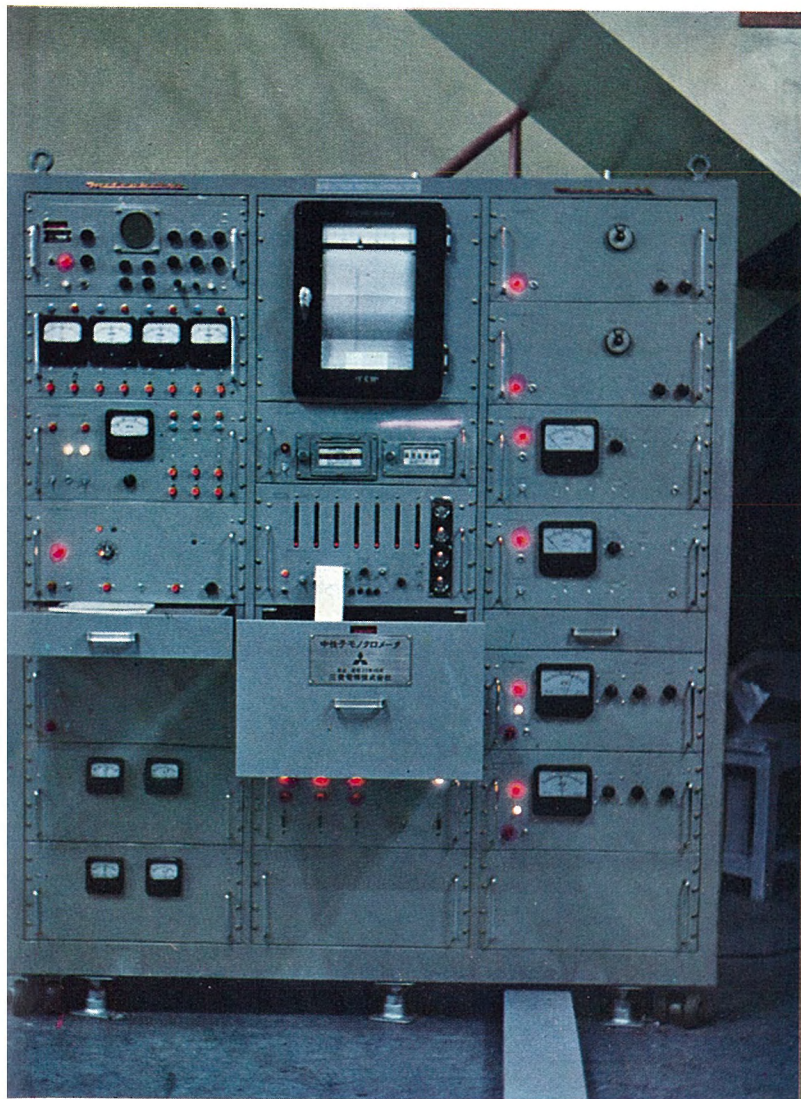
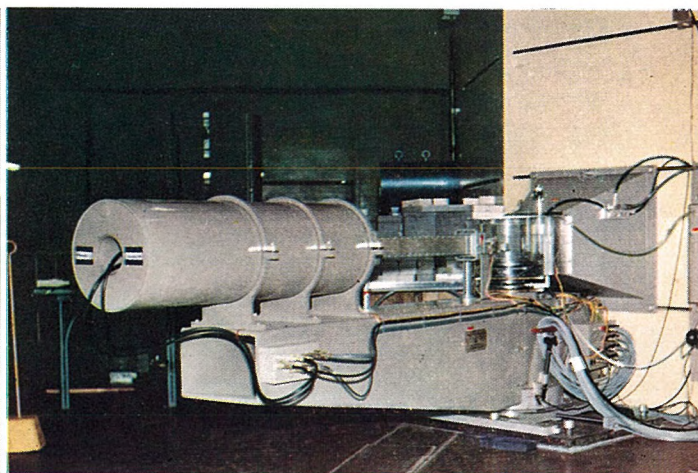


**MITSUBISHI DENKI**

# 三菱電機



測定制御装置



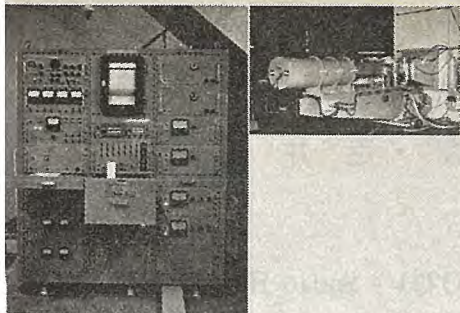
機械装置

第1号原子炉にすえ付けられた  
中性子モノクロメータ  
(日本原子力研究所納)

7

**VOL 33 1959**





MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

## 表紙説明

中性子モノクロメータは原子炉を用いる物理実験装置で、わが国最初の原子炉である日本原子力研究所のJRR-1で使用される。昭和33年11月にすえ付を完了し、以来好成績で稼働中である。もちろんわが国最初のものである。

写真に示す機械装置は原子炉壁にすえ付けられ、実験孔から出てくる中性子を集束しこれを任意の正確な角度で反射させてとりだす精密装置である。また写真に示す測定制御装置は放射線のこない安全な場所からこれの微細調整をするとともに自動運転をする。実験に必要な測定器はすべてこれに含まれ、実験結果は自動的に記録印字されて順次測定が続けられてゆくようになっている。

## 三菱電機株式会社

本社 東京都千代田区丸の内(東京ビル)  
(電)和倉(20)代表 1631・2331  
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町  
伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水  
長崎製作所 長崎県平戸市小島町  
無線機製作所 兵庫県尼崎市南清水  
名古屋製作所 名古屋市中区矢田町  
静岡工場 静岡市東区小島町  
津川工場 岐阜県津川市駒場  
和歌山工場 和歌山県和歌山市岡町  
福岡工場 福岡市今宿青木町  
福岡工場 福岡市沖野上町  
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町  
大船工場 神奈川県鎌倉市大船町  
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町  
郡山工場 福島県郡山市境橋町  
研究 研究所 兵庫県尼崎市南清水  
無線機製作所 東京都世田谷区池尻町  
東京工場 札幌市北二条東12  
札幌修理工場 東京都千代田区丸の内2-20  
東京商品 三菱商事ビル2階)  
営業所 (電)東京(211)代表 2511  
大阪営業所 大阪府北区堂島北町8番地1  
(電)大阪(34)代表 5251  
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通  
(電)本局(23)代表 6231  
福岡営業所 福岡市渡辺通り2丁目(電気  
ビル内)(電)福岡(2)代表 6031  
札幌営業所 札幌市大通り西1丁目(大通  
ビル)(電)札幌(2)代表 7236  
仙台営業所 仙台市東一番丁 63  
(電)仙台(2)代表 6101  
富山営業所 富山市安住町23の2  
(電)富山 4692・5273・2550  
広島営業所 広島市袋町6(富国生命ビル)  
(電)中(2)2211  
高松営業所 高松市寿町1丁目4(第一生命  
ビル)(電)ビル代表 2-5021  
直通代表 2-4416  
小倉出張所 小倉市京町10丁目(五十鈴  
ビル)(電)小倉(5)8234  
静岡駐在員 静岡市呉服町2丁目1番地  
(電)静岡(2)2595(3)2962  
岡山駐在員 岡山市浜田町20番地  
(電)岡山(3)2098

昭和34年第33巻第7号

## 目次

計測と制御特筆	
タービン監視計器	岡本孝治・走井貞雄 2
プロセス制御用高感度赤外線分析計	安東 滋・村西有三・太田基義・石橋 勝 14
中性子モノクロメータ	大野善久・蘆原 智・宮下恭一・茂木 充・大野栄一 21
機械量の電氣的計測	吉山裕二 33
最近の記録積算計器	武田克巳・林 正之 39
サーミスタ温度調節器のトランジスタ化	後藤正之・佐々木益男 50
“サイバック”無接点継電方式	新谷保次 55
無接点継電器を使用した選炭場の総括制御	武田英夫・藤井二郎・白石和男 63
加速度および減速度制御装置	浜岡文夫・大野栄一 68
交流電源による小容量直流電動機のリアクトル制御	吉田太郎 74

312,000 kVA 特別三相式超高圧変圧器	村上 有・谷中頼朝・田村良平 80
ED 7019 号イグナイトロン交流電気機関車補機性能試験	大野寛孝・桐生悠一・八木 勝・和田義彦 86
発電機絶縁の直流試験(1)	原 仁吾・平林庄司 97
IBM-650 形電子計算機による電力線事故時の 通信線誘導電圧発生確率の計算(II)	迎 久雄 103

## 技術解説

計数形自動電子計算機(1)	豊田準三 113
原子炉の計測制御	八島英之 120
火力発電シリーズ: 発電所全般(5) 所内動力用変圧器	127

## W社文献抄訳

タービンおよび発電機・開閉装置・レーダとミサイルの遠方制御・電動機の 応用・ランプおよび照明・制御器具および配電器具	130
---	-----

## ニュースフラッシュ

FA 三相誘導電動機・国鉄東北線用交流機関車完成・東京電力向け三相 100 kVA 巻鉄心形変圧器・翼形通風機の完成・高演色性ケイ光水銀灯・切換放電 管 5939A を製作・滝発電所向け 50,000 kVA 水車発電機一括受注・日伸製鋼 株式会社向け 36 kV 電気炉用空気シャ断器完成・自家用タービン発電機受注活 発化す・近畿日本鉄道名阪特急電車用電機品受注	133
--	-----

## 特許と新案

(特) 誘導電動機の変速制御装置(新) ワードレオナード式揚錨機制御装置	137
--------------------------------------	-----

最近における当社の社外講演一覧	20
-----------------	----

最近における当社の社外寄稿一覧	138
-----------------	-----

次号予定	96
------	----



# タービン監視計器

神戸製作所 岡本孝治\*・走井貞雄\*

## Turbine Supervisory Instruments

Kobe Works Takaharu OKAMOTO・Sadao HASHIRII

Steam turbines are turning into large size and high efficiency year after year. This brings about increasing necessity for the operators to have recourse to turbine supervisory instruments in the satisfactory manipulation of the machine by learning the actual state through numerical indications and records. To cope with the progress in engineering, Mitsubishi has developed new models which are trouble-free and of high reliability. Of marked features of new facilities, an eccentricity recorder, based on a new principle, is exempted from errors due the shaft-climbing in the bearing. In addition, the circuit of the vibration recorder has become simple, while the speed-governor valve position recorder has been newly developed.

### 1. ま え が き

最近、蒸気タービンは、大容量高能率になりつつある。それにつれて運転者は、タービン監視計器の指示、記録により、タービンがいまどんな状態にあるかを、数値的に十分に知って運転することがますます必要になってきた。当社では、従来の監視計器を、大巾に改造し、また新機種を製作したので、ここに報告する次第である。

### 2. タービン監視計器とは何か

タービン監視計器は、運転者が以後にとるべき運転方法を、決定する上において指針となりうるように、蒸気タービンの機械的な運動や動作を電氣的に、指示、記録するためのものである。ただし、温度、電力、流量などの記録計は除いている。

タービンは長年月使用するものであるから、監視計器の設計にあたっては、耐用年数をきわめて長く、かつ調整と保守を容易にすることを主眼として製作した。

### 3. 種 類

タービン監視計器の種類は、偏心記録計、振動記録計、軸位置記録計、膨張差記録計、シリンダ膨張記録計、速度位置記録計の6種類である。

各計器の較正、保守を容易にし、長期間の信頼性をうるように、できうる限り電子管を用いず、接触面のないインダクタを用い、やむなく電子管を用いる場合は、できる限りその数を少なくし、かつ全要素を定格以下の低

い値で使用するようにした。

各計器には、いずれも同じ形式のG形直流記録計を使用し、かつ、その全振電流も、DC-5 mA に統一した。また、記録計以外の制御装置は、キャビネットに一括しておさめてあり、その寸法も大小2種類にしてある。キャビネットの扉をひらけば、全回路が露出して容易に点検することができる。

### 4. 偏 心 記 録 計

#### 4.1 概 要

タービンがある期間静止していると、タービン軸はその両側にわずかな温度差があることによって少したわみがちである。この動きは0.05 mm 程度に過ぎないものであるが、タービンが定格速度で運転される時にはこのような狂いが数トンにも及ぶ不平衡力を生ずることになる。タービンは通常軸の位置の狂いがなくなり軸のたわみがなくなるまでは、定格速度の1~20% で運転される。偏心記録計はタービン運転時のこの危険な期間中軸を監視するものである。

2個のベアリングの間に軸のたわみがあると、ベアリングの外側にある軸端の中心は真の中心の回りに小さい円を描いて運動することになる。この軸の中心からのかたよりを測定するためには多くの方法があるが、大部分は回転軸とこれに近接する鉄心入りコイルの間の空げき変動するという効果を応用したものである。

偏心量は電圧とか厚さなどのように単純な量ではなく、それぞれ異なった時間に存在した2個の異なった量



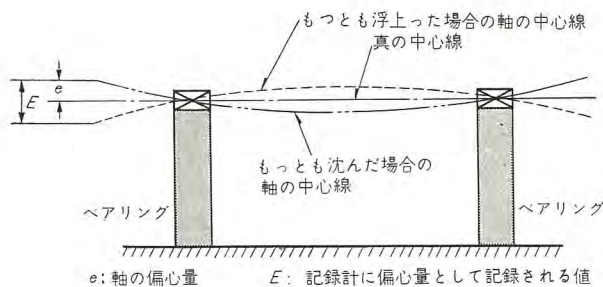


図 4.1 偏心量の定義  
Fig. 4.1 Definition of eccentricity.

の差である。すなわち偏心量というのはピックアップコイルと軸との間の距離の最大と最小の差である。この 2 個の状態は、機械的に 180 度遅れて起るものであるから、偏心計装置はつぎのような働きをしなければならない。

- (1) コイル-軸間の最小距離を測定しその値を記憶すること。
- (2) コイル-軸間の最大距離を測定すること。
- (3) 二つの距離の差をとること。
- (4) 差引いた結果を表示し、以後先に記憶していた量を徐々に忘れていくことによって、つぎに送られてくる信号を受信しうるように備えること。

しかし問題は次のような事実が存在することによってさらに複雑になる。すなわち、偏心計装置はベアリングでささえられる軸の偏心量を 0.025 mm 程度まで測定しなければならないが、ベアリングには 0.4 mm 程度のクリアランスがあり、そのために回転によって軸が一方に変位することになるが、偏心量の指示はその変位には影響されないようにしなければならない。

今回製作した偏心計はこれらのすべての点を克服して作られたものである。

## 4.2 動作原理

動作原理図を図 4.2 に示す。

2 個のピックアップコイル PU-1 および PU-2 は軸の回りに機械的に 180 度離れて取付けられている。偏心軸はコイル PU-1 と PU-2 の間で回転する。軸が一方のコイルに近づくとき、そのコイルのインピーダンスは増しそのコイル両端の電圧も増加する。このコイルと直列に接続されたもう一つのコイルは、その空けきが増して電圧は減少する。この結果 F-G 間の電圧が軸の回転に伴って変化することになる。F-C 間の電圧は F-G 間の電圧と同じように変化するが、その割合からいえば、はるかに大きく変動する。T<sub>2</sub> と T<sub>3</sub> はまったく同じトランスでそれぞれ 3 個の等しい巻線を持っている。T<sub>2</sub> と T<sub>3</sub> の一

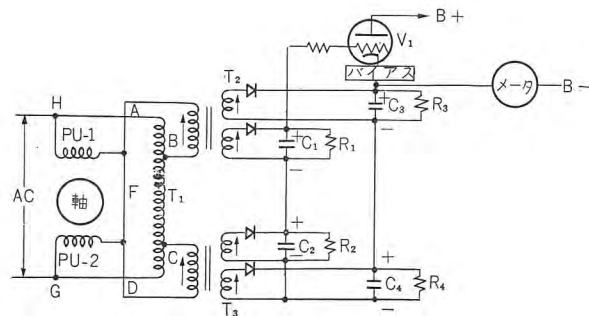


図 4.2 偏心計原理図  
Fig. 4.2 Principle of eccentricity meter.

次は直列に接続されトランス T<sub>1</sub> の B-C 間につながれているため、その電圧の合計は、F 点の電圧のいかんにかかわらずつねに B-C 間電圧と同じである。T<sub>2</sub> の二次電圧と T<sub>3</sub> の二次電圧の合計はつねに B-C 間電圧と等しく、また他の二次の電圧も軸の回転につれて偏心量に応じて変動する。T<sub>2</sub> と T<sub>3</sub> のおのおのの二次の出力は整流されてコンデンサ C<sub>1</sub>~C<sub>4</sub> を充電する。

コンデンサ C<sub>1</sub>~C<sub>4</sub> のうち、C<sub>1</sub> と C<sub>2</sub> は大きな抵抗と並列にはいっており、その時定数は非常に長く数分にも及ぶものである。したがって端子電圧は、T<sub>2</sub> の最大電圧に比例する電圧をつねに維持し、また C<sub>2</sub> は T<sub>3</sub> の最大電圧に比例する電圧を維持する。この 2 個のコンデンサ端子電圧の合計は、B-C 電圧に比例する電圧と軸の偏心に基づく電圧変化との和になる。

一方コンデンサ C<sub>3</sub> と C<sub>4</sub> は、小さい抵抗と並列にはいっており、またコンデンサ容量も、C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> に比べてはるかに小さく、その時定数は 2~3 c/s にすぎないものであり、したがって C<sub>3</sub> と C<sub>4</sub> の電圧の値はつねにトランス T<sub>2</sub> と T<sub>3</sub> の電圧に比例し、C<sub>3</sub> と C<sub>4</sub> の電圧の和は、B-C 間電圧に比例することになる。図 4.3 および図 4.4 に、或る値の偏心を有する軸が回転した場合の時間の経過と各

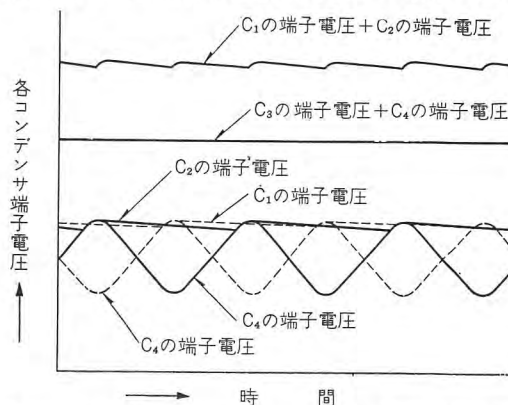


図 4.3 時間経過による、各コンデンサ端子電圧の変化 (軸の中心が、真の中心と一致する場合)  
Fig. 4.3 Terminal voltage change of each condenser owing to time elapse. (the center of shaft coincides with the true center)



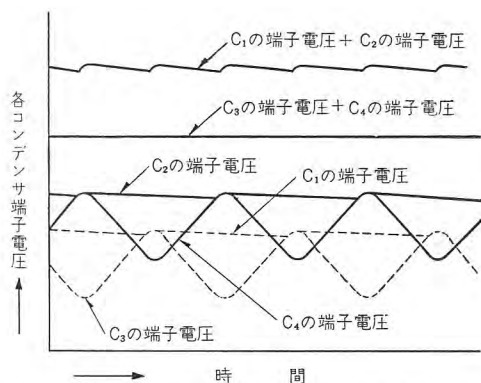


図 4.4 時間経過による、各コンデンサ端子電圧の変化  
(軸の中心が真の中心より変位している場合)

Fig. 4.4 Terminal voltage change of each condenser owing to time elapse. (the center of shaft is off the true center)

コンデンサの端子電圧の変化を示す。

この「B-C 電圧に比例する電圧+軸の偏心にに基づく電圧変化」、つまり、 $C_1$  と  $C_2$  の端子電圧の和と、単に B-C 電圧に比例するだけの  $C_3$  と  $C_4$  の端子電圧の和を、図 4.2 に示すように接続して、適当なバイアスをもった真空管のグリッドに加えてやれば、そのグリッド入力電圧は軸の偏心量だけに影響されることになる。したがって真空管のプレート電流は適当な校正を施した後においては軸の偏心量を指示することになる。

### 4.3 回路および動作

全回路を図 4.5 に示す。

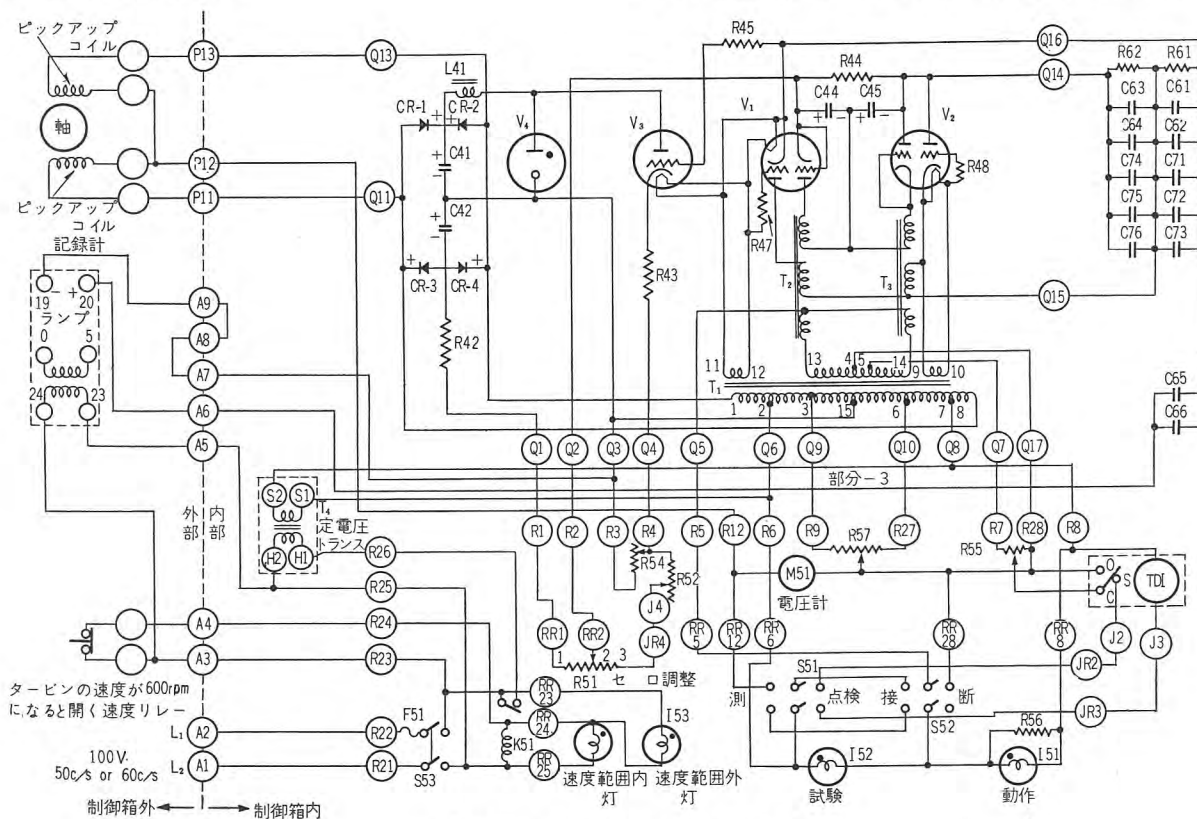


図 4.5 偏心計全回路図

Fig. 4.5 Total circuit diagram of eccentricity meter.

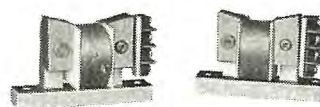


図 4.6 ピックアップコイル

Fig. 4.6 Pick-up coil.

### (1) ピックアップコイル

ピックアップコイルは 2 個あり、タービンの軸のまわりに機械的に 180 度離れて取付ける。電気的には直列に接続されて制御箱の電源端子につながれている。コイルと、軸表面とのギャップはおおよそ 1.5 mm である。

各コイルは、U 形の鉄心を有し、取付台に締付けられている。またコイルは 130°C の動作温度に耐えられるように製作されている。図 4.6 にピックアップコイルを示す。

### (2) 速度検出リレー

タービンの運転においては、普通タービンが起動するまでは、ターニングギヤによって、15~30 rpm で回転される。起動すると蒸気が入れられ、タービンの速度は上昇するが、偏心量がほとんど零になるまでは 600 rpm 以下に保たれる。速度が 600 rpm 以上になれば、なお残っている軸のたわみは振動となってあらわれるようになり、振動計によって正しく報告されることになるから



偏心計は切離す。速度検出リレーは 600 rpm 程度になると偏心計の電源を自動的に開くために使用するもので、これにはガバナ油の圧力によって動作する圧力スイッチ、あるいは、電気式回転計に直列に接続されるメータリレーを使用する。

#### (4) 制御箱

制御箱には、ピックアップコイル、速度検出リレー、および記録計以外の、必要な計測要素と電源装置および点検装置を含んでいる。

内部には、電子管ブロック、時定数の長いコンデンサブロック、電源電圧の変動の影響を防ぐ定電圧装置、および点検用タイマを取付けている。各ブロックはそれぞれ接続用ターミナルを有し、結線をはずすことにより取出しうようになっている。

電子管ブロックは、トランス  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ , 真空管  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ , 整流器 CR-1~CR-4 などが含まれている。 $T_1$  には電源電圧が与えられ、昇圧あるいは降圧して、直列につながれた2個のピックアップコイル、整流器、別のトランス  $T_1$ ,  $T_2$  および真空管のヒータに供給する。 $T_2$ ,  $T_3$  は外観、性能ともまったく同一のトランスで、それぞれ一次巻線と2個の二次巻線からなり、各巻線は同一の巻数をもっている。両トランスの一次は直列に接続され、トランス  $T_1$  につながれている。コンモンの点はピックアップコイルのコンモンの点につながれている。一方のトランスの二次は他方のトランスの相対する二次と接続され、この2組の二次は、真空管  $V_1$ ,  $V_2$  によって整流された後、長短相異なる時定数をもつ2種のコンデンサ群を充電する。真空管  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  は、同一の双三極管 6SN7 を使用している。 $V_1$ ,  $V_2$  はそれぞれ片方のエレメントで時定数の短いコンデンサに対する整流器として使用され、グリッドはカソードに接続されている。いま一方のエレメントのおのおのは時定数の長いコンデンサに対する整流器として使用され、グリッドはプレートがプラス電位になる時プラスになるようにヒータの一端につながれ、プレートにかかる信号電圧が低い場合の特性をよくしている。真空管  $V_3$  は片方のエレメントだけを使用し、グリッドは時定数の長いコンデンサにつながれ、カソードは時定数の短いコンデンサにつながれている。記録計はカソード回路にはいつている。 $V_4$  は定電圧放電管で、VRA-105 を使用し、 $V_3$  に供給するプレート電圧を一定に保つ。整流器 CR-1 および CR-2 は  $V_3$  のプレート電圧を供給する整流器であり、CR-3, CR-4 は  $V_3$

のバイアス回路に供給する整流器である。

コンデンサブロックは、容量の大きいコンデンサ、C61~C62, C71~C76 と、高い抵抗値を有する R61, R62 とで構成される要素と、同じ容量のコンデンサ C65, C66 よりなっている。前者は長い時定数を決定するものであり、後者は回路全体の時定数を大きくし、急激な変動に影響されないようにするためのものである。

定電圧装置は鉄共振形の定電圧トランスで、速度リレーが閉じている時だけ、リレー K51 によって励磁され、パワーを電子管ブロックの電源トランス  $T_1$  に供給する。

点検用タイマは、5秒ごとに、ON, OFF を繰り返すタイマで、これを動作させると、タービン軸が一定の偏心量で回転した時の記録計の指示と同じ指示を与えるような電圧の変動を電子管ブロックのトランス  $T_2$ ,  $T_3$  のコンモンの点に与える。

制御箱の扉の表面には「測定」、「試験」、「規定回転数内」、「規定回転数外」の各表示ランプ、「入力切換」、「試験電圧」の各スイッチ、および「偏奇電圧調整」用可変抵抗 R51 が取付けられ、表面より操作しうようになっている。「偏奇電圧調整」用可変抵抗 R51 は、真空管  $V_3$  のバイアス電圧を調整し、無信号時、記録計の零指示を調整するものである。

制御箱扉の裏面には、電圧計 M51、記録計の振れを調整する感度調整抵抗 R54、バイアス回路電流を調整する可変抵抗 R52、電子管ブロックのトランス  $T_2$ ,  $T_3$  の一次に加わる電圧が、無信号時に等しくなるように電源トランス  $T_1$  の二次側の中性点電圧を調整するための可変



図 4.7 偏心記録計制御箱 (表面)

Fig. 4.7 Control cabinet of eccentricity recorder.

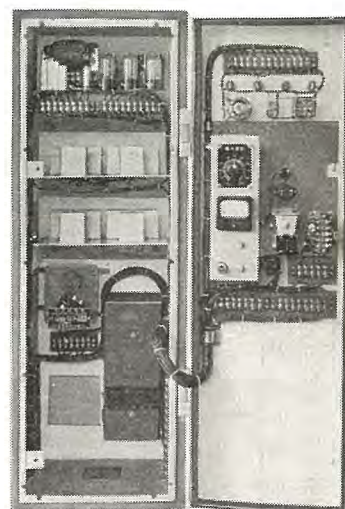


図 4.8 偏心記録計制御箱 (内部)

Fig. 4.8 Control cabinet of eccentricity recorder.



抵抗 R57 を取付けている。この可変抵抗の調整は電圧計 M51 の指示が最小になるように調整する。それらの他に可変抵抗 R55 が取付けてあり、これは装置を試験するとき、電子管回路にはいる信号の量を決定するものである。

図 4.7 および図 4.8 に制御箱の表面および内部、扉の裏面を示す。図 4.9 に記録計外観を示す。



図 4.9 偏心記録計  
Fig. 4.9

#### 4.4 試験および特性

偏心量は動的な量であるから、偏心記録計の試験は図 4.13 に示すような実際の運動とほとんど一致する、模擬試験装置を製作して行なった。この模擬試験装置は、偏心の量を 0~0.5 mm まで連続に調整できるようになっていて、またその回転体の回転数を 1~2 rpm から 600 rpm 程度まで調整しうようになっている。

この偏心計装置の出力特性を図 4.10 に、速度特性を図 4.11 に、電源電圧特性を図 4.12 に示す。

出力特性は、偏心軸の回転数を一定に保った時の、偏

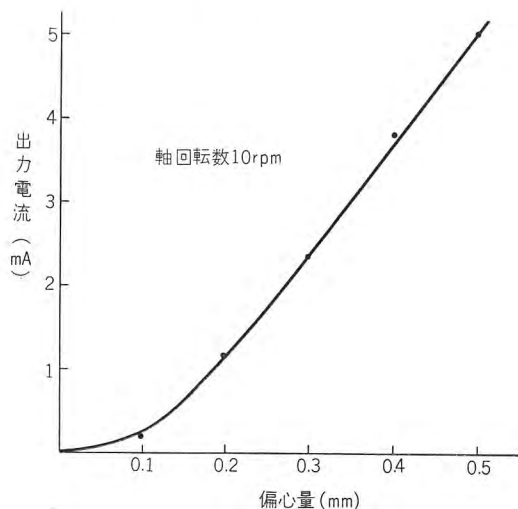


図 4.10 偏心記録計出力特性  
Fig. 4.10 Output characteristic curve.

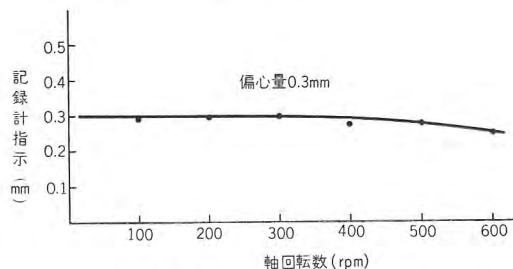


図 4.11 偏心記録計速度特性  
Fig. 4.11 Speed characteristic curve.

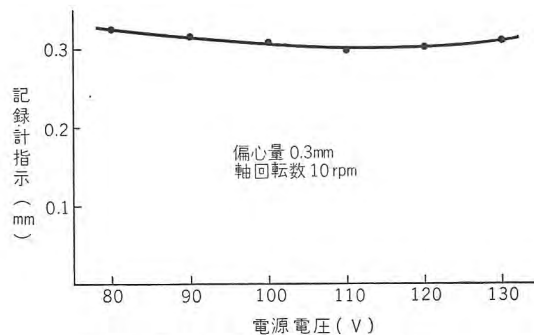


図 4.12 偏心記録計電圧特性  
Fig. 4.12 Voltage characteristic curve.

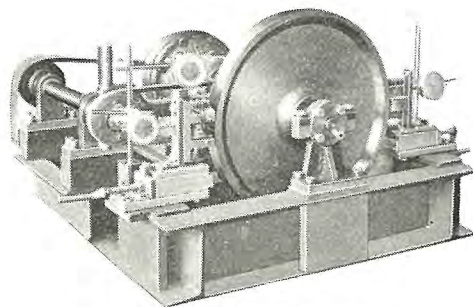


図 4.13 偏心記録計模擬試験装置  
Fig. 4.13 Calibration set of eccentricity recorder.

心量に対する出力電流の関係で、真空管の非直線性の影響で少しわん曲する。

速度特性は、軸の偏心量を一定に保ち、回転数を変化した場合の出力電流の変化を示すもので、1~2 rpm から 600 rpm までほとんど変化しない。

図 4.14, 4.15, 4.16 に、ある偏心量をもつ回転軸が回

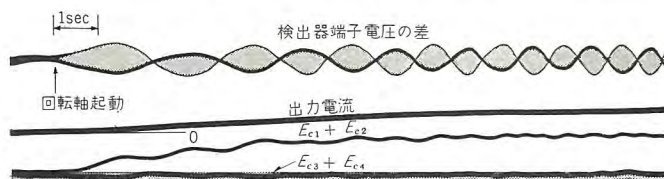


図 4.14 軸中心と真の中心が一致する場合のオシログラム  
Fig. 4.14 Oscillogram when the center of the shaft conforms with the center of the true center.

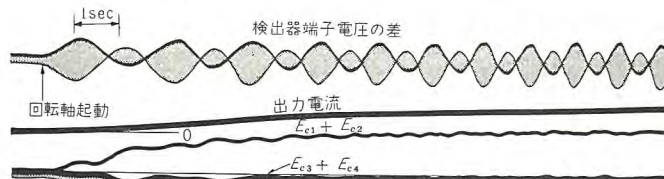


図 4.15 軸中心が真の中心より変位している場合のオシログラム  
Fig. 4.15 Oscillogram when the center of the shaft deviates from the true center due to the shaft climbing.

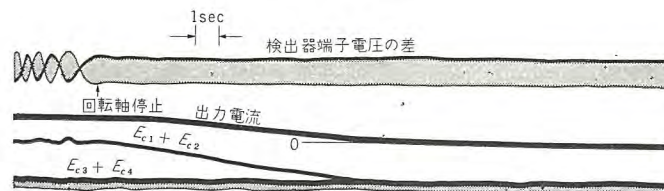


図 4.16 軸が回転を停止した場合の変化のオシログラム  
Fig. 4.16 Oscillogram when the shaft stops.







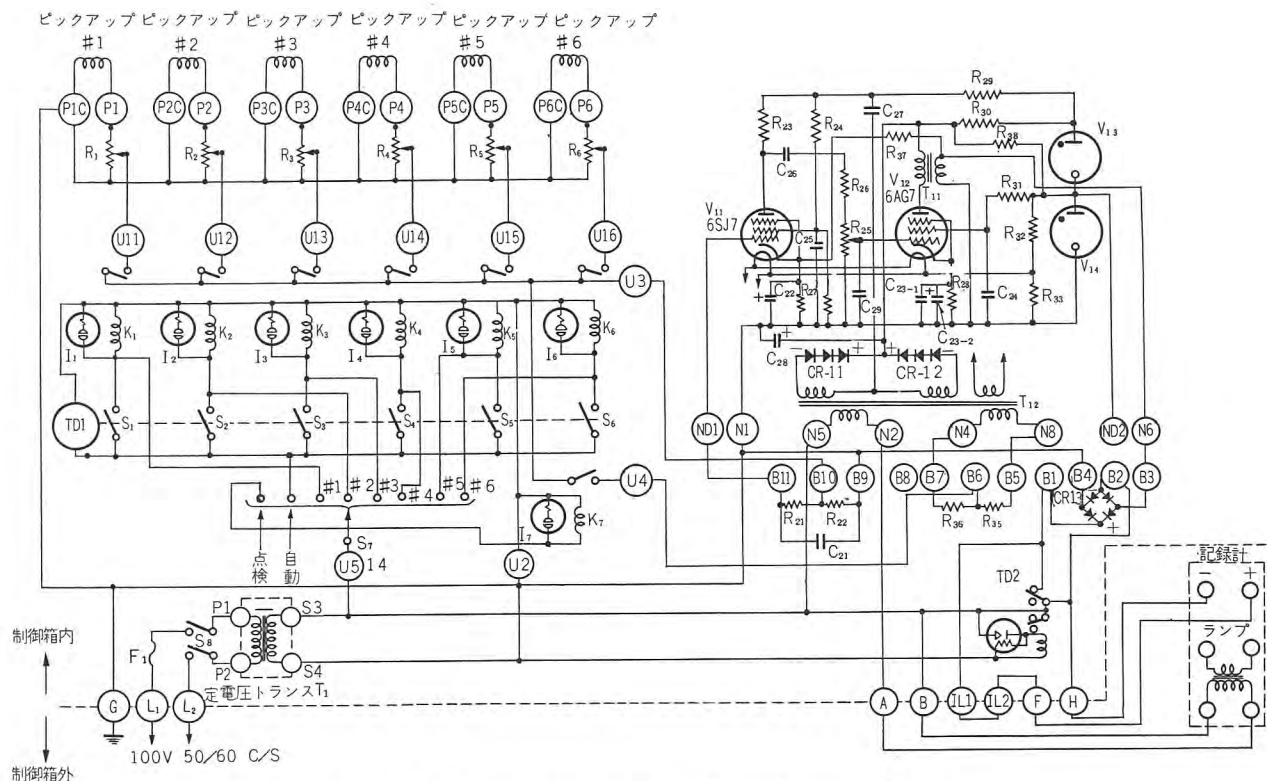


図 5.3 軸振動記録計全回路図 (検出箇所 6 箇所の場合を示す)

Fig. 5.3 Total circuit diagram of shaft vibration recorder.

測要素が含まれている。全回路図を図 5.3 に示す。

制御箱の表面には、各表示灯、各操作スイッチを取付けてあり、表面より容易に操作しうようになっている。

制御箱内部には、電子管増巾器、検出器較正抵抗器、検出箇所切換リレー、自動検出箇所選択タイマ、熱遅延リレー、および定電圧装置、などが装置されている。

電子管増巾器は、積分回路を通った検出器の出力を、記録計を十分振らせるに足る出力に増巾するもので、2本の真空管  $V_{11}$ ,  $V_{12}$ , 2本の定電圧放電管  $V_{13}$ ,  $V_{14}$ , 出力トランス  $T_{11}$ , および電源変圧器  $T_{12}$ , セレン整流器  $CR_{11}$ ,  $CR_{12}$  その他各抵抗、コンデンサなどよりなっている。積分回路を通った出力は真空管  $V_{11}$  (6SJ7) により電圧増巾され、その出力を真空管  $V_{12}$  (6AG7) にて電力増巾し、出力トランス  $T_{11}$  の二次で整流して記録計に導く。出力トランス  $T_{11}$  は、10 c/s 程度の低い周波数に至るまで、フラットな特性を必要とするため、鉄心には方向性ケイ素鋼板を使用したカットコアを使用し、その断面を大きくして損失を極力少なくするように設計されている。また出力トランスの二次側から真空管  $V_1$  (6SJ7) のカソードにフィードバックをかけて、増巾器の特性を改善している。真空管のヒータから発生する、ノイズに対しては、抵抗  $R_{32}$ ,  $R_{33}$  により一定の直流の電位をかけて軽減している。真空管  $V_{11}$  と  $V_{12}$  の間には、可変抵抗  $R_{25}$

を有し、増巾器の増巾度を調整する。定電圧放電管  $V_{13}$  (VR-105),  $V_{14}$  (VR-150) は、セレン整流器  $CR_{11}$ ,  $CR_{12}$  により整流された直流電圧の電圧変動を軽減する。

検出器更生抵抗器は  $R_1 \sim R_6$  に示される可変抵抗で、検出器出力電圧の不同を較正して切換機構に導くものであり、半固定である。

検出箇所切換リレーは、 $K_1 \sim K_6$  に示されるリレーで、動作すると閉じる接点を有する。制御箱の扉表面にある検出箇所選択スイッチを #1 の所へ回せば、リレー  $K_1$  が動作して、検出器 #1 の出力が積分回路に導かれる。以下、 $K_2 \sim K_6$  のリレーの動作も同様である。選択スイッチを「自動」の位置にまわすと、自動検出箇所選択タイマ、TD-1 が動作し、接点  $S_1$ ,  $S_2 \dots S_6$  を順次に閉じ、リレー  $K_1$ ,  $K_2 \dots K_6$  を順次に動作させて、自動的に検出箇所を選択する。この場合、もっとも後の検出箇所から最初の検出箇所に切替える間の休止時間を、他の検出箇所間の休止時間より長くすることにより、記録紙上における検出箇所の判別を容易にしている。

熱遅延リレーは、TD-2 で示される 30 秒程度の遅延時間をもつリレーで、電子管増巾器の電源がはいって、真空管のヒータが完全に加熱されるまでの間、記録計の可動コイルを短絡しておき、ヒータの加熱が不十分な時発生する異常な指示を防止するためのもので、パイメタ



ル板が、加熱によって曲ることを利用した真空管形熱遅延リレーを使用している。

この装置の点検は、制御箱扉表面の選択スイッチを、「点検」の位置に回すことによって行なう。スイッチをその位置に回せば、リレー  $K_7$  が動作し、電源周波数を入力周波数とする信号が積分回路にはいる。その信号の大きさは、電子管増巾器の電源トランスに巻かれている、点検用電圧と、抵抗  $R_{35}$ ,  $R_{36}$  により決定される。

定電圧装置は、鉄共振形の定電圧トランスで、電源電



図 5.4 振動記録計制御箱 (表面)  
Fig. 5.4 Control cabinet of vibration recorder.

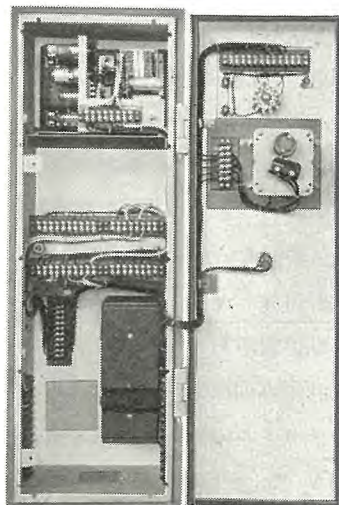


図 5.5 振動記録計制御箱 (内部)  
Fig. 5.5 Control cabinet of vibration recorder.

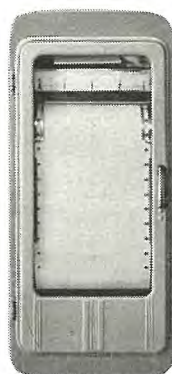


図 5.6 振動記録計  
Fig. 5.6 Vibration recorder

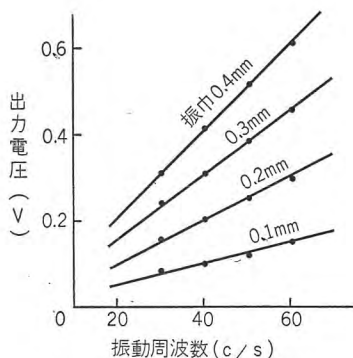


図 5.7 振動検出器出力特性  
Fig. 5.7 Output characteristic curve.

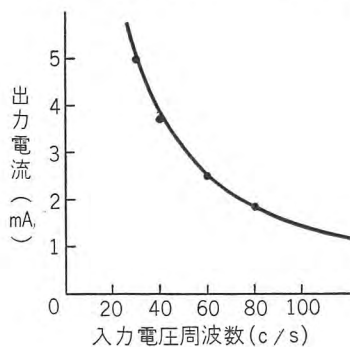


図 5.8 増巾器周波数特性 (入力電圧振幅一定)  
Fig. 5.8 Frequency characteristic curve.

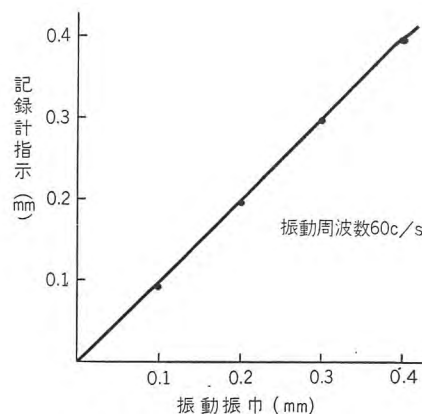


図 5.9 振動記録計総合特性  
Fig. 5.9 Total characteristic curve.

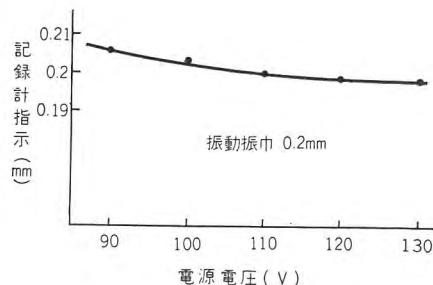


図 5.10 振動記録計電圧特性  
Fig. 5.10 Voltage characteristic curve.

圧の変動による影響を防止している。

図 5.4, 5.5 に制御箱表面および内部を示す。図 5.6 に記録計外観を示す。

#### 5.4 試験および特性

振動検出器出力特性、増巾器周波数特性、振動記録計総合特性、およびその電源電圧特性を図 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 に示す。

この装置の標準の目盛は 0~0.4 mm、動作範囲は、タービン軸回転数で 600 rpm 以上であり、総合誤差は、タービンが定格回転数の場合は  $\pm 5\%$  以内、600 rpm においては  $+15\%$  以内である。

### 6. 軸位置記録計

#### 6.1 動作原理

複シリンダタービンの場合、その正常運転中に、スラストベアリングのシューは、軸の一部分のスラストカラーにより、調速機側にも、発電機側にも強い推力をうけており、ときには、2 組のスラストシューの間を、軸が 0.25~0.5 mm も動くことがある。

単シリンダタービンであれば、推力はつねにスラストシューの方向にはたらく、そのためスラストカラーの運動は通常比較的小さいものに制限されることになる。スラストシューが非常に大きい推力により、かたよって



たり、あるいはすりへらされている場合には、正常の範囲をはるかにこえる運動が起る。

スラストカラー自身には近づくことはできないが、1枚の円板をスラストカラーの近くの、かつ温度の変化の少ない軸の

所にとりつけて、スラストベアリングサポートと、スピンドルスラストランナの相対的な軸方向の位置を検出し、記録するのが軸位置記録計である。

図6.1は軸位置記録計の原理図を示している。図において  $L_1, L_2$  は円板に対向してとりつけた検出用のリアクタコイルである。 $L_3, L_4$  は平衡用のリアクタコイルで、 $L_1, L_2$  と同様に1枚の鉄板の両側に空けきをおいて、 $L_3, L_4$  のコイルを対向してとりつけてある。タービン軸につけた円板を発電機側に近づけると、 $L_2$  の空けきは減り、インダクタンスは増す。また、 $L_1$  の空けきは増し、インダクタンスは減る。したがって A-C 間電圧は増加し、A-D 間電圧は減少する。また、 $L_3, L_4$  間の鉄板を  $L_4$  に近づけると、 $L_4$  のインダクタンスは増し、B-F 間電圧は増し、 $L_3$  のインダクタンスは減り、B-E 間電圧は減る。最初にタービン軸の円板が調速機側にあるとき、

A-B 間の電位差が零になるように、 $L_3, L_4$  間の鉄板の位置を調整しておくとタービン軸が発電機側に近づくにつれて、ブリッジの出力回路の電流は増し、直流電流計または記録計には軸位置に比例した電流が流れる。

## 6.2 実際の回路

図6.2は軸位置記録計の実際の接続図を示している。図においてスイッチ  $S_{12}$  を測定側にいれて、スイッチ  $S_1, S_2, S_3$  を #1 の位置にすれば、検出リアクタ

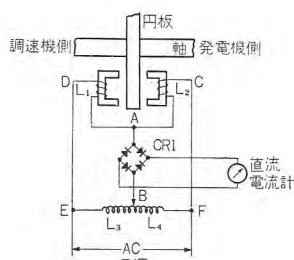


図 6.1 軸位置記録計原理図  
Fig. 6.1 Principle of spindle position recorder.

コイルと平衡リアクタコイルにより、ブリッジができる。軸位置の測定ができる。 $S_1, S_2, S_3$  を #2 の位置にすると、較正リアクタコイルと平衡リアクタコイルによりブリッジができる。較正リアクタコイルは、軸位置記録計装置の較正用のもので、平衡リアクタコイルと同一構造で、2個のコイル  $L_5, L_6$  間の鉄板の位置を移動することにより、 $L_5, L_6$  のインダクタンスを変えることができる。較正リアクタコイルの鉄板の位置を、軸位置の距離で目盛っておくと、鉄板の位置を移動することにより軸位置記録計装置の較正ができる。スイッチ  $S_1, S_2, S_3$  を #3 の位置にすれば検出リアクタコイルと較正リアクタコイルによるブリッジができる。検出リアクタコイル、較正リアクタコイル、較正リアクタコイルのインダクタンスのばらつきは 4% 以内である。また、スイッチ  $S_{12}$  を試験側にいれると、記録計回路に定電圧を印加して、記録計自体とセレン整流器を含めた回路の点検ができる。

軸位置がある限度をこえた場合に警報するように、記録計に直列に電流継電器  $K_1$  をつないでいる。検出リアクタコイルの両端の端子1と2の間に加える電圧は AC-75 V で、記録計の全振電流は DC-5 mA である。目盛は軸が発電機側に移動するのを正の方向としており、目盛巾は普通 1.5~2.5 mm で、タービン軸の円板の厚みは 15~25 mm である。目盛 -1—0—+1 mm のときは、検出リアクタと円板の空けきは片方で 1.5 mm、また目

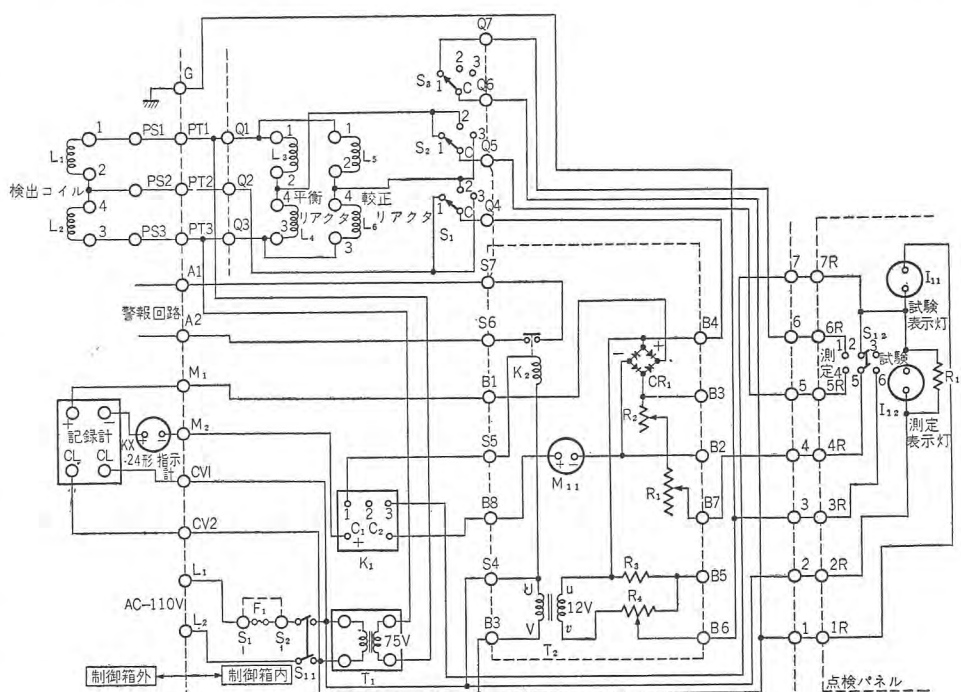


図 6.2 軸位置記録計接続図

Fig. 6.2 Connection diagram of spindle position recorder.



盛 0~2.5 mm のときは空げき 3 mm である。

スイッチ  $S_1, S_2, S_3$  を交互にきりかえて検出コイルをすえ付けければ、取付け寸法の誤差を含めて総合誤差は  $\pm 4\%$  である。

## 7. 膨張差記録計

### 7.1 動作原理

起動時の温度上昇による、膨張間の問題はタービン設計上もっとも考慮すべき点の一つである。たとえば、軸はシリンダより比較的軽いのではやく熱せられる。軸とシリンダはスラストベアリングで固く結びつけられているので、スラストベアリングから離れた距離では軸と、シリンダのクリアランスは大きく変化する。この変化を小さくするには、蒸気を徐々に供給して、シリンダの膨張が軸のそれに遅れないようにし、もし軸がシリンダよりはるかにさきに達するようなことがあれば、シリンダが追つくまで蒸気の量を減じる。膨張は温度の変化により起るので、膨張差記録計はおもに、タービン起動時、または負荷変動の大きいときに用い、軸の膨張とシリンダの膨張の差を記録するものである。図 7.1 は膨張差記録計の原理図を示している。図に示すようにタービン軸に、軸に対して  $\theta$  の角度だけ傾斜した 2 個の円すい面を作り、各円すい面に対向して検出リアクタコイル  $L_1, L_2$  をおき、 $L_1, L_2$  はシリンダに固定する。軸がシリンダよりのびたときに軸が図の右側に近づくとするれば、 $L_2$  の空げきは減り、 $L_1$  の空げきは増す。逆にシリンダが軸よりのびたときは、 $L_2$  の空げきは増し、 $L_1$  の空げきが減る。したがって軸位置記録計と同様の原理により、ブリッジの出力回路の指示計または、記録計には、膨張差に比例した電流が流れる。

タービン軸に円すい面をもうけたのは、軸方向の大きな変位  $l$  を、検出リアクタコイルの空げき長  $l_0$  の小さな

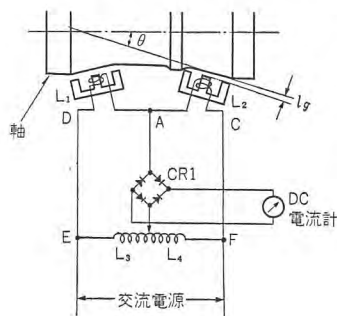


図 7.1 膨張差記録計原理図  
Fig. 7.1 Principle of differential expansion recorder.

変位になおすため、これによってブリッジの出力電流を直線的に変化することができる。いま、軸方向の変位を  $\Delta l$  とし、空げき長の変位を  $\Delta l_0$  とすると

$$\Delta l_0 = \Delta l \sin \theta$$

となる。  $\theta = 14.5$  度に

えらぶと、軸方向に 4 mm 変位すると空げき長は 1 mm 変位する。

### 7.2 実際の回路

実際の回路は図 6.2 に示す接続とまったく同様で、点検、較正の回路も同じである。また検出リアクタコイル電圧は、AC-75 V、記録計全振電流は DC-5 mA である。目盛は普通 0~25 mm で、軸が発電機側にのびる場合、すなわち軸がシリンダよりのびるときを目盛の正方向としている。検出リアクタコイルのすえ付け位置の誤差を含めて総合誤差は  $\pm 4\%$  である。

## 8. シリンダ膨張記録計

### 8.1 動作原理

タービンが冷却、静止の状態から熱せられて負荷をとるまでに、タービンのシリンダの膨張は 40 mm におよぶことがある。タービンがそのキー道にそって自由に膨張する間は害はないが、膨張がとまって加熱のつづくときは、大きなストレスが加わって機械を破壊するにいたる。シリンダ膨張記録計はタービンの起動時およびその直後のシリンダの膨張の記録をとるものである。正常な起動時の膨張の記録をとっておいて、現在の起動時の膨張の記録とくらべながら運転することは非常に有意義である。図 8.1 はシリンダ膨張計の原理図を示している。シリンダにラック棒を押しておき、ギヤおよびしゅう動抵抗はペダスタルベースの固定部分にとりつける。シリンダが膨張すればギヤ、しゅう動抵抗を回転させる。し

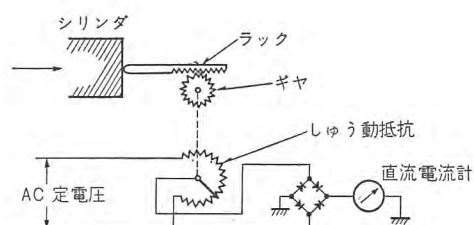


図 8.1 シリンダ膨張計原理図  
Fig. 8.1 Principle of cylinder expansion meter.

ゅう動抵抗の両端に電圧を加えておけば、可動腕の回転角すなわち膨張量に比例して、直流電流が計器または記録計に流れる。ラックはつねにスプリングでシリンダにおされているから、シリンダが収縮すると、ラックもそれについてシリンダ側に移動する。

従来はしゅう動抵抗の代りにセルシンモータを用いていたがしゅう動抵抗のほうが周囲温度の高いときにも使用可能である。



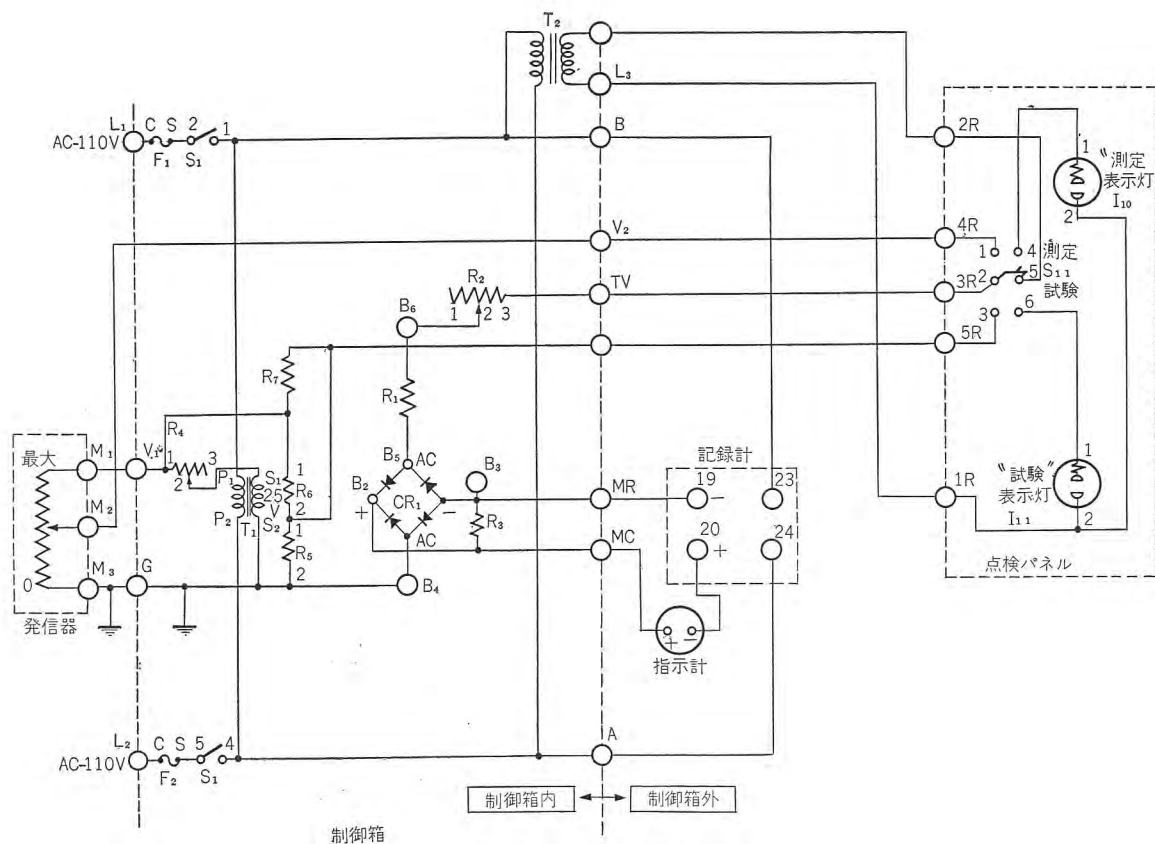


図 8.2 シリンダ膨張記録計接続図

Fig. 8.2 Connection diagram of cylinder expansion recorder.

## 8.2 実際の回路

図 8.2 に実際の回路を示している。スイッチ  $S_{11}$  を試験側にまわせば記録計自体とセレン整流器を含めた回路の点検ができる。しゅう動抵抗の両端に加える電圧は AC-25 V で、記録計の全振電流は DC-5 mA である。目盛は普通 0~40 mm ないし 0~25 mm である。また総合誤差は  $\pm 4\%$  である。

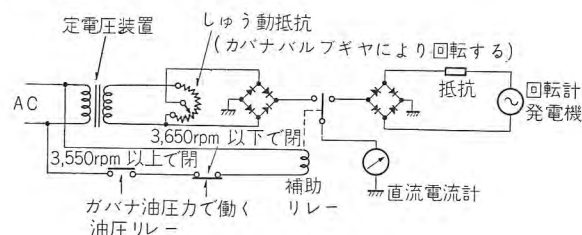


図 9.1 速度-ガバナバルブ位置記録計原理図

Fig. 9.1 Principle of speed-governor valve position recorder.

## 9. 速度-ガバナバルブ位置記録計

### 9.1 動作原理

タービン速度が上昇しつつあり、かつ同期速度にいたっていないとき、および負荷を急に失って速度が上昇して、かつ過速度トリップをする以前のときに、速度の記録をとることが必要である。また、主ガバナバルブは起動時および過速度時はつねに閉じているか、または急速にとじる。しかし、タービンが同期にはいっているときは、負荷の変動につれてガバナバルブの位置は変動する。したがってこの速度とガバナバルブ位置を同じ記録紙上に記録することができれば便利である。速度-ガバナバルブ位置記録計はこの目的に合うもので、同期速度付近では、ガバナバルブ位置を、それ以外の速度では速度を記録するものである。

図 9.1 は速度-ガバナバルブ位置の原理図を示している。

ガバナバルブ機構の上にレバーをのぼしておき、このレバーによってロッドとラックを動かして、最終的にしゅう動抵抗を回転させる。しゅう動抵抗は定電圧電源につながれ、指示計または、記録計にはしゅう動抵抗のアームの回転角、したがってバルブ位置に比例する電流が流れる。回転計発電機は永久磁石回転形である。同期速度付近の検出は、タービンのガバナ油の圧力で動作する油圧リレーを用いる。この油の圧力は直接速度の 2 乗に比例して変化するから速度の検出にはもっとも感度がよい。1 個の油圧リレーは 3,550 rpm 以上で接点を閉じ、他の 1 個は 3,650 rpm 以下で接点を閉じている。3,550 ~ 3,650 rpm の間は両方の油圧リレーの接点回路が閉成



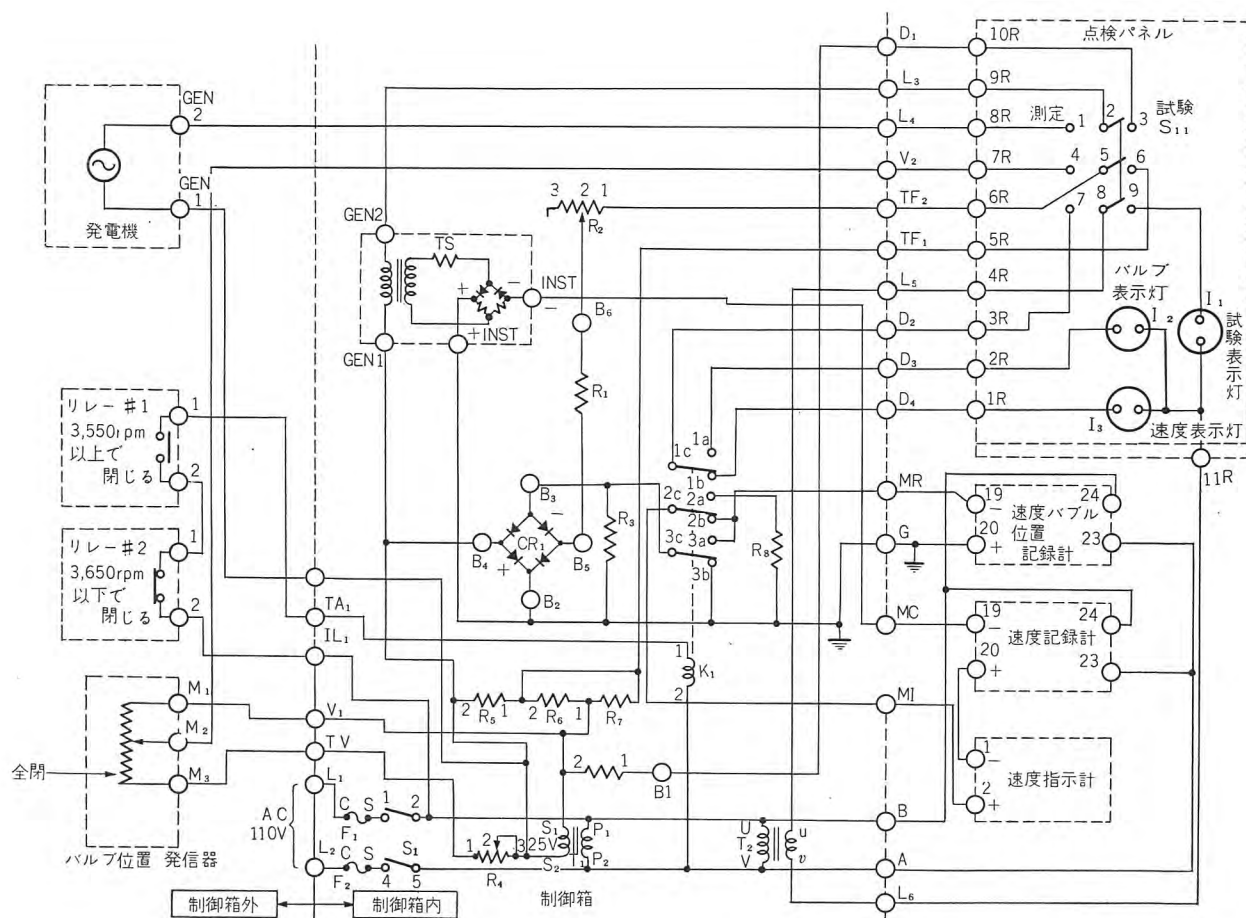


図 9.2 速度—ガバナバルブ位置記録計接続図

Fig. 9.2 Connection diagram of speed-governor position recorder.

それ以外の速度では速度を記録する。

## 9.2 実際の回路

し、補助リレーを付勢し、ガバナバルブ位置を記録し、

図 9.2 は実際の回路を示している。スイッチ  $S_{11}$  を試験側にまわして、補助リレー  $K_1$  が付勢されているときは、ガバナバルブ位置測定回路のセレン整流器  $CR-1$  と記録計自体を含めた回路の点検ができる。また  $K_1$  が消勢されているときは速度の測定回路の変成器、セレン整流器、および記録計自体を含めた回路の点検ができる。バルブ位置検出用のしゅう動抵抗の両端に加える電圧は AC-25 V で、記録計自体の全振電流は DC-5 mA である。

速度記録の目盛は 0~5,000 rpm で、総合誤差は  $\pm 2.5\%$  である。

ガバナバルブ位置記録計の目盛は、0~100% で、総合誤差は  $\pm 4\%$  である。

## 10. む す び

このタービン監視計器はいずれも長期にわたり信頼性のたかいこと、保守点検の容易なことを目的として製作したが、今後も改良につとめるつもりである。終りに製作試験に協力いただいた精工工場谷技師、補器試験係田端技師その他の方々に深く謝意を表するものである。



# プロセス制御用高感度赤外線分析計

安 東 滋\*・村 西 有 三\*  
研 究 所 太 田 基 義\*\*・石 橋 勝\*\*\*

## High Sensitive Infrared Analyzer for Process Control

Shigeru ANDO・Yüzō MURANISHI  
Research Laboratory Motoyoshi OTA・Masaru ISHIBASHI

The model IA-231 infrared analyzer is a device for automatic analysis of fluid concentration, operating on the principle of infrared absorption. Vibrations and rotations of molecules bring about infrared absorption bands to all heteroatomic gases and liquids relative to their molecular structure, infrared spectra of these fluids thus manifesting their characteristic properties. The infrared analyzer will detect infrared radiation of the wavelength which the fluid absorbs, which makes the analytic performance very selective with the kind of gas. The model IA-231 is a nondispersive, of double paths and optical-null type analyzer relatively free from zero and sensitivity drift. High sensitivity resulted from the employment of a resonator type detector or a spectrophone and improvement on the source optics permits the use of 80 cm sample cell and measurement of very low concentration stream.

### 1. ま え が き

われわれの研究室では従来から赤外線分析計の研究を行ってきたが、今回高い感度と十分の実用性を備えた工業用赤外線分析計 IA-231 形を完成したので報告する。

赤外線分析計はいうまでもなく赤外吸収を利用して気体、液体の濃度を連続的、瞬間的に測定する計器で、化学工業の製造工程において成分濃度を連続測定して原料供給量を自動調節するなどの、いわゆるプロセス制御になくてはならない計器になりつつある。この傾向は石油化学工業などにおいて最近いちじるしいものがあり、ますます感度の高い赤外線分析計が要求されるようになってきた。

気体の濃度を測定するということは一見簡単な技術と思われやすいが、なかなかそうではない。たとえば温度、圧力の測定の場合、よく知られている普遍的な方法がある場合には通用するが、気体の濃度測定法にはこのような普遍的な方法は赤外線分析計による以外ほとんどないといってよい。オルザット気体分析装置はかなり多く用いられているが、目的成分によって試薬を変えなければならず、連続測定も不可能である。連続測定可能な気体濃度分析法としては、電磁濃度法、密度法、熱伝導度法、音響法、電導度法などがあるが気体の種類に応じて

適当な方法を選ばなければならず、多成分中の 1 成分を測定することはなほ困難である。多成分の場合、質量分析法とガスクロマトグラフ法があるが、いずれも連続測定は不可能である。

つぎに赤外線分析計の簡単な原理、特長について述べる。分子の振動に起因する光の吸収スペクトルは赤外領域にもっとも多く集中しており、構造異性体、同位元素による差などの分子構造のわずかな相違も明確な吸収波長の相違として表われる。H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ne, A などの単体気体は吸収スペクトルが赤外領域にないが、単体気体以外の CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, HCN, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S などのほとんど全部の気体、液体は赤外波長 1~10 μ の範囲にそれぞれの分子構造に応じた波長に吸収を示す。赤外線光路にそのような気体を流せばその濃度の大小は特定波長の赤外線の強弱となるから、それを赤外検知器で検知すれば気体の濃度を知りうる。図 1.1 に示すように、赤外線分析計は赤熱ニクロム線のような赤外光源、赤外検知器、およびこの両者を結ぶ 2 本の光路、すなわち標準光路と試料光路の各部分からなる。図 1.1 の標準セルには赤外吸収のない気体、たとえば N<sub>2</sub> を満たし、試料セルには赤外吸収気体を含んだ試料気体を流通させるので赤外検知器にはいる両光路の間に赤外吸収気体の濃度に応じたエネルギー差を生じる。赤外検知器がこのエ



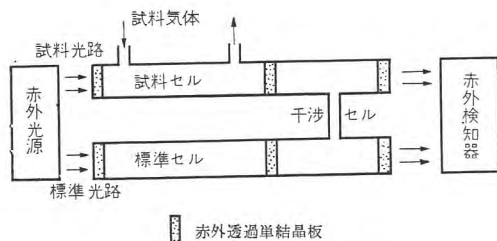


図 1.1 赤外線分析計の原理図

Fig. 1.1 Principle of infrared analyzer.

エネルギー差を検出して濃度を検知するが、赤外検知器としては測定気体の吸収波長だけに感度のあるものを使用するので気体の種類に対する選択性が高い。

赤外吸収スペクトルはある程度の巾があるために他種気体のものと一部重なる場合がありそのような気体を干渉気体と呼ぶ。干渉を生じるおそれのある場合には両光路にそれぞれ直列に各 1 本のセルを用い干渉気体を 100% 満たす。そうすれば干渉気体の吸収波長はほとんど吸収されて干渉を防ぐことができる。これを干渉セルと呼ぶ。

各吸収セルは内面をよく研磨して赤外線の反射をよくした金属パイプの両端を赤外線を透過する人工結晶の窓でふたをしたもので、人工結晶としては吸湿性の少ない材料が望ましく、使用波長範囲 1~6 $\mu$  の場合 LiF, 1~8 $\mu$  の場合 CaF<sub>2</sub>, 1~12 $\mu$  の場合 AsS<sub>3</sub> などがそれぞれよく用いられる。

以上のような構成、原理から当然考えられる赤外線分析計の本質的な特長は次のようなものである。

- (1) 測定気体に対する選択性が高い。したがって多成分系中の 1 成分の測定も可能である。
- (2) 連続的、瞬間的測定が可能で、気体濃度変化の自動記録、危険気体の濃度監視、化学的製造工程における濃度の自動調節すなわちプロセス制御が可能である。
- (3) 試料セルの長さを変えることによって測定濃度範囲を自由に換えられる。計器の測定範囲を 0~100% から 0~1% に換えることは通常容易である。
- (4) とくに希薄濃度で精度が高い。CO<sub>2</sub> の場合 0~0.1%

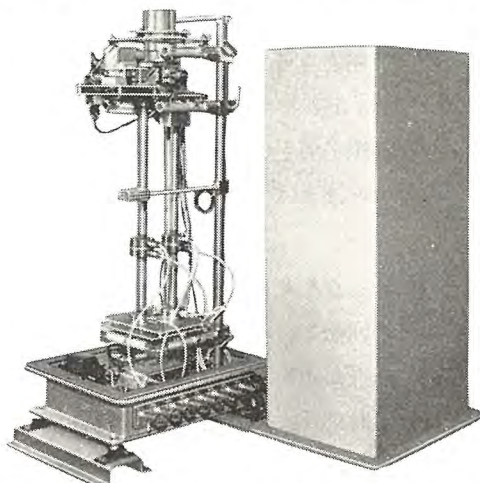


図 2.2 IA-231 形赤外線分析計本体、カバーを取はずしたところ  
Fig. 2.2 Type IA-231 infrared analyzer with cover removed.

の範囲を  $\pm 0.002\%$  の精度で測定することは容易である。

## 2. IA-231 形赤外線分析計の構成

図 2.1 に IA-231 形赤外線分析計の構成を示してある。全体は図 2.2 の本体と図 2.3 の制御部からなり、前者は赤外光源、吸収セル、検知器、光学くさびなどからなり密閉防爆形ケースに収めて工場現場におき、後者は電圧調整器、増巾器、テレメータ回路、記録計からなり中央制御室におく。

図 2.1 について説明する。赤熱ニクロム線または赤熱白金ロジウム線のような赤外光源から出た赤外線は光源セルによって能率よく両光路に送り出され、125 c/s または 150 c/s で交互に試料セルと標準セルに入射される。

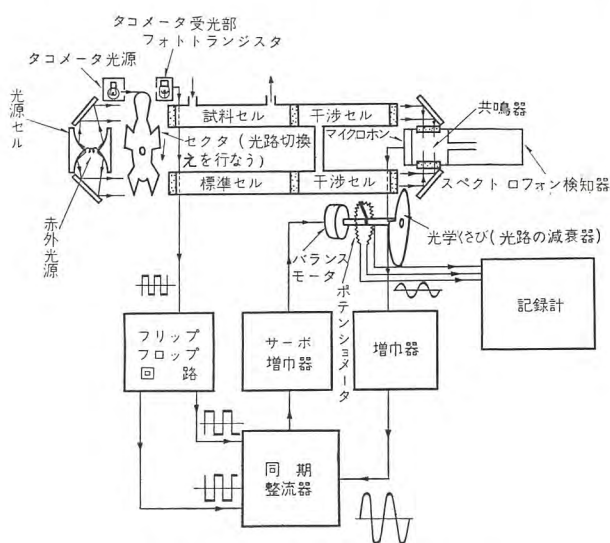


図 2.1 IA-231 形赤外線分析計の構成

Fig. 2.1 Composition of type IA-231 infrared analyzer.



図 2.3 IA-231 形赤外線分析計制御部  
Fig. 2.3 Control section of type IA-231 infrared analyzer.



両セルと干渉セルを通過した赤外線は交互に検知器に入射する。検知器は 125 c/s または 150 c/s の音響共鳴器からなるスペクトロフォン検知器であって、両光路にエネルギー差がある時だけそのエネルギー差に応じた 125 c/s または 150 c/s の交流信号を発生する。ただしその位相はいずれの光路が強いかにによって逆転する。この位相弁別の基準信号として、ランプ、フォトランジスタからなるタコメータ、フリップフロップ回路から 125 c/s または 150 c/s のく形波信号を出し、同期整流器で検知器からの信号の位相を弁別して、サーボ増巾器を通じてバランスモータが一種の光路減衰器である光学くさびを駆動し、標準セル光束が試料セル光束より強い場合には標準セル光束を弱め、逆の場合には強め両光路が等しくなると検知器信号は消失してバランスモータ、光学くさびが停止する。要するに試料セルによる赤外吸収エネルギーと等しいエネルギーを光学くさびで減衰させることになり、光学くさびは試料セル内の赤外吸収気体の濃度に自動追尾するからその回転角をポテンシオメータで指示し、記録計に記録させる。

### 3. 各部の構成

#### 3.1 光源セル

一般に赤外線関係の光学機械にはレンズを用いず反射鏡だけの光学系を採用するのが普通で、それは必要な赤外波長範囲で実用に供しうる色消レンズの製作がむずかしく、一方反射光学系は波長に拘束されないからである。また、赤外線検知器は他の波長範囲の検知器たとえば光電管、光電導セルなどに比較して信号雑音比が低く、しかも赤外線分析計には長期間にわたって高い信頼度が要求されるので光源セルは赤外線をできるだけ能率よく吸収セルを経て検知器に送りうるものでなければならない。2 光束分析計の補償性を考えても、単一光源が望ましく、光源を各光束に 1 個ずつ設けるようなことはさけない。

以上の点を考慮してわれわれは図 3.1 (a) のような光源セルを採用した。これは 2 個の背中合わせの回転 2 次曲面鏡と 2 個の平面反射鏡からなり、共通の焦点に赤外光源をおく。(b) のような従来の形式に比べて有効立体角を非常に大きくとれる点が利点である。回転 2 次曲面鏡としては、光源が焦点上にかなりの大きさでひろがっていることを考慮して、放物面ではなくだ円面を採用した。したがって吸収セルに入射する赤外線は平行光線で

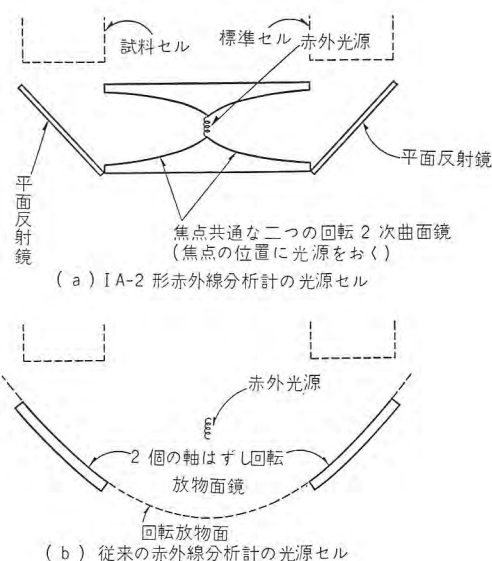


図 3.1 光源セル

Fig. 3.1 Infrared source cell.

はなく吸収セルの窓から少し奥の所に像を結ぶように入射し、ふたたび発散して吸収セル内面で数回反射を繰り返して検知器にはいる。したがって吸収セルの内面はよく研磨してある。

試料セル、干渉セルなどの吸収セルは分析内容によって長いものから短いものまで自由に変えられることが望ましく、長いほうの限界は反射損失、発散などによる赤外線の減衰によって制限されるが、このような光源セルを使用することにより最大 80 cm あるいはそれ以上の吸収セルを使用しても検知器への最低必要入射エネルギーを維持することができた。この光源セルは現在特許出願中である。

#### 3.2 スペクトロフォン検知器

赤外検知器としては熱電対、ボロメータなどの波長非選択性検知器も用いられ、これらを用いた赤外線分析計を負形分析計と称するが、IA-231 形は波長選択性検知器を用いた正形分析計である。前者は短い吸収セルで高い成分選択性を出すことができるが信頼性の点で技術的困難があり、後者は成分選択性を発揮するためには長い吸収セルが必要であるが信頼性は高い。われわれは後者を採用した。

正形分析計の検知器には通常ルフト形検知器が用いられ、スペクトロフォン検知器の使用はほとんど前例がない。ルフト形検知器は図 3.2 (a) で示すように、一定容積のセル内に測定赤外吸収気体を 100% に満たしたもので、赤外線が入射すると赤外吸収による温度上昇、圧力増大を生じマイクロホンによって検知する。左右から交



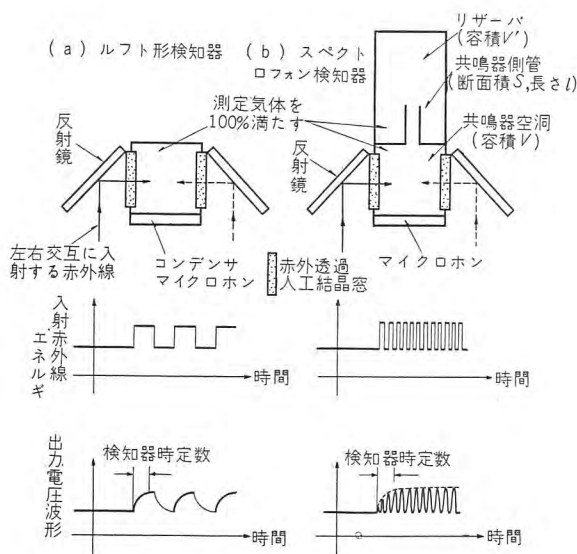


図 3.2 ルフト形検知器とスペクトロフォン検知器  
Fig. 3.2 Luft type detector and spectrophone detector.

互に入射する赤外線エネルギーに差がなければ交流信号出力は得られないが、差があると検知器時定数  $\tau$  に応じて図 3.2 左下のような電圧波形の出力が得られる。交互入射の周波数を  $f$  とすると、周波数  $f$  の正弦波振巾は  $f$  が或る程度以上大きくなると小さくなる。フーリエ解析によれば、正弦波振巾をその最大値の 90% 以上にするためには

$$f\tau < 0.1$$

を満たすように  $f$  を選ばなければならない。実用可能なルフト形検知器の時定数  $\tau$  は 0.005 秒程度またはそれ以上であるから  $f$  は 20 c/s 以下でなければ能率が低いことになる。したがってマイクロホンはコンデンサマイクロホンだけが実用可能である。また吸蔵ガス放出、漏洩などによる検知器内部圧力の変化が当然起ると考えられるので、マイクロホン振動板の背後空間と検知器セルの間に微小漏洩を設けるのが普通である。

スペクトロフォン検知器は図 3.2 (b) に示してあるように空洞と側管からなる音響共鳴器にリザーバを付けて測定気体を 100% 満たしたもので、交互入射の周波数と音響共鳴器の共鳴周波数とを一致させて感度の向上をはかったものである。検知器は

$$f = 2\pi C \sqrt{\frac{S}{l} \left( \frac{1}{V} + \frac{1}{V'} \right)}$$

ただし  $C$  は測定気体の音速

を満たすように設計すればよい。共鳴現象であるため、図 3.2 (b) の下に示してあるように、左右の赤外線に急にエネルギー差を生じると、共鳴器は共鳴振動を起しはじ

プロセス制御用高感度赤外線分析計・安東・村西・太田・石橋

め、検知器の時定数に応じて振巾がだんだん大きくなり一定値に達する。したがって交互入射の周波数  $f$  は検知器時定数と無関係に高く選べる。実用的なスペクトロフォン検知器の共鳴周波数は 100~1,000 c/s 程度であった。したがって信号周波数が高いということは、電子回路的处理が比較的容易なこと、分析計のサーボ系応答が早いこと、マイクロホンはいかなる種類のものでも使用可能であることなどの利点を有する。赤外線検知器としての利点は、割合に感度の高いものが特殊技術なしで簡単に製作できること、前記微小漏洩の代りにマイクロホン振動板の背後空間はリザーバに通じておくだけでよいことなどである。

このスペクトロフォン検知器にもやはり弱点はあり、その対策は考えておかなければならない。もっとも大きな弱点は共鳴周波数付近における強制振動であるため、入射赤外線の色相と出力信号の色相関係が変化する可能性のあることで、実用経験によれば温度変化がこの色相関係を変化させる。IA-231 形においてはセクタに対するタコメータの位置を調節できるようにしてあるが、通常  $\pm 5^\circ\text{C}$  以下の温度変化ではタコメータ位置の再調整の必要はなかった。また、測定気体が変わると検知器の共鳴条件も変わり、同一の検知器を用いるわけにはゆかないが、側管を交換または長さを変えられるようになっており、この再調整も容易にできる。



図 3.3 スペクトロフォン検知器  
Fig. 3.3 Spectrophone detector.

図 3.3 はスペクトロフォン検知器の外観で、共鳴器は腐食性の少ないステンレス鋼を使用し、接合部は二重ガスケットを使用して漏洩を極度に少なくし、一度気体を封入すれば数ヵ月間は使用できる。

スペクトロフォンを利用した赤外線分析計の一方式はすでに特許を取得しており、他の二方式については特許



および実用新案を出願中である。

### 3.3 光学くさび、トリマ

光学くさびを図 2.1 に示してある位置においたのは、標準セル入口付近よりも干渉セル出口付近のほうが赤外線がよく拡散していること、セクタより検知器側におかないと光学くさび自体の温度放射が検知器に誤差としてはいることの二つの理由による。

光学くさびは径  $r$  が角度  $\theta$  に応じて変り、軸のまわりに回転すると干渉セルから検知器にはいる赤外線に対するしゃ光量が変わるようになったものである。 $\theta$  に対する  $r$  の関係は単調増大であって、回転角  $\theta$  と測定気体の濃度指示値の関係が一次的になるように選ばれてある。

図 3.4 に示したように干渉セルの検知器側の窓の外には 2 個の手動トリマ、1 個のリモートトリマが備えてあり、前者は手動で、後者は制御部からの遠隔操作によりそれぞれく形板を光路に出し入れして両光束の強さを加減することができる。これは光学系本来

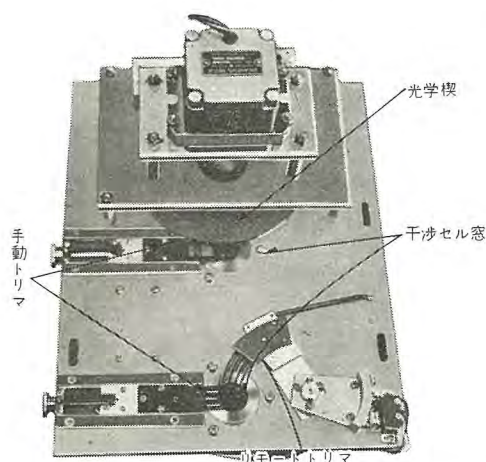


図 3.4 干渉セル末端部を検知器を除いて示したもの  
Fig. 3.4 End of interference cell shown with the detector removed.

のアンバランス、使用中の吸収セル汚染などに対処するためで、とくに凝結重合しやすいような有機成分測定に際しては数日に一度程度の 0 点補正が必要で、その際にはリモートトリマを使用する。

光学くさびの一部には一方の干渉セル窓を全部しゃ光するに足りる大きさのく形板を備えてあり、制御部からの遠隔操作により標準セル光束をシャ断し試料セル光束だけを検知器に入射させ、発生する信号を制御部の電流計で読めるようにしてある。この信号を分析計の最大有効信号 Full Beam Signal 略して F.B.S. と称する。F.B.S. を知ることは、検知器感度の目安としても、最

適吸収セル長さを決める予備実験の際にも必要である。

光学くさびの回転角は軸に直結した精度のよい精密巻線抵抗の抵抗値変化として遠く離れた制御部の記録指示計に遠隔指示される。

### 3.4 電子回路

150 または 125 c/s 検知器信号を増巾する増巾器は本体内部にあるマイクアンプ、プリアンプ、制御部にあるメインアンプからなり、その出力信号を同期整流器に送る。この信号は両光束のいずれが強いかによって、同期整流の基準信号のいずれかと同位相である。

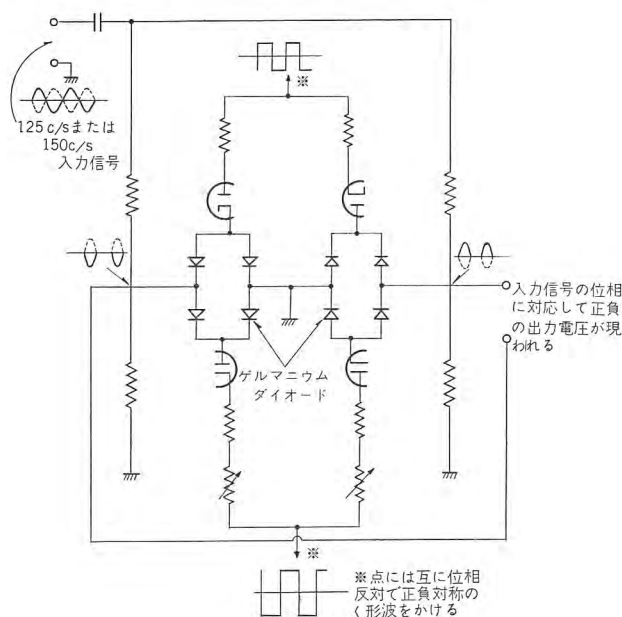


図 3.5 同期整流器

Fig. 3.5 Synchronous rectifier.

タコメータからのく形波信号はフリップフロップ回路によって整形強化され、二つの互に位相反対な正負対称く形波として同期整流器のゲート開閉を行なう。同期整流器は図 3.5 に示したように 2 組のゲート回路からなり、検知器からの信号を接地、開放を交互に行なう。したがって同期整流器の出力端子には、両光束のいずれが強いかによって互に極性逆の直流電圧が誘起される。このような形式の同期整流器を採用した理由は、回路要素の特性変化による誤差を極度に小さくするためであるが、実用した結果では数ヵ月またはそれ以上の長期間再調整の必要はなかった。

サーボ増巾器は同期整流器からの直流電圧信号の極性に応じて位相反対する商用周波数信号を出し、バランスモータを正転または逆転させる。

### 3.5 その他

本体は必要ならばサーモスタットを取付けて、内部温



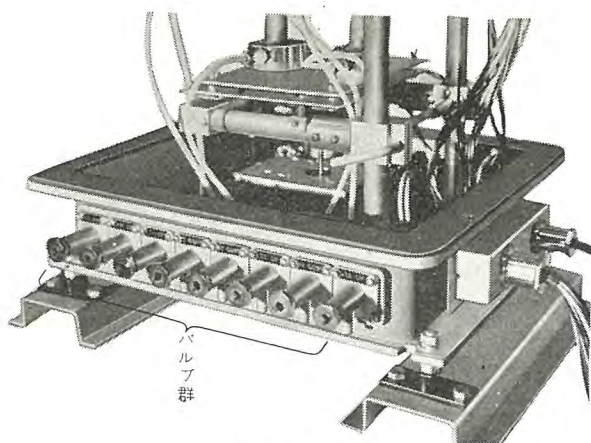


図 3.6 本体底部

Fig. 3.6 Bottom of the main assembly.

度の一定化または周囲温度より上げることによる試料セル内の凝縮防止を行なうことができる。防爆および防水構造の密閉ケースに収め、内部空気の窒素置換も可能である。本体底部には、試料セル用2個、標準セル用2個、干渉セル用2個、ケース内部用2個の合計8個のニードルバルブが図3.6のように取付けてある。また内部の配管にはテフロンパイプを使用し、ステンレス鋼の吸収セルとあいまって腐食性試料に耐えるようにしてある。

本体は工場現場に、制御部は制御室に置かれ、両者の間は最大 100 m のケーブルで接続される。

#### 4. 分析に対する見通し

数種の混合成分中の1成分の測定がわれわれの実験室に初めて持込まれた場合を想定して、分析計使用の一助としたい。これはユーザ各位にとっても重要な項目と思われる。

まず測定気体の音速から共鳴条件を決定し、その設計値の前後で側管の長さを微調して F.B.S. 最大の点に固定する。この F.B.S. の大きさは分析の難易すなわち分析計の精度に直接関係する。以上が検知器の調整のすべてであるが、もし必要な F.B.S. が得られない場合、測定気体と水素、アルゴンなどを混合して検知器に満たし、F.B.S. を上げる方法もある。

つぎに共存成分の干渉の模様を知るため、測定気体とそれらの気体の赤外吸収スペクトルを比較し、吸収スペクトルの重複がまったくない場合は干渉はないと考えてよく、重複しているように見えても、スペクトルを測定した赤外分光器の分解能が有限であるために実際には干渉がない場合もある。長さ  $l$  の吸収セルに、種々の濃度  $C$  の各気体を満たした場合の F.B.S. 測定結果が積  $Cl$

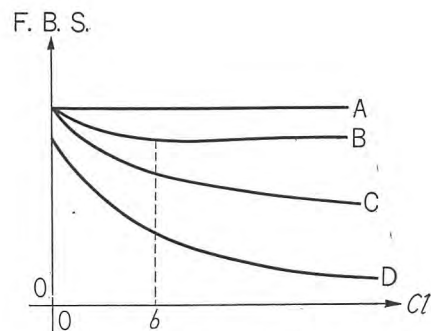


図 4.1 F.B.S. と吸収セル  $Cl$  値の測定例

Fig. 4.1 Example of measurement of F.B.S. and absorption cell  $Cl$  value.

に対し図4.1のとおりだったとする。気体 A は干渉しないことを示す。気体 B は  $Cl > b$  の範囲では F.B.S. が一定であるから、長さ  $l$  の干渉セルに  $\frac{b}{l}$  の濃度に気体 B を満たせば干渉が除けることを示す。気体 C は実現可能な  $Cl$  値の範囲で F.B.S. が一定にならないが、変化割合は小さくなっている。したがって気体 C は干渉セルに入れることによってその干渉の度合を少なくすることはできるが、干渉を除くことはできない。このようにして共存成分を全部調べ、干渉セルに入れるべきものはすべて満たした後、試料セルに測定気体 D を種々の濃度に満たして図のような曲線 D を得たとする。この曲線によって、測定気体の濃度変化に対する F.B.S. 変化がわかり、適当な試料セルの長さを推定することができる。ただし、 $Cl$  を一定に保っても  $l$  が大きくなれば反射損失などによって F.B.S. が小さくなることも考慮しなければならない。

#### 5. 実験結果

光源の強度変化は原理的には指示値に変化を与えないはずであるが、実験によって確かめて見たのが図5.1である。

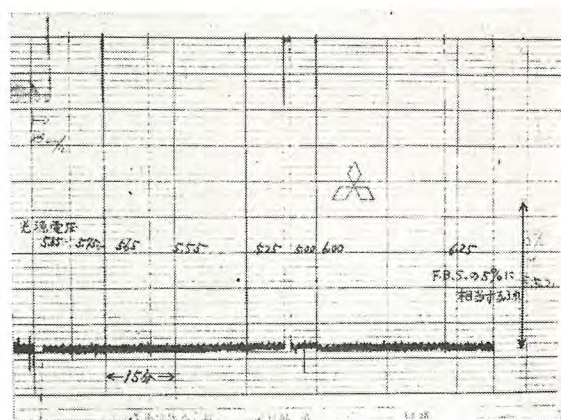


図 5.1 光源の強度変化に対する零点変化(青酸ガス検知器)

Fig. 5.1 Zero shift for the change infrared intensity.



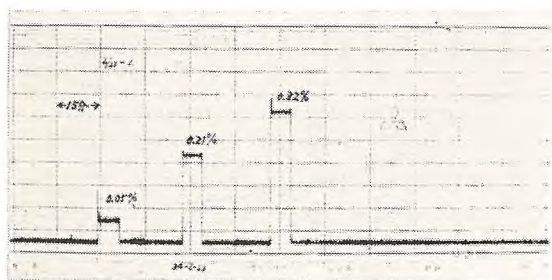


図 5.2 N<sub>2</sub> 中 CO<sub>2</sub> の測定結果 (1)

Fig. 5.2 Measured result of CO<sub>2</sub> among N<sub>2</sub> (1).

5.85 V で常用する光源の電圧を、記入してある電圧値に変えて見たが、ほとんど変化はなかった。

分析計の性能の目安として、N<sub>2</sub> 中の CO<sub>2</sub> の濃度測定の結果を図 5.2 に示す。フルスケールが CO<sub>2</sub> 濃度約 0.5% の場合、フルスケールの  $\pm 1\%$  以上の精度で測定できる。さらに希薄になると精度は悪くなる。再現性は 24 時間以内ならば精度の範囲内にはいる。

## 6. む す び

開発にあたっては、設計、調整を物理第一研究室、気体標準試料の調製、使用材料の腐食試験を化学第一研究室、化学第二研究室が担当し、特殊構造の光源セルおよ

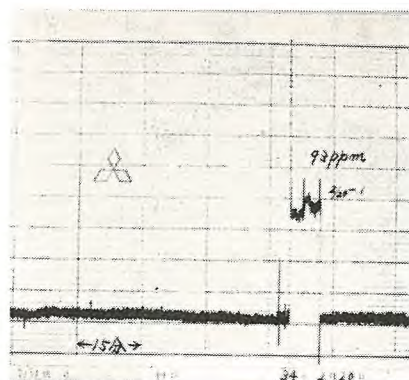


図 5.3 N<sub>2</sub> 中 CO<sub>2</sub> の測定結果 (2)

Fig. 5.3 Measured result of CO<sub>2</sub> among N<sub>2</sub> (2).

び検知器の加工にあたっては工務課担当者がとくに工夫をこらすなど、各方面の協力の結果完成したものである。

## 最近における当社の社外講演一覧

講演 年月日	主催または開催地	題 名	講 演 者	所 属 所
34-4-3	電気4学会連合大会	リレーサーボの実験例	吉山裕二	研究所
"-4-3	"	接着鉄心	伊藤公男	"
"-4-3	"	スリップリング傷損とブラシ摩耗	森田義男	"
"-4-3	"	銀系接点の消耗移転	岩村武志	"
"-4-3	機 械 学 会	機械式マニピュレータ	菰原 智	"
"-4-3	物 理 学 会	ZnS 単結晶の橙色電場発光	伊吹順章	"
"-4-4	電気4学会連合大会	電界変位形単向管フェリコアの形状配置	中原昭次郎	"
"-4-4	"	312,000 kVA 275 kV 変圧器	村上 有	伊 丹
"-4-4	"	油中断路器付エレファントブッシング	南角英男	"
"-4-4	"	電力ケーブル試験用 1,050 kV 交流発生装置	嶋 裕 史	"
"-4-4	"	避雷器の爆発防止装置とその実験結果	大木正路	"
"-4-4	"	トロリ・バス用新形式電機品について	宮内圭次	"
"-4-4	"	避雷器用非直線特性要素の抵抗体放電耐量	鎌田隆好	"
"-4-4	"	変圧器さい断波試験におけるさい断時間の制御方式	岩崎晴光	"
"-4-5	電気4学会連合大会	120 V 14 kV 電気化学用風冷式シリコン整流器	加藤又彦	"
"-4-5	"	水冷式密封形イグナイトロンの等価試験	塚本昭三	"
"-4-5	"	水銀整流器の速応性広角度制御回路	細 野 勇	"
"-4-5	"	交直両用電車用シリコン整流器	横 昌 洋 志	"



# 中性子モノクロメータ

日本原子力研究所

大野 善久\*

三菱電機研究所

薮原 智\*\*\*・宮下 恭——\*\*\*\*

茂木 充\*\*\*\*\*・大野 栄——\*\*\*\*\*

## Neutron Monochromator

Japan Atomic Energy Research Institute

Yoshihisa OHNO

Research Laboratory

Satoru HAGIHARA・Kyōichi MIYASHITA  
Mitsuru MOGI・Eiichi OHNO

A neutron monochromator is a system of devices to pick out neutrons of specific energy from those in a reactor through the application of "Bragg" reflection, being used for the study of nuclear properties of sample nucleus. It was installed, in November 1958, to a JRR-1 (water boiler type) reactor of the Japan Atomic Energy Research Institute. In operation sufficiently collimated neutron beam is projected to a large single crystal (LiF, Be, etc.) and the reflected beam is detected by means of two large BF<sub>3</sub> counters. For the measurements of "Bragg" angle, an accurate dial capable of reading as precise as  $\pm 1$  sec. is used. In driving the arm, a large precision gear is employed. All of the fine adjustment devices are controlled remotely, and the results are recorded automatically.

### 1. ま え が き

中性子モノクロメータは原子炉の中性子束から望みの単一エネルギーの中性子だけを選び出す装置で、中性子チョッパと並んで、主として試料の中性子に対する原子核的性質を研究するのに不可欠のものである。

わが国初の原子炉 JRR-1 (湯わかし形) が東海村の日本原子力研究所で動き出してから、中性子チョッパと中性子モノクロメータがほとんど同時期に計画された。モノクロメータは昭和 33 年 2 月当社が受注、昭和 33 年 11 月に完成し、すえ付を完了した。すえ付後の調整も終了したのでそのあらましを報告する。

原子炉という強力な中性子源は原子核研究にもまったく新しい方法と可能性を与えた。原子核物理学は天然の放射性物質からの放射線を利用することから出発し、つぎに高エネルギーにまで加速した荷電粒子を駆使して、原子核の構造やその化学の解明に新しい分野を切り開いてきた。ここでの実験装置としては加速器が中心であった。原子核分裂の連鎖反応装置が原子炉として実現したことは、今日の原子力発電への一つの本質的に重要な道をきり開いたという意味で、核物理学の大きな実用的成果であったばかりでなく、核研究自身にとっても一つの夢を実現したのであった。

原子炉は従来の放射性元素や加速器では想像もつかな

かった高密度の、しかも連続して安定な、中性子の流れを提供したのである。そこで原子炉を中心にして、これから得られる中性子束をそのエネルギーごとにふり分け、この中性子を用いて原子核的諸性質を研究する分野が開けた。そしてさらにこの方法は物性論的物理学研究にまで広げられた。

### 2. 概 説

原子炉の熱中性子ないし共鳴中性子領域に属する低エネルギー中性子をそのエネルギーに従ってふり分ける方法には大別して 2 種類がある。

一つは中性子の飛行速度の違いを利用する方法で、チョッパなどはこれを利用したものである。たとえば、チョッパ・時間分析器方式は、原子炉実験孔から引出された中性子を、機械的シャッタで  $\mu$  sec 程度の時間巾の中性子群に切りとり、これを一定距離 (数 m ~ 十数 m) 飛行させて、その飛行に要する時間をもって、中性子その運動エネルギーごとによりわけようとするものである。

第二の方法は中性子の波動的性質を利用するもので、これが中性子モノクロメータである。これが初めて作られたのは米国アルゴンヌ研究所 (ANL) では Zinn<sup>(1),(3)</sup>、オークリッジ研究所 (ORNL) では Borst など<sup>(2)</sup> によってであり、その後各所で作られるようになった。

量子力学的二重性から、中性子は次式で表わされる波

\* 核物理研究室 \*\* 機械研究室 \*\*\* 物理第一研究室 \*\*\*\* 電気第二研究室 \*\*\*\*\* 電気第一研究室



長の波動性を示す。

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2ME}} \dots\dots\dots (2.1)$$

$h$ : プランクの常数 (erg·sec)

$M$ : 中性子の質量 (g)

$E$ : 中性子のエネルギー (erg)

これを熱中性子の平均エネルギー 0.025 eV に適用するとその波長は 1.82 Å となる。この大きさが原子の大きさまたは結晶内の原子間間隔の程度であることに注意すれば、中性子を波動として取扱う限り、X線回折ときわめて似ていることがわかる。波動は規則的な間隔で並んだ散乱面に入射すると干渉散乱をうける。原子炉から出てくる中性子束には各種のエネルギーのものが混ざっている。これを散乱体である単結晶の、結晶面に対して  $\theta$  なる角度で入射させると、よく知られたブラッグの条件

$$n\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (2.2)$$

で表わされる波長  $\lambda$  の中性子だけが、反射角  $\theta$  の方向に選り出されて反射されてくる。いわゆるブラッグ反射、またはブラッグ回折と呼ばれる現象である。ここに

$n$ : 整数 (散乱の次数)

$d$ : 結晶の格子面間隔

したがって、中性子のエネルギーすなわち波長は、反射角または入射角の関数として得られる。中性子モノクロメータが中性子結晶スペクトロメータとも呼ばれる理由はここにある。

原子炉中性子をコリメータで平行にし、実験孔から引き出す。これを大きな単結晶 (LiF, NaCl, Pb, Be など) に入射させる。この結晶面は入射方向に対し  $\theta$  だけ傾けられている。反射した中性子は、入射方向に対し  $2\theta$  の方向に検出器を置くことによって検出される。結晶面と検出器は正確に 1:2 の角度比で回転可能になっている。

では、この装置のエネルギー分解能および使用可能領域はどうであろうか。エネルギー分解能を  $\Delta E/E$  で定義すれば、式 (2.2) より

$$\frac{\Delta E}{E} = 2 \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = 2 \cot \theta \cdot \Delta \theta \dots\dots\dots (2.3)$$

$\Delta \theta$  は、コリメータでできる中性子束の広がりや結晶の不完全性からくる広がりなどで定まる量である。これを除けば分解能は角度  $\theta$  だけの関数になり、 $\theta$  が小さくなるにしたがって分解能は加速度的に悪くなることがわかる。またこれがこの装置の実用可能なエネルギー上限をきめる一つの要素となる。

分解能を上げるには、結晶面間隔  $d$  の小さい結晶を選ぶのも一つの方法である。そしてこの方法でエネルギー上限も広げられることは、ブラッグの条件から明らかである。しかし実際の問題としては、エネルギー上限を無制限に延ばすことはきわめて困難である。原子炉の中性子スペクトルはよく知られているように、1 eV 付近より上方では、 $1/E$  に比例して強度が小さくなっている。また結晶の反射率が同じく  $1/E$  に比例し、BF<sub>3</sub> 計数管の検出効率が  $1/\sqrt{E}$  に比例することを考え合わせるならば、このことは明らかであろう。またエネルギー上限を上げるのに、反射の次数  $n$  の高次のものを利用するのも、結晶の反射率が  $1/n^2$  に比例することからみて、特殊な場合を除き、あまり役にたたないであろう。

これに反し、中性子モノクロメータは低エネルギー側には有利である。(もちろんこれは原子核実験でも問題にしているようなエネルギー領域においてであるが。) この場合には、原子炉熱中性子が低エネルギー側で減少していることと、高次の反射による妨害だけがおもな限界と考えられる。

中性子モノクロメータはこのような性能を利用して、おもに熱エネルギーから共鳴エネルギー領域において、試料元素の透過法による全断面積を、エネルギーの関数として測定するのに用いられている。その他特殊な場合には、散乱断面積や放射化断面積の測定にも用いられる。放射化断面積などをエネルギーの関数として測ることができるのは、チョッパなどがもっていない特長である。

### 3. 設計の方針

中性子モノクロメータの実際の性能 (使用可能エネルギー範囲、その確度ならびに分解能など) は、使用する原子炉の性質、使用する実験孔の中性子束密度、コリメータの性能、結晶の種類およびその良さ、角度回転機構の精度、読取角度の確度などによってきまってしまう。

使用する原子炉としてはさしあたり JRR-1 (湯わかし形) である。JRR-2 (CP-5 形) が運転を開始すれば、これに移動させても使用可能のように考慮した。

原子核の構造研究という観点からすれば、原子炉中性子のエネルギー領域 ( $10^{-2} \sim 10^2$  eV) は核子の結合エネルギー (8 MeV 程度) に比べて十分小さい。したがってこのような中性子が試料原子核と相互作用するときは、ちょうどその複合核の結合エネルギーより少し上の励起準位が関係してくる。中性子モノクロメータや中性子チョッ



表 3.1 使用実験孔の最大中性子束密度

	JRR-1 (50 kW)	JRR-2 ((10,000 kW)
熱中性子束密度 $n/\text{cm}^2/\text{sec}$	$6.3 \times 10^{11}$	$6 \times 10^{13}$
速中性子束密度 $n/\text{cm}^2/\text{sec}$	$1 \times 10^{11}$	$2 \times 10^{13}$

パは、複合核のこの辺の共鳴準位の性質の研究にきわめて有効な（むしろ他の方法では不可能に近い）強力な武器である。

こういった共鳴準位の研究にわれわれのモノクロメータを役立たせるにあたって、まずわれわれの入手できる結晶を用いたときに、その角度とエネルギーの関係は  $\lambda$  を  $\text{\AA}$ ,  $E$  を eV で表わすと

$$E = \frac{0.0818}{\lambda^2} \dots\dots\dots (3.1)$$

となるから、ブラッグの条件をかき直して

$$E = \frac{a^2}{4d^2 \sin^2 \theta} \dots\dots\dots (3.2)$$

または

$$\theta = \sin^{-1} \left[ \left( \frac{a}{2d} \right) \frac{1}{\sqrt{E}} \right] \dots\dots\dots (3.3)$$

となる。ここに  $0.0818n^2 \equiv a^2$  ( $a$  は常数)

$d$  は  $\text{\AA}$  で表わしたものとす。計算値は表 3.2 のようになる。

表 3.2  $E$  と  $\theta$  の関係 (LiF 結晶の場合)

$E$ (eV)	$2\theta$ (1,0,0) 面	$2\theta$ (1,1,1) 面
0.005	60° 48' 19"	—
0.01	42 01 20	75° 26' 11"
0.05	18 18 49	32 11 05
0.10	12 59 43	22 36 20
0.50	5 48 08	10 03 26
1.00	4 06 37	7 06 25
4.00	2 03 02	3 33 06
5.00	1 50 01	3 10 37
10.00	—	2 14 46

またある中性子共鳴準位のエネルギー巾  $\delta E$  に対応する角度の巾  $\delta \theta$  は、式 (3.3) より

$$-\delta \theta = \frac{1}{2} \frac{a}{2d} \frac{1}{E \sqrt{E - \left(\frac{a}{2d}\right)^2}} \delta E \dots\dots\dots (3.4)$$

比較的低エネルギーに共鳴をもつような若干の原子核についてこれを求めてみると、LiF 単結晶を使用したモノクロメータでは表 3.3 のようになる。

さきに述べたように、結晶の  $d$  が与えられ、対象とする中性子エネルギー  $E$  が与えられると、エネルギー分解能

表 3.3  $\delta E$  と  $\delta \theta$  の関係 (LiF 結晶の場合)

	共鳴エネルギー (eV)	$\delta E$ (eV)	$\delta \theta$ (1,0,0)	$\delta \theta$ (1,1,1)
Rh	1.25	0.17	14' 58"	26' 02"
In	1.45	0.1	7 03	12 15
	9.1	0.4	1 48	3 07
Cd	8.9	0.6	2 47	4 49

$\Delta E/E$  は装置自身のもつ角度の広がり  $\Delta \theta$  できまってしまう。しかるに表 3.3 の共鳴パラメータを正確にきめるためには、 $|\delta \theta| \gg |\Delta \theta|$  であることが必要である。

さて、 $\Delta \theta$  はコリメータの開き角と結晶の良さ（モザイク構造による広がり）に関係するが、前者は工作精度できまり、後者は結晶によって限界がある。LiF は 20 分程度であるといわれているので、コリメータの開き角は 20 分くらいに選ぶ必要があった。したがって表 3.3 の共鳴準位は分離できても共鳴パラメータを決定することは困難であろう。

もっと良い分解能は結晶に金属ベリリウムを用いることによって期待される。ベリリウムのモザイクの広がり は 2 分ないし 5 分といわれているし、たとえばその (4,2,1) 面を利用すれば  $d=0.75 \text{\AA}$  であるから、分解能を犠牲にせずに、エネルギーの高い側に使用領域を広げることできる。これは JRR-2 が使用可能になれば、より高い中性子束が得られるから、実現できると思われる。このため、コリメータには別に開き角 2 分のものが必要となった。

つぎに結晶台および回転アームの角度については、直接中性子エネルギーの指標になるのであるから、その確度が重要である。通常の測定には（表 3.3 参照）回転アームの角度 ( $2\theta$ ) にして、60 秒、40 秒、20 秒の間隔で測定点がとれるように考慮し、またこの角度絶対値は  $\pm 1$  秒までの確度で読取可能な目盛板で較正することにした。

要するにモノクロメータ機械装置は、今日の工作技術の限界に近い精度をもち、かつかなりの大きさをもった機械となった。（図 3.1, 3.2, 3.3）詳細は後節に記述する。

つぎにこの機械を運転し測定を行なう測定制御装置について述べよう。

炉実験孔に取付けられた機械装置には、各種の操作、

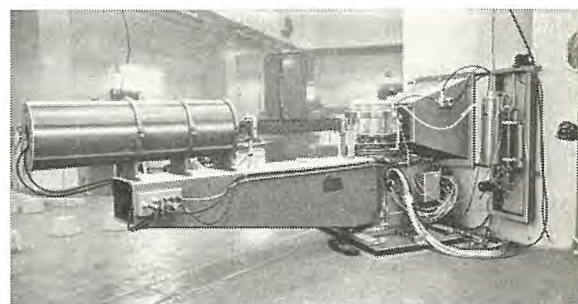


図 3.1 中性子モノクロメータ機械装置（側面から）

Fig 3.1 Neutron monochromator  
(Viewed from the side)



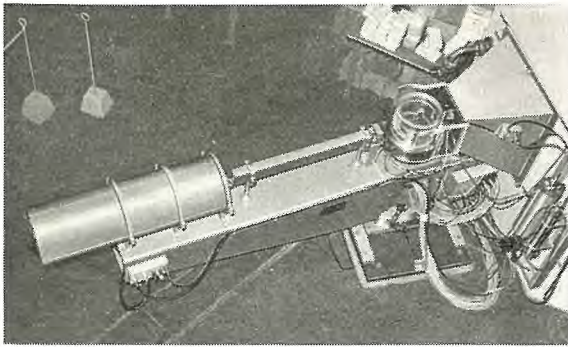


図 3.2 中性子モノクロメータ機械装置（上方から）  
Fig. 3.2 Neutron monochromator.  
(Viewed from above)

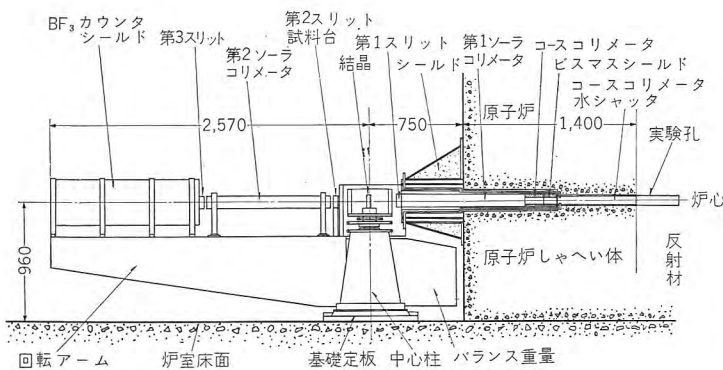


図 3.3 中性子モノクロメータ組立配置図  
Fig. 3.3 Arrangement of assembled neutron monochromator.

調節機構が付属している。これらは (A) 原子炉運転中に高い中性子束やガンマ線束中で微細調節ができることが望ましい。(B) またそれが中性子測定装置を監視しながら一人でも行なえることが望ましい。そこでこれらの調節機構および指示はすべて炉実験孔から離れておかれた制御装置から行なえるようにした。また (C) 一般にこの種の測定は一連の測定にかなりの長時間（数時間ないし十数時間）を要するので、自動的に行なわれることが望ましい。(D) また長時間の測定では、その間原子炉出力を一定に保つことが種々の事情（炉自体の温度不平衡による漂動、制御系の漂動、他の実験からの要求による出力変動または試料挿入によるじょう乱）からむつかしいので、通常に行なわれる単位時間あたりの計数をとることをやめ、この装置専用の中性子モニタを設け、このモニタの計数値をもって装置への入射中性子数の指標とした。このような測定制御装置で長時間の測定を一人で容易に行なえるようにしたことも、このモノクロメータの一つの特長である。

#### 4. 機械装置の構造

この装置の機械構造は図 3.1, 3.2 や図 3.3 に示すよ

うに原子炉実験孔の出口にすえ付けられた結晶と中性子検出器を回転する機械と実験孔内部より中性子を導き出す各種の装置および付属のしゃへい体である。以下これらについて述べる。

##### 4.1 実験孔構造

使用された実験孔は JRR-1 No. 5 の 4" 水平実験孔で、熱中性子束  $6.3 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$  (50 kW 出力) のものである。この実験孔のシールドプラグを抜き、その中に中性子束を導き出し、 $\gamma$  線をしゃへいするプラグを挿入した。プラグの構造は図 3.3 に示すように全長約

2 m のアルミ合金筒で作られ、内部にコースコリメータ、ビスマスシールド、ソーラスリットが収められている。

実験孔先端部に出てきた中性子束はコースコリメータでほぼ平行なビームにそろえられる。コースコリメータは全長 50 cm 外径 90 mm のグラファイトの筒で作られ、中央に中性子を導く四角すいの穴がけられ、先端は  $60 \times 50 \text{ mm}$  後端で  $60 \times 30 \text{ mm}$  とすぼめられている。またコリメータの内外面は 1 mm のカドミウムの板におおわれ、コリメータに

斜に入射した熱中性子は吸収されるようになっている。このカドミウムでおおわれたコリメータはそのままアルミ合金筒の中に収め、筒の前後は 1 mm の厚さのアルミ合金板で完全に密封され、2 本の排水注水の配管がほどこされる。これは実験を中止している際、コースコリメータの中に水を満たして中性子をしゃへいするため、水シャッタの作用をする。

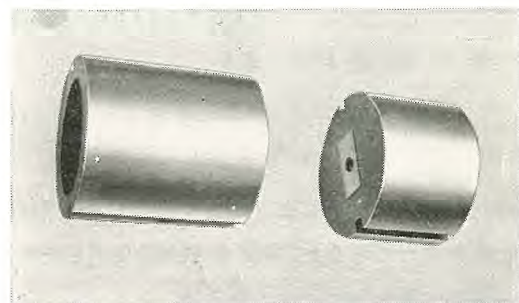


図 4.1 ビスマスシールドとコースコリメータ  
Fig. 4.1 Bismuth shield and coarse collimator.

ビスマスシールドは図 4.1 のような形状で 99.99 % のビスマスを 100 mm の厚さに入れて  $\gamma$  線をしゃへいする。ビスマスは  $\gamma$  線と中性子線に対する衰弱距離が約 2.5 cm と 9 cm となり、 $\gamma$  線はいちじるしく減衰するが中性子線束はわずかに減衰するだけである。このよう



に実験孔内で $\gamma$ 線をしゃへいするのは実験孔を出て広がった $\gamma$ 線をしゃへいするより非常に有効な方法である。ビスマスは鉛に比べて放射性をもつ危険が少ないので高純度のビスマスを採用した。弱い中性子線の測定の場合には中央部に  $60 \times 30$  mm の穴をあけられるように工作されている。ビスマスシールドを通過すると中性子線がかなり散乱されるのでふたたびグラファイトのコースコリメータを通過させて第1のソーラコリメータに入れる。

第1ソーラコリメータは実験孔の出口にもうけられる。これは外形  $100 \times 70$  mm 窓穴寸法  $60 \times 30$  mm 長さ 1 m のもので、一定の間隔で  $5/100$  mm の鋼板が平行に並んでいて、中性子を数分の精度で平行にそろえる作用をする。これは図 4.2 に示すようにプラグの出口で鋼製のシールドプラグの中に入れて装置される。また出口端にモニタ検出器が収められている。

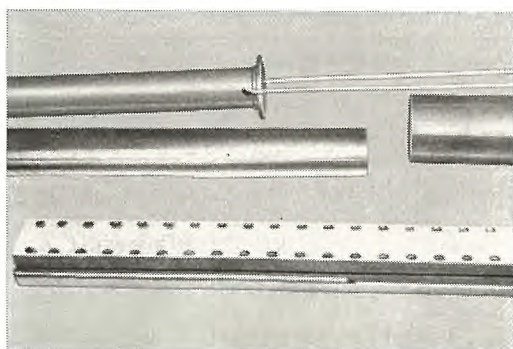


図 4.2 ソーラコリメータとコースコリメータ  
Fig. 4.2 Soller collimator and coarse collimator.

#### 4.2 結晶と中性子検出器の回転駆動機構

結晶と中性子検出器は結晶回転台を中心にして正確に 1:2 の回転角度比で連動する。その精度は両者ともに角度の精度が  $\pm 5$  秒以内で 1 秒の読取ができる角度読取目盛板が付けられている。結晶は外形約  $80 \times 80$  mm 厚さ 10~20 mm の単結晶で LiF, Be, Pb などであり結晶回転台に取付けられる。中性子検出器は長さ 1 m, 直径 50 mm の  $\text{BF}_3$  カウンタ 2 本を重ねて使用し、その外側は厚さ 200 mm のパラヒンと  $\text{B}_2\text{O}_3$  の混合物でシールドする。このシールドの重量が約 150 kg となり、その他スリットや第2ソーラコリメータなどが回転アームの中心線上に直線に並べられるため、アームは全長約 2.5 m と長いものとなり、さらに中心回転軸に対してつりあいをとるため反対側に約 1 t のバランスを積み込んでいる。したがって、回転する重量は約 1.5 t となり、しかも回転中心に対して正確に  $\pm 5$  秒以上の精度で結晶台と連動するためには、きわめて精密で剛性のある構造

中性子モノクロメータ・大野・菰原・宮下・茂木・大野

が必要とされる。角度送りは手動、電動の両方が行なわれ、また連続測定にはすべて自動的に動作するようにすべて電動で遠隔操作する。結晶台の微調整などもすべて制御板の位置で操作するようになっている。

回転機構の中心は、基礎定板の上を水平に 20 cm 移動する鋼板の中心に垂直に立てられた中心柱で、根本の直径は約 350 mm 上部は約 50 mm で全長約 900 mm のアルミ合金鋳物である。その各段には玉軸受が入れられ、いずれも回転中心となるため精密な加工がほどこされている。この中心柱に大形テーパロー軸受と玉軸受でささえられる回転環が取付けられる。この回転環には総重量約 1.5 t が乗せられるが、これはテーパローを介して加えられ、中心を正確に保つとともに低い摩擦抵抗で回転できるようになっている。回転環の両端には回転アームとバランス重量が取付けられ、上端には駆動用のウォームギヤと下端には角度測定用の顕微鏡が取付けられる。中心柱と回転環はすべて高精度の機械加工を行ない、軸受はすべて焼ばめによって静合に取付けられている。回転アームは重量の軽減と剛性をもたすために、アルミ合金板の溶接構造で、角筒に仕上げ、回転環にテーパピンとボルトで結合されている。回転アームの剛性は先端に 150 kg の荷重が加えられた時、 $5/100$  mm 以下のたわみをもつようになっており、振動やその他の外力にも十分な精度でソーラコリメータ、スリットなどを保持して回転できる。

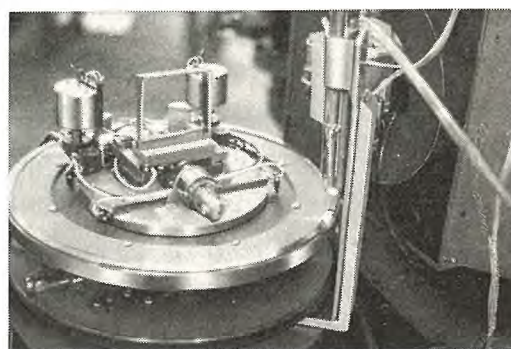


図 4.3 結晶と結晶回転台  
Fig. 4.3 Crystal and crystal turning table.

結晶は図 4.3 のように三脚のついた結晶台に取付けられ、この台が中心柱上端に玉軸受を介して回転する結晶回転台の上に乗せられている。結晶台の三脚のうち2脚は  $\pm 2$  mm の移動がマイクロモータで行なわれ、結晶を垂直軸に対し任意方向へ傾けることができる。また  $\pm 5$  mm だけ前後させ、結晶面を回転中心と合わせることができる。これらはマイクロモータで遠隔操作されると



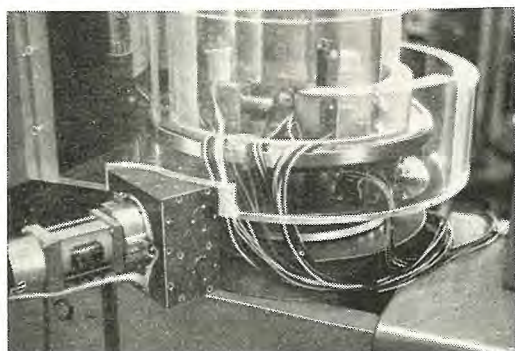


図 4.4 駆動モータと減速歯車  
Fig. 4.4 Driving motor and reduction gear.

もに、その位置もポテンシオメータで遠隔指示され、またリミットスイッチにより限界停止も行なわれる。したがって結晶の調整は制御板の位置ですべて簡単に操作されることになる。結晶台を乗せた結晶回転台は、中心柱上端に2個の玉軸受で支持され、その下にマイクロモータで駆動するウォームギヤを介して、回転駆動の精密ウォームギヤと結合している。マイクロモータ駆動のウォームギヤは結晶と検出器の角度を一致させる微調整に用いるものであり、また結晶だけを単独回転させるにも使用される。結晶回転台には精密目盛板が取付けられ、中心柱から取出した支持棒に読取顕微鏡が付けられている。

回転駆動機構は図 4.4 に示したように、平歯車1段、ウォーム減速3段によって2系列に減速して結晶台と回転アームを駆動する。駆動は出力 3 W の二相サーボモータで、速度制御して運転され、モータの1回転に対してアーム回転角が2秒に相当する 64,800 分の1の減速が行なわれる。最終段ウォームギヤの精度がもっとも精密を要するもので、ウォームは特殊鋼の焼入研磨したもので仕上りのピッチ誤差は  $\pm 3 \mu$  以下のものであり、ウォームはアームスブロンズ製で、ホブ盤による切削しばなしのものを、ピッチ誤差  $\pm 5 \mu$  以下に仕上げられている。その前段のウォームはそれほどの精度を必要としないが、いずれも最終段ウォームギヤの精度に影響しないように、十分な精度で軸のたわみ、ねじりなどの弾性変形をも考慮して設計されてある。減速ギヤケースは鋼板のグラインダ仕上による組立式で軸受穴はジグボラにより加工されている。またモータの回転数はマイクロスイッチによってそのまま角度指示計に示され、アーム回転角は電氣的に 10 秒の精度まで遠隔指示されている。また自動送り用の回転角指示もマイクロスイッチによりパルスで信号を発生させている。また手動送り用回転輪も取付けられている。

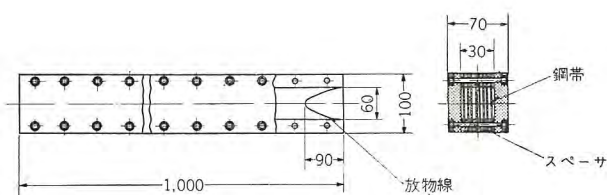


図 4.5 ソーラコリメータ  
Fig. 4.5 Soller collimeter.

### 4.3 ソーラコリメータ

ソーラコリメータは図 4.5 に示すような寸法のものでストリップとして 5/100 mm,  $\pm 3/1000$  mm の SPH-1C の鋼板を使用した。ソーラコリメータの開角を 2 分と 20 分のもの 2 種を作成するため、スペーサ金具としてアルミ合金製の帯で厚さ 55/100 mm,  $\pm 1/100$  mm のものを用い、2 分の開角には鋼板とスペーサを 1 枚おきに用い、20 分の時 11 枚を重ねて使用した。側板はストリップを真直に張る場合の基準にするもので、20 mm 厚さのアルミ合金板を機械加工によって平面に仕上げて使用した。これらをしめつけるボルトは鋼製で、50 mm の間隔でしめつけられている。ソーラコリメータの組立は 5/100 mm のストリップをまっすぐに、並行に並べる。このため鋼とアルミの膨張係数の差<sup>(4)</sup>を利用して低温で組立てて常温にもどったときストリップを十分な張力で引張って平面を出す方法を採用した。膨張係数の差は  $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  であり、約  $100^{\circ}\text{C}$  の温度差で  $1,400 \times 10^{-6}$  のひずみを生じるので、ストリップは十分強い力で引張られる。またボルトとアルミスペーサの間にも強いしめ付力を生じ、ストリップとスペーサの間にすべりを生じることがなくなるので、障子紙を張る時のような状態になる。ストリップの両端は放物線状の切込をもうけ、平面上に両方に引張られたストリップの端面での応力の不均等によるしわの発生を防いである。実際の製作はアルコールとドライアイスの混合液中に漬け、 $-90^{\circ}\text{C}$  で組立を行ない常温にもどした。直線を出すために大形の治具を用いて、きわめて高精度に組立てられている。

### 4.4 スリットと試料台

中性子ビームの通路には3箇所のスリットが置かれてある。このスリットは図 4.6 のように、窓穴  $60 \times 30$  mm のとびらで中心より両開する。とびらはアルミ合金の箱に 400 メッシュのボロン・カーバイドをパラヒンで固めて埋込んだもので、厚さ 20 mm で熱中性子を完全にしゃへいできるものである。スリットの開閉はマイクロモータで行なわれ、その開閉の位置はポテンショで遠隔指



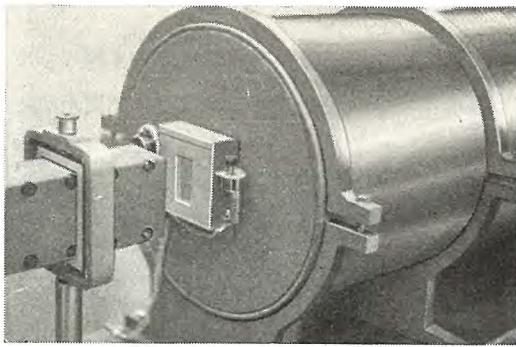


図 4.6 第3スリット, カウンタシールド,  
第2ソーラコリメータ調整取付装置

Fig. 4.6 Slit and counter shield.

示されている。試料台もボロン・カーバイドでしゃへいされたわくの中心に  $60 \times 30$  mm の試料を落し込む方式のものである。

#### 4.5 各所のしゃへい

実験孔内部の $\gamma$ 線シールドにビスマスを用いており、しゃへいで問題となるのは、実験孔出口部の中性子と $\gamma$ 線である。このために実験孔出口部は約 50 cm の厚さに図 3.2 のような四角すい体のしゃへい体を作り、実験孔の周囲にアクリル 3 cm, 鉛 5 cm, ポラルプレート 3 mm を順次重ね、さらに  $B_2O_3$  とパラヒンの混合体を満たしたしゃへいタンクを付けた。また結晶台の周囲には、厚さ 3 cm のアクリルの円筒を二重に設置して散乱した中性子をしゃへいした。実験孔から直進する $\gamma$ 線中性子はビームキャッチャでしゃへいされる。以上のようなしゃへいをほどこしたが、実際の運転には不十分でさらに各所に若干の中性子しゃへい体を付加してある。

検出器のしゃへいはバックグラウンドを減少させるために、とくに大きいほうが望ましいが、重量の増加も考

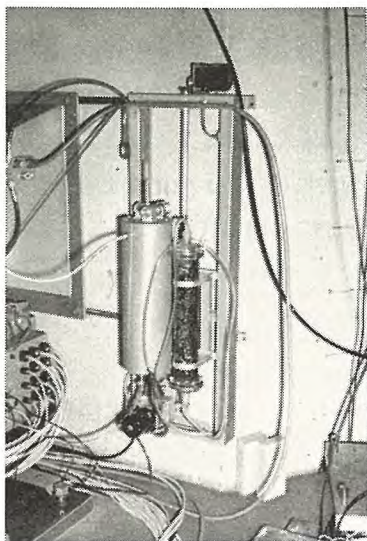


図 4.7 水シャッター作動装置

Fig. 4.7 Water shutter operating device.

えて、外径 40 cm, 長さ 1.2 m のアルミ円筒に  $B_2O_3$  とパラヒンを、1:1 の比に混合したものを入れた。

#### 4.6 水シャッター作動装置

実験孔内の水シャッター部に水を送り込むために図 4.7 のような作動装置を設けた。水タンクは電動で上下して、その水頭によって実験孔内に水を送り込む。このための時間は約 15 分である。実験孔を使用しない時は水シャッターで十分中性子をしゃへいできる。またこの水は付属のイオン交換塔で適時処理して純水とすることもできる。

### 5 測定, 制御装置

#### 5.1 概 要

測定, 制御装置は図 5.1 および図 5.2 に示すように、中性子測定系, 計数指示記録装置, 回転アーム駆動装置, 各種位置指示装置から成り、1 組の架台にまとめて原子

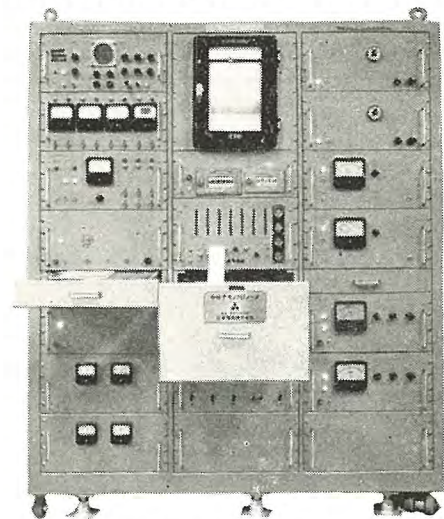


図 5.1 中性子モノクロメータ測定制御装置

Fig. 5.1 Neutron monochromator measurement and control equipment.

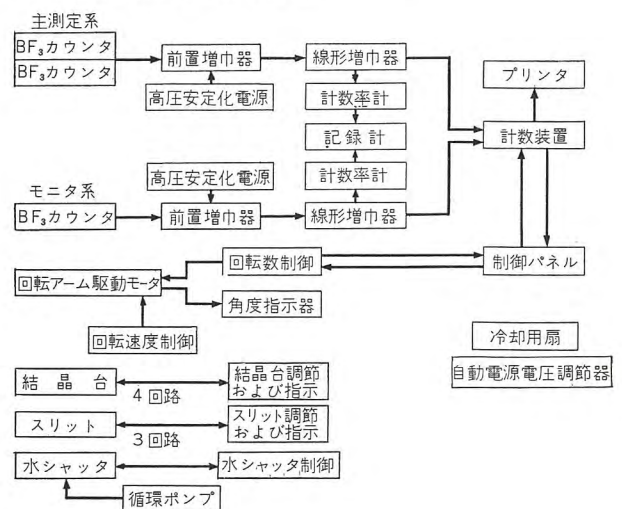


図 5.2 中性子モノクロメータ測定制御装置の構成

Fig. 5.2 Block diagram of measurement and control circuit. (neutron monochromator)



炉室のすみにおかれている。

測定および記録は次の手順で行なわれる。回転アーム・結晶台の角度 ( $2\theta$  および  $\theta$ ) のある値から測定を開始する。まずモニタ系、主測定系両系が同時に計数を開始する。主測定系は選んだされた単一エネルギーの中性を検出し、モニタ系はモノクロメータ入射中性子の総数に比例して計数する。モニタ系の計数があらかじめ置数した値に達すると、両系のゲイトが閉じられる。これに続いて印字信号が出されて、主測定系のこのときまでの測定値がプリンタに印字される。印字が終るとスケーラは自動的にリセットされ、待機状態にはいる。これと同時に回転アーム・結晶台駆動信号が出て、あらかじめ定められた一定角度の送りが行なわれる。送り終了信号でふたたび両系のゲイトが開き次の測定にはいる。これが繰り返されてゆく。

## 5.2 中性子測定系

主測定系、モニタ系ともに図 5.2 にみるように、BF<sub>3</sub> カウンタ、前置増巾器、線形増巾器、高圧安定化電源、計数率計、記録計から成り、計数装置にパルスとして導くまでの検出、増巾、整形などを行なう。長時間にわたる動作が安定に行なわれることに主眼をおき、部品の選択などに留意した。

主測定系の中性子検出用 BF<sub>3</sub> カウンタは、回転アームの上、第 2 ソーラコリメータの後におかれ、 $2\theta$  方向に干渉散乱された中性子、すなわち単色化（単一エネルギー化）された中性子を検出する。この中性子はもとの中性子に比べて強度が隔段におちているから、検出効率の高い検出器が必要である。また実験孔から漏れてきたガンマ線には不感でなければならない。これらの要求から、大形の BF<sub>3</sub> カウンタ (50  $\phi$  × 1,000 mm) に濃縮ボロンの BF<sub>3</sub> ガスを高圧 (600 mm Hg) に充填したものをとくに製作した。またこれを 2 本並列に接続して検出面積を広げた。充填ガスの圧力を高くし、かつ 2 本の並列接続をしたため、カウンタの性能が若干劣化する心配があったが、波高分布実測の結果は良好な特性を示し、1 本の場合とも差異が認められなかった。検出効率が高いため、バックグラウンドもそれに比例して増大する。主測定系のバックグラウンドの大きさはモノクロメータの性能に大きな影響をもつから、これのしゃへいは重要である。中性子束は軸方向に前方から入射するようにし、側面および後方は図 3.1 にみられるようにパラヒンと硼酸の混合物で厚いしゃへいをほどとした。

モニタ系の検出器は第 1 ソーラコリメータの出口付近においた。これは単結晶に入射する中性子源の強度を測定するものである。この部分は中性子束密度が高いため検出効率が高い必要がなく、むしろ後段の計数装置の分解能で計数率の上限がおさえられるので、効率の低くなる設計にした。小形 BF<sub>3</sub> 計数管に天然ボロン BF<sub>3</sub> ガスを 350 mm Hg 充填したものを、さらに適当な吸収物質と組合わせて用いた。

カウンタの出力信号は、それぞれ近傍に取付けられたカソードフォロワから、同軸ケーブルで測定制御装置の線形増巾器まで導いた。またカウンタ陽極にかかる高圧電源も測定制御装置から同軸ケーブルで供給した。

線形増巾器は mV 程度の検出パルスを 80 db 増巾するもので、帯域巾は 0.5 Mc に選んだ。負帰還をかけた回路 2 段より構成され、利得の安定性を図っている。増巾後の出力パルスは、任意に調節可能な内蔵波高弁別器を通して、ノイズやガンマ線によるパルスを弁別し、中性子パルスだけを整形、カソードフォロワを通して計数装置と計数率計に供給した。

高圧安定化電源は +1 kV ~ 5 kV を 10 V ごとに可変にした。電圧が変化するとカウンタの効率が変わるので、電源電圧の  $\pm 10\%$  変動に対する出力電圧の変動率は  $\pm 0.02\%$  以下におさえ、数時間 ~ 数十時間にわたる出力電圧変動は  $\pm 0.05\%$  以下におさえた。また出力電圧の確度は標準電池で較正することにより  $\pm 0.5\%$  とした。

線形増巾器から計数率計に導かれたパルスは、ふたたび整形されて一定の波形にかえられ、二極管と組合わせた積分回路にはいり、単位時間あたりの計数率に比例した直流電圧に変換される。この電圧は内蔵の真空管電圧計で指示されるほか、記録計にも記録される。この計数率計および記録計は主測定、モニタ両系の大体の中性子強度を連続的に指示し、かつ記録することによって、測定中操作者に装置の動作状態を示し、その判断の助けにするとともに、測定後印字されたデータの分析に際して、補助的な役割をはたさせるためのものである。

## 5.3 計数指示記録装置

中性子モノクロメータ用にとくに開発された、2 チャネルから成るプリセットスケーラである。一つはプリセット用スケーラ、他の一つは主測定用スケーラになっている。主測定用スケーラの測定値 5 けたと測定データ番号を同時に印字することができる。通常の測定において



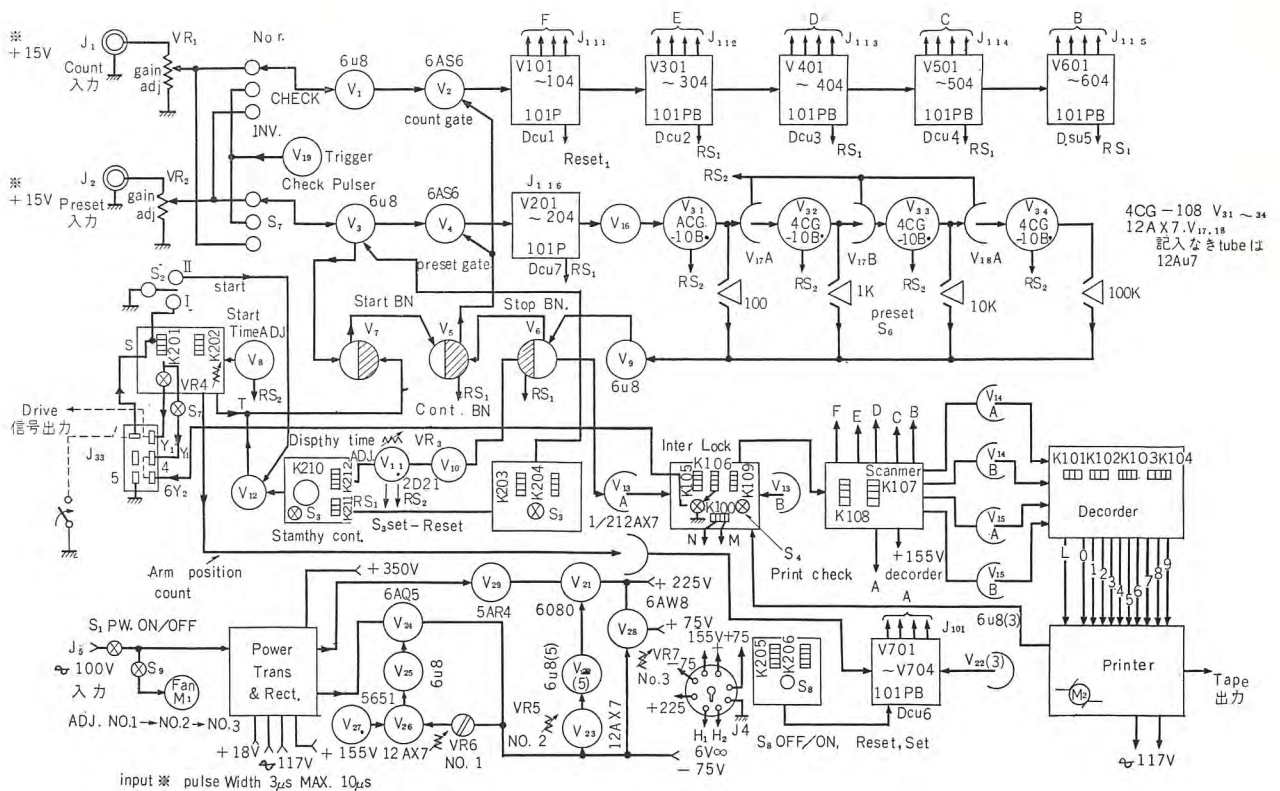


図 5.3 計数指示記録装置構成図  
Fig. 5.3 Composition of scaler and recording device.

は、主測定系の計数用パルスは主測定用スケアラおよびプリンタへ、モニタ系の計数用パルスはプリセット用スケアラへはいる。以下おもな特長を列記する。(図 5.3)

#### (1) 広汎な使用条件に適合した構成

外部あるいは内部の操作で測定待機にはいり、以後プリセットチャンネルに到来した最初の入力パルスによって、主測定およびプリセット両チャンネルのゲートが開かれるようになっている。このため操作による計数誤差は防がれる。起動信号入力には別に起動信号入力遅延回路をもっている。また計数終了信号出力も備えている。

#### (2) 操作の簡易さ

操作の簡便、操作パネルの簡潔に重点をおいて設計した。電源投入後、装置のウォームアップ時間(約 20 秒)をすぎれば自動的に動作状態を保持でき、電源投入の都度各スケアラをリセットする必要がない。またプリセット操作は押しボタン選択スイッチで任意に選定できる。

#### (3) ミスカウント防止回路の完備

電源変圧器および直流安定化電源回路は高性能なものを用い、極力電源部の内部インピーダンスを低くするように設計し、リレー回路、プリンターソレノイド回路にはすべて火花防止およびスイッチングサージ防止吸収回路を設けた。運転中電源の中断が 2 サイクル(40 ms)

以上に及んだ場合または測定中のプリセット押しボタンなどの誤操作に対しては、各スケアラはただちにリセットされるなどミスカウントの防止に留意した。

#### (4) 耐連続運転動作定格

スケアラおよび各 2 進回路には、高信頼管または 200 時間以上のエージングをほどこした特性の安定な電子管を使用し、各部品に対する動作定格は極力余裕のある設計をし、専用排気扇を内蔵して内部温度の上昇を防ぐなど、各部品の劣化防止に十分な考慮がなされている。

#### (5) 動作点検回路の完備

主測定スケアラおよびデータ番号指示スケアラを、任意の値に置数してプリンタ動作を点検する回路をそなえ、また内蔵パルサによってプリセット動作の点検ができる。

#### (6) 小形化

プリセットチャンネル 10 進 5 段、主測定用チャンネル 10 進 5 段およびデータ番号指示 10 進 1 段と各制御回路を含む操作部分 1 パネル(270×480×360 mm)と、ソレノイド駆動 10 キイ形プリンターメカニズム(220×190×395 mm)の二つの部分から構成され、小形低消費電力に設計されている。

規格の概要は次のとおりである。

#### (1) 主測定およびプリセット入力



+10 V,  $2\mu\text{s}$ , 立上り  $0.3\mu\text{s}$  以下,  
繰り返し 120 kc/s 以下.

(2) 起動入力および遅延時間

内部および外部, 0.1~5 sec 可変.

(3) 制御出力(回転アーム駆動信号)

計数停止で内部接点が動作.

(4) 印字容量および所要時間

6 けた, 1 sec

(5) 計数指示読取時間

1~20 sec 可変または手動リセットまで.

(6) リセット

手動または自動(読取時間終了, 電源開閉,  
プリセット操作のとき自動リセット).

(7) プリセット用スケアラ

10 進 5 けた, 100, 1 K, 10 K, 100 K の選  
択可能.

(8) 測定データ番号

指示および印字, 1 けた, 各計測起動ごとに  
1 字ずつ送る. また任意に置数可能.

(9) チャネル選択

主測定・プリセットチャネル入力を切換可能,  
内蔵パルサにも切換可能.

(10) 所要電源入力および使用電子管数

電源  $100\text{V} \pm 15\text{V}$ , 180 VA 以内,

印字装置動作時 250 VA 以内.

使用電子管数 59 本.

外観を図 5.4 に示す.

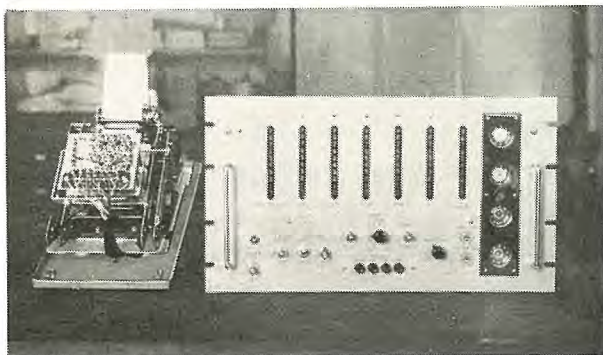


図 5.4 計数指示記録装置

Fig. 5.4 Scaler and recording device.

## 5.4 回転アーム駆動装置

モノクロメータ回転アーム駆動装置に要求される事項  
は次のとおりである.

- (1) 起動信号によって回転アーム ( $2\theta$ ) を一定角度  
30 (850)

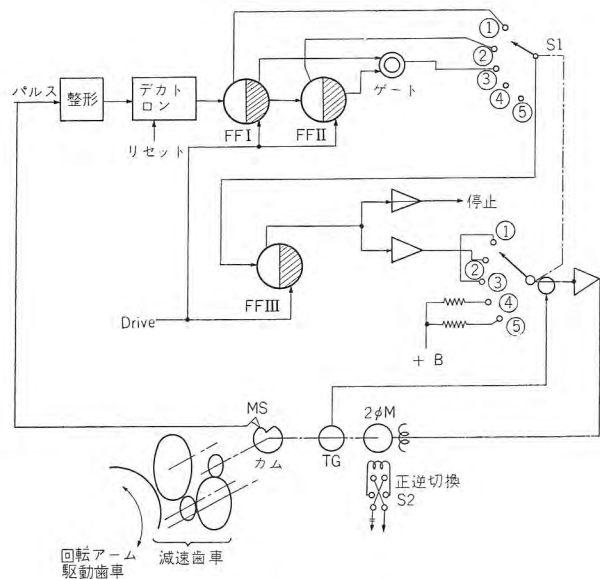


図 5.5 回転アーム駆動装置

Fig. 5.5 Rotating arm driving device.

だけ回転させて停止する. 一定角度は 20 秒, 40 秒, 60  
秒の三つの場合を任意に選択できること. また精度は  
 $\pm 2$  秒以下とする.

- (2) 無停止で高速低速 2 種の速さで連続回転ができ  
ること.

- (3) (1), (2) とともに正逆両方向に回転できること.

- (4) (1) の場合, 起動信号は半自動の場合は押しボ  
タンによるが, 全自動では計数記録装置よりはいる. ま  
た停止時に計数記録装置へ停止信号を送る必要がある.

以上のような働きをもった駆動制御回路として, 図  
5.5 のような方式を用いた. すなわち, 回転アームは電動  
機によって減速歯車を介して駆動されるが, この減速歯  
車の精度を十分高くして電動機軸の 1 回転あたり回転ア  
ームは正確に 2 秒だけ回転するようにすれば, 電動機軸  
の回転数を制御することによって目的を達することがで  
きる. 電動機の回転は, その軸に取付けられたカムとマ  
イクロスイッチ (MS) によって, 1 回転ごとに一つのパ  
ルスが発生させ, これを計数回路で数える. 1 パルスが  
2 秒であるから, 20 秒, 40 秒または 60 秒で停止させ  
るためには, 起動後パルスがそれぞれ 10, 20 または 30  
に達した時に停止させればよい. これをデカトロンと 2  
けたの 2 進フリップフロップにより実現した. すなわち  
S1 が ① の位置にあるときは, FF I が ON となった  
時に FF III に停止パルスがはいる. ② のときは, FF II  
が ON となった時, すなわち計数 20 で, ③ のときは,  
FF I と FF II がともに ON となった時, すなわち計



数 30 で、それぞれ FF III に停止パルスがはいる。FF III は起動信号により ON となり、S1 からはいる停止信号により OFF となるフリップフロップで、この FF III が ON の間だけ電動機が回転する。そのため FF III からバッファを通して出力増巾器としての磁気増巾器が用いられている。電動機は二相サーボモータであるが、とくに起動トルクを大にし、一定速度で回転するように、速度発電機を直結したものをういて速度負帰還をかけている。S1 の ④、⑤ は直接直流電源に抵抗を通じて接続され、連続回転を行なうものである。正逆回転は電動機の励磁側の極性を S2 によって切換えて行なっている。

実際の運転はまずデカトロンをリセットした後、起動ボタンを押すか、計数記録装置より起動信号がはいることによって FF I、II がリセットされ、同時に FF III が ON となって回転を始める。所定数回転すると FF III が OFF となって回転は止まる。自動運転時には測定が終ると起動信号がはいて同一動作を繰り返しながら測定を続ける。デカトロンはリセットする必要はないから、もし電動機軸が 1 回転だけ多く回転しても、その誤差は次のときに打消され累積することがない利点をもっている。

## 5.5 各種位置指示装置

### (1) 角度指示器

回転アームの位置、結晶台の位置は精密目盛板に取付けられた顕微鏡で  $\pm 1$  秒まで読取ることができるし、またこれが装置の標準目盛となるわけであるが、実際の測定には、毎回の測定ごとに目盛を読むことはきわめてめんどろなことであり、一人で操作することはなおさら不可能に近いことになる。そこで回転アーム・結晶台を駆動する歯車系列中にカムを挿入し(4 節参照)これにマイクロスイッチを組合わせることによって、回転アームが 10 秒送られるごとに 1 回の割合で接点が閉じられるようにした。この接点とリレーによって、測定制御装置に取付けた機械的録数器を駆動した。録数器にはデータとともに印字される 10 進のデータ番号に対応させるために 10 進 5 けたのものを一つ、角度目盛板に対応させるために 60 進 3 けたのものを一つ、両者を並列に使用した。

### (2) 結晶台調節、スリット巾調節

4 節で述べたように、結晶台の調節には四つの自由度に対応して四つのパラメータの指示を、測定制御装置の中性子モノクロメータ・大野・菰原・宮下・茂木・大野

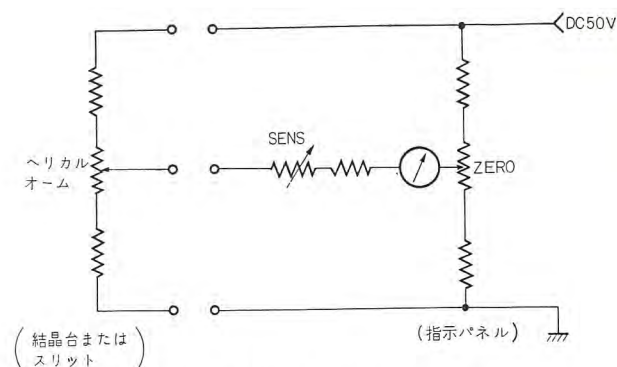


図 5.6 結晶台、スリット位置指示

Fig. 5.6 Crystal table, slits position indication.

パネル面で行なわせるようにした。スリット巾調節は 3 個のスリットにつきそれぞれその開き巾を指示させた。これらはいずれも図 5.6 のような方式で、指示計の直線性からのずれは 1% 以内におさめた。

操作用マイクロモータは指示計を見ながら押しボタンで正逆任意の方向に回転させる。指示計の上限下限には、リミットスイッチおよび指示灯を設け、操作の誤りから保護した。

### (3) 水シャッタ操作

シャッタ用純水タンクの下をレバーシブルモータで行なう。またイオン交換樹脂を用いて、純水の循環をギャボンブで行なうことができる。これらの状態は、原子炉壁および測定制御装置にそれぞれランプで指示される。

## 6. む す び

すえ付は昭和 33 年 11 月、JRR-1 が運転を停止している期間を利用して行なった。JRR-1 は小形炉であるから、炉停止後 1 日放置するだけで、実験孔付近の工事にとりかかることができた。コリメータ部分を実験孔に挿入固定し、水シャッタに水を満たすだけで、後の作業は炉が運転されても安全に行なうことができた。

調整の第 1 段階として、第 1 ソーラコリメータ・第 1 スリット・結晶台および回転アームの中心をトランシットを用いて光学的に調整した。また第 2 スリット、第 2 ソーラコリメータ、第 3 スリットも共軸上に合わせた。

つぎに原子炉を低出力で運転して、直接中性子束を用いて中心合わせを行なった。スリット巾を小さくして、回転アーム ( $2\theta$ ) を  $-1$  度  $\sim +1$  度の範囲でかえて中性子束分布を測定した。数回の調整を繰り返して、予想された二等辺三角形の分布を得た。このようにして実測した中心は目盛板目盛にして  $+0$  度 23 分であった。

自動角度送りの精度は精密目盛板で較正した。回転ア



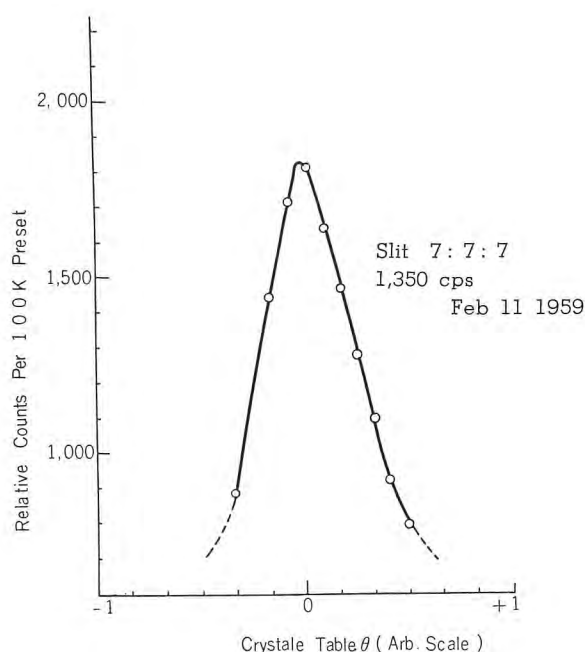


図 6.1 LiF を用いた時のロッキングカーブ

Fig. 6.1 Rocking curve for LiF crystal (1, 0, 0) plane

ーム ( $2\theta$ ) と結晶台 ( $\theta$ ) に精密歯車による自動送りをかけ、 $2\theta$  の値にして 0 度から 60 度までふらせたとき、全域にわたっての単一および累積の角度誤差は、いずれも  $\pm 5$  秒以内であった。

つぎに LiF 単結晶 ( $80 \times 80 \times 10$  mm) を取付け、その (1, 0, 0) 面について微細調整を行なった。さきに述べた 4 自由度について、中性子数を測定しながらそれぞれ最良の位置を決定した。この際、測定制御装置の所で一人ですべての操作が行なえることはきわめて有効であった。

最後に装置のロッキングカーブを実測した。中性子エネルギーは炉中性子のマックスウェル分布の最大値付近に選んだ。回転アームを相当位置 ( $2\theta_0$ ) に固定し、結晶台

だけを  $\theta_0$  の前後に回転して中性子強度を測定する。この際、回転アーム、結晶台の歯車の結合はそのままにして、結晶台調整用のマイクロモータおよび位置指示計を用い、指示計目盛は結晶台目盛板で校正した。結果を図 6.1 に示す。このロッキングカーブの半値巾は約 20~25 分であり、これが始めの節に述べた装置の定数  $\Delta\theta$  に対応する量である。

このモノクロメータは現在 JRR-1 で稼働中であるが、近い将来 JRR-2 が動き始めた際には、これに移転し、Be 単結晶と 2 分のソーラコリメータを使用することになっている。このためのコースコリメータなどを現在製作中である。さきにも述べたように、このときには、分解能を飛躍的に向上させることができるだろうと思われる。

報告を終えるにあたって、設計の段階からすえ付の完了まで終始何かとご指導を下された、原子力研究所核物理学研究室の百田先生、ならびにすえ付、調整に献身的に努力して下さった同研究室浅見、岡本両研究員に深く感謝の意を表したいと思います。またすえ付にあたり、安全その他の面でご指導ならびにご協力をいただいたウォータボイラ管理室の方々、保健物理部の方々にも深く感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- (1) W. H. Zinn: Phys. Rev., 70, 102 (1946).
- (2) Borst, Ulrich, Osborne, and Hasbrouck: Phys. Rev., 70, 108A; 70, 557 (1946).
- (3) W. H. Zinn: Phys. Rev., 71, 752 (1947).
- (4) Sailor, Foote, Landon, and Wood: Rev. Sci. Instr., 27, 26 (1956).



# 機 械 量 の 電 気 的 計 測

研 究 所 吉 山 裕 二\*

## Electric Measuring Method of Mechanical Motion

Research Laboratory Yūji YOSHIYAMA

From the viewpoint of the design of machines, study of performance and maintenance it is very important to measure and record the displacement, pressure, acceleration, stress and such mechanical quantities of moving machines in operating state, and measuring devices to suit the use in a job site are demanded in various quarters. Such a good number of requirements as remote transmission, simultaneous multi-point recording, instantaneous recording, simple and easy handling necessitate the devices to be designed of electrical measuring system. The conversion of physical quantities to electric values is usually accomplished the methods of inductance type, resistance type and piezo electric type, each having merits and demerits. This article describes transducers and measuring and recording devices depending on the occasions and demands.

### 1. ま え が き

圧力、変位、加速度、応力などの機械的諸量の動状態における過渡現象を計測記録することは機器の設計、性能調査および保守の上からきわめて大切である。これらの計測記録は遠方伝達、多点同時記録、短時間内の瞬時記録、小形軽量、取扱い容易などの多くの理由から電気的計測法にたよらざるを得ない。電気的計測装置は一般に変換器、測定回路、記録装置の3部分から構成され、測定種目、範囲、応答速度の各要求を満足するよう、各部分の周波数特性、感度を選択する必要がある。変換器はスプリング、ダイヤフラム、ベロー、横杆、受圧棒その他の機械系を介して機械量を変位の形に変換しさらに電気的に変換する形のものが多い。したがって電気的変換器は振動特性を考慮に入れた変位検出器にほかならない。変換方式としては電磁形、抵抗形、容量形、圧電形など種々の形式のものがあ、おのおの長所、短所を有している。一般に周波数特性を高い領域まで増加させようとすると感度が下る傾向があり、両方を同時に満足させることはむずかしい。また変換器から可能な限り大きなエネルギーを取ることができればいわゆる  $S/N$  比が大きくなり、測定回路が容易になる。一方検出部分の取付面積などの制限からできるだけ小形化を要望されることが多い。これらの諸条件を考慮に入れ、諸変換方式の中から最適の方式を選出し、測定要求に適合するよう変換器を構成しなければならない。以下変換器を主体としてこれら諸方式について実際に現場で実用に供した具体例をあげ説明する。

### 2. 実 用 例

#### 2.1 電磁形変換器

電磁誘導の法則を利用する電磁形変換器は諸形式の変換器のうちでもっとも堅牢、安定である。構造は簡単で、湿度、温度の影響が少なく、振動やじんあいの多い悪条件の場所によく使用に耐える。ただこの種の形式のものは誘導磁界の影響を受けやすいことおよび励磁電流による吸引力が働くため、とくに微弱な力の場所では使用に注意を要する。

電磁形変換器は多くは差動形の原理を利用する。

コイルが鉄心に巻かれ、機械量に比例して鉄片が移動し、磁気抵抗の変化する鉄心形差動変圧器は変位の小さい検出に適し、空心のコイル内を鉄心が移動する空心形差動変圧器は大きいストローク変化の検出に適している。

#### (1) 電磁形圧力記録計

鉄心形差動変圧器の原理を利用したものに電磁形圧力記録計がある。図 2.1 に原理を示すように、2 個の可変空けきを有する E 字形鉄心変圧器の一次側を直列、二

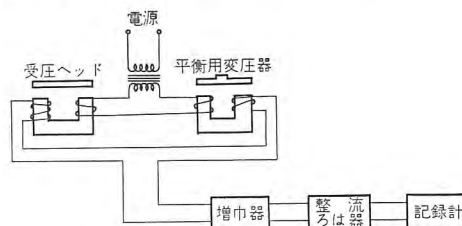


図 2.1 電磁形圧力記録計原理図

Fig 2.1 Block diagram of inductance type pressure recorder.

\* 物理第一研究室



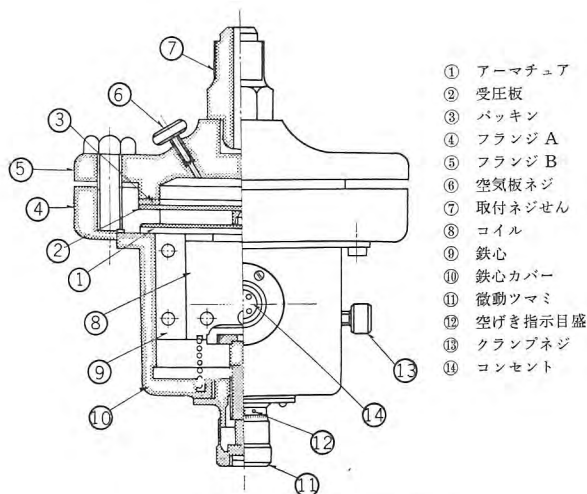


図 2.2 受圧ヘッド構造図

Fig. 2.2 Construction of pressure head.

次側を逆極性に接続して、一次側から一定電圧の交流で励磁し、一方が受圧ヘッド、他が平衡用変圧器で、両空けきが等しい時は二次電圧が最小であるが、圧力変化により受圧ヘッドの空けきが変わると不平衡電圧が変化するので、それを増巾し整流ろはして圧力変化分を電磁オシロに記録させる。受圧ヘッドの構造は図 2.2 に示すように圧力変動を受圧板のたわみに変え、さらにアマチュアに伝えて鉄心の空けき変化に変換している。圧力範囲により受圧板の厚さを変え、0~100 kg まで交換できるよう 6 種類用意している。両変圧器の空けきは微動調整ができる構造になっていて、平衡用変圧器の初期空けき調整により、任意の圧力を初期値として出発させるが、平衡点付近は容量不平衡および励磁周波数の高調波に起因する残留電圧が生ずるので平衡点を少しはずれた点を初期値として使用する。

この装置の周波数特性は、受圧ヘッド、測定回路、ろは器のおおのの総合特性で決まるが受圧ヘッドの固有振動数は受圧板で決まり十分高くて考慮の必要がなく、結局測定回路の励磁周波数および励磁周波数を消去する出力側ろは器の特性で押えられる。低速度記録用には励磁源として商用周波数を使用し出力特性は 5 c/s まで、一般には 5 kc の発振器を励磁源にして 500 c/s まで応答するようにしているので通常の測定周波数範囲は十分カバーできる。ヘッドおよび平衡用変圧器の鉄心寸法は 64mm×40mm×9mm、断面積は約 1cm<sup>2</sup> とかなり大きく、検出用磁気回路の出力は励磁周波数に比例する。したがって 5 kc を励磁源とする時の増巾回路は単なる電力変換用に電力増巾 1 段でよく、商用周波数を励磁源とする時は電圧増巾 1 段追加するだけの簡単な回路で



図 2.3 電磁形圧力記録計

Fig. 2.3 Magnetic type pressure recorder.

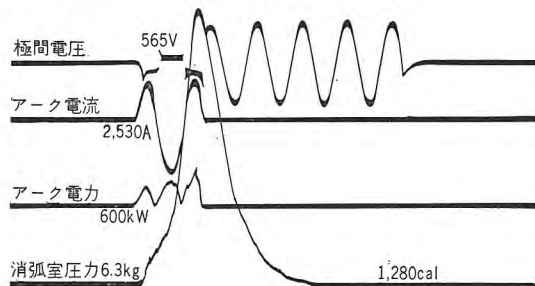


図 2.4 油中アークによる消弧室圧力オシログラム

Fig. 2.4 Oscillogram of oil pressure in arc interrupter.

済む。またヘッドから測定回路までのリード線の長さは 5 kc 励磁の際は 20 m、商用周波数励磁では 100 m の使用経験がある。図 2.3 に装置の写真を示す。

この装置での試験実施例としては水力発電所の調速機試験、火力発電所タービン、電車のブレーキ試験、その他各種の油圧、水圧、蒸気圧の変動記録などがあるが、図 2.4 にとくにヘッドに磁気しゃへいを施し、シャ断器の電流シャ断時の消弧室圧力を記録したオシログラムを示す。

## (2) 小形ヘッド圧力記録計

冷凍機の気筒内圧力変化をピストンの行程とともに記録し、いわゆる P-V 線図を作成して圧縮効率の検討を行なうことは冷凍機の性能試験上望まれる。

このような箇所に使用するヘッドは取付場所の関係上とくに小形化を要求され、死空けきを小さくすることおよび定常運転にはいるまでに測定部の温度が常温から 120°C 以上まで上昇する条件がある。

図 2.5 に示すヘッドはこの目的に作成したもので、外



図 2.5 小形圧力ヘッド

Fig. 2.5 Miniature pressure head.



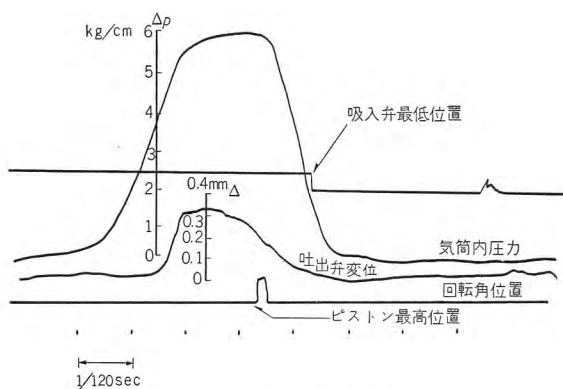


図 2.6 冷凍機気筒内圧力オシログラム  
Fig. 2.6 Oscillogram of pressure in refrigerator cylinder head.

形寸法が 22 mmφ×44 mm と小形化され、鉄心は円筒状の純鉄を使用し、寸法の割合に受圧面積を大きくし磁気抵抗を小さくしている。平衡用リアクタも測定部の近くに封じ込み、ヘッドと同様に温度の影響を受けるようにして温度補償を行なっている。測定回路は(1)で述べたと同じ原理を使用しているが、(1)の圧力ヘッドより出力レベルがはるかに低いので、増巾回路は電圧3段、電力1段の計4段増巾を用いている。図2.6にオシログラムの例を示す。

### (3) 電磁形加速度計

前記のヘッドの検出部は変位の検出であるから、変位の与え方を重錘、バネ、制動油と組合わせて振動系を形成し、測定すべき物体の加速度に比例するようにすると加速度計として使用できる。図2.7に示すピックアップは(2)の検出用リアクタを使用して作成した水平動および垂直動用加速度計である。

重錘およびバネが決まると固有振動数  $n$  は

$$n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

で与えられる。ただし  $m$  は重錘の質量、 $K$  はバネ常数である。固有振動数  $n$  が決まると 1 g に対する変位は

$$\delta l = 24.9/n^2 \text{ (cm)}$$

で与えられ、安定な検出可能な変位が決まる。また固有振動数が与えられると、制動油による制動常数を適当に

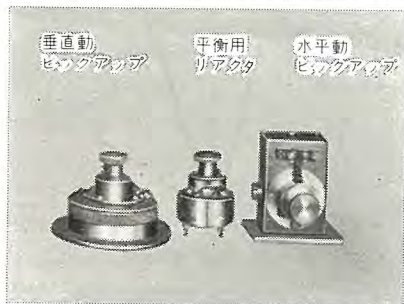


図 2.7 電磁形加速度計ピックアップ  
Fig. 2.7 Pick up of magnetic type accelerometer.

選択することにより、周波数特性を試験して使用周波数帯域および検出可能な最高加速度をきめる。

このピックアップはバネの交換により、固有振動数を 15~140 c/s まで変えることができ、検出用リアクタの鉄心変位の直線性は 0~0.2 mm までである。したがってたとえば固有振動数を 57 c/s とすると 1 g に対する重錘の変位は  $7.4 \times 10^{-2}$  mm、制動常数を 0.64 に調整すると使用周波数域は 0~28 c/s、最高 3 g まで測定できる。

測定回路は発振器、交流増巾器、位相弁別直流増巾器を組合わせた搬送波法で、ペン書オシロを駆動する。測定回路の周波数特性はオシロのガルバノメータの特性で押えられる。

位相弁別器を用いるからブリッジの平衡点の両側が使用でき、片側しか使用しない場合より使用域が倍となる。

g に対する現物での簡単な較正は、ピックアップを傾斜させて静的に行なう。またペン書オシロを使用すると実測記録中直接データを監視、調整し得、随時付属データを記入することができる。

この装置は車両の走行時の車体の加速度測定などに用でき、起動、制動、衝突時やポイント通過のような大きな加速度の発生や、曲率半径をもつレール上を通過する時の左右動の加速度こう配、速度を変化させた時の影響、力行、惰行の差、車体構造の影響など各種の諸現象を記録して性能の良否の比較検討の資料を提供しうる。

図 2.8 に記録の一例を示す。

### (4) 空心形差動変圧器の応用

10 mm、20 mm のような長いストロークを無接触で検出するには空心形差動変圧器が適当で、コイルおよび鉄心の選択により要求ストローク範囲で 0.5 % 以上の直線精度をもたせることができる。この変換器の応用の一例として電動客車のギャカプリングの走行中における

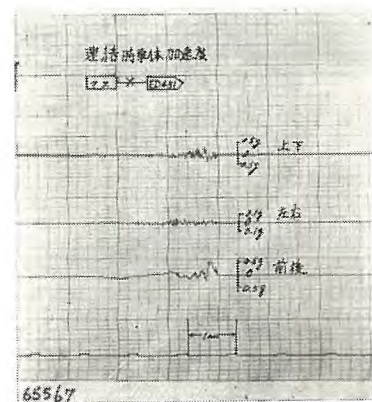


図 2.8 電車連結時の車体加速度オシログラム  
Fig. 2.8 Oscillogram of acceleration of cab when car body connected.



る上下、左右の変位量を測定記録した。図 2.9 に変換器の写真を示す。0.5% 直線精度内の測定範囲は  $\pm 10\text{mm}$  である。

図 2.10 は電子管装置で (3) の測定回路と同一原理の発振器、交流増巾器、位相弁別直流増巾器が 1 台のセット内に組み込まれている。測定回路のブロック図を図 2.11 に示す。

車体の走行時、自励振動、力行、惰行、起動、停止などのギヤカップリング変位に及ぼす影響を動状態におい

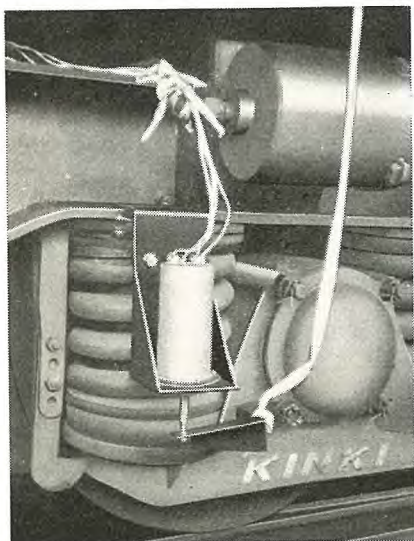


図 2.9 空心形差動変圧器

Fig. 2.9 Air cored type differential transformer.

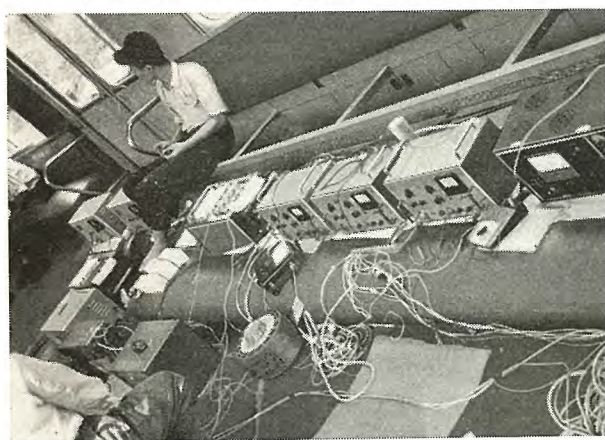


図 2.10 電子管装置

Fig. 2.10 Electronic instruments.

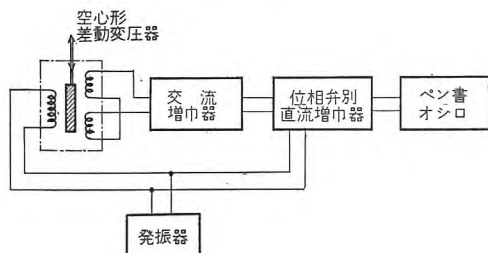


図 2.11 空心形差動変圧器応用測定回路  
Fig. 2.11 Circuitry for air cored type differential transformer.

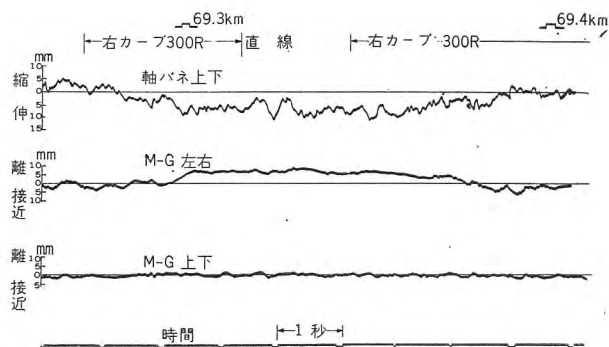


図 2.12 ギヤカップリング変位のオシログラム

Fig. 2.12 Oscillogram of gear coupling displacement.

て記録し、性能の安全性を確認し、設計改善のための資料を提供した。図 2.12 にオシログラムの一例を示す。

### (5) 微小変位検出用電磁ヘッド

工作機械の数値制御において、線形位置測定装置は工作精度を決定する上にもっとも重要な部分である。現行の工作機械の工作性能より、位置の偏差としては  $1/100\text{mm}$  を確実に検出する必要がある。図 2.13 はこのような微小変位を鉄心形差動変圧器で行なった検出回路の例で、電磁ヘッドはテーブル上に取付けられ、指令位置は

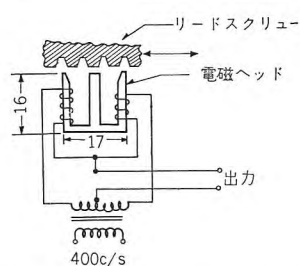


図 2.13 微小変位検出ヘッド  
および検出回路

Fig. 2.13 Measuring head and circuit for small displacement detection.

リードスクリューの回転により与え、リードスクリューの山とヘッドの中央間の相対位置をつねに最小に保つようサーボ系が構成される。

図 2.14 は 図 2.13

のブリッジ回路の出力

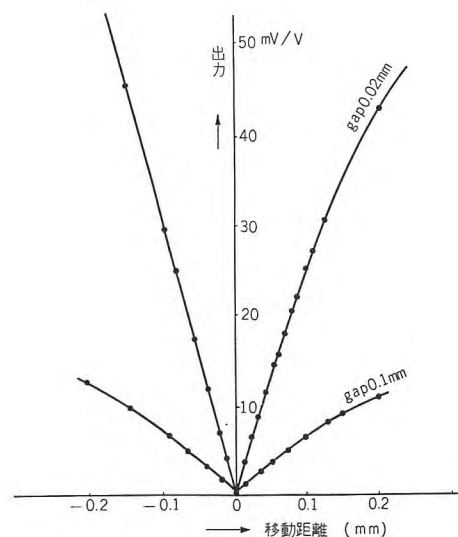


図 2.14 移動距離対出力特性

Fig. 2.14 Relations between displacement and output of bridge circuit.



とヘッドの移動位置との関係の特性例で、たとえばヘッドとリードスクリューの山との空けき 0.1 mm において  $7.6 \times 10^{-2} \text{ m Vmm}^{-1}$  の感度を有し、平衡点における残留電圧は移動距離に換算して 5/1000mm 以下であり、 $\pm 0.2 \text{ mm}$  までの移動距離に対し出力は直線とみなしうる。

## 2.2 抵抗変化—抵抗線ひずみ計の応用

素材の応力を抵抗変化に変換する素子としての抵抗線ひずみ計の特長はいまさらうぬぬするまでもないが、力の伝達のために材料から力を奪わず、急速な応力変化に即応できる高い固有振動数を有し、小形軽量で取付容易、取付面積が小であるために種々の機械量が材料の弾性ひずみに変換できるならば、これを変換要素とする高性能の変換器が作られる。したがって圧力、加速度、トルクその他多くの変換器に使用され、変換器としてもまた超小形かつ高い固有振動数をもつことができる。ただこのひずみ計応用機器の欠点は絶縁抵抗劣化を防止する

$$G_1 = 363.9 \Omega \quad f = 3.57 \text{ cycle} \quad E = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$G_2 = 369.8 \Omega \quad I = \frac{1}{12} b h^3 = \frac{1.854 \times 0.119^3}{12}$$

$$G.F. = 1.7 \sim 1.8 \quad W = 1.015 \text{ kg} \quad l = 14.5$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3gEI}{Wl^3}} \quad g = 980 \text{ cm/s}^2$$

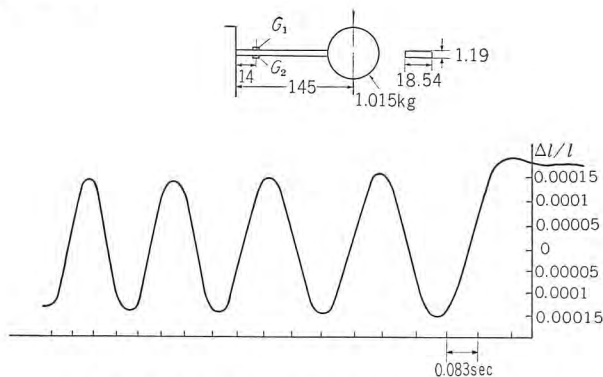


図 2.15 片持梁自由振動の時の応力のオシログラム  
Fig. 2.15 Oscillogram of cantilever stress in free oscillation.

ための防湿処理とくに留意する必要のあることおよび出力レベルが低いことである。

当所についても、ひずみ計を荷重棒に貼布し、真空排気防湿処理を施したロードセルを作成し、大荷重の計測に使用し、またスリップリングを用いて回転機回転子の制限速度をこえる回転速度における応力分布の測定を実施した。

図 2.15 は応力変化の一例を示すオシログラムで片持梁の自由振動における応力状態を示す。測定回路は発振器増巾器の併用である。実測記録値から応力の設計値や解析の裏付けを行なうことができる。

## 2.3 容量変化法の例

非常に微弱な圧力変動、たとえば 100 mm Hg, 200 mmHg のような真空度に近い圧力変動に対しては、抵抗線ひずみ計を貼付する受圧ダイヤフラムでは厚さの関係上検出できない。また電磁形では鉄心の励磁力による

機械量の電氣的計測・吉山

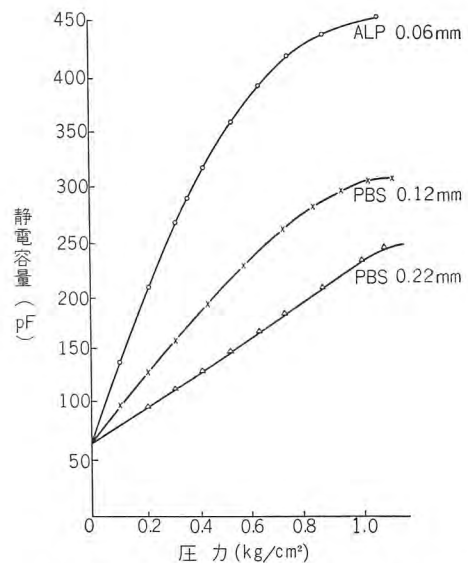


図 2.16 容量形圧力ヘッドの圧力対容量特性  
Fig. 2.16 Relations between pressure and capacity of capacitance type pressure head.

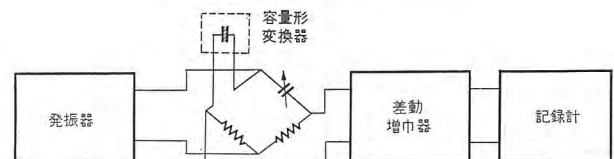


図 2.17 容量形変換器測定回路  
Fig. 2.17 Circuit of capacitance type measuring device.

反力の影響を受け、ダイヤフラム自体も磁束通過のための厚さが必要で検出がむずかしい。したがってダイヤフラムには薄い箔を使用し、電氣的に反力のない容量変化法にたよらざるを得ない。

図 2.16 は受圧箔を接地し、固定電極との間の静電容量が微小圧力に対してどのように変化するかを示す一実施例で、箔の厚さ、材料をパラメータとして測定しており、初期容量は空げきにより調整し圧力変化に対する直線部分を使用している。圧力変化に対応する容量変化は、図 2.17 に示すように発振器、ブリッジ、差動増巾器を介して記録計に導かれる。

## 2.4 圧電現象の応用——衝撃用加速度計

数千 g をこえ、最高値に到達するまでの時間が 1 ms より速い大きな衝撃加速度を記録するには、とくにこのような大衝撃に耐え、高い固有振動数を有する変換器および時間遅れのない測定回路が必要である。

図 2.18 はこのような目的のために作成した変換器の構造図で、振動子は水晶片を使用した圧縮形である。加加速度を受けると重錘が加速度に比例した圧縮力を水晶片に与えて加速度に比例した電荷を生ずる。固有振動数は重錘の重さおよび水晶のバネ常数で決定され、15 kc 以



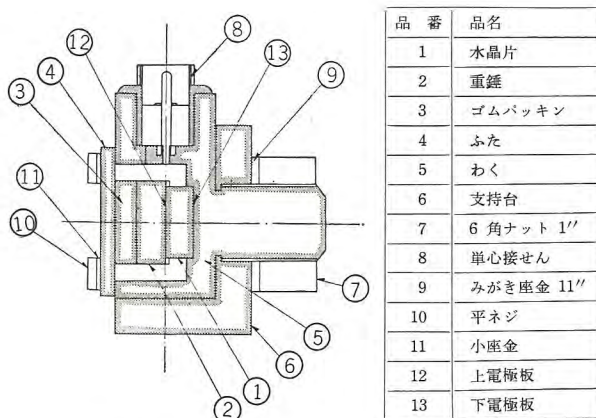


図 2.18 衝撃用加速度計ピックアップ構造図  
Fig. 2.18 Construction of pick up of shock accelerometer.

上もつように作成され、単衝撃に対する波形より確認できる。加速度に対する較正は水晶片に加わる静荷重と出力との特性から静的に行ない動的に換算する。

増巾器は変換器の電源インピーダンスが容量性である関係上、低周波部分では高インピーダンスとなるから、交流に対し高入力インピーダンスとするために陰極接続とし、低出力インピーダンスに変換する。

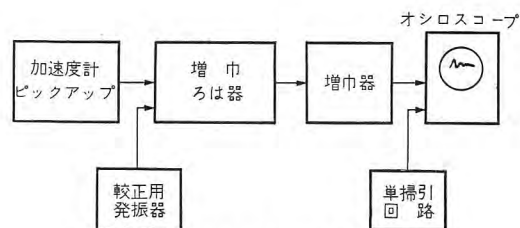


図 2.19 衝撃加速度測定装置ブロック図  
Fig. 2.19 Block diagram of shock measuring device.

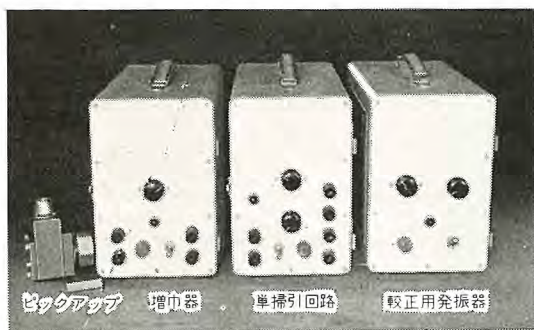


図 2.20 衝撃用加速度計  
Fig. 2.20 Shock accelerometer.

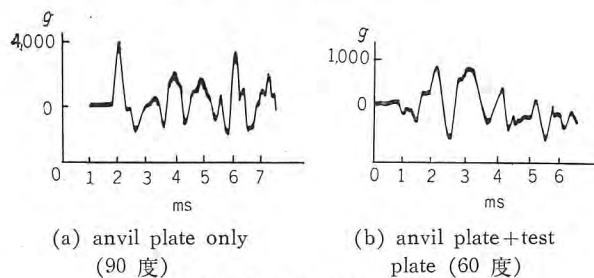


図 2.21 衝撃波形の例  
Fig. 2.21 Test oscillogram of shock acceleration.

変換器自体には制動常数を調整する部分がないから、固有振動数に起因する共振ピークを打ち消し、制動特性をもたせるために、陰極接続増巾段の後に低域ろは器を用い、約 2 kc まで通過させている。

記録装置としては、このような速い現象に対してはブラウン管オシロスコープの写真撮影以外方法がなく、図 2.19 にブロック図で示すように単掃引回路と組

合わせ、衝撃波形の開始寸前に掃引を起動し、掃引時間を調整して現象記録を適当に伸縮させる。図 2.20 に装置を示す。

この装置によりたとえば MIL-S-901 規格 Light Type 衝撃試験機を用いた場合の衝撃特性などが試験でき、打撃の与え方、落下高度、被打撃側の構造やクッションなどの影響が観察される。落下高度にほぼ比例して加速度の最高値が変化すること、被打撃側の構造および打撃の種類を決めると落下高度を変化させても定性的に同一波形が得られること、一般に最高値に到達する時間が短いほど加速度の値も大きいこと、どのような打撃の与え方の時に加速度がもっとも大きいかなどのがわかる。図 2.21 に衝撃波形の例を示し、図 2.22 に落下高度に対する影響の一例を示す。

### 3. む す び

以上機械量の電氣的計測に関し、どのような形の変換器をどのように使用すべきか使用例を上げて説明した。

将来ともますますこの種変換器の高性能のものの出現が期待される。すなわち小形化、高感度化され固有振動数が高くなり、高温に耐えることが望まれるが、それには半導体素子の応用が必須となるであろう。測定回路はトランジスタ化される結果小形軽量となり、また記録計はペン書オシロ形式のものはより振巾が大きくなり、電磁オシロの形のは現像の手間の省けるものを使用することになると思われる。

この報告では、測定回路としてはとくに速い現象の記録を対象としたために自動平衡形は省略した。

これらの諸計測の実施にあたり当所始め伊丹、神戸、長崎、名古屋各製作所の品質管理課の関係者のご援助をいただいた。ここに厚く謝意を表する。

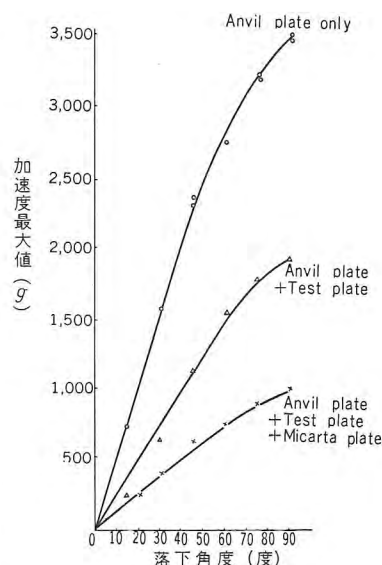


図 2.22 衝撃試験機ハンマ  
落下角度対加速度特性  
Fig. 2.22 Relations between  
acceleration and hammer drop of  
impact type shock machine.



# 最近の記録積算計器

福山工場 武田克巳\*・林 正之\*

## The Latest Recording Integrating Meters

Fukuyama Factory Katsumi TAKETA・Masayuki HAYASHI

It is a general trend to turn power stations and substations into automatic or semi-automatic operation. This has given rise a demand for printing type recording watt-hour meters to study loading conditions in the past as a means to supervise the power generation. Mitsubishi has developed a variety of instruments, which are recognized of their dependable function, and accurate operation by public utility people. In line with the tendency the company has developed diversified recording integrating meters to contribute to the rationalization of measurement control and automatization of facilities.

### 1. ま え が き

当社では発電所の自動化、半自動化に伴い電力監視用として過去の負荷状態を自動的に数字で記録する印字式記録積算電力計を開発し製作を続けてきたが、これの確実な機能、動作、精度度が認識されて電力大口需用家の電力取引に使用される機運を生じ多数の電力会社に納入し電力取引用として用いられている。またこれに伴い各方面よりの種々の要望に答え多数の新製品を開発してきたのでこれらの概要を紹介する。

### 2. MWS-Z 5 形特殊衝流発信装置付精密積算計器 (トランジスタを利用した特殊衝流発信器)

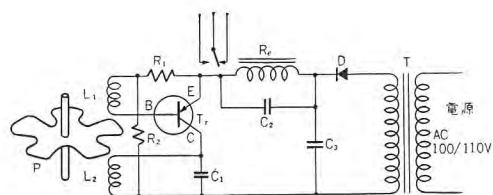
近來一段と精度を上げて公正に電力量の取引を行なうため電力量をひとけた小さい単位で読み取りまたは記録することが要求されてきた。積算量を記録する場合には、積算計器より測定量に比例した衝流信号を取出す必要があり在来は積算計器の回転円板によって制御される接点の開閉により機械的に行なってきたがこれには摩擦トルクが存在し上記のようなひとけた小さい単位で読むときには、衝流信号を取出す部分が積算計器の計量装置における減速の少ないところであるため少しの摩擦トルクでも積算計器の特性に悪影響を与え実用上不都合を生じていた。そこでトランジスタを使用して積算計器の計量装置より“摩擦トルク零で衝流信号を取出す”特殊衝流発信装置付 MWS-Z 5 形精密積算計器を開発したので以下紹介する。

### 2.1 原理動作

積算計器の計量部分より衝流信号を取出すとき接点などのように機械的な方式によるときはたとえ摩擦トルク補償装置を付加したとしても摩擦トルクを零とすることはほとんど不可能である。そこでこの方式のものは積算計器の計量装置部分には機械的にまったく触れず電磁氣的に衝流信号を検出する方式とした。すなわち二つの互に電磁的に結合されたコイルの間に計量部分に直結された等分みぞ入しゃへい回転円板を挿入し回転円板の回転によりみぞの凸部と凹部が交互にコイルの間にくるため、二つのコイルを電磁的にしゃへいしたり結合したりする構造とした。このしゃへい時と結合時には二つのコイル間の相互誘導は変化を受けるのでこれを利用してトランジスタによる“発振停止”と“発振”の変化にし“発振停止時”と“発信時”の大きな回路電流の変化で衝流信号をうるができるものである。この機械的構成を図 2.4 に電気回路を図 2.1 に示す。図において円周に等分みぞをつけた回転円板 (P) の凸部が電磁的に結合されている二つのコイル ( $L_1$ ,  $L_2$ ) の間にある場合を考える。この場合には二つのコイル ( $L_1$ ,  $L_2$ ) は回転円板 (P) でしゃへいされるため電磁結合がなく互に無関係となり、コイル ( $L_1$ ,  $L_2$ ) が独立しておのおのの回路に挿入されていることになる。このときトランジスタ (T) のベース (B) にはバイアス抵抗によりエミッタ (E) に対しごくわずかの負電圧がかけられているためコレクタシャ断電流 (数  $\mu A$ ) によるベース電流によって、トランジスタのコレクタ回路には小さい電流 (0.2~1 mA) が流れる。

\* 技術課





- P: 円周に等分のみぞをつけた回転導体円板  
 $L_1, L_2$ : ともに電磁的に結合されているコイル  
 $Tr$ : P-N-P 形トランジスタ  
 $C_1$ :  $L_2$  とともに共振回路を構成するコンデンサ  
 $C_2$ : 高周波をバイパスするコンデンサ  
 $C_3$ : 平滑用コンデンサ  
 $R_1, R_2$ : ベース電位をエミッタ電位よりわずかに低めるためのバイアス抵抗  $R_1 \ll R_2$   
 $R_L$ : 検流信号を送るためのリレー  
 $D$ : 整流用ダイオード  
 $T$ : 電源トランス

図 2.1 発信回路原理説明図

Fig. 2.1 Principle of oscillation circuit.

この電流はリレー (R) 回路の電流となるが、リレーを 2 mA 以下では動作しないものとしておけばリレー接点は開放状態となっている。

つぎに回転円板が回転して円周の凹部がコイル ( $L_1, L_2$ ) の間にきたときを考える。この場合には二つのコイル ( $L_1, L_2$ ) は電磁的にさえぎるものがないので電磁的に結合され一方のコイル内を流れる電流に変化があれば他方に電圧が誘起される状態となる。この状態にあるときトランジスタのコレクタに雑音電流などによりわずかの電流変化があればこの電流はコレクタに挿入されたコイル ( $L_2$ ) を通るためエミッタベース間に挿入されたコイル ( $L_1$ ) にこれに応じた電圧が誘起されてベース電流となる。ここで二つのコイル ( $L_1, L_2$ ) を反結合させて置けばベース電流がトランジスタの増巾作用により拡大されてコレクタ電流となりコレクタに挿入されたコイル ( $L_2$ ) とコンデンサ ( $C_1$ ) およびトランジスタを含む回路により定まった高周波数の発振が起きる。回路に発振

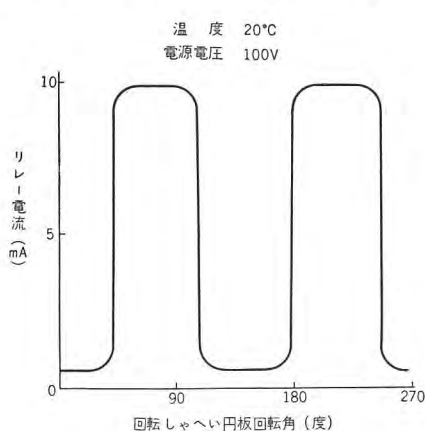


図 2.2 動作特性

Fig. 2.2 Operation characteristic.

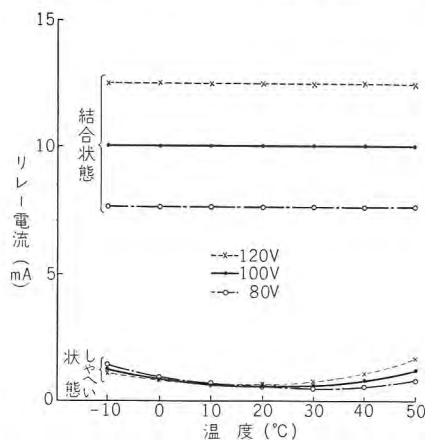


図 2.3 温度—電圧特性

Fig. 2.3 Temperature-voltage characteristic.

が起きれば発振勢力により回路電流は増加し高周波分はリレーと並列に挿入されたコンデンサ ( $C_2$ ) を、直流分はリレーを流れる。したがってリレーを流れる電流は増加し (5~10 mA) リレーを付勢し接点は閉合する。

以上の原理、動作にもとづき回転円板 (P) を積算計器の計量装置に直結させ歯車および回転円板の等分を適当に選ぶことにより計器定数に応じた検流信号をうることができこれにより計量、記録を精度良く確実にこなうことができる。

## 2.2 発信回路の特性

以上のような原理、構造で検流信号をうる場合、外部条件すなわち温度変化、電圧変化などにより、確実に動作するかどうかを明らかにしなければならない。動作の確実を示すためには、リレーを流れる電流により判断することがもっとも手早い方法であるので以下リレー電流との関係を示してみる。

### (1) 動作特性

しゃへい状態と結合状態の過渡期の動作の様子を図 2.2 に示す過渡期の電流変化が急激でありしゃへい状態と結合状態とのリレーを流れる電流の比が非常に大きいので安定な動作が行なわれることを示している。

### (2) 温度特性

トランジスタは温度による特性の変化が大きいことが欠点であるがこの回路の温度特性は図 2.3 に示すように結合状態 (発振時) においては温度が変化してもリレー電流はほとんど変化せず、しゃへい状態 (発振停止時) において温度変化の影響を受けるが結合時としゃへい時との電流の値の比が大きいので相当広い範囲において安定に動作することがわかる。

### (3) 電圧特性

電源電圧が変動した場合の特性を同じく図 2.3 に示す電源電圧の変動はしゃへい状態においては大きく変化せず、結合状態ではほぼ比例的である。またこの状態は温度が変化してもいえることで、温度、電圧ともに変化しても安定に動作することを示している。

### (4) 摩擦トルク

回転円板 (P) の凸部が二つのコイルの間にあるときコイルと回転円板との間に電磁的な摩擦トルクが働



くのではないかと考えられるがこれは測定できないくらい小さく零とみなしてさしつかえなかった。

## 2.3 特 長

### (1) 摩擦トルクなしに衝流信号が取り出せる

積算計器の計量装置部分と衝流信号発生部分とが電磁的に結合されているので衝流信号を取り出すために生じる摩擦トルクは零とみなせる。

### (2) 動作が確実に行なわれる

衝流信号を取り出すための発振方式は振巾変調でなく発振の動作と停止で行なわれるので衝流信号電流の変化の比が大きく外部条件の変動などに対し確実に動作が行なわれる。

### (3) 故障が少なく寿命が長い

回路が簡単で部品数が少ないため故障の発生する確率が少なく、また部品が半永久的な接合形トランジスタ、磁器コンデンサ、コイル、固定抵抗器などであるため寿命が長い。

### (4) 容易に衝流信号が取り出せる

しゃへい状態と結合状態の回路電流の比が大きいかつ結合状態における回路電流も比較的大きいため特別なリレーまたは増巾器が不要で容易に衝流信号が取り出せる。

### (5) 安価である

回路が簡単で部品数が少なくしかも現在一般市販にある普通の部品で構成できるので比較的安価である。

## 2.4 構 造

図 2.4 に構造の概略を図 2.5 に全形を示す。

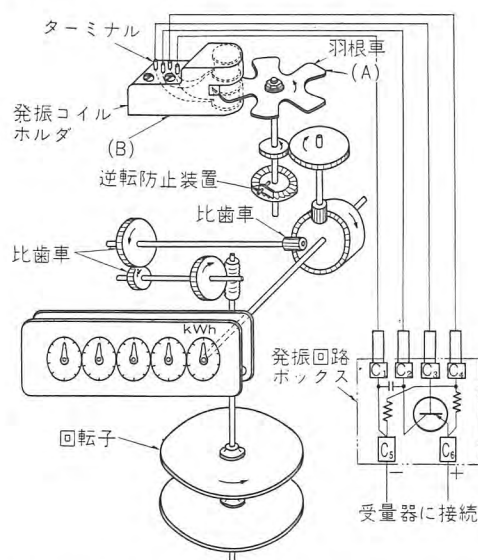


図 2.4 MWS-Z 5 形精密積算電力計衝流発信機構構造図  
Fig. 2.4 Construction of type MWS-Z 5 precision watt-hour meter impulse oscillator.

最近の記録積算計器・武田・林

この計器において発信回路の電源部分およびリレー部分は取扱上の理由により積算計器本体より切離して設定している。したがってこれらの部分は本器と組合わせて使用する記録積算計器記録部内部に取付けるとか別途のケースに独立して収納するなどの構成を行なっている。一例として後述の記録積算計器 MZ-3HF と組合わせた場合の結線の様子を図 2.6 に示す。



発振回路ボックス

図 2.5 MWS-Z5 全形  
Fig. 2.5 Full view of type MWS-Z5 meter.

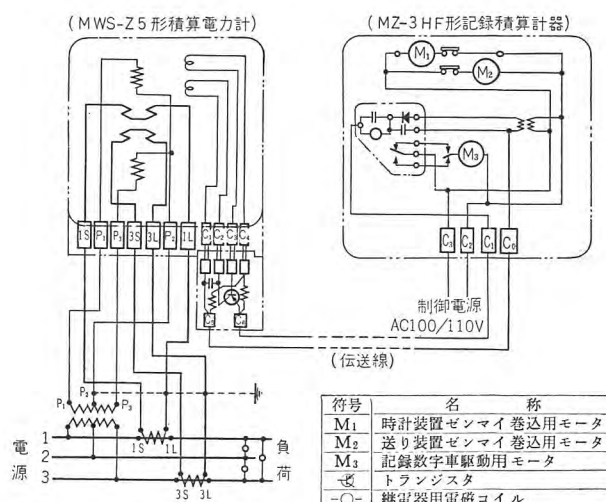


図 2.6 MWS-Z5 形 ↔ MZ-3HF 形接続図

Fig. 2.6 Connection diagram of type MWS-Z5 ↔ type MZ-3HF.

この計器は計量装置の最末位の指示の 1/100 回転ごとに衝流を発信（在来の標準品は計量装置の最末位の指示の 1/10 回転ごとに衝流を発信する）するもので A は計量装置の末位の指針軸の歯車から直結されて回転する衝流発信用回転しゃへい板で末位の指針軸 1 回転に対し 10 回回転する。B はコイルを取付けたホルダでコイルは回転しゃへい板をはさみ上下に対向して配置されコイルのリードは積算計器の端子バコ部分に設けられた発振回路バコ部分に導かれている。発振回路部分はトランジスタ、コンデンサ、バイアス抵抗より構成している。

## 2.5 追 記

2.1 で述べたトランジスタによる衝流信号発生方式は記録積算電力計に限らず、回路が簡単なこと動作が確実なことなど種々な特長を利用して各方面の自動計測、自動制御に応用面が広いものと考えられる。



図 2.6 では、MZ-3HF なる記録積算計器と組合わせた例を示したが内部構造を若干変更することにより後記の MZ-10 形、MZ-40 形などと MWS-Z 5 形を組合わすことにより従来の衝流発信器をもつ積算電力計（たとえば ML-BZ 形など）の 1/10 の精度で読み取りまたは記録ができる。

### 3. MZ-3D 形記録積算計器

#### 3.1 概 要

さきに本誌で紹介した<sup>(1)</sup> MZ-3 形記録積算計器をその後種々改良した標準形のものである。

おもなる改良点は下記のとおりであり下記以外の特長、構造は MZ-3 形記録積算計器と同一であるから記述を省略する。

##### (1) 制御電源の変動保証範囲を拡大した。

MZ-3 形記録積算計器における記録数字車駆動方式は交流電磁石と引張バネを組合わせて実施していたが交流電磁石使用のものは電圧の変化および励磁の時期的変化による吸引力の変化が大きいため制御電源の変動保証範囲が少なく定格電圧  $\pm 5\%$  程度であったので実際使用にあたっていろいろと制約を受けていた。そこでこの交流電磁石を小形電動機に置きかえて記録数字車を駆動する方式に変更し電圧変動保証範囲を拡大して定格電圧

$\pm 20\%$  とした。

##### (2) 計器の負担を少なくした

本器を電力取引用を使用する時は制御電源を計器用

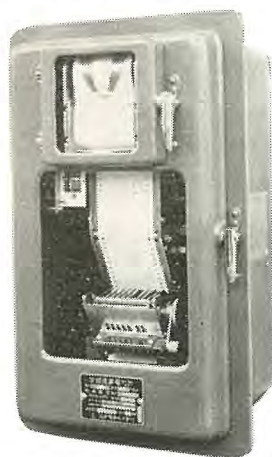


図 3.1 MZ-3D 形記録積算計器

Fig. 3.1 Type MZ-3D recording integrating meter.

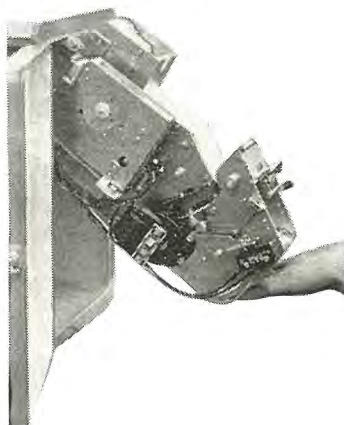


図 3.2 MZ-3D 形引出構造説明図

Fig. 3.2 Type MZ-3D drawing out construction.

変圧器より取ることが多く、MZ-3 形は計器の負担が大きく問題になることが多くあったが上記の小形電動機を使用することによって定格負担が一段と減少して 16VA (110V 定格のもとで) 以下としたので計器用変圧器に接続して使用する場合の問題を少なくした。

##### (3) 保守点検をさらに容易とした

内部要素を引出構造としてケース部分に組立てるようにした時計装置、送り装置、記録数字車装置を単一構造にしたので保守点検のとき一段と便利となった。なお時計装置の電源接続端子部分、時間調整方法など細部にわたっても種々改良を加えている。

##### (4) 15 分・30 分時限印字が可能

従来は 60 分ごとに印字記録するものが標準品であったが最近に至り需要電力掌握のため 15 分ごとまたは 30 分ごとに印字記録するものが要求されてきたのでこれを開発し各方面の需要に応じている。15 分および 30 分時限で印字するものの概要および改造点を標準品と比べると下記のとおりである。

##### a. 一般仕様

表 3.1 MZ-3D 形記録積算計器仕様一覧表

項目	60 分 (標準品)	30 分	15 分	項目	60 分 (標準品)	30 分	15 分
記 録 紙	60 分用	30 分用	15 分用	送り装置ゼンマイ巻込用電動機の定格負担	2 VA	2 VA	4.5 VA
送り装置停電保証時間	30 時間	15 時間	7.5 時間	記録数字車駆動用電動機の定格負担	11 VA	11 VA	11 VA
時計装置停電保証時間	24 時間	24 時間	24 時間	全部の電動機が回転したときの総負担	15 VA	15 VA	17.5 VA
記録紙 1 冊の使用日数	1 カ月 連続使用の場合は 40 日 使用できる	1 カ月 連続使用の場合は 35 日 使用できる	半月 連続使用の場合は 17 日 使用できる	時計ゼンマイ巻込用電動機回転時間	約 1 時間 停止を繰り返す	約 1 時間 停止を繰り返す	約 1 時間 停止を繰り返す
カーボンテープの進行方向切替の時間	2 カ月	1 カ月	1 カ月	送り装置ゼンマイ巻込電動機回転時間	約 40 分 約 20 分停止を繰り返す	約 40 分 約 20 分停止を繰り返す	約 40 分 約 20 分停止を繰り返す
計器表面より読める過去の印字	21 回分 (21 時間分)	21 回分 (10.5 時間分)	21 回分 (5 時間分)	時計装置の日差	±30 秒	±30 秒	±30 秒
制 御 電 源	AC100/110V ±20% 50/60 c/s	AC100/110V ±20% 50/60 c/s	AC100/110V ±20% 50/60 c/s	絶 縁 耐 力	AC 1,500V 1 分間	AC 1,500V 1 分間	AC 1,500V 1 分間
時計ゼンマイ巻込用電動機の定格負担	2 VA	2 VA	2 VA	絶 縁 抵 抗	20 MΩ 以上	20 MΩ 以上	20 MΩ 以上

注：15 分時限の場合、記録紙を半月ごとに取換えるのが標準品であるが取換えの手数を省くためとくに 1 カ月ごとに取換えれば良いものも開発した。

##### b. 構造概略

構造の大略は標準品の 60 分時限印字のものとほとんど同一であり、印字時限が変るために変更する部分は時計装置および送り装置の一部と記録紙である。

すなわち印字時限が短くなった場合従来の構造のものであると時計装置が送り装置のクラッチを引はずすための仕事量の影響が時計装置に大きく表われ時計装置の時間誤差が大となるので図 3.3 および図 3.4 に示すように変更し上述の影響を僅少として性能の低下を防いである。



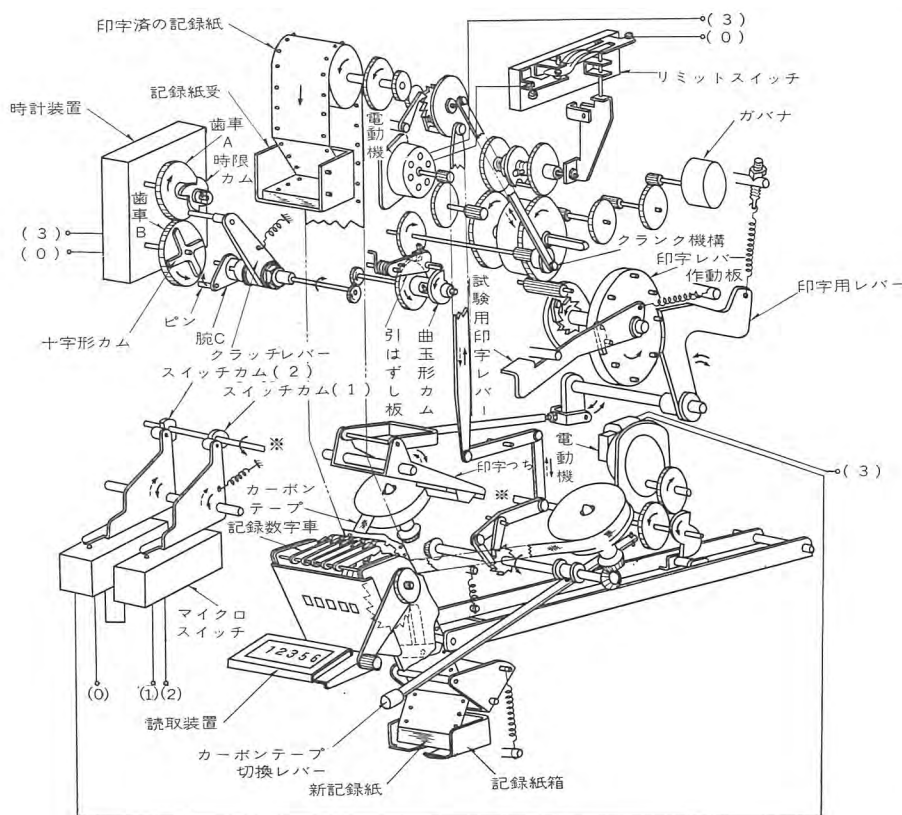


図 3.3 MZ-3D 形記録積算計器構造図

Fig. 3.3 Construction of recording integrating meter.

この動作を簡単に説明する。

#### 15 分時限の場合

各部の動作は標準品 (60 分) の場合とほとんど同じであるが 1 時間に 1 回転する時限カムだけを 4 等分のものに変更した場合は送り装置のクラッチを引はずすために時計装置に与える影響が大きく時間誤差が増大し使用に耐えないので送り装置の回転力の一部を時計装置に加える機構を採用しているすなわち図 3.3 のように時計装置の時限カム軸に歯車 A を設けこれにかみ合う歯車 B の側面に十字形のカムを付加した。一方送り装置のクラッチ軸に腕 C を設けこの腕の一端に植立したピンが矢印方向に回転したとき前記の十字形カムに接して歯車 B を 1/4 回転だけ押し回すように設定してある。したがって送り装置が回転を始めると腕 C が矢印方向に 1 回転しこのとき時計装置の歯車 B に固定した十字形カムを押して歯車 B を 1/4 回転させる。これによって歯車 A も約 1/4 回転し、歯車 A に固定された時限カムが回りクラッチレバーを引張バネに抗して押し上げる。その後は時計装置によって時限カムを回しクラッチレバーが時限カムの切欠部分にくるとふたたび引張バネの力で切欠部に落下し送り装置を動作させる作用をする。このようにクラッチレバーを引張バネに抗して押し上げる作動力は送り装置

最近の記録積算計器・武田・林

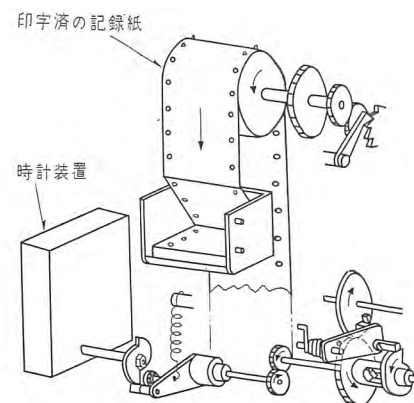


図 3.4 MZ-3D 形 60 分時限を 30 分時限に変更したときの時計装置と送り装置の接続部分の構造を示す (時限カムおよびクラッチレバー以外は 60 分時限と同じ)

Fig. 3.4 Construction of joint of clock device and feeding device.

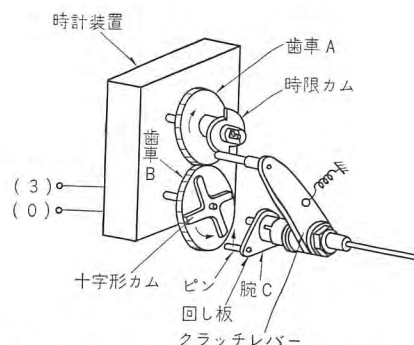


図 3.5 MZ-3D 形 15 分時限を 30 分時限に変更したときの時計装置を示す。

時計装置以外は図 3.3 と同じ構造である。

Fig. 3.5 Clock device.

の力を利用しているので時計装置に無理な力が加わらないので精確に時間誤差を維持できる。なお 15 分時限用の記録積算計器においてこれを 30 分時限で使用する場合は時限カムだけを 4 分割のものから 2 分割のものに取換えることによって容易に実施できる。

一方送り装置のゼンマイ巻込用モータ機構は標準品そのままでは巻込速度が少なく巻込が追従できないので早く巻込めるモータと取換えることにしている。

#### 30 分時限の場合

各部の動作は標準品 (60 分) の場合とほとんど同じで時計装置の時限カムおよび送り装置のクラッチ部分だけを取換えることによって実施できる (図 3.4 参照)。

また前述のとおり 15 分時限のものの時限カムを取換えることによっても容易に実施できる。

#### 4. MZ-10 形記録積算計器

(積算量と積算量の差を同時に記録するもの)

MZ-3D 形記録積算計器など従来の印字式記録積算計



器は一定時間ごと（60 分、30 分、15 分など）に積算計器の計量指示を記録していたので一定期限内の積算量を知るためには後でこれら記録の数値をいちいち減算する必要があったが、この不便をなくする目的で積算計器の読みの記録と同時に一定期限内の積算量、すなわち前

回の積算量記録との差の数値を同一記録紙に並べて印字記録する MZ-10 形記録積算計器を開発したので以下紹介する。

#### 4.1 特 長

特長としては在来の MZ-3D 形記録積算計器（標準品）の特長をすべて具備しておりかつ MZ-3D 形記録積算計器を改造して製作することも比較的容易に実施できるような構造となっている。すなわち記録紙の巾、受量器の外形寸法、取付および接続は、MZ-3D 形記録積算計器と同一に設計している。

#### 4.2 記 録 紙

図 4.2 に示すように巾 60 mm で折たたみ式である。

#### 4.3 構 造

時計装置・印字、記録紙、カーボンテープ送り装置・記録数字車装置を内蔵し、これらが全部フレームに取付けられている。一定時間ごとに 5 けたの積算値と 2 けたの単位時間内の積算値を並べて折たたみ式記録紙に同時に印字する。計量の差を示す記録数字車は印字終了と同時に零に復帰する。

##### (1) 時計装置

時計装置は送り装置を動作させる時限を出す働きをする。時計は自動電動機巻ゼンマイ式テンポ時計で、ゼンマイ巻込用電動機により自動的にゼンマイを巻込む。ゼンマイは常時巻込まれているので巻込用電動機の電源が停電しても 24 時間以上の運転持続が可能である。エスケープメントにはクラブツースレバー式を用い、とくにヒゲゼンマイには弾性率温度係数小なるエリンバ(Ni-Cr-Fe-W-Mn-Si-Cu 合金)を用いて温度補正を行なっている。1 時間に 1 回転する時限カム軸を設け、このカムと係合するクラッチレバーのピンがカムの山から谷に落ちたとき送り装置が動作するように作用する。

(2) 印字・記録紙、カーボンテープ送り装置

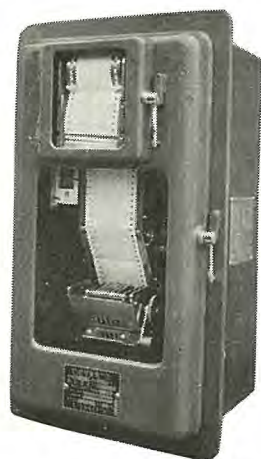


図 4.1 MZ-10 形記録積算計器  
Fig. 4.1 Type MZ-10 recording integrating meter.

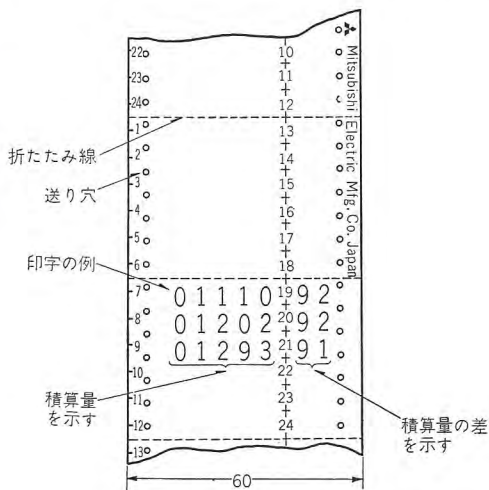


図 4.2 MZ-10 形記録積算電力計用記録紙見本 (60 分時限印字のもの)  
Fig. 4.2 Sample of recording chart.

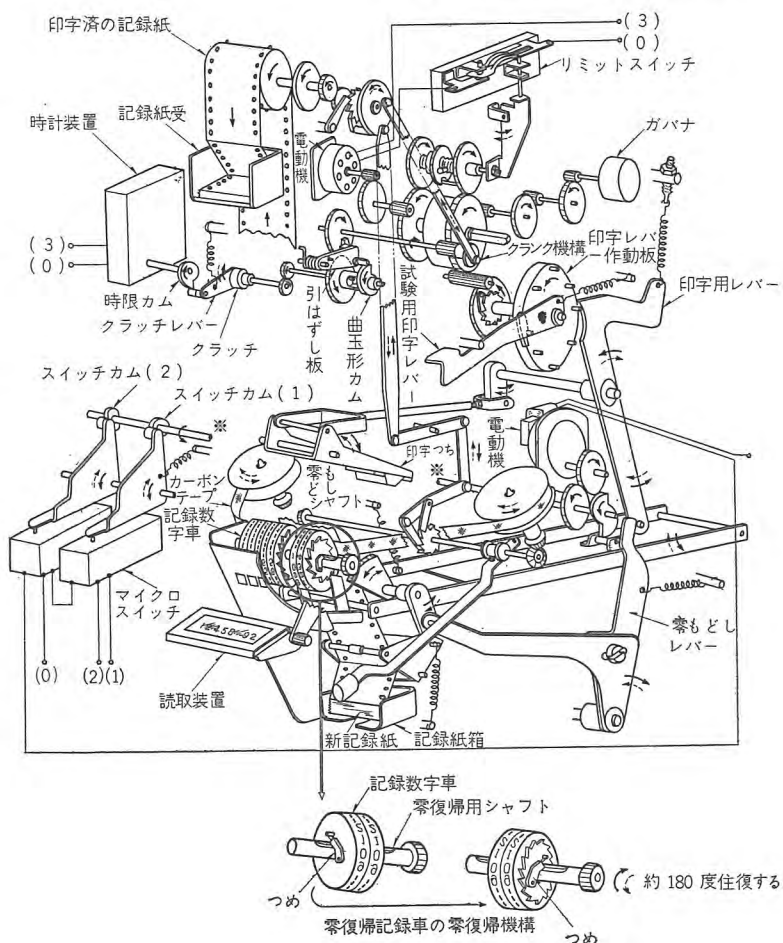


図 4.3 MZ-10 形記録積算計器構造図  
Fig. 4.3 Construction of recording integrating meter.



この装置は印字と記録紙ならびにカーボンテープを移動させる役目をするとともに動力の一部を記録数字車の零復帰動作に利用している。とくに停電時も動作させるために動力源にはゼンマイを使用しゼンマイ巻込用電動機により自動的にゼンマイを巻込みゼンマイの解ける力を利用して印字、記録紙およびカーボンテープ送りと記録数字車の零復帰を行なっている。ゼンマイは常時巻込まれているので巻込電動機の電源が停電しても18回以上動作することが可能である。ゼンマイの解けようとする力はクランク軸上にある大歯車の側面に設けた突片と引はずし板の側面に設けた突片とが突合って常時は止められている。時計装置の時限カム軸が回転し送り装置のクラッチレバーピンが時限カムの山から谷に落ちたとき、クラッチ、ギヤ、カム軸を介して曲玉形カムが回り引はずし板はヒネリバネの作用で下方に落ち、今までゼンマイの解けるのを止めていた係合がはずれクランク軸は回転する。クランク軸が回転すると引はずし板が自動的に作用して回転を阻止し1回以上回転しない。クランク機構が1回転するとき印字レバー作動板が1/8回転する。この作動板には等間隔に8本のピンが植込まれてあり印字レバーがピンよりはずれるとレバーは印字用ツル巻バネの力によって回され、このレバーに連結した各連結桿を介して印字つちが記録紙の背面をたたき印字する。さらに印字カム作動板が回転し次のピンが印字レバーの曲面をしゅう動しレバーはもとの位置にかえる。これに連動して印字つちももとの復帰する。一方クランク機構が回転を始めるとこれに連結した連桿が関連して動作し記録紙およびカーボンテープを間欠的に一定量だけ移動させる。ゼンマイが解ける速度は遠心力形ガバナによって制御され一定の速度以上にならないようにしてある。

### (3) 記録数字車装置

積算計量を示す5けたの記録数字車と差の計量を示す2けたの記録数字車を同一軸上に設置し、発信装置接点が投入されるごとに一定角度だけ回転する数字車駆動用電動機により数字送り用カムを回しこのカムによって動かされる腕を介してそれぞれの数字車が順次に送られる。すなわち一衝流に対して数字が一つずつ順次に進んで計量される。

### (4) 記録紙収納機構

記録紙は連続折たたみ式であり下部に新しい記録紙を置き印字後上部の巻取ローラによって巻き上げられた後、巻取ローラ下部に設置した受け箱に順次折たたまれ

て行く。

### (5) 差の計量を示す記録数字車零復帰機構

印字用レバーの下端にピンが植込まれ零もどしレバーと係合っている。零もどしレバーはツル巻引バネによって絶えず実線矢印の方向に引張られている。零もどしレバーの他端は小レバーを介して零もどし用扇形歯車に至っている。印字に際して印字用レバーが回されると印字つちが働き印字することは前記の説明のとおりである。印字レバーが回れば零もどしレバーも回り扇形歯車を介して零復帰用シャフトが約180度往復する。この間に差の計量を示す記録数字車は零に復帰する。

## 4.4 仕様概略

表 4.1 MZ-10 形記録積算計器仕様一覧表

印字時限	60分 (標準品)	30分	15分
送り装置停電 保証・時間	18時間	9時間	4.5時間

上記以外の仕様は表 3.1 MZ-3D 形記録積算計器仕様一覧表と同仕様である。

## 5. MZ-3HF 形記録積算計器



図 5.1 MZ-3HF 形記録積算計器

Fig. 5.1 Type MZ-3HF recording integrating meter.

前項 2. で述べたように、最近電力量を計測記録する場合在来の標準品 MZ-3D 形記録積算計器に比して1けた小さい単位で記録することを要求され、積算計器としては MWS-Z5 形精密積算計器を開発した。これと組合わせて用い在来のものより1けた小さい単位で記録する目的で開発したのが MZ-3HF 形記録積算計器である。以下これに

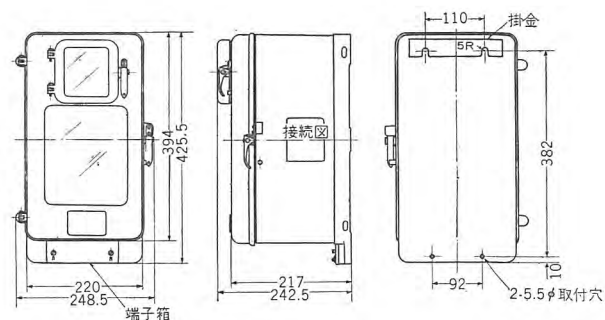


図 5.2 MZ-3HF 形記録積算計器外形寸法図

Fig. 5.2 Outlin dimensions of type MZ-3HF recording integrating meter.



ついて紹介する。

MZ-3HF 形記録積算計器の大略は MZ-3D 形記録積算計器とまったく同じ様である。すなわち計器の記録方式、外形寸法、取付寸法は MZ-3D 形記録積算計器とまったく同様である。ただ本器はトランジスタを利用した特殊衝流発信装置付の積算計器と組合わせて使用するため、発信装置用の直流電源装置および衝流信号取出用のリレー部分を付加内蔵している。

したがって本器の特長は MZ-3D 形記録積算計器の特長をすべて兼ね備え、それに加えて在来の記録積算計器より 1 けた小さい単位で印字記録することが可能である。

## 6. 多数の記録積算計器を 1 台の親時計により制御し同時に印字する方式

大規模な発・変電所などにおいては多数の回路を測定するため各回路ごとに記録積算電力計を取付けたりまた時間ごとの平均力率を算定するため記録積算電力計と記録積算無効電力計を併用するなど、多数の記録積算計器を 1 箇所集中して取付ける場合が生じる。このような場合一般的には標準品の記録積算計器を必要数だけ取付ければよいが、標準品には各記録計ごとに単独の時計装置が内蔵しており、各時計装置はそれぞれ日差が異なっているため最初のおおの記録計の時間を合わせて同時に運転を始めても日時がたつにつれておおの記録積算計器の日差に応じて進み遅れが出てくる。たとえば標準時 3 時に記録すべきものが、A は 2 時 58 分、B は 3 時 3 分、C は 3 時 5 分……など各計器の印字時限がばらついてくる。用途によってはこの程度の印字時間のバラツキも問題になることがある。この場合次に述べるように 1 台の親時計によって多数の記録積算計器を集中制御して同時に印字するものを製作し、これを使用することによって問題を解消した。

すなわちおおの記録積算計器から時計装置を取はずし時計装置の時限カムによって作動していた記録紙、カーボンテープ送り装置のクラッチレバーを動かすための電磁石装置を新たに設置する。別途に接点付親時計を 1 台取付け、この接点が閉じると同時に各記録計器内に設置した電磁石装置が作動して、送り装置のストッパを引はずし各記録積算計器を同時印字する。したがってこの方式によるときはおおの記録積算計器の印字時刻のバラツキはまったくないので正確な記録が得られる。

なおこの方式に使用する親時計は発・変電所で警報を

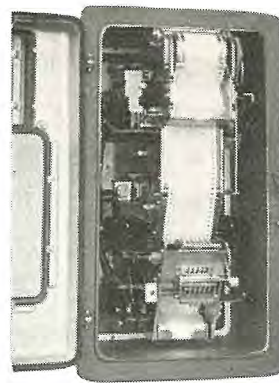


図 6.1 MZ-3E 形記録積算計器

Fig. 6.1 Type MZ-3E recording integrating meter.

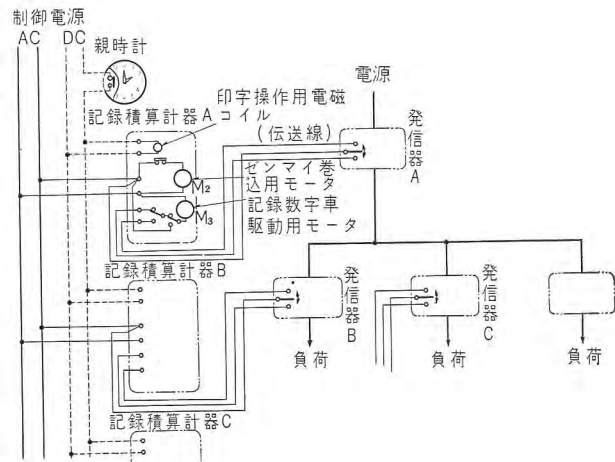


図 6.2 多数の記録積算計器を親時計によって制御する方式の接続図

Fig. 6.2 Connection diagram of system to control many recording integrating meters with a master clock.

鳴らすためなどの目的で設置してある接点付の時計があればそれをそのまま使用できる。また親時計の制御回路電源は直流でも交流でもさしつかえないが停電のない所内直流電源を使用することが望ましい。

上記のように親時計で集中制御できるようにした記録積算計器には次の種類がある。

MZ-3E 形記録積算計器 (MZ-3D 形記録積算計器を基体として改造したもの)

MZ-10E 形記録積算計器 (MZ-10 形記録積算計器を基体として改造したもの)

## 7. MZ-40 形 4 要素 記録積算計器

発電所、変電所の規模の増大、積算電力量記録管理の合理化などに伴い 1 ヲ所で多数の記録積算計器を使用することが多くなってきた。この場合従来の記録積算計器を使用すると配電盤の取付面積がはなはだしく増大し記録計の管理も一段と繁雑になってくる。これを解消するため、多要素内蔵の記録積算計器が要望されこれに応じるため、従来の一要素記録積算計器 4 台分を、一つのケースに収納し 1 台として、まとめた 4 要素内蔵形の記録







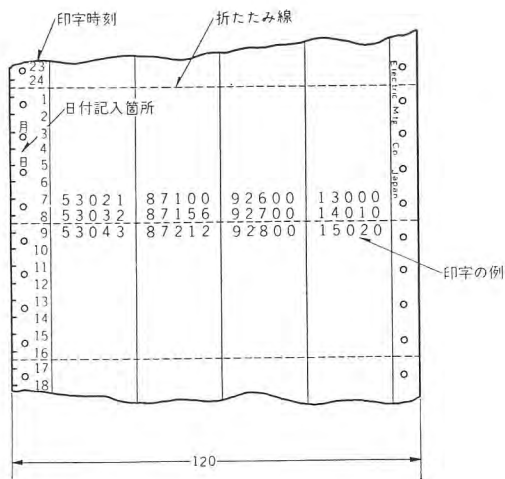


図 7.3 MZ-40 形用記録紙

Fig. 7.3 Recording chart for type MZ-40.

を通して印字記録するものである。各部の構造概略を下記に述べる。

#### (1) 時計装置

時計装置は送り装置を作動させる時限を与える作用をするもので、ゼンマイ自動巻込式、天府時計となっているので、ゼンマイを手で巻く必要もなく、また電源周波数の変化が時計の歩度にまったく影響しない。

#### (2) 印字・記録紙および、カーボンテープ送り装置

この装置は印字の働きと、印字終了後ただちに記録紙

とカーボンテープを移動させる働きをする。とくに制御電源の停電時にも動作させるために動力源には、バネ鋼板製のゼンマイを用い、ゼンマイ巻込用電動機により一連の減速歯車を介して、自動的に、ゼンマイを巻込み、そのゼンマイの復元力を利用して、印字機構、記録紙、ならびにカーボンテープの送りを行なう。したがって、ゼンマイを手で巻込む必要はまったくない。

#### (3) 記録数字車装置

5 けたの現字形数字車 4 組で構成し発信器よりの衡流により一定角回転する記録数字車駆動用電動機によって、数字車は一つずつ加算計量される。記録数字車駆動の動力源に電動機を使用しているので動作時の振動衝撃がなく、スムーズに計量する。

### 7.3 仕 様

以上のように MZ-3D 形記録積算計器の特長をそこなうことなくさらに一段と、性能を向上させている。

(表 7.1 参照)

## 8. RZ-1 形積算量総合継電器

多数の回路を測定記録する場合各フィードごとに記録積算計器を取付けて記録を得ているが場合によっては各フィードの記録の総合量を知りたい場合がある。在来はかかる場合各記録積算計量の記録を後で加算していた。

この方法によるときは加算の手数が繁雑であるのでこれを自動的に加算できる RZ-1 形積算量総合継電器を開発したので以下紹介する。

### 8.1 特 長

(1) 本器 1 台で 3 回路までの積算量を自動的に総合することができるので記録積算計器と組合わせて使用することによって後で計算することが不要となる。

(2) 電気的衡流信号を機械的に回転角として加算総合しふたたび電気的衡流として送出する機構であるから電源電圧の変動が誤差に影響しない。

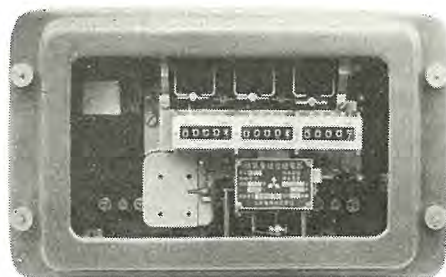


図 8.1 RZ-1 形積算量総合継電器

Fig. 8.1 Type RZ-1 integrated quantity totalizing relay.

表 7.1 MZ-40 形記録積算計器仕様概略

項	目	明 細
送り装置	記 録 紙	1. 連続折たたみ式で間欠送りである 2. 記録紙巾 120 mm 3. あらかじめ印字時間が印刷してある 4. 月日の記入箇所あり 5. 折たたみ 1 折に 8 回印字できる 6. 1 冊で 2 カ月使用できる (60 分時限のとき)
	カーボンテープ	1. タイプライタ用の黒色リボンテープを使用 2. 完全自動送り機構である 3. テープの巾 約 13 mm
	停電保証時間	最低 24 回印字できる (60 分時限のとき) したがって 60 分印字時限のものでは 24 時間以内の停電ならば支障なし
	ゼンマイ巻込用電動機	1. 定格負担………2 VA 以下 2. 回転時間………約 40 分運転 80 分停止を繰り返す
時計装置	方 式	1. 自動ゼンマイ巻込み天府時計 2. 天府は高級クラブツースレバー式
	停電保証時間	24 時間以上
	ゼンマイ巻込用電動機	1. 定格負担………2 VA 以下 2. 回転時間………約 1 時間運転 4 時間停止を繰り返す
	日 差	±30 秒以内
装記録数字車	記 録 数 字 車	1. 5 けたの現字式 2. 数字の大きさ………巾 1.4 mm×高 2.5 mm
	記録数字車駆動用電動機	1. 定格負担………5 VA 2. 1 衡流に対する 回転時間………約 2 秒
一般事項	計器表面より読める過去の印字記録	1. カバーを閉じたままで………24 回分 2. カバーを開き記録紙受け箱を持ち上げることによって………37 回分よめる
	制 御 電 源	1. AC 100/110 V±20% 50/60 c/s
	全部の電動機が回転したときの定格負担	約 24 VA ただし同時に連続回転することはない
	絶 縁 耐 力	AC 1,500 V 1 分間
	絶 縁 抵 抗	20 MΩ 以上



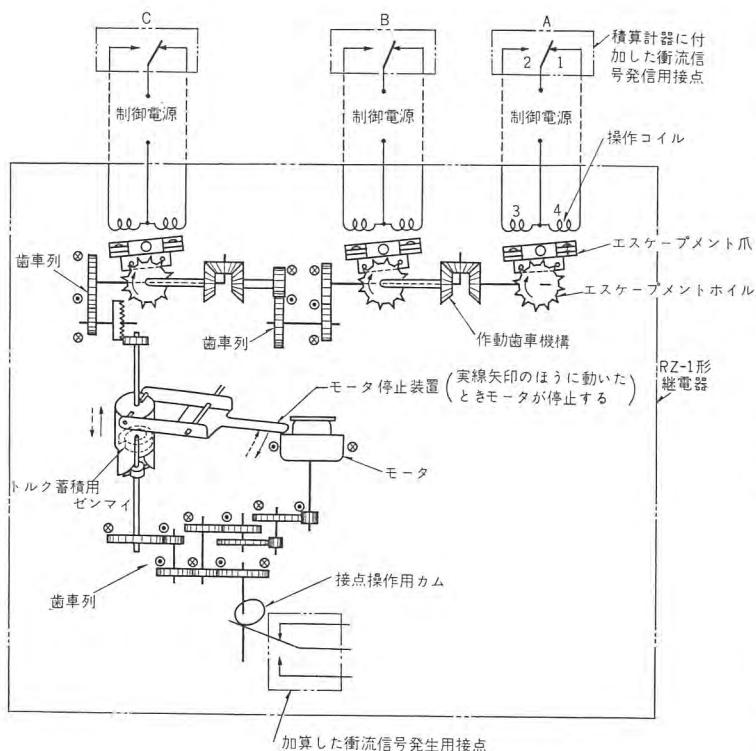


図 8.2 RZ-1 形積算量総合継電器原理図  
Fig. 8.2 Principle of type RZ-1 integrated quantity totalizing relay.

## 8.2 原理、動作

この継電器は 3 回路までの積算量（電氣的衝流信号）を受信して機械的に回転角として加算総合しふたび電氣的衝流として送出するもので原理は図 8.2 に示すとおりである。図によって簡単に動作を説明する。

各フィードダに取付けられた衝流信号発信用接点が 1, 2 と切換動作するごとに操作コイル 3, 4 がそれぞれ応動し、エスケープメントつめが操作コイルの動作に応じて交互に吸引される一方エスケープメントホイールは、モータより一連の歯車列および差動歯車機構を通して矢印方向に回転するよう回転力が作用しているが常時はエスケープメントつめによって阻止されている。エスケープメントつめが操作コイルに吸引されて交互に動作すると

にエスケープメントホイールの歯が規則正しく脱進するすなわちエスケープメントつめが操作コイルによって駆動するたびにエスケープメントホイールは 1/2 歯ずつ矢印方向に回って行くしたがってこの回転角の変位はそのままモータの回転に比例して表われこのモータ歯車列中に設定された接点操作作用カムが回され加算した衝流信号発生用接点が動作する。本器においては各フィードごとの衝流信号を加算する機構として差動歯車機構を使用しているのとたとえば A, B, C, 3 回路より同時に電氣的衝流信号が到来しても誤動作をすることなく規則正しく加算できる。

## 8.3 実用例

本器を積算電力量の総合記録装置に使用するときには発信器に衝流発信器付積算電力計を使用し、受量器に積算量記録計を使用することによって 3 回路までの積算量を自動的に総合記録することができる。また 3 回路以上の積算量を総合するときには本器を 2 台、3 台と組合わせて実施することも可能である。

## 9. む す び

積算電力量など、計測管理の合理化、自動化が進むにつれて本器の占める分野もますます増加し、このように多機種のものが開発された次第である。現在各種機器の自動化はめざましい発展を遂げつつありこれに占める計測部門の分野も広く本器もますます多機種多様にわたって需要が増大して行くものと期待している。

## 参 考 文 献

- (1) 加藤義明：MZ-3 型記録積算電力計、「三菱電機」30（昭和 31 年）6, p. 35



# サーミスタ温度調節器のトランジスタ化

研究所 後藤正之\*・佐々木益男\*

## Transistorized Thermostats

Research Laboratory Masayuki GOTÔ・Masuo SASAKI

Automatic control at a certain temperature is usually obtained by means of the movement of bimetallic springs or the thermal expansion of rods. In a number of repeated operations, however, they are not always stable, and if this drawback is to be overcome, such costly material as platinum is considered necessary. Under the circumstances, introduction of Thermistor to play a role of the temperature control is a marked achievement. This temperature controller is small sized and relatively simple with high accuracy, being designed for use of the temperature range from the room temperature to 250 deg. C. To add to these distinctive features the major parts have been transistorized now so as to give full play to its superiority.

### 1. ま え が き

温度調節方式には、金属などの膨張を利用してオン・オフ制御をする例として

- (1) バイメタル式サーモスタット
- (2) トルエン式サーモスタット
- (3) 水銀温度計を用いたサーモスタット

などがあり、そのほかに検温素子として

- (1) 熱電対
- (2) 白金などの抵抗線
- (3) サーミスタ

を使用し、増巾器として

- (1) 普通の交流増巾器と位相検波回路と組合わせたもの
- (2) 直流増巾器（直結式増巾器または磁気増巾器）
- (3) 自動平衡計器

などを用い、制御方法として

- (1) リレーによりオン・オフ制御をするもの

(2) サイラトロンにより連続制御をするもの

(3) 過飽和リアクトルにより連続制御をするものなどがあり、これらを適当に組合わせて使用する。一般に簡単な用途にはバイメタルが用いられているが、これは反復繰り返し使用したとき長期間の安定な動作が得られにくい欠点がある。熱電対または白金線と自動平衡計器との組合わせもしばしば用いられるすぐれた方法であるが、装置が大がかりとなり費用もかさむので現場などで多くの箇所の調節を同時に行なうには不適當である。われわれは一つの調節器をできるだけ小形、安価なものとし、かつ高い調節精度と長期間安定な動作をうるため、サーミスタを交流ブリッジにして使用し、簡単な増巾回路とリレーを組合わせてオン・オフ制御を行なわせる方式をとった。

### 2. サーミスタ温度調節器の原理

サーミスタの抵抗温度特性はよく知られているように

$$R = Ae^{\frac{B}{T}} \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

であらわされ、その温度係数を  $C$  とすると

$$C = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{B}{T^2} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

となる。ここに  $B$  は 2,000~5,000 程度であるから、金属などにくらべると負の高い温度係数を有することがわかる。抵抗—温度特性の一例は図 2.1 にしめしてある。この値を一般に用いられる白金抵抗線などと比較すると表 2.1 のように約 1 けた大きい。このことは検温素子としてサーミスタの有利な点であって、このためあとの増



図 1.1 トランジスタ化三点温度調節器

Fig. 1.1 Transistorized 3-point temperature controller.



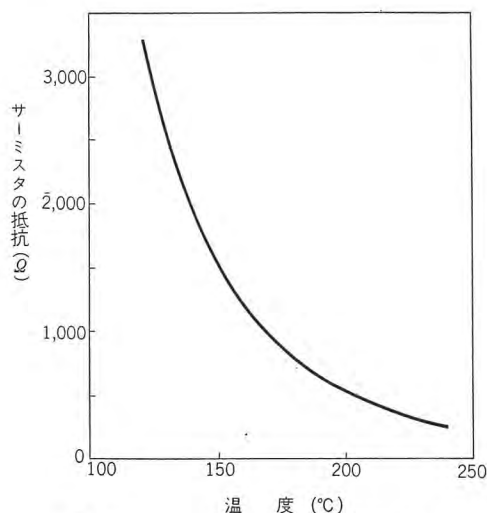


図 2.1 サーマスタの抵抗—温度特性

Fig. 2.1 Resistance—Temperature characteristics of thermistor.

表 2.1 サーマスタと白金線の抵抗の比較

温 度 (°C)	120	160	200	240	
サ－ミスタ	抵 抗 (Ω)	3,152	1,186	502	244
	温度係数(%)	－2.44	－2.14	－1.78	－1.53
白 金 線*	抵 抗 (Ω)	146.8	162.0	177.0	191.8
	温度係数(%)	＋0.26	＋0.23	＋0.21	＋0.19

\* 0°C で 100 Ω のもの。

巾回路が簡単なものになる。

図 2.2 は温度調節器の構成を略示したもので、交流ブリッジの一边にサーミスタ素子があり、これは温度を制御すべき部位に挿入される。サーミスタの抵抗を  $R$ 、ブリッジ各辺の抵抗を図のように  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  とすると

$$R = \frac{R_2 R_3}{R_1} \equiv R_0$$

のときブリッジは平衡し出力電圧は 0 となる。このようにブリッジ抵抗により設定される一定温度において出力は 0 であるが、温度が変化するとサーミスタの抵抗が変化し、温度の上昇（下降）に応じてブリッジには位相の正（逆）の交流電圧がでる。温度が  $\Delta T$  だけ変化すると式 (2.1) によりサーミスタの抵抗は

$$R \doteq R_0 (1 + C \Delta T)$$

となるから、ブリッジ出力電圧  $\Delta E$  は

$$\Delta E = E_0 \frac{R_2 R_3 - R R_1}{(R_1 + R_2)(R + R_3)} \doteq \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} E_0 C \Delta T \quad (2.3)$$

となる。ここに  $E_0$  はブリッジにかかる交流電圧である。これが増巾され位相検波されて正位相の時だけ直流電流を流しリレーを作動させる。増巾器の電圧増巾度を  $A$ 、位相検波器の有効コンダクタンスを  $G$  とすると出力電流  $i$  は

$$i = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} E_0 G A C \Delta T$$

サーミスタ温度調節器のトランジスタ化・後藤・佐々木

であらわされる。リレーの作動巾を  $\Delta i$  とするとオン・オフ制御の温度巾  $\Delta T_m$  は

$$\Delta T_m = \frac{(R_1 + R_2)^2 \Delta i}{R_1 R_2 E A G C} \quad (2.4)$$

となる。いま簡単のため  $R_1 = R_2$  とし、 $\Delta i = 5 \text{ mA}$ 、 $E = 1 \text{ V}$ 、 $G = 1,000 \mu\text{V}$ 、 $A = 10^4 (= 80 \text{ dB})$ 、 $C = 0.01/^\circ\text{C}$  とすれば  $\Delta T_m$  は  $0.2^\circ\text{C}$  となり、 $\pm 0.1^\circ\text{C}$  でオン・オフ制御を行ないうることがわかる。図 2.2 の  $R_3$  を可変にして設定温度を調節できる。たとえば図 2.1 のサーミスタは  $120 \sim 240^\circ\text{C}$  で抵抗値は  $3 \text{ k}\Omega \sim 220 \Omega$  と変化するからブリッジ可変抵抗  $R_3$  をこの範囲に変化させてやれば、 $120 \sim 240^\circ\text{C}$  の範囲の温度制御をすることができるはずである。

このようにサーミスタの温度係数が白金線などにくらべて高いため、80 dB 程度の増巾器で簡単に制御を行な

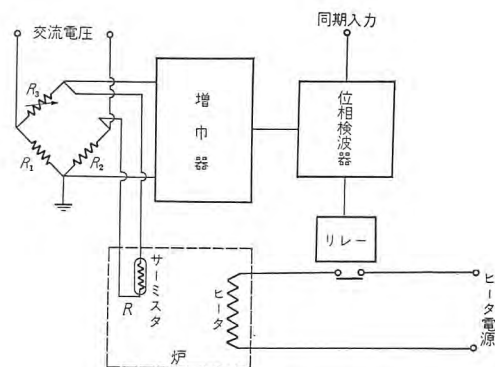


図 2.2 温度調節器の構成

Fig. 2.2 Block diagram of thermistor thermostat.

いうことは有利なことである。実際問題としてはヒータのオン・オフに対する炉の時定数の関係で調節しうる温度巾は多少ひろくなるものであるが、これは炉とヒータ電源の適当な設計により十分せまくできる。またサーミスタのような物質では経年変化による特性のずれが心配されるが、この点もあとでのべるように実用上ほとんど問題にならない。

### 3. 電子管式ユニット調節器

調節器としてはじめに図 3.1 のような真空管回路を試作した。増巾器は 12AX7 と 12AT7(1/2) による 3 段で 90 dB、位相検波は 12AT7(1/2) を使用してミニアチュアリレー (5 mA 作動) によりマイクロスイッチリレーを働かせた。この調節器一つは図 3.2 のようなプラグインユニットに組立てられ、多数を共通の電源によ



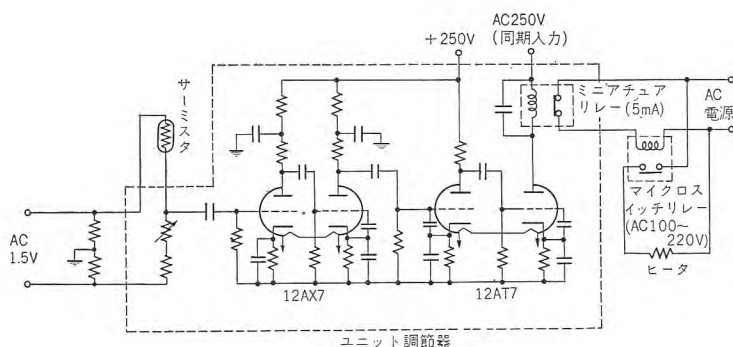


図 3.1 電子管式ユニット調節器の構成

Fig. 3.1 Circuit of vacuum tube unit controller.

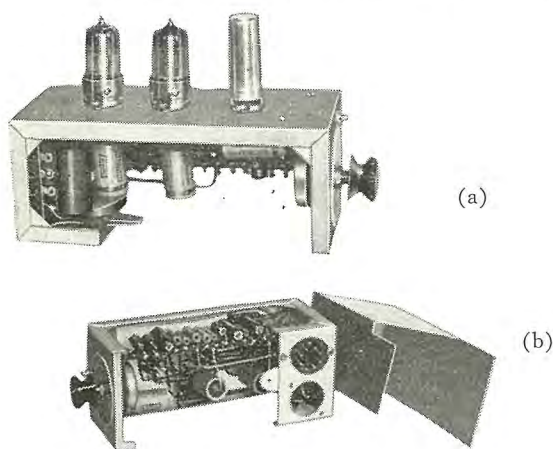


図 3.2 電子管式ユニット調節器

Fig. 3.2 Vacuum tube unit controller.

り働かせることにより多点の同時調節が可能である。設定温度はブリッジの可変抵抗により各ユニットごとに任意に調節できる。

このユニット調節器は図 3.3 のようにパネルに多数取付けて使用される。このような調節器により理論上は 200°C 付近で  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  の制御が可能なのはであるが、実際使用した結果はよく設計された炉で  $\pm 0.2 \sim 0.4^\circ\text{C}$  の制御が十分可能であった。もちろん炉の構造、ヒータ電源の設計により相違することは前にのべたとおりであり、オン・オフ制御で炉温を  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  以内におさえるには炉の設計に相当の検討を要する。サーミスタの抵抗値、温度係数のバラツキは 10% 程度は避けられないので、各ユニットにつき設定点の調節を必要とする。またサーミスタの経年変化は素子により相違するが、大きいもので年間数パーセントの抵抗値変化がみとめられ、十分エージングを行なったあとでは 1 けた程度小さくなるようである。

ユニット調節器の特長は

- (1) ユニットの単価が安くできること。
- (2) 電源が共通であるから調節点数が多いほど各点

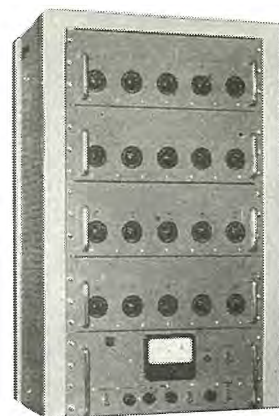


図 3.3 電子管式ユニット調節器による多点調節器

Fig. 3.3 Multipoint controller using V-T unit controller.

あたりの費用は安くなるとかんがえられる。したがって多点の調節になるほど有効であること。

- (3) 多数の調節箇所を独立に切換えなしに制御できること。

などの点にあり、多点調節用としては自動平衡計器による調節とくらべてさらに適した方法とかんがえられる。一方温度指示が比較的困難であるという欠点があるが、これは適当に切換えて温度を逐次指示することが可能であり簡単に実用できる。

#### 4. ユニット調節器のトランジスタ化

前節の電子管式ユニット調節器における真空管の寿命、配線の複雑さなどの難点をのぞいて、装置を小形にし長期間の安定な動作と工作の容易さを実現するため、ユニット調節器をトランジスタ化しプリント配線方式を試みた。

回路構成の原理は真空管式のものと同様であるが、出力段にパワートランジスタを使用して直接マイクロスイッチリレーを作動させるようにしたこと、電力を要する出力段での位相検波を避けてその前段で位相検波を行なったことが相違している。パワートランジスタは 5.5 W の大出力トランジスタ TJ37、位相検波段には中出力の低周波トランジスタ TJ36、電圧増巾用としては低周波トランジスタ TJ35 を使用した。使用したダイオードおよびトランジスタの特性は表 4.1、4.2 に示してある。

表 4.1 ゲルマニウムダイオードの定格

名 称	MD54
連続逆方向動作電圧 (V)	50
平均整流電流 (mA)	50
せん頭整流電流 (mA)	150
最小順方向電流 (mA/+1V)	5.0
最大逆方向電流 ( $\mu\text{A}$ )	7/-10 V
サージ電流 (mA 1 秒)	100/-50 V
せん頭逆方向電圧 (V)	500
特 長	75
	高逆抵抗用



小形リレーは長期間連続作動させると比較的誤動作が多く安心して使えないので、パワートランジスタ TJ37 で直接マイクロスイッチリレーを働かせた。DC12 V 用マイクロスイッチリレーは約 80 mA で作動し、6 V 用のものは約 150 mA で作動する。TJ37 は表 4.1 のような定格であるから十分余裕をもって使用できる。TJ37

表 4.2 使用したトランジスタの特性

名 称	用 途	最 大 定 格			
		コレクタ電圧 (V)	コレクタ電流 DC (mA)	コレクタ損失 (mW)	ジャンクション温度 (°C)
TJ35*	低周波	-25	-50	60	70
TJ36*	低周波中出力	-25	-70	100	70
TJ37*	低周波大出力	-40	-2,000	5,500	70

特 性					名 称
コレクタシャ断電流最大 ( $\mu$ A)	シャ断周波数 (Mc)	電流増巾率 $\beta$	雑音指数 (db)	電力増巾率 (db)	
-10	0.7	50	10	40	TJ35
-10	0.8	70	15	33	TJ36
-200	0.4	70	—	30	TJ37

\* いずれも P-N-P 合金接合形

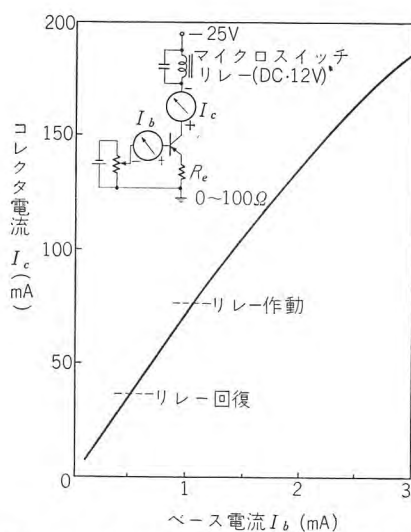


図 4.1 パワートランジスタ TJ37 の特性

Fig. 4.1 Characteristics of TJ37 power transistor.

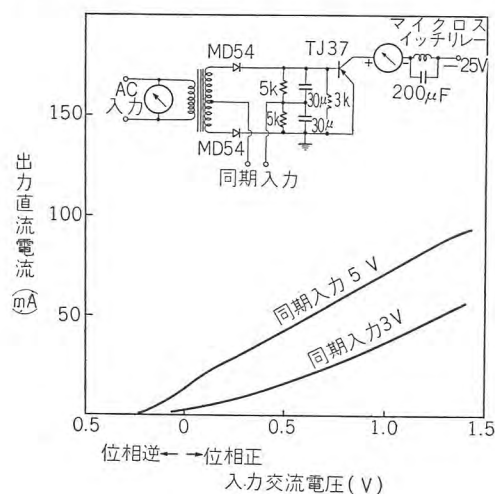


図 4.2 位相検波回路の特性 (1)

Fig. 4.2 Characteristics of the phase sensitive detector (1).

をエミッタ接地で使用したときのコレクタ電流—ベース電流の関係は図 4.1 のようになる。図にマイクロスイッチリレー (DC12 V) の作動点、回復点を示してある。入力 (ベース) 電流 1.06 mA で作動し、0.48 mA で回復する。この入力電流は前段の位相検波器 TJ36 から与えられる。

位相検波は図 4.2, 4.3, 4.4 の 3 回路を試作、実験した。図 4.2 のものは低周波トランスとゲルマニウムダイ

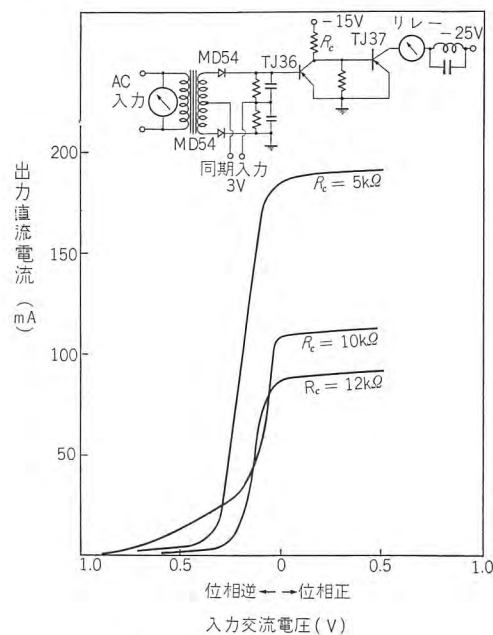


図 4.3 位相検波回路の特性 (2)

Fig. 4.3 Characteristics of the phase sensitive detector (2).

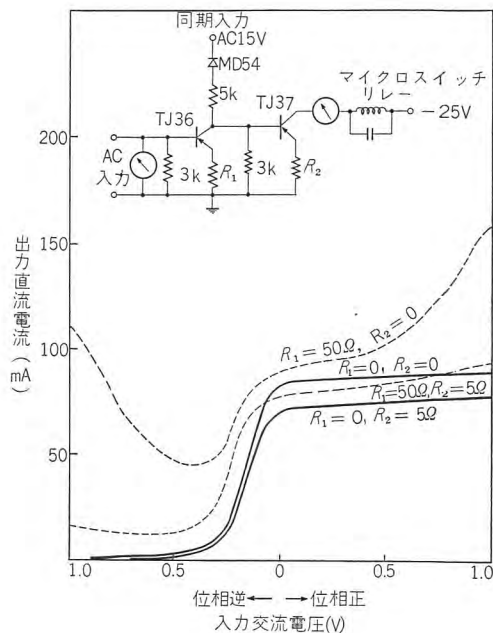


図 4.4 位相検波回路の特性 (3)

Fig. 4.4 Characteristics of the phase sensitive detector (3).



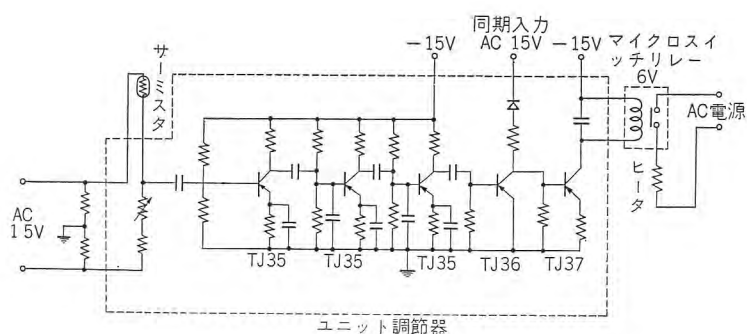


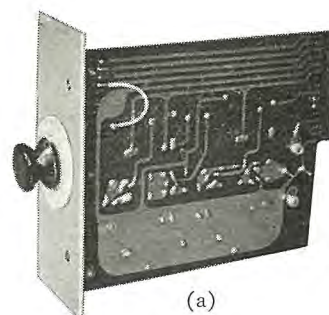
図 4.5 トランジスタユニット調節器の構成

Fig. 4.5 Circuit of transistorized unit controller.

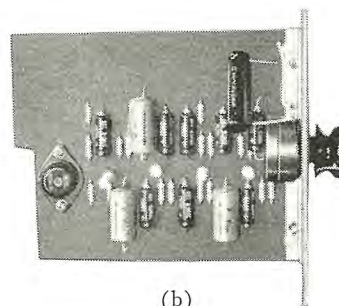
オード MD 54 を使用したもっとも普通の位相検波回路であるが、TJ37 に直結するには出力不定で十分の感度がえられないので、直流増巾を1段くわえて図 4.3 の形として十分な感度がえられた。この回路は動作特性として申し分ないが構造が多少複雑になるので、電子管式ユニット調節器の位相検波方式をそのままトランジスタ化した図 4.4 の回路について実験した。この回路は構造が簡単であって、動作特性はある程度クリティカルであるが適当な回路定数で使用すれば図 4.3 のものと同程度の感度が安定にえられ好都合であった。すなわち 0.1 V の入力で十分リレーをオン・オフさせることができ、有効コンダクタンスは約  $40,000 \mu\Omega$  となる。式 (2.3) によれば  $0.1^\circ\text{C}$  の温度変化でサーミスタブリッジの出力電圧は 0.25 mV 程度であるから、増巾器の利得は  $10^3$  (60db) あればよいことになる。

電圧増巾器としてエミッタ接地、抵抗容量結合の TJ35 3 段の増巾回路をつくり実験し 63 db の利得がえられたので、これを図 4.4 の位相検波回路と組合わせて図 4.5 のようなユニット調節器にまとめた。プリント配線したユニット調節器は図 4.6 に示すような構造であり、図 1.1 のようにパネルにさしこんで使用される。図 1.1 は三点用温度調節器としてまとめたもので、正面右側の 3 個のつまみで設定温度を調節することができる。実験した結果、電子管式ユニット調節器と同程度の感度がえられ  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  で安定にリレーをオン・オフさせることができた。約 2 ヶ月間稼働試験を行なったが、その間作動点の移動はみとめられなかった。これを性能的にみれば前記の電子管式ユニット調節器と変りないが、ユニットが小さくなった点、電源がはるかに小容量ですむ点、配線が容易で均一になる点、寿命の心配が少ない点などにおいてすぐれており、工業用としてさらに適したものといえることができる。

以上のべたユニット調節器はリレーによるオン・オフ



(a)



(b)

図 4.6 トランジスタ化ユニット調節器

Fig. 4.6 Transistorized unit controller.

制御を直接の目的としたものであるが、その出力はそのまま過飽和リアクトルに入れて連続制御を行なうことができる。また出力段を変形して電圧出力をサイラトロンに入れて連続制御をすることも容易にできる。前節にのべた特長をかんがえあわせると、ユニット式温度調節器は工場の現場などで多数の炉温制御を同時に簡単に行なおうとするとき便利な方法であり、温度制御機器としてひろい範囲に応用できるものとかんがえられる。ただ現在のところ  $250^\circ\text{C}$  以上で安定に使用できるサーミスタがえられにくいので、室温から  $250^\circ\text{C}$  までの制御にかぎられる。しかし素子として白金線などを使用することにより同じユニットで  $1,000^\circ\text{C}$  くらいまでの温度制御は不可能でない。この場合抵抗線の温度係数がサーミスタにくらべて小さいため調節しうる温度巾は若干ひろくなる。この場合でも  $\pm 1 \sim 2^\circ\text{C}$  の制御は十分可能であり、上記の連続制御をすることによりさらに感度をあげることが期待される。

## 5. む す び

サーミスタ温度調節器をプラグインユニット式とすることにより、多点の温度制御を安価、高精度で行なうことがたしかめられた。さらにそれをトランジスタ化して製作の容易と均一化を可能にし、長期間安定に使用できるものとした。この研究の実施にあたり研究所物理第一研究室菅野室長、物理第二研究室八十田室長、機械研究室宇川研究員、工作にあたり工務課浅見主任のご指導、ご協力をえた。記して感謝の意を表する。



# “サイバック” 無 接 点 継 電 方 式

神戸製作所      新    谷    保    次\*

## “Cypak” Static Switching System

Kobe Works      Yasuji SHINTANI

Increasing reliability and reducing maintenance costs are the requirements craved for by engineers in the design of electric control for machines of all types. To go a long way toward this goal has been aimed at by Mitsubishi with painstaking effort, resulting in an introduction of electric control consisting of static electric components such as resistors, dry type rectifiers, saturable reactors and associated products. The recent achievement in the standardization of static switching system is announced in the name of “Mitsubishi Cypak”, which is believed to be of great help in the system planning.

### 1. ま え が き

一般に制御系の動作方式には、アナログ形とデジタル形とがあり、アナログ形が入力および出力ともに連続した変数であるのに対し、デジタル形は不連続な量である。デジタル形による制御はもっとも普通的方式で、接点のオン、オフで2進法表示を行なうリレー方式が、従来広く親しまれている。リレーは1836年初めて発表されて以来、次第に改良研究が加えられ自動制御には欠くことのできない地位を築いてきた。リレーは電源電圧その他外部条件の変化にきわめて鈍感であり、多数の接点を同時に開閉でき、また接点電流も十分大きく取りうるので何段ものリレー回路を組むことができる利点をもっている。しかし最近のように制御技術が発達して系自体が高級複雑化するにつれて、必要とされるリレーの数もばく大なものとなり、リレーが機械的可動部分をもっているために生じる接点の摩耗、可動部の損傷などの本質的な欠点のため、保守点検などが大変めんどろな問題となってきた。このため、リレーの欠点を取り除いた、より高性能な静止形デジタル制御方式であるサイバック方式が開発されたわけで、リレー方式に比べて次のような特長をもっている。

(1) サイバック方式では各要素は磁気鉄心、金属整流器および抵抗器よりなり、可動部や消耗部がないので信頼度が高く寿命も長い。

(2) 各要素の動作時間は電源周波数の半サイクルであり比較的高速な動作を行なう。

(3) 各要素は10mW程度の入力で動作し、出力は300mW程度えられる。

当社では数年前より研究を開始し、各要素の標準化が完成したのでその大要を紹介する。

### 2. 動 作 原 理

#### 2.1 論理関数

サイバック方式の動作は2値論理数学 (Boolean Algebra) で表示できる。ブール代数学における基本論理関数は、“AND” (論理積)、“OR” (論理和)、“NOT” (否定) の三つであり、また記憶要素として“MEMORY” およびシーケンスの制御に必要な時間遅れを構成する“TIME DELAY”要素が加わる。

制御系の一連の動作やいろいろな情報の組合わせはどのようなものでもこの五つの基本関係だけで十分実現するのである。

これらの要素は、いずれもその名称から推察できるように AND 要素は A and B で出力を生じる。すなわち、信号の生じた状態を1、生じていない状態を0で示すことにすると図2.1に示すように、入力信号 A, B, C …… のすべてが1のときにだけ出力が1となるもので、これはリレー回路で接点を直列に接続したものに相当す

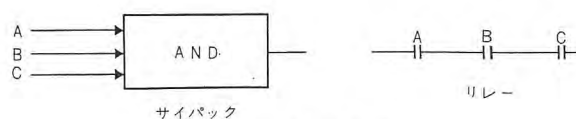


図 2.1 AND 要素

Fig. 2.1 AND element.



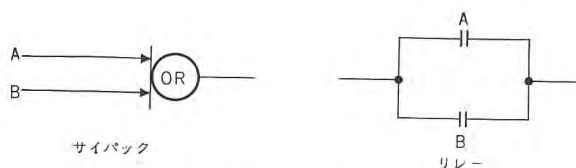


図 2.2 OR 要素  
Fig. 2.2 OR element.

る。

OR 要素は  $A \text{ or } B$  で出力を生じる。すなわち  $A, B, \dots$  などの入力信号のうち、どれか一つの信号が 1 であると出力が 1 となるもので、リレー回路では接点の並列接続に相当する。

NOT 要素は字のとおり not  $A$  で出力を生じる。入力  $A$  がない時すなわち  $A$  が 0 のとき出力が 1 となる要素でリレーの閉接点に相当するものである。図 2.3 にこれを示す。

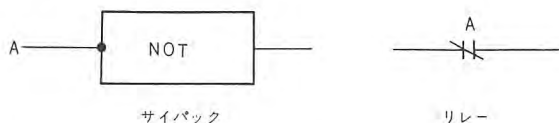


図 2.3 NOT 要素  
Fig. 2.3 NOT element.

MEMORY 要素は記憶の機能を行なうもので入力  $A$  によっていったん出力が 1 となれば  $A$  が 0 となっても出力は 1 を持続する。つぎに入力  $B$  が 1 となると出力は消滅して 0 となり、つぎに入力  $A$  が 1 となるまでは 0 を持続する。これは図 2.4 に示すように、リレーの自己保持回路に相当するものである。

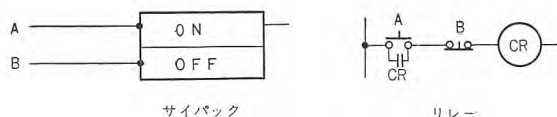


図 2.4 MEMORY 要素  
Fig. 2.4 MEMORY element.

TIME DELAY 要素もやはり一種の記憶操作と考えられるが、入力が 1 となってもただちに出力を生じないで、一定時間経過して初めて出力を生じる要素である。

これらの論理関係は決して特異なものではなく、実際にリレーを用いて従来行なわれてきたことで、前にも述べたように AND はリレー接点の直列接続で、OR は並列接続によって実現されてきたのである。

## 2.2 サイパック制御

サイパックは従来のリレーとおきかえられるものであるが、まったく同一のものではない。図 2.5 に示すよう



図 2.5 リレーとサイパック  
Fig. 2.5 Relay and cyapak.

にリレーは普通一つの入力をうけて数個の絶縁された出力を出すことができるが、それ自身では上記のような論理関係を満足することはできず、接点の接続によって初めてその機能を発揮するものである。これに反してサイパックは数個の入力をうけてある定まった論理関係に基づいた出力を生じるもので、この点が両者の大きな相違である。しかもこの場合、入力相互間や入力と出力の間には全然干渉がないからリレーの場合よりもずっと合理的に論理回路の設計を行なうことができる。

サイパックにはリレーのような機械的な可動部分や接点、スプリングがなく、摩耗したり損傷したりする要素もない。したがって制御装置の寿命や信頼性をすばらしく増大するものといえる。

サイパックの動作は根本的には磁気増巾器の動作原理にもとづいたものであるが、動作時間を速くするため、特定数の小さい、いわゆる Ramey 回路を使用している。

図 2.6 は普通の変圧器鉄心のヒステリシスループを示したもので、ループの巾が広く、く形性がないため磁気増巾器として使用するには不適當である。磁気増巾器の鉄心としてはつぎのようなことが要求される。

- (1) ヒステリシスループのく形性がよいこと。
- (2) ヒステリシスループの巾はできるだけ狭いこと。
- (3) 飽和磁束密度はできるだけ高いこと。
- (4) 記憶性の良好なこと。 (図 2.7 参照)

上記の特性を満足するものとしてサイパックの鉄心には、当社世田谷工場で製造している“ハイパーロイ-0”を使用している。これは 50% Ni の鋼帯をリング状に巻き、適切な熱処理を施して作られたもので  $H_c$  が約 0.2 エルステッド以下  $B_{max}$  が 15 キロガウスにも達す

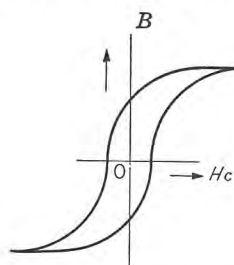


図 2.6 変圧器鉄心の磁気特性  
Fig. 2.6 Hysteresis loop of Trans core.

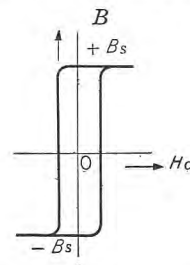


図 2.7 ハイパーロイ-0の磁気特性  
Fig. 2.7 Hysteresis of Hyperloy-0.



るすぐれた特性をもっている。

このような特性をもった鉄心に  $N$  ターンのコイルを巻いてこれに電圧を印加した場合、飽和は生じないものとすれば流れる励磁電流は

$$H_c = \frac{0.4\pi NI}{l} \dots\dots\dots(2.1)$$

により決定される。 $H_c$  は保持力 (エルステッド),  $l$  は平均磁路長 (cm),  $I$  は平均励磁電流 (A) である。

一方電圧と磁束の関係は

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \times 10^{-8} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\therefore \Delta\phi = -\frac{10^8}{N} \int_{t_1}^{t_2} e \, dt \dots\dots\dots(2.3)$$

となる。 $e$  は電圧 (V),  $\phi$  は磁束 (max well) である。

式 (2.3) は電圧  $e$  を印加した場合には鉄心の磁束は電圧の時間積分値に比例して増減することを示し、式 (2.2) は鉄心内に磁束変化が生じれば、その変化の割合に比例した電圧を誘起することを示している。

鉄心の断面積を  $A$  (cm<sup>2</sup>), 飽和磁束密度を  $B_s$  (ガウス) とし、正弦波電圧 (実効値  $V$ ) を印加した場合を考えると、飽和を生じない限界として

$$V_s = 4.44 f N A B_s \times 10^{-8} \dots\dots\dots(2.4)$$

が得られる。

図 2.8 について考える。端子 AB に正弦波電圧  $E_G$  を与えると、端子 A が正の時は鉄心に巻いたコイルを通して、矢印の方向に励磁電流  $I_G$  が流れる。始めに磁束は  $-B_s$  にあるものと仮定しこの時の磁束変化が正の方向に生じるように極性を決めておけば式 (2.3) に従って  $+B_s$  に向って磁束は変化する。またこの磁束変化によってコイルには誘起電圧  $e_G$  を生じ、電源電圧と平衡するため負荷  $R$  には電圧がかからない。(ただし  $R$  は不飽和時の励磁インピーダンスより十分小さくしておくものとする)。  $E_G$  の値を式 (2.4) で定まる  $V_s$  に等しくしておけばこの半サイクルの終りには磁束密度は  $+B_s$  に達する。つぎの半サイクル (端子 B が正となる間) では、整流器  $CR_1$  によって電流が阻止され、励磁電流は断たれコイルには電圧は印加されないで磁束変化は生ぜず、残留磁束は  $B_r$  にとどまったままである。この状態で次の正の半サイクルが加えられると、ふたたび A が正となるが鉄心はすでに飽和に達しているため、コイルに誘起電圧は生ぜず、したがって印加された電圧は全部負荷  $R$  に与えられる。しかし図 2.8 の回路では出力を制御する

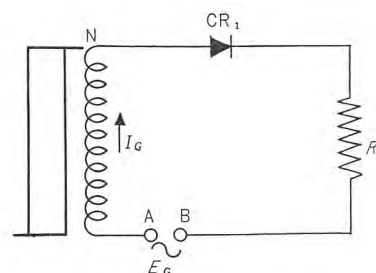


図 2.8 Ramey 回路の一部  
Fig. 2.8 Part of Ramey circuit.

ことはできない。

### 2.3 Ramey の速応性磁気増巾器

図 2.9 は R. A. Ramey によって発表された速応性磁気増巾器の回路である。これは図 2.8 の回路に飽和磁束をリセットするための回路をつけ加えたものである。すなわちゲイトコイル  $N_G$  を巻いた鉄心に、もう一つのリセットコイル  $N_R$  を巻き、リセット回路もゲイト回路と同様、交流電源  $E_R$ , 整流器  $CR_2$ , 抵抗  $R_R$  で構成される。しかしリセットコイルの極性はゲイトコイルとは逆になっており  $N_R$  コイルに電流が流れる半サイクル間で磁束を  $+B_s$  から  $-B_s$  に変化させうようにその巻数が定められている。

まず A および C が正電位となるゲートサイクルと呼ばれる最初の半サイクルではゲイト回路だけ導通となり磁束は上昇しゲイトサイクルの終りに正の飽和  $+B_s$  に達する。この間にリセットコイルにも変圧器作用によって電圧を誘起するが、これはちょうどリセット電源電圧  $E_R$  と等しく極性が逆となるためリセット回路には電流は流れない。リセットサイクルと呼ばれる次の半サイクルでは B, D が正電位となりゲイト回路とリセット回路の立場を逆にすればよい。したがってリセットサイクルの終りには、磁束は  $E_R$  によって負の飽和点  $-B_s$  まで引き下げられる。すなわちこの回路では  $E_G$  と  $E_R$  が交互に  $N_G$ ,  $N_R$  に加えられ、磁束は半サイクルごとに  $+B_s$  と  $-B_s$  の間を往復することになり負荷抵抗  $R_G$  には出力が出ない。ところが今もしリセットサイクルで電圧  $E_R$  を加えなければ、鉄心は  $+B_s$  のままの状態を

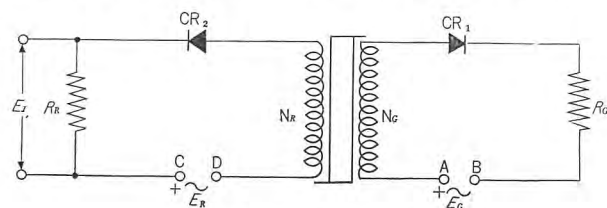


図 2.9 Ramey 回路  
Fig. 2.9 Ramey circuit.



続けるので、つぎのゲイトサイクルでは負荷  $R_G$  に  $E_G$  による出力が現われる。このように出力を得たい場合、鉄心をリセットさせない方法はいろいろ考えられるが、図 2.9 の抵抗  $R_R$  にリセット電圧と同相の電圧  $E_I$  を加える方式を考えよう。ゲイトサイクルでの動作には変りはないがリセットサイクルでは入力電圧  $E_I$  のためにゲイトコイルに印加される電圧は  $(E_R - E_I)$  となり  $E_R < E_I$  となるような  $E_I$  を与えればリセットが阻止され、つぎのゲイトサイクルで出力が得られる。

ところがリセット回路の抵抗  $R_R$  には

(1) リセット電圧  $E_R$  によって完全に鉄心をリセットするためには  $R_R$  はできるだけ低抵抗でなければならない。

(2) リセットを阻止する場合は、入力電圧に対して負荷抵抗となるのでできるだけ高抵抗としなければならない。と、それぞれまったく違った性質が要求される。

サイバック要素ではこの問題を図 2.10 に示す回路を用いることによって解決している。この回路ではゲイトおよびリセット回路に整流器  $CR_4$  および  $CR_3$  を接続し

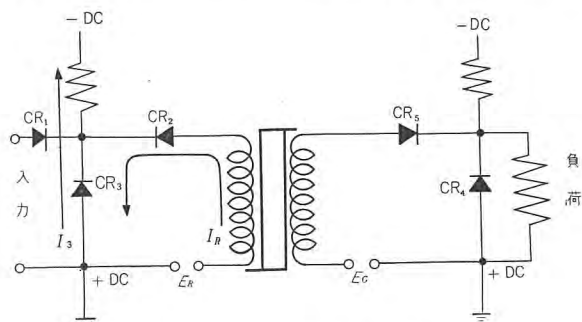


図 2.10 サイバック AND 回路  
Fig. 2.10 1 input AND circuit.

抵抗を通して比較的高い直流バイアス電圧  $-DC$  を加えている。

リセット回路において  $CR_3$  を流れるバイアス電流  $I_3$  をリセット電流  $I_R$  よりも大きな値になるように選ぶと、リセットサイクルで  $I_R$  が流れても  $I_3$  の電流は正方向を維持するので  $CR_3$  の抵抗はその正方向抵抗に等しい非常に小さな値を考えればよい。

またリセット電圧  $E_R$  より大きな入力電圧が加えられると  $I_3$  は減少して零となる。したがって  $CR_3$  の抵抗はその逆方向抵抗となり非常に大きな値と考えることができる。

出力回路のバイアスは鉄心の励磁電流が負荷抵抗に流れないように設けたもので、サイバック要素が 0 の状態

の出力電圧が負電圧となるので、多段接続をした場合にも残留電圧によって誤動作を生じることがまったくない。

### 3. サイバック要素

#### 3.1 AND 要素

図 2.10 の回路は一つの入力回路をもった AND 要素であり、また位相反転にも使用できる。

図 3.1 に二つの入力要素をもつ AND 回路を示す。整流器と直流バイアス回路がそれぞれの入力回路に接続されている。この要素が 1 となるためには二つの入力が同時に与えられなければならない。もし一方にだけ入力を与えられたとしても、鉄心のリセットは二つの整流器  $CR_3$  または  $CR_5$  のいずれかを通して行なわれるからである。

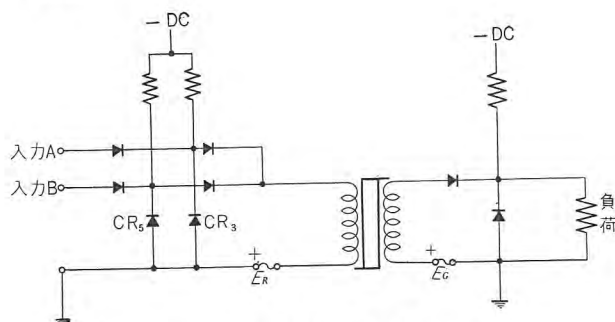


図 3.1 2 入力 AND 回路  
Fig. 3.1 2 input AND circuit.

#### 3.2 OR 要素

図 3.2 は三つの入力端子をもった OR 回路を示す。これは三つの入力端子のうちいずれか一つまたは一つ以上に入力を与えられたとき出力を供給する。

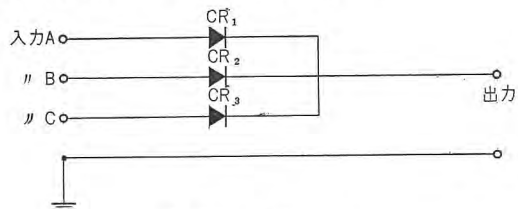


図 3.2 OR 回路  
Fig. 3.2 OR circuit.

#### 3.3 NOT 要素

NOT 回路は一つの入力端子をもった AND 回路に非常によく似ている。AND 回路のリセット電圧端子を入力端子として使用するもので図 3.3 にこの回路を示す。

#### 3.4 MEMORY 要素

これは信号を記憶する回路で、一種の正帰還回路である。すなわちいったん出力を生じたら、入力を取り去っても出力を維持しているのであるから図 3.4 のブロック図で示すように二つの OR 回路と二つの NOT 回路を



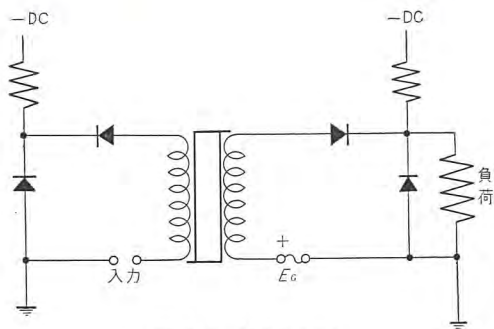


図 3.3 NOT 回路  
Fig. 3.3 NOT circuit.

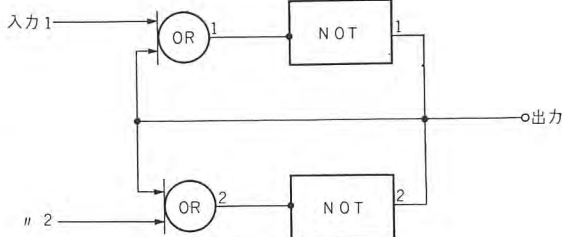


図 3.4 NOT 回路のブロック図  
Fig. 3.4 Block diagram of NOT circuit.

組合わせて作る。いま NOT 1 がリセットされた状態を考えると NOT 1 は出力を生じないから NOT 2 はリセットされず出力を生じる。この出力は OR 1 を通して NOT 1 の入力に帰還されてこれをリセットするので上述の状態が維持される。この時の出力は NOT 2 に供給される電圧と同相の半波電圧となる。この場合 NOT 2 の出力は OR 2 により NOT 2 にも帰還されるが NOT 2 のリセット電圧とは逆位相になっているため影響はない。ここでもし入力 2 によって NOT 2 がリセットされると NOT 2 は 0 となり今度は NOT 1 が出力を生じる。この出力によって NOT 2 は半サイクルごとリセットされるので、入力 2 が取り去られてもこの状態を変えない。もし入力 1 と入力 2 にともに信号が与えられた場合はどちらも 0 となる。

実際のサイバック回路では MEMORY 要素は NOT

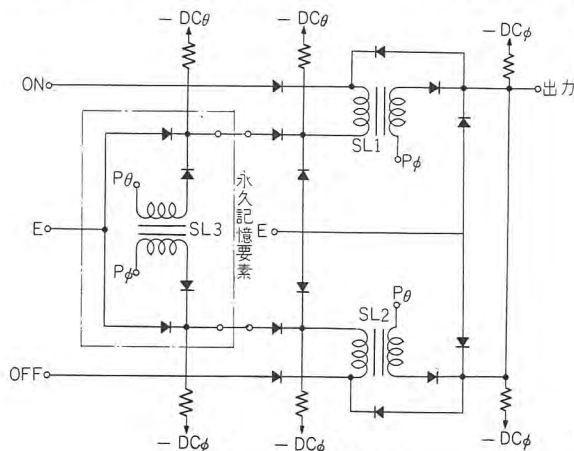


図 3.5 MEMORY 回路  
Fig. 3.5 MEMORY circuit.

要素を 2 個使用して図 3.5 に示すように接続する。

この接続では出力は一つの線にまとめられ、その出力の位相が 180 度変化することにより二つの状態を識別するようになっている。また電源電圧の中断によっても状態が変化しないように永久記憶要素(retentive MEMORY)を点線のように付加することができる。いま電源が図 3.6 のように  $\phi$  相の終りで切れ、つぎに  $\theta$  相の始めから再投入されたばあいは支障ないが、つぎにまた  $\phi$  相の初めから投入されると  $\phi$  相によるリセットが繰り返されるため、記憶状態が変化することが考えられる。これを防ぐのが retentive MEMORY の SL3 で (b) のようなばあいには SL3 の  $\phi$  が出力を生じて  $\phi$  相によるリセットを防止する。したがってつねに電源断と同じ状態に復帰できるのである。

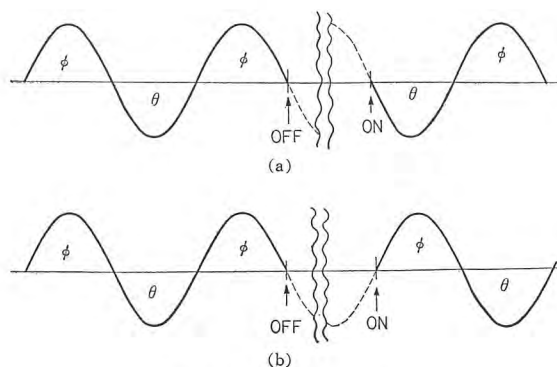


図 3.6 電源位相関係

Fig. 3.6 Relation of power source phase.

### 3.5 TIME DELAY 要素

ある制御方式では入力信号が与えられてから出力を出すまでに、時間遅れの必要なばあいがある。これは MEMORY 回路に遅延要素をつけ加えて作られる。

図 3.7 は遅延回路だけを示したもので、この出力を MEMORY 回路の入力端子 1 に接続すれば遅延回路の入力端子に信号が加えられてからある時間遅れて NOT 回路 2 の出力が出る。図において  $C_1 \times R_2$  の時定数は小さく  $C_2$  と MEMORY 回路の入力抵抗との時定数を所要時間遅れに選んでおく。  $C_1$  は  $C_2$  に比較して非常に小さく、したがって入力にパルスを加えた場合、入力電圧

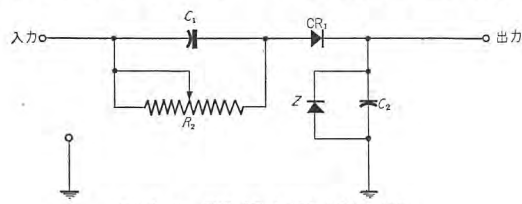


図 3.7 TIME DELAY 回路  
Fig. 3.7 TIME DELAY circuit.



は  $C$  の値にほぼ反比例してそれぞれの  $C$  に分割され、ほとんどの電圧が  $C_1$  にかかり  $C_2$  にはわずかな電圧しかかからない。入力のない半波では  $C_1$  の電荷は  $R_2$  を通って放電される。半波のパルスが次々に加えられると一定時間後  $C_2$  の端子電圧は MEMORY 回路の出力を変化させるに十分な電圧まで上昇する。図の  $Z$  はゼナーダイオードで、 $C_2$  の端子電圧が必要以上に上昇するのを防止しているので  $C_2$  には耐電圧の低いものを使用することができる。時限の調整は  $R_2$  で行ない、最大時間遅れがそれぞれ 1, 3, 10 および 20 秒の 4 種類を標準としている。

#### 4. サイパック要素の構造

サイパックの各要素は必要な鉄心、抵抗、整流器、および接続端子を図 4.1 に示すようにプリント配線を施した絶縁基板上に取付け、全体を  $37 \times 75 \times 53\text{mm}$  の同じ大きさにポリエステル樹脂で成形している。こうすれば

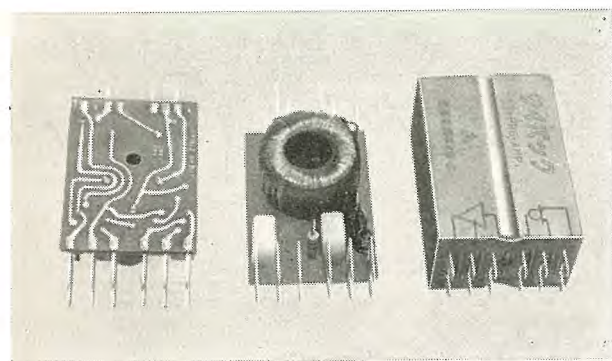


図 4.1 サイパック要素  
Fig 4.1 Cypak element.

ポリエステル樹脂によって部品が完全に防湿され、また内部の鉄心を衝撃に対して保護することができる。サイパック要素の端子は、電源システムの端子と制御システムの端子に分けられそれぞれ下部および上部の面に出してある。

これらの各要素は図 4.2 に示す電源端子台に押し込み、固定し、同時に電源への接続が行なわれてしまうようになっている。したがって制御回路はサイパック要素の上部にでている 6 個の端子間の接続によって構成されるので配線は非常に簡単で論理回路のブロック図によって直接に配線を行なうことができる。サイパック要素はその動作原理から理解されるように、リセット回路とゲート回路では位相が 180 度異なるので次々と接続する各要素の位相は逆位相となるため各要素の上部に●印をつけて位相を表示してある。したがって電源端子台への押

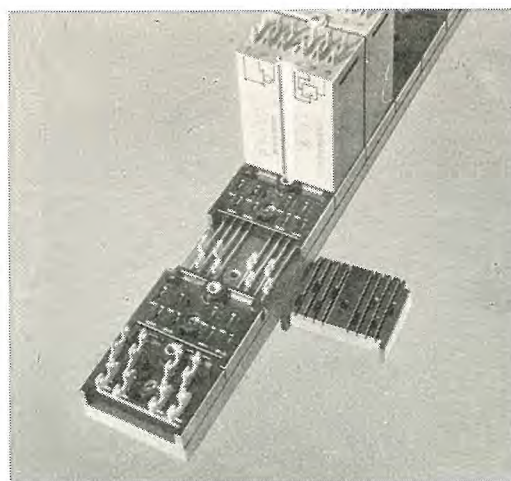


図 4.2 電源端子台  
Fig. 4.2 Power channel.

し込みの際要素を 180 度回すだけで電源の位相反転が行なわれるように工夫されている。

現在、表 4.1 に示すサイパック要素が標準化されており、いずれも同一寸法で一つの電源端子台に 15 個まで取付けられる。各要素の側面には表 4.1 の記号と接続図が表示されており容易に識別ができる。

OR 要素は整流器だけで構成できるので表 4.1 に示すように AND 要素、NOT 要素などに組合わせて成形されており、これらでなお不足する場合 OR だけの要素を追加使用する。

サイパックの出力は 300 mW で大形の磁気増巾器は直接駆動できない場合があるので、中間増巾器を使用する。中間増巾器は AND 要素と同一回路であるが、出力

表 4.1 サイパック標準要素

名 称	記 号	接 続
AND 要素	1-AND	
	2-AND	
	3-AND	
	2a-AND	
OR 要素	2-OR	
NOT 要素	NOT-1/2MEMORY	
永久記憶要素	RE-MEMORY	
遅延要素	DELAY (1 秒) (3 秒) (10 秒) (20 秒)	
入力要素	IN-TRANS	
中間増巾要素	1-PRE-AMP	
	2-PRE-AMP	



整流器としてシリコンダイオードを使用し、約3Wの出力が得られる。

サイバックの入力として他の電気接点を使用する場合適当な電圧をサイバック要素に与えるための入力要素も標準化している。

AND要素は三入力要素までが標準化されているがそれでは不足する場合もあるのでANDの入力要素だけを成形した2a-ANDがあり、これを各AND要素に付加して使用する。

このほかサイバック要素に電源を供給する電源装置やサイバックの出力を増巾して電磁接触器、電磁弁などを動作させる磁気増巾器も各種容量のものが標準化されている。

また完全な静止制御を行なうための入力要素としても従来の押しボタン、制限開閉器などに代る無接点入力素子として鉄心の位置によるインダクタンスの変化を利用する方式のものも標準化している。

## 5. サイバック方式の応用

### 5.1 リレー回路とサイバック回路

リレー回路をそれに相当するサイバック回路に置き換えることは比較的簡単にできる。図5.1は四つの常時開接点と一つの常時閉接点を含む代表的なリレー回路で、図5.2は図5.1に示すリレー回路と同じ動作を行なわせるためのサイバック回路である。同様に図5.3のリレー

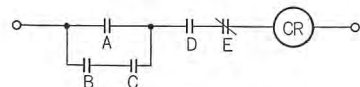


図 5.1 リレー回路

Fig. 5.1 Relay circuit.

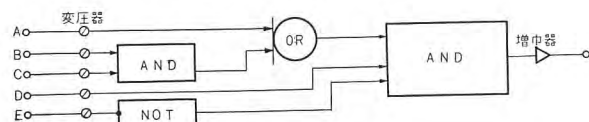


図 5.2 サイバック回路

Fig. 5.2 Cypak circuit.

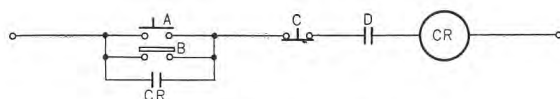


図 5.3 リレー回路

Fig. 5.3 Relay circuit.

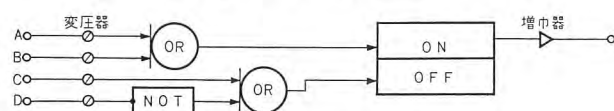


図 5.4 サイバック回路

Fig. 5.4 Cypak circuit.

“サイバック”無接点継電方式・新谷

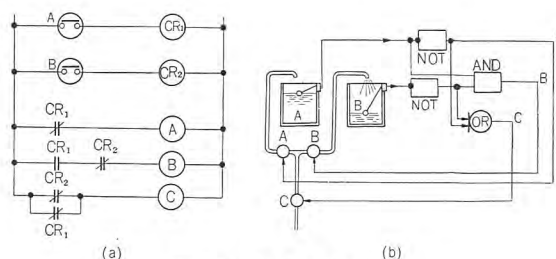


図 5.5 給水回路の例

Fig. 5.5 Cypak circuit for two tanks level control.

回路は図5.4のサイバック回路に置き換えられる。図5.5は二つのタンクをもつ自動給水方式をリレー回路とサイバック回路で比較したものでAタンクへの給水をBタンクへの給水に優先させる方式を示している。

### 5.2 サイバックの応用例

図5.6はドリルヘッドの自動制御をリレー回路で行なった例である。ドリルヘッドは油圧で駆動され、3個の電磁弁 RA, FE, RR で、それぞれ“速送り”、“送り”および“速もどし”を行なう。LSA, LSF, LSR は制限開閉器で、それぞれドリルヘッドのトップ位置、送り開始位置、および送り完了位置で動作する。

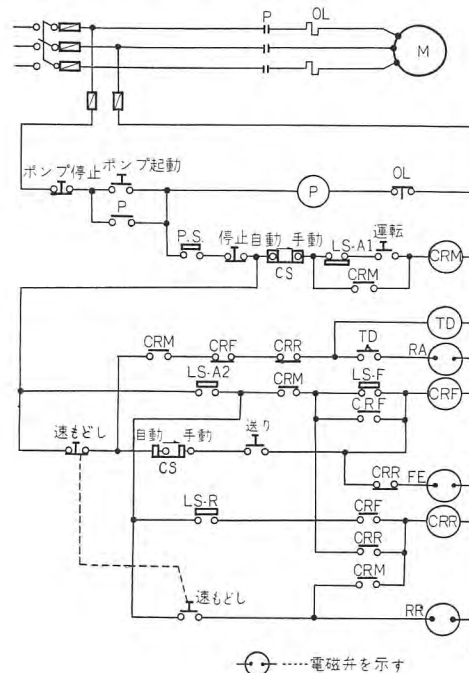


図 5.6 ドリルヘッド自動運転回路

Fig. 5.6 Relay control for A Drill Head.

まずポンプを起動し油圧継電器 PS が動作した状態で運転押しボタンを押すと継電器 CRM が自己保持し限時継電器 TD で定まる一定時間後 RA が動作しドリルヘッドは急速に降下する。LSF により FE が動作し送りが行なわれる。送り完了位置で LSR が動作し RR が励磁されドリルヘッドは急速にもどり LSA が動作して



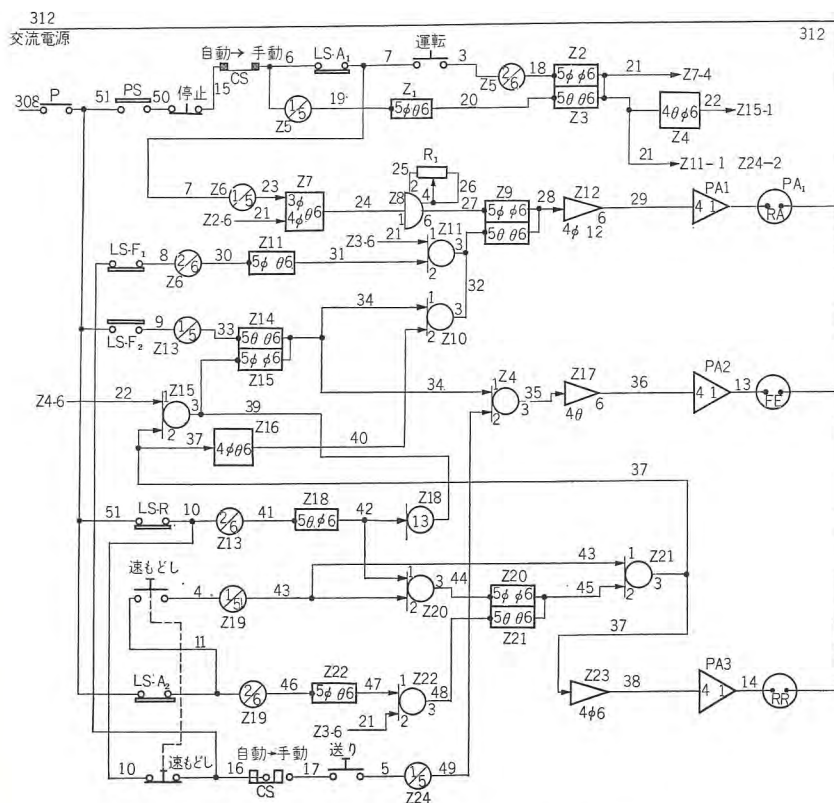


図 5.7 ドリルヘッド自動運転サイバック回路  
Fig. 5.7 Cypak control for A Drill Head.

RR は消勢される。同時に TD が励磁され一定時間後上記動作がふたたび行なわれ、停止押しボタンを押すまで自動動作を行なう。切換開閉器 CS が手動位置にあれば押しボタンによって送り、速もどしを行なう。

図 5.7 は上記回路をサイバック化したもので Z1～Z24 で示すように 1-AND 1 個、2-AND 1 個、NOT-1/2 MEMORY 12 個、IN-TRANS 5 個、1-PRE-AMP 3 個、および DELAY 要素 1 個を使用した。

図で PA1～PA3 は電磁弁を励磁する磁気増巾器で PRE-AMP 要素の出力で動作させている。

サイバック回路図は一見複雑であるが、図から直接にその動作が判別できるのでむしろリレー回路よりは容易に理解することができよう。

いま電源を投入すると各 MEMORY 要素はその OFF 回路に入れた NOT 要素で 0 出力となる。CS を自動位置とし P, PS および LS-A1 が閉であれば運転押しボタンを押した場合 Z2, Z3 の MEMORY 要素は 1 となり Z7 の入力 3, 4 とともに 1 となるので Z8 による一定時間後 Z9, Z10 の MEMORY 要素は 1 となり Z12-PA1 を経て RA が励磁されドリルヘッドは“速送り”を始める。所定位置で LS-F1 が開となり Z11 が 1 となって Z11 を経由して Z10 が 1 となり RA は

消勢される。同時に LS-F2 が閉となり Z14 が 1 となって Z4—Z17—PA2 の順で FE が励磁される。以下リレー回路と同様にして RA, FE, RR の各電磁弁が所定の順序で動作し、停止押しボタンを押すまで自動運転が続けられる。

サイバックの応用分野は今後各方面に広がるものと考えられるが、米国 W 社では次のようなものを実用化している。

- (1) スキップホイスの自動制御
- (2) ベルトコンベヤの総括制御
- (3) パンチプレス、ミーリングなど工作機の自動制御
- (4) 炉のプログラム制御
- (5) 火力発電所の集中監視制御装置
- (6) 自動ブスダクト溶接機の制御

- (7) 化学用機械のプロセス制御
- (8) 自動車駐車場の無人制御

これらの応用は前述の標準要素を組合わせて当社でもご要求があればただちに実現できるものであり、パルプダイジェスタ自動制御装置など目下数種の応用例を製作中である。

## 6. む す び

以上サイバック方式についてその概要を紹介したが、現在論理回路の高速化のため 400 c/s 程度の高周波を使用する方式、あるいはトランジスタ化などについても研究中である。しかし一般工業用としては上記磁気鉄心を使用した商用周波のサイバックで十分でありそのすぐれた性能から今後各種制御への進出が期待されている。

## 参 考 文 献

- (1) 横須賀, 浜岡, 大野: 無接点継電方式「三菱電機」(1957) 12.
- (2) J. P. Baker: Cypak Systems, Westinghouse Eng. July (1953).
- (3) R. A. Ramey: The Single Core Magnetic Amplifiers as a computer Element. T. AIEE 72 Jan. (1953).
- (4) W. G. Erans: Magnetic logic circuits for industrial control system. AIEE Paper 56-91.



# 無接点継電器を使用した選炭場の総括制御

長崎製作所 武田 英夫\*・藤井 二郎\*・白石 和男\*

## Central Control of Amount of Coal-preparation by the Use of No-Contact Relay

Nagasaki Works Hideo TAKEDA・Niro FUJII・Kazuo SHIRAISHI

Automation, though prevalent in the field of other industries, has been little taken in coal mines, but nowadays it has reached a time to adopt it in recognition of its marked results. Particularly, the automatic control of coal washery plays a vital part to elevate the grade of coal, to improve the process and to stabilize the operation a great deal. Takashima coal washery, which commenced the operation from the beginning of this year, is a model plant equipped with automatic control completed in a joint work of Mitsubishi, Nagata and Shimazu Works, involving devices for measurement in the Baum washer and static switching control of motors, all operating with a great success.

### 1. ま え が き

炭坑におけるオートメーションの採用は、他の産業分野のそれより遅れて、最近になりようやくその成果が認められて実現される機運にある。とくに炭坑の選炭場における自動化は品質の向上、保守管理の改善、運転操業の安定と非常に大きな役割を示している。

本年初頭より運転を開始した三菱鉱業株式会社高島鉱業所の選炭場プラントは、永田製作所および島津製作所と協力して計装と自動制御を広く採用したモデルプラントであって

(1) バウム水洗機を自動化したこと

(2) 広く計装を行なったこと

(3) 電動機の順序制御装置を無接点化したこと

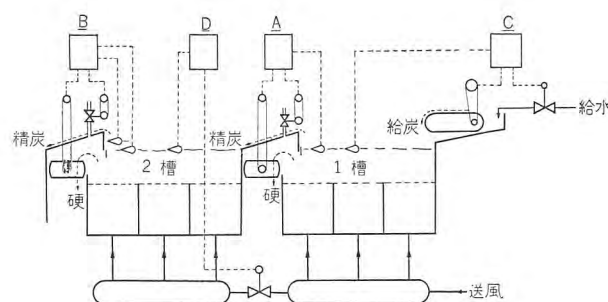
は今後の選炭場のあり方について注目に価するものと思うので、ここに紹介する次第である。

### 2. バウム水洗機の自動制御装置

バウム水洗機の基本的原理は、原炭を水の脈動によって、精炭と硬の比重の差により選別させるもので、原炭の大きさに関係なく、その比重によって、すなわち精炭と硬の割合によって、硬ベッドが成層される。

自動制御装置としては精炭品位と硬ベッドの高さが関連するので、硬ベッドの高さが一定となるように制御し、その構成は次の四つよりなる。

(1) 自動硬抜制御 (1 槽, 2 槽)



A: 自動硬抜装置  
B: 自動硬抜および自動比重調整装置  
C: 自動給炭給水制御装置  
D: 自動送風量制御装置

図 2.1 水洗機自動制御構成図

Fig. 2.1 Block diagram of automatic control arrangement of coal washery.

(2) フロート比重自動制御 (2 槽)

(3) 自動給炭量および給水量制御 (1 槽)

(4) 自動送風量制御 (2 槽)

この構成の概略を図 2.1 に示す。

#### 2.1 自動硬抜制御

水洗機の硬ベッドの高さの変動に応じて円滑な硬の排出を行ない、精炭品位の安定を計るもので、スワンコックおよび回転ゲートを同時に駆動して行なう。図 2.2 はその自動硬抜装置の略図を示す。

硬高さをフロートで検出し、フロートの変位を硬高さ発信器(差動変圧器)により電圧変化として取り出し調節計に導く。調節計より回転ゲートおよびスワンコックのそれぞれの比例調節リレーを動作させ、回転ゲートを上げまたは下げ、スワンコックの開度を開または閉とし



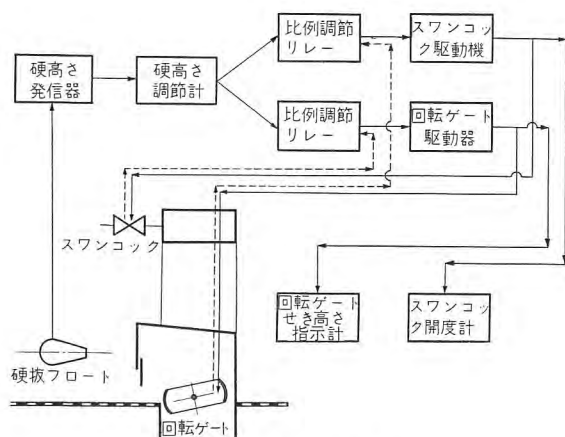


図 2.2 自動硬抜装置

Fig. 2.2 Automatic refuse removing control equipment.

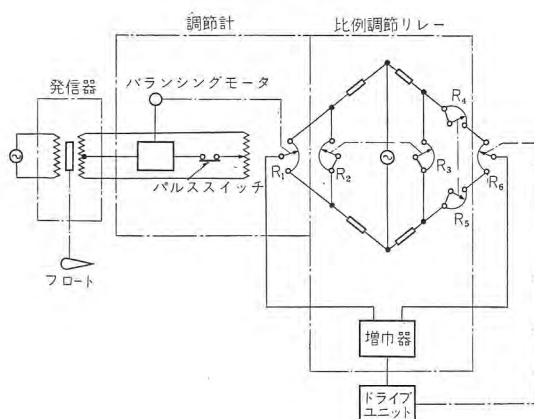


図 2.3 調節計関係の原理図

Fig. 2.3 Principle of adjustment meter function.

て硬の排出量を変え硬ベッドの高さをつねに一定にしている。調節計関係の結線図を図 2.3 に示す。

いま原炭品位が悪くなったとすると、硬の量が多くなり硬ベッドの高さが高くなって、フロートが上り差圧変圧器の発生電圧が高くなる。したがって、調節計のブリッジのバランスが破れ、バランシングモータが回転し、抵抗  $R_1$  の抵抗値が変わる。この抵抗が各比例調節リレーのブリッジの各辺にはいつているので、この変化がブリッジのアンバランス電流として増巾器に流れる。したがって、その出力が、回転ゲートおよびスワンコックのドライブユニットを、その出力に応じて回転させ、 $R_6$  がバランスする位置で停止する。これによって、回転ゲートではせき高さを低くして硬の排出量を多くさせる。一方スワンコックの開度が大きくなり、水洗機のアフリを大きくして、硬の排出が早くなるようにしている。結局、硬高さが高くなった分だけ、多くの硬を排出してつねに硬ベッドの高さが一定になるように作動する。今回使用した各器具を表 2.1 に示す。

この動作においては

#### (1) 比例帯調整 (感度調整)

表 2.1 1 槽硬抜制御関係

名 称	形 名	目盛 (mm)	
硬高さ発信器	MFT 特殊形		差 動 変 圧 器
" 調節計	ACB-21 形	100~300	電子管自動平衡形指示記録電気式
比例調節リレー			

#### (2) 手動リセット (原点調整)

#### (3) 不感動帯装置

を備えている。

#### (1) 比例帯調整

比例調節リレーには、図 2.3 に示すように比例帯調整すなわち、感度調整用の抵抗  $R_2$ ,  $R_3$  を備えている。 $R_2$  と  $R_3$  は連動して抵抗値を変えられるようになっていて、 $R_2$ ,  $R_3$  を上へ回わし抵抗を小くすると、 $R_1$ ,  $R_6$  が短絡された形となり感度が小さくなる。感度を鋭敏にするほど精度はよくなるが、制御系としては不安定となるので、制御が安定に行なえる範囲内で感度を良くして使用することが必要である。

#### (2) 手動リセット

比例調節リレーには、図 2.3 に示すようにブリッジの 2 辺に抵抗  $R_4$ ,  $R_5$  を備え手動リセットすなわち、原点調整が行なえるようにしている。 $R_4$  と  $R_5$  は連動して抵抗値を変えられるようになっていて、 $R_4$  を左に回わして抵抗を大きくし、 $R_5$  を右に回わして抵抗を小さくすると、入力信号がなくなるともすでにブリッジのバランスがくずれ、出力を出した形となり、ドライブユニットがずれた形となって静止し、原点が移動した形となる。これによって基準値を自由に変えることができる。

#### (3) 不感動帯装置

水洗機フロートの設置された所では、一定の周期で空気弁により、絶えず上下に動いているのでこの脈動が入力信号として取り出さないようにこの装置が設けられている。すなわち、差動変圧器は上記の脈動が導かれなように機械的に避けるとともにフロートが下に下った位置すなわち成層された硬ベッドの高さの位置で作動するように、空気弁と同期されたパルススイッチを設けている。したがって、つねに検出器は真の硬ベッドの高さが検出される。

### 2.2 フロート比重自動制御装置

原炭の種類によって、同じ精炭品位のものでも分離比重は相当異なってくる。また、精炭品位は 2 槽の硬排出量によって左右されるので 2 槽用硬抜装置には、電氣的にフロート比重を調整し、分離比重を変えるようにしている。図 2.4 はこの装置を自動硬抜装置を含めて示した。



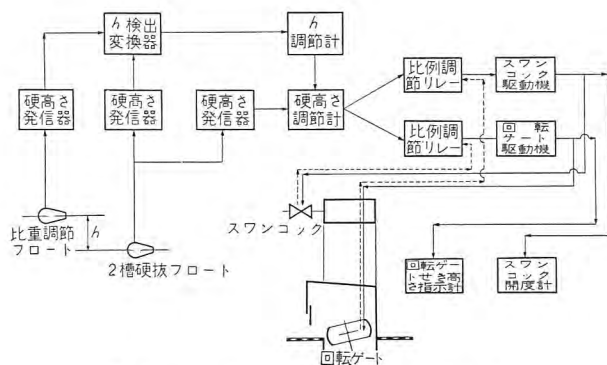


図 2.4 自動硬抜および自動比重調整装置

Fig. 2.4 Automatic refuse removing and float specific gravity adjustment control.

前項に述べた自動硬抜用フロートと別に、いま一つの比重の軽いフロートを設置する。自動硬抜用フロートだけでは、そのフロート比重より軽い精炭の比重組成は不明で、フロート比重より軽く、しかも規格灰分の精炭比重より重い精炭の量が多くなれば、精炭として溢流する中に灰分の多いものが含まれることとなる。そのため高比重の精炭量すなわち、両フロートの差 $h$ を検出し、その $h$ の量が多くなれば硬の排出量を多くし硬ベッドの高さを低くして、高比重部分の精炭の溢流して行く量を抑制している。結局、自動硬抜用フロートの比重は、高比重の精炭の層厚により硬の排出量が多くなることとなり、全体的にみて、小さくなった結果となるわけである。

これに使用された各器具を表 2.2 に示す。自動硬抜で使用した器具のほかに、 $h$  検出変換器と  $h$  調節計を使用している。 $h$  検出変換器は、それぞれのフロートの高さの差を、抵抗変化として取り出し  $h$  調節計に入れ、前述の硬抜と同様ブリッジに組まれている。比例帯調整、手動リセット、不感動帯装置は前述の自動硬抜と同様に設けられている。

表 2.2 2 槽硬抜制御関係

名 称	形 名	目 盛 (mm)	
硬高さ発信器	MFT 特殊形		差 動 変 圧 器
$h$ 検出変換器	ACB-21 形	100~300	電子管自動平衡形指示記録電気式
$h$ 調節計			比例調節リレーに同じ電子管式
硬高さ調節計	ACP-21 形	0~250	電子管自動平衡形指示記録電位差計式
比例調節リレー			電 子 管 式

### 2.3 自動給炭量および給水量制御装置

バウム水洗機への給炭品位が急激にまたは、大巾に変動した場合には、自動硬抜制御装置だけではもはや安定な運転状態を維持することができなくなり、したがって精炭品位の安定は望めなくなってくる。この場合には給炭量を加減して、硬ベッドの高さを早急にもとにもどす必要を生ずる。このため図 2.5 に示すようなこの装置

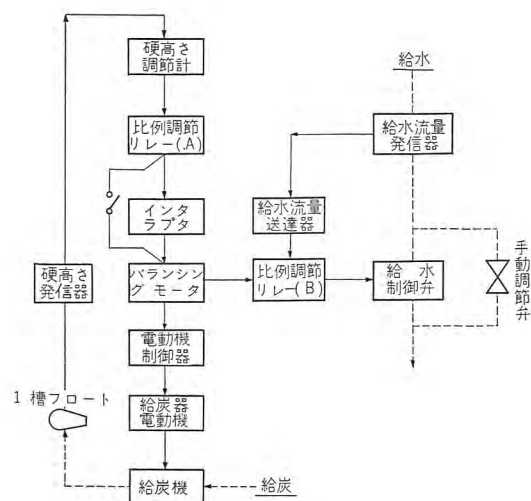


図 2.5 自動給炭量および給水量制御装置

Fig. 2.5 Automatic coal feeding and feed water control equipment.

を設けている。図 2.5 において、1 槽に設置された硬ベッド高さ検出のフロートは硬ベッドの高さに応じて上下に移動し、硬高さ発信器（差動変圧器）によって電圧変化として取り出される。いま原炭品位が悪くなりフロートが硬ベッドの高さが設定値より上った場合には、発信器の電圧変化が調節計に導かれ、比例調節リレーにより給炭機駆動用の AS モータの規準抵抗値を変え、給炭機の回転数を減少させ給炭量を減少させ、つねに硬ベッドの高さを一定に保つ。

調節計、比例調節リレーについては、前述の自動硬抜と同様に、比例帯調整、手動リセット、不感動帯装置を備えているが、さらに時間遅れ調整装置を具備している。

手動リセットは、給炭機の基本回転数が炭質、選炭条件によって異なってくるのでこれを調整して、その時の最良点で運転するようにしている。

時間遅れ調整は不感動帯装置と同様、水洗機の空気弁による脈動に対して動作しないように調整するものである。これは給炭機駆動用の AS モータの基準値（入力）に C-R 回路の時間遅れ要素を入れ、R を可変としこれを調整している。これも時間遅れが短いほど精度は良くなるが、脈動に対して敏感になるので、脈動による誤動作をしない範囲内で、時間遅れを短くして使用している。

比例帯調整、不感動帯装置は自動硬抜とまったく同一の目的のために使用している。

以上のようにして給炭量を変えて硬ベッドの高さを一定になるよう制御するが、給炭量が変われば当然それと比例関係にある給水量も変えなければならない。そのため給炭制御と同一の検出フロートにより、比例調節リレー (B) によって給水の電動弁を制御している。この場合、



表 2.3 自動給炭量、給水量制御関係

名 称	形 名	目 盛	
硬 高 さ 発 信 器	MFT 特殊形		差 動 変 圧 器
" 調 節 計	ACB-21 形	100~300 mm	電子管自動平衡形指示記録 電気式
給水流量発信器	MFT-50 形		誘導形差圧式 (ベンチュリー管)
" 送 達 器	ACB-21S 形	0~1,000 m <sup>3</sup> /h	電子管自動平衡形指示記録 電気式(積算付)
比例調節リレー(A)			電 子 管 式
" (B)			"
インターラプタ		60/30/15 sec 0~100%	
給 水 制 御 弁	30.48 cm 電動ス ルース弁	圧 力 0.7 kg/cm <sup>2</sup>	0.4kW モータ使用
電動機制御器	AS モータ制御器		磁気増巾器2段使用
給炭機電動機	AS モータ		3.7 kW AS

ブリッジのバランスのフィードバックはベンチュリー管で検出した給水量によって行なっている。これも、自動硬拔と同様比例帯調整、手動リセット、不感動帯装置を具備している。

自動給炭給水量制御に使用した器具を表 2.3 に示す。

#### 2.4 自動送風量制御装置

以上の硬拔量、給炭量の変化によって、その硬の送り速度も変える必要がある。そのためにこの装置を設け、硬ベッドの高さにより硬の送り速度すなわち送風量を加減している。これの概略を図 2.6 に示す。

硬ベッドの高さが高くなると送風量を増して、硬の送り速度を早めつねに硬ベッドの高さが一定になるよう制御している。表 2.4 に示すように自動硬拔制御装置と同様な調節計と比例調節リレーを使用し、比例帯調整、手動リセット、不感動帯装置を具備している。また、比例調節リレーのブリッジのバランス調整のフィードバック

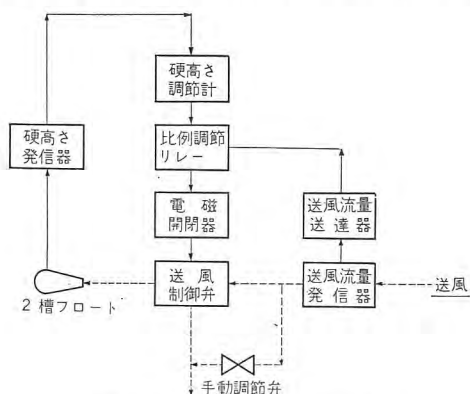


図 2.6 自動送風量制御装置

Fig. 2.6 Automatic air feeding control equipment.

表 2.4 自動送風量制御関係 (C817655)

名 称	形 名	目 盛	
硬 高 さ 発 信 器	MFT 特殊形		差 動 変 圧 器
" 調 節 計	ACB-21 形	100~300 mm	電子管自動平衡形指示記録 電気式
送風流量発信器	FBT	0~60 N m <sup>3</sup> /min	輿 状 で(オリフィス使用 んびん形 差圧 144mm H <sub>2</sub> O)
" 調 節 計	ACB-21S 形	0~60 N m <sup>3</sup> /min	電子管自動平衡形指示記録 電気式(積算付)
比例調節リレー			
送 風 制 御 弁	25.4 cm 形 スルース弁	圧力 0.21 kg/cm <sup>2</sup>	0.4 kW モータ使用

には、オリフィスにより送風量を検出して行なっている。

#### 2.5 計測装置

上述のように、水洗機の硬ベッドの高さを一定になるよう制御するために給炭量、給水量、送風量および硬拔量を変化させているので、これらには下記に示すような計器を取付けそれぞれの量を指示、記録させている。

- (1) 硬ベッド高さ計
- (2) 原炭処理量計
- (3) 給水量計
- (4) 送風量計
- (5) 水洗機の運転時間計

とくに、原炭処理量計は給炭機 (AS モータ) の回転数と給炭機にのっている原炭層の厚さを掛算器にかけて、水洗機で処理された原炭の量を指示させている。

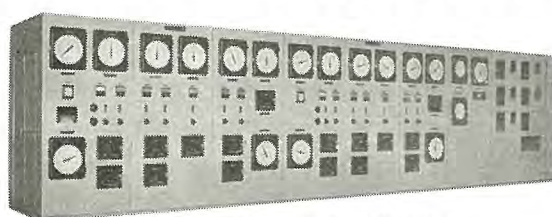


図 2.7 バウム水洗機自動制御盤

Fig. 2.7 Automatic control panel for Baum Coal Washing Equipment.

#### 2.6 浮選機供給液濃度自動調整装置

コンディショナから浮選機に送られる微粉水の濃度がつねに一定になるように制御するのがこの装置である。濃度の検出には普通のパブラータイプを使用し、コンディショナに供給する清水の量を加減している。

### 3. 総括制御装置

総括制御装置として特筆すべき点は、無接点継電器を使用したこと、各ポケットにサウジング装置を取付け、これにより系統を制御したことである。

#### 3.1 無接点継電器 (サイバック) を使用した順序制御回路

選炭場における特殊性すなわち、じんあいと湿気が多く、振動のある所では、従来使用されていた電磁形のリレーでは、その接点の消耗、機械的疲労および損傷によって事故を起していた。今度高島鉱業所の選炭場では、その使用電動機の数に 130 台にも及び、順序起動回路のリレーで一つ一つ ON・OFF を行なっていたのでは使用回数がばく大なものとなる。したがって、その順序起動回路には図 3.1 に示すような無接点継電器方式を採用した。無接点継電器 (サイバック) についての説明は



他の文献<sup>(1)(2)</sup>があるので省略し、図3.1の接続図について説明すると

(1) 順序起動押しボタン PB を押すとサイバック OR 要素を通して FF1 が、また同時に FF5 が動作する。押しボタンが復帰しても、その動作は持続される。

(2) FF1 の出力が限時要素 D1 にはいり、或る時間を経て出力を出し、FF2 に入力を与える。

(3) FF2 に入力があると、その出力が持続されるので増巾器 AMP を経て #3 の補助リレーを動作させる。これによって第1番に起動する電動機の MC1 が励磁されて電動機は起動する。

(4) FF2 の出力は FF1 をリセットすると同時に D2 にはいり或る時間を経て FF2 をリセットし、#3 は復帰する。

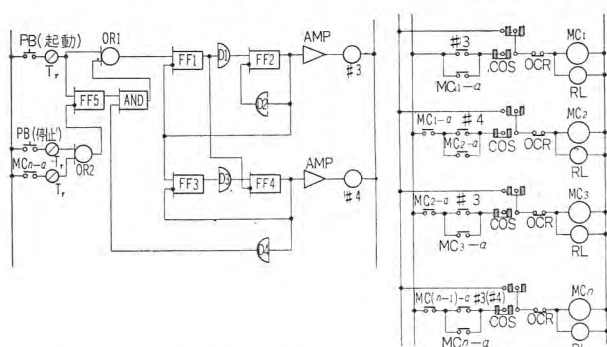
(5) 一方 FF2 の出力は FF3 にはいり、その出力が D3 にはいって、FF4、AMP を経て #4 が励磁され、MC2 が励磁されて第2番に起動する電動機は起動する。

(6) FF4 の出力は FF3 をリセットすると同時に D4 にはいり或る時間を経て AND に入力を与える。一方 FF5 からの出力があるため AND は出力を出し、OR1 を通して FF1 を動作させ、FF4 をリセットするとともに D1 を動作させ (2) と同様にして #3 を励磁させ第3番目の電動機を起動させる。

(7) 以上のことを繰り返し、#3 と #4 の補助リレーが交互に励磁されて、ある時間間隔 (D1 と D3 の調整時間により決まる) をおいて電動機は起動順序に従い、逐次起動して行く。

(9) 最終電動機が起動完了すると MCn-a の接点が接となるため OR2 の出力が FF1 をリセットされ、順序起動回路は停止する。

限時要素のサイバックは 2~15 秒の可調整となって



FF: サイバック FF 要素 AND: サイバック AND 要素 D: サイバック 限時要素 OR: サイバック OR 要素 Tr: 入力用変圧器 AMP: 出力用増巾器 PB: 押しボタン #3 #4: 補助リレー MC: 電磁接触器 OCR: 過負荷継電器

図 3.1 順序起動回路接続図

Fig. 3.1 Connection diagram of sequence start circuit.

無接点継電器を使用した選炭場の総括制御・武田・藤井・白石

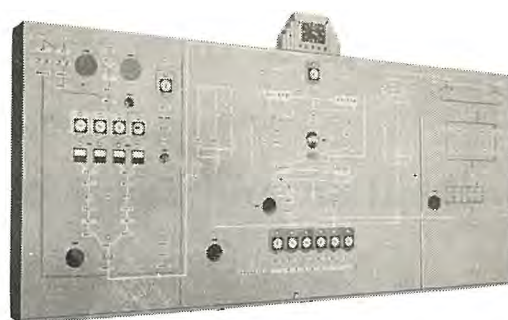


図 3.2 照光系統盤

Fig. 3.2 Illuminated system panel.

おり、適宜に電動機の起動時間間隔を調整できるようにになっている。また、FF 要素は一度動作するとリセットされるまで動作を持続するので、FF 要素が動作した時停電するとリセットされないままとなって、つぎに電源が復活した場合には、起動押しボタンを押さないのに再起動する恐れがあるので、停電時には FF 要素をリセットする装置を設けている。

### 3.2 ポケットのサウンジング装置

各ポケットにはサウンジング装置を取付け、ポケットの在炭量を操作室に遠隔指示するとともに、満量および空量になった場合には送入側または吐出側のフィーダを停止させ、つねにポケットの在炭量を監視する必要があるようにして、保守の簡易化を行なっている。とくに、主洗機のサービスホッパには、つねに炭量が一定となっているように制御装置を設けている。すなわちサウンジング装置に在炭量に比例して変る抵抗器を設け、送入側のフィーダ (AS モータ) の基準値を変えて、その速度を変え、送炭量を変えて、ホッパの在炭量を一定になるよう制御している。

## 4. む す び

水洗機の自動制御には、制御系としての特性が不明な部分が多く、今後の研究に待つところが多いが、この設備は種々の困難を乗り越え、工場試験も順調にすみ現地での試運転も好成績を収めることができた。

水洗機の自動制御装置は、永田製作所、島津製作所と協力して製作したものであり、また順序制御装置の無接点化については当社研究所の協力にあずかるところ大で、これらの装置の設計、製作に協力された関係者各位に謝意を表する次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 管野正雄: 論理数学におけるおもな関係とそれに対応する基本回路「三菱電機」31 (1957) 4. p. 50
- (2) 横須賀正寿・浜岡文夫・大野栄一: 無接点継電方式, 制御工学, 第1巻, 第2号 (1957)



# 加 速 度 お よ び 減 速 度 制 御 装 置

研 究 所 浜 岡 文 夫\*・大 野 栄 一\*

## Acceleration and Deceleration Control System

Research Laboratory Fumio HAMAOKA・Eiichi OHNO

Speed control of industrial motors is in wide application everywhere. A new system in this line developed newly by Mitsubishi operates in a principle of making a direct control of the derivative of speed, that is, acceleration and deceleration, being used for electric cars, elevators, winches and other similar apparatus. One of the principal aims is to obtain constant acceleration and deceleration characteristics irrespective of loads. The other is to provide the characteristics mentioned above in the best condition in consideration of the comfort in riding of passengers. Diversified magnetic amplifiers used are contributing to the maximum reliability and freedom in maintenance.

### 1. ま え が き

電動機速度制御は従来から種々の方面で実用化されているが、ここに述べようとするものは、速度の時間的変化率すなわち加速度および減速度を制御の対象とするような制御装置である。このような加速度あるいは減速度制御装置は電気鉄道やエレベータ、巻上機のように起動停止がひんぱんなものにおいて一定した加減速特性が要求されたり、乗心地という面から加速度あるいは減速度のプログラム制御を行なおうとする時に用いられよう。以下に説明する加速度および減速度制御装置もこのような電気車の制御用に作られたものである。

### 2. 加速度あるいは減速度と速度、位置の関係

加速度（以下本節では減速度は負の加速度と考え加減速度と書かずに加速度と書く）制御を行なった場合の速度および位置について考えてみよう。加速度を  $\alpha(t)$ 、速度を  $v(t)$ 、位置を  $l(t)$  とすると

$$v(t_2) = v(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} \alpha(t) dt \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$l(t_2) = l(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

の関係が成立することは当然であろう。

いま起動の時を考えると座標を起点から取って  $v(t_1)$  も、 $l(t_1)$  もともに 0 とすることができるから、 $v(t_2)$ 、 $l(t_2)$  は式 (2.1)、(2.2) によって定積分を行なうことにより求められ別に問題はないが、停止の際には最終値が与えられるので少々やっかいになる。すなわちスムーズな停止をさせるには停止した時刻  $t_B$  において  $\alpha(t_B)=0$ 、

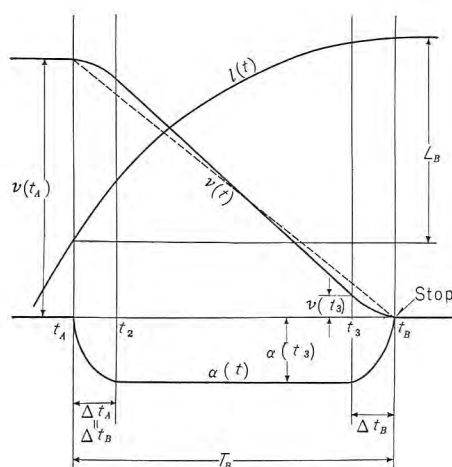


図 2.1 停止時の減速度、速度、位置の関係

Fig. 2.1 Relations among deceleration, velocity and position of car.

$v(t_B)=0$ 、 $l(t_B)=l_B$  ( $l_B$  は目的地の位置) を満足する必要がある。いま加速度  $\alpha$  として一定加速区間の両端に正弦波の 1/4 波形を付加した図 2.1 のような曲線を仮定すると、理想的状態における  $v(t)$  と  $l(t)$  は同図に示すようになる。まず  $\alpha(t)$  と  $v(t)$  を  $t_B$  においてともに 0 とすることを考えてみよう。 $\alpha(t)$  が下降を始める時刻  $t_3$  における加速度と速度はそれぞれ  $\alpha(t_3)$ 、 $v(t_3)$  であり、 $v(t_3)$  は  $\alpha(t)$  を  $t_3$  から  $t_B$  まで積分したものに等しいから、

$$\begin{aligned} v(t_3) &= - \int_{t_3}^{t_B} \alpha(t) \cdot dt \\ &= - \int_0^{t_B-t_3} \alpha(t_3) \sin \frac{\pi \cdot t}{2 \Delta t_B} \cdot dt \\ &= - \frac{2}{\pi} \cdot \alpha(t_3) \cdot \Delta t_B \quad \dots\dots\dots (2.3) \end{aligned}$$

ただし  $\Delta t_B = t_B - t_3$



式(2.3)は加速度と速度が同時に0になって停止する時の加速度降下開始点  $t_3$  における  $v(t_3)$  を与えるものである。したがって  $\alpha(t_3)$  なる一定加速度で減速してきた場合、 $\Delta t_B$  時間で加速度を降下させて停止させるためには、速度が式(2.3)で与えられる  $v(t_3)$  に達した時に加速度降下を開始させればよい。また  $\Delta t_B$  が一定の場合は  $v(t_3)$  は  $\alpha(t_3)$  に比例することも式(2.3)から知られる。

つぎに位置  $l(t)$  は式(2.2)から  $v(t)$  の積分値として与えられる。いま  $t_1$  から  $t_B$  までの制動期間  $T_B$  の間に移動する距離  $L_B$  を求めてみよう。 $L_B$  は

$$L_B = \int_{t_A}^{t_B} v(t) dt \dots\dots\dots (2.4)$$

と表わされるが、今加速度の上昇区間と下降区間は図2.1のようにまったく同じ形をしているものと仮定するとその対称性から

$$L_B = v(t_A) \cdot (t_B - t_A) = v(t_A) \cdot T_B \dots\dots\dots (2.5)$$

となる。ここで  $t_A$  における速度  $v(t_A)$  は

$$\begin{aligned} v(t_A) &= 2v(t_3) - \alpha(t_3) \cdot (t_3 - t_2) \\ &= -\alpha(t_3) \cdot \left( t_3 - t_2 + \frac{4}{\pi} \Delta t_B \right) \\ &= -\alpha(t_3) \cdot \left\{ T_B - \left( 2 - \frac{4}{\pi} \right) \Delta t_B \right\} \\ &= -\alpha(t_3) \cdot T_B' \dots\dots\dots (2.6) \end{aligned}$$

$$\text{ただし } T_B' = T_B - \left( 2 - \frac{4}{\pi} \right) \Delta t_B$$

で与えられる。

$T_B'$  は加速度(実際は負の加速度で減速度に相当する)を一定とした時の等価制動時間に相当する。式(2.5)および式(2.6)から  $T_B$  を消去して  $\alpha(t_3)$  を求めると

$$-\alpha(t_3) = \frac{v^2(t_A)}{2L_B - \left( 2 - \frac{4}{\pi} \right) \cdot \Delta t_B \cdot v(t_A)} \dots\dots\dots (2.7)$$

となる。もし全制動時間  $T_B$  に比べて  $\Delta t_B$  を無視することができれば  $T_B' = T_B$  と考えられるから式(2.7)は

$$-\alpha(t_3) = \frac{v^2(t_A)}{2L_B} \dots\dots\dots (2.8)$$

と簡化される。

これらの式は速度  $v(t_A)$  の走行中のものを距離  $L_B$  だけ先に停止させるための減速度を与えるもので、これによって停止位置制御に発展させることができる。

### 3. 制御装置の概要

つぎに電気車の加速度制御装置として開発されたものの概要を説明しよう。制御回路の構成は図3.1に示した

加速度および減速度制御装置・浜岡・大野

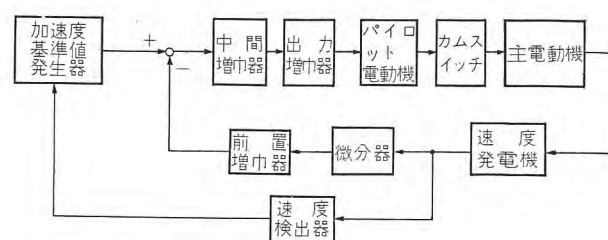


図 3.1 制御回路

Fig. 3.1 Block diagram of control system.

とおりである。この制御系は主電機のパルスを制御して制御量である加速度をその基準値と比較制御する閉ループ系を形成している。この閉ループによって外乱の影響を受けず一定した加速度が得られると同時に、起動および停止の際にはパターン発生器によって加速度の基準値を適当に変化してプログラム制御を行ない乗心地のよい加速度曲線が得られるようになる。

パターン発生器は前節図2.1に示したような正弦波信号を生ずるものとしてはレゾルバーがあり、指数曲線に対しては RC 積分回路などが用いられる。

一方実際の加速度の検出も重要な問題であるが、ここでは図3.1に示されたように主電動機に歯車を介して結合された速度発電機によってまず速度を検出してからこれを微分器にかけて加速度に比例した出力をうするという間接的方法によっている。微分器を通して生じた加速度信号は前置増巾器によって増巾され、パターン発生器からの信号とともに比較回路にはいる。ここで両者の大小が比較され、その差が中間増巾器および出力増巾器によって増巾されてパイロット電動機を駆動する。パイロット電動機はカムスイッチを回転させ、主電動機の直列抵抗を順次短絡して主電流を調整しトルク制御を行なうことによって加速度制御が実現するのである。

速度検出器は制動時に使用するもので、前節式(2.3)で求められる  $v(t_3)$  を検出して速度と加速度がともに0になって停止するよう動作するものである。

つぎに図3.1の各要素の伝達関数を求めてみよう。

#### (1) 中間増巾器および出力増巾器

中間増巾器には速応性回路2段を、出力増巾器には自己飽和形1段を用いる。速応性磁気増巾器は1段ごとに電源周波数の1/2のむだ時間をもつ系であり、自己飽和形磁気増巾器はその性能から決まる時定数  $T_2$  をもつ一次遅れの系であるから、前者のむだ時間を  $T_1$  と書けば、これらによる増巾部の伝達関数  $G_1(p)$  は単位法<sup>(1)</sup>を用いて表わすと、



$$G_1(p) = \frac{e^{-T_1 p}}{1 + T_2 p} \dots\dots\dots (3.1)$$

となる。単位法を用いたためゲインの項は1となる。

## (2) パイロット電動機

ここに用いたパイロット電動機は直流分巻電動機で界磁はつねに一定励磁を受け、制御は磁気増巾器出力による電機子電圧の変化によって行なわれる。この電機子電圧と回転速度との間の伝達関数  $G_2(p)$  はやはり単位法を用いると、

$$G_2(p) = \frac{1/K_c}{1 + T_3 p} \dots\dots\dots (3.2)$$

と表わされる。 $K_c$  は電機子回路の逆起電力係数であり、 $T_3$  はパイロット電動機の時定数で、単位慣性常数の2倍の値となる。

## (3) カムスイッチ

パイロット電動機によって駆動されるカムスイッチはその回転につれて順次主電動機の直列抵抗値を変化していく。抵抗値  $R$  は実際には階段的变化をするが、これを回転角  $\theta$  に比例して連続的に変化すると仮定すれば、回転角  $\theta$  は回転速度  $n$  の積分であるから

$$R = R_1 - \alpha \cdot \frac{n}{p} \dots\dots\dots (3.3)$$

と表わされる。ここに  $R_1$  は抵抗の初期値、 $\alpha$  は比例常数である。式(3.3)を単位法で書き改めるため、抵抗値の基準として

$$R_0 = -\alpha \cdot T_R \cdot n_0 \dots\dots\dots (3.4)$$

とすると式(3.3)の両辺を式(3.4)で割ってその変化分をとると

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{1}{T_R p} \left( \frac{\Delta n}{n_0} \right) \dots\dots\dots (3.5)$$

となるから、伝達関数  $G_3(p)$  は

$$G_3(p) = \frac{1}{T_R \cdot p} \dots\dots\dots (3.6)$$

となる。ここに  $T_R$  は式(3.4)で与えられる積分の基準時間である。

## (4) 主電動機

主電動機は直流直巻電動機で、その直列抵抗を変化し

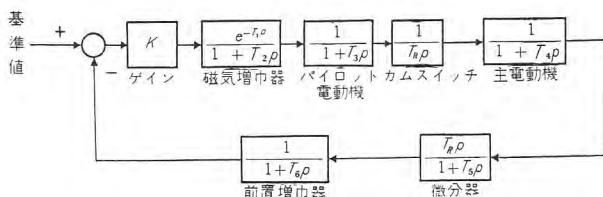


図 3.2 制御系の伝達関数

Fig. 3.2 Transfer function of control system.

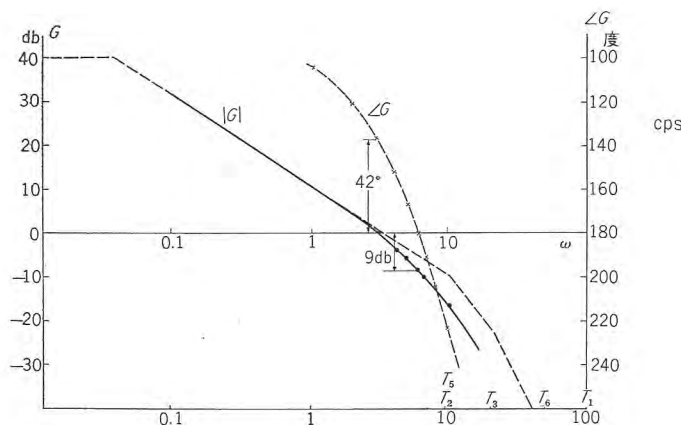


図 3.3 Bode 線図

Fig. 3.3 Bode diagram of the control system.

て制御される。この場合電源電圧は一定であるとして、直列抵抗の変化と主電動機回転速度の間の伝達関数  $G_4(p)$  を求めると

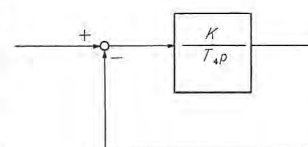


図 3.4 簡単化したブロック線図  
Fig. 3.4 Simplified block diagram of control system.

$$G_4(p) = \frac{K_d/K_c}{1 + T_4 p} \dots\dots\dots (3.7)$$

をうる。ここに  $K_c$  は主電動機の逆起電力係数、 $K_d$  は電機子抵抗による電圧降下率である。また  $T_4$  はパイロット電動機の場合と同様に主電動機の時定数であるが、この場合は車体および乗客などの負荷が慣性として作用し、電動機単独の場合の数倍から十数倍に達する。

## (5) 速度発電機

速度発電機は主電動機とベルトを介して結合され、スリップなどもほとんど無視できるから単位法での伝達関数は1と考えてさしつかえない。

## (6) 微分器

微分器としてCR微分回路または微分変圧器を用いた場合は、いずれも完全微分ではなく、その伝達関数  $G_5(p)$  は分母に時定数  $T_5$  を含む形となる。

$$G_5(p) = \frac{T_R p}{1 + T_5 p} \dots\dots\dots (3.8)$$

ここで  $T_R$  は微分ゲインを与えるが、全体の制御系を考えるに際してはカムスイッチの積分時間と等しくしておくのが便利である。

## (7) 前置増巾器

前置増巾器としては次節に述べる自己平衡形磁気増巾器を用いることにするとこの伝達関数は一次遅れと考えられるからその時定数を  $T_6$  とすると伝達関数  $G_6(p)$  は

$$G_6(p) = \frac{1}{1 + T_6 p} \dots\dots\dots (3.9)$$

と表わされる。



以上の各要素を用いて閉回路を構成した時、ループゲインを $K$ とすると図3.2のようなブロック線図が得られる。これに基づいて Bode 線図を作ると図3.3のようになる。これは  $K=100$ ,  $T_1=0.01$ ,  $T_2=0.1$ ,  $T_3=0.05$ ,  $T_4=30$ ,  $T_5=0.1$ ,  $T_6=0.02$  とした時のものでこれによるとゲイン余裕 9 db, 位相余裕 42 度となっており系の安定からは大体実用的な値となっている。

つぎに  $K=100$  の場合の制御偏差を考えると、定常偏差は 1% 以下となるが、過渡偏差は  $T_4$  という大きな時定数のためかなり悪くなる。図3.2の系を単純化して考えるため比較的小さい時定数を略すると主電動機の時定数  $T_4$  だけが残る。これは積分器と考えるとさしつかえないから図3.4のようになり、結局時定数  $T_4/K$  の一次遅れに近似される。したがって過渡偏差はこの  $T_4/K$  により論ずることができ、これを基準積分時間  $T_R$  より十分小さくしておくことが必要となる。実際には  $K=100$  の時  $T_4/K$  が 0.3 sec に対して  $T_R$  は 2~3 sec であるからほぼ満足すべき値といえることができる。

#### 4. 制御用磁気増巾器その他

前節までにその概略を紹介したような加速度制御装置を電車などの交通機関に応用する際には、最高度の信頼性と保守の容易なことが要求される。このため各要素はできるだけ静止形とし、増巾器には動作が確実で、しかも振動にも強く、寿命も長い堅牢な磁気増巾器を全面的に採用したので以下簡単にそれらの回路について述べる。

##### (1) 微分器

微分器としては図4.1のようなもっとも簡単な CR 回路によった。ここで

$$v_R = \frac{RCp}{1+RCp} v_i \quad (4.1)$$

$$i_R = \frac{Cp}{1+RCp} v_i \quad (4.2)$$

となり、電圧または電流で微分量をうることができる。分母に  $RC$  の積による時定数があり、不完全微分となるが、これは必要な範囲で十分小さくしておけばよい。ここでたとえば  $C=20 \mu\text{F}$ ,  $R=5 \text{ k}\Omega$  とし  $v_i$  として 20 V/sec の ramp 入力を与えると、 $v_R=2 \text{ V}$ ,  $i_R=$

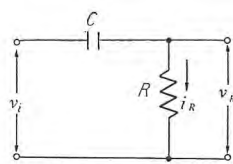


図 4.1 微分回路

Fig. 4.1 Differentiating circuit.

0.4 mA が得られる。この程度の出力を直接比較回路に入れるよりも、いったん増巾したほうが制御が容易になると思われるので図3.2に示したような前置増巾器を組合せた。

##### (2) 前置増巾器

微分量は今述べたように電圧または電流として与えられるが、ここでは磁気増巾器で増巾するのに便利な電流の形で扱うことにする。前置増巾器として考えなければならぬ重要な点としては

a. 直線性    b. 零ドリフト    c. 時定数

の3項目があげられる。このような要求を満たすため、負帰還を応用した電流入力-電流出力の自己平衡形プッシュプル回路を用いたので以下に説明する。

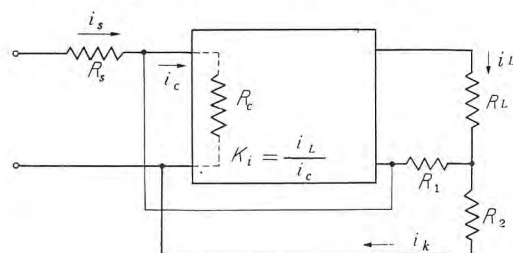


図 4.2 自己平衡形増巾器原理図

Fig. 4.2 Block diagram of self-balancing amplifier.

図4.2において Black Box の中は電流増巾度  $K_i$  の電流増巾器とし、 $R_s$  は  $R_c$  に比べて十分大きいとすると、つぎの関係が成り立つ。

$$i_L = K_i \cdot i_c \quad (4.3)$$

$$i_c = i_s - i_K \quad (4.4)$$

$$(i_L - i_K) R_1 = i_K R_2 - i_c R_c \quad (4.5)$$

これらの式から  $i_L$  を求めると

$$i_L = \left( \frac{R_1 + R_2}{R_1} \left/ 1 + \frac{R_1 + R_2 + R_c}{R_1 K_i} \right. \right) \cdot i_s \quad (4.6)$$

ここでもし

$$K_i \gg \frac{R_1 + R_2 + R_c}{R_1} \quad (4.7)$$

とすれば式(4.6)は簡単になり

$$i_L = K_i' \cdot i_s \quad (4.8)$$

$$\text{ただし } K_i' = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad (4.9)$$

となって、抵抗  $R_1$  と  $R_2$  の分流比によって増巾度が決定され、きわめて安定なしかも直線性のよい増巾器が得られることになる。

$$\text{いま } \mu = K_i / K_i' \quad (4.10)$$

とおくと、式(4.3)および式(4.9)から

$$i_c = i_s / \mu \quad (4.11)$$



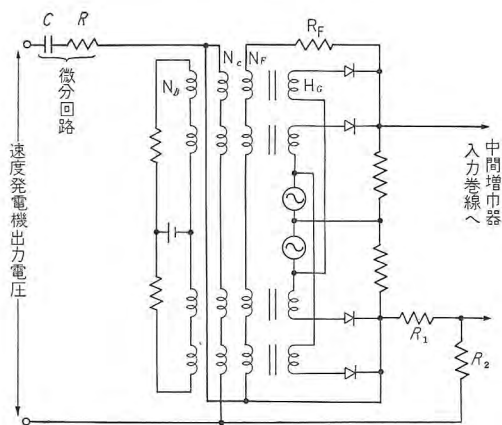


図 4.3 微分および増巾器回路

Fig. 4.3 Circuit diagram of differentiation and pre-amplifier (self-balancing type).

となるから入力インピーダンス  $Z_i$  として  $e_0/i_s$  を考えると

$$Z_i = R_c / \mu \dots\dots\dots (4.12)$$

となり、負帰還のない場合の  $1/\mu$  になる。

また式 (4.3) に時定数も考えて

$$i_L = \frac{K_i}{1 + pT} i_c \dots\dots\dots (4.13)$$

として計算すると、式 (4.9) に対応して

$$i_L = \frac{K'_i}{1 + pT'} i_s \dots\dots\dots (4.14)$$

$$\text{ただし } T' = T/\mu \dots\dots\dots (4.15)$$

をうる。これによれば時定数も入力インピーダンスと同様に  $1/\mu$  になることが示される。

ところで式 (4.7) の仮定は式 (4.10) の  $\mu$  を用いると、 $\mu \gg 1$  ということになる。したがって  $K_i = \mu \cdot K'_i$  の関係から  $K_i$  は最終的な電流増巾度  $K'_i$  に比べ十分大きくなければならない。このため増巾器自体の増巾度を上げるとともに出力から正帰還を併用して  $K_i$  の増大を行ない、

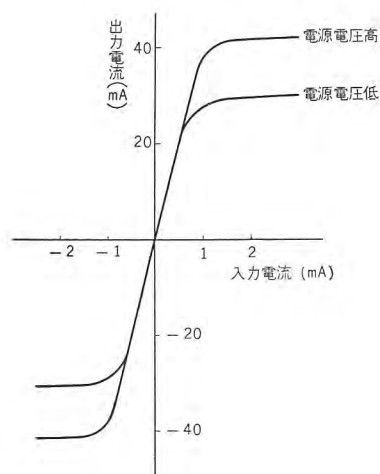


図 4.4 自己平衡形増巾器の入力出力特性

Fig. 4.4 Characteristic curves of self-balancing amplifier.

ほとんど無限大近くに調整している。

このようにして得られた自己平衡形磁気増巾器回路を図 4.3 に示す。ここで  $N_G$  は出力巻線、 $N_C$  は入力巻線、 $N_F$  は帰還巻線で内部正帰還用、 $N_B$  はバイアス巻線で零点および動作点の設定用である。図 4.4 はその入力対出力の特性曲線である。

### (3) 比較回路および中間増巾器

パターン発生器よりの加速度基準値と前置増巾器よりの加速度検出値はともに電流で与えられ、これの比較は中間増巾器の入力段の二つの入力巻線においてアンペアターンの差をとることによって行なわれる。

基準値と検出値を比較した後の誤差の増巾は零ドリフトと応答速度が問題となり、増巾特性の直線性はあまり重要でない。この目的のため、2 個の鉄心でプッシュプル動作ができ、応答も半サイクルという Lufcy の速応性回路を用いた。

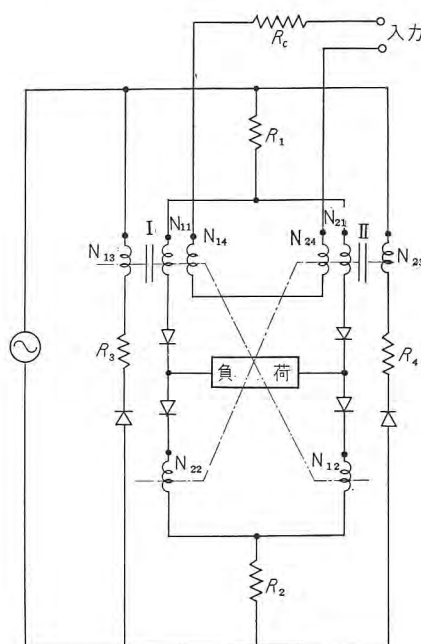


図 4.5 Lufcy 回路

Fig. 4.5 Lufcy-type magnetic amplifier.

Lufcy 回路は一名ブリッジ回路とも呼ばれるとおり 2 個の鉄心に巻かれた 4 個のゲート巻線  $N_{11}$ 、 $N_{12}$ 、 $N_{21}$  および  $N_{22}$  によってブリッジを構成したもので図 4.5 に示すものである。 $N_{13}$  と  $N_{23}$  はリセット巻線でこれにより鉄心 I と II をそれぞれリセットする。入力のない状態ではリセット巻線によって 2 個の鉄心は同一磁束レベルまでリセットされるため、ブリッジはつねに平衡状態にあり出力を生じない。入力巻線  $N_{14}$  と  $N_{24}$  によって鉄心 I と II には互に逆向きのアンペアターンが与えられ



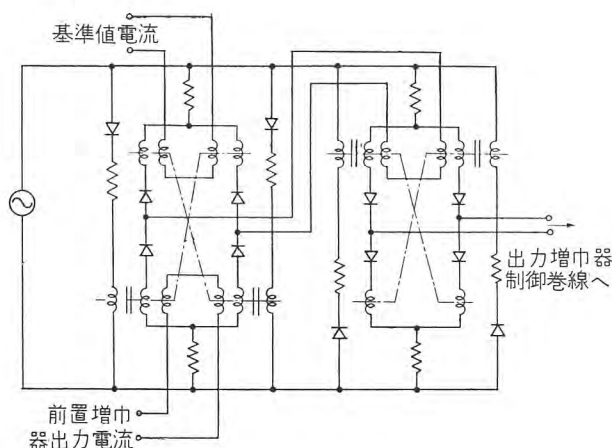


図 4.6 中間増巾器回路

Fig. 4.6 Circuit diagram of intermediate amplifier.

るから、入力が増えられると2個の鉄心の磁束のリセットレベルに差を生じ、飽和角が一方は進み他方は遅れる。このためブリッジに不平衡を生じて出力をうる。制御巻線が多数ある場合にはそれらによって与えられたアンペアターンの代数和によってリセットレベルが決定され、それに応じた出力を生じる。

この回路はブリッジの平衡を利用しているため、入力の正負によって出力も正負に変化するプッシュプル特性が得られる特長をもっている。

実際の制御装置ではゲインを上げるため図4.5の回路を2段結合した図4.6に示したものをを用いている。2段結合では1段と2段の電源の位相が逆になる点に注意する必要がある。

#### (4) 出力増巾器

パイロット電動機駆動用の出力増巾器としては、従来からもっとも広く使われている自己飽和ダブラ回路を用いているので改めて説明を加える必要もないと思われるが回路を示すと図4.7のようになる。

この場合、負荷が直流電動機の電機子であるため、誘導性の負荷となり、しかも回転数に比例した逆起電力の

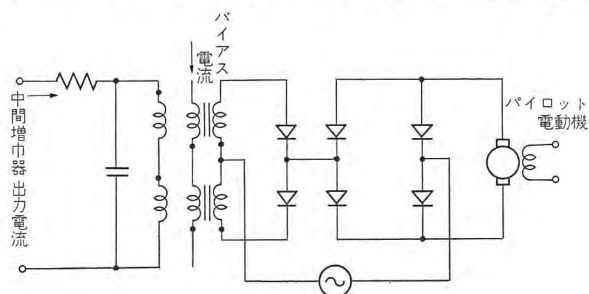


図 4.7 出力増巾器

Fig. 4.7 Circuit diagram of type output amplifier.

ために停止時より回転時のほうがインピーダンスが高くなるため異常現象を起す場合がある。とくに低速回転時に、自己飽和ブリッジ形回路を用いると不安定となることが認められたが図4.7のような交流ダブラ回路に全波整流器を用いたものでは全範囲で安定な特性が得られた。

#### (5) 速度検出器

速度検出器は2節において述べた停止条件を満たすための減速度降下開始点を与えるためのもので、式(2.3)において与えられる速度にて動作するようなものであればよい。このため速度設定源からの設定電流と、実際の速度に比例した速度発電機出力とを比較してその大小によって動作すればよい。このため前述の比較回路と中間増巾器回路図4.6において基準値電流の代りに速度設定電流を、前置増巾器出力電流の代りに速度発電機電流を流せばよい。実際にはさらに1段のLucy回路によって増巾し、マイクロスイッチリレーを動作させて減速度パターンの降下開始点を与えている。

## 5. む す び

以上のような加速度制御装置によって実際に電車の制御を行なった結果の一例を図5.1, 5.2に示す。このよ

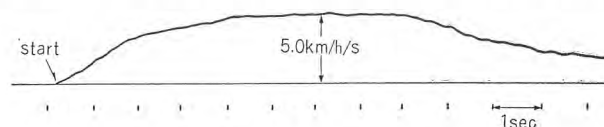


図 5.1 加速度曲線の実例

Fig. 5.1 Example of acceleration curve of electric car.

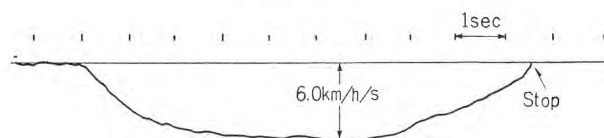


図 5.2 減速度曲線の実例

Fig. 5.2 Example of deceleration curve of electric car.

うに従来の方式では困難とされていた高加速、高減速をスムーズに実現することができてこの装置の優秀さを示した。今後に残された問題も多いが、電動機制御における一つの指針となれば幸と思ってあえて拙文をつづった次第である。

最後にこの装置の試作にあたり終始ご指導ご協力賜った小田急電鉄株式会社関係者各位ならびに伊丹製作所電鉄課宮内、管田、北岡各技師に心より感謝します。



# 交流電源による小容量直流電動機のリアクトル制御

名古屋製作所 吉 田 太 郎\*

## Reactor Control for Small Capacity DC Motors

Nagoya Works Tarō YOSHIDA

Motors driving machine tools, when required of speed variation, must be provided with reduction gears or pulleys or devices to change the number of poles. Changes in speed thus obtained, however, are of step by step type, sometimes accompanying troubles of change-over of gears or pulleys or of their replacement. On the other hand, for the improvement of performance and efficiency with regard to the machine tools, a wide range of continuous speed changes has become imperative. Particularly surface grinders of a certain type require very accurate speed control, and to meet the requirements reactor control of DC motors as an application of a magnetic amplifier has been developed. Its excellent performance and sturdy construction to such an extent of below 1% speed change and below 1 sec. response time are highly recommendable.

### 1. ま え が き

工作機械に使用する電動機は普通コ形誘導電動機で、とくに速度を変化する必要のあるものは、ギヤまたはプーリなどによって減速比を変化させるとか、あるいは電動機の極数変換によって、速度を数段階に変化するようにしている。しかしこのような方法では連続的に速度を変化することができず、任意の速度に制御することが困難である。さらにギヤ、プーリの切換え、取換えがわずらわしいなどいろいろ不便な点が多い。一方工作機械の性能と能率の向上が要望され、最近は無段階、広範囲の速度制御が要求されるようになり、とくに平面研削盤、円筒研削盤などのといし軸とか主軸を駆動する電動機の精密な速度制御を必要とするものが多くなってきた。そこでかかる要望に答

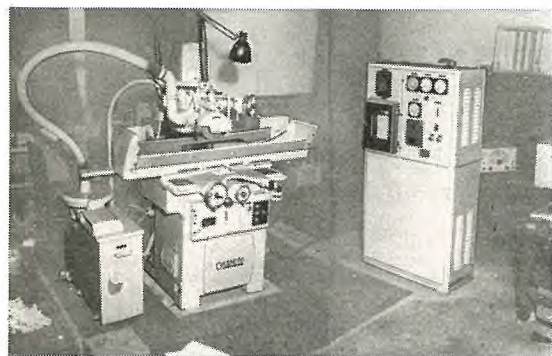


図 1.1 平面研削盤とその制御盤 (名工試納入品)  
Fig. 1.1 Surface grinder and control panel.



図 1.2 リアクトル制御盤 (標準品)  
Fig. 1.2 Reactor control panel.

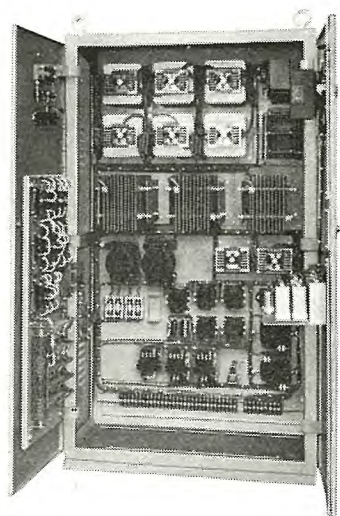


図 1.3 リアクトル制御盤 (内部)  
Fig. 1.3 Reactor control panel.

え、最近実施した平面研削盤のといし軸直流電動機 1.1 kW の速度制御を例として、小容量直流電動機のリアクトル制御について紹介しよう。

### 2. 直流電動機の世界速度制御



図 1.4 操作盤  
Fig. 1.4 Control station.

直流電動機は界磁電流を一定とした場合、電動機端子



電圧を増減すると、これに従って速度が増減し、速度はほぼ端子電圧に比例する。そこで普通広範囲の速度制御を必要とする用途に対しては、交流電動機、直流発電機、直流電動機を使用するワードレオナード方式が用いられる。この方式では直流発電機の発生電圧をその界磁電流によって制御し、その結果直流電動機の端子電圧を増減して電動機を速度を制御する。この方式は従来非常に広く応用されてきたが、1 台の電動機を回すのに、他に直流発電機と交流電動機が必要で、値段的にもかなり高くなる。また電源装置が回転体であるので、その保守も必要でわずらわしい。

一方このような回転式レオナード制御に対して、静止式レオナード制御が発達し、近年かなり多く使用されるようになってきた。すなわち、格子制御の水銀整流器とか、小容量のものでは格子制御放電管（サイラトロン）などを使用し、電動機端子に印加される電圧の点弧位相角を制御して電動機の端子電圧を増減し、速度制御を行なう。この方式によれば電源装置は静止機器であるので、回転体におけるような保守を必要としない点など、いくつかの長所をもっている。しかしながらこの方式のものはがんじょうさと寿命の点で必ずしも満足されていない。

これらのものに比較して、ここに紹介するリアクトル制御は、がんじょうで半永久的な寿命をもち、保守を必要としないなどいくつかの長所をもち、もっとも実用的なものとして推奨されるものとする。

### 3. リアクトル制御の原理と概要

リアクトル制御とは可飽和リアクトルと金属整流器を組合わせて直流可変電圧を電動機に供給するもので、図 3.1 に三相交流電源より直流可変電圧を供給する回路を

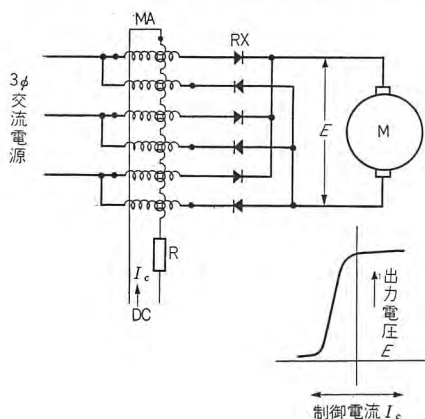


図 3.1 リアクトル制御の主回路と出力特性  
Fig. 3.1 Main circuit of reactor control and output characteristic.

示す。すなわち 6 個の可飽和リアクトルはそれぞれ、セレン整流器と直列に接続され、いわゆる三相全波自己飽和形磁気増巾器の機能をもっている。したがって制御巻線の電流によって、リアクトルの飽和する位相が変化され、結果としてセレン整流器の出力電圧が制御される。

すなわち制御電流を増減するだけで、電動機端子電圧が広範囲に増減され、一応電動機を速度制御の目的は達せられる。しかし負荷トルクが増加するとこれに比例して電機子電流が増加し、可飽和リアクトル、セレン整流器における電圧降下が増加し、電動機端子電圧は若干低下する。この速度の変化の割合は無負荷と全負荷で約 10~20% くらい変化する。この変化率を少なくするにはいろいろな方法が考えられるが、リアクトル制御としては、磁気増巾器によって容易に増巾が行なわれるので、いわゆるフィードバック制御をするのが得策であろう。すなわち速度を検出し、基準値と比較してその差を少なくするように自動的に制御する方式が望ましい。

この速度を検出する方法としては直接式と間接式がある。前者はパイロット発電機によって速度を直接検出するものであり、後者は端子電圧と電機子電流とを適当に組合わせて、電機子内部に発生する逆起電力を検出し、速度の代りとするものである。

この間接式はパイロット発電機がいらないから簡便ではあるが、精度を上げようとすると不安定になりやすく、電流分と電圧分の組合わせ比率がかなりデリケートとなる。したがって実用的な観点から考えると高性能のものにはむしろ不向きであろう。

一方パイロット発電機のもの一見余分なわずらわしいものが付加されるという感じもするが、実際には簡易な永久磁石式の小容量の発電機でよく、制御系の安定性と調整の容易さを考えれば、高性能のものには、この方式のもののほうがむしろ実用的である。

つぎに増巾の問題であるが、出力磁気増巾器 1 段の増巾でもかなりの特性になるが、出力磁気増巾器の特性のバラツキと基準ならびに検出回路の容量の点を考えれば、前段の小容量磁気増巾器を設けたほうが、制御入力の小容量でよく、また制御の融通性があり、調整がしやすいなど便利点が多い。

今回名古屋工業技術試験所に納入した岡本工作機株式会社製の平面研削盤はといしおよび被研削物の材質と研削速度の関係が研削面の仕上り程度や精度におよぼす影響の比較データを求めるいわばといし試験機であって、



といしの回転数を 1,000~4,000 rpm の任意の速度にセットすることができ、負荷の変化や電源電圧の変動に対して、つねに速度変動率を 1% 以下にたもち、また過渡応答時間も 1 秒以内という厳格な仕様である。

といし駆動用に 1.1 kW の直流電動機を使用し、前述のパイロット発電機方式のフィードバックリアクトル制御を実施したところ、仕様を満足する制御特性が得られ、また電動機の機械的振動も 3 ミクロン以下の好結果が得られた。これを例としてリアクトル制御の各部の特性、制御系の定常特性、ならびに過渡特性などについて設計、計画と試験結果を説明しよう。

#### 4. 制御系の各部の特性

制御系は主回路（出力磁気増巾器）と制御回路（前段磁気増巾器、定電流装置、安定回路など）からなっている。

##### (1) 主回路

主回路は図 4.1 に示すように 6 個のリアクトルと 6 組のセレン整流器からなり、自己飽和形磁気増巾器となっている。磁気増巾器の出力は 1.1 kW の出力の直流電動機に対して、1.6 kW 必要で実際には電源電圧の変動を考慮して 1.8 kW の出力が出せるようにしている。

リアクトルは異方性ケイ素鋼板を使用し、トロイダル形巻鉄心とした。

制御電流に対する出力特性は図 4.2 に示すようで、制御電流が 200 mA 変化すれば出力は 0 より定格出力まで変化する。このデータは 16Ω の抵抗を負荷とした場合のもので、実際のものは電動機負荷であるので特性は若干異なるが、抵抗負荷に比べてむしろよい。すなわち特性が直線的で残留出力が少ない。

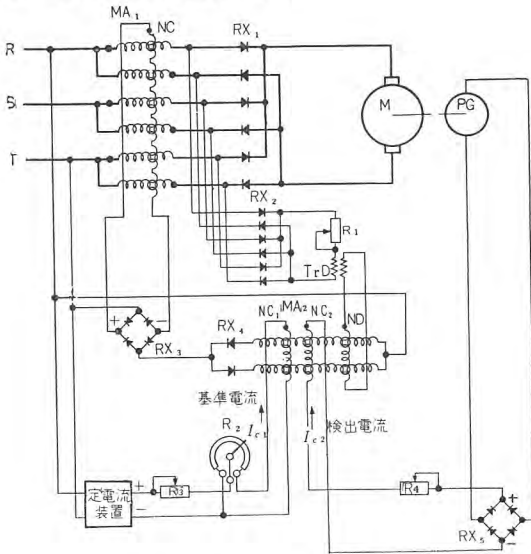


図 4.1 リアクトル制御回路  
Fig. 4.1 Circuit of reactor control.

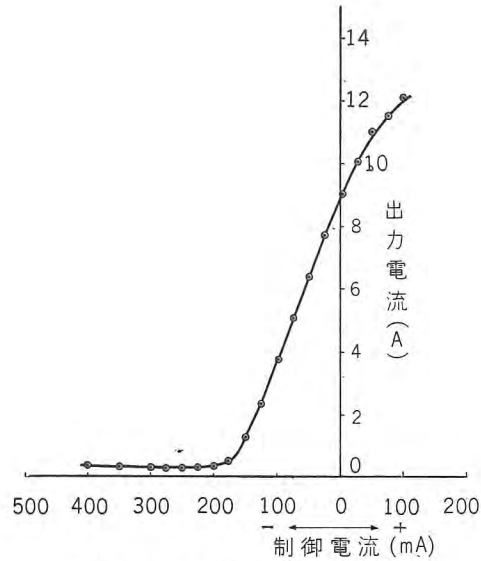


図 4.2 出力磁気増巾器の特性曲線  
(電源 220 V 60 c/s 負荷 16 Ω)

Fig. 4.2 Characteristic curve of power-magnetic amplifier.

##### (2) 制御回路

前段磁気増巾器は 50% Ni 鉄心のトロイダル巻鉄心を使用し、30 W の出力をもっている。特性は図 4.3 に示すようで、これも抵抗負荷の場合であるが、実際には出力磁気増巾器の制御巻線が負荷であるから若干特性は異なるが、コンデンサ、抵抗を並列に接続して特性を補正している。このようにすることによって、前段磁気増巾器の入力と、出力磁気増巾器の出力の関係は大体おのの増巾率を乗じたものになり、その特性は図 4.4 に示すようになる。曲線 (1) は出力負荷が抵抗の場合、曲線 (2) は電動機負荷(無負荷)、曲線 (3) は電動機負荷(全負荷)の場合である。いずれの場合でも大体入力電流の 2 mA の変化で出力は 0 から最大まで変化する。

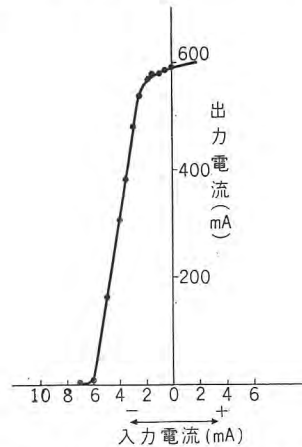


図 4.3 前段磁気増巾器の特性曲線  
(電源 AC 110 V 60 c/s 負荷 100 Ω)  
Fig. 4.3 Characteristic curve of pre-magnetic amplifier.

速度検出は永久磁石の交流発電機であるから、その発生電圧は電源電圧の変動に無関係である。したがって基準電流も電源の変動に無関係でなければならない。そこで基準電流装置として図 4.5 に示すような飽和変圧器を応用した定電流回路を使用している。この飽和変圧器は 50% Ni 鉄心のトロイダル巻鉄



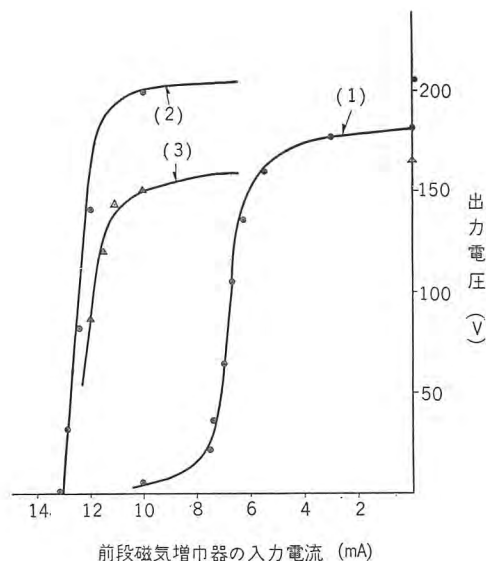


図 4.4 開回路特性

(1) 抵抗負荷の場合  
(2) 電動機 (無負荷) の場合  
(3) " (全負荷) "

Fig. 4.4 Characteristic of open loop circuit.

心を使用し、その角形磁気特性を利用している。この特性は図 4.5 に示すように電源電圧をある値以上に選べば電源電圧の変動に対しほとんど変化しない。(±10% の電源電圧の変動に対し、約 ±0.5% くらいである。)

この定電流を調整抵抗によって分流し、基準電流として磁気増巾器の制御巻線に流すようにしている。この抵抗の調整によって速度は任意に制御される。すなわち基準電流と検出電流とが逆極性で磁気増巾器にはいり、その差電流が増巾される。たとえば基準電流に対し検出電流が少ないときは(速度が指令の速度より遅い場合)前段磁気増巾器の出力が増加し、したがって出力磁気増巾

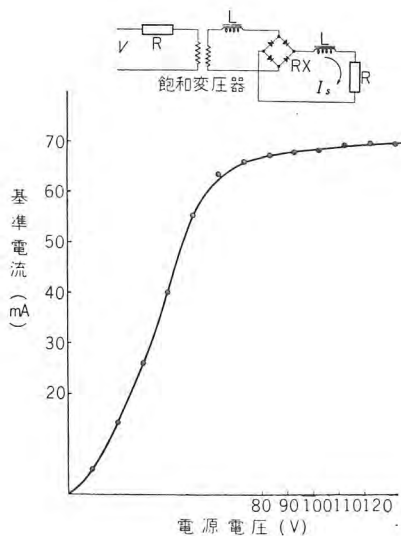


図 4.5 定電流回路とその特性

(電源電圧 110 V 60 c/s)

Fig. 4.5 Constant current source and its characteristic.

交流電源による小容量直流電動機のリアクトル制御・吉田

器の出力電圧が増加して速度は加速する。その結果速度は指令の値(調整抵抗による分流電流に相当する値)につねに等しくなる。

つぎに各部の関係を数式的に表わして、閉回路定常特性を検討する。

## 5. 閉回路定常特性

(1) 出力磁気増巾器の出力電圧と電動機の速度の関係

出力磁気増巾器の出力電圧  $E$  と電動機の速度  $N$  との定常状態における関係は

$$E = I_a(R_a + R_m) + E_a \quad (5.1)$$

$$E_a = K\phi N \quad (5.2)$$

ここに  $E$  …… 磁気増巾器の無負荷出力電圧

$E_a$  …… 電機子逆起電力

$R_a$  …… 電機子抵抗

$R_m$  …… 磁気増巾器内部の電圧降下を表わす抵抗

$\phi$  …… 界磁磁束

これを定格電圧  $E_0$  で割ると

$$\frac{E}{E_0} = \frac{I_a(R_a + R_m)}{E_0} + \frac{K\phi N}{E_0} \quad (5.3)$$

定格速度を  $N_0$  とすると

$$\frac{E}{E_0} = \frac{I_a(R_a + R_m)}{E_0} + \frac{N}{N_0} \quad (5.4)$$

単位法で表わすと

$$e = i_a r + v \quad (5.5)$$

ここに  $r = \frac{I_{a0}(R_a + R_m)}{E_0}$  で 0.1~0.2 となる

(2) 出力磁気増巾器の出力と入力の関係

適当にバイアスを選べば(図 4.1 にはバイアス回路は省略した)入力電流  $I_{c1}$  と出力電圧  $E$  との関係は

$$E = K_1 I_{c1} \quad (5.6)$$

単位法で表わすと

$$e = k_1 i_{c1} \quad (5.7)$$

例では入力電流の定格値  $I_{c10}$  を 200mA とすると  $k_1 = 1$  となる。

(3) 前段磁気増巾器の出力とその入力との関係

これも適当にバイアスを選べば、入力電流  $I_{c2}$  と出力電流  $I_{c1}$  の関係は

$$I_{c1} = K_2 I_{c2} \quad (5.8)$$

単位法で表わすと

$$i_{c1} = k_2 i_{c2} \quad (5.9)$$

例では入力電流の定格値  $I_{c20}$  を 6 mA とすると



$k_2=3$  となる.

(4) 基準電流, 検出電流と前段磁気増巾器の入力の関係

磁気増巾器の入力電流  $I_{c2}$  は基準電流  $I_s$  より検出電流  $I_d$  を引いた値であるから

$$I_{c2}=I_s-I_d=K_3(N_s-N) \quad \dots\dots\dots(5.10)$$

単位法で表わすと

$$i_{c2}=k_3(n_s-n) \quad \dots\dots\dots(5.11)$$

例では全速度 4,000 rpm において検出電流を 70 mA としているので,  $k_3=\frac{70\text{mA}}{6\text{mA}}$  すなわち 11.7 となる.

式 (5.5), (5.7), (5.9), (5.11) をまとめると

$$i_a r + n = k_1 k_2 k_3 (n_s - n) \quad \dots\dots\dots(5.12)$$

すなわち

$$n = \frac{k_1 k_2 k_3}{k_1 k_2 k_3 + 1} n_s - \frac{i_a r}{k_1 k_2 k_3 + 1} \quad \dots\dots\dots(5.13)$$

無負荷の速度を  $n_0$  全負荷の速度を  $n_1$  とすると (全負荷トルクの場合  $i_a=1$  となる)

$$n_0 - n_1 = \frac{r}{k_1 k_2 k_3 + 1} \quad \dots\dots\dots(5.14)$$

例では  $r$  を 0.2 ととれば  $k_1 k_2 k_3=35$  となるから

$$n_0 - n_1 = \frac{0.2}{36} = 0.0055$$

すなわち 0.55% の差が生ずることとなる.

実際に平面研削盤で研削した場合の速度変化を測定した結果では 1,000~3,500 rpm の回転数の間での試験において, 無負荷と約  $\frac{1.5}{100}$  mm くらいの切込みをかけて全負荷トルクをかけた場合, 約 5 rpm くらいの変化しかみとめられなかった.

## 6. 過渡特性と安定度

以上のように磁気増巾器で高率で増巾すると, 速度変動率は非常に少なくなる. しかしこのままではもちろん制御系は不安定となり乱調する. そこで一般に安定回路を設けるが, この方法が実際にはかなり問題である.

まず線形制御系として各部の伝達関数を求めて, 安定性を検討する. そして適切な安定回路が得られたならば, つぎに制御系内にある非線形要素について検討し, その

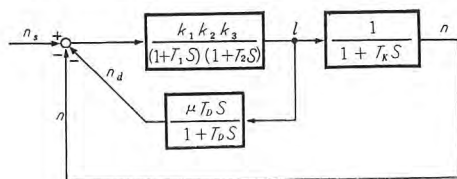


図 6.1 ブロック線図

Fig. 6.1 Block diagram.

要素が安定回路に悪影響を及ぼさないように考慮して, 具体的な安定回路を作る. これらについて概要を説明しよう.

(1) 線形要素としての各部の伝達関数

電動機速度と磁気増巾器の出力との関係

前述した関係は定常状態における関係式であるので, これを過渡状態におけるものになおす.

$$E = I_a(R_a + R_m) + L_a \frac{dI_a}{dt} + K\phi N \quad \dots\dots\dots(6.1)$$

単位法で表わすと

$$e = i_a r + l \frac{di_a}{dt} + n \quad \dots\dots\dots(6.2)$$

実際には  $l \frac{di_a}{dt}$  は無視してさしつかえないので

$$e = i_a r + n \quad \dots\dots\dots(6.3)$$

つぎに電動機のトルク  $T_m$  は電機子電流  $I_a$  に比例するから

$$I_a = K_s T_m \quad \dots\dots\dots(6.4)$$

単位法で表わすと

$$i_a = k_s \tau_m \quad \dots\dots\dots(6.5)$$

またトルク  $T_m$  と電動機速度  $N$  との関係は

$$T_m = \frac{GD^2}{375} \frac{dN}{dt} \quad \dots\dots\dots(6.6)$$

単位法で表わすと

$$\tau_m = \frac{GD^2}{375} \frac{N_0}{T_0} \frac{dn}{dt} = k_m \frac{dn}{dt} \quad \dots\dots\dots(6.7)$$

式 (6.3), (6.5), (6.7) について, これらの変化分をとりラプラス変換してまとめると, つぎのようになる.

$$n = \frac{1}{1 + k_s k_m r s} e = \frac{1}{1 + T_k s} e \quad \dots\dots\dots(6.8)$$

$$T_k = k_s k_m r$$

すなわち速度は磁気増巾器の出力電圧に対し, 一次遅れの関係となる. この例では計算すると  $T_k=0.38$  となる.

つぎに出力磁気増巾器, 前段磁気増巾器の入力, 出力の関係はいずれも一次遅れであるから, 出力磁気増巾器の出力と基準ならびに検出速度との関係は次のようになる.

$$e = \frac{k_1 k_2 k_3}{(1+T_1 s)(1+T_2 s)} (n_s - n) \quad \dots\dots\dots(6.9)$$

$T_1, T_2$  はそれぞれ出力, 前段磁気増巾器の時定数

これらをブロック線図にすると図 6.1 のようになる.

これは典型的な三次遅れの自動制御系であるから, 安定回路は出力磁気増巾器の出力電圧の微分値を一次遅れでフィードバックすればよく, 具体的には出力電圧よりダ



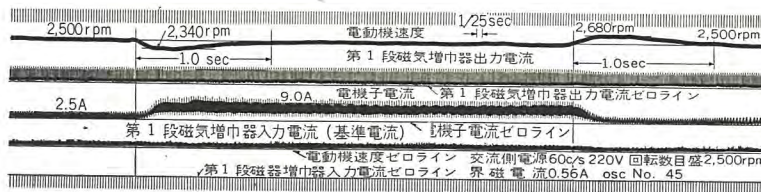


図 6.2 研削時の速度のオシログラム

Fig. 6.2 Oscillogram of speed in grinding

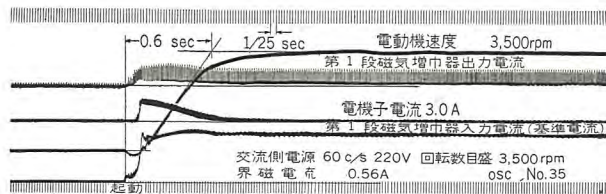


図 6.3 起動時の速度のオシログラム

Fig. 6.3 Oscillogram of speed as starting.

ンピングトランスを通じて前段磁気増巾器にかえせばよい。その伝達関数は

$$n_d = \frac{\mu T_{DS}}{1 + T_{DS}} e \dots \dots \dots (6.10)$$

## (2) 非線形要素の考慮

上記検討の結果からは電動機端子電圧にダンピングトランスを接続することになる。そしてこのようにすれば一応定常状態においては安定になる。しかし入力に大きな変化を与えた場合には乱調したり、現象が振動的になったりする。これは制御系が線形でなくなるためで、すなわち制御系の中に非線形要素がはいってくるからである。

これは磁気増巾器の出力と電動機の入力にセレン整流器がはいっているためで、磁気増巾器と電動機との結びつきがセレン整流器に電流が流れているときは接続しているが、電流が流れないときは切り放されるような結果になる。そこで前段磁気増巾器の入力が急に大きく減少した場合には、磁気増巾器の出力は急に減少する。これに伴って電機子電流は減少するが、セレン整流器によって負にはならない。したがって電動機は制動トルクを発生しないので、電動機の減速はゆっくりしている。その結果、磁気増巾器の出力電圧と電動機端子電圧とは異なったものとなり、電動機端子電圧の減少率は少ない。したがって電動機端子よりダンピングをとった場合はダンピングの量が少なく、ダンピングの効果が減殺されてしまう。これが不安定になる原因である。

そこで磁気増巾器の出力電圧をそのまま検出する安定回路が必要で、その具体的な方法として図 4.1 に示すように主回路全波整流器と並列にセレン整流器を設け、そ

の出力にダンピングトランスを接続した。

このようにすることによって、過渡特性を十分安定なものにすることができた。十分安定であることは、一方増巾率を上げることができ、速度変動率を少なくするとともに、応答時間を速くすることにも役だっている。

図 6.2 のオシロは 2,500 rpm で回転中  $\frac{1.5}{100}$  mm の切込み（全負荷トルクがかかる）で研削した場合の過渡状態を示すもので、速度は一時的に 2,340 rpm に低下するが約 1 秒で 2,500 rpm に回復している。

また図 6.3 のオシロは 3,500 rpm に調整して起動した場合の速度上昇を示すもので、約 1 秒くらいでオーバーシュートなく加速している。（安定回路実新出願中）

## 7. む す び

以上小容量直流電動機のリアクトル制御について、実施例を参考として説明したが、リアクトル制御の長所をまとめると

### a. 高性能

比較的簡単な回路で速度変動率を十分少なくすることができ、また安定回路に考慮を払えば、十分安定で応答の速いものが得られる。

### b. がんじょうで寿命が長い

構成要素はリアクトル、セレン整流器、コンデンサ、抵抗など堅牢な構造の静止機器からなり、寿命はほとんど半永久的である。

### c. 点検、保守を必要としない

制御回路はワードレオナード制御に比較すれば若干複雑であるが、点検保守を必要としない静止機器であるからわずらわしくない。

### d. 経済的である

おもなるものは整流器のほかには可飽和リアクトルと小容量磁気増巾器くらいであるから、他の方式のものに比してむしろ経済的である。

以上のように、多くの長所をもっており、工作機械などに使用する高性能の速度制御を必要とする小容量の直流電動機には、リアクトル制御はもっとも実用的なものとして推奨することができよう。

終りに本機の製作試験について岡本工作機株式会社隅山技師長、名古屋工業技術試験所山田課長、中山技官ほか関係者より種々援助をいただき、ここに深謝いたします。



# 312,000 kVA 特別三相式超高压変圧器

伊丹製作所 村上 有\* 谷中頼朝\*\* 田村良平\*\*

## 312,000 kVA Special Three Phase Ultra High Voltage Transformers

Itami Works Tamotsu MURAKAMI・Yoritomo TANINAKA・Ryōhei TAMURA

In the yard of Minamikawagoe Substation of the Electric Power Development Company stands a giant transformer with an unprecedented capacity of 312,000 kVA in the Orient. This is a three phase 275 kV shell type unit built by Mitsubishi involving a number of distinctive features such as feasibility of shipment assembled to do away with an assembly room and cranes; employment of cold rolled oriented silicon sheet steel to cut down the weight of unit and improve the characteristics remarkably. One more unit of the same capacity is under construction and is expected to add a grand appearance to the arrangement by the end of this year.

### 1. ま え が き

わが国水力資源の宝庫と称せられる只見川上流開発の先端を切って、電源開発株式会社田子倉発電所が本年7月に発電開始されることになり、引きつづき奥只見発電所、滝発電所、大鳥発電所が建設中または計画されている。この只見系の発電力を東京地区において受電する一次変電所として、川越市の西南方に南川越変電所が建設され、5月から受電開始されることになった。この変電所に設置される主要変圧器は、等価容量312,000 kVAという東洋最大、世界的にも有数の大容量超高压変圧器であり、当社のもっとも得意とする特別三相式を採用し、組立輸送を行なったものである。またケイ素鋼板として最高級の冷間圧延方向性ケイ素鋼板を使用し、重量の軽減と特性の向上を図った。

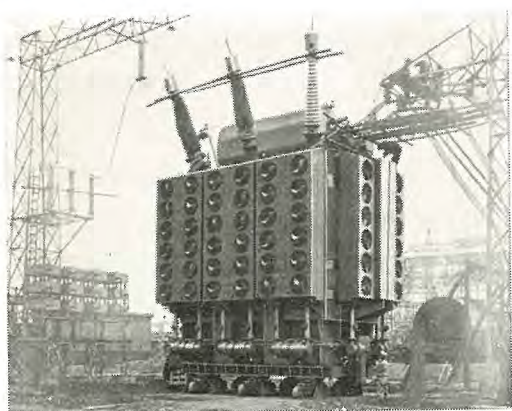


図 1.1 南川越変電所 312,000 kVA 特別三相式超高压変圧器  
Fig. 1.1 312,000 kVA special 3 phase ultra-high voltage transformer in Minamikawagoe substation.

この変圧器2台のうち1台は工場完成の上、組立輸送され、現地組立もすでに終ってその威容を示し(図1.1)近く運転にはいることになっており、2台目は本年末に完成の予定である。

当社では昨年、東京電力中東京変電所にわが国最大の変圧器として260,000 kVA超高压変圧器2台を納入し、現在きわめて好成績に運転されている。この変圧器については本誌32巻10号(1958)に詳細紹介しているが、今回の312,000 kVA変圧器は、特別三相式構造の採用、組立輸送の実施、冷間圧延方向性ケイ素鋼板の使用をはじめとし、構造上260,000 kVA変圧器とほぼ同形であるから、構造の詳細は上記誌に譲って簡単な説明にとどめることにする。

### 2. 定格および重量その他

形式	特別三相式	外鉄	Form-Fit形
電圧	一次	275-268.75-262.5 kV	入
	二次	147	kV 入
	三次	15.4	kV △
容量	一次	240,000 kVA	
	二次	264,000 kVA	
	三次	120,000 kVA	
	等価	312,000 kVA	

周波数 50 c/s

絶縁方式 サージプルーフ構造

一次 低減絶縁および段絶縁(中性点直接接地)



二次 中性点  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  絶縁低下 (中性点避雷器

付属)

絶縁階級

巻線 一次 線路側 200 号

中性点側 30 号

二次 線路側 140 号

中性点側 80 号

三次 20 号

ブッシング 二次中性点側 140 号

他は巻線の絶縁階級と同一

重量 (油を含まず) 419,000 kg

油量 90,000 l

総重量 500,000 kg

輸送重量 111,000 kg

外形寸法 巾 9,470 mm

奥行 6,140 mm

高さ 12,120 mm

### 3. 特 長

この変圧器の大きな特長を列記すれば、つぎのとおりである。

(1) わが国における最大容量の変圧器であるばかりでなく、世界的にみても記録的大容量超高压変圧器である。すなわち現在世界最大容量の変圧器は 380,000 kVA であるが、電圧は 138 kV であり、超高压変圧器では 341 kV, 400,000 kVA の単巻変圧器があるが、普通三相変圧器では 345 kV, 260,000 kVA が最大である。

(2) このような超高压大容量変圧器にかかわらず、外鉄形の特長を発揮した特別三相式構造を採用することにより、組立輸送を行なうことができた。特別三相式は各相に分割して組立輸送を行なうもので、佐久間発電所用 139,500 kVA および 93,000 kVA 変圧器に初めて採用して、組立輸送技術に新機軸を画してより、その後前述の 260,000 kVA 変圧器を初めとして多数製作使用されているものである。

この変圧器も特別三相式構造により、変圧器本体を組立てたまま貨車輸送して、組立輸送の特長を遺憾なく発揮した変圧器である。すなわち、

- a. 現地組立室や起重機を省略することができた。
- b. 分解、現地再組立に要する工期とその費用が大巾に削減された。

312,000 kVA 特別三相式超高压変圧器・村上・谷中・田村

c. 工場で各種の試験を終了した完全状態のまま現地に再現できた。

(3) 米国 Armco 社の優秀な冷間圧延方向性ケイ素鋼板を使用して、鉄心の磁束密度を高く設計し、重量、寸法を軽減して組立輸送を可能にし、さらに鉄損のいちじるしい減少により、最高効率 99.58 % という高い値をうることができた。なお方向性ケイ素鋼板の使用にあたっては額縁形鉄心とするほか、機械的ひずみによる特性劣化をきたさないよう十分の考慮を払った。

(4) 大容量変圧器に最適の送油風冷式とし、16 組の U フィン管放熱器を使用したユニット・クーラをじか付けしているが、後述するように、従来の特別三相式変圧器と異なって、左右にもクーラを配置し、いずれの相にも予備クーラを使用できるよう配管に工夫をこらしている。

### 4. 構 造

つぎの諸点はすべて 260,000 kVA 変圧器と同一である。(本誌 32 巻 10 号参照)

#### (1) 絶縁方式

絶縁方式として外鉄形変圧器の標準構造であるサージプルーフ形としているほか、とくに中性点直接接地の利点を発揮した低減絶縁および段絶縁を採用している。

#### (2) 鉄 心

鉄心材料として現在入手しうる最高級の米国 Armco 社製冷間圧延方向性ケイ素鋼板 M-6X および M-7X を使用し、額縁形鉄心を採用している。

#### (3) 特別三相式構造

外鉄形変圧器の特長を発揮して磁気回路を各相独立させ、輸送時だけ各相に分割し、現地で三相組合わせ作業を行なって、外観はまったく普通三相変圧器と変らない特別三相式構造を採用し、組立輸送の長所を発揮している。

#### (4) タ ン ク

タンクは最近の外鉄形変圧器の標準構造である Form-Fit Tank を採用している。

#### (5) 冷却方式

冷却方式としては大容量変圧器に最適の送油風冷式を採用し、当社標準の U フィン管放熱器を使用している。ただし冷却器の取付方は後述するように若干異なっている。図 4.1 はこの変圧器の構造図を示す。

#### (6) ブッシングおよび付属品

油入密封形コンデンサブッシング、衝撃性圧力継電器、



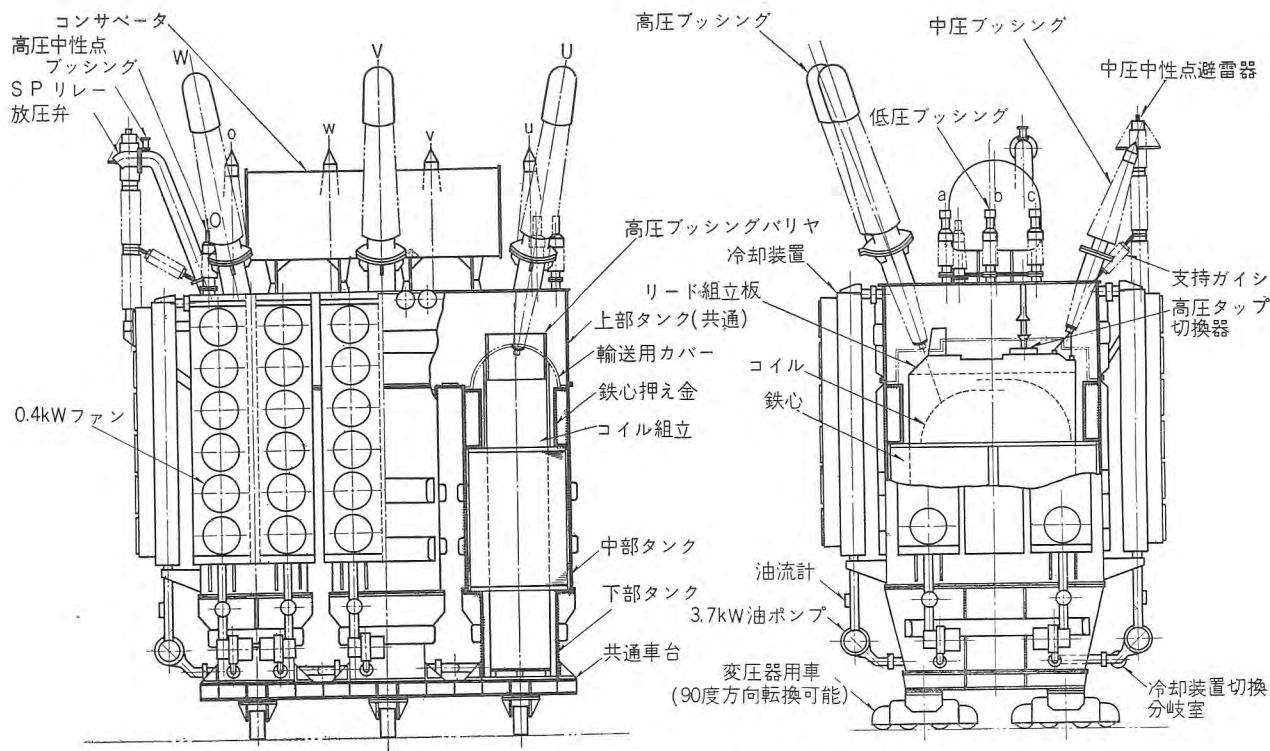


図 4.1 312,000 kVA 特別三相変圧器

Fig. 4.1 312,000 kVA special 3 phase transformer.

中性点避雷器のじか付けなどすべて同一である。

つぎに 260,000 kVA 変圧器と異なっている点を述べれば

#### (1) 車 輪

260,000 kVA のばあいは車輪を取付けていないが、この変圧器では 図 1.1 および 図 4.1 に見られるように 6 個の車輪を取付けている。

#### (2) 冷却器の配置

特別三相式では下部および中部タンクの各相に分割されているので、油の通路は各相まったく独立している。したがって従来のようにタンクの四周に冷却器を取付けると、各相の冷却効果に不平衡をきたすので、各相の前後に均等に冷却器を配置するのが、従来の特別三相式変圧器であった。しかしこの変圧器では容量の増大に伴い、損失も増加したため、所要冷却器の組数が増して本体の

前後だけでなく、左右にも配置することが必要となった。すなわち 図 4.2 に示すように 16 組の冷却器を本体四周に配置しているが、うち 1 組を予備とし、常時各相あたり 5 組の冷却器を運転するため、同図でわかるとおり No. 11, No. 14 の冷却器には下部に分岐管寄せをもらけ、バルブの開閉により予備器を各相に配分可能にしている。すなわち、いまかりに No. 1 の冷却器が休止すると、U 相タンクへは No. 2, 3, 14, 15, 16, V 相へは No. 4, 5, 11, 12, 13, の油が流入するように冷却器弁 V11, V18 を閉じ V17, V14 を開く。同様に No. 4, 5, 12, 13 のうちのいずれかが運転休止すると V11, V14 を閉じ V17, V18 を開くことにより、つねに各相あたり、5 組の冷却器の運転を保つことができる。

(3) 260,000 kVA 変圧器と異なって、中性点避雷器用断路器を設けず、三次側アブソーバおよび同用断路器は変圧器本体にじか付けされていない。

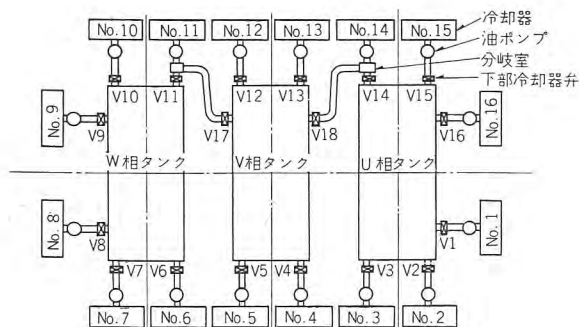


図 4.2 冷却器配管図

Fig. 4.2 Arrangement of cooler.

## 5. 組立および輸送

### 5.1 工場組立

図 5.1 は巻線工場で巻かれたコイルを中身組立工場で架台の上に並べ、これから絶縁当てを行なうところであり、絶縁組立を終ったコイル (図 5.2) は十分乾燥を行なったのち、図 5.3 のように 300 トンプレスで締め



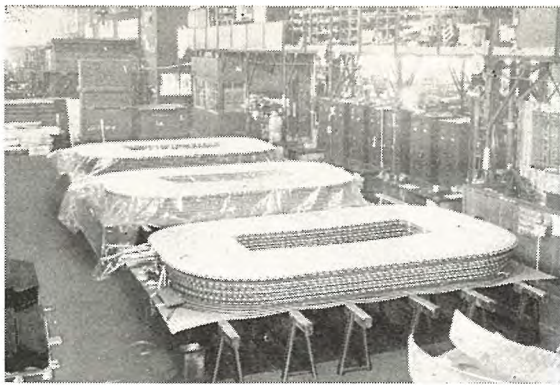


図 5.1 絶縁当てを行なうコイル群  
Fig. 5.1 Coil group.

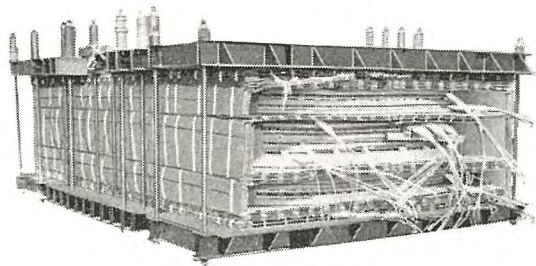


図 5.2 1 相分のコイル群  
Fig. 5.2 Coil group of one phase.

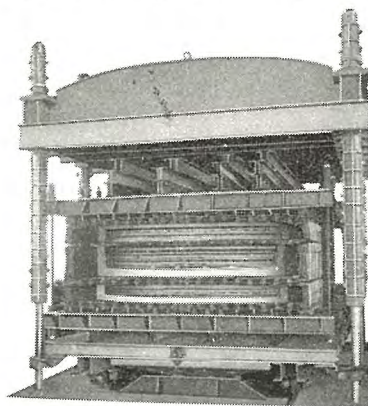


図 5.3 絶縁組立を終ったコイルの締付け  
Fig. 5.3 Clamping coil assembly.



図 5.4 中部タンクかぶせ作業  
Fig. 5.4 Covering middle tank.

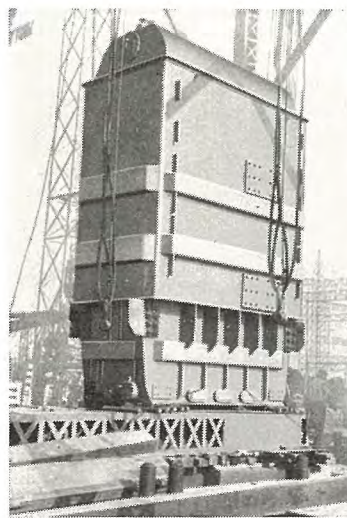


図 5.6 現地で起立作業を終った 312,000 kVA 変圧器 V 相  
Fig. 5.6 312,000 kVA transformer being assembled at the site.

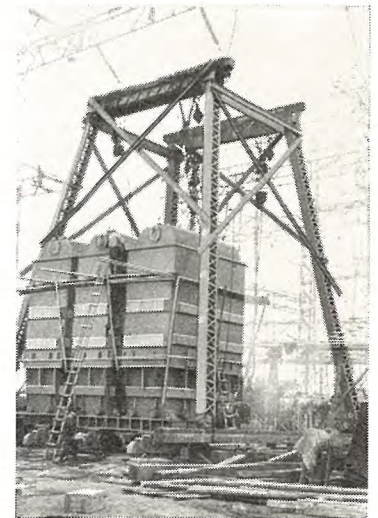


図 5.7 現地で起立作業を終った 312,000 kVA 変圧器  
Fig. 5.7 312,000 kVA transformer being assembled at the site.

られる。ついで各相ごとに下部タンクの上に立て、その周囲に鉄心を積む。つぎに 図 5.4 のように中部タンクをかぶせて、下部タンクとの接合部を溶接し、輸送用盲ぶたを中部タンクにボルト締めして乾燥に移る。乾燥は Form-Fit 変圧器に最適のタンク誘導加熱ならびに熱風の併用を採用している。すなわち、図 5.5 に示すように、輸送用盲ぶたをつけた状態でタンク側面に保温を施し、その上に導線を巻き単相 60 サイクルの電流を通じ、誘導磁束によりタンク壁温度を  $100^{\circ}\text{C}$  程度に保つ。これと同時にタンク下部より約  $110^{\circ}\text{C}$  の熱風を送入して予備乾燥を行ない、大部分の水分を除去したのち、熱風送入を止めて真空乾燥を行なう。

乾燥終了後絶縁油の真空含浸を行なったうえ、各相共通車台の上に立てて (図 5.6) 盲ぶたをつけたまま中部タンクの相間の接合部を溶接する (図 5.7) その後盲ぶたをはずして三相共通の上部タンクをかぶせ (図 5.8~5.9)



図 5.5 誘導加熱によるタンク加熱と熱風乾燥機使用により乾燥中の 312,000 kVA 変圧器 1 相  
Fig. 5.5 312,000 kVA transformer in drying combined with the induction heating of tank wall and hot air blast by induction heating.





図 5.8 現地で上部タンクをかぶせている 312,000 kVA 変圧器

Fig. 5.8 312,000kVA transformer being assembled at the site.

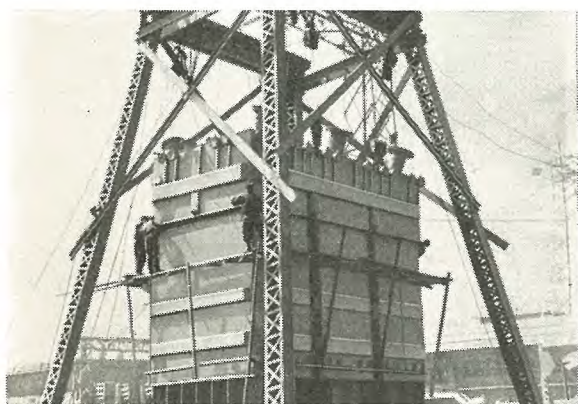


図 5.9 現地組立を終った変圧器本体

Fig. 5.9 312,000kVA transformer assembled at the site.

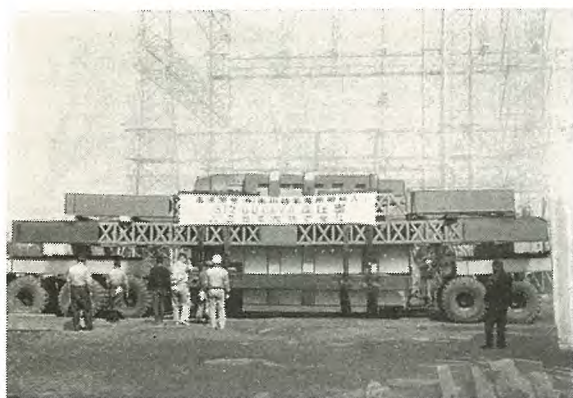


図 5.10 トレーラにより組立輸送される 312,000 kVA 変圧器の 1 相

Fig. 5.10 Single phase unit of 312,000 kVA transformer being transported by trailer.



図 5.11 鉄道により組立輸送を行なう 312,000 kVA 変圧器の 1 相

Fig. 5.11 Single phase unit of 312,000 kVA transformer being transported by railway.

中部タンクとの接合部を溶接する。下部および中部タンクの相間の部分はカバーをするので、ブッシング、放熱器などを取付け総組立を終ったものは（図 1.1）外観上普通三相変圧器となんら異なるところはない。

## 5.2 輸 送

輸送は上述のように、コイルおよび鉄心を各相ごとに下部タンクおよび中部タンクに納め、輸送用盲ぶたをして貨車輸送を行なった。図 5.10 に示されるように、各相が扁平な形であるから、シキ 120 号特殊専用貨車を使用し、横倒しにしてビームにつり下げて送った。なお窒素封入された上記本体 1 相の輸送重量は 111 トンである。三相共通の上部タンクは重量は軽いが寸法の制限から海上輸送を行ない、ブッシング、冷却器その他の付属品はすべて、それぞれ荷造りのうえ貨車輸送された。なお最寄り鉄道駅から変電所までは図 5.11 に示すようにトレーラを使用して運ばれた。

## 5.3 現地組立

上述のように各相ごとに組立輸送された本体は、工場におけると同様にして現地組立を行なったが、現地では組立室を使用せず、すえ付場所において図 5.6 ないし図 5.9 に示すように、簡単な起立用鉄骨を用いて三相組合せ作業を行なった。すなわち、まず中央の V 相本体を起立し（図 5.6）ついで U 相起立のばあいは、起立用鉄骨を U 相すえ付位置まで移動して使用した。W 相も同様であって、起立用鉄骨は組立てたまま簡単に移動できるようにされた。

## 6. 試 験

工場完成のうえ、絶縁耐力試験、温度上昇試験をはじめ完全な試験を行ない、優秀な試験結果をうることがで



きた、以下その主要なものについて述べる。

### (1) 損失 (一次, 二次, 三次全負荷)

損 失	測 定 値 (kW)	保 証 値 (kW)
鉄 損	377	550
銅 損	894	940
全 損	1,271	1,490

### (2) 効率 (一次, 二次 240,000, 三次無負荷)

負 荷	測 定 値 (%)	保 証 値 (%)
100	99.56	(99.45)
75	99.58	(99.47)
50	99.55	(99.39)
25	99.30	(99.02)

(備考) 効率は保証していないので、損失の保証値より算出した効率を参考値として示した。

### (3) 無負荷電流 (一次定格電流に対する %)

電 圧 (%)	測 定 値 (%)	保 証 値 (%)
100	1.23	2.5
110	2.60	7.5

### (4) 電圧変動率 (一次, 二次 240,000 kVA において)

力 率 (%)	測 定 値 (%)	保 証 値 (%)
100	0.82	0.9
90	5.29	5.5
80	6.89	7.2

### (5) インピーダンス電圧

巻 線	基 準 (kVA)	測 定 値 (%)	保 証 値 (%)
一次～二次	240,000	10.55	10.5
一次～三次	120,000	10.47	10.5
二次～三次	120,000	4.33	4.3

### (6) 温度上昇

温 度 上 昇	油 (°C)	高 圧 (°C)	中 圧 (°C)	低 圧 (°C)
測 定 値	30	47	42	42.7
保 証 値	50	55	55	55

### (7) 絶縁耐力試験

	絶 縁 階 級 (号)	商用周波電圧	衝 撃 電 圧	
			全 波	さい断波
高 圧 線 路 側	200	460	1,050	1,210
高 圧 中 性 点	30	70		
中 性 線 路 端	140	320	750	870
中 圧 中 性 点	80	185		
低 圧	20	50	150	170

## 7. む す び

わが国における超高圧変圧器の普及は最近めざましく、現在製作中のものを含め 40 数台の多きに達しているが、当社はそのやや半数の多きを占め、超高圧変圧器の製作において断然優位を占めている。しかも、たんに数の上だけでなく質においても、今回の 312,000 kVA 変圧器や昨年度の 260,000 kVA 変圧器のような記録品も相ついで製作し、電力界に多大の寄与をなしていることは喜びに堪えない。

最後にこの記録的変圧器製作の機会を与えられた電源開発株式会社のご関係の方々に改めて深甚の謝意を表する次第である。



# ED 7019 号イグナイトロン交流電気機関車補機性能試験

大野 寛 孝\*・桐 生 悠 一\*  
名古屋製作所  
八 木 勝\*\*・和 田 義 彦\*\*

## Performance Tests on ED 7019 Ignitron AC Electric Locomotive Auxiliary Machines

Nagoya Works  
Hirotaka ONO・Yūichi KIRIU  
Masaru YAGI・Yoshihiko WADA

In the Hokuriku Line of the Japanese National Railways 18 type ED 70 AC locomotives have been in commercial operation with success. To add to this achievement an improved design of type ED 70 units were completed in the beginning of this year. Of various problems confronting engineers, the operation of auxiliary machines on the locomotive can never be made light of, for single phase power is fed to the vehicle whereas three phase power is needed to run the auxiliaries such as blowers for cooling and compressors. The question has been ingeniously solved, which has been attested by tests conducted recently in cooperation with the authorities.

### 1. ま え が き

われわれはすでに ED70 形の補機運転性能について、国鉄・松任工場で行なった試験結果を報告した。この時の試験ではいろいろの改良点を国鉄関係者と研究し、また鉄道電化協会内にある「交流電気機関車補機研究委員会」でも討議された。この ED 7019 号車では機関車送行中の停電・再閉路時の過渡運転性能について、とくに綿密な試験を行ない主機力行中の電圧波形のひずみの影響なども詳しく調べた。

いうまでもなく単相架線電源で三相誘導電動機群をある時は順次に、ある時はいっせいに起動させるのだから興味ある問題が多い。相変換作用によって得られた三相電圧の不均衡率を小さくすることはもっとも望ましいことである。今回作られた機関車は 50 c/s, 60 c/s 共用にもなっている。

なおここでいう補機とは主機冷却用送風機・ポンプおよび制動用空気圧縮機を指し、専用の相数変換機はもっていない。

### 2. 補機駆動方式と誘導電動機の仕様

補機回路の結線図を図 2.1 に示す。架線電圧は 20kV (50 c/s および 60 c/s) で、これを変圧器の三次巻線によって 400V (単相) に落し三相誘導電動機を駆動する。

駆動方式は従来の ED 70 形と同様である。すなわち

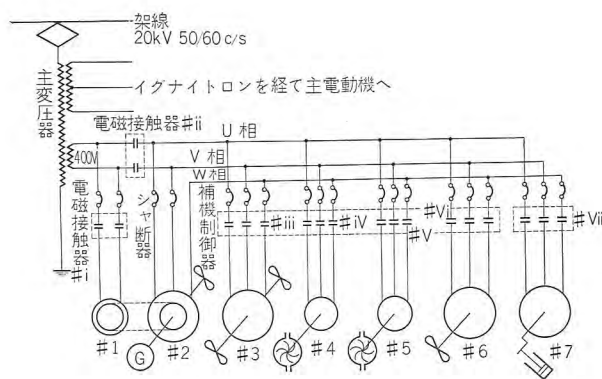


図 2.1 補機回路結線図

Fig. 2.1 Connection diagram of auxiliary machine circuit.

図 2.1 に示した #1 の起動用単相誘導電動機で、まず #2 の主変圧器用送風機兼相数変換機を機械的に起動させ、#2 機の起動が完了すると #1 機は電磁接触器 #i で電源から切りはなされ、これと同時に電磁接触器 #ii が投入されて #2 機は単相電源 U 相、V 相から供給される電力で電氣的運転にはいる。またこの #2 機の W 相巻線からは W 相電流が #3 機以後の三相誘導電動機群に送られ各機の電磁接触器の投入ごとに三相運転を順次始めてゆくわけである。これら各機起動の時間的間隔はドラム・スイッチによって適切に設定されている。従来の機関車では大巾な架線電圧降下時や、停電・再閉路によるいっせい起動で空気圧縮機の起動に難点があり、この障害が他の補機起動にも支障をきたすとされてきた。しかしこの ED 7019 号車では空気圧縮機用三相誘導電動



表 2.1 補機駆動用誘導電動機仕様一覧表 400V, 50/60 c/s

機番	用 途	相数	形 式	出 力		極数	わく番号	定格	重量	備 考
				kW	HP					
#1	#2機 起動用	単相	SC-A	7.5	10	4	1625	30分	154kg (遠心力スイッチ付)	起動用電解コンデンサ 320 $\mu$ F (120kg)
#2	主変圧器冷却送風機用 (制御用直流発電機 1.6kW 直結)	三相	MK-O	13.5	18	4	670	連続	925	FOM-35 形送風機 風量 120 m <sup>3</sup> /min 風圧 150 mmHg
#3	主電動機冷却送風機用	"	MK-O	30	40	4	480	"	360	FOM-45 形送風機 風量 140 $\times$ 2 m <sup>3</sup> /min 風圧 200 mmHg
#4	主変圧器冷却油ポンプ	"	MK-TE	2.2	3	6	特 200	"	183 (ポンプ付)	油量 0.6 l/min 揚程 2.75 m
#5	イグナイトロン冷却水ポンプ用	"	SB-A	2.2	3	4	1314	"	48	揚水量 0.24 l/min 揚程 2.1 m
#6	イグナイトロン再冷却器冷却送風機用	"	MK-O	26	35	4	470	"	295	FOL-40 形送風機 風量 220 m <sup>3</sup> /min 風圧 150 mmHg
#7	制御用空気圧縮機用	"	MK-TE	15	20	4	480	30分	311	C3000 形空気圧縮機 吐出量 2.95 l/min 圧力 6.5~8 kg/cm <sup>2</sup>

機に、その回転数の大小によって入り、切りする遠心力開閉器を設け、この作動によって、他補機の起動が完了するとき #7 機（空気圧縮機）の電磁接触器 #vii がはいるように設計されているから無用な障害はいっさい除かれている。

また各補機起動時に #2 機が逆相分電流を負担し、他の補機に正相分電流を十分供給できることも全補機の起動を容易にする要素である<sup>(1)</sup>。

つぎに各補機駆動用誘導電動機の仕様を表 2.1 に記す（図 2.1 を参照されたい）。#2 機的主変圧器冷却用送風機電動機の W 相巻線は U 相、V 相巻線に比し、その巻数を多くして発生電圧（三相としての）の不均衡率を改善させた。その他の誘導電動機の仕様は構造的に耐振性を考慮したほかは一般用と異なるところがないので、保守がきわめて簡単・容易である。固定子巻線の絶縁は #1 機の起動用電動機だけ A 種で、他は B 種を採用した。

### 3. 補機回路改造の主要点

#### 3.1 相数変換機

当社の方式で最大の特長は専用の相数変換機を使っていないことである。従来この方式での難点は各線間電圧の不均衡率の比較的大きいことにあった。しかし今回の改造車では面目を一新した。それは主変圧器冷却用送風機の役目と 1.6 kW の制御回路電源用直流発電機を直結駆動することは今までの ED 70 形の場合と変るところなく、単相誘導電動機でありながら余力をかって三相交流発電機の役目も果している。この相数変換作用を改善させるため（すでに 2, 3 触れてきたとおり）#2 機の Y 結線の巻線のうち、W 相の巻線を他相の巻線より多く

ただけで各線間電圧の不均衡率を一挙に改善して、他補機の過渡時再起動性能といえどもきわめて円滑・容易にさせ得た。

なお 50/60 c/s 共用でもあるので、電動機の寸法は若干大きくなった。したがってこの電動機を起動させる #1 機の容量も 2.2 kW を 7.5 kW に強化した。しかしこのことによって、機関車内に余計な面積を占有するようなことはなく、従来のものと同じように、#2 機の外わく上に体裁よく積み重ねた構造になっている。

#### 3.2 空気圧縮機

駆動電動機の反負荷側の軸端に遠心力スイッチを設置した。このため電動機停止時よりの起動はもちろん、電源回路の一時シャ断などにより電動機回転数がある限度以下に低下した時、この遠心力スイッチの作動で電磁弁式アンローダを働かせ、すみやかに空気圧縮機の背圧を抜くようにして電動機が軽負荷で起動できるようになった。

また空気圧縮機がアンロードしてから約 5 秒間は駆動電動機の電源回路が閉路されないようにして、他補機の起動完了をまってから空気圧縮機が始動するようにした。

これらのため空気圧縮機の起動障害そのものもなくなったし、たとえ障害があったにしても他補機にその累を及ぼさないように設計した。

#### 3.3 補機制御器遅延回路

主電動機冷却用送風機（#4）のように補機の中でも電力を大きく要するものには、起動し始めてから起動完了して風圧継電器が動作するまで、補機制御用ドラム・スイッチの回転を一時停止させる回路を設けた。このため、たとえ架線電圧の低下などで、この送風機の起動が長いいても次に順次運転される補機の起動と重複して障害を引き起こすことのないようにした。

#### 3.4 自動繰返し順序起動回路

一時的停電などで各補機が速度が低下した場合には、電源回路が再開されても各補機のいっせいで起動できる限度がある。この境目を越す数歩前で起動電動機（#1 機）の回転子軸に取付けられている遠心力スイッチが作動し（相数変換機の回転数低下を感知）、各補機いっせいで再起動の無理を強行しないで、#1 機から #2 機、#3 機……と順序起動を自動的に行なえるようにした。

なお一時的停電などによらない全補機完全停止時から



の#1機, #2機, #3機……という順序起動でも, 各補機起動の時間的間隔をドラム・スイッチによって適正化して, 各補機重複起動のため起る起動障害も完全に除いた。

## 4. 試験仕様

### 4.1 誘導電動機単体試験

各誘導電動機の単体を完全平衡三相電圧の電源によって特性および温度上昇を測定した。ただし #2 機の主変圧器送風機用電動機は相数変換機をも兼ねており, 既述のとおり不平衡固定子巻線を施しているのので, 他機のように円線図による特性算定はなし得ない。

### 4.2 停車中での試験

機関車機装後に車を停車させておき, 工場の電源を機関車搭載の主変圧器の一次に供給して補機だけを実際の負荷状態で運転試験した。ただしイグナイトロンや主電

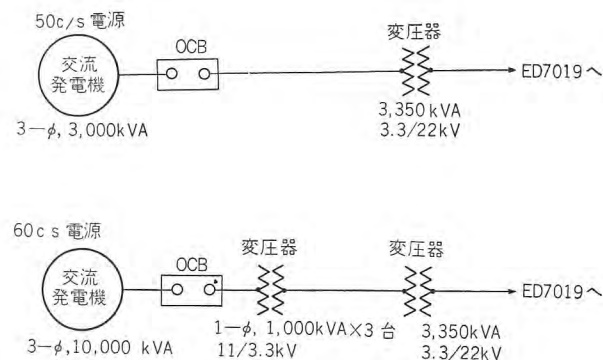


図 4.1 停車時試験での電源系統

Fig. 4.1 Power supply system in tests when car stand still.

動機は運転していない。

試験場所は当社伊丹製作所で昭和 34 年 1 月に実施した。試験電源系統は図 4.1 のとおりである。

#### (1) 定常時

各補機駆動用誘導電動機を順次に起動（順序起動と呼ぶ）させ, 定常運転状態になってから各機の電流, 電力, 回転数および線間電圧を指示計器で測定した。これより電圧, 電流の不平衡率, ベクトル図および力率などを算定・作図した。

#### (2) 起動時

各補機を定格電圧と低電圧（約 20% 降下）で順序起動させた時の線間電圧, 電流, 回転数などを電磁オシログラムで記録測定した。

#### (3) 電源回路シャ断および再開時

機関車が営業線を走る時には 0.5 秒ないし 3 秒間くら

いの無電圧区間をしばしば通る。このような電源回路のシャ断とそれに引続いての各補機いっせいに再起動が円滑に行なわれうるかどうかを調べた。この場合も電源は定格電圧と低電圧について, また現象は電磁オシログラムで記録測定した。なおいずれの試験も 50/60 c/s につき行なった。

### 4.3 現車走行中での試験

現車を実際に営業路線の登りこう配で力行させて, 主機に重負荷を負わせた時 4.2 と同様な各種試験を行なった。とくにわれわれが現車走行試験を重視したのはイグナイトロンを搭載した交流電気機関車ではイグナイトロンの電流や, 格子制御で電源波形が若干ひずみ, 電圧波形に高調波成分がはいり, このため単相電源で三相運転をする補機の起動性能にどのような影響をおよぼすかを確かめなかったからである。昭和 33 年 3 月に ED 451 号車について仙山線で同種の試験を行なったが未解決点を残したままであった。

#### (1) 試験項目

表 4.1 に示すとおり。また電磁オシログラムでの測定要素は表 4.2 に記した。

表 4.1 現車走行時の補機試験項目 (60 c/s)

架線電圧 (kV)	試験種別	試験条件
20	(1) 定常運転時の電圧電流波形 (2) 0.5秒(基準)シャ断・再開 (3) 3秒(基準)シャ断・再開	(a) 主幹制御器ノッチ位置は切り(惰行) 18(点弧角制御), 23(タップ制御) (b) 空気圧縮機は作動状態
16	(1) } 同上 (2) } (3) }	同上

表 4.2 電磁オシログラムでの測定要素一覧表

オシロ No.	素子 No.	要素略号	要素名	測定箇所 (図面上) .
1	1	VUV	補機主回路 U-V 間電圧	706-705
	2	VVW	" V-W "	705-707
	3	VWU	" W-U "	707-706
	4	IU <sub>18</sub>	主変圧器送風機 U 相電流	706
	5	IV <sub>18</sub>	" V "	705
	6	IW <sub>18</sub>	" W "	707
2	1	IT	主変圧器一次電流	1531
	2	I <sub>0</sub>	補機入力単相回路電流	
	3	N <sub>18</sub>	主変圧器送風機回転数	
	4	N <sub>40</sub>	主電動機送風機回転数	
	5	IW <sub>40</sub>	" W相電流	719a
	6	VT	架線電圧	
3	1	IW <sub>3</sub>	主変圧器油ポンプ W 相電流	716
	2	IW <sub>35</sub>	イグナイトロン再冷器 W 相 "	710
	3	IU <sub>20</sub>	空気圧縮機 U 相 "	721a
	4	IV <sub>20</sub>	" V 相 "	720a
	5	IW <sub>20</sub>	" W 相 "	722a
	6	N <sub>20</sub>	" 回転数	

#### (2) 試験場所および時期

国鉄・北陸線の敦賀第二機関区を拠点として敦賀一長浜間 (40.4 km) の登りこう配で試験した (図 4.2 参照)。試験時期は昭和 34 年 3 月 17 日, 18 日の両日, 敦賀を



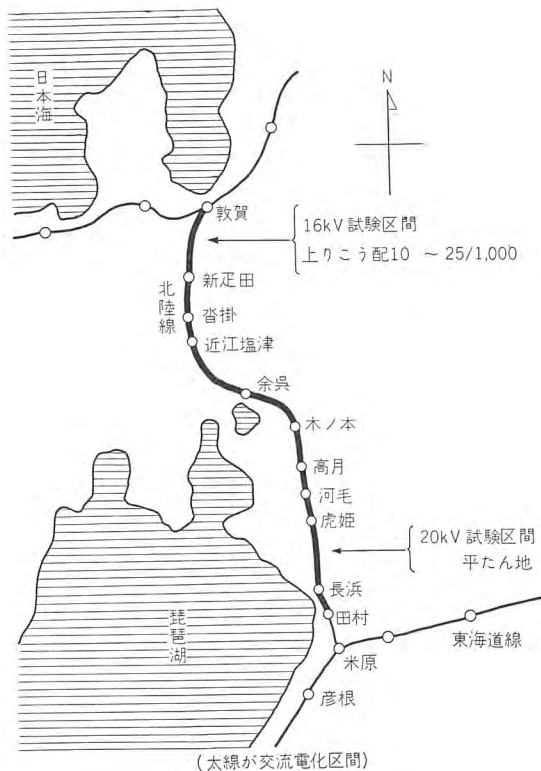


図 4.2 現車走行時の試験区間

Fig. 4.2 Test section while car in operation.

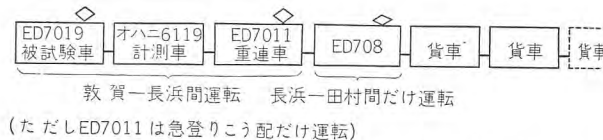


図 4.3 試験列車 (572 列車) の編成 (約 1,000t けん引)

Fig. 4.3 Composition of train under test.

10 時 13 分発、長浜に 11 時 12 分着で行なった。

### (3) 試験車のけん引状況

試験列車は図 4.3 に見られるように 1,000t の貨物列車を機関車重連でけん引した 572 列車であった。この試験中敦賀—田村間には 532 列車 (上り客車) と 511 列車 (下り客車), 577 列車 (下り貨車) が運転中であった。

### (4) き電状況

平常は米原変電所と敦賀変電所の双方からき電しているが試験当日は米原変電所の単相 3,000 kVA×2 台の変圧器を通して敦賀までの 48 km を延長き電した。したがって米原寄りの長浜駅近傍の架線電圧は 20 kV でも新正田、敦賀辺では 16 kV に線路降圧していた。この状態をそのまま利用して定格電圧の場合と、20% 降下の場合とした。

つぎに電源回路の 0.5 秒ないし 3 秒間のシャ断は試験車と米原変電所との間を無線通話して所要の地点での電

源回路シャ断・再開路を行なった (米原変電所の OCB による)。被試験車と計測車や重連機関車などの連絡はすべてインタ・ホーンによった。

## 5. 試験結果

### 5.1 停車中での試験

#### (1) 定常時

表 5.1 に各補機の定常運転時の電気特性を示した。この表からわかるように電圧不平衡率は格段の改善を示し

表 5.1 補機定常状態電気特性表

(記号)  $V$  電圧 [V]  $\alpha_v$  電圧不平衡率 [%]  
 $I$  電流 [A]  $\alpha_i$  電流不平衡率 [%]  
 $W$  電力 [kW]  $\theta$   $VUV$  と  $IW$  の位相差角 [度]  
 $\cos\phi$  力率 [%]

試験番号	M401	M411	M421	M431	M421'	M431'
周波数	c/s	50	50	60	60	60
CP 空気圧	kg/cm <sup>2</sup>	7.2	7.2	7.2	CP 切	CP 切
線間電圧	$VUV$	388	312	395	304	398
	$VrW$	392	316	404	308	410
	$VWU$	384	303	380	278	390
	$\alpha_v$	1.02	3.08	3.57	5.52	2.80
単相回路	$I_0$	233	263	303	335	237
	$W_0$	63.0	61.2	89.3	87.0	70.0
	$\cos\phi_0$	69.7	74.5	74.5	85.5	74.3
	$I_{U18}$	190	158	178	175	161
主変圧器送風機用 13.5kW 4P (MTB)	$I_{r18}$	205	175	192	185	175
	$I_{W18}$	85.5	80.0	87.5	92.5	71.0
	$\alpha_{i18}$	217	238	251	266	215
	$W_{18}$	13.5	12.1	19.0	18.0	18.5
	$\theta_{18}$	-146	-134	-134	-127	-133
	$\theta_{18}$	-146	-134	-134	-127	-133
主電動機送風機用 30kW 4P (MMB)	$I_{U40}$	35.6	40.0	54.0	72.5	49.6
	$I_{r40}$	40.8	46.8	62.4	80.8	61.2
	$I_{W40}$	30.4	29.2	40.8	47.6	44.0
	$\alpha_{i40}$	17.1	26.5	24.4	30.1	20.6
	$W_{40}$	19.4	18.9	32.8	31.7	33.0
	$\cos\phi_{40}$	81.5	91.3	93.0	92.8	90.5
イグナイトロン水ポンプ用 2.2kW 4P (WP)	$I_{UW}$	3.63	3.15	3.87	4.95	3.63
	$I_{rW}$	4.20	4.11	5.40	6.30	4.92
	$I_{W18}$	3.75	3.15	3.60	3.75	3.45
	$\alpha_{iW}$	8.9	19.3	29.0	31.0	25.7
	$W_{18}$	1.49	1.33	2.29	2.24	2.26
	$\cos\phi_{W18}$	72.0	71.5	79.9	88.4	83.3
主変圧器油ポンプ用 2.2kW 6P (OP)	$\theta_{18}$	28	57	43	50	48
	$I_{U3}$	4.95	4.35	5.85	7.20	5.40
	$I_{r3}$	5.59	5.94	7.35	8.85	7.05
	$I_{W3}$	4.65	3.90	4.74	4.86	5.28
	$\alpha_{i3}$	11.0	35.2	25.4	34.2	20.3
	$W_3$	1.87	1.87	3.18	3.09	3.20
イグナイトロン再冷器送風機用 26kW 4P (IB)	$\cos\phi_3$	54.3	62.0	78.7	87.5	78.5
	$\theta_3$	27	46	48	47	51
	$I_{U35}$	19.8	17.8	23.4	32.4	20.2
	$I_{r35}$	25.4	26.0	32.8	39.0	31.2
	$I_{W35}$	19.0	13.4	16.0	12.8	19.2
	$\alpha_{i35}$	19.3	45.0	46.0	37.6	38.7
空気圧縮機用 15kW 4P (CP)	$W_{35}$	7.3	7.06	12.3	12.0	12.5
	$\cos\phi_{35}$	49.8	63.9	78.7	86.5	79.2
	$\theta_{35}$	25	23	29	37	33
	$I_{U20}$	36.4	40.6	34.4	47.0	—
	$I_{r20}$	42.4	49.0	45.0	56.0	—
	$I_{W20}$	32.8	32.4	25.2	25.2	—

(注) (1) 角度  $\theta$  は次頁のベクトル図における基準ベクトル  $VUV$  と  $IW$  の位相差角を示す。MTB の  $\theta_{18}$  に負記号がついているのは、 $I_{W18}$  が  $VUV$  より遅れ側にあり、電流相回転が逆相であること、すなわち MTB が相変換作用を行なっていることを示している。他の補機は  $IW$  が  $VUV$  より進み側にあり、電流相回転が正相、すなわち電動機として働いている。  
 (2) M421', M431' は参考資料としてかかげたもので、過渡試験中にはこれに相当するものはない。今回の試験では CP が原因で起る異常現象がなかったため、ED451, ED707 の試験のように、CP 有と CP 無を分けることなく、試験としてはもつとも苛酷な CP 有の場合だけを行なった。



ている。また図 5.1 と図 5.2 にそれぞれ UV 相間の電圧  $V_{UV}$  が 395 V (60 c/s) と 304 V (60 c/s) の時の電圧と各補機電流とのベクトル図を示した。このベクトル図でわかるように主変圧器送風機の電流相回転が他の補機のそれと逆になっているのは相変換作用を行なっているためである。その逆相分電流も正相分電流の 2.5 倍にもおよぶ。また同期速度付近になると電動機トルクも

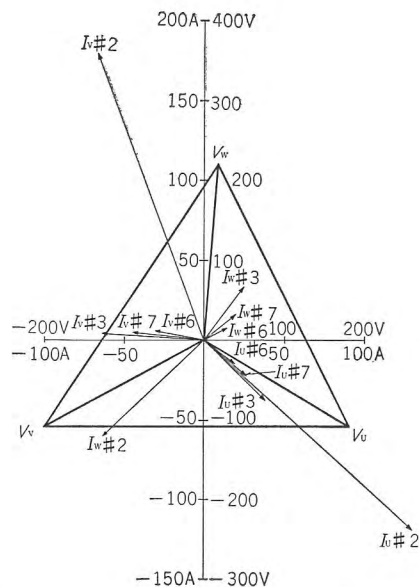


図 5.1 線間電圧と各補機電流ベクトル図 (1) ( $V_{UV}=395$  V, 周波数 60 c/s)

Fig. 5.1 Line voltage and auxiliary machine current vectors (1).

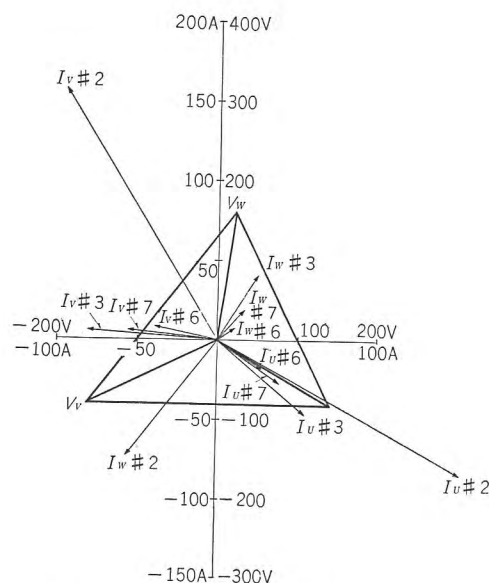


図 5.2 線間電圧と各補機電流ベクトル図 (2) ( $V_{UV}=304$  V, 周波数 60 c/s)

Fig. 5.2 Line voltage and auxiliary machine current vectors (2).

大きくなり送風機としての役目も十分果している。

### (2) 起動時

主変圧器一次電圧 20 kV と 15.4 kV の場合の自動順序起動の状況を図 5.3 から図 5.6 に示した。いずれもきわめて円滑な起動状況である。(50/60 c/s と)

### (3) 電源回路シャ断および再開路時

シャ断・再開路試験は 0.5 秒と 3 秒を基準とし、ほかに参考試験として 1.2 秒, 5 秒および 10 秒間の電源回路シャ断で行なった。その結果一覧表を表 5.2 に示す。

(一次電圧 20 kV, 60 c/s)

	起動	0	5	10	15	20	25 (sec)	起動完了
#1	電流	0	100	100	100	100	100	100
#2		0	100	100	100	100	100	100
#3		0	100	100	100	100	100	100
#4		0	100	100	100	100	100	100
#6		0	100	100	100	100	100	100
#6		0	100	100	100	100	100	100
#7		0	100	100	100	100	100	100

図 5.4 各補機の自動順序起動時間と起動電流との関係 (1).  
Fig. 5.4 Relation between automatic sequence starting time and starting current of auxiliary machines (1).

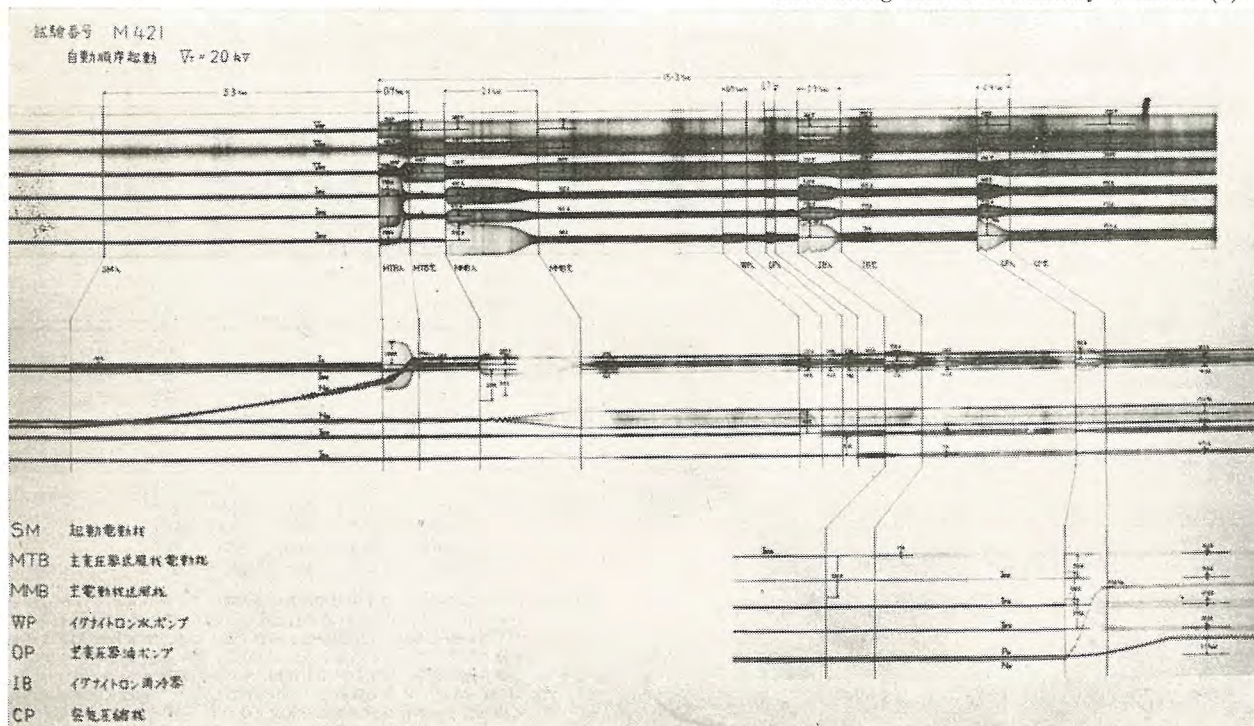


図 5.3 一次電圧 20 kV での自動順序起動状況 (60 c/s)

Fig. 5.3 Automatic sequence starting at primary voltage of 20 kV.



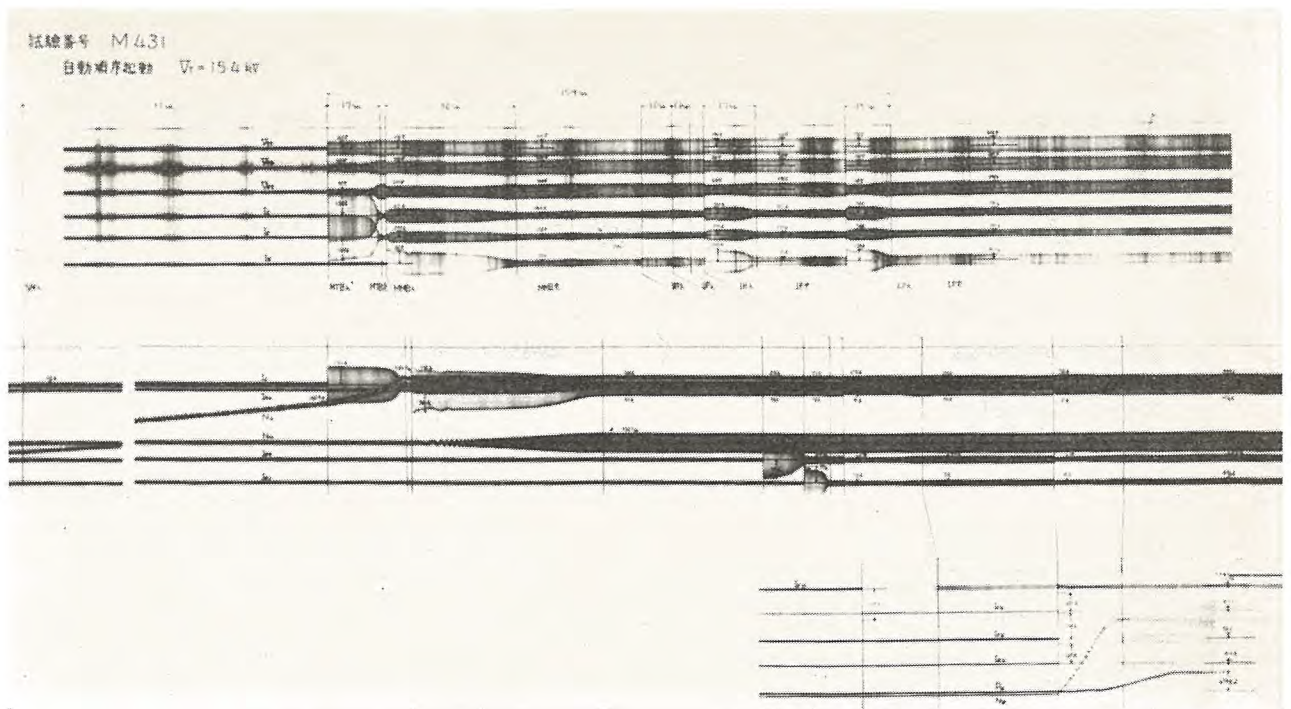


図 5.5 一時電圧 15.4 kV での自動順序起動状況 (60 c/s)

Fig. 5.5 Automatic sequence starting at primary voltage of 15.4 kV

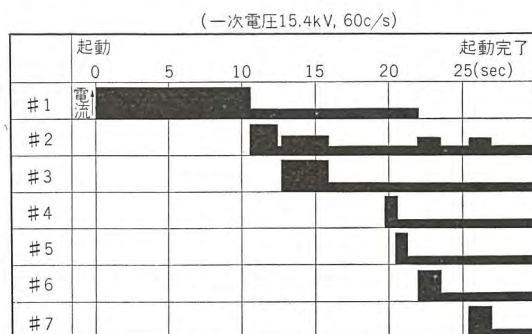


図 5.6 各補機の自動順序起動時間と起動電流との関係 (2)  
Fig. 5.6 Relation between automatic sequence starting time and starting current of auxiliary machines (2).

この表中の試験種別(\*)の符号は次の意を表わす

順	自動順序起動試験
0.5	0.5 秒 (基準) シャ断・再閉路
1.2	1.2 " "
3	3 " "
5	5 " "
10	10 " "

また備考欄に記してある CP は空気圧縮機をいい、いっせい起動とはシャ断・再閉路で全補機同時に起動することをいう。

繰り返し順序起動とは起動用電動機 #1 機の遠心カスィッチが働いて各補機が 1 台ずつ起動して行くのをいう。自動順序起動とは全補機が停止状態からドラム・スィッチにより 1 台ずつ起動するのをいう。

つぎにこれらの試験の結果、代表オシログラムと起動時間一起動電流の関係を図 5.7 から図 5.11 に示した。

表 5.2 機関車停車時の補機起動試験結果一覧表

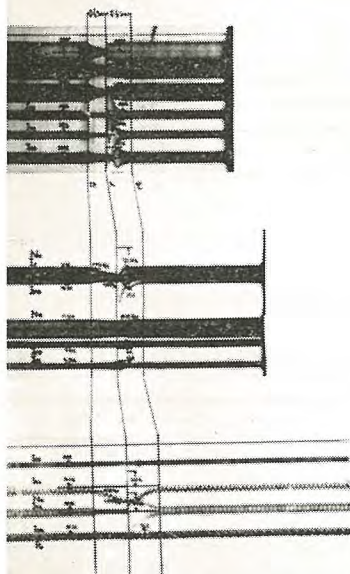
オシロ番号	二次電圧 (kV)	周波数 (c/s)	機関車	試験種別(*)	コンプレッサ空気圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	結果	備 考
M401	19.8	50	停車	順	6.5	OK	
2	"	"	"	0.5	"	"	いっせい再起動, CP は後入(自動的)
3	"	"	"	"	7.8	"	"
4	"	"	"	1.2	6.5	"	"
5	"	"	"	"	7.8	"	"
6	"	"	"	3	6.5	"	"
7	"	"	"	"	7.8	"	"
8	"	"	"	5	"	"	"
9	"	"	"	10	"	"	繰り返し順序起動
M411	15.8	"	"	順	6.5	"	
12	"	"	"	0.5	"	"	いっせい再起動, CP は後入(自動的)
13	"	"	"	"	7.8	"	"
14	"	"	"	1.2	6.5	"	"
15	"	"	"	"	7.8	"	"
16	"	"	"	3	6.5	"	"
17	"	"	"	"	7.8	"	"
18	"	"	"	5	"	"	"
19	"	"	"	10	"	"	繰り返し順序起動
M421	20.0	60	"	順	6.5	"	
22	"	"	"	0.5	"	"	いっせい再起動, CP も同時
23	"	"	"	"	7.8	"	"
24	"	"	"	1.2	6.5	"	いっせい再起動, CP は後入(自動的)
25	"	"	"	"	7.8	"	"
26	"	"	"	3	6.5	"	"
27	"	"	"	"	7.8	"	"
28	"	"	"	5	"	"	"
29	"	"	"	10	"	"	繰り返し順序起動
M431	15.4	"	"	順	6.5	"	
32	"	"	"	0.5	"	"	いっせい再起動, CP も同時
33	"	"	"	"	7.8	"	"
34	"	"	"	1.2	6.5	"	いっせい再起動, CP は後入(自動的)
35	"	"	"	"	7.8	"	"
36	"	"	"	3	6.5	"	"
37	"	"	"	"	7.8	"	"
38	"	"	"	5	"	"	"
39	"	"	"	10	"	"	繰り返し順序起動

#### (4) 考察

いずれの試験も予期どおり、十分な成功を収めた。これは要するに主変圧器送風機用電動機の  $GD^2$  を大きく設計したため、5 秒間の回路シャ断・再閉路でも確実にいっせい起動させることができた。今までには例のないことであった。また ED 7019 での大きな特長は、どの



試験番号 M423  
遮断再投入 停車  $V_f=20\text{ kV}$



(註) 遮断時電圧がVcbのVfの値に近づくまで動作速度を落とすが、CPも他の相程と同様に再起動する。

図 5.7 0.6 秒 シャ断・再閉路 (60 c/s)

試験番号 M433  
遮断再投入 停車  $V_f=15.4\text{ kV}$

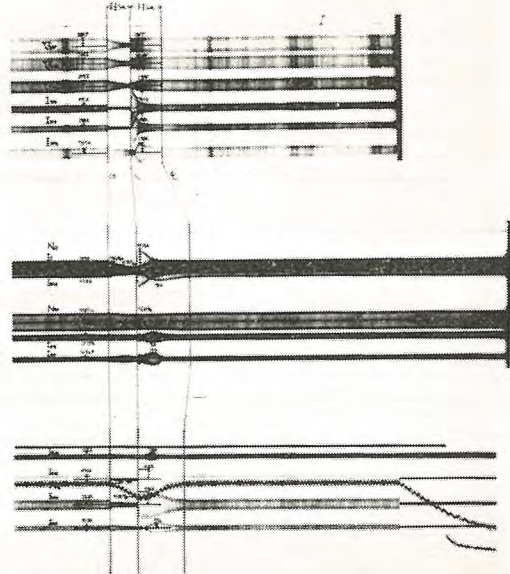


Fig. 5.7 0.6 second interruption and reclosure.

試験番号 M427  
遮断再投入 停車  $V_f=20\text{ kV}$

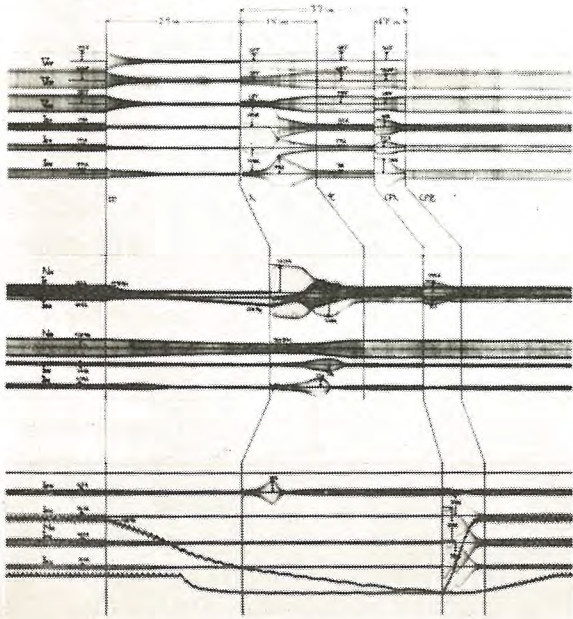
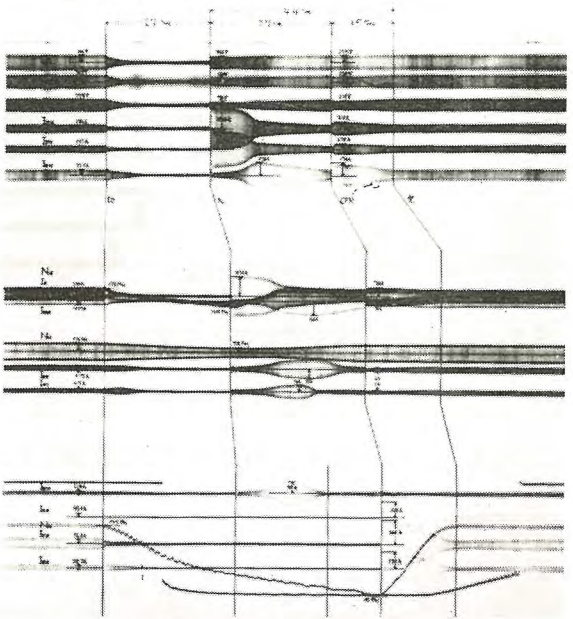


図 5.8 2.9 秒シャ断・再閉路 (60 c/s)

試験番号 M437  
遮断再投入 停車  $V_f=15.4\text{ kV}$



(註) MMB 再起動する前に CP が投入されている。

Fig. 5.8 2.9 second interruption and reclosure.

(一次電圧20kV, 60c/s)

	シャ断		再閉路	再起動完了		
	-5	-2.5	0	2.5	5	7.5 (sec)
#1						
#2			電流↑			
#3						
#4						
#5						
#6						
#7						

図 5.9 シャ断・再閉路時の再起動時間と起動電流との関係 (1)

Fig. 5.9 Relation between re-starting time and starting current while circuit breaker in reclosing (1).

(一次電圧15.4kV, 60c/s)

	シャ断		再閉路	再起動完了		
	-5	-2.5	0	2.5	5	7.5 (sec)
#1						
#2			電流↑			
#3						
#4						
#5						
#6						
#7						

図 5.10 シャ断・再閉路時の再起動時間と起動電流との関係 (2)

Fig. 5.10 Relation between re-starting time and starting current while circuit breaker in reclosing (2).



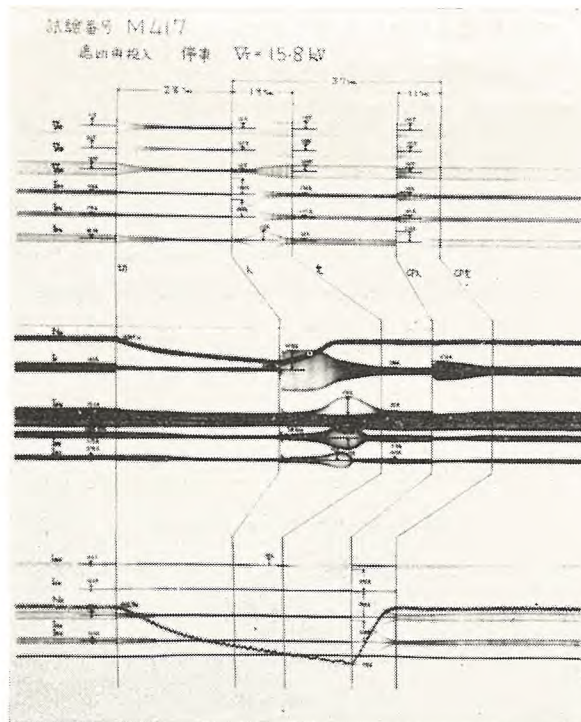


図 5.11 2.8 秒および 5 秒 シャ断・再閉路 (50 c/s)

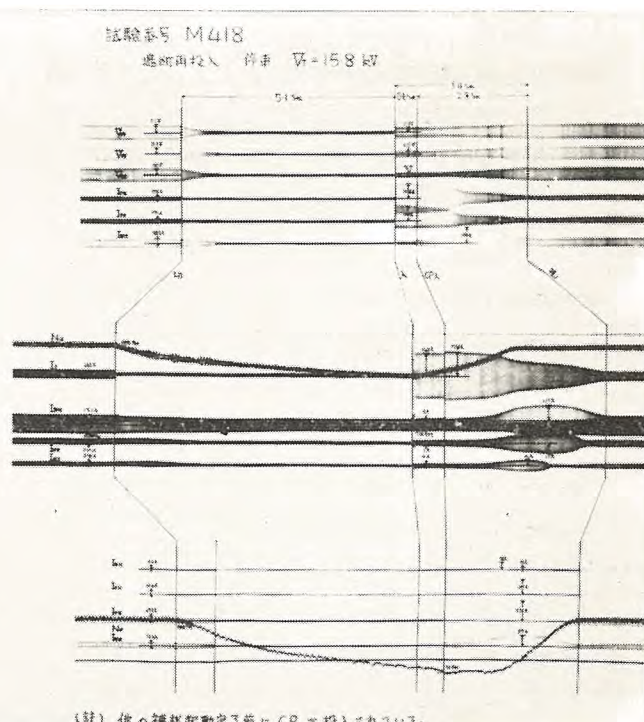


Fig. 5.11 2.8 sec. and 5 sec. interruption and reclosure. (50 c/s)

ような過渡状態でも #2 機 (主変圧器送風機) だけが相数変換機となり、たとえ一部の補機が起動完了していても、これらの起動完了機は (#2 機以外の) 他補機の起動時に相変換作用をしないことである。

これも主変圧器送風機の電氣的容量を従来のそれより増加し、かてて加えて固定子巻線の W 相の巻数を他の

U 相, V 相の巻数より大きく設計して、各線間電圧の不均衡率の改善に努めたことが顕著な効果を表わした。

またシャ断・再閉路後のいっせいに再起動と繰り返し順序起動の境目は従来より延びて 5 秒と 10 秒の中間に移った。このほうが運転上でも有利である。

## 5.2 現車走行中の試験

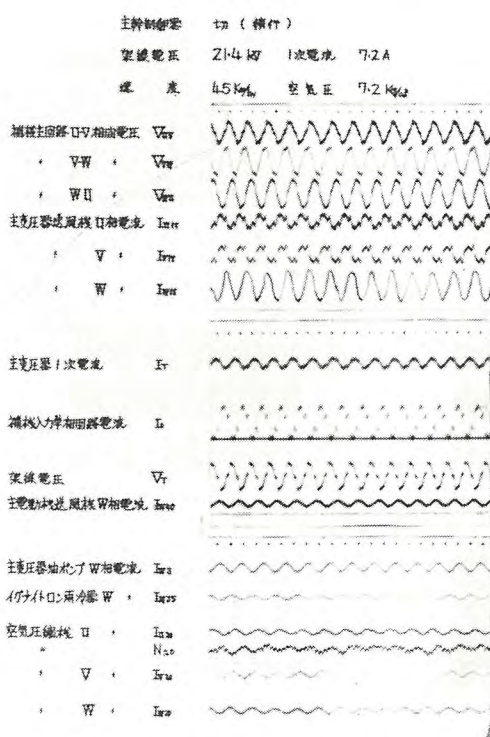


図 5.12 機関車走行時の電圧・電流波形

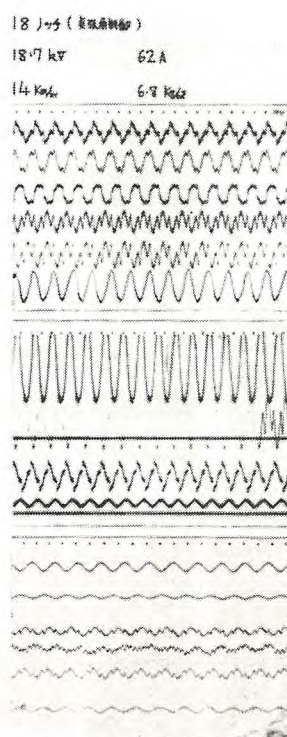
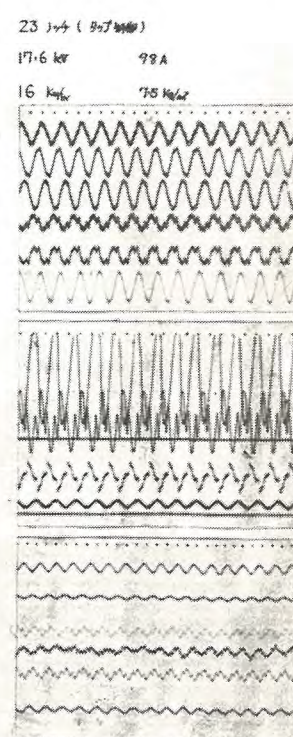


Fig. 5.12 Voltage and current waveforms while locomotive is running.





### (1) 定常時

各補機が定常運転中の波形をオシログラムに示す(図 5.12 参照) すなわち

- a. 主幹制御器ノッチ切(平たん地惰行),  $V_T=21.4\text{ kV}$
- b. ノッチ 18 (整流器点弧角制御),  $V_T=18.7\text{ kV}$
- c. ノッチ 23 (タップ制御),  $V_T=17.6\text{ kV}$

の場合について表 4.2 にあげた電圧, 電流の波形を記録した。図でわかるように点弧角制御中には架線電圧も相当ひずんでいる。惰行中にも若干のひずみのみられるのは近くを走っている他列車の影響であろう。

補機の U 相, V 相の電流の高調波量が電圧のそれよりも著しいのは, 誘導電動機が同期速度付近で運転しているときは基本波にたいしてインピーダンスが高く, それ以外の周波数にたいしてはインピーダンスが低いのである。高調波電流により損失はわずか増すが, トルク

としては影響されないとみてよい。

### (2) 電源回路シャ断・再開路時

試験結果の一覧表を表 5.3 に示した。オシログラムでは図 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 にその状況を示した。

かくていずれの場合でもシャ断・再起動がきわめて順調に行なわれた。とくに主機運転中の電圧波形のひずみは相当みられたが, そのために補機起動性能に障害を与えるようなことはない。

## 6. む す び

このように交流電気機関車の補機起動性能を広範にわたって詳しく試験した記録はわが国でも初めてとってよからう。この試験の結果, 当社の専用相数変換機をもたない方式で, 電圧不平衡率は従来の 8.4 % から 3.5 % に改善され, したがって電流不平衡から生ずるトルク減

表 5.3 機関車力行時の補機起動試験結果

(60 c/s)

オシロ番号	図番	架線電圧 (kV)	回路シャ断時間 (sec)	シャ断前一次電流 (A)	再開路後一次電流 (A)	主幹制御ノッチ位置	走行速度 (km/H)	C P 用限時リレー	C P 用アンロード	C P 空気圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	結果	備 考
M 452	5.9	18	0.45	160	80	18	18	有	有	7.5	OK	いっせい再起動
453		18.3	"	216	180	"	11	"	"	7.0	"	"
454		17.6	"	"	"	29	26	"	"	"	"	"
455	5.10	16.5	"	60	100	23	18	"	"	"	"	"
455'	5.9	"	"	112	96	25	16	"	"	"	"	"
442	5.9	21.9	0.46	102	102	29	47	"	"	7.3	"	"
456	5.10	16.2	3.0	96	8.0	29	26	"	"	6.8	"	"
457	5.11	16.3	"	92	"	"	27	無有	"	6.7	"	繰り返し順序起動
446		21.9	3.2	76	7.2	"	58	"	"	6.6	"	"
447	5.12	21.8	3.1	102	"	"	46	"	"	6.8	"	"
445		21.9	1.68	7.2	7.2	切(惰行)	"	"	"	7.0	"	{ いっせい再起動 無加圧箇所通過

(注) (1) 一次電流はシャ断前 5 秒前と, 再開路後定常になった時に電流計で読んだ。  
(2) C P は空気圧縮機を示す

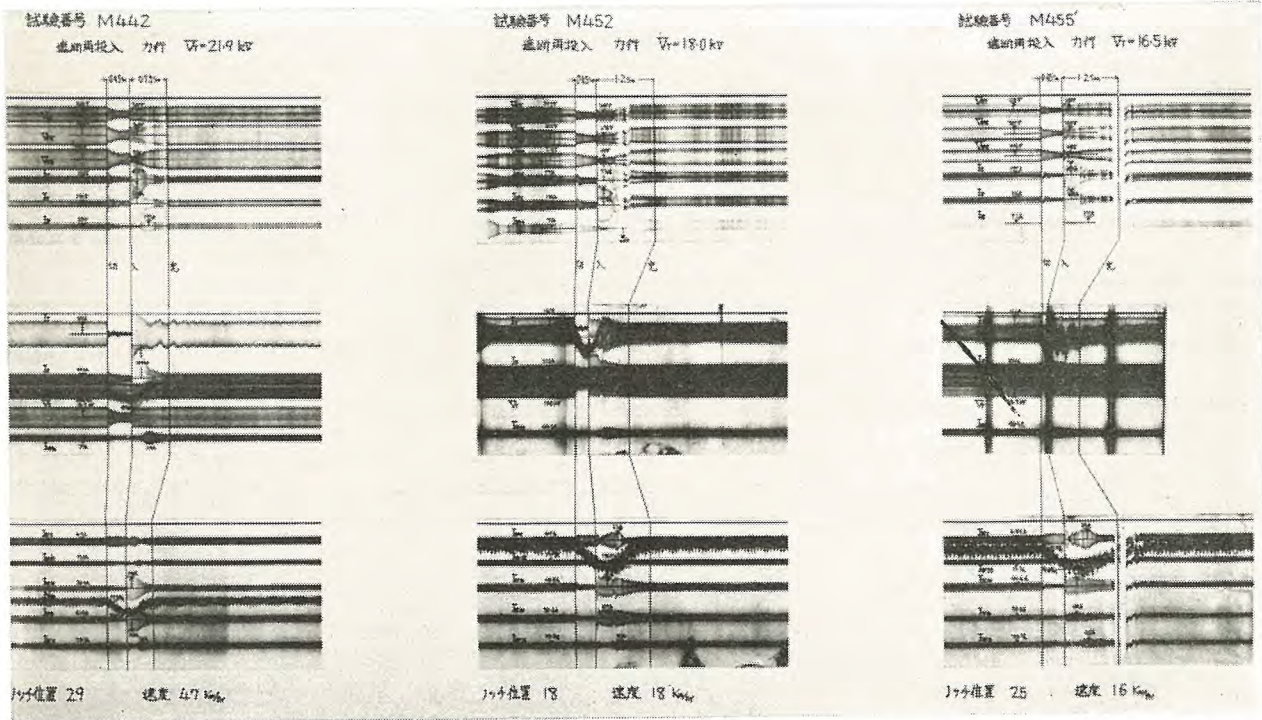


図 5.13 機関車力行時の補機起動状況 (1)

Fig. 5.13 Auxiliary machine starting while locomotive in operation (1).



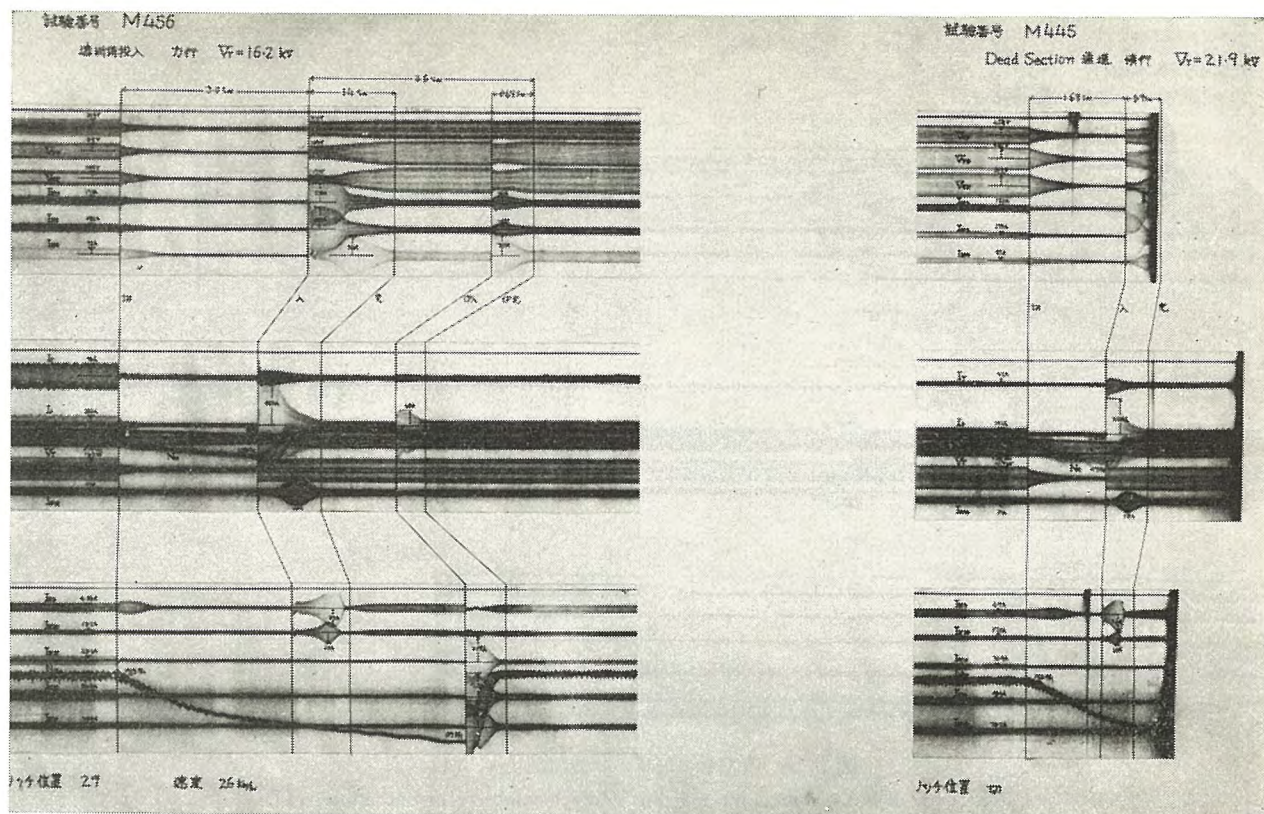


図 5.14 機関車走行時の補機起動状況 (2)

Fig. 5.14 Auxiliary machine starting while locomotive in operation (2).

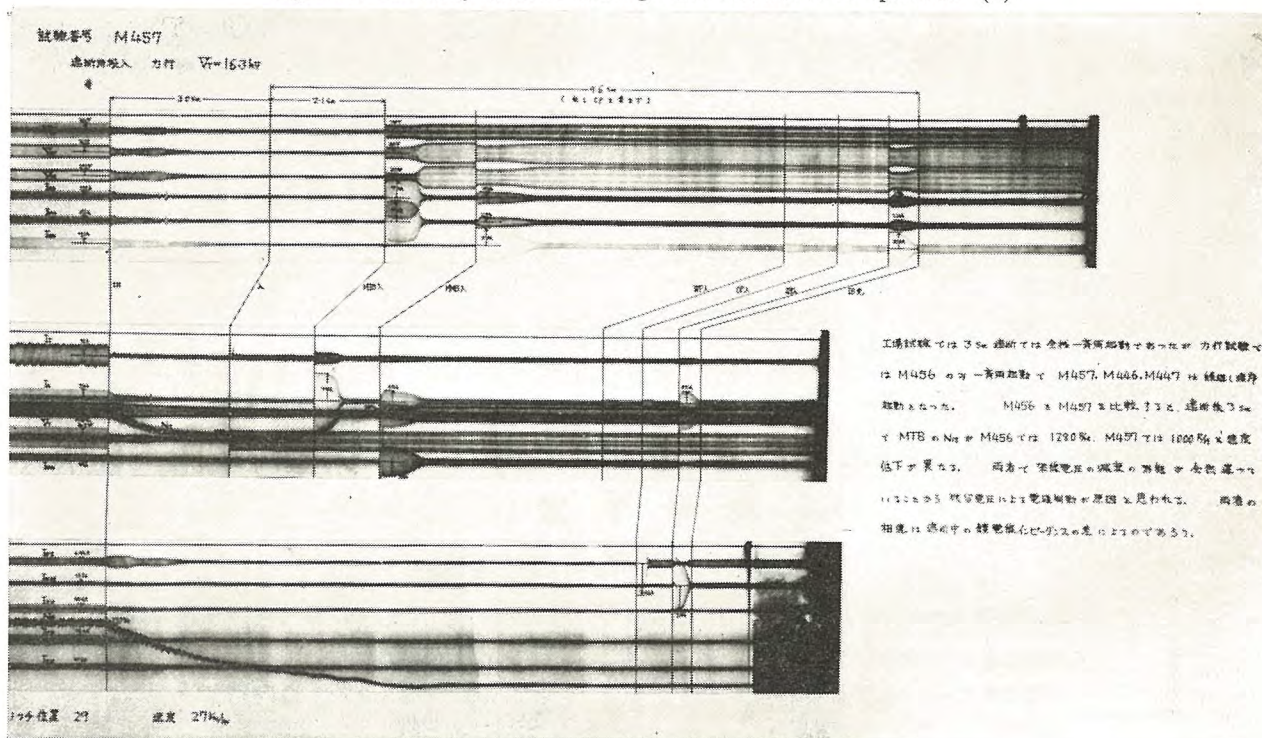


図 5.15 機関車力行時の補機起動状況 (3)

Fig. 5.15 Auxiliary machine starting while locomotive in operation (3).

少も防ぎ得、補機起動に与える障害はなくなった。

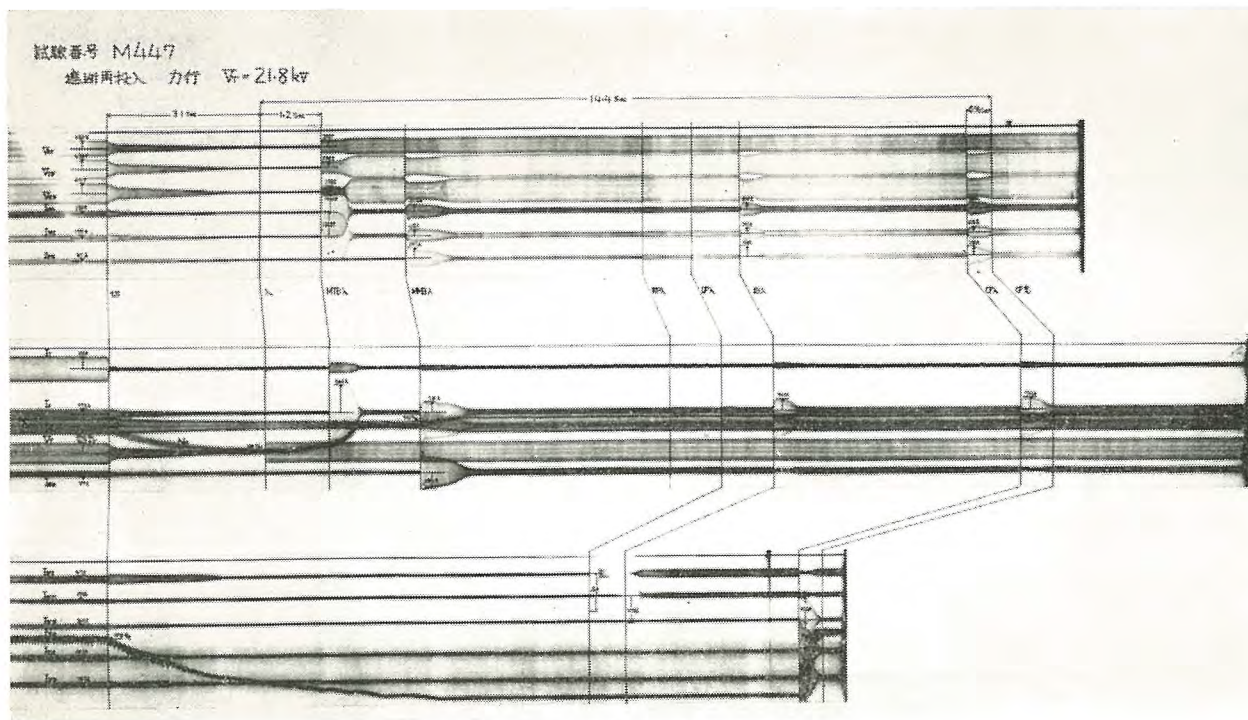
今後は補機全体の効率向上とさらには重量の軽減によって経済的でしかも運転・保守のより簡便なものとしたい。

さて、このたびの各種試験には国鉄・臨時車両設計事

ED 7019 号イグナイトロン交流電気機関車補機性能試験・大野・桐生・八木・和田

務所、運転局はもちろんのこと中部支社、金沢鉄道管理局、敦賀第二機関区および鉄道技術研究所の方々からなみなみならないご援助をいただいた。また鉄道電化協会内にある山村教授を委員長とする「交流機関車補機研究委員会」からも幾多の助言にあずかった。記して衷心よ







# 発電機絶縁の直流試験 (1)

研究所 原 仁吾\*・平林庄司\*

## DC Tests on Generator Insulation (Part 1)

Research Laboratory Jingo HARA・Shōji HIRABAYASHI

DC tests of insulation on generators have been carried out since 1950 with many reports on the judgement of absorbed water contents of insulation and prediction of DC breakdown voltage. It has a variety of features compared with the AC tests such as a small sized apparatus and less chances of damaging insulation during the test. Today some plants have replaced the AC method with DC one in the acceptance of machines which must undergo withstand voltage tests. The study of phenomena occurring in the insulator when DC test voltages are impressed involves many problems. With much discussion the writers finally suggest a standard of judgement on insulation by a "leakage ratio" and also a new method of predicting break-down voltages.

### 1. ま え が き

発電機の絶縁状態を直流試験によって判定する方法は1950年ころからとくに盛んに行なわれ、絶縁物の吸湿程度の判定や、直流破壊電圧の予知に関する報告が数多く発表されている。直流試験は交流試験にくらべて試験装置が小形で済み、また試験中に絶縁物を痛める可能性が少ないので機器の過電圧試験に適しており、従来から現場における保守試験に多く用いられてきたが、最近欧米においては工場における受入試験に交流耐圧の代りに直流耐圧試験を採用することも考えられており、1959年のC.I.G.R.E.でもこの問題が討議されている。一方絶縁物に直流電圧を印加したときに流れる電流の本質を物性論的に吟味し、判定基準をより合理的な普遍性のあるものにするための解析や、絶縁物中に流れる充電電流を吸収電流と漏洩電流に分離する方法、ならびに絶縁抵抗を求める場合吸収電流にもとづく影響を補正する方法などの試験技術に関する進歩はいちじるしいものがある。

本文はこれらの試験技術の進歩ならびにその適用について述べ、直流試験法の発達および現場における保守試験の参考に供したい。

### 2. 技術の進歩

絶縁物に階段状の電圧を印加したとき流れる電流は、周知のように

$$I(t) = C \frac{dv}{dt} + i(t) + I_c \dots \dots \dots (2.1)$$

となり、第1項の変位電流は短時間のうちに減衰するの

で、普通には第2項の吸収電流と第3項の漏洩電流の和が測定される。漏洩電流は時間とともに不変であるが、吸収電流は時間とともに減衰して次第に零に近づく。絶縁抵抗の電圧特性を求める場合や、絶縁抵抗のもつ意義を解釈する場合、求める絶縁抵抗は漏洩電流分だけにもとづく抵抗（この抵抗を漏洩抵抗、吸収電流分にもとづく抵抗を吸収抵抗と呼ぶことにする）でなければならないが、普通発電機絶縁では吸収電流が漏洩電流にくらべて無視できる程度にまで減衰するのに相当の長時間を要する。従来絶縁抵抗の電圧特性を測定する場合、電圧印加の方法としては非階段的上昇方法と階段的上昇方法が用いられてきた。非階段的上昇方法は、電圧を上昇するに先だち一度放電し、残留電荷をなくしてから電圧を印加する方法で、この方法では得られる絶縁抵抗の電圧特性は、必要な漏洩抵抗の電圧特性とほぼ同じ形のものが得られるが、放電のために数時間以上の長時間を要する。一方階段的電圧上昇は、ある電圧で測定が終り次第引き続いてつぎつぎに電圧を上昇する方法で、各電圧で吸収電流が十分に減衰して漏洩電流の値になるまで充電を続けると、きわめて長時間を要し実用的でないので各電圧での印加時間をたとえば5分とか10分とか一定にして階段的に電圧を上昇する方法も行なわれてきた。この方法では吸収電流分にもとづく誤差はいり、得られる絶縁抵抗の電圧特性は漏洩抵抗の電圧特性と非常にことなつたものになる。このように直流試験では吸収電流の影響のため誤差はいり、この誤差を除くためには試験時間が非常に長くなることが大きな欠点であった。

\* 電気第一研究室



1956年に F. R. Schleif は吸収電流による影響を補正する方法を提案し<sup>(1)</sup>, その後 J. S. Johnson, A. W. Zwiner はこの方法を拡張した一般的な試験方法を提案した<sup>(2)</sup>. また J. S. Johnson は 10 分間の充電電流から漏洩電流と吸収電流を計算によって分離する方法を発表し<sup>(2)</sup>, その後 F. R. Schleif は形紙方式による漏洩分と吸収分の分離方法を提案した<sup>(3)</sup>. F. R. Schleif が提案した吸収電流の補正法によれば, 直流試験の試験時間がいちじるしく短縮でき, 同時に得られる絶縁抵抗の電圧特性は漏洩抵抗の電圧特性と同じ特性のものが得られる. また吸収電流と漏洩電流の分離は, 絶縁状態の正しい評価に際して多くの解釈が得られ, これらの方法は今後広く用いられるものと考えるので, まずこれらの方法について述べる.

## 2.1 吸収電流を補正した電圧上昇法

充電されていない絶縁物に階段状の電圧を印加したとき流れる電流は, 変位電流を考えなければ次式であらわされる.

$$I(t) = i(t) + I_c \dots \dots \dots (2.2)$$

$$i(t) = K V t^{-n} \dots \dots \dots (2.3)$$

ここで

$I(t)$  = 時間  $t$  における充電電流

$i(t)$  = 時間  $t$  における吸収電流

$I_c$  = 漏洩電流 (時間に対して一定)

$V$  = 印加電圧

$K$  = 常数

$n$  = 吸収指数

絶縁抵抗の電圧特性を求める場合, 各電圧における絶縁抵抗は  $V/I(t)$  であらわされるので, 各電圧階段で吸収電流  $i(t)$  が, 印加電圧に比例するような時間における電流の読みをとれば, 各電圧における吸収抵抗は一定となり, 絶縁抵抗—電圧特性の変化は漏洩抵抗—電圧特性の変化にもとづくものになり, 弱点比を求めたり, 絶縁抵抗の電圧特性から破壊電圧を予知する場合に必要な漏洩抵抗の変化だけを知ることができる.

いま, 電圧を  $V_1, V_2, V_3 \dots$  と段階的に上昇したとき流れる吸収電流は,

$t_1, t_2, t_3 \dots t_i$  を,  $V_1, V_2, V_3 \dots V_i$  における印加時間  
 $i_{t_1}, i_{t_2}, i_{t_3} \dots i_{t_i}$  を,  $t_1, t_2, t_3 \dots t_i$  における吸収電流とすれば, 重畳の理により

$$i_{t_1} = K V_1 t_1^{-n}$$

$$i_{t_2} = K \{ V_1 (t_1 + t_2)^{-n} + (V_2 - V_1) t_2^{-n} \}$$

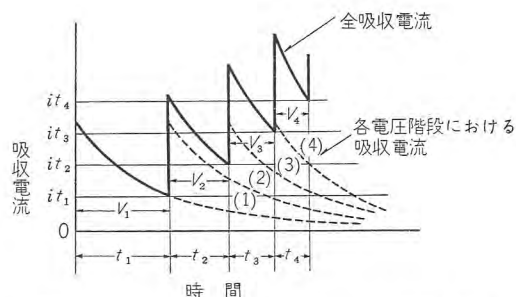


図 2.1 段階的に電圧をあげたときの吸収電流

Fig. 2.1 Dielectric absorption current by successive stepped voltages.

$$\left. \begin{aligned} i_{t_2} &= K \{ V_1 (t_1 + t_2 + t_3)^{-n} + (V_2 - V_1) (t_2 + t_3)^{-n} \\ &\quad + (V_3 - V_2) t_3^{-n} \} \dots (2.4) \\ \vdots \\ i_{t_i} &= K \{ V_1 (t_1 + t_2 + \dots + t_i)^{-n} + (V_2 - V_1) \\ &\quad (t_2 + \dots + t_i)^{-n} + \dots + (V_i - V_{i-1}) t_i^{-n} \} \end{aligned} \right\}$$

となる. この状態を図示したものが図 2.1 である.

ここで各電圧における吸収電流が電圧に比例するためには,

$$\left. \begin{aligned} i_{t_2} &= i_{t_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} \\ i_{t_3} &= i_{t_1} \cdot \frac{V_3}{V_1} \\ \vdots \\ i_{t_i} &= i_{t_1} \cdot \frac{V_i}{V_1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2.5)$$

を満足しなければならない.

式 (2.4) と式 (2.5) から式 (2.6) が得られる.

$$\left. \begin{aligned} \frac{V_2}{V_1} &= \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right)^{-n} + \left( \frac{V_2}{V_1} - 1 \right) \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^{-n} \\ \frac{V_3}{V_1} &= \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} + \frac{t_3}{t_1} \right)^{-n} + \left( \frac{V_2}{V_1} - 1 \right) \left( \frac{t_2}{t_1} + \frac{t_3}{t_1} \right)^{-n} \\ &\quad + \left( \frac{V_3}{V_1} - \frac{V_2}{V_1} \right) \left( \frac{t_3}{t_1} \right)^{-n} \\ \vdots \\ \frac{V_i}{V_1} &= \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} + \dots + \frac{t_i}{t_1} \right)^{-n} + \left( \frac{V_2}{V_1} - 1 \right) \left( \frac{t_2}{t_1} + \dots + \frac{t_i}{t_1} \right)^{-n} \\ &\quad + \dots + \left( \frac{V_{i-1}}{V_1} - \frac{V_i}{V_1} \right) \left( \frac{t_i}{t_1} \right)^{-n} \end{aligned} \right\} \dots (2.6)$$

したがって電圧上昇の割合を決めると,  $t_2/t_1, t_3/t_1, \dots t_i/t_1$  の値は, 供試機の吸収指数  $n$  がわかれば式 (2.6) から求めることができ, あらかじめ決められた電圧上昇の割合についていろいろな  $n$  の値に対する  $t_2/t_1, t_3/t_1, \dots t_i/t_1$  を計算して曲線にしておけば, 現場においてもこの方法を簡単に適用でき, 吸収電流の影響を補正できると同時に, 試験時間が従来の方法よりもちろしく短縮できる.

供試機の  $n$  の値を求めるには次のような方法がある.



### (1) 放電電流から求める法

放電電流の時間特性を両対数紙上にプロットしこの直線の傾斜から  $n$  がわかるが、この場合には充電時間を十分長くしなければならない。いま絶縁物を  $t_c$  時間充電した後、放電電流を測定したとすると、時間  $t$  における放電電流は次式であらわされる。

$$i'(t) = KV \{ t^{-n} - (t+t_c)^{-n} \} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

すなわち  $t_c$  が短い場合は、放電電流は真値より小さくなり、 $n$  は真値より大きくなる。試験時間が長くなるのが欠点である。

### (2) Johnson の方法<sup>(2)</sup>

絶縁物を充電中 1 分目、3.16 分目および 10 分目の電流を測定し次式から  $n$  を求める方法である。すなわち、式 (2.2) および式 (2.3) から

$$\begin{aligned} i_{10} &= i_1 \cdot 10^{-n} & i_1 &= I_1 - I_c \\ i_{3.16} &= i_1 \cdot 3.16^{-n} & i_{3.16} &= I_{3.16} - I_c \\ (i_{3.16})^2 &= i_1^2 \cdot 10^{-n} = i_1 \times i_{10} & i_{10} &= I_{10} - I_c \end{aligned}$$

であるので

$$\begin{aligned} (I_{3.16} - I_c)^2 &= (I_1 - I_c)(I_{10} - I_c) \\ \therefore I_c &= \frac{(I_1 \times I_{10}) - (I_{3.16})^2}{(I_1 + I_{10}) - 2I_{3.16}} \quad \dots\dots\dots (2.8) \end{aligned}$$

ただし  $i_1$ ,  $i_{3.16}$ ,  $i_{10}$  および  $I_1$ ,  $I_{3.16}$ ,  $I_{10}$  はそれぞれ 1 分、3.16 分および 10 分目の吸収電流および充電電流、 $I_c$  は漏洩電流である。

式 (2.8) から漏洩電流がわかると、 $i_1$  および  $i_{10}$  が求まり、吸収指数  $n$  は次式から求められる。

$$n = \log_{10} \frac{i_1}{i_{10}} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

この方法は実際に適用してみると式 (2.8) から算出される  $I_c$  の値にかなりの誤差はいりやすいので注意を要する。

### (3) Cameron の方法<sup>(4)</sup>

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= i_1 + I_c \\ I_2 &= i_2 + I_c \\ &\vdots \\ I_{30} &= i_{30} + I_c \end{aligned} \right\} \quad \left. \begin{aligned} i_1 &= KV 1^{-n} \\ i_2 &= KV 2^{-n} \\ &\vdots \\ i_{30} &= KV 30^{-n} \end{aligned} \right\}$$

上式から

$$\frac{I_1 - I_{10}}{I_1 - I_2} = \frac{I_2 - I_{20}}{I_2 - I_4} = \frac{I_3 - I_{30}}{I_3 - I_6} = \dots\dots\dots = \frac{1 - 10^{-n}}{1 - 2^{-n}} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

が成立するのであらかじめ  $1 - 10^{-n} / 1 - 2^{-n}$  の値をいろいろな  $n$  の値について計算し図 2.2 の曲線を描いておけば、試験中に式 (2.10) の左辺を計算し、曲線上から  $n$  が求まる。

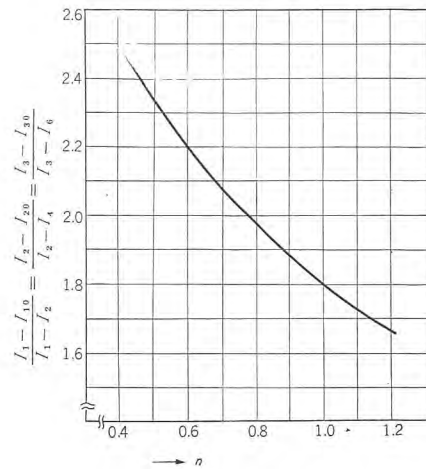


図 2.2 最初の階段の充電電流曲線から  $n$  を求める曲線

Fig. 2.2 Prepared curve for  $n$  from initial charging curve.

### (4) 形紙方式

1958 年 F.R. Schleif が提案した方法<sup>(3)</sup>で詳細は後述の漏洩電流と吸収電流の分離の項で述べるが、上述の Johnson および Cameron の方法は、ある特定の時間における測定値をもとに  $n$  を算出するため、誤差はいりやすいが、形紙方式では測定値の平均値的なものから  $n$  を求めるので誤差が少なく、また適用の方法が非常に簡単である。

### 2.2 漏洩電流と吸収電流の分離

絶縁抵抗のもつ意義を正しく解釈するには漏洩抵抗に着目しなければならないが、漏洩電流を測定するには発電機絶縁のような複合絶縁体では、非常に長時間を要する。2.1 で述べた方法では電圧特性の形状は漏洩抵抗の電圧特性と同じような形状のものが得られるが、各電圧における抵抗値の絶対値は漏洩抵抗の値そのものではない。10 分間程度の短い試験で漏洩電流分を知ることができると、絶縁状態の評価に対し新たな情報が得られて都合がよい。以下漏洩分と吸収分の分離の方法につき述べる。

#### (1) Johnson の方法

前項の式 (2.8) から漏洩電流を算出する方法で、興味ある方法であるが、ある特定の時間における測定値をもとに算出することと、式 (2.8) の分子と分母はそれぞれ二つの大きな値の差からなっており、実際の絶縁物に適用するとこの差が小さくなるので、計算に用いるもとの値が少し違っていると得られる結果が非常に変わってくる。したがって実際には、式 (2.11), (2.12) などを用い、充電電流—時間曲線の他の部分から求めた、2, 3 の  $I_c$  の値の平均をとる必要があり、とくに漏洩電流分の少ない絶



$$I_c = \frac{(I_1 \times I_{20}) - (I_{4.47})^2}{(I_1 + I_{20}) - 2I_{4.47}} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$I_c = \frac{(I_1 \times I_{30}) - (I_{5.48})^2}{(I_1 + I_{30}) - 2I_{5.48}} \dots\dots\dots(2.12)$$

縁物では、非常に細かい注意をしないと誤差が多くなる。

## (2) 形紙方式

F. R. Schleif が 1958 年に提案した方法で、<sup>(5)</sup>

$$k = \frac{I_c}{i_{10} + I_c} \left( = \frac{\text{漏洩電流}}{\text{充電電流の10分値}} \right) \dots\dots\dots(2.13)$$

とおけば、式 (2.2) および式 (2.13) から

$$I(t) = i(t) + \frac{k}{1-k} \cdot i_{10} \dots\dots\dots(2.14)$$

が得られる。いま  $t=10$  分における吸収電流  $i_{10}$  を基準にとれば式 (2.14) は

$$I(t) = \left( \frac{t}{10} \right)^{-n} + \frac{k}{1-k} \dots\dots\dots(2.15)$$

となり、 $n$  と  $k$  を決めれば式 (2.15) から図 2.3 のような曲線をひくことができる。 $k$  を漏洩比と呼ぶことにする。

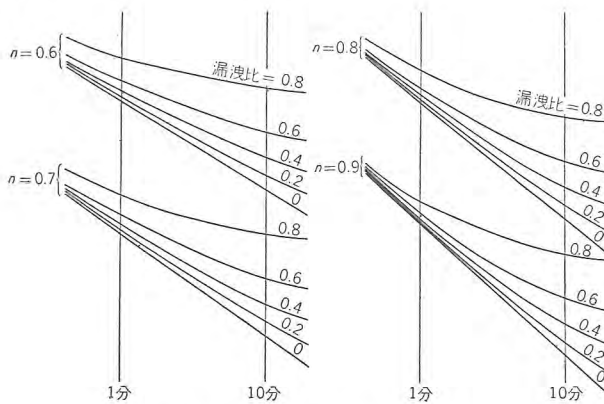


図 2.3 充電電流の解析用形紙

Fig. 2.3 Templates for analysis of charging current data.

実際の充電電流をプロットする両対数紙と、まったく同じ目盛を有する透明な形紙に、あらかじめ図 2.3 の曲線をひいたものを用意しておき、測定した充電電流時間特性を両対数紙上にプロットし、この上に形紙を重ねて、プロットした点をむすぶ曲線ともっともよく合致する形紙上の曲線を見つければ、その供試機の吸収指数  $n$  の値および漏洩比  $k$  を知ることができ、

$$\text{漏洩電流} = k \times (10 \text{ 分目の充電電流}) \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\text{吸収電流} = (1-k) \times (10 \text{ 分目の充電電流}) \dots\dots\dots(2.17)$$

として漏洩電流および 10 分目の吸収電流を求めることができる。

この方法は、測定した充電電流時間特性の全部の点の平均値的なものから  $n$  および  $k$  を求めるので、比較的誤差が少なく、 $n$  および  $k$  をより小さく細分した形紙を

表 2.1 形紙製作のためのデータ

$n$	漏洩比 $k$	時 間 (min)				
		0.5	1	3	10	30
0.6	0	6.05	3.98	2.06	1.00	0.52
	0.2	6.30	4.23	2.31	1.25	0.77
	0.3	6.48	4.41	2.49	1.43	0.95
	0.4	6.72	4.65	2.73	1.67	1.18
	0.5	7.05	4.98	3.06	2.00	1.52
	0.6	7.55	5.48	3.56	2.50	2.02
	0.7	8.38	6.31	4.39	3.33	2.85
	0.8	10.05	7.98	6.09	5.00	4.52
	0.9	15.05	12.98	11.06	10.00	9.52
0.7	0	8.12	5.01	2.32	1.00	0.46
	0.2	8.37	5.26	2.57	1.25	0.71
	0.3	8.55	5.44	2.75	1.43	0.89
	0.4	8.79	5.68	2.99	1.67	1.13
	0.5	9.12	6.01	3.32	2.00	1.46
	0.6	9.62	6.51	3.82	2.50	1.96
	0.7	10.45	7.34	4.65	3.33	2.80
	0.8	12.12	9.01	6.32	5.00	4.46
	0.9	17.12	14.01	11.32	10.00	9.46
0.8	0	11.00	6.31	2.62	1.00	0.42
	0.2	11.25	6.55	2.87	1.25	0.67
	0.3	11.43	6.74	3.05	1.43	0.84
	0.4	11.67	6.98	3.29	1.67	1.08
	0.5	12.00	7.31	3.62	2.00	1.42
	0.6	12.50	7.81	4.12	2.50	1.92
	0.7	13.33	8.64	4.95	3.33	2.75
	0.8	15.00	10.31	6.62	5.00	4.42
	0.9	20.00	15.31	11.62	10.00	9.42
0.9	0	14.80	7.94	2.95	1.00	0.37
	0.2	15.05	8.19	3.20	1.25	0.62
	0.3	15.23	8.37	3.38	1.43	0.80
	0.4	15.47	8.61	3.62	1.67	1.04
	0.5	15.80	8.94	3.95	2.00	1.37
	0.6	16.30	9.44	4.45	2.50	1.87
	0.7	17.13	10.27	5.28	3.33	2.71
	0.8	18.80	11.94	6.95	5.00	4.37
	0.9	23.80	16.94	11.95	10.00	9.37
1.0	0	20.00	10.00	3.33	1.00	0.33
	0.2	20.25	10.25	3.58	1.25	0.58
	0.3	20.43	10.43	3.76	1.43	0.76
	0.4	20.67	10.67	4.00	1.67	1.00
	0.5	21.00	11.00	4.33	2.00	1.33
	0.6	21.50	11.50	4.83	2.50	1.83
	0.7	22.33	12.33	5.66	3.33	2.67
	0.8	24.00	14.00	7.33	5.00	4.33
	0.9	29.00	19.00	12.33	10.00	9.33

用意しておけば、相当の精度で漏洩分を分離することができる。またこの方法は、適用の方法がきわめて簡単であることが大きな特長である。

この方法を適用するに際し形紙の製作に便ならしめるため、式 (2.15) の計算結果の一部を表 2.1 に示す。

## 2.3 実験結果

吸収電流を補正した電圧上昇法を適用した実験例は、項を改めて後に述べることにし、各種の  $n$  の求めかた、および漏洩電流と吸収電流の分離法を、2, 3 の発電機コイルおよび巻線に適用した実験結果について述べる。

図 2.4 は定格 900 kW, 3 kV の同期電動機用 B 種絶縁新品コイル (A コイル) を 2 kV で測定した充電電流曲線に、形紙方式を適用した一例である。図中○印は測定値で、図から、

$$n=0.8$$

$$\text{漏洩比}=40\%$$

$$\text{漏洩電流 } I_c = 4.1 \times 10^{-9} \times 0.4 = 1.64 \times 10^{-9} \text{ A}$$

$$\text{吸収電流の10分値 } i_{10} = 2.46 \times 10^{-9} \text{ A}$$

を知ることができる。



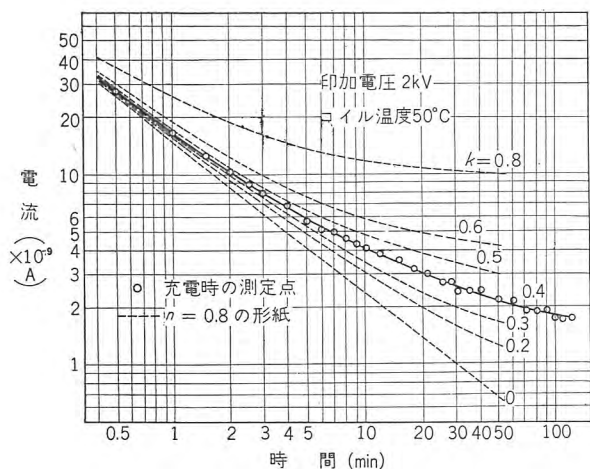


図 2.4 充電電流の測定データに形紙を重ねた一例  
Fig. 2.4 Example of template superimposed upon the plotted charging current data.

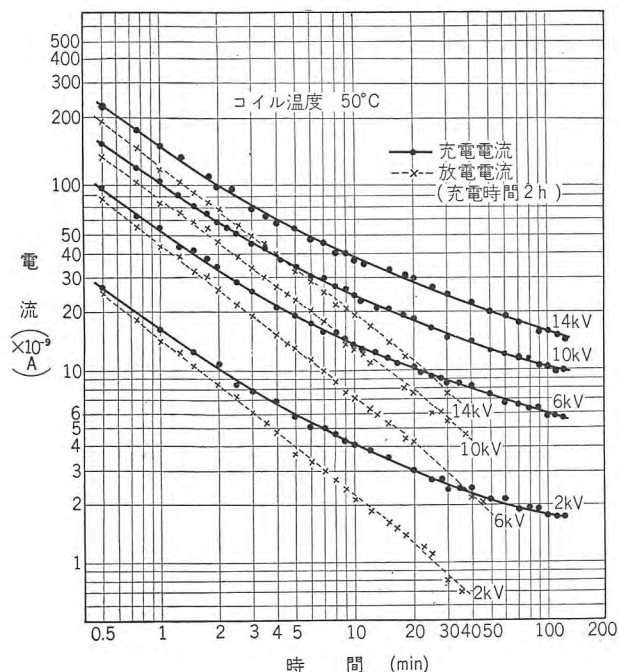


図 2.5 A コイルの直流吸収特性  
Fig. 2.5 Dielectric absorption characteristic curves of "Coil A".

電圧を変化したときの充電電流および放電電流特性を図 2.5 に示す。放電電流は各電圧で 2 時間充電をした後に測定したものである。図からわかるとおり、充電電流は 2 時間印加後も、なお曲線は飽和を示しておらず、吸収電流が無視できる程度になるまでには、相当長時間の電圧印加が必要になることがわかる。

図 2.6 (B コイル) および図 2.7 (C コイル) は、定格 13.2 kV の新品コイルを乾燥後、温度を変化して 5 kV で 30 分間の充電電流を測定後に放電電流を測定したものである。また図 2.8 (A 発電機) および図 2.9 (B 発電機) は現場における発電機の保守試験の際に得られたデータで、図 2.8 は定格 27,500 kVA, 11 kV, 図 2.9

発電機絶縁の直流試験・原・平林

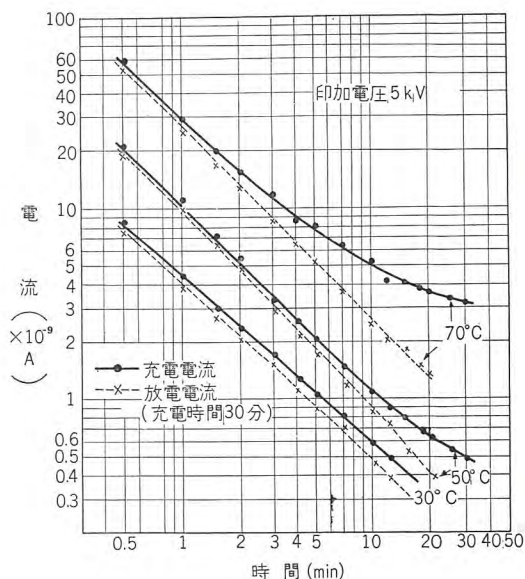


図 2.6 B コイルの直流吸収特性  
Fig. 2.6 Dielectric absorption characteristic curves of "Coil B".

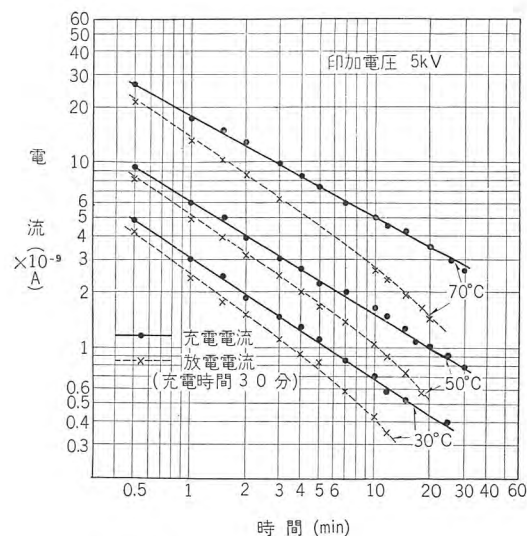


図 2.7 C コイルの直流吸収特性  
Fig. 2.7 Dielectric absorption characteristic curves of "Coil C".

は 14,000 kVA, 11 kV の発電機で、いずれも約 20 年近く運転されている古い発電機である。

図 2.5~2.9 のデータを解析した結果を表 2.2 および表 2.3 に示す。表 2.2 は吸収指数  $n$  を各種の方法で求めたものの比較、表 2.3 は漏洩電流を分離したものの比較を示す。

表 2.2 で、充電時間が 30 分以上の場合の放電曲線から求めた  $n$  と、形紙方式で求めた  $n$  の値は、比較的よく一致している。また Johnson および Cameron の方式から計算によって求めた  $n$  は、かなり分散が多い。形紙方式はあらかじめ用意しておく形紙の数にもよるが、 $\pm 0.05$  程度の誤差はまぬかれないようである。しかし実



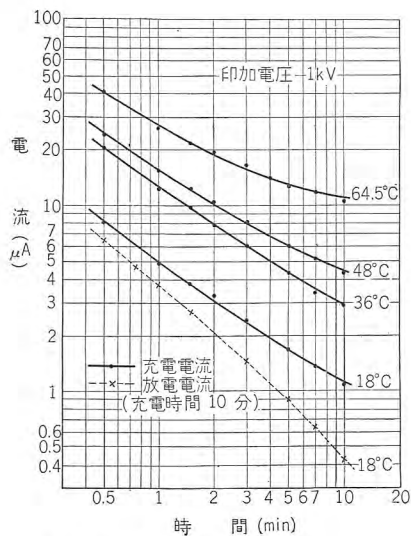


図 2.8 A 発電機の直流吸収特性

Fig. 2.8 Dielectric absorption characteristic curves of "Generator A".

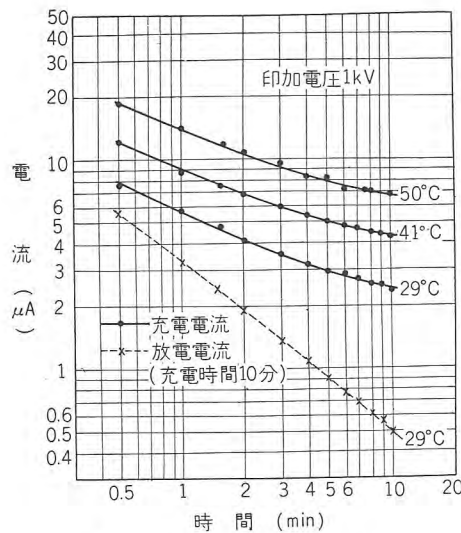


図 2.9 B 発電機の直流吸収特性

Fig. 2.9 Dielectric absorption characteristic curves of "Generator B".

用上はさしつかえない程度で、 $n$  の算出は、充電時間を 30 分以上にして求めた放電曲線の傾斜から求めるか、または形紙方式から求めるのが良いと考える。放電曲線から求める場合、充電時間を 10 分にするとも  $n$  の値は真値よりだいぶ大きくなる。

Johnson の方式および形紙方式によって分離した漏洩電流、および漏洩比を表 2.3 で比較すると、両者は相当にことになっているものが多い。Johnson の方式は計算がかなりめんどろなことで、計

表 2.2 各種の方法で求めた  $n$  の比較

試料	測定電圧 (kV)	充電時間 (min)	温度 (°C)	Johnson*の方法	Cameron の方法		放電曲線より求める	形紙方式
					I**	II***		
A コイル	2	120	50	0.77	0.76	0.76	0.80	0.80
	4	"	"	0.78	0.78	0.82	0.80	0.80
	6	"	"	0.79	0.85	0.72	0.80	0.80
	8	"	"	0.76	0.73	0.70	0.77	0.80
	10	"	"	0.79	0.83	0.76	0.76	0.75
	12	"	"	0.73	0.77	0.70	0.76	0.75
B コイル	5	30	70	0.97	1.10	0.88	0.99	1.00
	"	"	50	1.08	1.00	1.10	1.00	1.00
	"	"	30	0.99	0.90	—	0.92	0.95
C コイル	5	30	70	0.60	0.59	0.54	0.66	0.65
	"	"	50	0.54	0.61	0.61	0.66	0.65
	"	"	30	0.67	0.69	0.63	0.69	0.65
	"	"	"	"	"	"	"	"
A 発電機	1	10	64.5	0.61	0.60	—	—	0.70
	"	"	48	0.66	0.73	—	—	0.70
	"	"	36	0.69	0.60	—	—	0.70
	"	"	18	0.72	0.69	—	0.81	0.70
B 発電機	1	10	50	0.80	0.50	—	—	0.70
	"	"	41	0.53	0.55	—	—	0.70
	"	"	29	0.73	0.80	—	0.80	0.70

備考 1. \* 式 (2.8) から求めたもの  
2. \*\* 10 分値から求めたもの  
3. \*\*\* 30 分値から求めたもの

表 2.3 漏洩電流の分離

試料	測定電圧 (kV)	温度 (°C)	充電電流 10 分値 (A)	Johnson の方法		形紙方式	
				漏洩電流 (A)	漏洩比	漏洩電流	漏洩比
A コイル	2	50	$4.1 \times 10^{-9}$	$1.7 \times 10^{-9}$	0.42	$1.64 \times 10^{-9}$	0.40
	4	"	$8.6 \times$	$3.4 \times$	0.40	$3.24 \times$	"
	6	"	$13.3 \times$	$5.4 \times$	0.41	$5.30 \times$	"
	8	"	$19.5 \times$	$6.2 \times$	0.32	$7.80 \times$	"
	10	"	$24.5 \times$	$11.0 \times$	0.45	$9.80 \times$	"
	12	"	$30.0 \times$	$11.0 \times$	0.38	$12.0 \times$	"
B コイル	5	70	$51.0 \times 10^{-4}$	$22.4 \times 10^{-4}$	0.44	$20.4 \times 10^{-4}$	0.40
	"	50	$11.0 \times$	$2.5 \times$	0.23	$2.2 \times$	0.20
	"	30	$5.8 \times$	$0.37 \times$	0.06	$0.6 \times$	0.10
C コイル	5	70	$53.0 \times 10^{-4}$	$4.1 \times 10^{-4}$	0.08	$10.6 \times 10^{-4}$	0.20
	"	50	$16.0 \times$	$1.4 \times$	0.09	$2.4 \times$	0.15
	"	30	$7.0 \times$	$0.53 \times$	0.08	$0.7 \times$	0.10
A 発電機	1	64.5	$10.5 \times 10^{-6}$	$5.6 \times 10^{-6}$	0.53	$6.3 \times 10^{-6}$	0.60
	48	4.3	$1.1 \times$	$1.1 \times$	0.26	$1.7 \times$	0.40
	36	2.9	$0.48 \times$	$0.48 \times$	0.17	$0.6 \times$	0.20
	18	1.1	$0.41 \times$	$0.41 \times$	0.37	$0.1 \times$	0.10
B 発電機	1	50	$7.2 \times 10^{-6}$	$5.7 \times 10^{-6}$	0.79	$5.4 \times 10^{-6}$	0.75
	41	4.2	$2.3 \times$	$2.3 \times$	0.55	$2.94 \times$	0.70
	29	2.4	$1.62 \times$	$1.62 \times$	0.68	$1.56 \times$	0.65

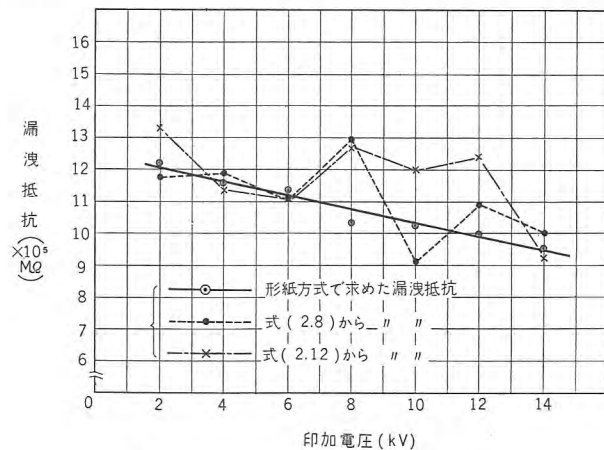


図 2.10 A コイルの漏洩抵抗—電圧特性

Fig. 2.10 Leakage resistance-voltage characteristic curves of "Coil A".

算のもとになる数値が少し変わると、得られる結果は相当にことなり、とくに式 (2.8) の 3.16 分目、式 (2.11) の 4.47 分目などの読みの値の変動が計算結果に非常に影響するので、適用に際して細かい注意が必要である。図 2.10 は A コイルの漏洩抵抗—電圧特性を、形紙方式から求めたものと、式 (2.8) および式 (2.12) から求めたものとを比較して示したもので、Johnson の方式は形紙方式にくらべ、分散が大きいことを示している。形紙方式では、漏洩比が約 50% 以下のときはその値が 5% 程度、また漏洩比が大きい時には、約 2% 程度の誤差はまぬかれないようであるが、実用上はさしつかえない程度であり、漏洩電流の分離は形紙方式によるほうが実用上すぐれている。

(以下次号)



# IBM-650 形電子計算機による電力線事故時の通信線 誘導電圧発生確率の計算 (II) (湯瀬系電力線の場合)

本 社 迎 久 雄\*

## Calculation with Type IBM-650 Electronic Computer on Probability of Inductive Voltage Generation on Communication Lines during Power Line Faults

Head Office Hisao MUKAE

Following the previous issue, the writer resumes to describe the method of calculating the probability of induced voltages occurrence on communication lines. Analysis is made on communication lines of the Telegraph and Telephone Corporation and of the Japanese National Railways with many tables containing exhaustive data. In this article the case of Yuze power line system has been concluded with satisfactory results and necessary expenses to be incurred in the calculation.

表 10.1 湯瀬系電力線の故障により電電公社通信線に発生する誘導電圧 [系統状態 (I) 小又川系 52 kV 直接接地と湯瀬系 30 kV 非接地の連けいの場合]

### 10. IBM-650 による誘導電圧計算結果

湯瀬系電力線地絡事故時の誘導電圧が問題となるのは、電電公社通信線および国鉄通信線である。

すなわち、誘導電圧計算は、

#### (1) 湯瀬系電電公社通信線

{ 湯瀬系 系統状態 (1) の場合  
   "       "       (2)   "  
   "       "       (3)   "

#### (2) 国鉄通信線

{ 湯瀬系 系統状態 (1) の場合  
   "       "       (2)   "  
   "       "       (3)   "

の 6 ケースについて、IBM-650 によって行なった。誘導電圧計算結果を、誘導電圧の大きさ順に並べかえ、直接接地系では、一線地絡は 1 ケース 209 回、二線地絡は 1 ケース 1 回起るものとし、非接地系では、一線地絡は 1 ケース 154 回、二線地絡は 1 ケース 6 回起るものとして、総計 2,420 回として確率計算を目的として整理し直した結果を表 10.1~10.6 に示す。

表 10.1~10.3 は電電公社通信線に発生する誘導電圧。

表 10.4~10.6 は国鉄通信線に発生する誘導電圧である。

### 11. 誘導電圧発生確率の解析

10 章の誘導電圧計算結果から、誘導電圧の発生確率を解析しよう。

電圧順 累計	地絡番号	系統 状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統 状態	地絡確率	誘導電圧 (V)
1	123	1	001	528	897	054	1	001	243
2	032	1	001	524	898	024	1	001	241
3	124	1	001	509	899	033	1	001	240
4	042	1	001	504	900	035	1	001	240
					901	023	1	001	238
5	125	1	001	475	902	013	1	001	237
6	052	1	001	474	903	065	1	001	234
7	113	1	001	465	904	044	1	001	230
8	031	1	001	460	905	092	1	001	230
					906	034	1	001	228
9	114	1	001	443	907	046	1	001	228
10	041	1	001	440	908	055	1	001	224
11	030	1	001	430	909	102	1	001	224
12	103	1	001	418	910	014	1	001	222
13	093	1	001	409	911	129	1	001	222
14	115	1	001	409	912	112	1	001	219
15	051	1	001	407	913	130	1	001	216
16	029	1	001	404	914	131	1	001	212
17	104	1	001	400	915	070	1	001	209
					916	045	1	001	208
18	083	1	001	399	917	107	1	001	208
19	040	1	001	397	918	022	1	001	207
20	028	1	001	395	919	122	1	001	203
21	126	1	001	394					
22	062	1	001	392	920	069	1	001	193
23	094	1	001	388	921	097	1	001	193
24	039	1	001	384	922	132	1	001	193
25	084	1	001	379	923	081	1	001	186
26	038	1	001	371	1132	010	1	209	185
27	105	1	001	365	1133	076	1	001	184
28	050	1	001	361	1134	118	1	001	183
29	095	1	001	351	1135	087	1	001	181
					1136	057	1	001	180
30	049	1	001	349	1345	004	1	209	180
31	085	1	001	342	1346	068	1	001	179
32	072	1	001	338	1347	015	1	001	156
33	048	1	001	335	1348	091	1	001	156
34	073	1	001	335	1349	119	1	001	154
35	127	1	001	330	1350	021	1	001	153
36	027	1	001	328	1351	101	1	001	152
37	116	1	001	324					
38	061	1	001	322	1352	120	1	001	148
247	001	1	209	320	1353	111	1	001	147
248	074	1	001	310	1354	066	1	001	146
249	037	1	001	305	1355	121	1	001	144
458	002	1	209	303	1356	056	1	001	143
					1357	080	1	001	133
459	063	1	001	290	1566	009	1	209	131
460	026	1	001	282	1567	108	1	001	128
461	106	1	001	277	1568	079	1	001	116
462	060	1	001	274	1569	098	1	001	114
463	075	1	001	274	1778	008	1	209	114
464	047	1	001	269	1779	020	1	001	111
465	064	1	001	267	1780	090	1	001	110
466	071	1	001	267	1781	109	1	001	109
675	003	1	209	267	1782	100	1	001	108
676	096	1	001	264	1783	077	1	001	107
677	036	1	001	263	1784	110	1	001	107
678	082	1	001	263	1993	005	1	209	105
679	053	1	001	261	1994	067	1	001	103
680	059	1	001	260	1995	019	1	001	101
681	025	1	001	259	1996	078	1	001	100
682	117	1	001	259	1997	099	1	001	098
891	011	1	209	258	1998	016	1	001	098
892	128	1	001	256	1999	089	1	001	098
893	086	1	001	252	2208	007	1	209	098
					2209	088	1	001	097
894	058	1	001	248	2210	018	1	001	092
895	012	1	001	245	2211	017	1	001	090
896	043	1	001	243	2420	006	1	209	090

\* 重電技術部



表 10.2 湯瀬系電力線の故障により、電電公社通信線に発生する誘導電圧  
〔系統状態 (II) 小又川系 30 kV 非接地と湯瀬系 30 kV 非接地の連けいの場合〕

電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)
0006	123	2	006	00528	0270	060	2	006	00282	0534	101	2	006	00109
0012	032	2	006	00528	0276	106	2	006	00282	0540	120	2	006	00109
0018	042	2	006	00512	0282	071	2	006	00280	0546	024	2	006	00108
0024	124	2	006	00512	0288	117	2	006	00280	0552	043	2	006	00106
					0294	075	2	006	00279	0558	067	2	006	00101
0030	052	2	006	00486	0300	047	2	006	00279	0564	077	2	006	00101
0036	125	2	006	00486	0306	096	2	006	00264					
0042	031	2	006	00460	0312	059	2	006	00263					
0048	113	2	006	00460	0318	086	2	006	00257	0570	088	2	006	00096
					0324	058	2	006	00257	0576	078	2	006	00096
0054	041	2	006	00439						0582	066	2	006	00086
0060	114	2	006	00439	0330	036	2	006	00242	0588	056	2	006	00085
0066	030	2	006	00424	0336	064	2	006	00242	0594	111	2	006	00079
0072	062	2	006	00421	0342	092	2	006	00234	0600	121	2	006	00079
0078	126	2	006	00421	0348	129	2	006	00234	0606	034	2	006	00061
0084	083	2	006	00419	0354	118	2	006	00215	0612	044	2	006	00061
0090	028	2	006	00419	0360	070	2	006	00215	0618	090	2	006	00061
0096	029	2	006	00416	0366	107	2	006	00215	0624	109	2	006	00059
0102	103	2	006	00414	0372	130	2	006	00215	0630	023	2	006	00050
0108	051	2	006	00407	0378	025	2	006	00212	0636	033	2	006	00050
0114	115	2	006	00407	0384	081	2	006	00210					
0120	093	2	006	00406	0390	102	2	006	00209	0642	110	2	006	00032
					0396	053	2	006	00208	0648	100	2	006	00032
0126	040	2	006	00399	0402	097	2	006	00202	0654	089	2	006	00030
0132	104	2	006	00399						0660	099	2	006	00030
0138	039	2	006	00388						0642	099	2	006	00030
0144	094	2	006	00388	0408	069	2	006	00198	0648	001	2	154	00000
0150	084	2	006	00388	0414	065	2	006	00193	0654	002	2	154	00000
0156	038	2	006	00388	0420	046	2	006	00192	0660	003	2	154	00000
0162	072	2	006	00371	0426	068	2	006	00188	0666	004	2	154	00000
0168	127	2	006	00371	0432	112	2	006	00186	0672	005	2	154	00000
0174	050	2	006	00362	0438	131	2	006	00186	0678	006	2	154	00000
0180	027	2	006	00359	0444	087	2	006	00184	0684	007	2	154	00000
0186	073	2	006	00359	0450	057	2	006	00180	0690	008	2	154	00000
0192	105	2	006	00353	0456	076	2	006	00180	0696	009	2	154	00000
					0462	035	2	006	00169	0702	010	2	154	00000
0198	095	2	006	00349	0468	054	2	006	00169	0708	011	2	154	00000
0204	049	2	006	00348						0714	012	2	006	00000
0210	085	2	006	00344	0474	080	2	006	00143	0720	013	2	006	00000
0216	048	2	006	00343	0480	108	2	006	00143	0726	014	2	006	00000
0222	061	2	006	00335	0486	091	2	006	00136	0732	015	2	006	00000
0228	116	2	006	00335	0492	119	2	006	00136	0738	016	2	006	00000
0234	037	2	006	00323	0498	079	2	006	00118	0744	017	2	006	00000
0240	074	2	006	00323	0504	098	2	006	00118	0750	018	2	006	00000
0246	082	2	006	00308	0510	055	2	006	00114	0756	019	2	006	00000
0252	128	2	006	00308	0516	045	2	006	00114	0762	020	2	006	00000
					0522	122	2	006	00110	0768	021	2	006	00000
0258	063	2	006	00282	0528	132	2	006	00110	0774	022	2	006	00000
0264	026	2	006	00282										

表 10.3 湯瀬系電力線の故障により、電電公社通信線に発生する誘導電圧  
〔系統状態 (III) 小又川系 52 kV 直接接地と湯瀬系 52 kV 直接接地の連けいの場合〕

電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)
0001 0002 0003	125	3	001	00358	0253	084	3	001	00221	0921	106	3	001	00163
	042	3	001	00357	0254	038	3	001	00221	0922	099	3	001	00162
	123	3	001	00350	0463	001	3	209	00221	0923	089	3	001	00162
					0464	024	3	001	00220	1132	003	3	209	00162
0004 0005 0006 0007	032	3	001	00347	0673	010	3	209	00216	1133	018	3	001	00161
	124	3	001	00343	0674	116	3	001	00215	1134	060	3	001	00160
	022	3	001	00320	0675	105	3	001	00214	1135	036	3	001	00160
	052	3	001	00316	0676	050	3	001	00211	1344	009	3	209	00156
					0677	119	3	001	00209	1345	096	3	001	00156
					0678	061	3	001	00209	1346	045	3	001	00155
					0679	027	3	001	00208	1347	075	3	001	00154
					0680	091	3	001	00208	1348	046	3	001	00150
0216 0217 0218 0219	011	3	209	00298	0681	044	3	001	00206	1349	055	3	001	00150
	126	3	001	00292	0682	049	3	001	00206					
	113	3	001	00289	0683	121	3	001	00205	1350	059	3	001	00148
	031	3	001	00286	0684	120	3	001	00204	1351	086	3	001	00148
0220 0221 0222 0223	062	3	001	00279	0685	073	3	001	00204	1352	107	3	001	00146
	132	3	001	00277	0686	101	3	001	00203	1353	108	3	001	00146
	127	3	001	00276	0687	111	3	001	00203	1354	080	3	001	00145
	128	3	001	00275	0688	095	3	001	00202	1355	065	3	001	00145
0224 0225 0226 0227	114	3	001	00275						1564	008	3	209	00143
	041	3	001	00274						1565	058	3	001	00141
	129	3	001	00273	0689	118	3	001	00198	1566	098	3	001	00140
	092	3	001	00273	0690	117	3	001	00198	1567	070	3	001	00138
0228 0229 0230 0231	122	3	001	00271	0691	063	3	001	00198	1568	097	3	001	00138
	131	3	001	00270	0692	053	3	001	00198	1569	079	3	001	00134
	072	3	001	00265	0693	034	3	001	00197	1778	007	3	209	00134
	102	3	001	00263	0902	002	3	209	00196	1779	088	3	001	00133
0232 0233 0234 0235	082	3	001	00263	0903	085	3	001	00196	1780	076	3	001	00129
	112	3	001	00258	0904	026	3	001	00196	1781	069	3	001	00128
	130	3	001	00256	0905	025	3	001	00195	1782	078	3	001	00128
	012	3	001	00256	0906	014	3	001	00195	1783	087	3	001	00128
0236 0237 0238 0239	115	3	001	00255										
					0907	081	3	001	00194	1784	015	3	001	00095
	030	3	001	00248	0908	071	3	001	00189	1785	057	3	001	00082
	051	3	001	00248	0909	074	3	001	00186	1786	068	3	001	00081
0240 0241 0242 0243	029	3	001	00246	0910	037	3	001	00184	1787	103	3	001	00081
	093	3	001	00241	0911	054	3	001	00181	1996	004	3	209	00078
	108	3	001	00237	0912	064	3	001	00177	1997	017	3	001	00075
	024	3	001	00236	0913	020	3	001	00177	1998	056	3	001	00073
0244 0245 0246 0247	083	3	001	00236	0914	035	3	001	00173	1999	077	3	001	00061
	040	3	001	00235	0915	100	3	001	00170	2208	006	3	209	00057
	021	3	001	00233	0916	090	3	001	00170	2209	067	3	001	00050
	013	3	001	00231										
0248 0249 0250 0251	023	3	001	00227	0917	019	3	001	00167	2210	016	3	001	00032
	048	3	001	00226	0918	109	3	001	00166	2211	005	3	001	00021
	094	3	001	00226	0919	110	3	001	00165	2420	005	3	209	00019
	039	3	001	00225	0920	047	3	001	00163					
0252	043	3	001	00225										
	033	3	001	00224										



表 10.4 湯瀬系電力線の故障により、国鉄通信線に発生する誘導電圧  
〔系統状態 (I) 小又川系 52 kV 直接接地と湯瀬系 30 kV 非接地の連けいの場合〕

電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	
1	042	1	001	0488	461 462 463 464 465 466 467 468 677	061 116 025 053 072 127 047 075 003	1 1 1 1 1 1 1 1 1	001 001 001 001 001 001 001 001 209	0269 0269 0266 0266 0262 0262 0253 0253 0251	1129	119	1	001	0161	
2	124	1	001	0488						1130	058	1	001	0156	
3	032	1	001	0485						1131	086	1	001	0156	
4	123	1	001	0485						1132	101	1	001	0154	
5	041 114 031 113 052 125	1 1 1 1 1 1	001 001 001 001 001 001	0438 0438 0435 0435 0427 0427						1133	120	1	001	0154	
										1134	111	1	001	0147	
											1135	121	1	001	0147
											1136	021	1	001	0143
											1137	057	1	001	0134
											1138	076	1	001	0134
6	051 115 040 104 030 103 039 094 029 093	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	001 001 001 001 001 001 001 001 001 001	0375 0375 0367 0367 0363 0363 0355 0355 0351 0351	1347	004	1	209	0117						
					1348	056	1	001	0117						
					1349	068	1	001	0116						
					1350	015	1	001	0110						
					1351	070	1	001	0110						
					1352	107	1	001	0110						
					7	038 084 028 083 062 126 037 074 027 073 002 001 036 064 026 063 050 105	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	001 001 001 001 001 001 001 001 001 001 209 209 001 001 001 001 001	0341 0341 0336 0336 0326 0326 0320 0320 0315 0315 0315 0308 0307 0307 0302 0302 0302 0302 0302	1353	069	1	001	0093	
										1354	097	1	001	0093	
										1563	009	1	209	0078	
										1564	080	1	001	0077	
1565	108	1	001	0077											
1566	068	1	001	0072											
1567	087	1	001	0066											
1568	090	1	001	0066											
1569	109	1	001	0066											
1570	020	1	001	0064											
8	049 085 048 085 035 054	1 1 1 1 1 1	001 001 001 001 001 001	0289 0289 0274 0274 0271 0271	1571	100	1	001	0064						
					1572	110	1	001	0064						
					1781	008	1	209	0060						
					1782	079	1	001	0059						
					1783	098	1	001	0059						
					1784	019	1	001	0053						
					1785	089	1	001	0050						
					1786	099	1	001	0050						
					9	049 085 048 085 035 054	1 1 1 1 1 1	001 001 001 001 001 001	0289 0289 0274 0274 0271 0271	1995	005	1	209	0047	
										1996	067	1	001	0047	
1997	077	1	001	0047											
1998	016	1	001	0044											
2207	007	1	209	0036											
2208	078	1	001	0036											
2209	088	1	001	0036											
2210	018	1	001	0034											
2419	006	1	209	0000											
2420	017	1	001	0000											

表 10.5 湯瀬系電力線の故障により、国鉄通信線に発生する誘導電圧  
〔系統状態 (II) 小又川系 30 kV 非接地と湯瀬系 30 kV 非接地の連けいの場合〕

電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確立	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)
6	042	2	006	0486	270	048	2	006	0269	534	056	2	006	0091
12	124	2	006	0486	276	085	2	006	0269	540	066	2	006	0091
18	032	2	006	0486	282	047	2	006	0256	546	122	2	006	0090
24	123	2	006	0486	288	075	2	006	0256	552	132	2	006	0090
										558	080	2	006	0083
30	052	2	006	0434	294	092	2	006	0244	564	108	2	006	0083
36	125	2	006	0434	300	129	2	006	0244	570	068	2	006	0074
42	031	2	006	0430	306	025	2	006	0233	576	087	2	006	0074
48	113	2	006	0430	312	053	2	006	0233	582	079	2	006	0061
54	041	2	006	0429	318	035	2	006	0225	588	098	2	006	0061
60	114	2	006	0429	324	054	2	006	0225	594	090	2	006	0053
					330	046	2	006	0222	600	109	2	006	0053
66	051	2	006	0373	336	065	2	006	0222					
72	115	2	006	0373	342	102	2	006	0222	606	067	2	006	0044
78	062	2	006	0350	348	130	2	006	0222	612	077	2	006	0044
84	126	2	006	0350	354	071	2	006	0220	618	078	2	006	0034
					360	117	2	006	0220	624	088	2	006	0034
										630	089	2	006	0028
90	030	2	006	0348					0199	636	099	2	006	0028
96	103	2	006	0348	366	131	2	006	0192	642	100	2	006	0027
102	029	2	006	0346	372	081	2	006	0192	648	110	2	006	0027
108	093	2	006	0346	378	118	2	006	0192	654	023	2	006	0015
114	040	2	006	0346	384	060	2	006	0184	660	033	2	006	0015
120	104	2	006	0346	390	106	2	006	0184	814	001	2	154	0000
126	028	2	006	0343	396	059	2	006	0170	968	002	2	154	0000
132	083	2	006	0343	402	096	2	006	0170	1122	003	2	154	0000
138	039	2	006	0343	408	091	2	006	0165	1276	004	2	154	0000
144	094	2	006	0343	414	119	2	006	0165	1430	005	2	154	0000
150	038	2	006	0340	420	058	2	006	0153	1584	006	2	154	0000
156	084	2	006	0340	426	086	2	006	0153	1738	007	2	154	0000
162	027	2	006	0336						1892	008	2	154	0000
168	073	2	006	0336	432	101	2	006	0140	2046	009	2	154	0000
174	037	2	006	0333	438	120	2	006	0140	2200	010	2	154	0000
180	074	2	006	0333	444	045	2	006	0139	2354	011	2	154	0000
186	026	2	006	0308	450	055	2	006	0139	2360	012	2	006	0000
192	063	2	006	0308	456	057	2	006	0131	2366	013	2	006	0000
198	036	2	006	0303	462	076	2	006	0131	2372	014	2	006	0000
204	064	2	006	0303	468	070	2	006	0116	2378	015	2	006	0000
					474	107	2	006	0116	2384	016	2	006	0000
210	072	2	006	0294	480	111	2	006	0116	2390	017	2	006	0000
216	127	2	006	0294	486	121	2	006	0116	2396	018	2	006	0000
222	050	2	006	0284	492	024	2	006	0106	2402	019	2	006	0000
228	105	2	006	0284	498	043	2	006	0106	2408	020	2	006	0000
234	061	2	006	0281						2414	021	2	006	0000
240	116	2	006	0281	504	112	2	006	0099	2420	022	2	006	0000
246	049	2	006	0277	510	069	2	006	0097					
252	095	2	006	0277	516	097	2	006	0097					
258	082	2	006	0269	522	034	2	006	0094					
264	128	2	006	0269	528	044	2	006	0094					



表 10.6 湯瀬系電力線の故障により、国鉄通信線に発生する誘導電圧  
〔系統状態 (III) 小又川系 52 kV 直接接地と湯瀬系 52 kV 直接接地の連けいの場合〕

電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)	電圧順 累計	地絡番号	系統状態	地絡確率	誘導電圧 (V)
1	042	3	001	0346	253	043	3	001	0220	1129	045	3	001	0136
2	124	3	001	0346	254	038	3	001	0219	1130	055	3	001	0136
3	032	3	001	0342	255	084	3	001	0219	1131	020	3	001	0118
4	123	3	001	0342	256	028	3	001	0215	1132	100	3	001	0116
5	052	3	001	0308	257	083	3	001	0215	1133	110	3	001	0116
6	125	3	001	0308	258	037	3	001	0211	1134	090	3	001	0113
					259	074	3	001	0211	1135	109	3	001	0113
					468	002	3	209	0210	1136	080	3	001	0109
7	022	3	001	0294	469	027	3	001	0207	1137	108	3	001	0109
8	041	3	001	0292	470	073	3	001	0207	1138	060	3	001	0108
9	114	3	001	0292	679	001	3	209	0206	1139	106	3	001	0108
10	031	3	001	0289	680	036	3	001	0206	1140	019	3	001	0107
11	113	3	001	0289	681	064	3	001	0206	1349	009	3	209	0105
220	011	3	209	0276	890	010	3	209	0204	1350	089	3	001	0104
221	122	3	001	0270	891	026	3	001	0202	1351	099	3	001	0104
222	132	3	001	0270	892	063	3	001	0202	1352	070	3	001	0101
223	062	3	001	0267	893	061	3	001	0200	1353	107	3	001	0101
224	126	3	001	0267	894	116	3	001	0200					
225	082	3	001	0261										
226	128	3	001	0261						1354	079	3	001	0099
227	072	3	001	0260	895	035	3	001	0199	1355	098	3	001	0099
228	127	3	001	0260	896	054	3	001	0199	1356	059	3	001	0086
229	092	3	001	0259	897	081	3	001	0196	1357	096	3	001	0086
230	129	3	001	0259	898	118	3	001	0196	1358	018	3	001	0085
231	102	3	001	0256	899	025	3	001	0195	1567	008	3	209	0082
232	130	3	001	0256	900	053	3	001	0195	1568	069	3	001	0080
233	112	3	001	0253	901	091	3	001	0195	1569	097	3	001	0080
234	131	3	001	0253	902	119	3	001	0195	1570	078	3	001	0089
235	023	3	001	0250	903	071	3	001	0193	1571	088	3	001	0089
236	033	3	001	0250	904	117	3	001	0193	1572	058	3	001	0084
					905	101	3	001	0193	1573	086	3	001	0084
					906	120	3	001	0193	1574	068	3	001	0078
237	013	3	001	0249	907	111	3	001	0191	1575	087	3	001	0078
238	051	3	001	0248	908	121	3	001	0191	1784	007	3	209	0077
239	115	3	001	0248	909	050	3	001	0177	1785	017	3	001	0075
240	012	3	001	0242	910	105	3	001	0177	1786	057	3	001	0068
241	040	3	001	0233	911	014	3	001	0173	1787	076	3	001	0066
242	104	3	001	0233	912	049	3	001	0169	1788	067	3	001	0061
243	030	3	001	0229	913	095	3	001	0169	1789	077	3	001	0061
244	103	3	001	0229	914	048	3	001	0161	1998	006	3	209	0057
245	039	3	001	0226	915	085	3	001	0161					
246	094	3	001	0226	916	047	3	001	0151					
247	021	3	001	0223	917	075	3	001	0151					
248	029	3	001	0222						1999	056	3	001	0048
249	093	3	001	0222						2000	066	3	001	0048
250	034	3	001	0221						2001	015	3	001	0043
251	044	3	001	0221	918	046	3	001	0144	2002	016	3	001	0040
252	024	3	001	0220	919	065	3	001	0144	2211	004	3	209	0035
					1128	003	3	209	0144	2420	005	3	209	0031

架空線のない毛馬内—湯瀬間のような送電線に生ずる地絡事故は、過去の統計からだいたい1年に1 km あたり1回 (1回/km/年) 程度と考えられている。毛馬内—湯瀬間電力線のこう長は、約 25 km あるから、この系統の地絡事故は、年間 25 回発生すると考える。表 10.1 ~ 10.6 の、事故の総件数 2,420 回が、この系統の何年間の事故に相当するかと考えると、年間 25 回として、

$$2,420 \text{ 回} / 25 \text{ 回/年} \approx 97 \text{ 年}$$

約 97 年間の事故総計に相当する。

### 11.1 電電公社通信線の場合

系統状態 (I) 現在の系統である小又川系 52 kV 直接接地と湯瀬系 30 kV 非接地の連けいの場合には、誘導電圧の最高値である 528 V は約 97 年に 1 度発生する可能性があると考えてよい。

系統状態 (II) 小又川系 30 kV 非接地と湯瀬系 30 kV 非接地の連けいの場合には、最高電圧は 528 V であり、これは 12 回発生するから、結局非接地系の場合は、最高 528 V の誘導電圧が約 8 年に 1 回発生する可能性があると考えてよい。

一方、系統状態 (III) 小又川系 52 kV 直接接地、湯瀬系 52 kV 直接接地の連けいの場合には、最高電圧は

358 V であり、これは 1 回であるから、結局、直接接地系になると、最高誘導電圧は 358 V となり、約 97 年に 1 回発生する可能性があると考えてよい。

300 V 以上の電圧が何回出ているかを見ると、系統状態 (I) の場合には、300 V 以上の電圧は 458 回発生しているから、

$$458 \text{ 回} / 2,420 \text{ 回} \approx 1 \text{ 回} / 5 \text{ 回}$$

5 回に 1 回は 300 V をこすということになる。

1 年間の事故回数を 25 回として、

$$1 \text{ 回} / 5 \text{ 回} = 5 \text{ 回} / 25 \text{ 回} = 5 \text{ 回} / 1 \text{ 年}$$

年に 5 回は 300 V 以上の誘導電圧が発生することになる。

系統状態 (II) の非接地系の場合には、252 回であるから、

$$252 \text{ 回} / 2,420 \text{ 回} \approx 1 \text{ 回} / 10 \text{ 回}$$

約 10 年に 1 回は 300 V をこす。すなわち 1 年に 2 ~ 3 回は 300 V 以上の誘導電圧が発生することになる。

系統状態 (III) の直接接地系の場合には、7 回であるから

$$7 \text{ 回} / 2,420 \text{ 回} \approx 1 \text{ 回} / 346 \text{ 回}$$

約 346 回に 1 回 300 V をこす。すなわち、300 V 以上の電圧が発生するのは、約 14 年に 1 回ということになる。

このように、非接地系と直接接地系とを比較すると、最



高電圧は直接接地すると非接地の場合の  $358/528 \approx 0.68$ , すなわち, 約7割に下り, かつ 300 V 以上の電圧の発生回数も 252 回から, 7 回と, 激減している。

## 11.2 国鉄通信線の場合

系統状態 (I) 小又川系 52 kV 直接接地, 湯瀬系 30 kV 非接地の連けいの場合には, 誘導電圧の最高値は 488 V であり, 2,420 回のうち 2 回発生している。

系統状態 (II) 小又川系 30 kV 非接地, 湯瀬系 30 kV 非接地の連けいの場合には, 最高電圧は 486 V であり, 2,420 回のうち 24 回発生している。

系統状態 (III) 小又川系 52 kV 直接接地, 湯瀬系 52 kV 直接接地の連けいの場合には, 最高電圧は 346 V であり 2,420 回のうち 2 回発生している。

これらの最高電圧は, いずれも異相地絡の結果によるものである。

一線地絡により生ずる最高電圧は,

系統状態 (I) の場合は 315 V

系統状態 (II) の場合は 0 V (充電電流を無視しているため)

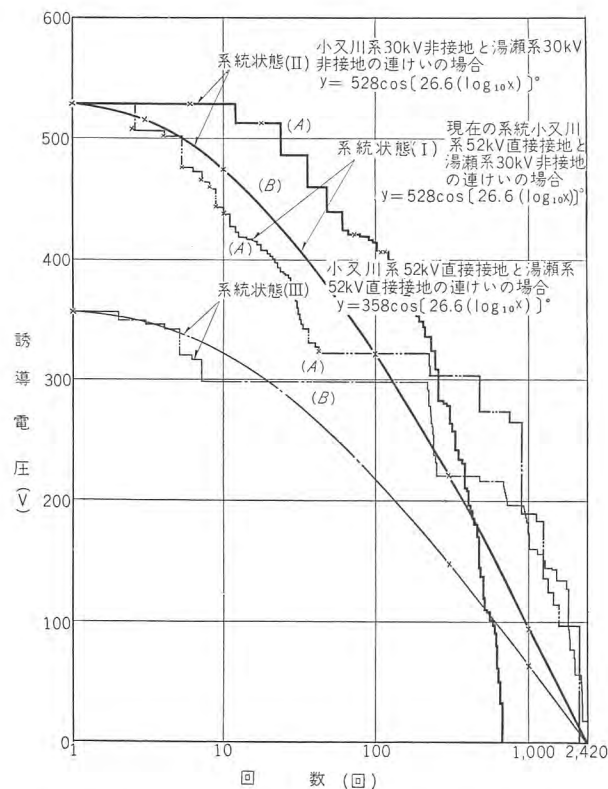


図 11.1 (A) 毛馬内一花輪一湯瀬間電力線接地事故により電電公社通信線に生ずる 97 年間に起りうる誘導電圧 (B) 近似式  $y = A \cos [26.6 (\log_{10} x)]$  を用いて表わした誘導電圧分布曲線

Fig. 11.1 (A) Induced voltages generated on communication lines on account of ground faults on power line. (B) Induced voltage distribution curves as a result of calculation by approximate equation.

系統状態 (III) の場合は 276 V

となっている。

300 V 以上の誘導電圧が発生する回数は,

系統状態 (I) の場合は, 2,420 回のうち, 454 回であるから, 約5回に1回は 300 V をこす。すなわち, 年に 5 回は 300 V 以上の誘導電圧が発生することになる。

系統状態 (II) の場合は, 2,420 回のうち, 204 回であるから, 約11回に1回は 300 V をこす。すなわち, 年に 2~3 回は 300 V 以上の誘導電圧が発生することになる。

系統状態 (III) の場合は, 2,420 回のうち, 6 回であるから, 403 回に1回 300 V をこすことになり, すなわち, 300 V をこすのは, 約16年に1回ということになる。

## 11.3 誘導電圧発生確率の図示

毛馬内一花輪一湯瀬間電力線地絡事故により, 通信線に生ずる, 97 年間に起りうる誘導電圧を図示すると, 図 11.1 (A) および図 11.2 (A) のようになる。

これら (A) 曲線の近似式として, 余弦曲線の式を採用すると,

$$y = A \cos \left( 90^\circ \times \frac{\log_{10} x}{\log_{10} 2,420} \right)$$

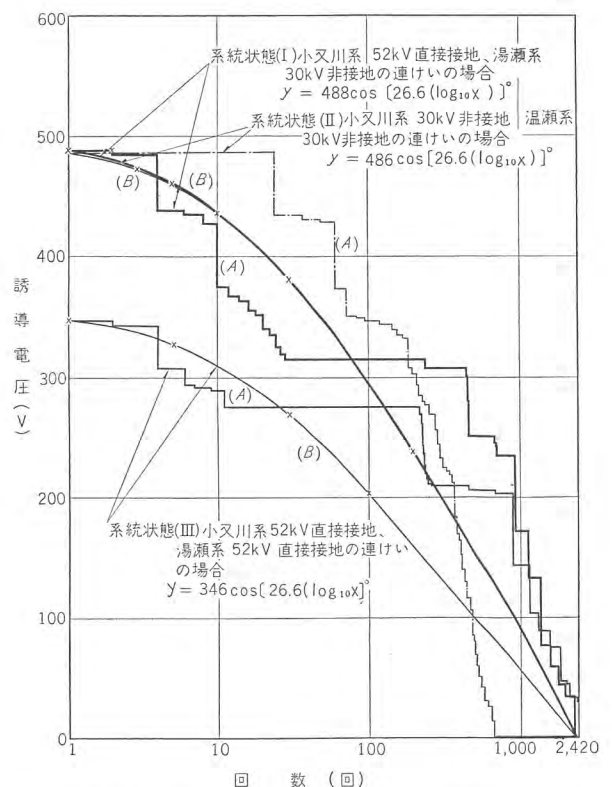


図 11.2 (A) 湯瀬系電力線の故障により国鉄通信線に生ずる 97 年間に起りうる誘導電圧 (B) 近似式  $y = A \cos [26.6 (\log_{10} x)]$  を用いて表わした誘導電圧分布曲線

Fig. 11.2 (A) Induced voltage liable to be generated in 97 years on communication lines by power line fault. (B) Induced voltage distribution curves as a result of calculation by approximate equation.



$$= A \cos \left( 90^\circ \times \frac{\log_{10} x}{3.38} \right) = A \cos [26.6 (\log_{10} x)]^\circ \quad \dots\dots\dots (11.1)$$

電電公社通信線においては、

系統状態 (I) および系統状態 (II) に対しては

$$x=1 \text{ の時 } y=528 \therefore A=528$$

$$\text{よって } y=528 \cos [26.6 (\log_{10} x)]^\circ \quad \dots\dots\dots (11.2)$$

系統状態 (III) に対しては

$$x=1 \text{ の時 } y=358 \therefore A=358$$

$$\text{よって } y=358 \cos [26.6 (\log_{10} x)]^\circ \quad \dots\dots\dots (11.3)$$

同様に、国鉄通信線に対しては、

系統状態 (I) に対しては、

$$y=488 \cos [26.6 (\log_{10} x)]^\circ \quad \dots\dots\dots (11.4)$$

系統状態 (II) に対しては、

$$x=486 \cos [26.6 (\log_{10} x)]^\circ \quad \dots\dots\dots (11.5)$$

系統状態 (III) に対しては、

$$y=346 \cos [26.6 (\log_{10} x)]^\circ \quad \dots\dots\dots (11.6)$$

以上式 (11.2)～(11.6) が得られ、これらを図示すれば、図 11.1 (B) および図 11.2 (B) のように表わせる。

式(11.1)の中の定数(26.6)は事故総数を2,420とする限り一定であって、また定数Aは、誘導電圧の最高値を表わしているから、式(11.1)は今後同様な計算を行った場合の近似式として使用するのに都合がよい。

一方、毛馬内一花輪一湯瀬間の電力線に地絡事故が起った場合、通信線に発生しやすい誘導電圧の分布をしらべるために、表 10.1～10.6 より誘導電圧 50 V 刻みに誘導電圧の大きさに対する発生ひん度の分布をとってみると、図 11.3 および図 11.4 のようになる。

#### 11.4 電力線接地方式の差異による通信線誘導電圧発生確率の相違の比較

誘導電圧計算結果を解析した結果、表 11.1 のようなデータが得られた。

表 11.1 湯瀬系電力線地絡事故時の誘導電圧発生確率解析結果

通 信 線	系統状態	誘導電圧 最高値	650 V 以上	430 V 以上	300 V 以上	一線地絡 の最高値	二線地絡 の最高値	異相地絡 の最高値
		最高 値(V)	非接 地に 対す る (%)	全件 数に 対す る (%)	全件 数に 対す る (%)	最高 値	地絡位置	最高 値
電 電 公 社 通 信 線	系統状態(1) (現 状)	528	99.5	0	0	11	0.4	458 18.9
	系統状態(2) (非 接 地)	528	100	0	0	60	2.48	252 10.4
	系統状態(3) (直 接 接 地)	358	70.7	0	0	0	0	7 0.3
国 鉄 通 信 線	系統状態(1) (現 状)	488	100.5	0	0	8	0.33	454 18.8
	系統状態(2) (非 接 地)	486	100	0	0	48	1.98	204 8.44
	系統状態(3) (直 接 接 地)	346	71.2	0	0	0	0	6 0.25

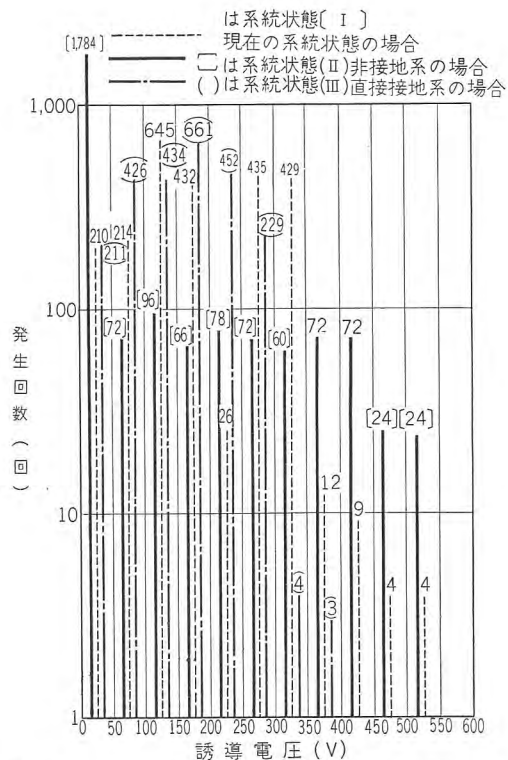


図 11.3 湯瀬系電力線の故障により、電電公社通信線に発生する誘導電圧の大きさと発生ひん度の関係  
Fig. 11.3 Relation between the magnitude of induced voltage and frequency of occurrence on communication lines.

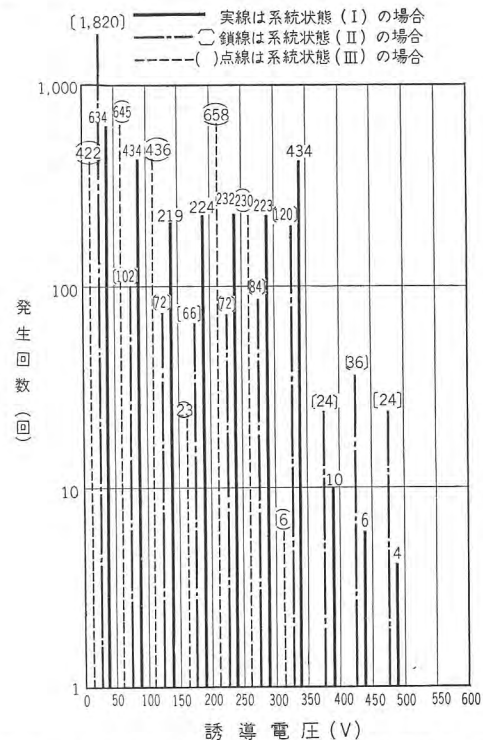


図 11.4 湯瀬系電力線の故障により、国鉄通信線に発生する誘導電圧の大きさと発生ひん度の関係  
Fig. 11.4 Relation between the magnitude of induced voltage and frequency of occurrence on communication lines.

表 11.1 より次のことがわかる。すなわち、  
(1) 誘導電圧の最高値は、 $\sqrt{3}$  倍昇圧して直接接地すれば従来の非接地系の場合よりも小さく



なる。湯瀬系の場合には、直接接地することにより非接地の場合の約7割に減少する。すなわち近似式において、係数  $A$  を、 $A_H$ =高インピーダンス接地の場合、 $A_L$ =直接接地系の場合とすれば、 $(A_L/A_H)_{\text{平均}}=0.72$  となる。

(2) 誘導電圧の最高値は異相地絡の結果生ずる場合がほとんどである。

(3) 誘導電圧は、対象となる通信線の両端付近で異相地絡を起した場合にもっとも高い電圧を発生する。しかし通信線が一部分きわめて送電線に接近している場合は、接近している部分の両端付近で異相地絡を起した場合に最高の誘導電圧が出ることがある。

(4) 300 V 以上の誘導電圧は、直接接地すれば非接地の場合に比べてその発生する機会が激減している。

つぎに、系統状態ごとに一線地絡、二線地絡および異相地絡による誘導電圧の大きさと発生ひん度の分布をとると、図 11.5～11.7 に示す一例のようになり、これは他のすべての場合に共通な傾向をもっている。

これによってみると、誘導電圧の最高部分はいずれも異相地絡の場合に発生し、ことに非接地系の場合にその傾向がいちじるしいことが明らかとなった。すなわち、図 11.5 では、誘導電圧の最高部分ばかり広範囲にわたっ

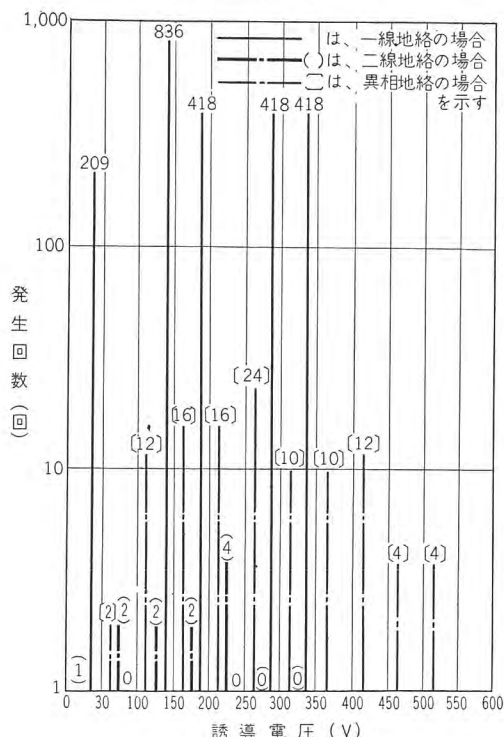


図 11.5 湯瀬系電電公社通信線における地絡状態による誘導電圧の大きさと発生ひん度の関係  
〔系統状態 (1) 湯瀬系 30 kV 非接地と小又川系 52 kV 直接接地の連けい〕

Fig. 11.5 Relation between the magnitude of induce voltage and frequency of occurrence communication lines by ground fault of power line.

IBM-650 形電子計算機による電力線事故時の通信線誘導電圧発生確率の計算 (II) (湯瀬系電力線の場合)・迎

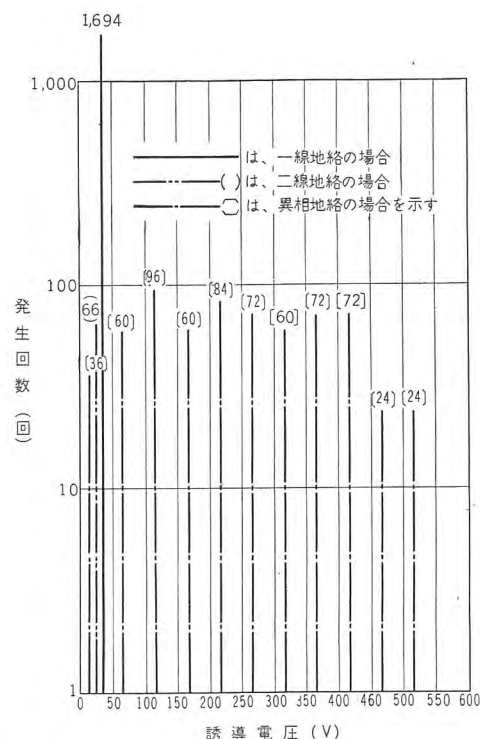


図 11.6 湯瀬系電電公社通信線における地絡状態による誘導電圧の大きさと発生ひん度の関係

〔系統状態 (2) 湯瀬系 30 kV 非接地と小又川系 30 kV 非接地の連けい〕

Fig. 11.6 Relation between the magnitude of induce voltage and frequency of occurrence communication lines by ground fault of power line.

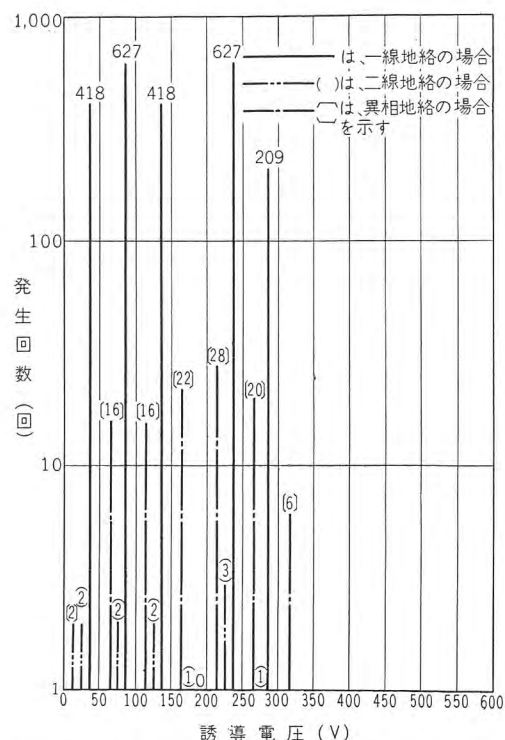


図 11.7 湯瀬系電電公社通信線における地絡状態による誘導電圧の大きさと発生ひん度の関係

〔系統状態 (3) 湯瀬系 52 kV 直接接地と小又川系 52 kV 直接接地の連けい〕

Fig. 11.7 Relation between the magnitude of induce voltage and frequency of occurrence communication lines by ground fault of power line.



て異相地絡により占められているが、図 11.1 では最高電圧部分は異相地絡ではあるがかなり一線地絡の場合に近づき、一線地絡、二線地絡および異相地絡の区別はなくなっている。

この場合、異相地絡の発生確率を同地点二線地絡の発生確率と等しくとったために、発生件数はかなり実際よりも大きくなっていると思われ、異相地絡の件数は実際にはこれよりはるかに少ないはずであるが、たとえ発生ひん度は小さくとも決してこの事故が皆無とはいえないことを考えれば、このような最高電圧部分を占める場合は必ず存在し、図 11.5～11.7 のこの部分の発生回数方向の高さは低くなることがあっても、誘導電圧方向の横の中は決して小さくはならないはずである。

この結果より見て、誘導電圧を問題とする以上異相地絡を無視することは根拠がなく、かつ危険であることが非常にはっきりとし、ことに送電系統で非有効接地系の場合には、これは非常に問題となるであろうことが明了となったように考えられる。

## 12. む す び

(1) 以上、三菱金属鉱業小又川系の直接接地昇圧の結果、東北電力湯瀬系の地絡事故によって通信線に生ずる誘導電圧を、IBM-650 形電子計算機によって零相電流分布より確率的に求め、解析した手順および結果をできるだけ詳細に説明した。

従来、誘導電圧の計算は、いろいろとめんどろな手順が多いため、一つの系統について、確率統計的に徹底的に解析した例は一つもなかった。せいぜい一線地絡 2, 3 カ所、それに二線地絡 1 ケースくらいの計算で、その系統の地絡事故による誘導電圧を推定していた程度である。官庁に対する届出の場合も、一線地絡の場合の誘導電圧だけが対象となっており、二線地絡、異相地絡の場合は考慮されていなかった。

しかし、これでは不十分であることは明らかなことであって、現にこの湯瀬系の場合の計算結果でも、現在の系統では一線地絡による最高電圧は 320 V であり、それ以上、最高 528 V までの 38 ケースは、いずれも異相地絡の結果生じたものである。

このように、ある系統の誘導電圧を問題とするには、一線地絡だけでなく二線地絡、異相地絡までも含めて、発生確率を論ずる程度まで解析することが必要である。

この計算方針を実現するため、本文中に述べてあるよ

うに系統を 10 区分し、故障点を 11 カ所として 132 ケースの地絡状態に対する誘導電圧を計算することを考え、筆算ではどうい短時間で計算することは不可能であるので、これを IBM-650 形電子計算機で行なわせることとしたが、きわめて満足すべき結果が得られ、ここに誘導電圧計算は、IBM-650 を使用して零相電流分布から、誘導電圧の発生確率まで計算できるようになったのである。

現在確立された誘導計算のためのプログラムは、系統を 10 区分し、故障点を 11 カ所とした場合のものであるから、これ以外の数の故障点のとり方の場合は、現在のプログラムにのらないが、系統を 10 区分する限り、いかなる系統の場合でも本文にのべた方式に従って、ただちに誘導電圧計算を行なうことができるわけである。

これまで、ある系統ができるたびに、誘導電圧が計算され、一線地絡に対する誘導電圧が 300 V をこえない場合、許可が下りていたわけであるが、同じ系統でも、系統が大きくなって、発電機単位が増えた場合には当然地絡電流も増加し、誘導電圧が 300 V をこえるようになる場合がありうるわけであるが、このような場合に対する検討は特別の場合は除いて行なわれておらず、また線路が延長された部分だけ 300 V 以下ならば OK であり、前の 300 V+後の 300 V=600 V ということに対する検討もあまり行なわれていない。

一線地絡だけを対象としているのも、片手落ちであり、非接地系の場合には、一線地絡が二線地絡に移行することが多く、二線地絡の場合はリレーの動作時間もおそくなり、長時間高い誘導電圧を出すことがあるのであって、現に数年ないし十数年に 1 回くらいの割合で、二線地絡によって電話回線にケーブル焼損、電話局焼失のような大事故を発生している事実があり、二線地絡の重要性もよく知られている。

したがって、現在も行なわれている誘導電圧の議論も、従来の系統に対してすべてここで行なった程度の発生確率まで求める誘導計算を行なった上でなされるべきものであろう。

(2) 一方、IBM-650 形電子計算機を用いて計算した、同一送電系統を非接地した場合と直接接地した場合の、系統の接地方式の差異による電力線地絡事故時の通信線誘導電圧発生確率の相違の比較検討結果も解析したが、比較の基準となった送電系統が、わずか 1 系統であるので、この結果が、すべての送電系統にそのまま当てはめ



られるかどうかは疑問の余地があるが、今回の計算結果から考えると、誘導電圧の問題に対しては送電系統を直接接地したほうが非接地の場合よりも有利になるのではないと思われる。

直接接地により送電線事故継続時間が短縮されることをあわせ考えると、送電系統は、いっそう積極的に直接接地方式を推進してよいのではないと思われる。

(3) 最後に、IBM-650 による計算手順をまとめ、計算に必要なデータおよび得られる結果、ならびに計算に要する費用について触れることにする。

#### a. 計算に必要なデータ

各地の電力会社の送配電線、自家用送電線の事故時における電電公社、鉄道関係などの通信線に対する誘導電圧発生確率の計算が、きわめて短時間で済むようになったので、ご希望があれば簡単に資料を作成することができ、その際計算に必要となるデータは次のようである。

### 電力線関係

- (1) 電力線の 名称
- (2) 電力線の 電圧
- (3) 電力線の こう長
- (4) 電力線の  $Z_1$ (kVAベースで%で表わす、以下同じ)  
 $Z_2$   
 $Z_0$
- (5) 電力線の 一端につながる系統の  $Z_1$   
一端につながる系統の  $Z_2$   
一端につながる系統の  $Z_0$
- (6) 電力線の 他端につながる系統の  $Z_1$   
 $Z_2$   
 $Z_0$
- (7) 電力線の 途中の分岐点につながる系統の  $Z_1$   
 $Z_2$   
 $Z_0$
- (8) 電力線の 途中の分岐点の位置

〔注〕現在の計算方式では分岐点は1カ所に限るので2カ所以上の時には等価的に1カ所に直した適当なインピーダンスで、適当な位置に入れる。

- (9) この送電線を10分割する。

この送電線の事故記録がある時は、事故数を平等にとり10分割の長さがそれぞれ異なってくる。この場合は事故の記録とそれぞれの長さを必要とする。事故記録のな

い場合は長さを10等分する。

(4) 項の  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_0$  を10分割した表を必要とする。

(8) 項の位置はこの分割した点のどれかとして番号で指定する。

(10) 2回線送電線、3回線送電線、4回線送電線などの場合は1回線のインピーダンスの値をとる。

計算近似のため2回線の時は、1回線のインピーダンス2本の並列として計算する。これだけの資料を基にして、一線地絡(LE)11、二線地絡(LLE)121、合計132の起誘導電流分布をIBM-650で求めるわけである。

高インピーダンス接地系は LE 70%, LLE 30%

直接接地系は, LE 95%, LLE 5%

と仮定すると、全体の故障回数 2,420 回として、

高インピーダンス接地系は、

$$\left. \begin{array}{l} \text{LE } 154 \times 11 = 1,694 \\ \text{LLE } 6 \times 121 = 726 \end{array} \right\} \text{計 } 2,420$$

直接接地系は、

$$\left. \begin{array}{l} \text{LE } 209 \times 11 = 2,299 \\ \text{LLE } 1 \times 121 = 121 \end{array} \right\} \text{計 } 2,420$$

となる。

架空線のない時は送電線事故は、1回/km/年であると仮定し、その送電線が20kmとすれば、 $2,420 \div 20 = 121$ 年分の事故を考えたことになるわけである。

架空線があれば1/20ないし1/50になるはずであるから、その状態もお知らせ願いたい。

- (11) 電力線所要データ

図12.1のようなデータを要する。

### 通信線関係

- (1) 通信線の名称。
- (2) 通信線と電力線の相互関係を示す地図と寸法。

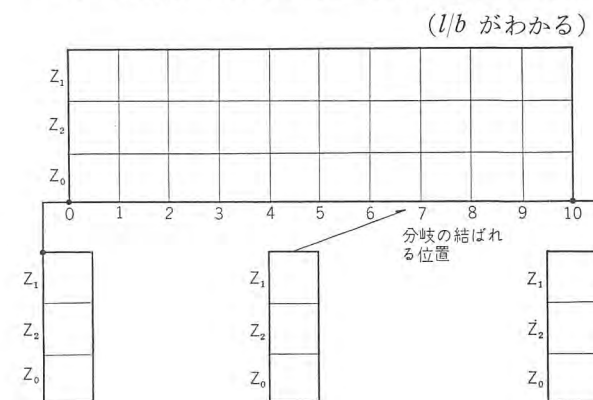


図 12.1 零相電流分布計算に要するインプット・データ  
Fig. 12.1 Input data required for the calculation of zero phase sequence current distribution.



(3)  $K$ の値として一応合理的な数値を採用する必要がある。(一つの仮定でもある)

山地では  $5 \times 10^{-4}$  [ $6 \times 10^{-4}$ ]

平地では  $2.5 \times 10^{-4}$  ( $1.2 \times 10^{-4}$ )

( ) 内は, シャヘイ効果のある平地で, このように低い場合もある.

[ ] 内は, 山地で地質の関係で, このように高い場合もある.

(4)  $V_0$  は  $K$  と  $\Sigma l/b$  から次式で計算する.

$$V_0 = Kf\Sigma l/b$$

(5) 通信線の所要データ

図 12.2 のようなデータを要する.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
長さ $l$ (km) $K$											
$\Sigma l/b$											
$V_0$											

図 12.2 誘導電圧計算に要するインプット・データ

Fig. 12.2 Input data required for the calculation of induced voltage.

b. 求められる計算結果

(1) 起誘導電流表  $I' + jI''$

(2) 起誘導電流表  $I \angle \theta$

[すなわち  $I\{\cos \theta + j \sin \theta\}$ ]

(3) 通信線誘導電圧表

電圧順累計 (誘導電圧の大きい順番)

地 絡 番 号

系 統 番 号

地 絡 確 率

誘 導 電 圧

(4) 通信線誘導電圧の発生確率曲線

(5) 通信線誘導電圧の発生ひん度

c. 計算のための費用

誘導電圧の発生確率を計算する場合の IBM-650 の使用料を示せば次のようである.

電力線の故障による起誘導電流分布の計算のためには

プログラミング	300,000 円
計算費用 (IBM-650)	55,000 円
計算結果の整理	25,000 円
計	380,000 円

通信線の誘導電圧の発生確率計算のためには,

プログラミング	40,000 円
計算費用 (IBM-650)	20,000 円
計算結果の整理	10,000 円
計	70,000 円

このうちプログラミング代は今後の計算には不必要であるから, 今後必要とする計算費用は次のようである.

電力線の故障による起誘導電流分布の計算費

80,000 円

通信線の誘導電圧の発生確率計算費 30,000 円

たとえば, 一つの電力線に五つの通信線が並行していて, 五つの誘導電圧の発生確率を計算する場合の費用は次のようになる.

$$80,000 \text{ 円} + 30,000 \text{ 円} \times 5 = 230,000 \text{ 円}$$

今回は, 湯瀬系電力線の場合だけをとりまとめたが, 小又川系電力線に対しても同様計算を行なったので, 引続いて報告する予定である.

終りに臨み, 今回の計算および解析方法につき種々ご指導を賜った電力技術部長木村久男博士ならびに研究所馬場準一博士に対して深甚なる謝意を表する.

#### 参 考 文 献

- (1) 継電方式委員会資料 No. 315 送電線路保護継電器動作の統計電研第一部送配電研究室 33-5-27
- (2) 小又川系実測報告 [完]昭和 28 年 6 月





## 計数形自動電子計算機(1)

研究所 豊田 準 三\*

## 1. まえがき

近ごろ日本でも計数形自動電子計算機についての関心が非常に高まってきた。自動電子計算機には人工頭脳というニックネームがあるが、これは人間の頭脳から生れ出たものであることを忘れてはならない。あらゆる電気機械の中でもっとも新しいものであり、真に人工頭脳といってもおかしくないところまできたのはここ 5~6 年前のことである。もちろん自動的計算機としてはさらに以前から発表されているが頭脳のような判断と計算回路の自動的なセットアップができるような計算機が発表されたのは 1949 年の EDSAC が初めてであろう。第 2 次世界大戦中にも一部動作したといわれる歴史的な高速電子計算機 ENIAC が米国で完成発表されたのはそれより約 1 年前のことであり、当時の斯界を驚かしたのであるがそれは真の意味での頭脳の電子計算機ではなかった。いずれにしても戦後派の首位を占める電気機械たることは疑い余地がない。

元来計数形自動電子計算機は“人手ではとうてい不可能”と思われる技術計算（たとえば精密なる弾道計算）を可能にしようとの要望で誕生したものであるが、その商品化が発表されるや“恐ろしく人手を食う”という統計、分類など事務的な面で急速に採用され、それにより発達が促進されたものである。これは使用する立場での経済的理由からうなづけることであるが、親子孫三代にわたるくらいの覚悟でやらなければ“とうてい不可能”と思われる技術計算を数日あるいは数時間、時には数分間でやっつけのけるという本来の効用を生かすことは他面に忘れてはならないことである。

われわれが自動電子計算機 G15D を設置し活用を始めた機会に、主として後者の立場での解説を行なって見たいと思う。

## 2. あらまし

自動（プログラム記憶式）電子計算機とは、多大の数値的情報の“記憶”と特定の論理的“判断”の機能を有し、恐ろしく高速の計算ができる自動機械である。卓上計算機と対応してその機能の構成を図 2.1 に示した。計算機の実操作を行なう人は、スイッチまたはタイプライタのキーを押すというわずかな労力を提供するだけで、計算の流れの整理やデータの記憶、あるいは結果の整書などはすべて計算機自身により行なわれることがわかるであろう。

自動電子計算機の機能はきわめて複雑であり、機械により動作機能内容が非常に違ってくるが、通常その特性づけは次のように行なわれている。

主要構成部品による特性づけ

リレー式、電子管式、トランジスタ式、パラメトロン式  
機械内部で取扱う数値の表現方式による特性づけ

10 進数式、2 進数式

機械内部で取扱う数値の小数点方式による特性づけ

整数式、固定小数点式、浮動小数点式

計算に使用する電気パルスの伝送方式による特性づけ

並列式、直列式、直並列式

主記憶装置の種類による特性づけ

ブラウン管式、音響遅延回路式、磁気円筒式、磁気コア式

一つの命令で取扱う記憶番地数による特性づけ

単アドレス式、2 アドレス式、3 アドレス式

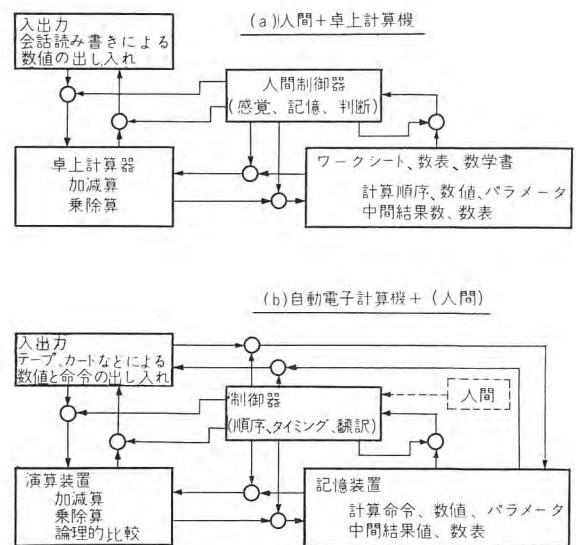


図 2.1 卓上計算機と自動電子計算機

## 3. どんな自動電子計算機が発表されているか

前述のように自動電子計算機の歴史は 1947 年の ENIAC に始まる。以後 5 年間くらいは各種各様な理論と機械構成で試作研究が行なわれた。いずれも恐ろしく研究費を投入し高度の人材を投じて初めて可能な研究内容である。大要は付録に表で示したが電子機器的部品の発達とともにその様相の変貌もうかがうことができる。最初に商品化されたのは 1951 年の UNIVAC-1 であるがそれに先行すること約 2 年 IBM-CPC なる自動計算機が発表され、以来事務的な面で広範囲に使用されてきたが、これは ENIAC 同様真の意味でのプログラム記憶式の人工頭脳の計算機ではない。現在米国では CPC はほとんど新鋭の自動電子計算機で置き換えられている。1954 年ころから加速的に“人工頭脳”の商品化が行なわれてきた。現在もっとも広範囲に使用されているのは IBM650 であろう。これとても約 30 万ドル（借賃約 5,000 ドル）の高級商品である。

日本では海外に比し大分遅れたが最近になって商品化が報ぜられている。これら内外の諸事情ならびに発表された機械の大



要については付録 1~5 を参照されたい。

## 4. どのような計算機がどんな計算に使われるか

ウエスチングハウス社での使用状況についての概況を知る機会を得たので以下にその大要を示す。

ウ社で使われている自動電子計算機 (90% 以上が IBM の機械である) は次のようなものである。

IBM704.....3 台 IBM705.....1 台 IBM650.....3 台  
UNIVAC—I.....1 台 LGP30 .....6 台 Datatron205.....1 台  
E101 .....数台

これらはほとんどすべてが賃借り制で上記のものだけでも年間推定約 380 万ドルの借賃となっている。

### 4.1 どんな計算に使っているか

イーストピッツバーグ、アナリティカルデパートメント (IBM704)

ウ社全体の計算機活動の先導的な地位にあり、イーストピッツバーグ地域の全体の計算の大掛りなものをすべて引受けているほかに、他の場所の計算機室からの問題の引受けおよび指導を行なっている。科学的計算や技術的計算が主たる用途となっているが、ウ社全体の主導的な立場の関係上研究的な性格の濃い高級な大掛りの計算が対象となる場合が多い。

(おもな例)

- ・マルチベアリング回転系の振動の問題
- ・回転系のねじり振動の問題
- ・タービン翼の振動の問題
- ・タービン軸のクリティカルスピードの計算
- ・蒸気タービン系の熱平衡に関する計算
- ・風洞装置における振動の問題
- ・電力系統における潮流の計算
- ・大容量誘導電動機的设计計算
- ・北バージン発電所における電力系統安定度の計算
- ・その他一般に科学的、技術的計算問題

イーストピッツバーグ、アパラタスディビジョン (UNIVAC—1)

事務計算はすべてこの機械にかけている。

18,000 人分の時給、日給、月給に関する計算や税金の計算、その他材料、製品の在庫記録など事務計算に関するデータプロセッシング全般について活動が行なわれている。

ピッツバーグ、アトミックパワーディビジョン (LGP—30)

原子炉の設計に関する計算が主たる用途となっている。

ピッツバーグ、ウ社研究所 (Datatron—205)

研究所内に発生した科学計算問題および事務計算に用いられているほかにプログラミングそのものの研究に使用されている。ウ社で使用されている計算機全体についての共通用語作成のための研究に供されているのがその一例である。

シャロン、トランスフォーマーディビジョン (IBM—705)

イーストピッツバーグで UNIVAC—1 と IBM704 にやらせている仕事に相当した計算を、ここでは IBM705 1 台にや

らせている。大小いろいろの容量の変圧器の設計計算、各種レアクタやタップチェンジャに関する設計計算に供しているほかに、数千人についての時給、日給、月給、税金などの事務計算にも用いられている。1 カ月の計算機運転時間の 75% は事務計算に占められているとのことである。通常の変圧器の設計データは数分間で得られている。

インベントリコントロール (部品、材料がどれだけ使われつつあるかのデータを出し手持量を報告する仕事、それに伴って何日ごろにどれだけ補給すべきかの適量を計算する仕事、などをやらせて完全なインベントリレポートを作成する。) のためのプログラムや製品出荷のための特別なプログラムが多数用意されている。

- ・試験場での簡単な試験データの処理には E101 という小形の計数形計算機を使用している。

バッファロ、コントロールアンドモータディビジョン (IBM650)

通常に標準電動機といわれるもののすべての設計計算に起用されている。中でも誘導電動機設計に用いられる度が多く、変圧器の設計と同様数分間で設計データが得られている。

シャロンにおける IBM705 と同様事務計算にも使用されており、機械運転時間はやはり事務計算のほうが % が多いとのことである。

自動制御問題には、アナコムが使用されることが多く、標準制御系のブロックダイアグラムが 20 種類ほど用意されている。

以上はウ社での計数形電子計算機の活動状況のごく一部に過ぎないが、運営組織から見ても完全に職制化されており、日本でいえばタイプライタ係へタイプを頼むというような手軽さで運営されているのはうらやましい限りである。

### 4.2 アメリカでそのほかに使用されている例

- ・高速自動車路建設のための土木工事の計算
- ・道路またはダム of 構造力学上の計算
- ・精油工業におけるパイプライン系の設計計算
- ・風洞試験におけるデータプロセッシング
- ・複雑なるカムの形状に関する計算
- ・電力系統における経済配分問題についての計算
- ・空中線または音響輻射における指向性計算
- ・空中線反射鏡の鏡面計算
- ・諸種の航法における軌跡の計算
- ・その他要するに人手を食う計算にはあらゆるところに使用されているといえよう。

### 4.3 当社研究所に G15D を設置して以来行なった計算例

昭和 33 年 4 月に設置以来取扱った計算のおもなものを列挙すると次のようである。

- ・電力系統の過渡安定度の計算
- ・水火力併用発電の経済配分計算
- ・過渡安定極限電力の計算
- ・誘導機のトルク計算
- ・電力潮流の計算
- ・点弧子内部の電位分布と電流密度



- ・沸騰水形原子炉の可能燃焼度の計算
- ・黒体輻射の色度計算
- ・原子炉しゃへい
- ・レードームの設計計算
- ・原子炉反応度の長期変化
- ・特殊航跡の計算
- ・その他

以上のように、純科学的用途の計算が大部分であるが、最近小形変圧器の標準設計計算や電鉄走行曲線計算のように実用のための技術的計算のプログラムも完成して実用に供されるようになった。

## 5. 電子計算機はどのようにして使われるか

電子計算機は完全な自動機械ではない。人間によって作られた計算のプログラムが与えられて初めて動作するものである。こうした見方では図 2.1 (b) に記載されている(人間)とは操作者と狭義に解釈すべきであろう。

### 5.1 プログラミングとは

特定の記憶能力と限られた範囲の判断しかもたないが、計算速度は恐ろしく高速で行ない、知覚としては電気パルスがあるかないかだけ運動機能としては腕(タイプまたはラインプリンタ)だけしかもたないいわば白痴で不具者に近い“人間”に仕事をさせるための文書作成の仕事といえる。

電気パルスがあるか否かだけしかわからないということは、視力としては穴があけられているか否かといった程度の見分けしかなく、不具者相手の仕事ともみなせるので、パンチドテープまたはパンチドカードでしか仕事を与えることができない。操作者である人間は、させようとする計算を直接穴あけすることはむづかしい。したがって数字またはアルファベットで書かれた文書を作成し、これに基づいてカードパンチャあるいは、テープパンチャによりパンチドテープまたはパンチドカードを作成するようになっていく。この基本になる文書作成業務が“プログラミング”である。文書構成の基本になる言葉は計算機の内部機構にマッチしていることが望ましい。したがって機械ごとに異なってくる訳であり、それぞれの機械により英、独、仏語あるいはそれ以上の差があると考えてよい。

### 5.2 G15D(当社研究所に設置されている)電子計算機に用いられるプログラム用語

G15D は単アドレス計算機としても複アドレス計算機としても使用できるようになっており、したがって用語にもいろいろと変化があるが大別すると次の3種類がある。

#### (1) インタコム用語

これは本機を浮動小数点方式の単アドレス計算機として使用する場合の用語であり、プログラム例1に示したような形式のものである。これによるとプログラミングに慣れない計算者または繰り返されて使用する可能性が少なく試算的な性質の計算には、プログラミングに必要とする労力と時間が経済的であるので、研究的科学的な計算には便利である。ただしこの用語で計算する場合には機械の記憶容量と計算速度は或る程度犠牲にされる。計算機よりも使用者側の便を考えた用語である。(プログラム例参照)

#### (2) PPR 用語

これは本機を複アドレス計算機として本来の機能を発揮すべく用意されたものでプログラミングと計算機の双方の都合を考えたもので同機についての標準用語となっている。インタコム用語に比し多少難解であるが計算速度も速く記憶容量の利用能力が良い。繰り返されて使用される計算ルーチンはすべてこの用語によるプログラムで作られている。基本的な形式は次の表のようになっている。

標準 PPR 用語の構成

符 号	L	p	T	N	C	S	D	Bp
呼 称	ロケーション	プレフィックス	ワードタイム	ワードタイム	キャラクター	ソース	テストネーション	ブレークポイント
使用する数または字	00~u6	u または w	00~v6	00~u6	0~7	00~31	00~31	何も付さないかまたは特定のスイッチ操作により命令を一時中止するか否かの指定
コードの有する意味	命令自身を置くべき番地	即時実行するべき命令か否かの指定	実行すべきワードタイム	つぎに読み出されるべきワードタイム	取扱うべき情報の指定	情報を取り出すべき磁気円筒上のライン番号	情報を送り出すべき磁気円筒上のライン番号	

- 注 (1) L は命令の内容には含まれない。命令そのものが置かれるべき番地の指定である。  
 (2) S と T で取扱うべき情報が記憶されている番地を指定することになる。  
 (3) S と D で取扱うべき情報が送り込まれるべき番地の指定をすることになる。  
 (4) D が 28 以上の場合は C コードと結びつき加減算、乗除算などを示すことになる。  
 (5) D が 31 の場合は T は番地を示すものでなく、動作に要するワードタイムを示すことになる。  
 (6) u6 とは 106, u7 とは 107 の意味である。ヘキサデシマル記号としては 10~15 に u, v, w, x, y, z があてられている。

〔例〕 L p T N C S D Bp || 動作記号

(1) 00 || 05 06 0 11 12 || (11.05)→12.05

命令の内容は“ライン 11 の 05 番の内容をライン 12 の 05 番へモディフィケーションなし (C=0) で移せ、つぎの命令はこの命令のおかれているラインの 6 番で読み取れ”なることを示している。この命令そのものは或るライン(プログラムシートであらかじめ指定)の 00 番に置かれていることを L=00 で示されている。

(2) 00 || 05 06 1 11 28 || (11.05)→ARc

アキュムレータ (AR) をクリアしてライン 11 の 05 番の内容を AR に加えよ。つぎは 06 番地にある命令を読みとれ。

(3) 00 || 05 06 2 11 29 || (11.05)→AR+

ライン 11 の 05 番の内容の絶対値を採用して AR の内容へ追加して加算せよ。つぎは 06 番地にある命令を読みとれ。

(4) 00 || 56 58 0 24 31 || (ID<sub>1</sub>)×(MQ<sub>1</sub>)→PN

ID<sub>1</sub> レジスタの内容と MQ<sub>1</sub> レジスタの内容を乗算して PN レジスタに入れよ。つぎは 58 番地にある命令を読みとれ。

(5) 00 || u 01 02 0 11 12 — || (Line 11)→Line 12

ライン 11 の内容全体 (108 ワード) をライン 12 に写し取れ、Bp スイッチが閉の時はここでいったん計算を中断せよ。つぎは 02 番地にある命令を読みとれ。

最後に示した例 (5) のような操作(グループオペレーション)が一つの命令でできることはこの機械の一つの特色であり、数個の加減算などが一つの命令で一挙にできることは非常に有効な手段となる。

#### (3) 直接機械用語

これは機械内部で数値または命令を示す情報がいかに記憶さ



## 技術解説

れたり伝送しているかなどを示すもので、回路論理の説明や検討に使用されるもので計算機を運転して計算する立場で使用する用語ではない。ただし特定の常数の表現には使用者の立場で使用されることもある。

たとえば前記例(1)の命令を示す情報は機械内部では2進数的に 10000101000001100001011011000.....(a) なる 29 ビットのパルスで取扱われるのであるがこれはヘキサデシマル記号で 850616 W なる文字で表現される。これが直接機械用語である。

同様に前記例(5)の命令を示す情報は機械内部では

00000001100000100001011011001.....(b)

なるパルスとして取扱われ、これは直接機械用語

—018216 W

で示される.

5.3 プログラム例 1 (G15D インタコム用語による)

$$y=f(x)=a_0+a_1x+a_2x^2+\dots+a_9x^9$$

$$= a_0 + x(a_1 + x(a_2 + x(a_3 + \cdots x(a_8 + a_9 x \cdots))) \text{ の計算}$$

○計算に用らるインデックレジスタ …… # 1

○計算に用ゐる数の記憶番地

$$a_0 : \text{Loc500} \quad a_1 : \text{Loc501} \quad a_2 : \text{Loc502} \dots a_9 : \text{Loc509}$$

$x$ : Loc510 雲: Loc499 部分積の一時記憶場所: Loc511

答 y の値は Loc512 に記憶させた後, タイプアウトすること

プログラム例1のコーディング表

動作内容	命令そのものが置かれる番地	演算コード	命令により取られたり指定されたりする番地または数	インデックス	動作略記
Set ( $B_1$ Register)=9	000	3X	009	1	$9 \rightarrow B_1$
Set ( $D_1$ Register)=1	001	40	001	1	$1 \rightarrow D_1$
Set ( $L_1$ Register)=1	002	41	001	1	$1 \rightarrow L_1$
Clear A Register	003	4V	499	0	$0 \rightarrow A$
Clear Temp. Storage	004	5X	511	0	$0 \text{ [}=(A)\text{]} \rightarrow 511$
Clear and Add Part. Product Add $a_n$	005	4V	511	0	$(511) \xrightarrow{+} A_c$
	006	5V	509	1	$(509) \xrightarrow{+} A_s$
Multiply by $x$	007	67	510	0	$\left(\begin{smallmatrix} \text{Part} \\ \text{Sum} \end{smallmatrix}\right) \times x \rightarrow A$
Store in Temp. Storage	008	5X	511	0	$\left(\begin{smallmatrix} \text{Part} \\ \text{Prod} \end{smallmatrix}\right) \rightarrow 511$
Decrement $B_1$ , and transfer	009	57	005	1	$(B_1 \geq (b_1)?)$
Add $a_0$	010	5V	500	0	$(500) \xrightarrow{+} A_s$
Store to Spec. Storage	011	5X	512	0	$y \rightarrow 512$
Clear and Add $y$	012	4V	512	0	$y \xrightarrow{+} A_s$
Type A and Carriage Return.	013	20	000	0	Type (A)
Halt (演算の一時休止)	014	42	000	0	Halt

注 (1) ( ) によりレジスタまたは記憶場所内の内容を示した。(以下の例につ

(2) 3X 009 1.....B<sub>1</sub> レジスタの内容数を 9 にせよ.

4V 511 0.....A レジスタをクリアしたる後 511 番地の内容を加えよの意味である。

(3) インデックスレジスタとは記憶番地を変更させるために用いる数を記憶させるための特殊目的のためのレジスタ(記憶場所の特別なもの)である。

プログラム例 2 (G15D インタコム用語による)

$a_ix^2+b_ix+c_i=0$  の根を  $i=1\sim 6$  のものにつき求めてタイプアウトすること

○計算に用いる記憶番地  $a_1 \sim a_6$ : Loc 450, 455, .....475.

$b_1 \sim b_6$ : Loc 451, 456, .....476.

$c_1 \sim c_6$  : Loc 452, 453, .....477.

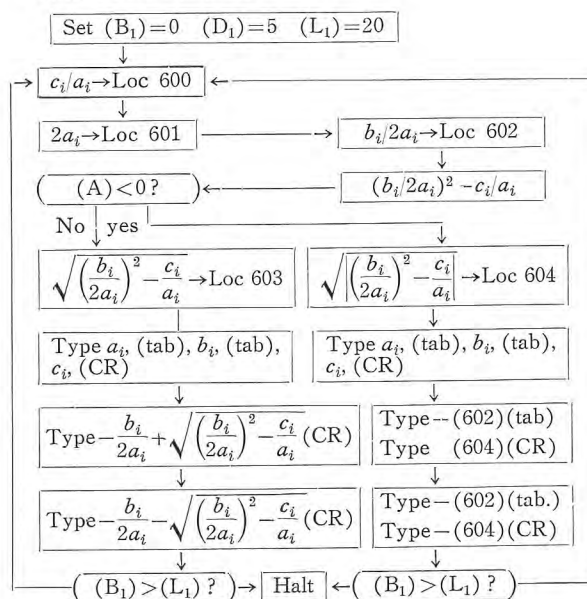
### ○タイプアウトの形式

(実根の場合)

(虚根の場合)

$$\begin{array}{ccccc} -\frac{b_i}{2a_i} + \sqrt{\frac{a_i}{(2a_i)^2} - \frac{c_i}{a_i}} & b_i \cdot c_i & \frac{a_i}{2a_i} & \sqrt{\frac{b_i}{(2a_i)^2} - \frac{c_i}{a_i}} & c_i \\ -\frac{b_i}{2a_i} - \sqrt{\frac{b_i}{(2a_i)^2} - \frac{c_i}{a_i}} & & -\frac{b_i}{2a_i} & -\sqrt{\frac{b_i}{(2a_i)^2} - \frac{c_i}{a_i}} & \end{array}$$

### ○計算のフローチャート



プログラム例 2 のコーディング表

Loc	シオペ ンレ I	アド レス	K	動 作 内 容	Loc	シオペ ンレ I	アド レス	K	動 作 内 容
00	3X	000	1	Set (B <sub>1</sub> )=0	25	20	500	0	type (A) & CR
01	40	005	1	Set (D <sub>1</sub> )=5	26	49	602	1	-(602)→A
02	41	020	1	Set (L <sub>1</sub> )=20	27	59	603	1	(A)-(603)→A
03	4V	452	1	c <sub>i</sub> =(452)→A	28	20	500	0	type (A) & CR
04	4Z	450	1	(A)÷a <sub>i</sub> =(450)→A	29	65	003	1	Increment B <sub>1</sub>
05	5X	400	1	c <sub>i</sub> /a <sub>i</sub> =(A)→600	30	42	500	0	Halt
06	4V	450	1	a <sub>i</sub> =(450)→A	31	29	500	0	-(A)→A
07	5V	450	1	(A)-(450)→A	32	07	500	0	√(A)→A
08	5X	401	1	2a <sub>i</sub> =(A)→601	33	5X	604	1	(A)→604
09	4V	451	1	b <sub>i</sub> =(451)→A	34	4V	450	1	a <sub>i</sub> =(450)→A
10	4Z	601	1	(A)÷(601)→A	35	1Z	500	0	type (A) & tab
11	5X	602	1	b <sub>i</sub> /2a <sub>i</sub> =(A)→602	36	4V	451	1	b <sub>i</sub> =(451)→A
12	67	602	1	(A)×(602)→A	37	1Z	500	0	type (A) & tab
13	59	600	1	(A)-(600)→A	38	4V	452	1	c <sub>i</sub> =(452)→A
14	0V	031	0	(A)<0? yes→31	39	20	500	0	type (A) & CR
15	07	500	0	(A)→A	40	49	602	1	-(602)→A
16	5X	603	1	(A)→603	41	1Z	500	0	type (A) & tab
17	4V	450	1	a <sub>i</sub> =(450)→A	42	4V	604	1	(604)→A
18	1Z	500	0	type (A) & tab	43	20	500	0	type (A) & CR
19	4V	451	1	b <sub>i</sub> =(451)→A	44	49	602	1	-(602)→A
20	1Z	500	0	type (A) & tab	45	1Z	500	0	type (A) & tab
21	4V	452	1	c <sub>i</sub> =(452)→A	46	49	604	1	-(604)→A
22	20	500	0	type (A) & CR	47	20	500	0	type (A) & CR
23	49	602	1	-(602)→A	48	65	003	1	Increment B <sub>1</sub>
24	5V	603	1	(A)+(603)→A	49	42	500	0	Halt

K 欄はインデックスレジスタの番号を示す。

(A) はアッキュムレータの内容を示す.

### プログラム例 3 ベキ級数計算

$$y=f(x)=a_0+a_1x+a_2x^2+\dots+a_nx^n$$

例 1 と同様の計算であるが PPR 用語によりベキ数項  $n$  を可変としたもの  $a_0, a_1 \cdots a_n$ : ライン 07, 番地 00~ $n$  までに記憶させて置く.



$x$ : ライン 22, 番地 03     $n$ : ライン 21, 番地 03  
 常数  $1 \times 2^{-8}$ : ライン 22, 番地 02    計算結果  $y=f(x)$ : ライン 20, 番地 01 に記憶させる.

注 ○ 計算様式は例 1 と同一

○  $n$  は整数の形で与えられているのでパラメータとして役だつ形で (21.03) に入れることをプログラム中で行なう必要がある. (プログラム中 Loc06~Loc50 の命令で行なわれる.)

プログラム例 3 のコーディング表      Line 00

Loc	p	T	N	C	S	D	Bp	動作内容
00		03	03	0	23	31		(MQ), (ID), (PN)→0
03		05	06	0	25	20		0 (=ID)→20.01
06		07	09	0	21	24		Load Multiplier→MQ
09		40	50	0	26	24		20 times left shift
50		51	52	0	24	21		$n, 2^{-8}(MQ_1) \rightarrow 21.03$
52		55	56	1	21	28		$\begin{matrix} + \\ (21.03) \rightarrow AR_c \end{matrix}$
56		59	60	1	00	29		$\begin{matrix} + \\ (00.59) \rightarrow AR+ \end{matrix}$
60		62	62	0	31	31		Take next comand from AR
(AR)		(n)	20	1	07	28		$\begin{matrix} + \\ (07.n) \rightarrow AR_c \end{matrix}$
20		21	24	1	20	29		$\begin{matrix} + \\ (20.01) \rightarrow AR+ \end{matrix}$
24		25	26	1	28	22		(AR)→22.01
26		29	30	0	22	25		Load (22.01)→ID <sub>1</sub>
30		31	33	0	22	24		Load (22.03)→MQ <sub>1</sub>
33		56	90	0	24	31		multiply
90		93	94	0	26	20		Prod. (=PN)→20.01
94		95	96	1	21	28		$\begin{matrix} + \\ (21.03) \rightarrow AR_c \end{matrix}$
96		98	99	3	22	29		(22.02)→AR+
99		U3	D4	0	28	21		(AR)→21.03
U4		U5	51	0	28	27		(AR)=None Zero?
51		00	01	1	07	28		$\begin{matrix} + \\ (07.00)=a_0 \rightarrow AR+ \end{matrix}$
01		05	07	1	20	29		$\begin{matrix} + \\ (20.01) \rightarrow AR+ \end{matrix}$
07		09	10	1	28	20		$y (=AR) \rightarrow 20.01$
59		(00)	20	1	07	28		Pick Up Command: 反復計算のたびごとに Loc 56 の命令で AR に引き出されて T 部が改変される. パラメータの常数として使われる.

#### 5.4 サブルーチン

計算の一部としてつねに繰り返される算式などについてはプログラム作成時にそのつど作って行くのは大変であるので, あらかじめ作成して置き, 主となる親プログラム中でその計算に移すことを指定して使うようにしておくのが能率的であり, このように作られたルーチンをサブルーチンと称する. 三角関数, 指数関数などの関数計算用ルーチンのほかに 2 進数 ↔ 10 進数変換ルーチン, 直交座標データ ↔ 極座標データの変換ルーチンなどもサブルーチンとして取扱われる. さらに大きな計算を行なうマトリックスインバージョン, 多元連立方程式解法ルーチン, 高次方程式解法ルーチン, 常微分方程式解法 (Runge Kutta 法などによる) ルーチンなどもこれらのサブルーチンに入れて考えることができる.

G15D 自動計算機ではこのようなサブルーチンのプログラムはすべて PPR 用語で書かれたものである.

#### 5.5 インタープレティブルーチン

上記のような演算的ルーチンのほかに入力データの解釈を行なう機能を有するルーチンがある. 数値については簡単なものなれば或る程度の練習を積めば直接 (人間の頭を使って) に 2 進数値にして計算機へのデータとして入れることはできるが, 10 進符号やアルファベットの組合わせでできた命令はとうて

い 2 進数的に直接計算機へ入れるべき情報として取扱うことはできない. したがって 10 進数符号やアルファベットの組合わせでタイブインされたものを解釈して 2 進数符号で示されるパルス列に変換する機能を有したルーチンが必要になりこのようなものをインタープレティブルーチンと称される. 一般にインタープレティブルーチンはきわめてばくだいな命令の集結されたもので難解なものであることが多い G15D には代表的なものとして次の 2 種がある.

Intercom 101 Routine——これは前述のインターコム用語でタイブインされた命令を示す情報を (a) または (b) のような 2 進数的パルス配列 (直接機械用語で書き表わすことができる) になおして機械内で取扱うためのルーチンである. “解釈” という機能のほかに “編集” という機能をもたしめてありきわめて巧妙にできたものである. 1,000 語をこえる命令群から成りそのプログラムはすべて PPR 用語で書かれている. これを用いると元来は複アドレスの固定小数点方式の G15D が単アドレスの浮動小数点方式の計算機として使用できることになり科学的用途にはプログラミングの労力と時間の節約になりきわめて便利なものである.

PPR-D<sub>1</sub>——これは PPR 用語でタイブインされた命令を示す情報を (a) または (b) のような 2 進数的パルスになおして機械へ導入するルーチンである. プログラムとして紙面に書かれたものをテープの形で用意する (Program Preparation) ためのルーチンと考えてよい. 単にプログラムテープを作ることだけではなしに, 未知のテープの内容を PPR 用語でタイブアウトさせること (Documentation) や, 計算過程に不審な点があった場合, アキュムレータの内容を逐次タイブアウトさせて計算進行経過を明らかにすること (Tracing), あるいはまた繰り返し使用されるサブルーチンのテープの複製を作るための機能などをあわせ具備した PPR Standard Routine も用意されている. このルーチンのプログラムもすべて PPR 用語で書かれておりこれも約 1,000 語の命令で構成される大きなものである.

これらのインタープレティブルーチンによりプログラムを機械に導入したり, プログラムテープを用意したりするに際しては, タイプライタでプログラムをタイブインするに先だって Intercom 101 のテープあるいは PPR のテープでそれに盛られている内容を計算機に記憶させて置かなければならない. このような場合には全記憶容量 2,176 語のうち約半数がこれらのインタープレティブルーチンの情報記憶に使用され, 残りの半数がプログラマに使用可能な記憶番地となる訳である.

#### 5.6 その他のルーチン

演算的なサブルーチンとインタープレティブルーチンと双方の性格を備えたルーチンもある. たとえば浮動小数点方式のためのルーチンがそれであり, 浮動小数点的にタイブインされたデータを一定のパルス配列になおして記憶させたり, また浮動小数点的な数として加減乗除の演算をやらせることもできるルーチンである.

Intercom 101 Routine にはこのようなルーチンも含まれている. 一般に科学的な計算問題では取扱う数値の範囲が非常に広



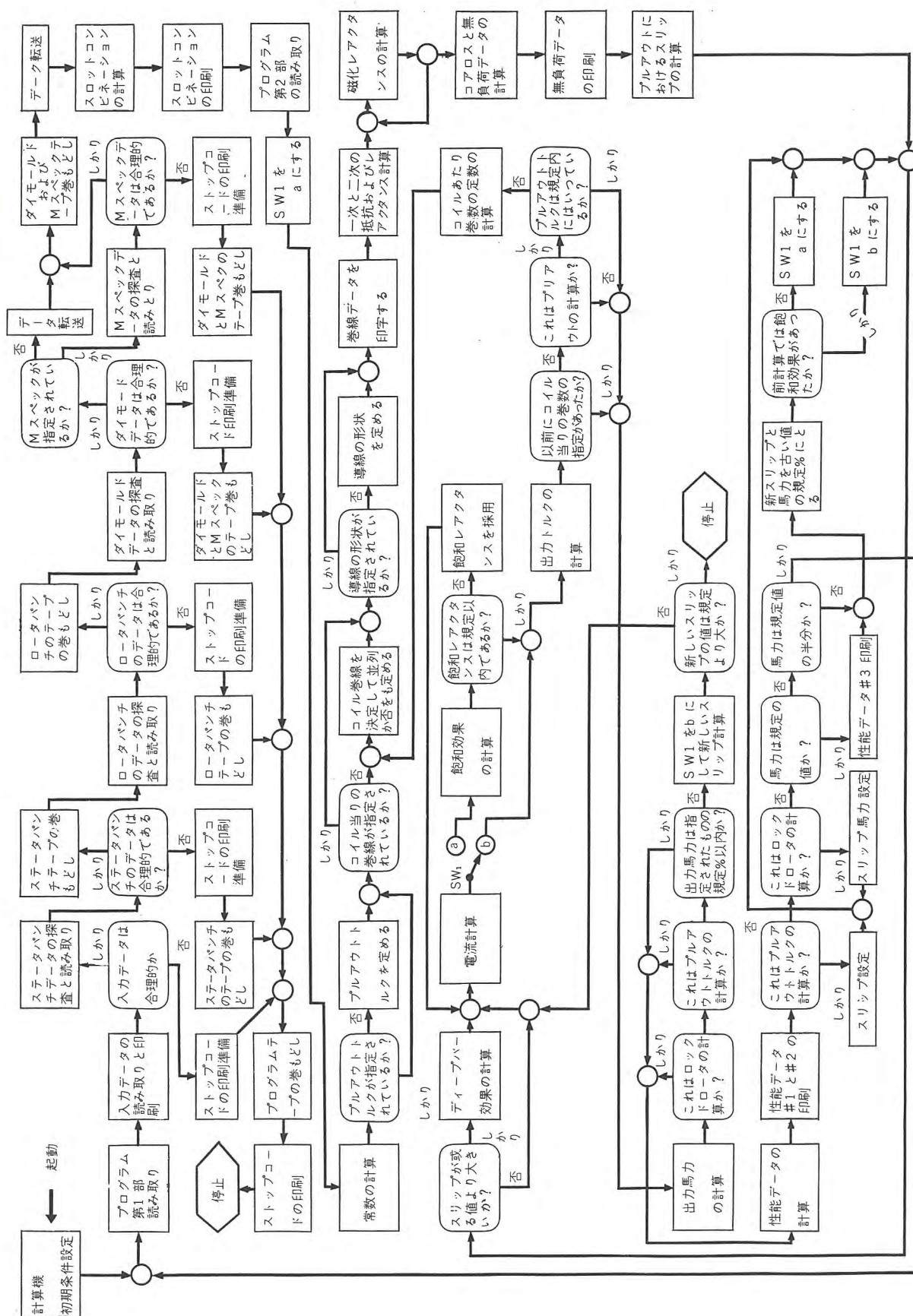


図 5.2 多相誘導電動機の設計用プログラムフローチャート



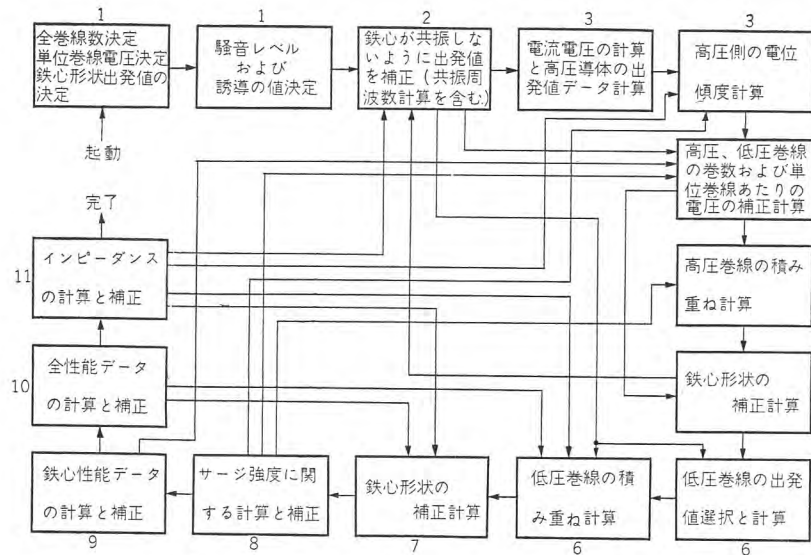


図 5.3 変圧器の設計プログラムのフローチャート

範囲であるのでほとんどの計算が浮動小数点方式によるほうが便利である。したがってこのような目的ではサブルーチンとして用意しないで演算回路として機械に組み込むほうが望ましく、科学的用途の大形のものではその傾向が多くなっている。

### 5.7 大掛りな計算ルーチン

大掛りな計算になると各種のサブルーチンやインタープレティブルーチンが数多く動員されることになる。上に示した簡単なルーチンは単独としてよりもむしろサブルーチンとしては使われる性質のものである。

上記例 1 のような簡単なものなればフローチャートを書かなくとも直接計算機にタイプインして計算ができる。また例 2 のようにフローチャートを書くにしても 1 命令ごとの詳細なる内容を記載したフローチャートの作成が容易である。さらにばくだいな計算になると例 2 のような詳細なるフローチャートのほかにさらに大局をつかむようなフローチャートが必要である。その例としてウ社で作成している IBM の機械についての大掛りな計算の例の概要を示す。

#### (1) カゴ形三相誘導電動機的设计プログラム

ウ社バッファロプラントで IBM650 用のプログラムとして作成されたものの一例を示す。

約 4,000 語の命令群から成り作成に 8 カ月要したという。これによると規程内の仕様による各種の誘導電動機的设计データが数分間で得られるといわれる。この場合の計算機への入力データと自動計算後計算機より自動的にタイプアウトされる出力データは次のようなものである。

#### 計算機への入力データ

Initials and Code	Motor type	Rated HP.
Poles	Frequency	Enclosure
Temp. Rise	Time	Pull out Torq/
Nema Design & Int. class	Frame	Full load Torq
High Voltage & Number of Volts	Stator Punching	Core Length
Finished Stator Inner Dia.	Type Wire	Conduct. & Weight of wire & factor

Max. Fill Factor	Throw & Phase Belt	Parallel or not & Turn/coil
Wire Gauge 1 & Num 1	Wire Gauge 2 & Num 2	Max Size Min size
Max. Num Reels	Rotor Punching	Upper Die Mould
Lower Die mould	Finished Rotor Outer Dia	Skew
Cond. Alloy	Date	L-Spec
M-Spec	E-spec	SO

#### 計算機から得られる出力データ

Slot Combination (7 個の Data)	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> Load Charact. (18 個の Data)
Winding (7 個の Data)	Full Load Charact. (18 個の Data)
No load Character (6 個の Data)	3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> Load Charact. (18 個の Data)
Break Down Character (18 個の Data)	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Load Charact. (18 個の Data)
Locked Rotor Character (18 個の Data)	

このプログラムのフローチャートは図 5.2 に示した。

#### (2) 油浸大形変圧器の設計プログラム

ウ社シャロンで IBM705 用として作成されたプログラムの一例のフローチャートを図 5.3 に示した。これは全体が 12 群から成り、各群は 500~1,000 語の命令群により成立し全体で合計約 8,000 語の命令ででき上っている。プログラムの完成には約 8 カ月を要したという。

三相で 2 巻線、60 サイクル、高圧インパルスレベル 350 kV 以内、低圧インパルスレベル 95 kV 以内、運転条件は連続といった諸規定内の変圧器については、下記に示したデータの範囲内の変圧器はいかなるものでもただちに（たいていの場合数分間で）計算ができるというプログラムである。

データの種別	データの規定範囲
電力 (kVA)	1,000~15,000
高圧側 (V)	6,000~75,000
低圧側 (V)	240~9,000
高圧側結線	△ あるいは Y
低圧側結線	△ あるいは Y
高圧側基準インパルスレベル	110~350
低圧側基準インパルスレベル	45~95
騒音レベル	55~80
インピーダンス保証値 (%)	3~10
鉄損保証値	2,500~30,000
全損失保証値	10,000~120,000
励磁電流保証値 (kVA)	75,000~900,000
温度上昇	規定値

図 5.3 には各ブロック内で行なわれる演算の概要を示してある。サージに関する計算では計数形計算を行なって得られた結果をアナログ計算に移して結果を見るという過程があるのが一つの特長となっている。

(以下次号)





## 1. まえがき

原子炉はその種類に応じて実験用原子炉と動力用原子炉およびプルトニウムなどの製造用原子炉に大わけされるが、在来の実験装置やプラントに比べてもっとも大きな特質は、その中に非常に強力な放射線の源をもっていることである。原子炉を運転する場合、故障や誤操作によって炉体や機器を損傷し、この放射性物質が外部へ漏れることになると一般の工場災害に比べてはるかに深刻な危害を発生する可能性を包蔵する。このような特質をもつ原子炉を能率的に運転し、安全性を確保するためには炉および付属設備の設計面で特別な考慮が必要になるのはもちろんであるが、種々の計測装置や制御装置を完備することは不可欠の要件になっている。

原子炉に対する計測制御系(計装)は大きくわけて次のようになる。

## (1) 核的計装

## (2) プロセス計装

核的計装は中性子や  $\gamma$  線のような放射線に関係のある現象を計測の対象としているが、プロセス計装は普通の化学工場などで実施されている計装に似たもので、その測定制御の対象は温度、圧力、流量、液位、電気伝導度などのプラントパラメータである。ただその検出器には強い放射線にさらされる場所にとりつけられるものもあるから、このような放射線のもとで損傷を起し、特性に変化を生じることがないよう、その材質や構造に特別の考慮が必要になる場合がある。

原子炉にはさきに述べたように実験炉、動力炉などの種類があり、その計装も炉の種類によって構成や機能はかなり異なってくる。しかし計測制御系の設計の根本的な原則は同じであって、個々の回路や全体の構成を設計し、さらに部品を選択する場合にもすべて最大の安全性と信頼度をもたせることを主眼とし、同時にできるだけ複雑なものをさけるようにしなければならない。また原子炉の運転、とくに動力炉の運転は円滑に行なわれ、みだりに中断することがないこと、系のどの部品が故障しても安全性がおびやかされないこと、すなわち Fail safe の原則が守られなければならないこと、これらは制御系に対する根本の要請である。最後に一般の計測制御装置と共通の条件であるが、計測器の精度が高く、応答速度が早いものでなければならないのは当然である。

## 2. 核的計装の構成

まず最初に核的計装はどのような構成をもち、どのような働きをするかを考えてみよう。核的計装はさらに細かくわけると

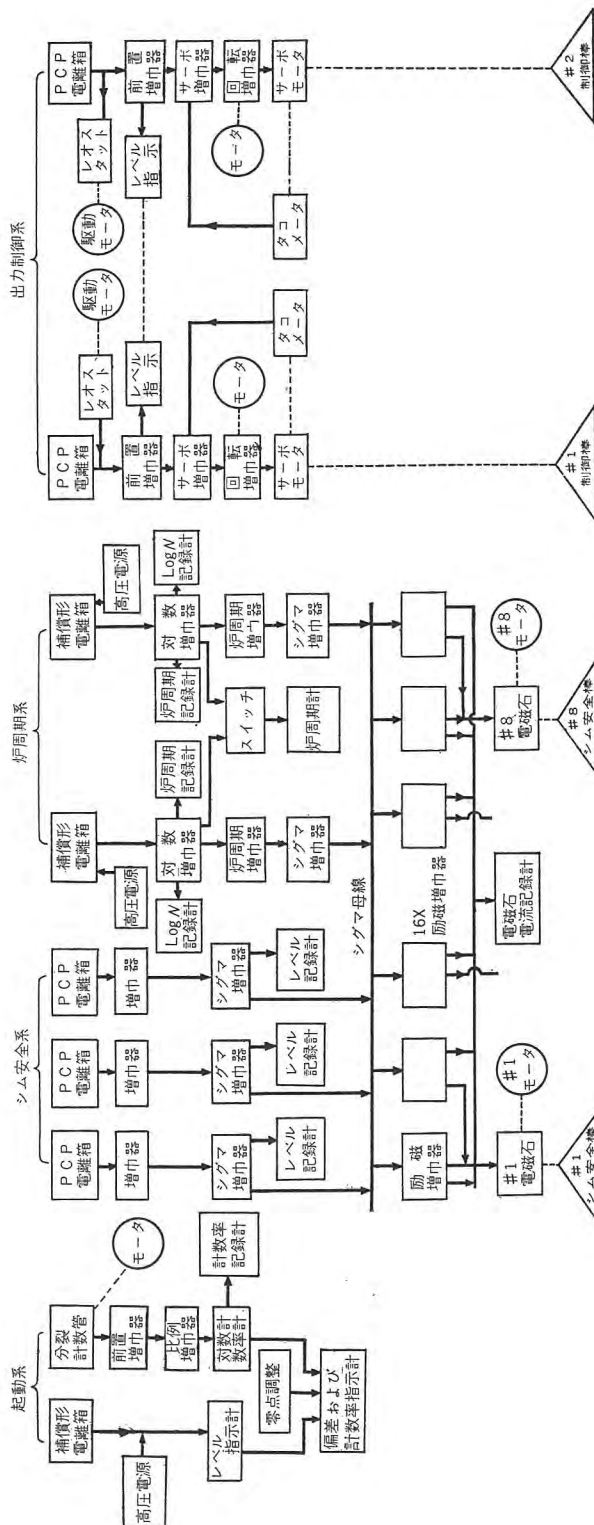
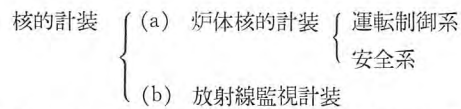


図 2.1 MTR の中性子計装





となる。(a)の炉体核的計装は狭い意味の核的計装で炉心から発生する中性子束を中性子検出器で測定し、その信号によって制御棒（あるいは同様な機能をもつ制御要素）を動かして炉の運転を調整する運転制御系、および危険な信号が発生したときに安全装置を動作させて炉の安全を確保する安全系を含んでいる。原子炉は非常に多量の中性子を含む反応系であるから、中性子計測系からの信号は炉の状態に関するもっとも重要な情報である。(b)の放射線監視計装は炉の運転には直接の関係はないが、原子炉から出てくる冷却材や廃棄物中に含まれる放射性物質、原子炉の建物や実験室、敷地内の放射線レベルを測定し作業員や一般公衆の保健、あるいは機材の安全をはかるための計測装置である。

原子炉の核的計装の一例として Idaho の Arco にある MTR（材料試験炉）の計装を示したものが図 2.1 である<sup>(1)</sup>。この例では計装は 4 本の主要な系列を有している。すなわち、(1) 起動系、(2) 炉周期系、(3) 出力制御系、(4) シム安全系である。なぜ、原子炉ではこのように何本もの計測系列を必要とするかといえば、原子炉の運転は炉が停止しているときのように中性子束の非常に低い領域から全出力運転時のきわめて高い領域まで、はなはだ広い中性子束の範囲にわたっていて、その大きさは全出力運転時は起動時の  $10^{10}$  倍以上にも達するが、この全領域をただ 1 種類の中性子検出器で測定することは不可能

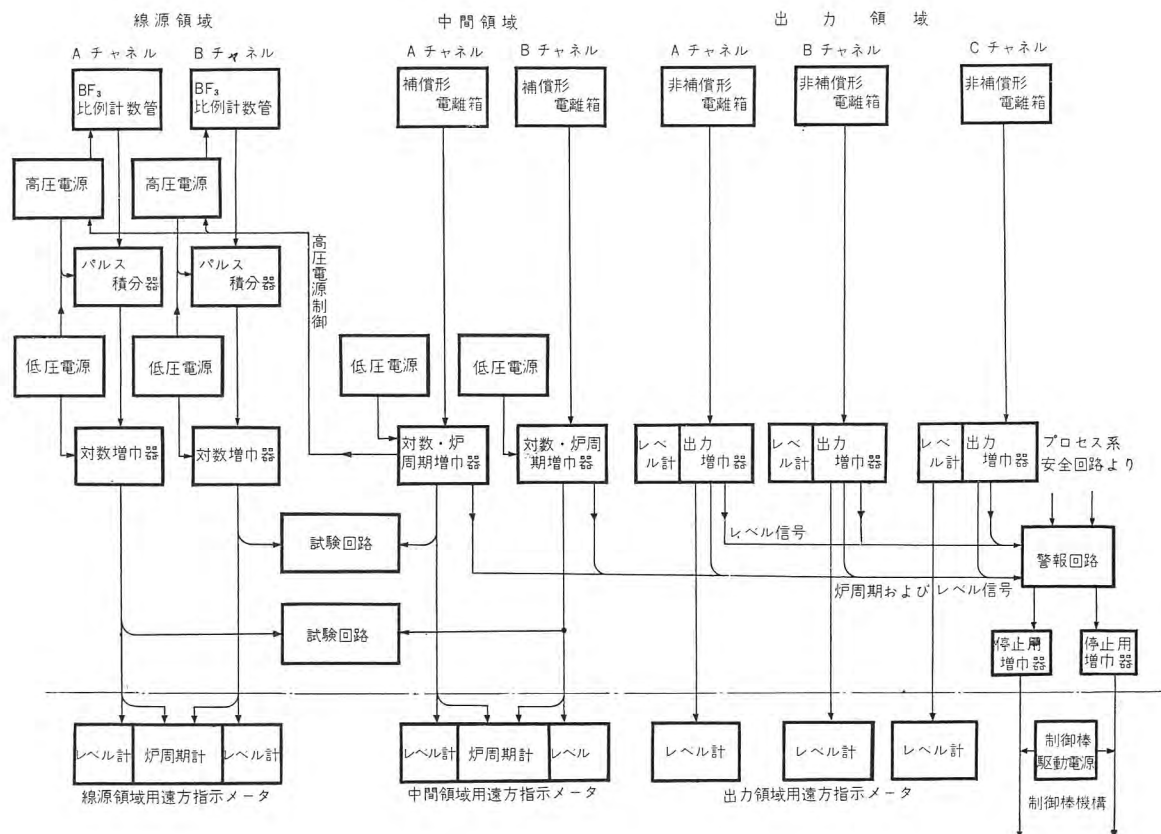
で、領域をいくつかに分けてそれぞれに対して適当した中性子検出器をえらび、またその信号の増巾回路や制御装置にもおののに適した方式を採用しなければならないからである。

つぎに動力炉の例として図 2.2 に PWR の中性子計測系を示す<sup>(2)</sup>。動力炉と実験炉とは運転の方式が異なるので計測系の構造、あるいは機能は若干相違があるが、その系列は全領域を三つに分けて計測していることは前の場合と同様である。いずれも中性子束のきわめて低い領域では中性子計数管のような高感度のパルス形検出器を用い、中性子束が高くなると電離箱による電流形検出法に切替える。これらの計測系統から得られ信号は出力レベルをあらわす中性子束信号と、レベルの変化の割合を示す信号（炉周期）であって、これらの信号によって炉の運転を制御するのは炉の形式によらない一般的な手法である。

### 3. 中性子検出器

中性子は電荷をもっていないので直接にその電荷を集めて検出することは不可能である。したがって他の物質との相互作用の結果より生ずる現象、または生成した物質をなかだちとして検出しなければならない。検出に利用される相互作用には次のようなものがある<sup>(3)</sup>。

(1) 中性子を吸収した原子核が検出する他の粒子を発生して他種の核に転換する場合。これらの核反応には  $(n, \alpha)$ ,  $(n, p)$ ,  $(n, \gamma)$ ,  $(n, \text{fission})$ （ここで  $n$  は中性子,  $p$  は陽子）などがあり、この反応は中性子を吸収すると瞬間的に生ずる。



2

図 2.2 動力炉の中性子計装の一例



(2) 中性子を吸収した物質が放射性同位元素に転換する。(誘導放射能) この放射性崩壊を測定すれば中性子束に関する情報が得られる。

(3) 中性子が他の粒子に弾性的に衝突してはじきとばした場合、この粒子が電荷をもっていれば検出ができる。この反応は普通、中性子と陽子の場合にもっともいちじるしく、中性子のもつてくるエネルギーの 100% まだが陽子に受渡される。

中性子の放射には一般に他の種類の放射線、とくに  $\gamma$  線が共存しているから、中性子検出器に対する  $\gamma$  線の影響をうち消すように工夫することがとくに大切である。また中性子のエネルギーによって検出器に及ぼす効果が異なってくるからエネルギー分布まで問題にすると検出器の選択や測定法についてさらに考慮して置かなければならない。しかし原子炉の中性子測定は対象が主として低エネルギーの熱中性子なのでここでは熱中性子検出器について考えることにする。

原子炉の中性子検出器としては上に述べた (1) の中性子と原子核との間の核反応を利用した  $\text{BF}_3$  計数管、核分裂計数管、中性子電離箱、シンチレーション計数管などが主である。中性子束レベルとこれらの検出器の感度を対比させたものが図 3.1 である。横軸は熱中性子束の単位で  $n/\text{cm}^2\text{sec}$  (単位時間に単位面積を通過して流れる中性子の個数) であらわす。その範囲は  $10^{-3}$  から  $10^{10}$  まで 12 デイケードのひろさにわたる。この他の (2) (3) などの検出法は一般の炉の制御に用いられることはあまりない。

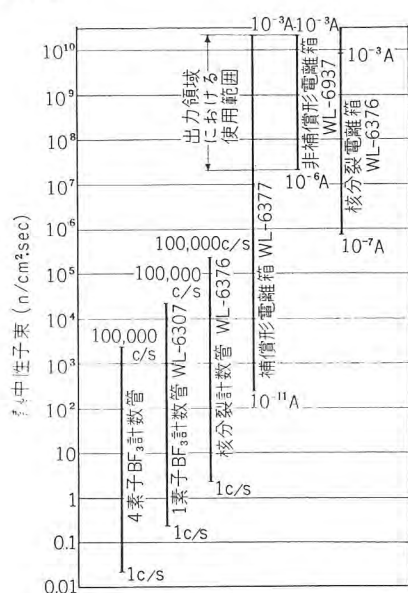


図 3.1 中性子束と検出器の適用範囲

### 3.1 $\text{BF}_3$ 計数管

$\text{BF}_3$  計数管は  $\text{B}^{10} (n, \alpha) \text{Li}^7$  の核反応を利用して熱中性子を検出するもので、反応で生ずる  $\alpha$  粒子は 2.78 MeV のエネルギーを有しており、この粒子による電離作用で生じたパルスを計数するようになっている。

その構造は一例として図 3.2 に示すように外部電極 (陰極) はアルミニウムなどの金属でできた円筒形で、その中心にタン

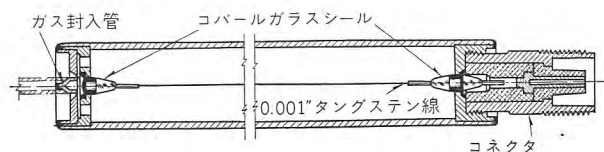


図 3.2  $\text{BF}_3$  比例計数管

グステンなどの細線 (直径約 0.001 in) を張って陽極とする。この中に  $\text{BF}_3$  のガスを 12cmHg の程度につめる。効率を高めるため  $\text{BF}_3$  のボロンには  $\text{B}^{10}$  を高度に濃縮 (96%) したものをを用いる。この計数管の印加電圧に対する特性はよく知られているように図 3.3 のようなプラトール曲線を示す。すなわち一定の中性子源を置いたとき、計数管の電極にかかる電圧がある範囲変動した場合でも計数値はほとんど変わらない平坦な部分をもっている。また横軸にパルスの高さを取り、縦軸に毎秒の計数 (cps) をとれば図 3.4 のようになる。これは比例計数管の特長を示すもので入射粒子のエネルギーによって出力パルスの波高が異なってくる。パルス波高電圧の高い所に出る山が中性子 (核反応で生じた  $\alpha$  粒子) によるもので低い部分の山は雑音および  $\gamma$  線によるものである。この両者の間の電圧をバ

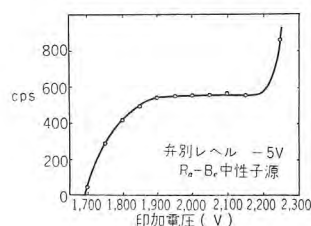


図 3.3  $\text{BF}_3$  計数管の電圧—計数特性



図 3.4 パルス高さ分布曲線

イアス電圧として波高弁別すれば中性子によるパルスだけをえらび出すことができる。

$\text{BF}_3$  計数管の感度は単位中性子束に対する毎秒の計数で定義される。式で書けば

$$\text{感度} = NV\sigma_0 \frac{v_0}{\bar{v}} \quad (3.1)$$

$N=1$  cc あたりの  $\text{B}^{10}$  の数

$V$  = 計数管の有効容積

$\bar{v}$  = 中性子の平均速度

$v_0=2.2 \times 10^5$  cm/sec

$\sigma_0=4.010$  barns

中性子の速度が Maxwell-Boltzmann の分布則に従うものとすればこの式は

$$\text{感度} = \frac{4.010 \times 10^{-24} NV}{1.128} \quad (3.2)$$

となる。

$\text{BF}_3$  計数管はガス中に不純物が含まれていると特性がきわめて悪くなる。その不純物には  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{H}_2\text{F}_2$  や分解した有機ガスが考えられる。したがって工作や排気、ガス封入の際には不純物はいらないようにとくに注意する必要がある。

$\text{BF}_3$  計数管は  $\gamma$  線にも感度を有するがそのパルスは中性子によるものよりはるかに小さいので増巾回路でパルスの高さを



弁別すればよい。しかし強い $\gamma$ 線にさらされている所では $\gamma$ 線パルスの累積によってさきの波高分布曲線(図3.4)がひろがりパルスの弁別が困難になる。その結果図3.5に示すようにプラトーの長さが短くなり極端の場合はプラトーがまったく消失してしまうから、このように強い $\gamma$ 線照射下では使用することはできない。

BF<sub>3</sub> 比例計数管の仕様の例は付録(1)の表1に示してある。

### 3.2 ボロン被覆計数管

前節に述べた BF<sub>3</sub> 計数管内に封入する BF<sub>3</sub> ガスは化学的に非常に不安定なのでその精製や計数管の製作に非常に注意を要する。そのため、普通の比例計数管の陰極筒の表面に金属ボロン(96% 濃縮ボロン)またはボロンの化合物をうすく塗布したものが作られている。(図3.6) その被覆の厚さはボロンで 0.85 mg/cm<sup>2</sup> 程度以下である。あまり厚いと核反応で生じた荷電粒子が管内へ出ることができず、また薄すぎると全体の感度が悪くなる。この計数管のプラトー特性をみると BF<sub>3</sub> 計数管の場合よりも平坦の度合が劣っている。その理由は反応で生じ

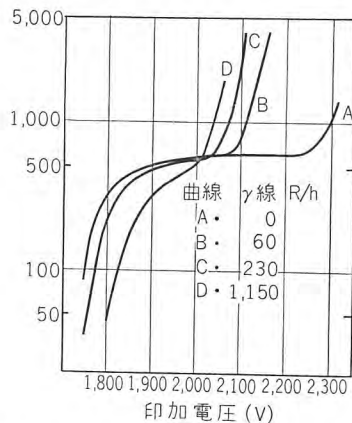


図 3.5 Co<sup>60</sup> の  $\gamma$  線照射下における BF<sub>3</sub> 計数管の特性

た荷電粒子がボロン被覆を通過して外へ出る間にエネルギーが減り、ガスのイオン化能力が一様でなくなっているためである。普通の作動状態で単位中性子束あたり 5~10 counts/sec の感度がある。

### 3.3 核分裂計数管

中性子が U<sup>235</sup> のような核分裂性物質に吸収されることによって生じた分裂破片のもっている大きな運動エネルギーによって電離作用を生ぜしめ、これによって中性子を検出するものである。核分裂破片によるパルスは U<sup>235</sup> などから放出される $\alpha$ 粒子や $\gamma$ 線によるものよりはるかに大きいので入射粒子の弁別が容易である。その上分裂破片の飛程は短くその初期に電離能力が大きいのに反し、 $\alpha$ 線は長い飛程の終りで電離作用が大き

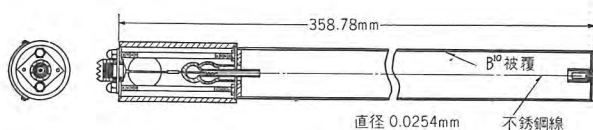


図 3.6 ボロン被覆中性子計数管

くなるので電極間の距離を小さくして両者のパルスを選別することができるようになっていいる。ガス増巾を使用しないため極間にかける電圧も低くなり高压を使用する BF<sub>3</sub> 計数管に比べて有利となる。感度は BF<sub>3</sub> 計数管に比べると劣るが、動作が安定で、イオン収集時間が短く、かなり高い中性子束でも使用することができ測定範囲が広いのが特長である。また動作電圧を変えることによって高感度の電流電離箱として働かせることもできる。

核分裂計数管の実際の例を図3.7に示そう<sup>(4)</sup>。その本体は外径 2 in 長さ 10 in のアルミニウムのケースに入れられ、その中に4個の同心円筒状のアルミニウム製電極を有する。電極は 90% 濃縮のウランを使った U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> を 2 mg/cm<sup>2</sup> の厚さに被覆してある。内部にはアルゴン 99%, 窒素 1% の混合気体を 1 気圧の圧力でつめる。この計数管の感度(極間電圧 300 V)は単位中性子束あたり 0.7 count/sec の割合で、バックグラウンドは 5 count/sec の程度であるから、使用できる中性子束範囲は 10n/cm<sup>2</sup>·sec から 2×10<sup>5</sup>n/cm<sup>2</sup>·sec である。 $\gamma$ 線の照射に

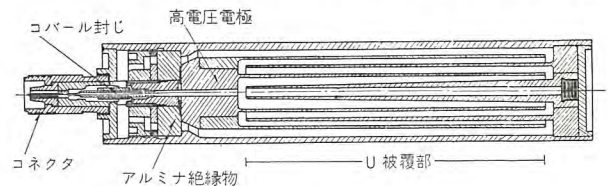


図 3.7 核分裂計数管

対しては 10<sup>10</sup> $\gamma$ /cm<sup>2</sup>·sec (10<sup>5</sup>R/h の程度) くらいの  $\gamma$  線束のもとでも中性子の検出が可能である。

付録の表2には Westinghouse 社の核分裂計数管 WL6376 の仕様を示す。

核分裂計数管の一つの変形としてミニアチュア計数管がある<sup>(5)</sup>。これは図3.8に示すように扁平で小形のもので原子炉内の中性子束分布の測定に用いられる。電極表面には U<sup>235</sup> を被覆し、室内にはアルゴンを 4 気圧で封入する。この計数管の感度は単位中性子束あたり 2×10<sup>-5</sup> count/sec である。

以上の核分裂計数管は電極被覆物質に U<sup>235</sup>, Pu<sup>239</sup> などを使用したもので熱中性子検出用に使われるが、これらの代りに U<sup>238</sup>, Th<sup>232</sup> などを使用すれば高速中性子で分裂を生ずるので高速中性子検出用の計数管を作ることができる。

### 3.4 補償形電離箱

高い中性子束の領域にはいと電流形中性子電離箱が使わ

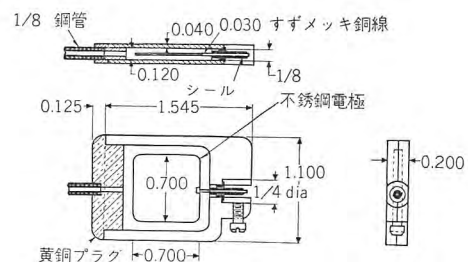


図 3.8 ミニアチュア分裂計数管



れる。これは電極を  $B^{10}$  (または  $B^{10}$  化合物) で被覆し、 $B^{10}(n-\alpha)$  反応の  $\alpha$  粒子で箱内につめたガスを電離し、その電流を信号としてとり出す。比較的中性子束の低い領域では  $\gamma$  線による電離作用を打ち消す必要があるので補償形電離箱を用いる。

パルス形検出器ではパルスの高さで  $\gamma$  線と中性子とを区別することができるが電流形検出器ではこのような弁別法はできない。補償形電離箱で使われている方法は電離箱を二つの室に分け一方の電極はボロンで被覆するか、室内に  $BF_3$  をつめて中性子および  $\gamma$  線に感度をもたせる。他の室はボロンを含まず、したがって  $\gamma$  線だけに感度を有する。両方の箱を図 3.9 のように接続すると  $\gamma$  線による電流は打消されて零になり、中性子による電離電流だけが残ってこれが電気計回路で測定されて中性子束の信号を与える。炉内の  $\gamma$  線束は各場所分布が不均一なのでその影響の打ち消しを細く行なうには箱内へ封入するガス圧や箱の容積、あるいは電極にかかる電圧をかえればよい。

図 3.10 には補償形電離箱の構造を示す。この形は MTR で使用されているもので電離箱の長さが 36 in もあるのに比べて有効部分は 6 in 程度にすぎない。これはケーブルの部分が高い中性子束にさらされないために有効である。電極はグラファイトでできており補償作用の調整には箱の容積を外部から変えて行なっている。

図 3.11 は  $\gamma$  線の補償を電極にかかる電圧を調整して行なう電離箱の電極の構造を示したものである<sup>(6)</sup>。一般に炉に電離箱を装入したとき外部から補償作用を調節するには電氣的に行

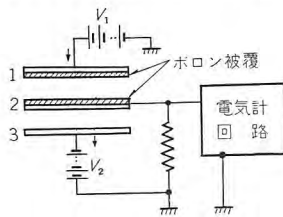


図 3.9 補償形電離箱の接続

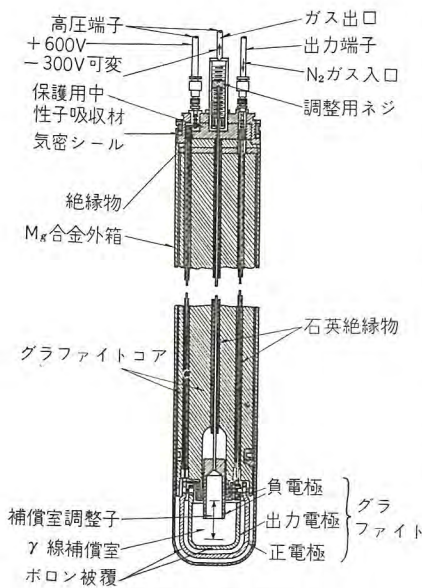


図 3.10 補償形電離箱

なうほうがはるかに容易であり、機械工作の上からみても問題がない。図の電極構造（同心円筒状）に示されるように外側にはボロンを被覆した中性子に感じる箱（外箱）があり内側には補償箱（内箱）が形作られる。内箱は外箱より容積が若干大きく作ってあるので外箱に飽和電流を生ずるだけの電圧でも内箱では飽和を生じない。すなわち外箱では均一の電場ができていて箱内のどの部分でも飽和しているが、内箱は電極にみぞが切っており、

電場が不均一となってかなり高い電圧を加えるまで飽和しない。（図 3.12）したがって内部電極へかける電圧を調節してやれば  $\gamma$  電流を打ち消すことができる。

この補償形電離箱の電極は Mg-Al 合金で、内部には  $N_2$  を 1 気圧につめる。この形の電離箱には Westinghouse 社の WL-6377 がある。付録の表 3 にはその仕様を示す。

### 3.5 非補償形電離箱

補償形電離箱が使われているより高い中性子束の領域になると中性子による電離電流ははるかに強くなるので補償を行わない中性子電離箱が使われる。

図 3.13 はこの形の電離箱の一例で電極はボロンで被覆したグラファイトの円板を図のように配置して作っている。これはできるだけ小さい有効容積に対し効率をあげるためのボロン被覆面積を大きくするように考えられたものである。この種の電離箱は PCP (Parallel Circular Plate) 電離箱と称せられている。

また英国で開発された非補償形電離箱に RC-1, RC-2 という形である。これはアルミニウムで作られた電極がドーム状を

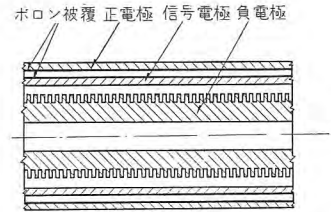


図 3.11 電氣的に補償する電離箱の電極

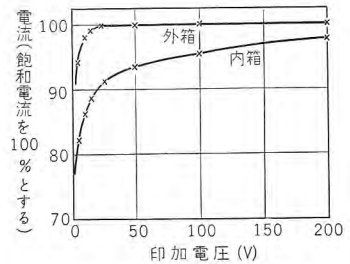


図 3.12 内箱と外箱の電圧電流特性

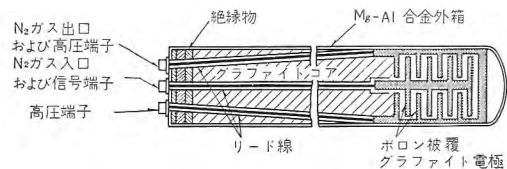


図 3.13 平行円板形電離箱

表 3.1 中性子電離箱 RC-1, RC-2 の特性

1 天然ボロン 被覆 1 mg/cm<sup>2</sup>  
電極間隔 6.2 mm H<sub>2</sub> 封入

形式	ボロン被覆面積 (cm <sup>2</sup> )	H <sub>2</sub> 圧力 (cm Hg)	中性子感度 $S_n$ (A/n/cm <sup>2</sup> ・sec)	$\gamma$ 線感度 $S_\gamma$ (A/R/h)	n/cm <sup>2</sup> /sec (1R/h に等価)
RC-1	500	150	$6.0 \times 10^{-15}$	$6 \times 10^{-12}$	$10 \times 10^3$
		15	$1.5 \times 10^{-15}$	$6 \times 10^{-13}$	$4.0 \times 10^2$
RC-2	200	150	$2.4 \times 10^{-15}$	$33 \times 10^{-12}$	$1.4 \times 10^3$
		15	$0.6 \times 10^{-15}$	$33 \times 10^{-13}$	$5.5 \times 10^2$

2  $BF_3$  ( $B^{10}$  を 96% に濃縮)

形式	有感容積 (cm <sup>3</sup> )	$BF_3$ ガス圧力 (cm Hg)	中性子感度 $S_n$ (A/n/cm <sup>2</sup> ・sec)	$\gamma$ 線感度 $S_\gamma$ (A/R/h)	n/cm <sup>2</sup> /sec (1R/h に等価)
RC-1	180	30	$29 \times 10^{-14}$	$1.35 \times 10^{-11}$	$4.6 \times 10^2$
RC-2	100	30	$16 \times 10^{-14}$	$0.75 \times 10^{-11}$	$4.6 \times 10^2$



している構造である。表面にボロンを塗布したものと箱内に  $\text{BF}_3$  ガスをつめたものの特性の比較を示したものが表 3.1 である。この電離箱を開発した目的は非補償形でできるだけ  $\gamma$  線の影響を少なくし、原子炉の制御に使うためであった。実際に炉内で使う場合  $\gamma$  線を減らすため鉛のしゃへいを使うなどの工夫を施している。

実際の非補償形電離箱の例として付録の表 4 に Westinghouse の WL-6937 形の仕様を示す。

### 3.6 中性子シンチレーション計数管

シンチレーション計数管の原理は放射線が特殊な結晶あるいは液体に当たったとき発するせん光 (Scintillation) を光電子増倍管で受けて電気的なパルス信号としてとり出すものである。せん光を発する物質をシンチレータといい、Xe, He の混合気体、トリエチルベンゼンのような有機液体、NaI のような無機物の結晶、アントラセンのような有機結晶がある。中性子用のシンチレータの発光は直接に中性子の作用によるのではなく次のような過程によって行なわれるものと考えられている<sup>(7)</sup>。すなわち、

- (1) シンチレータに飛込んだ中性子が中に含まれている原子核と相互作用を行なって陽子の反跳、または  $(n, \alpha)$ ,  $(n, p)$ ,  $(n, \text{fission})$ ,  $(n, \gamma)$  などの反応で高いエネルギーの荷電粒子を放出する。
- (2) つぎにこの荷電粒子はシンチレータの中を走っている間にそのエネルギーを他の原子に伝える。
- (3) 原子に伝えられたエネルギーは特定の発光原子を励起しこれが低いレベルへもどるとき発光する。この原子は NaI の結晶の場合はあらかじめ含有させた Tl 原子である。
- (4) 発光した光の波長が短く光電子増倍管で検出できない場合には、さらに別の物質を加えケイ光現象によって可視光線を発光させる。(Waveshifter)

高速中性子の検出には陽子の反跳を利用したシンチレータが用いられ、熱中性子の場合にはシンチレータに含まれた  $\text{B}^{10}$ 、や  $\text{Li}^6$  の  $(n, \alpha)$  反応が利用される。

シンチレーションカウンタでも  $\gamma$  線による影響を少なくすることが問題になる。シンチレータは感度が高いので  $\alpha$  粒子でも  $\gamma$  線でもその大部分のエネルギーをシンチレータの中で消費するため  $\gamma$  線による出力は中性子によるものと同じ程度になる。さらに有機物のシンチレータでは  $\alpha$  粒子よりも  $\gamma$  線による二次電子のほうが発光能力が高い。 $\gamma$  線の弁別には光のパルスの高さによる方法、 $\gamma$  線による二次電子がそのエネルギーの一部分しか結晶内で失わないような構造にする方法が採られている。

一般に中性子シンチレーション計数管は出力電流が大きく、他の放射線測定器に比べて応答速度が早いという長所をもっているが、その安定性が不十分で  $\gamma$  線による影響をうけ、光電子増倍管の雑音が大きいのなどの理由で原子炉の制御に使用されることはほとんどなく、中性子の監視用や中性子実験の測定器として用いられるのがおもな用途である。

### 3.7 その他の中性子検出法

#### (1) 中性子熱電対

炉心内の中性子束レベルの監視の補助的な装置として用いられるもので、熱電対の温接点側に  $\text{B}^{10}$  または  $\text{U}^{235}$  を塗布すれば、中性子を吸収したときの核反応で温度が上昇する。この熱起電力を測定すればその場所の中性子束が知られる。

この中性子熱電対でどの程度の感度が得られるであろうか。その一例として 10 対のクロメル-コンスタンタン素子より成る熱電堆でその形は放射状に配置して作りその中心部に 15 mg の  $\text{B}^{10}$  粉末を固めた円板 ( $3.5 \text{ mm} \phi \times 1 \text{ mm}$ ) を置いたもので得られた結果では  $10^{11} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$  の中性子束のもとで 1 mV の起電力が得られた。1°C あたり 0.5 mV の熱起電力があるから  $10^{13}$  の中性子束では輻射などによる熱の損失を考慮しても 200°C の温度上昇が期待される。時定数はかなり遅く数秒の程度である<sup>(8)</sup>。

#### (2) 誘導放射能による測定

金属の箔に中性子を照射して生起する誘導放射能 ( $\beta$  または  $\gamma$ ) を測定することにより中性子束の強度を測る方法は中性子実験にはよく使われているが、実際の原子炉でも炉内の中性子束分布の測定に応用されている。また英国のガス冷却形発電炉ではタングステン線を炉内に入れて測定し、中性子束の平均化や燃料の取換など長期運転のためのデータとしている。

誘導放射能による方法は刻々の運転制御の情報としては使うことはできないが、上のような目的には適しておりつぎに述べるような利点を有する。

- a. 感度を広範囲に変えることができ、中性子束が非常に低いときでも高いときでも応用することができる。
- b. 素子の形が小さい。
- c. 照射と測定が別個であるから、原子炉のそばでは直接に測れないような現象でも測定が可能になる。
- d. 照射される物質は中性子のエネルギーに対しそれぞれ異なった反応を示す。したがって照射物質を適当にえらべば、中性子束をエネルギー領域にわけて研究することができる。

### 3.8 中性子検出器に対する要求

以上原子炉およびそれに関連した分野で使用されている中性子検出器について概要を説明した。これら原子炉用中性子検出器に対して要求される技術的条件をとりまとめてみれば次のようになるであろう。

- a. できるだけ広い範囲の中性子束を測定しうること
- b.  $\gamma$  線の影響をできるだけ少なくすること
- c. 残留放射能が少ないこと、また炉内の放射線によって劣化や損傷をうけないこと
- d. 形状が小さいこと
- e. 出力電流が大きいこと
- f. 長寿命で、またかなり高温のもとでも安定に働くこと

現在使用されている中性子検出器は中性子実験や実験用原子炉のために開発された由来のものが多く、動力用原子炉に使用する場合必ずしも満足なものとはいえない場合がある。今後は動力炉用としてさらに適した形状、性能のものが作られてゆくことが期待されている。



## 参考文献

- (1) Materials Testing Reactor Project Handbook. AEC—TID—7001 (1951)
- (2) Type “FN” Nuclear Plant Control Equipment. (Westinghouse) (1958)
- (3) W. J. Price: Nuclear Radiation Detection (1958) p. 258
- (4) W. Baer and R. T. Bayard: R. S. I. 24 (1953) p. 138
- (5) R. G. Nobles & A. B. Smith: Nucleonics, 14, 60 (Jan. 1956)
- (6) H. S. Mc Creary & R. T. Bayard: R. S. I. 25, (1954) p. 161
- (7) C. O. Muehlhause: Nucleonics 14, 39 (Apr. 1956)
- (8) A. C. Lapsley: Nucleonics 11, 62 (May 1953)

## 付録(1) Westinghouse 社の中性子検出器の仕様

表 1 BF<sub>3</sub> 計数管 (WL-6307)

寸度および材質	
外径	1-1/32 in
最大長	12 in
全重量	6 oz
本体	Al
中心線	0.001 in 直径タングステン線
絶縁物	ポリスチレンおよびアルミナ
動作特性	
電極間電圧	約 2,000 V
中性子束範囲	$2.5 \times 10^{-1} \sim 2.5 \times 10^4 n/cm^2 \cdot sec$
増倍率	500
感度	4.5 count/n/cm <sup>2</sup>
プラトーの長さ	200 V 以上 スロープ 4% 以下
出力パルス	10 <sup>-3</sup> V 以上 立上り時間 $5 \times 10^{-8}$ 以下

表 2 核分裂計数管 (WL-6376)

寸度および材質	
外径	2-3/32 in
最大長	11-7/8 in
全重量	1-3/4 lb
本体および電極	Al
絶縁物	ポリスチレンおよびアルミナ
中性子検出材	90% U <sup>235</sup> の U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> , 厚さ 2 mg/cm <sup>2</sup>
動作特性	

## 1. 核分裂計数管として

電極間電圧	300 V
中性子束範囲	$2.5 \sim 2.5 \times 10^5 n/cm^2 \cdot sec$
感度	0.7 count/n/cm <sup>2</sup>
プラトーの長さ	200~800 V
出力パルス	$2 \times 10^{-4}$ V
立上り時間	$2 \times 10^{-7}$ sec

## 2. 電離箱として

電極間電圧	300~800 V
中性子束範囲	$5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^{10} n/cm^2 \cdot sec$
感度	$1.4 \times 10^{-13} A/n/cm^2 \cdot sec$
γ線感度	$4.2 \times 10^{-11} A/R/h$

表 3 補償形電離箱 (WL-6377)

寸度および材質	
外径	3-3/16 in
最大長	24 in
全重量	5-3/8 lb
本体	Mg 97%, Al 3% 合金
絶縁物	ポリスチレンおよびアルミナ
中性子検出材	96% B <sup>10</sup> のボロン, 厚さ 1 mg/cm <sup>2</sup>

## 動作特性

電極間電圧	300~800 V
補償電圧	-10~80 V
中性子束範囲	$2.5 \times 10^2 \sim 2.5 \times 10^{10} n/cm^2 \cdot sec$
感度	$4 \times 10^{-14} A/n/cm^2 \cdot sec$
出力電流	{ 電圧 300 V 中性子束 $2.5 \times 10^9 n/cm^2 \cdot sec$ } $2 \times 10^{-4}$ A
γ線感度	
(補償しない場合)	$3 \times 10^{-11} A/R/h$
(補償した場合)	$3 \times 10^{-13} A/R/h$

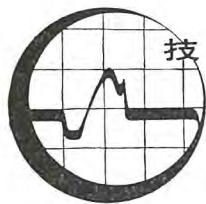
表 4 非補償形電離箱 (WL-6937)

寸度および材質	
外径	3 in
最大長	13-7/8 in
全重量	2-1/2 lb
本体	Al
絶縁物	ポリスチレンおよびアルミナ
中性子検出材	96% B <sup>10</sup> のボロン

## 動作特性

電極間電圧	200~800 V
中性子束範囲	$2.5 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^5 n/cm^2 \cdot sec$
感度	$4.4 \times 10^{-14} A/n/cm^2 \cdot sec$
γ線感度	$5 \times 10^{-11} A/R/h$
出力電流	{ 電圧 250 V 中性子束 $3 \times 10^4 n/cm^2 \cdot sec$ } $1.3 \times 10^{-4}$ A





## 発電所全般 (5)

## — 所内動力用変圧器 —

## 1. 所内変圧器と所内母線系統

発電所における所内補機動力用電源としては古い形式の発電所では受電端の通降変圧器および主発電機に直結された所内発電機から供給されていたが最近の新鋭火力発電所はユニットシステムとなって所内補機動力系統も従来のものとは異なった形態がとられるようになってきた。発電所補機動力系統の計画はその容量と使用条件によって支配される。

超高压、高温のボイラ、タービンの出現によって単機容量が増大し、タービン発電機もクロスコンパウンド方式がすでに外国では採用されており、国内においても実現一歩前にあり、これに伴ってボイラ給水ポンプの所要馬力も増大してくるので、そのポンプの駆動方式によって系統の構成も複雑になってくる。

さらに原子力発電所の台頭するに及んでその一次系の形式によって運転系統も異なってくるのでここに所内補機動力系統に対して新しい方式が考えられ所内動力用変圧器の容量選定および接続方法もそれによって変化していく。

表 1.1 はわが国の主要火力発電所における所内変圧器および起動用変圧器の容量を示したもので、だいたい発電機容量の約 8% 程度である。

なお、原子力発電所における所内補機動力の容量は原子炉の形式により種々変化があるが加圧水形原子力発電所における発電機出力に対する補機動力の比率は次のようである。

発電機出力	出力に対する補機動力の比
100 MW	9.5%
130 MW	7.7%
219 MW	7.8%
220 MW	8.8%

また、変圧器の容量選定にあたり、冷却ファンを設け、自冷式で定格出力とし風冷式を並用することによって将来の過負荷に耐えるよう計画することも行なわれている。

表 1.1 わが国主要発電所における変圧器容量

	九州電力 刈 田	東京電力 千 葉	中部電力 三 重	関西電力 多 奈 川	中国電力 新 宇 部	東北電力 八 戸	四国電力 松 山	住 友 共 電
発 電 機								
出 力 (kVA)	192,000	160,000	95,908	93,750	95,909	92,000	81,176	88,235
電 圧 (kV)	18	15	13.8	13.8	13.8	13.2	13.2	13.8
主 変 圧 器								
出 力 (kVA)	190,000	160,000	93,000	90,000	90,000	90,000	77,000	85,000
電 圧 (kV)	17.2/220	14.4/154	13.2/77	13.2/77	13.2/110	12.6/66	12.6/66	13.2/66
結 線	△-入	△-入	△-△	△-入	△-入	△-入	△-△	△-入
インピーダンス (%)	12	11.7		12	9			8.5
所内変圧器								
出 力 (kVA)	15,000/20,000	10,000/12,500	90,000	7,500/9,375	7,500/9,375	7,500/9,000	7,000	7,500/9,375
電 圧 (kV)	17.2/3.45	15/4.16	13.8/3.45	13.8/3.45	13.2/3.45	12.6/3.45	12.6/3.45	13.8/3.45
結 線	△-入	△-入	△-△	△-△	△-△	△-△	△-△	△-△
インピーダンス (%)	9			7	6.7/8.4			7
起動用変圧器								
出 力 (kVA)	15,000/20,000	15,000	90,000	7,500	7,500/9,375	7,500/9,000	7,000	7,500
電 圧 (kV)	220/3.45	154/4.16	77/3.45	77/3.45	110/3.45	66/3.45	66/3.45	66/3.45
結 線	入-△-入	入-入-△	△-△	△-△	入-△	入-△	△-△	入-△
インピーダンス (%)	9			7.5	8.5/10.6			7.5

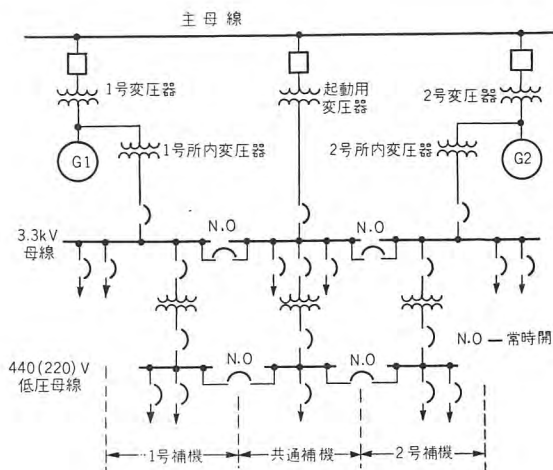


図 1.1 代表的な所内補機動力系統図

図 1.1 は 2 台の中容量発電所における所内補機動力系統図の代表例である。

所内変圧器はシャ断器を介さないで発電機端子に直結され、各発電機ユニットの補機動力に給電する。起動用変圧器は主系統母線に結ばれ起動の際は各発電機ユニットの補機動力ならびに共通所内動力へ給電する。ある場合には起動用変圧器は主系統母線からとらず他の電源からとることもある。

図 1.1 は基本的な系統図でこれを基にして超高压、高温の発電所あるいは原子力発電所の所内系統も検討が加えられる。

超高压大容量ユニットとなると変圧器の容量も大きくなっていくのでしたがってシャ断器の定格電流容量、シャ断容量、許容最大電流などの制限あるいは起動時の電圧降下や起動 kVA の大きさなど種々の因子を考慮して変圧器や系統構成を考えていかなければならない。

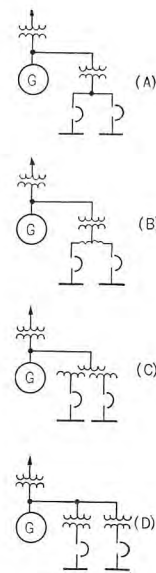


図 1.2 大容量ユニットに対する諸種の所内補機動力系統図



ればならない。この一例として図1.2(A)は変圧器二次側にシャ断器を2個置くことによって電流量の緩和を計ったものであるがこれではシャ断容量は緩和されない。

図1.2(B)は変圧器二次側に2個のリアクタを入れて回路を2分割したものである。

図1.2(C)は特殊の三巻線変圧器として二次側を2分割したものである。

図1.2(D)は2台の別個の変圧器とした場合である。いずれも起動時または切換時における突入電流による電圧降下が過大とならずしかもシャ断器の定格電流およびシャ断容量の範囲となるよう短絡電流を制限するため適当のインピーダンスを有するよう計画する必要がある。

図1.2に示す諸系統図は現在のわが国の発電機容量であれば大体満足されるが将来発電機容量の増大に伴い所内変圧器の容量も大きくなっていくが前に述べたようにシャ断器容量の制限からむやみに変圧器容量を大きくすることが困難なので設置台数を増さなければならない結果となるので所内補機のうちでもいちばん大きい容量を占めるボイラ給水ポンプをタービン駆動とするかまたはメーンタービンに直結することによって変圧器容量を緩和することも米国では実際に行なわれている。この給水ポンプをタービン駆動とすることは他の運転上の諸種の理由によるためでもあるが、タービン駆動とするか、電動機駆動とするかの選択は電力系統の制約、機器の価格、ユニットの熱効率および給水ポンプの性能などを考慮した経済的観点から決めなければならない。電動機駆動とする場合1台のポンプに2台の電動機をタンデムにつないで各電動機を別の母線から起動する方法も採られている。この駆動方式の選択は補機動力系統の決定にあたり重要な要素である。

また、変圧器のインピーダンスは給水ポンプや通風機用の大形誘導電動機の起動時や母線自動切換えによる突入電流のため電圧降下が大きならないよう決めなければならない。とくに大

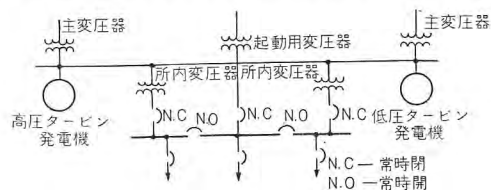


図1.3(A) クロスコンパウンドユニットの所内補機動力系統図

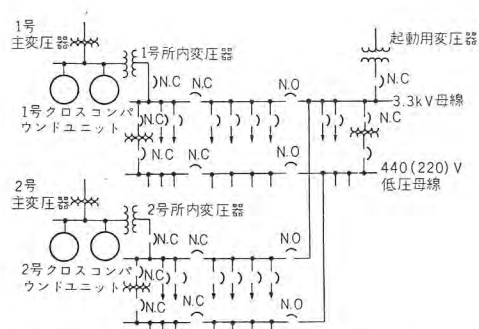


図1.3(B) クロスコンパウンドユニットの所内補機動力系統図

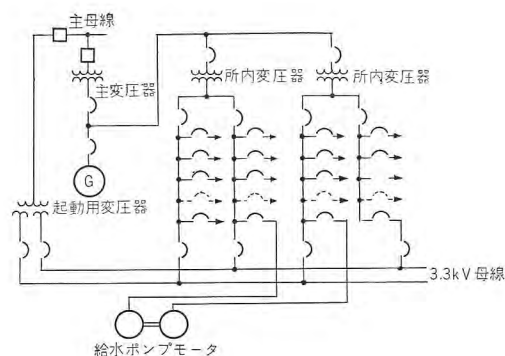


図1.4 大容量ユニットの所内補機動力系統図

容量発電機で励磁機が電動機駆動の場合には駆動誘導電動機は最大回転力を500%近くまで必要とするのでしたがって起動電流も全負荷電流の12倍~15倍にも達することがあるのでとくにインピーダンスに注意の必要がある。これらの場合の単線結線図例が図1.3(A)(B)および図1.4である。

現在わが国における発電所所内補機のうち高圧電動機に対しては3,000V級の電圧が広く採用され、最近輸入機器の関係で4,160V級が一部に採り入れられているのが現状である。しかし補機電動機の容量が大きくなった場合電動機電圧をいくらに選定すべきかはシャ断器、付属起動装置、使用ケーブル、低圧回路の電圧との関連などあらゆる角度からみて最適の電圧とすべきである。

## 2. 変圧器の結線

所内補機動力系統母線は機器保護のため接地することが望ましく、その接地方式としては

- (1) 変圧器二次側中性点の抵抗接地
- (2) 接地変圧器による接地

が一般に採用されている。また所内変圧器と起動用変圧器とは短時間の並列運転が行なわれるので主変圧器を含めて三者間の角変位を合わせる必要がある。すなわち主変圧器の結線方式のいかんによって所内変圧器および起動用変圧器の結線方法も変わってくるので、変圧器の結線はこれらの条件を満足させるために一次、二次の相差角、相回転、インピーダンス、シャ断器の容量および接地方式などを考えて決めなければならない。

普通行なわれている結線方法としては所内変圧器では一次は発電機端子に直接結ばれ△-人または△-△に結線されることが多い。

△-人結線では中性点から中性線を出すことができるので抵抗接地方式とする際に都合がよい、第3調波の影響も受けることがない。

△-△結線では第3調波の励磁電流が循環するので外部線路には第3調波電圧は現われないので、その影響を受けることがないが中性線を出すことができないので抵抗接地方式とすることが困難である。回路を接地するためには別個の接地用変圧器を必要とする。また、このためには接地変圧器用および変圧器シャ断器用としてメタルクラッド配電箱を準備しなければならないのでその費用だけかさむことになる。

起動用変圧器では一次側は主母線系統に結ばれるので電圧も高くなる。結線方法としては人-人結線、人-△結線、△-人



結線が多い。

人-人 結線では二次誘導起電力中に第3調波が含まれるので中性点を接地した場合第3調波電流が大地を通して流れるので種々の障害を起しそのままでは接地することができない。とくに外鉄形三相変圧器ではこの影響がはなはだしく、内鉄形三相変圧器でもさほどひどくはないがこの影響を無視することはできないので三次巻線を設けてこれを△結線としこの中の循環電流によって第3調波を除く方法がとられる。

しかしこの第3巻線を設けることは変圧器の容量が小さいと製作がめんどろとなり価格も割高となるので、表1.1の例にみられるように15,000kVA級の変圧器では第3巻線付とするが、7,500kVA級では次に述べる△-人結線として抵抗接地方式とするか、人-△結線として接地用変圧器による接地方式とするかを決めなければならない。

人-△結線では△結線中で第3調波の起電力は循環電流となり外部には出ないので影響はないがこれも中性線を出せないで抵抗接地方式とすることはできない。△-△結線と同様に接地用変圧器が必要となる。

△-人結線では二次各相巻線を2等分して電圧位相を違えてあるので互に各巻線間で打消し合って第3調波は現われない。したがって中性点を接地しても影響がない。しかし巻線の位相を変えるために人結線と同じ電圧をうるためには銅量を多く使用しなければならないので価格が割高となる。

### 3. 接地変圧器

現在の△結線の系統の接地に対しては中性点をうるためには接地変圧器が用いられる。接地変圧器の結線は人結線か、人-△結線のいずれかである。

人結線の変圧器は二次巻線を有せずその内部接続は図3.1に示すとおりである。三相電流に対してはインピーダンスが高いためで接地事故がない時は変圧器巻線にはわずかの励磁電流が流れているだけであるが、接地電流に対してはインピーダンスが低いので接地事故が発生すると大きい接地電流が流れる。接地

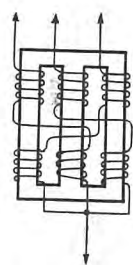


図 3.1 千鳥形結線接地変圧器巻線接続図

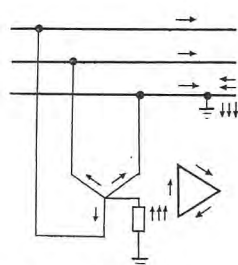


図 3.2 人-△結線接地変圧器接続図

電流は3等分されおのおの同相で三つの巻線内に流れるがこの電流は図3.1でわかるように各鉄心の一方の巻線と他方の巻線とでは方向が反対であって、このことは接地時のインピーダン

スが低いことを示すものである。

人-△結線の変圧器も接地変圧器としてよく用いられる。二次側は△結線として零相電流を流すために閉回路となっており任意の電圧に設定することができる。また、この二次側は場合によっては他の負荷電源として使ってもさしつかえないが普通はあまり他には使わないようである。一次側は人結線でもちろん系統の回路電圧と同一でなければならない。図3.2は人-△結線の接地変圧器の接続を示したものである。

### 4. 母線切換え

所内動力は起動の際は起動用変圧器から母線連絡用シャ断器を経て給電されるが、発電機運転後は所内変圧器と起動用変圧器を短時間並列とした後起動変圧器用または母線連絡用シャ断器のいずれかをシャ断する。

所内変圧器より給電中に所内変圧器に事故が発生すればその事故が母線側でなく変圧器側にあることを確認した後所内変圧器用シャ断器をシャ断し起動変圧器用シャ断器または母線連絡用シャ断器が投入されて母線の自動切換えが行なわれる。この場合ボイラとしては良好な燃焼状態を続けるためにはすみやかに補機の切換えが行なわれることが望ましいが、一方発電機容量が大きくなってくると補機用電動機も大形となり、残留電圧の減衰時間も長くなってくる。自動切換えの際にこの残留電圧が高くかつ新電源との位相角が180度近くであるとき新電源への切換えが行なわれると電動機には異常の突入電流が流れて普通のじか入れ起動時以上の衝撃を受けることとなる。

残留電圧が定格電圧の25%近くまで下ったとき切換えを行えば位相角のいかんにかかわらず異常突入電流は流れない。このためにはボイラの燃焼が不安定とならないうちにすみやかに切換えを行なうとともに電動機や変圧器への衝撃を避ける手段として次のような方法が行なわれている。

- (1) 限時継電器によって残留電圧減衰時間を予定して切換える
- (2) 位相検出継電器を装備して新電源と残留電圧の位相をできるだけ近くに合わせて切換える。
- (3) 残留電圧をすみやかに減衰させるために負荷と並列にリアクタンスまたは抵抗を挿入する。このためには別個のリアクタや抵抗を必要とするので費用がかさむことになる。

このようにタービン、発電機、所内変圧器などに事故があった場合所内補機系統の混乱を避けるために母線の自動切換えを行なうことは確かに有効であるが一方大容量ユニットにおいてはこのような事故の場合はその原因を十分確かめて処置することが肝要であるので、ボイラ、タービン、発電機の安全停止装置の形式内容を十分検討の上母線自動切換え方式も吟味する必要がある。

(長崎製作所 江口進)



### ① タービンおよび発電機

Turbines and Generators (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 6)

1958年中における、水車発電機とタービン発電機関係のW社の状況およびトピックは下記のとおりである。

#### 水車発電機関係

New York State Authority の Niagara 電力計画向けとして 167,000 kVA 機 13 台を製作中で、最初の 1 台は 1959 年中ごろに完成する。この発電機は 120 rpm, 90 % 力率, カサ形構造で固定子フレームの径は 12m 20 cm にもおよび W 社最大のものとなる。

Chief Joseph Powerhouse 向け 67,368 kVA, 100 rpm 水車発電機は第 1 期 16 台を完成した。第 2 期計画は 11 台である。

Pacific Gas and Electric Co. の Haas Powerhouse 向け 75,000 kVA 400 rpm 水車発電機 2 台はすえ付完了した。この機械はこの程度の容量では非常に高速度のものである。

Southern California Edison Co. の Mammoth Pool 発電所の 66,000 kVA 水車発電機 2 台はすえ付完了した。これは屋外形で発電機や他の電気装置、機械装置が別の発電所からマイクローブで遠隔操作される点が特長である。

Idaho Power Co. の Hells Canyon 開発計画向けの 100,111 kVA 128 rpm, 90 % 力率水車発電機 4 台は営業運転にはいった。

Public Utility District No. 1 of Chelan County 向け 107,000 kVA 水車発電機 7 台を受注したが、ヘッドが 30 m 48 cm で回転数は 90 rpm である。これは低速大容量になるのです法的には前述の 167,000 kVA 13 台と同じで W 社最大のものとなる。

#### Mag-A-Stat 磁気増巾方式 AVR

種々の点で改良された。すなわち、building-block 式としたため、各部分部分が独立して、近づくのが容易となり、パネルの応用範囲が広がった。また励磁制限回路を改善して調整の範囲を大きくし、per-unit 量 (単位法) で直接調整できるようになった。

#### 火力発電機

Arkansas Power and Light Co. の Helena, Arkansas 発電所向けの tandem-compound 325 MW, 3,600 rpm 機を製作中で 1960 年に出荷される。発電機は内部冷却 384 MVA 0.85 力率でタービンの蒸気条件は 141 kg/cm<sup>2</sup> 538/538°C, 3.8 cm Hg 背圧で 4 排流の初めての tandem-compound 機となる。したがってセットの全長 38 m 41 cm となり、今までの最長のものとなる。

原子力用としては Consolidated Edison Co. of New York の Indian Point Station 向けに 250 MW 1,800 rpm タービ

ンを製作中で蒸気条件は 25 kg/cm<sup>2</sup>, 538°C, 2.54 cm Hg 背圧である。蒸気量が多いので 111.76 cm 最終翼を使用しており、tandem-compound 1,800 rpm タービンとしては W 社最大のものになる。

(長崎製作所 志岐守哉訳)

### ② 開 閉 装 置

Switchgear (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 10)

#### シャ断器

従来負荷断路器や少容量のシャ断器に使用されていた SF<sub>6</sub> ガスを用い、油、空気両シャ断器の特長を取り入れた 230 kV, 15,000 MVA の接地タンク形ガスシャ断器が開発された。各相は 2 本の垂直ブッシングを両端に備えた水平の円形タンクよりなり、多重切りの消弧室はタンク内におさめられている。このシャ断器の特長としては、ガスを外部に放出しないので従来の空気シャ断器のように爆発音を生じないこと、接地タンク構造であるからすえ付や保守に便利であること、絶縁耐力およびシャ断能力の大きい SF<sub>6</sub> ガスを使用しているのでガス圧力も低く小形軽量であること、ブッシング CT が使用可能なことなどがあげられる。製品第 1 号は 1960 年中ごろに Pennsylvania Power and Light Co. に納入の予定である。

#### 配電盤

最近建設費を節約するために屋外用配電盤の発達が顕著で、保守作業員を完全に風雨より守るいわゆるユニット式の全天候形 Shelter 付屋外用配電盤が完成された。これにより従来多数必要であった高価な屋外用ドアの数を減じ、保守を便利にし、しかも占有面積を有効に使用できる経済的な屋外用配電盤ができたわけである。

#### メタルクラッド開閉装置

暴風雨中でも室内で安心して作業のできる Shelterfor-M 形メタルクラッド開閉装置が開発されたが、このハウジングの側壁は 22.86 cm 程度支持なしに張出すことができ、バッテリー、工具その他の置場に利用できて変電所の建物の簡素化および美化に役だっている。

#### 断路器

断路された線路側を接地したり、他の保護器機と協調して線路を地絡、加熱し氷雪除去を行なわせたりする特殊なスイッチ付断路器が開発された。この断路器は 69~196 kV, 600~1,200 A でリンクにより遠隔操作できる。

#### リクローザ

5~15 kV クラスの配電線系統に使用され故障電流をシャ断して一定時間後再開路し、再開路が不成功の時は一定回数再開路した後開路状態で鎖錠されるもので従来のシャ断電流 6,000 A, 負荷電流 400 A までの定格はシャ断電流 8,000~12,000



A, 負荷電流 560 A に拡大された。

#### コンデンサ

低損失で絶縁耐力の高い紙により新形の 5~8.67 kV, 100 kVar 電力用コンデンサが完成しユニット容量が従来より増加されたため kVar あたりのすえ付費用やスペースが節約されるようになった。柱上コンデンサや開閉器付コンデンサとして使用されている。

(伊丹製作所 富永正太郎訳)

### ③ レーダとミサイルの遠方制御

Remote Controls for Radar and Missiles (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan, 1959, p. 27)

一般に工業用として、発電所やオイルポンプステーションで使用される遠方監視制御装置は、軍用としても米大陸防空組織の一環である米空軍に利用されている。防空組織の一つの要素としてアメリカ合衆国の周囲にはレーダ網が張りめぐらされているが、このレーダ網を完全なものにするためには主要なレーダ基地間の間隔をうずめる意味で衛星のように何百という無人のレーダ局を必要とする。これらのレーダ局は、電話回線によって主要なレーダ基地に対しレーダの指示や他の重要な情報を提供するのであるが、遠方監視制御装置は主要レーダ基地から無人レーダ局を遠方操作するのに使用されるのである。

遠方監視制御装置はまたフロリダにあるパトリック空軍基地の発射場からプエルトリコに至る約 1,500 マイルの範囲にわたって GM のテストのための遠方制御や遠隔指示を行なっている。この装置は、GM の誘導や追跡やテストデータの記録をする地上レーダや無線局のコントロールを行なうものであって実験区域内のいろいろな島に設置されており、海底ケーブルを使用した周波数多重搬送波チャネルで動作する。なお精度を確保するためセルフチェックの特長をもった二進量符号のパルスを利用している。

(無線機製作所 上田重夫訳)

### ④ 電動機の応用

Motors (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 17~18)

#### 水中電動機

使用する時、水中に沈めるだけでなく、内部まで水びたしとする構造の電動機がある。これが新しく開発された水中電動機である。この電動機のスラスト、ガイド両ベアリングはともに潤滑剤として水を使用している。巻線にはプラスチックカバーの電線を採用し、接続部はエポキシ樹脂を使って外部をかためている。この特殊防水絶縁組織は数百 MΩ の高絶縁抵抗を保つだけでなく、水を放熱媒物として使用するのを可能ならしめている。水潤滑スラストベアリングは、450 psi に及ぶ高ス

ラスト荷重に十分耐えることができる。ベアリングには、水潤滑を可能ならしむるため“Wettable”な材料を使用している。この水中電動機は、従来の井戸ポンプ用電動機に比して、騒音が非常に減少したこと、長軸のため生じる損失がまったくなくなったこと、他の水中電動機のように、巻線が水から絶縁されている構造ではないため、この点に関するトラブルの起る心配のなくなったことなど、いろいろすぐれた点をもっている。この新形水中電動機は、この種のものでは、米国の記録品である。現在 30~55 kW のものを製作しているが、将来は 335 kW のものまで製作することを考えている。

#### 新形サーミスタの応用

W 社では、無接点熱動作開閉器に使用するため、新しくセラミック系の固形状の器具を開発した。これはいろいろな方面に利用されるが、とくに、温度検出装置として、バイメタルを使用しにくい所に応用される。電動機関係の技術者達はこれらの“スイッチング”サーミスタを使用して、電動機を過負荷から防止する新しい保護方式を開発した。これは、直接電動機巻線にとりつけたサーミスタによって、外部継電器を動かし、過負荷の場合、電動機を電源から切りはなすか、または、警報を発するようにしたまったく画期的な方式である。このサーミスタは、ある温度—動作温度—以上になると、抵抗が急激に増大し、動作温度以下になると常態に復する、すなわち、動作温度以上では高抵抗、以下では低抵抗になる性質をもっている。製造の途中、いろいろ成分をかえてやると、動作温度、抵抗変化比をいろいろ変化させることができる。電動機に使用されたものは、動作温度 100~125°C, 抵抗比 20:1 のものである。この抵抗温度係数が正であるサーミスタは、過熱防止器具として、最大の安全度をもつ。負の抵抗をもつサーミスタに比して感度は数倍、動作温度範囲も非常に狭い。

(名古屋製作所 三上邦夫訳)

### ⑤ ランプおよび照明

Lamps and Lighting (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 20)

数年前からケイ光水銀灯 (J—H1) が作られ、白色で多量の光出力が要望される所に用いて成功を収めてきたが、このランプは素通しの水銀灯に比してやや光出力が少なかった。しかし新規に開発した Colortone 高出力白色水銀灯 (J—H1/SW) はケイ光体により赤色光ばかりでなく可視の全領域の光を付加しているため、色調は J—H1 よりやや劣るが光出力は素通しの E—H1 より大きい。たとえば 400 W の場合は E—H1 が 21,000 lm であるのに対して 23,000 lm である。

水銀灯ではまた Lifeguard tube と呼ばれる内管を用いることにより経済寿命を 7,000 時間から 9,000 時間に延ばすことができた。これは特殊な電子放射物質で処理した一次のフィラメントコイル上に第 2 のコイルを巻付け、電子放射は可能な



らしめるが電子放射物質の蒸発に対しては一次コイルをシールしたようになっているものである。またこの管は従来のように数工程で封ずるのではなく1工程で封ずる新しい方法が取られている。この内管を用いた400W E—H1ランプの光束低下は7,000時間で従来のものが30%であるのに対し10%だけである。

白熱電球ではバルブの形を円とう形にし、その内面に静電的にシリカの拡散膜を作ることによって非常に良い物が得られた。また50/100/150Wおよび100/200/300Wの2種の三段明暗式ランプも一重フィラメントコイルを二重コイルにすることにより、光出力を8%大にしさらに外形を小さくすることができた。

従来の街路照明では灯具のまぶしさという点で問題がありしたがってまた照明効率も十分とはいえなかったが、放物線状の断面をもつ反射板と特殊なプリズム効果をもつ屈折ルーバとの組合わせにより、まぶしさの問題を解消できたばかりでなく、配光が均一となり効率も少なくとも50%向上させることができた。超高速道路でも沿道ぞいに照明を行なう場合従来の頭上から真下に照らす照明は運転者にまぶしさを感じしめ、またその下を通る時のフラッシュはそれが長時間繰り返されると運転者に眠気を催させる。これらの問題を解決するために、2本の道路の中間地帯に設置し、車の進行方向にだけ集光された光を投光するような灯具を設計した。

その他厚さの非常に薄いケイ光灯のライン照明用の灯具や、ランプのすぐ横にあるきょう体中にバラストなどを収めた水銀灯灯具などで、外観が非常にすっきりしており、取扱いも便利のようなものも開発した。(大船工場 村井直道訳)

## ⑥ 制御器具および配電器具

Control and Distribution Devices (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 17)

低圧回路制御分野における器具はつねに進歩発展しており、改良発明が数多くあるがここに昨年度におけるもののうちいくつかをあげてみる。

### 表示灯付切換スイッチ

切換スイッチと表示灯の機能を結合させることによって、このスイッチはパネル取付面積を50%減少させることが可能である。これは表示灯が切換スイッチの頭部に取付けられているためである。このスイッチの定格としては、

AC 120~480 V および AC または DC 6~125 V のものがある。

### ビニル絶縁低インピーダンスブスウェイ

ビニルチューブを導体に密着させるという新しい絶縁方式の

出現により低インピーダンスの分野に新傾向がもたらされた。ビニルチューブは完全な防水材であるため通風性の屋外ブスウェイの実現が可能になるわけである。ビニルはまた耐酸性、耐アルカリ性でもある。

ビニル以前のワニスを含浸させた布テープやその他のテープが巻かれている方式のブスバーはこの方面においては極度に制限されていたのであるが、ビニルチューブ方式の出現により問題は解決されることになる。このような輝しい発展はビニル製造技術の進歩によってなされたわけである。なおこのビニル絶縁ブスは600~5,000 Aの定格のブスウェイに適用できる。

### シャ断器用安全インターロック

標準シャ断器にはシャ断器本体を収納している配電盤の扉を開けている時には投入を阻止するインターロック付の安全装置を装備できる。扉を開けるとインターロックが自動的にシャ断器のハンドル前方に動き、シャ断器の誤投入を阻止し扉を閉めるとカムが自動的にハンドルから離れるようになっている。

このインターロックは前面取付のひじ形ハンドルによって操作されるシャ断器であればどのようなものにも適用できる。

### 鋼板製制御板

長年にわたり製鉄ミル用の制御盤にはエボナイト、アスベストまたはスレートが用いられていた。そしてより軽くより強靱な鋼鉄製のパネルは制御器具とパネル間の絶縁にブッシングを使用することができないために使用されなかったのであるが、ガラスポリエステル製トウ管の完成により鋼鉄製パネルの使用が可能になったのである。

このブッシングは種々の断面を有するように設計され側面は凹凸形になっており、鉄粉その他のちりは各断面の上部表面に集り側面には集らないように考慮されている。かくして電氣的せん絡をなくすることができる。

鋼鉄製パネルの使用によって単にパネルが強靱になり重量が軽減されるばかりでなく設計および製作に際しその他の数多くの利益がもたらされる。

### 三極クイックラグシャ断器

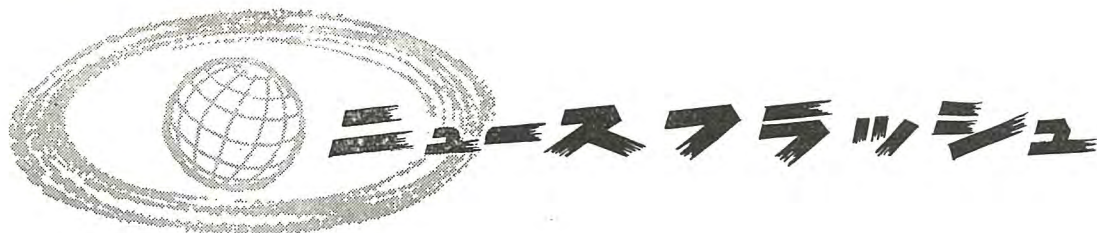
クイックラグシャ断器は現在では三極ユニットの付加によって、完成の域に達し、単相、二相または三相の配線保護用に供せられている。

過去においては三極シャ断器は掛金によってハンドルを連結した構造のものであり、したがって自動シャ断の時には各極がおのおの単独にトリップするものであった。しかしながら現在においては新しく開発された掛金のクレドルによって全極同時シャ断が可能である。このユニットは最大故障電流5,000 Aまでの三相240 V系統の保護に適用される。定格電流から5,000 Aまでの過負荷および高抵抗故障に対して逆比例時間遅れ特性をそなえている。

C形(ボルトじめ形)およびP形(スタブどめ形)の双方とも15 A, 20 A, 30 A, 40 A, 50 A 定格のものがある。

(神戸製作所 美濃順一訳)



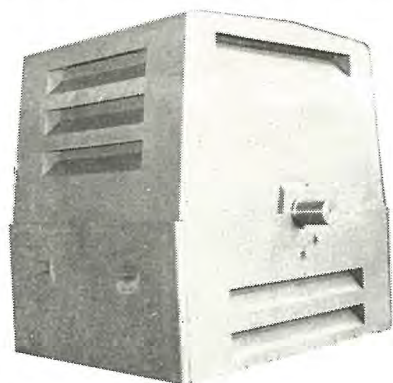


## ■ FA 形 三相誘導電動機

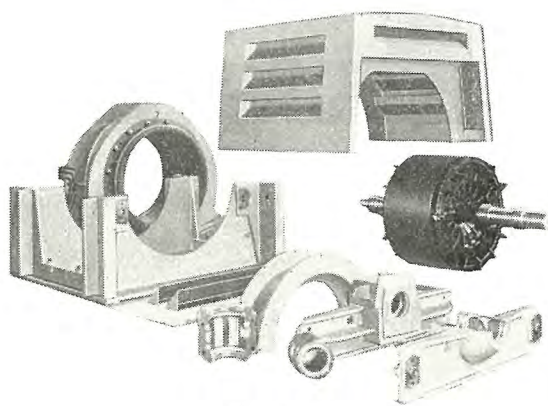
1,100 kW, 3,300 V, 60 c/s, 6 P, 900 rpm, FA 形 三相誘導電動機を製作完了したが、本機は下記のような特長をもっている。

### 特 長

1. 容易な分解：点検、掃除、すえ付に際し外被、固定子鉄心部、軸受部、回転子を分解できる。
2. 正確な軸受の配置：ブラケットを精密に機械加工し、特殊機構により台床に正確に支持される。
3. 美麗な外観：近代的感覚の美しい外観をしている。外被は取外しに便利で、かつ塵埃が堆積しない構造としている。
4. 端子箱の除去：リードの接続は電動機内で行ない、さらにつなぎに十分なスペースを設け、かつ容易に取出せるようにしてあり従来の端子箱は不要となった。
5. 正確な組立：分解が非常に容易である。さらに再組立を非常に簡単に行なうことができる。
6. 品質管理：機械各部が容易に点検でき、さらに多量生産が可能で、かつ完全な品質管理の下に製作される。



外 観



分 解 図

## ■ 国鉄東北線用交流機関車 完成

国鉄東北線（黒磯以北）の交流電化にともない、かねて製作中であった ED 713 形交流機関車は去る 4 月完成し、引き続いて行なわれた現車試験においても画期的高性能を収めた。

この機関車は、幹線用として重量列車をけん引する客貨両用として設計され、つぎのように数多くの特長を有している。

(1)  $\frac{10}{1000}$  こう配を含む区間で 1,100 t の貨物列車をけん引するため 4 台の主電動機の 1 時間定格出力はおおの 510 kW という狭軌用としては記録的な大容量で、これに伴い変圧器、水銀整流器も大巾に出力を増強してある。

(2) また、粘着重量を増加するため台車には心皿位置を低くした構造を採用するほか、電気的軸重補償を行ない主電動機の回転力を真の軸重に応じた値に制御するようにしてある。

(3) 万一、動輪が空転を生じた場合には各軸に取付けた空転検知装置が動作して空転した主電動機用整流器の格子制御を行ない空転防止を行なう。

(4) 制御方式は整流器の格子制御と高圧タップ制御を併用した、いわゆる超多段式で重連総括制御も可能である。この総括制御は磁気増巾器を用いた特殊な制御方式で機関車間の引通し線を大巾に節約できる。

(5) 低速ノッチで使用される格子制御は、手動操作の主幹制御器に支配される基準電圧と主電動機端子電圧を比較しその偏差により制御する当社独自の方式で、制御効率はきわめて良好である。

(6) 主変圧器は送油風冷・フォームフィット式で円筒形高圧タップ切換器と組合わせたほか、電気暖房用の三次巻線を有している。

(7) 整流器は単極封じ切り水冷式イグナイトロン 8 タンクを装備し、出力 2,046 kW で前述のように格子制御を行なっている。

(8) 各箱機類は ED 70 形用と同じく三相誘導電動機を有し起動は専用の相変換機を用い各相の不平衡をなくしてある。

(9) そのほか、各部品は交流車用として新たに設計された標準品を採用し、それらをコンパクトに納めて点検・保守を容易にしてある。（写真は、本誌表紙 2 を参照して下さい）

### 主 要 性 能 要 目

形式	箱形・両運転台
全重量	公称 64 t
軸箱置	B—B



連続定格

出力	1,900 kW
速度	42.5km/h
引張力	16,000 kg
最高運転速度	95 km/h
主変圧器	送油風冷フォームフィット外鉄形 2,200 kVA 高圧タップ切換器付
整流器	単極封じ切り水冷式イグナイトロン 8 タンク
主電動機連続定格	475 kW 660 V 775 A 1,140 rpm 4 台装備
動力伝達方式	一段歯車減速可とう駆動式 車輪径 1,120mm, 歯車比 15:82
制御方式	格子・タップ両用制御 重連総括制御
集電装置	PS100 A 形 2 台
ブレーキ装置	EL14 AS 空気ブレーキ・手ブレーキ

## ■ 東京電力向け三相 100 kVA 巻鉄心形変圧器

東京電力においては今後の負荷の増加に対処するため、低圧バンキング用三相 100 kVA 柱上変圧器を試作することになり、当社ではこれを 2 台受注製作した。この変圧器は銀座地区に使用されるが、その結果によって将来台数が増加する見込みである。

仕 様

定 格	三相 100 kVA 50 c/s
電 圧	一次 3,450F—3,375F—3,300R—3,225—3,150V 二次 115/199 V 人 (三相四線式)
付属品	過負荷警報装置, 過負荷シャ断装置, その他

特 長



東京電力向三相 100 kVA  
巻鉄心形変圧器外観

(1) 柱上設置の関係上、重量、外径寸法が制限されているので、巻鉄心形 (M コア) 円筒形ケースを採用し、中身は 33 $\frac{1}{3}$  kVA 3 個を積重ねて三相接続としたもので、この種変圧器としては独特の構造のものである。

(2) 過負荷保護装置および種々の柱上設置に必要な付属品を備えている。過負荷保護装置は油温および二次電流により動作する過負荷警報装置 (黄色ランプで表示する) と過負荷シャ断装置 (シャ断器が動作し赤色ランプで表示する) を備え、いずれも外部より手動ハンドルで復

帰できる構造になっている。

(3) 過負荷シャ断装置はすぐれたシャ断特性を有し、また巻線の最高温度に対応して動作するようになっているので、変圧器を有効かつ安全に使用することができる。

(4) 当社独特の M コアの採用により鉄損は三相 100 kVA 標準変圧器の約 80% に、また種々の付属品を備えているにもかかわらず重量は三相 100 kVA 標準変圧器の約 90% に軽減されている。

## ■ 翼形通風機の完成

翼形通風機は従来の板羽根のターボファンと比べて、ケーシングの構造および大きさはほとんど同じであるが、扇車は薄鋼板で成形しかつ適当な強みを入れた飛行機翼断面をした羽根をもっている。

翼形通風機を従来のターボファンと比べた場合大きな特長は下記の 2 点である。

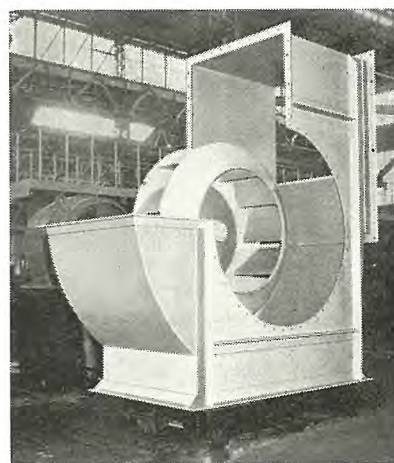
(1) 効率が低い。

従来のターボファンでは静圧効率が 78%, 全圧効率が 82% 程度であったが、今回完成した FA-4060 形では、静圧効率は 87%, 全圧効率が 90% に達している。

(2) 騒音が減少している。

従来のターボファンでは空気の流れが羽根からはがれやすく、このためうずが発生して騒音を出しがちであるが、翼形通風機では羽根を流線形にしてあるため、この点を解消し、従来のものに比べて FA-4060 は約 5 ホン低くなっている。

なお翼形通風機も従来のターボファンと同様に入口ベーンコントロールは有効に使用しうる。



FA-4060 形片吸込翼形通風機

風量 2,000m<sup>3</sup>/min 風圧 300 mm Ag 回転数 975 rpm

## ■ 高演色性ケイ光水銀灯

一室内につけても不自然さを感じない水銀灯—

さいきん高圧水銀灯の進出はめざましく、公園、街路、工場、

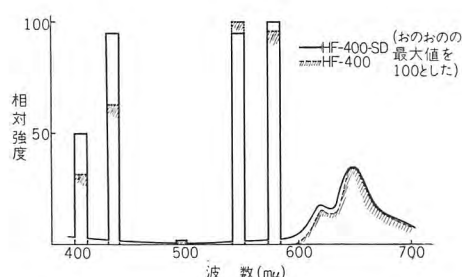


あるいは駅などの照明にさかんに利用されている。しかしその光が“緑かった青白色”であるため、あまり色調を問題にしない場所に限られている。ケイ光水銀灯は赤色に発光するケイ光物質を塗布してあり、あるていどの欠点は改善されたが、やはり“色の見え方”の不自然さはまぬかれない。これは水銀放電による緑および黄の線スペクトルがあまりにも強いことに原因している。

わが国において初めて発表した SD 形ケイ光水銀灯は、この欠点を除くため、緑、黄色を吸収し、赤、青色をよくとおすフィルタ層をもっている。すなわちケイ光物質による発光と、水銀線スペクトルの紫および青に対してはその強度を減ずることなく、緑および黄スペクトルの出力を約 20 % 低下させ、スペクトルの相対強度を望ましい方向へ補正する。

明るさは同形の高圧水銀灯に比べ、約 80 % となるが、色度点は  $x=0.364$ ,  $y=0.367$  ふきんにあり標準冷白色ケイ光灯の光色とよく似ている。そして赤に対する演色性はなかなか良好である。点灯中の光度維持もほかの水銀灯同様すぐれた性質をしめす。

SD 形ケイ光水銀灯は水銀灯の“青白い光”という観念を打破る強力な打者となろう。



HF-400, HF-400-SD ケイ光水銀灯のスペクトル分布



高演色性ケイ光水銀灯

## ■ 切換放電管 5939 A を製作

放電管の速応性を利用してレーダの送受信回路の瞬時切換えを行なう、いわゆる切換放電管には、種々の形式のものがあるが、今回製作した 5939A は前置 TR 管 (Pre-TR Tube) で、表 1, 図 1 のような特性と、図 2 のような外観を有する。今回防衛庁へ納入し優秀な成績を収めた。

表 1

同調周波数	1,280~1,292 Mc
電圧定在波比	1.4 以下 (at 1,300±50 Mc)
挿入損失	0.3 db 以下
弧光損失	0.3 db 以下
漏洩エネルギー	0.026 Joules 以下
回復時間	36 μs 以下

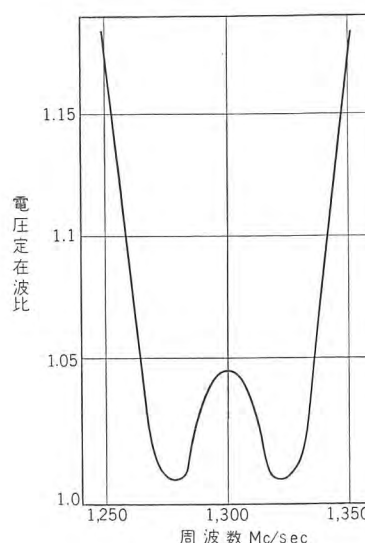


図 1 ペアで使用したときの電圧定在波比特性

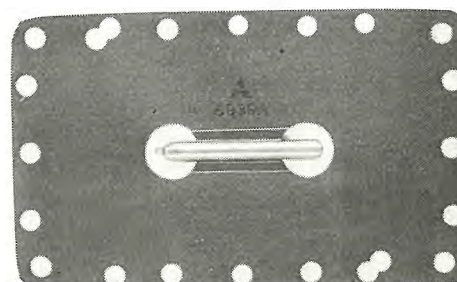


図 2 前置 TR 管外観

## ■ 滝発電所向け 50,000 kVA 水車発電機一括受注

電源開発株式会社では、かねて只見川水系田子倉発電所の逆調整用としてせん頭負荷発電を行なう滝発電所の計画を進められていたが、その後工事着手に必要な諸条件もおおむね解決され、過般の電源開発調整審議会で新規着工地点として決定された。この発電所は 1 日 1 回の起動停止を行なうほか相当大巾な負荷変動で運転制御を行なうを特長としており発電機に直結する水車はカプラン形として本邦最大であるため、つとに斯界の注目を浴びていたが、田子倉発電所営業運転開始直前に、当社はその水車発電機、配電盤、キュービクルなど一括受注に成功した。発電機は田子倉水車発電機製作の貴重な経験と最高の技術を採用入れ、フランシス形水車発電機と異なり、カプラン形水車発電機としての高い無拘束速度にも十分耐える機械的強度を有する構造でありまた、記録品を誇る水車のランナーボスは 13 クロームステンレス不銹鋼製で、キャビテーション発生防止を図っている。このたびの受注により、同一水系のフランシスならびにカプラン形水車発電機の記録的大容量品を相次いで掌中に収めたことになり、わが国水力資源の宝庫たる只見川開発に寄与するところ多大といえる。なお水車発電機の大略仕様は次のとおりである。

(1) 水車 2 台×50,100 kW 立て軸カプラン水車



基準落差 53 m, 水量 150m<sup>3</sup>/sec

- (2) 発電機 2 台×50,000 kVA 立て軸半カサ形回転界磁閉鎖  
風道循環形三相交流同期発電機  
11kV 150 rpm 50 c/s

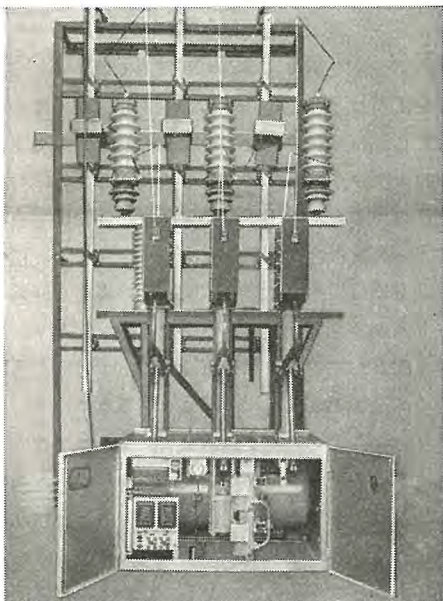
## ■ 日伸製鋼株式会社向け 36 kV 電気炉用空気 シャ断器完成

開閉ひん度が大きく、きわめて苛酷な環境において用いられる電気炉開閉用シャ断器として近時空気シャ断器の使用が普及し当社においても 24 kV 590 MVA 600 サイクル 1,200 A 定格の電気炉用空気シャ断器はすでに多数製品化され、操作回数もすでに 5 万～10 万回を上回るものが各所で運転を続けている。このような経験に基づき、今回日伸製鋼株式会社発注の 15 t 炉開閉用として定格電圧 36 kV の電気炉用空気シャ断器が完成し当社の短絡試験所において新規格 JEC-145 に準ずる各種の試験を完了した。

主要定格をあげると

電圧	36 kV
電流	1,200 A
シャ断容量	500 MVA
シャ断時間	5 c/s
操作気圧	7 kg/cm <sup>2</sup> -g
絶縁階級	30 号 A
重量	1,400 kg

なお写真でシャ断器後部上方に見えるのは異常電圧抑制用の抵抗体で、短絡試験所における 8～80 A の励磁電流シャ断試験においても異常電圧は回路電圧波高値の約 1.5 倍以下に抑制された。



日伸製鋼株式会社向 36 kV 500 MVA  
1,200 A 電気炉用空気シャ断器

## ■ 自家用タービン発電機受注活発化す

優秀な実績と絶大なる信用により定評ある三菱グループの火力機器（三菱造船株式会社、新三菱重工業株式会社のボイラ・タービンと当社発電機のカップル）は最近いちじるしく商談が活発化し、本年にはいり自家用火力発電所向けの発電機は次のとおり受注が成立し、目下鋭意製作中である。

注 文 元	容 量		力率 (%)	電圧 (V)	周波数 (c/s)	数量	TURBINE MAKER
	(kVA)	(kW)					
三菱製紙 (中川)	6,250	5,000	80	3,300	50	1	新三菱重工業
三菱ボンネル(広島)	4,375	3,500	80	3,300	60	1	三菱造船(広船)
八幡製鉄 (戸畑)	31,250	25,000	80	11,000	60	1	" (長船)
白河パルプ工業(白河)	2,500	2,000	80	3,300	50	1	" (広船)
大昭和製紙 (鈴川)	7,500	6,000	80	3,300	50	1	" ( " )
日本パルプ工業(日南)	8,750	7,800	89	3,300	60	1	" ( " )
三菱油化 (四日市)	12,500	10,000	80	3,300	60	1	" ( " )
フィリッピン デュラ ノセメント (神戸製鋼経由)	5,000	4,000	0.8	3,600	60	1	新三菱重工業
エジプト エディフ	4,714	3,300	70	6,600	50	2	"
台湾糖業 (北港)	2,500	2,000	80	3,300	60	1	"
" (屏東)	3,750	3,000	80	2,200	60	1	"
" (三鉄店)	2,500	2,000	80	2,200	60	1	"
" (総爺)	1,500	1,200	80	3,300	60	1	"
" (南投)	1,500	1,200	80	3,300	60	1	"
" (龍岩)	1,500	1,200	80	3,300	60	1	"
パキスタン P. I. D. C.	15,000	12,000	80	11,000	50	3	"

## ■ 近畿日本鉄道名阪特急電車用電機品受注

近畿日本鉄道では永年の宿願であった同社名古屋線の広軌化がいよいよ来春工事完成をみることになり、これによる大阪—名古屋間直通スピードアップ運転を実現するために新形式特急電車 12 編成の新造を計画され、当社はその主電動機、制御装置、空制装置など主要電機品を受注した。

この名阪特急電車は 4 台車 3 車体連節編成で中間の車体には昨年製作した「ビスタカー」同様 2 階式展望室をもつ豪華列車である。1 編成の自重は約 90 t、定員は 192 名で最大運転速度は 135 km/h、33 % の急こう配において約 100 km/h の高速を発揮しうる性能を有し、将来大阪—名古屋間 2 時間運転(表定速度 90 km/h)を目標とした超高速電車である。このため主電動機は 340 V、125 kW、MB-3020-C 形大容量 WN ドライブのものを 1 編成に 8 台装備して、全軸駆動方式とし、3 km/h/s の高加速を発揮するとともに、高性能の 8 Motor 制御多段式電動カム軸式制御装置によって円滑なる制御を行ない、また改良された HSCD 形電空併用制動装置は、135 km/h の速度から 600 m 以内で停止する性能をもっている。さらに電動中の過速度防止のため、速度計用発電機から検出した速度によって、自動的に弱界磁率を変化する最大速度自動制御方式など、種々の新機軸の装置を備えている。

なお最初の 1 編成は本年 7 月完成予定で各種現車試験を施行し、本年中には全編成がそろって運転を開始する予定である。



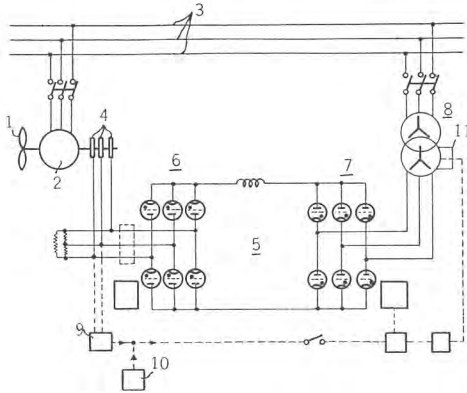


## 誘導電動機 の 速度 制御 装置

発明者 阿 部 久 康

この発明は巻線形誘導電動機をセルビウス方式で速度制御する制御装置として水銀整流器で構成した静止形周波数変換器を使用し、その作動を適切に調整することにより電動機を高能率かつ円滑に速度制御しようとするものである。

すなわち負荷たとえば送風機(1)を駆動する電動機(2)の



固定子側を電源(3)に接続し、回転子側はスリップリング(4)を経て静止形周波数変換器(5)に接続する。この周波数変換器は整流器(6)およびインバータ(7)で構成され、電圧調整器(8)を経て電源(3)に接続されている。整流器側の制御角は零すなわち単なる整流器として作動するようなされ、インバータ側の制御角は電動機(2)の回転子速度に应答する速度応答装置(9)の出力と基準電圧発生装置(10)の出力との照合差値に応じて位相制御され、これにより電動機回転子より電源への電力返還を円滑に行なう。また電圧調整器(8)は速度応答装置と基準電圧発生装置との照合差値が所定値に達する時に操作装置(11)が作動するようなされ、これによりインバータの制御角が過大になってその交流側の力率が低下するのを防止しあるいは制御角が過小になってインバータの転流失敗するのを防止する。

上述のような構成でこの発明においては静止形周波数変換器を使用して電動機を速度制御するので高能率かつ円滑な制御ができる。  
(特許第 244841 号)(山田記)

## ワードレオナード式 揚 錨 機 制 御 装 置

考案者 和 田 義 勝

揚錨機は一般に錨の巻上げ巻下げを行なうほかに巻取ドラムにより繫船機として使用される。

ところでこれらの機械の駆動電動機の運転特性として揚錨機の場合は電動巻上げ(正回転)、制動巻下げ(逆回転)を行ない一方繫船機の場合は電動巻込(正回転)、電動巻出し(逆回転)を行なうことが望ましい。したがって電動機の運転特性としてその逆回転時に要求される特性は揚錨機と繫船機との場合ではまったく異なる。

この案は上記運転特性を満足させるものである。すなわち図1において接触子( $S_1$ )( $S_2$ )( $S_3$ )( $S_6$ )( $S_9$ )の閉成時に電動機(M)は発電機(G)より実線矢印方向の電流を給電されて正回転し揚錨機の場合の巻上げ、繫船機の場合の巻込運転が行なわれる。この場合励磁機( $E_x$ )は下方端子が正であり、発電機界磁( $GF_1$ )( $GF_2$ )は差動複巻、電動機界磁( $MF_1$ )( $MF_2$ )は和動複巻として作用する。また接触子( $S_3$ )( $S_4$ )( $S_7$ )( $S_8$ )の閉成時には電動機(M)は発電機(G)より点線矢印方向の電流を給電されて逆回転し繫船機の場合の巻出しが行なわれる。この時励磁機( $E_x$ )は上方端子が正となるので接触子( $S_9$ )が開放していても整流器(REC)を経て発電機界磁( $GF_2$ )電動機界磁( $MF_2$ )は付勢される。したがってこの

時も発電機界磁( $GF_1$ )( $GF_2$ )は差動複巻、電動機界磁( $MF_1$ )( $MF_2$ )は和動複巻として作用する。この接触子( $S_3$ )( $S_4$ )( $S_7$ )( $S_8$ )の閉成時において揚錨機の巻下し運転が行なわれると電動機(M)は負荷により回転されて発電機として作用し実線方向電流を発生して発電制動が行なわれる。この電流は励磁機( $E_x$ )の下方端子を正にするため回路電流は整流器(REC)に阻止されることとなる。したがってこの場合には発電機界磁( $GF_1$ )電動機界磁( $MF_1$ )は分巻界磁として作用する。

これにより電動機の運転特性は図2に示すように電動巻上げ電動巻込の場合は曲線(A)、電動巻出しの場合は曲線(B)のように垂下特性となり制動巻下げの場合は曲線(C)のようにほぼ一定速度の特性となる。したがってこの案によれば揚錨機繫船機のいずれの場合でも円滑に運転することができる。

(実用新案登録第 479622 号)(山田記)

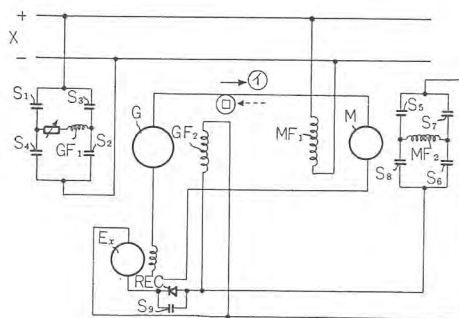


図 1

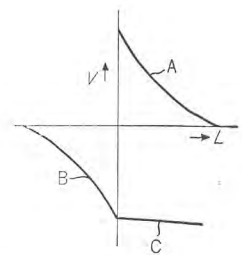


図 2



最近における当社の社外寄稿一覧

原稿送付 年月日	寄稿先	題 名	執 筆 者	所 属 所
34-4-2	日本電気協会	120 V 14 kA 化学工業用シリコン整流器	加藤又彦	伊 丹
//-4-3	電気学会誌時報	現代の大直流電力負荷の需要に応じる半導体整流器	"	"
//-4-17	エンジニア	のびゆく放電加工	斎藤長男・東田孝彦 中原重夫	研 究 所 無 線 機 三 菱 造 船
//-4-18	プラスチックエージ	電気機器とプラスチック	石黒克己	研 究 所
//-4-28	Journal of Physical Society of Japan	Crystal Growth of Cadmium Sulfide	伊吹順章	"
//-4-28	"	Induced Conductivity of CdS by $\beta$ - & $\gamma$ -rays	"	"
//-5-7	交友社	DF 50 電機品のうち「V. MT48 形主電動機」	内海権三	伊 丹
//-5-8	電気学会誌	直流高圧絶縁試験における吸収分と漏洩分の分離	原 仁吾	研 究 所
//-5-8	照明年報	光電効果の応用	伊吹順章	"
//-5-8	真空協会	速動真空バルブ	藤永 敦・高部俊夫	"
//-5-12	電気計算	超高圧変圧器の現況	村上 有・田村良平	伊 丹
//-5-13	電気学会誌	高利得静止 A. C スイッチ	岡 久雄	研 究 所
//-5-15	日本電気協会講演論文集	電気機器に関する研究会「可変式小形自励交流発電機」	杉山昌司・町野康男	名 古 屋
//-5-15	"	電気鉄道に関する研究会「イグナイトロン電気機関車補機 回転機」	八木 勝・大野寛孝	"
//-5-16	生産研究	カップ6形ロケット回収用フロート	尾島学二・成沢一男 間野吉雄	世 田 谷
//-5-19	電力社	三菱電機の最近の電力シャ断器, ヒューズ, その他	新井正元	伊 丹
//-5-26	"	最近の米国における電力シャ断器の傾向	"	"
//-5-26	電気学会誌	計数形計算機による電力潮流計算(反復法の検討)	芝瀧寿宏	研 究 所
//-5-28	電気化学セミナーのテキス ト原稿	シリコン整流器	加藤又彦	伊 丹
//-5-30	電気学会誌	500°C の電気機器用に使える新無機絶縁材料	石黒克己	研 究 所
//-6-9	オーム 7 月号	磁気増巾器を用いた自動電圧調整器	武藤 哲	神 戸
//-6-9	電気計算	発電所の母線保護方式	森 健	"
//-6-20	"	特殊用途電動機のさまざま	関野 博	名 古 屋
//-6-23	オーム	電子管式計量機	吉山裕二	研 究 所
//-6-25	真空協会	低温の技術と応用	明石 克	"
//-6-26	電気学会誌	マイカの耐コロナ試験	原 仁吾	"
//-6-26	交友社	2.8 kW 冷却水ポンプ電動機, 7/11 kW 放熱ファン用電動 機	小山建次	神 戸
//-6-29	計 測	希薄濃度測定用赤外線ガス分析計	安東 滋・村西有三	研 究 所
//-6-29	生産と電気	自家用変電設備機器の選定について	井上八郎	本 社



世界最高を誇る

# 三菱エレベータ

パリのエッフェル塔より高いと話題を呼んだ東京タワーに新しく設けられたアンテナ保守用三菱エレベータは、自立鉄塔に付けたエレベータとしては、地上高さ世界一の 223 m まで昇るまさに世界最高のエレベータであります。また昇降路は露天形であり、高所エレベータであるため、あらゆる部分に特殊設計がほどこされています。

東京タワーアンテナ保守用エレベータ  
昇降路鉄塔の一部

## おもな仕様

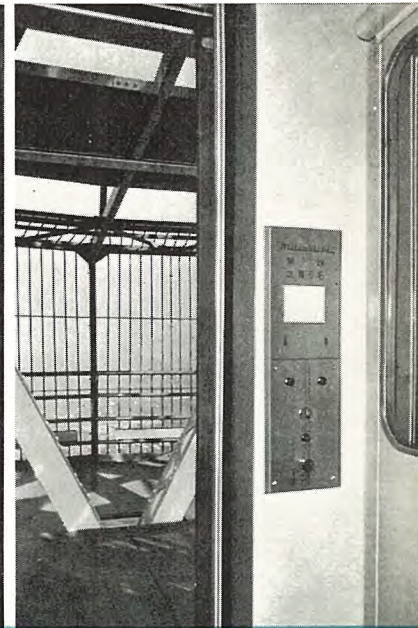
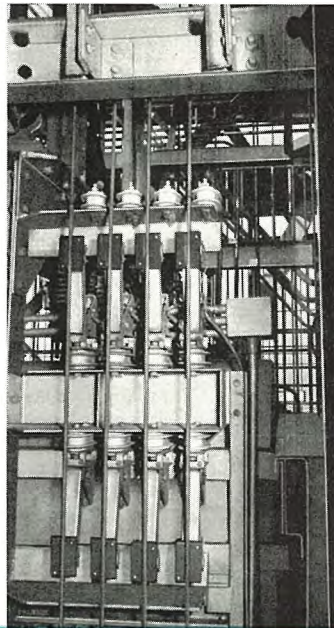
行程 85 m (地上 138 m から地上 223 m まで)  
速度 60 m/min  
方式 直流可変電圧歯車式自動着床装置付  
容量 1,000 kg

## 特殊仕様

トロリワイヤ式(硬銅電車線)給電方式  
巻上ロープ振止装置付  
カバナロープ振止装置付  
強化ガラス製展望窓付防滴形カゴ室  
遠隔(作業台)操縦装置付  
ローラガイドシュー形  
1対1ローピング全巻式トラクション形  
巻上ロープおよびツナ車の雪かき装置付

トロリワイヤおよび集電装置

カゴ室の一部(カゴ操作盤)



昭和 34 年 7 月 18 日 印刷

昭和 34 年 7 月 20 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円(送料別)

## 雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	吉村 誠一郎	常任委員	松田 新市
常任委員	浅井 徳次郎		村田 平一
"	荒井 潔	"	山田 栄一
"	安藤 安二	委員	新井 正元
"	市村 宗明	"	岡屋 精二
"	木村 武雄	"	進藤 貞一
"	小堀 富次雄	"	竹内 真一
"	高井 得一郎	"	津村 隆一
"	中野 光雄	"	豊田 準三
"	馬場 文夫	"	松尾 又一
"	船橋 正信	幹事	井上 八郎

(以上 50 音順)

## 編集兼 発行責任者

東京都千代田区丸の内2丁目3番地 吉村 誠一郎  
印刷所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社  
印刷者 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋 武夫  
発行所 三菱電機株式会社内 「三菱電機」編集部

電話 和田倉 (20) 1631

日本出版協会会員番号 213013

発売元 東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店

電話 (29) 0915・0916 振替東京 20018