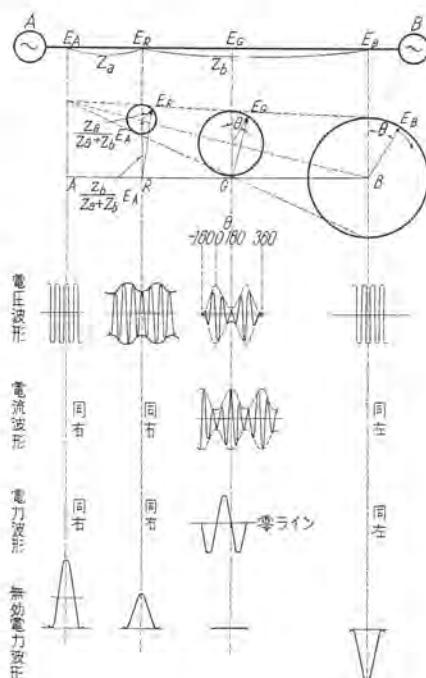


図 3.2 脱調現象

Fig. 3.2 Phenomena of step-out.

距離継電器と将来の動向・北浦

されてあると、保護区内にこの電気的中心がはいってきた場合保護区内に三相短絡が発生したと判断してしまう。電気的中心付近の発電機ならびに負荷にとっては相当大なるショックをこうむるので脱調で電気的中心が保護区内にはいってきた時、これを短絡故障と同一視して、系統切離しを使命としている距離継電器は問題ないが、一般には系統の安定度を確保するため、脱調による見掛けの三相短絡と実際の短絡故障とを区別するよう使命を与えられている。この場合には、継電器のみのインピーダンスが実故障時には瞬間に保護区内に飛込んでくるのに對し脱調時の電気的中心は遠方より徐々に近づいてくることに着目して、電気的中心が保護区内にはいる以前に、脱調を検出しトリップ回路を鎖錠してしまう脱調鎖錠装置を必要とする。

脱調現象、系統動揺を説明するのに簡単のため2機の場合についていえば、発電機 G<sub>1</sub> と発電機 G<sub>2</sub> の位相差一定で運転している時が定常運転状態であり、この位相差が G<sub>1</sub> に対し G<sub>2</sub> が一方的に遅れてゆくか進んでゆく場合が脱調であり G<sub>1</sub> と G<sub>2</sub> が Hunting して G<sub>1</sub> に対し G<sub>2</sub> が周期的に遅れたり進んだりするのが系統動揺である。

電力潮流は位相の進んでいる端子より遅れている端子へ向うから系統動揺時には電力潮流が G<sub>1</sub> → G<sub>2</sub>, G<sub>2</sub> → G<sub>1</sub> と周期的に反転をくり返す。したがって、系統動揺時は、脱調時に比し誤判断の機会が少ないのであるが、皆無とはいえない。この場合にも見掛けの故障接近の速度は実故障の場合に比しゆるやかであるから、脱調時と同様、継電器のみのインピーダンス Z<sub>R</sub> の時間的変化率を監視すればこれを検出できる。したがって脱調鎖錠装置により誤動作を防止する。

#### (2) 故障点抵抗(アーカー抵抗)の影響

これは式(2.1)に示す距離測定原理の根本思想に反する現象である。すなわち、故障時のアーカーは抵抗分でこ

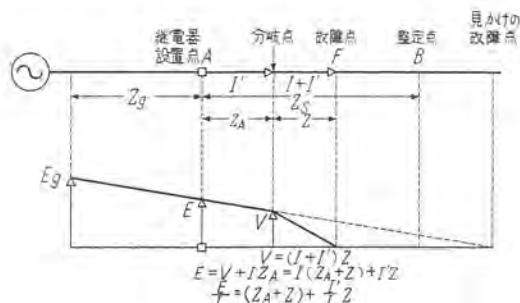


図 3.3 距離継電器における分岐誤差

Fig. 3.3 Branch error of distance relay.

れは距離に関係ないから故障点までの全インピーダンス  $Z$  が故障点までの距離  $X$  に比例しなくなる現象である。これは長距離送電線の場合にはあまり問題とならないが、短距離送電線の場合は送電線インピーダンスに対し故障点抵抗の割合が大となり、かなり大きい距離測定誤差を与えるから、この場合には故障点抵抗の影響を受けない後述の多角形特性の距離继電器が必要となる。

### (3) 分岐線の影響

これも式(2.1)に示す距離測定原理の根本思想に反する現象である。すなわち、図3.3に示すようにA-F間に分岐点があって、分岐点よりも故障電流が供給されると繼電器設置点における距離測定用の電流  $I$  が全故障電流  $I_F$  と完全に一致しなくなる現象である。この場合図3.3に示すように分岐点より流入する時は  $I < I_F$  となり故障点を遠くに見ることとなる。この誤差を分岐誤差と称し、この誤差を補正するためA-B間に分岐点がある場合には、故障時分岐点より供給される電流を勘案して、分岐点電流零の場合に比し遠くまで整定する。これとは逆に  $I$  のすべてが故障点へ流入せず分岐点より  $I$  の一部が流出してゆく場合には  $I > I_F$  となり故障点を近くに見ることとなる。要するに距離測定用電流  $I$  と全故障電流  $I_F$  とが完全に一致していることが距離測定原理上の必要条件でありこれに反する現象、たとえば前述の分岐点電流、相手端局よりの供給電流などが存在すると距離測定誤差を与える。とくに故障点抵抗大なる時は、相手端局側の影響を大きく受ける。

### (4) 隣接他回線の影響

これも式(2.1)に示す距離測定原理の根本思想に反する現象である。すなわち、 $I$  が  $I_F$  に完全に一致することを必要とすると同時に  $E$  もまた  $I$  による送電線インピーダンス  $Z$  の電圧降下分  $IZ$  だけからなることが必要である。もしも  $E$  の中に、 $I$  以外の電流成分に基づく電圧降下が含まれていると  $E \neq IZ$  となり距離測定誤差を与える。たとえば、平行2回線時の他回線電流の誘導による電圧降下が含まれていると誤差を与える。また相手端局よりの電流による故障点抵抗の電圧降下が  $E$  の中に含まれることも誤差の原因となる。

要するに  $E = IZ$  における  $Z$  は送電線インピーダンスだけで、 $I$  は全故障電流  $I_F$  に一致し、 $E$  は  $I$  だけによる電圧降下だけからなり、かつ、これら  $E, I, Z$  は対称座標法で表わした時、同一対称分でなければならない。たとえば接地保護における  $I$  が零相電流  $I_0$  であれば  $E$

としては入電圧より正相分逆相分を差引いた残りの零相分の電圧降下でなければならない。これを電圧補償方式と称している。しかし正相分の差引き演算を行なう時、負荷電流による正相分電圧降下も差引きこれが誤差を与える。また、他回線電流による電圧降下のため誤差を与える。

このほか接地保護として  $E$  を入電圧とするならば、この電圧中には各対称分電圧降下が含まれているから、 $E = IZ$  の  $Z$  を正相インピーダンスとして整定するには  $I_0Z_1$  以外の対称分電圧降下を補償するための電流を導出して供給しなければいけない。これを電流補償方式と称している。この両者を数式で示すと

$$\text{電圧補償方式} \cdots Z_0 = \frac{V_a - Z_1(I_1 + I_2)}{I_0} \quad \cdots (3.1)$$

$$\text{電流補償方式} \cdots Z_1 = \frac{V_a}{I_a \frac{Z_0 - Z_1}{I_1} I_0 + \frac{Z_m}{Z_1} I_0'} \quad \cdots (3.2)$$

$Z_m$  は他回線との零相相互インピーダンスであり  $I_0'$  は他回線の零相電流である。

この両式において分子、分子ともその演算結果が完全に故障に関係した電圧、電流だけとなりしかも同一対称分あるいはその組合せとなれば故障点までのインピーダンスしたがって距離を正確に測定することとなるが、実際には前述のような諸種の他回線影響を完全には打ち消すことができないから距離測定誤差を生ずる。

### (5) △接続、△接続上の問題

短絡保護に用いる  $E$  と  $I$  としては各相の  $E_\Delta$  と  $I_\Delta$ 、 $E_A$  と  $I_A$ 、 $E_\Delta$  と  $I_A$ 、 $E_A$  と  $I_\Delta$  など種々の組合せがあるが、三相短絡時と二相短絡時の繼電器のみる故障点までのインピーダンスが同一値でしかも二相短絡接地時の零相分の影響を受けないのは  $E_\Delta$  と  $I_\Delta$  の組合せであるから一般に短絡保護には線間電圧  $E_\Delta$  と△電流  $I_\Delta$  を使用する。

### (6) 故障種類による影響

これは故障の種類により、他相の故障を自相の故障と誤判断する現象である。 $a-b$  相短絡故障用の距離继電器は、自己の保護区間内にある  $a-b$  相短絡故障の時だけ動作し、保護区間外の  $a-b$  相短絡故障はもちろんのこと保護区間内の他種類の故障たとえば  $a$  相地絡故障などによって動作してはいけない。もしこの誤動作があればたとえば一線地絡故障で単相再閉路を行ないうる条件でありながら三相シャンクを行なってみたり、繼電器動作表示器により故障の様相を判定する場合に正確な判断を

下し得ないこととなる。

図 3.5 に  $b-c$  相二線短絡時に各相距離继電器のみるインピーダンスを示しているが、背後の無限大母線の位置および距離继電器の整定いかによつては他相の故障を自相の故障と誤判断する場合もあることを

示している。また図 3.4 には  $a$  相一線地絡故障時に  $a-b$  相、 $c-a$  相用の短絡距離继電器のみるインピーダンスを示しているが、これによれば至近端の  $a$  相一線地絡故障で短絡距離继電器とくに  $c-a$  相の继電器が誤動作するおそれがあることがわかる。

また、接地距離继電器も同様短絡故障とか他相の接地故障で誤動作する可能性があり继電器適用上注意を要する。これが短絡優先、接地優先などの優先方式が生まれたゆえんである。とくに最近研究の対象となっている異相地絡時に接地および短絡の各相距離继電器がみるインピーダンスを  $R-X$  複素平面に表示した時どうなるかは新形继電器を生む母胎となっている。

以下簡単に或る任意の相に発生した故障を各相の继電

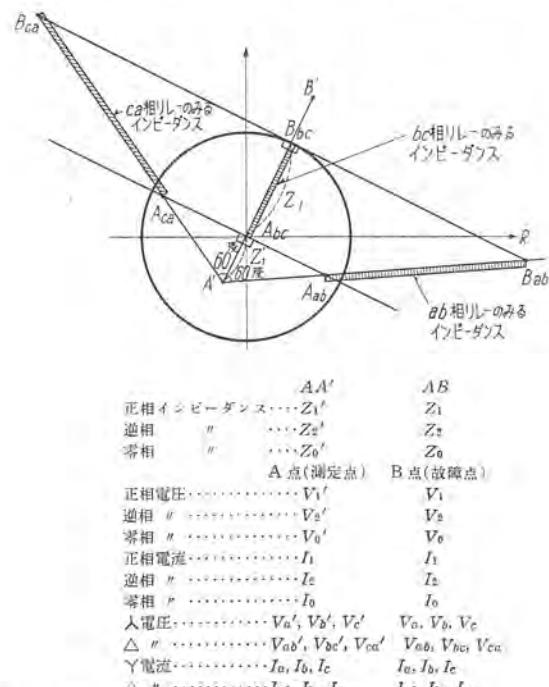


図 3.5  $bc$  相短絡時の各相短絡リレーのみるインピーダンス

Fig. 3.5 Impedance seen by each short circuit relay at phase  $b$  to phase  $c$  fault.

距離继電器と将来の動向・北浦

表 3.1 故障計算用等価回路

( P N Z )	( a b Z )	
三相短絡		$V_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{3}}(V_a - V_b - V_c)$ $V_{\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}(V_b - V_a + V_c)$ $V_{\delta} = \frac{1}{\sqrt{3}}(V_a + V_b + V_c)$
一線地絡		$\alpha$ 相地絡: $1: \sqrt{3}$ $\beta$ 相地絡: $1: 2$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$ $\gamma$ 相地絡: $1: 2$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$
線間短絡		$\alpha$ 相地絡: $1: 1$ $\beta$ 相地絡: $1: 1$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$ $\gamma$ 相地絡: $1: 1$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$
二線地絡		$\alpha$ 相地絡: $1: 1$ $\beta$ 相地絡: $1: 1$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$ $\gamma$ 相地絡: $1: 1$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$
一線開放		$\alpha$ 相開放: $1: 2$ $\beta$ 相開放: $1: 1$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$ $\gamma$ 相開放: $1: 1$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$
二線開放		$\alpha$ 相開放: $1: 3$ $\beta$ 相開放: $1: 2$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$ $\gamma$ 相開放: $1: 2$ $Z(\frac{Z_1+Z_2}{2})$
備考	単純故障計算用	多重故障計算用

器がどのように判断するか。すなわち

短絡リレーについては  $\frac{V_{ab}}{I_{ab}}, \frac{V_{bc}}{I_{bc}}, \frac{V_{ca}}{I_{ca}}$

接地リレーについては  $\frac{V_a}{I_a}, \frac{V_b}{I_b}, \frac{V_c}{I_c}$

なる値がどうなるか、その求め方、ならびに、その際参考となる等価回路について述べる。

説明を簡単にするため図 3.5において、保護区間  $AB$  は単回線であるとし  $A$  および  $B$  背後の回路は 1 機に集約して等価インピーダンス  $AA'(=Z')$ ,  $BB'$  の先に内部誘起電圧が存在するものとする。またアーケ抵抗を省略し、 $A$  点のリレーについて考える ( $B$  点のリレーも同様にして求められる)。故障の種類は表 3.1 に記載のように種々あるが考え方は同様であるから一例として線間短絡時の短絡リレー、接地リレーについて説明する。

単純故障の線間短絡であるから表 3.1 より

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= -I_2 = \frac{E_a}{2(Z'_1 + Z_1)} \\ I_0 &= 0 \\ Z'_1 &= Z_2' \text{ (仮定)} \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

したがって基本式は

$$\left. \begin{aligned} V_a' &= -Z_0'I_0 = 0 \\ V_i' &= E_a - Z_1'I_1 = 2(Z_1' + Z_1)I_1 - Z_1'I_1 \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (3.4)$$

$$V_2' = -Z_2'I_2 = Z_1'I_1$$

$$\left. \begin{aligned} V_a' &= V_1' + V_2' = 2(Z_1' + Z_1)I_1 \\ V_3' &= a^2 V_1 + a V_2' = 2a^2(Z_1' + Z_1)I_1 + (a - a^2)Z_1'I_1 \\ V_q' &= a V_1 + a^2 V_2' = 2a(Z_1' + Z_1)I_1 + (a^2 - a)Z_1'I_1 \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (3.5)$$

$$\left. \begin{aligned} V_{aa'} &= 2(1 - a^2)(Z_1' + Z_1)I_1 - (a - a^2)Z_1'I_1 \\ V_{bc'} &= 2(a^2 - a)(Z_1' + Z_1)I_1 + 2(a - a^2)Z_1'I_1 \\ V_{ca'} &= 2(a - 1)(Z_1' + Z_1)I_1 - (a - a^2)Z_1'I_1 \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (3.6)$$

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_1 + I_2 = 0 \\ I_b &= a^2 I_1 + a I_2 = (a^2 - a)I_1 \\ I_c &= a I_1 + a^2 I_2 = (a - a^2)I_1 \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (3.7)$$

$$\left. \begin{aligned} I_{ab} &= (a - a^2)I_1 \\ I_{bc} &= 2(a^2 - a)I_1 \\ I_{ca} &= (a - a^2)I_1 \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (3.8)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_{ab} &= \frac{V_{ab}}{I_{ab}} = \frac{2(1 - a^2)}{(a - a^2)}(Z_1' + Z_1) - Z_1' \\ &= 2(Z_1' + Z_1)e^{-j\frac{\pi}{3}} - Z_1' \\ Z_{bc} &= \frac{V_{bc}}{I_{bc}} = Z_1 \\ Z_{ca} &= \frac{V_{ca}}{I_{ca}} = \frac{2(a - 1)}{(a - a^2)}(Z_1' + Z_1) - Z_1' \\ &= 2(Z_1' + Z_1)e^{j\frac{\pi}{3}} - Z_1' \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (3.9)$$

$$\left. \begin{aligned} Z_a &= \infty \\ Z_b &= \frac{2a^2}{(a^2 - a)}(Z_1' + Z_1) - Z_1' \\ &= \frac{2}{\sqrt{3}}(Z_1' + Z_1)e^{-j\frac{\pi}{6}} - Z_1' \\ Z_c &= \frac{2a}{(a - a^2)}(Z_1' + Z_1) - Z_1' \\ &= \frac{2}{\sqrt{3}}(Z_1' + Z_1)e^{j\frac{\pi}{6}} - Z_1' \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (3.10)$$

式(3.9)をR-X複素平面に表示したものが図3.5

であり式(3.10)を表示したものが図3.6である。

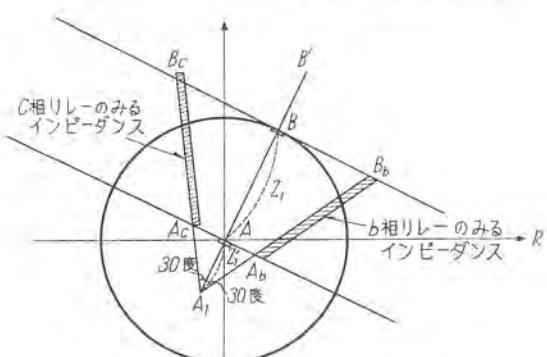


図3.6 bc相短絡時の各相接地リレーのみのインピーダンス

Fig. 3.6 Impedance seen by each ground relay at phase b to phase c fault.

#### 4. 新しい動作原理の距離継電器<sup>(4)</sup>

以上、従来の距離継電器の性能限界につき記述したが、その際2~3の新しい着想を生むべき母胎につき説明した。ここでは、当社が、特許申請し開発研究中のものにつき、その概要を紹介する。

(1)  $Z = \frac{E}{I}$ ,  $Y = \frac{I}{E}$  に比例した電気量、導出式距離継電器

前述のように、距離継電器は  $E$  と  $I$  を入力として距離測定の演算を行なうものであるが、現段階では距離継電器も一般の継電器と同様、入力に対し飛躍的応答を行なうもので、インピーダンスを測定しているとはいえ、計器のように、演算結果の出力が入力に対し、連続的関数関係にあるというものではない。すなわち、故障点の位置が保護区間内にあるか否かを判定するだけで故障点までの距離が測定されているものではない。したがって系統の保守運営上、故障点の位置を知る必要ある時は距離継電器とは別に、故障点標定装置を必要とする。

この装置は、どこにでも設置されるような簡単なものではないから、今後は、距離継電器に計測器としての性格を与えるように、解析機、計算盤などに使用されている回路網により、入力に対し連続的関数関係にある出力を得て、内外故障の判定を行なうと同時に、故障点までの

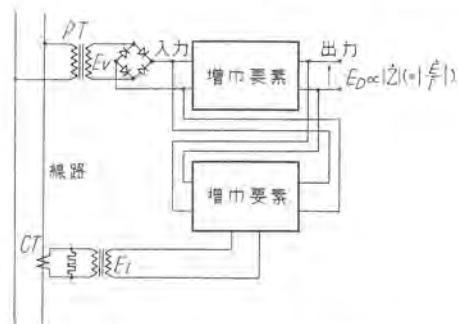


図4.1 インピーダンス導出装置

Fig. 4.1 Impedance measuring device.

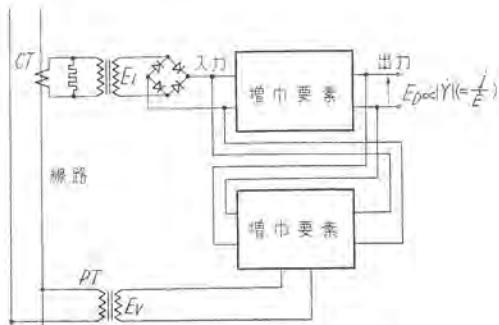


図4.2 アドミタンス導出装置

Fig. 4.2 Admittance measuring device.

位置を計測することになる。

目下、開発研究中の継電器は

一つの電気量  $a$  を 1 個あるいは複数の増巾器を組合せた増巾装置により増巾し、これに比例した大キサの電気量を得るものであり、この装置中の 1 個以上の増巾率を乘すべき、あるいは除すべき電気量  $b$  により制御し  $ab$  または  $\frac{a}{b}$  に比例した電気量を導出するものである。その原理概要を図 4.1, 4.2 に示す。

従来は、2 電気量の積、あるいは商に比例する電気量を即応的に導出するものがなかったので、この種の継電器が存在しなかった。

## (2) 位相比較式距離継電器

従来の距離継電器は、図 2.1 および式 (2.10) に示すように、広義の位相弁別要素としての役割を演じていると考えてもよいが、具体的には、動作方向トルクと抑制方向トルクの差引き演算を継電要素内で機械的に行なっているもので、このため、動作力回路と抑制力回路間の電磁的相互干渉が避けられず、かつ、高度の機械的精度を必要とし、また構造が複雑であった。また方向要素を必要とするものでは、インピーダンス要素との動作協調を必要とすることは前述のとおりである。この対策として、継電要素内でトルクの差引き演算を行なわせずに、継電要素外において、すなわち、静止回路によって、距離測定に必要な演算を済ませ、継電要素に本来の位相弁別だけを行なわせる方式を開発研究中である。その根本思想だけ簡単に述べるならば、送電線保護区間  $AB$  の 1 端  $A$  における故障電圧  $\dot{V}_A$ 、故障電流  $\dot{I}_A$  を求め、この  $\dot{V}_A$ 、 $\dot{I}_A$  と  $AB$  間線路インピーダンス  $\dot{Z}$  に比例する相似インピーダンス装置とにより

$$\dot{V}_B = \dot{V}_A - \dot{I}_A \dot{Z} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

なる関係の仮想電圧  $\dot{V}_B$  を静止回路により導出し、この  $\dot{V}_B$  が  $\dot{V}_A$  と同相であるか、逆相であるかを位相判定要素により判断させて、故障が  $AB$  の外部か内部か判定する方式である。

この場合、対象とする電圧、電流は前節で述べたように、故障に関係した電圧、電流であれば何であってもよい。たとえば、△電圧と△電流、入電圧と入電流あるいはまた、正相電圧と正相電流、逆相電圧と逆相電流、零相電圧と零相電流など、いずれの組合せにおいても実施可能であり、それぞれ適用目的によって、また系統条件によって適当に選定すればよい。もちろん、この場合相似インピーダンスも対象とする電圧電流の性格により

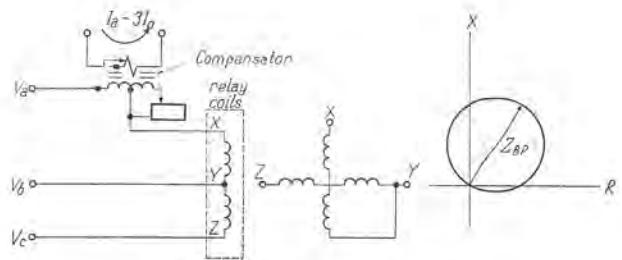


図 4.3 三相故障用距離継電器

Fig. 4.3 Distance relay for three phase fault.

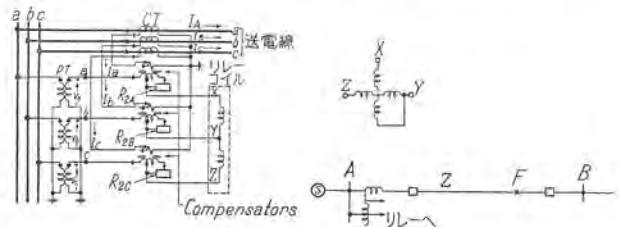


図 4.4 二相故障用距離継電器

Fig. 4.4 Distance relay for phase to phase fault.

正相、逆相、零相のインピーダンスまたはこれらの組合せとなることはいうまでもなく、場合によっては、背後のインピーダンスも演算回路に付加される。とくに、逆相、零相を対象とした時は表 3.2 より明らかなように、正相電圧は故障点において最小、無限大母線の位置で最大となるのに対し、逆相電圧、零相電圧は、故障点において最大、無限大母線位置において最小となるから、この考慮が必要となる。また、継電器設置点と仮想点との電圧位相比較ばかりではなく、二つ以上の仮想点同志の電圧位相比較も所望の動作特性をうるために有効な手段である。最近は真空管、トランジスタなどの特性、とくに寿命が向上したので、この装置の演算回路にも位相弁別要素にも実用しうる。具体回路は種々あるが、一例として、従来三相分として 3 個必要とした短絡保護用距離継電器に対しこの方式を採用して三相短絡(3φS, 3φSG)保護用 1 個、二相短絡(2φS, 2φSG)保護用 1 個、都合 2 個だけで保護する場合の原理概要を図 4.3, 4.4 に示す。

## (3) 多角形特性の距離継電器

前節で述べたように、距離継電器の動作特性を  $R-X$  複素平面に表示した時、内部故障インピーダンス存在領域(平行四辺形)を最小限度に完全に包含するものであれば、動作特性としては理想的なものである。

この種の継電器についても、根本思想だけ簡単に述べる。この方式は送電線上の一点における電圧に比例した電圧  $\dot{E}_p$  および送電線電流に比例した電流  $\dot{I}$  を導出して複数個の相似インピーダンス( $\dot{Z}$ )装置に供給し、複数個の電圧  $\dot{V}_1, \dot{V}_2, \dots, \dot{V}_n$  を導出する。これら電圧  $\dot{V}_1, \dot{V}_2, \dots,$

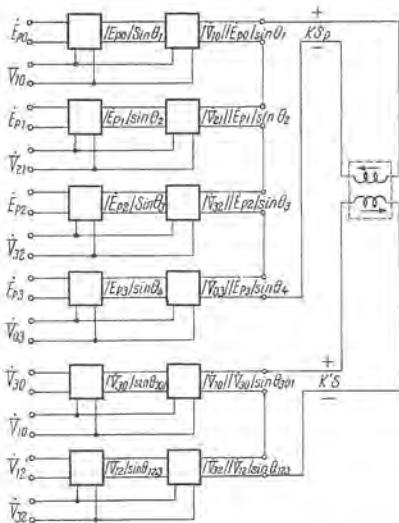


図 4.5 多角形特性の距離継電器(積形)  
Fig. 4.5 Polygon-characteristic distance relay. (Product type)

$\dot{V}_n$  を  $I$  基準の  $R-X$  複素平面に描いた場合、これらベクトルの頂点間、あるいはこれら頂点とベクトルの原点間に所望の図形(整定図形)を形成させるようにして、前記電圧  $\dot{E}_p$  のベクトル頂点が、この整定図形内にあるか外にあるかにより内外故障の判定を行なわせる方法である。

その具体的方法は種々あるが、その一例として、各ベクトルの積に比例した電気量を比較対照させるか(図4.5 参照)、各ベクトルの位相関係を弁別させて(図4.6, 4.7 参照)内外故障の判定を1個の継電要素で簡単かつ正確に行なわせることができる。図4.5, 4.6, 4.7 はいずれも原理の大要を示したもので具体的な方法はこのほかにも種々考えられる。

#### (4) 異相地絡対策

現段階ではいかなる異相地絡に対しても、その故障が保護区間外ならいっさい誤動作せず、内部故障なら確実に動作するという理想距離継電器はまだ現われていないが、その根本原因是隣接回線の電流、電圧の影響にあるにもかかわらず、継電器には故障に関係のあるすべての電流電圧が提供されていないことに起因する。今後、この対策として座標を自端だけに限定せず故障に関係のある領域全般に座標を拡大することになるであろう。

すなわち、系統構成条件に基づき故障計算を行なう計算盤式の継電器が出現するであろう。

これを実現するには、バイロットワイヤ、電力線搬送、マイクロなど、各端局連絡装置を必要とする。また以上のほかに故障時発生する電流パルスも故障位置判定の対象として、研究の価値がある。

## 5. む す び

最近の電力技術全般にわたり、その発展はめざましい

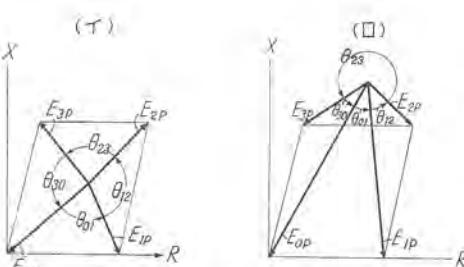


図 4.6 多角形特性の距離継電器位相弁別原理  
Fig. 4.6 Polygon-characteristic distance relay.  
(Phase discriminative principle)

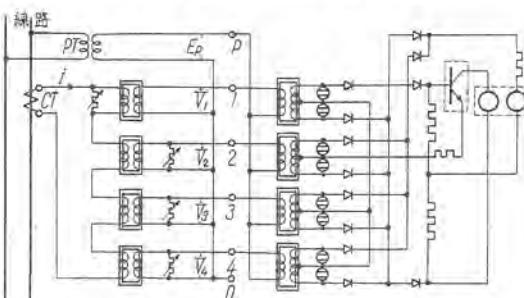


図 4.7 多角形特性の距離継電器(位相弁別形)  
Fig. 4.7 Polygon-characteristic distance relay.  
(Phase discriminative type)

されて、継電器の適用、系統の運用が適切に行なわれるならば、ここ数年は、従来のまま進むであろうが、その限界以上のことを望むなら、根本的に動作原理の異なる前述数種の距離継電器への転換が必然的に起るであろう。

すなわち、一言にしていえば、

インピーダンス  $Z = ZE^{ip}$  を評価し判断する根本原理において、従来、絶対値の大キサが主役となり、位相が從属的な立場にあったのに対し、今後は位相が主役を演じ絶対値のほうが脇役となって、距離継電器に内外故障の判断を行なわせるようになるであろう。

かくすることにより、判断に必要な座標に対し、従来のものよりいっそう多元性を与えることとなり、空間と時間の利用率がよりいっそう高められることとなる。また具体化の面においても、判断に必要な演算を従来のように、継電要素内で行なわせず、外部回路(Net Work)内で、所要演算をすませ、最終判定要素を簡単確実なものとすることができる。したがって、従来、要素の改良だけに多大の研究努力を払っていたのに対し Net Work Analysis とくに Non Linear Circuit Analysis に重点をおくことになるであろう。

## 参 考 文 献

- (1) "A Mathematical Approach to the definition for distance type relay," Interim report on revision to relay standards. p. 12~13 AIEE Conference Paper 1957~71.
- (2) Colin Adamson and L. M. Wedepohl: Power system protection, with particular reference to the application of junction transistors to distance relay. p. 379~388 Proceeding of I.E.E. Part A, August 1956.
- (3) 尾畠喜行・北浦孝一: 最近の距離継電器、電気公論、昭和 33 年 1 月 (486 号) p. 79~88.
- (4) 特許出願中

ものがあるが、とくに電気計算機、送電線監視装置などの発達により、系統現象が定量的になり正確に把握されてきたので、送電線保護継電器に対しても合理的にしてかつ高精度な性能改善が要求されるようになった。

一方、電気材料関係、とくに、半導体、非直線回路要素などの開発が進み、ようやく、実用的な安定した材質をうるに至ったので、距離継電器もここらで原理構造とも、その構成を一変しようといふ機運にある。

将来の距離継電器も、その性能限界がよく理解

# 7.2 kV 共通タンク形油入シャンク断器

伊丹製作所 平田 康夫\*

## 7.2 kV Common-Tank Type Oil Circuit Breakers

Itami Works Yasuo HIRATA

From the economical consideration of substation equipment to be installed as distribution networks expand or of the recent increase in the demand of metal-clad switchgear, demands for oil circuit breakers trend toward more and more small size and inexpensive cost. To cope with the situation Mitsubishi has developed 7.2 kV 150 MVA common tank type oil circuit breakers of small size and light weight. Compared with the conventional design, their weight and floor space have been reduced to 60% but the interrupting performance has been so improved as to be applicable as 5 cycle breakers. The tests on them have proved their capacity of interrupting 230 MVA at 7.2 kV with great success.

### 1. まえがき

最近電力需要の急激な増大とともに電力系統も漸次増大し、送電系統においてもその経済性などよりみて超高压機器、あるいは単位容量の大なるものが続々と登場してその記録を更新しつつあるが、一方配電網もその拡大にしたがって使用されるシャンク断器はシャンク性能の良いということはもちろんであるが、設置される変電設備の立地条件およびその経済性、あるいは単位個所に設置される数量、すえ付スペースなどの問題を考えあわせるとより小形に、より軽量に、したがってより安価に、ということが強くいわれるようになった。さらに近時はメタルクラッドの需要増加とともに、この種シャンク断器の小形軽量化がますます要望されるようになった。3~6 kV 級シャンク断器にはすでにマグネプラスト形などのシャンク断器が各種あり、5 サイクルシャンク断器としてそのシャンク性能もみとめられているがまだ高価であることはまぬがれない。このような状勢下に当社は今回小形、軽量、したがって安価であり、かつシャンク性能もすぐれた共通タンク形の油入シャンク断器を開発したので、ここにその定格、構造ならびに性能を紹介する。

### 2. 定 格

このシャンク断器の定格はつきのとおりである。

形 名	6-BLS-15
定格電圧	7,200 V
定格電流	600 A
定格シャンク容量	150 MVA (3.6 kV および 7.2 kV に

\* 技術部

(おいて)

定格短時間電流	12,000 A (24,100 A)※
定格投入電流	33,000 A (65,500 A)※
定格開極時間	0.055 秒
定格シャンク時間	5 サイクル
絶縁階級	6 号
無負荷投入時間	0.2 秒
油 量	60 l
重量(油なし)	260 kg

※( )内数値は 3.6 kV 150 MVA のときの値、なおこの定格は JEC-145 の規定を満足するものである。

### 3. 構 造

#### 3.1 一般構造

図 3.1 はこのシャンク断器の外観写真で、その外形寸法図は図 3.2 に示してある。その構造はとくに小形化に留意し、図 3.3 に示すように角形の上部カバーには機械的強

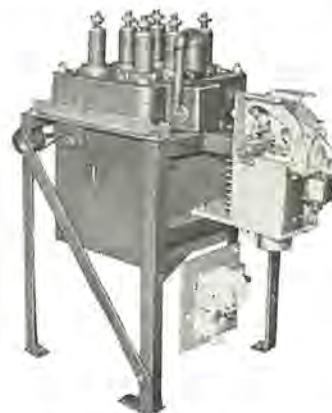


図 3.1 6-BLS-15 形油入シャンク断器  
Fig. 3.1 Type 6-BLS-15 oil circuit breaker.

度の大きなコンデンサ形ブッシングを取付け、その下部には接触部および消弧室がある。従来のタンク形油入シャン断器は消弧室を1相に2個直列に左右対称的に配置していたが、これを1相に1個片側だけに配置した。再起電圧分布装置のない2点切油入シャン断器の電圧分布の悪いことは良く知られており、1点切にすることによっても消弧室の長さは2点切とほとんど変わらない。消弧室を1個にすることにより投入時の摩擦は半減し、また可動

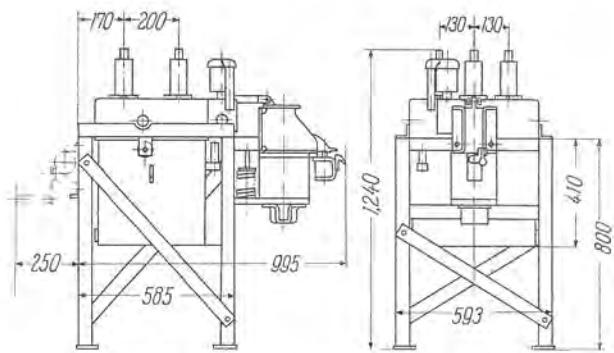


図 3.2 6-BLS-15 形油入シャン断器外形図  
Fig. 3.2 Type 6-BLS-15 oil circuit breaker outline diagram.

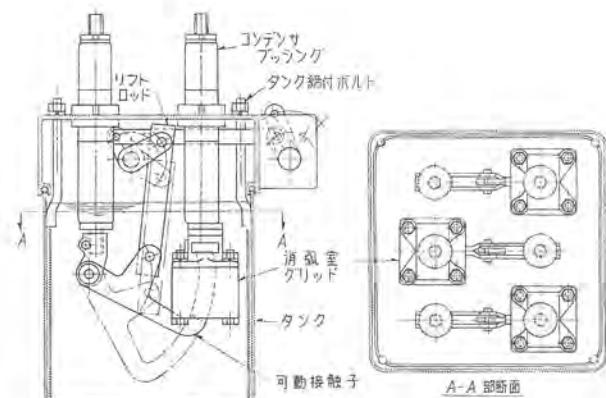


図 3.3 構造説明図  
Fig. 3.3 Sectional view of oil circuit breaker.



図 3.4 接触部および消弧室  
Fig. 3.4 Arcing chamber and contacts.

接触子はヒンジ形となったので可動接触子を動作させる内部リンク機構を簡略化し、回転軸操作を用いることができた。これによって可動部全体の慣性を減らしたので、必要な投入操作力は小さく済み、投入用電磁操作機構を小さくしてもシャン断器の投入容量を増加することができた。さらに消弧室の取付けは3相とも同一方向ではなく、図3.3のようにたがいちがいに配置して相間距離を短縮した。図3.4は接触部を示す写真で消弧室の配置が明らかである。タンクは共通角形を採用し占有面積を小ならしめた。消弧性能の良い消弧室を取付けたことによりシャン断時の内圧を軽減しタンクを角形にし得た。

### 3.2 消弧室

このシャン断器に使用されている消弧室の構造は図3.5の説明図に示されている。

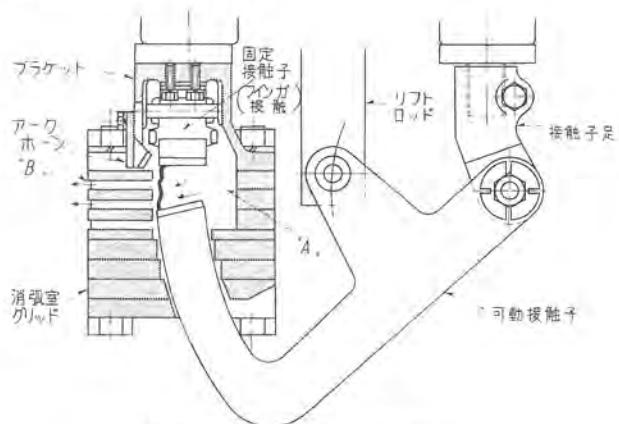


図 3.5 接触部および消弧室構造図  
Fig. 3.5 Arcing chamber and contacts.

固定接觸子を取付けてあるブラケット下部には、ファイバ板を重ねた消弧室グリッドが4本の締付棒で固定されている。消弧室グリッドの一部には油ポケット(A)部があり、ブラケットとともに圧力室を形成し、グリッドの油ポケットには数段の噴出口(B)部がある。シャン断時のアーケによって発生した油の分解ガスは、この圧力室内に大きな圧力を発生し、可動接觸子が下降するにつれて順次噴出口が開くと、この圧力によって油ポケット内の油はアーケの全長にわたって次々と吹きつけられ、乱流による消イオン効果によって消弧は完了する。したがってアーケはとくに引き伸ばされることなく、アーケ長も1点切であるにもかかわらず最大長は従来のシャン断器の約半分になり、アーケエネルギーは数分の1になっている。その結果は油量および内部空気室容積も従来の同一シャン断容量のものに比較すれば約半分になった。

### 3.3 操作機構

図3.6および図3.7はこのシャン断器に使用されている

電磁操作機構の説明図である。投入コイルが付勢されると可動鉄心が引きあげられて、レバーリンクと機構リンクの連結部にあるローラ “A” が押し上げられる。機構リンクは引はずしローラ “D” でトリガによりささえられているので、レバーリンクにピン “B” で接続された主レバーはピン “C” を支点として反時計式に回転する。ピン “B” は操作権によってシャ断器に連結されているので、シャ断器は投入される。投入の最終行程において

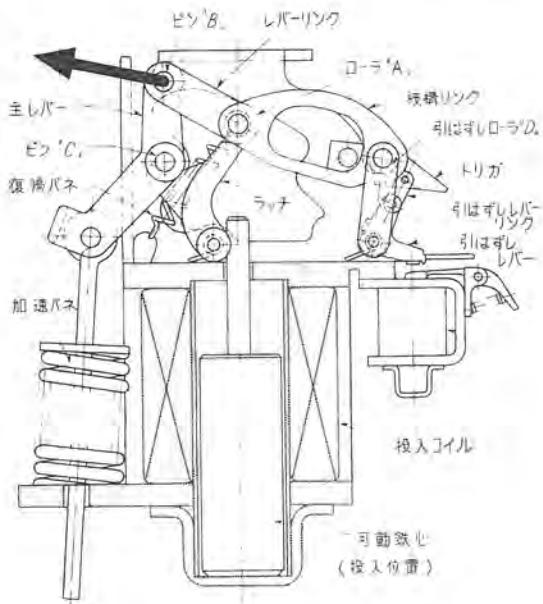


図 3.6 操作機構説明図

Fig. 3.6 Solenoid operating mechanism (closed position).

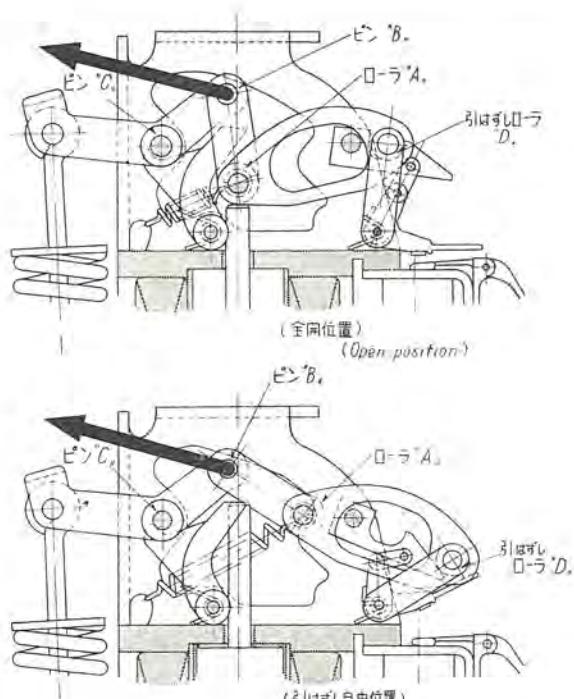


図 3.7 操作機構説明図

Fig. 3.7 Solenoid operating mechanism (trip free position).

7.2 kV 共通タンク形油入シャ断器・平田

ローラ “A” はラッチにかかり鎖錠され、シャ断器は投入位置に保たれる。投入が完了し投入コイルが消勢されれば可動鉄心は自重で落ちる。図 3.6 は投入完了位置を示す。図 3.7 は引はずし自由位置および開路位置である。引はずしコイルが働くと、引はずしレバーリンクと引はずしレバーで形成されたトグルの平衡が破れて、引はずしローラ “D” がトリガからはずれ、機構リンク、レバーリンクおよび主レバーで形成されている全操作機構、リンクが水平に右方へ移動し（引はずし自由位置）シャ断が行なわれる。ついで復帰バネがローラ “A” を引きもどして機構は開位置に復帰する。

#### 4. 試験結果

性能に関してはとくに実用性能に重点をおき短絡電流シャ断試験はもちろん、開閉操作試験、連続開閉試験、温度上昇試験、耐圧試験など各種試験を行なっていざれも良好な成績をおさめた。とくに開閉操作は軽快で約 1 万回の連続開閉試験後もなんら異常はみとめられなかつた。したがつて機械的強度も十分で現地すえ付後の運転保守にはいささかも不安がないと信ずる。

短絡電流シャ断試験は当社 HPL において数次にわたっておこなつた。その試験結果の大要は表 4.1～4.3 に示してある。代表的オシログラムは図 4.1～4.3 のとおりである。各試験は JEC-145 の規定にもとづいて試験電圧は 7.2 kV および 3.6 kV で行なつた。この結果によれば 7.2 kV においては 230 MVA の試験に成功しており、150 MVA の定格に対しては十分の裕度がある。また 400～3,000 A の短絡電流シャ断性能をしらべるため単相試験をおこなつた。共通タンク形シャ断器で単相試験をおこなうことは望ましくないが、当所の設備ではこの範囲の三相試験が不可能であるのでやむを得ない。しかしこの試験は電流が小さく他相の排出ガス、電磁力の影響が少ない範囲でおこなわれたこと、また 7.2 kV における異相地絡条件を考え、この電圧を試験電圧に選んだことなどを考慮すれば、むしろ三相試験より苛酷であつても楽な条件になつていいないと判断できる。大電流において異相地絡事故に対する能力を確かめるためには単相試験は不適当であるのでとくに異相地絡状態をつくった上でシャ断試験をおこなつた。その代表的なオシログラムは図 4.4 に、その試験回路は図 4.5 のとおりである。充電電流シャ断試験は当社 HPL のコンデンサを用

表 4.1 短絡電流シャ断試験成績 その 1  
(表中※印は図 4.1 のオシログラム参照)

動作責務	給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	シャ断電流		シャ断時間(サイクル)		
			AC 分 (A)	DC 分 (%)	開極	アーケ	全シャ断
O	7.2	93.5	420	21	3.05	2.25	5.30
"	"	92.5	416	12	3.00	1.65	4.65
"	"	95.0	436	12	2.95	1.50	4.45
"	"	96.0	1,000	22	3.00	2.25	5.25
"	"	96.0	1,000	7	2.95	1.85	4.80
"	"	98.0	990	7	3.00	1.55	4.55
※"	"	96.0	1,700	9	2.95	1.75	4.70
"	"	95.0	1,690	10	3.00	1.85	4.85
"	"	97.5	1,700	15	3.00	1.05	4.05
"	"	92.0	2,950	10	3.10	1.35	4.45
"	"	96.0	3,000	14	3.00	0.75	3.75
"	"	92.0	2,950	19	2.95	1.10	4.05

表 4.2 短絡電流シャ断試験成績 その 2  
(表中※印は図 4.2 のオシログラム参照)

動作責務	給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	シャ断電流			シャ断時間(サイクル)		投入電流 (A)	相別
			AC 分 (A)	DC 分 (%)	全	開極	アーケ		
※O	7.2	94.0	5,400	75	3.20	1.10	4.30	—	U
			5,560	57	"	1.10	4.30	—	V
			5,400	10	"	0.80	4.00	—	W
"	"	92.0	5,200	51	3.15	0.75	3.90	—	U
			5,300	43	"	1.10	4.25	—	V
			5,200	5	"	1.10	4.25	—	W
"	"	96.5	10,000	6	3.20	0.70	3.70	—	U
			10,200	48	"	0.95	4.15	—	V
			9,950	46	"	0.95	4.15	—	W
"	"	96.5	10,000	17	3.20	0.85	4.05	—	U
			10,100	54	"	1.20	4.40	—	V
			9,950	36	"	1.20	4.40	—	W
"	"	90.0	17,300	13	3.15	0.80	3.95	—	U
			17,400	18	"	0.60	3.75	—	V
			16,900	8	"	0.80	3.95	—	W
"	7.2× 1.08	97.0	18,900	10	3.15	0.55	3.70	—	U
			18,900	23	"	0.80	3.95	—	V
			18,600	14	"	0.80	3.95	—	W
※CO	7.2	90.0	17,400	26	2.65	0.50	3.15	56,300	U
			17,900	10	"	0.75	3.40	42,000	V
			17,100	22	"	0.75	3.40	42,500	W
"	"	90.5	17,800	16	2.65	0.85	3.50	42,500	U
			18,300	15	"	0.60	3.25	40,000	V
			17,400	31	"	0.85	3.50	51,300	W

表 4.3 短絡電流シャ断試験成績 その 3  
(表中※印は図 4.3 のオシログラム参照)

動作責務	給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	シャ断電流			シャ断時間(サイクル)		投入電流 (A)	相別
			AC 分 (A)	DC 分 (%)	全	開極	アーケ		
O	3.6	90.5	2,670	51		1.15	4.30	—	U
			2,630	25	3.15	0.90	4.05	—	V
			2,590	29		1.15	4.05	—	W
O	3.6	90.5	2,660	52		0.90	3.90	—	U
			2,620	29	3.00	0.70	3.70	—	V
			2,580	30		0.90	3.90	—	W
O	3.6	90.0	12,300	28		0.60	3.60	—	U
			12,800	14	3.00	0.60	3.60	—	V
			12,300	15		0.40	3.40	—	W
O	3.6	90.5	12,300	30		0.75	3.75	—	U
			12,800	14	3.00	0.75	3.75	—	V
			12,300	15		0.55	3.55	—	W
O	3.6	94.0	26,300	27		0.60	3.70	—	U
			26,200	11	3.10	0.60	3.70	—	V
			25,000	17		0.40	3.50	—	W
※CO	3.6	94.5	25,800	23		0.75	3.40	68,000	U
			26,000	22	2.65	0.60	3.25	72,000	V
			26,000	0		0.75	3.40	40,600	W
CO	3.6	95.0	25,800	7		0.70	3.40	47,000	U
			26,000	25	2.70	0.50	3.30	69,500	V
			26,000	21		0.70	3.40	63,500	W

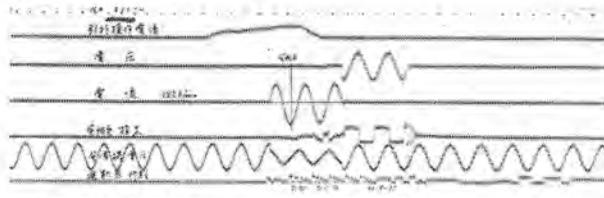
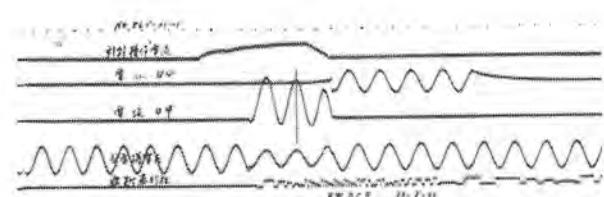
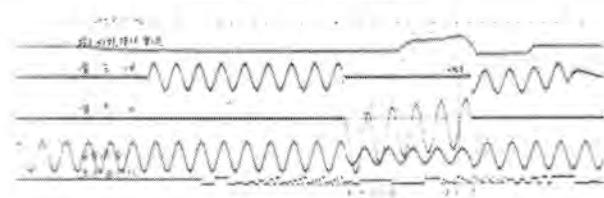


図 4.1 短絡電流シャ断試験(単相試験) オシログラム  
7.2 kV 1,700 A

Fig. 4.1 Oscillogram of single-phase short-circuit-current interruption test at 7.2 kV 1,700 A.



7.2 kV 5,500 A 動作責務 O



7.2 kV 17,000 A 動作責務 CO

Fig. 4.2 Oscillograms of three-phase short-circuit interruption test at 7.2 kV

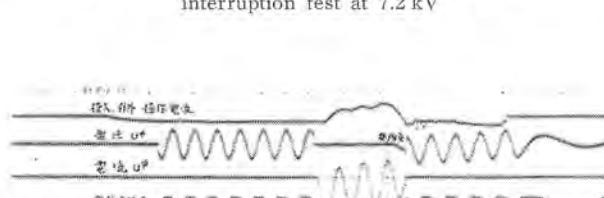
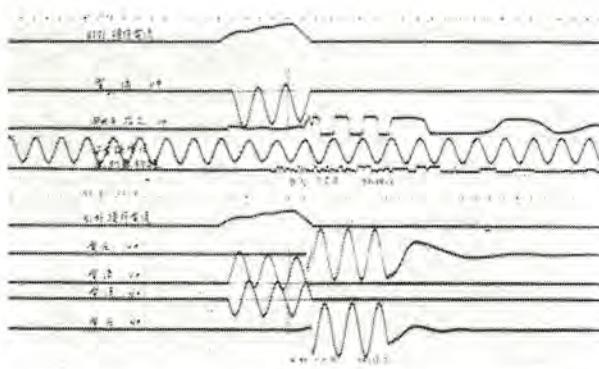


図 4.3 短絡電流シャ断試験(三相試験) オシログラム  
3.6 kV 26,000 A

Fig. 4.3 Oscillogram of three-phase short-circuit interruption test at 3.6 kV 26,000 A.



異相地絡試験 (U 相接地) 7.2 kV 10,000 A								
動作責務	給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	シャ断電流		シャ断時間(サイクル)			相別
			AC 分 (A)	DC 分 (%)	開極	アーケ	全	
O	7.2	97	10,200	65	—	—	—	U
			10,100	60	2.7	0.60	3.30	V
			10,200	6	2.7	0.80	3.50	W

図 4.4 短絡電流シャ断試験(異相地絡試験)オシログラム  
Fig. 4.4 Oscillogram of short-circuit current interruption test at double ground fault condition.

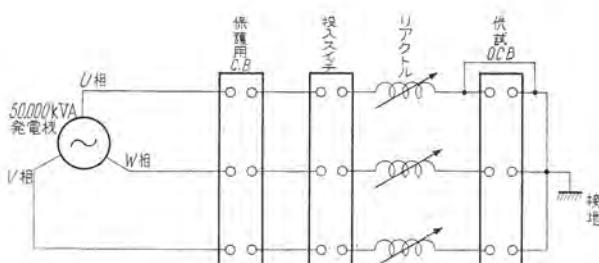


図 4.5 異相地絡試験回路略図  
Fig. 4.5 Test circuit of double ground fault condition.

い、設備の都合上単相試験をおこなったがその電圧はとくに 5.4 kV ( $7.2/\sqrt{3} \text{kV} \times 1.3$ ) とした。この値はこの種シャ断器のシャ断条件としては十分に苛酷である。8 A および 4 A を各 8 回シャ断した。いずれも再点弧再発弧はみとめられなかった。結果は表 4.4 のとおりで

表 4.4 当所コンデンサバンクによる充電電流シャ断試験結果

給与電圧 (kV)	充電電流 (A)	再点弧回数			シャ断時間(サイクル)		コンデンサ側対地電圧 (%)
		発弧	点弧	全	開極	アーケ	
5.4 ( $7.2/\sqrt{3} \times 1.3$ )	28.5	0	0	0	3.20	0.41	3.61 99
	0	0	0	0	3.20	0.37	3.57 99
	4.1	0	0	0	3.20	0.53	3.73 99
	0	0	0	0	3.20	0.15	3.35 100
4.1	0	0	0	0	3.20	0.31	3.51 98
	0	0	0	0	3.20	0.04	3.24 100
4.1	0	0	0	0	3.20	0.16	3.36 98
	0	0	0	0	3.20	0.11	3.31 99

ある。試験後の各接触子および消弧室グリッドの損傷はきわめて少なく、定格電流の通電、開閉にはなんら支障ない程度であった。

## 5. むすび

以上で 6-BLS-15 形油入シャ断器の構造および性能を紹介したが、3~6 kV 級 150 MVA シャ断器としては非常に小形で軽量であるにもかかわらず、シャ断性能はきわめて優秀で 5 サイクルシャ断器としての実用性は十分である。また構造上にも種々の特色をもっている。すなわち

- (1) シャ断性能の良い消弧室を各相に片側 1 個取付いた。
- (2) 消弧室取付は同じ側とせず交互に配置して相間距離を合理的にちぢめた。
- (3) 可動接触子をヒンジ形としてタンク内部リンク機構を簡略化した。

などである。したがって従来の同一容量のシャ断器にくらべて占有面積は非常に小さくなつた。今後配電網の伸展とともに二次配電設備の拡充あるいは水、火力発電所補器関係設備の需要にこのシャ断器を使用すれば非常に経済的であるばかりでなく、その保守上においても満足すべき成果があがるものと確信している。

## 次号予定

三菱電機 Vol. 33 No. 4 (超高压送電機器特集)

- 超高压による電力連けい技術の革新
- 超高压送電に関する最近の動向
- 電力系統問題と計算機の応用
- 系統の再起電圧と回復電圧
- 超高压系統における中性点接地の諸問題
- 超高压変圧器
- 超高压シャ断器
- 超高压避雷器に関する諸問題
- 直列コンデンサ
- 超高压送電線の保護総電装置と搬送装置
- 開閉異常電圧と絶縁協調
- 4,000 kV 衝撃電圧発生装置とその適用
- 技術解説: 火力発電シリーズ 電力シャ断器

# 放射線励起による CdS 単結晶の伝導性

研究所 伊吹順章\*

## Induced Conductivity of CdS Single Crystal by Radioactive Rays

Engineering Laboratory Sumiaki IBUKI

Investigations have been made on CdS crystals of their properties when they are given irradiation by  $\beta$ -rays from 10 mC of  $Sr^{90}$  or the Van de Graaff type accelerator, and by  $\gamma$ -rays from 1C of  $Cs^{137}$  or 200C of  $Co^{60}$ . The crystals used are uniform, of a low trapping density and highly sensitive for  $\beta$ - or  $\gamma$ -rays. The elementary phenomena of induced conductivity of the material, it is revealed, are similar to those irradiated by visible rays. However, it has been evidenced that excited electrons in the conduction band by a  $\beta$ -particle are about as many as hundred times those by a  $\gamma$ -particle of 1.3 to 1.5 MeV.

### 1. まえがき

光導電体として高感度をもつ CdS 単結晶は X 線<sup>(1)</sup>,  $\gamma$  線<sup>(2)</sup>,  $\beta$  線<sup>(3)</sup>,  $\alpha$  線<sup>(4)</sup>などの放射線を照射した場合にもその電気抵抗値を減少することが知られており、最近この性質を利用して  $\gamma$  線の検出器とする試みも 2,3 発表されるようになってきた<sup>(5)</sup>。

筆者は種々の方法で CdS 単結晶を製作する研究を続けてきたが<sup>(6)</sup>、大きい単結晶を比較的容易に作れるようになったので、これを用いて光照射の場合をはじめ  $\beta$  線,  $\gamma$  線を照射した時の諸性質を観察し、とくに光導電の素過程、照射の効率などについて興味ある結果が見出された。本文はこの問題を中心として  $\beta$  線,  $\gamma$  線を照射したときの状況を報告し、これに対して考察を加えるものである。

### 2. 試料と光導電の 2, 3 の性質

試料の CdS は化学的に精製した粉末を窒素気流中で昇華再結晶させたときにできる一様な板状結晶をそのまま、または C 軸に平行にヘキカイして用いる<sup>(6)</sup>。抵抗体としての諸性質を調べるには試料 CdS の両端に電極をつける必要があり、使用する電極用金属としては  $I_n$  がよい。図 2.1, 2.2 は  $I_n$  を真空蒸着した場合の低電圧部における電圧対電流特性を示すが、電流は低い電圧部まできれいに電圧に比例している。

雑音を調べた結果も電極の接触に起因すると思われる  $1/f$  雜音も  $I_n$  極の場合は銀ベーストやアクアダックなどを極とした場合に比べ非常に少ない。

つぎに結晶の一様性について検討した。それにはまず  $I_n$  極をつけた試料結晶全体を一様な光束に照射される状態に配置して、光源と結晶との間にシャッタを入れて

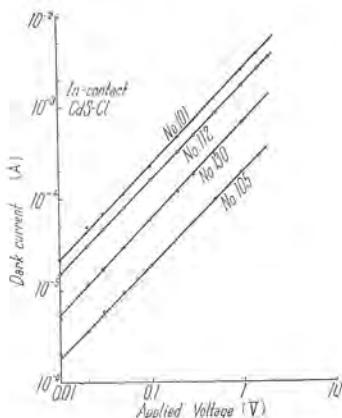


図 2.1 暗電流の電圧依存性  
Fig. 2.1 Voltage dependence of dark current.

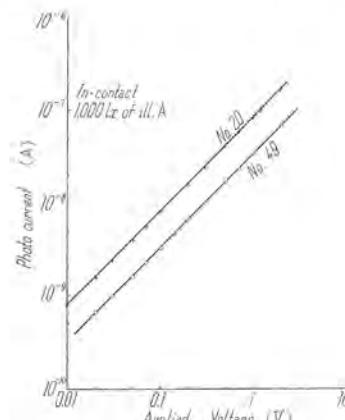


図 2.2 光電流の電圧依存性  
Fig. 2.2 Voltage dependence of photocurrent.

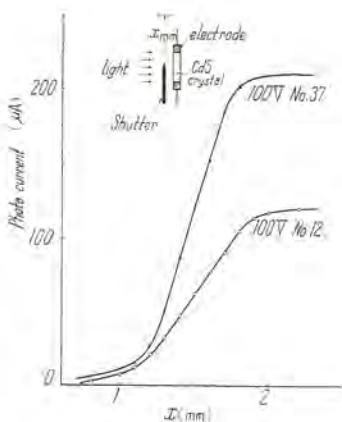


図 2.3 結晶の一様性  
Fig. 2.3 Uniform characteristics of crystals.

光線をシャットを移動して一方の電極から他方の電極へ順次等ピッチ間隔で照射面積をふやしてCdSに流れる光电流の変化を調べたのが図2.3である。これを見ると結晶が一様で印加電圧が等傾度で結晶全体にかかるといえる。

以上のように低電圧部における電流電圧の比例性、低雑音、印加電圧の等傾度の事実より  $I_n$  を真空蒸着した結晶は ohmic contact を作るといえる。それでこのような結晶について放射線を照射した場合の効果と比較するためにあらかじめ可視光線を照射した場合の性質を調べてみた。

まず暗電流およびA光源を照射したときの光电流の電圧電流特性は図2.4のようだ。光电流は高い電圧範囲まで電圧に比例して変化するが、暗電流には空間電荷電流の影響が高電圧部ででていると思われる。

図2.5はA光源の明るさを変えたときの光电流の変化で強度の弱い場合は明るさにほぼ比例して光电流がますが、強度が強くなると飽和して光电流の増加は明るさの

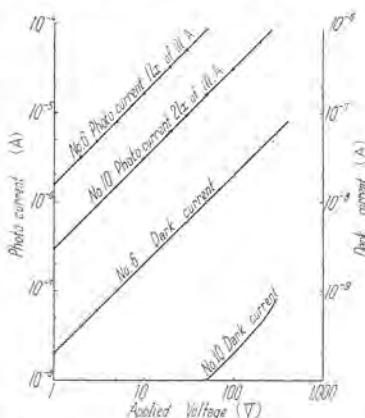


図 2.4 暗電流および光电流の電圧依存性  
Fig. 2.4 Voltage dependence of photocurrent and dark current.

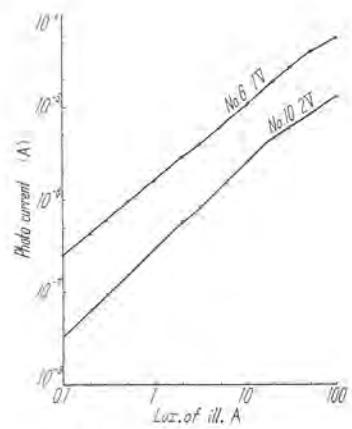


図 2.5 光電流対光量特性  
Fig. 2.5 Photocurrent-irradiation characteristics.

$1/2$ 乗に近づく。この図でトラップの密度が自由電子密度より大きい時はトラップの影響が大きく光电流は刺戟光量に比例し、トラップが埋まればホールとの再結合のほうが多くなって光电流の増加は刺戟光量の  $1/2$ 乗に比例するようになるが、トラップ密度と自由電子密度が等しい照度位置で曲線に折れを生ずる<sup>17)</sup>。

つぎに可視部における分光感度を測定したが図2.6に示すように吸収端に感度の山が観察される以外にその長

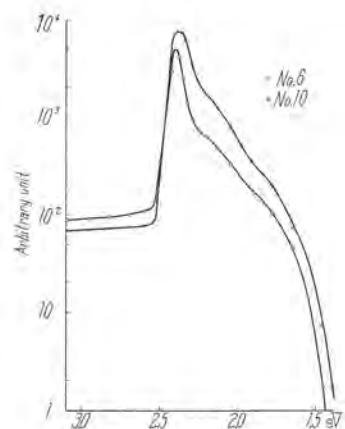


図 2.6 分光感度曲線  
Fig. 2.6 Spectral sensitivity curve.

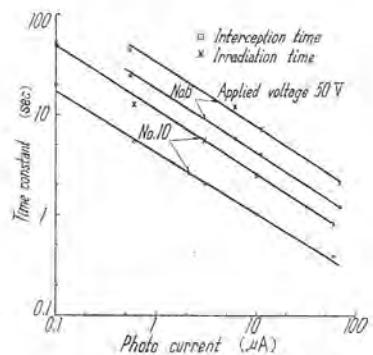


図 2.7 時定数—光电流特性  
Fig. 2.7 Time constant—photocurrent characteristics.

波長側にも感光帯があり、吸収帶とよく対応している。

また暗室中で可視光を照射、シャ断したときの時定数  $\tau_0$  の測定結果を図 2.7 に示す。横軸は放射線照射の場合と対比するため光电流値をとった。これより光电流値の増加につれて時定数がへること、照射時の時定数がシャ断時の時定数より大きいことがわかるが、さらに多数の結晶の時定数測定の結果より一般に感度のよい結晶は時定数が大きく、感度の悪い結晶の時定数は小さいといえる。また印加電圧をませばやや時定数が小さくなる。

### 3. $\beta$ 線、 $\gamma$ 線に対する諸性質

上記結晶の  $\beta$  線、 $\gamma$  線に対する諸性質を調べてみた。

まず  $\beta$  線源として  $Sr^{90}$  10 mC を用いたときの電圧電流特性を図 3.1 に示す。線源から 5 cm の位置で導電率は  $1 \times 10^{-3} \Omega^{-1}cm^{-1}$  から  $1 \times 10^{-4} \Omega^{-1}cm^{-1}$  に変化し、Hollander 氏の 50 mC の線源から 5 mm の距離で  $5 \times 10^{-5} \Omega^{-1}cm^{-1}$  になったという報告に比べれば感度はあるかによい<sup>(5)</sup>。また 10mC の  $Sr^{90}$  から 5cm の距離で  $5mm \times 3mm$  の CdS にあたる電子の数は  $1.8 \times 10^8$  個/秒になり、この電子によって 500 V/cm の電界で  $60 \mu A$ 、すなわち  $3.8 \times 10^{11}$  個/秒の電子流を得ていることになるので CdS の結晶内部で  $2.1 \times 10^9$  倍の増幅をしていることになる。

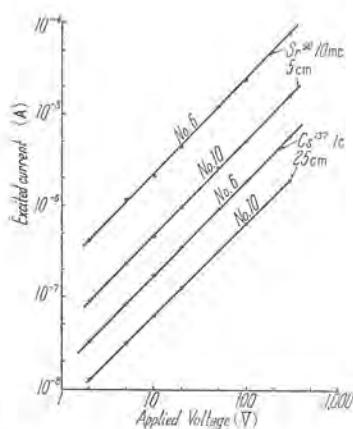


図 3.1 放射線による励起電流の電圧依存性

Fig. 3.1 Voltage dependence of excited current by radio isotope.

つぎに線源から CdS までの距離を変更したときの電流変化を図 3.2 に示す。図に示す電流範囲では入力可視光線の強度に対して伝導度が比例して増加する範囲である。しかし線源は直径 30 mm、厚さ 5 mm の円板状であるから線源に近づけても距離の 2 乗に反比例して増すということはない。逆に CdS の位置が線源から

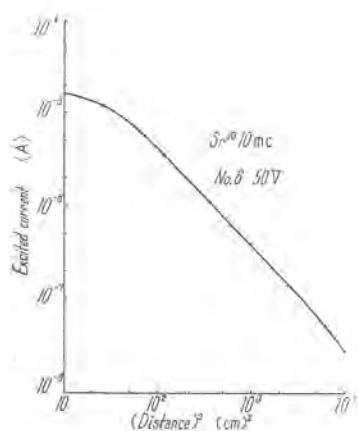


図 3.2 励起電流の距離依存性

Fig. 3.2 Distance dependence of excited current.

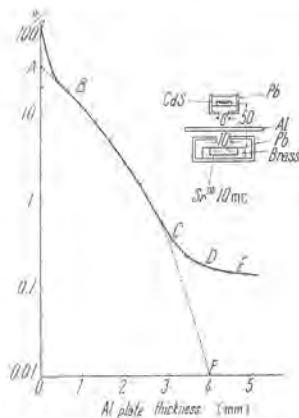


図 3.3  $Sr^{90}$  からの  $\beta$  線のアルミ板による吸収

Fig. 3.3 Absorption of  $\beta$ -rays from  $Sr^{90}$  by Al plate.

非常に遠くなると空気による  $\beta$  線の吸収が無視できなくなり伝導度がへってくる。けれどもその中間では距離の 2 乗に反比例して電流がましている。

図 3.3 はアルミ板による  $Sr^{90}$  よりの  $\beta$  線の吸収を測定した結果で、線源および CdS 結晶の幾何学的配置は図中に示すようである。この図を検討するに 0.1~0.3 mm 程度の薄いアルミ板での吸収が多く見られるが、これは線源および線源保持体の後方散乱などによる低エネルギーの  $\beta$  線を吸収するためと解釈され、図の A 点を基準にとれば  $Sr^{90}$  からの 2.2MeV の  $\beta$  線に対する半価層は 0.6 mm 厚、したがって  $162 mg/cm^2$  となり、半価層を  $a$ 、最大エネルギーを  $E$  とするとき

$$a = 0.046 E^{3/2} (gr/cm^2) \dots \dots \dots (3.1)$$

よりの値  $150 mg/cm^2$  とほぼ一致する。BC 間では吸収物質の厚さ  $d$  cm のときの  $\beta$  線の強さ  $I$  は吸収物質のないときの  $\beta$  線の強さを  $I_0$ 、吸収係数を  $\mu cm^{-1}$  とするとき、一般にいわれる

$$I = I_0 e^{-\mu d} \dots \dots \dots (3.2)$$

に近い曲線となっているが、アルミ板の厚さをますと最

後には DE で制動 X 線が発生しているのが検出されている。またこの図より F 点を  $\text{Sr}^{90}$  よりの  $\beta$  線の最大飛程  $R(\text{mg/cm}^2)$  と見ると約 4mm 厚、したがって  $1,080 \text{ mg/cm}^2$  となり

$$R = 0.542 E - 0.133 (\text{mg/cm}^2) \quad (3.3)$$

よりの値  $1,060 \text{ mg/cm}^2$  ほぼ一致する。幾何学的配置をかえると曲線の形は少し変ってくる。けれども上の意味での半価層と最大飛程はほとんど変わらない。かのように CdS を検出器として Al 板の吸収などを十分な精度と再現性をもって測定できる。

以上の諸測定時における  $\text{Sr}^{90}$  を照射したりシャ断したりしたときの時定数を測定したが、可視光線を照射したときと比べて当然予想されるように伝導度が等しくなれば可視光線照射時とほとんど等しい時定数を示し、やはり  $\text{Sr}^{90}$  照射時の時定数のほうがシャ断時の時定数より大きい。

また照射面積を変えて照射電流を測定すると図 2,3 のような曲線が得られた。

つぎに当社製 Van de Graaff からの  $\beta$  線を照射したときの結果を図 3.4, 3.5 に示す。試料 No.1 は No.6 と大キサならびに性能が同程度の結晶である。図 3.4 より見ると伝導度は  $\beta$  線のエネルギーがますにつれてやや大きくなるようであるが  $\beta$  線の focus の状態を考慮に入れると  $1 \text{ MeV} \sim 2 \text{ MeV}$  の範囲ではほとんど flat であるといえる。図 3.5 を検討するに照射電子数が  $10^9$  個/ $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$  にも達すれば伝導度は照射強度の  $1/2$  乗に比例するようになり、 $3 \times 10^{11}$  個/ $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$  にも達すれば伝導度は飽和する傾向を示す。

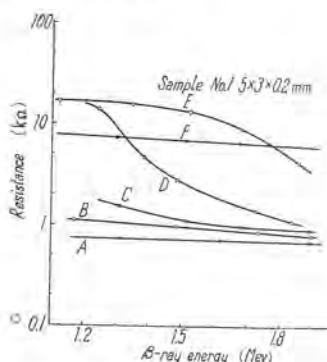


図 3.4 ファンデグラフからの  $\beta$  線照射特性  
Fig. 3.4  $\beta$ -rays irradiation characteristics from Van de Graaff generator.

放射線励起による CdS 単結晶の伝導性・伊吹

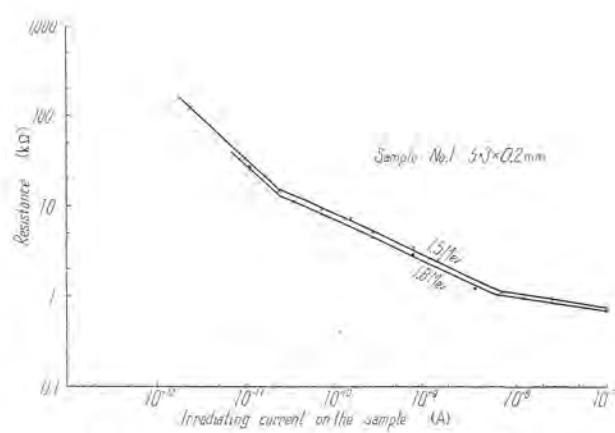


図 3.5 ファンデグラフからの  $\beta$  線照射特性  
Fig. 3.5  $\beta$ -rays irradiation characteristics from Van de Graaff generator.

この場合も電圧電流特性は低電圧で linear となる。また高密度の  $\beta$  線を照射するときは結晶の温度が上り抵抗値が上ってくる。

なお全測定範囲で時定数は 1 秒以下であった。

$\gamma$  線照射時の実験結果を 2,3 あげると図 3.6 は 200 Curie の  $\text{Co}^{60}$  からの  $\gamma$  線に照射したときの強度対電流特性で横軸は電離箱での指示値である。これを見ると  $10 \sim 2,800 \text{ r/h}$  の範囲では照射強度に比例して電流が増加しているが  $2,900 \text{ r/h}$  で knick が生じている。この場合の抵抗値をみると  $750 \text{ k}\Omega$  で、可視光線の強度を変えた場合の knick とよく一致している。

また  $\text{Cs}^{137}$  1 Curie からの  $\gamma$  線に照射して線源と CdS との間の距離を変えて測定した結果も  $0.4 \sim 40 \text{ r/h}$  の範囲で照射強度と照射電流値がよい比例性を示している。

電圧一電流特性も  $\beta$  線の場合と同じく linear で図 3.1 に併記しておく。試料 No. 6 について考察するに 1 Curie の  $\text{Cs}^{137}$  から  $25 \text{ cm}$  の距離で  $5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$  の CdS にあたる  $\gamma$  線の数は  $7.1 \times 10^5$  個/秒になり、この  $\gamma$  粒子によって  $500 \text{ V/cm}$  の電界で  $5 \mu\text{A}$  すなわち  $3.1 \times 10^{13}$  個/秒の電子流を得ていることになるので CdS

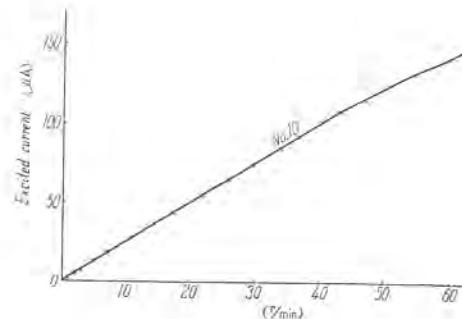


図 3.6  $\text{Co}^{60}$  照射特性  
Fig. 3.6  $\text{Co}^{60}$  irradiation characteristic.

の結晶内部で  $4.4 \times 10^7$  倍の増巾をしていることとなり、増巾度は  $\beta$  線の場合の  $1/50$  となっている。

かように  $\beta$  線照射の際と比べて  $\gamma$  線を照射したときは得られる照射電流が少なく、したがって時定数が非常に大きい点が異なっている。けれどもこの場合の時定数も可視光線を照射したときと同じ伝導度になれば同程度の時定数を示している。ただ Cs<sup>137</sup> 0.4~40 r/h 照射中に認められたところであるが、印加電圧を切ればただちに零を示すが、再印加時にはもとの指示値にすぐもどらず数秒程度の遅れを示すといふ現象は興味ある事実である。

#### 4. 考 察

以上気相から作った CdS 単結晶について  $\beta$  線、 $\gamma$  線に対する効果を調べ、光学的性質との対比を試みた。

まず可視光線照射時の性質をながめるとき、以前にも論じたように伝導帯にある光電子の密度を  $n$  個/cm<sup>3</sup>、結晶内のトラップの密度を  $M$  個/cm<sup>3</sup> とするとき、光电流対光量特性の曲線に折れができる位置で  $n=M$  と考えられる<sup>(7)</sup>。図 2.5 の場合試料 No. 6 は 50 lx. の照射で 1 V, 40  $\mu$ A の光电流のとき、試料 No. 10 は 14 lx. の照射で 2 V, 4  $\mu$ A の光电流のとき曲線に折れが見られる。さて光电流  $I$  は印加電圧を  $V$ 、電極間距離を  $L$ 、電子易動度を  $\mu$ 、光電子の寿命を  $\tau$ 、電子の電気量を  $e$ 、伝導帯にある光電子数を  $n'$  とするとき

$$I = e \frac{\tau \mu V}{L^2} n' \quad (4.1)$$

と表わされるから

$$n' = \frac{I}{e} \frac{L^2}{\tau \mu V} \quad (4.2)$$

となる。いま No. 6 の場合の実測値  $I=40 \mu$ A,  $L=0.5$  cm,  $V=1$  volt,  $\tau=80$  msec を入れ  $\mu=100$  cm<sup>2</sup>/volt·sec とすれば

$$n' = 7.9 \times 10^{12} \quad (4.3)$$

となり、No. 6 の大キサ 5×3×0.2 mm より  $n$  を求めると

$$n = 2.6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3} \quad (4.4)$$

となる。No. 10 についても  $I=4 \mu$ A,  $L=1$  cm,  $V=2$  volt,  $\tau=100$  msec,  $\mu=100$  cm<sup>2</sup>/volt·sec を入れて計算すると、 $n'=3.1 \times 10^{13}$ 、したがって  $n=6.9 \times 10^{14}$  cm<sup>3</sup> となり、トラップの濃度がそれぞれ  $3 \times 10^{15}$  個/cm<sup>3</sup>,  $7 \times 10^{11}$  個/cm<sup>3</sup> と計算される。また電子の寿命では thermal velocity を  $v$ 、正孔の電子に対する捕獲断面積を  $S$  とすれば

$$\tau = \frac{1}{v S n} \quad (4.5)$$

であるから、 $v=10^7$  cm/sec を入れると、 $S$  はそれぞれ  $5 \times 10^{-22}$  cm<sup>2</sup>,  $1.5 \times 10^{-21}$  cm<sup>2</sup> となる。

つぎに放射線に対する感度であるが、刺戟放射線数を  $F$  個/sec、それによって導電帯へ電子を上げる効率を  $\eta$  とすれば  $n'=F\eta$  であるから式 (4.2) より

$$\eta = \frac{I}{e \cdot F} \frac{L^2}{\tau \mu V} \quad (4.6)$$

となる。それで Sr<sup>90</sup> 照射時の効率と Cs<sup>137</sup>, Co<sup>60</sup> 照射時の効率を比較するため、つぎのような方法を考えた。試料 No. 6 については Cs<sup>137</sup> 1 Curie から 25 cm 離れて 100 V の印加電圧で 5  $\mu$ A の電流をうる、それで Sr<sup>90</sup> 10 mc について 100 V の印加電圧で 5  $\mu$ A の照射電流をうる距離を求めれば 12.6 cm であるから、各位置で試料にあたる放射粒子数の比より

$$\eta_{Sr^{90}}/\eta_{Cs^{137}} = 25 \text{ for No. 6} \quad (4.7)$$

をうる、同様に試料 No. 10 について算出すれば

$$\eta_{Sr^{90}}/\eta_{Cs^{137}} = 31 \text{ for No. 10} \quad (4.8)$$

$$\eta_{Sr^{90}}/\eta_{Co^{60}} = 150 \text{ for No. 10} \quad (4.9)$$

なる数値を得、これより Sr<sup>90</sup> からの  $\beta$  線のほうが Cs<sup>137</sup> からの  $\gamma$  線より電子を励起する効率は 30 倍ほどよいといえる。 $\eta$  の絶対値としては Van de Graaff からの 1.5 MeV の  $\beta$  線に対する試料 No. 1 について実験では  $2.2 \times 10^{-11}$  A の照射量で 15 k $\Omega$  になっているから、式 (4.6) に  $V=15$  volt,  $I=1$  mA,  $L=0.5$  cm,  $\tau=50$  msec と  $\mu=100$  cm<sup>2</sup>/volt·sec を入れれば

$$\eta = 1.5 \times 10^5 \text{ for } \beta 1.5 \text{ MeV} \quad (4.10)$$

なる値をうる。また Co<sup>60</sup> 200 Curie に対する No. 10 についての実験より 45 r/min のとき印加電圧 90 V で照射電流 113  $\mu$ A,  $\tau=0.1$  sec であるから、 $\mu=100$  cm<sup>2</sup>/V·sec として式 (4.6) に入れれば

$$\eta = 1.4 \times 10^3 \text{ for } \gamma Co^{60} \quad (4.11)$$

となり、上記 CdS 結晶では 1.3~1.5 MeV の 1 個の  $\beta$  線、 $\gamma$  線に対してそれぞれ約  $10^3$  個、 $10^4$  個の伝導電子が生成されていることになる。

しかし  $\beta$  線、 $\gamma$  線を吸収して得られたエネルギーはいかに消費されるかを考察するに、一つはこの実験で観察したように電子の励起であるが、そのほか格子不整点の生成も考えられる。事実 Van de Graaff からの大量の  $\beta$  線に照射後の結晶では暗電流が増加し、光电流が減少し、光电流対光量特性も照射前と変るという傾向が観察された。これは明らかに格子不整点ができたと解釈され

るが、格子不整点の生成数と励起電子数との割合が判然としないので、それぞれの生成にいかほどのエネルギーを要するか判然としない。しかし分光感度の測定から電子を励起するに要するエネルギーは約 2 eV、格子不整点を作るに要するエネルギーは昇華に要するエネルギーの数倍で、後者が約 2.1 eV であるから、6~10 eV と思われる<sup>(9)</sup>。しかるに Van de Graaff の実験により 1.5 MeV の  $\beta$  線照射のとき CdS の比重は 4.82 であるから、0.2 mm 厚で約 60% を吸収する。したがって 1 個の  $\beta$  粒子あたり 900 keV を与えると概算できるから前述の  $\eta = 1.5 \times 10^8$  で割った値 6 eV は電子励起エネルギーばかりでなく格子不整点の生成をも意味すると解釈できる。だから強度の放射線を照射した場合には放射線損傷の問題を考慮しなければならない。

CdS 単結晶は以上のような性質をもっておりしかも安定、長寿命であるので<sup>(10)</sup>、このような単結晶を用いれば  $\beta$  線、 $\gamma$  線の検出や、 $\beta$  線を用いた自動制御ができる。まず  $\gamma$  線に対しては  $\beta$  線に対するほど感度がよくないので、0.1 r/h から  $10^5$  r/h の範囲において小形簡便な検出器となり、 $\beta$  線に対しては感度がよいので  $\gamma$  線よりはるかに粒子数の少ない 0.1 r/h から  $10^6$  r/h に至るまで定量でき、主として G.M. カウンタでは強すぎて測定できない強度の放射線に対して威力を発揮する。こうした場合に検出しうる最低限界は CdS 結晶の暗抵抗で決定される。Sr<sup>90</sup> の場合 10 m Curie より 2 m 離れて十分検出できる。このときの  $\beta$  粒子の密度は  $5 \times 10^2$  個/cm<sup>2</sup>·sec であるが、照射、シャ断の際の時定数がはなはだ大きく No. 6 で約 3 分にも達する。だから暗抵抗の大きい結晶を使えばもっと小さい強度でも検出できるが、時定数が大きくなることはまぬがれない。一方最高限度は前にも述べたように放射線損傷に支配される。 $\beta$  線の場合  $10^8$  r/h の強度でも数秒程度の照射にはたまる。けれども測定回数がふえれば損傷のため性能が変化することは必ずあるから、セルの構造を考えて結晶が回復する手段をほどこすか、フィルタを付加して直接結晶に当る放射線強度をへらしてやらなければならない。

つぎに適当な強度の長寿命固体  $\beta$  線源と組合せれば、ホトリレイと同様に光源の代りに  $\beta$  線源、光電管の代りに CdS セルを使用して物体の検出、計数、位置、厚みの制御など多方面の工業的計測、自動制御に用いることができ、ホトリレイと比べて光源の減衰や周囲の状況にわずらわされることがない。ただ放射線のシャヘイを考慮しなければならないが、 $\beta$  線であるから比較的簡単にすむ<sup>(11)</sup>。

以上筆者は高感度、低トラップ濃度で一様な CdS 単結晶を用いて、この結晶に  $\beta$  線、 $\gamma$  線を照射したときの性質を調べた。これらは可視光線を照射したときの性質とほとんど同一の傾向を示し、同様の考察をもって論議することができる。ただし効率が 1.3~1.5 MeV の  $\beta$  線、 $\gamma$  線に対してはそれぞれ約  $10^5$ 、 $10^3$  となり可視光線の場合と異なることを確かめることができた。また放射線損傷の問題については本文に論じなかったがこの点については別に考慮する必要がある。

終りにこの研究に対して種々ご指導とご援助を賜わった大阪工業奨励館篠倉博氏、三菱原子力会社研究部今村研究員、小倉技師、本研究所の山下研究員、宮下技師に厚く謝意を表する。

#### 参考文献

- (1) E. Schnürer: Ann. Physik 15 15 (1954)  
C. H. Bachman et al: Am. J. Röent. 73 98 (1955)
- (2) G. Frohnmeier et al: Z. Physik 137 117 (1954)
- (3) S. Takagi & T. Suzuki: Acta Cryst. 8 441 (1955)
- (4) W. Kolb: Ann. Phys 14 397 (1954)
- (5) L. E. Hollander: Nucleo. 14 Oct. p. 68 (1956)
- (6) S. Ibuki & K. Awazu: J. Phys. Soc. Jap. 11 1297 (1956)  
H. Yamashita & S. Ibuki: J. Phys. Soc. Jap. 13 226 (1958)
- (7) 伊吹順章: 「三菱電機」 30 136 (1956)
- (8) L. E. Glendenin: Nucleo 2 Jan. p. 12 (1948)
- (9) F. Seitz & J. S. Koehler: Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva Conference 7 615 (1956)  
伊吹順章: 「三菱電機」 32 620 (1958)
- (10) 山下博典・伊吹順章: 応用物理(提出中)
- (11) P. Weisman & S. L. Ruby: Elect. 31 Jan 20 p. 62 (1958)

# 三菱 S M 形 安全ブレーカ

福山工場 武 藤 正\*・松 尾 昭 二\*

## Mitsubishi Type SM Safety Breakers

Fukuyama Factory Tadashi MUTO・Shoji MATSUO

In 1954 an ampere system was set up in the electric power supply according to the meter rate. Since then the system has come to bear fruits by efforts of power companies, electric research laboratories, public utility bureau and electric machine makers and safety breakers for the limiters of current have come in use extensively. These safety breakers are used for the limiting of the maximum demand power in combination with watthour meters. The installation of the device help rationalize the protection of distribution apparatus and the fair share of the power rate of each consumer. These produced by Mitsubishi are termed type SM safety breakers.

### 1. まえがき

1954年に従量電灯供給にアンペア制が制定されて以来、各電力会社、電気試験所、公益事業局、およびメーカーの努力が実を結んで、アンペア制用制限器として安全ブレーカ（電力会社ではSブレーカと呼んでいる）が多量に使用され始めた。

このSブレーカは積算電力計と併用して需用家の最大需用電力の制限を行なうもので、これの設置によって配電設備の保護と合理化および電気料金の各需用家分担の合理化が達せられる。

三菱SM形安全ブレーカは上述のSブレーカの当社商品名で、アンペア制を実施している東部五電力管下の従量電灯需用家の引込口に取付けて使用できるもので、各電力会社の仕様に合格し製作納入しているものである。以下に電気料金制、Sブレーカ規格、三菱SM形安全ブレーカの沿革、構造、種類、特性、特長、仕様について述べる。

### 2. 電気料金制

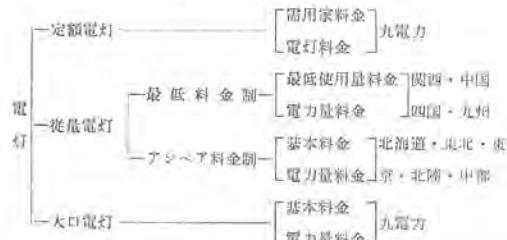
電気料金は各電力会社とも基本理念を公共の利益の確保と電気事業の健全な発達の調和におき、これをもととして、原価主義、公正報酬の原則および需用家に対する公平の原則を根本としている。

今この電気料金の算定基準を考えると、電力の総括原価（電気事業設備の原価償却費、営業費、諸税および事業の報酬を総括したもの）を発、送、変、配電などを各場所別に整理してこれを固定費、可変費および需用費に

統合する。この固定費および需用費の過半は最大需用電力によって決まり、残りと可変費は使用電力量によって決まるものと考えうる。そこで前者に対して基本料金を後者に対して電力量料金を適用する二部料金制度がもっとも合理的と考えられる。

現在の九電力の電灯料金体系を表2.1に示す。いま表2.1の各料金制について考えて見ると

表 2.1 電灯料金体系



#### (1) 定額料金制度

需用家の消費電力量に関係なく契約灯数により料金を決定する制度で、小需用家には単純な形式の制度として採用されているが、使用電力量を見ないので浪費を助長する欠点がある。

#### (2) 従量料金制度

使用電力量によって料金を決定することは合理的である。しかし使用量の少ない時は最小の固定費を回収できないおそれがあり、これを補償する方式として最低使用料金を決めている。これが西部四電力の採用している最低料金制である。また需用電力料金によってこれを補償しようとするのがアンペア料金制であり、Sブレーカで需用電力に比例する基本料金と積算電力計の計量する使用電力量に比例する電力量料金とを合計したものが電気料

金となる。

このアンペア料金制によれば電力原価の形式と料金体勢がだいたい一致してきて、需用家に対する電気料金の分担が合理的になると考えられる。

### 3. S ブレーカ規格について

北海道電力を除く東部五電力では、おのの電力会社により、独自の S ブレーカ仕様書により発注し需用家に取付けているが、これの構造、特性については東部五電打合会 S ブレーカ規格、および東部五電打合会制限器専門委員会制定の「アンペア制電流制限器の特性に関する決定事項」にもとづいている。以下 S ブレーカ規格の概要と特性について述べる。

#### 3.1 S ブレーカ規格と配線用シャンク断器の関係

従量電灯需用家の引込口に取付けられるもので、従来の配線用シャンク断器（JIS C 8370）とほぼ同一の性能が要求されるが、とくにこの機器の主目的が電気料金の算定

表 3.1 S ブレーカ規格と配線用シャンク断器（JIS）との比較

規格名		S ブレーカ規格	配線用シャンク断器（JIS）
定格	定格電圧	125 V	125, 250, 500, 600 V
	定格電流	5, 10, 20, 30 A	10~600 A
	シャンク容量	1,000 A AC	2,500, 5,000, 10,000 A
	極数	単極、二極	単極、二極、三極を標準とする
構造	構造一般	JIS に準ずるほかとくに (1)動作装置を密閉すること (2)取付け状態で充電部に手がふれないこと	JIS に規定
	動作機構	JIS に準ずるほか (1)二極のものは動作要素は非接地側に設けること	JIS に規定
端子の大さき	端子の大さき	1.6 mm~14 mm <sup>2</sup> の電線が接続できること	30 A 以下は JIS に規定の 1.6 mm~8 mm <sup>2</sup> の電線が接続できること
	端子の封印	端子部分は封印できること	別に規定なし
特性	引はずし試験	(1)最小動作電流試験 (2)最大不動作電流試験 (3)200% 電流引はずし試験 (4)過電流時延試験	(1)125% 電流引はずし試験 (2)100% 電流試験 (3)200% 電流引はずし試験 (4)規定なし
	過負荷試験	150 A で 50 回閉閉する	定格電流の 6 倍（ただし最小 150 A）で 50 回閉閉する
	越流試験	定格で動作せず	定格で動作せず
	温度試験	温度上昇は (1)接点 40°C 以下 (2)コイル 60°C 以下	最高温度 (1)接点（銀および銀合金）105°C (2)その他 JIS に規定
耐久試験	電流回路の電圧降下	(1)5,10 A は 0.5 V 以下 (2)20,30 A は 0.4 V 以下	規定なし
	絶縁抵抗試験	JIS どおり	JIS に規定
	絶縁耐力試験	500 V メガで 5 MΩ 以上	500 V メガで 5 MΩ 以上
	短絡試験	1,500 V 1 分間	1,500 V 1 分間
試験	コード保護試験	試験電流 1,000 A で 2 分間隔で 3 回、二極ブレーカは二極を直列にして行なう以外 JIS と同じ	JIS に規定
	荷重試験	コード試験回路にコードを直列に入れ 2 回短絡する 保護すべきコードは 5 A は 0.5 mm <sup>2</sup> , 10,20 A は 0.75 mm <sup>2</sup> , 30 A は 1.25 mm <sup>2</sup>	規定なし
耐熱試験	耐熱試験	(1)フェノール樹脂成形品 150±3°C (2)その他 グリセリン 100±3°C の空気中で 1 時間放置して異常ないこと	規定なし

規準の「マス」として需用電力を規正すること、および電気供給のサービスの面を考慮している点などで、回路保護を主目的とした配線用シャンク断器と相違する点がある。表 3.1 にこれの比較を示す。

#### 3.2 S ブレーカの特性

S ブレーカの具備すべき特性に関しては上述の東部五電打合会制限器専門委員会において検討し決定された。

##### (1) 最大不動作電流

定常負荷で連続使用できる最大電流値で、電圧の変動による機器の入力電流の変化を 10%，製品のバラツキによる入力の裕度を 5 A, 10 A は 10%, 20 A, 30 A は 5% とし次のようにきめている。

##### 定格 5 A, 10 A の場合

$$\text{最大不動作電流}(\%) = 100 + \sqrt{10^2 + 10^2} = 114 \rightarrow 115(\%)$$

##### 定格 20 A, 30 A の場合

$$\text{最大不動作電流}(\%) = 100 + \sqrt{10^2 + 5^2} = 111 \rightarrow 110(\%)$$

かくて 5 A, 10 A は定格電流の 115%，20 A, 30 A は 110% となつたが、東京電力、中部電力では 5 A の場合さらに裕度を見て 120% としている。

##### (2) 最小動作電流

定格電流の 150% をこえない指定の電流で 60 分をこえない指定の時間以内に自動シャンク断しなければならないとしており、各電力会社により指定の電流およびシャンクまでの時間がきめられている。

東京電力、中部電力の場合前記最大不動作電流を 100% とすれば最小動作電流は JIS 配線用シャンク断器と同様 125% としている。このほかの電力会社においてもだいたいこれに似ている。

##### (3) 200% 電流引はずし

S ブレーカに保安器としての性能をもたすため、配線用シャンク断器と同様に定格の 200% の電流で 2 分以内に自動シャンク断することとしている。

##### (4) 過電流時延

表 3.2 の A、および B の試験電流を通じたとき動作時間は同表の値に適合することとされている。

同表 A 試験は各種家庭電気器具に使用される単相電

表 3.2 過電流時延特性

定格電流(A)	A		B	
	試験電流(A)	動作時間(sec)	試験電流(A)	動作時間
	50 c/s	60 c/s		
5	22		7.5	
10	40		15	
20	70	1~10	28	30秒以下で あってはならぬ
30	100	1.5~10	39	

表 3.3 電気機器の投入電流と持続時間

電気機器	投入電流/定常電流 $I_s/I_n$	持続時間 (sec)
電気冷蔵庫 (3A)	5~6	0.5~0.9
洗濯機 (1A)	3~7	0.2~1.5
ミキサ (1.2A)	2.5	1
クリナ (1.3~3A)	3~3.5	1~2
ポンプ (2.5A)	3	0.3

動機の起動電流で自動シャン断することのないように各種使用状態を調査して決定されたものである。参考までに起動電流および持続時間の例を表 3.3 に示す。

#### (5) 保安器との関係

この S ブレーカーは配電設備および電力料金の合理化をねらって取りつけられるもので、これにより契約電流にふさわしい配電設備と配線が合理的に設計される。今まで各契約に合った配線を施していくても、使用者が不注意に契約以上の負荷を使用し、ヒューズが不適正に過大な定格の場合は、最悪の場合屋内配線は過熱発火するおそれがあり、また発火に至らなくてもこれがしばしば繰返されれば配線の絶縁は劣化しつつに火災をまねくことさえある。

従来屋内配線の保護にはもっぱらヒューズが使用されたが、溶断のつど取換える不便があり、適正なヒューズの使用は困難で素人には取扱いにくいものであった。

しかし S ブレーカーは、配線に有害な持続する過電流および短絡電流ではヒューズよりも早く動作して回路を保護するが、電動機などの瞬間突入電流や越流では動作せず、たとえ危険な過電流で自動シャン断しても、その原因をのぞけば手動で再投入でき繰返し使用でき、かつ開閉器のように手動で入、切、することができる。三菱 SM 形安全ブレーカーはヒューズと比べ動作时限のバラツキが非常に小さい。(図 3.1 最小動作電流シャン断特性ヒストグラム参照)

このために確実に配線を保護することができた一般

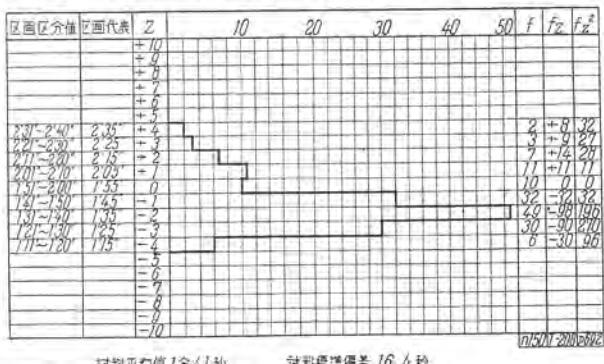


図 3.1 SM-1A 形最小動作電流シャン断特性ヒストグラム

Fig. 3.1 Type SM-1A minimum operating current interrupting characteristic.

従量電灯需用家の引込口付近で普通生ずる 1,000 A 以下の短絡電流は確実にシャン断することができる。

なお電気工作物規程第 138 条に「低圧屋内電路の引込口の各極に開閉器と自動シャン断器を施設しなければならない」と規定されている。S ブレーカーは二極二素子、二極一素子、一極一素子を採用しており二極二素子のものは開閉器と保安器を兼ねることができるが、後二者に対しては保安器は別に設けなければならない。ただし二極一素子のものは所轄通商産業局長の認可を得て保安器を省略することができる。

#### 4. 当社における S ブレーカーの沿革

S ブレーカーは動作原理から完全電磁式と熱動電磁式の二通りがあるが当社としては次に述べる理由で完全電磁式を製作している。

(1) 電気料金決定の尺度となるものであるから夏、冬における周開温度の変化で最大不動作電流値、および最小動作電流値の変わることのが好ましい。

(2) 热動電磁式(バイメタル式)のものは小定格のもの(5A, 10A)の短絡シャン断能力が弱い。

以下に当社における S ブレーカーの沿革について述べる。

昭和 29 年 10 月 電気料金制度が改正され従量電灯供給にアンペア制が制定される。

昭和 30 年 11 月 東部五電打合会でアンペア制用電流制限器として具備すべき要件を検討して「S ブレーカー規格」が制定される。

昭和 31 年 3 月 東部五電打合会制限器専門委員会で「アンペア制電流制限器の特性に関する決定事項」制定される。

昭和 30 年 9 月から

昭和 32 年 9 月まで SB-22 形(二極一素子), SB-21 形(一極一素子), SB-31 形(東京電力仕様一極一素子)を東京電力、中部電力、東北電力、北陸電力株式会社へ納入。

昭和 31 年 10 月より SB 形から SM 形に設計変更し小形で高性能な、SM-1 形(東京電力仕様一極一素子), SM-3 形(中部電力仕様一極一素子), SM-6 形(東北電力仕様二極一素子), SM-8 形(北陸電力仕様二重定格切換二極一

素子)を製作納入している。

## 5. SM形安全ブレーカの構造

完全電磁形の小形気中シャンク断器で主要構成部分は電磁石、引はずし機構、接点およびモールドケースにわかれ、以下主要部分について述べる。

### 5.1 電磁石

電磁石の巻線はホルマール線で巻心部には、真チュウ製の密封された、オイルダッシュボットを有し、内部には移動可能な可動鉄心と復帰用バネと温度による粘度変化の少ないシリコンオイルを封入している。今コイルに所定の動作電流が流入すれば、可動鉄心は復帰用バネを圧縮して移動し、引はずし機構を動作させに十分な位置へきてアマチュアを吸引し、自動シャンク断する。

図5.1はこの電磁石の内部を切断して示したもので、図5.2はこの種電磁石の鉄心吸引力特性と復帰用バネの関係を示したものである。

この図でわかるようにコイルの巻数、巻き方、およびシリコンオイルの粘度、ダッシュボットのギャップを適当に選定することにより、必要な時限特性をもたすことができる。



図5.1 電磁石内部構造

Fig. 5.1 Interior construction of electromagnet.

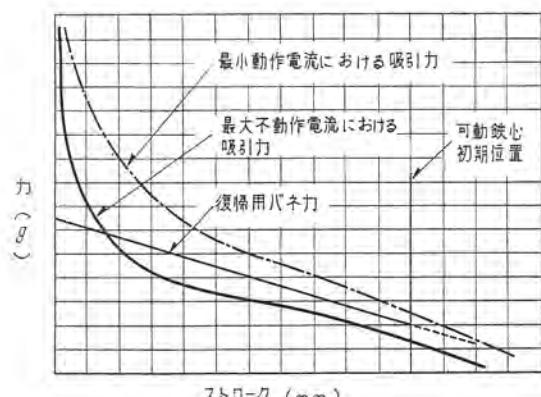


図5.2 電磁石吸引特性と復帰用バネの関係

Fig. 5.2 Relation between the attractive force characteristic of electromagnet and resetting spring.

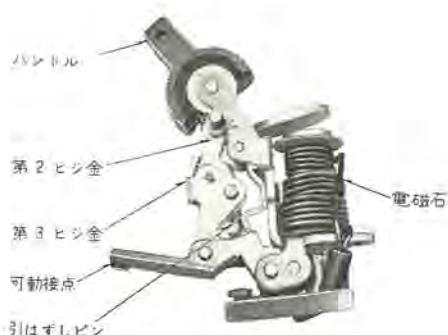


図5.3 引はずし機構

Fig. 5.3 Tripping mechanism.

### 5.2 外はずし機構

本器の引はずし機構は、図5.3に示すように、第2ヒジ金と半月形カムを有する引はずしふんの掛合で“入”の状態ではその掛けは保たれ、電磁石の作動により、引はずしふんが回動し、第2ヒジ金の先端と半月形カムの掛けがはずれ、引はずしふんの作用で急速に接点を開離する。このかみ合部は焼入研磨して長年月の使用に十分耐えるものとしている。

### 5.3 接 点

安全ブレーカの主要部である接点には、焼結銀合金を使用し、溶着してくく、開閉による接触抵抗の増大なく、消耗少なく、また使用中アーケによる酸化皮膜の形成が少ないものを使用している。

## 6. 種 類

現在製作中の機種は次のとおりである。

### 6.1 SM-1A形安全ブレーカ

東京電力仕様による一極一素子のもので、側面に電線接続用端子4個を有し、本体は差込式に取付けられ、非接地側端子は内部素子に接続し接地側端子は短絡され、メタルカバーで充電部を封印できる構造としたものである。

### 6.2 SM-3形安全ブレーカ

中部電力へ納入した一極一素子のブレーカで、電線接続端子は、上下に各1個を有し、せん用防止のメタルカバーつきである。

### 6.3 SM-6形安全ブレーカ

東北、北陸電力の安全ブレーカ規格に適合するもので、電線接続端子は上下各2個を有し、屋内専用のせん用防止用の端子フタ付で、本器はとくに小形に設計している。

### 6.4 SM-8形安全ブレーカ

北陸電力の二重定格切換用安全ブレーカ規格に適合す

るもので、負荷側端子切換板の操作により、端子フタの定格電流表示と連動して機械的にインターロックできる構造である。

## 7. 特 性

### 7.1 動作特性

本器は電力会社の要求により表7.1, 7.2に示す2種類の特性のものを製作している。

### 7.2 負荷特性曲線

最大不動作電流値の100%から1,100%に至るまでの負荷特性曲線を図7.1に示す。

### 7.3 温度特性と条件変化

周囲温度の基準は25°Cを標準とし、周囲温度-10°C

表 7.1

タイプ (東京・中部電力規格)	定格電流(A)	最大不動作電流(%)	引はずし特性		過電流時延特性		100%越流
			最小動作電流(%)	動作時間(sec)	A(A)	B(A)	
5	120 (6A)	150 (7.5A)	200 (10A)	60分以内動作	22	150 (7.5A)	不動作
10	115 (11.5A)	144 (14.4A)	200 (20A)	2分以内動作	40	150 (15A)	"
20	110 (22A)	137.5 (27.5A)	200 (40A)	10秒以内動作	70	140 (28A)	"
30	110 (33A)	137.5 (41.3A)	200 (60A)	10秒以内動作	100	130 (39A)	"

表 7.2

タイプ (北・北陸電力規格)	定格電流(A)	最大不動作電流(%)	過電流時延特性		100%越流
			最小動作電流特性 動作電流(%)	動作時間(sec)	
5	115 (5.75A)	150 (7.5A)	30~120	22	不動作
10	115 (11.5A)	150 (15A)	"	40	"
20	115 (22A)	140 (28A)	"	70	"
30	115 (33A)	130 (39A)	"	100	"

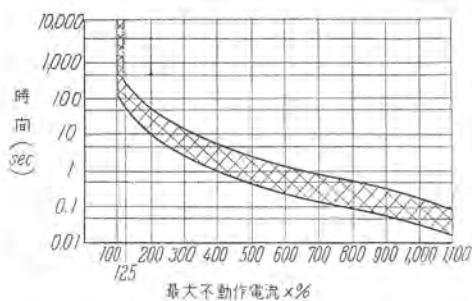


図 7.1 SM 形負荷特性曲線

Fig. 7.1 Type SM load characteristic curve.

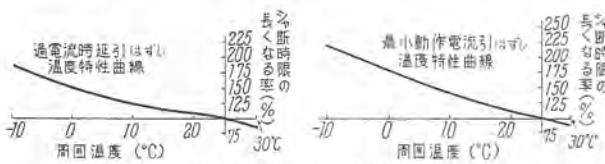


図 7.2 条件変化と引はずし特性との関係

Fig. 7.2 Relation between changes of conditions and tripping characteristics.

から+40°Cに至る変化、周波数、傾斜などの通常起りうる変化、および多少の衝撃によって誤動作はしない。なお周囲温度特性を図7.2に示す。

### 7.4 傾斜の影響

SM-1A, SM-3形は取付状態で前後左右15度、SM-6, SM-8形は5度の傾斜において特性を満足する。

### 7.5 一般特性

SM形安全ブレーカーの一般特性は、表7.3に示すとおり、各電力会社の安全ブレーカー規格に適合する。

表 7.3 一般特性

項目	一般特性	
構造試験	JIS配線用シャンクおよび各電力会社安全ブレーカ規格に適合	
引はずし試験	表7.1~7.3の各電力会社安全ブレーカ規格に適合	
過負荷試験	150Aの電流で50回開閉異常なし	
越流試験		
温度上昇試験	接点40°C以下、コイル60°C以下、端子25°C以下	
電流回路電圧降下	5~30A 0.4V以下	
耐久試験	通電6,000回、無通電4,000回異常なし	
範囲抵抗試験	500Vメガオーム以上	
範囲耐力試験	1,500V 1分間異常なし	
短絡試験	125V 1,000A 異常なし	
コード保護試験	125V 1,000A 異常なし	
耐熱試験	150°C 1時間異常なし	

## 8. 特 長

- 夏冬の周囲温度の変化による動作時間の変動が少なく、最大不動作電流値および最小動作電流値は周囲温度の影響を受けることなく一定である。
- 引はずし自由形（投入用ハンドルを投入位置へ押えていても引はずし動作を妨げない機構）である。
- シャンク後は自動的にリセット（引はずし状態からふたたび閉路できる直前の状態にする操作）する。
- 端子接続部以外は、フェノール樹脂モールドでおおわれており取扱が安全である。

表 9.1 定格および仕様一覧表

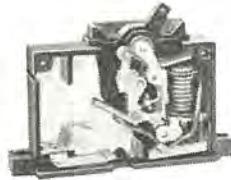
項目	種類	SM-1A	SM-3	SM-6	SM-8
	フレーム(A)	30	30	30	30
定格	極数および動作要素	一極一素子	一極一素子	二極一素子	二極一素子二重定格
格	定格電流(A)	5, 10, 20, 30	5, 10, 20, 30	5, 10, 15, 20, 30(5), 20(10), 30(20)	5, 10, 15, 20, 30(10), 20(10), 30(20)
定	定格電圧(V)	125	125	125	125
格	定格周波数(c/s)	50/60	50/60	50/60	50/60
シ	シャンク容量(A)	1,000	1,000	1,000	1,000
通	5A #11-423 10A #11-360 20A #11-361 30A #11-363	5A #11-427 10A #11-442 20A #11-443	5A #11-426 10A #11-441 20A #11-444	5A #11-2665 10A #11-2847	5A #11-2665 10A #11-2847
産	10A #11-424 20A #11-362 30A #11-364	10A #11-428 20A #11-448	10A #11-429 20A #11-449	10A #11-2666 20(10)A #11-2848	10A #11-2666 20(10)A #11-2848
業	20A #11-425 30A #11-365 40A #11-366	20A #11-362 30A #11-367	20A #11-429 30(20)A #11-444	20A #11-2667 30(20)A #11-2849	20A #11-2667 30(20)A #11-2849
形	30A #11-426 40A #11-363 50A #11-368	30A #11-363 40A #11-369	30A #11-430 50A #11-440	30A #11-2668 50A #11-2847	30A #11-2668 50A #11-2847
式	アンペア制限制限器および安全ブレーカ適合規格	昭和33年3月改訂実施の東京電力株式会社Sブレーカ(アンペア制限制限器)規格	昭和31年5月改訂実施の中日本電力株式会社Sブレーカ(アンペア制限制限器)規格	東北電力株式会社九州電力株式会社の安全ブレーカ規格	北陸電力株式会社二重定格安全ブレーカ規格
規	接続可能な電線径600Vゴム絕縁電線	1.6~22mm <sup>2</sup>	1.6~14mm <sup>2</sup>	1.6~8mm <sup>2</sup>	1.6~8mm <sup>2</sup>
格	最大外寸法(mm)	奥行巾高さ87×64.6×127.5	奥行巾高さ35.2×173	奥行巾高さ77.8×36×117	奥行巾高さ77.8×36×129
規	正味重量(kg)	0.5	0.45	0.25	0.25



(a) SM-1A 外形  
(カバーを除いたところ)



(b) SM-1A 外観



(c) SM-1A 内部

図 10.1 SM-1A 形  
Fig. 10.1 Type SM-1A.

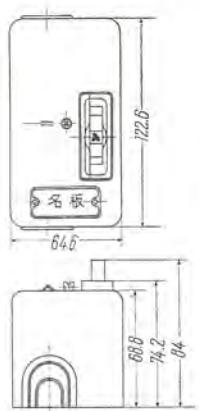


図 10.2 SM-1A 形  
外形寸法図

Fig. 10.2 Type  
SM-1A outline  
dimensions.

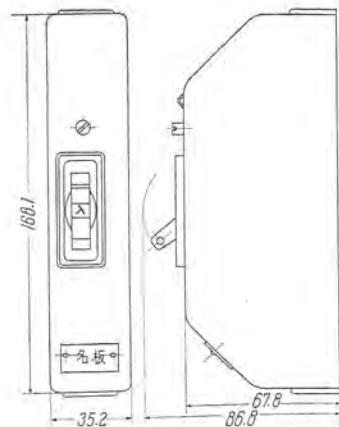


図 10.3 SM-3 形外形寸法図

Fig. 10.3 Type SM-3 outline  
dimensions.



(a) SM-3 外形  
(カバーを除いたところ)



(b) SM-3 外観

図 10.4 SM-3 形  
Fig. 10.4 Type SM-3.



(a) SM-6 内部

図 10.5 SM-6 形  
Fig. 10.5 Type SM-6.



(b) SM-6 外観

Fig. 10.5 Type SM-6.



(a) SM-8 形外観

図 10.7 SM-8 形  
Fig. 10.7 Type SM-8.



(b) SM-8 形内部

Fig. 10.7 Type SM-8.

(5) 内部要素は調整後工場封印  
している。

(6) 封印を破らなければ電線接  
続換えのできない構造である。

## 9. 定格および仕様一覧表

表 9.1 のとおり。

## 10. 外形寸法図および外観写真

(図 10.1～図10.8)

## 11. むすび

以上アンペア料金制の実施により  
クローズアップした S ブレーカにつ  
いて概略を述べたが、今後ますます需要が増加し品質、  
性能が向上することを願って筆をおく。

### 参考文献

- (1) 東部五電打合会 “S ブレーカ規格” 昭和 31 年 3 月 2 日改定
- (2) 東部五電打合会制限器専門委員会 “アンペア制電流制限器の特性等に関する決定事項” 昭和 31 年 3 月 1 日
- (3) 東北電力株式会社 “安全ブレーカ購入仕様書” 昭和 31 年 5 月改定

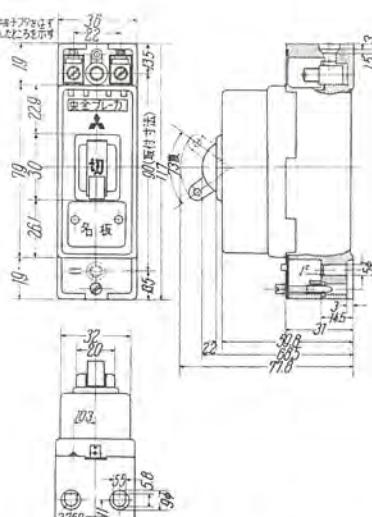


図 10.6 SM-6 形外形寸法図

Fig. 10.6 Type SM-6 outline dimensions.

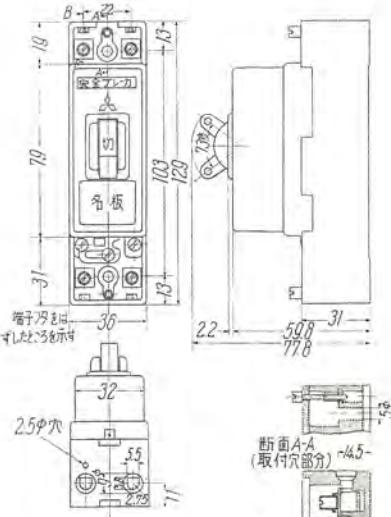


図 10.8 SM-8 形外形寸法図

Fig. 10.8 Type SM-8 outline dimensions.

- (4) 北陸電力株式会社 “安全ブレーカ” HES G-401 昭和 31 年 7 月改訂
- (5) 東京電力株式会社 “S ブレーカ” 仕様書 昭和 33 年 3 月改訂実施
- (6) 中部電力株式会社 “S ブレーカ仕様書” 昭和 33 年 11 月改訂実施
- (7) 九州電力株式会社 “安全ブレーカ” 仕様書 昭和 32 年 11 月 13 日制定
- (8) 昭和 33 年 10 月 29 日電気新聞掲載 “電気料金について” 関西電力加藤博見氏口演要旨
- (9) 昭和 33 年 12 月 20 日電気新聞掲載 “電気料金制度調査会答申書の全貌”

# 高 性 能 水 銀 拡 散 ポ ン プ

研究 所 藤 永 敦\*

## High Efficiency Mercury Diffusion Pumps

Engineering Laboratory Atsushi FUJINAGA

Certain types of vacuum systems for special purposes require a high order of cleanliness which can hardly be realized with oil diffusion pumps. With the progress of nuclear physics or the advance of the research in surface physical phenomena, the mercury diffusion pump, which has been left almost undeveloped, has come to be regarded as important to provide low pressure with no contamination by the migration of organic vapors. In Mitsubishi engineering laboratory, exhaustive study was made on a 6 inch mercury diffusion pump to prove its superiority. The results obtained by using it for the particle accelerator or mass spectrometer proved very successful. The writer enumerates in this article varied points on this device such as design features, characteristics and cooling effects.

### 1. まえがき

1915 年 Gaede が、水銀拡散ポンプを発明して以来、水銀拡散ポンプについては、最近までほとんど進歩がなかったといつても良いくらいに旧態依然としていた。ところが原子核物理の実験や、表面物理現象の研究の進歩とともに、有機物蒸気によるよごれのない、いわゆる“clean”な真空空間や清浄な固体表面の必要性が痛感され、水銀拡散ポンプの研究が盛んに行なわれるようになってきた。また、この目的のためにまったく新しい原理によるイオンポンプやゲッタ・イオン・ポンプの研究がなされ、徐々に実用化されつつある。

今までの水銀拡散ポンプは、大きな排気速度のものより、むしろ高い背圧に耐える構造のものへ研究の方向がむいていた。しかし、原子核物理実験などの大規模の装置になるとどうしても大きな排気速度のものが必要となってくる反面、背圧特性については、補助ポンプが、進歩してきたため、それほど高い背圧に耐える必要がなくなってきた。

油拡散ポンプは、わが国においても冶金関係などで工業的規模で使用される機会が多かったので、非常な進歩を遂げ、数年前より数万 l/s の排気速度を有するものも製作されている。これに反して水銀拡散ポンプは、水銀蒸気を捕捉する冷却トラップの使用の困難さもあって、大型化は容易に進まなかった。しかし、1953 年、California 大学の E. R. Lind および J. F. Steinhaus<sup>(1)</sup>が 10,000 l/s の水銀拡散ポンプを発表し、また同大学の

H.R. Smith<sup>(2)</sup>が 13,000 l/s のものを製作して 228.6 cm のサイクロトロンに使用していることを発表した。

わが国においては、口径 80 mm のガラスケーリングに、金属製ノズル構造を入れたもので、150 l/s の排気速度を有するものが最大のものとして発表されているが<sup>(3)</sup>、ここに述べる 156 mm 口径の水銀拡散ポンプは、すでに学会で発表した<sup>(4)</sup>ところであるが、わが国における記録的製品であると同時に、将来さらに大口径、高排気速度の水銀拡散ポンプの設計製作に基礎的資料を与えるものである。

### 2. 水銀拡散ポンプの優位性

水銀整流器や、水銀灯の排気には通常、水銀拡散ポンプが使用されているが、その他にこのポンプを用いて良い結果が得られているものにつきのようなものがある。

(1) ファンドグラーフ形加速装置や、Cockcroft-Walton の静電加速装置のように高速に加速された荷電粒子が、油蒸気分子と衝突してビームのフォーカスを悪くし、ビーム強度を落すような装置。

(2) 高い電位コウ配の存在する真空系で、油の蒸気があると、絶縁物表面に leakage path を生じて電圧破壊を生じやすくなるような装置、たとえばイオン源、電子顕微鏡など。

(3) 油蒸気が存在するために、測定が不確かになるような装置の真空系、たとえば質量分析装置や表面物理現象の測定装置。

などであるが、蒸気圧の高い水銀を作動液として使用す

表 2.1 トランプ付きのポンプによるよごれ

ポンプの作動液	トランプの温度(°C)	イオン源			加速管
		イオンターケット	ガラス部分	金属部分	
有機油	20	劣	劣	劣	劣
	-40	可	可	劣	可
シリコン油	20	劣	劣	可	絶縁膜を作る
	-40	劣	可	良	絶縁膜を作る
水銀	-190	可	可	良	良
ゲッタ・イオン・ポンプ		良	良	良	良

るために、装置内へ水銀蒸気が浸入するのを防止するための冷却トランプ、バッフルおよびポンプ胴体の冷却が、重要な問題となってくる。これらの点を十分考慮された粒子加速装置で、油拡散ポンプ、水銀拡散ポンプおよびゲッタ・イオン・ポンプを使用した場合の主要な各部のよごれを比較すると、表 2.1 のようになる<sup>(5)</sup>。この表から明らかのように水銀拡散ポンプは、ゲッタ・イオン・ポンプには劣るが、油拡散ポンプにはまさることがわかる。実際われわれが、ファンドグラーフ形加速装置に使用してみて、電子銃あるいはイオン源のよごれは、はるかに水銀拡散ポンプのほうが多い。その反面、冷却トランプの使用は、かなりやっかいなことは認めなければならない。

### 3. 水銀拡散ポンプの構造

FM-800 形水銀拡散ポンプの外観を図 3.1 に示し、内部のノズル構造を図 3.2 に示した。このポンプは 3 段のカサ形ノズルからなり、これらはいずれも薄鉄板によって製作されている。従来の水銀拡散ポンプは、背圧特性を良くするために、中段と下段はジェットノズルでディヒューザに向けて蒸気を噴射するような構造で、背圧 20 mm Hg 程度まで動作するポンプが製作されているが、構造が

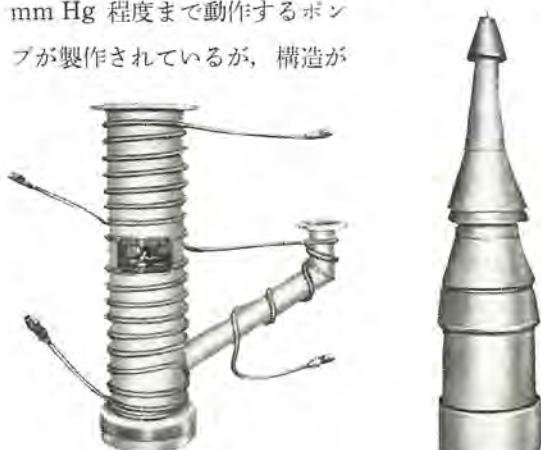


図 3.1 大形水銀拡散ポンプ(FM-800 形)外観

図 3.2 FM-800 形水銀拡散ポンプノズル系

Fig. 3.1 Outward view of mercury diffusion pump (Type FM-800). Fig. 3.2 Nozzle assembly (Type FM-800).

高性能水銀拡散ポンプ・藤永



図 3.3 超小形水銀拡散ポンプ(WM-14 形)

Fig. 3.3 Small mercury diffusion pump. (Type WM-14). むしろ、拡散・エジェクタ・ポンプとして使用されるべきものである。このポンプについては後の節で述べる。

上段ノズルは、拡散作用による排気を行なう部分であって、ポンプの排気速度にもっとも大きな影響を与える。下段は、高速蒸気を多量に噴射して、背圧に耐える部分であって、ポンプの背圧特性は、下段ノズルの構造によって決定する。FM-800 形では、下段ジェットとポンプ胴体との間ゲキは 3 mm に作られており、この程度の間ゲキでは、背圧 0.5~0.7 mm Hg が、精いっぱいのことである。もし、工作上この間ゲキをもっと小さくとることができれば、背圧特性を 1~2 mm Hg までは、あげることが可能である。

ノズルからの蒸気の噴射は、断熱膨張と考えて計算されている。この断熱膨張のためにノズルの部分はかなり冷却されるので、水銀蒸気の温度が下り、高速の蒸気流が得られず、排気速度を落すことになるから、ノズルの部分を二重筒にして、できるだけ保温するように設計した。このことはとくに上段カサにおいていちじるしく影響すると考えられる。なぜならば、拡散作用によって排気を行なう上段ノズルでは、流れの方向のそろった高速蒸気流が得られないと、気体の逆拡散や、蒸気の流れの乱れなどが起り、到達真空度や排気速度を落す原因になるからである。ポンプの胴体は、不銹鋼製で内径 156 mm、高さ 700 mm、補助真空側は内径 55 mm である。冷却は胴体に銅パイプを巻いて行なうが、この蛇管は上下に二分割して下部は水冷、上部は必要に応じて、フレオン冷凍機で -25°C 程度まで冷却できるようにしてある。加熱部は、市販の電熱板を使用し、取換えの容易な構造になっている。

複雑になり、かつ大排気速度のものの製作がきわめて困難であった。しかし、拡散ポンプとしては、高排気速度、高背圧に耐えるというのが理想であるし、とくに高背圧に耐えるといふのは油拡散ポンプで得られない特長であるので、この点を生かして

図 3.3 に示すような超小形の水銀拡散ポンプも設計、製作された。このポンプは上段、中段がカサ形ノズルで、下段だけがジェット・ノズルで、

むしろ、拡散・エジェクタ・ポンプとして使用されるべきものである。このポンプについて述べる。

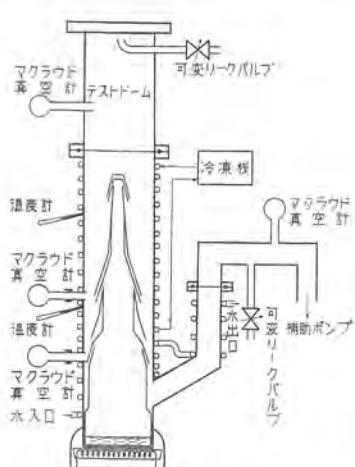


図 4.1 測定装置  
Fig. 4.1 Testing apparatus.



図 4.2 測定装置  
Fig. 4.2 Testing apparatus.

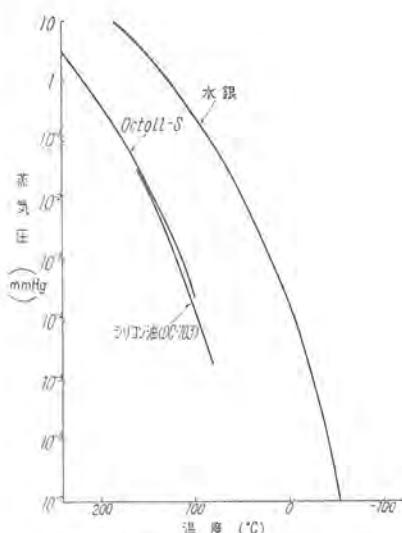


図 4.3 水銀および油の蒸気圧曲線  
Fig. 4.3 Vapour pressure curves of mercury and oils.

$$S_e = \frac{Q_m}{P_m - P_0}$$

#### 4. 一般的実験

##### 4.1 測定装置

図 4.1, 4.2 に示すように、ポンプ直上に同径のテスト・ドームを取付けたいわゆる Dayton の方法によって特性を測定した。使用した真空計は、すべてマクラウド真空計で、精度が高く、信頼できる範囲でだけ測定した。空気などの気体流し込みは、テスト・ドームの上端から行ない、また補助真空側にも適当な場所から気体の流し込みが行なえるようにしたが、いずれの場合にも気体の流れによる動圧が、真空計の読みとりに影響しないような方法で行なった。冷却は、水とフレオノン冷凍機を用い、冷却温度が変えられるようにして、冷却効果をしらべた。

##### 4.2 到達真空度

測定に使用したマクラウド真空計では、 $10^{-6}$  mm Hg より良い真空度では精度が悪く、正確な値は測定できなかったが、各加熱入力で、空気および水素についていざれも  $10^{-7}$  mm Hg 台にはいっていることが確かめられた。理論的にはテスト・ドームに漏りがなく、冷却トラップが十分きいている限り、到達真空度は気体の逆拡散とつりあった値で、極度に良い真空度にまで達するはずである。

##### 4.3 排気速度

排気速度の測定は、空気または水素を流入して、加熱電力、冷却条件、および上段カサを変えて測定した。排気速度  $S_e$  は、流量  $Q_m$ 、真空度  $P_m$ 、到達真空度  $P_0$  としたとき、

であらわされる。流量測定はビュレット法による定圧法で 8 種のビュレットを適宜使い分けて行なった。

##### 4.4 冷却

水銀蒸気の蒸気圧は、図 4.3 に示すように拡散ポンプ油に比べていちじるしく高いので、ポンプ胴体の冷却温度が、排気速度にいちじるしく影響する<sup>(6)</sup>。たとえば、室温  $14^\circ\text{C}$  のとき、冷却水温が  $20^\circ\text{C}$  であったとすると、水銀蒸気はノズル部分から排気している容器の方向へ排気作用をそこなうような向きに流れる。この量を計算すると、真空計の部分の温度  $14^\circ\text{C}$ 、冷却水温度  $20^\circ\text{C}$ 、この間のコンダクタンスは約  $800 \text{ l/s}$  とすると、逆流水銀量は、約  $1.5 \times 10^{-2} \text{ g/s}$  (約  $400 \mu \text{Hg l/s}$ ) となり、排気速度をいちじるしく悪くしていることがわかる。このような場合の排気速度の実測値は、 $S_e = 350 \text{ l/s}$  で、冷却条件の良い場合に比べて、約 70% の速度しか示さない。

したがって、水銀拡散ポンプを、能率よく使用するには、つねに室温より低い温度で冷却することが必要で、最適冷却温度を、実験的に求めた。

##### 4.5 上段ノズル

上段ノズルは、表 4.1 および図 4.4 に示す 3 種類のカサを取換えて測定を行なった。ノズルの開き角度  $\alpha$  の相違による影響は、12 度のときと 25 度のときとでは拡散間ゲキ  $A$  が相違するので、 $H_{0-}$  係数で比較すると、12 度のとき  $1.7 \text{ kW}$ 、水冷、 $450 \text{ l/s}$  で  $H_{0-}$  係数  $0.236$ 、25 度のとき同じ条件で  $420 \text{ l/s}$  で  $H_{0-}$  係数  $0.255$  となり、だいたい近い値となっていることがわかる。またこのノ

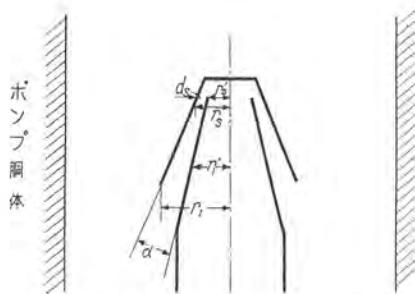


図 4.4 上段ノズルの概略図

Fig. 4.4 Schemaite diagram of top nozzle.

表 4.1 上段ノズルの寸法と  $Ho$ -係数

ガラス角度 サブ番号	$\alpha$	$r_s + r_s'$	$d_s$	$r_1$	$r_1'$	$F_s$	$F_1$	$F_1/F_s$	$A$	$S_e$	$Ho$ -係数
	(度)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm) <sup>2</sup>	(mm) <sup>2</sup>	(mm) <sup>2</sup>	(cm <sup>2</sup> )	(l/s)	
I	12	28	2	60	36	176	7,250	412	163	400	0.211
									500	0.265	
									600	0.317	
II	12	32	6	60	34	600	7,680	128	163	700	0.368
									800	0.422	
									400	0.245	
									500	0.305	
III	25	34	10	80	33	1,070	16,680	156	141	600	0.367
									700	0.425	
									800	0.49	

表 4.2 ノズル開口率と速度比

$P_0/P_1$	$\gamma = 1.67$	
	$F_1/F_s$	$U_1/U_s$
$\infty$	$\infty$	2.00
10,000	81.9	1.97
1,000	21.2	1.94
100	5.62	1.83
10	1.67	1.55

$U_1, U_s$  は  $F_1, F_s$  における蒸気の速度

ノズルの面積  $F_s$  の変化による影響は  $d_s$  を、2 mm から 10 mm に変えて測定したが、開き角度 12 度で  $d_s$  が 6 mm のときが、良い結果を示した。このことは  $F_1/F_s$  の比があまり大きくなはないが、むしろ高速蒸気が得られることを示している。しかし、これらの値は Jaeckel<sup>(7)</sup> が計算した値（表 4.2）より相当大きい値をとっている。

## 5. 排 気 速 度

排気速度の測定は図 4.1 に示したように、ポンプ直上にテスト・ドームを接続して行なった。試験に使用したポンプは各段の排気速度がそれぞれ測定できるように真空計を図に示した位置に挿入できる構造のものであった。

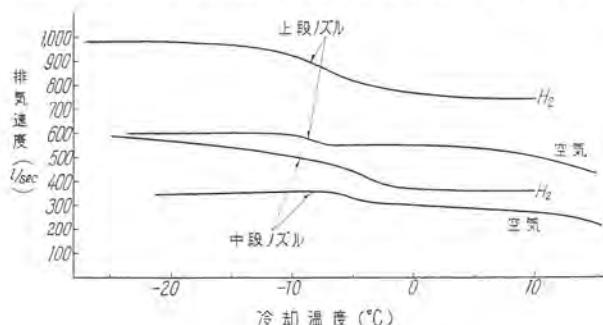


図 5.1 冷却温度と排気速度の関係

Fig. 5.1 Cooling temperature vs. pumping speed.

高性能水銀拡散ポンプ・藤永

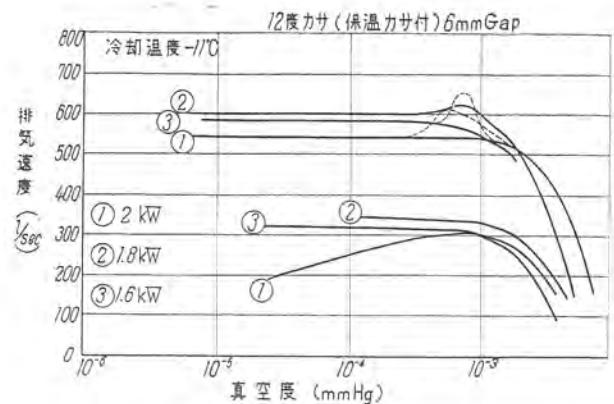


図 5.2 排気速度（その 1）

Fig. 5.2 Pumping speed.

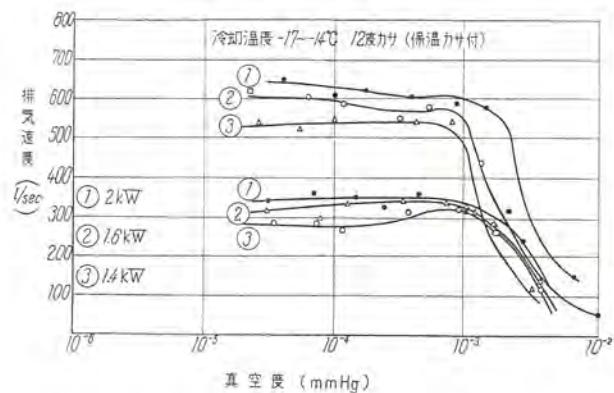


図 5.3 排気速度（その 2）

Fig. 5.3 Pumping speed.

まず、冷却条件を変えて水素および空気に対する排気速度を測定した。その結果は図 5.1 に示すようにフレオノン冷凍器により上部冷却蛇管を  $-10^{\circ}\text{C}$  以下に冷却したとき、一定した排気速度が得られた。この時の値は下部の蛇管とともに水冷 ( $17^{\circ}\text{C}$ ) したときの値より、空気の時で 50%, 水素の時で 40% 程度大きい排気速度をもつことがわかった。ポンプ胴体の冷却は加熱入力と関係していくので、加熱電力を変えて測定したが、冷却温度  $-11^{\circ}\text{C}$ 、加熱電力を 1.6 kW, 1.8 kW, 2 kW に変えて排気速度を測定したところ、図 5.2 のように 1.8 kW のときがもっとも良い結果が得られた。この特性は一般的のポンプに共通の傾向であるが、冷却温度をさらに下げて  $-17\sim-14^{\circ}\text{C}$  では図 5.3 に示したように 2 kW の時がもっとも良い結果を示している。したがって、このポンプのように下部蛇管を水冷している形式では上部蛇管の温度の影響が加熱電力に影響することはないと考えられ、上部蛇管による上部胴体の冷却が直接排気速度に影響する。

排気速度は使用したテスト・ドームで測定した限りでは 600 l/s 程度であった。これは前述したように、拡散間ゲキから真空計の間のコンダクタンスが約 800 l/s あ

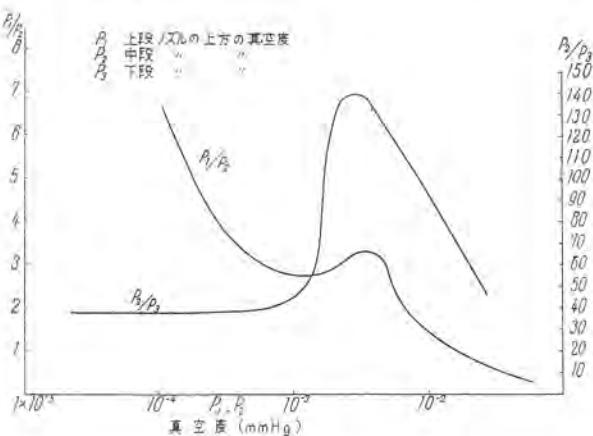


図 5.4 各段の圧縮率  
Fig. 5.4 Compression ratio.

るので、測定値から逆に拡散間ゲキにおける  $H_o$ -係数を計算するとほとんど 1 に近い値となり、非常に良い排気を行なっていると考えて良い。したがってこのノズル系を用いて、フランジ口径をひろげ漏斗状のポンプ胴体にすれば、排気速度はさらに向上するものと考えられる。

しかも、図から明らかなように、中段ノズルの排気速度が 300 l/s 前後あるということは、真空度の測定点がノズル直上であるから、途中のコンダクタンスを考慮した補正を行なわないのでよく、このノズルにおける  $H_o$ -係数は 0.33 となり、ポンプとしては非常に良い特性をもっていることがわかる。中段ノズルがこのように十分良く動作するため、上段ノズルはほとんど圧縮する必要がなく、下方にそろった高速蒸気流をうることができる。上段および中段の圧縮率を図 5.4 に示すが、図でも明らかのように上段ノズルは約 2 倍、中段ノズルは約 10 倍の圧縮をしている。さらに下段ノズルの圧縮率はポンプ全体の圧縮率が 100 ないし、3,000 倍であるから、5 ないし 150 倍の圧縮を行なっている。

水素にたいする排気速度は空気の約 1.8 倍であるが、

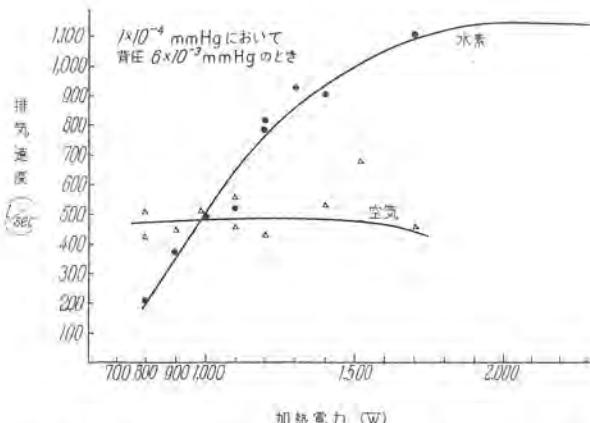


図 5.5 水素および空気に対する排気速度と加熱電力の関係  
Fig. 5.5 Heater input vs. pumping speed for hydrogen and air.

この値は Blears および Hill<sup>(8)</sup> が測定した値とだいたい同じ値になっており、図 5.5 に示すように水素にたいしては加熱電力を規定値の 50 ないし 100% 増にしないと特性が良くならない。このことは Dayton<sup>(9)</sup> が指摘したところであるが、補助真空特性の上からもいえることで、逆拡散が水素などの軽い気体には多いから、加熱電力をあげて特性を良くすることが必要である。一般に気体に対する排気速度は

$$\frac{S_1}{S_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

であらわされるが、実際には図に示したように 2 倍程度にしかならない。粒子加速装置に使用するときは水素や重水素を排気することになるので、このときは加熱電力をあげて使用したほうが良い。

## 6. 背圧特性

背圧特性は破壊背圧を測定した。許容背圧は 10% 増の時の値をとっているから、測定が非常に困難であるし、実際に必要なのは到達真空度の 1 ケタ悪くなる程度の背圧であるから、破壊背圧のほうがむしろ実際に近い。空気および水素にたいする背圧特性を図 6.1 に示したが、加熱電力 1.7 kW で  $5 \times 10^{-1}$  mm Hg 程度である。下段にカサ形ノズルを使用し、ノズル間ゲキ 3 mm 程度ではこれ以上をのぞむのはむりで、従来の 20 mm Hg などという高い背圧特性をもつポンプはジェット形のノズルと良く設計されたディヒューザを使用し、ボイラ压をうんと高くとらないかぎり困難である。もし高い背圧を望むなら、さらに別の小形のブースタ形のポンプを前置すれば良く、そのほうがはるかに能率的で、かつ熱経済にも

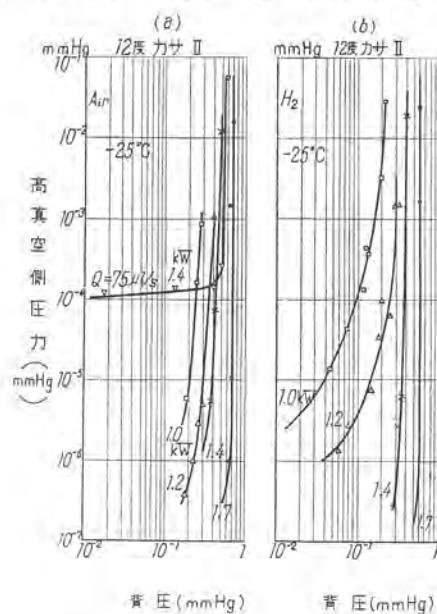


図 6.1 背圧特性  
Fig. 6.1 Fore-pressure characteristics.

なろう。

図6.1(a)に示した  $Q=75 \mu l/s$  の曲線は  $1.4 \text{ kW}$  の加熱電力のとき高真空側から  $75 \mu \text{Hg} \cdot l/s$  の気体を流入したときの特性で、このときは高真空側から気体の流入のないときの特性より背圧特性が良くなっている。また、図6.1(b)に示す水素に対しては加熱電力の少ないときは逆拡散の多いため切れ味の悪い背圧特性を示しており、前に述べたように加熱電力を増してやる必要がある。

## 7. 考 察

水銀拡散ポンプの使用にあたって、もっとも重要で、困難な点は大きいコンダクタンスをもったバッフルやトラップを製作することである。装置の内部がひとたび水銀蒸気でよごれると、いかに長時間加熱排気しても十分水銀を追い出すことはできない。したがって、ポンプの運転、保守には細心の注意が必要であるが、普通、冷凍機で冷却したバッフルを用い、少なくとも2回冷却面に水銀が衝突しなければ装置内へ行かないようにしなければならない。あるいは加熱バッフルを冷却バッフルの後につけるのが良いかもしれない。この冷却バッフルの温度は、水銀蒸気圧から考えて  $-38^\circ\text{C}$  以下の温度まで下げないと効果がない。California 大学の  $81 \text{ cm } 50,000 l/s$  の水銀拡散ポンプでは、非常に厳重なバッフルを備え  $-78^\circ\text{C}$  に冷却し、この温度がゆるしうる最高の温度をしている。その結果、排気速度は約  $3,000 l/s$  に落ちた。

冷却効果のうち、ポンプの蒸気流を直接冷却するよう、内部に冷却蛇管を入れて実験を行なう予定であったができなかった。この場合は上段ノズルから噴射した水銀蒸気はすみやかに凝縮し、排気口へ逆流しないから排気速度をあげるのに有効であると思われる。

## 8. 小形水銀拡散ポンプ

小形水銀拡散ポンプ(WM-14形)は図3.3に示したが、このポンプの特性のあらましを述べる。

このポンプは口径  $33 \text{ mm}$ 、高さ  $300 \text{ mm}$  の小形で、二段ノズルのうち、上段、中段がカサ形ノズルで、下段だけがジェット・ノズルで作られている。

表 8.1 WM-14 形ポンプの特性

排気速度	$10 l/s (1 \times 10^{-4} \text{ mm Hg において})$
到達真空度	$2 \times 10^{-6} \text{ mm Hg}$
背圧特性	$1 \text{ mm Hg}$
加熱電力	$500 \text{ W}$
冷却	水冷

このポンプの特性は表8.1に示したが、到達真空度が良く、小形の割に比較的排気速度が大きく、しかも背圧特性が良いことである。したがって、油拡散ポンプと油回転ポンプの中間にブースタとして使用され、油回転ポンプを停止したまま数時間、油拡散ポンプを作動させることができる。

## 9. む す び

核物理実験などの目的で、清浄で有機物蒸気の存在しない高真空を必要とするときに使用する排気速度が大きく、到達真空度の良い水銀拡散ポンプについて、特性のあらましを述べた。特性に影響する要素としては

(1) ノズルの設計上、開口比  $F_1/F_s$  を 100 程度にとる。

(2) 上段ノズルの圧縮率は 2 程度でよい。

(3) 胴体の冷却は  $-10^\circ\text{C}$  以下がよい。

などが考えられる。

FM-800 形水銀拡散ポンプは現在ファンドグラーフ形粒子加速装置に使用して良い結果を示しているし、WM-14 形水銀拡散ポンプは、Mattauch 形二重収レン質分析装置に使用して良い結果を示している。

終りに、研究所物理第二研究室長、八十田尚治氏に種々有益なご助言をいただいた。深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- (1) E.R. Lind and J.F. Steinhaus: MTA-14 (1953).
- (2) H.R. Smith: Trans. C.V.T., 22 (1955).
- (3) 石井博、伊藤昭夫: 真空技術, VII, No.2, 90 (1957)
- (4) 藤永敦: 第4回応用物理関係連合講演会 (1957)
- (5) R.N. Edwards, and J.F. Lawyer: Fourth National Symposium on Vacuum Technology Transactions, 73 (1957)
- (6) 藤永敦: 応用物理学会 第18回学術講演会 (1957)
- (7) R. Jaeckel: Kleinste Drucke ihre Messung u. Erzeugung (1950)
- (8) J. Blears and R.W. Hill: R.S.I., 19, 847, (1948)
- (9) B.B. Dayton: R.S.I., 19, 793 (1948)

# 電 気 式 水 位 調 整 器

神戸製作所 渡辺 宏\*

## Electric Water Level Regulators

Kobe Works Hiroshi WATANABE

It is a matter of vital importance to regulate the water quantity of a water while to be equal to that flows in the head tank in the operation of hydraulic power stations. To meet the requirements electric water level regulators are used to keep the water level of the tank by regulating the guide vane opening of the water wheel. This has been the operating principle so far of those devices supplied to various power stations. A new, improved type, however, has been introduced with a marked design feature that a hunting prevention circuit is incorporated to the regulating relay and successful operation of the new equipment is favorably commented.

### 1. まえがき

流込式水力発電所においては水車の使用水量と水槽への流入水量とが同じになるように水車を運転することが必要である。電気式水位調整器はこの操作を電気自動的に行なうためのもので、水槽水位をほぼ一定に保ち水槽水位の変動を抑制するように水車の使用水量を調節して水車の高能率運転を行なわんとするものである。すなわち水槽水位を電気量に変換し、この量により水車の導翼開度を調整し、水車の使用水量を水槽への流入水量に対応させるのである。

当社では今まで、関西電力石井発電所、東北電力松神発電所、北陸電力白峰発電所、住友共同電力川口発電所などにこの電気式水位調整器を製作納入してきたが、今回北陸電力牧発電所および長野県庁春近発電所に新方式の電気式水位調整器を製作し昨年5月に納入した。

北陸電力牧発電所は 16,200 kW 立軸フランシス水車1台、長野県庁春近発電所は 12,700 kW 立軸フランシス水車2台に対するものであるが、両発電所とも水槽水位の調整範囲を 30 cm とし、水槽水位のある基準面から 30 cm の水位巾に対し導翼開度を 0~100% の間水槽水位に応じて自動的に調整するものである。本文では牧発電所向けの水車1台に対するものについて述べることにするが、春近発電所向けのものは水車2台に対するものとしてこれと少し異なっているにすぎない。

### 2. 動作原理

この電気式水位調整器の動作原理をまず簡単に説明することにする。図2.1はこの調整器の基本回路を示すも

ので、調整継電器 77W

は直流バランスビーム形  
継電器で水位側コイル  
 $n_w$ 、導翼側コイル  $n_g$  およ  
び乱調防止用コイル  
 $n_{aw}, n_{ag}$  の4個のコイル  
と接点  $L$  および  $R$  をも  
っている。

水位側コイル  $n_w$  は水  
槽水位に応動するボテン  
ショメータ 70W によ  
り付勢され、導翼側コイル

$n_g$  は導翼開度に応動す  
るボテンショメータ 70GP  
により付勢される。バラン  
スビームに働くトルクがこの調整継電器 77W の動作値  
以上になると接点  $L$  または  $R$  が閉成し、復帰値以下に  
なるといずれの接点も閉成しなくなる。

今水槽水位が変化して両コイルの平衡が破れると接点  $L$  または  $R$  が閉成し、補助継電器 77L または 77R が付勢されて負荷制限用電動機 77M を正または逆方向に回転させ、導翼開度を閉または開方向に変化させ、現在の水槽水位に対応した導翼開度に達すると継電器 77W は平衡し、接点  $L$  または  $R$  は開放し導翼開度の調整は止まる。

以上の調整の間、導翼が現在の水槽水位に対応した開度より行きすぎがあると乱調の原因となるのでこれを防  
止するために調整継電器 77W に乱調防止用コイル  $n_{aw}$   
および  $n_{ag}$  を付加してある。この乱調防止用コイルは  
抵抗とコンデンサから成る乱調防止回路により付勢され

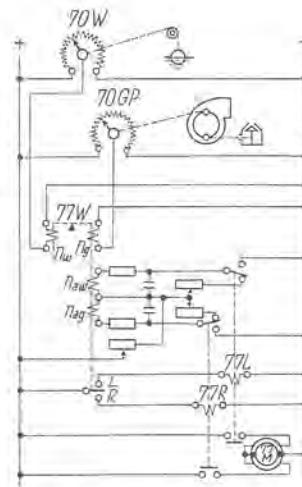


図 2.1 基本回路

Fig. 2.1 Fundamental circuit.

る。この乱調防止回路は二つの対称な回路から成り、それぞれ乱調防止用コイル  $n_{aw}, n_{ag}$  を付勢するが、 $n_{aw}$  なるコイルは水位側コイル  $n_w$  のトルクの方向と反対方向のトルクを生じ、 $n_{ag}$  なるコイルは導翼側コイル  $n_g$  のトルクの方向と反対方向のトルクを生ずるように巻いてある。すなわち今、水槽水位が上昇して水位側コイル  $n_w$  のトルクが導翼側コイル  $n_g$  のトルクより大きくなつたとすれば、継電器  $77W$  の接点  $R$  が閉成し、補助継電器  $77R$  を動作させ負荷制限用電動機  $77M$  を導翼開度を増加させる方向に回転させるが、それとともに乱調防止回路を電源に接続し、コンデンサを充電し乱調防止用コイル  $n_{aw}$  にかかる電圧を指数関数的に増大させる。そして（水位側コイル  $n_w$  のトルク—導翼側コイル  $n_g$  のトルク）と乱調防止用コイル  $n_{aw}$  のトルクとの差が継電器  $77W$  の復帰値以下になれば接点  $L$  は開放し、負荷制限用電動機  $77M$  の回転は止まるが、一方コンデンサにたくわえられた電気量は抵抗を通して放電し、したがつてコイル  $n_{aw}$  のトルクは指数関数的に減少していく。しかし水槽水位は急激には変化しないから、（水位側コイル  $n_w$  のトルク—導翼側コイル  $n_g$  のトルク）との差がふたたび継電器  $77W$  の動作値に達するとふたたび上と同じ動作を繰り返す。このようにして負荷制限電動機を間渴的に回転させて水槽水位に応じた導翼開度にもちきたす。水槽水位が下降したときは乱調防止用コイル  $n_{ag}$  により上と同様な操作をくり返し最後には水槽水位に応じた導翼開度にもちきたすのである。

今、この水位側コイルと導翼側コイルのトルクの差の変化と、乱調防止用コイルのトルクの変化および負荷制限用電動機の運転、休止時間との関係を示すと図2.2のようになる。すなわち図で  $A$  は水槽側コイルと導翼側コイルのトルクの差の変化を表わし、 $B$  は乱調防止用コイルのトルクの変化を表わしている。 $C$  は負荷制限用電動機の運転および休止時間を表わしている。調整継電器  $77W$  の動作値を  $a$ 、復帰値を  $b$  とすると（コ

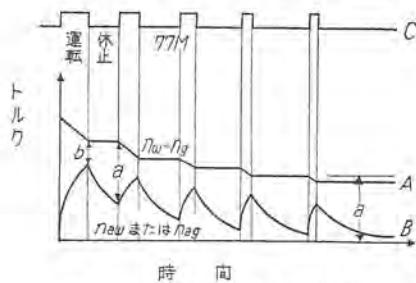


図 2.2 調整継電器の調整操作  
Fig. 2.2 Operation of regulating relay.

イル  $n_w$  のトルク～コイル  $n_g$  のトルク）と乱調防止コイル  $n_{aw}$  または  $n_{ag}$  のトルクとの差が  $a$  以上の値になると負荷制限用電動機  $77M$  は回転し導翼開度を変化させるため、コイル  $n_w$  とコイル  $n_g$  とのトルクの差が減少するとともに乱調防止用コイルのトルクが増加し、両方のトルクの差が  $b$  以下の値になると負荷制限用電動機  $77M$  の回転は止まる。乱調防止用コイルのトルクはコンデンサの放電により指数関数的に減少していくが、この間（コイル  $n_w$  のトルク～コイル  $n_g$  のトルク）は一定である。そして両者のトルクの差がふたたび  $a$  以上になるとふたたび同じ動作を繰り返し、最後には継電器  $77W$  の復帰感度以下になって動作が終る。この間、負荷制限用電動機  $77M$  の動作時間は次第に短くなり、停止時間は次第に長くなって、乱調を完全に防止できる。

### 3. 設計および構造

この電気式水位調整器は水槽水位巾 30 cm に対し導翼開度を 0～100% に調整するものであったが、水槽水位に対応する導翼開度にもちきたす操作を 2 段に分けて行なうこととした。すなわち、第1段の操作として水位と導翼開度との関係をあらかじめ定めたある水位帯の中に追いこみ、つぎに第2段の操作としてこの水位帯の中で両者が対応した点にもちきたすようにした。このため第1段の操作には調整水位帯検出継電器により図 3.1 (a) に示すある水位帯の中に追いこみ、第2段の操作には水位変動方向検出継電器により図 3.1 (b) に示す両者がつりあった直線上にもってくるのであるが、これらの継電器についてつぎに述べることにする。

この水位調整器は水位応動抵抗器、水位変動方向検出継電器および感度調整用抵抗器、調整水位帯検出継電器および感度調整用抵抗器、調速機負荷制限抵抗器、乱調防止回路および補助継電器その他の付属器具より成っている。図 3.2 はこの水位調整器主要部の接続略図を示すものである。

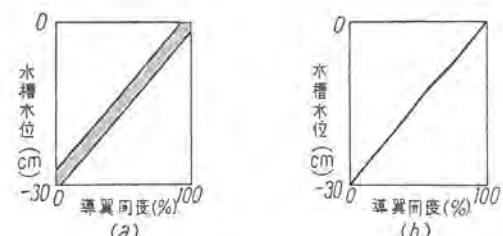


図 3.1 木槽水位—導翼開度調整図  
Fig. 3.1 Regulation diagram of the head tank level-guide vane opening.

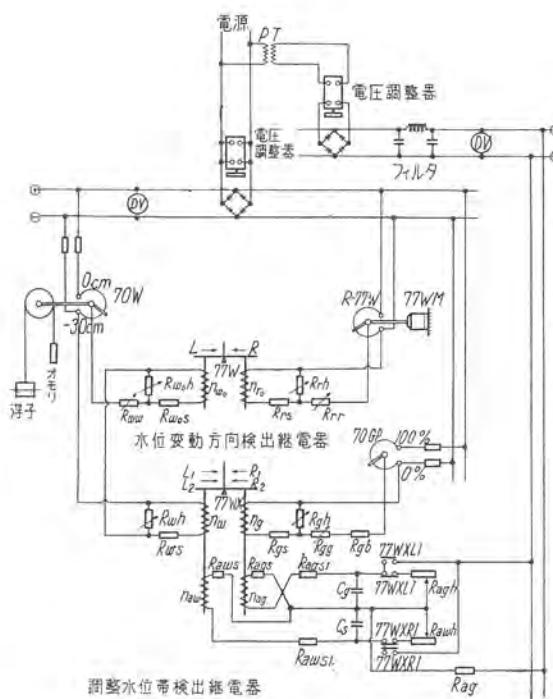


図 3.2 水位調整器主要部接続略図

Fig. 3.2 Connection diagram of the main part of the water level regulator.

水槽水位の検出には水槽に浮べた浮子が水位変化とともに上下するのでこれを車の回転にかえ、この車の軸にポテンショメータすなわち水位応動抵抗器 70W をつけて水槽水位を電気量に変換している。

導翼開度の検出には導翼閉閉用サーボモータに直結したポテンショメータすなわち調速機負荷制限抵抗器 70GP を用い導翼開度を電気量に変換している。

水位変動方向検出継電器 77W は直流バランスビーム形継電器、可動および固定接点 L および R、操作電動機 77WM、減速歯車列、シュウ動抵抗器 R-77W およびテレホンリレーなどから成っておりその外観を図 3.3 に示す。バランスビーム形継電器は永久磁石可動コイル形でバランスビームの両端にコイルがついていて、一方のコイル  $n_{w0}$  には水槽水位に比例した電流を水位応動抵抗器 70W より、他方のコイル  $n_{r0}$  には操作電動機 77WM と歯車列を介して連結したシュウ動抵抗器 R-77W からの電流を流している。今両コイル  $n_{w0}$  と  $n_{r0}$  のトルクが平衡しているときは継電器は静止しているが、トルクの平衡が破れると接点 L または R が閉成し、テレホンリレー 77WL または 77WR を付勢して操作電動機 77WM を正または逆方向に回転させてシュウ動抵抗 R-77W を回転させる。そして水位側コイル  $n_{w0}$  のトルクと平衡するトルクになるまでシュウ動抵抗 R-77W からの電流を変えて平衡状態に至る。操作電動機

77WM とシュウ動抵抗との間にはいっている歯車列のかみ合わせを変えることによりその応答速度を変えるようにしてあるが、これはテレホンリレー 77W L または 77WR の他の接点でサーボモータを動かし後に述べる水位と導翼開度とがつりあつた状態にもちき

たすためにある時間必要とするからである。この水位変動方向検出継電器では応答時間すなわちシュウ動抵抗器 R-77W が全角度回転するに要する時間を 200, 400, 600 秒の 3 段に調整でき、また感度調整用抵抗器でこの継電器の感度を 2, 3, 4% の 3 段に変えうるようにしてある。

調整水位帯検出継電器 77WX は水槽水位と導翼開度との関係が図 3.1 (a) に示すあらかじめ定めた水位帯の内にあるか外にあるかを検出し、外にあればこの水位帯の中に追い込むためのもので、バランスビーム形継電器、2 組の固定接点と可動接点およびテレホンリレーなどから成っておりその外観を図 3.4 に示す。バランスビーム形継電器の一方のコイル  $n_w$  には水槽水位に比例した電流を水位応動抵抗器 70W より、また他方のコイル  $n_g$  には導翼開度に比例した電流を負荷制限抵抗器 70GP より流している。この他に乱調防止用コイル  $n_{aw}$  および  $n_{ag}$  を付加して乱調防止回路からの電流で付勢して乱調を防止するようにしてある。このバランスビーム形継

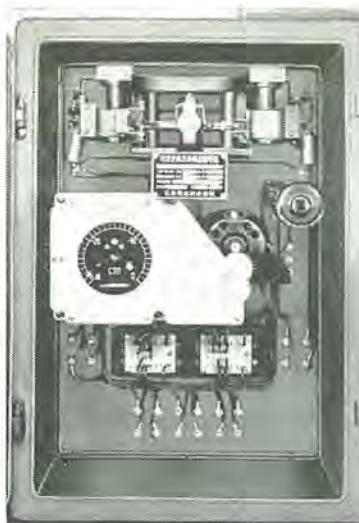


図 3.3 水位変動方向検出継電器外観  
Fig. 3.3 Water level changing direction detecting relay.

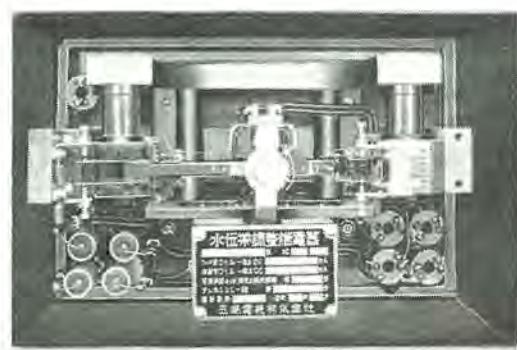


図 3.4 調整水位帯検出継電器外観  
Fig. 3.4 Regulated water level range detecting relay.

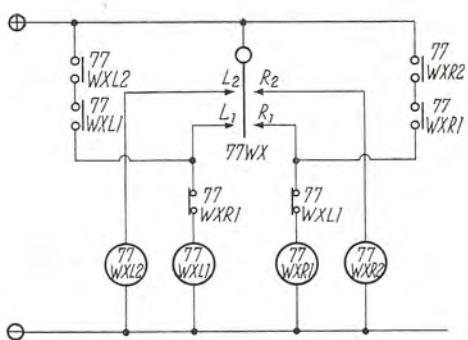


図 3.5 調整水位帶検出継電器 77WX の動作値と復帰値の設定  
Fig. 3.5 Setting of the operating value and restoring value of the regulating water level detecting relay 77WX.

電器の動作値と復帰値を異なった値にするため 2 組の接点を設け、接点  $L_1$  および  $R_1$  は感度 750 mAT、接点  $L_2$  および  $R_2$  は感度 250 mAT とした。これらの接点を図 3.5 に示すようにテレホンリレーと組合わせ、バランスビームに働くトルクの差が 750 mAT 以上となれば接点  $L_1$  および  $L_2$  または  $R_1$  および  $R_2$  が閉成してテレホンリレー 77WXL1 または 77WXR1 は自己保持し、

トルクの差が 250 mAT になるまで動作しつづけ 250 mAT 以下になると接点  $L_2$  または  $R_2$  が開放するためテレホンリレー 77WXL1 または 77WXR1 は不動作となる。したがって接点  $L_1$  および  $R_1$  の感度は継電器 77WX の動作値であり、接点  $L_2$  および  $R_2$  の感度は復帰値となる。乱調防止回路は前にも述べたように抵抗とコンデンサから成る二つの対称の回路から成りそれぞれ乱調防止用コイル  $n_{aw}$  および  $n_{ag}$  を付勢するようになっているが、このコイルはそれぞれ水位側コイル  $n_w$  および導翼側コイル  $n_g$  のトルクの方向と反対向きのトルクを生ずるように巻いてある。今、水槽水位と導翼開度との関係があらかじめ定められた水位帯の外にあるとすると継電器 77WX の接点  $L_1$  および  $L_2$  または  $R_1$  および  $R_2$  が閉成しテレホンリレー 77WXL1 または 77WXR1 は自己保持し、このテレホンリレーの接点により現在水槽水位に対応する導翼開度になるように負荷制限用電動機 77M を正または逆方向に回転させる。それとともに

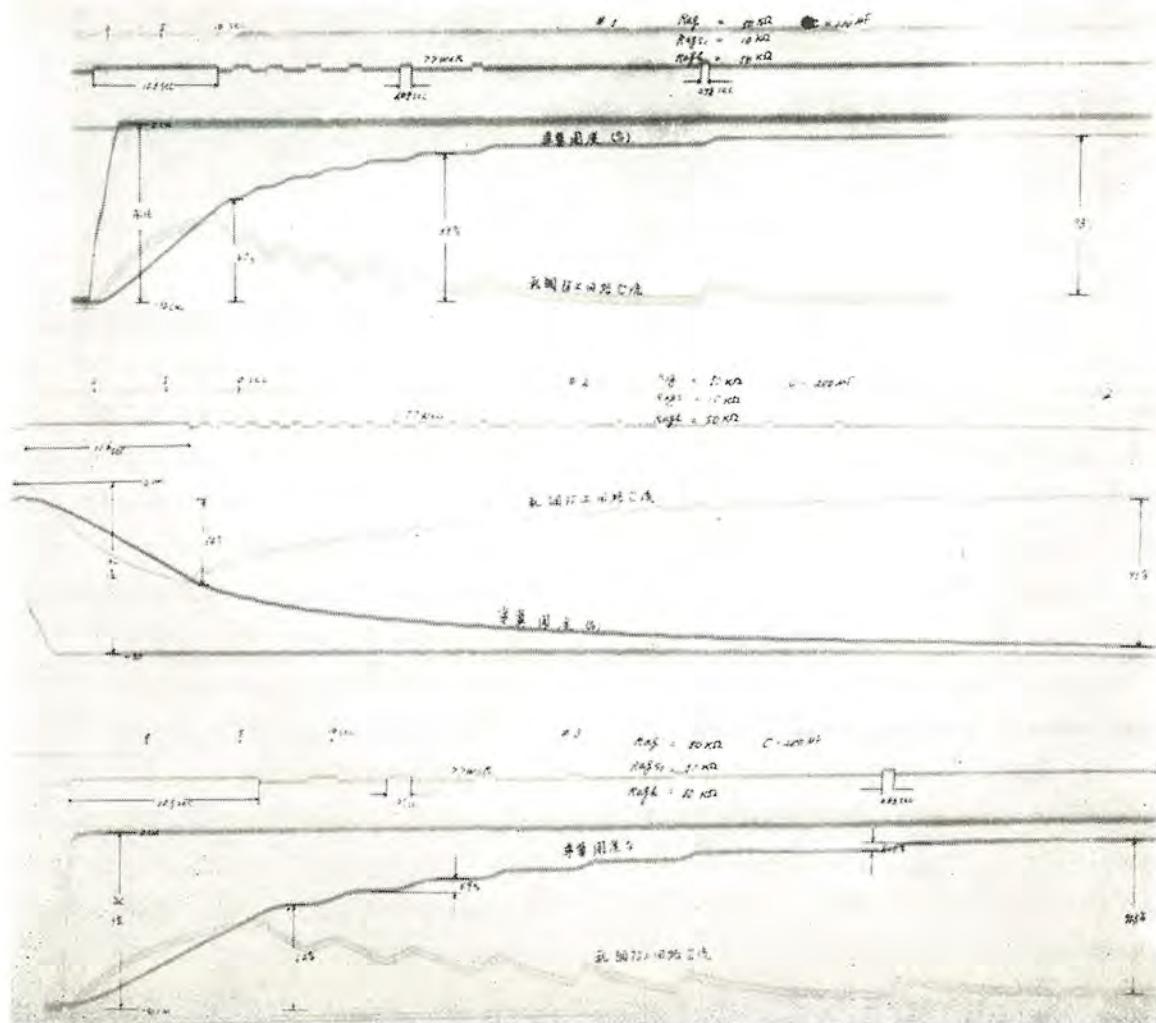


図 3.6 (a) 調整水位帶検出継電器の動作  
Fig. 3.6 (a) Operation of the regulating water level detecting relay.

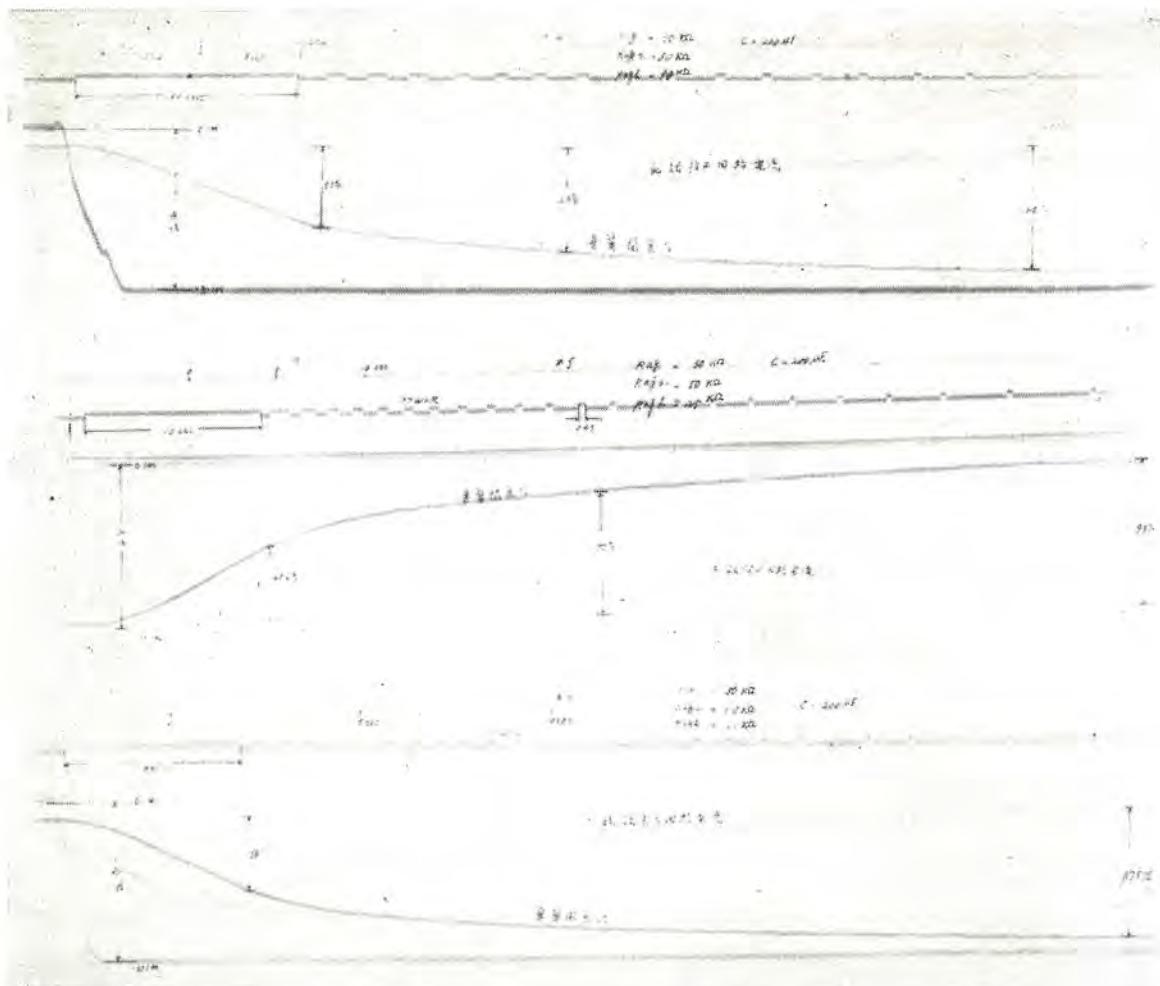


図 3.6 (b) 調整水位帶検出継電器の動作  
Fig. 3.6 (b) Operation of the regulation water level detecting relay.

テレホンリレー 77WXL1 または 77WXR1 の他の接点により乱調防止回路が電源に接続され乱調防止用コイル  $n_{av}$  または  $n_{ag}$  に指数関数的に増加するトルクが水位測コイル  $n_w$  または導翼側コイル  $n_g$  のトルクの方向と反対方向に生じ、これら両トルクの差が 250 mAT になるまで負荷制限用電動機 77M は回転しているが、250 mAT 以下になると接点  $L_2$  または  $R_2$  が開放するため負荷制限用電動機 77M は止まる。それとともに乱調防止用コイルのトルクも減少し、ふたたび両トルクの差が 750 mAT 以上になると接点  $L_1$  または  $R_1$  が閉成し同じ動作を繰り返す。そして最後に両トルクの差が 750 mAT をこえないようになったところでこの調整水位帶検出継電器の動作は終り、水槽水位と導翼開度との関係があらかじめ定められた水位帶内にはいることになる。乱調防止回路により負荷制限用電動機 77M の動作はコイル  $n_a$  とコイル  $n_g$  とのトルク差が大きい間は運転時間が長く休止時間が短いが、トルク差が小さくなるほど運転時間は短くなり休止時間は長くなって行く。このため導翼開閉用サーボ

モータに調整の行きすぎがなく乱調を生じることがなくなる。また、負荷制限電動機の運転、休止時間は乱調防止回路の抵抗とコンデンサの値を変えることにより任意に変えることができる。図 3.6 の #1, #3, #5, #7, #8, #9, #10 のオシログラフは水位を -30 cm から急に 0 cm に変化した場合、また #2, #4, #6 のオシログラフは 0 cm から -30 cm に変化した場合に乱調防止回路の抵抗  $R_{ag}$ ,  $R_{as}$ ,  $R_{ah}$  およびコンデンサの値を変えて導翼開度の変化および乱調防止用コイルの電流の変化をとったものである。ただしこのとき水位は変化しない状態である。

この調整水位帶検出継電器では水位帶の巾を調整水位の 7, 10, 15% の 3 段に調整できるようにしてある。

これら継電器の感度、応答速度、水位帶の巾および乱調防止回路の時定数は現地で組合せ試験を行ない最適のものにセットする。

#### 4. 動 作

前節で電気式水位調整器の各器具の構造、機能を述べ

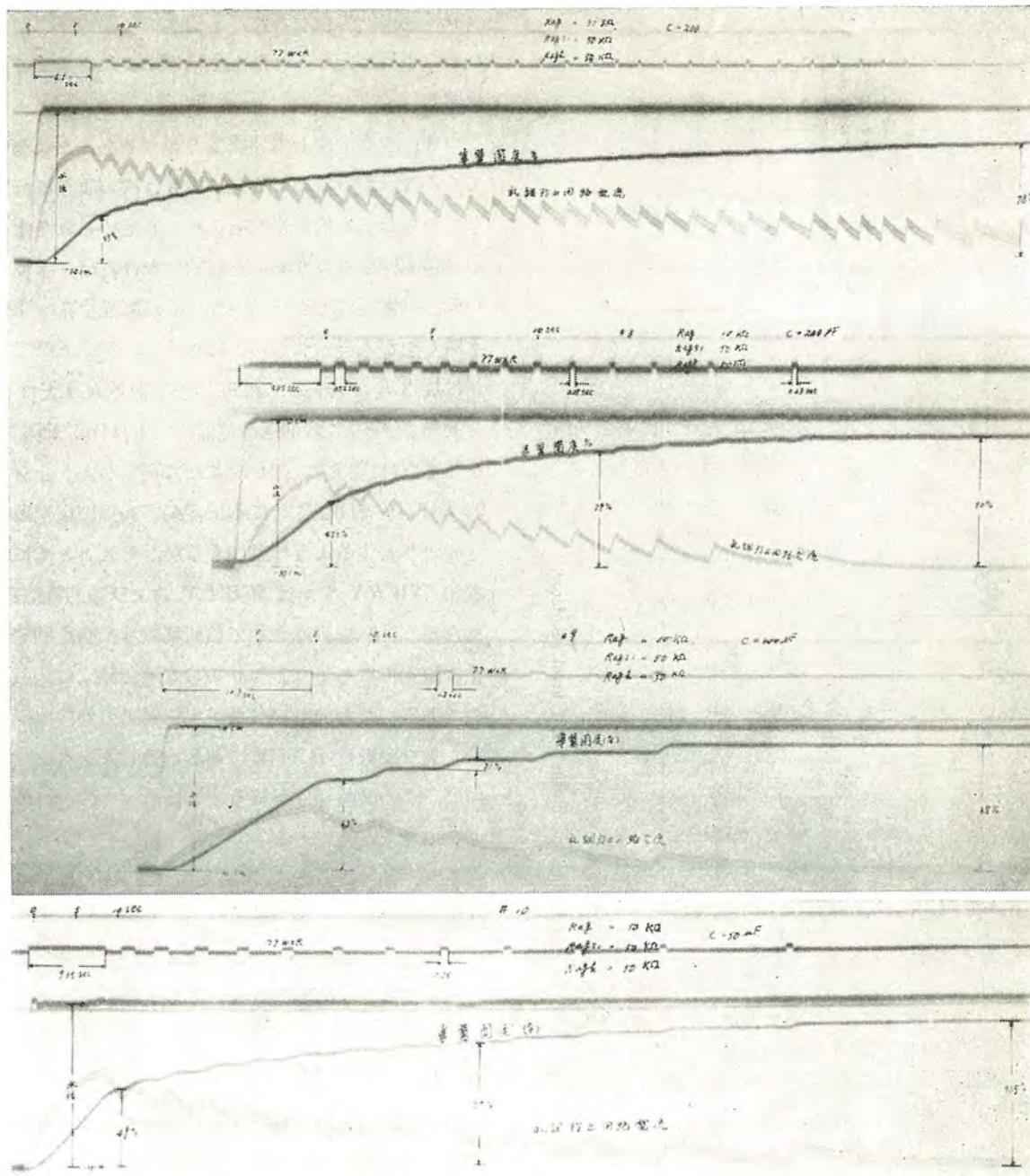


図 3.6 (c) 調整水位帯検出継電器の動作  
Fig. 3.6 (c) Operation of the regulation water level detecting relay.

たので、つぎに全体の動作についてまとめて述べることにする。図 4.1 は水位調整器のシーケンスダイヤグラムである。

すでに述べたようにこの水位調整器の動作は 2 段階に分れ、まず水槽水位と導翼開度との関係があらかじめ定められた水位帯の内にあるか否かを検出し、外にあれば水位帯内にいれるように操作し、つぎにこの水位帯の中にはいれば水位が上昇しつつあるか下降しつつあるかを検出して水槽水位につりあった導翼開度にもちきたすよう操作をする。

水槽水位と導翼開度との関係があらかじめ定められた水位帯の内にあるか外にあるかの検出は調整水位帯検出継電器 77WX により行なうが、水位帯の外にあるとき水位が現在の導翼開度に対する水位より高ければ接点  $R_1$  が、低ければ接点  $L_1$  が閉成し、補助継電器 77WXR1 または 77WXL1 を動作させ、さらに補助継電器 77WRX または 77WLX および補助継電器 77R または 77L を動作させて負荷制限電動機 77M を正または逆方向に回転させて導翼開閉用サーボモータを開度が増加する方向または減少する方向に動かすが、この動作は前に述べた

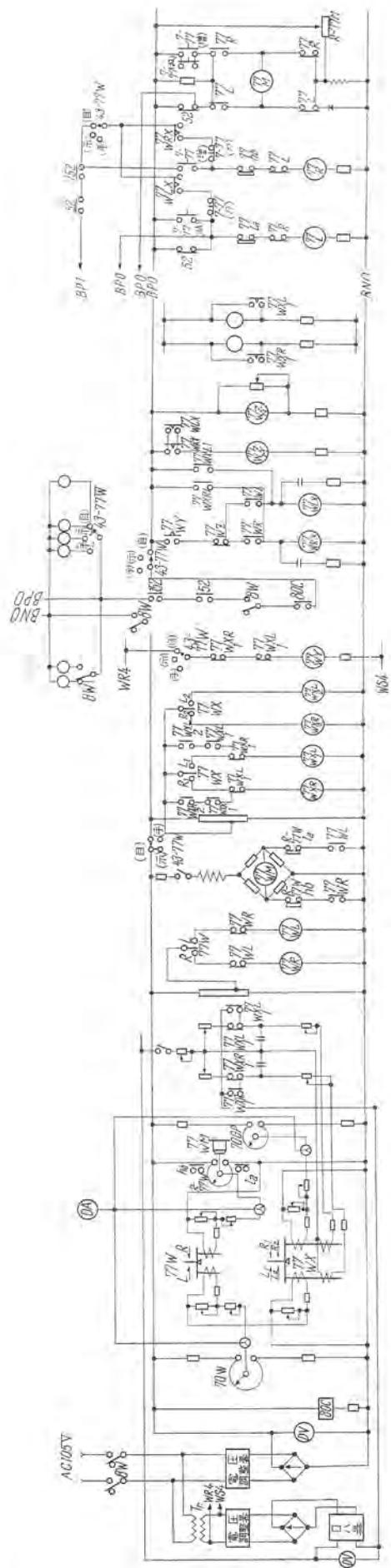


図 4.1 水位調整器のシーケンスダイヤグラム

ように間渴的に行なわれ、水槽水位と導翼開度との関係があらかじめ定められた水位帯の中にはいるとこの操作は終る。

つぎに水槽水位と導翼開度とがつりあった状態にもつくる操作が行なわれるが、それは次のように行なわれる。すなわち水槽水位があらかじめ定められた水位帯の中で導翼開度とつりあった状態になければ、水位変動方向検出継電器の接点  $L$  または  $R$  が閉成する。すなわち水槽水位が上昇しつつあれば接点  $R$  が、下降しつつあれば接点  $L$  が閉成し、補助継電器 77WR または 77WL を動作させる。この補助継電器により操作電動機 77WM を正または逆方向に回し、これに連結したショウ動抵抗器  $R-77W$  を回転させて水位変動方向検出継電器を平衡させようとするように動作するが、それとともに補助継電器 77WRX または 77WLX および補助継電器 77R または 77L を動作させて負荷制限電動機を回転させ現在水槽水位にちょうどつりあった導翼開度にもちきたすのである。なお前に述べたが水位変動方向検出継電器内のショウ動抵抗  $R-77W$  にある応答時間をもたせているのは、この調整操作が終るまで接点  $L$  または  $R$  を閉成させておくためである。

また、補助継電器 77WY および 77WZ はともに乱調防止用に設けたものである。

以上述べた2段階の操作によりこの水位調整器は現在水槽水位に対応した導翼開度にもちきたすのである。

## 5. む す び

以上北陸電力牧発電所向けに製作納入した電気式水位調整器の原理、構造および動作について述べたが、調整水位帯検出継電器に乱調防止回路を付加して調整の行きすぎによる乱調の原因を除去したことが新しい特長の一つである。納入後好成績で現在運転されているが、当社ではさらに岩手県庁岩洞第二発電所、北陸電力称名第二発電所、四国電力野村発電所、住友共電五王堂発電所向けに新たに無接点式の電気式水位調整器を計画し設計中である。

終りにこの電気式水位調整器の製作に種々ご教示願った当所配電盤第一設計課、梅名技師および試験にご尽力下さった品質管理課、城江技師および田畠技師に深く感謝するものである。

# 2,500 Mc 帯 SS-FM 方式多重無線通信装置

無線機製作所 横本俊弥\*・北垣成一\*\*・阿部修\*\*・中根茂樹\*\*

## 2,500 Mc SS-FM Radio Relay Communication System

Electronics Works Toshiya KASHIMOTO · Seiichi KITAGAKI  
Osamu ABE · Shigeki NAKANE

For the use of main communication channels between the head office and the factories way up in the country, Mitsubishi has supplied the Chichibu Cement Company with 2,500 Mc SS-FM 48 channel multiplex radio communication equipment and related devices. The system, including all the necessary facilities to give full play to the modern convenience such as an unattended station and a semi-unattended one properly guarded against any emergency with automatic change-over arrangement to spare units or with supervisory control equipment. Since the completion of the work in October, 1958, the system has been operating very satisfactory, accomplishing the facsimile transmission as well as toll dialing telephone.

### 1. まえがき

今般秩父セメント株式会社の注文により、同社幹線通信路用として、2,500 Mc 帯 SS-FM 方式 48 通話路多重無線通信装置を製作納入し、現地すえ付工事を完了して、昨年 10 月末以来順調に運転されている。ここに工事ならびに機器の概要について報告して、批判を仰ぎたいと思う。

この装置は秩父セメント株式会社本郷局を起点として釜伏局を経て羊山局に至るマイクロ波多重通信回線を構成するもので、図 1.1 に示す同社多重電話通信網の幹線ルートにあたるものである。本郷、釜伏、および羊山の各局からは、さらに市内専用回線、搬送ケーブル回線、

あるいは 400 Mc 回線につながれて、各事業所相互間を結ぶトールダイヤル電話回線ならびに模写電信回線が構成される\*。

送信周波数は本郷、羊山が 2,460 Mc, 釜伏が 2,580 Mc の 2 波が使用されている。釜伏および羊山における 2,500 Mc 回線相互間および 400 Mc 回線または搬送ケーブル回線との中継方式は搬送波中継が採用されている。本郷、釜伏および羊山の各局の送受信機は、いずれも現用機のほかに 1 対 1 の予備機を備え、現用機障害時に予備機に自動切換を行なう。釜伏局は完全無人局、羊山局は半無人局として運転され、釜伏局における障害は遠隔監視制御装置を経て本郷局へ伝達され、また本郷局より釜伏局の遠隔制御を行なうことができる。

### 2. 回線設計

2,500 Mc 回線について行なった回線設計の概要は下記のとおりである。

#### 2.1 热雑音

まず高周波 S/N 比に対する通話路 S/N 比の改善度を計算すると

$$R_n = \left( \frac{4f}{f_c} \right)^2 \frac{B}{2f_m}$$

ここに

$$R_n = S/N \text{ 比改善度}$$

\* 当社は今回新設された 2,500 Mc 帯送受信機および空中線、本郷、秩父第一工場、秩父第二工場、高崎の各端局装置、および釜伏、羊山の各中継架装置の製作ならびに現地工事のほか、羊山—秩父第一工場間の搬送ケーブル工事を担当した。

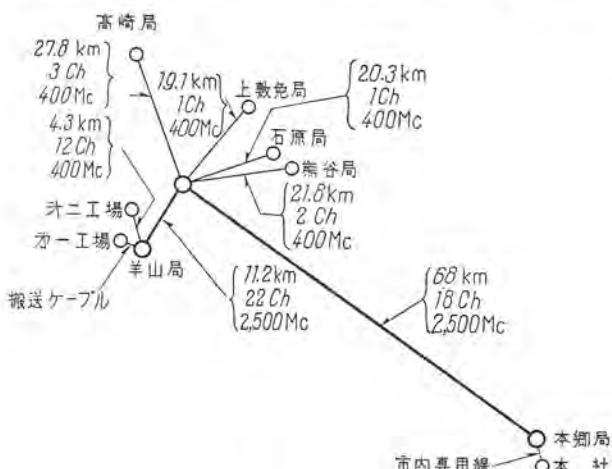


図 1.1 多重通信回線網構成図

Fig. 1.1 Multiplex communication system of the Chichibu Cement Co., Ltd.

$\Delta f=1 \text{ mW}$  試験音に対するセン頭周波数偏移

$f_c$ =変調周波数

$B$ =受信機帶域巾

$f_m$ =通話路帶域巾

となる。今  $\Delta f=\sqrt{2} \cdot 100 \text{ kc}$ ,  $f_c=224 \text{ kc}$ ,  $B=6 \text{ Mc}$ ,

$f_m=4 \text{ kc}$  とすると

$$R_a=24.7 \text{ dB}$$

と計算される。ここに  $f_m=4 \text{ kc}$  としたのは、準漏話雑音の計算法と合わせるためにである。

さて上記の  $S/N$  比改善度をもつ場合に、各区間の熱雑音だけに基づく  $S/N$  比を計算すると表2.1に示すとおりとなる。

表 2.1 热雑音に基づく  $S/N$  比

区間	本郷一笠伏	笠伏一茅山	
距離 空中線径 フィーダ長	(km) (m) (m)	68 3-3 20-20	11.2 1.2-1.2 20-20
全区間損失 自由空間損失 分波器損失 フィーダ損失 空中線利得	(db)	-137.1 - 3.0 - 4.0 + 69.8	-121.4 - 3.0 - 4.0 + 53.8
全区間損失	(db)	- 74.3	- 74.6
受信入力 送信出力 全区間損失	(dbw) (db)	0 - 74.3	0 - 74.6
受信入力	(dbw)	- 74.3	- 74.6
スレッショールドマージン 受信入力 限界レベル	(dbw) (dbw)	- 74.3 -115.0	- 74.6 -115.0
スレッショールドマージン	(db)	40.7	40.4
高周波 $S/N$ 比 受信入力 雑音レベル	(dbw) (dbw)	- 74.3 -124.0	- 74.6 -124.0
高周波 $S/N$ 比	(db)	49.7	49.4
通話路 $S/N$ 比 高周波 $S/N$ 比 $S/N$ 比改善度	(db) (db)	49.7 24.7	49.4 24.7
通話路 $S/N$ 比	(db)	74.4	74.1

## 2.2 準漏話雑音

(1) 変復調器の非直線ヒズミに基づく準漏話雑音  
変復調器の非直線ヒズミに基づく準漏話雑音は、変調信号の分布が零周波数から最高周波数まで一様に分布していると仮定した時、最悪の最低周波数通話路に対して次のように与えられる。

$$d_2 = \frac{P^2}{4N} (D_2 \Delta f)^2$$

$$d_3 = \frac{P^3}{8N} (D_3 \Delta f^3)^2$$

ここに

$d_2$ =2次の準漏話雑音 (mW)

$d_3$ =3次の準漏話雑音 (mW)

$P$ =零基準レベル点における多重信号平均電力  
(mW)

$N$ =通話路数

$D_2$ =2次微分特性係数

$D_3$ =3次微分特性係数

$\Delta f=1 \text{ mW}$  試験音によるセン頭周波数偏移

多重信号平均電力  $P$  は 48 Ch の場合 6 dbm (4 mW) とし、変復調器の微分特性係数をそれぞれ、 $D_2=1.0\%/\text{Mc}$ ,  $D_3=5.0\%/(\text{Mc})^2$  とすると、変復調器で発生する準漏話雑音は合計次のように計算される。

$$d_2 = 330 \text{ pW} (-64.8 \text{ dB})$$

$$d_3 = 330 \text{ pW} (-64.8 \text{ dB})$$

したがって非直線ヒズミによって生ずる準漏話雑音の合計は最低周波数通話路に対して

$$d_2 + d_3 = 660 \text{ pW} (-61.8 \text{ dB})$$

となる。

## (2) 位相ヒズミに基づく準漏話雑音

送受信機の位相ヒズミに基づく準漏話雑音は、前記と同様の変調信号の分布を仮定した時、最悪の最高周波数通話路に対して次のように与えられる。

$$d'_2 = \frac{P^2}{8N} \left[ \omega \Delta f \left( \frac{\tau_2}{B/2} \right) \right]^2$$

$$d'_3 = \frac{P^3}{12N} \left[ \omega \Delta f^2 \left( \frac{\tau_3}{(B/2)^2} \right) \right]^2$$

ここに

$d'_2$ =2次の準漏話雑音 (mW)

$d'_3$ =3次の準漏話雑音 (mW)

$\omega$ =最高変調角周波数

$\tau_2/(B/2)=2$  次群遅延時間係数

$\tau_3/(B/2)^2=3$  次群遅延時間係数

$P$ ,  $N$ ,  $\Delta f$  は前項と同じ

したがって、今送受信機の位相特性が  $\tau_2/(B/2)=15 \mu\text{s}/\text{Mc}$ ,  $\tau_3/(B/2)^2=50 \mu\text{s}/(\text{Mc})^2$  と与えられたとすると、位相ヒズミによる準漏話雑音は最高周波数通話路に対して次のように算出される。

$$d'_2 = 370 \text{ pW} (-64.3 \text{ dB})$$

$$d'_3 = 220 \text{ pW} (-66.6 \text{ dB})$$

したがって位相ヒズミによって生ずる準漏話雑音の合計は

$$d'_2 + d'_3 = 590 \text{ pW} (-62.3 \text{ dB})$$

となる。

## (3) 準漏話雑音計

非直線ヒズミおよび位相ヒズミによって生ずる準漏話雑音のほかに、一般には空中線系の反射に基づく準漏話雑音をも考えねばならないが、フィーダ長 20 m, VSWR 1.5 程度の場合には、前記非直線ヒズミおよび位相ヒズミによるものに比較して無視できる程度である。

したがって送受信機内部で発生する準漏話雑音の総計は、前記非直線ヒズミおよび位相ヒズミに基づくものの合計と考えてよい。上記の計算では非直線ヒズミは最低周波数通話路、位相ヒズミは最高周波数通話路における値を算定しているため、準漏話雑音総計はこれら両者の和より当然小さくなるが、安全度を見て両者を単に加算すると

準漏話雑音総計 = 1,250 pW (-59.0 dB) 1 区間あたりとなる。

### 2.3 回線総合 S/N 比

回線総合 S/N 比は、熱雑音と準漏話雑音との和および両端局における端局装置において発生する雑音によって決定される。この回線の場合はフェージングのない標準状態では熱雑音は十分小さくこれを無視することができるから、総合 S/N 比はほとんど準漏話雑音および端局装置の雑音によって決定される。今端局装置雑音を -60 dBm (1,000 pW) とすると標準状態における総合 S/N 比は次のように計算される。

準漏話雑音	$2 \times 1,250 \text{ pW}$
端局装置雑音	1,000 pW
雑音総計(無評価値)	3,500 pW (-54.6 dB)

したがって +3 dB を加えて評価値になおすと、総合回線 S/N 比は 57.6 dB となる。

つぎに各区間とも同時に 15 dB のフェージングを生じた場合を考えると、各区間熱雑音は約 -59 dB (1,250 pW) となるから総合 S/N 比は

熱雑音	$2 \times 1,250 \text{ pW}$
準漏話雑音	$2 \times 1,250 \text{ pW}$
端局装置雑音	1,000 pW
雑音総計(無評価値)	6,000 pW (-52.2 dB)

したがって、この場合の総合 S/N 比(評価値)は 55.2 dB と与えられる。

### 2.4 釜伏局における回り込みに対する検討

釜伏局より本郷および羊山を見た方向のなす角が約 90 度であるため、本郷および羊山の送信周波数を同一に選んだ時、釜伏局受信機における回り込みによる干渉雑音を検討する必要がある。

まず空中線の利得および指向特性は、開口角 65~75 度程度のパラボラの場合には、およそ下記のような値を有するものと考えられる。

直径	利得	90 度方向減衰量
3 m	34.9 dB	35 dB 以上

1.8 m 26.9 dB 35 dB 以上

つぎに同様なパラボラ空中線の直角偏波に対する減衰量は、2,500 Mc 帯では最低 20 dB は下らないものみなすことができよう。

本郷および羊山の送信出力が同一の場合、釜伏における回り込みは、羊山送信波が本郷向け受信アンテナに回り込むケースが、その逆のケースより条件が酷となるから、この場合につき上記の数値を用いて D/U を計算すると下記のとおりとなる。

希望波 D 妨害波 U			
送信電力	(dbw)	0	0
送信アンテナ利得	(dB)	+ 34.9	+ 26.9
自由空間損失	(dB)	-137.1	-121.4
受信アンテナ利得	(dB)	+ 34.9	+ 34.9
90 度方向減衰量	(dB)	0	- 35.0
直角偏波減衰量	(dB)	0	- 20.0
フィーダ損失	(dB)	- 4.0	- 4.0
分波器損失	(dB)	- 3.0	- 3.0
受信電力	(dbw)	- 74.3	- 121.6

したがって  $D/U$  比 = 121.6 - 74.3 = 47.3 dB

上記の値は受信機の特性より見て十分な大キサであり、また或る程度のフェージングを考慮しても、S/N 比の低下は実用上無視しうる程度とみなされるから、釜伏局における回り込み混信に対しては特別の対策を要しないものと考えられる。

### 3. ME-4 形送受信機

送受信機は図 3.1 に示すような外観を有し、主要部の回路構成は図 3.2 に示すとおりである、各回路について以下概要を説明する。

#### 3.1 送信回路

本機の変調器はリアクタンス管変調と倍増器を組合せたことが特長である。これによって必要な周波数偏移と直線性が得られた。

被変調波は RF 混合器で局発出力と混合されて 2,500 Mc 帯に変換された後、電力増幅器で増幅されて空中線へ導かれる。

RF 混合器および電力増幅器に使用した空洞は、今回新しく開発した図 3.3 に示すような直方体形のものである。この空洞は同軸形空洞に比して小形で取扱いが簡単であるばかりでなく、板極管の冷却が容易であるために、その寿命の增大に役だっている。



図 3.1 ME-4 形送受信機

Fig. 3.1 Type ME-4 radio transmitter-receiver.

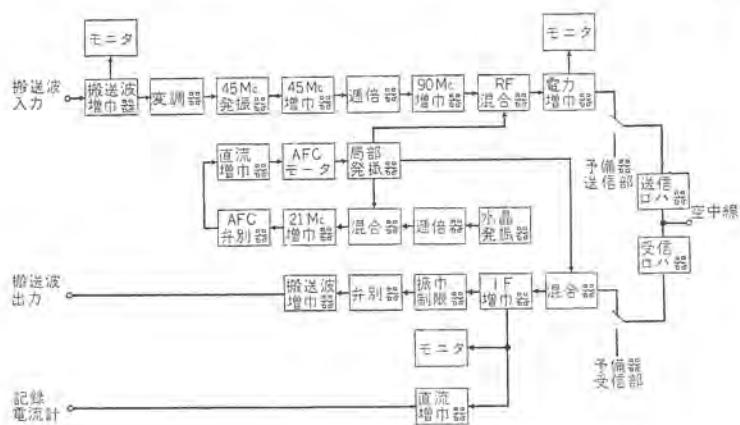


図 3.2 ME-4 形送受信機回路系統図

Fig. 3.2 Block diagram to type ME-4 radio transmitter-receiver.

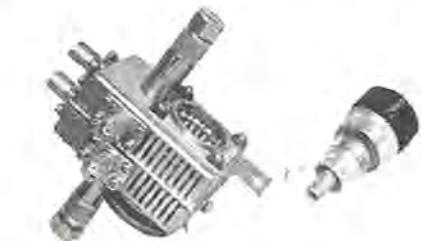


図 3.3 2,500 Mc 空洞共振器

Fig. 3.3 2,500 Mc cavity resonator.

送信周波数の安定度は 45 Mc 発振器とマイクロ波局発の周波数安定度によって定まる。本機では 45 Mc 発振器とリアクタンス管は簡単な恒温槽に収容するとともに定電圧放電管によって電源電圧の安定化を図ることによって、周波数変動を抑え、またマイクロ波局発は後述のように基準水晶発振器の高調波を基準にして AFC を行なうことにより、比較的簡単な手段により実用上十分な周波数安定度が確保されている。

### 3.2 受信回路

受信回路はスーパー・ヘテロダイイン方式で、中間周波数は 30 Mc である。受信用局部発振器を前記の送信局発と共に用いているので、受信 AFC を必要としない点は、本機の大きな特長といえよう。

### 3.3 局部発振回路

上述のように、本機の局部発振器は送信および受信に共用され、その周波数を規正する重要な役割を果している。したがって局発周波数はとくに安定なることが要求される。本機ではこの局発周波数を一定に保持するため、基準水晶発振器の高調波を基準にしてサーボ機構によって局発周波数の AFC を行なっている。その回路構成は図 3.2 に示される。基準水晶発振器には局発周波数  $\pm 21$  Mc の 1/40 の発振周波数をもつオーバートーン

発振器を使用し、これを 4 週倍した後鉱石混合器に加え、局発出力の一部と混合して 21 Mc の IF を作っている。この 21 Mc IF を増幅して AFC 判別器によって周波数判別を行ない、その直流出力を増幅して AFC リレーを駆動させ AFC モータを駆動して局発空洞内に挿入した小ループコイルを回転して局発周波数を変化させる。局発周波数が規定値より変動すれば、その変動を打消すように AFC モータが回転する。この AFC によって局発周波数の変動はきわめて小さく抑えられる。

局発に使用した空洞も、前述の RF 混合器および電力増幅器に使用したものと同一構造のものである。

### 3.4 モニタ

本機は障害時にランプおよびベルによって警報を表示するとともに、自動切換回路を起動して、予備機に自動切換を行なうために、送受信機の所要個所にモニタ回路を設けてある。送信部に設けたモニタは送信出力モニタを搬送波増幅器のブレード電流モニタの二つで、送信部に関する障害はこの二つのモニタによって検知される。受信部には IF モニタを設け IF 部以前の障害を検知し、振幅制限器以降搬送波出力端子までの障害は、打合回線に 2 周波信号方式を採用して常時信号周波数を流しておき、端局装置入力側でその有無によってモニタして、障害接点を無線機側へ逆送する方式を採用している。

### 3.5 分波器

送信および受信に空中線を共用するための分波器は、

送信ローハ器、受信ローハ器およびT分岐で構成される。

送信ローハ器および受信ローハ器は、それぞれ2セクションおよび4セクションの導波管直結ローハ器で結合素子には誘導性棒を使用している。ローハ器の入出力回路はブロープ結合である。

### 3.6 電源回路

本機の主電源回路系統は図3.4に示すとおりである。主スイッチ投入によりまずマイクロ波真空管冷却用送風機が回転し、送風用ダクト内に挿入したインターロックスイッチが動作する。インターロックスイッチの動作によって各真空管のフィラメントが点火され、同時に時延リレーが起動する。時延リレーの動作によって現用機は

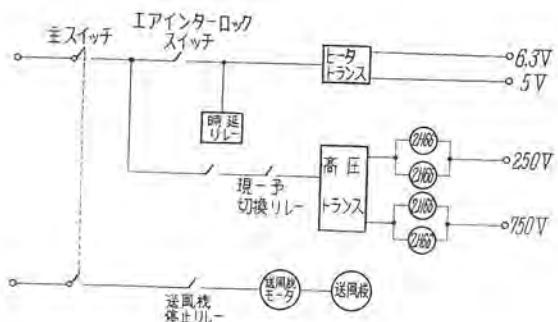


図3.4 電源回路系統図

Fig. 3.4 Block diagram of power supply system.

45秒、後予備機は50秒後に高圧回路が働き送受信機が正常動作状態にはいる。このように本機では主スイッチの投入だけによって自動的に機器が運転を開始し、また送風機障害時には自動的に電源を断ってマイクロ波管を保護している。

### 3.7 制御回路

本機は前述のように各種の警報、制御を行なうための制御回路を有しているが、その回路系統を示すと図3.5のとおりである。

本機の切換方式は、當時は現用機を使用し、現用機障害のときだけ予備機を使用することを原則とし、送受信機モニタまたは端局モニタから送出された障害の種別に応じて、ただちに、または所要の時延のち自動切換えを行なう切換回路、障害の種別に応じて警報信号を送出する回路およびリモートコントロールおよび手動切換試験を行なう操作回路を有する。

制御動作の概略は次のとおりである。

(a) 表示および警報

動作送受信機表示

2,500 Mc 帯 SS-FM 方式多重無線通信装置・橋本・北垣・阿部・中根

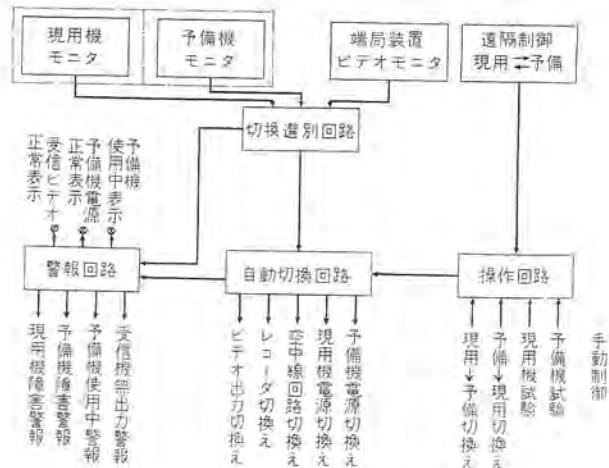


図3.5 制御回路系統図

Fig. 3.5 Block diagram of control circuit.

各モニタ回路動作表示

障害警報信号の発信

(b) 自動切換え

現用機より予備機への切換え

予備機障害時現用機へ自動復帰

(c) 手動操作

現用機、予備機相互間の手動切換え

予備機障害時現用機へ自動復帰

非動作機の試験

(d) 遠隔操作

現用機、予備機相互間の遠隔切換え

被切換機障害時の自動復帰

### 3.8 使用真空管

送受信機に使用する真空管の種類と数量は1台あたり下記のとおりである。

2C39A	3	6J6	1
2H66	4	6RP10	1
6AK5	1	6U8	5
6AL6	2	12AT7	1
6AH6	2	5763	1
6AQ5	1	VR150MT	1
6CB6	13		
合計 36			

### 3.9 構造

本機は現用機および予備機とも、巾 585 mm、奥行 508 mm、高さ 2,296 mm のキャビネット形きょう体各1架に収容してある。その外観は図3.1に示され、左側が現用機、右側が予備機である。

分波器および同軸切換スイッチは現用機の背面に、また制御回路およびリレー電源は予備機に収容されている。各パネルの外部接続はパネル前面に設けた接せんによって着脱容易な構造である。各パネルの主要部のレベルチェックおよび各真空管のプレート電流のチェックポイントを設け保守の便を図っている。これらのレベル、電圧、電流は各架に設けた計器盤のメータによって測定できる。各部の動作表示ランプを設けて機械の動作状態を一見して確認できるようにしてある。

マイクロ波真空管冷却用の送風機は架の最下部に設置し、架側面に設けたダクトを経て各真空管に分配送風する。送風機の空気取入口には金網およびエアフィルタを設けてホコリの混入を防止している。

#### 4. MA-25 形空中線

本機に使用した空中線は、本郷—釜伏区間は直径各 3 m、釜伏—羊山区間は直径各 1.2 m のパラボラ空中線である。

直径 3 m の空中線の反射鏡は黄銅金網製とし、風圧の軽減を図った。直径 1.2 m の分はアルミ板製である。各空中線とも、開口角は 65 度とした。

一次輻射器は同軸フィードの反射板付ダイポール形で、雨雪の侵入を防止するためフッ素樹脂製カバーを設けている。

図 4.1 は直径 3 m の空中線の外観を示す。

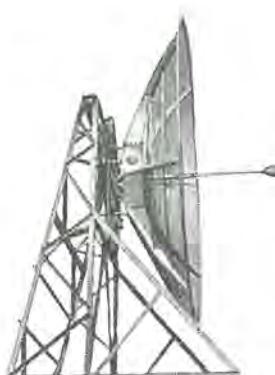


図 4.1 MA-25 形 3 m パラボラ空中線  
Fig. 4.1 Type MA-25 3-meter parabolic antenna.

#### 5. MX-3A 形搬送電話端局装置

端局装置は当社 G 形実装形式のもので、構造、回路構成ともさきに国鉄に納入したもの<sup>(1)</sup>とほとんど同一形式であるので詳細は省略する。周波数配置は客先の指定により、図 5.1 に示すように、6 通話路をユニットにして 4 kc から 224 kc の間に電話 48 通話路を配置し、0~4 kc を打合回線に使用している。打合回線はスピーカ呼出方式であるが、2 周波信号方式を用いて遠隔監視制御を行ない、またモニタに利用している。実装通話路数

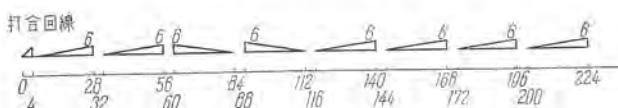


図 5.1 搬送波周波数配置  
Fig. 5.1 Frequency allocation for type MX-3A 48 channel carrier telephone system.

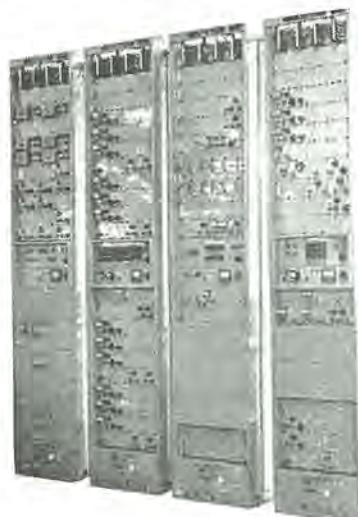


図 5.2 MX-3A 形搬送電話端局装置

Fig. 5.2 Type MX-3A carrier telephone terminal equipment.

は各局によって異なるが、いずれも将来の通話路増設を考えて架構成を行なってある。なお本郷—秩父第一工場間には模写電信回線 2 Ch を通し、うち 1 Ch は高速度 FAX で電話 2 Ch 分の帯域幅を占めるものである。

図 5.2 は本郷局端局装置の外観を示す。

#### 6. 試験結果

工場試験および現地すえ付完了後に行なった試験の結果は十分満足すべきものであった。その概要について試験成績の一例を示すと下記のとおりである。

##### 送受信機

(a) 送信出力	1.3~2.0 W
(b) 局発 AFC 応動特性	図 6.1
(c) 受信機雑音指数	8~10 dB
(d) 受信機総合選択度特性	図 6.2
(e) 受信機影像抑圧度	67~75 dB
(f) 総合搬送波周波数特性	図 6.3
(g) 総合搬送波直線性特性	図 6.4
(h) 所要電力 (1 台あたり)	約 900 VA

##### 空中線

(a) 指向特性	図 6.5
(b) インピーダンス特性	図 6.6

##### 総合通話路特性

(a) S/N	61~65 dB
---------	----------

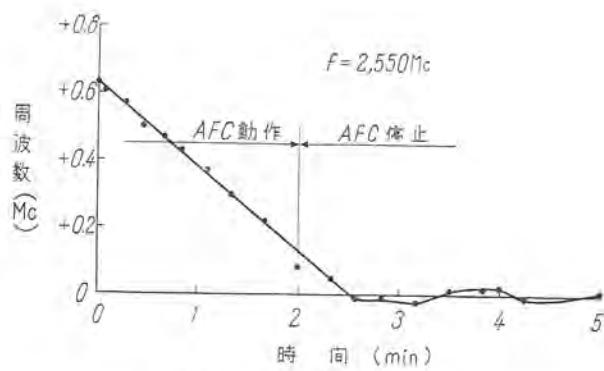


図 6.1 局発 AFC 応動特性  
Fig. 6.1 AFC response characteristics of local oscillator.

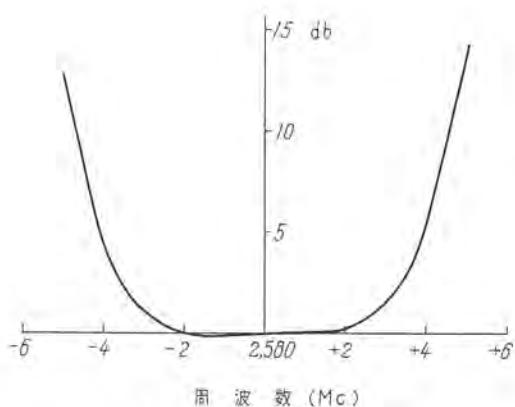


図 6.2 受信機総合選択性特徴  
Fig. 6.2 Overall selectivity curve of receiver.

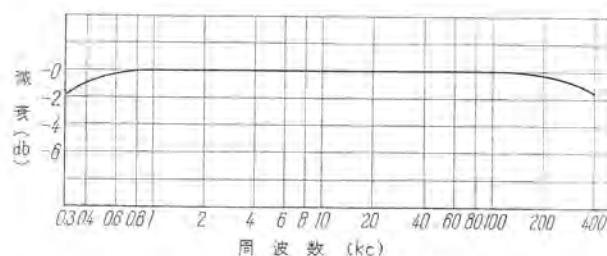


図 6.3 総合搬送波周波数特性 (1 対向)  
Fig. 6.3 Overall carrier frequency characteristics.

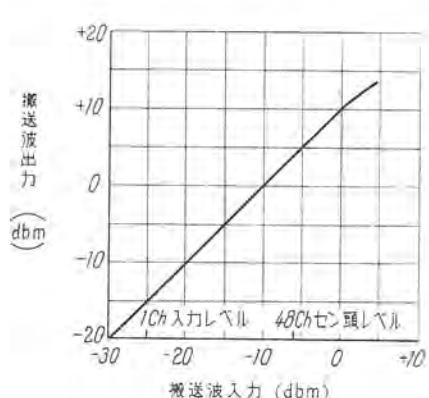


図 6.4 総合搬送波直線性  
Fig. 6.4 Overall carrier frequency linearity.

2,500 Mc 帯 SS-FM 方式多重無線通信装置・樺本・北垣・阿部・中根

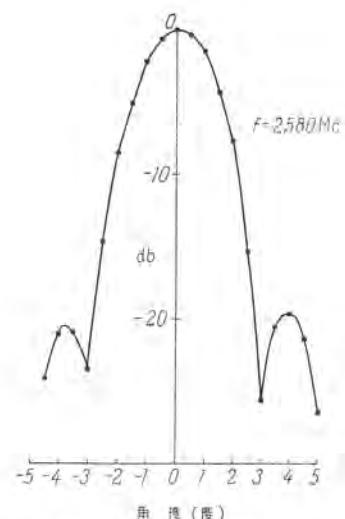


図 6.5 3 m パラボラ空中線の H 面指向特性  
Fig. 6.5 H-plane radiation pattern of 3-meter parabolic antenna.

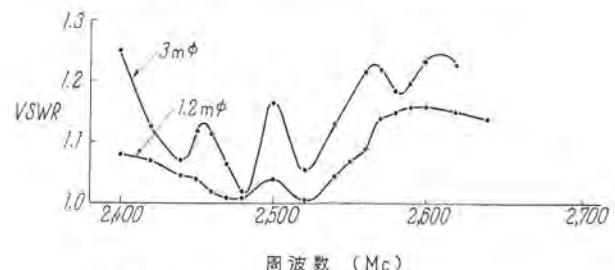


図 6.6 3 m および 1.2 m パラボラ空中線の  
インピーダンス特性  
Fig. 6.6 Frequency vs VSWR for 3-meter and  
1.2-meter parabolic antennas.

(b) 準漏話 56~63 dB  
(c) ヒズミ率 35~42 dB

なお区間損失および電源電圧の変動による搬送波出力レベルの変動はきわめてわずかで、またこの時の S/N 比、準漏話雑音も十分満足すべき値であった。

## 7. む す び

以上が今回秩父セメント株式会社に納入した2,500 Mc 帯 SS-FM 方式48通話路多重通信装置の概要である。昨年10月末官庁検査を終了後ただちに実用局として運用にはいったが、各方面よりご好評をいただいている。しかしながらなお今後の使用実績を参考にしてさらに改良を加え、より完璧なものへと進むべく努力したいと考えている。

## 参 考 文 献

- (1) 樺本他: “7,500 Mc 帯 SS-FM 方式極超短波多重無線通信装置”『三菱電機』, 32, (1958) 10 p. 91

# 東京タワー向けエレベータ

本社河合武彦\*

## Elevators for Tokyo Tower

Head Office Takehiko KAWAI

Tokyo tower, in which Japan takes pride as the tallest TV tower in the world with its height surpassing the Eiffel Tower, was completed in Tokyo last year. The total height of the tower is 333 meters and an observation platform is provided at the height of 120 meters above the ground for the accommodation of sightseers. Besides, there is one working platform having a space of 132 square meters at point 223 meters high. Under the foot of the tower is a five storied building with one basement which is a modern science museum for the demonstration of scientific knowledge. To this tower Mitsubishi supplied six sets of elevators playing a very important part. In the design and building of these elevators, the company took great pains for dependability, durability, comfort in riding and transporting capacity to be worthy of name of the tower.

### 1. まえがき

エッフェル塔をしのぐ世界に誇る大電波塔として、昨年末完成した「東京タワー」に当社は6台のエレベータを納入した。全高333mの東京タワーは、地上120mの所に展望台を設けて一般の観光用として使用するとともに、223mの高所に132m<sup>2</sup>の作業台を、鉄脚の中央に地下1階、地上5階、延べ21,766m<sup>2</sup>の「近代科学館」を建設して、一般の科学知識を向上させるという珍しい存在である。

東京タワーにおけるエレベータの重要性はきわめて大きく、動脈の働きをするといつてもよいほどで、したがって、設計製作にあたっても確実性、耐久性、乗り心地、



図1.1 東京タワー全景（はるかに富士山を望む）  
Fig. 1.1 Full view of Tokyo tower (commanding the view of Mt. Fuji far away).

交通量の適性などについて細心の注意を払った。

エレベータは、三つの群に分けられる。B群は科学館内だけの使用であって、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>の2台の歯車なし式で一般ビル用となんら変りのないものであるが、A群は科学館内から直接120m上の展望台に直通するA<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>の3台を用意し、歯車なし式ロートトロール方式を採用している。昇降路はガラス張りの展望用であるため、エレベータとしては屋内標準で足りるが、昇降行程が124.48mの高揚程形となるので、ワイヤロープの自重、伸縮ならびに制御ケーブルの強度において、屋内標準としての最大限度に近いものとなっている。

C号機は、展望台上屋を基点としてさらに100mの上、地上223mにある作業台に至る中容量のエレベータで、鉄塔の構造上、全露出形となっているので、当社でききに納入した東京テレビ鉄塔用の交流一段エレベータならびに名古屋テレビ塔に納入した直流可変電圧歯車式エレベータの経験を基に、名古屋テレビ塔のものに準ずるものとしてある。

### 2. A群エレベータ

入口正面に5台並んでいるうちの、右側3台である。向って左からA<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>となっている。

用途 科学館より展望台に至る乗用エレベータ  
容量 2,000kg 定員 22名  
速度 120m/min および 90m/min (二段切換可能)  
方式 直流可変電圧歯車なし式、ロートトロール付 DC. VV. GL. RWBL



図 2.1 A 群エレベータ昇降路近景  
ガラス窓の部分はエレベータカゴ室の窓と相対して  
外景の展望ができる

Fig. 2.1 View of group A elevator shaft.

制御 カースイッチ・コントロール CS  
巻上機 GL42KA 33 kW  
ロープ径 14mm. 2:1 ローピング  
停止個所 1, 2, 5, R, 展<sub>1</sub>, 展<sub>2</sub> (計 6 個所)  
戸閉方式 2CO (中央開) AA-41C 戸閉機械  
昇降行程 124.48 m 全高 135.8 m

## 2.1 昇降路

乗場は科学館内の 1 階, 2 階, 5 階, R(屋上)階, 展<sub>1</sub>(展望台 1 階), 展<sub>2</sub>(展望台 2 階) の 6 個所で, 科学館内の 3 階と 4 階は停止しない。

科学館を過ぎて, 展望台に至る距離が約 100 m もあるので, その間の位置を表示するために, 20 m 間隔に区切った位置知らせ装置を設けて, 運行ならびに乗客に便利な構造とした。したがって位置知らせ盤は次の表示とした。

1, 2, ., ., 5, R, 40 m, 60 m, 80 m, 100 m, 展<sub>1</sub>, 展<sub>2</sub>

科学館内の昇降路は, コンクリート仕上の約 30 m で, 鉄塔内のガラス張り鉄骨構造の昇降路約 100 m に連なっているが, 鉄塔と科学館は, おのおの独立した基礎の上に固定されているので, 経年沈下が一様でないことは当然考えられるので, エレベータレールの設置方法に固定式とシェウ動式を併用した。

鉄塔の基礎は, 科学館のそれに比して, 設計上がんじようできているので, 沈下量は科学館のほうが大きいことになるため, エレベータレールは引張応力を受けることになる。これは圧縮応力を受けるより心配が少ない。よって, 鉄塔内昇降路約 100 m 部分を標準クリップに



図 2.2 A 群エレベータのつりあいオモリ  
中央の 7 本のロープはバランスロープである  
Fig. 2.2 Balancing weight of group A elevators.

よる固定方式とし, 科学館内約 30 m に新機構によるスライディング クリップを採用した。このスライディング クリップ方式は横方向には固定式となり, 長手方向にだけシェウ動することができる構造で, 高揚程形エレベータには欠くことのできないものである。

## 2.2 床合わせ

昇降行程 125 m にもよぶ, この程度のエレベータになると, 卷上ロープの 1 本の長さが 280 m となり, 最大荷重 2,000 kg を積んだ時と, 空の場合とで, 卷上ロープの伸びが直接床合わせに影響してくる。このエレベータにおいては, 2:1 ローピングの点と, 高行程の点を考えて, とくに 14 mm のロープを使用したが, 卷上ロープの伸びによる床合わせ誤差は, 計算上 36 mm となった。これを当社標準着床保証範囲である ±12.5 mm に比較すると, 2~3 回のロープの伸びによる床合わせをする事になるので着床誤差を ±15 mm に広げてその回



図 2.3 科学館 5 階乗場全景  
左より B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> エレベータ入口  
Fig. 2.3 The fifth floor landing place of elevators of Science Building.

数を減じ、したがって着床継電器も、特殊 LI 形磁気誘導継電器を使用した。

営業運転開始 3 日後の 12 月 26 日に行なった実測値によれば、空の時と満員(22名)の時の巻上ロープの伸びは 30~33 mm となり、この補正を行なう床合わせは 1~2 回でおさまり、その円滑さは乗客にはなんら気付かれずに行なわれている現状であった。このことは当社が誇るロートトロール方式の勝利ともいいくべき、カゴの位置における巻上ロープの不均衡ならびに乗客の状態を正確に秤量して、円滑な起動を行なわせるためのハカリ電流の大キサを常時決定するハカリ装置の正確さに負うところが多い。

### 2.3 運転実績

A 群エレベータの営業運転は、1 階で展望台行の乗客を乗せ、直通で展 1 階まで運び、ここで全乗客を降し、空のままで展 2 階に昇り、展 2 階より降りる客を乗せ、科学館内 5 階まで直通で降り、ここで全乗客を降す。さらに空のままで 1 階まで降り展望台行の乗客を乗せる運転を続けている。3 台とも同一系統運転で、上りは 2, 5, R 階は通過、降りは展 1, R, 2 階は通過となる。

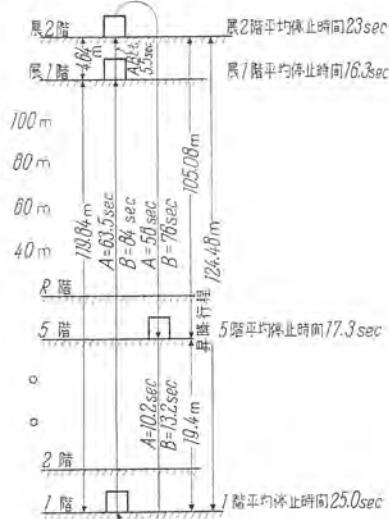
これを図示すれば図 2.4 のようになる。

上記営業運転における定格速度 120 m/min、ならびに 90 m/min の場合の平均 1 周時間の実測結果は次のとおりである。

120 m/min の時 218.8 sec.

90 m/min の時 260.3 sec.

1 時間あたりの輸送能力を計算すると、定員 22 名で、途中階における乗降が全々ないので、つぎの式で表わさ



注 下一開閉時間は全閉までを停止時間に、全開までを走行時間に含めた  
A=120 m/min の場合の走行時間 B=90 m/min の場合の走行時間

図 2.4 A 群エレベータの実測データ

Fig. 2.4 Measurement data of elevators of group A.



図 2.5 A 号機カゴ室

正面のカベはつりあいオモリの通路に面しているので窓は設けていない

Fig. 2.5 No. A elevator car.

れる。  

$$\frac{60 \times 60 \times (\text{エレベータの定員} \times 2)}{\text{平均 1 周時間(sec)}} \times \text{台数}$$

$$120 \text{ m/min の時 } \frac{60 \times 60 \times (22 \times 2)}{218.3} \times 3 = 2,172 \text{ 人}$$

$$90 \text{ m/min の時 } \frac{60 \times 60 \times (22 \times 2)}{260.3} \times 3 = 1,826 \text{ 人}$$

### 2.4 カゴ室

2.3 mm の高級仕上鋼板にメラミン焼付を施し、壁および扉は淡ピンク色、天井はクリーム色仕上で、腰上に 8 個の強化ガラスの窓を設け、さらに手スリ下にも強化ガラスの小窓 8 個を用意し、昇降路のガラス張りを通して四方の景色を観賞できる構造である。

扉は 22 名の定員の迅速な出入に便利に、4 枚戸 4 板両開を採用し、AA 形最高級戸閉方式によって、静かなる高速扉となっている。

高出力形三菱ケイ光灯 80 W × 4 本の照明は、長方形 2 個のアクリル板グローブと相まって、気分も晴れやかになるほどの効果を出すことができた。停電時にはただちに 60 W 白熱灯 4 個に切りかえられる。

換気装置も、天井のデヒューザ形電気扇と、巾木部分の通気口とで、理想的な状態を保つことができる。

### 3. B 群エレベータ

科学館入口正面にあるエレベータのうち、向って左から B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> 号の 2 台である。もっぱら科学館内の輸送にあたるもので、一般ビル用となんら変りがない。A 群エレベータに比べて多少小さく設計されている。

用 途 科学館内専用の乗用エレベータ

容 量 1,300 kg 定員 16 名

速 度 105 m/min  
 方 式 直流可変電圧歯車なし式ロートトロール付  
 DC. VV. GL. RWBL  
 制 御 カースイッチコントロール CS  
 卷 上 機 GL21KA 21 kW  
 ロープ径 12 mm 2:1 ローピング  
 停止個所  
     B<sub>1</sub> 号機 B<sub>1</sub>, 1, 2, 3, 4, 5, R (計 7 個所)  
     B<sub>2</sub> 号機 1, 2, 3, 4, 5, R (計 6 個所)  
 戸閉方式 BA 形戸閉 板戸 2 枚戸 2 板開  
     #B<sub>1</sub> 左勝手 #B<sub>2</sub> 右勝手

昇降行程  
     B<sub>1</sub> 号機 24.95 m 全高 32.25 m  
     B<sub>2</sub> 号機 19.95 m 全高 27.25 m

カゴ室は A 群エレベータに準じているが、昇降路がコンクリート造りであるため窓ガラスは設けないが、高出力形三菱ケイ光灯 80 W×2 本としたほかは、A 群エレベータのカゴ室と同様である。

扉は 2 枚戸 2 板片開であるので、両開きほどの速度は出せないが、必要にして十分な機能を有するものである。

#### 4. C 号エレベータ

展望台用エレベータ A 群の上部機械室屋上から、さらに上方の作業台（地上 223 m）に至る屋外用エレベータで鉄塔の構造上全露出形となっている。

鉄塔の重心を下げる意味と、保守点検に便利にするために、上部機械室には卷上機、卷上電動機、位置知らせ機械、非常止め用調速機だけを設け、その他のもの、総制御盤、M-G、受電盤などは A 群展望台用エレベータ機械室内に設置してある。塔内配線は露天用に十分に耐え



図 4.1 A 群エレベータ昇降路 カゴ上より頂部を望む  
ガラス窓の関係で非常に明るい

Fig. 4.1 Looking up the top from the shaft of group A elevator.

東京タワー向けエレベータ・河合

るよう特殊ビニール多心ケーブルを用い、すべて電線管工事を行ない、高所における風圧による機械的損傷からの保護と雑音防止用を兼ねさせた。

昇降路途中にあるリミットスイッチ類は、すべて油入り防水形を使用し、完全防水に万全を期した。

用 途 アンテナ保守用（人貨用）  
 容 量 1,000 kg 定員 9 名  
 速 度 60 m/min  
 方 式 直流可変電圧歯車つき式  
 制 御 カーボタン制御  
 卷 上 機 EMX-480L 19 kW  
 ロープ径 16 mm 1:1 ローピング 全巻  
 停止個所 H<sub>14</sub>, H<sub>24</sub> (2 個所)  
 戸閉方式 カゴ室の戸 板戸 2 枚戸 2 枚開 左勝手  
     乗場の戸 鋼製たたみ格子戸 手動  
 昇降行程 85.222 m (全高 94.31 m)

#### 4.1 昇 降 路

すべての機器は、巾 2 m、奥行 3 m の鉄ワクの中に納められ、つりあいオモリはミゾ形鋼で仕切られた別ワクの形の中に入れて、巻上ロープの風圧による左右前後の振れは多数の木製ローラによって保護させた。

高揚程のために、使用する巻上ロープの自重によって巻上機に、定格容量の 50% に相当する不平衡荷重が掛かることになり、トラクション能力に不足を生ずるので、

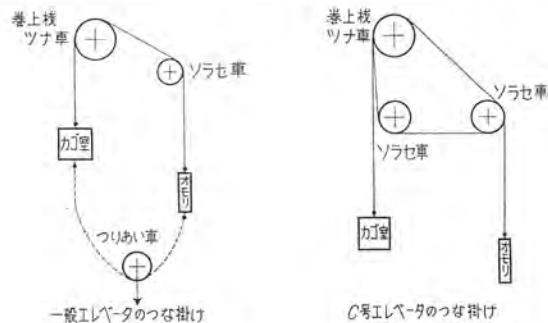


図 4.2 つな掛け法  
Fig. 4.2 Roping method.

全巻つな掛けとした。図 4.2 に一般のエレベータのつな掛けと、このエレベータに採用した全巻つな掛けの略図を示した。

カゴ内機器への給電方法は、多心ケーブルを廃して、トロリ線式とし、極力本数を減らして 11 本とした。

その使用内訳は次のとおりである。

制御回路用	5 本
カゴ内照明回路用	2 本

トロリ線は電車用のミヅ付硬銅トロリ線  $70 \text{ mm}^2$  を使ったが、これは電流容量よりも、強度を主として考えたために太くなっている。トロリ線は 11 本を 1 列に並べてカゴワクの左手に設置し、カゴワクから青銅系焼結含油合金のスライダによって集電する構造とした。

走行途中のスライダとトロリ線間のバウンドを考慮して、スライダはトロリ線 1 本につき、上向と下向の 2 本から集電することにして、運転の確実性をねらった。

トロリ線は、昇降路鉄塔に固定した山形鋼に硬ガイシ



図 4.3 A 群エレベータ用巻上機

Fig. 4.3 Traction motor for group A elevator.

をもって固定し、下部には途中の曲りを防ぐ意味で引張り装置をつけた。

#### 4.2 床合わせ

高揚程のために床合わせは巻上ロープの伸びならびに風圧によるワン曲のための見掛け上の縮みによって浮動することが考えられる。

このエレベータにおいては、巻上ロープをとくに太くして  $16 \text{ mm}$  としたが、容量による巻上ロープの伸縮は計算上  $22 \text{ mm}$  の差を生じることになる。さらに巻上ロープのワン曲を考えると  $50 \text{ mm}$  程度の差になるので、床合わせ装置には苦心を払った。容量の差による自然の姿における床合わせは問題はないが、風速による巻上ロープのワン曲からくるカゴ室の上下動は、つねに上下の移動を生じ、そのつど床合わせをひんぱんに行なうこととはムダがあるので、乗場操作盤に「Relevel Cut」ボタンを設け、床合わせ動作回路を切り放すことができるようにしてある。

#### 4.3 操作方式

作業用エレベータであるために、運転手をつけて置くムダを省くため、運転はカゴ内だけでなく乗場からも運転できるカーボタン制御を採用した。

加速、減速、着床は自動的に正確に行なわれ、運転技

術は必要がない。乗場操作盤は下の乗場 ( $H_{14}$ ) に設けてあり、この中の「Operation」キースイッチの操作で、カゴ内操作か、乗場側操作かに自由に、切りかえられる。

構造を簡易化するために戸閉方式は手動式としたため乗場の戸とカゴの戸を手で閉めた後に「Up」または「Down」ボタンを押すことによって、自動的に目的階に向って進行し、自動停止、自動着床を行なう。

#### 4.4 その他の特殊装置

カゴ側非常止めは GS-200 形次第ぎき非常止めを使ってあるが、つりあいオモリ側にも、スラッグケーブル形非常止めを装着し、つりあいオモリの落下を防いでいる。調速機からの風圧によるワン曲を防ぐために、下部に十分なオモリを置くとともに、一定以上のワン曲に対しては強制規正のストップを設けてある。

カゴ側ガイドとして、レールに給油の必要のない「ローラーガイド」を採用してあるので、外気中における給油の困難さは心配いらない。

カゴ室の壁には鉄塔の状況、トロリ線の視察、つりあいオモリの状況などの点検のために、強化ガラス製の窓を設け、保守、点検に役だたせてある。

カゴ室天井は二重天井として、雨水の浸入、水たまりの防止に意を使つた。その他側板の接合部にはアルダイトペーストを用い、カゴ室内への浸水を防いでいる。

#### 4.5 防錆処理

カゴ室、カゴの戸などの鉄板塗装部品の下地処理は、とくに十分なるポンデ処理（リン酸皮膜処理）を行なつて、耐食性を与え、カゴ室外周、レールその他露出部分は、ジンクロメート処理を 2 回行ない、銀色ラッカ吹付仕上として、防食と美観を兼ねさせた。

いずれも名古屋テレビ塔における実績をもとにした万全の対策ということができる。

### 5. む す び

鉄塔としては、世界一と折紙つきの東京タワーの唯一の交通機関として 6 台のエレベータを納入した当社の光栄に報ゆる道は、順調な運転以外に考えられない。

危険の多い高所のエレベータすえ付工事も、幸にしていさかの事故もなく完了して、予定どおり所期の運転成績をあげていることは喜ばしいことである。

この実績を基にして、さらに高揚程、高速度のエレベータにおける諸問題に、挑戦できる日の近からんことを祈ってこの報告を終る。



## ボイラ (3)

## —ボイラの自動燃焼制御装置 (A.C.C) —

## 6. 電気-空気圧式

## 6.1 Brawn 電気-空気圧式

この形式のものは電気-空気圧式といふよりはむしろ空気圧式といったほうがよいかも知れないが一部の検出部でその測定値を電送するものがあるので、この部類に入れたにすぎない。制御系統の大部分が空気圧信号によって制御されている。

この装置の系統図を図 6.1 に示す。図に示されているように主圧力発信器は空気圧式零バランス方式が採用され蒸気圧力を信号空気圧に変換し、主圧力調節計へ発信する。主圧力調節計ではこの空気圧信号が指針に作用し、つねに設定点に置かれている設定指標とこの指針とのなす角度が偏差を示し、この角度が信号空気圧を変化させる。

主圧力調節計からの信号空気圧は次の蒸気流量調節計へ送達され、その設定指標となり蒸気流量電送器よりの指針とのなす角度が制御量となり蒸気流量調節計より信号空気圧を発信する。この信号空気圧により燃料と空気流量とが同時に調節される。

蒸気流量電送器よりの信号は蒸気流量調節計へ電送されると同時に蒸気流量発信計へも電送され、空気流量調節計へ発信される。空気流量調節計ではこの信号が設定指標となり空気流量電送器よりの信号による指針との差角を制御量とした空気圧信号を発信する。この空気圧信号は蒸気流量調節計よりの信号と totalizer で合成され、操作信号となって空気流量調節弁である F.D. Fan の vane を調節する。

要するにこの装置では主圧力調節計で蒸気圧力がつねに一定

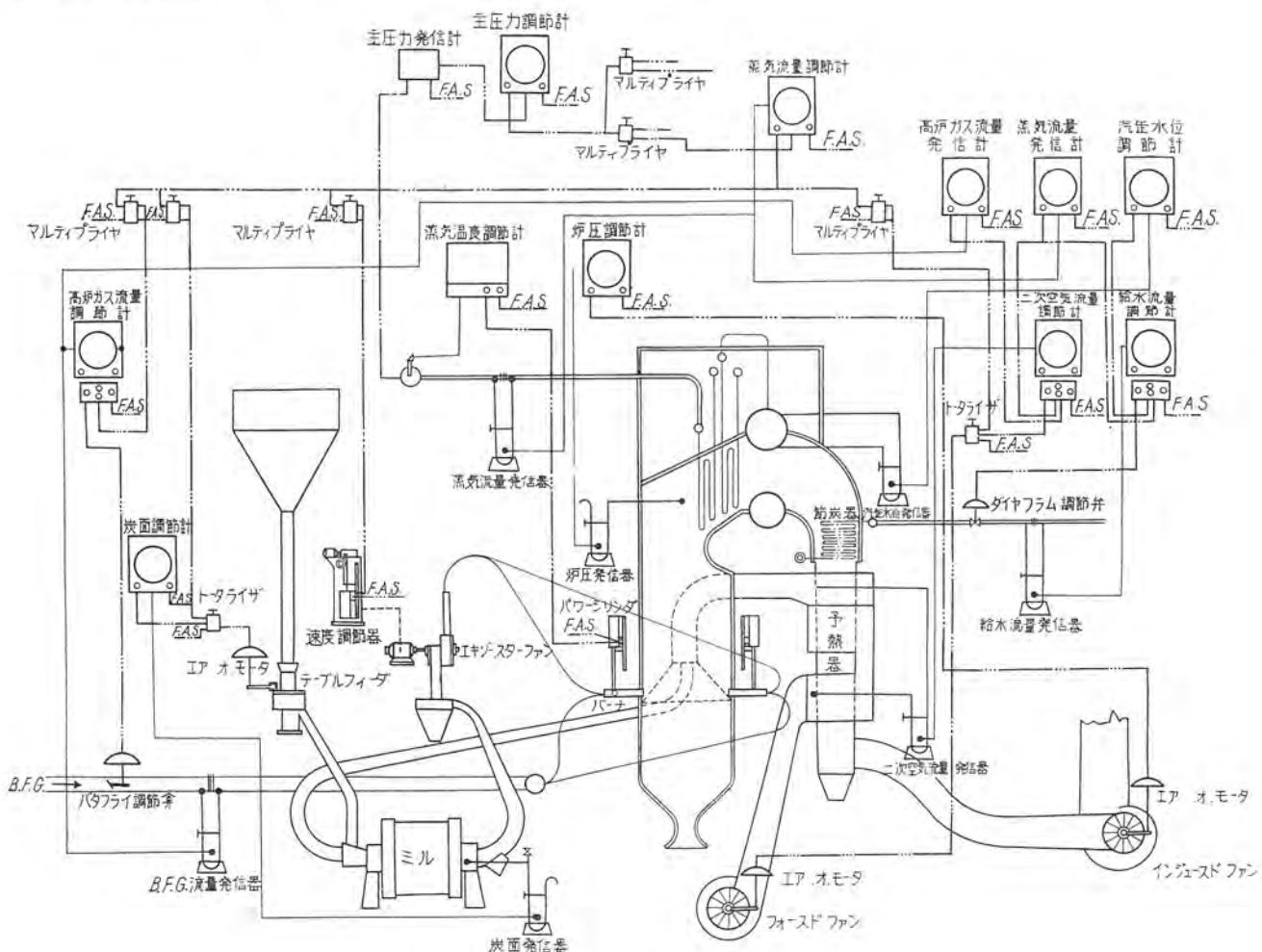


図 6.1 ブラウン式自動制御系統図

## 技術解説

になるように制御し、蒸気流量調節計で制御量である圧力偏差と蒸気流量の orifice 計測で発生した差圧とが一致するように燃料ならびに空気量が制御されている。各調節計には P.I.D.動作の機構ならびに比例帶を調節するカム機構を装備している。

### 6.2 メージンス、電気一空気圧式

この装置では検出部の測定値をそれぞれ抵抗値変化として調節するブリッジ方式を採用している。

その系統図を図 6.2 に示す。図に見るよう蒸気圧力の測定検出値を電送して平衡ブリッジを使用した電気空気圧式調節器で空気圧信号に変換し、ミルの排炭機入口ダムバ調節機に送って燃料を調節し、操作されたダムバ開度を selsin motor を使って平衡ブリッジに feed back している。

燃料空気調節器では上記のダムバ開度を示す selsin motor よりの信号と、空気予熱器通過抵抗差圧より検出した空気量の信号とを平衡ブリッジに受け、燃焼ガスの O<sub>2</sub> 発信器より発信された比率設定抵抗による空気圧信号で押込通風機の変速装置を調節して一定の燃料空気量比を保つように調節する。

ミル平衡調節器では排炭機入口ダムバ調節器の開度 selsin motor よりの信号とコールフィーダ用 motor の過電流式回転計よりの信号とを平衡ブリッジに受け、ミルの炭面計の信号の比率設定抵抗による空気圧信号で、コールフィーダ用変速装置

を調節する。

またミルは単独にミル温度調節器によって冷風ダムバを加減し、ミル圧力調節器によって一次空気ダムバの加減を行なっている。

各調節器は広範囲に調節可能なる弾性復元装置を有し、P.I.D.動作の機構を装備している。

要するにこの装置は電気的測定の長所と空気圧式制御のいわゆる連続制御の長所とを兼備したもので、負荷の検出を蒸気圧力でなし、ミルの排炭機入口ダムバで燃料を加減し、このダムバの開度を検出して空気と炭量とを加減している。

炉内圧力を一定に保持するために炉内圧力を測定検出して炉内圧調節器の平衡ブリッジに受け空気圧信号に変換発信して誘引通風機を調節する。

### 7. 空気圧一電気式

この形式の装置はごく最近 power plant と一緒に輸入されたもので、Leeds & Northrup の製品である。その系統図を図 7.1 に示す。図に示すように検出変換ならびに調節部分は空気圧式で操作部は電気式である。系統図について検討するとまず master controller でその bourdon tube に蒸気圧力を導入して負荷の検出をなし、空気圧信号として発信するが、この空気圧信号は pressure modulator で適当に減圧され、平方根開方

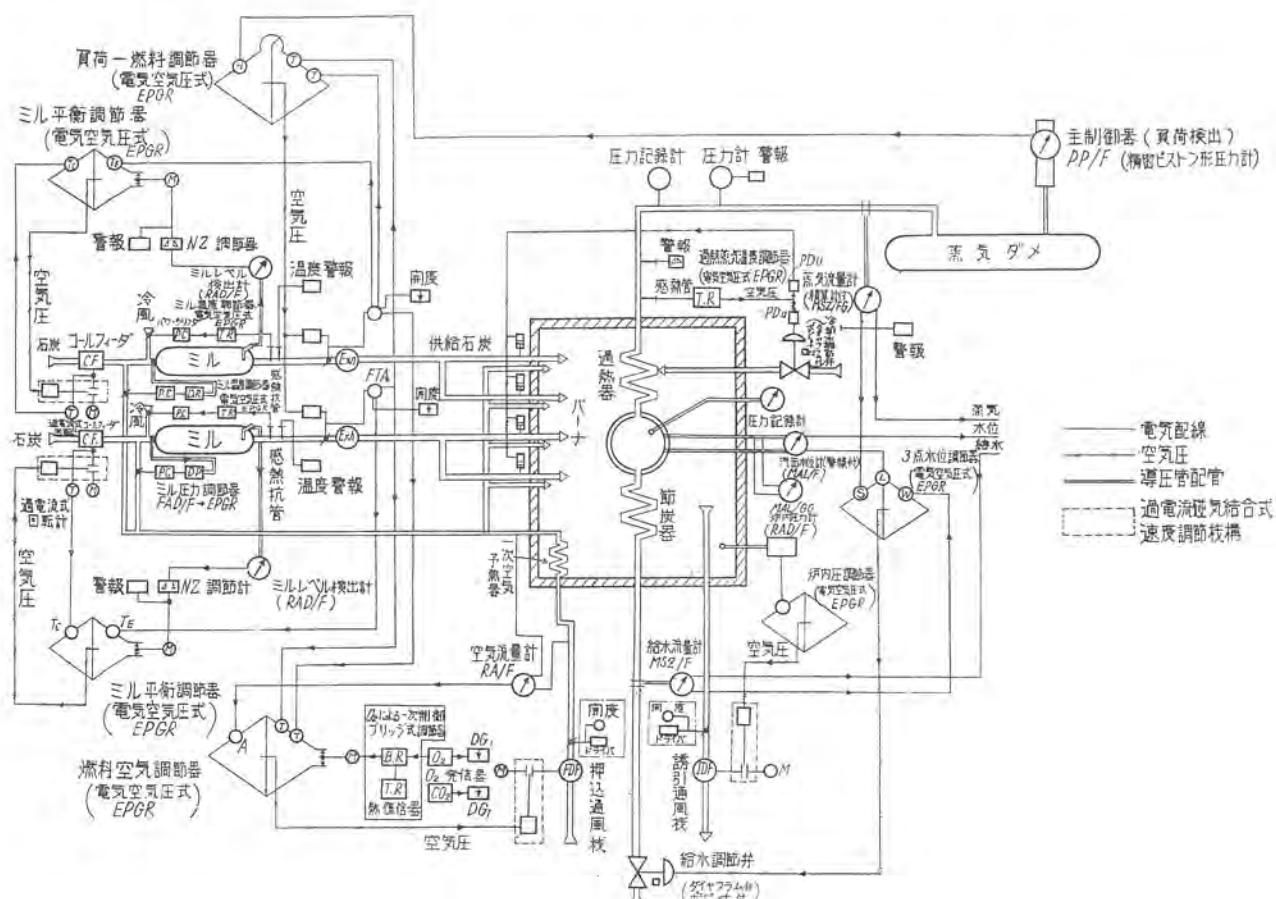


図 6.2 ジーメンス式自動制御装置

## 技術解説

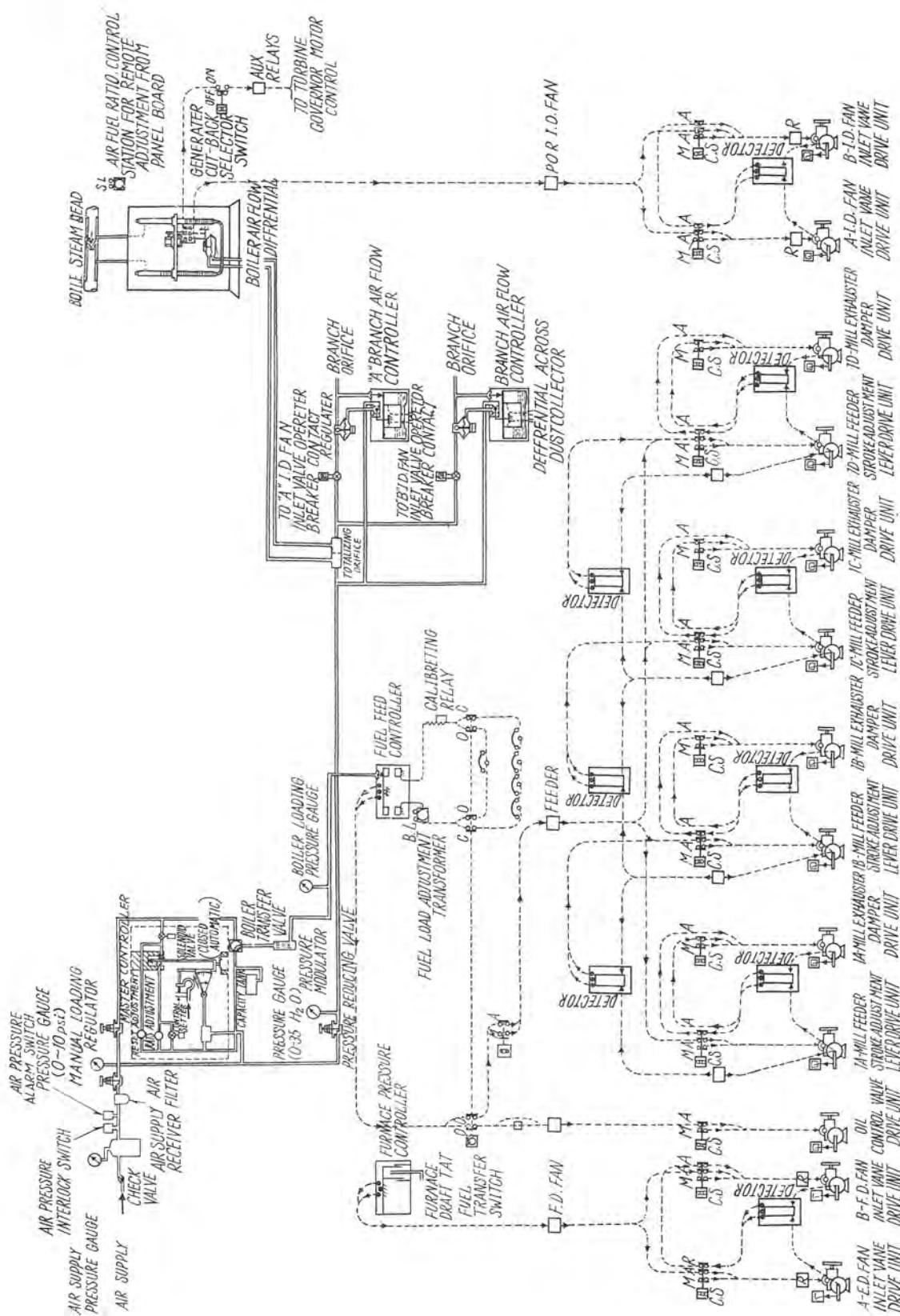


図 7.1 ヨード式自動制御系統図

SYMBOLS  
 A: AUTOMATIC      C: COAL  
 M: MANUAL      MBR: MILL BIAS DMEOSTAT  
 P: POSITION INDICATOR      CIL: BALANCING LIGHTS  
 PC: PROPORTIONAL CONTROL RELAY      CS: CONTROL STATION  
 P: PARALLEL OPERATION RELAY      ER: EQUALIZING RELAY  
 POR: REVERSING CONTACTOR OPERATION OF GENERATOR CUTBACK CIRCUIT  
 R: LIGHT INDICATING  
 L: LIGHT INDICATING PARALLEL OPERATION RELAY

## 技術解説

された後 fuel feed controller に送達される。

この controller では空気圧信号に従って増減の電気信号となって、同期電動機を回し timing contact によって連続的に mill feeder stroke adjustment lever driving unit に信号を送って燃料を調節するが mill に供給する全給炭量の計測は各 mill の給炭機速度調整用駆動装置の減速軸に機械的に連結された variable transformer によって行なわれ、各 transformer は給炭量に相当した lever の位置に比例した出力電圧を発生するのでこの合成全発生電圧は fuel feed controller に feed back して master からの信号空気圧と balance させられることになる。

なお各 mill に対して exhauster damper controller を給炭機制御の補足用として置き、mill から出る空気量と mill にはいる給炭量との間に適当な関係を保たせるためにそれぞれの給炭機制御機構の位置に対して exhauster damper の位置を適当に決めるようにしている。

Steam flow proportioning air flow controller に燃料供給量の代りに steam flow の要素を、なお別途に計測、検出した air flow の要素を導入する、この controller では両方の要素に基づいて蒸気量と空気量とが一定比率を保つように比率調整された電気信号を発信して、同期電動機を回し、timing con-

tact によって連続的に I.D. Fan の vane を調節する。Furnace pressure controller で炉内圧力を検出して、同期電動機 timing contact を使って F.D. Fan の vane を調節して炉内圧力を一定に保持するようしている。

## 8. 電 気 式

この形式の装置は古くから Siemens が作っているものである。図 8.1 に示す系統図は Benson Boiler 用として計画製作したものである。この装置は前に述べたものと被制御体である Boiler の形式が異なりしたがってその制御系統、方式など比較にならない。

ただこれには電気式ものとしてその系統図を示すにとどめる。

## 9. 各種 A.C.C. の比較

空気圧式は圧縮空気源を作る装置が膨大になるという欠点と圧縮空気の調質装置が割に複雑になるという欠点から寒冷の場所ではこの形式の使用をあまり好まない所もある。これらの欠点を除けば空気管はモドリ管の必要もなく割に配管も簡単であり非常に使いやすい、取扱容易な装置である。

油圧式は媒介物に圧縮性がないと、油圧を造る設備が非常

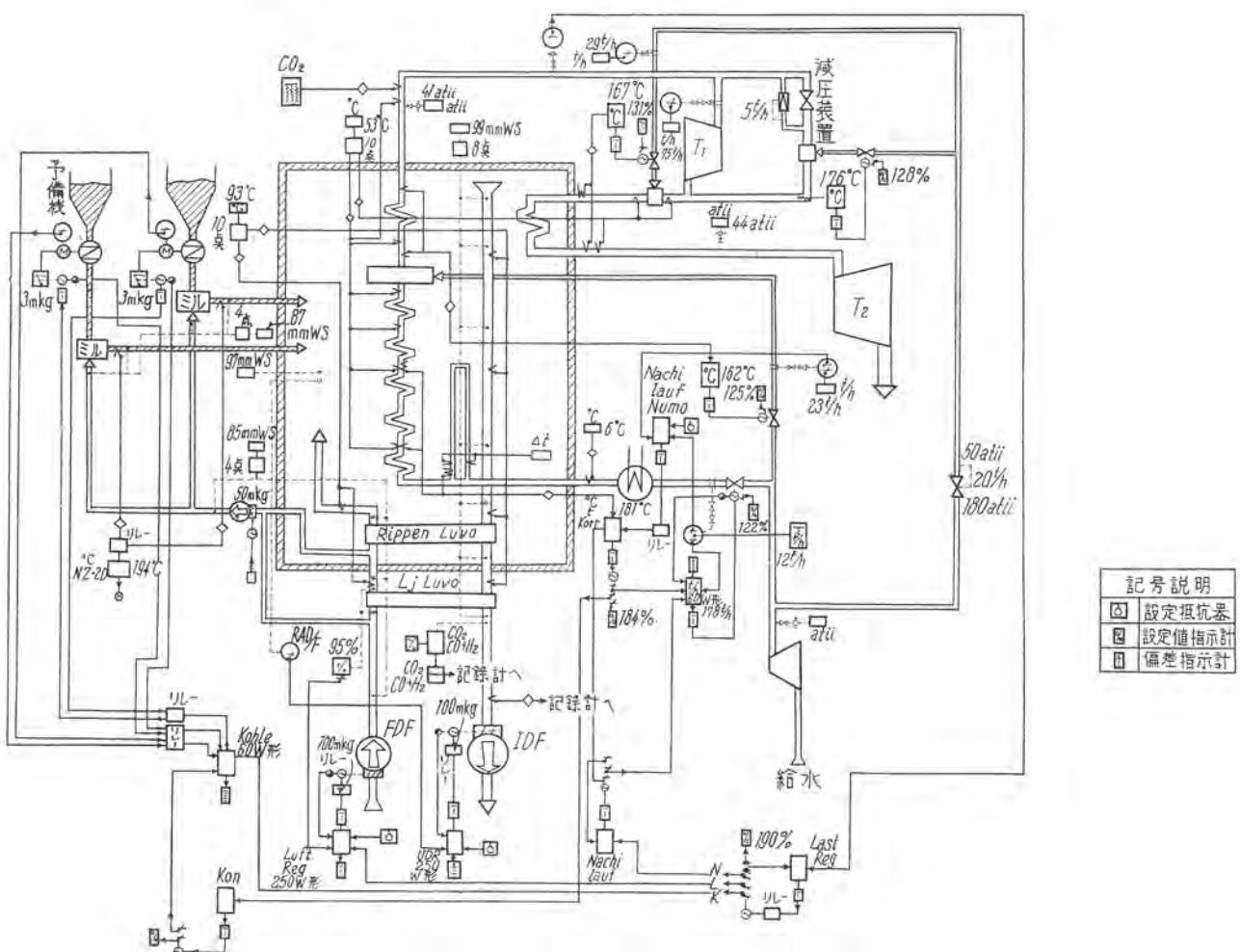


図 8.1 ベンソン汽缶用ジーメンス式自動制御系統図

## 技術解説

に小さいので好まれるが plant が高圧高温になるに従い油漏れによる火災などの危険がある欠点とモドリ管が入用なため配管が割に複雑になる欠点がある。

また調節端に power piston を使用することになると、操作の作動が積分動作基本となるので plant の特性によっては考慮を払う必要を生ずる欠点がある。しかし寒冷の地などでは空気圧式よりもこの形式のものを好むところもある。

電気式は他の形式のように複雑な配管がなく、電気配線だけですむので装置全体が小形となり、清潔を感じを与えるが、調節端が継続制御になる欠点がある。また特殊な化学工場などに装備される場合には電気部品がガスによって浸され、使用中作動不円滑になる危険があつて好まれない欠点がある。

電気一空気圧式は電気式の検出早さと空気圧式の調節端の連続制御の利点とを採用した装置であるが、この両長所の反面には両設備を要する複雑さと電機部品汚損の欠点がある。

空気圧一電気式のものはちょうど上記の電気一空気圧式のものの逆なものであるが、調節端が継続制御で十分その plant の動特性を満足するものにはさしつかえない。

とくに空気圧式の部分で被測定物の変化の測定量を制御値に完全に変換して電気式の部分は操作量の伝達だけとする。この式は空気圧式の部分での取扱が非常に容易であるので大変簡潔なまとめりのある装置となっている。

欠点としては前にも述べたように調節端の継続制御であるから負荷変動の少ない発電所の制御には申し分ないと思うがセシ頓負荷の掛ることの多い発電所などの制御には一考を要すると思われる点と上記の電気一空気圧式と同様二重設備の点である。

以上概略各種の A.C.C. の得失について述べたが各形式とも一長一短があつていずれのものがすぐるともいえないが要是装備される plant の立地条件、負荷変化の状態、汽缶の構造、汽缶の仕様などの条件によって選定されなければならない。

### 10. むすび

第4項から第8項にわたって各種類の A.C.C. についてその制御方式、系統など概略の説明をしたが、これを要約すると、負荷の検出は蒸気圧力を測定してこれにあてその測定値に基づいて燃焼量を加減し、蒸気圧力を一定に保つように制御している。また或るものは蒸気圧力を基にした制御信号に蒸気量によるものを付加した制御信号を発信し、燃焼量を加減する方式のものもある。

負荷と蒸気圧力との間に自乗法則を採用してとくに制御信号を発信し、燃焼量を加減しているものもある。

汽缶の大容量化に伴って負荷の検出を蒸気圧力で測定するのは当を得ていない。むしろ蒸気流量を直接測定して負荷の検出にあてるべきで蒸気圧力によるものは制御系の時定数が過大となるので第二義的意味に使用すべきであるという意見を発表している向もある。

炉内に送り込む空気量は燃料に比例して供給され、最適の空気過剰率になるように制御されればよいのであるが、直接燃料の供給量を測定することは精度の点で問題がありとくに石炭などの場合は困難であるから燃料の測定の代りに、蒸気圧力を検出した master からの信号で燃料とともに並行して制御しているものがあり、またこの燃料要求の信号を別途に測定した蒸気量ならびに空気量で制御される比率調整器からの信号で再修正して発信された信号で調節している形式のものもある。

燃料は負荷の検出信号で制御され、空気量は別途に測定された蒸気量ならびに空気量で比率調整された比率調整器からの信号で別途に調節しているものもある。

変った形式のものでは蒸気圧力を検出発信した master signal で空気量を制御し、この通過空気の差圧を検出して自乗平方根し、この値をもって燃料要求信号とし、並行にこの信号をそのまま空気量制御の信号源である totalizer へ feed back しているものもある。

炉内圧力を一定に保つための手段としては直接炉内圧力を検出して F.D. Fan または I.D. Fan の vane を調節している。

以上のように種々の制御方式のものが現在採用されているが、いずれも一長一短があつていずれのものがまさっているともいえない。

各 A.C.C. maker がその制御系統中に使用している transmitter, relay, totalizer, controller, operator などの機械はほとんどすべてがその maker の特許品であつて、これらの機器類そのものが制御方式の生命であり制御方式自体を決定づけていともいえよう。

計画の plant に対してどの種類の A.C.C. を選択使用するかはいろいろな条件に基づいて選定されるであろうが一度選定されたらそれがたとえ空気圧式であれ油圧式であれ A.C.C. のあり方についてはこれを適用する plant の特性に応じてこれを十分満足させるようなものにされなければならない。

なお A.C.C. の装置自体はいかに優秀なものであっても被制御体と装置との取合部すなわち検出部の測定装置ならびに調節端の vane, damper の特性などが不十分であったらその plant の自動制御はむづかしいということにもまた留意すべきである。

(長崎造船所 東 洋行)

棒にペレットをつめてから引伸して被覆とペレットを密着させる引伸し法によるペレット寸法公差の緩和と、熱伝達の改良および薄肉被覆管の使用などを研究中であるが、いちばん大きな要因は多量生産で酸化ウラン使用の発電所が多数建設されることである。 (三菱原子力工業株式会社 横須賀正寿訳)

## ヤンキー発電所……原子力発展の新しい一步

R. L. WITZKE, A. E. VOYSEY: The Yankee Plant .... a new step in atomic progress (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 4, July, 1958, p. 102 ~106)

ヤンキー原子力発電所は、軽濃縮ウラン使用の加圧水形で、経済的原子力発電所として、一般公衆と運転員の安全を確保しつつ、その他の点では非常に簡単、経済的であることを目標にしている。その特色として、(1) 不銹鋼被覆の軽濃縮  $UO_2$  ペレット燃料の使用、(2) できるだけ標準品、標準設計および標準建設方法の採用による建設費の軽減、(3) 燃料と大気間の四重の隔壁(ペレット自身の分裂生成物の保持性、気密の不銹鋼管被覆、無漏洩の一次系、コンテナ)による安全の確保、などがあげられる。シッピングポートとのおもな比較を表に示す。

原子炉は熱出力 482 MW、圧力 2,000 psia、平均温度は 514°F 4 冷却ループで、一次系は直径 1.25 ft. の鋼製球形コンテナ内に納められている。電気出力 145 MW、正味出力 134 MW であるが、二次系は建設費を多額に増加せずに全出力 160 MW が出来るように考えられている。

最初の炉心は直径 0.29 in. 高さ 0.6 in. のペレット 150 個をつめた燃料棒を 305 ないし 306 本あつめた燃料群 76 個となり、約 3% 濃縮の酸化ウランを約 50,000 lb 装入する。392 MW で 10,000 時間の運転、平均燃焼率 8,200 MWd/t の予定である。24 本の制御棒のほかに化学的停止系を併用する。この炉心で出力 482 MW まで出せるように研究中で、熱水路係数の切下げ、運転圧力の 2,150 psia までの増加、多領域燃料装荷などが考えられるが、以上の手段でだめなら、炉心の高さを 8.5 ft. に延長できる。

最初の炉心で出力 392 MW、10,000 時間運転として正味 kWhあたりの燃料費は全化学処理費を含めて約 4 ミルになるが、燃料費軽減に努力が払われている。とくに成形加工費の低減がねらいで、 $UO_2$  粉末処理の簡単化、長いペレットの製造、燃料

### シッピングポートとヤンキーの比較

ヤンキー		PWR
核設計	一様装荷	シードおよびブランケット
燃料	軽濃縮 $UO_2$	$UO_2$ ペレット(ブランケット) $U_{235}$ 板(シード)
燃料被覆	不銹鋼	ジルコニウム ハフニウム
制御棒	銀-インシュウム-カドミウム	制御棒
常温停止	球カク 1 回	カク 4 回連結 一部地下
コンテナ	地 上	水圧式
遠隔操作弁	電気式	電力発生に必要な最小限 実験と電力発生に必要なもの 実験要求と矛盾しない水路
計装	簡単なヒット	実験要求に合致する能力
燃料貯蔵	電力要求に合致するよう簡単化	実験要求に合致する能力
廃棄物処理		

## 自動厚み制御

"Automatic gauge control" (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 5, Sept. 1958, p. 139)

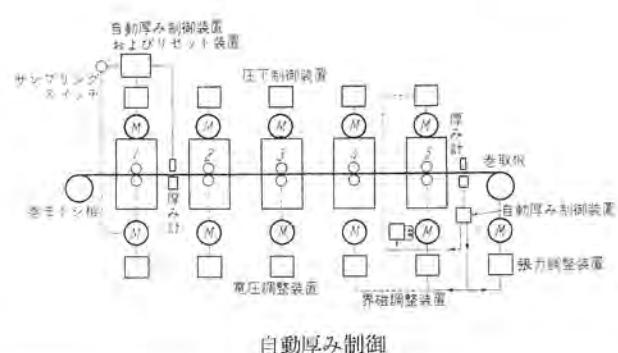
冷間圧延機の生産速度は最近非常に高速に進みつつある。たとえばフィーリング製鉄会社のヨークビル工場(オハイオ州)の 5 スタンド冷間圧延機は毎分 1,829 m/min の速度で好調に運転されている。このような高速にもかかわらず、ストリップは板厚が  $\pm 0.0001$  in の精度を保つように自動厚み制御装置によって精密に制御される。このような高速圧延機では急速に板厚の誤差を修正し、不良品を少なくするために自動厚み制御が必要となる。この圧延機に使用されている放射線厚み計は板と接触せずまた可動部分がないのでなんら摩耗などの故障を受けることがまったくない。

自動厚み制御装置は自動的にストリップの厚み測定ならびに記録を行ない自動制御回路によって圧延機は自動的に厚みの変化を修正する。No. 1 スタンドの出口にある放射線厚み計は No. 1 スタンドの下を制御し、板厚の変化を減じ圧延機に一定な厚みのストリップを送り出すようにする。サンプリングスイッチは圧延速度に比例したサンプル間波数を調整しストリップの 30.48 cm あたりの板厚測定回数を所定値に保つようにしている。

No. 5 スタンドの厚み制御はストリップ張力を調整するために No. 5 スタンドとリールを制御し最終製品を所定厚みにする。

No. 5 スタンドは 4,500 kW の双駆動方式であり 2 台の 2,200 kW, 250-550 rpm, 750 V 二重電機子形からなり、1;2 の歯車装置を通じて各リーキングロールに連結されている。各 1,100 kW 電動機は慣性を少くするために電機子の径を小さく設計され横並び配置とされている。圧延機の全駆動容量は 16,900 kW である。

(神戸製作所 紙谷鉄夫訳)



## 電気暖房

Stuart L. Forsyth: Electric Heating (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 5, Sept. 1958, p. 140 ~143)

電気暖房はかつてあまり歓迎されなかったが、今や時代の寵児となり、急速な需要の増大をきたし、1960年までに約100万軒が電気暖房を採用するであろうといわれている。これは電力利用の観点から、空気調節装置の普及により電力のセン頭負荷が冬から夏に移行したことと供給電力が増加したことによるものである。

電気暖房方式としては基本的に次の7種類が採用されている。すなわち（1）中央温風方式（建物の中央にある電気炉よりダクトを通じ温風を送る方式）（2）中央温水方式（建物の中央にある電気ボイラからパイプやラジエーターに温水または蒸気を送る方式）（3）セン頭負荷時回避方式（1日の特定時間に対しては電力を必要としない貯蔵形暖房方式）（4）ヒートポンプ方式（同一装置で暖房と冷房と両方できる方式）（5）パネル方式（天井、床、壁など広い部分を低温発熱体により加熱する方式）（6）床下方式（床下に電気炉を設け床面あるいは壁内に温風を送る方式）（7）局所暖房方式（個々の電気暖房器による方式）。

電気暖房の負荷特性は採用される暖房方式や使用者の生活慣習により影響されるし、また天候、建築構造、熱絶縁状況などによっても相違するが、最善の負荷特性をうるには温度調節器を建物に内蔵して絶えず温度調節しながら暖房することが望ましい。このようにすれば朝は周囲温度が高いので消費電力が減少し、早朝、夜間は周囲温度が低下するので消費電力が増大する。すなわち他の負荷のセン頭負荷時以外に、消費電力が増加するので負荷特性をよくすることになる。したがって使用者は電力費の負担が少なくなり、かつては一定の快適な温度をうることができると、電力会社にとっても好都合となる。

電気暖房を家庭に採用することによって年間の電力使用量は3倍にもなりそうであるが、レンジや温水器や乾燥機と異なり、消費電力のほとんどがセン頭負荷時に集中することがない。家庭暖房のための消費電力はきたるべき5ヵ年間には毎年25%の割合で増大することが予想される。その後も若干、比率は低下するにせよついに増加の一途をたどるであろう。すなわち1957年には約5,400,000 kWhが電気暖房に使用されたが、1970年までには77,600,000 kWhが電気暖房に使用されることになるであろう。

（家庭電器工場 鈴木測記）

## 自動ガス切斷機

What's new in Engineering: Look.....no Hands (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 5, Sept. 1958, p. 144)

写真は、紙に書いた图形にならって板金を自動的にガス切斷することのできる electronic tracer である。この装置は、Photo-Sensitive Cell を応用し、これに小刻みな vibration を与えなが

ら、鉛筆書きされた图形にならって移動するようになっている。

現在までのところ、多量生産に用いられているガス溶断機のトーチを図線に沿って移動させる方法のおもなものは二通りあるが、その第1の方法は、トレーシングの操作を手で行なうもので、図線に沿って作業者が手でトレーシングヘッドを移動させると、溶断機のトーチがそれに機械的に連動されており、図線と同じ軌跡を描くようになっている。第2の方法は、前述の手で移動させていた部分を自動的に移動させるようにしたものであって、写真はその代表例である。

この装置のトレーサは、さきに述べたように、Photo-Conductive Cell を使った小形の scanning mechanism であって、Photo-Conductive Cell は小刻みで急速な vibration を行ないながら trace して行く。図線が、vibration の中心からはずれかけると、error signal が制御回路に送られ、小形モータが回って、Photo-Conductive Cell は線上に引きもどされる。

この装置は最高約 760 mm/min の速度で、相当複雑な形状でも正しく追跡することができる。

この装置が図線に沿って進んでいるときに、作業を中止するためとか、あるいは不測の事故が生じて Photo-Conductive Cell が図線から離れた場合には、安全装置が働いて、モータとガスが自動的に止まるようになっているし、また切断作業が終了した場合にも機械は自動的に停止する。

この装置は、他の装置に比べて高価ではあるが、正確で迅速な溶断作業を自動的に行なうことができるので、作業能率が向上するから、結局は経済的である。（無線機製作所 宇高賢記）



自動ガス切斷機

## 新しくすえ付けられたSF<sub>6</sub>ガスシャ断器

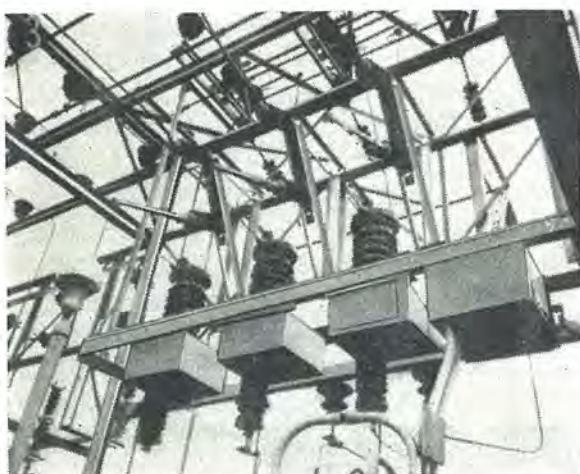
What's New in Engineering: SF<sub>6</sub> Breaker Installed (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 5, Sept. 1958, p. 145)

ミシガンの Consumers Power Co. System, Quincy 変電所に新形 46 kV SF<sub>6</sub> ガスシャ断器がすえ付けられた。このシャ

断器は 250 MVA 多重再閉路用で、2 度の再閉路、3 度の引けずしを行ない、第3回目の引けずしの後に鎖錠されるようになっており、シャンク時間は仕様の 8 秒よりもはるかに早い。

写真に見られるように各極はガイシ中におさめられたシャンク部およびブッシングからなって支持フレーム上に取付けられ、ソレノイド操作機構により水平の接続棒を通じて三相同時に操作される。ブッシングには 60 psig. の SF<sub>6</sub> ガスが充填された新設計のコンデンサ形が採用され、シャンク部は圧力発生点、シャンク点およびバッファを備え、可動アームは回転式で投入動作時に新鮮なガスをシャンク部内に強制的に押し入れ次のシャンクに備えるようにしてある。シャンク部はとくにクレーンやホイストなどなしでも簡単に取けはずしができるよう工夫されている。

(伊丹製作所 富永正太郎訳)



Quincy 变電所にすえ付けられた 46 kV  
250 MVA SF<sub>6</sub> ガスシャンク

## 新しい原子増幅器開発する

What's New in Engineering: New Atomic Amplifier Developed (Westinghouse Engineer, Vol. 18, No. 5, Sept. 1958, p. 146~147)

中性子で照射した水晶を用いた新しい二準位固体メーザを開発した。

microwave amplification by stimulated emission of radiation よりその名を得た maser は従来の増幅器の増幅可能最小電力の数百分の 1 程度のきわめて微弱な入力信号を増幅しうる新しく有望な超高周波増幅器であって、まだ研究開発途上のものであるが、やがてまもなく誘導弾の探知警戒装置、長距離レーダおよび見通し外通信に重用されると考えられている。また電波天文学にも有用なことはすでに木星からの波長 3 cm の輻射波を検出して実証済みで、二準位メーザははるかかなた、銀河中の水素の輻射波に同調させて天界を探査しうるに至るであろう。

従来の増幅器が雑音のもとになる電子流を用いているのに反し、固体メーザは磁界中の絶縁結晶の束縛不対電子を用いているため、実用上まったく雑音を生じないので非常な長所である。

電子は小磁石の働きをする。磁針を磁界に置くと安定なつりあいと不安定なつりあいの向きがあつて、不安定なつりあいに

わずかの刺激を与えるとポテンシャルエネルギーを放出して安定なつりあいの向きになる。固体メーザの原理はかくのようなものである。

Westinghouse 社のメーザは中性子を照射した水晶に生ずる不対電子を利用しておらず、この水晶は強力な磁場間に置き、液体ヘリウムで冷却したマイクロ波空洞中に入れてある。電子の磁気能率を逆転さすためにきわめて短時間中に大量のマイクロ波エネルギーをこの空洞に注入する。このとき電子が磁気エネルギーをたくわえ、つぎに増幅すべきマイクロ波が空洞にはいつくると電子の磁気能率がもとの常態にもどり、このとき放出するエネルギーによってマイクロ波信号が増幅される。電子が二つの磁気配列状態を交互に繰り返すのでこれを二準位メーザ作用といふ。

現在の固体メーザは絶対零度近くに冷却して、電子磁気能率が勝手に常態にもどるのを防いで、マイクロ波が有効に増幅されるようにする必要がある。Westinghouse 社のメーザは液体ヘリウムの標準沸点約 4°K で動作し固体メーザとしては比較的高温のものである。

新しい Westinghouse 社の二準位固体メーザは 9,000 Mc の実験セットで電力利得が 100 以上である。メーザ結晶の磁界を増せばより高い周波数が増幅でき、その上限は遠赤外線に至るものと考えられる。

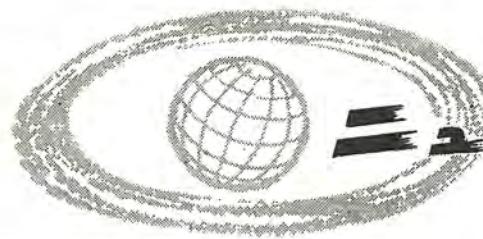
(研究所 喜連川隆訳)



電磁石磁場間の液体ヘリウム魔法瓶にはいった二準位固体メーザで超高周波増幅の実験をしているところ



その空洞



# ニュースフラッシュ

## ■ 放電加工機ダイアックス

放電加工法は今までの機械加工では加工できなかった硬質の金属材料の加工を容易にし、また任意の形状の穴加工を可能とした。しかしながら従来の放電加工機では、

- (1) 加工速度を大きくしようとすれば、加工精度がいちじるしく悪く、加工精度を良くしようとすれば、非常に低い加工精度となる。
- (2) 加工電極の消耗が砲弾形に消耗するので盲穴加工が困難である。
- (3) 通り穴の出入口の寸法差が大きな差を生ずる。

などの欠点があった。

本機は従来の直流だけを用いる放電加工機と異なり、高周波を重視しているために、つぎのような特長がある。

- (1) 仕上面あらさが  $20 \mu\text{H}_{\max}$  以上  $1 \mu\text{H}_{\max}$  の中仕上および精仕上の範囲において加工速度が従来の放電加工機にくらべ、数倍以上十数倍早い。したがって、実際に製品を加工する時間が非常に早い。
- (2) 従来の方式では電界強度の影響を受けて加工電極が砲弾形に消耗するため穴底のすみの角が丸くなるのを避けにくいのであるが、この方式では高周波による電界強度の均一作用によって加工電極があまり丸くならず、すみの角が出やすい。したがって鍛造形製作などはきわめて容易である。
- (3) 同様の理由で、投影輪郭が正確となり、またセン孔による通り穴の出入口の寸法差が少ない。したがって抜形などの複雑な輪郭を正確に加工し、また平行部を長く作ることが容易である。

その他

- (4) 加工電極消耗は比較的少ない。



放電加工機ダイアックス

(5) 加工油を循環できないような場合でも、直流方式より深い穴の加工が可能である。したがって盲穴の加工が容易である。

(6) ゲルマニウムのような半導体は直流コンデンサ放電方式だけでは、いわゆる長時間アークとなって切断できないが、本機では高周波の作用によって、すみやかに加工できる。

(7) 電極と被加工体の機質の組合せは格別の制約をうけないなどの特長をもつ。

(8) また機械の作動および加工物の大キサなどは次のようにになっている。

セン孔、研磨、縫型成形の目的に使用できる。

主軸は上下両方向に自動送りがかかる。

ベッドは左右両方向に自動送りがかかる。

セン孔深さ 200 mm

加工物の大キサ巾 250 mm 長さ 500 mm 高さ 200 mm

## ■ チューブラタービン誘導発電機受注

最近専門雑誌に記載されているとおり、低落差発電についてチューブラタービンの経済性が研究かつ検討されていたが、従来のカプランまたはフランシス案に比して安価となる結論を得た模様である。

一般にチューブラタービンは次のような特長がある。

- (1) チューブラタービンは落差 6~15 m のものに対し経済的な形式である。
- (2) 発電機が小形となる。
- (3) 立形カプランに比し、掘削量が少なくてよいので土木費が安く建設できる。
- (4) 水車発電機は容量 5,000 kVA 以下は誘導発電機を使用し機械費の低減を計っている。
- (5) 水車発電機が水中にあるので既設放水路を利用すれば簡単に設置できるので、老朽発電所の改造が容易かつ安価にできる。
- (6) 従来の形式では建設費が高いため、建設を見合わせていた低落差地点も開発可能となった。

当社は第1号機として、三菱造船株式会社と協力して東北電力株式会社人来田発電所向けチューブラタービン発電機の受注が決定した。その概略仕様は下記のとおりである。

落 差	12.0 m	発電機出力	1,300 kW
水 車 出 力	1,300 kW	電 壓	3,300 V
水 量	12.5 m <sup>3</sup> sec	周 波 数	50 c.s
回 転 数	333 rpm	回 転 数	1,000 rpm

重 量 約 31t 重 量 約 12t

第2号機として、新三菱重工株式会社と共同にて四国電力株式会社野村発電所向け下記仕様のものも受注に成功したのである。

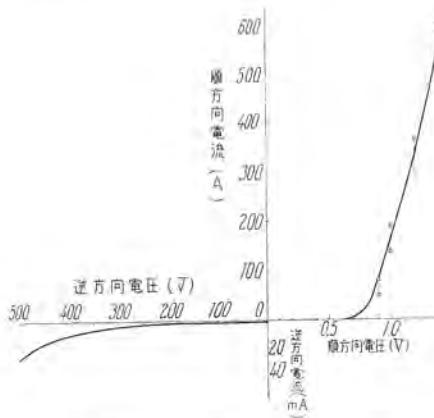
落 差	19.68 m	発電機出力	615 kW
水車出力	690 kW	電 壓	6,600 V
水 量	4.1 m <sup>3</sup> sec	周 波 数	60 c/s
回 転 数	720 rpm	回 転 数	720 rpm
重 量	18.05 t	重 量	13.5 t

## ■ シリコン整流体の試作完了

近ごろ業界関心の的になっている半導体整流器のうち、ゲルマニウム整流器については研究所で、1個あたり 400 A 逆耐圧 300 V というような、世界水準を抜く整流体の製品化に成功し、諸方の整流器メーカーの好評を得ている。ゲルマニウムは1個あたりの素子電流がきわめて大きいこと、電圧降下が低くて高能率の整流器ができるという二点で他の追随を許さないものであるが、反面温度上昇に弱いという弱点があり、また逆耐圧のほうも 400 V 以上のものをそろえることは製造技術上相当困難がある。

これに反してシリコン整流体は理論的に予想される逆耐電圧がきわめて高いこと、約 200°C の高い周間温度にまで整流特性を失わないこと、電流密度が高くとれるから小形軽量にできるなどの長所のために、現在ある電圧範囲に対してはもともと有望な整流素子としてその国产化が待望されていた。最近単結晶引上げに始まる一連の製造装置が完成して国産第1号の大電流整流体が完成した。

シリコン単結晶については主として単結晶引上げ装置の改良および引上げ技術の向上によって、直徑 20 mm 程度の単結晶をほとんど確実に引上げることができるようにになった。



三菱製シリコン電力用整流体特性

とくにすぐれた特性の結晶をえるためには引上げ中の温度を精密に調節することが必要であるが、このための電圧調整法として、サイラトロンによる制御方式を使用し、シリコンの融点付近で ±0.4°C の精度で温度制御ができるようになっている。このようにして現在、結晶軸 [111], n 形で比抵抗が 200 Ω cm, ライフタイム数 10 μs のものが製作されるようになった。

単結晶から P-N 接合素子の製作は、いわゆる合金法によったものである。今回試作されたものは P-N 接合の有効部分が 13 mmφ の大形のもので、約 100 A の電流容量を有するものである。シリコンではこのような大形の整流素子の製作は、たとえば電極材料との膨張係数の相違からひび割れなどを起しやすく、また化学処理や、温度制御に微妙な調節を必要とするなどのために、きわめて困難とされていた。したがって今まで各社とも輸入品に依存していたようであって、今回のものは、100 A 級の大形のものの完全国産品の嚆矢とも考えられる。

その特性は図に示すように最大逆方向電圧 500 V をこえるものがえられており、順方向電流も図の範囲にあり W 社の同じ定格のものとなんら遜色はない。

試作品は外装として最初コバルトガラス封止形が用いられたが、その後写真に示すようなコンプレッションシール形の製作に成功した。シリコン整流体は小形軽量でその高い逆耐電圧とすぐれた温度特性のために、一般に半導体整流器の期待される化学工業の分野ばかりでなく、たとえば電鉄用のような新しい分野への進出が有望視されている。

## ■ 高温で使える導電性ゴム

測定用電極や導電性パッキングで耐熱性が必要な場合に使用できる。

シリコーンゴムに導電性をもたらしたもので、柔軟性を求めるながら従来のゴムでは工合が悪かった耐熱性を改善したものである。

シリコーンゴムにカーボンブラックを配合して加硫することは今まで不可能であったが、ビニル基を含有するシリコーン生ゴムが製造できたので、カーボンブラックを配合したものも加硫することができるようになった。耐熱性はシリコーンゴムの特長そのまま良好で、体積固有抵抗は 10 Ω·cm 以下のものも作ることができる。ただしシリコーンゴムの機械的強度は合成ゴム系のものには遠くおよばず、カーボンブラックを配合したものの強度は抗張力 30~50 kg/cm<sup>2</sup>、伸び 300% 以下である。体積固有抵抗値、温度係数などの一例を表記するとつきのとおりである。

カーボンブラック	配合量	$\rho(\Omega \cdot \text{cm}) 30^\circ\text{C}$	温度係数( $\Omega \cdot \text{cm}^{-1}\text{°C}^{-1}$ )
A	40 部	8.3	+0.0104
B	40 部	2.1	-0.0245

## ■ 大形変圧器組立工場完成

新銳火力発電所の発電機の単機容量が 150,000 kVA, 200,000 kVA あるいは 300,000 kVA というような大容量化や 100,000 kVA 以上の発電機を数台有する膨大なダム式水力発電所の建設と超高压送電線の送電電力の増大と相まって、これらの電力を受電する一次変電所の建設も進み、発電所に設置される超高压変圧器は加速度的に大型化の傾向にある。

伊丹製作所ではこれに対応するため、将来予想されるいかなる大型変圧器でも完全に組立、試験、発送可能になるように大型変圧器組立工場を計画し本年 1 月竣工の運びとなった。これにより近く組立完成する電源開発南川越 312,000 kVA は新工場において組立および立会試験を受けることとなった。

新工場は大型機器の製作組立に必要な十分の設備と床面積をもち、とくに重量物の取扱には考慮を払って床面は十分に補強されている。250 t, 20 t の天井走行クレーンと近く完成される 4,000 kV 衝撃電圧発生装置と相まって遺憾なく新銳の威力を發揮するだろう。



大形変圧器組立工場



大形変圧器組立工場

## ■ 富士製鉄広畠製鉄所向け分塊圧延機用

### 9,000 kW イルグナ式電機設備受注す

富士製鉄では広畠製鉄所向けとして 228.6 cm × 114.3 cm ニバーサル分塊圧延機を増設することとなりその主機電機品を一括受注、おもな仕様は次のとおりである。

#### (1) 主圧延電動機

2 × 4,500 kW (2 × 2,250 kW) 直流電動機 0-40-80 rpm 2 × 750 V

#### (2) 立テロール駆動電動機

1 × 3,000 kW (2 × 1,500 kW) 直流電動機 0-60-150 rpm 2 × 750 V

#### (3) イルグナ変流機

4 × 2,500 kW 直流発電機 3,340 A 750 V

2 × 1,750 kW 直流発電機 2,340 A 750 V

1 × 6,700 kW 誘導電動機 (同上駆動用) 514 rpm

11,000 V 60 c/s

1 × 著勢輪 187,000 kW-S

#### (4) 補助 M-G 並列制御装置

## ■ 八幡製鉄光製鉄所向け 100 kV 受電設備 1 式

### 受注

八幡製鉄株式会社にてかねてより光製鉄所を一大拡張すべく計画中のところ、昨年その具体案が決定し、10 万 V 90,000 kVA の受電設備を設置することとなり、当社はその第 1 期工事の 30,000 kVA 受電設備を受注した。

おもな機器の仕様は次のとおりである。当地は塩害、煤煙、雷害が多いのでとくに屋外用シャンクとして空気式をやめて油入式を採用されたことが注目される。

2 台 15,000 kVA 三相 油入自冷空封入式

110-105-100 22 kV 60 c/s 屋外用

3 台 “140-GM-500” 鉄槽形油入シャンク

絶縁階級 140 号

120 kV 800 A 2,500 MVA

11 台 20 kV 屋内用キューピックル

うち 8 台は “20-C-100” 形空気シャンク内蔵



大形変圧器組立工場

## 密閉形直結励磁機

考案者 池田悌三

この考案は、密閉形直結励磁機における、冷却方式の改良に関するものである。

まず、励磁機(6)の冷却は、主軸(10)と一体なる翼車(14)によって行なわれる。すなわち、この翼車の回転とともに励磁機内の空気は図1に矢印で示すように、固定子(12)と回転子(11)とのすきまを流動してこれを冷却し、しかして台板(3)の排気孔(17)から下室(4)の通風路(B)に流入するとともに、冷却器(33)の流通管(35)を通過することによって冷却され、ついで台板(3)の吸気孔(18)を経て励磁機内部に至る経路を循環する。

一方、整流子(9)および滑動環(20)の冷却は、上室(5)内において、歯手(7)に定着された翼車(19)により行なわれる。すなわち、この翼車の回転とともに、上記上室内の空気は導風管(21)内に吸引され、その脚部(24)(25)によって左右に分流するとともに、台板(3)の排気孔(26)(27)を経て下室(4)内の通風路(A)と(C)にそれぞれ流入する。しかしてこの空気は、上記通風路にそれぞれ装備した空気口過器(31)

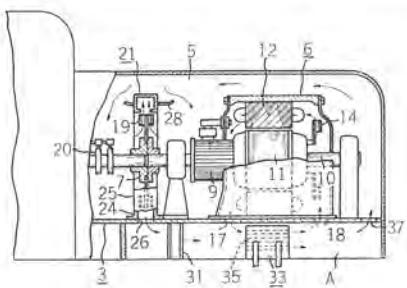


図1

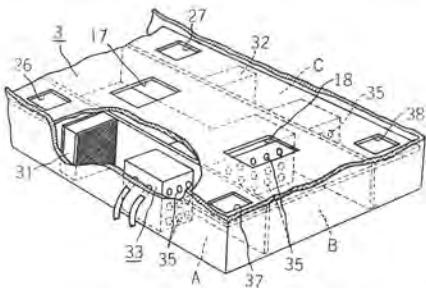


図2

(32)によって清掃され、ついで冷却器(33)の流通管(35)を通過することによって冷却され、後部の吸気孔(37)(38)から上室(5)内に流入する。ここで空気はふたたび合流し、上記導風管(21)の案内板(28)に衝合することによって、図1の矢印で示すように、整流子(9)と、滑動環(20)とを集中冷却してのち、導風管(21)内に吸引される。

この考案は、上述したように、励磁機と、整流子および滑動環との冷却を完全に分割して行なうようにしたので、冷却効果をいちじるしく向上し得られることはもちろん、これがため励磁機と、整流子および滑動環とは、それぞれ別個の循環系路で冷却されるため、整流子および滑動環で生じたブランシ粉末が、励磁機内にまったく侵入しないから、巻線などの絶縁低下をきたすおそれがない。さらに空気口過器、および空気冷却器を、基盤上面にすえ付けるようにしたので、その点検、整備がきわめて容易となり、また基礎の構造が、いちじるしく簡単かつ堅牢になる効果もあわせて有するものである。

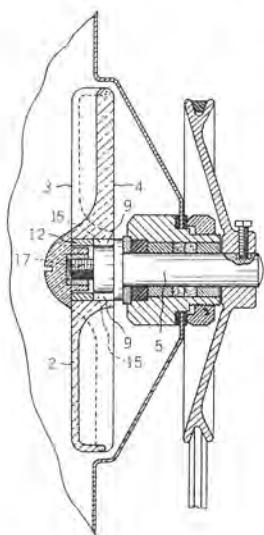
(実用新案登録第469429号) (土居記)

## 噴流形洗タク機の回転翼

考案者 武井久夫

噴流形洗タク機において、噴流の強さを調整するには、従来回転翼の形状を左回転と右回転において噴流の強さが変るように形成して正逆回転を行なわせたり、あるいは回転翼の回転方向は一定にしてその回転速度を変換したりしているが、その原動機に誘導電動機を使用する関係上、いざれもその装置が複雑となる。したがって故障も生じやすく、かつ高価になる欠点がある。

この考案は、上述した欠点を除去しようとしたもので、表面と裏面にそれぞれ突起(3)(4)を設けた回転翼(2)の心金(12)に、回転軸(5)の突子(9)と係合する切欠き(15)(17)



を表裏食い違ひに設け、必要に応じて回転翼を反転してはめ換えるようにしたものである。

したがって上記回転翼の表面と裏面の突起の形状を適宜相違させておき、必要に応じて回転翼を反転すれば、同一回転方向、同一回転速度において発生する噴流の強さを変化させることができるから、従来のように、電動機の回転方向切換装置や速度調整装置を装着する必要がなく、簡単に洗タク作用の調整が行ないうる。

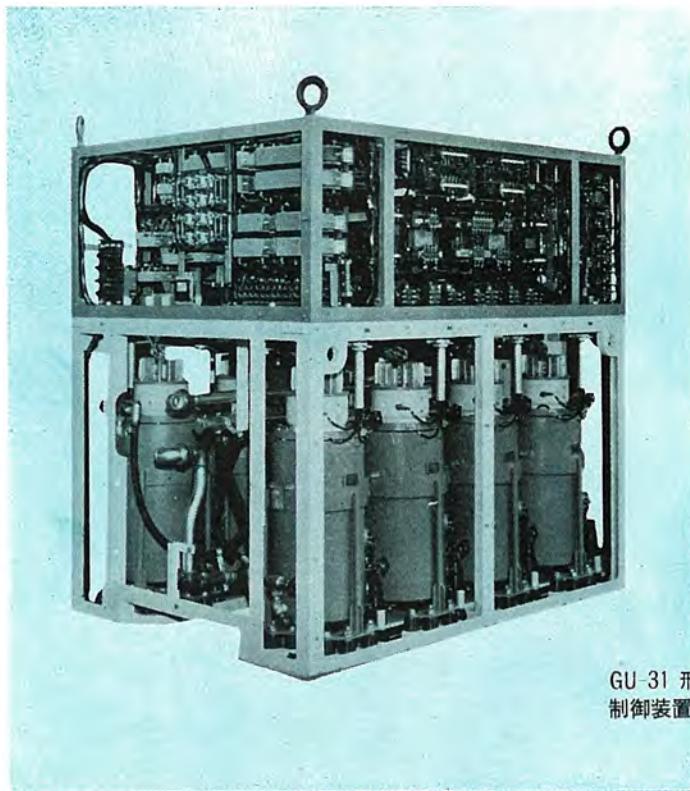
(実用新案登録第479624号) (土居記)

北陸線で活躍する ED7019 形交流電気機関車用

# 三菱GU-31形イグナイトロン整流器

## 特 長

当社では一昨年北陸線交流電化用として ED70 形イグナイトロン電気機関車 18両を製作、現在好評のうちに営業運転を行なっているが、このたび 19両目が完成した。今回の ED7019 形に積載された GU-31 形イグナイトロン整流タンクは、既約 18両の GU-20 形と異なり、従来電鉄地上変電所用に製作されているものを機関車積載用に改造したもので、すでに現地において好成績で試運転を終り、種々の詳細な試験を実施中である。



GU-31 形イグナイトロン整流タンクおよび  
制御装置

1

GU-20 形の一重格子に対して GU-31 形は二重格子構造である。

2

機関車積載時の振動に対し GU-20 形のときの実績を基にして、一部に特殊設計を採用した。

3

格子制御を実施している。

4

インド国鉄向け交流電化用イグナイトロン電気機関車に対する第一歩として、高温に対する設計上の考慮が払われている。

昭和 34 年 3 月 18 日 印刷 昭和 34 年 3 月 20 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円（送料別）

### 雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	船橋正信	常任委員	宗村平	編集兼 発行責任者	東京都千代田区丸の内2丁目3番地	渡辺善一
常任委員	浅井徳次郎	〃	山田栄一	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
〃	荒井潔	委員	新井正元	印刷者	東京都新宿区市谷加賀町1丁目	長久保慶一
〃	安藤安二郎	〃	岡屋精二	発行所	三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部	電話 和田倉 (20) 1631
〃	市村宗明	〃	進藤貞和			
〃	木村武雄	〃	竹内真一			
〃	小堀富次郎	〃	津村隆			
〃	高井得一郎	〃	豊田準三			
〃	中野光雄	〃	松尾文一			
〃	馬場文夫	幹事	渡辺善一			
〃	松田新市	〃	井上八郎			

(以上 50 頁順)

日本出版協会会員番号 213013

発売元 東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店  
電話 (29) 0915・0916 振替東京 20018