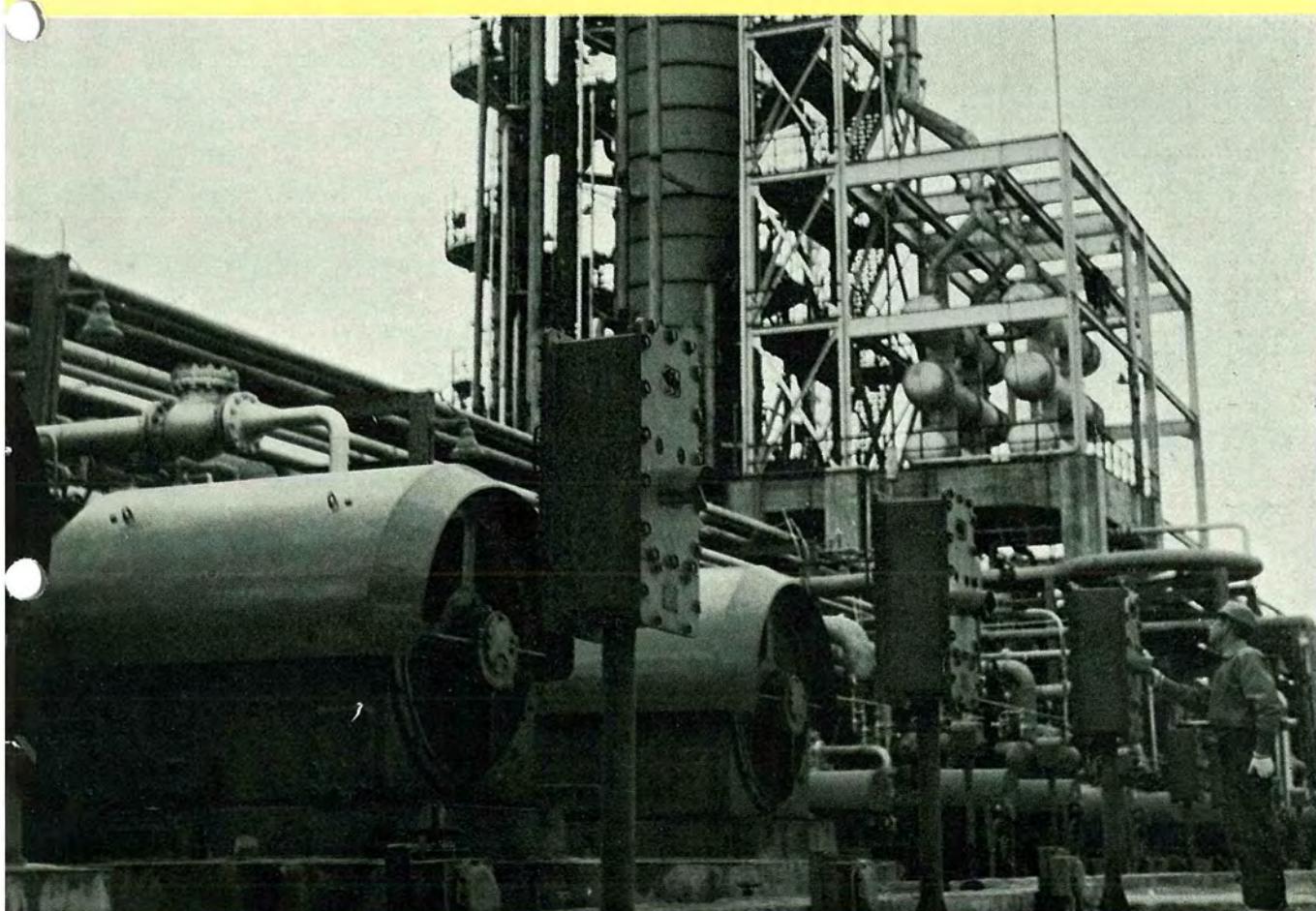


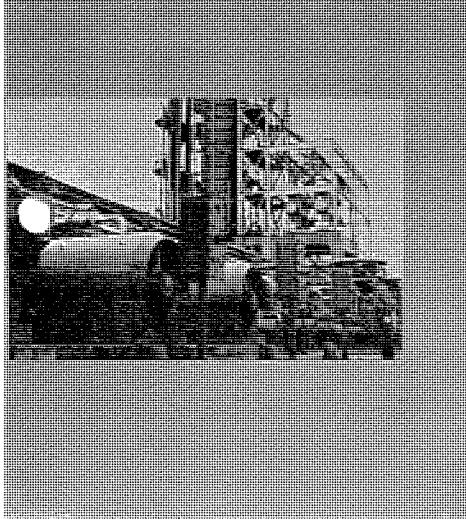
MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機



東亞燃料和歌山工場納屋外用耐圧耐爆電動機

3  
VOL31 1957



## 表紙説明

東亜燃料工業・和歌山工場に常圧蒸溜装置の原油張込用ポンプ駆動用として設備された屋外据付全閉耐圧防爆型電動機と、これら電動機の遠方操作用として取付けられた屋外据付スタンド型全閉耐圧防爆型遠方操作盤（電流計付）である。

電動機：3相カゴ形誘導電動機、250HP, 3,300 V, 60 c/s, 41 A, 銅管冷却型, 3,600 rpm, スペースヒータ付。

遠方操作盤：D-C 110 V 使用、変電所内のメタルクラッド O.C.B. ならびに自動起動補償器遠方操作用、電流計付、ピストル操作把手 O.C.B. 開閉標示用ランプ（青、赤）および、スペースヒータ標示用ランプ（白）取付。

昭和 32 年 第 31 卷 第 3 号

## 目次

車両用けい光燈点燈方式（グリッド型けい光燈を中心として）	田中小三郎・佐野政男・竹田俊幸… 2
交流計算盤	新井正元・早瀬通明… 10
新高圧負荷断路器	新井正元・樺沢孝治・亀山三平・岩崎行夫… 25
DB 型低圧気中遮断器	勝田久登… 34
狭軌高速電車用 WN ドライブ主電動機	浅越泰男… 44
Magnetization Hysteresis Loop Tracer を用いての	
OP 磁石磁気特性チェック	中村 弘・水上益良… 52
鋳鉄鋸物組織の研究 第 5 報	
鋳鉄に現われる 2, 3 の組織について	鈴木一郎… 57

## 品質奉仕の三菱電機

三菱電機株式會社

### 本社

東京都千代田区丸の内（東京ビル）  
(電) 和田倉(20) 代表 1631・2331  
研究 所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町  
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町  
伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
長崎製作所 長崎市平戸小屋町  
無線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
大船工場 神奈川県鎌倉市大船  
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町  
郡山工場 福島県郡山市宇摩橋町  
福山工場 福山市仲野上町  
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町  
和歌山工場 和歌山市岡町  
中津川工場 岐阜県中津市駒場安森  
福岡工場 福岡市今宿青木  
静岡工場 静岡市小鹿 110  
札幌修理工場 札幌市北二條東 12  
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 福岡市天神町  
(電) 中 (4) 7031-7036  
札幌営業所 札幌市大通リ西 3 の 5  
(電) 札幌 (2) 代表 7236  
仙台営業所 仙台市東一丁目 63  
(電) 仙台 (2) 代表 1601  
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) 2211-4  
高松出張所 高松市紺屋町 34 番地  
(電) 高松 3178・3250  
小倉出張所 小倉市京町 10 丁目 (五十鈴  
ビル) (電) (5) 小倉 3614

# 車両用けい光燈点燈方式

(グリッド型けい光燈を中心として)

阪神電氣鉄道株式会社車両部長 田中小三郎・技術係長 佐野政男  
研究所 竹田俊幸\*

## Operating System of Fluorescent Lamps in Railway Cars-Around Grid Type System

Hanshin Electric Railway Co. Kosaburo TANAKA・Masao SANO  
Engineering Laboratory Toshiyuki TAKEDA

Spectacular is the advancement of fluorescent lamp application in the field of illumination. In the car lighting, however, a number of problems are involved of its development chiefly on account of a power source. Nevertheless, the advantages such as good illuminating efficiency, excellent color tone, mechanical strength, long life and graceful appearance offset the drawback, permitting the fluorescent lighting replacing the old incandescent lamps. The Hanshin Electric Railway Company has been an ardent user of this equipment and now is successful in the development of its unique arrangement "Grid Type System" operating on a d-c source.

### 1. まえがき

近年けい光燈の照明分野への進出は、目覚ましいものがある。車両照明においては、主としてその電源の事情から、一般照明と比べ多くの問題を有するにもかかわらず、良好な発光能率とすぐれた色調、機械的強度の強さ、長寿命、あるいはまた、外観の近代性など、けい光燈の魅力は、車両照明にも浸透し、白熱電球を装備した車両は急速に姿を消しつつある現状である。阪神電氣鉄道株式会社においては、約十年前からけい光燈による車両照明に關し鋭意研究を重ね、獨特のグリッド型けい光燈およびその直流点燈方式を開発し、目下阪神電鉄はもちろん、多数の電鉄に使用されている。その内容についてはすでに他の刊行物に発表されている部分もあるが、今回阪神電氣鉄道株式会社と三菱電機株式会社との間にグリッド型けい光燈に関する契約が結ばれたのを機会に、グリッド型けい光燈を中心として、車両用けい光燈点燈方式に關し筆を執ることとした。

### 2. 車両用けい光燈点燈方式の展望

車両にけい光燈を装備するに当っては、その電源の状況を考え、さらに建設費・保守費の点をも考慮して適当な点燈方式を選定する必要がある。車両においては、その電源が直流であるのみならず、架線電圧がはなはだしく変動し、かかる特殊事情のために一般の場合と異なった問題を生じ、車両用けい光燈が一般より立ち後れた大きな原因もここにある。さらに車両用として一般用と異なる問題は、振動が大きく、したがって或る程度の耐振性を必要とすることと、トンネルやデッドセクションの

存在からできうる限り瞬時またはそれに近い点燈方式が望まれること、の2点が挙げられる。

さて、電車線電圧としては 1,500 V 系と 600 V 系に大別されるが、車両けい光燈用電源としては、

- (1) 直流の架線電圧を交流に変換して用いる
- (2) 架線電圧を直流 100 V に変換して用いる
- (3) 架線電圧をそのまま用いる

以上の3つに分類される。以下そのおののの場合について点燈方式の概要を述べる。

#### ア. 架線電圧を交流に変換した点燈方式

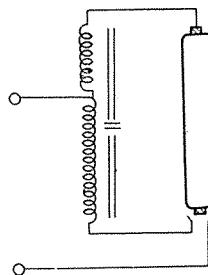
この方式における良否は、ほとんど電源装置の良否いかんに掛っているといつてよい。交流に変換するには、電動発電機またはインバータを必要とするが、これらの交流出力電圧および周波数が架線電圧の大きな変動に対して、極力変動の少いことが必要であり、また波形歪のないことが望まれ、この点が満足されれば、点燈方式は一般のものと全く同じでよいわけであるから、何ら特別の問題は起らない。ただ電源周波数に関しては、任意に選べるわけで、何ら商用周波数にとらわれる必要はない。周波数とランプ特性の関係はすでに多くの文献に示されているところで、周波数が高くなるほど能率は良くなる。さらにまた周波数の高いほどランプフリッカは小さくなり、安定器も小型となる利点を有する。また出力波形を矩形波にすれば、正弦波に比し、相当ランプ能率の増加することが知られている。したがってランプ能率と安定器の点のみを考えれば、できるだけ周波数を高くかつ矩形波にすることが望ましいわけであるが、実用的には、そういう電源装置の製作の難易、コストなどの点を考慮しなければならない。一方電源周波数を 50 c/s ま

たは 60 c/s の商用周波数を選んだ場合には、市販の既製器具を使えると共に、他の電気備品、たとえば扇風機・ラジオ等にも市販品を用いて電源を共用できる利点を有するわけである。以上の点を考慮して電源周波数を選定することが必要で、現在国内で用いられている周波数は、交流発電機として一般的な回転界磁電機子型を用いるのでコストも安く、かつ高周波化の効果、すなわちランプ能率の増化・安定器の小型化・フリッカの減少が比較的得られるという点から、120 c/s が多い。

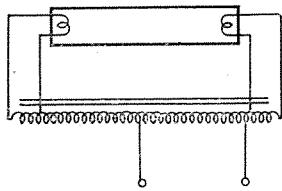
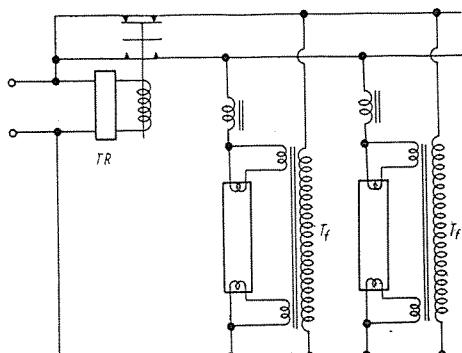
この方式における点燈回路は、一般のものをそのまま使用できるので、大部分を省略し、ただ車両用として望まれる瞬時点燈、速時点燈(ラピッド型)、一斉点燈に限定して点燈方式の概要を述べる。

1 図はいわゆるスリムライン方式で、起動は瞬時であるが起動電圧が高いので安定器のコストが高く、冷陰極起動のために寿命は若干低下する。

2 図は一斉点燈方式の 1 つで、最初運動リレー TR は予熱回路を閉じ、主放電回路を開いているのでヒータトランジスト  $T_f$  によりヒラメントに予熱電流が流れる。1~2 秒後 TR が働いて予熱回路を開くと同時に主放電回路を閉じ多数燈が同時に点燈する。この方式の成否は運動リレーの良否に掛っている。



1 図 スリムライン  
点燈方式



4 図 ラピッド型点燈方式  
Fig. 4.  
Rapid start type operating circuit.

つあるものである。予熱型で可動部分がなく、起動も1秒前後で早いという点から車両用としても有効な点燈方式になるものと思われる。

#### イ. 架線電圧を直流 100 V に変換した点燈方式

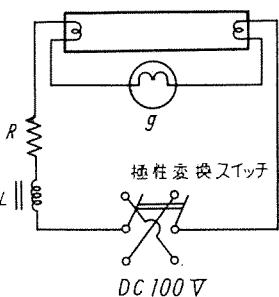
この方式は、コントローラ、ドアエンジンなどの電源として 100 V 直流電動発動機を有する場合には電源を共用できる利点を有する。点燈しうるランプは 20 W 型以下のがい光燈であるが電源の状況によっては 20 W 型では点燈の不安定な場合があり、17 W 型を用いることもある。

(1) グロースイッチ式

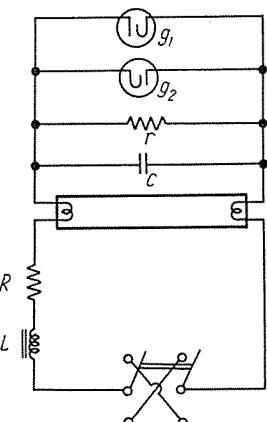
5 図のもので原理的には交流用と同じであるが、直流用として注意すべき相違点はつぎの 2 つである。(5 図以下直流点燈回路には、極性変換スイッチを図示してあるが、直流ではのちに述べるダークエンド効果のために、適宜極性を変換する必要があり、したがって極性変換が回路的にまとめ得行えるということが直流点燈回路の必要条件となっている。)

a. グロースイッチに極性がありバイメタルが④側にあるときは加熱が不十分で動作しない。したがって直流用のグロースイッチは極性のない特別のもの、たとえば両極共バイメタルのものを用いるか、あるいは2個を並列に用いておのののバイメタル側が逆になるよう(6図参照)にしなければならないが、後者の場合市販のグロースイッチはバイメタル側が一定しておらず、1つ1つ調べないとわからぬという不便がある。

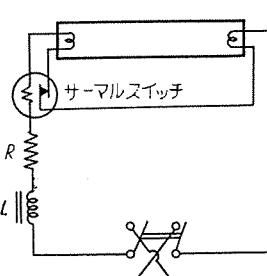
b. 市販のグロースイツ



5 図 グロースイッチ式点燈  
方式 (直流) の 1  
Fig. 5. Glow switch type  
operating circuit (D-C)-1.



6 図 グロースイッチ式点燈  
方式 (直流) の 2



7 図 サーマルスイッチ式  
点燈方式

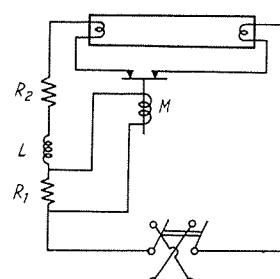
チの始動電圧は、交流では 80 V 前後であるが、これを平滑な直流で動作させるには 110 V 前後を必要とする。実際の車両用直流電源では多少のリップルがあるとしても 100 V では動作させることはむつかしい。そこでグロースイッチそのものを低電圧で起動する特別なものにするか、または回路的に特別な配慮が必要となる。その 1 つとして 6 図のようなものがある。すなわち L·R·r·C の関係を適当に選んで振動回路とし、スイッチを投入したときのグロースイッチ両端に現われる電圧を電源電圧の 2 倍近くにできるから、電源電圧が相当低下しても容易に起動させるようにしたものである。

### (2) サーマルスイッチ式

7 図のように交流の場合と異なるところなく、またグロースイッチのように極性および動作電圧の点でも問題がない。それにもかかわらず車両用にほとんど用いられない理由は、再起動が遅いという点と共に、その構造上車両の如き大きな振動に対し動作が不安定になるためと思われる。

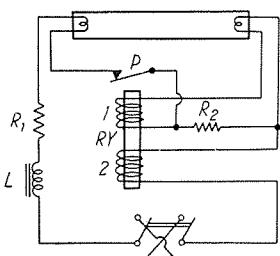
### (3) リレー式

8 図は電源スイッチを入れると抵抗  $R_1$  を通して陰極ヒラメントを加熱すると同時に、陽極には  $R_2$  を通して +100 V の電圧が掛っているから、陰極予熱が十分行われてエンドグローを生ずると  $R_2$  を通して主放電電流が流れ、その電流によりリレー RY が働いて予熱回路の接点を開くものである。起動の動作は速いが、極性変換ができないこと、起動に際してキック電圧が無いために低電圧時の起動が不確実になる難点がある。

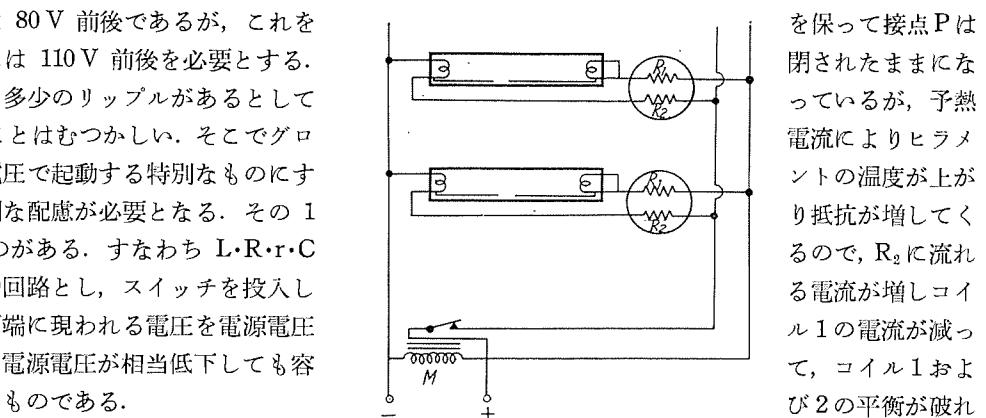


8 図 リレー式点燈方式の 1  
Fig. 8. Relay type operating circuit-1.

9 図 リレー式点燈方式の 2  
Fig. 9. Relay type operating circuit-2.



10 図 リレー式点燈方式の 3  
Fig. 10. Relay type operating circuit-3.



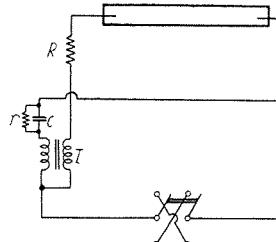
11 図 リレー式点燈方式の 4  
Fig. 11. Relay type operating circuit-4.

を保って接点 P は閉されたままになっているが、予熱電流によりヒラメントの温度が上がり抵抗が増していくので、 $R_2$  に流れる電流が増しコイル 1 の電流が減って、コイル 1 および 2 の平衡が破れ接点 P を開いてランプを点燈する。

11 図は原理的に

は 8 図のものと同じであるが、遅動リレー M により多數燈の予熱回路を一斉に切る点、また安定抵抗  $R_1$  と予熱電流制限抵抗  $R_2$  を同一バルブに收めている点、およびランプとして内面に金属ストライプを張って起動を確実にしている点が異なっている。極性変換はできない。

12 図 リレー式点燈方式の 5  
Fig. 12. Relay type operating circuit-5.



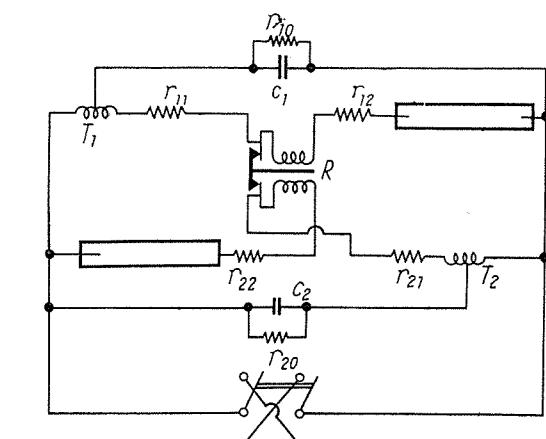
12 図 リレー式点燈方式の 5  
Fig. 12. Relay type operating circuit-5.

12 図は補助電極を備えた特殊のランプを用い、予熱が十分行われると補助電極とヒラメントの間に補助放電電流が流れ、その電流でリレーコイル M が動作して予熱回路接点 P を開いてランプを点燈する。

ウ、架線電圧をそのまま用いる点燈方式

### (1) キック式

13 図のように電源投入



13 図 キック式点燈方式の 1  
Fig. 13. Kick type operating circuit-1.

14 図 キック式点燈方式の 2  
Fig. 14. Kick type operating circuit-2.

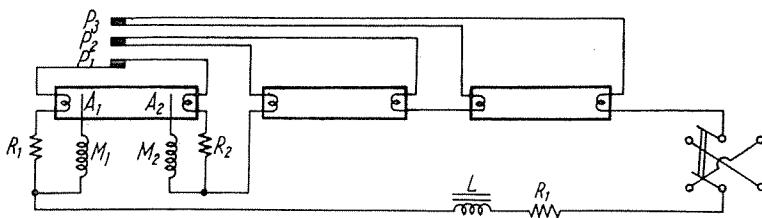


Fig. 15. Auxiliary electrode type operating circuit.

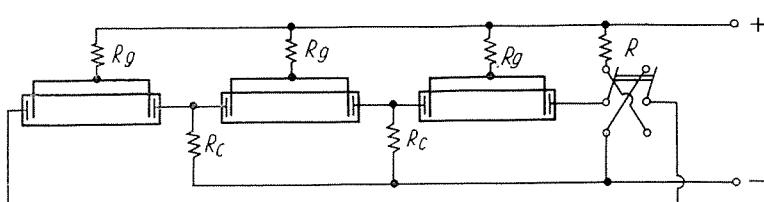


Fig. 16. Example of "Grid Type" operating circuit.

時のコンデンサに流れる充電電流により変圧器 T の 2 次側に生ずる過渡的高電圧によりランプを起動させるもので、ランプとしては冷陰極型またはスリムライン型が用いられる。これと同じ原理のもので 14 図のように各ランプを並列に起動した後その放電電流によってリレー R を動作させ、直列点燈に切り換えて安定抵抗における電力損を減少せしめたものがある。

### (2) 補助電極付予熱型

12 図と同じもので、ランプを直列に数燈つなぎ、15 図のように各ランプの予熱回路接点を 1 つのランプのリレーコイルで動作させるようになっている。

### (3) グリッド型

16 図のごときもので、グリッドと称する補助電極を備え、電源を投入するとまず補助電極と陰極間に放電を起すことによりランプの起動電圧を下げ、主放電に移る方式であって本文の主題であり、これについてはのちに詳述する。

## II. 直流点燈方式の問題点

上述した諸点燈方式を直流方式と交流方式という観点から比較して考えると、直流方式ではフリッカがないという点以外、交流方式にまさる点は考えられない。すなわち、直流方式では、安定器における電力損がほとんどランプ電力と同程度であり、ランプ自体の発光能率は直流の方が若干良くても点燈方式全体としての能率は、はあるかに低下する。また直流方式には後述するように暗端効果が生じ適当な間隔で極性変換を行わねばならず、不便であるのみならず点滅回数も増加する結果となってランプ寿命が短縮される。かかる直流方式の欠点は、一般論として言えるのであって、車両照明分野に限定した場合には必ずしも当てはまらない。さらにまた、架線電圧が直流である以上、交流方式の採用には必ず交流電源装置たる電動発電機やインバータを必要とするのであってそのコストの点からまた、スペースの点から交流方式を採用できぬ場合も多い。そこで以下に直流方式の欠点と

して挙げられている諸点について検討して見る。

### (1) 発光能率の点

前述のように安定器の電力損のために、直流方式では総合的な発光能率が低下するが、これを避けることはできない。ただ回路方式によって安定器損失の多いものと少いものがあり、点燈方式の選定に当ってこの損失のできる限り少いものを心掛ける必要がある。一方車両の分野においては、交流方式でも全体としての発光能率はよくない。何となれば、電動発電機やインバータが必要で、これら電源装置自体の能率が 60 パーセント程度であるから、パラストチョークの電力損を使用ランプの 20 パーセントとすると、(グロースタート方式でこの程度、瞬時点燈方式ではもつ

と大きい)全体としての能率は 50 パーセントとなり、ランプ電力と同じ電力が損失として回路そのものに消費されている勘定になる。したがって直流方式でも架線電圧をそのまま用いる方式のものでは、交流方式と同程度またはそれ以上の発光能率をうることが可能であり、車両用に関しては、直流方式が効率の点で交流方式に劣るということは必ずしもいえない。さらに直流の場合、電源電圧の変動に対するランプ電流の変化を少くする目的で直列安定抵抗として白熱電球を用いることが多いが、この場合発光能率はさらに良くなる。

### (2) 寿命の点

一般に直流点燈におけるランプ寿命は、適当な極性変換を行った場合、交流点燈の約 80 パーセントといわれている。しかしこれは、同じランプ、しかも交流用に作られたランプを用いた場合のこと、直流には直流用のかつその点燈方式に合ったランプを製作することによって、20 パーセントの寿命の低下は十分補いうるはずである。たとえば、同じ交流方式でも、一般用のランプをグロー方式で点燈した場合とスリムライン方式で点燈した場合、後者の方が極端に寿命が短くなることは周知のこと、後者にはスリムラインランプを用いなければ比較にはならない。同じことが直流にもいえるのであって直流方式では交流方式より寿命が短かいと決めてしまうことは誤りである。

### (3) 暗端効果

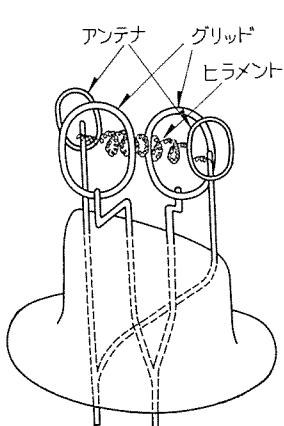
これはすでに種々の文献に述べられているように、正の水銀イオンが次第に陰極側へ移動し、陽極側に水銀が不足してけい光体が光らなくなる現象で、管壁温度が或る程度高く熱拡散がイオンの移動に打ち勝っている間は起らぬが、管壁温度が低くなると発生する。このために点燈回路が極性変換可能なることという制限を付されると共に、その現象の発生時期、発生状況が各ランプまちまちなために極性変換の操作が面倒なものとなる。現象的にわかっていることは、水銀封入量が多いほど暗端

効果が発生するまでの時間が長いこと、また管壁温度が35°C以上では発生しないことである。したがってランプとしては交流用のものより水銀を外観を害さぬ程度に多量に封入することが望ましく、また管壁温度35°C以下では何らかの方策で管壁温度を上げることが必要である。管壁温度35°Cは裸の点燈状態で約17°Cの周囲温度に相当する。管壁温度を上げる方法として透光性のカバーがよく用いられ、カバーの有無により管壁温度に10°C位の差を生ずるから、カバーを用いた場合には周囲温度7°C前後まで暗端効果は現われない。したがって車内暖房とカバーの併用によって、相当寒冷時でも暗端効果が避けられる。もし暗端効果がまったく解決されればこれを避けるための極性変換の必要がなく、操作上はもちろん、回路的にも非常に楽になり、かつランプそのものも直流用独自のものに設計できることになるが、そろそろその試みが現われはじめている。

### 3. グリッド型けい光燈

グリッド型けい光燈およびその点燈方式は、阪神電氣鉄道株式会社において研究を重ね、過去10年にわたって改良を加えてきたもので、架線電圧をそのまま使用し、原則として多数燈を直列に点燈せしめるものである。その特長を列挙すると

1. 装置配線が簡単で、建設費が安い。
2. 可動部が数燈に対して1つ、または全然なくすることもできるので、保守が容易で故障がほとんどない。
3. 起動はほとんど瞬時に確実である。
4. 直列に点燈するランプの本数を任意に選ぶことができるるので電源事情に応じて、適宜最良の条件の本数を選定しうる。
5. 直列点燈回路では、一般に故障ランプの発見が困難であるが、本方式では容易である。
6. 安定器として白熱電球を用いているので電源電圧の変動に対して安定な点燈状態を保ち、光束の変化も少い。



17図 グリッド型けい光燈電極構造

Fig. 17. Electrode structure of "Grid Type" lamp.

7. 長寿命である。1時間点滅で5,000時間以上を期待しうる。

#### ア. グリッド型けい光燈の構造

外見上は一般用けい光燈と異ならないが、2本のベースピンは、一方は管内でヒラメント電極に、他方はグリッド電極に接続されている。ヒラメントおよびグリッド電極は17図に示すとおりで、グリッドとしてはニッケルの輪を用い、ヒ

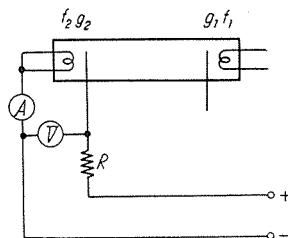
ラメントは、その点燈機構が冷陰極起動でスリムライン点燈方式に近いので特殊構造のものを用いている。従来の一般用ヒラメントを用いた場合は、500回前後の点滅で急速に端部黒化が進行するが、現用の特殊ヒラメントでは約6,000回の点滅で始めて黒化が現われその進行も遅い。その他一般用けい光ランプと異なるところは、水銀封入量を倍加してある点だけである。

#### イ. グリッド型けい光燈点燈回路

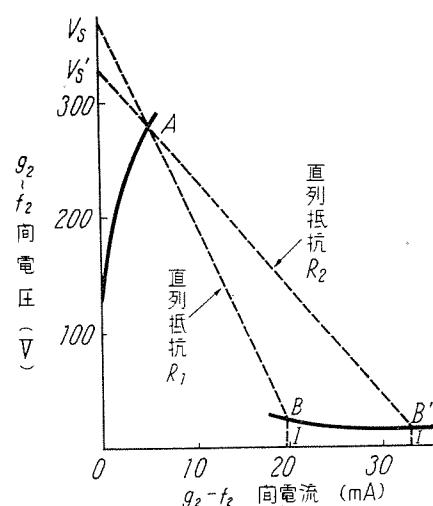
##### (1) 基本的起動特性

18図の回路において、グリッド $g_2$ とヒラメント $f_2$ の間に高抵抗 $R$ を通じて直流電圧を印加し、その電圧を徐々に上げて、 $g_2-f_2$ 間に電圧と、その間に流れる電流との関係を測定すると19図のようになる。すなわち、約130Vで $g_2-f_2$ 間にグロー放電が発生し、電圧を上げるにつれて放電電流は次第に増加し、やがてアーク放電に移ってヒラメントに陰極輝点ができる。(19図においてAからBへの過程) グロー放電からアーク放電へ移るときの電源電圧およびアーク電流値は、直列に挿入された抵抗 $R$ の値により変る。すなわち19図に示すように或る直列抵抗 $R_1$ に対しておのおのの値が $V_s$ および $I$ となり、それより小さい直列抵抗 $R_2$ の場合は、 $V'_s$ および $I'$ となる。

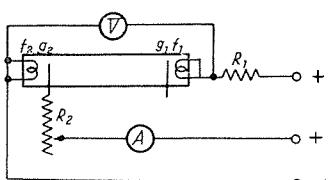
次に20図の回路で $g_2-f_2$ 間に電流を変化せしめその電流値とランプの点燈電圧との関係を調べると21図のようになる。(ただし20Wけい光燈の場合) すな



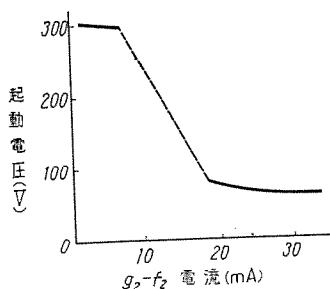
18図  $g_2-f_2$  特性測定回路  
Fig. 18. Measuring circuit of  $g_2-f_2$  characteristics.



19図  $g_2-f_2$  間特性  
Fig. 19.  $g_2-f_2$  characteristics.



20図 グリッド型けい光燈起動特性測定回路  
Fig. 20. Measuring circuit of start characteristics.



21 図 起動特性

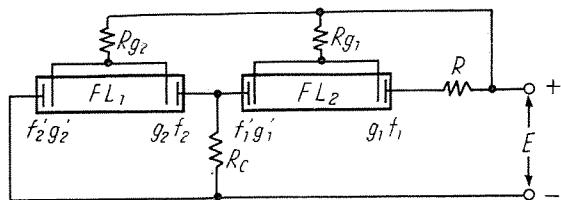
Fig. 21. Start characteristics.

Fig. 21. Start characteristics. 条件によって相当大きく変化し図では 300 V 位になっているが 600 V 以上を必要とする場合もある。しかし  $g_2 f_2$  放電がアーケに移った後のランプ点燈電圧は非常に安定でバラツキはほとんどない。

以上示した 19 図および 20 図の特性が、グリッド型点燈回路設計上の基本となるものである。

### (2) 直列点燈の機構

2 燈直列のものにつき、起動の機構を説明する。22 図において電源を投入すると  $g_1' f_1'$  間、 $g_2 f_2$  間、 $g_2' f_2'$  間に電源電圧がかかり、おののの間で補助放電が起りうる形勢にある。いま  $g_2' f_2'$  間に放電が起り、アーケに移って  $f_2'$  に陰極輝点を生じたとすると  $g_2' f_2'$  間の電位差は 20 V 足らずとなるから、それと同じ電位差である  $g_2 f_2$  間には放電は起らない。一方  $g_1' f_1'$  間には電源電圧がかかっているからこの間にアーケ放電が生じ、 $f_1 f_1'$  間には  $\frac{R_{g_1}}{R_c + R_{g_1}} = E$  (ただしアーケに移った後のグリッドカソード間の電圧は 20 V 程度であるから省略する。以下同じ) なる電圧がかかる。したがってこの値が 21 図に示された起動電圧値以上になるよう  $R_{g_1} R_c$  の値を選べばランプ  $FL_1$  は起動し、 $\oplus \rightarrow R \rightarrow f_1 \rightarrow f_1' \rightarrow R_c \rightarrow \ominus$  に放電電流が流れる。すると  $R_c$  の値は安定抵抗に比べてはるかに大きいから電源電圧の大部分が  $R_c$  両端に現われ、この電圧が  $f_2 f_2'$  間に掛るから  $FL_2$  も起動して結局 2 燈直列に点燈する。起動に悪い状態は  $g_2 f_2$  間に先にアーケ放電が起った場合である。この場合  $f_2$  の電位は、架線の  $\ominus$  に対して  $\frac{R_c}{R_{g_2} + R_c} E$  となり、 $f_1'$  の電位は  $f_2$  と同じであるから、 $g_1' f_1'$  間には  $E - \frac{R_c}{R_{g_2} + R_c} E = \frac{R_{g_2}}{R_{g_2} + R_c} E$  なる電圧しか掛らない。しかしこの値が 19 図のアーケへ移行する電圧以上になるように  $R_{g_1} R_{g_2} R_c$  の値を選べば  $g_1' f_1'$  間にアーケが起り  $FL_1$  の起動電圧は非常に低くなるので、前と同じように  $\oplus \rightarrow R \rightarrow f_1 \rightarrow f_1' \rightarrow R_c \rightarrow \ominus$



22 図 起動機構説明図

Fig. 22. Explanatory figure for start mechanism.

車両用けい光燈点燈方式・田中・佐野・竹田

わち  $g_2 f_2$  間の放電がアーケに移ると急激にランプの起動電圧は低下しどんど管電圧程度の電圧で起動する。そして  $g_2 f_2$  間の放電がグローである間は、ランプの点燈電圧は、

ランプによりまた周囲条件によって相当大きく変化し図では 300 V 位になっているが 600 V 以上を必要とする場合もある。しかし  $g_2 f_2$  放電がアーケに移った後のランプ点燈電圧は非常に安定でバラツキはほとんどない。

以上示した 19 図および 20 図の特性が、グリッド型点燈回路設計上の基本となるものである。

23 図 けい光燈 5 燈直列点燈回路特性図 (管壁温度 0°C~40°C)

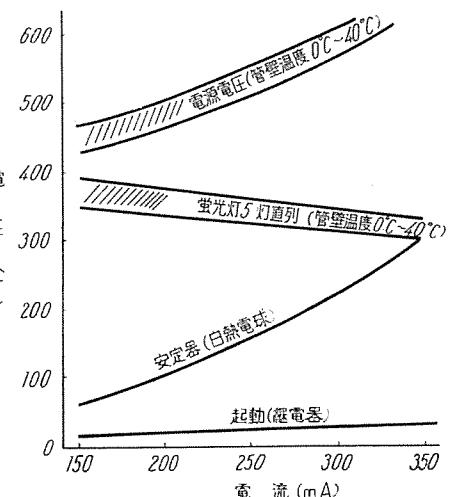
Fig. 23. Voltage distribution of five lamp series circuit.

直列抵抗としては、直列けい光燈数と電源状況に応じ適當な特性の白熱電球を用い、電源電圧の変動によるランプ電流の変化を少くしている。点燈中の各部分の電圧分配の一例を 5 燈直列の場合について 23 図に示す。室温 20°C、電源電圧 600 V のときにランプ電流が 310 mA になるように白熱電球特性を選んだもので、電源電圧変動に伴うランプ電流の変化も同図からわかる。

(3) 実用点燈回路

a. 架線電圧 600 V 系の場合

24~27 図に現用グリッド型けい光燈点燈回路を示す。各電鉄それぞれの架線電圧事情に応じ 20 W けい光燈 5 ~2 燈の回路を用いている (2 表参照)。27 図の 2 燈直列



23 図 けい光燈 5 燈直列点燈回路特性図  
(管壁温度 0°C~40°C)

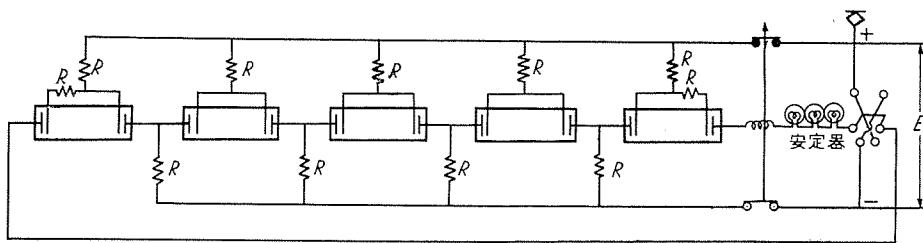
Fig. 23. Voltage distribution of five lamp series circuit.

直列抵抗としては、直列けい光燈数と電源状況に応じ適當な特性の白熱電球を用い、電源電圧の変動によるランプ電流の変化を少くしている。点燈中の各部分の電圧分配の一例を 5 燈直列の場合について 23 図に示す。室温 20°C、電源電圧 600 V のときにランプ電流が 310 mA になるように白熱電球特性を選んだもので、電源電圧変動に伴うランプ電流の変化も同図からわかる。

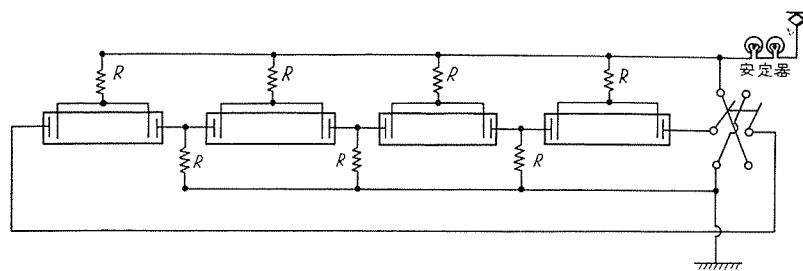
### (3) 実用点燈回路

#### a. 架線電圧 600 V 系の場合

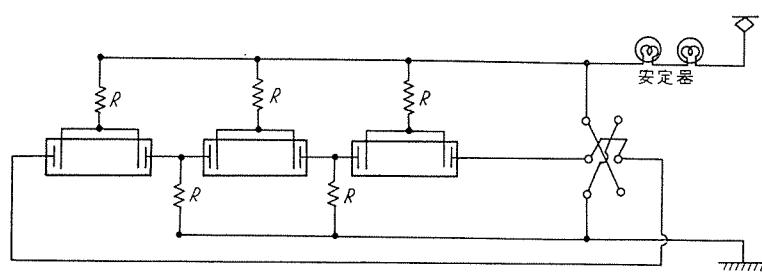
24~27 図に現用グリッド型けい光燈点燈回路を示す。各電鉄それぞれの架線電圧事情に応じ 20 W けい光燈 5 ~2 燈の回路を用いている (2 表参照)。27 図の 2 燈直列



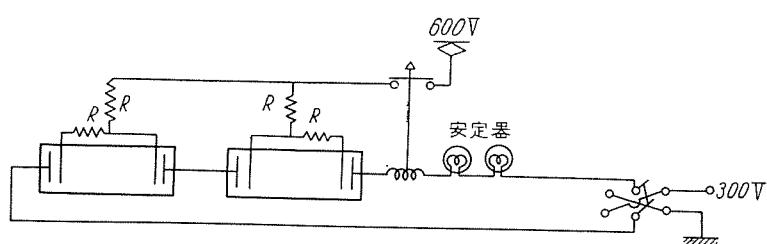
24 図 けい光燈 5 燈直列点燈回路  
Fig. 24. Five lamp series circuit.



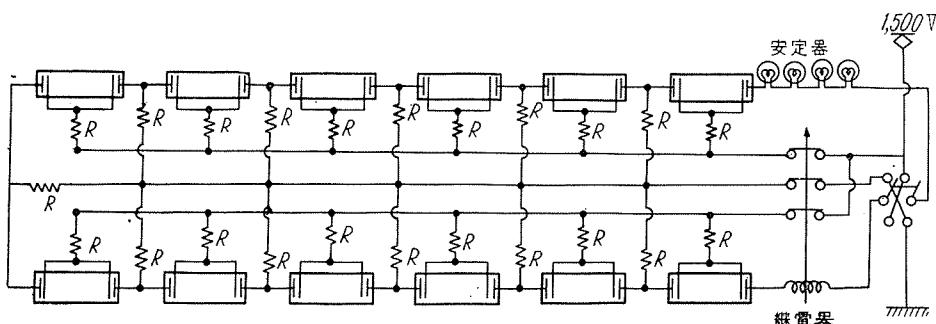
25 図 けい光燈 4 燈直列点燈回路  
Fig. 25. Four lamp series circuit.



26 図 けい光燈 3 燈直列点燈回路  
Fig. 26. Three lamp series circuit.



27 図 けい光燈 2 燈直列点燈回路  
Fig. 27. Two lamp series circuit.



28 図 1,500V 用けい光燈 12 燈直列点燈回路  
Fig. 28. Twelve lamp series circuit on 1,500 V D-C. source.

回路は特殊のもので、和歌山電気軌道株式会社で採用している。ここでは架線電圧の変動が非常に大きいので 300V の自動電圧調整器を備えこれを点燈電源に用いているが、この電圧ではグリッド、カソード間のアーカ放電の発生が不安定なので、グリッドだけに架線電圧をそのまま与えている。

b. 架線電圧 1,500V 系の場合

28 図は 20W けい光燈 12 燈直列のもので 600V 系で示したものと別に変らないが、ただこの場合直列燈数が多いために点燈中グリッド間に流れる側路電流が大きくなり、けい光燈寿命に悪影響を与えるおそれがあるので図に示すようにグリッドを 2 つのグループに分けてこれを防いでいる。

また 1,500V 系においては直流 100V の電動発電機を有しているのが普通で、この場合は 29 図のようにグリッドには架線電圧を利用し、主放電は 100V で行わしめる並列点燈方式を採用しうる。ただしこの方式はまだ実用していない。

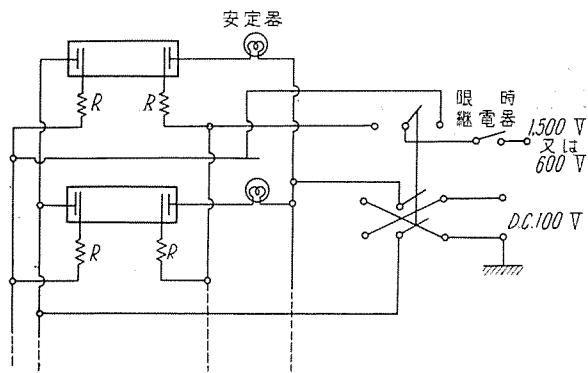
グリッド型点燈方式における直列燈数は、架線電圧の状況に応じて決定すべきことは前に述べたが、その基準となるべき直列燈数と最低起動電圧、消燈電圧の一例を 1 表に示す。

#### (4) 実施例

2 表に現在グリッド型を採用している各電鉄の実施状況を示す。

#### 4. むすび

以上車両用けい光燈の概要と問題点を述べ、グリッド型けい光燈の構造・動作・特長について概説したのであるが



29 図 100V 電源を使った並列点燈回路

Fig. 29. Parallel operating circuit on 100V D-C source.

1 表 グリッド型点燈回路における起動及び消燈電圧

直列燈数	最低起動電圧	消燈電圧	回路図
12	1100V	950V	29図
5	500	420	25
4	410	340	26
3	370	250	27
2	350	170	28
1	84	84	30

いうまでもなく、車両照明方式は発展途上にあり、とくにけい光燈照明に関しては改良の余地が多分に残されている。このときに当たりこの拙文がこの分野における発展にわずかでも寄与するところがあれば幸甚である。

### 参考文献

- (1) Campbell, J.H.: "High Frequency Operation of Fluorescent Lamps," I.E. Vol. 43, No. 2, p. 125 (1948)
- (2) Campbell, J.H., Schultz, H.E. and Kershaw, D.D.: "Characteristics and Applications of High Frequency Fluorescent Lighting," I.E. Vol. 48, No. 2, p. 95 (1953)
- (3) Cordts, B.H.: "Modern Car Equipment for New York City's Subway System," Trans. of A.I.E.E. Vol. 66, p. 247 (1947)
- (4) Beggs, E.W. and Graybrook, H.W.: "Development of A-C Fluorescent Lighting for New York City's Subway Cars," I.E. Vol. 45, No. 10 (1950)
- (5) 原田, 石森「車両用けい光燈回路」, 照学誌, Vol. 35, No. 5, p. 178 (昭26年)
- (6) 中村, 鳴原, 岡垣「けい光放電管の100V 直流点燈」, 照学誌, Vol. 36, No. 11, p. 339 (昭27年)
- (7) 原田, 石森「けい光放電管による電車の照明」, 照学誌, Vol. 36, No. 11, p. 347 (昭27年)
- (8) 浅田, 川西, 中塚, 真室, 東条, 泉元「けい光放電管の電車用 600V 直流電源による点燈について」, 照学誌, Vol. 36, No. 11, p. 354 (昭27年)
- (9) 永田「けい光燈の点燈方式について」, 照学誌, Vol. 37, No. 5, p. 183 (昭28年)
- (10) 浅田, 川西, 菊池, 板倉「けい光燈のDark end effectについて」, 照学誌, Vol. 38, No. 6, p. 271 (昭29年)
- (11) 名瀬, 中塚「直流で点燈したけい光放電管のDark-End効果について」, 福井大学工学部研究報告, No. 1, p. 15 (昭27年)
- (12) 高山「けい光燈の暗端効果に関する実験」, National Tech. Rep., 1, No. 4, p. 281 (1955)
- (13) 阿部, 神原, 成瀬「補助プレートを有する熱陰極けい光燈」, 第1報, 照学誌, Vol. 38, No. 6, p. 276 (昭29年)  
第2報, 照学誌, Vol. 39, No. 4, p. 193 (昭30年)
- (14) 田中, 佐野「グリッド型けい光燈について」, 照学誌, Vol. 34, No. 11, p. 358 (昭25年)

2 表 グリッド型けい光燈実施例 (会社名イロハ順)

会社名	電源(架線)電圧(V)	直列燈数	回路数(1両)	燈数(1両)	起動リレーの有無	1回路の安定器(白熱電球)	車両数
伊予鉄道株式会社	600	4	4	16	なし	250V 100W×2	9
阪神電気鉄道株式会社	600	5	4	20	あり	120V 40W×3	105
土佐電気鉄道株式会社	600	3	4	12	なし	250V 93W×2	3
同上	600	4	4	16	なし	250V 100W×2	10
和歌山電気軌道株式会社	600	2	4	8	あり	100V 40W×2	25
高松琴平電気鉄道株式会社	600	3	6	18	なし	250V 93W×2	1
福井鉄道株式会社	600	3	8	24	なし	250V 93W×2	6
神戸電気鉄道株式会社	1500	12	2	24	あり	240V 98W×4	1
神戸市交通局	600	5	3	15	あり	120V 40W×3	8
遠州鉄道株式会社	600	3	8	24	なし	250V 93W×2	6
広島電鉄株式会社	600	4	4	16	なし	250V 100W×2	5

# 交 流 計 算 盤

伊丹製作所 新井正元\*・早瀬通明\*\*

## A-C Network Calculator

Itami Works Masamoto ARAI・Michiaki H YASE

The a-c network calculator is a new scientific tool making the calculation easy on the problems of electric power systems. It represents a miniature power system having necessary apparatus and components. Rapid expansion and complication of power systems drive engineers puzzled in the improvement of the ability or stability of transmission lines and allied problems. The a-c network calculator help them greatly solve a number of questions arising with present and future establishments. Since the success in the first Mitsubishi Calculator for the Electro Technical Laboratory of the M. I. T. I. of the government five years ago, the unit has gained unparalleled position as an indispensable outfit. Valuable experience has permitted the company to build much improved second unit for the Research Laboratory two years ago, and now the third one for the Research Institute of Electric Power Industry.

### 1. まえがき

アメリカ科学文明が今日の隆盛を來した蔭には計算器が大いに貢献していることに注意すべきである。すなわちどんなに学術的に解明し得ても、そのために長時間長年月を必要とするのでは、今日のスピード時代には非能率的で問題にならない。計算器は人間の頭脳では到底達し得られないような正確さと速さをもって複雑難解な問題を解明できる。計算器を大別すると、Digital Computer と Analog Computer がある。ここで述べんとする交流計算盤とは Analog Computer の一種で、主として送電系統の問題を取扱うようにできている。米国では 20 数年前から各電力会社は送電系統上の諸問題、新規送電線増設の計画、あるいは複雑な送電系統の連繋問題などを解決するには、計算によらずに交流計算盤を用いるのが標準方法になっている。さてわが国は天然資源として水力発電が最も重要なものの 1 つで、比較的小さな発電所がたくさんあり、これを負荷中心地へ送電する送電線は長く、しかも 50 サイクル 60 サイクルの 2 つの周波数のものが隣接している所もある上に、送電系統の発達は数年前までは交流計算盤によらずもっぱら筆算による大まかなチェックのみで行われてきたため複雑非能率なところも少くない。さらに最近のめざましい電力需要の増大は、既設送電線の送電能力増加のために、連繋あるいは新設、送電電圧の上昇、並列あるいは直列キャバシタ設置などに加えて、強大な水力発電開発だけではまかね切れず、水主火從のジンクスを破って大ユニットの火力発電所が続々と建設せられ、近き将来には大容量の原子力発電の構想も考えられるに至った。したがって現在のままで送電方法に改良を加えてどの程度の電力が安定に送れるかあるいは事故原因の探求なども重要では

あるが、将来の系統の発達も考慮して遠大な総合的構想を決める必要があり、それに対して遮断器の遮断容量のチェック、新規送電線あるいは新設水力火力発電所の設置位置による損失ならびに潮流制御および回転型あるいは静止型コンデンサの容量位置の選定など、今日ほど系統運営の合理化のために交流計算盤で究明すべき技術的問題が山積している時代はないようと思われる。幸い当社が 1951 年 11 月工業技術庁電気試験所無分室に納入した国産第 1 号交流計算盤は、送電系統の技術的諸問題の解明は交流計算盤によるべきことを常識化するほど、わが国電力界のために幾多の問題を解決して大いに貢献し、各電力会社が高価な代価を払ってまで競って交流計算盤を設置せんとするに至ったのは喜ばしいことである。当社はさらに使用者の経験による忠告をもとにして、幾多の技術的改良検討を加えて 2 号機を 1955 年 7 月研究所に設置して電力会社あるいは工業会社の電力問題の解決に奉仕し、1956 年 11 月電力中央研究所納入第 3 号機をほぼ完成するに至ったので、ここには使いやすいことをモットとする最近の三菱交流計算盤の概要を説明する。

### 2. 交流計算盤への発展過程

昔電力系統の種々の問題を筆算で解くには極端に大きな労力と時間が必要であって、ちょっと混み入った回路では徹底的に研究解決することは不可能に近かった。すなわち計算を簡略にするためには複雑な系統を変形することが必要で、このためには多くの仮定を設けなくてはならないし、各種の運転条件下での計算を行うことはめんどうなので、特定の条件下の計算のみに終るのが普通で、人力計算による研究方法には限界があった。これがために実際に模擬回路を作り、これに電流を流してみる方法に進まざるを得なかった。そこで繼電器の時限の整

1 表 交流計算盤設置状況 (その1)

所 有 者	製 造 者	据付 年 度	周 波 数	発 単 電 機 位	発 ク タ 機 リ ア リ 位	線 路 単 位	π 単 回 路 位	負 荷 単 位	特 殊 回 路 位	蓄 単 電 器 位	単 卷 變 壓 器 位	相 单 互 結 合 位	全 単 位 数
1. Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Mass.	M. I. T.	1929	60	16	6	86	0	40	6	55	14	2	225
2. Westinghouse Elec. Corp. East Pgh., Pa. *	Westinghouse (1)	1929	440	12	0	160	0	40*	38	40	24	30	344
3. Pennsylvania Railroad New York City	Westinghouse (2)	1932 1937	440	6 1 6	0	144 24 168	0	40	40	12	14	16	272 24 296
4. Commonwealth Edison Co. Chicago, Ill. ☆	Westinghouse (3)	1932 1937	440	5 1 6	0	72	0	48	12	24	18	6	185 1 186
5. General Electric Co. Schenectady, N. Y.	G. E. (1)	1937	480	12	0	150	0	50**	2	68	20	15	317
6. Pub. Serv. El. & Gas Co. Newark, N. J.	G. E. (2)	1938 1949	480	8 2	0	85 36	0	30 10*	0	18 12	10	12	163 78
7. Tenn. Valley Auth. Chattanooga, Tenn.	Westinghouse (4)	1938 1941 1952 1953	440	12 6 6 6	0	60 60 22 32	0	20 24* 16* 8*	8	16 18 12 12	10 12 6 6	138 132 74 76	
8. Bonneville Pr. Adm. Ampere. Wash.	G. E. (3)	1939 1945 1952	480	9 9 12	0	50 80	0	30 40**	3	30 26	14	10	140 12 182
9. Sao Paulo Tram. Lt. & Pr. Sao Paulo, Brazil.	Westinghouse (5)	1940 1947	440	6	0	26 6 32	0	14* 2* 16*	0	12	6	12	76 8 84
10. Potomac El. Pr. Co. Washington, D. C.	Westinghouse (6)	1941	440	6	0	52	0	18*	0	12	6	8	102
11. Hydro El. Pr. Comm. of Toronto, Canada	Westinghouse (7)	1941 1947	440	9 6 15	0	62 36 98	0	24* 8* 32*	24 25 49	24 12 36	12 6 18	8 3 11	163 96 259
12. Pub. Ser. of Oklahoma Tulsa Okla.	Nelson	1941	60	7	0	87φ	0	30	21	26	14	0	185
2A. Purdue University W. Lafayette, Ind.	Westinghouse (1)	1942 1953	440	16 3	0	160	0	40*	38	60	36	33	383 3 386
13. Westinghouse Elec. Corp. East Pittsburgh. Pa. □	Westinghouse (8)	1942 1949	440	18 4	18 4	152 -24	0	48*	0	48	36	36	356 24 380
14. Armour Research Found. (Ill. Inst. Tech.) Chicago, Illinois	Westinghouse (9)	1945 1951	440	12 6	12	100	0	40** 20** 60**	0	36 12 48	18 12 18	18 88 324	
15. Iowa State College	Iowa State College	1946 1952	10000	4 12 16	4 12 16	0 104 128	24 54** 66**	12** 0	12 12 24	4 12 28	4 16 20	64 246 310	
16. Texas A. & M. College College Station, Texas	Westinghouse (10)	1947 1952	440	18 4	18 -28	134 28	16 28	56** 12** 68**	0	54	24	24	344 16 360
17. City of Los Angeles	Westinghouse (11)	1947	440	18	18	120	0	40**	0	36	16	18	266
18. University of Kansas Lawrence, Kansas	Nelson	1947	60	8	0	56	0	32*	11	12	8	6	133
19. Associated Elec. Indus. Willesden, England	Br. Thomson Houston	1947	500	12	0	120	0	30	4	60	36	12	274
20. Georgia School of Tech. Atlanta, Georgia.	Westinghouse (12)	1947	440	18	18	88	72	60**	0	24	24	18	322
21. Pacific Gas & Electric San Francisco, Calif.	Westinghouse (13)	1948	440	14	14	132	32	48**	0	48	24	12	324
22. Cons. Gas & El. Lgt. & Pwr. Co. of Baltimore, Md.	Westinghouse (14)	1948 1952	440	16 2	16 2	122 14	0	44** 6**	0	10 8	20 22	12 24	240 34 274
23. U. S. Bureau of Reclamation-Denver, Colo.	G. E. (4)	1948	480	12	12	108	0	32**	0	46	24	12	246
24. Electricity de France, Paris	Alathom	1949	500	16	0	0	90?	40	0	10	33	0	189
25. General Electric Co. Schenectady, N. Y.	G. E. (5)	1949	480	12	12	146	0	56**	0	89	16	15	346
26. English Electric Co. Stafford, England	English Elec.	1949	500	12	0	112	0	32	0	24	24	16	220
27. University of Calif. Los Angeles, Calif.	G. E. (7)	1949	480	6	6	50	0	16	0	35	8	4	125
28. India Inst. of Science, Bangalore, India	G. E. (7)	1950	480	16	16	100	0	50**	0	48	32	8	270

1 表 交流計算盤設置状況 (その2)

所 有 者	製 造 者	据 付 年 度	周 波 数	発 単 電 機 単 位	発 タ ク ナ リ ア 単 位	線 路 単 位	π 单 回 路 位	負 荷 単 位	特 单 回 路 位	蓄 単 電 器 位	单 卷 变 压 器 位	相 单 互 結 合 位	全 単 位 数
29. State Electricity Comm. of Victoria. Melbourne, Australia	Westinghouse (15)	1950	450	12	12	30	0	16**	0	8	6	6	90
30. Electricity Supply Comm. of Johannesburg. U. of S. Africa	Westinghouse (16)	1950	450	12	12	114	0	32**	0	36	6	12	224
31. Westinghouse Elec. Corp. Lima, Ohio.	Westinghouse (17)	1951	440	2	2	6	0	0	2	1	0	1	14
32. Commonwealth Edison Co. Chicago, Illinois.	Westinghouse (18)	1951	440	12	12	64	24	48**	12	28	24	12	236
33. 工業技術庁電気試験所 田無分室 (東京都)	三菱電機 (1)	1951	500	9	9	80		24**	0	64	18	16	220
		1953		9	9	34	18	12**		50	18	24	174
				18	18	114	18	36**		114	36	40	394
34. Tablelec Brussels, Belgium	Westinghouse (19)	1951	440	14	14	100	0	30**	0	20	18	16	212
35. Magrini, S. A. Bergamo, Italy	Westinghouse (20)	1951	440	12	12	48	50	32**	0	24	18	18	214
36. Detroit Edison Co. Detroit, Mich	Owner	1951	60	33	35	112	107	73**	0	32	62	8	462
37. American Gas & Electric Service Corp., N. Y. C.	G. E. (8)	1951	480	16	0	130	100	60**	0	80	16	16	418
38. Northwestern Technological Inst., Evanston, Ill.	Owner	1951	120	12	0	99	0	40	0	30	18	15	214
39. University of Illinois Urbana, Ill.	Owner	1952	10000	20	20	0	152	56**	0	28	34	24	334
40. A. E. G. Berlin Deutschland	Owner	1953	250	15	0	0	240+	0	0	0	10?	0	約265
41. Long Island Lighting Co. System Mineola, N. Y.	System Am. Corp.	1953	60	12	12	35	70	35**	0	10	0	5	179
42. Messrs Brown, Boveri & Co. Baden Switzerland	Contraves (C)	1953	500	7	7	76	0	12**	0	32	8	4	146
43. Siemens-Schuckertwerke Deutschland	Owner	1953	150	24	0	0	322	161*	0	14	35	28	584
44. Electrizitäts-Versorgungsunternehmen Deutschland	Owner	1953	250	18	18	36	108	43**	0	42	18	0	283
45. Impresa National De Electricidad, Republic of Chile	Westinghouse (21)	1953	440	6	6	46	0	16**	0	12	6	8	100
46. British Columbia Elec. Co. Vancouver, B. C.	Westinghouse (22)	1953	440	9	9	80	20	42**	0	30	15	8	213
47. Northern States Power Co. Minneapolis, Minn.	S. A. C.	1953	60	21	21	55	110	55**	0	10	55	5	332
48. Mexico Federal Power Comm Mexico City	G. E. (9)	1953	480	12	12	120	0	40**	0	36	12	8	240
49. Franklin Institute Philadelphia, Pa.	Westinghouse (23)	1954	440	28	30	198	72	90**	0	90	54	18	580
13a. Cornell Univ. Ithaca N. Y.	Westinghouse (8)	1954	440	18	18	128	40	48**	0	48	36	36	372
50. Westinghouse Electric Corp. East Pittsburgh Pa.	Westinghouse (24)	1954	440	36 (W.r)	36	120	184	108**	0	56	72	56	668
51. Southern California Edison Co., Los Angeles	Westinghouse (25)	1954	440	12	12	54	40	39**	0	28	12	12	209
52. Wisconsin Utilities Assoc. Madison, Wisc.	Westinghouse (26)	1955	440	15 (W.r)	15	120	0	50**	0	48	30	25	303
53. 三菱電機研究所 (尼崎市)	三菱電機 (2)	1955	500	6 (3(W.r))	0	40	0	10**	20△	60	12	20	168
				9	60			6**		16	20	60	29
										16	20	12	197
54. 電力中央研究所 (東京都)	三菱電機 (3)	1956	440	12	12	60	20	24**	0	34	24	20	206
55. 九州電力 (福岡市)	東芝電機 (1)	1956	480	12	12	60	30	24**	0	66	16	12	232
56. 電源開発 (東京都)	横河電機 (1)	1956	3980	6	6	40	0	12**	0	35	12	8	119
57. 関西電力 (大阪府)	三菱電機 (4)	製作中	500	12	12	80	40	24**	6△	92	24	30	320

※ 1929 年 W 社が製作所有していたものを 1942 年 Purdue university に移設 (No. 2 a. 参照)

☆ 1951 年に Illinois Institute of Technology に移設 (No. 14 参照)

□ 1942 年と 1949 年に W 社が製作所有していたものを 1954 年に Cornell University に移設 (No. 13 a. 参照)

\* 負荷調整器 (単巻変圧器) を有しているもの

△ 負荷調整器と負荷電圧計を有しているもの

† 87 個の中 63 個は固定された値、残り 24 個が可変

+ 線路、発電機タクタシスおよび負荷用をすべて本単位で兼用のもの

△ アナコム用高利得リアクタ単位を有しているもの

W.r Watt-Regulator を有しているもの

○ Contraves 社は他に規格不明であるが、Kungl. Vattenfallsstyrelsen Stockholm Sweden のものを製作している

電試交流計算盤は 8 回路機械式同期スイッチ 1 台および 6 單位分 Stability computer (W.r にも使用可能) を有している

三菱研究所交流計算盤は記録机 1 台、アナコム用計測机 1 台、10 回路機械式同期スイッチ 1 台、6 回路電子管式同期スイッチ 1 台

60c/s 発電機単位 3, 9 機分の Swing calculator 及び 40 単位の演算増幅器を含む電子管式アナコムをも併設している

電研交流計算盤は記録机 1 台、アナコム用計測机 1 台、負荷調整コントロール 1 台および W 社製の 12 単位演算増幅器や 11 回路電子管式同期スイッチ その他アナ

コムエレメントを含む電研式の Large Scale ANACOM である

関西電力交流計算盤は記録机 1 台、Scale 負荷調整コントロール 1 台、10 回路電子管式同期スイッチ 1 台、60c/s 発電機単位 3、その他過渡現象解析用エレメントを有している

定、遮断器耐量の決定などに直流計算盤が登場使用された。これは送電回路を模擬し、送電系統の故障電流の分布の略算を行うものであるが、直流を用いるため本質的に交流 3 相回路の問題の解決には不適当であった。ついで回転機を使用しない静的装置よりなる交流模擬回路が作られたが、安定度の問題が重大化するに伴い同期機の相差角を表すために、3 相発電機、電動機静止負荷および集中定数よりなる模擬送電線が使用された。しかしこれも回転機を使用するので、経費・据付場所・電力・取扱いの点から次に述べる交流計算盤より劣っていて、ことに多数の電源を有する場合は不適当であった。

上記のような送電技術研究上の必要から 1929 年に北米合衆国の Massachusetts Institute of Technology に最初の 60 サイクル交流盤が設置されて以来、その効用が認められてその設置国は 1 表に示すように、北米合衆国を始めとして、イギリス・西ドイツ・カナダ・フランス・チリ・ブラジル・南ア連邦・インド・オーストラリア・ベルギー・イタリヤ・スエーデン・メキシコ・スイスおよび日本と約 58 台あり、その他この表に記入していないソビエートロシヤおよびその衛星国分その他を合せると 65 台を突破するのではないかと思われる。

このうちウエスチングハウス電機会社（以下 W 社と略す）製 26 台、G. E. 社製は 9 台という数字であるが、この分野では三菱交流計算盤と同一形式の W 社製が圧倒的に優勢で、技術的に優秀な使い易い交流計算盤である。

### 3. わが国の交流計算盤

日本においては戦前旧日発より東芝に一度発注されたが、種々の事情で遂に製作せられず、また戦後旧日発電研で W 社から輸入を計画されたが、これも資金関係で実現しなかった。当社は 1950 年工業技術庁電気試験所の発注で、わが国最初の、世界でも 33 台目のものを設計製作した。なにぶん終戦後間もなかったときで、未だ W 社より十分な資料も得られず、戦前のデータと各種外国文献を参考として製作した上に、高級材料および優秀な部品の入手難で苦労したが、1951 年 10 月発電機単位 18、全単位数 394 でほぼ技術的に世界水準を行くものを完成してパイオニヤとしての重責を果した。続いて当社は 500 サイクル発電機単位 6, 60 サイクル発電機単位 3、全単位数 168 のわが国 2 台目の交流計算盤を 1955 年 7 月に当社研究所に設置した。この計算盤には電気の過渡現象はもちろん、機械・流体・熱流に関する過渡現象を直接相似的に解析できるように、機械式または電子管式同期スイッチや、機械系表示のための高利得リアクタを設備し、また各種制御系や電力系統の過渡現象および機械系の振動などを函数演算的に解析する電子管式アナコムも併設した。当社はさらに発電機単位 12、全単位数 206 のわが国 3 台目の電力中央研究所向の計算盤をほぼ完成した。本盤は最近の傾向である電気工学以外の各種分野に活用さるべく、W 社より輸入する電子管式アナコムや

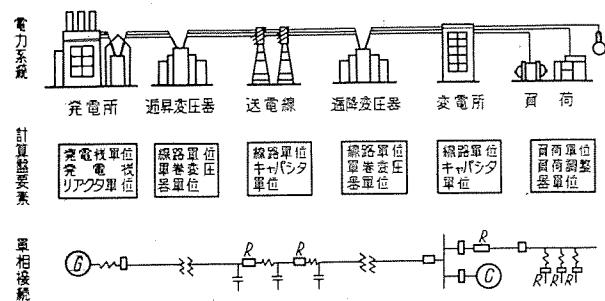
アナコム用特殊エレメント等が到着すれば、わが国最初の General Purpose アナコムとして活躍するのも近き将来であろう。続いて当社の交流計算盤への積極的な進出に刺激されてか、東芝も G. E. 系の 480 サイクル交流計算盤を九州電力向に、また横河電機も 3980 サイクル電子管式交流計算盤を電源開発向に完成した。

当社はすでに 3 台の製作経験を持ち、逐次改良開発を施し、特性の改善・安定化・自動化・計算速度の向上および過渡現象解析器としての応用範囲の拡張に努力した結果、さらに関西電力の計算盤受注に成功し、目下鋭意製作中である。

### 4. 交流計算盤の概要とその問題点

航空工学では風洞実験が、船舶工学では水槽実験が用いられるように、交流計算盤は複雑な大送電系統の電気的特性を模擬する縮少模型で、1 図はその縮少方法を示す模擬説明である。すなわち電気的特性が相似であれば実際の系統の設備と形状が相似である必要はない。発電所としては模擬送電線のように回転機の使用を避けて、静的装置により電圧、位相角を変える発電機単位と発電機リアクタ単位に置き換え、昇圧変圧器は単巻変圧器とインピーダンスを示す線路単位を使い、送電線路は線路単位・キャパシタ単位を用い、降圧変圧器も単巻変圧器と線路単位・負荷を負荷単位・負荷調整単位あるいはキャパシタ単位と組込んで、抵抗・リアクタンス・サセプタанс等の電気的定数が実際の系統を表現する。発電機単位は静止型であるから、安定度の問題のように、時間と共に電圧や位相角の変化する現象の研究には特別な装置を付加しなければ段々法で解決しなければならない。また交流計算盤では各単位数を節約するため 3 相送電回路を単相表示することが原則で、不平衡故障時も対称座標法を利用して、単相回路を組合して表示することができる。すなわち正相回路のほかに逆相および零相回路を適当に接続して単相表示を行う。

さてこのような目的に使用される計算盤にはどのような特性や性能が要求され製作されるかを考えて見よう。まず交流計算盤に用いる周波数は Iowa 大学の 10 kc あるいは横河電機の 3980 サイクルのように高く選定する



1 図 実際の送電系統と交流計算盤との対応図

Fig. 1. All the characteristics of each element of a power system are produced in miniature by the corresponding A-C network calculator element.

と、キャパシタは小型になり、かつリアクタも空心またはダストコア等を用いることができてきわめて経済的に設計できるが反面、雑音・誘導・漂遊インピーダンスが増すから特別な考慮が必要になる。すなわちプラグボードに回路を組上後測定点の母線側で漂遊容量をリアクタでその都度補償するといったようなめんどうなことをする必要があり、また計測装置についても雑音誘導により十分な正確度が望めず、波形歪が問題になり、また計算盤に使用される電力計は力率特性として力率0より1.0までを精確に読むことを必要とするために、数kcで使用できる計算盤用電力計は製作困難ではないかと思われる。さらに電源装置も音叉またはCR発振器を用いるので大規模になるほど保守がめんどうになり、運転も難かしく、安定性、頑丈さ、計算速度などの点より、連日の使用に耐える計算盤には不向きで、アメリカでは電力会社では購入されず大学でしか使用されない。

一般にリアクタの重量を軽減するためには、400ないし600サイクルが最も適当であり、計器も600サイクルまでは普通のものでも使用可能であるので、W社、G.E.社はそれぞれ440サイクル、480サイクルを用いており、当社も周波数の標準が得やすい500サイクルを採用している。

計算盤の定格ともいべき基準量は計算盤に対する各種の要求を満足し、製作使用の実績および将来の応用範囲の拡大を考えて決められる。当社は電圧・電流・インピーダンスの基準である100%値として100V, 1A, 100Ω基準を採用した。また200V, 0.5A, 400Ω基準でも使用できるように各インピーダンスや計測装置を設計製作してある。

この基準量は2表に示すように各社まちまちであるがたとえばG.E.社の50V, 50mA, 1000Ωのように基準電流を少くインピーダンスを大きくとれば、電圧計や主計測器の所要電流の基準電流に対する割合が大きくて分流誤差が大になり、キャパシティは少くて済むがリアクタや抵抗の巻線数が増えて漂遊容量や漏洩抵抗が増加してその影響が大になる。また配線その他部品の漂遊容量や漏洩抵抗の影響も大きいため、キャパシタや抵抗値への誤差を少くするのに、配線間隔や対地距離をとくに大きくする大規模な配線方式を考慮しなければならないから、キャビネットやダクトの大きさは、基準電流が

2表 各社交流計算盤の基準量

	電圧 (V)	電流 (A)	インピーダンス (Ω)	周波数 (c/s)	製作 (年)
M. I. T.	220	2	100	60	1929
W. H. 社	100	1	100	440	1930
G. E. 社	50	50mA	1,000	480	1939
Iowa State College	10	0.1	100	10,000	1946
Associated Elect. Industries	50	50mA	1,000	500	1947
Detroit Edison Co.	100	1	100	60	1951
三菱電機	100	1	100	500	1951

大きくて当然大きくなると考えられる100V, 1A, 100Ω基準の計算盤の方が実際には小さくなる。このような並列インピーダンスによる誤差は計算の際補償困難な場合がある。

計算盤の漏洩抵抗は使用全単位の絶縁抵抗が大地に並列になるから、規模が大きくなればなるほど影響は大きく、とくに湿度の高いわが国ではいかに温湿度調整を施しても、長年月経れば絶縁抵抗の低下を來す危険があるので、これをいかにして防止するかが重大な問題である。

また最近の傾向として廉価に造るためにNorthwestern大学のように未更正の単位をその都度計器で更正して行くものや、実用化は疑問ではあるがKansas大学のリアクトル節約のために角度変換して用いるもの等があるがいずれも取扱いが繁雑であろう。

最近計算盤の応用分野として計算盤を過渡現象の解析に利用することが試みられてきた。当社はこの点に着目し種々開発の結果、計算盤の過渡現象解析装置化に成功した。計算盤の周波数特性を考えるとき、数kc使用の計算盤ではエレメントの固有周波数が基本周波数に近く、また基本周波数での共振回路を数多く使うために、過渡現象解析装置としては利用不可能に近い。かかる点からは100Ω基準計算盤の方が1,000Ω基準計算盤に比べてはるかに周波数特性が広いから、500サイクル100Ω基準計算盤にのみ許された特長となる。当社製計算盤が過渡現象解析装置として応用可能であることは、すでに各電力会社の事故を当社研究所計算盤が解決していることからも証明される。

計算盤の原理が前述のように相似計算器である以上、その確度には限度の存在する点は明かである。また使用法として日常業務の頻繁かつ長時間にわたる使用に耐えねばならない。したがって計算盤は計算尺と同様に実用的に望ましい精密度を有すると共に、特性の安定性・信頼度・使い易さ・計算速度およびその応用範囲の拡張を重視する必要がある。

このような要求による計算盤は数多くの計算盤を製作使用した実績・経験により逐次改良を加えて始めて完成されるものである。

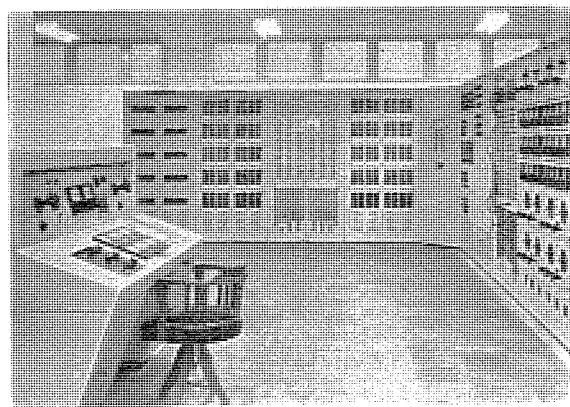
## 5. 各部の構造

2図は交流計算盤の全景を示す。3図は電力中央研究所向交流計算盤の配置図である。各単位は完全に色彩調整された美麗な鉄製キャビネットの可動引出箱に入れられており、どんな部分でも直ぐに4図のように点検できるようになっている。各回路および引出箱の配列が各種単位に相互誘導やキャパシティを持たないように、また過渡現象解析装置の応用を考えて特殊な配線方式を採用している。

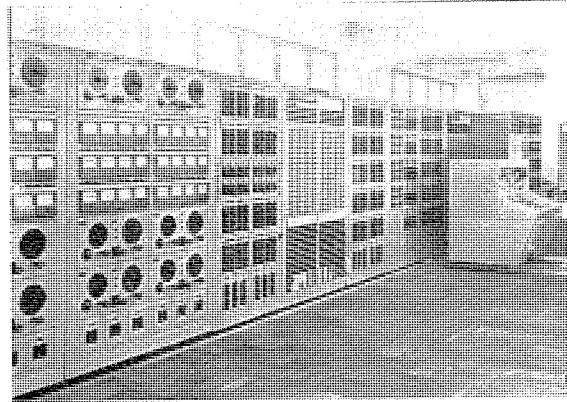
交流計算盤はつぎの各部より成っている。

A. 電源装置

B. 発電機単位



2 図 a 三菱研究所交流計算盤  
Fig. 2 a View of Mitsubishi research laboratory calculator.



2 図 b 電力中央研究所交流計算盤  
 Fig. 2 b View of the calculator in the central research institute of electric power industry

2 図 交流計算盤全景

- C. 発電機リアクタ単位
  - D. 線路単位
  - E. キャパシタ単位
  - F.  $\pi$  回路単位
  - G. 負荷単位および負荷調整器単位
  - H. 単巻変圧器単位
  - I. 相互結合単位
  - J. 計測機
  - K. 接続盤
  - L. 記録機
  - M. 負荷調整コンソール
  - N. 対称分合成装置

以下各部につき簡単に説明する。

#### A. 電源装置 (5 図)

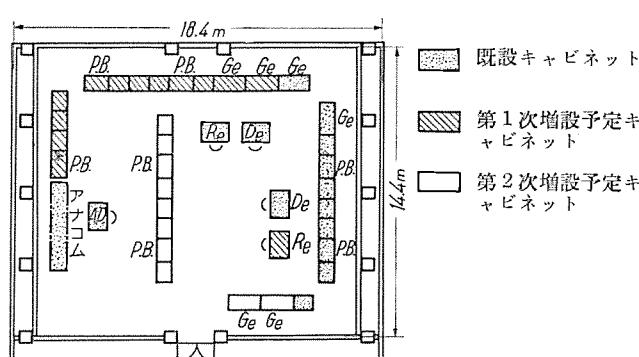
発電機単位および計測机に 3 相 200 V 500 c/s を供給する電源は 20 極の SA 型回転電機子型 15 kVA 発電機で、220 V, 60 c/s, 30 HP の 3 相誘導電動機によって駆動される 220 V 15 kW 直流発電機の発生電力を受けて回転する 10 kW 直流電動機により駆動される。この 500 c/s 発電機は発電単位 18 単位で最大所要電力約 5 kW に対して 15 kVA の発電機を用いているので性能は優秀である。試験はすべて単相 5 kW 負荷という苛酷な条件で行うが、電圧変動率は少く、高周波含有率は 0.8%，電圧不平衡率は 0.55% である。

わが国のように電源周波数の変動の多い所に用いるには、優秀な速度調整器と強力な電動機が必要で、したがって 15 kVA の発電機に対して 30 HP という大きな電

G 7	G 10	補助盤	G 13	G 16	L1,L2	L9,L10			01,02	011,012	L1,L2 L3,L4 L11,L12 A1-A6 A9-A16	L1,L2 L3,L4 L11,L12 L17,L18 L5,L6 L13,L14	021,022	031,032			L11,L12	L17,L18	041,042	051,052		
計器	單位		計器	單位	03,04	013,014			05,06	015,016	07,08	017,018					L13,L14	L19,L20	043,044	053,054		
G 8	G 11		G 14	G 17			接続盤										L5,L16	L17,L18	045,046	055,056		
G 9	G 12		G 15	G 18	M2 M4	M6 M8			09,010	019,020							M12,M14	M16,M18	L17,L18	L21,L22	047,048	057,058
G7, G9, G9, G10, G11, G12			G13,G14, G15	G16, G17, G18	X7,X8,X9,X10,X11,X12		M1,M3,M5	M7,M9,M10	X12,X13,X14,X15,X16,X17,X18								M11,M13,M15	M17,M19,M21	L19,L20	L23,L24	049,050	059,060
							C1,C2		C3,C4		C5,C6		C7,C8	C13-C14			C19,C20	C21,C22	C23,C24		C31,C32	C33,C34

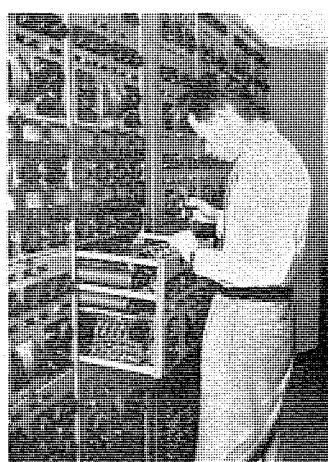
3 図 a 交流計算盤各単位配置図  
Fig. 3 a Number and location of calculator units.

G=発電機単位  
 X=発電機リアクタ単位  
 ただし  $\times 10 \times 12$  は低損失  
 発電機リアクタ単位  
 C=小キヤバシタ単位  
 ただし C31~C34 は大容量キ  
 ャバシタ単位  
 A=負荷調整器単位  
 L=負荷単位  
 T=単巻変圧器単位  
 M=相互結合単位  
 O=線路単位  
 $\pi=\pi$  回路単位  
 キヤビニット  
 Re=記録卓  
 De=計測机  
 A.D.=アナコム用計測机  
 P.B.=接続盤キヤビネット  
 ただし \*印のある接続盤アナ  
 コムエレメントと共に用の接続  
 盤である



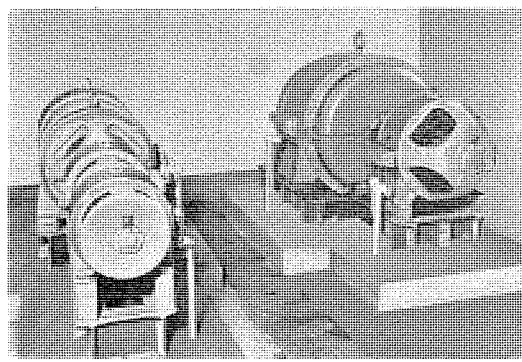
3 図 b 交流計算盤キャビネット配置図  
Fig. 3 b Plan view of calculator room

Fig. 3 General arrangement of the calculator in the central research institute of electric power industry in Tokyo.



#### 4 図 引出式単位

Fig. 4 All units are housed in removable drawers of cabinet.



5 図 電源装置

Fig. 5. 500 c/s power supply device.

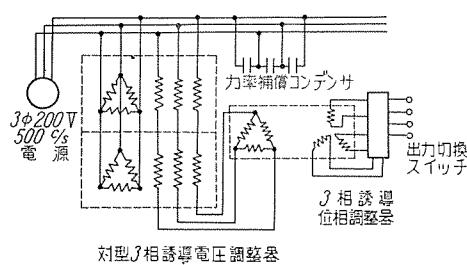
動機を使用する。速度調整器は回転数の変化をパイロット発電機の電圧を検出し、これを標準電圧と比較して電子管増幅して直流電動機の速度を調整する。ゆえにこの 15 kVA 発電機はつねに整定値の  $\pm 0.2\%$  の周波数変動率で運転される。電圧調整は抵抗器型または電子管型電圧調整器で自動的に制御し、電圧変動率は整定値で  $\pm 0.3\%$  以内である。また電圧および周波数は希望により手動調整することもできる。

#### B. 発電機単位 (6, 7 図)

6 図

発電機単位  
結線図

Fig. 6.  
Schematic  
diagram of  
generator  
unit.

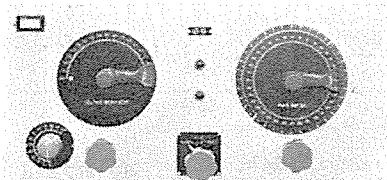


対型 3 相誘導電圧調整器

7 図 a

発電機単位

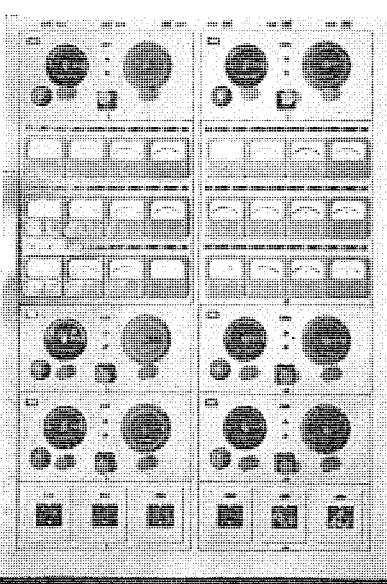
Fig. 7 a  
Generator unit.



7 図 b

発電機単位  
キャビネット

Fig. 7 b  
Generator unit  
cabinet.



7 図

発電機単位およ  
びキャビネット

Fig. 7  
Generator unit  
and cabinet.

発電機単位は発電所を代表するもので、6 図のようにそのエネルギーを主電動発電機より付与された 3 相 500 c/s 200 V の母線から受け、可変位相の 0~230% まで変えうる単相または 3 相出力を供給する。発電機単位は対型 3 相誘導電圧調整器で電圧を調整し、この 3 相電圧を誘導位相調整器の 1 次側に供給し、2 次側に単相または 3 相をうる。位相は 0 から  $360^\circ$  まで連続的に調整でき、電流は最大 300% すなわち 3A まで取り出せる。

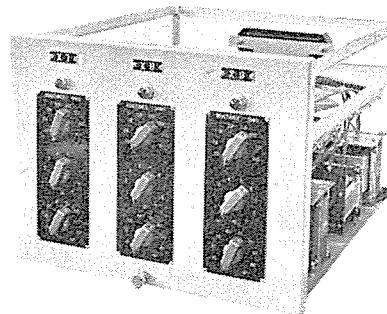
3 相出力発電機単位は切換スイッチにより単相出力、3 相出力および直角相出力をうることができる。潮流などの普通の問題に対しては単相出力を、多重故障問題に対しては 3 相出力による 3 相 4 線式法採用に便ならしめ、また  $\alpha\beta0$  回路や位相変圧器に対しては直角相出力を利用しうる。位相変圧器としては  $\pm 30^\circ$  まで位相できる。すなわち 3 相出力発電機単位は 1 単位で種々の使い方のできる万能型で、世界で当社により始めて開発されたものである。

計算の際発電機内部電圧を一定にするときは、300% 電流のときでも発電機内部電圧を測定精度 0.5% 以上で読むことができるよう電圧降下補償装置が取付けてある。

発電機単位の電圧と位相は手動あるいは計測機より遠隔制御可能で調整に便利である。また潮流調整の際できるだけ早く予定値に収斂させるために、発電機出力一定の条件を自動的に満足させる Watt regulator を開発した。これを用いれば W 社の例では潮流調整に要する時間は 36 機でも半日に足りず計算速度の向上が期待される。

位相角指示ダイヤルは安定度計算の便利のために、指針と共にダイヤルも 0 点を可変できる構造にしてある。

発電機単位には電圧計・電流計・電力計・無効電力計があり、全部予定指針を備えていて、発電所の発電機模擬に際し、その予定出力・電圧・電流を指示せしめて置くことができる。また電力計・無効電力計には反転スイッチがあり、逆流する電力および無効電力を読むことができる。電圧計には内部あるいは端子電圧のどちらでも指示しうるよう選択スイッチがある。電圧計は 125/250 V の 2 重目盛、電流計は 2/4A の 2 重目盛、電力計および無効電力計は 250/500 W & Var である。計器の精度はいずれも 1.5 級で計器部分にもプラグを取付けてあるから、計器単位として利用して任意の点の電圧・電流・電力・無効電力を測定できる。



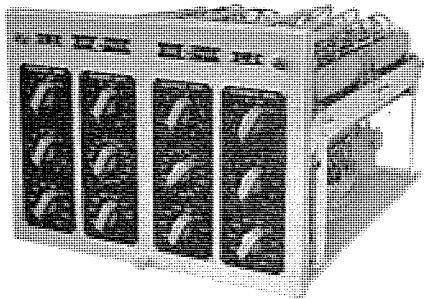
8 図

発電機リアクタ  
単位

Fig. 8  
Generator  
reactance units.

### C. 発電機リアクタ単位 (8 図)

発電機の内部リアクタンスを表わすために発電機単位にはそれぞれ 499.8% ずつの発電機リアクタ単位が接続してある。これは 0.8%, 9.0%, 90%, 400% の各リアクタよりなり 3 ダイヤルで切換える。抵抗分含有率  $R/X$  は 10% 以上は平均 2.5%, 1~10% は平均 3.5%, 0.8% 以下は平均 6% である。大容量水車発電機を表現するためには別に低損失発電機リアクタを製作しており、抵抗含有率は 10% 以上は 2% 以下、10% 以下は 3.5% 以下、1% 以下は 5% 以下で、リアクタンス値の許容誤差は 25% より 250% までの 10 倍の電圧降下で  $\pm 1.5\%$  以下である。

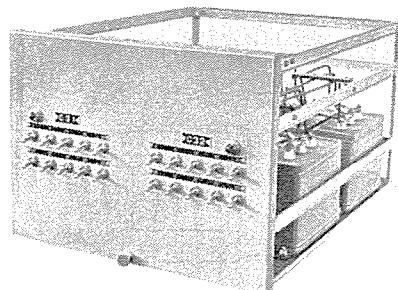


9 図  
線路または  
負荷単位  
Fig. 9.  
Line or load  
unit.

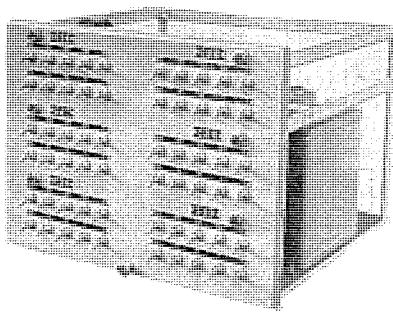
### D. 線路単位 (9 図)

送電線や配電線の抵抗、インダクタンスを模擬するもので、直列のリアクタンスと抵抗よりなり、抵抗およびリアクタンスの可変範囲は標準品でいずれも 299.8% である。抵抗は温度係数小さいフェリ線の無誘導巻きで抵抗値の誤差は  $\pm 1.5\%$  以下であり、 $100\% \times 2 + 10\% \times 9 + 1\% \times 9 + 0.2\% \times 4$  のステップを 3 ダイヤルで切換える。リアクタンスは  $20\% \times 14 + 2\% \times 9 + 0.2\% \times 9$  で 3 ダイヤルで切換える。リアクタンス誤差は 25~250% 電圧降下で  $\pm 1.5\%$  以下の誤差である。抵抗分含有率は 2% 以上は 3, 5  $\pm 0.5\%$  偏差、1.8% 以下は 5  $\pm 1\%$  偏差、1% 以下では 6  $\pm 1.5\%$  偏差である。

### E. キャパシタ単位 (10, 11 図)



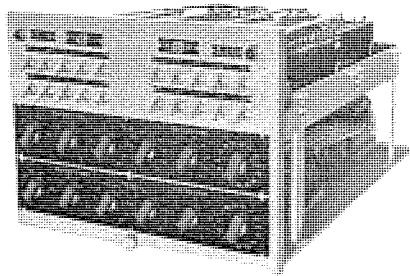
10 図  
大キャパシタ単位  
Fig. 10.  
Large  
capacitance  
units.



11 図  
小キャパシタ単位  
Fig. 11.  
Small  
capacitance  
units.

交流計算盤・新井・早瀬

キャパシタ単位には大キャパシタ単位と小キャパシタ単位があり、大キャパシタ単位は電力用コンデンサおよび周期調相機などを代表する。キャパシタンスは  $\mu F$  目盛であり、 $164 \mu F$  を  $4 \mu F + 8 \mu F + 12 \mu F + 20 \mu F \times 7$  のステップでスナップスイッチで切換える。 $(164 \mu F = 5149.6\%)$  小キャパシタ単位は線路の静電容量および多巻線変圧器の負のリアクタンス等を模擬し、 $4.1 \mu F$  を  $0.01 \mu F + 0.02 \mu F + 0.03 \mu F + 0.04 \mu F + 0.1 \mu F + 0.2 \mu F + 0.3 \mu F + 0.4 \mu F + 1 \mu F + 2 \mu F$  のステップに分けている。 $(4.1 \mu F = 128.74\%, 0.01 \mu F = 0.314\%)$  すべてのキャパシタの誤差は  $10 \sim 25^\circ C$  において  $\pm 1.5\%$  以下、力率 0.35% 以下である。



12 図  
 $\pi$  回路単位  
Fig. 12  
 $\pi$  circuit  
units.

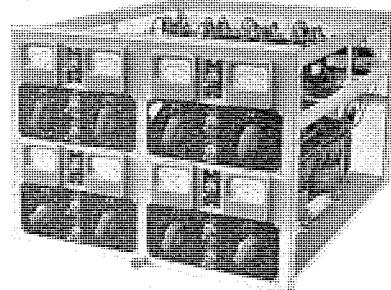
### F. $\pi$ 回路単位 (12 図)

本単位は送電線を模擬するもので抵抗とリアクタの直列回路とその両端の並列キャパシタより構成してある。抵抗とリアクタンスは線路単位とまったく同様で、標準品は抵抗およびリアクタンスはいずれも 299.8% である。並列キャパシタは最大  $2.105 \mu F$  で、 $0.005 \mu F + 0.01 \mu F + 0.02 \mu F + 0.02 \mu F + 0.05 \mu F + 0.1 \mu F + 0.2 \mu F + 0.2 \mu F + 0.5 \mu F + 1 \mu F$  のステップですべてのキャパシタの誤差は  $10 \sim 25^\circ C$  において  $\pm 1.5\%$  以下、力率 0.35% 以下である。 $(2.105 \mu F = 66\%, 0.005 \mu F = 0.157\%)$

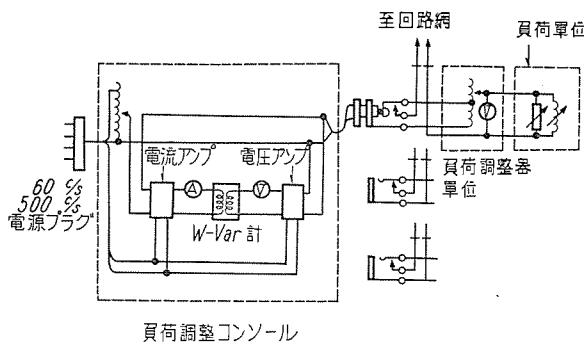
### G. 負荷単位および負荷調整単位 (9, 13 図)

負荷を代表するもので抵抗とリアクタンスを直並列に切換えるようになっており、抵抗は最大 2998% で  $2\% \times 4 + 10\% \times 9 + 100\% \times 9 + 1000\% \times 2$ 、リアクタンスは最大 2398% で  $2\% \times 9 + 20\% \times 14 + 300\% \times 7$  のステップで各 3 ダイヤルで切換える。抵抗は結線単位と同様に温度係数小さいフェリ線の無誘導巻きで誤差は  $\pm 1.5\%$  であり、リアクタの抵抗含有率は 10% 以上は 3.5%  $\pm 0.5\%$  偏差、1.8% 以下は 5  $\pm 1\%$  偏差、1% 以下は 6  $\pm 1.5\%$  偏差で、誤差は 25~250% の電圧降下で  $\pm 1.5\%$  以下である。

交流計算盤で負荷を模擬するときは、普通計測機や負



13 図  
負荷調整器単位  
Fig. 13  
Load adjusting  
units.

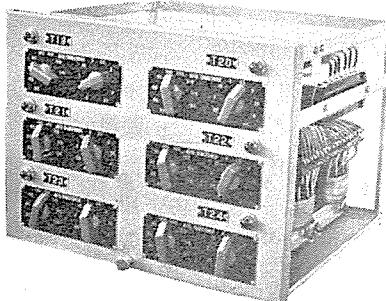


14 図 負荷単位、負荷調整器単位及び負荷調整コンソール結線図

Fig. 14 Schematic diagram of load unit, load adjusting unit, and load adjusting console.

荷調整コンソールの主計測器で、電力や無効電力を直読して、迅速かつ正確に負荷単位の抵抗やリアクタンスを調整する。しかも組上げられた模擬回路を調整するために発電機出力などを変化させると、負荷母線電圧は基準電圧とは限らなくなるので負荷VAは予定値よりも減少あるいは増大する。それでさらに抵抗とリアクタンスを改めてその母線電圧で調整する必要があるが、負荷電力や無効電力を正確に調整するためには、数回繰返えさねばならない。これがためにわざわざ抵抗やリアクタンスを変えることなく、負荷インピーダンスに加わる電圧を基準電圧に調整できるように 13, 14 図のように単巻変圧器および負荷点の電圧を示す電圧計よりなる負荷調整器単位を作成している。負荷調整用単巻変圧器は負荷インピーダンスに加わる電圧を  $\pm 14\%$  まで  $1\%$  のステップで変えられる。

負荷点の電圧指示用電圧計は基準電圧 100% または 200% の点に赤線が入れてあるので、調整の際は負荷点の電圧をこの赤線に指針が重なるように、単巻変圧器ダイヤルを回すのみでよい。



15 図  
単巻変圧器単位  
Fig. 15.  
Auto-transformer units.

## H. 単巻変圧器単位 (15 図)

交流計算盤の回路では実際系統のインピーダンスを高圧側または低圧側に換算して組上げるので変圧器は線路単位で代表できる。しかし変圧器のタップと運転電圧が異なる変圧器が使用されている場合は、調整可能な変圧器が必要であるため単巻変圧器を用いる。調整範囲は  $\pm 20\%$  で  $5\%$  ステップと別に  $0.5\%$  のステップで切換える。

## I. 相互結合単位

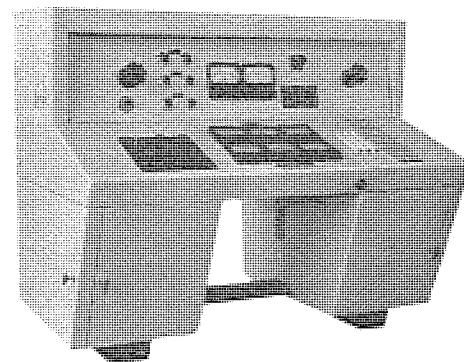
相互結合単位は  $1:1$ ,  $1:\sqrt{3}$ ,  $1:2$  の理想変圧器で

ある。後述の接続盤の下部に取付けてあり、接続盤の下部リセプタブルに端子が出ており、必要に応じてプラグを挿入することにより接続される。 $1:1$  のタップは並行送電線の相互結合に  $1:\sqrt{3}$ ,  $1:2$  のタップは特殊計算に用いる励磁電流を極力少くするため上記単巻変圧器と共にハイパーオイ鋼板を鉄心に使用している。本品は巻線および励磁インピーダンスと共に優秀な特性であるので、アナコムエレメントにそのまま利用される。

## J. 計測機 (16 図)

計測機にはベクトル、スケーラ量測定装置・回路呼出装置・較正回路・故障発生装置・自動計器範囲選択装置・自動反転装置および 500 サイクル電源制御装置がある。交流計算盤で測定される値付電圧・電流・電力とも数千ないし数百万倍されて実際の値になるので正確さが必要となる。

計器盤の生命は計測機の計測装置であり、当社はこの計測装置のために、計測を迅速かつ正確に行い、その特



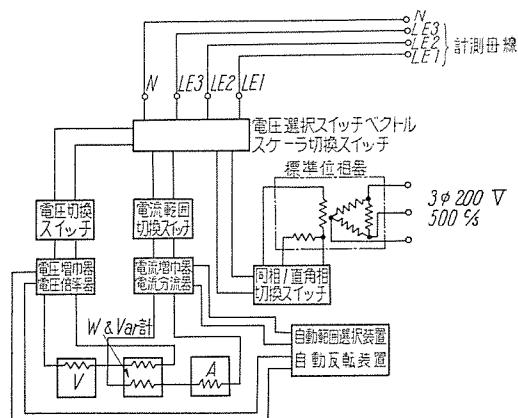
16 図 計測機

Fig. 16 Instrument desk.

性の保持・測定器の保護・使用法の誤りや、ミススケール防止などのために種々の補助演算装置を開発付属せしめた。

### a. ベクトル、スケーラ量測定装置

17 図は本測定装置の結線図で高感度・高精度の電子管増幅測定方式を採用してある。交流計算盤測定装置は高精度・高感度でなければならないのは論を待たないが、



17 図 測定装置

Fig. 17 Schematic diagram of instrument system.

いかに精度が良くとも感度が悪くては意味である。またいかに感度を上げても高インピーダンス基準や数  $kc$  の計算盤では計測母線の漂遊容量の影響が大きくて意味になる。

当社製測定装置の電圧測定回路の感度は  $5,000 \Omega/V$  で基準電流に対する電圧測定回路の挿入誤差は  $0.02\%$  で G. E. 社製の  $0.3\%$  に比べて 15 倍の感度である。電流測定回路は入力インピーダンス電圧降下  $12 mV$  で基準電圧に対する電流測定回路挿入誤差は  $0.012\%$  で G. E. 社製の  $0.03\%$  に比較して 2.5 倍の感度である。計測用増幅器は負饋還をかけた非常に安定な増幅作用を持ち、真空管の劣化取替や電源電圧の変動に対しても安定で、外界の温度や湿度変化に対してとくに考慮してある。

ベクトル量測定の際は電圧電流および位相角は極座標式に読むことができ、また直角座標式にその電圧と同相分および直角分電圧をも容易に求めることができる。電圧測定の際は電力計の電流コイルは標準位相器よりの標準電流を流し、また電流測定の際は電圧コイルに流して測定する。位相角は標準位相器のダイヤルの読みより求め、 $0.1^\circ$  まで精密に読める。

#### b. 計器

計器の電圧計は  $25/125/250 V$ 、電流計は  $0.06/0.2/0.6/2/6 A$ 、電力兼無効電力計は  $20/60 Watt$  または  $Var$  が全振値で、倍率を示すために表示燈が設けてある。電力計および電流計は目盛板に 3 個の穴があり、計器上のツマミを No. 1, No. 2, No. 3 と回すことにより穴に現われる数字がたとえば  $60/120/240 Watt$  または  $Var$  および  $20/40/80 Watt$  または  $Var$  のように変る。 $100 V$ ,  $1A$ ,  $100 \Omega$  基準の使用法として系統の最大  $kVA$  基準を決め、計器の読みにスケール乗数を掛けて計算盤  $kVA$  基準での Watt,  $Var$  で読む。すなわち  $10,000 kVA$  基準のとき、電力計読値が  $60 Watt$  であれば、スケール乗数 100 を掛けて、 $6,000 kW$  と直読する。このように計器読値を計算盤  $kVA$  基準の Watt や  $Var$  で直読し、その値を記録機上の系統図に自動的に判明する。潮流方向と共に直ちに記入することにより計算能率が普通の方法に比べてはるかに高くなる。本測定装置の総合誤差は計器全振値に対して  $\pm 0.5\%$  以下である。

#### c. 自動電流範囲選択装置

本測定装置には自動電流範囲選択装置があり電流計の振切れを保護し、また電流をつねに精度の良いスケールの全振と全振の  $1/3$  の間で読むように自動的に範囲を選択する。本選択装置は電子管および継電器を用いて電流増幅器の出力より微小電流を取り、つねに最大  $6 A$  範囲より  $0.06 A$  まで正確に電流シャントを切換える。電流計はまた手動により電流範囲を選択することもできる。この場合もしも範囲の選択を誤って、下の範囲で読んだときは直ちに増幅器入力側を切離して計測機内部のブザーが鳴るので、測定を誤ったり計器を損傷することはない。

#### d. 自動反転装置

反転スイッチは計測機上の切換スイッチのうち、Watt-Var 切換スイッチと共に非常に利用率の大きいスイッチで、このスイッチを当社のは自動化してあるので計算能率はさらに高くなつた。本スイッチは記録機の単位指示表示燈と連動されていて、潮流方向が逆方向のときは表示燈がまたたくようになっているので、測定値記録者は間違なく直ちにその値および方向を系統図に記入できる。

#### e. 較正回路

計測機主計器の精度をチェックするのには本較正回路を用いる。較正回路は標準抵抗・標準コンデンサより成り、測定点選択スイッチを切換えることにより  $100 V$ ,  $0.6 A$ ,  $60 Watt$  または  $60 Var$  を示す。

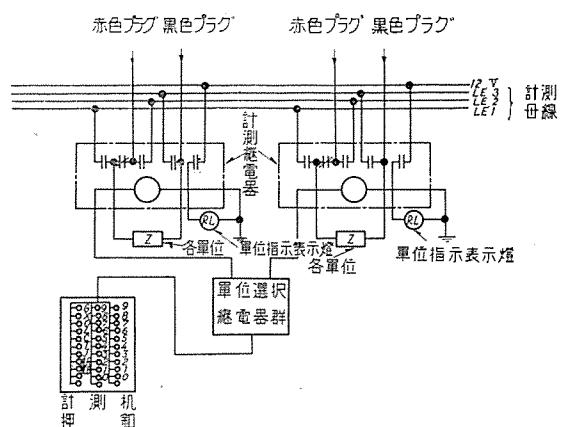
#### f. 短絡装置

接続盤上に組上げられた回路網の任意の点を短絡または開放するときに用いる。計測機上の短絡開閉器を Fault の位置にすると短絡継電器により任意点を短絡し、Open にすると開放する。

#### g. 回路呼出装置

交流計算盤では負荷調整器を除いた全単位を測定母線に接続する 18 図に示すような回路呼出装置がある。上記のベクトル・スケーラ量測定装置は計測母線 LE1, LE2, LE3 に接続されていて、計測機上の押釦を押すことにより測定される単位が計測母線につながれる。その場合各単位には表示燈がある、測定される単位が測定回路につながると点燈するから確認できる。押釦は 3 列に 10 個並んでいて第 1 例は 100 台を、第 2 列は 10 台を、第 3 列は 1 台を呼出す。とくに第 1 列には各単位のシンボルをたとえば発電機単位は G, 線路単位は 0 などとつけて分りやすくしてある。同一列の押釦はインターロックされていて、或る釦を押すと前に押されていた釦が戻るようになっている。

計測機が 2 個でも 2 つの問題を同時に解くことができるよう、各半キャビネットごとに第 1, 第 2 計測機表示の表示燈があり、どちらかの計測機に切換える切換



18 図 回路呼出装置

Fig. 18 Circuit elements selecting system.

スイッチがある。もし押鈎で間違って他計測機で使用中の単位を呼出しても不都合のないように完全に電気的にインターロックされている。問題が大系統で全単位を1つの計測機で使用するときはキャビネットの切換スイッチを操作するのみで良い。

#### h. 電動発電機制御装置その他

500 サイクル電動発電機を計測機から遠隔制御するために

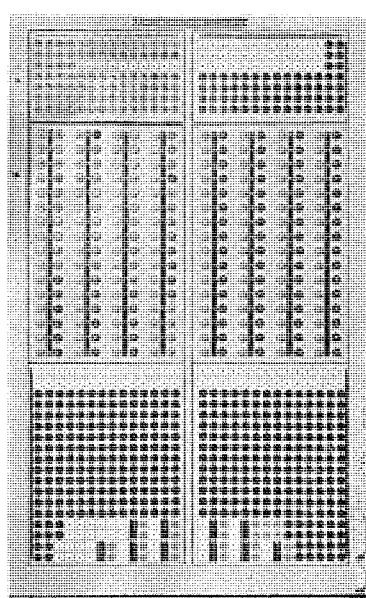
起動停止制御装置が机の上面部にあり、手動で電源電圧と発電機速度を変えるための抵抗器、電源電圧、500 サイクル周波数を監視するために電圧と周波計を正面パネルに取付けている。

#### K. 接続盤 (19 図)

前記の各単位をたがいに接続して実際の系統の模擬回路を組上げるのに接続盤を使用する。接続するためには盤の中段にある各単位のプラグを上段、下段にあるリセプタクルの隣接したのに挿入するのみで良い。この方法によれば各種の回路を考察中の希望回路網に直列にでも、並列にでも自由に接続できる。また各単位のプラグはすべて単位番号が明かに記されている。接続盤後部には零インピーダンスのジャンパ回路があり、1 群の回路の合計電流を測定できる。計測机にはジャンパ回路 ON-OFF スイッチがあり、電圧測定や短絡電流の測定にも使用できる。

#### L. 記録机 (20 図)

測定中の測定結果記録中に生じる間違を防ぎ計算速度を向上するために 20 図に示すような記録机を用いる。



19 図 接続盤

Fig. 19 Plug board.

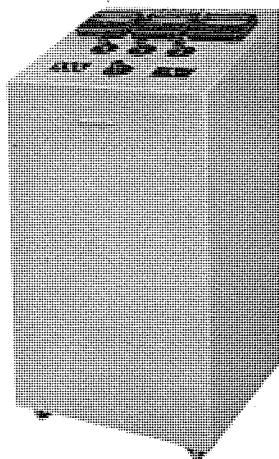
まず組まれるべき模擬回路の単線結線図を記録机の上に置き、つぎに使用する単位名のあるペンシル型表示燈を単線結線図どおりに、机の裏側から接続盤上に組上げて穴に差し込む。計測機の主計測器で測定する単位を呼出すると、机上の単線結線図のその単位の表示燈が点燈して赤く輝き、潮流方向が逆のときは点滅するので直ちにわかる。記録者はその点燈部分に計測機の測定値を記入する。記録机には最大 370 単位まで使用できる表示燈があり、テーブルにはこの表示燈を差込むため約 5,000 の穴があるので、いかに複雑な模擬回路の記録にも使用できる。

#### M. 負荷調整コンソール (21 図)

負荷単位を調整するとき計測機の主計測器で正確に調整すると計測機側と負荷単位側の 2 人の操作者が必要である。操作および計算を迅速ならしめるために計測機の主計測器を負荷以外の発電機単位の調整に使用し、可動式の計測機主計測器と同等の精度を持つ負荷調整コンソールを用いて、1 人の操作者で電力や無効電力を直読しながら、負荷単位の抵抗やリアクタンスを正確に調整することができる。本コンソールは 14 図のように電源用プラグジャック、電源用スライダック・スケーラ量測定装置より構成されていて、使用するときはキャビネット前面まで押して行き、キャビネットの電源ジャックおよび負荷単位ジャックにプラグを挿入し、本コンソールから単相 500 サイクル 100 V を負荷調整器単位に給電し、負荷調整器単位の 2 次側電圧計を基準電圧に保って、スケーラ量測定装置で電力および無効電力を直読しながら負荷単位の抵抗やリアクタンスを調整し、予定の負荷電力や無効電力を定める。すべてのプラグを取り外すと負荷単位および負荷調整器単位は自動的に接続盤に組上げた回路網に接続される。負荷点の電圧に変化があれば負荷調整器 2 次側電圧計の指示を、基準電圧に調整する。スケーラ量測定装置は計測機のスケーラ量測定装置とまったく同様で、精度は計器定格値の ±0.5% である。ただし自動電流範囲選択装置は取付けない。

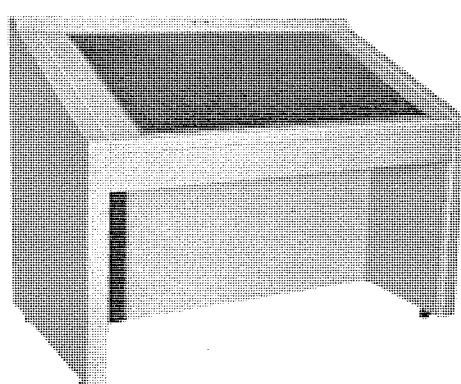
#### N. 対称分合成装置

不平衡問題の対称分の合成に使用する装置で電気試験所型を採用した。精密変圧器型位相器や 3 相変圧器を用い、測定は無損失測定法により極座標式に電圧・電流・位相角を測定するもので、関西電力交流計算盤の要素として製作中である。したがって対称分の合成は容易になり計算速度が倍加される。



21 図 負荷調整コンソール

Fig. 21 Load adjusting console.



20 図 記録机

Fig. 20 Recording table.

## 6. 各種部品

計算盤は高精度であると共に耐久性が要求せられるので、使用される部品は電気的特性はもちろん機械的強度をも重視する必要がある。切換スイッチ等は動作試験 3 万回以上行い、とくに呼出回路に用いられる計測繼電器は 50 万回以上の性能試験に耐えるので、最近の計算盤は故障皆無といつてもよい。漏洩抵抗や漂遊容量などの漂遊インピーダンスに対してはとくに考慮して設計しており、部品はすべて 2 重絶縁取付で、絶縁抵抗は湿度 90% のときでも  $200 \text{ M}\Omega$  以上ある。またリアクタ変圧器類はすべてポリエスチル樹脂で完全処理してあるので寿命は半永久的である。

### A. リアクタ

リアクタは線路リアクタンスや負荷要素および発電機リアクタンスの模擬に使用される。計算盤では線路の損失計算は各区間の電流測定値から  $\sum I^2 R$  を計算して行うが、抵抗分の設定による誤差は無効電力潮流誤差となり、2 次的に損失計算の誤差となるから、計算に際してはあらかじめリアクタの損失を考慮して抵抗単位から差引いておくのである。この場合問題になるのはリアクタの抵抗含有率  $R/X$  の偏差であって絶対値ではない。 $R/X$  の大きさは実系統の線路の  $R/X$  の大きさと、リアクタを大型にすれば過渡特性が悪くなることを考えて、線路単位用としては 5% 位で十分である。当社では抵抗分含有率  $R/X$  を使用電流範囲にわたり 2% 以上では 3.5% 一定とし、その偏差  $\pm 0.5\%$  という苛酷な仕様にしている。とくに低損失のものが要求されるときは低損失発電機リアクタや後述の高利得リアクタを製作している。

アメリカの計算盤用リアクタの  $R/X$  は W 社、G. E. 社共インピーダンス値に対して  $R/X$  を変えて抵抗分の補正率を変えている。計算盤の総合誤差を考えると、その誤差要素の分布や各単位の設計上の協調から、このような苛酷な仕様が果して妥当かどうかは研究の余地がある。

当社リアクタの電流範囲は 25 V から 250 V までの 10 倍の電圧降下で、使用電流範囲にわたりリアクタンス値と  $R/X$  変化の少いことが要求される。またリアクタにはタップがあり上記の要求を満足すると同時にどのタップでも使用電流の範囲内で精度  $\pm 1.5\%$  以内という誤差に制限され、100% 電流においては十分に  $\pm 1\%$  以下の誤差である。したがって使用する鉄心はニッケル 50~53% で残り鉄の当社世田谷工場製のハイパーロイ鋼板を使用した。ハイパーロイ鋼板は飽和磁束密度が 15,000 ガウス、ヒステリシス損 250 エルグ  $\text{cm}^3/\text{c/s}$  以下で少く、かつ固有抵抗も  $40 \mu\Omega/\text{cm}$  以上であるので、78% あるいは 45% パーマロイの長所を共有し、交流計算盤用リアクタとして最適である。広い使用電流範囲でリアクタンスを一定にするためには鉄心に適当な長さの空隙を設けることが必要で、また震動に対して十分に保護するために耐震取付をしている。低インピーダンス基準のため

巻線はすべて余裕のあるものを用いているから機械的に頑丈であり、過渡現象解析に關係深い固有周波数は 25 kc 付近にあり、インダクタンス変化は 2 kc 位までは微小である。

### B. 計測装置用電力兼無効電力計

計測装置は毎日数百回動作させるような苛酷な使い方をするので、このような使用に耐えてしかも 400 サイクル以上で使用できる精密計器は、わが国ではまだ製作歴史も少くて製作が難しい。とくに電力計兼無効電力計は力率が 0 から 1.0 までの広範囲にわたって精度を要求されるので、国産計器では力率特性が悪く、低力率での電力測定や高力率での無効電力測定の誤差が大きい。したがって精度向上のために高力率と低力率の電力計 2 台を設備したり、外国より計器を輸入する傾向にある。

### C. 抵抗

とくに温度係数の小さい AA 級フェリー線を使用しつつ無誘導巻きとしてインダクタンスの導入を防いである。とくに複雑な引出箱の中に他の各種部品と一緒にしているので温度上昇はできるだけ少いように太い線を用いてある。各抵抗値に対する電流容量は、 $10 \Omega$  以下は 3 A,  $10 \sim 20 \Omega$  は 2.3 A,  $30 \sim 60 \Omega$  は 1.65 A,  $60 \sim 120 \Omega$  は 1.3 A,  $100 \sim 700 \Omega$  は 0.48 A,  $700 \Omega$  以上は 0.23 A である。

### D. 切換スイッチ・プラグ・伝達繼電器などの接点

回路を組上げたときその回路にはいるプラグ・切換スイッチ・伝達繼電器などの接点は、非常にたくさん直列になるので、回路電流が流れた場合は接点による電圧降下が誤差の原因となるから、各種接点類はすべて金銀合金を用い、必要なところは 2 重接点として電流 1 A で 3 mV の電圧降下に押えて設計してあるから、誤差の原因となる心配はない。

### E. 配線

細い配線を使うと回路を組上げて後に配線抵抗を補正しなければならないが、当社の交流計算盤は電流 0~3 A に対して断面積の余裕のある配線を用いたのでこの心配はない。かつインダクタンスを少くするために往復線をつねに並行せしめ、他の配線との相互誘導を少くするよう適当な間隙をあけた特殊な配線方式を採用したので過渡特性にも影響は少い。

## 7. 総合誤差

計算盤の総合誤差は解析される問題の回路の型式や測定の対象が異なるため、たとえ計測装置は計器の全振幅に対して  $\pm 0.5$  以下、各要素は  $\pm 1.5\%$  以下といった誤差を保証しても、総合誤差が何 % であるかというような表現は不可能である。各要素にはプラス、マイナスの誤差があり、その推定誤差は使用単位数が多くなるほど小さくなる筈である。実績によれば電圧・電流・電力・無効電力の順に総合誤差は悪くなるが、潮流測定の際最適 kVA 基準では電力・無効電力測定誤差は電力兼無効電力計の力率誤差の少い範囲で  $\pm 2\%$  以下である。

## 8. 交流計算盤の将来および相似型アナコム

交流計算盤の使用実績が上るにつれて計算速度の向上方法が考えられるようになり、また交流計算盤そのままで適用範囲が限定されて好ましくないので特殊装置を付加して、General Purpose

に適用するように進みつつある。当社の交流計算盤には計算速度向上のために、たとえば Watt Regulator・記録機・負荷調整コントロール・自動反転スイッチ・対称合成装置および計測機の自動計器範囲選択装置などを工夫付加し、さらに新しく過渡安定度計算の段々法を早くする補助演算装置である 22 図に示す Swing Calculator (過渡安定度解析器) を研究所で開発実用中で、目下段々法を完全自動化する過渡安定度自動解析器を開発中である。

General Purpose に適用する段階として、電力系統の定常状態の問題のみならず過渡現象解析器として利用するためには、同期スイッチやプラウン管オシロを追加し、各要素の過渡特性を向上せしめればよい。また電気過渡現象の解法を一步進めれば同様な方法によって、機械工学・水力学・熱力学などの過渡現象も相似的に解析することができる。電気系以外に応用の場合は使用する周波数も拡大されるが、過渡特性のよい  $100\Omega$  基準計算盤で十分利用できる。

当社研究所交流計算盤にはアナコム用計測機があり、23 図のように交流計算盤用計測機および第 1 接続盤で定常状態の問題を解きながら、別に組上げた電気系を始め各種系の定常または過渡状態の問題を専用母線とアナ



22 図 過渡安定度解析器

Fig. 22 Swing calculator.

コム計測機で解くことができる。解析される現象の種類や必要高周波次数により 60 サイクル発電機単位や、別に 60 サイクル電源を用意して、500 サイクルの発電機単位を 60 サイクルで運転することもある。

当初研究所および電力中央研究所用のように、さらに電子管式アナコムを併設すれば、線型・非線型微分方程式・各種制御系および電力系統の過渡現象・機械系の振動などを函数演算的に解析しうるので General Purpose



24 図 機械式同期スイッチ

Fig. 24 10 stage mechanical synchronous switches.

アナコムとして偉力を發揮できる。

## 9. 相似型アナコム用部品

### A. 機械式または電子管式同期スイッチ

過渡現象解析を行う場合、故障点その他における開閉を電源に同期して行わせるスイッチで、24 図に機械式を 25 図に電子管式を示す。機械式同期スイッチは半円周を導電部分、他の半円周を不導電部分とするドラムを



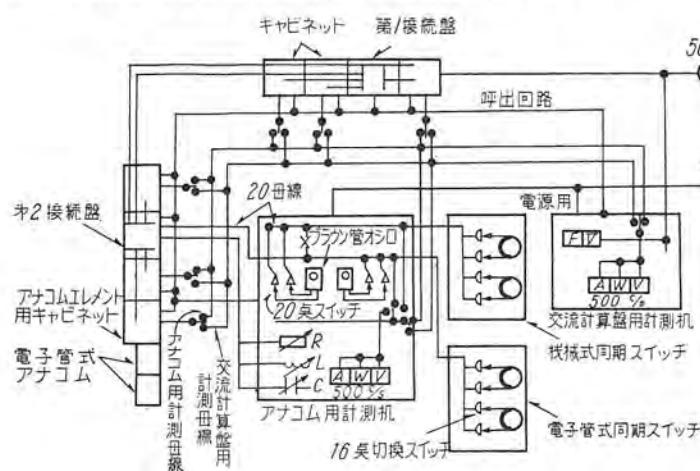
25 図 電子管式同期スイッチ  
Fig. 25 6 electronic synchronous switch units are housed in this cabinet.

同期電動機で回転させ、2 個の刷子をドラムの回りに移動せしめることにより開閉・継続時間・開閉開始時期を調整するもので、10 または 8 回路を毎秒 10, 15, 30 回繰返し、接点は  $1A$  で  $0.1\Omega$  以下の接触抵抗で最大  $3A$  流すことができる。

電子管式同期スイッチは米国製のリースイッチの励磁コイルをマルチバイブレータで励磁して使用するもので、6 回路で 60 サイクルおよび 500 サイクルに同期して毎秒 2~30 回の繰返しができ、リースイッチの最大負荷容量は  $25W$  である。

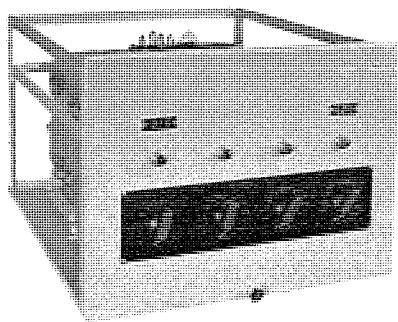
### B. 高利得リアクタ単位 (26 図)

機械系を電気的に模擬するにはリアクタはとくに低損失のものが要求される。本単位はこの

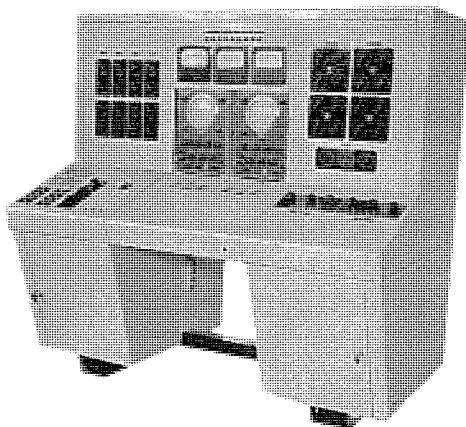


23 図 当社研究所交流計算盤総合結線図

Fig. 23 Wiring plan of Mitsubishi research laboratory calculator.



26 図  
高利得リアクタ  
単位  
Fig. 26  
High Q reactance  
units.



27 図 アナコム用計測機

Fig. 27 Instrument desk for electric analog computer.

目的のためにとくに製作されたもので、1.4 ヘンリ、0.7 ヘンリ、0.14 ヘンリ、0.14 ヘンリのリアクタからなり、それぞれ 0.1 ヘンリ、0.05 ヘンリ、0.01 ヘンリのステップで 3 ダイヤルで切換える。抵抗分含有率  $R/X$  は 1.4 および 0.7 ヘンリリアクタで 100~1,000 サイクルで平均 1%，0.14 ヘンリのリアクタで平均 2% である。400~600 サイクルではいずれも抵抗分含有率は十分に 1% 以下である。

### C. アナコム用計測機 (27 図)

アナコム用計測機には 2 台のブラウン管と専用測定母線を備えているが、とくに計測装置は 30~1,000 サイクルまでの広い周波数範囲の定常状態での電圧・電流・電力を測定するため特別な考察を増幅器に払っている。電圧増幅器は前段入力インピーダンス  $1M\Omega$  以上のカソードフロワ式で、電流増幅器はシャントの電圧降下 10 mV の高感度で測定回路からはほとんどエネルギーを取らない。電圧計の目盛は 100/30/10/3/1 V、電流計は 1/0.3/0.1/0.03/0.01 A、電力計は 3/1 W で、精度は 30~1,000 サイクルで全振幅に対し  $\pm 1\%$  以下である。

## 10. 使 用 法

計算盤の組上げ順序および使用法を簡単に説明すると  
A. まず下記のような資料の準備をする。

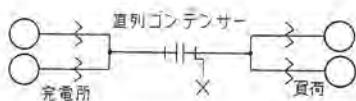
- 送電系統および主要発電所の単線結線図と潮流図
- 送電線の正相零相の回路定数から正相零相インピーダンス、キャパシタンスを % 値に換算

- c. 変圧器の結線・定格・電圧比・%インピーダンス・中性点接地インピーダンス・発電機・調相機の定数・定格電圧・定格容量と運転力率・同期過渡逆相各インピーダンスを %インピーダンスで表わしたもの等
- d. 遮断器設置場所・遮断容量・繼電器を含めた遮断時間等
- B. 問題の系統と計算盤の規模を対比して必要ならば電力系統の簡略化を行う。
- C. 計算盤に生ずる電圧電流を予測してこれが各単位の定格以下となるように、または計器の読み取に都合よい値となるよう基準 kVA ベースを選定して、機器および線路その他の %インピーダンスあるいはアドミッタンスの値をこれに換算する。
- D. 発電機単位の有効・無効電力・負荷の有効および無効電力を予定する。
- E. 平常状態の問題の研究には、接続盤上に回路を組上げて所要点の電気量を測定する。
- F. 不平衡故障の場合には対称座標法で等価回路を組み、すなわち 1 線地絡故障の場合には故障点より見た零相・逆相回路を単線結線の正相回路上の故障点に接続する。そして系統中の零相・正相・逆相の電圧電流を求めて実際回路に換算するが、問題によっては 3 相 4 線式法や  $\alpha\beta\theta$  座標を用いることもある。
- G. 過渡安定度の計算では系統中の各電源の正相回路の電力を求め、段々法で事前の電力との差を求め、差電力のため同期機がどれだけ加速されるかを求め、つぎの状態に対応して発電機単位の位置を変化し再び事故状態の電力を求める。

## 19. 適 用

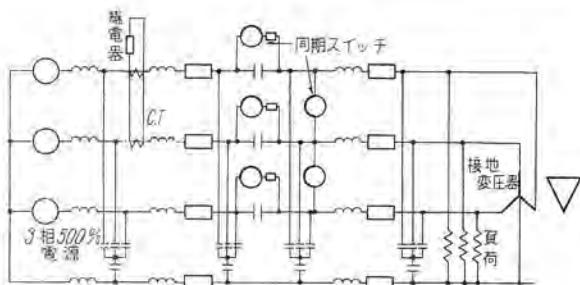
交流計算盤を適用解明しうる問題は非常に多いが代表的なものをあげると下記のごとくである。

- A. 定常運転問題
  - 系統の電圧・電流・電力の分布
  - 新設送電線、発電所の位置の選定と効果
  - 損失係数の測定と電力系統の総合的経済運転法の研究
  - 調相機、直並列コンデンサによる力率改善と送電容量の増加
  - 系統電圧上昇計画
- B. 故障問題
  - 故障電流による遮断器の遮断容量と繼電器動作の決定
  - 中性点接地方式、接地点およびインピーダンスの検討
- C. 安定度問題
  - 定常安定極限電力と故障時の過渡安定度
  - 遮断器、繼電器の故障除去時間、あるいは再閉



28 図 a 送電系統の単線結線図

Fig. 28 a Single line diagram of transmission system.



28 図 b 3 相 4 線式模擬回路で 3 相短絡を同期スイッチで行った

Fig. 28 b Three phase method analog circuit for solving three phase fault.

28 図 直列蓄電器が送電線絶電方式に及ぼす影響の問題

Fig. 28 Analog for studying series capacitor performance and effect on high speed relaying.

路時間の安定度に及ぼす影響

#### D. 過渡現象および等価回路問題

- a. 故障時および開閉時の異常電圧
- b. 機械的振動問題などの広用

### 19. 使用例

わが国の使用例をあげると

- (1) 九州電力山家変電所直列コンデンサーによる潮流制御の検討
- (2) 新北陸幹線、佐久間幹線等の人工故障試験の予備計算

その他枚挙にきりがないが、米国の例では

- (3) ニューヨークの 11 kV および 33 kV 系統に設置の 25,000 kW タービン発電機の場所決定
- (4) B.P.A では Grand Coulee につぐ Macnary (1,128 MW) 発電所の開発で過渡安定度の見地から送電線を 1 回線節約するため低リアクタンスあるいは過渡リアクタンスの変圧器および発電機を発注した。
- (5) 230 kV 200 mile の送電線に直列コンデンサーを中心位置に置いた場合、3 相短絡故障時に直列コンデンサーが絶電方式に及ぼす影響を 3 相 4 線式模擬回路で 28 図のように同期スイッチを用いて解析した。

### 13. むすび

電気試験所に納入された第 1 号機や、当社研究所に設置された第 2 号機が着々と電力技術研究上に貢献していることは周知の事実である。聞くところによると各電力会社からの計算依頼の問題がさばき切れない位たくさんある。そこで、最近各電力会社でも交流計算盤の重要性を再認識されて、購入計画をたてられているのも喜ばしい傾向である。これまでに解析された問題を振返ってみると、W 社では潮流 51%，損失評価の問題が 20%，安定度問題が 17%，故障問題が 12% で、これに対して電気試験所では潮流 40%，安定度問題 39%，故障問題 16%，その他が 5% である。これを比較するとわが国では計算盤がなかったので、系統構成の違いもあるが、大急ぎで安定度問題にとりついているといったところである。また米国では系統の経済的な運転のための電力損失評価の基本的研究に交流計算盤が Digital Computer と共に非常に利用されていることは注目すべきである。

計算盤はつねに使用者側の使用経験が、改良進歩に対する貴重な忠告あるいはヒントを与えるものであるから、製作経験の多いことが良い計算盤を製作する何よりも原動力となる。

交流計算盤の購入価格を安くする希望が多いが、これがためには精密リアクタの一部を実際に使用される系統専用として、その系統の線路定数に合せることにより、リアクタ数を減じ、また高級なニッケルコアを使用しないで Q を落して製作し、他の一部をダイヤル可変型の高級リアクタを用いて融通性を持たせれば、相当価格を下げられると考えられる。しかし安くするために基準量や周波数の選定の誤ったものでは、適用範囲や実用性に限界がありはしないか懸念される。

たとえ購入費用が高くとも、米国の Commonwealth Edison Co. のように、購入後 2 年で購入費の 8 倍に達する利益をもたらしたというから、交流計算盤を購入するか否かはその会社の経営者のセンスが進歩的か否かを示す 1 つの指針といえる。

擇筆するに当り開発にご指導賜った工業技術院電気試験所山田電力部長、日高・深尾技官ならびに改良に助言を賜った電力中央研究所富山部長、朽木・梅津氏、当社研究所横須賀電気第 1 室長、馬場技師、工作にご協力願った当社更田無線機製作所長、品質管理課広瀬技師始め工作関係者、発電機および制御回路を設計製作願った神戸製作所関係諸氏に紙上より御礼申上げる。

# 新高圧負荷断路器

伊丹製作所 新井正元\*・樺沢孝治\*\*・亀山三平\*\*・岩崎行夫\*\*

## New High Voltage Load Interrupter Disconnecting Switches

Itami Works Masamoto ARAI・Koji KABASAWA・Sanpei KAMEYAMA・Yukio IWASAKI

Interruption of transformer magnetizing currents, line charging currents and load currents is often found justifiable instead of operating circuit breakers at the occurrence of faults. Load interrupter switches combining the functions of circuit interrupters and of disconnecting switches will meet the requirements in such cases. Recent developments of Mitsubishi are the Type VLB load interrupter switch, having a porcelain-clad quick-break interrupting chamber filled with sulphur hexafluoride mounted on the Type V vertical-break outdoor disconnecting switch, and the Type LCB with a small gap de-ion chamber built of plastic plates and quick-break blade on the Type LC indoor disconnecting switch.

### 1. まえがき

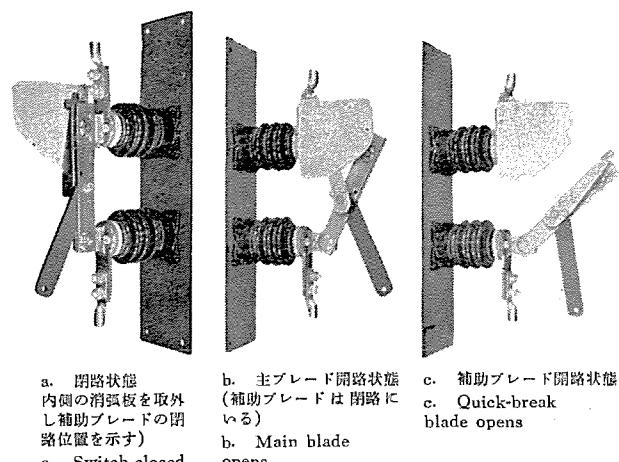
あまり操作が頻繁でなくて、故障遮断の能力のある遮断器を用いると、建設費がかさんで経済的に許されないような場合には、ただ負荷遮断能力のある装置を用いれば得な場所が系統にはたくさんある。そこで電力系統の操作では、故障電流遮断能力のある電力遮断器と、遮断定格を持たないで主として保守の目的に設備の切り離しのために用いる断路器あるいは気中開閉器との中間的な機能を持った装置が昔から要求されている。もともと断路器あるいは断路器にアーカーホーンを付けた気中開閉器の変圧器励磁電流、線路の充電電流あるいはループ電流などの遮断能力限度は割合に低くて、使用電圧にもよるが、たとえば屋外用で 3.45 kV にて励磁電流 10 A、充電電流 30 A、69 kV にて 4 A、2 A といった値である。しかし上記限度を越すと風あるいは周囲条件で不定となり、むき出しになつた電流がふらついて、近接の鉄構、ケースあるいは他の構造物に移り、1 線地絡あるいは相間短絡を起す可能性が多く、系統停電にまで発展して困る。したがつて断路器を安全に操作するためには、線路を遮断器で消勢してから開閉しなければならず、運転がやっかいな上に、へたすると機器を損傷させる恐れがある。したがつて構造、操作の簡単な負荷断路器が出現すれば、今まで遮断器あるいは気中開閉器が用いられて分野に食込み屋内および屋外のサービスにも変圧器の励磁電流、線路の充電電流あるいは負荷電流の遮断への応用のみならず、キャパシタバンクの開閉、負荷の区分あるいは並列化や電圧調整器の切り離しなどの応用へも持込むことができる。さらに遮断器容量が大きくて信頼性の増加した電力ヒューズが最近できたことは、経済的な電力ヒューズと負荷断路器の組合せが、従来の遮断器と断路

器の組合せのような高価な運転方式を電力系統へ全面的に応用することを修正せざるを得ない状態になった。当社はかかる動向に答えるべく、屋内用は 3.45 kV から 23 kV まで 600 A までの遮断能力を有する LCB 型負荷断路器と、屋外用として 11.5 kV から 161 kV まで 600 A の遮断能力のある VLB 型負荷断路器を開発したので、ここにその構造・動作・機能ならびに応用例を説明する。

### 2. LCB 型屋内負荷断路器

#### ア. 構造および動作

LCB 型屋内負荷断路器は LC 型断路器にデアイオン消弧方式とばねによる早切り機構を採用して負荷遮断を可能とした。すなわち 1 図の写真に示すように、當時は主電流を流す主ブレードに並列に間隔を置いて電弧遮断用の補助早切りブレードがあり、この補助ブレードを受けるフィンガーコンタクトと共に、2 枚の特殊合成樹脂



1 図 LCB 型負荷断路器動作説明図

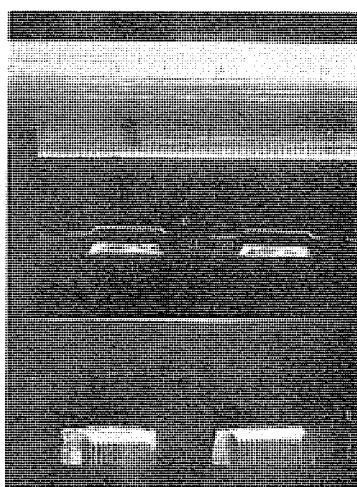
Fig. 1. The operation and construction of type LCB interrupter switch.

板で囲まれた消弧室が上向きに細隙を明けて補助ブレードがこの間に出入できるようになっている。1図aは開路している状態で実際的には電流はほとんど全部主ブレードを通っている。1図bは開路が始まった状態で、まず主ブレードのコンタクトが開くが、補助ブレードの先端は消弧室のフィンガーコンタクトの接触圧力摩擦で押えられて残されるので、電流は一時的に補助ブレードの方へ移される。この際補助ブレードは根本の支点軸のまわりを回転しながら、ひねりばねを蓄勢する。1図cのようにさらに主ブレードが開かれると、消弧室のフィンガーコンタクトではもはや補助ブレード先を押えて残し切れなくなり、補助ブレードは根本のひねりばねの加速も加わって消弧室を飛出し、早切り機構で高速度に主ブレードの開路位置まで追かける。したがって開く速度は断路器を開く主ブレードの速度が遅くとも、これとは関係なしに高速度で開路できる。このとき消弧室細隙中のフィンガーコンタクトと補助ブレード先の間に発生した電弧の熱は、消弧室の両側に内張りしてあるガス発生用の合成樹脂板から、デアイオン作用のはげしいガスを発生して吹付ける。

この早切り動作とデアイオン消弧作用によって電弧を急激に遮断して、地絡あるいは相間閃絡を起すことなしに安全確実に回路を断路することができる。

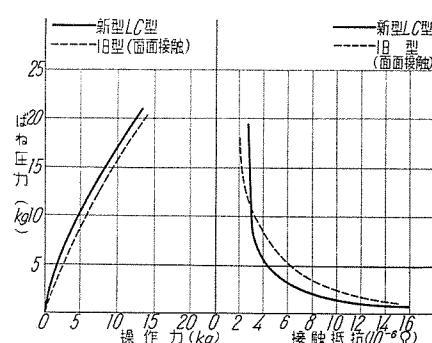
#### イ. LC型屋内断路器

負荷断路器は普通の断路器に比べて操作回数が多いから、操作が軽くてかつ耐久性のある断路器を必要とする。LCB型負荷断路器に使うLC型断路器は上記の要求に適合するように静止コンタクトをはさむ2枚の主ブレードに多重線コンタクトを採用してある。すなわち主ブレードの内側に厚銀メッキを施してのち、プレスで細い多重線を打出してコンタクトとしたもので、コンタクト断面は2図に示すように、普通の平面に一様に銀メッキされたのではなく、もっともコンタクトとして必要な多重



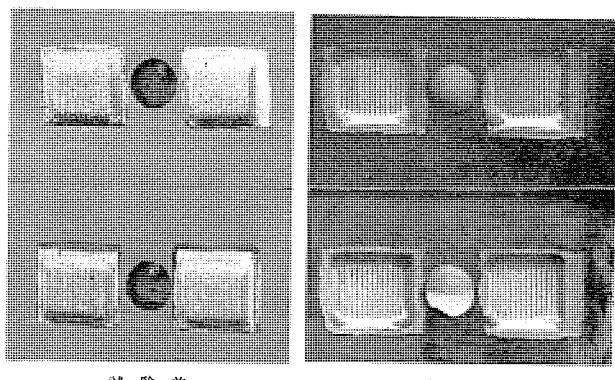
2図 LC型断路器多重線コンタクト(写真上は断面、下は表面)

Fig. 2. Multi-line contact of type LCB interrupter switch.



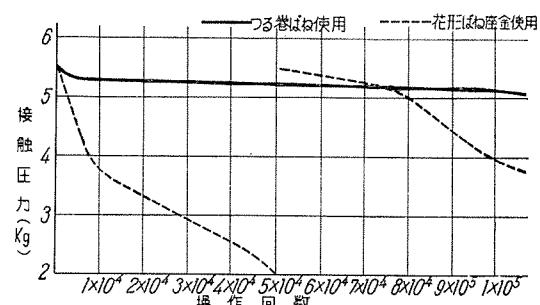
3図 ばね圧力と操作力および接触圧力との関係の新旧断路器比較曲線

Fig. 3. Comparisons between spring pressure and operating force and also contact pressure of new and old disconnecting switches.



4図 LC型多重線コンタクト 10万回操作耐久試験損耗比較写真

Fig. 4. Test result of 100,000 operations for the multi line contact of type LC disconnecting switch.



5図 10万回操作耐久試験結果

Fig. 5. Test result of 100,000 operation test.

線コンタクトの山の部分の銀メッキが厚くなりかつ圧しつぶされて硬くなっている。コンタクトに圧力を加えるばねの強さと接触抵抗関係をプロットすると3図右に示すように、わずかのばね圧力で多重線コンタクトは従来の断路器の平面コンタクトより急激に接触抵抗が下り、したがって同じ温度上昇に設計するには低いばね圧力で使用できる上に、3図左に示すように同じばね圧力でも操作力が軽いから、両方の理由でますますLC型断路器

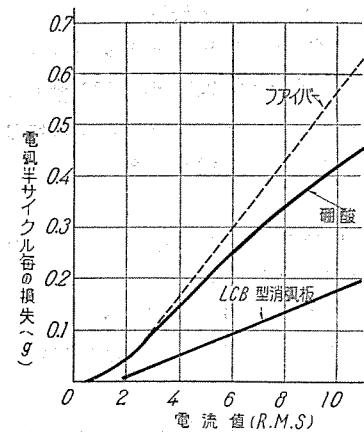
は従来の断路器に比して操作力が軽く約半分近くになりかつ操作を頻繁に行っても、4図の10万回操作耐久試験の前後の写真に示すように、コンタクトの損耗が軽微である。

またコンタクト圧力をうるためには従来花形ばね座金を用いていたが、わずかなコンタクト損耗でもコンタクトに加わる圧力が急激に減少して接触抵抗を増し、温度上昇が危険値に達するので、つるまきばねに変更した。5図は10万回操作耐久試験における花形ばね座金とつるまきばねの比較記録で、花形ばね座金は5万回すでに5.5kgの圧力が2kgに減少して再調整せざるを得なかつたのに反し、つるまきばねはコンタクトが損耗してもコンタクト圧力はほとんど変化しなかつた。

## ウ. 消弧室材料と細隙

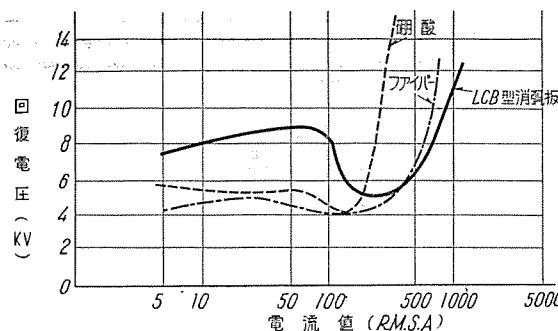
負荷遮断器が取扱う電流は遮断器、電力ヒューズと比較するとかなり少電流であるから、負荷断路器には少電流遮断に適した材料を選択しなければならない。また負荷断路器は保守の面からできるだけ多くの遮断回数まで寿命の保つことが要求されるから、遮断によって激しい損耗を来したり、炭化して板面が閃絡を起し易い材料であってはならない。上記のごとき要求に適する消弧板材料の選定のために、従来この種電弧によって消弧ガスを発生せしめて遮断する材料として一般に用いられている

ファイバ、硼酸と当社の LCB 用消弧板材料をヒューズについて比較試験を行った結果を示すと、6 図に示すように電弧の半サイクル毎の損失すなわち損耗量はファイバ、硼酸よりも当社の LCB 用消弧板が低く、また 7 図に示すように 200 A 位までの遮断には回復電圧もファイバ、硼酸より大きくては



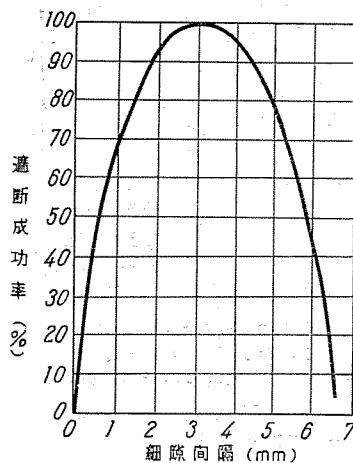
6 図 各種消弧材料の損耗比較図

Fig. 6. Erosion of interrupter material.



7 図 各種消弧材料の遮断能力比較図

Fig. 7. Comparison of interrupting ability by interrupter materials.



8 図  
細隙間隔遮断特性曲線

Fig. 8.  
Influence on  
interrupting  
ability by gap  
length.

るかに優秀な遮断特性を有している。すなわち当社が種々の試験により選定した LCB 用消弧板が小電流遮断特性が良好でかつ遮断回数寿命が長いから、負荷断路器用として最適である。

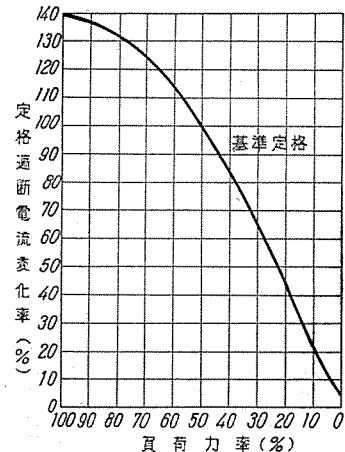
消弧板の造る細隙が消弧能力にどう影響するかを、当社の LCB 消弧板について試験した結果は、8 図に示すように遮断成功率は細隙間隔が 3 mm 前後が大きく、もっとも好ましいことがわかる。

**エ. 遮断能力** この負荷断路器の遮断定格は使用している消弧要素によって限定され、使用電圧力率、遮断電流によって寿命回数が異なる。50% 力率で何ら手入することなく 500 回操作あるいは 100 回操作可能な遮断電流定格を示せば 1 表のごとくで、500 回操作用には 3.45 kV では 400 A, 6.9 kV では 200 A, 11.5~23 kV では 100 A で、100 回操作用には 3.45~23 kV まで 600 A である。

また遮断電流の力率が変化した場合は 9 図に示すように遮断電流が変る。すなわち 500 回操作用、100 回操作用共に力率が 100% になれば遮断し易くなるので定格遮断電流を 140% に増すことができ、反対に力率が 20% になれば 50% 以下で使用しなければならない。

1 表 LCB 型屋内用負荷断路器の定格遮断電流

定格電圧 (kV)	定格遮断電流 (A) (力率 50%)	
	A 級 (500 回操作)	B 級 (100 回操作)
3.45	400	600
6.9	200	600
11.5	100	600
15.0	100	600
23.0	100	600



9 図  
LCB 型断路器の負荷力率による定格遮断電流変化率曲線

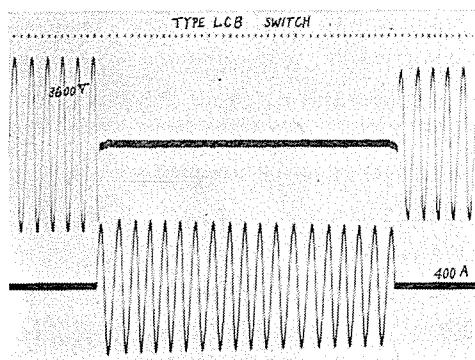
Fig. 9.  
Application guide of  
type LCB interrupter  
switch for varying  
power factor load.

注:—  
左図は遮断回数を基準とおり  
500回(A級)あるいは100回(B級)  
要求されるときの変化率です

2 表 LCB 型屋内負荷断路器単相遮断試験成績

オシロ番号	#1	#6	#11	#15	#2	#9	#101
回路電圧(V)	9560	8606	11200	10800	3500	3600	23000
投入電流(A)	47.3	125	148	117	490	450	
遮断電流(A)	27.7	75	114	100	390	395	1.25
電弧電圧(V)	6900	7200	6200	2400			5000
遮断時ノ電弧時間(c/s)	0.97	1.34	1.6	1.5	0.55	0.6	1.5
回復電圧(V)	8500	7750	9450	9200	3000	3160	23000
力率回数	0.074	0.112	0.112	0.112	0.6	0.6	0.1

(60 サイクルにて)



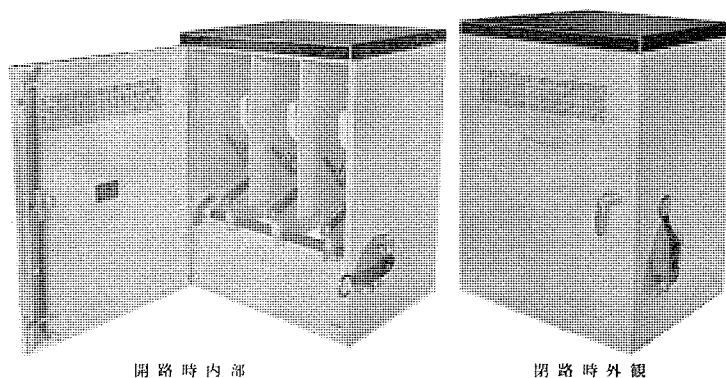
10 図  
LCB 型負荷断路器遮断試験オシロ  
3,450 V 400 A

Fig. 10.  
Oscillogram of  
interrupting test  
of type LCB inter-  
rupter switch  
3,450 V, 400 A.

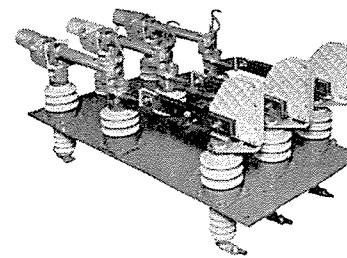
2 表は当社の短絡発電機を用いて行った一連の単相遮断試験の整理データで、3.45 kV 用は約 400 A を力率 0.6 で電弧時間 0.6 サイクル以下で遮断しており、11.5 kV 用も 0.1 といふ悪い力率で 100 A 前後を 1.6 サイクル以内の遮断に成功しており、優秀な遮断性能を持っている。10 図はこれら遮断試験の代表的なオシロを示す。寿命遮断回数試験では 3.45 kV 用は約 400 A を 0.6 の力率で 500 回何ら手入することなく成功したが、補助ブレードのコンタクトおよび消弧室のフィンガーコンタクトは耐弧メタルが張ってあるのではなくて傷まず何ら取換える必要はなく、消弧室の合成樹脂板のみ取換えればよかつた。この合成樹脂板の取換えは非常に容易で短時間に済ませる。

#### オ. 応用

LCB 型負荷断路器の応用は広範囲である。極ユニットは一般には垂直に取付けられ、前へでも、背面へでも接続ができ、共通ベースにも別々のベースにも取付けられ、どの場合も絶縁バリヤが相間に置かれる。操作は個々にフックでやるかあるいは簡単な信頼性のある操作機構で 3 相同時操作でき、また单投にも双投にもなるが原則として屋内用であるから屋外用としては風雨に耐えるキャビネットに組立てられる。据付の要求ではキャビネットに入れてブッシングまたは口出部を取付けたり、変圧器の取入口を設けたりあるいはキャビネットは独立式にも壁掛け式にも設計できる。キャビネットには負荷断路器を開路して回路を消勢した後でなければ扉が開かないよ



11 図 密閉型負荷断路器 LCB 型 6,900 V 600 A 直接操作式  
Fig. 11. Type LCB 6,900 V 600 A interrupter switch in  
enclosed case—directly operation type.



12 図  
LCB-BA-200 C 型電力ヒューズ附負荷断路器  
6,900 V, 200 A  
Fig. 12.  
Interrupter switch with  
power fuse in series  
type LCB-BA-200 C  
6,900 V 200 A.

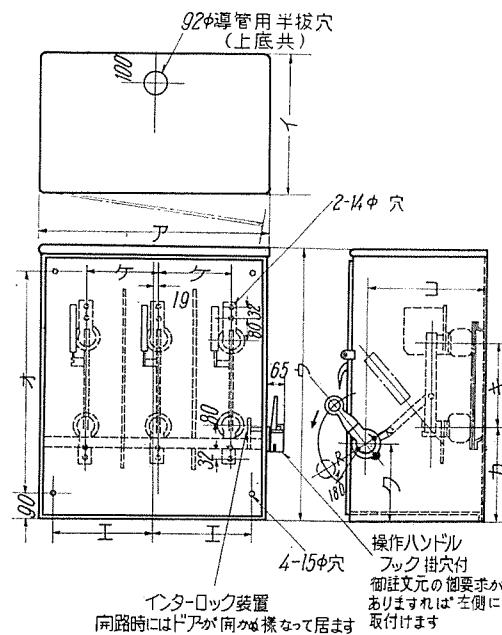
うに、また扉を閉じねば負荷断路器を開路できないような扉インターロックを付ける。11 図はキャビネットに内蔵した写真である。

LCB 型負荷断路器はまた BA 型硼酸電力ヒューズと組合せて、負荷電流も故障電流も取扱う能力を持たせて同じ箱に入れることもできる。BA-200, BA-400 型ヒューズは故障電流遮断の際生じるイオン化ガスのために地絡を起さないように金属ケース内で使うときはコンデンサ型を採用する。

12 図は LCB 型負荷断路器と BA 型電力ヒューズを直列に使用した写真である。BA 型電力ヒューズはコンデンサ型では 3.45 kV で対称分 115 MVA, 6.9 kV で 190 MVA, 11.5 kV で 250 MVA, 23 kV で 440 MVA の遮断容量のものができる。

もっとも多く使用されるのは 1 次饋電線の区分・変圧器・キャパシタバンク・電圧調整器などの切り離しである。

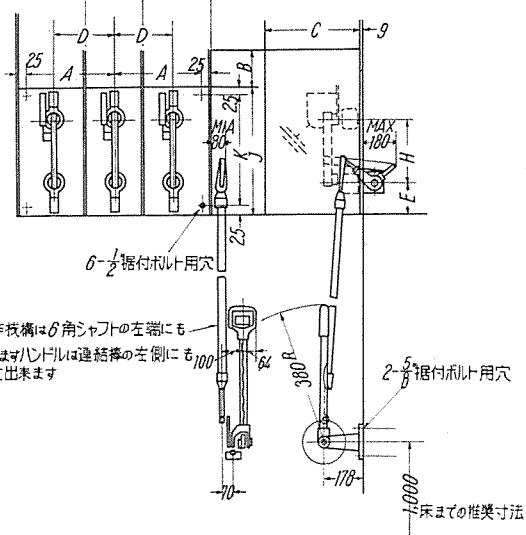
品番	定格電圧 kV	衝撃電圧 kV	定格遮断電流		寸法表									
			A級	B級	ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ	ク		
1	3.45	45	400	600	735	670	1005	280	840	415	230	265	210	550
2	6.9	60	200	600	735	700	1005	280	840	415	230	265	210	580
3	11.5	80	100	600	985	800	1575	380	1320	635	300	455	265	660

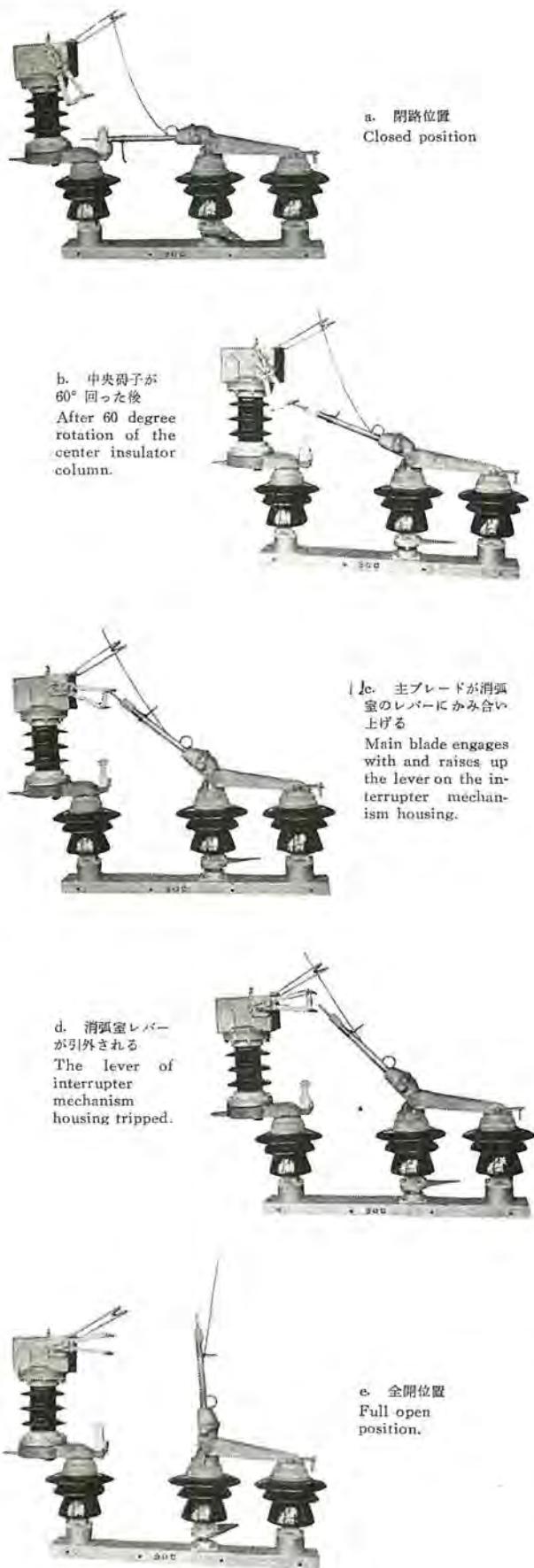


13 図 密閉型負荷断路器外形寸法図  
LCB 型屋内用直接手動及びフック操作式  
定格電圧 3.45~11.5 kV 連続定格電流 600 A

Fig. 13. Enclosed LCB load-interrupter  
disconnecting switch.

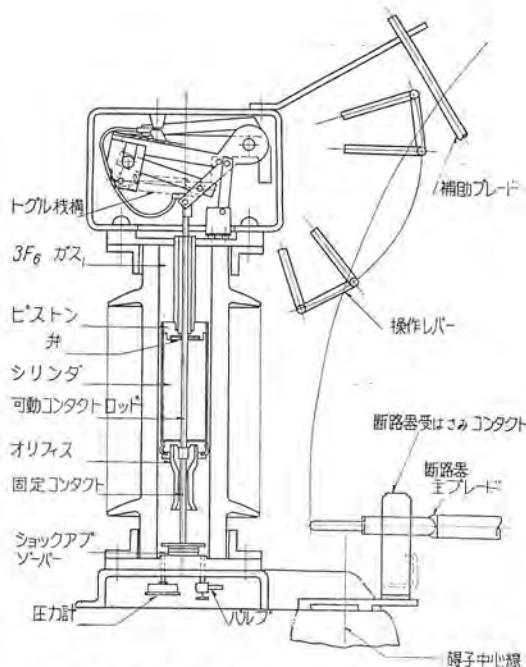
品番	定格電圧 kV	衝撃電圧 kV	定格遮断電流		寸法表							
			A級	B級	A	B	C	D	E	H	J	K
1	3.45	45	400	600	345	95	490	230	135	230	545	495
2	3.45	60	400	600	430	95	545	305	"	"	"	"
3	6.9	60	200	600	"	95	"	"	"	"	"	"
4	11.5	80	100	600	648	215	650	455	95	300	"	"
5	23	120	100	600	840	300	815	550	120	460	700	650





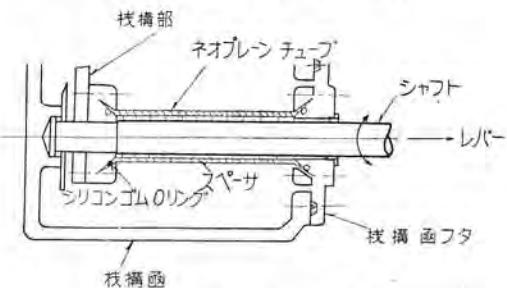
17 図 VLB 型負荷断路器操作順序 34.5 kV, 600 A

Fig. 17. Operation sequence of type VLB load interrupter switch.



18 図 消弧室構造図 (VLB 型負荷断路器)

Fig. 18. Interrupter assembly.



19 図 動作伝達部密閉構造

Fig. 19. Sealed construction of toggle shaft of interrupter.

を保持して、外部動作を内部に伝えるようになっている。なおシリコンゴムの“O”リングが用いられているがこれは低温度における密閉を保持するためのものである。

消弧室は定格により、その構造が異なるが原理的には 18 図に示されているものと同じである。すなわち遮断のときにはトグル機構によって、可動コントакトが上部に引き上げられると、シリンダ上部の弁がしまって、シリンダ内の SF<sub>6</sub> は下部のテフロン製のオリフィスを通して電弧に吹きつけられ、消弧を行う。投入のときには SF<sub>6</sub> の吹き付けは行わないが下部固定コントакトには、緩衝装置があり、投入時の衝撃を吸収する。

消弧室には SF<sub>6</sub> を充填するための弁および大地上より見やすい箇所に取付けられた圧力計がある。後者により遮断部内の SF<sub>6</sub> ガス圧力を点検し、保守の目安とできるようにしてある。またオリフィスにはテフロンを使用しているので電流遮断しても消耗はきわめて少く、分解ガスも SF<sub>6</sub> の特性を損ずることがない。SF<sub>6</sub> にさらされる部分は SF<sub>6</sub> が電弧によって分解して生ずるごくわずかの SF<sub>4</sub>, SF<sub>2</sub> に対しても犯されないアルミニウム、ステンレス等を使用しているので腐食の問題がない。ち

なみに  $SF_6$  自体はきわめて安定性の高い無害の化合物である。とくに消弧室は厳密な漏洩試験を行っているので  $SF_6$  の漏洩なく上記のごとく完全密閉型であるので寿命中の保守は不要である。

## (2) 動作

1 図 a では閉路された状態で、この位置では主ブレードのコンタクトは閉じていて、消弧室内で分離すべきコンタクトはまだ閉じている。したがって通常の電流通路は主ブレードのコンタクトを通り消弧室をバイパスしている。

### 開路動作

中央の碍子柱を回すと下記の順序で開閉器と消弧室を開路する。

- 駆動碍子を最初  $30^\circ$  回転させると、主ブレードは軸まわりに回転してコンタクトをワイプさせ、同時にさみコンタクトの圧力をゆるめる。
- つぎの  $30^\circ$  碾子を回転させると、主ブレードは固定コンタクトから離れて起き立ち、電流は消弧室を通って流れ、消弧室の断路ブレードに移される。
- 17 図 b は主ブレードが起上って消弧室ユニットが電流を流している状態である。
- 碍子が以上の  $60^\circ$  の行程を回り終れば、主ブレードは消弧室の腕に引懸ってオーバーセンタのトグル機構を引外して、消弧室内で高速度にコンタクトを開く。そこで電流の流は外部に出ることなしに消弧される。17 図 c, d はこの行程を示す。
- 消弧機構を引外して後はさらに主ブレードを起上がらせ、このブレードの腕が消弧室の断路ブレードとがみ合う。2 つのブレードはそれから駆動碍子を最後の  $40^\circ$  回す間立ち上り、断路器に必要な十分に目に見える空間を造る。17 図 e はこの全開状態を示す。

### 閉路動作

閉路順序は開路順序と反対で、したがって断路ブレードが閉じられて消弧室のコンタクトは主ブレードのコンタクトが閉じる前にできる。これは負荷回路を付勢する間主ブレードコンタクトが先行放電で焼けることを防ぐ。

## 4. V 型屋外断路器

V 型屋外断路器は長期間風冰雪、煤煙中で使用されても劣化しないで常に新品同様に使えるように、時効性銅合金を使用している。3 表はコンタクトはさみ板用の A 銅合金と、主ブレードコンタクトに用いる B 銅合金および通常の断路器に使われている銅とを  $250^\circ C$  1 時間空気中で焼鈍後の硬度の比較を示すもので、銅はショア 20 位

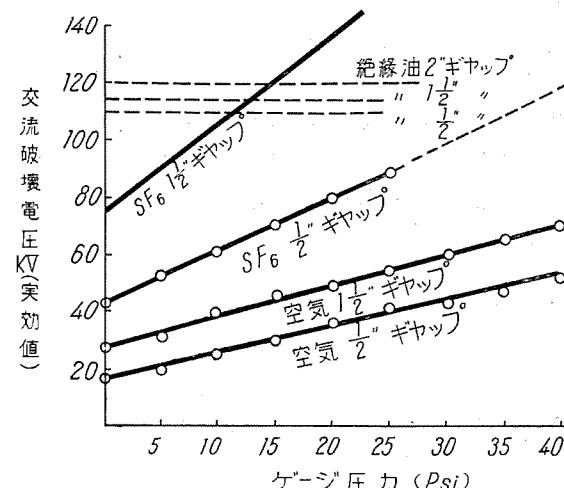
3 表 断路器コンタクト材料  $250^\circ C$  1 時間焼鈍後硬度比較

材質	焼鈍前	焼鈍後
銅	ショア 18~20	10~10.5
A 銅合金	ショア 32.5~36	31~34
B 銅合金	ブリネル 93~100	93

のものが半分になるに反し、銅合金 A はショア 34 位、B 銅合金はブリネル 93~100 位もあってほとんどやわらかくならない。すなわち V 型断路器は硬いコンタクトを用いているので煤煙塵埃でかじられることなくかつたとえ温度上昇しても劣化が進行しないことを証明している。なおコンタクトジョイントには一切フレキシブルシャントを用いてないから、操作が頻繁でも故障を起すことがなく、主ブレードを起すヒンジ部分は完全に囲われているので、いかなる天候にも保護して苛酷な条件の下でも操作が円滑に行われる。したがって上記のような特長から操作回数が多く、耐久力が望まれる負荷断路器用として V 型断路器は最適である。

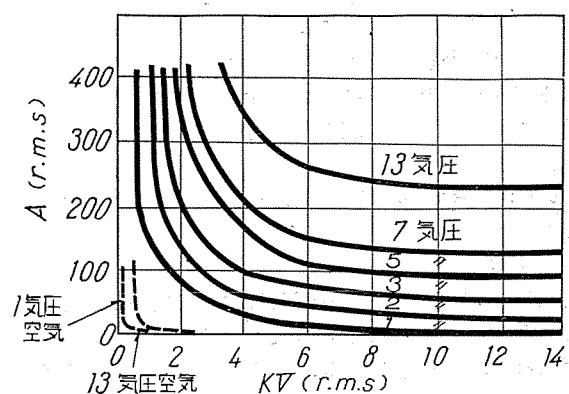
## ウ. 六氟化硫黄 ( $SF_6$ ) ガスの消弧性

$SF_6$  は 1900 年に Moissan, Zebean 両氏によって発見され、工業界に売り出された最初の弗素化合物であり、近年とくにそのすぐれた電気的特性が着目されるに至ったものである。絶縁耐力特性についてはすでに数多くの文献があるので、今ここにはその一例として 20 図に文献(1)より空気、油との絶縁耐力の比較を示したが、 $SF_6$  のすぐれた絶縁耐力が良く示されている。一方ハロゲン系ガスの消弧性のすぐれていることは 1942 年 W. Weber



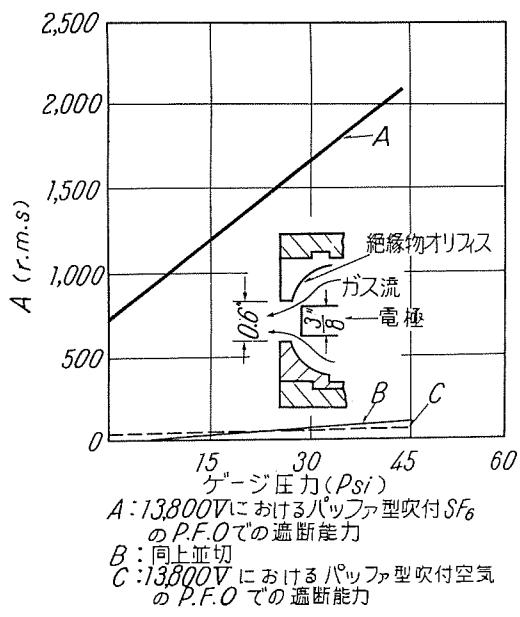
20 図 60~破壊電圧圧力特性 (0.5 寸球及び 3 寸直径平板)

Fig. 20. 60 cycle break down voltage by the pressure of gas.



21 図 並列遮断に於ける  $SF_6$  の遮断能力 (O.P.F.)

Fig. 21. Interrupting performance at zero power factor of a 3-inch plain breaker.



22 図 零力率 13,800 V における遮断能力  
Fig. 22 Zero power factor interrupting ability at 13,800 volts.

によって認められたが、SF<sub>6</sub>についての消弧性に対する一連の実験が 1950 年代にはいり H. J. Lingal 氏らによって行われた<sup>(2)</sup>。

H. J. Lingal 氏等の実験は内径約 120 mm 長さ 450 mm の遮断構造を用い全開極距離は約 75 mm あり、可動電極の開極速度は平均 4~5 m/sec であった。21 図は力率 0 における遮断能力を示すもので、並列遮断において空気の 100 倍のオーダーの遮断能力のあることがわかる。また 22 図はいわゆるパッファ型の吹付の場合の力率 0 における遮断能力を示す。

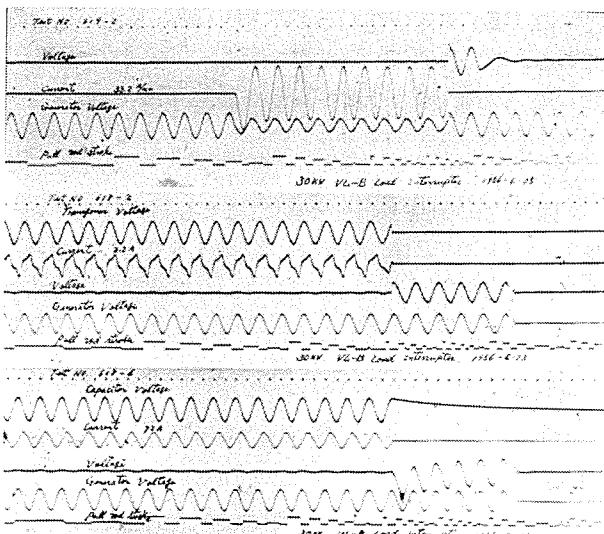
消弧能力は単にガスの絶縁耐力のみの問題でなく、とくに電流零点付近における絶縁回復力の問題であるが、上記 H. J. Lingal 氏らによる一連の実験により SF<sub>6</sub> ガスの絶縁回復力は空気に比してきわめて高いことが明らかとなった。3 図からわかるように SF<sub>6</sub> 中の並切りにおいてもなお空気のパッファ型吹付遮断よりも良い遮断能力を有することが明らかであろう。

SF<sub>6</sub> の消弧機構については明らかではないが一般にハロゲン系ガスは、自由電子をとらえて動きにくい負イオンを作り易い並外れた特長をもっており、かなり高い電位傾度の下でも絶縁性が良いのはそのためで、しかもこれは普通の拡散、再結合によって消イオン作用を完了するよりもきわめて早い時間の内に完了されるためであるといわれている<sup>(2)(3)</sup>。

VLB 型負荷断路器は SF<sub>6</sub> のかかるすぐれた消弧性を利用したものである。

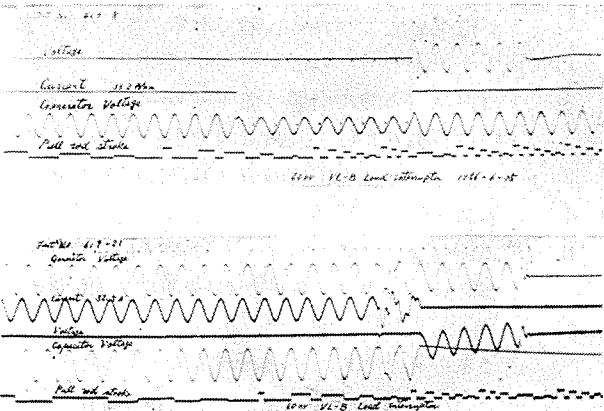
## 工. 遮断能力

当社遮断試験室で行った遮断試験では 34.5 kV 定格のものは負荷力率 43%，440 A をまた 69 kV 定格のものは負荷力率 40%，550 A の遮断に成功した。これら試験における再起電圧上昇率は前者は 130 V/μs、後者は 900 V/μs であったから、実際の LR の並列負荷回路 (NEMA 規格に指定されている) においては力率 50% の場合再



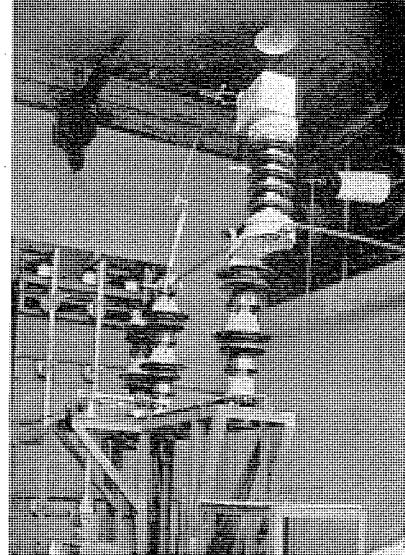
23 図 34.5 kV, 600 A VLB 型負荷断路器遮断試験オシロ  
(上) 負荷電流遮断 440 A 力率 43%  
(中) 変圧器励磁電流遮断 2.2 A  
(下) 充電電流遮断 72 A

Fig. 23. Oscillogram of interrupting test of type VLB load interrupter switch 34.5 kV 600 A.  
Top:—Load current 440 A P.f. 0.43  
Middle:—Transformer exciting current 2.2 A  
Below:—Charging current 72 A.



24 図 69 kV, 600 A VLB 型負荷断路器遮断試験オシロ  
(上) 負荷電流遮断 550 A 力率 40%  
(下) 充電電流遮断 52.2 A

Fig. 24. Oscillograms of interrupting test of type VLB load interrupter switch 69 kV, 600 A.  
Top: Load current 550 A P.f. 0.4 Below:—Charging current 52.5 A



25 図  
遮断試験中の 69 kV, 600 A VLB 型負荷断路器  
Fig. 25.  
Type VLB load interrupter switch 69 kV, 600 A under interrupting test.

起電圧の上昇率は、基本周波数の2倍すなわち34.5 kVで32 V/μs, 69 kVにおいて64 V/μsであるのできわめて大きな余裕を残している。また充電電流の遮断は34.5 kV 定格のもので20 kV で72 A, 69 kV 定格のもので40 kV で52.5 A を再点弧なしに遮断した。励磁電流遮断は34.5 kV 定格のもので2.2 A の変圧器励磁電流を遮断してなんら異常電圧を発生しなかった。23 図および24 図はこれら遮断試験のオシログラムを、また25図は遮断試験中の69 kV, VLB 型負荷断路器の写真である。

なお、また数十回の試験後に34.5 kV 定格のもので最初2気圧で充填したSF<sub>6</sub> ガス漏洩で逃げたとしてゲージ圧力1気圧にして負荷遮断を行ったが、65 V/μs の再起電圧上昇率で成功であった。

また試験後、解体点検を行ったがSF<sub>6</sub> ガスが若干白濁した以外はテフロン製オリフィスもほとんど損傷なく、また機構部分にも異常がなかった。以上の試験の結果、VLB 型負荷遮断器が十分に遮断能力を有するのみでなく、遮断不能の限界で何度も試験を繰り返しているにかかわらず、最初充填ガス圧力2気圧をゲージ圧力1気圧に下げてもなお遮断可能であることはNEMA 規格500回の遮断に対しても十分余裕を持っており、寿命に対しても信頼性のあることがわかる。

米国ウェスチングハウス社の遮断試験室では全電圧階級にわたって200,000 kVAまでの変圧器の励磁電流を遮断する試験を行い、115 kV で100 マイル送電線相当の充電電流遮断試験もなんら問題が起らず、34.5 kV で5,000 kVA, 69 kV で7,500 kVA, 115 kV で10,000 kVAまでの単一キャパシタバンクの開閉を遮断試験室で証明した。また米国各地の現場試験では115 kV 100,000 kVAまでの各種変圧器の励磁電流を遮断する能力を証明した。また200 A 負荷電流が困難もなく取扱われ、70 マイルの送電線の充電電流が115 kV で遮断され、また別に或る所では69 kV で40 マイルの送電線の充電電流の開閉を数回遮断して成功を収め、34.5 kV では7,500 kVA の変圧器の励磁電流を取扱うと同時に125 A の負荷電流遮断の現場試験も行われた。

#### オ. 応用

VLB 型負荷断路器は屋外断路器と同じ操作機構を用い、受入コンタクト側の碍管上に消弧室をつけたものであるから、据付には何ら手数を要せず、また設置費用も普通の断路器とちっともかわらない。また保守としては消弧室のガス圧力が1気圧以上あるか否かをチェックするだけで足り、圧力ゲージの指示が1気圧を割るかあるいは500回遮断して寿命が来たと判断されても、消弧室のみ取替えるか、あるいは内部点検後工場でガスを再充填すれば直ちに使用できる。すなわちこの装置が応用され易いのは据付が簡単で、保守が容易だからだ。

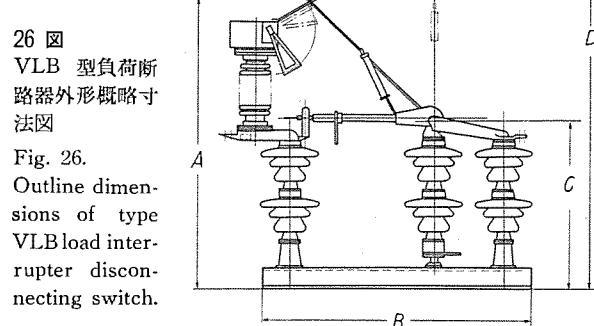
26図は各電圧階級の外形図で、おもな用途は下記のごとくで、それぞれ応用に際しては限度がある。

#### a. 線路区分

- b. 負荷開閉 50~100% 力率で600 A まで
- c. 変圧器励磁電流開閉 変圧器の容量制限は
 

11.5~34.5 kV	35,000 kVA
69~80.5 kV	70,000 kVA
115~161 kV	100,000 kVA

定格電圧	A	B	C	D
11.5	1,200	1,200	550	1,450
23	1,200	1,200	600	1,500
34.5	1,450	1,300	650	1,700
69 (80.5)	2,000	2,000	1,300	2,500
115	3,000	2,600	1,650	3,600
161	3,500	3,300	2,100	4,800



26図  
VLB 型負荷断路器外形概略寸法図  
Fig. 26.  
Outline dimensions of type VLB load interrupter disconnecting switch.

d. キャパシタ開閉 原則として単独バンク使用でバンク容量の限度は

11.5~34.6 kV	5,000 kVA
69~80.5 kV	7,500 kVA
115~161 kV	10,000 kVA

最近当社で製作しているDBA型硼酸電力ヒューズは、23 kV で対称分で440 MVA, 34.5 kV で625 MVA, 69 kV 以上 115 kV で 1,000 MVA の遮断容量のある優秀な性能を誇るヒューズで、これと直列にして使用すれば、故障電流遮断は電力ヒューズでやらせ、負荷電流あるいは励磁電流その他を負荷断路器でやらせることができて経済的な変電所の設計ができる。

#### 4. む す び

以上のごとき構造が簡単、操作が簡便で据付が容易かつ負荷断路器としての遮断性能を十分満足する性能を持つLCB型屋内負荷断路器、VLB型屋外負荷断路器が開発実験されたことは、発変電所の設計を経済的にするにはいかに計画すべき再検討を要するに至った。もちろん操作回数頻繁な場所あるいは故障電流の遮断をときどき考えなければならないような所へは遮断器を用いなくてはならないが、発変電所の所内変圧器開閉用、主変電所からあまり遠くない小変電所あるいは自家用変電所の受電回路の線路切換区分用、変圧器あるいはキャパシタバンクの開閉あるいは電圧調整器その他機器の切離し用に好適で、とくに電力ヒューズと組合せれば、従来遮断器を予定して計画した場所に相当使えるのではないかと考えられる。

擲筆するに当り、開発に協力された当所工作部の各位を始め、とくに各種試験に協力下さった品質管理課の各位および本社電力応用技術部山田技師に深く感謝の意を表する。

#### 参 考 文 献

- (1) Gaseous Insulation for High Voltage Transformers. G. Camilli. A. I. E. E. Trans. Vol. 71
- (2) An Investigation of the Arc Quenching Behavior of Sulfur Hexafluoride: H. J. Lingal.
- (3) Dielectric Breakdown of Sulfur Hexafluoride in Non-Uniform field: C. N. Works 外 A. I. E. E. TP 53-235

# DB 型 低 壓 氣 中 遮 斷 器

神戸製作所 勝 田 久 登\*

## Type DB Low Voltage Air Circuit Breakers

Kobe Works Hisato KATSUTA

New Type DB air circuit breakers have been successfully developed to increase the interrupting capacity of breakers built of the same unit weight of materials and also are capable of carrying more current in the same sense. In addition, they can be equipped with a direct acting tripping device so that they will satisfy the requirements of full selective tripping performance over a complete range of faulty current. The continuity of service, that is the prime requisite of the latest low voltage distribution system, is thus available with this new product.

### 1. まえがき

低圧気中遮断器およびその適用に関する昨今の要求事項として、遮断性能とくに CO 責務に対する信頼性、一層厳密な故障電流の推定、合理的な直列配置、給電の連続性、耐衝撃および耐振動などがある。遮断器据付に関しては、キューピクル型配電盤にすると利点が多く、この方法が一般的に採用されるようになり、有利にキューピクル内蔵するために、各種の考慮が払われるようになったが、とくに遮断器の小形化と、遮断時に発生するガスのイオン化距離の縮少に重点がおかれている。これらのすうせいに応じ、かつ当社の新しい標準機種とするために、DB 型低圧気中遮断器の開発研究を行っているが、系列の中すうとなる DB-25 型と DB-50 型が完成したので紹介をする。

### 2. 定 格

#### ア. 定格遮断電流

3 相 600 V 以下の回路に適用する低圧気中遮断器の定格遮断電流の定義は、JEC<sup>(5)</sup> NK<sup>(6)</sup> ASA<sup>(7)</sup> の各規格とも、直流分を含む全電流の実効値の 3 相平均値になっている。動作責務はいずれも 0-2 分-CO である (ASA は将来は 0-15 秒-CO)。しかし JEC が発弧直前の値をとるのに対し、NK, ASA は短絡後 0.5 サイクル時 (60 サイクルベース) の値としている。低圧気中遮断器の定格遮断電流は、前者の定義にしたがって表現するか、後者の定義にしたがって表現するかにより当然差が生ずる。DB-25 型、DB-50 型低圧気中遮断器の瞬時引外の開極時間は約 2 サイクル (0.0334 秒)~3 サイクルであり、3 相短絡電流  $i_t$  (直流分を含む全電流の実効値の 3 相平均値) のあらましの計算は、電源が低圧交流発電機の場合

$$i_t = D[i'' - N(i'' - i')] \text{ である}^{(1)}$$

ここに  $D$ ……直流分減衰率

$N$ ……次過渡分減衰率

$i''$ ……次過渡リアクタンスと回路インピーダンス

スによりきまる交流分実効値

$i''$ ……過渡リアクタンスと回路インピーダンスによりきまる交流分実効値

いま代表的な数値として

$$i = 0.7 i''$$

$$N 0.5 \text{ サイクル (60 サイクルベース)} = 0.2$$

$$N 0.5 \text{ サイクル (50 サイクルベース)} = 0.25$$

$$N 0.0334 \text{ 秒} = 0.625$$

$$D 0.5 \text{ サイクル (60 サイクルベース)} = 1.25$$

$$D 0.5 \text{ サイクル (50 サイクルベース)} = 1.23$$

$$D 0.0334 \text{ 秒} = 1.06$$

をとてみると

$$i 0.5 \text{ サイクル (60 サイクルベース)} = 1.175 i''$$

$$i 0.5 \text{ サイクル (50 サイクルベース)} = 1.135 i''$$

$$i 0.0334 \text{ 秒} = 0.86 i''$$

となり、JEC の定義にしたがうと、NK, ASA の定義にしたがう場合に比べ、約 35% 小さく定格遮断電流が表現されうるが、これには電圧調整器の作動による界磁電流の増加による影響を見込んでいない。

大容量の高圧側母線につながる低圧電源変圧器の低圧側 3 相短絡電流  $i_t$  (直流分を含む全電流の実効値の 3 相平均値) のあらましの計算は、

$$i_t = D I_{s0}$$

ここに  $D$ ……直流分減衰率

$I_{s0}$ ……遮断点からみた電源側全インピーダンスによってきまる交流分実効値

いま代表的な数値として、 $R/L=32$  のときの、

$$D 0.5 \text{ サイクル (60 サイクルベース)} = 1.25$$

$$D 0.5 \text{ サイクル (50 サイクルベース)} = 1.23$$

$$D 0.0334 \text{ 秒} = 1.06$$

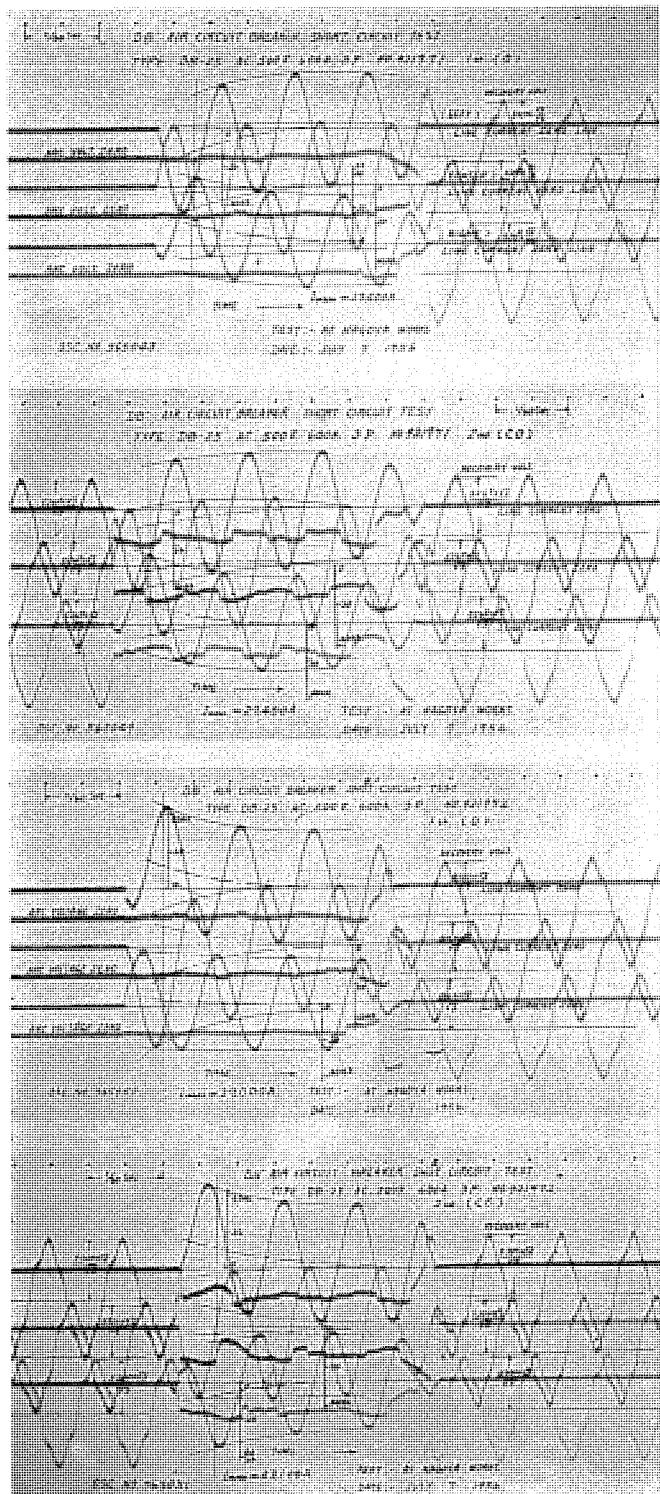
をとてみると

$$i 0.5 \text{ サイクル (60 サイクルベース)} = 1.25 I_{s0}$$

$$i 0.5 \text{ サイクル (50 サイクルベース)} = 1.23 I_{s0}$$

$$i 0.0334 \text{ 秒} = 1.06 I_{s0}$$

となり、JEC の定義にしたがって定格遮断電流を表現



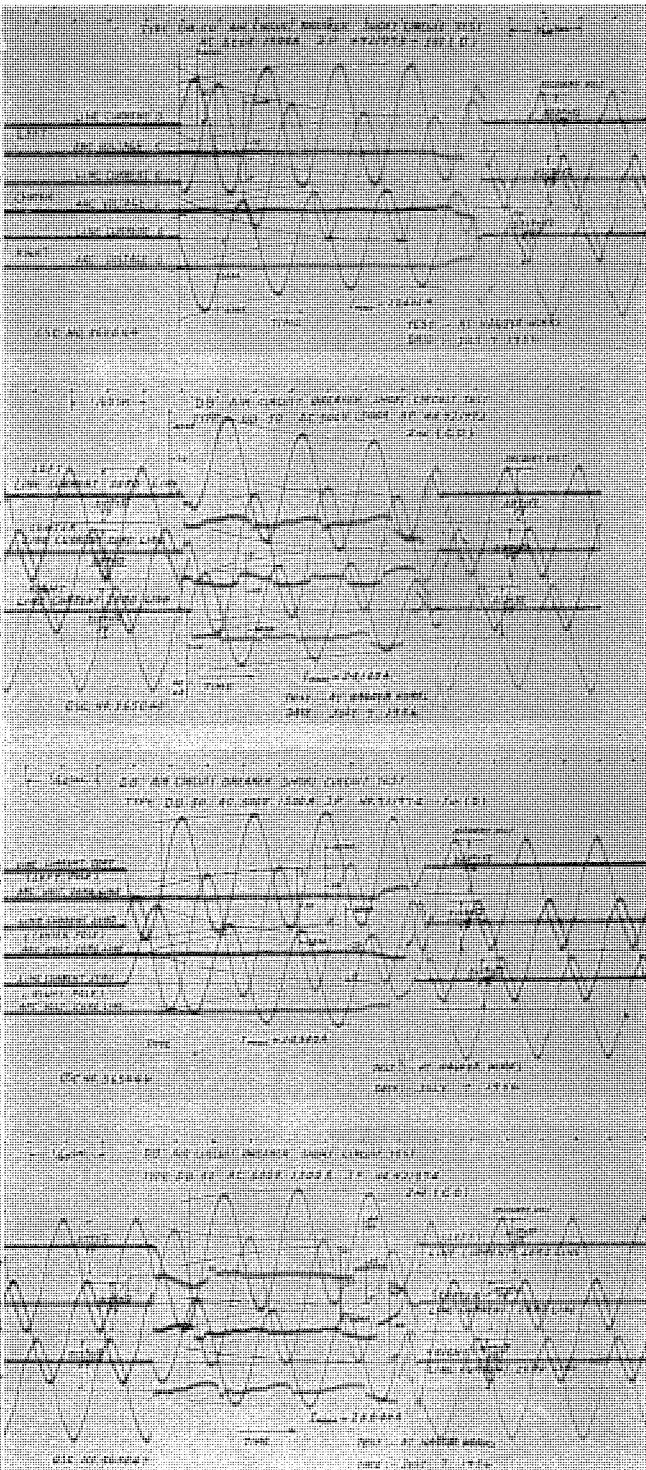
1 図 DB-25 遮断試験オシログラム

Fig. 1. Oscillogram.

すると、NK, ASA の定義にしたがう場合に比べ、約 20% 小さくなる。なお上記の直流分減衰率  $D$  は 3 相平均値として表わしたものであり、最大電流相の直流分減衰率  $K$  は、 $R/L=32$  のとき

$$K \text{ 0.5 サイクル (60 サイクルベース)} = 1.48$$

となり、3 極遮断器のある 1 極は、 $1.48 I_{S0}$  の故障電流にさらされうる。これは遮断器および母線等の短絡強度に関して考慮しなければならない値である。



2 図 DB-50 遮断試験オシログラム

Fig. 2. Oscillogram.

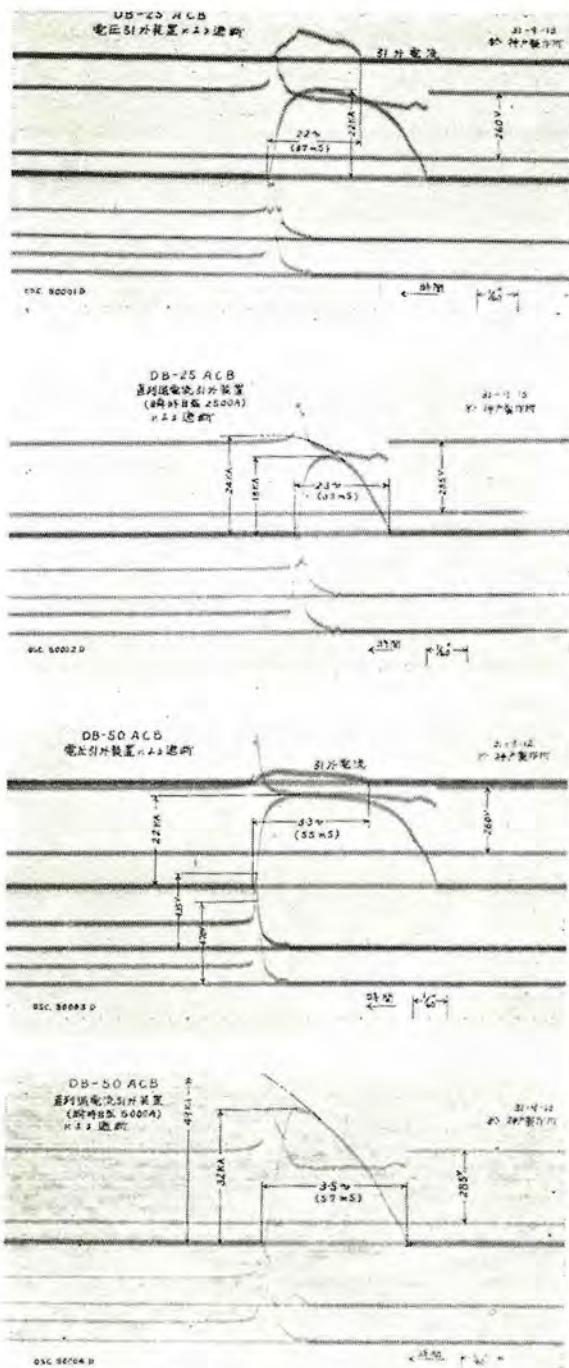
低圧電源変圧器のインピーダンスを含む電源側全インピーダンスの算定は困難な場合が多い。概算の一方法を示すと、

$$\text{高圧側短絡容量} \cdots M \text{ kVA}$$

(上記は、変圧器の高圧側出口の電力遮断器の 3 相定格遮断容量で代行しうる)

$$\text{変圧器の 3 相定格容量} \cdots T \text{ kVA}$$

$$\text{変圧器の 2 次値定格電圧} \cdots E_2 \text{ V}$$



3 図 遮断試験オシログラム  
Fig. 3. Oscillogram.

とすると

$$I_{S0} = \frac{T}{\sqrt{3} E_2 \left( \frac{T}{M} + \frac{Zt}{100} \right)} KA$$

となる。

$M=100,000 \text{ kVA}$ ,  $T=500 \text{ kVA}$ ,  $Zt=5\%$ ,  $E_2=220 \text{ V}$   
とすると,  $I_{S0}=24,000 \text{ A}$  となり  $R/L=32$  のときは

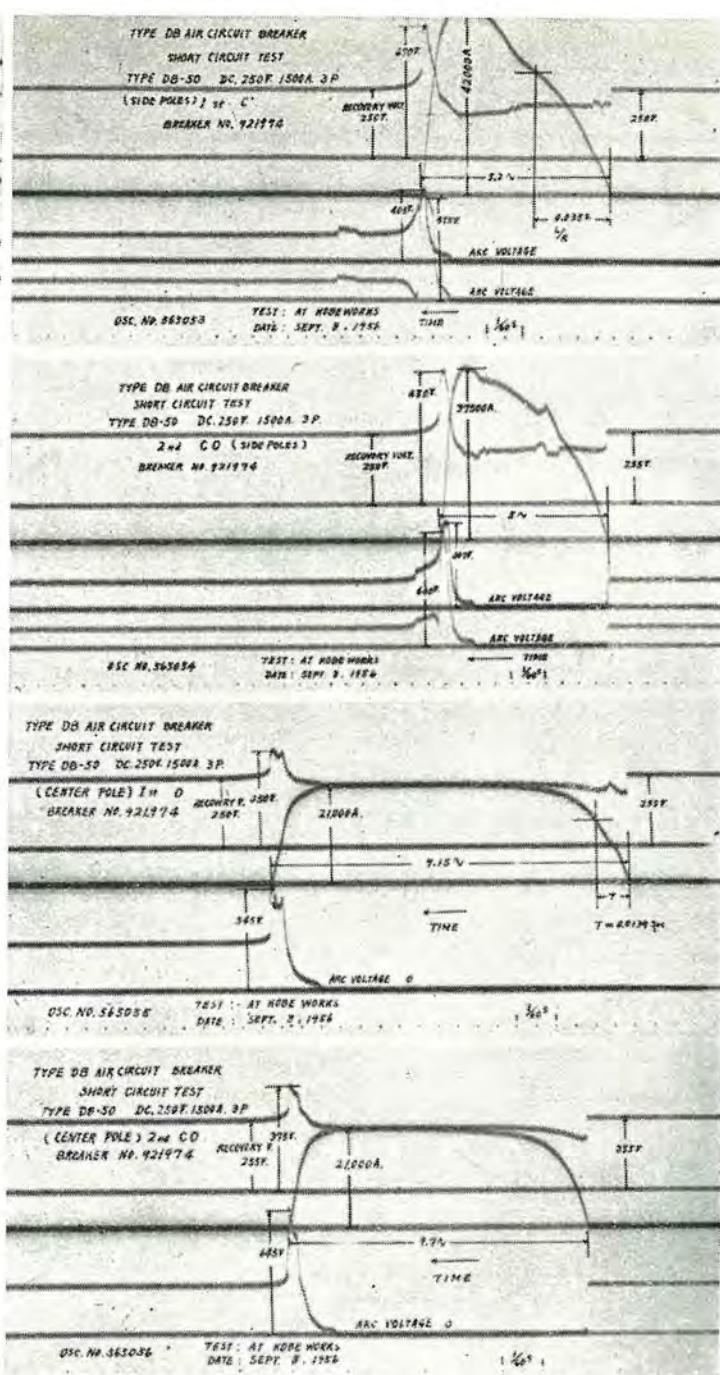
$i 0.5 \text{ サイクル (60 サイクルベース)}$

$$= 1.25 I_{S0} = 30,000 \text{ A}$$

$i 0.0334 \text{ 秒}$

$$= 1.06 I_{S0} = 25,000 \text{ A}$$

になり, これに電動機から短絡点へのポンプバック電流



4 図 遮断試験オシログラム  
Fig. 4. Oscillogram.

を加えたものが, 遮断器選定のための短絡電流の値である. かご形誘導電動機の起動電流は, 大体全負荷電流の 6 倍位と考えられ, この値が回転子ストールの場合の, またポンプバック電流としての最大値であるが, 回路のインピーダンスを考慮に入れて, ASA は誘導電動機の全負荷電流の 3.6 倍を 0.5 c/s 後の交流分実効値として, また AIEE—No. 45 (船舶用規格) では, 全負荷電流の 3 倍を見積ることを基準としている.

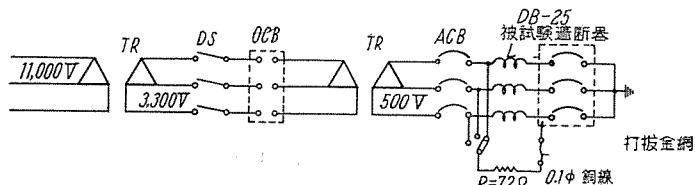
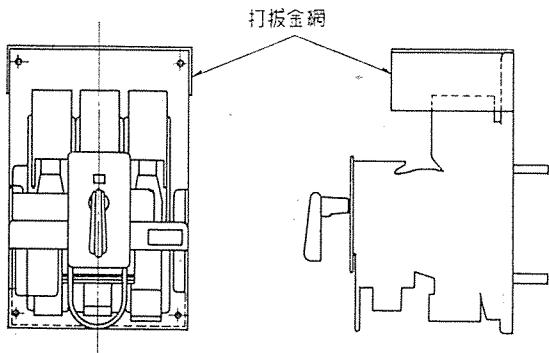
低圧直流回路に適用する気中遮断器の定格遮断電流の定義は, JEC では発弧直前の値であり, NK, ASA では最大値となっている.

1 表 定格遮断電流（瞬時引外）

型名	直 流				交 流			
	250 V	600 V	480 V	240 V	25,000 A	25,000 A	35,000 A	50,000 A
DB-25	25,000 A	25,000 A	35,000 A	50,000 A				
DB-50	50,000 A	50,000 A	60,000 A	75,000 A				

2 表 定格遮断電流（限時引外）

型名	直 流 250 V	交 流 600 V 以下
DB-25	25,000 A	25,000 A
DB-50	50,000 A	50,000 A

5 図 試験回路  
Fig. 5. Test circuit.

6 図 イオン化距離の測定

Fig. 6. Measurement of ionized zone.

低圧気中遮断器の適用のための短絡電流の計算の便利、保護すべき各種機器ならびに母線などの短絡耐量に対する認識の容易などの点から、DB 型遮断器の定格遮断電流は、NK、ASA の定義によって表現することにした。したがって JEC の定義による表現にかえるときは約 20% 低く見積ればよい。1~4 図に短絡試験オシログラムの一例を示す。DB-25 型、DB-50 型の定格遮断電流については、瞬時引外の場合、1 表の値を、限時引外の場合、2 表の値を保証するものである。

低圧気中遮断器を、キュービクル型配電盤内に装備するためには、遮断時に発生するガスのイオン化距離を知らなければならない。その実用的な試験として DB-25 型につき、5 図の回路で、6 図に示すように消弧室直上に打抜金網をはり、500 V、25,000 A、0.18 の遅れ力率で 0-CO-CO-CO の動作責務の短絡試験を行い、0.1 φ 銅線の溶断しないことを確めた。

#### 1. 定格電流

定格電流を決定する温度上昇の限度値は、JEC では周囲温度を 40°C とし、周囲温度が 40°C を超過するときは、超過分を減じた値を温度上昇の限度としている。低圧気中遮断器をキュービクル型配電盤内に装備するとき

は、キュービクル内の空気温度を 55°C にとるのが普通であり、したがってこの場合の、JEC による温度上昇の限度は、導電部・接触部（銀接触）・導体接続部（銀接觸）が 65°C-15°C=50°C、A 種絶縁コイルが、50°C-15°C=35°C、裸および B 種絶縁コイルが、70°C-15°C=55°C となる。

NK 規格では、配電盤内の周囲温度を 50°C とし、接触部（銀接觸）65°C、端子（母線および接続導体）30°C、A 種絶縁コイル 40°C、裸および B 種絶縁コイル 70°C が温度上昇の限度値である。

ASA では、すべての接触部が銀接觸であるとき、周囲温度を 55°C として温度上昇限度を規定し、端子 40°C、A 種絶縁コイル 50°C、裸および B 種絶縁コイル 70°C、その他の部分 70°C としており、かつ A 種絶縁物の最高温度を 105°C、B 種絶縁物の最高温度を 130°C に定めている。

DB 型遮断器は、上記の各規格の温度上昇限度のいずれにしたがっても、直交流とも、DB-25 型は 600A、DB-50 型は 1,600 A の定格電流の最大値をもつことができる。

フレームの大きさとは、低圧気中遮断器の外形寸法上の段階を、装備可能の最大連続定格の直列過電流引外装置の電流値で表現したもので、JEC では「主体電流の段階」に、NK では「外ワク」に相当するものである。したがってこれらフレームの大きさは定格電流の最大値と一致する。

JEC、NK には 1,600 A という定格電流の標準値はなく、また定格電流の最小値は、主として直列過電流引外装置に故障電流が通過する際の熱的耐量からきまるものであり、これらの値を 3 表に示す。（上述の温度はすべて温度計法による場合）

#### ウ. 定格短時間電流

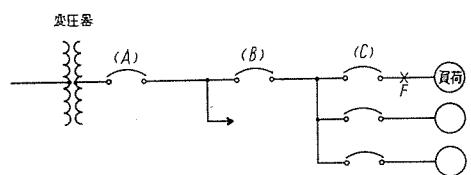
JEC では 1 秒間遮断器に通ずるも異常を認めない電流となっている。NK には規定がなく、ASA は 2 分（将来は 15 秒）の間をおき、0.5 秒ずつ 2 回通電して何ら異常のない電流値としている。4 表に DB 型遮断器の定格短時間電流を示す。なおこれは直列過電流引外装置を付属させないときの値である。

3 表 定格電流

型名	(A 欄) 定格電流の最大値 (フレームの大きさ)	定格電流の最小値			
		(B 欄) 定格遮断電流により 決まる場合		(C 欄) 短限時引外時間によ りきまる場合	
DB-25	600A	25,000A	35,000A	50,000A	0.1 秒 0.25 秒 0.5 秒
		40A	100A	150A	175A 200A 250A
DB-50	1600A (1500A)	50,000A	60,000A	75,000A	0.1 秒 0.25 秒 0.5 秒
		200A	400A	600A	350A 400A 500A

4 表 定格短時間電流

型名	
DB-25	25,000 A
DB-50	50,000 A



7 図 低圧気中遮断器の直列配置  
Fig. 7. Diagram for circuit breaker in series.

### I. 直列に配置する遮断器の定格

7 図のように、低圧気中遮断器を直列に配置するときも、(A), (B), (C) 等すべての遮断器を、その定格遮断電流が、遮断点での短絡電流以上になるように選定するのが最も望ましい。DB 型低圧気中遮断器については遮断器 (A), (B) は 2 表により定格遮断電流を決定し遮断器 (C) は 1 表によって決定し、負荷に最も近い (C) には、瞬時引外要素と長限時引外要素を与える。それより上位の (B), (A) には、短限時引外要素と長限時引外要素を与えて、回路などに故障が発生したときは、最も近い遮断器だけで故障回路を切り離すことにより他の健全な回路は給電を続行させることができる。給電の連続性をもつ配列を ASA では Selective Trip Arrangement と称し細部を規定している。この場合、遮断器 (C) には、ノーヒューズブレーカを、その定格内で使用してよく、(B), (A) には DB 型遮断器を適用して限時引外に協調をはかることができる。

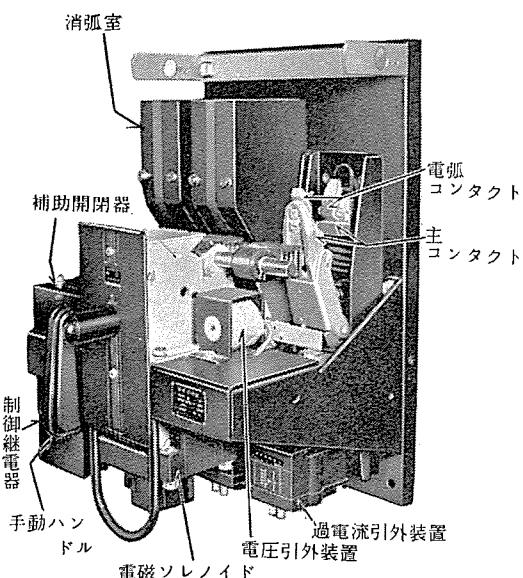
施設の経済性から、数の多い負荷回路遮断器 (C) 給電回路遮断器 (B) には、遮断点の短絡電流より小さな定格遮断電流のものを使用し、電源遮断器 (A) だけを短絡電流以上の定格遮断電流のものとし、(A) で (B), (C) をバックアップして保護を完うしたいという要求は少くない。7 図 F 点で短絡が発生した場合、遮断耐量の不足している (B), (C) には瞬時引外要素を与える。あるいは、ある故障電流以上のときはこれをロックし、遮断を延引しておき、十分な遮断耐量をもつ (A) のみで短絡電流の遮断を行う方式は、遮断器 (B), (C) が定格遮断電流以上の短絡電流をもつ故障回路を、瞬時引外要素をもたずに投入するという苛酷な条件となるが、これも (B), (C) に投入時にだけ瞬時引外要素を付与するという特殊の方法をとることによって、引外自由の恩恵に沿させ、解決することはできる。しかし ASA 等で規定する Cascade Arrangement 方式によれば、全遮断器 (A) (B) (C) に瞬時引外要素と長限時引外要素を与える、(A) には短絡電流以上の定格遮断電流のものを適用し、(B) は短絡電流の 1/2 以上の定格遮断電流のものと

5 表 最大短絡電流  
(Cascade Arrangement にするととき)

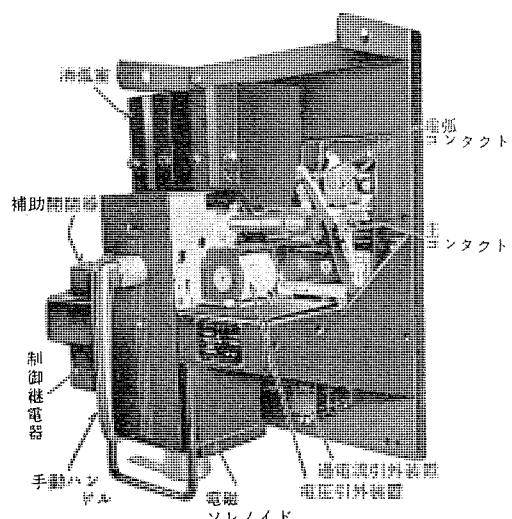
型名	交 流		
	240 V	480 V	600 V
DB-25	100,000 A	70,000 A	50,000 A
DB-50	120,000 A	100,000 A	100,000 A

し、(C) は短絡電流の 1/3 以上の定格遮断電流のものとする。7 図 F 点で短絡が発生すると、遮断器 (A) (B) (C) は協力して遮断を行う。(A) の瞬時引外電流目盛は、(B) の定格遮断電流の 80% 以下とし、(B) の瞬時引外電流目盛は、(C) の定格遮断電流の 80% 以下にする。上位遮断器の瞬時引外電流目盛の値までの故障電流に対し、給電の連続性を保たすことができる。遮断器 (A) (B) (C) は開極時間に協調がなくてはならず、また定格遮断電流よりはるかに大きな故障電流に瞬時さらされるので、その電磁力学に耐える頑丈な構造のものでなくてはならない。ノーヒューズブレーカは適用できない。(2)(3)

DB 型遮断器を Cascade Arrangement の回路に適用するとき、5 表の短絡電流の回路での使用にたえる。定格電流の最小値に関しては、3 表 B 檻を適用する。Cascade Arrangement においては、投入は電気操作 (DB 型遮断器は電磁ソレノイド操作) でなくてはなら



8 図 DB-25 型低圧気中遮断器  
Fig. 8. Type DB-25 low voltage air circuit breaker.

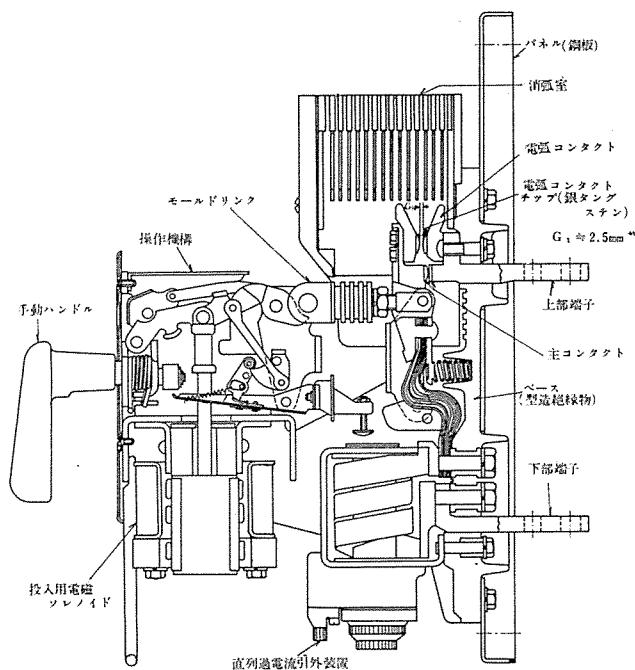


9 図 DB-50 型低圧気中遮断器  
Fig. 9. Type DB-50 low voltage air circuit breaker.

6表 重量

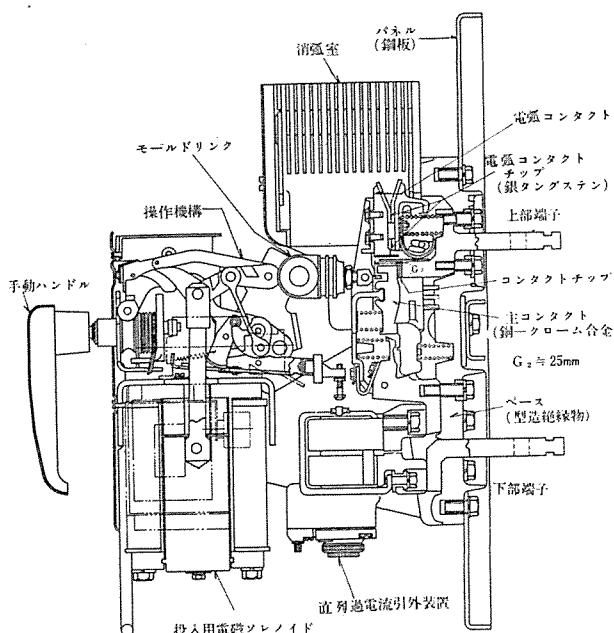
型名	DB-25		DB-50	
	2極	3極	2極	3極
手動操作	30	40	100	125
電磁操作	45	50	135	160

〔参考〕引出構造になると DB-25 型で約 7 kg.  
DB-50 型で約 15 kg ふえる。



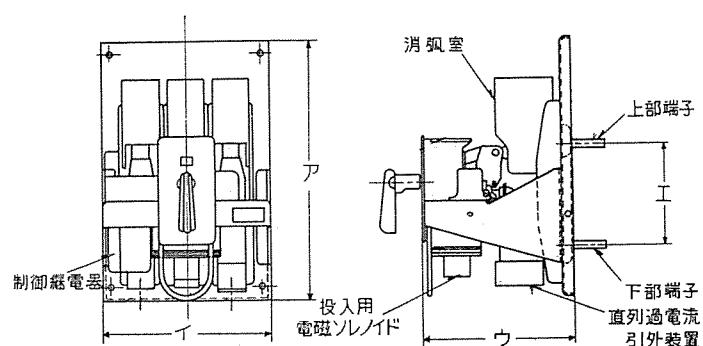
10図 DB-25型断面図

Fig. 10. Cross sectional view of type DB-25 breaker.



11図 DB-50型断面図

Fig. 11. Cross sectional view of type DB-50 breaker.

12図 外形寸法図  
Fig. 12. Outline dimension.

ず、また遮断責務は、定格遮断電流を越す場合、O あるいは CO 1 回だけであり、遮断後の点検、電弧コンタクトの取かえ等が必要であると規定されている。

### 3. 特長

8, 9 図に写真を、10, 11 図に断面図を、12 図に外形寸法図を示す。6 表に重量を示す。

#### ア. 小型で高性能であること

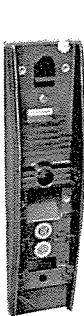
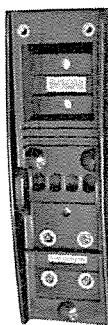
構造・絶縁・導電・耐弧・消弧の各材料の進歩と巧みな構成により、DB 型遮断器は、従来のものに比べて小形で、信頼のできる性能をもっている。

##### (1) 鋼板製フレームを構造の基礎としていること

従来の低圧気中遮断器は、石綿セメント板、フェノールレジン積層板などの絶縁板上に、導電部・機構部・消弧室および付属装置などの各要素を平面的に配列して構成していたので、空間の利用率が悪かった。DB 型遮断器の基礎構造となっている鋼板製フレームは、パネルとプラットホームから成りたち、その形状が遮断器を構成する各要素を立体的に配置するようにしてあるので、空間を有効に利用でき、遮断器を小形にする一因となっている。また鋼板製フレームは床面上に自立するので、組立・点検・調整に便利である。

##### (2) 絶縁物モールドに導電部を組込んでいること

13, 14 図に DB 型遮断器の絶縁物モールド製のベースを示す。これに導電部を組込んでポールユニットとし、さらに極数分を鋼板製フレームに取付ける。各極は有効

13図 モールドベース  
Fig. 13. Molded base.  
(for type DB-25).14図 モールドベース  
Fig. 14. Molded base.  
(for type DB-50).

	ア	イ	ウ	エ
DB-25	508	330	300	197
DB-50	685	495	400	229

長さをかえうる絶縁物製リンクをもっているので、これを共通のクロスバにつないで、容易に多極遮断器とすることができます。絶縁物モールド製のベースになると、各部間の絶縁距離を限られた空間内で十分に与えることができるので遮断器を小形にすることができます。絶縁物モールドに関してはつねに最高の材質の使用に留意している。

(3) 故障電流の通過によりコンタクト圧力が増す

10, 11 図の断面図でわかるように、DB 型遮断器のコンタクトならびに導電部の配列は、それぞれのフレームの大きさに応じた独特のものであり、いずれも故障電流通過のとき、その電磁力により、コンタクト圧力を増すか、コンタクト圧力に変化をきたさぬ構造である。ゆえに信頼のできる短時間電流性能をもっている。

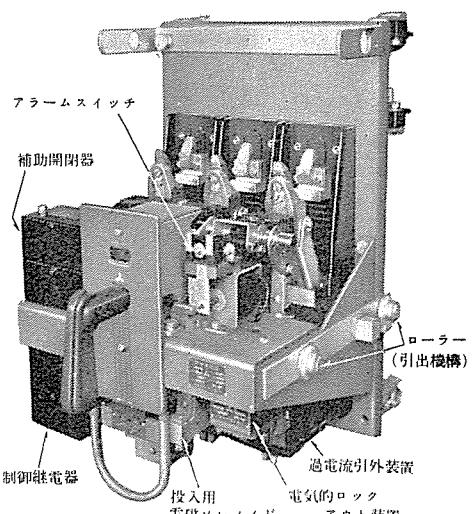
DB-50 型の主コンタクト母体は、当社製の銅クローム合金であり、適切な熱処理により、コンタクトチップは後において、銅母体の場合に比べ、高硬度と強靭性をもち、かつ導電率も銅合金としてはきわめて高い材質である。コンタクト圧力を与えるスプリングは、非磁性のステンレス鋼線製であり、導電部と絶縁して保持している。

(4) 消弧室に耐熱性磁器を使用したこと

消弧室は 2 本のボルトにより、たやすく、各極ごとに、ポールユニットに対し着脱ができる。消弧室の構造は、絶縁物モールド製のケースの中に、特殊耐熱磁器の側壁と、鉄板製グリッドを納めたもので、耐熱磁器側壁の形状が巧みであるので、最少の部品で構成できる。耐熱磁器の材質としてはジルコン素地とコーナーライト素地が消弧室側壁として実用に適しており、前者は機械的強度と熱伝導率にすぐれしており、後者は熱衝撃に強い。DB 型遮断器の消弧室側壁はその形状が単純ではないので、焼成温度範囲が極限されるコーナーライト素地では、所定の寸法精度とするために製品のぶどうりが悪く高価となりやすい。その点ジルコン素地は製造が容易である。しかしコーナーライトは国産原料であり、熱膨脹係数が低いため熱衝撃に最も強いので、本素地による製品のぶどうり向上についても研究中である。

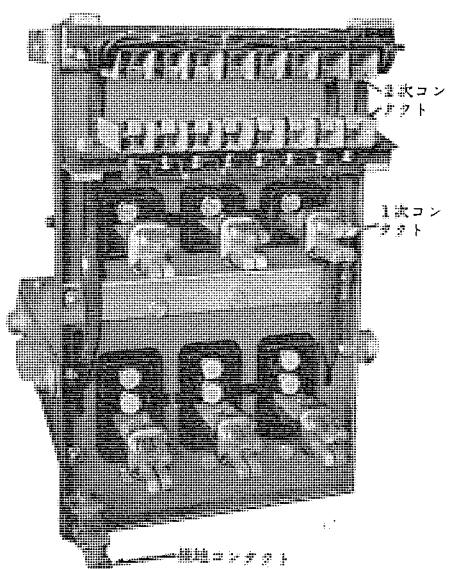
鉄板製グリッドは、電弧を消弧室にひき入れ、電弧の冷却と分割の役目をする。耐熱磁器側壁と鉄板製グリッドの組合せにより、電弧は急速に冷却され消弧する。また電弧通路にある導電性の微粒子は消弧室上部に排出される。側壁とグリッドが、ガスの発生の少い材質であるので、消弧室内ガス圧はあまり高くならず、イオン化ガスの逸出は少ない。イオン化ガスは消弧室上部のグリッドで消イオンされる。

絶縁物モールド製のリンクは、消弧室のモールド製ケースと協調して、絶縁耐力の低いガスの機構部への逸出を防ぐ。



15 図 引出型遮断器

Fig. 15. Draw-out circuit breaker.  
(front view of type DB-25).



16 図 引出型遮断器

Fig. 16. Draw-out circuit breaker.  
(rear view of type DB-25)

## イ. キューピクル型配電盤に内蔵するに適していること

低圧気中遮断器をキューピクル型配電盤に内蔵し、引出構造にすると、点検・保守・据付に便利であり、安全性が高い。キューピクル型配電盤に内蔵するため DB 型遮断器の特長は

### (1) 外形を大体立方形に整備していること

鋼板製フレームを基礎とする方体的な構成により、外形は立方形に近い形となっている。これは従来の気中遮断器の平面的な外形に比べて、寸法上有利にキューピクル型配電盤に内蔵できる。単独据付のときも、安全性の高い金属箱内に引出構造で納めるのを標準としている。

### (2) 容易に引出構造にことができる

鋼板製フレームは、引出構造として必要なローラや、鎖錠装置を取付けるように最初から考慮をした、接続用

の 1 次コンタクト, 2 次コンタクトおよび接地コンタクトも容易に装備できるように準備してある。15, 16 図は引出型遮断器を示す。接続用の各コンタクトはいずれも遮断器に付属させてあるので、点検・保守に便利である。2 次コンタクトは 1 次コンタクトより接触を保つ距離が長いので 1 次コンタクト断, 2 次コンタクト接の位置に保つこともできる。あやまって遮断器を閉合状態のまま引出す操作をしても、1 次コンタクトの接触しているあいだに、遮断器を自動的に引外すようにインターロックしてある。

### (3) 操作機構を大地電圧にすることができる

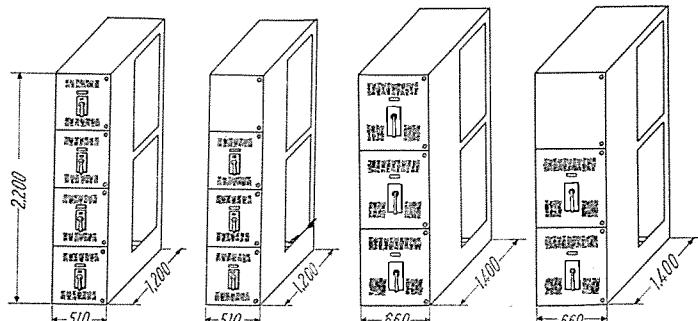
操作機構は鋼板製フレームのプラットホーム上に取付けるが、絶縁物モールド製のリンクにより導電部とつながるので、接地コンタクトにより鋼板製フレームと共に接地することができるので、操作に安全である。操作機構は、投入過程のいかなる位置においても引外自由である。

### (4) あらゆる付属装置が、外形寸法をかえずに装備できること

低圧気中遮断器には各種付属装置の要求が多い。DB 型遮断器は、各極に装備できる直列過電流引外装置のほか、各種の付属装置を、何ら外形寸法を変更することなく、鋼板製フレームのプラットホームの上部あるいは下部に装備できる。このことはキュービカル型配電盤の標準化にぜひ必要なことである。付属装置には

電圧引外装置  
不足電圧引外装置  
補助開閉器 (4, 8 あるいは 12 回路)  
投入用電磁ソレノイド機構  
投入用制御継電器  
アラームスイッチ (1 あるいは 2 回路)  
電気的ロックアウト  
キーロックあるいはキーインターロック  
があり、また直流用 2 極遮断器には  
逆流引外装置  
界磁遮断器用放電コンタクト  
を装備することができる。

DB 型低圧気中遮断器を内蔵したキュービカル型配電盤寸法図を 17 図に示す。



17 図 キュービカル型配電盤寸法図  
Fig. 17. Cubicle dimension.

DB 型低圧気中遮断器・勝田

### ウ. 頑丈で耐久性があること

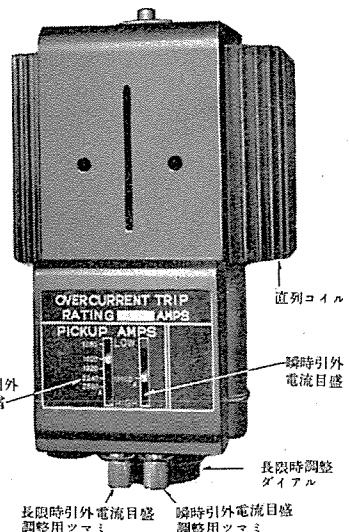
Cascade Arrangement になると、下位の遮断器は定格遮断電流の 2~3 倍の故障電流の瞬時の電磁力をうける。Selective Trip Arrangement になると、上位の遮断器は短絡電流を投入してラッチインさせる必要もあり、このため強大な投入力に対応できる頑丈な構造を要求される。また 2,000 Ft-Lb の各方向からの衝撃に耐える遮断器も要求されており、いずれにしても最近の低圧気中遮断器には頑丈な構造と、ラッチ機構が、大きな電磁力、投入力あるいは衝撃をうけた場合にあやまって外れないようになつたものでなくてはならない。

DB 型遮断器は、特別の使用目的に対しては、一部の材質変更と、衝撃的にラッチを保持する機構を付加して、要求に沿っているが、根本的には、鋼板製フレームを構造の基礎としており、これが強靭であることと、操作機構の可動部分にはステンレス鋼、特殊高力青銅鑄物、導電部の可動部分には銅クロム合金を使用して、軽質量で強靭なものにしたことが、前記の要求に応じうる要因である。2,000 Ft-Lb の衝撃試験機による 3 方向からの打撃に対しても、何ら破壊される部分はなく、特殊のラッチ保持機構の作用により誤った動作を行わない。

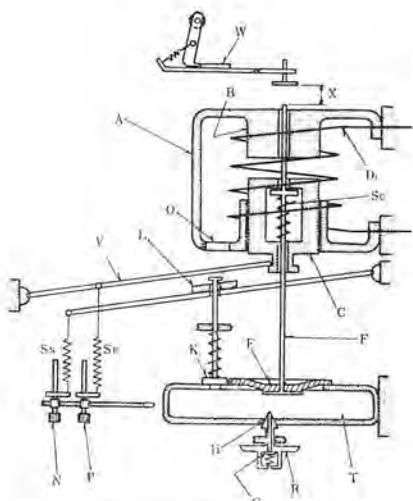
機構部のラッチ・ローラ・軸・軸受などの材質と熱処理にはとくに留意したこと、コンタクトチップ類はすべて銀タングステン合金あるいは銀ニッケル合金とし、耐弧性と耐摩耗性を与えたことと、必要な導電部の銅母体は硬度を与えるために引抜の硬銅異形棒にしたことなどで、すぐれた耐久性をもたすことができた。DB-25 型は、フレームの大きさを上回る 3 相 500 V, 650 A の約 1 万回の連続通電開閉試験の後でも、機構部には異常がなく、接触抵抗も 1 極のみ約 20% 増加したのみであり、引続く使用に何ら差支えがない。

### エ. 直列過電流引外装置

DB 型遮断器は各極ごとに過電流引外装置を装備する



18 図 直列過電流引外装置  
Fig. 18. Over current tripping device.



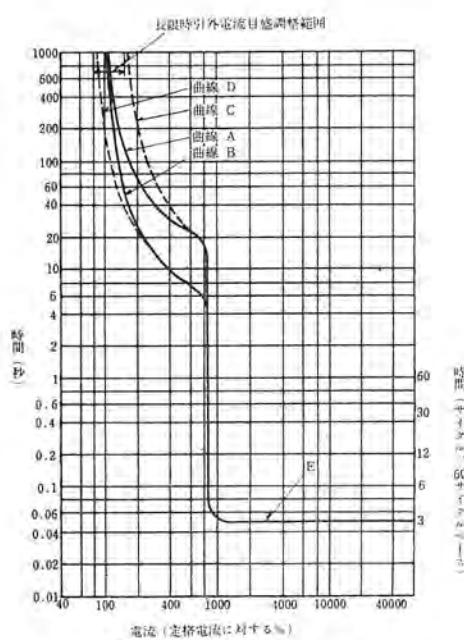
19 図 直列過電流引外装置動作説明図

Fig. 19. Schematic diagram for tripping device.

ことができる。標準のものは、瞬時引外要素と長限時引外要素をもつ。要求により、短限時引外要素と長限時引外要素を、あるいは瞬時・短限時・長限時の3要素を全部もつことができる。限時は空気室への空気の流入口を制御するバルブの開閉度と可動コアの吸引力の大きさによりきまる。流入口の形状は吸引力が一定の場合、流入量が主として空気の粘度に関係するように選んである。一般に気体の粘度は液体とは逆に温度の上昇と共に増すので、温度の上昇により膨張する流入口面積の効果と相殺して、温度変化による誤差は基本的に少い。18図に外容を、19図に動作説明図を示す。19図において可動コアCに内蔵しているスプリングScの荷重の設定を、長限時引外範囲では、可動コアCと一緒に動作する強さとし、したがって逆限時引外特性を与える。短限時引外範囲では、可動コアCが単独で運動することができる強さとし、したがって定限時引外特性を与えるように、また瞬時引外範囲の電流に対しては、ダイアフラムEを保護するように選んである。ダイアフラムは、特殊人造繊維を硅素ゴムに織込んだ材質であり、当社の世田谷工場製である。

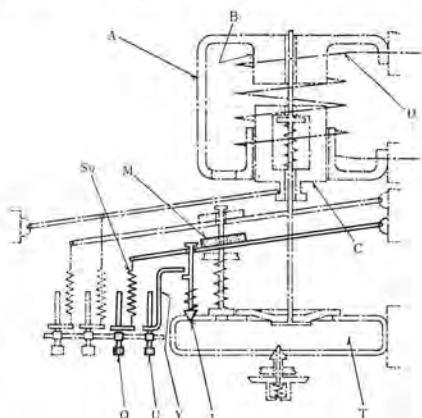
### (1) 瞬時引外

気中遮断器で低圧交流発電機の保護をするために、その持続短絡電流値以下に、瞬時引外電流目盛を越すとなると、その値は遮断器定格電流の300%以下となりかねない。また単一の誘導電動機、同期電動機あるいは変圧器が負荷としてつながる気中遮断器の瞬時引外電流目盛は、起動時の誤った引外を避けるために、遮断器定格電流の1,000%以上を準備しておく必要が生じる<sup>(4)</sup>。DB型遮断器の瞬時引外要素は、遮断器定格電流の250~1,500%の瞬時引外電流目盛を提供できる。ただし1個の装置については、最低目盛値と最高目盛値の比が、1対2の範囲で目盛および調整が可能である。すなわち瞬時引外電流目盛の範囲は、250~500%，あるいは500~



20 図 引外特性曲線の一例

Fig. 20. Typical time current characteristic.



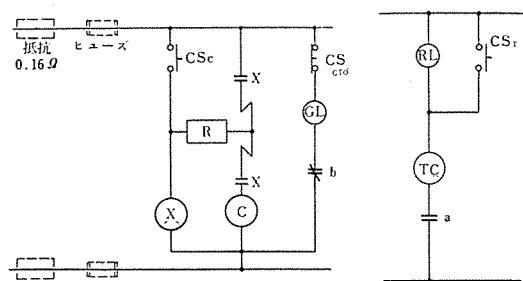
21 図 短限時引外要素動作説明図

Fig. 21. Schematic diagram for short time delay element.

1,000%等としうる。引外電流目盛に関しては、ほとんどの規格が±10%の誤差を許している。とくに電動機起動電流(3相平均値ではなく、最大電流相の電流を考えなければならない)などによる誤った引外しを避けるための引外電流目盛の選定には、目盛の許容誤差を考慮に入れる必要がある。

### (2) 長限時引外

長限時引外のうち電流目盛については、DB型遮断器は、定格電流の80, 100, 120, 140, 160%を標準として目盛っている。単一の誘導電動機、同期電動機が負荷としてつながる場合、遮断器の定格電流の選定は、電動機全負荷電流の115%以上になるようにし、かつ長限時引外目盛のうち80%電流目盛が、電動機全負荷電流の125%以下になるようにするのを標準と考えている。長限時引外電流目盛について特殊のものとして、たとえば定格電流の150~300%の範囲のものも供給することが



22 図 標準操作回路  
Fig. 22. Operating circuit.

できる。

長限時引外の限時目盛に関しては、各種の要求にそなうことができるが、標準のものは、長限時電流目盛を 100 % にセットしておき、400 % の電流を流したとき 20 秒となるようにしてある。この場合要求により、10~30 秒の範囲で調整も可能にすることができる。引外特性曲線の一例を 20 図に示す。

### (3) 短限時引外

短限時引外要素の動作説明図を 21 図に示す。短限時引外電流目盛は、遮断器定格電流の 250~1,000 % のうち、最低目盛値と最高目盛値の比が、1 対 2 の範囲内で目盛および調整を行うことができる。短限時引外の限時目盛については、0.1~0.5 秒の範囲で、要求による一点を目盛る。

### オ. 投入用電磁ソレノイドおよび制御継電器

イ項で述べたように、DB 型遮断器は各種の付属装置を、遮断器の外形寸法をかえることなく装備できる。DB 型遮断器を電磁操作にすると、ふなれな手動操作による不必要なコンタクトの消耗を避けることができる。この場合、手動ハンドルは投入のためには調整および点検用となり、引外のためには非常用となる。とりはづしておくことができる。

22 図に示す標準操作回路により、電気的引外自由（反く投入の防止を含む）である。22 図において X コン

タクトは、投入用電磁ソレノイド C の可動コアの運動により、機械的に開となり、かつ X コイルを無励磁とする条件でのみリセットする。制御継電器を、遮断器に内蔵するので、キュービカルの設計が有利となり、引出構造のとき 2 次コンタクトの数が減る。投入操作電流は、標準のものは、直流 100 V のとき、DB-50 型は 40 A DB-25 型は 30 A である。

### 4. む す び

最近設置されようとしている火力発電所の所内動力用低圧電源変圧器、あるいは各種の生産工場の低圧電源変圧器の容量は、相当に大きい。DB-50 型ではその定格電流・定格遮断電流が不足する場合があるので、さらにフレームサイズの大きさ、DB-75 型、DB-100 型の開発研究を続けている。給電の連続性をはかる直列過電流引外装置については、とくにフレームの大きさの小さな遮断器に適用する新しい型のものも開発中であり、これらの完成をまつて低圧気中遮断器としての DB 系列が整うわけである。本稿では直流回路への適用についてはほとんどふれなかったが、大型同期発電機の主界磁回路に適用してきわめて苛酷な遮断責務に耐える DB-F 型界磁遮断器は、600 V 以上の直流回路にも適用できる遮断器であり、別の機会に紹介するつもりである。

### 参 考 文 献

- (1) A. G. Darling  
Short circuit calculating procedure for low voltage A-C systems. AIEE Trans. 60 1121 (1941)
- (2) 鈴木  
ノーヒューズ遮断器とその応用 三菱電機 28 415 (昭29-8)
- (3) 吉野、櫻江、梶田  
NC 型コントロールセンタ 三菱電機 29 678 (昭30-12)
- (4) H. G. Rickover, P. N. Ross  
Fault protection on shipboard A-C power distribution systems. AIEE Trans. 63 1109 (1944)
- (5) 電気規格調査会標準規格 (JEC-91) 気中遮断器
- (6) 日本海事協会 鋼船規格電気装置編
- (7) American Standard (C 37.13-1954) Low voltage air circuit breakers.

# 狭軌高速電車用 WN ドライブ主電動機

伊丹製作所 浅越泰男\*

## WN Drive Traction Motor for Narrow Gauge Rapid Transit

Itami Works Yasuo ASAGOE

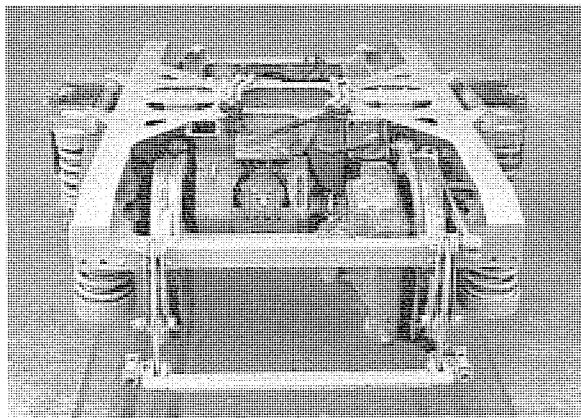
The WN drive has been in general use for the broad gauge rapid transit with success. Its large axial length required from the traction motor and drive, however, prohibits its application to the narrow gauge rapid transit. This has been a common idea prevailing in Japan. Under the circumstances, Mitsubishi has managed to cut down the axial length of each part based on its successful experience so that the narrow gauge is also benefited by this excellent drive method for the first time in the world.

### 1. まえがき

WN ドライブは電車用台車装架式高速度主電動機の駆動方式として約 30 年以前より米国において発達をみ、1930 年代には主として路面電車用に使用されてきたが 1940 年代にギヤカップリングを使用する現在の標準形式ができあがって大形電車に適用可能となり、ニューヨーク地下鉄をはじめ各方面の郊外電車に多量に採用される結果となった。現在では米国における新造大形電車はほとんどすべて WN ドライブとなり、かの有名なるニューヘブン鉄道の交直両用イグナイトロン電車もその 1 つである。わが国においてはニューヨーク地下鉄における WN ドライブの優秀性に着目された帝都高速度交通営団(東京地下鉄)が昭和 28 年度に丸の内線用新造車 30 両に対し大英断をもって WN ドライブを採用されたのが最初であり、その後昭和 29 年には米国にも例のない 110 kW 用 WN ドライブの開発もあって各方面よりの受注相つぎ、その実績は製作中のものを含めて約 140 両の多さに達し、電車性能の近代化に大きく貢献している。

以上これらの WN ドライブはいずれも広軌用(1,435 mm または 1,372 mm 軌間)であり、広軌電車用の駆動装置としては他方式の追随を許さない信頼性をかちえてきた。しかるにその構造上軸方向の寸法が大きくなるため残念ながら狭軌電車用(1,067 mm 軌間)の台車には WN ドライブは収容できないというのが常識とされており、またわれわれも数年前まではそのように考えていた。しかしあが国に WN ドライブが使用されはじめてから約 3 年間故障も皆無に近いという実績に意を強くして種々検討の結果、軸方向寸法の大幅の短縮が技術的に可能となり、ここに多年の宿願たる狭軌用 WN ドライブ主電動機を完成して昨年 11 月富士山麓電鉄に 55 kW 主電動機 2 両分 8 台、本年 1 月長野電鉄に 75 kW 主電動機 4 両分 16 台を駆動装置を含めて相ついで納入した。

以下にこれらの新製品について詳述する。

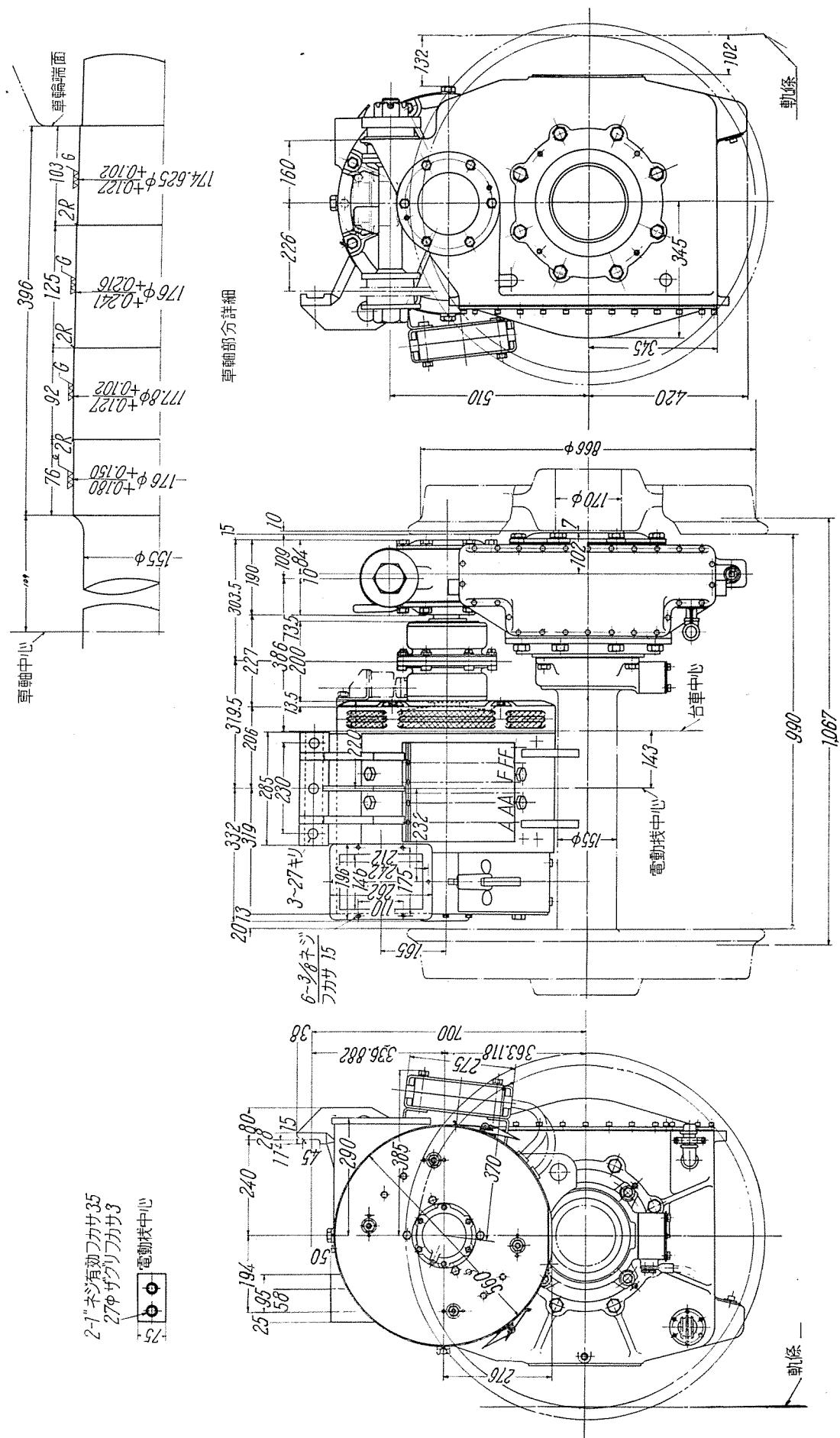


1 図 狹軌用 WN ドライブ主電動機を装備した台車  
Fig. 1. Truck equipped with WN drive traction motor for narrow gauge.

### 2. 製品要目

#### ア. 主電動機 (1 表)

	富士山麓電鉄納	長野電鉄納
型 名	MB-3033-A 型	MB-3032-A 型
形 式	直流直巻、4 極波巻	直流直巻、4 極重巻
通 風 方 式	半密閉自己通風式	半密閉自己通風式
架 線 電 壓	1,500 V	1,500 V
1 時 間 定 格	出 力	55 kW
	回 転 数	1,400 rpm (弱界磁)
	端 子 電 壓	340 V
	電 流	185 A
	弱 界 磁 率	50%
	最 大 回 転 数	4,000 rpm
	許 容 過 電 壓	750 V
	絶 緣	完全 B 種絶縁
重 量	560 kg	620 kg



狭軌高速電車用 WN ドライブ主電動機・浅越

2 図 MB-3033-A 型 55kW 電車電動機外形図  
Fig. 2. Type MB-3033-A 55 kW traction motor.

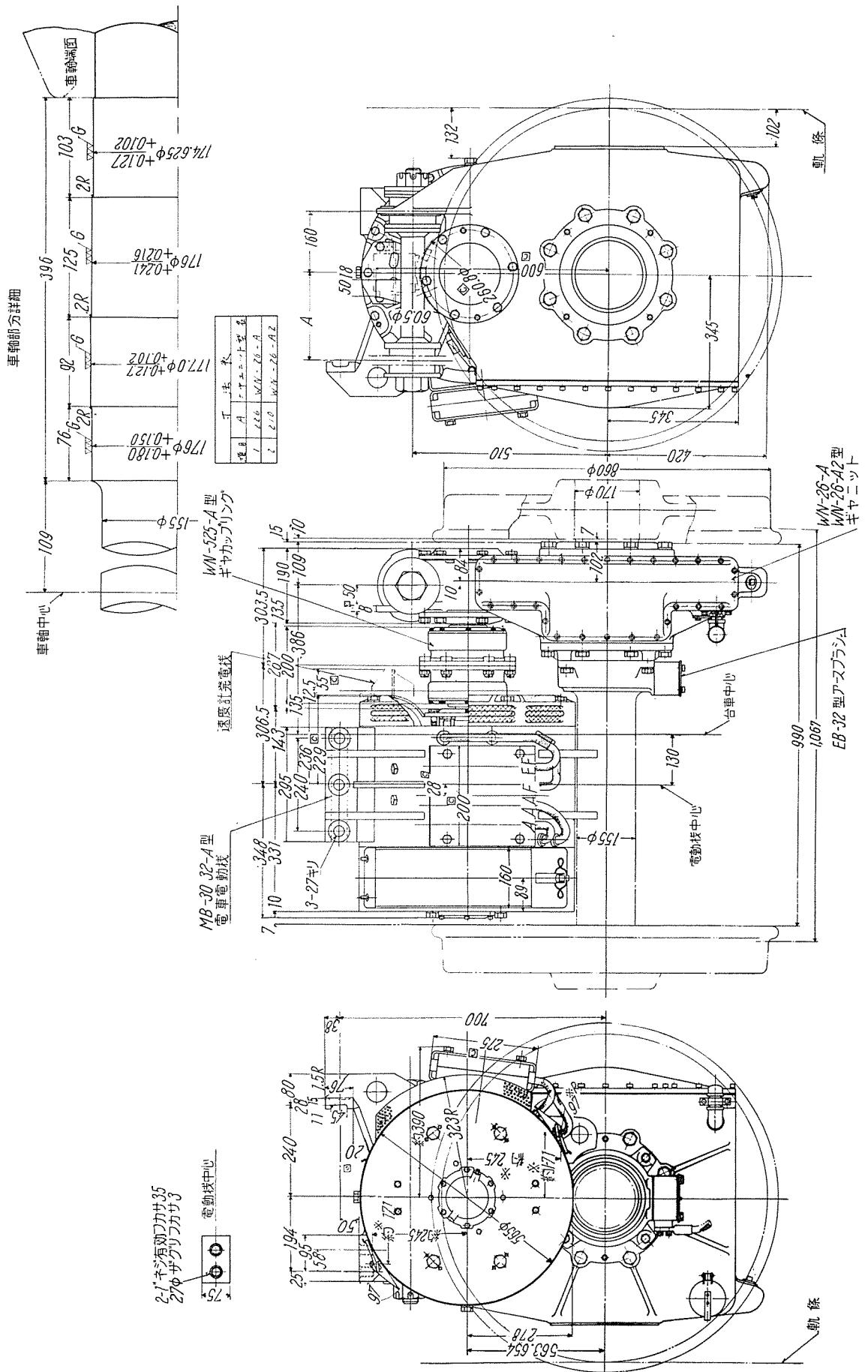
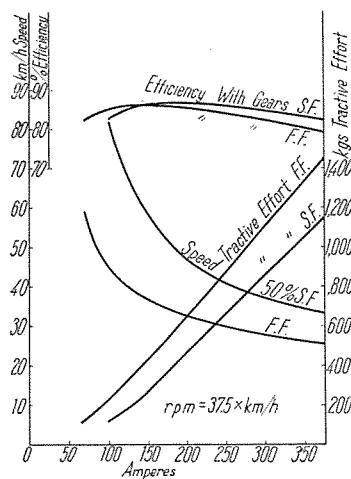
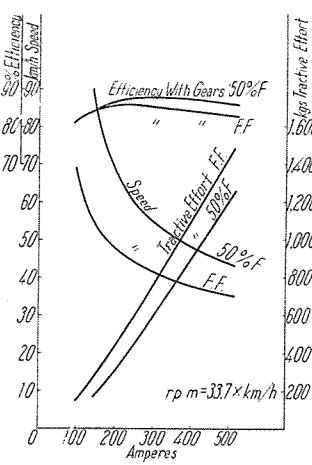


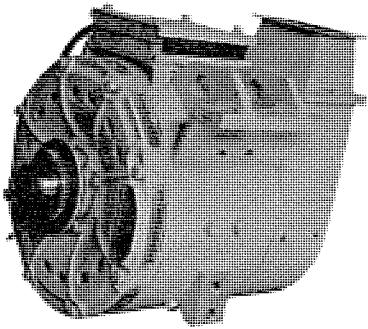
Fig. 3. 75 kW traction motor.



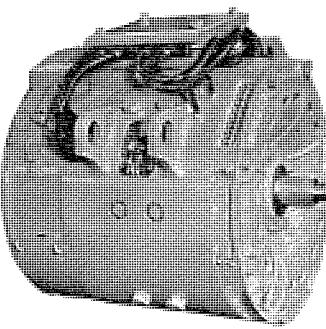
4 図 MB-3033-A 型  
主電動機特性曲線  
Fig. 4. Traction motor characteristic curve.



5 図 MB-3032-A 型  
主電動機特性曲線  
Fig. 5. Traction motor characteristic curve.



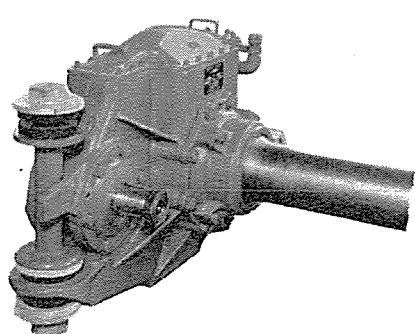
6 図 MB-3033-A 型主電動機  
Fig. 6. Traction motor.



7 図 MB-3032-A 型主電動機  
Fig. 7. Traction motor.

#### イ. ギヤユニット (2 表)

	富士山麓電鉄納	長野電鉄納
型 名	WN-25-A 型	WN-26-A 型
形 式	1 段減速ヘリカルギヤ, 密閉ギヤケース付	
歯 数 比	97:16=6.06:1	82:15=5.47:1
歯 直 角 モジュー ル	6, 丸底	7, 丸底
振 れ 角	21°	21°
重 量	340 kg	335 kg



8 図 WN-26-A 型ギヤユニット  
Fig. 8. Gear unit.

狭軌高速電車用 WN ドライブ主電動機・浅越

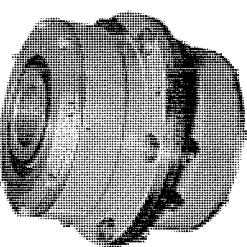
(注) 1. WN-25-A 型  
を MB-3032-A 型主  
電動機に組合せること  
もできる。

2. 歯車比は上記が  
最大である。

#### ウ. ギヤカップリング

(狭軌用標準型)

型名 WN-525-A



9 図 WN-525-A 型  
ギヤカップリング  
Fig. 9. Gear coupling.

形 式 ダブル・インタル・エキスター  
ナル・ギヤ型

許容軸偏位 両軸偏心 最大 ±13 mm  
軸 方 向 最大 ± 9 mm

重 量 35 kg

以上の主電動機はいずれも高性能電車用として  
最近流行の 4 個モータ永久直列接続で使用する低  
端子電圧のもので、電気制動常用にもとくに適す  
るよう考慮を払っている。

このうち MB-3033-A 型 55 kW 主電動機は曲  
線の多い急勾配路線に適するよう特別に設計を行  
ったものであり、一般的用途にはあまり適さない。

これに対して MB-3032-A 型 75 kW 主電動機  
は高速郊外電車用の標準型として設計を行ってお  
り、今後各方面に進出することを期待している。  
このような理由で以下の説明は MB-3032-A 型  
75 kW 主電動機を主として行うこととする。

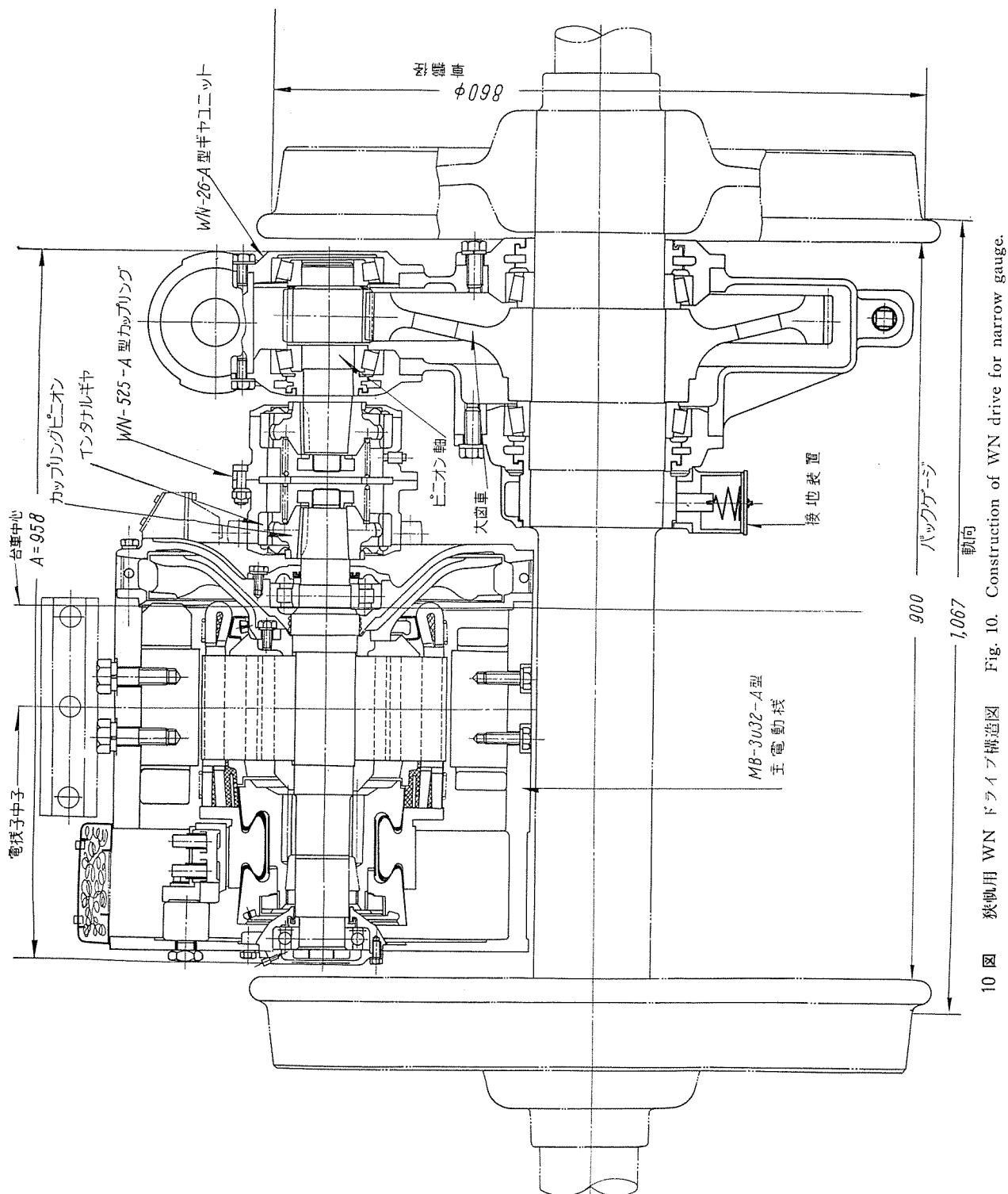
#### 3. 構造および特長

主電動機および駆動装置の配置と構造は 10 図に示す。  
図中 A 寸法すなわち主電動機、カップリング、ギヤユニ  
ットを含む全体の軸方向寸法は 958 mm であるが、同一  
定格の広軌用標準型（京浜急行、西鉄納 75 kW）におい  
ては 1,256 mm であって約 300 mm の短縮となっている。  
この短縮寸法の各部分についての内訳は主電動機で  
150 mm、カップリングで 80 mm、ギヤユニットで 65  
mm となっている。また重量的にも幾分軽減されてい  
る。

#### ア. 主電動機

今回製作した狭軌用 MB-3032-A 型 75 kW 主電動機  
と同一定格の広軌用標準 MB-3028 型（いずれも重巻  
電機子）とを比較したのが 11 図である。大幅の寸法短  
縮につきのよう考慮が払われた。

(1) 電機子および整流子を周速の許しうる範囲で大  
きくし鉄心軸長を短くした。なお従来広軌用で端子電圧  
300~375 V, 75 kW の主電動機を重巻で設計する場合  
は整流子片の厚さの関係から片数の制限をうけて電機子  
導体数を多くとることができず、このため強界磁弱電機  
子の傾向となって  $D^2L$  が比較的大きくなつたのである  
が、今回の狭軌用の設計では直径増大によって整流子片



10 図 狹軌用 WN ドライブ構造図 Fig. 10. Construction of WN drive for narrow gauge.

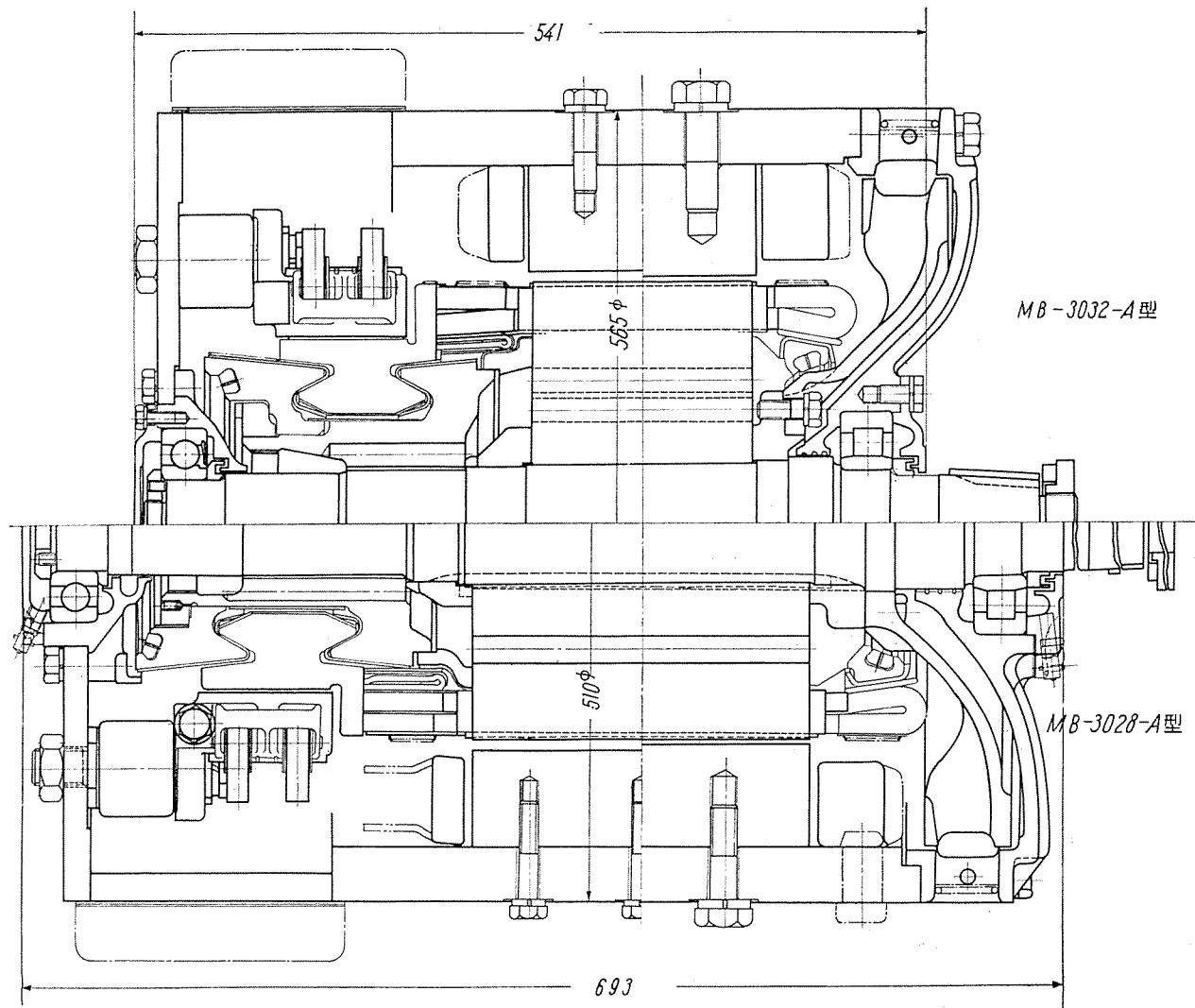
数すなわち電機子導体数を多くとることができて  $D^2L$  は小さくてすむことになり、それだけ余計に鉄心軸長を短縮することができた。

(2) ファンの取付方法を変更するとともに油切部分も構造簡易化してきりつめ、両側の軸受をできるだけ内部に入りこませた。とくに歯車側の軸受箱はスリバチ状をなし、カップリングがその部分にはいってくるようになっている。

(3) 電機子コイルエンドの長短は全体に大きな影響をおよぼすが、短節重巻であるためにコイルエンドを短くするのには有利であった。

たとえ以上のような寸法的短縮は行っても主電動機の性能は決して従来の広軌用のそれに劣るようなことはない。それはつきの諸点が裏付けている。

a. 絶縁は完全 B 種であり、温度上昇にも余裕がある。

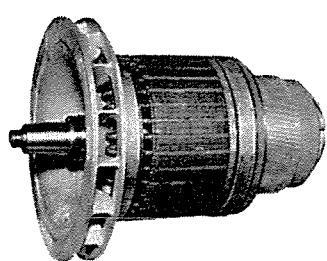


11図 主電動機寸法比較  
Fig. 11. Comparison of motor dimensions.

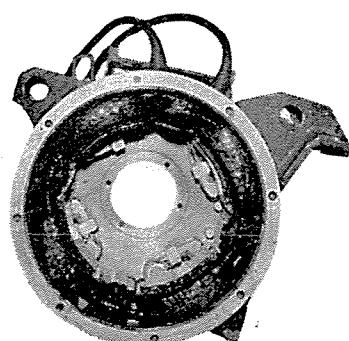
b. 高速度主電動機の生命である整流子についてはその構造をきりつめるようなことはせず、詳細に強度計算を行って決めた強固なアーチバンド式構造である  
c. 周速の増大は広軌用のものに比して 14% 増で  
大したことはない。

d. むしろ整流子片数の増大による片間電圧の低下また鉄心軸長の大幅の減小によるリアクタンス電圧の低下によって整流の条件はさらに良くなつて可酷な力行制動運転に適している。

e. 全般的な構造については当社の他の WN 主電



12図 MB-3032-A型  
主電動機の電機子  
Fig. 12. Armature.



13図 MB-3032-A型  
主電動機の静止部  
Fig. 13. Stator of traction motor.

動機と大差はない。ただフラッシュリングはスペースの関係上通風をさまたげるようになるので廃止し、その代りにアーキングスタッドを設けてブラシ保持器との間にギャップを作っている。

f. 両側の軸受の寸法は従来と同一である。

g. ブラシ・整流子の点検に便利なように点検穴は大きくしてある。

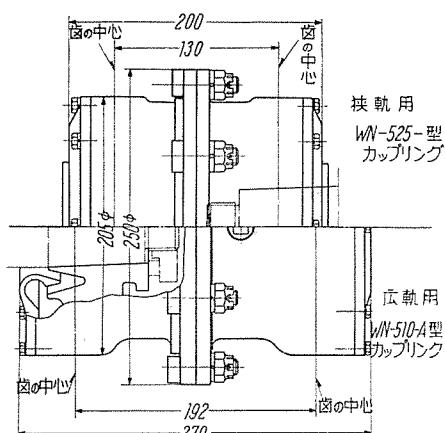
主電動機の外形寸法・取付寸法については私鉄経営者協会制定の標準主電動機仕様書 JPRS-1 (1954) の数字を参考としているので、これも同協会制定の標準台車(仕様書 JPRS-2 による)に取付可能である。

なお MB-3033-A 型 55 kW 主電動機は容量も小さいので寸法的に十分余裕のある設計を行うことができた。

#### イ. 狹軌用ギヤカップリング

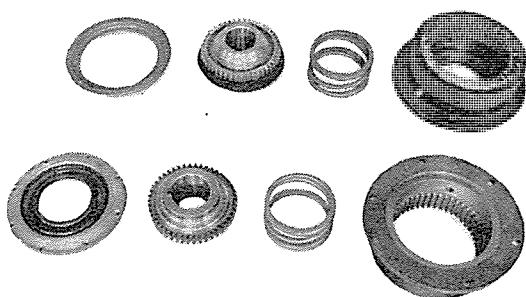
WN-525-A 型ギヤカップリングは狭軌用の標準型として新規に開発したもので、広軌用標準型 WN-510-A 型との比較は 14 図に示す。

WN ギヤカップリングは台車枠に固定された主電動機の軸と、車軸にとりつけられたギヤユニットのピニオン軸との間を連結して、台車軸ばねの撓みの変化によって生ずる両軸の偏心に対して十分な可撓性をもつとともに、輪軸の左右動による両軸の動きに対してもスプライス効果を發揮して円滑に動力伝達を行うものであることは周知のとおりである。ところで、今まで広軌電車に使用したカップリングはその許容可撓範囲に対して実際生じている偏位は相当小さく、十分すぎるほどの余裕をもっていることが確認されたので、この許容可撓範囲を偏心に対しては  $2/3$ 、軸方向の動きに対しては  $3/4$  とそれぞれきりつめて長さの短縮をはかったのが狭軌用のギヤカップリングである。すなわち両側ピニオン(エキスタナルギヤ)の中心距離を  $2/3$  とするとともに、インタナルギヤの歯幅も短くし、端ふた・オイルシールの取付方法に考慮を払っている。可撓性をきりつめた関係で従来の広軌用に対し同一偏心の場合のカップリングの傾き角は 1.5 倍となり、歯の滑りもそれだけ大きくなり、し



14 図 カップリング寸法比較

Fig. 14. Comparison of dimension of coupling.



15 図 WN-525-A 型ギヤカップリングの部品

Fig. 15. Parts of gear coupling.

たがって歯の摩耗がどのようになるかは今後の現車運転の実績をまたねばならないが、従来広軌用で歯摩耗のトラブルは 1 件もない点から問題ないものと確信している。伝達トルクを左右する歯の寸法・諸元は広軌用標準型とまったく同一であるので強度上の不安はない。カップリングの内部構造は 15 図に示す。

#### ウ. ギヤユニット

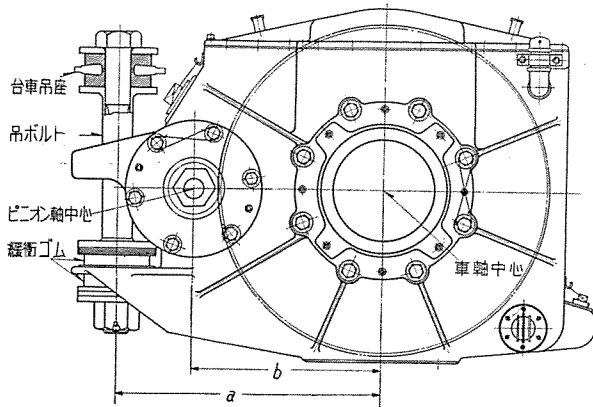
狭軌用ギヤユニットは構造的には広軌用標準型と同一で、一体鋳鋼製ギヤケース、テーパーコロ軸受支持のシングルヘリカルギヤユニットであり、特殊吊ボルトによる台車への取付方法もまったく同様である。歯幅を短くしたことと、ピニオン軸の油切の構造を変更してピニオン軸部の軸方向長さを短くしたものである。歯幅を短くしたため歯の強度の点から広軌用ほどモジュールを小さ

できないので、7 以上というような大歯車比をとることは難しいが、郊外電車に対してはその必要もほとんどないので実用上差支えないものと考えている。なお今回製作した WN-25-A, WN-26-A の 2 種類は大小歯車および中心距離がわずか異なる以外はまったく同一の部品を使用している。

#### エ. 狹軌用 WN ドライブの特長

従来狭軌用台車装荷式主電動機の駆動方式としては直角カルダン式や中空軸電動機平行カルダン式が使用されてきたが、これらに比して狭軌用 WN ドライブの特長はつきのごとくあげられる。

- 広軌用の実績の示すとおり動力伝達部分になんらの無理もなく安全確実な運転が確保できる。
- 主電動機の台車への取付・取外しはギヤカップリングを中間より分割することによりきわめて容易に行うことができ、取付時の位置調整もいたって簡単で精密を要しない。
- 主電動機および駆動装置はそれぞれ独立して位置しており点検しやすく保守は楽である。
- ギヤケースは一体鋳鋼なので油もれなくしかも



17 図 WN ギヤユニット側面図  
Fig. 17. Side view of gear unit.

強固で支持用テーパーコロ軸受を変形させるおそれはない。

#### 4. 狹軌用 WN ドライブの可撓性能

WN ギヤカップリングの許容可撓性能と現車における実際の偏位との関係を明確化して狭軌用 WN ドライブの妥当性を検討した。

ギヤケースはテーパーコロ軸受によって車軸にのり、ピニオン側の端を吊ボルトで台車横梁に吊っている。主電動機はやはり横梁に固定されていて、その軸端はギヤケースから出ているピニオン軸と相対している。台車の軸ばねの撓みによって車軸が台車枠に対して相対的に上下した場合ピニオン軸中心の上下する量すなわち WN カップリングの偏心量は近似的につぎの式で表わされる(17 図参照)。

$$\delta_A = \text{車軸の動き量 (軸ばね撓み量)}$$

$$\delta_P = \text{ピニオン軸の動き量 (カップリング偏心量)}$$

$$\delta_P = \delta_A \frac{(a-b)}{a}$$

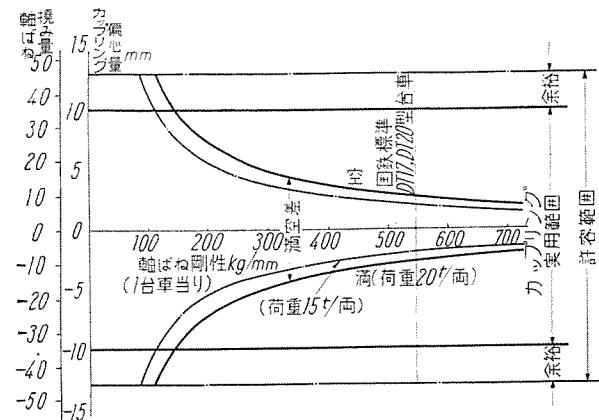
ピニオン軸は車軸を中心として円運動するので左右方向にもある程度モータ軸から偏心するがこれは問題にならぬほど小さいので無視する。

実際寸法は  $a=510$ ,  $b=363.7$

$$\delta_P = \delta_A \times \frac{146.3}{510} = \frac{\delta_A}{3.48}$$

すなわち軸ばねの撓み量に対しカップリングの偏心量は  $1/3.48$  となる。

いま満載荷重を 1 両当り 15 t (乗客 270 人) および 20 t (乗客 360 人) とした場合、空車から満載にいたる



18 図 狹軌用 WN カップリング可撓性能曲線  
Fig. 18 Flexibility curve of WN gear coupling used in narrow gauge.

までの軸ばね撓み量およびカップリング偏心量と台車軸ばね剛性との関係を図示したのが 18 図で、空・満のちょうど中間で 偏心=0 となるようにカップリングを取り付けるものとしこの位置を 0 位置とした。

狭軌用 WN カップリングの許容偏心  $\pm 13$  mm に対して取付調整の誤差あるいは狂いのために 3 mm の余裕をみて実用偏心範囲を  $\pm 10$  mm とすれば、振動による軸ばねの余分の動きを考えても軸ばね剛性が 1 台車当たり 300~350 kg/mm 以上であれば十分余裕のあることがうかがわれる。近時台車の枕ばねにオイルダンパを使用するようになって軸ばね剛性は比較的大きくなっている。これは WN ドライブなど可撓式動力伝達装置を採用するためにははなはだ好条件といえる。

#### 5. む す び

2, 3 年前まではほとんど不可能視されていた狭軌用の WN ドライブが完成したことは確かに世界最初というべきであろうが、これとて偶然にできあがったものではなく今までの広軌用のすぐれた実績よりみてどこをきりついたら良いかという具体的な指針を得ることができたからに外ならない。このためにわれわれとしてもこの新製品の将来については万全の信頼をおいており、広軌用に劣らぬ好評を博することを期待している。すでに今回製作した 75 kW, 55 kW の外に 100 kW 級のものも設計を完了しており、広範囲の要求に応じうる態勢にある。終りに狭軌用 WN ドライブの出現に期待されて種々ご便宜を図って頂き、またご鞭撻をたまわった需要家各位に誌上をかりて厚く御礼申上げる次第である。

# Magnetization Hysteresis Loop Tracer を用いての OP 磁石磁気特性チェック

大船工場 中村 弘\*・水上益良\*

## Study on Magnetic Characteristics of OP Magnet by the Use of Magnetization Hysteresis Loop Tracer

Ofuna Factory Hiroshi NAKAMURA・Masura MINAKAMI

For the judgement of magnetic materials of their quality and the study of characteristics, a tracer operating on commercial cycle or higher one is extensively used to observe images on a Braun tube. This method facilitates rapid measurement, and if stability and accuracy are given on the instruments, it will evidently compete with the accuracy of a d-c magnetic flux measurement or a ballistic galvanometer method of its quantitative aspect.

### 1. まえがき

磁性材料の良否判定および特性チェックの1つに商用周波数あるいはそれ以上の周波数を用いて、ブラウン管影像面にその動磁気特性を画かせて観測するトレーサが最近広く用いられている。この方法は明らかに迅速な測定が可能であり、その安定度および精度が測定器に与えられるならば定量的な面でも、今までもっぱら行われていた直流による磁束計法または弾動検流計法の正確さに匹敵し、工業的あるいは基礎的な研究に非常に有用なことはいうをまたない。このブラウン管直視法の外にグラフ上に自動的にその磁気特性カーブを画かせる自記磁束計もあるが、それぞの磁性材料の性質および測定目的に応じた磁化方式により多様の測定を行っている。すなわち半波整流波形により1/2周期のヒステリシスループ、数千キロサイクルの正弦波を数十サイクルの低周波で100%振幅変調しての初期導磁率曲線、鋸歯状波電流を用いての導磁率測定などである。

しかし硬磁性材料などの抗磁力大なるものの測定においては軟磁性材料の場合と異なり均一な高磁場を必要とするため励磁装置が大容量のものとなり、さらに棒状試料では反磁場係数の問題も起る。ゆえに試料の磁気特性および形状・寸法等により有効な励磁電源装置および測定回路の設計が大きな問題になり、交流を用いての商用周波数による測定は行われていない現状である。当工場においてはフェライト軟磁性材料の研究開発にこのブラウン管直視法を用い、多大の成果をあげているが、選鉱機その他に使用される OP 磁石の磁気特性チェックに、2,000 エルステッドまでの高磁場発生に商用周波数を用いた励磁装置は、測定上の問題も含めてやや無理と思われたが、上記 Magnetization hysteresis loop tracer による方法を採用してほぼ良好な結果を得、品質管理面で大きな役割を果しているので、とくに測定時の反磁場

係数補正の問題に触れ、測定装置の概略および測定結果を述べてみる。

### 2. 棒状硬磁性材料の磁気特性

磁石の磁気特性を測定する場合まず問題になるのはその形状であり、棒状試料では反磁場係数の補正が必要である。硬磁性材料ではその磁気特性として磁気履歴曲線に示される抗磁力、残留磁気およびエネルギーとしての  $(BH)_{max}$  が非常に重要な性能の尺度であって従来この種測定においては、直流を使用して磁束計の振れから磁化の強さを算定し、B-H ヒステリシスカーブの第2象限（減磁曲線）を書き、上記ポイントをチェックしている。この場合、上述の反磁場係数の補正是計算の際に行っている。

反磁場とは、電磁場論的には物体の表面に現われる apparent magnetic charge によって、新たな磁場が、加えられた外部磁場とは別に生ずるということである。すなわち apparent magnetic charge の面密度  $\sigma_m'$  は非連続面においては

$$\sigma_m' = \frac{H_{ni}}{4\pi} \left( \frac{\mu_1}{\mu_2} - 1 \right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

$\mu_2 = 1$  とすれば

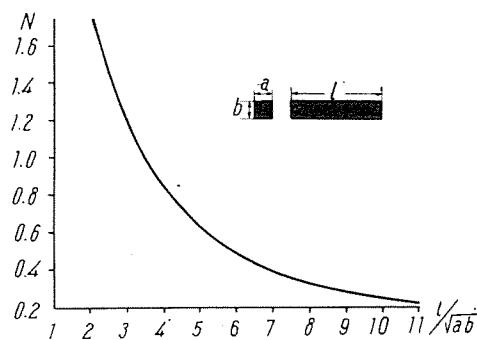
$$\sigma_m' = H_{ni} \frac{\mu_1 - 1}{4\pi} M_{ni} \quad \dots \dots \dots (2)$$

となり、磁化のノルマルコンポーネントに等しい。ゆえに  $\sigma_m'$  の分布の作用と近似的に同じ作用をする磁極が棒の両端に仮想され、この自由磁極が新たな磁場を生ずる結果になる。ゆえに物体に加わる有効磁場  $H$  は

$$H = H_i + H\sigma_m' \quad \dots \dots \dots (3) \quad H_i \dots \dots \text{外部磁場}$$

$H\sigma_m'$  ……apparent magnetic charge により生じた反磁場

となり、 $H\sigma_m'$  はその方向が磁化の方向と逆で、この  $H\sigma_m'$  が demagnetization force と呼ばれて、自由磁極



1 図 試料の寸法と反磁場係数との関係

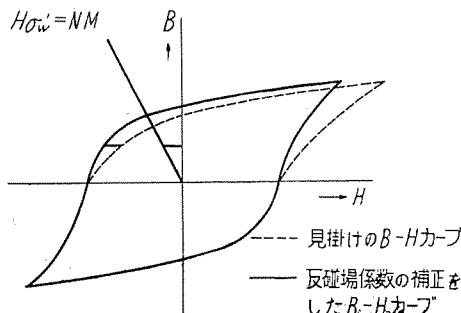
Fig. 1. Relation between dimensions and anti-magnetic field factor.

の強さに比例するものである。いいかえれば磁化の強さに比例する。

$$\therefore H\sigma_m = \bar{N} M \quad \dots \dots \dots (4)$$

この比例係数  $\bar{N}$  が反磁場係数であり、この値は物体の形状・寸法によりほぼ決まる。しかしこれは実験的に求められるものであるから測定者および測定方法などにより幾分相違がある。角柱試料の寸法比と反磁場数との関係を一例をあげて示せば 1 図のようになる。なお反磁場係数はこの外に物質の導磁率によっても影響をうけ、同一の試料でも磁化の大きいときと小さいときとでは変ってくることもあり、さらに場所によっても変化するから磁化の強さは必ずしも一様とはいえない。このため梢円体のごとき 2 次曲面のものを用いて一様な磁化を得、理論的に求める方法もとられている。すなわち磁化の測定方法のいかんによっても反磁場係数の値は異なってくるので、寸法比のあまり小さい棒状試料では各種の誤差を拾いやすく正確な磁気特性の測定は困難である。いかなる方法にせよ物質固有の磁化曲線をうる場合に反磁場の取扱いが重要な誤測定の原因になりうる。2 図にこの反磁場係数による補正をせず、与えられた外部磁場をもって有効磁場とした見掛けの履歴曲線と補正をした眞の履歴曲線との相違を示している。(厳密には B 方向にも相違あり)。

上記反磁場係数を考慮すべき棒状試料の磁気特性をトレーサにて直視する場合、後述するように磁化の入力は励磁電流に比例した電圧であり、3 式の  $H_i$  に相当する。



2 図 反磁場係数の補正による B-H カーブの変化

Fig. 2. Change of B-H curve due to compensation of anti-magnetic field factor.

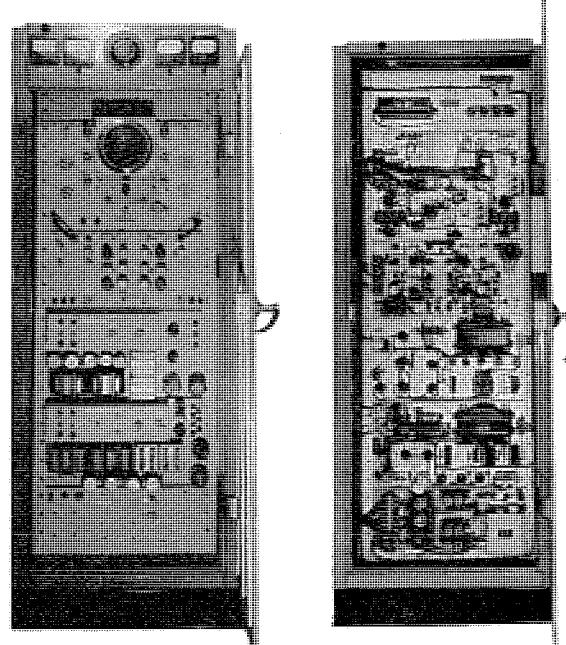
したがってかかる場合の螢面光上のループは上に述べたように見掛けの磁化曲線であるから補正が必要になり、実際の使用目的に適した方法が採られなければならない。

### 3. 測定装置

測定装置は磁化器および測定装置本体より成り、磁化器は 50 c/s, 220 V 単相電源にて電圧調整用スライダック、昇圧トランスを備え、OP 磁石測定用として 2,000 エルステッド程度までの磁場を発生する励磁コイルによって形成され、測定器本体は H および B 入力端子を備え、H には上述の励磁コイルに接続された無誘導低抵抗より磁化力に比例した電圧を、B 端子には試料にほどこされた search coil よりその誘導電圧を導く。これらをそれぞれ増幅しブラウン管の横および縦軸に与えると、或る瞬時におけるおのおのの増幅電圧が、周期的に変化する励磁電流によりリサーチュ图形を画く。この場合 B 端子に加えられる電圧は磁束密度を時間に対して微分した形となっているからこれを積分している。このブラウン管上のリサーチュ图形すなわち交流履歴曲線の 2 象限部分の減磁曲線から螢光面上の水平、垂直軸およびエネルギー曲線のスケールにより  $H_c$ ,  $B_r$  および  $(BH)_{max}$  を判定する。

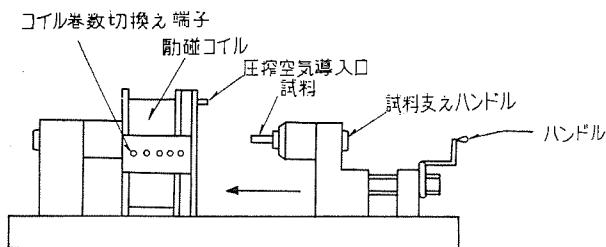
#### ア. 磁化器

測定試料を 4 図に示すとおり磁化器の電磁石の中心部に挿入する。この電磁石励磁コイルは測定試料の種類により、そのインピーダンスが変化するので、励磁電圧をスライダックおよびトランスを通して 770 V 以下可変にし、励磁コイルの巻数は 950~1,300 の間 5 段切換



3 図 測定装置本体  
前 面 後 面

Fig. 3. Measuring equipment.



4 図 磁化器

Fig. 4. Magnetizer.

にしている。H 入力として取り出す無誘導低抵抗は、励磁コイルに直列に接続され  $0.81 \Omega$ 。

試料には 0.18 エナメル銅線の search coil を直接巻かず、ボビン上に巻いているが、空隙磁束による誘起電圧の問題は標準試料の使用により補正している。装置を安定に動作させるには、信号対雑音比を大にすれば良く、雑音は測定回路で決まるから試料内の磁束変化による search coil に生ずる誘起電圧を増大すれば良い。断面積の増加は反磁場係数の点で芳しくない。電源が商用周波数であるため飽和域深くまで励磁スイングをかける場合の位相歪、高磁場発生のための磁化器の容量および陰極線に対する電源誘導の問題など低周波電流による測定の問題点はある。たお本装置の励磁電流 13 A の場合の発生磁場は 1,650 エルステッドである。

#### 1. 測定装置本体

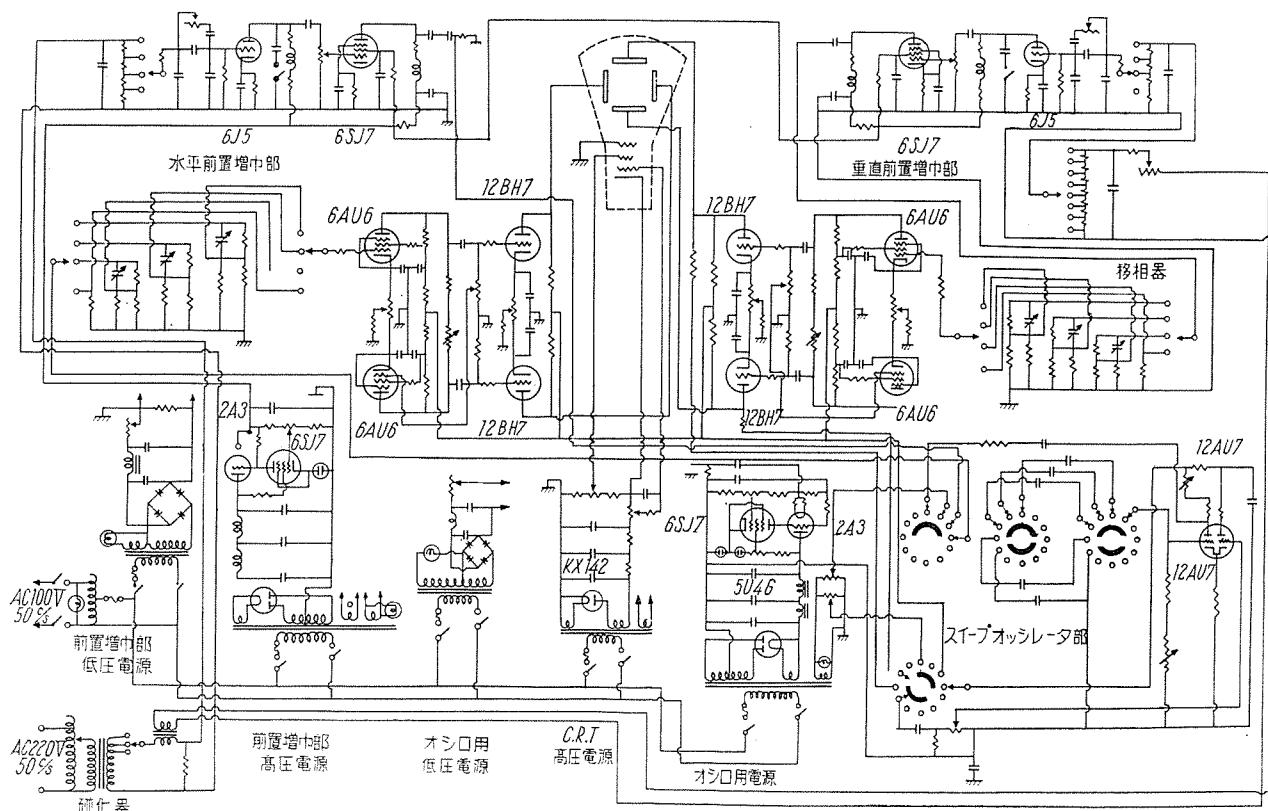
測定装置の総合配線図を 5 図に示す。測定装置としては前置増幅部を含んだ増幅回路部・積分移相回路部・スイープオシッシャーレータ回路部・オシッシャー部・電源回路部および利得調整回路部に分けられる。歪のない安定な測定

が可能であることがまず第一に要求されるが、各回路の概略を簡単に述べる。

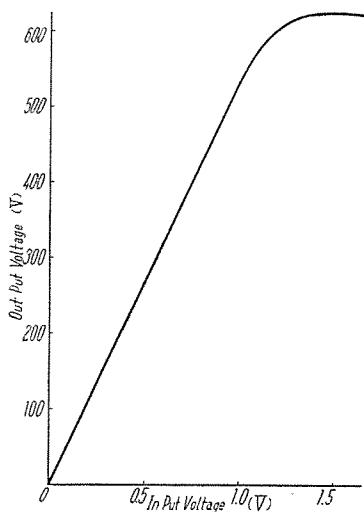
増幅回路の必要条件としては、出力入力比が大なること（高利得）、入力信号に対して出力が正しく比例すること（直線性）、特性が安定なることなどが考えられるが回路の特長として位相誤差や、これに伴う電源電圧の変動を極力避けなければならない。シングルの増幅器では位相補正回路をつけてもなお完全でなく、電源電圧の変動も効いてくるので、ここでは水平、垂直ともに低雑音の 6AU6, 12BH7 の 2 段プッシュを採用しており、結合コンデンサは  $2 \mu F$ 。増幅レスポンスの対周波特性も十分高い周波数まで平坦であり、プッシュ接続のために振幅歪が防がれている。電源電圧の変動に対しては、前置装幅部およびオシッシャー部の電源回路に 2A3, 6SJ7 を用い、直流電圧負饋還をほどこした安定回路にして、電源インピーダンスを低くするため  $300 \mu F$  の大容量コンデンサを用いている。とくにピーク電圧が出ないように時定数の大なる放電回路をオシッシャー電源部には挿入している。オシッシャー用増幅部の利得変化は水平、垂直共に 10 ~ 3,000 c/s にわたり偏差 -7 db であり、オシッシャー増幅部の直線性は in put に 50 c/s 正弦波を用いた場合 1.15 V まで波形歪はない。(6 図 a, b, c, d) またオシッシャー用増幅部の square wave による試験結果を 7 図に示す。

垂直入力の積分は可変  $200 \text{ k}\Omega$  と  $0.2 \mu F$  の RC 積分回路で行っている。すなわちコンデンサにかかる電圧を磁束密度の変化の尺度としているが、磁束密度は時間に関する函数ゆえ積分回路の時定数が増すにつれコンデンサにかかる電圧も小となり感度が悪くなる。

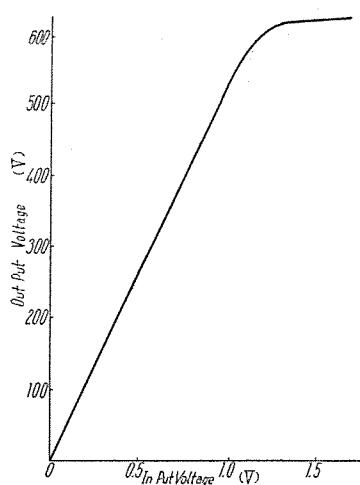
またスイープオシッシャーレータ回路を挿入して、B-H 履歴曲線のみならず種々の波形の測定すなわち入力信号・



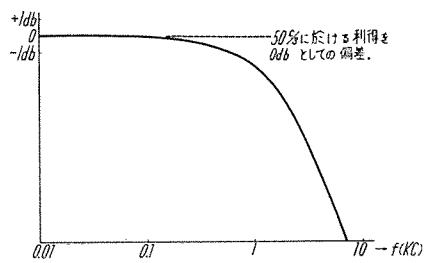
5 図 Magnetization hysteresis loop tracer 総合結線図  
Fig. 5. All-out connection diagram of magnetization hysteresis loop tracer.



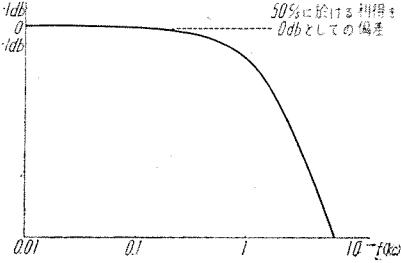
6 図 (a) オシロ水平増幅部直線性  
Fig. 6. (a) Linearity of horizontal amplified part of oscilloscope.



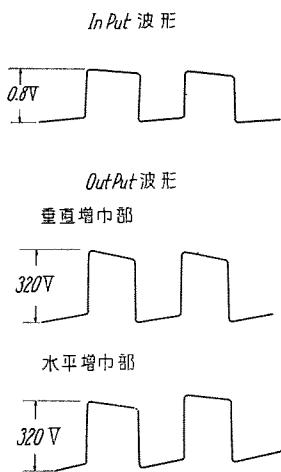
6 図 (b) オシロ垂直増幅部直線性  
Fig. 6. (b) Linearity of vertical amplified part of oscilloscope.



6 図 (c) オシロ水平増幅部利得変化  
Fig. 6. (c) Change of gain of horizontal amplified part.

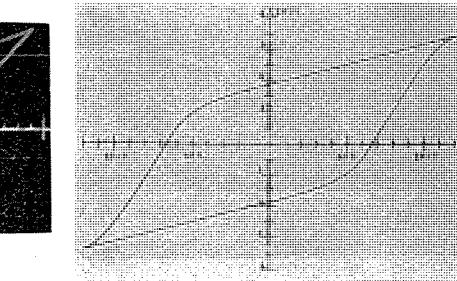
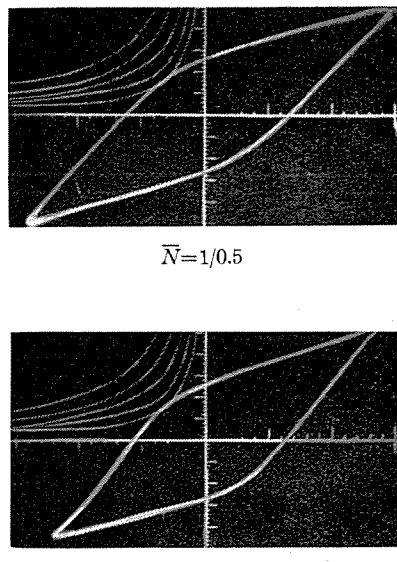


6 図 (d) オシロ垂直増幅部利得変化  
Fig. 6. (d) Change of gain of vertical amplified part.



AC 電源の周波数・任意の外部信号などに同期可能にしている。

7 図 オシロ用増幅器の square wave による試験  
Fig. 7. Test by means of square wave of amplifier.



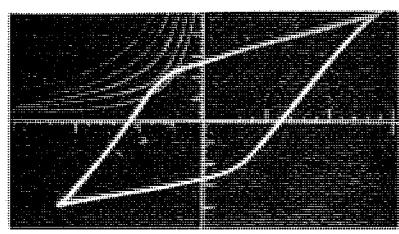
#### 4. 測定結果

断面積  $1\text{cm} \times 1\text{cm}$  の角柱棒状の OP 磁石を  $0.18\phi$  エナメル銅線  $300\text{T}$  の search coil を用いて測定した。試料の磁極は端面である。実験結果として試料寸法比による  $(BH)_{\max}$  の誤差 (1), 励磁電流変化による履歴曲線の移行 (2), 測定試料の温度変化による磁気特性の変化 (3) について以下に述べる。

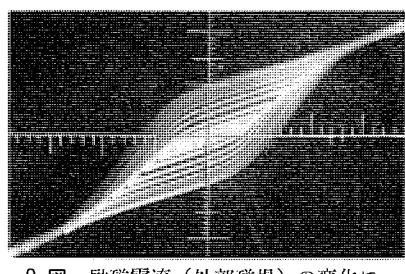
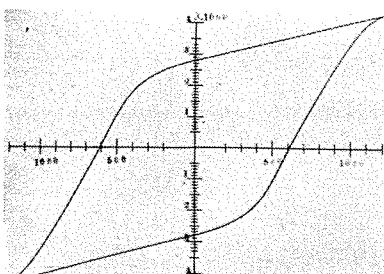
(1) 反磁場係数 2 から  $1/2.4$  まで 7 種類の角柱棒状 OP 磁石の直視 B-H 磁気特性を 8 図に示す。H 入力が外部磁場に比例した電圧であるので残留磁気補正のために B ゲインを効かしている。そのため理論的に飽和磁気、エネルギー積の判定に誤差を生ずる。とくに第 2 象限のカーブの弯曲およびその位置が真のものと異なる。8 図にその相違の様子を直流によるフラックスマータ法で反磁場係数を補正したカーブと比較して示している。すなわち図より見ればわかるとおり反磁場係数が  $1/1.2$  より小となれば直視法の減磁曲線は真のそれにほぼ一致し誤差はきわめて小となる。ゆえにこの測定器においては標準寸法として反磁場係数  $1/1.6$  のものを測定試料として採用すれば十分である。

(2) 試料の磁気特性を求める場合、飽和するまでの磁化を必要とするが事実上飽和に至らずとも十分の磁場をかけば、その性能チェックには事足りる。磁場すなわち励磁電流の変化 ( $0 \sim 13\text{A}$ ) による磁気特性の変化する模様を 9 図に示す。

(3) 無誘導電気炉にて OP 磁石を  $30^{\circ}\text{C}$  より  $450^{\circ}\text{C}$  まで変化した場合の磁気特性の変化は 10 図に示される。

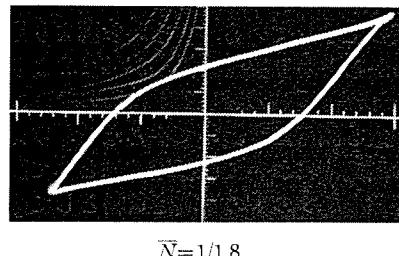


$\bar{N}=1.5$

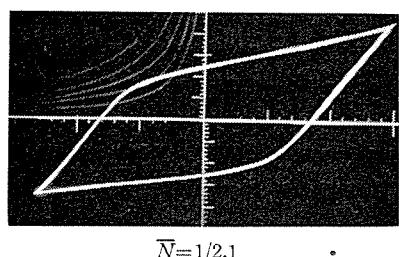
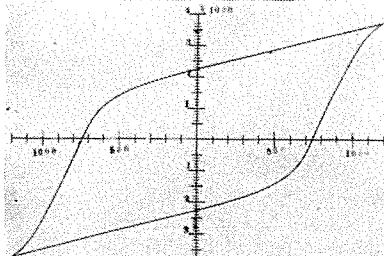


9 図 勵磁電流（外部磁場）の変化による B-H カーブの変化

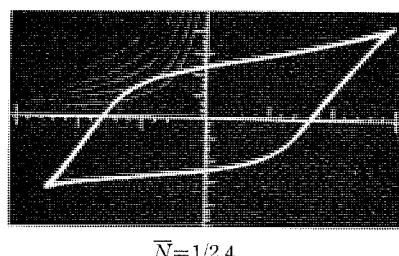
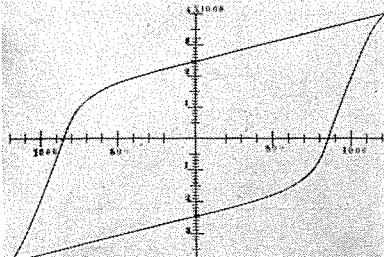
Fig. 9. Change of B-H curve due to change of magnetizing current.



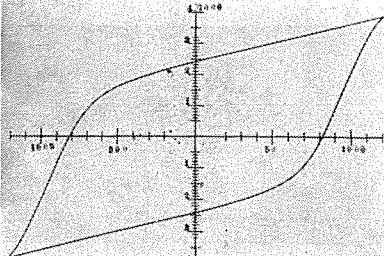
$\bar{N}=1/1.8$



$\bar{N}=1/2.1$

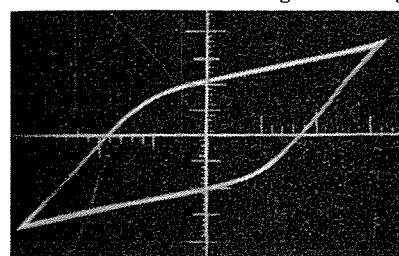


$\bar{N}=1/2.4$

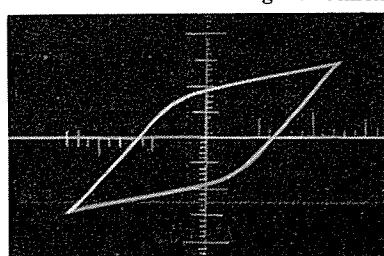


磁束計法（反磁場係数補正）

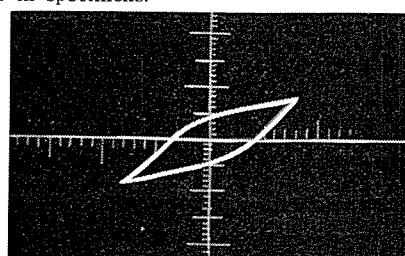
8 図 試料の寸法変化による B-H カーブの変化  
Fig. 8. Change of B-H curve due to change of dimensions in specimens.



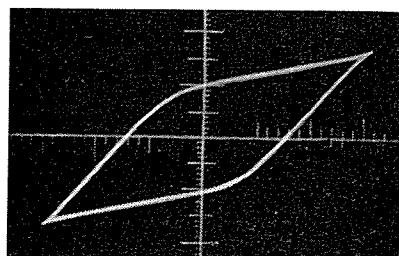
30°C



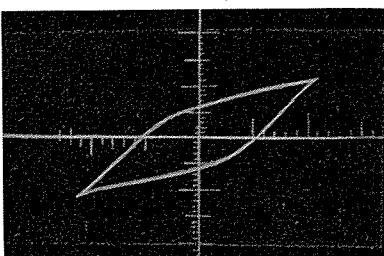
200°C



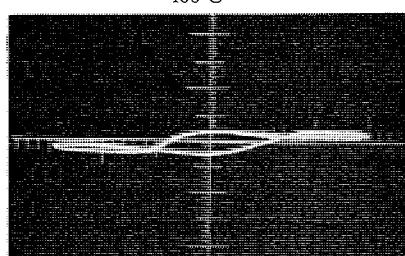
400°C



100°C



300°C



450°C

## 鋳鉄鋳物組織の研究 第5報

## 鋳鉄に現われる2, 3の組織について

名古屋製作所 鈴木 一郎\*

Study on the Structure of Cast Iron  
Part 5 Varied Structure of Cast Iron

Nagoya Works Ichiro SUZUKI

In the study on the structure of cast iron the speed of cooling has been changed in many ways to examine what difference will appear on the eutectic graphite structure. Investigation was further proceeded with regard to varied structures of cast iron so as to find information on rose graphite structure, octopus graphite structure, surface chilled structure, inverse chilled structure, mottled structure and the like.

## 1. まえがき

鋳鉄組織に及ぼす酸素量と冷却速度の相互関連性に関する著者の一連の研究において、いわゆる化学組成を一定にした場合には、中庸の酸素含有鋳鉄に比較して、或る程度酸化された溶湯および逆に或る程度脱酸された溶湯に共晶組織が現われやすい事実はすでに明白にしたところである。（前論文第1報7図および第2報4図）。また、同じ試験片においては、比較的冷却速度の速い位置と逆に比較的冷却速度の遅い位置に共晶組織が現われやすい事実も明白である。しかし、これらの共晶組織について詳細に観察して見ると著るしい相違点が認められるので、その辺の経緯について明らかにするのが本報告の1つの目的である。

また、古来より鋳鉄組織には、菊目組織・蝶状組織・バラ状組織の名称で呼ばれている組織があるが、著者の一連の研究においては、これらの組織にはふれていないので、本報告により明らかにしたい。

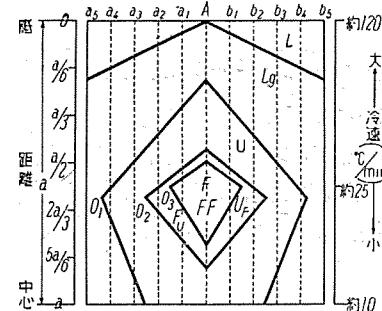
また、セメンタイトについても、いわゆる化学組成を一定にした場合には、酸素と冷却速度の関連において、共晶組織の現われ方と同様の傾向を有し、冷却速度の比較的大なる位置と冷却速度の比較的小なる位置に現われ、その間ににおいてかなりの相違が認められるので、その辺の経緯についても本報告により明らかにしたい。

## 2. 実験および結果とその考察

## 1. 共晶組織について

著者はこれまでの一連の研究において、鋳鉄の黒鉛組織の形状の表現にF, U, U(F), F(U)なる記号（前論文第1報および第2報）を用い、論文第3報以後においては上記区分をさらに明確に区分するためにF, FF, FU, UF, Uなる記号を用いて黒鉛組織の形状を論じてきた。しかしF, U, U(F), F(U)等の記号により表現される組織の存在する範囲を示すものとして、前論文第2報

1図 酸素量と冷速による組織変化図  
Fig. 1. Changes of structure with oxygen and cooling velocity.



6図を提案した。しかし、この図をF, FF, FU, UF, Uなる記号区分に表現することは同図Fの区域にFおよびFF, U(F)およびF(U)の区域にFUおよびUF, UはUと書きかえれば足りる。以後の説明を助けるために第2報6図を再掲して1図とする。

1図より明らかなように、鋳鉄の組織は中庸の酸素量の場合には冷速の大より小に向って、

$$L \rightarrow L_g \rightarrow U \rightarrow U_F \rightarrow F_U \rightarrow F$$

なる変化を示すが、この変化には限界があり、 $0_1 \sim 0_3$ なる逆転現象の現われる位置を越すと、ますます冷速が小になるにかかわらず、逆転現象により

$$F \rightarrow F_U \rightarrow U_F \rightarrow U$$

なる変化を示す。また同図より明らかなように、鋳鉄中に含有される酸素量の大小により、上記変化式の一部が消滅する場合もある。また、成分組成の変化により1図に示すL, Lg, U, UF, FU, Fの存在範囲が若干拡大または縮小するであろうことは前研究第4報1図の非接種組織の写真および第3報1図の非接種組織の写真ならびに3図の非接種組織の区分から類推されるところであるが、1図に示す一般的変化傾向はまったく変わらないといえる。

上記変化より明らかなように、同じ記号Uで表現されている共晶組織にも、組織の正常変化途上に発生したものと、組織の逆転変化途上に発生したものと二通りある。正常変化途上に発生した共晶組織、言い換えれば冷速の

大なる位置に発生した共晶組織は常に放熱方向が初晶発達の方向に影響を与える結果として、初晶は放熱面に対して大体直角方向に発達し、放熱面に近ければ典型的な樹枝状晶として現われる。また、少しく放熱面より遠ざかれば樹枝状晶が分断した形状として現われる。また、この場合初晶は大なる冷速の影響を受けて大きく発達するための時間が不十分のために比較的小さく現われるのが普通である。この間の変化状況は前研究第4報1図a<sub>3</sub>～A～b<sub>3</sub>列の写真No.22～26、No.32～35、No.42～47が立証している。

つぎに逆転現象により現われるUについて観察してみる。この場合は前述のようにF→F<sub>U</sub>→U<sub>F</sub>→Uなる変化により現われる。すなわち、前記の場合と異なり特定の放熱方向の影響により結晶発達が支配されることはない、したがって初晶の発達方向に特定の方向性は認め難く、したがって樹枝状に発達し難く、初晶の1つ1つが比較的遅い冷速の影響を受けて著しく大きく発達する特長を有するものである。この間の組織変化の状況は前研究第4報1図a<sub>3</sub>～A～b<sub>3</sub>列の写真No.28～30、No.39～40、No.49～50に明良に示されている。

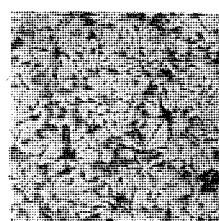
上記2つの事実より、共晶黒鉛は冷速の比較的大なる位置および逆に比較的冷速の小なる位置に現われるが、前者においては結晶の発達方向については、熱の放散面に対して直角に発達する傾向を有し、したがって樹枝状に発達しやすく、初晶の1つ1つは後者に比較して小さいのが普通のようである。後者においては、その初晶発達について特定の方向性は認め難く、したがって樹枝状には現われ難く、かつ冷速が比較的遅いので、初晶の1つ1つは前者に比較して大きく発達するのが普通といえる。

## 2. 蛸状組織とバラ状組織について

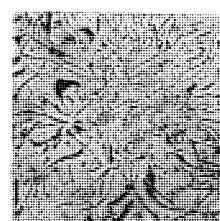
黒鉛組織には古来より蛸状組織およびバラ状組織<sup>1)</sup>の存在することが報告されているが、著者のこれまでの研究においては一度も現われていないので、その現われる条件について調査し報告する。

溶湯の溶解工程、鋳型の型状寸法(冷し金使用)、および鋳造諸条件は一連の本研究報告とまったく同一にし、酸素含量についても、A級、a<sub>3</sub>級、b<sub>3</sub>級で示される従来の溶湯処理とまったく同一にした。顕微鏡試験片の作成も、一連の本研究報告とまったく同一にし、冷し金に接している面から深さ60mmの位置まで観察した。

実験の結果、化学組成については、C 4.11%，Si 1.90%，Mn 0.39%，P 0.123%，S 0.003%の組成を有する試験片およびC 3.80%，Si 2.80%，Mn 0.65%，P 0.143%，S 0.004%の組成を有する試験片に蛸状組織およびバラ状組織を観察することができた。この2種の試験片の成分組成と一連のこれまでの報告に現われている各種の成分組成とを比較検討してみる。Mn, P, Sの含有量については多少の相違はあるけれども、まずほぼ同一と見なすことができる。CおよびSi量については、これま



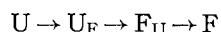
2図 蛸状組織 (70× $\frac{1}{10}$ )



3図 バラ状組織 (70× $\frac{1}{10}$ )

での一連の報告においては、C量をほぼ3.0～3.2%の範囲に限定し、Si量をほぼ1.0～3.0%の範囲に変化せしめているが、蛸状組織およびバラ状組織を認めることができなかった。この実験においてSi量は上記範囲に入り、C量はこれまでの実験より著しく多くした結果、蛸状組織およびバラ状組織を認めることができた事実より、蛸状組織およびバラ状組織はSi, Mn, P, Sの影響もあるであろうが、C量の多い鋳鉄に現われやすい組織であるともいえる。

つぎに、冷し金に接している面から、深さ60mmの位置までの組織を観察してみると、多少の差異はあるが、2種の鋳鉄とも、酸素含量A級、a<sub>3</sub>級、b<sub>3</sub>級のいずれも、冷速の大より小に向っての正常組織変化は次式で示される。



すなわち、変化傾向については、これまでの一連の研究とまったく同一傾向を示しているけれども、著しい相違はLおよびL'を含む組織がまったく消滅していることである。この事実からC含有量の多い鋳鉄はLおよびL'を含む組織は現われ難いといえる。上記変化式中蛸状組織もバラ状組織も共にU<sub>F</sub>およびF<sub>U</sub>で示される範囲内で現われており、蛸状組織の方がバラ状組織より冷速の大なる位置に現われやすいようである。したがって蛸状組織もバラ状組織もU組織がF組織に変化する中間的な組織であるといえる。つぎに、組織の逆転変化を示す区間を観察してみると、蛸状組織およびバラ状組織に近似の組織は観察されたが、その代表的な形状といいうる組織は見い出すことができなかった。つぎに組成C 4.11%，Si 1.90%，Mn 0.39%，P 0.123%，S 0.003%酸素含量a<sub>3</sub>級で示される鋳鉄に見られた蛸状組織およびバラ状組織の代表的な形状を2図、3図に示す。

なお、本間博士の「鋳鉄と酸素の研究<sup>2)</sup>」においても、実験に供された鋳鉄の成分組成(C 3.44～4.31%)から典型的なバラ状黒鉛は炭素量の比較的多い鋳鉄に認められているといえるようである。

## 3. 菊目組織について

菊目組織については、研究者によりその指示する組織にかなり相違があるようである。今、石川博士の研究になる菊目組織<sup>3)</sup>と、石井義雄先生の著書に現われる菊目組織<sup>4)</sup>とをスケッチにより比較してみる。4図、5図にそれを示す。

4 図 菊目組織 (石川博士)

Fig. 4. Chrysanthemum structure. (Dr. Ishikawa)



5 図 菊目組織 (石井先生)

Fig. 5. Chrysanthemum structure. (Mr. Ishii)



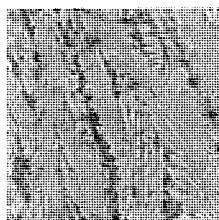
石川博士の指示されている菊目組織は、よく彎曲し丸味を帯びた小片状黒鉛が比較的均一に分布し、現代の強力鋳鉄の組織に近い組織を示し、この分布状態ならびに黒鉛形状を少しこ改善したならばそのまま現代強力鋳鉄といふうと思われ、先生の根本思想は今もなお変化ないものといふう。著者の一連の研究途上では、接種組織の比較的冷速の大なる位置にややこれに近い組織が認められるも、まったく同一と看なされる組織は現われなかつたので、他日これについて報告する機会を得たく思つてゐる。

石井義雄先生の指示されている菊目組織は、バラ状黒鉛の心のない組織とも見られ、あるいは小バラ状黒鉛とも見られる。これは著者が U あるいは  $U_F$  と称している組織範囲内に属するもので、前研究第2報3図写真No. 14に現われている。

#### 4. セメンタイトを含む鋳鉄に就いて

鋳鉄組織中にセメンタイトがまったく存在しない場合には、単鋳鉄または灰鋳鉄と称し、逆に組織中に黒鉛がまったく存在しない場合には白鋳鉄と称している。ところで、組織中にセメンタイトと黒鉛が共存する場合にはその共存の状態により下記のように3種に区分することができる。

a. 表面チル組織 b. 逆チル組織 c. モットル組織  
表面チル組織は一般にチルド鋳物に見られる。すなわち鋳物の表面を金型あるいは冷し金、または他の特別の方法により急冷する場合には、それらに接している表面近くは完全に白鋳化し、放熱面を遠ざかるに従つて黒鉛を混合するようになり、さらに遠ざかるに従つてセメンタイトはますます減少して、遂にはセメンタイトはまったく



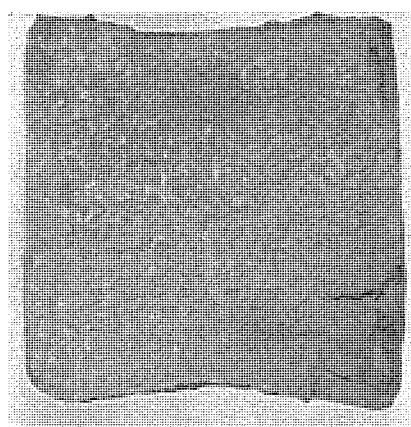
6 図 急冷組織 ( $200 \times \frac{7}{10}$ )

Fig. 6. Rapid cooled structure. ( $200 \times \frac{7}{10}$ )

く消失する。この変化の状況は、冷却速度・化学組成・酸素含量などにより支配されるものであるが、セメンタイトは一般に放熱面に対して直角方向に発達し、冷速の遅くなるに従つて網目状を呈し、さらに冷速が小さくなるに従つて網目状は分断して遂には消失する。いずれにしても、この場合のセメンタイトは放熱面に対して直角方向の発達をするのが特長である。実験例としては前研究第1報6図の写真に示すとおりである。この実験例の冷速は、冷し金に接している面で  $120^{\circ}\text{C}/\text{min}$  であるが、同組成 (C 3.16%, Si 1.21%, Mn 0.67%, P 0.062%, S 0.010%) の鋳鉄をさらに著しく急冷する場合には6図のような組織が現われる場合もある。

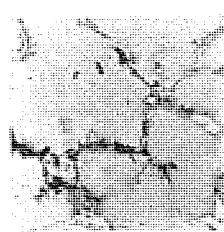
逆チル組織は、一般に鋳物の比較的冷却速度の遅い部分にセメンタイトが発生し、その周辺の比較的冷却速度の速い部分が黒鉛組織となっている組織である。この組織の特長は酸素量が著しく多い場合か、逆に著しく少ない場合に発生しやすく、かつその結晶発達に特定の方向性を示し難いことである。顕微鏡組織は前研究第1報6図、第2報3図の写真に示すとおりである。

モットル組織は、肉眼組織では白と黒が斑点状に混合した組織であり、逆チル組織においてはセメンタイトが比較的冷却速度の遅い位置に凝集するのに対して、破断面一面にセメンタイトが分布している組織である。この場合のセメンタイトの発達については冷速の大なる表面付近においては方向性が認められるけれど、中心部付近では方向性は認め難く、中心部のセメンタイトの方向性の認め難いことは逆チルの場合と同様であるが、セメンタイトの形状にはかなり差異が認められるようであるがその差異の原因については明確になしえなかつた。また



7 図 (a) モットル (肉眼) 組織  $\times \frac{7}{10}$

Fig. 7 (a) Mottled (macro) structure.  $\times \frac{7}{10}$

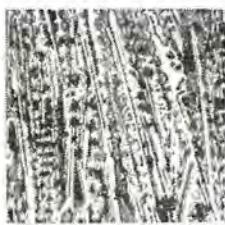


7 図 (b) モットル (顕微鏡) 組織  $70 \times \frac{7}{10}$

Fig. 7 (b) Mottled (micro) structure.  $70 \times \frac{7}{10}$



8 図 (a) 表面チル (肉眼) 組織  $\times \frac{7}{10}$   
Fig. 8 (a) Surface chilled (macro) structure.  $\times \frac{7}{10}$



8 図 (b) 表面チル (顕微鏡) 組織  
 $200 \times \frac{7}{10}$

Fig. 8 (b) Surface chilled (micro) structure.  $200 \times \frac{7}{10}$

モットル組織はもちろん冷速や酸素含有量にも支配されるであろうが、いわゆる化学組成が決定的因素のようだ。7図はC 1.73%, Si 0.93%, Mn 0.46%, P 0.087%, S 0.004%の組成を有する鉄鉱の生砂型鉄物に現われたモットル組織の肉眼組織と顕微鏡組織である。すなわち、C, Si の低い鉄鉱にモットル組織が現れやすいということができる。また、セメントタイトを安定化せしめる Mn, S, Crなどを含む場合<sup>5)</sup>にも現れやすい。

8図はC 3.31%, Si 1.92%, Mn 0.69%, P 0.126%, S 0.008%の組成を有する冷し金型鉄物に現われた表面チル組織であり、9図はC 3.02%, Si 1.13%, Mn 0.49%, P 0.063%, S 0.009%の組成を持つ生砂型楔型試験片に現われた逆チル組織の肉眼組織と顕微鏡組織を示すもので、この試片の酸素含有量はa<sub>3</sub>級である。

### 3. むすび

1. 共晶組織は同じ鉄物においては、冷却速度の速い位置と遅い位置とに現れやすく、前者は初晶発達に方向



9 図 (a) 逆チル (肉眼) 組織  
 $\times \frac{7}{10}$

Fig. 9 (a) Inverse chilled (macro) structure.  $\times \frac{7}{10}$



9 図 (b) 逆チル (顕微鏡) 組織  
 $200 \times \frac{7}{10}$

Fig. 9 (b) Inverse chilled (micro) structure.  $200 \times \frac{7}{10}$

性があり、かつ初晶が比較的小さく樹枝状として現れやすいが、後者は方向性が現れ難く、かつ初晶が比較的大きく発達する。

2. 蛸状組織およびバラ状組織は共に炭素含有量の比較的多い鉄鉱に現れやすく、いずれも共晶組織から片状黒鉛組織へ移行する中間的な組織であるといいうる。

3. 鉄鉱中にセメントタイトと黒鉛が共存する状態から、表面チル組織・逆チル組織・モットル組織の3つに区分し、おののおのの組織中におけるセメントタイトの特長を写真により示すことができた。

本報告は岩瀬教授のご指導の下に作成されたものであり、厚く謝意を表する次第である。また、実験に当り終始協力下さった当社星野技師・今井技師・小川技手に対し厚く感謝の意を表する次第である。

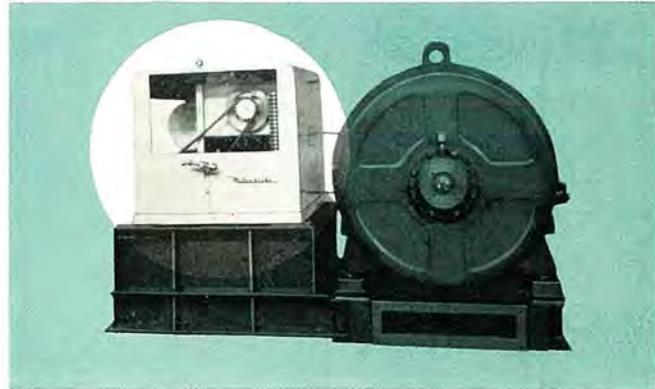
### 参考文献

- 1) 飯高一郎. 球状黒鉛鉄の研究(第2集). p. 5 (1954).
- 2) 本間正雄, 橋本雍彦. 日本金属学会誌 Vol. 16, No. 9.
- 3) 石川登喜治. 日本機械学会誌, 22, 39 (1919).
- 4) 石井義雄. 鉄鉱(上巻), p. 159 (1940).
- 5) 飯高一郎. 鉄物, p. 13 (1954).

# 新聞紙抄紙機用セクショナルドライブ電機品

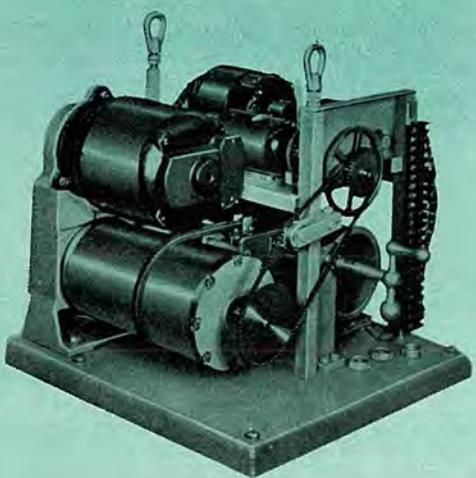
今般トナミ製紙向として 142 in 新聞紙抄紙機（新菱重工製）用として共通母線方式のセクショナルドライブ電機品を製作納入、きわめて好成績に運転中である。

本機の特長は各セクション間の速度調整ならびにドロー調整に精度の高い積算式差動歯車式速度調整器を採用していることで、本調整器を使用することにより従来パイロット発電機方式では出しえなかつた速度変動率を 0.1% 以下の安定した変動率に抑えうることが実証された。



電動機に取付けた差動歯車式速度調整器

## 仕様



差動歯車式速度調整器

- |                     |                               |
|---------------------|-------------------------------|
| ■ 運転用発電機            | 775 kW D-C 440 V 900 r/m      |
| ■ 起動用発電機            | 150 kW D-C 440 V 900 r/m      |
| ■ 駆動用同期電動機          | 1,200 HP 3,300 V 60 A 900 r/m |
| ■ サクショングーチ          | 170 HP 800~1,000 r/m          |
| ■ No. 1, No. 2 プレス  | 70 HP "                       |
| ■ スムージングプレス         | 30 HP "                       |
| ■ No. 1, No. 2 ドライヤ | 170 HP "                      |
| ■ ポーブリール            | 50 HP "                       |

昭和 32 年 3 月 8 日 印刷 昭和 32 年 3 月 10 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 60 円 (送料別)

## 雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	大久保謙	常任委員	宗村樹	平樹	市村宗明
副委員長	石川辰雄	委員	石岡進	二和隆	久保慶一
常任委員	浅井徳次	委員	屋藤村	一市男郎	「三菱電機」編集部
"	荒井潔	"	尾田森	明	電話 和田倉 (20) 1631
"	安藤安二	"	又新木		
"	菅野正雄	"	松山市		
"	木村雄	"	井上村		
"	小堀富次	"	大		
"	高井得一郎	幹事			
"	中野光雄	"			
"	馬場文夫				
"	松田新市				

編集兼発行人	東京都千代田区丸の内2丁目3番地	市村宗明
印刷所	東京都新宿区市谷加賀町1丁目	大日本印刷株式会社
印刷者	東京都新宿区市谷加賀町1丁目	長久保慶一
発行所	三菱電機株式会社内	「三菱電機」編集部
		電話 和田倉 (20) 1631
		日本出版協会会員番号 213013
発売元	東京都千代田区神田錦町3の1	株式会社オーム社書店
		電話 (29) 0915・0916 振替東京 20016

(以上 50 頁)