

*MITSUBISHI DENKI*

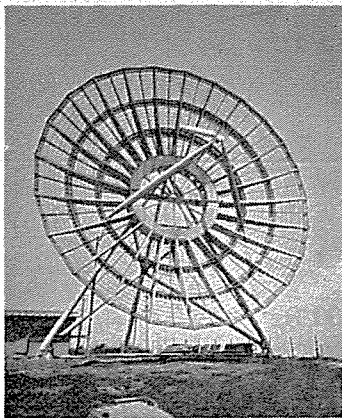
# 三菱電機



東洋一の大口徑パラボラアンテナ（国際電信電話株式会社門司極超短波試験所納）

8

VOL31 1957



### 表紙説明

このアンテナは 1,300 Mc 帯長距離見越し外伝播試験用に 国際電信電話 株式会社門司極超短波実験所に納入した東洋一の大形パラボラアンテナであります。従来もっぱら見越し領域 (距離約 50-100 km) 内においてのみ使用されてきたマイクロ波を、対流圏内大気により散乱させ水平線よりはるか遠く 1,000 km 程度の見越し外遠距離通信に用いられる高利得アンテナであります。(写真は朝日新聞社提供)

#### 概略仕様

周波数	1,250-1,350 Mc
利得	44.5 db
SWR	1.3 以下
指向半値幅	1 度以下
総重量	27 t
口径	18 m

## 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) 和田倉 (20) 代表 1631・2331

研究所 兵庫県尼崎市南清水

神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町

名古屋製作所 名古屋市中区矢田町

伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水

長崎製作所 長崎市平戸小屋町

無線機製作所 兵庫県尼崎市南清水

大船工場 神奈川県鎌倉市大船

世田谷工場 東京都世田谷区池尻町

郡山工場 福島県郡山市宇境橋町

福山工場 福山市仲野上町

姫路工場 兵庫県姫路市千代田町

和歌山工場 和歌山市岡町

中津川工場 岐阜県中津市駒場安森

福岡工場 福岡市今宿青木

静岡工場 静岡市小島 110

札幌修理工場 札幌市北二条東 12

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 福岡市天神町

(電) 中 (4) 7031-7036

札幌営業所 札幌市大通西 3 の 5

(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) 2211-4

高松出張所 高松市紺屋町 34 番地

(電) 高松 3178・3250

小倉出張所 小倉市京町 10 丁目 (五十鈴ビル)

(電) (5) 小倉 3614

# MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

昭和 32 年 第 31 卷 第 8 号

## 目次

自家発電タービン発電機の近代化	甲斐 高	2
礫波製紙向 142 in セクショナルドライブ抄紙機	紙谷鉄男	19
台湾電力公司天輪発電所 28,500 kVA 水車発電機	三浦 宏	25
DF-50 形ジーゼル電気機関車	小川清一	33
光沢青化銅鍍金浴中の不純物の影響	秦 卓也・立原芳彦・鬼塚正浩・山本友吉	40
交流型アナログコンピュータ	石井 茂・添田 実	45
質量分析装置用電子管回路	後藤正之	51
マスタ・スレイブ・マニピュレータ	穂原 智	57
三菱ラビッド型けい光燈	山下博典・竹田俊幸	62
電鉄事故選択遮断装置用雑音除去装置を用いた人工故障試験	迎 久雄	66

### 技術解説

通信線に発生する誘導雑音 (I)	安藤安二	74
研究用原子炉 (V)	川口 修	78

### W 社文献抄訳

発電用原子力プラント	84
開閉装置の発達	84
新消弧媒体 SF <sub>6</sub> ガス関係の開発	85
メタルクラッド開閉装置	85
シリコン整流器の溶接機への応用	86
合金の設計	86
ニュースフラッシュ	87
最近における当社の社外寄稿および講演	90

## 品質奉仕の三菱電機



# 自家発用タービン発電機の近代化

長崎製作所 甲 斐 高\*

## The Latest Development of Turbine Generators for Private Use

Nagasaki Works Takashi Kai

The latest industrial boom has brought an increase of steam power plants for private use. Turbine generators ranging from 1,000 to 75,000 kW are installed here and there and are employed not only in such factories as textile, paper making, pulp, cement, steel, oil and provisions but also in the sphere of transportation, covering nearly every line of industry. Unlike the plant for public utility the equipment for private use does not involve marked new development, but ease of maintenance and dependability are always prime requisites in the design.

### 1. ま え が き

最近の工業界の活況に伴って、自家用火力発電所の新増設も非常に活発で、小は 1,000 kW 程度の背圧タービンから大は電力会社なみの 75,000 kW 級の復水タービンに至るまで、各種のタービン発電機が計画され、発注され、続々運転を始めている。その用途も、繊維・製紙・パルプ・セメント・鉄鋼・石油・食品などの諸工業や鉄道・海運などの運輸方面まで、ほとんど全産業部門に及んでいるが、本稿では 1,000 kW から 25,000 kW 程度の陸上自家発電プラントに対象を限定し、タービン発電機とその付属設備の最近の進歩の跡をたどり、特性上の 2, 3 の問題についても触れてみたい。

補機電動機や配電盤、開閉装置などについては、最近の傾向の一端を紹介するにとどめる。また自家発電でもまれに採用されることのある大容量の水素冷却発電については、他に多くの文献が発表されており、本稿の主旨からそれることにもなるので省略する。

### 2. タービン

自家用火力発電所で使用されるタービンは、主として背圧タービンと抽気タービンである。

動力とともに作業上低圧蒸気の熱を必要とする工業では、その作業に実際必要な蒸気よりも高温高圧の蒸気を発生するボイラを設備し、発生蒸気をタービンに導いて工場所要の圧力まで膨張させ電力発生に利用し、その排気を工場に送って作業に使用すれば、ボイラ発生の蒸気熱をほとんど完全に利用することができ理論的には

100% に近い熱効率をあげうる。他方、ボイラ設備も電力発生用と工場用とにわけが必要がなく、また復水装置に要する設備費その他も節約できる。この場合に背圧タービンが使用される。

作業上に使用される蒸気はある一定の圧力で大気圧よりも一般に高いものが要求されるので、背圧タービンは復水タービンに比べると同じ蒸気量と初圧力の下では、その出力ははるかに減少する。したがって、作業に必要な蒸気量だけで所要電力を発生させるには、ボイラ圧力は相当に高圧とする必要が起り、使用蒸気量が電力の需要に比べて少なればよいボイラ圧力を高くせねばならなくなる。また、これと反対の場合には発生電力の過剰を生ずるから、この電力をほかに振り向けねばならぬ。しかし、熱と電力とを必要とする諸工業で実際に両者の平衡を保つことは困難な場合が多いので、独立した設備で熱と電力との需要を満たすような要求が起る。この場合に、背圧タービンと復水タービンを併用するのと同様な機能をもつ抽気タービンが使用される。

背圧タービンであると抽気タービンであるとを問わずこれらの蒸気利用発電所は純粹の復水式発電所よりも経済性においてすぐれているから、将来、ますます利用度が増すと思われるが、その定格を決めるに当っては、つぎに述べる点も一考する価値がある。

### 3. 発電機定格

発電機の寸法と価格は、kVA, kW, 力率、回転数および端子電圧で表される。この中で支配的な要素である回転数ならびに kVA のうち、回転数は並列運転を行う

系統の周波数によってほとんど一義的に決定されるが、kVA 出力には多少の問題がある。一般に自家発電タービン発電機では、kVA 出力は作業蒸気量ならびに工場用動力から計算された kW 出力と、負荷の最低力率から決定されるようであるが、最近の傾向として kW と kVA の数値がはなばなののがかなり多い。

発電機製作者の立場からいえば、普通発電機は標準の定格に従って設計、製作する。タービンでは蒸気の温度、圧力などが多種多様で同一定格機はまれなようであるが、発電機では kVA、回転数ならびに端子電圧が同一の場合には同一設計であるから標準が作り易く、水素冷却機における AIEE-ASME の推奨案と同じ意味で小容量空気冷却機の標準を決めておけば、廉価、短納期、高効率、高信頼性などの便宜が得られる。当社では、大略 1 表に

1 表 中小容量タービン発電機標準定格

kVA	kW	P.F (%)	V	Ex. V
1,250	1,000	80	3,300	110 (125)
1,875	1,500	80	3,300	110 (125)
2,500	2,000	80	3,300	110 (125)
3,125	2,500	80	3,300	110 (125)
3,750	3,000	80	3,300	110 (125)
4,375	3,500	80	3,300	110 (125)
5,000	4,000	80	3,300	110 (125)
6,250	5,000	80	3,300	110 (125)
7,500	6,000	80	3,300	110 (125)
9,375	7,500	80	3,300	110 (125)
12,500	10,000	80	6,600	220 (250)
15,625	12,500	80	6,600	220 (250)
18,750	15,000	80	11,000	220 (250)
25,000	20,000	80	11,000	220 (250)
31,250	25,000	80	11,000	220 (250)

示す定格を標準としている。もちろん、標準のとり方自体には相当議論の余地があると考えられるが、いずれにせよはなばな定格の機械は特性ならびに経済の点で不利であることは争えない。

以上の理由から、発電機の定格を決める場合には、所要 kW を最低力率で除して得た kVA 出力の 1 段上の標準機を採用されることを推奨する。たとえば所要出力が 4,150 kW で最低力率が 85% の場合、

$$kVA = 4,150 \div 0.85 = 4,882 \text{ kVA}$$

となるので 5,000 kVA の発電機を選べばよく、最低力率が 95% の場合は 4,368 kVA となるので 4,375 kVA の発電機にすればよい。理想としては kW, kVA とともに標準を採用することが望ましいがやむをえず kW 出力を標準外とする際は、kVA は標準の値を用い、力率を適当に変更して調整する。

標準端子電圧は発電機の容量に応じて、3,300V, 6,600V, 11,000V の 3 種類があり、励磁機の電圧は 110V (125V), 220V (250V) がある。

#### 4. 発電機および励磁機の構造

##### ア. 主要材料

当社で使用している材料は大略 2 表のとおりである。

自家発電タービン発電機の近代化・甲斐

2 表 中小容量タービン発電機主要材料

機 械 の 部 分	材 料
固 定 子 枠	軟 鋼 板
固 定 子 鉄 心	T 級珪素鋼板
固 定 子 コ イ ル	2 重ガラス被覆平角銅帯
素 絶 縁	ダイヤモンド絶縁
主 絶 縁	クロームモリブデン鋼
回 転 軸	(ニッケルクロームモリブデン鋼)
線 輪 保 持 環	ニッケルクローム鋼
回 転 子 コ イ ル	平 角 銅 帯
導 体	マ イ カ
集 電 環	工 具 鋼

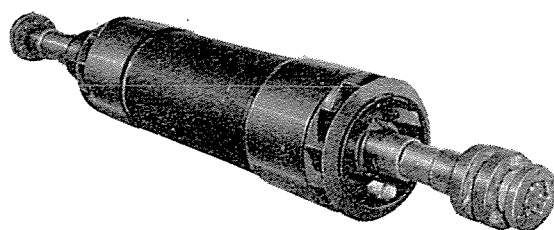
固定子鉄心は珪素の含有量が約 4% で、鉄損の少ない熱間圧延の珪素鋼板を使用する。従来は定尺の T 級珪素鋼板のうち 50c/s, 10,000 gauss における鉄損が、1.35 W/kg 以下のものを使用していたが、最近ではたとえば八幡製鉄のダイライトコア S 5 (長尺の珪素鋼帯で鉄損は T125 級) も併用している。これからセグメントを打ち抜いたのち、打ち抜き作業による周辺の応力を除き鉄損を減少させるため焼鈍を行うとともに、各セグメント間をワニスや耐熱絶縁紙で絶縁している。

回転子軸材はタービン発電機の機械的強度を支配するものであるから、その材質には特別の注意を必要とする。従来、小容量機の回転子には炭素鋼を使用していたが、最近、軸材の鍛造の容易なことから抗張力の増加により発電機の小形化を図るため、すべて特殊鋼を使用することにした。この材料をスーパソニックテストで検査すると同時に表面およびコアドリルで採った試験片により厳重に試験する。また中心穴を穿って内部の状態を拡大鏡で十分検査する。回転子の構造は単一鍛鋼式とし、導体溝および通風溝を切ったのちで最大の応力を示す歯の根本や中心の部分でも、規定過速度で材料の降伏点の 60% 以下になるよう設計している。1 図は完成した回転子軸の一例を示す。

集電環にはこれまでニッケルクローム鋼を用いていたが最近はこれと同等以上の性能を有し安価な工具鋼を用いる。

##### イ. 絶縁方式

固定子コイルの絶縁には合成樹脂絶縁を全面的に使用している。従来、タービン発電機の固定子コイルの絶縁には主として、アスファルト系統の接着剤でマイカの薄片を貼り合せたマイカテープを導体に巻付けて基礎絶縁



1 図 完成した回転子  
Fig. 1. Completed rotor.



体を作り、それにアスファルトを主材料としたコンパウンドを含浸させて継目なしの絶縁層を形成させるいわゆるアスファルトコンパウンド式が 1930 年代から広く実用され約 20 年間踏襲されてきた。また小容量機では、直線部分はマイカに薄い紙をアスファルトで接着しながら強い圧力を加えて巻付けたいわゆるマイカルタボリュームで絶縁し、端部はワニスを塗ったマイカテープを適当ターン数だけ巻いた方式を用いたが、いずれの方式でも、熱的周期による膨張収縮が銅帯、絶縁物、鉄心で異なることと熱可塑性であるため、絶縁剥離の問題があった。アスファルト系コンパウンドは、これを加熱して真空含浸させる技術上および経済上の制約のため、その軟化点を高めることは非常に困難で、軟化点は  $120^{\circ}\text{C}$  内外が一応限度とされ、したがって機器の温度上昇もこの制約を受けてきた。

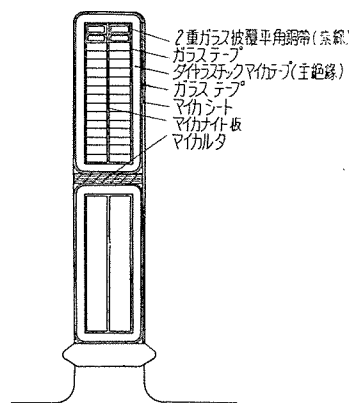
固定子コイルの絶縁に要求される性質は、最小の厚みで絶縁耐力の大きなこと、誘電体損失の少ないこと、イオン化を防ぐため空隙を生ぜずまた良好な熱伝導性を有すること、許容温度上昇内で劣化の少ないこと、機械的ショックや物理的な力に耐えること、弾性が大で熱的膨張収縮に際し導体と絶縁物の間に膨張係数の差による剥離を生じないことなどであるが、戦後の合成樹脂の急速な発達に伴って発電機の絶縁にもこれが利用され、上述の理想に近い絶縁方式が実現した。

当社では Westinghouse 電機会社の協力を得て以上のような良好な特性を有する絶縁方式を完成し、ダイヤラスチック絶縁（参考文献 1 参照）と称している。ダイヤレジンは絶縁上最も適当な組成を有する不飽和ポリエステルレジンの一種である。

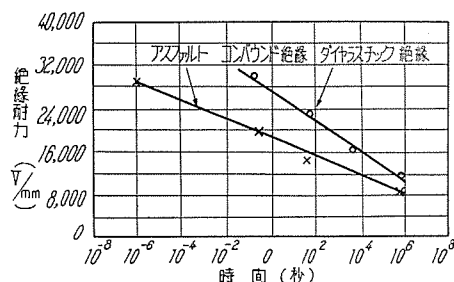
タービン発電機の固定子コイルの断面構造を 2 図に示した。

ダイヤラスチック絶縁のおもな特長はつぎのとおりである。

- (1) 単位厚さ当りの誘電体強度が約 20% 増加する。
- (2) 誘電体強度の増加に伴い、一定電圧を印加した場合の絶縁破壊までの時間が約 10 倍になる。これは絶縁内部に気泡を含まないためであって、その代表的な特性を 3 図に示す。
- (3) 熱的周期を与えても、銅、鉄および絶縁物の熱膨張係数があまり変わらないから、永久変形を起さない。3 表は熱膨張係数を比較したものである。
- (4)  $\tan \delta$  が非常に減少し、旧絶縁の  $1/2 \sim 2/3$  になる。また  $\tan \delta$ —温度特性は 4 図に明らかなように、旧絶縁に比較して平坦になり、高温でのダイヤラスチック絶縁の優秀性を示している。
- (5) 抗張力は運転温度で旧絶縁の約 30 倍近くになる。4 表にその一例を示す。
- (6) 熱硬化性のレジンをを用いるから過負荷の状態でも軟化しない。
- (7) 耐湿性が大である。



2 図 固定子コイルの構造  
Fig. 2. Construction of stator coil.



3 図 絶縁耐力—時間特性  
Fig. 3. Dielectric strength—time characteristics.

- (8) 化学的に不活性で、溶媒、潤滑油、弱酸、弱アルカリなどに耐える。
- (9) 汚染に強い。
- (10) これらの結果として寿命が著しく増す。

当社でダイヤラスチック絶縁をはじめて使用したのは昭和 28 年で、当時は高圧絶縁だけに適用されたが、その後レジンの研究と使用方法が進歩した結果、最近では低圧の B 種絶縁としても採用している。

#### ウ. 回転子支持方式

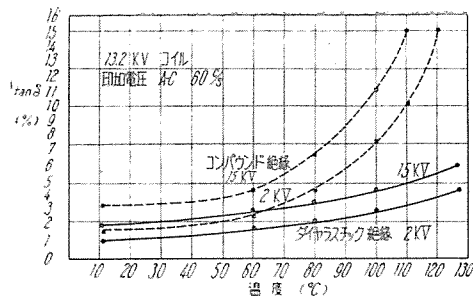
自家発電用タービン発電機では、回転子は発電機前部（タービン側）および発電機後部（励磁機側）の 2 個のベDESTAL 軸受で支持するのが普通であったが、水素冷却機の発達とともに中小容量機にもブラケット型構造が普及してきた。5 図がベDESTAL 型、6 図がブラケット型の代表的なものである。

3 表 絶縁の熱膨張係数の比較

	アスファルト コンパウンド絶縁	ダイヤラスチック 絶縁
厚さ方向	$300 \times 10^{-6}$	$72 \times 10^{-6}$
長さ方向	$6.85 \times 10^{-6}$	$6.66 \times 10^{-6}$

銅の熱膨張係数  $= 17 \times 10^{-6}$

鉄の熱膨張係数  $= 11.5 \times 10^{-6}$



4 図  $\tan \delta$  - 温度特性

Fig. 4.  $\tan \delta$ -temp. characteristics.

4 表 絶縁の抗張力の比較

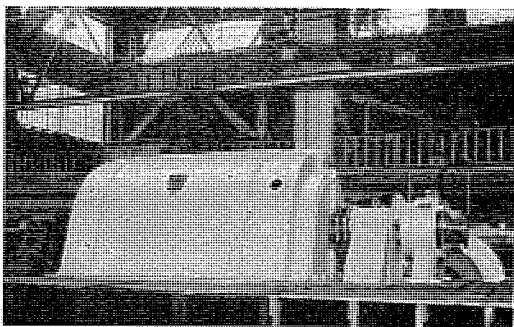
	アスファルト コンパウンド絶縁	ダイアラスチック 絶縁
室 温	140 kg/cm <sup>2</sup>	460 kg/cm <sup>2</sup>
100°C	6.5 kg/cm <sup>2</sup>	200 kg/cm <sup>2</sup>

回転子の支持方式はこのほかにも、容量の大小、励磁機の有無などにより多少の変化があるが、これを7図に示す。この図の説明中、3軸受式とか4軸受式とかいうのは、タービンと発電機の軸受の数で、タービンの推力軸受ならびに励磁機軸受は含まない。すなわち4軸受式は、タービンおよび発電機の前後部におおの2個の軸受を有するユニットをさし、3軸受式はこの中の発電機前部（タービン側）軸受を省略してタービン後部軸受に荷重をもたせ、軸長を短縮した構造のものである。

戦前のタービン発電機では、その容量を問わずすべてベデスタル型4軸受式であったが、軸長を短縮するため戦後早々に小容量機の3軸受式が採用された。この方式は4軸受式に比べて相当の進歩であったが、その後水素冷却機にブラケット型が使用されて、種々の利点が認められ中小容量機にも全面的にこの型が使用される機運にある。

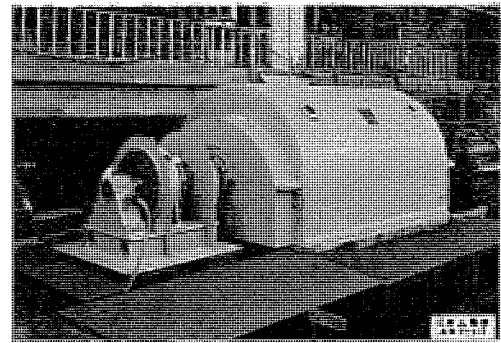
ブラケット型3軸受式がベデスタル型に比べて優れている点としてはつぎの諸項目が挙げられる。

- (1) 軸長が短縮される。
- (2) 輸送および据付が簡単である。



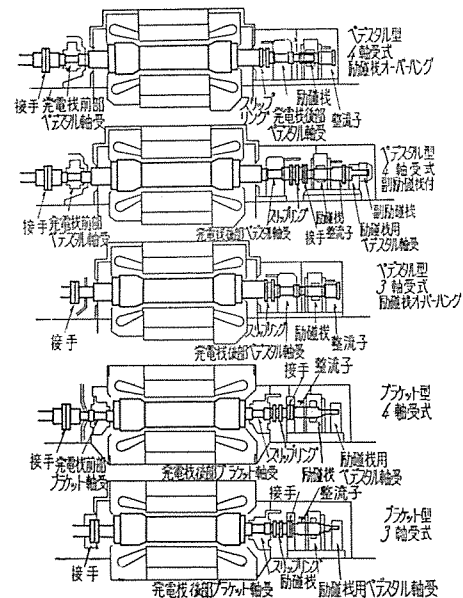
5 図 ベデスタル型 タービン発電機

Fig. 5. Pedestal type turbine generator.



6 図 ブラケット型 タービン発電機

Fig. 6. Bracket type turbine generator.



7 図 回転子支持方式の比較

Fig. 7. Comparison of rotor supporting method.

ブラケット型の輸送に当っては、回転子を固定子内に挿入し、タービン側では仮ブラケットで回転子を支え、一体として輸送する。据付の際も両者を分解する必要はなく、回転子を固定子に挿入したままでタービンと組立てられるから据付期間が短縮される。ただ輸送時の重量は固定子のみときと比べて回転子に加わるだけ重くなるが、最近の自家発では固定子（最大重量物）を吊上げるだけの容量の起重機を設備することはまれで、据付の際は固定子を三つ又で基礎上に運び上げており、これに回転子の重量が加わっても大きな差はない。

- (3) 分解点検が便利である。

励磁機側のブラケットは上下2つ割となっているから、ブラケットの上半部だけを取外せば、簡単に内部の点検ができる。タービン側ブラケットは軸受をもたずまた数個に分割してあるからもちろん容易に取りはずせる。

- (4) 励磁機の通風が良好になる。

最近の発電機では、励磁機はすべて励磁機ハウジングで覆うので、この内部の通風が重要である。ベDESTAL型では発電機の集電環と励磁機がベDESTALを挟んで配置されるのが普通であるが、ブラケット型では両者が隣り合せになるから通風、保守上便利である。

(5) 外観ならびに体裁が簡潔で、現代的センスに合っている。

このようにブラケット型は多くの利点を有するので小容量機には最適だと考える。ただ発電機容量が相当大きくなると軸の機械的強度上3軸受式構造が難しくなり、4軸受式が妥当になる。この限界は条件により異なるが大体10,000 kW前後にある。

当社では小容量機(約3,000 kW以下)はすべてブラケット型、中容量機(約4,000 kW~7,500 kW)はベDESTAL型とブラケット型の併用、大容量機はベDESTAL型として製作しているが、まだ過渡的段階にあり使用者がブラケット型に慣れるに伴ってこの方式はさらに増加するように思われる。

## エ. 通風方式

### (1) 固定子の通風

固定子の通風方式には複式放射通風、放射通風軸方向通風などがあり、容量により、またメーカーによって適宜選択しているが、当社では下記のようにわけている。

小容量機(約3,000 kW以下)……放射通風

大中容量機(約4,000 kW以上)……複式放射通風

従来、小容量機には軸方向通風を用いていたが、前項に述べたブラケット型の採用と同時に放射通風に切換え、軸方向温度分布の均一化と保守の容易を図っている。

### (2) 回転子の通風

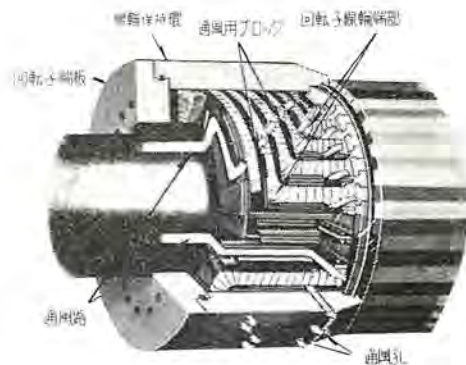
回転子コイル端部は平衡環の内側からはいった空氣で冷却し線輪保持環に設けた穴から放出している。

8図はこの部分の構造を示している。導体溝部については容量によって異なるが、一般に小容量機では熱損失も少なく軸長も短かいので回転子表面に切ったグループから熱を放散するだけで十分である。容量が大きくなって、熱損失および軸長が増加するとこれだけでは不十分となるので、導体溝の下に9図に示すような軸方向通風孔を設けて発生した熱を吸収し、歯のところどころにあげた半径力向の穴から放散している。

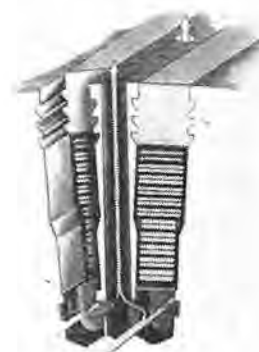
### (3) 空氣冷却器の配置

普通発電機用の空氣冷却器は10図に示すとおり基礎の一部に設置し、発電機との間を密閉した通路でつないで外部空氣と遮断している。発電機を冷却した空氣はこの通路を経て空氣冷却器に至り、ここで完全に冷却され、他の通路を経て再び発電機内にはいる。なお必要に応じて開路通風に切替えるための切替扉を通路の一部に設けている。

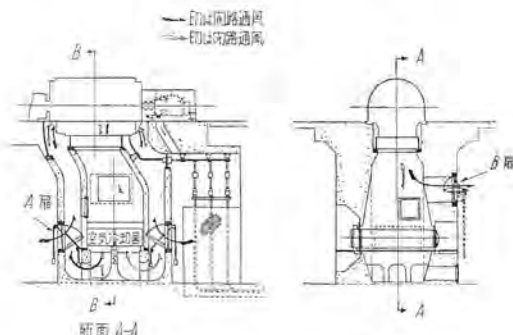
しかし、たいていの中小容量自家発電所では、



8 図 回転子コイル 端部通風  
Fig. 8. Ventilation at rotor end coil.



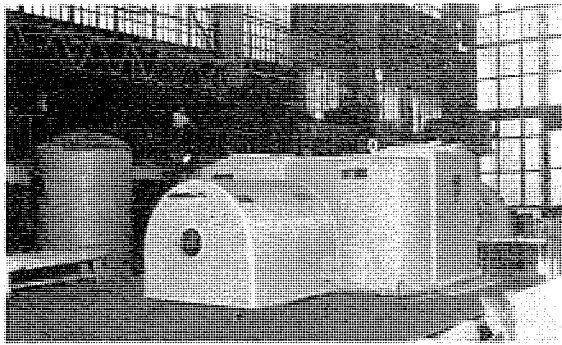
9 図 回転子コイル 溝部通風  
Fig. 9. Ventilation at rotor coil groove.



10 図 空氣冷却器配置および通風系統図  
Fig. 10. Air cooler and ventilation system.

背圧タービンを使用する場合が多く基礎内に復水器を有しないので、空氣冷却器をもし床面上におくことができれば空間の活用が可能になる。当社ではこれらの要求に応じて Side-Mount 式の空氣冷却器をもった発電機も製作しており、その一例を11図に示す。この例では冷却器は発電機の両側面に配置されているが、これに限った訳ではなく、そのときと場合に応じた方法を採用することができる。配置と配管の方法は多種多様であり詳細については末尾の文獻を参照されたい。





11 図 空気冷却器横抱き式タービン発電機

Fig. 11. Turbine generator with air cooler at its side.

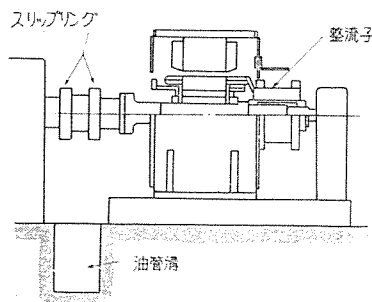
今後、発電所計画の進歩に従って、この型の発電機の需要も増加するであろうが、この型では発電機フレームの構造が冷却器を取付ける必要上、丈夫なものとならねばならず重量は多少増す。しかし基礎および通風路などの設備を考慮すれば、十分採算がとれるであろう。なおこの型では、開放通風に切換えることは困難であるから、冷却器を数個にわけておきその中の一部が故障した場合には、その部分だけの送水を停止して残りの冷却器で運転を継続することが望ましい。したがって、この場合出力もこれに相当するだけ減少せねばならない。

#### オ. 励磁機の通風

戦前のタービン発電機の直結励磁機には励磁機ハウジングがなく、開放通風式で 12 図のように、スリップリングおよび整流子の部分は外部にむき出しのままであった。温度上昇の点から、開放通風でも問題はないが、周囲の空気中に含まれている塵埃が励磁機のまわりに付着しやすいので、保守を容易にし、絶縁の寿命を長くするため、励磁機ハウジングを付けて閉鎖通風にすることが、この約 10 年間に普及してきた。当社で現在、自家発用に採用している方式はつぎのとおりである。

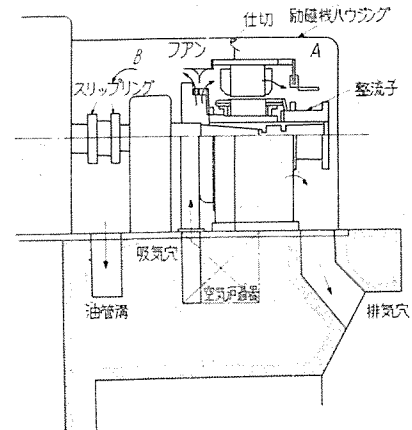
##### (1) ベデスタル型発電機、励磁機閉鎖通風

13 図 (a) は励磁機をオーバハンクしたもの、(b) は副励磁機付で励磁機ベデスタルを有するものである。冷却空気は発電機後部ベデスタルと励磁機間の吸気口から空気ろ過器を通じて吸込まれ、2 枚

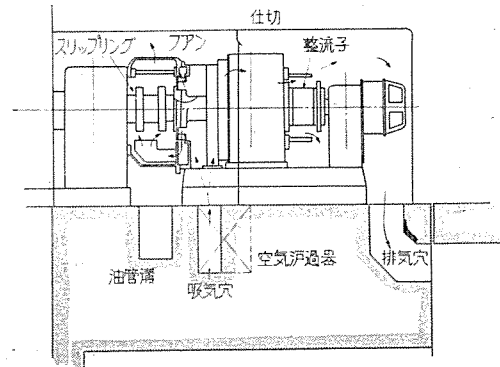


12 図 開放型励磁機

Fig. 12. Open type exciter.



(a) 励磁機電機子オーバハンク



(b) 副励磁機付

13 図 励磁機通風 (ベデスタル型)

Fig. 13. Exciter ventilation.

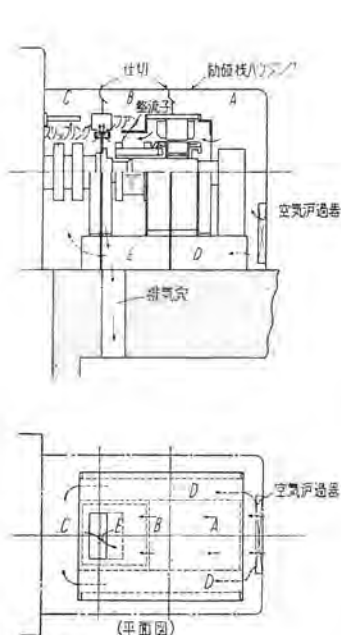
羽根のファンにより一部はスリップリングへ他の一部は励磁機内部へ進む。励磁機内部へ進んだ空気は電機子コイル、界磁コイルなどを冷却したのち、整流子部へ出てこの部分を冷却し機外に排出される。一方スリップリングを冷却した空気はその直下の排気口から外部に排出される。この方式では整流子やスリップリングを冷却し終った空気はすぐ機外に出るので、刷子粉などがコイルに付着するのを防いでいる。

##### (2) ブラケット型発電機、励磁機閉鎖通風

14 図にこの方式を示す。励磁機ハウジングの一部に設けられた吸気口からろ過器を通して内部に吸込まれた空気の一部は、励磁機コイルから整流子を冷却してファンに至り、他の一部は励磁機の下部に設けられた通風路を通してスリップリングを冷却しファンに至り、両者一緒になって排気される。

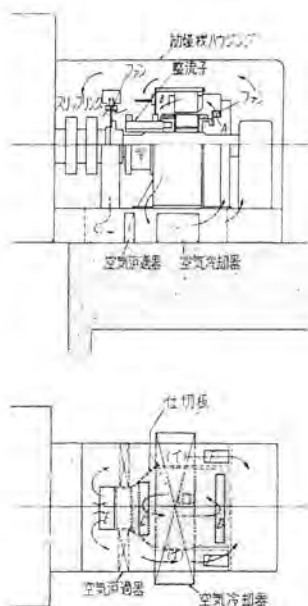
##### (3) ブラケット型発電機、励磁機密閉通風

自家用発電所では電力会社と違い、発電機の周辺の雰囲気有害ガス ( $H_2S$ ,  $CS_2$ ,  $H_2SO_3$  など) を含んでいることが多い。これら有害ガスは開閉装置の電気接点を腐食すると同時に励磁機の整流子に対して悪害を与え、刷子や整流子の異常摩耗、整流の不良などの結果をひき起す。これら有害ガスの整流子や接点に与える影響については各方面で研究が進



14 図 励磁機閉鎖通風  
(ブラケット型)

Fig. 14. Enclosed ventilated  
exciter.



15 図 励磁機閉鎖通風  
(ブラケット型)

Fig. 15. Enclosed ventilated  
exciter with air cooler.

められているが、材質を考慮するだけでは問題の解決を望みえない状態にある。

この対策として、励磁機を密閉通風とし有害ガスを避ける方法、直結励磁機の代りに電動励磁機を良好な雰囲気中に設備する方法、静止励磁機を使用する方法などがあるが、第2の方法はやはり雰囲気が問題になること、価格や据付面積が増加することなどの難点があり、第3の方法は非常に有力な手段ではあるが価格、寸法、信頼性などの点で今後の発達に待つところが多い。

15 図に示した空気冷却器付密閉通風方式は、さきに述べた第1の方法に属し、現在広く推奨されている方式である。

この方式では励磁機ハウジングは励磁機の台枠上に取り付けてある。励磁機本体はファンを有し、前部と後部のカバーで全閉されており、また軸接手にはスリップリングと整流子を冷却するための2枚羽根のファンが取付けてある。

励磁機本体内の通風路と、スリップリングおよび整流子冷却用の通風路は完全に分れていて、台枠内に設置された空気冷却器と空気濾過器もおのこの仕切板で前記の2つの通風路に分れている。

励磁機本体内部通風は A 室から内部ファンを経て励磁機巻線および鉄心を冷却し B 室に出る。この間に熱を吸収した空気は台枠の C 入口から冷却器の口部を通る間に冷却され D 出口から A 室に至り循環する。

励磁機ベデスタルまわりの空気は軸接手に設けて

あるファンによりベデスタル周囲および励磁機本体外周を冷却しながら整流子およびスリップリング部に至り、ここを冷却した後発生した刷子粉と共にファンを経てファンカバーに出る。この間に温度が上り、汚れた空気は台枠の E 入口から台枠内にはいって左右の通路に分れ、その途中に設けられた濾過器により清浄になり、冷却器で冷却されて台枠の F 出口から再び励磁機ハウジング内にはいり循環する。

この方式の利点

- (a) 完全な密閉通風で外気中の湿気、油分および化学的成分による絶縁の低下や汚染、整流子の摩耗などを招くおそれがない。
- (b) 励磁機本体の通風とスリップリングおよび整流子部の通風を完全に分離したので、刷子の粉が励磁機内部に侵入しない。
- (c) 基礎に吸気および排気用の穴が不要なので基礎構造が簡単になる。
- (d) 空気冷却器と濾過器は床面上の台枠内に設置され、容易に引出せるので取扱いに便利である。

#### カ. 温度計測装置

タービン発電機の運転に当っては、配電盤計器の示す電圧、電流などの電気的諸量の監視と記録を怠らぬことはもちろん必要であるが、発電機各部の温度の指示にも十分注意せねばならない。この場合温度計測装置は正確で敏速な指示を与えるものを、運転員の監視や記録に便利のように配置することが大切である。発電機で温度を測定すべき箇所とこれに使用される温度計の種類を5表に示す。

5 表 各種温度測定用計器表

測 温 箇 所	計器の種類
固 定 子 コ イ ル	熱電対式、抵抗式、(埋込温度計)
回 転 子 コ イ ル	抵抗法 (コイル自体の抵抗変化による)
軸 受	アルコール温度計、水銀膨張式、抵抗式、熱電対式
空 気 (出入口)	アルコール温度計、水銀膨張式、抵抗式
冷却水(出入口)	アルコール温度計、水銀膨張式、抵抗式



16 図 固定子コイル温度測定素子配置

Fig. 16. Temperature sensing element arranged in stator coils.

### (1) 固定子コイル温度測定装置

測温体はサーモカップルまたはサーチコイルで、固定子コイルの上口と下口の間に埋込まれ、発電機の円周方向ならびに軸方向の温度分布を指示するよう 16 図のように配置してある。これらの測温体からの口出線は固定子枠に設置された端子板に接続され、これからケーブルで盤面にとりつけられた指示計または記録計に結線する。指示計または記録計は普通発電機 1 台ないし数台に対し 1 個であり、切換開閉器により、各測温部の温度を切換えて測りうる。

### (2) 回転子コイル温度測定装置

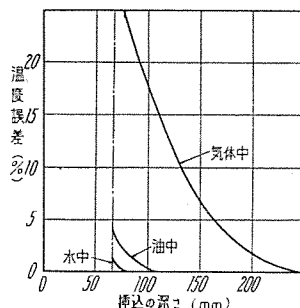
自家発では大容量の発電機にこの装置をつけることがある。回転子コイルの抵抗が温度により変化するのを利用し、スリップリング間の電圧と電流により温度を直読できるようにしたもので回転子コイルの平均の温度を指示する。この装置のための専用のスリップリングなどは不要である。

### (3) 軸受温度計

発電機ならびに励磁機軸受の温度を測定するもので、小容量機にはアルコール温度計が使用されるが、隔測の必要なきときには、水銀膨張式、抵抗式、熱電対式など各種の温度計が使用される。これらの温度計は 6 表に示すとおり一長一短があるので、使用者の要求に応じて適宜選択している。一般に軸受温度計は軸受温度の急激な変化に注意し軸受を焼くことのないように保守するのが目的であって、その絶対値に多少の誤差があっても実用上差支えない場合が多いので、水銀膨張式でも十分であるが、とくに精密を要するときには抵抗式を使用するのが妥当である。ただ軸受では測温体の直径と挿入長を十分に大きく採りえないことがあるので、特別の注意を必要とする。場合によっては軸受温度計の代りに、油出口の温度を測定する方が正確なことが多い。

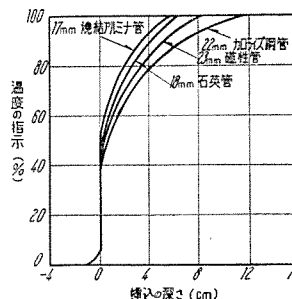
隔測の場合、指示計または記録計はタービン室あるいは中央制御室に設けられたタービン計器盤上にタービンの軸受温度計と並べておくのが普通である。

### (4) 発電機出入口空気用温度計



17 図 水銀膨張式温度計の誤差

Fig. 17. Error in mercury expansion type thermometer.



18 図 熱電対式温度計の誤差

Fig. 18. Error in electric thermo couple type thermometer.

6 表 隔測温度計の比較

種類	特性	使用範囲
熱電対式	指示の遅れ比較的小 使用法簡単 計器堅牢	銅-コンスタンタン -200~300°C
抵抗式	精度が高い 指示の遅れ大 振動に弱い	白金-190~500°C 低温測定に適す
ブルドン管式 (水銀膨張式)	指示の遅れ小 価格低廉	-20~400°C 距離15m以内に使用

アルコール温度計、または水銀膨張式、抵抗式の隔測温度計が使用される。この場合には挿入長を十分大きくとれるが、誤差の心配は (3) より少い。挿入長の指示に及ぼす影響を 17 図と 18 図に示すが、普通保護管径の 15~20 倍以上の挿入長があればよい。発電機の出入口空気の温度は空気冷却器の冷却効果を示し、この指示によって冷却水量の調節を行うことができる。

### (5) 冷却水温度計

普通アルコール温度計が使用される。隔測にする必要は少ないが、水銀膨張式または抵抗式も使用できる。冷却水出入口の温度差は数度に過ぎないので、隔測の場合には冷却水入口だけを測定すれば十分である。なお、水銀膨張式では導線の長さが最大 15m までしか測れないので注意を要する。

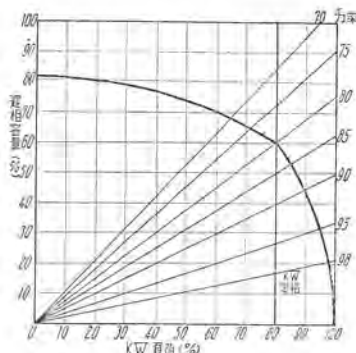
### (6) 警報装置

隔測温度計には、必要に応じて警報接点を付け、所定の温度以上になれば自動的に接点が閉じて、ベル、ブザーまたはランプなどにより警報を発するようになすことができる。警報の種類が多い場合には集合故障表示器を使用してどのような故障が発生したか直ちに判別しやすいようにする。集合故障表示器の方式には種々あるが、普通落方式（ドロップ方式）が用いられ、故障によりコイルに電流が流れると、クラッチをはずして表示板が落下して表示する手動復帰式のものである。

発電機の警報箇所としては、発電機軸受、励磁機軸受、発電機入口空気などがあげられる。

## 5. 発電機の運転と保守





19 図 遅相容量特性

Fig. 19. Lagging capacity characteristics.

### (1) 力率

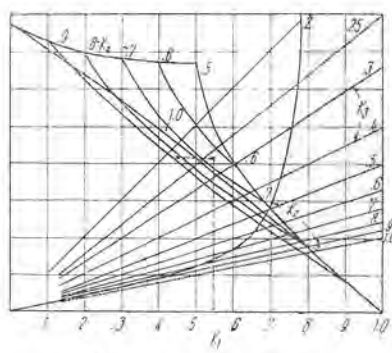
運転条件により必要であれば、タービン発電機は定格力率より低い力率で運転しても差支えない。しかしつねに界磁電流が定格値をこさぬように注意せねばならぬ。代表的な reactive capability curve を 19 図に示すが、この中の 2 つの円弧内での運転は許容できる。ただし定格力率が 80% 以外のものでは、この図と異なった特性を示す。

### (2) 単相負荷

発電機に単相負荷または不平衡 3 相負荷を印加した場合には、界磁電流は同じでも 3 相平衡負荷の場合より回転子の温度は高くなる。この理由は回転子表面に流れる渦電流に起因するもので、とくに線輪保持環と回転子本体の継ぎ目の部分に過熱をひきおこす。経験によれば、焼嵌式の線輪保持環を有する最近のタービン発電機では定格電流の約 20% の単相負荷をとることができる。20 図は与えられた不平衡負荷を印加した場合、許容温度上昇の範囲にあるか否かを決定するためのものである。

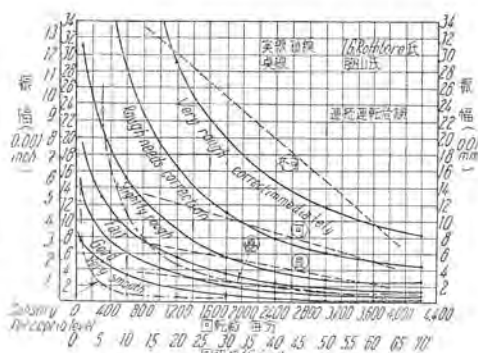
### (3) 振動

回転子は軸材のほかに導体や絶縁物から成っているので、工場では釣合試験器で十分に動的釣合をとるだけでなく、回転子を高温にして十分な枯し運転を行いコイルを安定な状態にして運転後の釣合の変化を起さないようにしてある。また温度上昇時と冷



20 図 不平衡負荷許容限度  
Fig. 20. Unbalanced load allowable limit.

$K_1$  = 最小電流  
最大電流  $K_2$  = 中位電流  
最大電流  $K_3$  = 最大電流  
定格電流  
 $K_1, K_2, K_3$  を計算して図上にこの点を求める。この点が暗部にあれば許容できない。  
例：3 相電流がそれぞれ 200A, 130A, 110A で定格電流が 900A のとき  
 $K_1 = \frac{110}{900} = 0.122$ ,  $K_2 = \frac{130}{900} = 0.144$ ,  $K_3 = \frac{200}{900} = 0.222$   
この点は明るい部分にあるから許容できる



21 図 振動許容表

Fig. 21. Vibration allowable limit.

却時の振動の変化も少ないよう調整してある。

振動については種々の原因があるが、その良否については 21 図を参照すればよい。

### (4) 運転電圧

発電機は普通定格 kVA で 95~105% の端子電圧の範囲内で支障なく運転できることを保証している。電圧が高くなれば磁束密度が大になり、鉄損が増加するので鉄心の温度が上昇し、また飽和の影響により界磁電流も増加する。

電圧が低ければ定格 kVA を保つために電機子電流が増加し、巻線温度が過大となる。

### (5) 温度上昇

JEC 114 によればタービン発電機の許容温度上昇は 7 表に示すとおりであるが、米国規格の AIEE ならびに ASA C50 は 8 表の如く規定している。規格値としては両者に差はないが米国規格には推奨案として固定子コイル 60°C、界磁コイル 90°C—X (ただし X は適当な余裕) を採用している点が相異している。これは熱的周期による機械的膨張収縮のために生ずる劣化を考慮に入れた数値であり、長期間の連続運転を考えれば妥当な数値だと考えられる。

周囲温度 (発電機入口空気温度) は 40°C 最高であるから、最高許容温度は固定子コイルおよび鉄心 100°C、界磁コイル 125°C となる。

7 表 JEC 114 温度上昇限度 (タービン発電機 B 種絶縁)

機械の部分	温度計法	抵抗法	埋入温度計
固定子コイル	70	80	80
界磁コイル	—	90	—
絶縁物に接近せる鉄心その他の部分	70	—	—
集電環	85	—	—
軸受	40	—	45

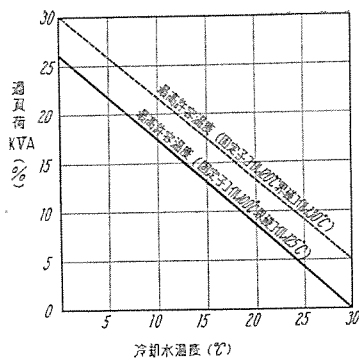
周囲温度, ..... 40°C

8 表 ASA C50 温度上昇限度 (タービン発電機 B 種絶縁)

機械の部分	温度計法	抵抗法	埋入温度計
固定子コイル (500kVA 以上の発電機) の 2 層巻のコイル	—	—	80 ±1
界磁コイル	—	90 ±2	—
絶縁物に接近せる鉄心その他の部分	70	—	—
集電環	85	—	—

#1. 現在の米国の慣例として 60°C に設計している。

#2. 熱膨脹に対する機械的考慮から大形機の界磁コイル (B 種) の温度上昇限度は本表に示された値より幾分低目にとることが必要である。



22 図 許容過負荷  
Fig. 22. Allowable overload.

以上の値は劣化を考慮に入れて決定された値であるからこの限度までは安心して使用してよい。なおタービン出力に余裕があり、冷却水温度が低い場合に発電機にどれだけの過負荷を行いうるかがよく問題となる。これは発電機ならびに空気冷却器の設計によって定まるので個々の場合について検討すべきであるが、冷却水温度 30°C、空気入口温度 40°C、発電機温度上昇が固定子 60°C、界磁 85°C に設計されている機械で、冷却水温度が 30°C より低いときに可能な過負荷を 22 図に示す。同図で実線で示したのが最高温度を 100°C および 125°C に抑えた場合、点線で示したのが 120°C および 130°C に抑えた場合であり、連続負荷は実線に従うがよい。点線は参考までに示したものでごく短時間の負荷なら差支えないが、長時間続けば絶縁の寿命を縮める。

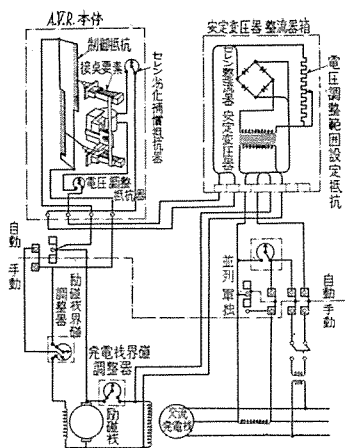
## 6. 励磁方式と自動電圧調整方式

タービン発電機の励磁は普通、発電機のスリップリング側軸端に直結された励磁機から供給される。励磁機の励磁方式には自動分巻式と副励磁機付他励分巻式があって 10,000 kW 未満の発電機には前者を、これ以上の容量の発電機には後者を使用することが多い。副励磁機付の場合には主励磁機の抵抗器を省略しうること、発電機内部故障時に、その被害を軽減するため主励磁機に差動巻線を設けておき、逆励磁により残留磁気を消滅させることができるなどの利点がある。いずれの場合も自動電圧調整器を使用して電圧調整を行う。

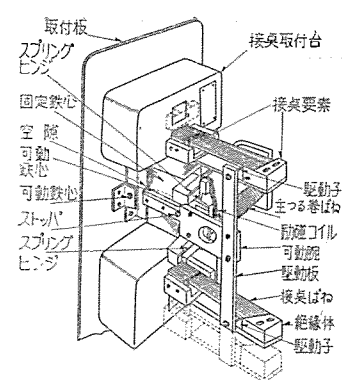
自動電圧調整器をその動作原理から分類すると、振動型、抵抗器型、無接点型の 3 種がある。振動型は断続制御であり、無接点型は連続制御で抵抗器型には両者がある。

振動型に属するものとしては、古くから用いられてきたチリ式および回転式振動接触子型などがあるが接点が多く、保守が困難なので、現在では次第に用いられなくなっている。

自家発電タービン発電機の近代化・甲斐



23 図 SR 型 AVR 接続図  
Fig. 23. Type SR AVR connection diagrams.



24 図 SR 型 AVR 内部構造  
Fig. 24. Type SR AVR internal construction.

抵抗型には多重接点型（直接動作）、セクタ型、間接動作抵抗器型などがあり現在広く使用されているものである。

無接点型は最近異常な発達を示したもので、回転増幅器型・磁気増幅器型、電子管型などがあるが、構造簡単で保守が容易な磁気増幅器型が最も広範囲に使用される趨勢にある。

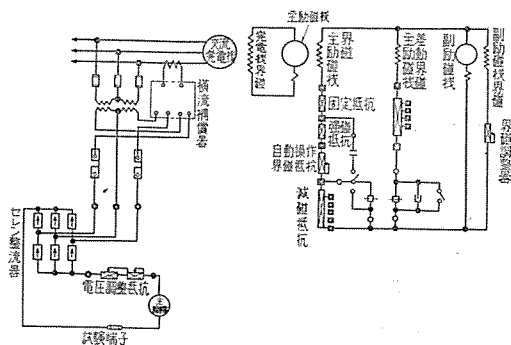
以下に当社で採用している具体例につき簡単に触れてみよう。

### (1) SR 型直接操作多重接点式自動電圧調整器

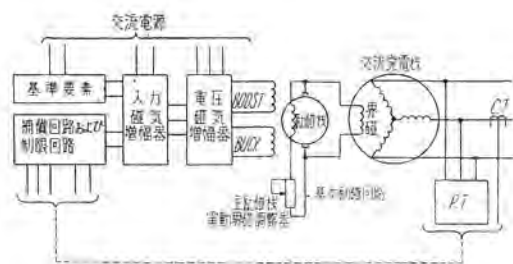
この方式の結線図を 23 図に示す。SR 型 AVR は直接動作、多重接点式の抵抗器型でその本体は 24 図のように、発電機の電圧により励磁される固定鉄心と、その吸引力によって動作する可動鉄心とを組合せて、発電機電圧の変動を機械的運動に変換し接点により裏面に取り付けた制御抵抗を変化させる構造であり、可動部分がわずかなこと、動作原理が簡単なことなどのため、中小容量の発電機に広く使用される。調整、点検など取扱いもきわめて容易である。

### (2) BJ 型励磁機抵抗器型自動電圧調整器

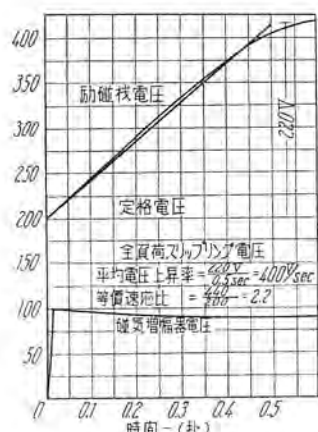
この方式の結線図を 25 図に示す。BJ 型 AVR では発電機電圧が規定値にある場合は調整器の各部分は静止しており、わずかな電圧変動が生じた場合



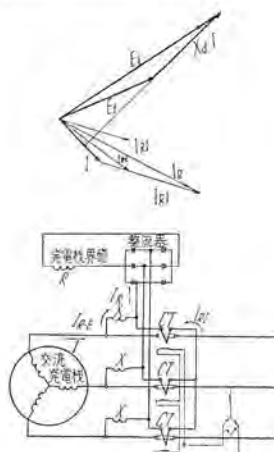
25 図 BJ 型 AVR 接続図  
Fig. 25. Type BJ AVR connection diagram.



26 図 磁気増幅器型 AVR の一例  
Fig. 26. Example of magnetic amplifier AVR.



27 図 磁気増幅器および主励磁機の電圧上昇  
Fig. 27. Voltage build up of magnetic amplifier and main exciter.



28 図 複巻発電機接続図およびベクトル図  
Fig. 28. Compound generator construction diagram and vector diagram.

は電動操作式界磁調整器を操作し、また大きな電圧変動に対してはこれと同時に速応型の電磁接触器により励磁機界磁回路の抵抗を挿入あるいは短絡して電圧を急速に規定値まで回復させるものである。この方式は比較的に大容量の発電機に使用されるもので、きわめて鋭敏かつ確実に動作するから速応励磁を必要とする場合に適當である。

### (3) 磁気増幅器型自動電圧調整器

この方式の結線図を 26 図に示す。発電機の 3 相平均電圧の変化を 3 段の磁気増幅器により増幅し主励磁機の電圧制御により自動電圧調整を行うもので基本励磁は電動操作式の主励磁機界磁調整器を手動で適当に調整して与える。出力磁気増幅器は boost 制御界磁または buck 制御界磁を付勢して、励磁電圧を増加あるいは減少させ、発電機電圧を一定値に保つ。

磁気増幅器型 AVR の信頼度はもっぱらその電源の信頼度にかかっているが、誘導電動機駆動の 400 c/s 高周波永久磁石発電機を使用するので、その応答度はきわめて早く、しかも安定な電圧調整を行う。必要に応じて、AVR は運転中切換開閉器により任意に使用を除外することができる。この際、上述のように基本励磁はなくなるので、発電機に与える騒音が少く手動で運転を続けられる。27 図は磁気増幅器および主励磁機の電圧上昇を示す一例

である。

以上が現在採用されている励磁方式と自動電圧調整方式の概略であるが、このほかに回転励磁機をやめてこの代りに整流器を使用する方式もある。従来、大容量発電機に水銀整流器を使用し、その格子制御によって電圧調整を行った例が若干報告されているが、電源として安定な交流電源が必要であること、常時、水銀整流器を格子制御で絞って使用するため、この電源の力率が低下すること、価格が高いことなどの理由により広く採用されるところに至っていない。将来も急速に一般化するとは思えないが、特殊なばあいには適用される可能性がある。

また最近になって、主としてドイツにおいて、船用の小容量発電機に複巻発電機を使用することが提唱されている。この方式の結線図およびベクトル図は 28 図に示すとおりで、電圧の微細調整に磁気増幅器回路を使用するものと使用しないものとの差はあるが、原理的には直流発電機の複巻式に相当するものである。

すなわち、発電機端子電圧に対応する電流と負荷電流に対応する電流を合成して半導体整流器を通じ直流に変換して発電機界磁回路に与え、本質的に一定端子電圧を得んとするものである。

この方式は、半導体整流器の経年変化に対する信頼度と、価格および据付面積の点でなお問題が多いが、この種の整流器の発達は著しいから、小容量の自家用発電機には採用できるようになる可能性がある。

## 7. 大電力系統と並列運転する場合の自動電圧調整方式

一般に大電力系統と並列運転を行っている自家用発電機で普通の定電圧自動電圧調整方式を使用するのは相當に困難である。すなわち、この場合系統の電圧が上昇すれば AVR は端子電圧を下げるために界磁電流を減ずる方向に働くが、系統の電圧が強力なときには AVR は減磁の方向に働き続け、発電機は進み力率の領域にはいり極端な場合には同期からはずれてしまう。一方系統の電圧が減少すれば AVR は端子電圧を上げるために界磁電流を増加する方向に働き、過電流となって焼損の懸念を生じる。

普通このような無効電力を平等に分担するために、AVR には横流補償器が設けてあって、発電機電流の無効分に対して電圧の垂下特性を持たせてあるが、電力系統の発達に伴って、大電力網が形成されている現在では、単純な発電端、送電端の関係にあるものはほとんど存在せず、各所に点在する多数の発電所がインピーダンスを有する電力線によってさまざまに接続され、これが集結して大送電系統を形成しているのであるから、一発電所の端子電圧が電力潮流に左右されることは当然である。このような系統で各同期機を定電圧運転しようとするれば、それ相當に十分な調相容量を持たせる必要があるが、発電機は原動機最大出力 (kW) に若干の調相容量

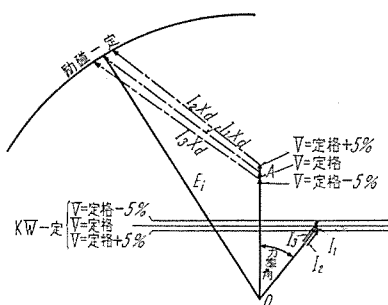


(KVar)を加味して決定されるものであるため、系統容量に比べればきわめて小さい場合が多く到底十分な調相容量は期待できない。したがってこのような発電機で定電圧運転を行えば、系統の潮流により著しい過電流を生ずるおそれがあり、定電圧運転は不可能による。現在多くの自家用発電所で AVR の設備を有するものが多いにもかかわらず、実用されているものの少ない理由の大部分はこのような点に原因がある。

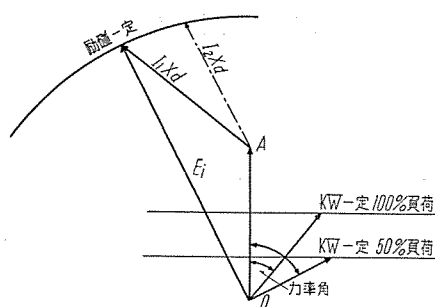
このような場合、普通は手動で電圧調整を行っているが、これにも大きな問題がある。便宜上、励磁電流を界磁調整器によって定格力率、定格出力 (kW) で定格電圧を保つよう調整しておいたとすれば、29 図で明らかのように母線電圧の変化が力率に及ぼす影響は割合に小さく、端子電圧の 5% の変動に対して力率角の変化は 6 度程度に過ぎない。しかし kW 負荷が変動した場合の影響は非常に大きく、30 図に示すように kW 負荷が 100% から 50% に変化した場合、力率は大幅に変化する。したがって、このような運転状態をあらかじめ考慮に入れて、たとえば励磁電流を定格力率、定格出力の  $\frac{3}{4}$  の負荷で定格電圧を保つよう調整しておけば、ある程度満足な運転ができる。

すなわち、kW 負荷の変動が比較的にわずかな場合には、上記のように調整しておけば力率の変動はごく小さくてすむし、kW 負荷がまれに変動する場合でも 100% 負荷では力率は 100% に近くなり、低負荷時には定格力率より多少悪い程度ですむことになる。

しかし、この方式の最大の欠点は、異系統との連絡が故障または過負荷などの理由で断たれたときに起る。この場合発電機が定格負荷以下の励磁しか与えられてい



29 図 母線電圧の力率におよぼす影響  
Fig. 29. Effect of bus voltage on P.F.



30 図 kW 負荷の力率におよぼす影響  
Fig. 30. Effect of kW load on P.F.

いのに定格負荷が印加されれば、端子電圧は降下し、また発電機に残った負荷がほとんど無負荷に近いような場合には、危険な過電圧が発生する。極端な場合には、AVR を使用していたら同期を保てたはずの機械が脱調してしまうことさえ起りうる訳である。

これらの困難を克服する便法の 1 つとして、AVR を使用しその電圧を並列する系統で予測される最高電圧よりも高く調整しておくことが考えられる。かかる状態では並列運転時には、AVR は励磁機界磁調整器の固定値で定められる最大励磁を与えるよう働いているが、系統の連絡が断たれると、発電機の端子電圧は並列時よりわずかに上昇し、これから後はその調整電圧に一定に保たれることになる。

最善の方法は、並列運転時には自動力率調整器として働き、単独運転になれば自動電圧調整器として動作するような方式である。

当社ではこれらの諸点を考慮してつぎの 3 つの方式を推奨している。その方法は自動可変電圧調整方式とでも称すべきもので、同期機の運転状態により、AVR の調整する定電圧を自動的に変化するものである。力率限定式、電流限定式ならびに最大耐量許容型電流限定式がそれであって、小容量の自家用発電機には第 1 の方式、中容量以上では第 2 の方式が適している。第 3 の方式は主として大容量発電機および調相機に使用するものであるからここでは省略し、前 2 者につき簡単な説明を加える。

#### (1) 力率限定式

低電流時には規定の電圧で AVR を作動させるが、電流が 30% 以上となれば同期機力率をある範囲（たとえば遅相 80~90%）に制限するよう調整電圧を自動的に移動させる型式である。力率の限定値は電圧線輪位相を変化すれば適宜変更できるから上下力率の限定値を接近させれば力率調整器としても使用できる。

#### (2) 電流限定式

同期機電流がある制限値（たとえば定格電流）以内であれば規定の電圧となるよう電圧調整器を作動させるが、電流が制限値を超過すればこれを制限値に抑制するように AVR の調整電圧を移動させる形式である。

両方式とも、普通の AVR を可変電圧調整器として作用させるようにし、その調整定電圧を変化させる指令を電流限定式では電流制限要素により、また力率限定式では力率限定要素により行う。AVR を可変電圧調整器として使用する具体的方法としては、電圧調整主要素の直列抵抗（電圧調整抵抗器）を電動操作とし、電圧調整範囲も系統の全電圧変動を含むよう電圧調整抵抗器の抵抗値を定めるものである。したがって、電流制限要素または力率限定要素は結局この操作電動機を制御することになる。なおこれらの方式はどの種類の AVR に対しても適用できる。

## 8. 自動負荷選択遮断方式

一般に自家用発電所で自家発電のみの単独運転を行っている場合には、安定度の問題はほとんど起らないが、異系統との並列が遮断された際、自家発電による電力は負荷の要求電力を満足できずに系統の運転維持ができない場合がある。ことに自家発電電力に比し異系統からの電力供給が大きいときには、並列が断たれるやいなや発電機は急速に安定度を破壊され、自家発電系統は瞬時に壊滅するものである。一方自家発電系統では往々瞬時も運転停止の許されない機器もあり、またこれらの機器間でもその重要度に軽重の差がある。したがって上記のような異系統からの電力が遮断された場合には、そのときの自家発電電力に応じた重要負荷のみを残し他は直ちに遮断することが必要である。

自動負荷選択方式としては大略つぎの3方式がある。

- (1) 発生電力記憶方式
- (2) 不足電力記憶方式
- (3) 周波数降下による保護方式

第1の方式はあらかじめ自家発電で賄いうる重要負荷群を電力平衡継電器と選択遮断装置によって選定しておき異系統との連絡が断たれるか、または断つ必要が生ずるやいなや、直ちにそのときの発電機出力をこえる非重要負荷を遮断するものである。

第2の方式はあらかじめ受電電力に相当する非重要負荷群を選定しておき、連絡が断たれると同時に直ちに選定負荷を遮断し、重要負荷群を自家発電によって運転継続するものである。

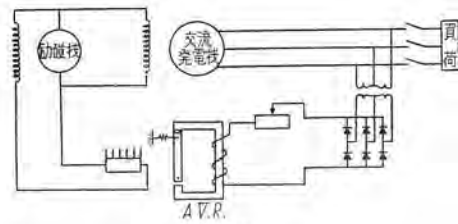
第3の方式は異系統側停電により自家発電系統の周波数が降下するのを利用して、周波数が回復するまで負荷を切り離す方法であるが、本方式は饋電線の遮断に時限をおくため自家発電量と受電電力量の割合や、饋電線数などを考慮した上で、適当な時限を選定することが必要で、その適用範囲は比較的狭く、むしろ第1、第2の方式の補助的手段として使用される。

これらの方式は自家発電系統の状況によって最も適した方式を採用すべきで、自家発電系統の饋電線の母線に対する接続状況を強いて変更する必要がなく、しかも確実に自家発電量に相当する負荷を残すように計画せねばならない。

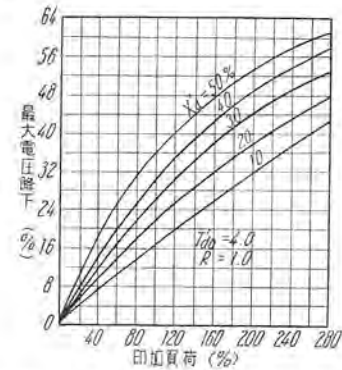
なお最近では調整負荷の選択順序を手動開閉器で配電盤上から簡単に切換えられるような方式のものもある。自動負荷選択遮断方式の詳細については末尾に記載した文献を参照されたい。

## 9. 突発負荷による端子電圧の降下

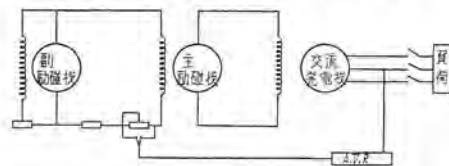
自家用発電での重要な問題の1つは、比較的小容量の発電機につながれている大容量電動機が起動する場合の発電機端子電圧の瞬時降下である。最近、大容量電動機



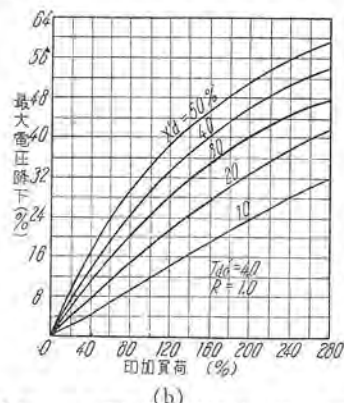
(a) 副励磁機をもたず発電機端子電圧の変動を直接に励磁機回路に与える励磁方式



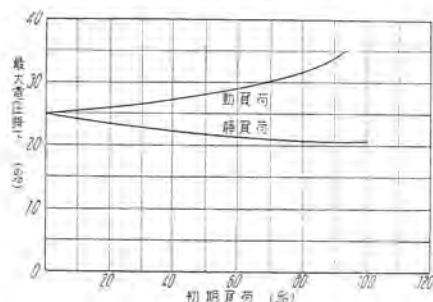
31 図 最大電圧降下曲線 (自動励磁機)  
Fig. 31. Max. voltage drop curve.



(a) 副励磁機を有し、発電機端子電圧の変動を副励磁機回路に与える励磁方式



32 図 最大電圧降下曲線 (他励励磁機)  
Fig. 32. Max. voltage drop curve.



33 図 最大電圧降下に対する 初期負荷の影響  
Fig. 33. Effect of initial load on max. voltage drop.

にもカゴ形が広く使用され、その大部分が直入起動方式をとるようになってきたので、突入電流が増大し発電機端子電圧の降下も増加する傾向にあるが、最大電圧降下が非常に大きい場合には不足電圧継電器が働いたり、電動機が起動できずに停止してしまうことがある。

かかる現象については Harder および Cheek の詳細な研究があるので、その結果を利用すれば容易に見当がつけられる。上記論文によれば、最大電圧降下に支配的な影響を及ぼすのは、つぎの5つである。

- (1) 負荷変動の量
- (2) 発電機同期リアクタンス  $X_d$
- (3) 発電機過渡リアクタンス  $X_d'$
- (4) 発電機開路過渡時定数  $T_{d0}'$
- (5) 励磁機速応比  $R$

Harder および Cheek は、 $X_d=120\%$  としたときの最大電圧降下を、 $X_d'$ 、 $T_{d0}'$ 、 $R$  を3つのパラメータとして、負荷変動量に対して求めてこれを一群の曲線で示している。その一例を示すと 31 図および 32 図のようで、前者は自励式励磁機、後者は他励式励磁機の場合である。 $X_d$  が 120% 以外のときには、この発電機と等価で  $X_d$  が 120% であるような発電機の定格 kVA を求め、すべての値をこの定格 kVA を基礎にして換算し、図示の曲線にあてはめればよい。

一例をひくと、発電機の定格が 3,000 kVA、 $X_d=150\%$ 、 $X_d'=30\%$ 、 $T_{d0}'=4.0$ 、 $R=1.0$ 、突発負荷 1,500 kVA の場合の最大電圧降下を求めるには、

$$\text{Base kVA} = 3,000 \times \frac{120}{150} = 2,400 \text{ kVA}$$

$$X_d' = 30 \times \frac{2,400}{3,000} = 24\%$$

$$\text{突発負荷} = 100 \times \frac{1,500}{2,400} = 62.5\%$$

$$T_{d0}' = 1.0$$

$$R = 1.0$$

これらの値を曲線にあてはめると、

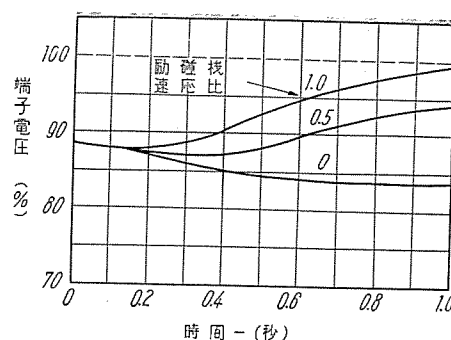
自励式励磁機の場合、最大電圧降下=15.5%

他励式励磁機の場合、最大電圧降下=13.0%となる。

発電機に印加されている初期負荷も最大電圧降下に影響を与える。33 図に示されているように、静負荷（一定インピーダンス負荷）は電圧降下を少なくするように働き、動負荷（電圧が下るに従って負荷電流が増すような性質の負荷——たとえば運転中の誘導電動機）は逆に電

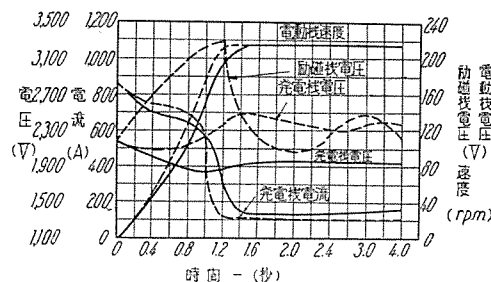
9 表 リアクタンスおよび時定数の代表的数値  
(タービン発電機)

	$X_d$	$X_d'$	$T_{d0}'$	$R$
2 極	1.10 (0.95~1.45)	0.155 (0.12~0.21)	4.4 (2.8~6.2)	1.0 (0.5~3.0)
4 極	1.10 (1.00~1.45)	0.23 (0.20~0.28)	6.2 (4.0~9.2)	1.0 (0.5~3.0)



34 図 電圧—時間 特性

Fig. 34. Voltage-time characteristics.



35 図 電動機負荷起動時の発電機特性

Fig. 35. Generator characteristics during the starting of motor with load.

(Gen.) 3,333 kVA 0.6 pf 3,600 rpm 1.7 SCR  
(Mot.) 500HP 起動トルク=全負荷トルク  
出力トルク=2.8×全負荷トルク  
— 一定励磁  
--- AVR 作動

圧降下を増加させる傾向にある。普通初期負荷はこれらの兩種の負荷が混合していると考えられるから、初期負荷 0 として求めた 31 図、32 図を利用しても大きな誤差を生じない。

参考までに上記諸定数 ( $X_d$ 、 $X_d'$ 、 $T_{d0}'$ 、 $R$  など) の代表的な値を 9 表に示す。

以上に述べた方法は電圧の時間に対する変化を与えないが、たいいていの場合最大電圧降下の程度を知れば十分である。必要に応じて電圧—時間特性を求めることもできるが、計算は割合に面倒である。ただし Rosenberg は簡便法を与えているから、大体の目安をつけることは可能である。34 図は電圧と時間の関係を各種の速応比について示したもので  $R=0$  は界磁一定を示す。

3,300 kVA の発電機に 500 HP の電動機を投入したときの瞬時最大電圧降下は 35 図に示すように約 13% であるが、他の諸量の時間についての変化も図示した。誘導電動機の実効インピーダンスはスリップにより変化する。一般に最大トルクに至るまでのインピーダンスは大体回転子拘束リアクタンスと一致し、その後はインピーダンスは急速に増加して運転状態の値になる。インピーダンスが増加すれば遅相 kVA は減少するから電圧は相当上昇する。この状態が 35 図ではっきりとわかる。

## 10. 中性点接地方式

発電機中性点接地の目的は、故障を拡大しないように、



発電機やその他の機器を保護するためであるが、つぎの諸点を考慮して決定すべきものである。

### (1) 発電機巻線中の機械的応力

発電機は定格 kVA、定格力率、105% 電圧で、発電機端子に 3 相短絡を起した場合またはこれと同等の接地事故の場合、損傷なく 10 秒間耐えるよう設計されているが、すべての Y 結線の発電機では  $X_0$  は  $X_d''$  より小さいのでなんらかのインピーダンス、リアクタンスまたは抵抗を通して、1 線接地時の電流を 3 相短絡以下に抑えねばならぬ。

### (2) 選択継電方式

発電機または発電機外部回路の 1 線接地事故の場合この部分に付属する差動継電器、中性点接地継電器あるいは発電機電圧の饋電線の継電器などは故障を選択し、遮断できるものでなければならぬ。これらの継電器の感度と接地電流ひいては接地方式は密接な関係がある。

### (3) 過渡電圧の保護

一般に 1 線接地時の過渡電圧を正規電圧 (1 線中性点電圧) の 250% 以下に抑えるためには、 $X_0/X_1$  が 3 以下でなければならぬ。リアクトル接地ではこの点についての考慮が必要である。抵抗接地の場合には普通問題となるような過渡過電圧は存在しない。

### (4) 故障箇所の損害の制限

故障の場合、その部分の被害を最小に止めることが必要である。コイルの取替ですめば大きな問題にはならないが鉄心が焼損すれば多大の損害を招く。

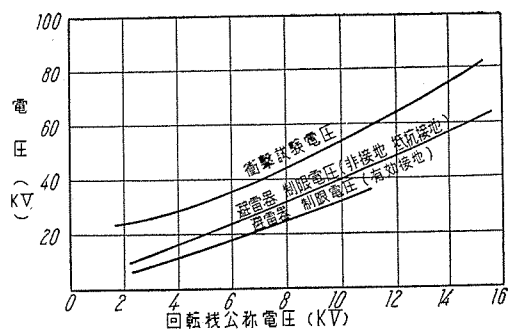
一般に鉄心の焼損は主として故障電流の大きさとその持続時間に関係するし、故障の種類とその場所もまた損傷の大きさに影響するので、故障電流を少くし遮断を早くすることが大切である。

### (5) 発電機のサージ保護

中性点接地方式は避雷器、または必要に応じて蓄

10 表 各種接地方式の比較

A 優 B 良 C 可 D 不可	各種接地方式の比較				備 考
	昇圧変圧器を有するユニットシステム	単巻変圧器を有するユニットシステム	母線電圧の饋電線を有しない発電機群	母線電圧の饋電線を有する発電機群	
直接接地	D	D	D	D	故障電流が大きき損傷を招く 1 線接地電流が 3 相短絡電流より大きくなりうる
抵抗接地	B	C	A	A	接地電流を適当な値に制限できる。しかし接地故障時に中性点が移動する
リアクタンス接地	C	A	B	B	中性点の移動を制限する。故障電流を 3 相短絡電流またはそれ以下に抑える
柱上変圧器接地	A	D	D	D	△接続の昇圧変圧器を有するユニットシステムに全く有効である。ユニットシステムの相当部分がこの方式である
計器用変圧器接地	D	D	D	D	この方式は故障の表示と継電器による保護を行うにすぎぬ 故障時または開閉サージにより高い過渡電圧が発生しうる



36 図 衝撃電圧試験推奨案  
Fig. 36. Recommended test plan for impulse voltage.

電器によりサージ電圧から発電機および付属機器の絶縁を守るに適したものでなければならぬ。

このほか、誘導障害、中性点接地回路用遮断器などの問題もあるが、ここでは省略する。

接地方式には多くの種類があるが、AIEE の適用ガイドには、運転の経験、研究および各方面の技術者の意見として 10 表のような結論が示してある。この表に従えばユニットシステムの少い自家用発電所では抵抗接地が最も適当な訳である。

わが国では非接地あるいは高抵抗接地が多いが、後者では接地電流を 100A に制限するような抵抗値を使用し定格は 30 秒である。母線で互に並列となっている発電機の中性点を抵抗接地する場合には第 3 高調波の流れるのを抑制するため、いずれか 1 台のみとし、手動または自動で切換えて使用せねばならぬ。

なお非接地につき一言すれば、この方式では発電機は巻線、母線、変圧器、ケーブルおよび保護装置の対地キャパシタンスを通して接地されているだけであり、つぎのような欠点がある。

(1) 発電機内または発電機電圧の饋電線の接地故障時に選択継電が困難である。

(2) 弧光接地により過渡過電圧が起る。

(3) 遮断器の動作により過渡過電圧が起る。

(4) 相间故障が起り易い。

饋電線が発電機電圧の場合、異相の 1 線接地により 2 個の饋電線が同時にトリップされることがある。

## 11. サージ保護

発電機のように乾式の絶縁を採用している絶縁構造で、狭いスロットにコイルが納められているものでは変圧器などの油入機器と比較して、本質的に衝撃電圧破壊値は低い。また長期間使用による絶縁物の劣化、異常電位振動による苛酷なストレス、機械的振動などを考えれば、巻線自体の対地絶縁ならびに層間絶縁裕度を油入機器よりできるだけ高くしておくことが望ましい。すなわち

11 表 回転機雷保護装置規格

定格電圧 (kV)	回転機 衝撃試験電 圧 (交流 1 分間) (kV)	避雷器制限電圧 (kV)		回転機保護コンデンサ 静電容量 ( $\mu$ F)	回転機保護直 流 10 秒以上加圧 衝撃試験電圧 (kV)	回転機保護用 絶縁変圧器 衝撃試験電圧 (kV)
		非接地 抵抗接地	有効接地			
3	25	12	9.5	0.5	30	全波 45
6	35	24	19	0.5	60	全波 60
10	55	40	32	0.3	90	全波 90

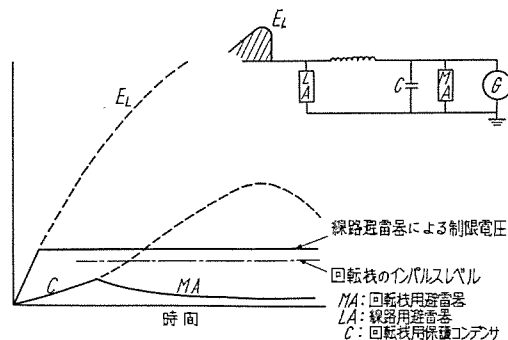
避雷器の制限電圧と巻線の破壊電圧の裕度が大きいほど安全性が増す。

過去における発電機の焼損事故の大部分は層間絶縁の破壊に起因しているといわれる。一般に大容量タービン発電機ではそのほとんどが 1 ターンコイルであるが、中小容量機では 2 ターンまたは 3 ターンコイルが少なくないので、層間絶縁を強化することがサージ保護上必要である。しかし一方発電機自体については、冷却方式の改善と保護方式の進歩による短絡比の減少に伴い、ある程度以上に層間絶縁を増加することは適当でない。これについては回転機衝撃電圧試験に関する推奨案が最近 JEC から提出されたので、これに従って衝撃電圧強度を定める。その値は 36 図に示すとおりである。

雷害の危険度は、(1) 雷サージを受ける度合、(2) 避雷方式の相違、(3) 回転機の衝撃電圧強度によって左右されるから、これら相互間の調整、すなわち絶縁協調に十分留意すれば雷害事故を激減しうる。とくに注意すべき事項はつぎのようである。

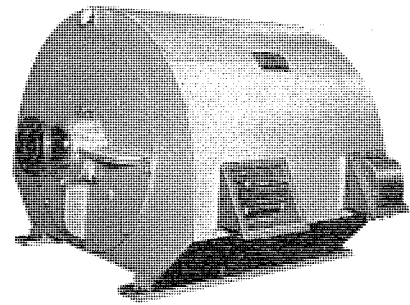
- (1) 雷の襲来頻度
- (2) 発電機の重要性
  - (a) 容量の大小
  - (b) 中性点接地方式
  - (c) 使用状態 (単独か並列か)
- (3) 回路系統
  - (a) 直配線 (危険度最大)
  - (b) 変圧器があるとき
  - (c) ケーブルがあるとき
  - (d) その他

一般に自家発用小容量機で 2 ターンまたは 3 ターンコイルの設計のものでは上述の如く、サージに対する耐力



37 図 避雷装置

Fig. 37. Lightning arrester.



38 図 閉鎖通風屋外型 誘導電動機

Fig. 38. Enclosed ventilated outdoor type motor.

が小さいから、雷害の多い地方に設置されるこのような機械にはなるべく避雷装置をつけることが望ましい。現在の避雷装置としては、避雷器、蓄電器および絶縁変圧器が代表的で、わが国では 11 表および 37 図に示すような規格値を発表しその有効な適用を推奨している。

## 12. 補機電動機と制御装置

### ア. 補機電動機

最近では所内電源設備の整備と補機器の機構の向上により、高圧電動機はほとんど全面的にカゴ形を採用している。今後とも、大容量機のカゴ形採用は増加する形勢にある。また循環水ポンプ、復水ポンプ用電動機では堅形もかなり使用される傾向にある。

誘引通風機用電動機には屋外型を使用することが多いが、屋外型で考慮せねばならない条件は

- (1) 厳寒の下で、絶縁物や潤滑剤などに支障をきたさぬこと。
- (2) 夏季の炎熱下でも異常な温度上昇を生ぜぬこと
- (3) 風雨が直接電動機内部に浸入せぬこと
- (4) 水分がコイルなどの絶縁物の上に凝結せぬこと  
このためには過飽和状態の空氣の発生を防ぐため  
適当な容量のスペースヒータを設ける必要がある。
- (5) 塵埃の侵入を防ぐこと。
- (6) 軸受部の防水、防塵を十分にすること。
- (7) 端子接続部分の耐水性を完全にすること。
- (8) 絶縁を優秀なものとする

などである。屋外型には閉鎖通風式と全閉外扇式の 2 種類があり、38 図にその一例を示す。

### イ. 制御装置

#### (1) 高圧電動機盤

最近の所内動力用高圧電動機盤としては、メタルクラッドおよびキュービクル型配電盤が使用されている。メタルクラッドの特長は要約すれば完全な保護と所要床面積の僅少なことであろう。

高圧電動機盤でまず考慮すべきは遮断容量である。個々の高圧電動機に十分な遮断容量を有する遮断器を設置するのは予算さえ許せば理想的であるが所要遮断容量が 3.5 kV で 150 MVA 以上になると、配電盤は著しく割高となり所要床面積も大きくなるの

でなんらかの方法で遮断容量を減ぜねばならぬ。この場合電動機を数群に分け、遮断容量は小数の各群への饋電線の遮断器にもたせ、各電動機盤には過電流および低圧自動遮断装置を設けず、適当な過負荷警報装置だけを付けた非自動遮断式の小容量遮断器(20 MVA 程度)を設け、運転開閉器として使用することが多い。この方式では万一事故の場合一群の電動機の全停をひき起すが、所内短絡事故は現在ではきわめてまれであるから、簡便な方法であろう。

#### (2) 低圧電動機用管制装置

低圧電動機用の配電盤は通降変圧器を介して所内動力母線に接続されるから、短絡電流も小さく、所要遮断容量もそれほど大きくない。普通刃型開閉器箱と電磁接触器箱を併用し、短絡電流の遮断は刃型開閉器のヒューズにより、通常の起動、停止および過負荷の保護は電磁接触器による。これらは漸次(4)項に述べるコントロールセンタに推移する傾向にある。

#### (3) 操作盤

補機の制御はすべて遠方操作式である。ボイラ補機の制御はボイラ計器盤の前に設けた机型操作盤により集中制御を行うのが普通であり、また給水、復水関係の補機については各機器の近くに設けたポスト型操作盤から制御する。制御盤に取付けるものは、運転停止用操作開閉器、運転表示燈、速度制御用操作開閉器、過負荷または故障警報装置、電流計などが普通で、場合によってはさらに回転計、セルシ式指示計などを設けることもある。

#### (4) コントロールセンタ

最近電力プラント用コントロールセンタがつぎつぎに採用され、補機電動機および電燈電熱回路の集合制御盤として最も合理化された姿をとっている。現段階では電力会社用が多いが、大容量の自家発電所にも徐々に普及するものと思われる。

従来は電動機起動装置としての電磁開閉器などは機械の近くにおかれ、電源は遠く離れた配電盤から開閉器を通して接続されるのが通例で、電動機の過負荷保護を電磁開閉器にある熱動過電流継電器によって行い、回路短絡保護は配電盤の遮断器またはヒューズによっていたのは前項で述べたとおりである。

このヒューズをノーヒューズ遮断器に取り換え、前項の電磁開閉器と同じ箱の中に納めれば、過負荷保護と短絡保護の協調を間違いなく実施できる。近年発達してきたコンビネーションラインスタータが

この主旨を具体化したものであるが、最近ノーヒューズ遮断器の普及に伴い、理想的協調保護が得られるようになった。このラインスタータをコンパクトなユニット構造にし、必要な数だけ集合してキャビネットに組立てたのがコントロールセンタの標準的構造で、電源側はキャビネット内の母線に接続されている。

### 13. む す び

以上、最近の自家発電タービン発電機とその付属装置について、構造上ならびに特性上注目をひく幾つかの問題の一端を述べた。自家発電タービン発電機も漸進的に発達しつつあるが、要するに保守の容易なこと、信頼性の高いことが最大の課題だと考えられる。本文がそれらの諸問題についての紹介の一助となれば望外の幸である。なお本文中に記載した諸問題の詳細については参考文献を参照願いたい。

#### 参 考 文 献

1. “ダイヤラスチック絶縁” 石黒, 伊佐山, 三菱電機 Vol. 30, No. 5, 1956 p. 13~20.
2. “水素冷却発電機のガス冷却器について” 志岐, 火力発電 Vol. 8, No. 1, 1957 1 月 p. 20~27.
3. “A New Regulator and Excitation System” J.C. Carleton, P.O. Bobo, W.F. Horton TAIEE April, 1953, p. 175.
4. “A Static Magnetic Exciter for Synchronous Alternators” H.F. Storm E.E. Dec. 1951, p. 1084.
5. “自動電圧調整器” 尾畑, 三菱電機 Vol. 25, No. 4, 1951 p. 9~12.
6. “Automatic Regulation of Excitation on Small A.C. Generators Running in Parallel with Public Supplies” L.R. Girling, MV Gaz, Vol. xxvi, No. 435, Oct. 1955, p. 315~318.
7. “自動負荷選択遮断装置” 堀, 三菱電機 Vol. 30, No. 3, 1956, p. 18~22.
8. “Regulation of A.C. Generators with Suddenly Applied Loads” Part I. E.L. Harder R.C. Cheek TAIEE, Vol. 63, 1944 p. 310~18. Part II E.L. Harder, R.C. Cheek, J.M. Clayton, TAIEE 1950 part I p. 395~406.
9. “A Semi-Empirical Approach to Voltage Dip” L.T. Rosenberg, AIEE p. 49~50.
10. “Application Guide for the grounding of Synchronous Generator Systems” AIEE Committee Report. TP. 53~120 June 1953 p. 517.
11. “回転機衝撃電圧試験に関する推奨案” 富山, 電学誌 Vol. 75, No. 802 July, 1955 p. 12~15.
12. “雷と電気機器” 池田, 木下, オーム Vol. 40, No. 7, July, 1956, p. 39.
13. “火力発電所用補機電動機および制御装置” 片山, 武田, 三菱電機 Vol. 25, No. 4, 1951 p. 13~18



# 礪波製紙向 142 in セクショナルドライブ抄紙機

神戸製作所 紙谷鉄男\*

## 142 inch Sectional Drive Paper Making Machine for Tonami Paper Mill

Kobe Works Tetsuo KAMITANI

In paper making industry a sectional drive system is widely employed for the promotion of paper making speed. Each section being driven by an individual motor, the machines in varied sections must be given careful arrangements to run always at a predetermined, accurate speed so that no paper breakage nor slackness between sections will occur. This is taken care by two methods: one is a pilot generator speed-matching system and other a position speed-matching system. To the Tonami Paper Mill the latter method is applied together with a newly developed differential gear speed regulator, resulting in success.

### 1. ま え が き

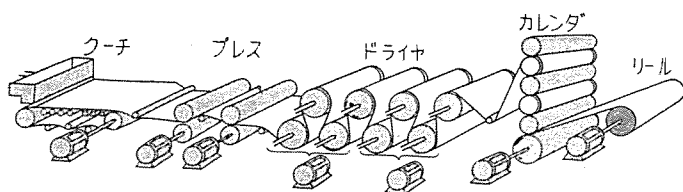
1 図に示す抄紙機を駆動する方式として、2 図に示す各セクションを機械的に1軸に結合してその共通軸を1台の原動機にて駆動し、各セクション間のドロー調整はコンプリー等により各セクションの速度差を調整して行っていた。しかし近年他の産業と同様に需要の増加ならびに経済的な面からその抄速が増速され、そのために各セクションを別個の電動機で駆動するセクショナルドライブ方式が近年一般に採用されている。各セクションの速度は所定の関係速度を常に精密に保持しなければ紙質の劣化、紙切れを生ずる。この速度制御に対しパイロット発電機方式と位置制御方式が採用されている。しかし精度の点では位置制御方式がすぐれており、今回の礪波製紙向 142 インチ抄紙機のセクショナルドライブに対し、始めて差働歯車式速度調整器を使用して制御を行った。以下その電気設備について述べる。

### 2. 抄紙機および駆動方式の概略

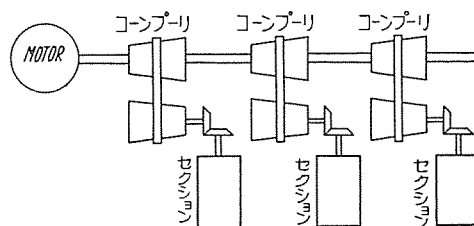
1 図に抄紙機の概略を示している。フローボックスから出た紙料液がクーチのワーヤの上に乗る、この部分で水分は網の目から除去され、繊維はあみ合わされパルプシートを形成する。クーチロールの先端部のワーヤの下にサクションボックスがあり、さらに水分は吸い出され

る。この部分でつぎのプレスへの短い距離を渡るだけの強度を持つようになる。プレス部では紙はフェルトで支えられさらに水がしぼり出される。つぎにドライヤに移るが、ドライヤは蒸気で熱せられた多数の円筒からなり、その円筒を通る間に紙は乾燥される。つぎのカレンダは数個の磨鋼ロールからなり、そのロールを通る間に紙は艶出しが行われ、最後にリールに巻取られる。リールは礪波製紙はサーフェスドライブ式のものである。クーチからドライヤの間において紙の質により適当なドロー(延び)が与えられるが、紙は材質が弱いために各セクション間において所定のドローを生ずる速度差を精密に保持しなければ紙切れを生じ、また紙の厚さが変わることになる。

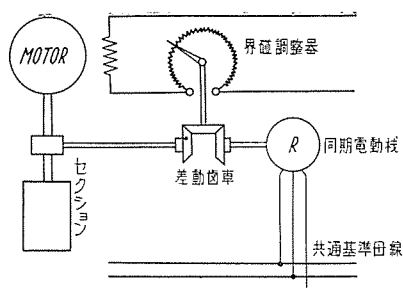
ことにドライヤ、カレンダ、リールの紙の乾燥したところでは、紙に弾性がないために精密な速度の同期化が保持されないと簡単に紙切れを生ずる。2 図に示す1軸運転方式では、そのドローはコンプリーあるいはPIV等により行っているが、速度が高くなりその伝達馬力が大きくなるに従って、その精密な速度制御がむずかしくなり、また据付スペース、保守などの点で不利な問題を生ずる。だいたい 1,000 FPM 以上になるとセクショナルドライブ方式が採用されている。とくに最近の電氣的な自動制御の発達により精密な速度制御が可能となった



1 図 セクショナルドライブ抄紙機  
Fig. 1. Sectional drive paper machine.



2 図 1 軸運転方式  
Fig. 2. Line shaft drive system.



3 図 差働歯車を使用した位置制御方式

Fig. 3. Position speed matching system by differential gear unit.

ことも、セクショナルドライブ方式の採用される一因となっている。このセクショナルドライブにおいて、各セクション電動機速度制御に対し使用される方式は、被制御体にパイロット発電機を取付けて制御するパイロット発電機方式と、差働歯車機構を使用した位置制御方式の2つである。後に詳細に述べるが、位置制御方式は一種の積算型速度制御装置で、パイロット発電機方式に比較して精度が高く、0.1%以下の精度も安全に出しうる。今回の礪波製紙に採用した方式もこの位置制御方式である。

この機械的原理を応用した方式は古くから採用されており、その簡略図を3図に示している。この方式は速応性に難点があり、純電氣的なパイロット発電機方式がその後多く採用されてきた。しかし近年磁気増幅器などの優秀な増幅器の発達、およびフィードバック回路の研究発達と相まって、その速応性に改良が加えられこの種方式の特長である積算性の有利な点を生かし、再びこの原理の位置制御が姿を変えて抄紙機に盛んに使用されるに至った。今回の礪波製紙の抄紙機に対しても、従来のパイロット発電機方式の制御の経験実績から、紙の制御に対しては位置制御方式を採用することとし、差働歯車式速度調整器の開発を始めた。

### 3. 主要機器

礪波製紙 1,300 FPM 142 in セクショナルドライブ抄紙機に対する主要機器は1表のとおりである。

起動トルクの大きいドライヤの電動機は起動回転力300%，最大回転力200%に耐えるよう設計され、また

1 表 礪波製紙1,300 FPM 142 in セクショナルドライブ電機品

セクション	馬力 (HP)	電圧 (V)	回転数 (rpm)	歯車比	ロー径 (in)
ク	170	440	800/1,000	5.73	34
No. 1 プレス	70	"	"	5.03	28
No. 2 プレス	70	"	"	5.03	28
スミージングプレス	30	"	"	5.03	26
No. 1 ドライヤ	170	"	"	10.36	5
No. 2 ドライヤ	170	"	"	10.36	5
カレンダー	170	"	"	5.03	28
リ	50	"	"	7.44	42

#### 発電機セット

運転用発電機	775 kW	440 V	900 rpm
起動用発電機	150 kW	440 V	"
定電圧励磁機	60 kW	220 V	"
同上用駆動同期電動機	1,200 HP	A-C 3300 V	8 極 3 相 900 rpm
リアクタ	1,200 kVA		

#### 基準発電機セット

基準発電機	15 kVA	A-C 220 V	3 相 12~60 c/s
同上駆動直流電動機	20 HP	D-C 440 V	1,800 rpm

#### 高周波発電機セット (初段磁気増幅器用)

高周波発電機	5 kVA	A-C 110 V	単相 400 c/s
同上駆動直流電動機	10 HP	D-C 220 V	2,400 rpm

#### 60 c/s 交流発電機セット (電力磁気増幅器用)

60 c/s 交流発電機	40 kVA	A-C 220 V	60 c/s 単相 1,800 rpm
同上駆動電動機	40 HP	A-C 220 V	60 c/s 3 相 4 極 1,800 rpm

その過負荷に対しても良好な整流能力を有している。電動機はすべて強制通風となっており、共通ダクト式で1台の送風機で通風を行い台枠は通風ダクトを兼ねる特別な構造となっている。起動発電機はセクション電動機の300%起動トルクに対して十分なる過負荷耐量と良好な整流能力をもっている。

## 4. 制御方式

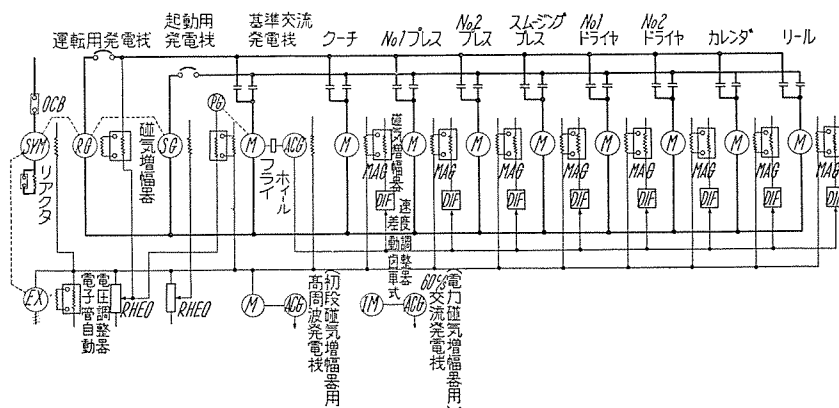
### ア. 駆動方式

この装置に採用した全体の制御簡略図を4図に示す。セクショナルドライブの駆動方式としては、5図に示すように単一発電機方式と各個発電機方式がある。

今回のものは速度が最高1,300 FPMであるので、従来の制御の実績経験などより単一発電機方式で行った。

### イ. 起動方式

各セクション電動機の起動は起動用発電機で行う。起動用発電機は馬力ならびに起動電流の一番大きいドライヤを起動するのに必要な容量を有する。一般に抄紙機は起動時非常に過大な起動トルクを必要とするので、全ラインを同時に加速するとすれば、発電機は運転中に必要な容量よりも起動加速のために大きな発電機を必要とするので、起動用発電機を別個に設け、各セクションを別個に順次起動する方式が採用される。運転用発電機はあらかじめ所定速度に相当する電圧にセットしておき、起動用発電機電圧が運転用母線電圧より幾分高くなったときに継電器が作動し、起動用主コンタクトが開き運転用主コンタクトが閉じ、セクシ



4 図 セクショナルドライブ制御簡略図

Fig. 4. Schematic diagram of sectional drive control system.





ってその回転数を変え交流発電機のサイクルが変えられる。このサイクルは所定抄速運転中はいかなる場合にも変化してはならない。この変化は全ラインの抄速が変化することになり、フローボックスからの液の量は一定であるから紙の厚みに影響を及ぼすことになる。そのために4図に示すようにセットに直流パイロット発電機を取付けその出力電圧と基準電圧を比較し、その差電圧を磁気増幅器で増幅し、電動機界磁を制御して速度を一定に保持するようにしている。

直流電動機は各セクション電動機と同様に運転用発電機で駆動されるので、基準交流発電機のサイクルと運転用発電機の電圧には所定の関係（最高速度にて運転用発電機電圧は440V、基準交流発電機は60c/s）を有していなければならないので、電圧基準と速度基準は同一値を与えるようにしている。したがって電動機の端子電圧と基準回転との食い違いにより、電動機の界磁調整範囲からはずれた位置で調整器が作動することのないようにしている。またこのセットにはフライホイールを取付けその回転すなわちサイクルが安定するようにしている。すでに述べたように各セクションのGD<sup>2</sup>はドライヤとプレスでは相当に食い違いがあるので、抄速を変える場合そのGD<sup>2</sup>の違いを補償する意味をもこのフライホイールは兼ねている。

#### キ. 励磁電源

すでに述べたように発電機電圧基準および基準交流発電機の基準はこの定電圧励磁電源より取っている。したがってこの電圧はいかなる場合にも一定に保持する必要がある。電子管自動電圧調整器により電圧調整を行っている。

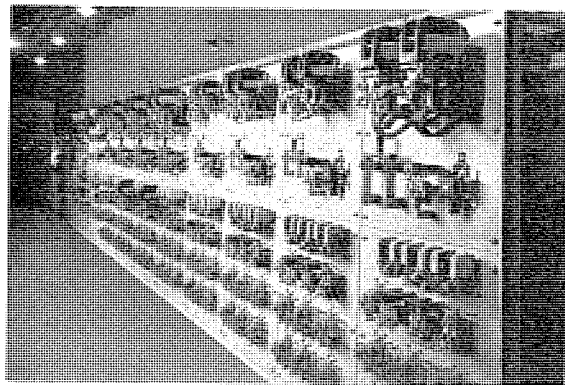
#### ク. ドロー調整

詳細については差働歯車式速度調整器の項で述べるが、コンプリーのベルトを移動することによってセクション電動機の変えドローを調整する。そのベルト移動は遠方操作式としている。すなわちベルト移動のリードスクリュ軸にセルシン電動機を取付け、別個に送信機を設けその送信機を小形直流電動機で駆動するようにしている。その直流電動機はセクション操作盤上のドロー増減押ボタン操作によって操作される。そのベルト移動の速度は1秒1%の調整程度の速度で操作されている。

各セクション操作盤には各セクション電動機の電流計セクションの起動・停止・微動ボタンを取付け小形として機械修理のじゃまにならぬようにしている。カレンダーおよびリールのものには、スラック除去および逆微動ボタンが取付けてある。全ラインの起動停止、基準交流発電機の起動停止および全ラインの監視を行うために別個に主操作盤を設けている。制御盤、差働歯車調整器の取付写真を7図、8図に示している。

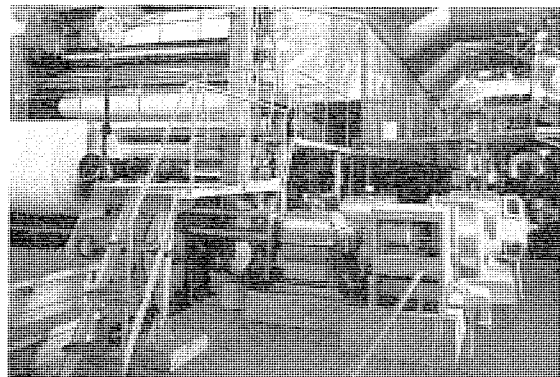
### 5. 差働歯車式速度調整器

この写真を9図に、また電動機に取付けた写真を10



7 図 抄紙機用制御盤

Fig. 7. Control panel for paper machine.

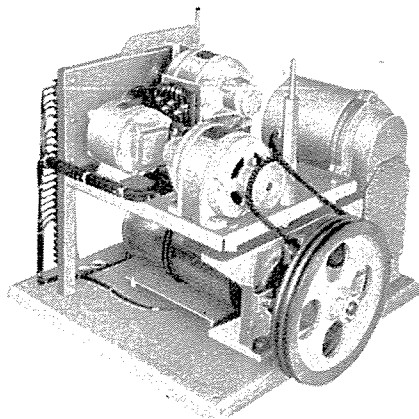


8 図 抄紙機リールセクション

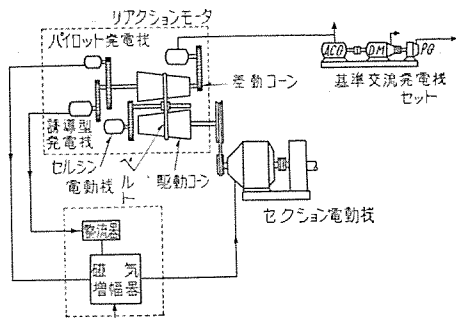
Fig. 8. Reel side of paper machine.

図に示す。またその機構の概略ならびにそれを使用したセクション電動機の制御方式の簡略図を11図と12図に示す。共通の基準サイクル電源は可変速度の直流電動機で駆動される基準交流発電機より供給され、速度調整器の小形のリアクションモータがその電源によって駆動される。この電動機の回転数が各セクション電動機の変速の基準となる。11図の点線部の機構は2つの目的を果す。すなわち1つは所定の速度と実際の速度との差に比例した誤差信号を発生すること、他の1つは基準速度と所要速度との比を変えることである。上記の目的を果すために12図に示すような差働歯車機構が使用されている。サンギヤーは基準リアクションモータで駆動され、差働コーンのリングギヤーはセクション電動機よりベルト駆動され、セクション速度に比例した速度で駆動される。その中間の遊星歯車は整定状態では一定位置で回転をしているだけであるが、サンギヤーの速度と差働コーンの速度に違いが生じたときにサンギヤーの周囲を回転し始める。したがって遊星歯車のクランク軸の角位置の変化はセクション電動機の変速と基準速度との差に比例した誤差信号を表わすことになる。

基準速度とセクション電動機の変速との比を変えるのはテーバのついた差働コーンと駆動コーンとに掛っているベルトを移動することによって行われる。このベルトの固定部がリードスクリュ軸に乗っており、このスクリュ軸を回転することによってベルトを移動している。



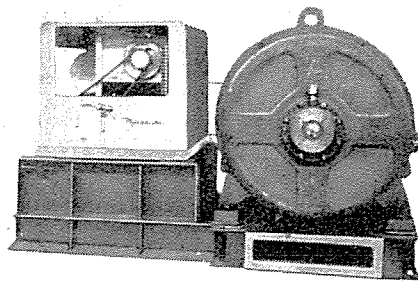
9 図 差働歯車式速度調整器  
Fig. 9. Differential gear speed regulator.



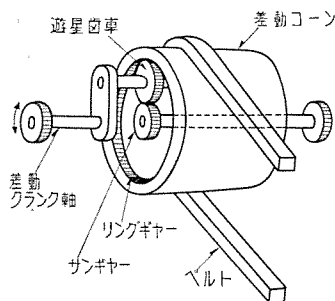
11 図 差働歯車式速度調整器による  
制御簡略図  
Fig. 11. Schematic diagram of differential  
gear speed regulator control system.

すでに述べたようにこのスクリュ軸はセルシン電動機で駆動され、送信機で遠方操作を行うようにしている。このベルトの移動により  $\pm 12.5\%$  のドロー調整が可能である。

遊星歯車のクランク軸の回転は歯車によってパイロット発電機および誘導型発電機に伝達される。誘導型発電機は構造的にはセルシン発電機と同様で回転子の回転角度に応じて、13 図に示すような電圧を発生する。回転角度が 90 度を過ぎれば逆に電圧を減ずる。実際の使用範囲はその発生電圧の直線部分、角度にして大体 60 度までの範囲を使用し、それ以上の角度には回転しないようにストップとスリップクラッチを使用している。またクランク軸の回転は直流パイロット発電機をも回転させるが、この歯車比は高くとりわずかな遊星歯車の回転でもパイロット発電機の回転は高くなるようにしている。この両者の出力は 2 段の磁気増幅器で増幅され電動機の界磁回路を制御する。その詳細図は 6 図のとおりである。調整回路の定数としては、パイロット発電機の出力の増幅率を誘導型発電機のそれよりも高く取ってある。急激な負荷変動に対してはパイロット発電機の出力により急速にその速度を回復せしめる強制作用を行い、運転中のわずかな速度変化に対しては誘導型発電機の出力が回復の大きな役割を果たすことになる。所定の速度に回復すればパイロット発電機は出力零となりセルシン電動機は新しい角度位置で静止する。



10 図 差働歯車式調整器を取付けた  
セクション電動機  
Fig. 10. Section motor coupled with  
differential gear unit.



12 図 差働歯車の機構説明図  
Fig. 12. Schematic drawing of  
differential gear.

カレンダーセクションでは紙が乾燥しているため、一番切れ易いところであるが、万一紙が切れた場合にも運転者は運転を続けたまま、また紙をカレンダーに通すのであるが、その際紙に垂みを生ずる。この垂みを取るためには垂みのなくなるまで一時的にカレンダーの速度をドライヤの速度より早くしてやる必要がある。ベルトの固定部にマグネットが取付けてあり、すでに述べたセクション操作盤のスラック除去ボタンを押せばマグネットが励磁され固定部のベルト支えが引張られてベルトをわずかに移動させる。その励磁を除けばベルト支えはスプリングの力で元の位置に復帰し、所定の周期速度で運転を続ける。

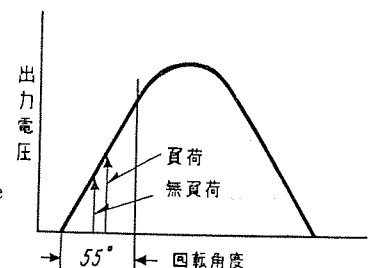
誘導型発電機の回転子には指針が取付けてあり、その作動角度を指示するようにしている。したがってその針の位置により調整器の作動状態を知ることができるようにしている。またベルト移動は遠

方操作を行うために作動の極限にはリミットスイッチを取付けて、両極端にすればセルシン電動機は駆動しないようインタロックしている。基準回転数の同期機は構造が簡単でがんじょうなりアクション電動機を使用し、12 c/s から 60 c/s まで使用可能のように製作されている。調整器には鉄板のカバーを施し、防水を考慮し、なお点検のために有機ガラスの窓を設けている。

## 6. 差働歯車式速度調整器の利点

すでに述べたように抄紙機のセクショナルドライブの制御方式としては、パイロット発電機方式と差働歯車機構を使用した位置制御方式が一般に使用されている。パイロット発電機方式は装置が簡単でスペースは小さくて済み、差働歯車式調整器のように精密な機械仕上の必要がないので、価格は安くなるという大きな利点を有している。しかし反面つぎに述べるような欠点を有している。

13 図 誘導型発電機の  
出力特性  
Fig. 13. Output curve  
of induction generator.



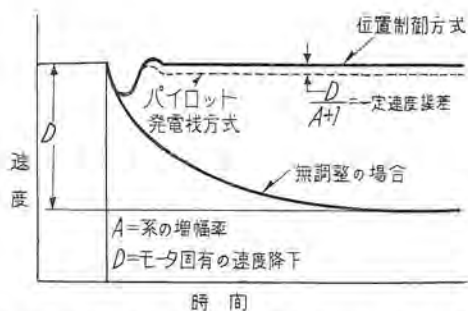
パイロット発電機方式での重要な部分は、被制御体の速度の検出するパイロット発電機がその精度に重要な要素を占めるのは当然である。ベアリング、不均一な空隙、エンドプレー等の機械的不精度により影響され、また整流リップル、刷子ドロップの変動、負荷による変動などによりその出力電圧は不均一なものとなる。交流パイロット発電機は直流式より有利とされているが、しかしその整流回路に問題が残る。さらにパイロット発電機方式の精度は増幅率が一定であれば、その使用速度範囲が広い場合にはその速度が低くなれば比例的に精度は減少してゆく。また増幅回路の増幅率の変動はその精度に影響を及ぼす。三菱電機においては今まで抄紙機以外のものでこの方式を多数採用しているが、0.1%の精度を出すには非常な調整に苦勞があり、また回路の定数が変わると安定がくずれるので非常に不安定になりがちである。

差働歯車式速度調整器は今までの説明で了解されるように一種の積算型調整器であるために、誤差信号に対し調整回路にデッドゾーンがあってもそのわずかな誤差が順次積算され、誘導型発電機の回転角度が大きくなり、見かけ上大きな誤差信号が生じたと同じ結果となり、速度の回復作用を始める。両者の特性の比較を14図に示している。したがって調整回路の増幅率に変化があっても、誘導型発電機の作動位置に変化は生ずるが、整定誤差にはなんら影響を及ぼさない。ただ負荷に対する速応度に変化を生ずる。また抄速範囲が広くても上記の理由でその精度には影響を受けない。この調整器の直流パイロット発電機は遊星歯車のクランク軸で駆動されるために、ただ速度に変化があったときにのみ回転するので上述のパイロット発電機の特長の欠点はすべて除去されるわけである。

すでに述べたように誘導型発電機の回転子には指針が取付けてあり、その針が大体中間位置にあれば満足すべき作動をしているので、もしはずれていればどこか故障であることが簡単に察知されるので、保修上非常に便利であることもこの方式の特長である。

## 7. 運 転 実 績

当所で行った試験結果を15図のオシログラムに示す。ドライヤ170 HPに実際のドライヤのGD<sup>2</sup>に近いものを結合して行ったものである。整定状態の精度はオシロでは測定することは不可能で、ストロボで測定した結果で、工場電源の変動により一定しないが、少なくとも0.07%の精度は安定に保持しうる。この装置で問題になるのはベルトのスリップであるが、開発当初から問題にし種々測定検



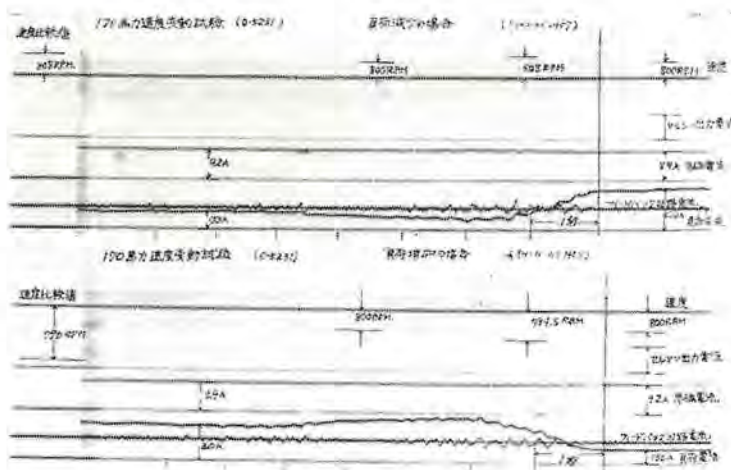
14 図 位置制御とパイロット発電機制御の整定および過渡特性の比較

Fig. 14. Comparative steady-state and transient performance of position and pilot generator speed matching system.

討を行ったが、スリップは認められなかった。現在営業運転を開始して5ヵ月以上を経過しているが、良好な運転を継続しており、ことに1週間ほどの調整で650 FPMの速度で運転にはいり、さらに短期間で、1,000 FPMの運転にはいったということは、電気的にはこの調整器の良好なことを実証しているものと考えている。

## 8. む す び

当所では抄紙機用電機品としては、1軸駆動方式のものではかなり実績をもっていたが、セクショナルドライブ方式のものはこの嚙波製紙が最初である。一応予期以上の好成績を収めることができた。従来精密な速度制御に対してはパイロット発電機方式にのみ頼っていたが、この調整器の製作により応用面が広がったことも意義深いことと考えている。ついで東北パルプ向けの2,000 FPMのセクショナルドライブを設計しているが、やはりこの調整器を使用して制御するが、好成績を期待している。



15 図 差働歯車式速度調整器を使用した特性オシロ (工場試験)

Fig. 15. Test result of motor controlled by differential gear speed regulator.



# 台湾電力公司天輪發電所 28,500 kVA 水車發電機

神戸製作所 三 浦 宏\*

## 28,500 kVA Water Wheel Generator for Tien Leng Hydro Power Station

Kobe Works Hiroshi MIURA

To Tien Leng Hydro Power Station in Taiwan was delivered a 28,500 kVA water wheel generator built by Mitsubishi in 1956 after pains-taking effort. This machine was designed to take care of peak loads, which calls for frequent start and stop. The starting condition is especially severe to the thrust bearing and an automatic rotor lifting device is provided to overcome this difficulty. Besides, there are a number of novel construction to demonstrate spectacular progress of postwar engineering in Japan. A very satisfactory operation since May 9, 1956 corroborates this achievement.

### 1. ま え が き

天輪発電所は 450,000 kW の大甲溪開発計画において建設される 6 ヲ所の発電所の最初のもので、最終的には 28,500 kVA の発電機が 4 台設置されることになっている。最初の 2 台はすでに 1953 年 8 月完成しており、今回納入されたものは 3 台目であり、主として尖頭負荷の増加を目的としたものである。

激烈な競争に打ち勝って受注以来、設計、工作に細心の注意を払って製作を進め、1955 年 7 月末、無拘束速度試験を含む全工場試験を好成績で完了し、神戸港より積出した。現地据付、調整、試験も順調に終り、1956 年 5 月 9 日、並列運転にはいることができた。

本機はいわゆる普通型発電機と称されるもので、容量、形態とも中形機に属するが、起動時回転子自動持上装置、軸電流防止法などに新機軸を折込み、固定子コイルには 1 ターン、ローベル転位を採用するとともに、絶縁としては当社の誇る優秀な新絶縁法、ダイヤラスチック絶縁を使用するなど、幾多の特色を備えている。

### 2. 発電機仕様

#### 主要電機

型式	堅軸普通型回転界磁閉鎖風道循環型（空気冷却器付）	26,500 kW	フランシス水車直結
定格出力	28,500 kVA	（固定子巻線温度上昇 80°C）	
	25,000 kVA	（固定子巻線温度上昇 60°C）	
電 圧	11,000 V		
周 波 数	60 c/s		
回 転 数	400 rpm		
力 率	0.9		
短絡比(保証値)	1.05	（28,500 kVA にて）	
	1.2	（25,000 kVA にて）	

GD<sup>2</sup>(保証値) 290 t-m<sup>2</sup>

無拘束速度(保証値) 715 rpm

#### 主励磁機

型 式	堅軸開放型補極付	他励差動分巻
定格出力	120 kW	
電 圧	220 V	
極 数	10 極	

#### 副励磁機（複流発電機）

型 式	堅軸開放型	分巻
本機はアクチュエータ駆動電動機用交流発電機（1.5 kVA, 110 V）との複流発電機である。		

定格出力 4 kW/1.5 kVA

電 圧 110 V

極 数 10 極

周波数(交流側) 33.3 c/s

その他副励磁機上部には起動停止確認装置、起動停止指示ランプ、回転計発電機を備えている。

本機は前述のように従来のものに比べ、多くの特色を有している。すなわち、

(1) 尖頭負荷用の発電機で、起動、停止の回数が多く、推力軸受にとって起動条件が非常に厳しくなるので、回転子自動持上装置を備えて、起動のたびに軸受面に油膜を作り、推力軸受の負担を軽くするようにしている。

(2) 固定子コイルは 1 ターンコイルで、鉄心溝内でローベル転位を行い、端部では全素線を数箇のグループに分け転位を行いつつ相互に接続し、渦流損の減少を図っている。絶縁にはもちろんマイカテープを用いているが、充填剤としては従来のアスファルトコンパウンドに代り、当社の誇る新しい絶縁剤ダイヤレジンを採用している。

(3) 軸電流防止用絶縁は各軸受部分で行い、試験用端子を備えて、随時簡単に絶縁状況の点検ができるようになっている。

(4) 推力軸受, 上下振止軸受共, 冷却は水のみで行い, 運転中の油循環を行わない, いわゆる油自蔵式である. 油槽からの油, 油蒸気の漏洩に関しては細心の注意を払い, ファンの圧力を利用した空気パッキングを採用するなどして漏洩の絶無を期している.

(5) 空気冷却器の機能が停止しても開放型として使用できるよう, 風洞構造, 空気冷却器配置を考慮している.

### 3. 発電機の構造

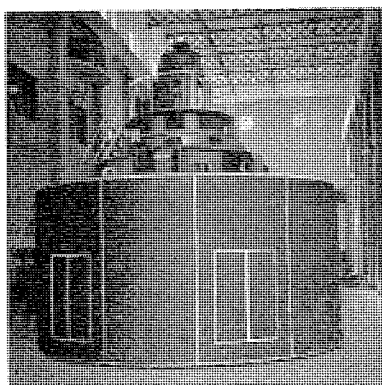
1 図は現地運転中の発電機の外観を, また 2 図は構造の断面を示す.

#### ア. 固定子

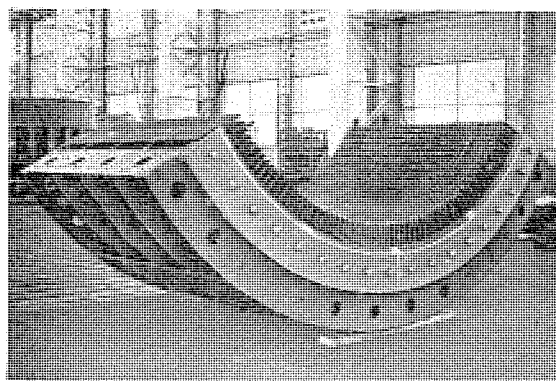
##### (1) 固定子枠および鉄心

外径 4.3 m, 高さ約 3 m, 鋼材溶接組立式で, 輸送のため全周を 3 つ割としている. 3 図は鉄心を納めた固定子枠を示す. 分割された固定子相互の組立には締付ボルトを使用するが, 割目の工作には十分注意し, 鉄心間の密着が完全に行われ, 磁気騒音, 振動等を生じないようにしている.

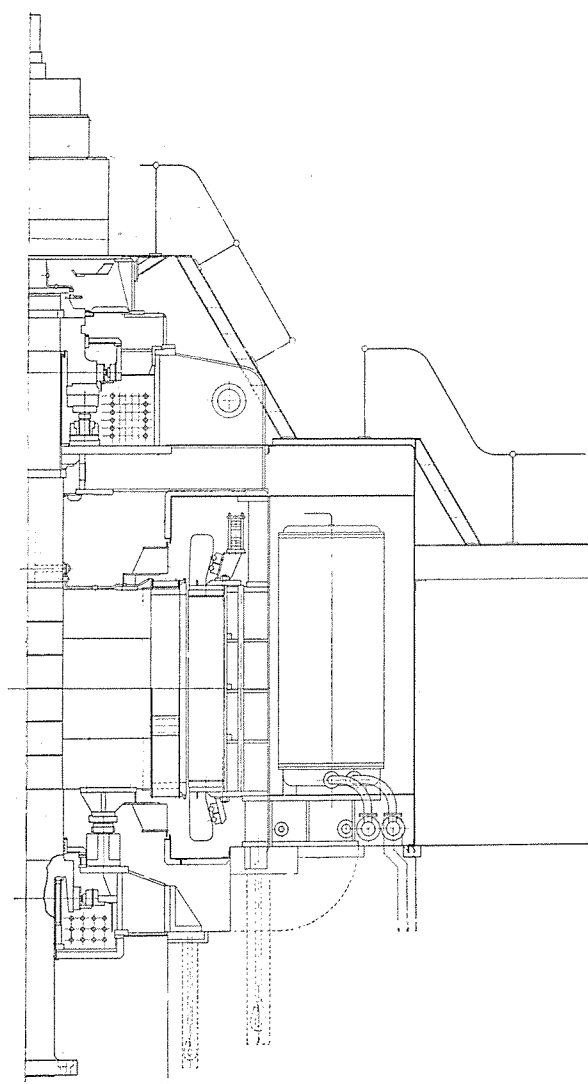
鉄心としては T 級の良質硅素鋼板を使用し, 外径, 溝等を打抜いた後, 十分に焼鈍を行い, また特殊ワニスを用いて鉄板間の絶縁を行っている. 打抜いた扇形鉄心は交互に半分ずつ重ね合せて積み, 途中には適当数の通風間隙を設けている. 鉄心の締付けは数回にわけて入念に行い, 端部には非磁性金具をあて, 固定子枠に設けたボルトによって締付けた鉄心を確保している. このボルト



1 図 主発電機外観  
Fig. 1. Water wheel generator.



3 図 固定子枠および鉄心  
Fig. 3. Stator frame and core.

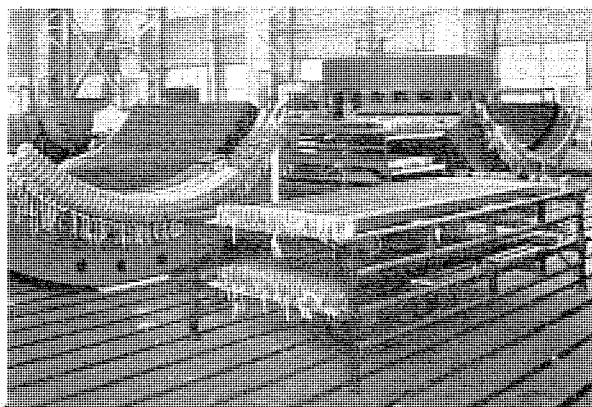


2 図 発電機断面図  
Fig. 2. Generator cross section.

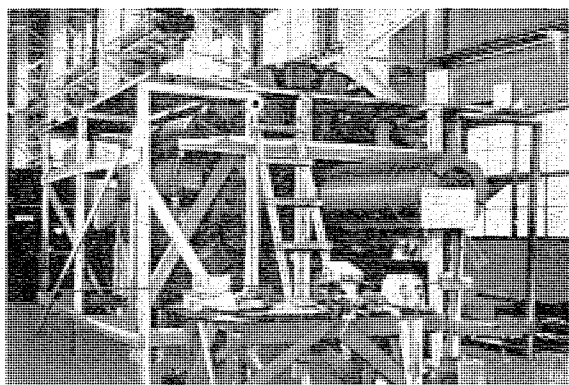
は同時に鉄心積みの際の案内を兼ねており, また, 鉄心と固定子枠との連絡部分であって, 良質の材料を用い, 鉄心の温度上昇や鉄心の受ける磁気力に対して, 固定子枠と一体となって十分な剛性を保ちうるよう考慮している.

##### (2) 固定子線輪

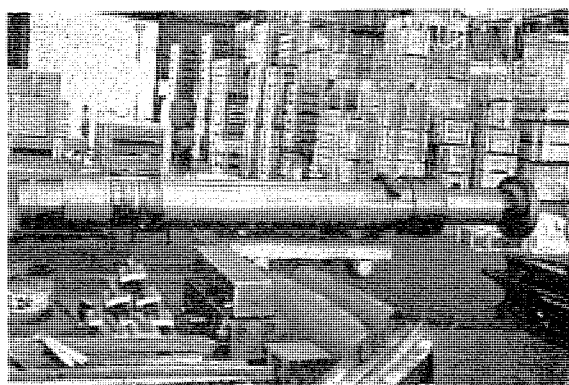
4 図に固定子線輪および線輪を納めた固定子を示す. 固定子線輪は 1 ターンコイルで, 半ターンずつ製作し, これを両端で接続している. 素線には 2 重ガラス巻平角銅線を使用し, 表皮作用による渦流損を減少せしめるため, 溝内でローベル転位をほどこし, 端部では素線を数グループにわけて, 相互に転位を行いつつ接続している. 線輪絶縁には従来のアスファルト系絶縁に代り, 新絶縁剤ダイアレジンを採用した. 素線を積重ねた導体にダイアレジンマイカテープを全長に巻き, ダイアレジン充填剤の含浸を行い, 成型したものできわめて優秀なコイル絶縁を形成している. ダイアラスチック絶縁についてはすでに詳細が発表されているが, 簡単にその特性をのべると,



4 図 固定子および固定子線輪  
Fig. 4. Stator and stator coils.



5 図 回転子  
Fig. 5. Rotor.



6 図 主 軸  
Fig. 6. Shaft.

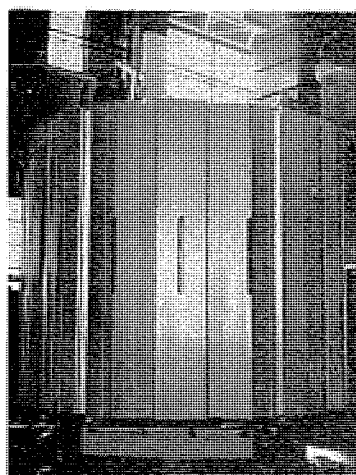
(1) 絶縁耐力が従来のアスファルト系絶縁に比して高く、また温度による耐圧の低下、および絶縁厚みを増加したときの単位厚み当りの耐圧低下が少い。

(2) 絶縁抵抗が非常に高く、温度特性もすぐれている。

(3) 吸湿が少く、また、たとえ吸湿しても深部まで浸入しないので回復が早い。

(4)  $\tan \delta$  の値が小さく、電圧、温度による影響が少い。

(5) 高温における機械的特性がとくにすぐれており、本機のように線輪長が長く、また熱サイクルの影響を受ける場合、破壊に対する抵抗が大きい。



7 図 輻 鉄  
Fig. 7. Spider.

している。

溝内上下コイル間には温度測定用素子、温度記録計用素子、温度継電器用素子を備えている。

#### 1. 回 転 子

5図は完成した回転子を示す。水車無拘束速度 715rpm に対し、機械的には十分な安全性を保つよう考慮している。

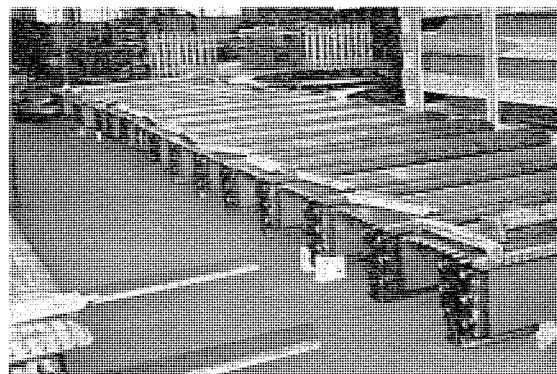
#### (1) 主軸および輻鉄

6図および7図にそれぞれ加工途中の主軸ならびに輻鉄を示す。主軸は鍛鋼製で、下端はリーマボルトにより水車中間軸に接続し、中央部には輻鉄を焼嵌めしている。下振主軸受用筒軸は主軸と一体に鍛造し、機械仕上げを行っている。

輻鉄は鍛鋼製であるが回転部分では最も大きい機械的強度を要求される場所であり、材質には十分注意を払っており、外周および内周の数箇所から試験片をとって材料検査を行うとともに、超音波探傷器を用いてきずの有無を調べるなど万全の策をとっている。

輻鉄外周にはダブテール溝を切って磁極を支え、ダブテール溝の間には内部通風用の穴を設けて通風の便をはかり、巻線温度上昇の低下を期している。

輻鉄上下面にはファンを、また下面には制動輪を取付けている。



8 図 磁 極 鉄 心  
Fig. 8. Magnetic pole core.

(6) 熱劣化特性がすぐれている。

すでにダービン発電機では実用されていることでもあり、水車発電機への採用は最初のこととはいえ、関係者の努力により、期待以上にすぐれたコイルを完成することができた。

対地絶縁完了後、コイル表面にはガラステープを巻き、コロナ防止塗料を塗布





9 図 界 磁 線 輪  
Fig. 9. Magnetic coils.

## (2) 磁極鉄心および界磁線輪

8 図、9 図に工作途中の磁極鉄心および界磁線輪を示す。磁極鉄心は所要の形状に打抜いた 1.6 mm 薄鋼板を成層し、特殊鋳鋼の端板を用いて強固に締付け、一体としてのち、ダブルテールにより輻鉄に取付けている。制動巻線棒は磁極頭部を貫き、両端は Z 型断面を有する短絡片に銀鍍付けされ、さらにこの短絡片の下端は磁極端板に設けた切込み部に入りこみ、遠心力に耐えるようになっている。この嵌合は軸方向には自由になっていて、制動巻線棒の熱膨脹に対する余裕を有し、パー切断の恐れは皆無である。各短絡片は相互に硬銅板で接続され、連続的な制動巻線を構成している。

界磁線輪は裸平角銅線をエッジソイズに曲げ、層間絶

縁としてアスベスト紙を挿入し、可撓マイカを主体とした対地絶縁で鉄心に接する面を保護してのち、温度を上げ、高い圧力で焼付けを行っている。磁極間の空間には長大なコイルが遠心力のため、両側にはみ出すのを防止する目的で軽金属およびマイカルタを用いた線輪締金を設け、線輪上下面には絶縁ワッシャを使用し、また常時線輪を磁極頭に押付けるため、下面にはスプリングを入れている。線輪相互の接続にはブリッジ状の薄銅板を重ねた接続片を用いて両端を銀鍍付けし、高い遠心力に耐えるとともに温度上昇にもとづく熱応力を逃げるように考慮している。

## ウ、その他の構造部分

### (1) 上ブラケット

上ブラケットは発電機回転部および水車側全推力を支持し、機械的に十分な強度を有するとともに、固定子枠と一体となって高い剛性を保持するよう計画している。鋼材溶接製で推力軸受槽を兼ね、内部には推力軸受、上振止軸受を納め、6 本の足のうち、2 本は輸送の便宜上継足としている。10 図は完成した上ブラケットである。

### (2) 下ブラケット

下ブラケットは中央の油槽に下振止軸受を備え、4 本足で上面に制動器を設置している。機械的には発電機、水車各回転部の静荷重を支持し、制動トルクによる切線方向の力にも耐えねばならない。とくに本機は起動のたびに回転部分を持上げる関係上、きわめてがんじょうな構造になっている。鋼材溶接製で11図はその外観である。

### (3) 制 動 器

鍛鋼製で 12 図、13 図に外観および内部構造を示す。水車発電機には制動器はかならず設置されるもので、これをジャッキとして用いるときには配管を高圧ポンプに切換えるのが普通である。本機は自動回転子持上装置を有し、起動のたびに回転子を持上げるのであるが、これを配管の切換えで行うことは非常に繁雑であり、運転の万全を期することがむづかしい。したがって本機の場合、制動器を上下2室にわけ、下部はシリンダ面積を小さくして制動用、上部は全面積を大きくして回転子持上用、すなわちジャッキ用として計画し、それぞれの動作が相互に無関係に行われるよう



10 図 上ブラケット  
Fig. 10. Upper bracket.



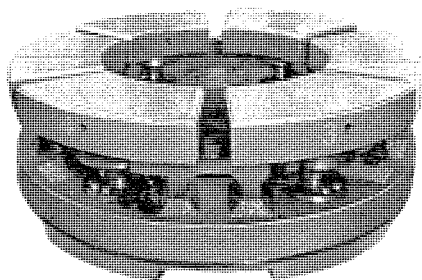
12 図 制動器外観  
Fig. 12. Brake.



11 図 下ブラケット  
Fig. 11. Lower bracket.



13 図 制動器内部構造  
Fig. 13. Interior of the brake.



14 図 推力軸受  
Fig. 15. Thrust bearing.

にしている。すなわち高圧ポンプからの高圧油は面積の大きい室のみにはいって回転子を持上げ、また制動用圧油は小さい室のみにはいって制動作用を行い、ただ漏洩した油のみが相手側のシリンダを通して油槽に帰るのである。このようにすれば、ジャッキピストン直径とブレーキピストン直径をおのの別個に計画できること、ピストン上昇を制限するストップの設置が簡単にできると、ピストン降下用ばねを内部に納めうること、配管類が簡単になることなどの利点がある。上部のブレーキシュー受台の両側には制動トルクに耐えるよう丸棒を備えているが、この丸棒は下端が制動器本体にねじ込みになっており、回転子支持台にもなるよう考慮している。側面にはピストンの昇降を指示するリミットスイッチを備えている。

#### (4) 推力軸受および振止軸受

推力軸受は当社製キングスベリー型、14 図はその外観である。上下振止軸受もセグメント式でそれぞれ 1 個のピボットで支持され、潤滑は推力軸受と同じようにして行われる。上振止軸受は推力軸受受金の側面で、下振止軸受は主軸に設けた筒軸の側面で回転部を支え、機械的、電気的不平衡による横振れを防止している。

軸受の冷却方式は油槽内に設けた冷却水管のみで行ういわゆる油自蔵式であるが、油槽内に密閉された油は運転中きわめて複雑な変化をみせるものである。すなわち回転のため軸槽外壁付近の油面は中央部に比べて高くなり、また油中に生じた無数の気泡の影響や温度上昇による油の膨脹のため運転時の油面は静止のときに比べてかなり上昇する。さらに油槽内の空気部分の圧力も高くなるもので、これらの現象に対しては十分注意を払って設計を行わないと種々の形態の油洩れを起すおそれがある。油槽内壁から主軸を伝わる油洩れに対しては油槽内壁および受金部に特殊の構造を採用し(実用新案第 457904)、油槽内の圧力上昇防止のためには空気抜き装置を設け(実用新案第 430235, 第 430236)、さらにここを通過する油蒸気を回収するため冷却装置を設置している。また静止中と運転中の油面変動に対応しうよう、特殊な油面整定装置を設け(実用新案出願中)、油槽蓋と回転部との隙間から漏洩する油蒸気を防止するためには空気パッキングを採用している。これは上下 2 段の空気室を設け、上段にファン圧力を利用して空気を圧入し、下段からこ

れを外部に放出するようにして、油蒸気封入の効果を高くしたものである。

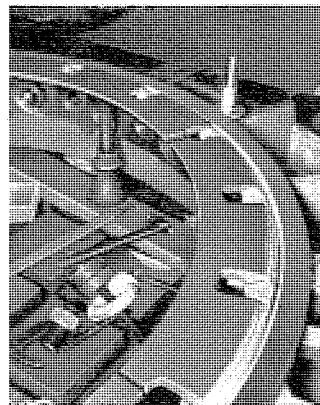
油槽には油面リレー、冷却水管には流水リレーを設け、温度測定用素子は外部から簡単に取換えできるように考慮している。

軸電流防止用絶縁はそれぞれの軸受部で行っている。すなわち推力軸受は軸受台盤と油槽底板との間で、また上下振止軸受は軸受支持棒を 2 つにわけ中間に絶縁物を挿入して行い、さらに絶縁物の間には銅板をはさみ、軸受内、外部および銅板からはそれぞれ端子を出して外部に導き、運転中でも簡単に絶縁状態の点検を行いうるよう考慮している(実用新案出願中)。軸電流防止のためにはその回路をどこか 1 ヲ所で切ればよいのであるが、本機では全軸受にこれをほどこし、回転部を電氣的に完全に大地から切離している。

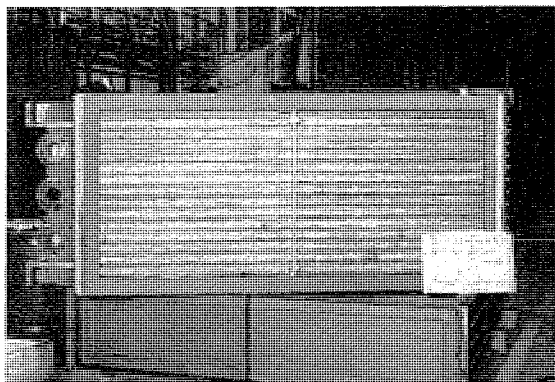
従来の方では軸受外部で行うため、風洞、配管に至るまで絶縁せねばならず、絶縁箇所も多く、またその点検が簡単に行えないため、軸受損傷まで発展して初めて軸電流の存在に気付くというようなことが多かったのであるが、本方式の採用によりこの欠点を解消することができた。15 図に振止軸受絶縁部の組立作業中の様子を示している。

#### (5) 風洞、空気冷却器、電熱器、消火装置

風洞は鋼板製で気密には十分注意し、振動騒音を発しないよう強固な構造になっている。常時は内部に設置した 6 箇の空気冷却器で発電機冷却を行うが、万一冷却器



15 図 振止軸受棒組立作業  
Fig. 15. Guide bearing under assembling.



16 図 空気冷却器  
Fig. 16. Air cooler.



が全部その機能を停止しても風洞扉を開くことで簡単に開放型に切換えて運転を継続しうるよう考慮している。

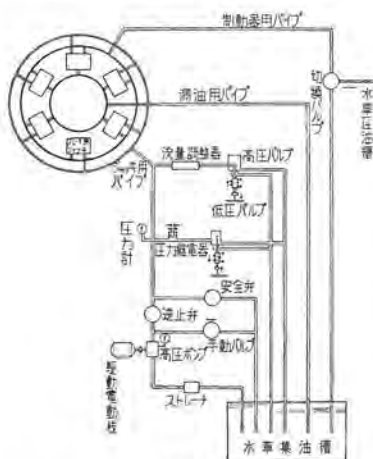
16図は空気冷却器の外観である。表面冷却型で当社独特のUフィン管を伝熱要素とした冷却効果のきわめて大きいもので、水温 25°C で機内冷風温度を 40°C 以下に保ちうるよう十分の余裕をもっている。空気冷却器は風洞内で円周上等間隔に配置し、固定子枠を出た温風は風洞内で左右に分れ 90 度方向を転じて冷却器にはいて冷風となり、上部は上ブラケット足間から、下部は床面に設けた通風孔から機内にはいり冷却を行う。

発電機の長期停止中の防湿対策として、下ブラケット部分のビット内にスペースヒータを設け、消火装置としては炭酸ガス消火装置を設置している。

#### 4. 起動時回転子自動持上装置

前述のようにこの発電機は尖頭負荷用として計画されたもので、起動、停止の回数が多く、客先要求もあって起動時回転子自動持上装置を設置した。キングスベリー型推力軸受は回転によりはじめて油膜を自動的に形成するもので、起動の瞬間には軸受面は金属接触の状態にある。しかし接触面の仕上げが良好であり、軸受の据付、調整が完全に行われておれば摩耗はきわめて僅少で問題にならず、長年月の使用に十分耐えうることは過去の実績から十分証明されている。ただ起動回数が多く、またそれが高い油温の下で行われると軸受にとっての起動条件がきわめて厳しくなり、起動に先だちなんらかの方法で軸受面に油膜を作成する方が運転の安全性を一層高めることになる。この油膜作成の方法としては軸受扇形片に穴を設け、直接高圧油を摺動面に圧入することもできるが、本発電機では油圧ジャッキを利用して回転子を持上げ、軸受摺動面に油を流入させる方式を採用した。流入した油は粘性のため、かなり長時間保持されるもので、低摩擦起動を行うことができる。

本装置の配管系統図を 17 図に示す。前述の制動器を



17 図

起動時回転子自動持上装置配管系統図

Fig. 17. Automatic rotor lifting device piping diagram.

使用し、制動操作、回転子自動持上操作、手動持上操作のおののを行いうるもので、起動時の自動持上操作は水車発電機起動制御に組入れてあり、主幹制御スイッチを主弁の位置に回すことにより自動的に行われる。持上げた回転子を降下させる場合、油の排出は回転子が軸受上に安定す

るまではゆっくりと、その後は急速に行わねばならず、このため 2 つの電磁バルブ(高圧バルブおよび低圧バルブ)と流量調整器を用いている。高圧バルブは油圧に打ち勝ってマグネットの力で開くバルブであり、また低圧バルブはこれを閉じるのにマグネットの力を利用するが、開くためにはマグネットの消勢と油圧がある定められた値より低いという 2 つの条件が満足されねばならない特殊バルブである。

発電機回転子上部にはその上昇を指示する 2 組のリミットスイッチを設けてある。1 組は自動持上操作、他の 1 組はさらに高い位置にあり発電機点検のための手動持上操作でまた前者の安全用をも兼ねている。回転子がある値以上絶対に上昇しないよう、固定子との間にはストッパを設け、万一の事故に備えている。制動器にも 2 組のリミットスイッチを設け、ピストンの上昇、降下を指示するとともにブレーキシュー消耗の際には警報を発するようにになっている。高圧ポンプは K-IMO 型で最高 70 kg/cm<sup>2</sup> の高圧油を吐出し、7.5 HP の誘導電動機で駆動される。

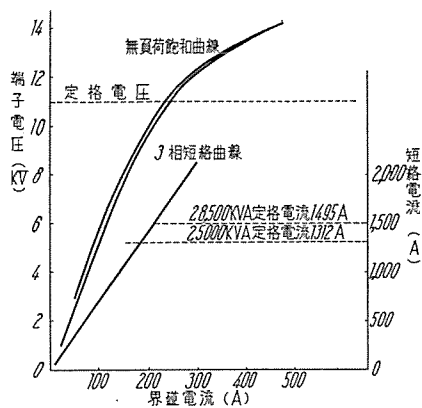
自動持上操作の場合の動作はつぎのようになる。主幹制御スイッチを主弁の位置に回すと制動切換バルブは排油側になり、低圧バルブはとじる(高圧バルブはすでに閉じている)。高圧ポンプが起動し、高圧油は制動器のジャッキシリンダに流れ込み、ピストンが上昇し、さらに回転子が上昇する。途中ある油圧で圧力継電器が閉じ、制動器の 1 組のリミットスイッチが開く。回転子が上昇するとリミットスイッチが働いて高圧ポンプは停止し、低圧バルブを消勢する。しかしこのバルブは油圧が高いためまだ開かない。同時に高圧バルブが開き、油は流量調整器で絞られながら徐々に排出され、回転子は静かに降下する。回転子が軸受上に安定し、油圧がさらに低下すると低圧バルブが自動的に開き、油は急速に排出される。その後圧力継電器の作用で高圧バルブは閉じ、ジャッキピストンも降下して、リミットスイッチが働けば発電機の起動準備は全く完了したことになり、水車は側路弁開、入口弁開の順序を経て起動する。

ブレーキシューが摩耗すると同一の回転子持上寸法に対し、ピストン上昇が増加し、ある程度摩耗が進むとリミットスイッチによりシュー取換を警報するように計画している。

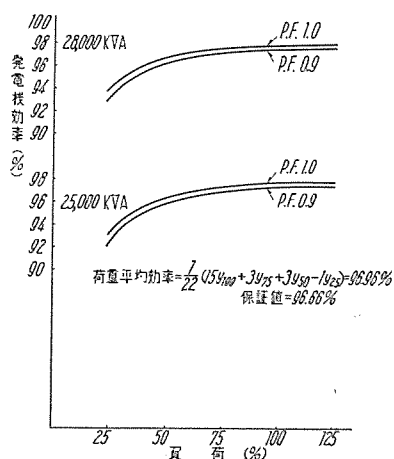
発電機点検などの場合、手動で回転子を持上げるときはジャッキ用選択スイッチをジャッキ側に倒すことにより前述と同様の過程を経て回転子は上昇し、手動操作用リミットスイッチが働けばモータは停止して回転子は持上げられたまま保持される。スイッチを切ればやはり前と同じようにして回転子は降下する。

制動作用はこの配管系統とは無関係に水車側圧油により通常の発電機と同じように行われる。

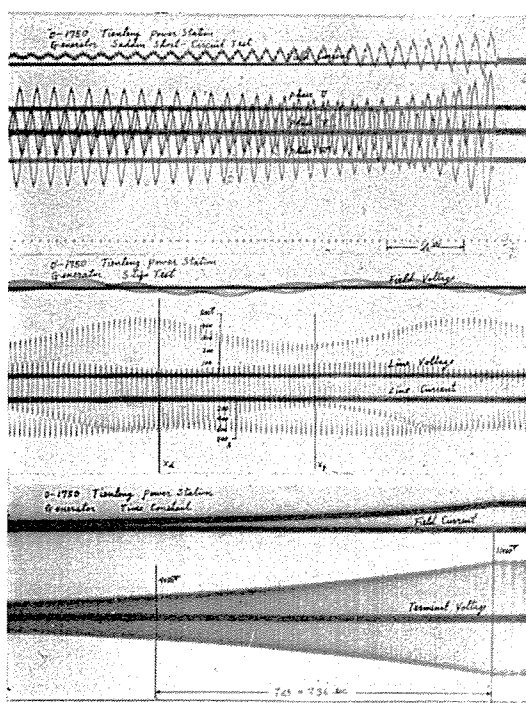
工場において配管系統を組んで試験を行ったのであるが、軸受扇形片の付着力は機械の新しいためもあって案



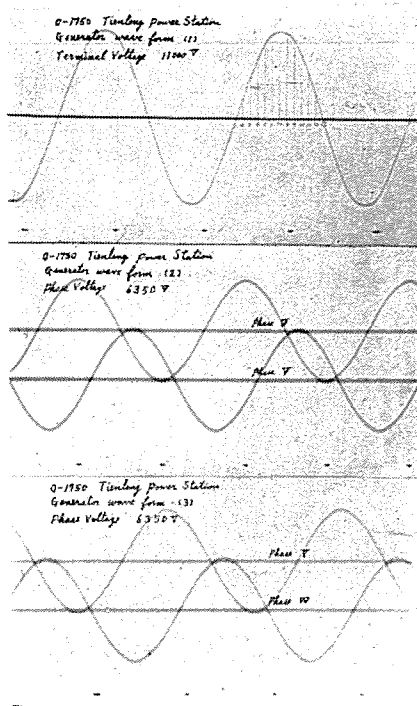
18 図 無負荷飽和曲線と短絡曲線  
Fig. 18. No load saturation curve and 3 phase short circuit curve.



20 図 効率曲線  
Fig. 20. Efficiency curves.



21 図 突発短絡試験および滑り試験  
Fig. 21. Tests on sudden short circuit and slip.



19 図 無負荷電圧波形  
Fig. 19. No load voltage wave forms.

外小さく、大体回転子重量に相当する油圧で動作した。起動トルクは回転子降下直後が最小であることはもちろんであるが、時間とともに相当大幅に増加するようである。この操作に要する時間は配管の長さにより多少異なるが、大体 30 秒位で完了することができる。

## 5. 試験成績

工場で仮組立を行い、無拘束速度試験を含め種々の試験を行った。

### ア. 特性曲線および波形

無負荷飽和曲線および 3 相短絡曲線を 18 図に示す。短絡比は 28,500 kVA で 1.14, 25,000 kVA で 1.37, また電圧変動率は 28,500 kVA のとき定格力率で 24.6%, 100% 力率で 15.0%, 25,000 kVA のときは同じく 22.3% および 12.7% であった。

19 図は無負荷時の線間電圧、および相電圧の波形で、波形狂い率は 15% であった。

### イ. 効率算定

効率の算定は AIEE No. 503, ASA 50-1943 に準拠して行い、20 図に示す結果を得た。全負荷効率は 28,500 kVA 定格力率で 97.58%, 100% 力率で 97.92%, 25,000 kVA 定格力率で 97.47%, 100% 力率で 97.81%, また荷重平均効率は 96.96% となり、いずれも保証値を大幅に上回ることができた。

### ウ. 各種常数

各種リアクタンス、時常数の測定結果を 1 表にまた突発短絡試験および滑り試験の結果を 21 図に示す。

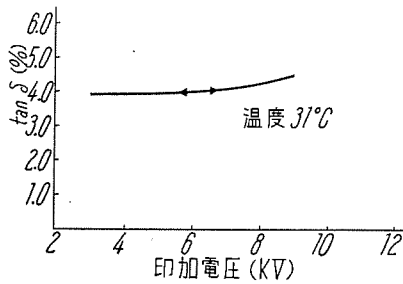
### エ. 等価温度上昇試験

JEC114 にもとづく等価温度上昇試験を行った。28,500 kVA のときの温度上昇を推定すると、固定子コイル、回転子コイルとも約 40°C となる。温度上昇が低いのは軸鉄に軸方向およびこれと直角方向に通風路を設け、強力なファンを使用して、機械内部に風を送り込んだためである。

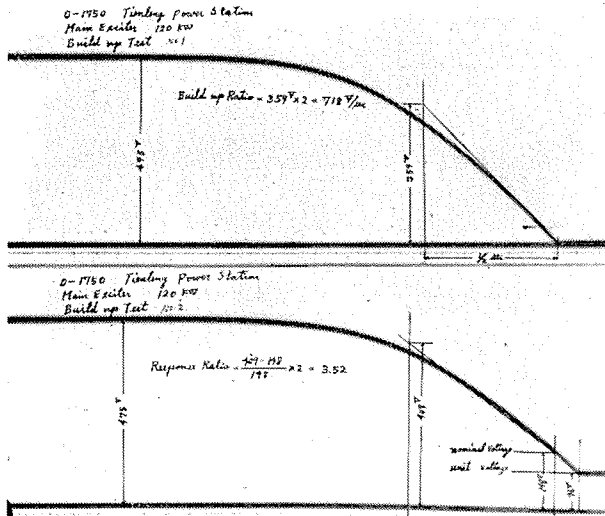
1 表 リアクタンスおよび時常数

		28,500 kVA	25,000 kVA
直軸同期リアクタンス	$x_d$	105 %	92 %
直軸過渡リアクタンス	$x'_d$	37.2 %	32.7 %
直軸次過渡リアクタンス	$x''_d$	20.4 %	17.9 %
逆相リアクタンス	$x_2$	21.9 %	19.3 %
零相リアクタンス	$x_0$	4.14 %	3.63 %
電機時常数	$T_a$	0.17 秒	0.17 秒
直軸短絡過渡時常数	$T'_d$	2.62 秒	2.62 秒
直軸開路過渡時常数	$T''_d$	7.36 秒	7.36 秒





22 図  
tan  $\delta$ -電圧曲線  
Fig. 22.  
Tan  $\delta$ -voltage  
curve for stator  
coil.



23 図 120 kW 主励磁機電圧上昇オシログラム  
Fig. 23. Oscillogram of exciter build up.

#### オ. 固定子線輪試験

22 図に  $\tan \delta$  の実測値を示す。来従のアスファルト系絶縁に比べて小さく、また電圧による変化も僅少である。本機はダイヤラスチック絶縁を水車発電機に使用した最初のものであるが、現在では  $\tan \delta$  はさらに大幅に小さくなっている。商用周波数、衝撃電圧による絶縁破

壊電圧も測定したが、予期したような結果を得ることができた。

#### カ. 無拘束速度試験

水車無拘束速度時の保証回転数 715 rpm 1 分間の試験を行った。軸受等の各部温度、振動、軸振れなどを測定しつつ速度をあげていったのであるが、仮組立のきわめて弱い基礎にもかかわらず、振動も少なく、静かな運転のうちにこの危険試験を終了することができた。回転部にはストレインゲージを貼り、各部ストレスの実測を行った。

#### キ. 励磁機電圧上昇試験

励磁機自体の電圧上昇曲線を 23 図に示す。電圧上昇率 718 V/sec, 頂上電圧 475 V, 速応比 3.52 である。

### 6. む す び

台湾電力公司天輪発電所に納入した発電機についてその大要を説明した。種々な新しい試みを取入れた本機は戦後の日本水車発電機技術のめざましい発展を示すものとして非常な好評をうけており、並列投入以来すでに 1 年、好調な運転を続けて台湾電力界に貢献している。

終りに本機の製作に種々有益なご助言をたまわった台湾電力の関係各位に厚く御礼申しあげる次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 石黒, 伊佐山 “ダイヤラスチック絶縁”  
三菱電機 Vol. 30, No. 5, 1956.
- (2) J.E. Housley, G.E. Peterson, T.L. Covey:  
“Application of Hydrostatic Lubrication in Vertical  
Water Wheel Thrust Bearings”  
A.I.E.E. Technical Paper 52-44.
- (3) 特許 第 187327
- (4) 三浦 “堅型水車発電機の起動時回転子自動持上装置”  
昭和 31 年, 電気関係学会関西支部連合大会

# DF-50 形 ジーゼル 電気 機関 車

伊丹製作所 小川清一\*

## Type DF-50 Diesel Electric Locomotives

Itami Works Seiichi OGAWA

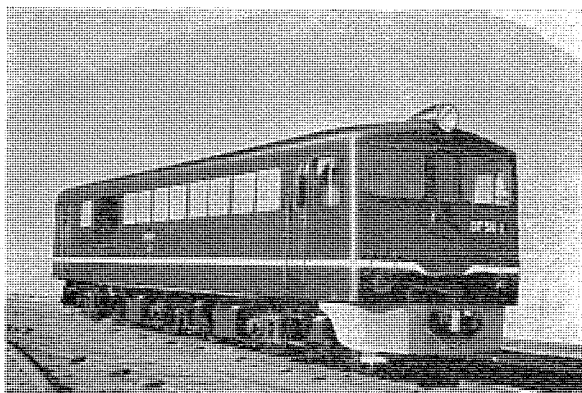
To play a part for the modernization of the Japanese National Railways dieselization of quasi-trunk lines was taken up and Type DD-50 diesel electric locomotives were built in 1953 to run on tracks laid in hilly districts. Based on this successful experience one having 20% more output was designed under the name of Type DF-50 and six sets have been completed by the joint effort of the company and the Mitsubishi Heavy Industries Reorganized. They are operating very satisfactorily now and a number of sets are expected to be increased in near future.

### 1. ま え が き

国鉄動力近代化5ヵ年計画の一翼をにない、並幹線ディーゼル化の中心ともなるべきDF-50形ディーゼル電気機関車は、昨年来国鉄関係者のご指導により新三菱重工と共同で鋭意製作中であったが、このほど6両の完成をみ急勾配でトンネルの多い土讃線、山陰線および北陸線に配属された。

DF-50形ディーゼル電気機関車は、去る昭和28年3月に試作完成したわが国最初の本格的な大形ディーゼル電気機関車たるDD-50形に比し、出力を20%増大するとともに6動軸として軸重を軽減し、引張力は大幅に増大した、中小線区の客貨両用の万能機関車として設計したもので、今後引き続き大量生産が計画されている。この機関車はDD-50が試作されて以来4年、ようやく広く実用化されんとするわが国ディーゼル電気機関車の標準形式としていろいろと新機軸を採用している。本稿はこの機関車の電機品関係を中心に述べることにする。

### 2. 仕 様 概 要



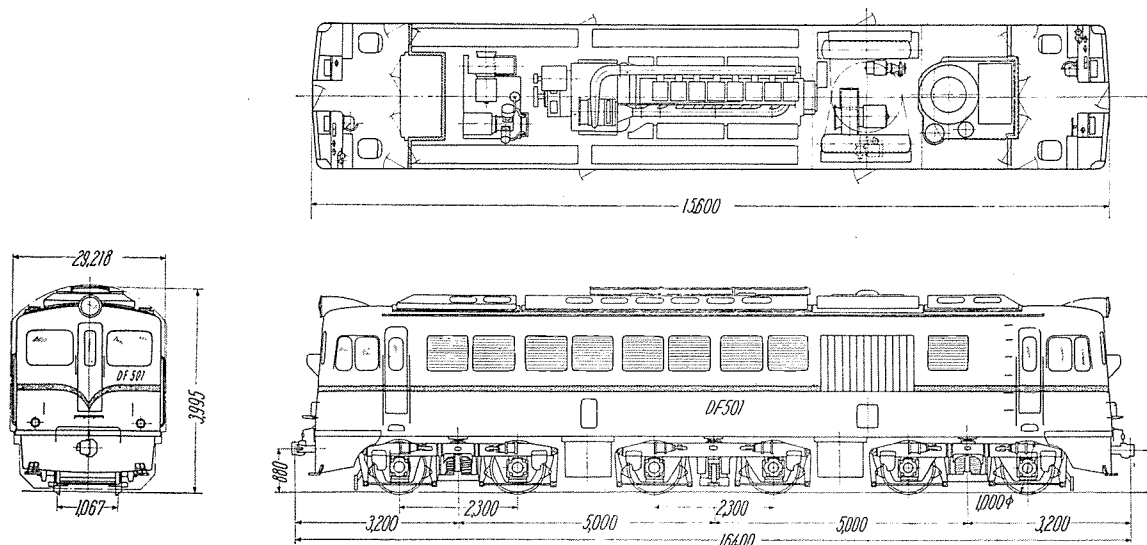
1 図 DF-50 形ディーゼル電気機関車

Fig. 1. Type DF-50 diesel electric locomotive.

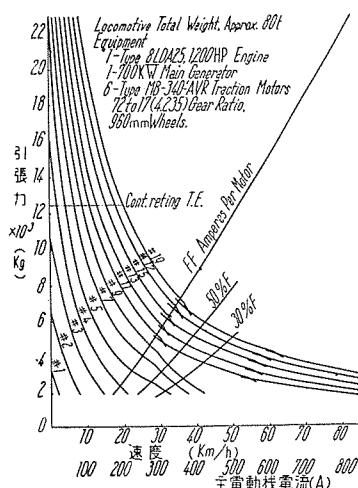
DF-50形ディーゼル電気機関車は1,200 HPのディーゼル機関を装備し、国鉄並幹線の客貨両用としてC58、C57形旅客用および9600形、D51形蒸気機関車におきかえるように設計されたもので、主要な要目はつぎのとおりである。

機関車形式	箱形両運転台
軸配置	B-B-B
動輪直径	1,000 mm
機関車重量	運転整備 81 t
(動輪上重量)	空車 75 t
主機関	個数 1
	形名 三菱神戸スルザ 8LDA25 形
	連続定格 1,060 HP 800 rpm
	1時間定格 1,200 HP 850 rpm
主発電機	個数 1
	連続定格 700 kW, 450 V, 1,560 A, 800 rpm
主電動機	個数 6
	形名 MB-340-AVR
	連続定格 100 kW, 225 V, 520 A, 410 rpm
	接 続 2 個直列, 3 回路
歯車比	72 : 17 = 4.235 : 1
機関車性能	
	連続定格引張り 12,500 kg
	連続定格速度 17.5 km/h
	最大引張り 22,000 kg (主発電機 2,400 A)
	最大運転速度 90 km/h
制 御 方 式	空気式、電磁式および電磁空気式併用 非重連(改造により重連総括制御可能)
制御回路電圧	100 V
蓄電池容量	5時間率 96 V, 320 AH

\* 技術部電鉄課長



2 図 DF-50 形ディーゼル電気機関車外形図  
Fig. 2. Type DF-50 diesel electric locomotive.



3 図 DF-50 形  
ディーゼル電気機関車  
速度—引張力曲線  
Fig. 3. DF-50 diesel  
electric locomotive  
speed-traction curves.

燃料タンク容量 1,500 l

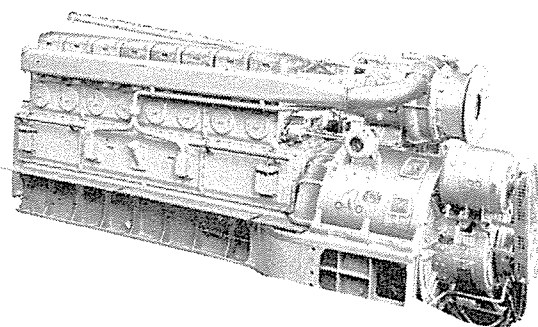
ブレーキ装置 EL14A 空気ブレーキおよび手ブレーキ

列車暖房装置 SG 3 形蒸気発生装置

### 3. 特 長

この機関車は 4 年前に完成した DD-50 形ディーゼル電気機関車の製作経験、使用実績を生かすとともに、将来の国鉄における本線用ディーゼル機関車のありかたに十分適合すべく種々の考慮を払っており、性能、構造上幾多の特色もっている。

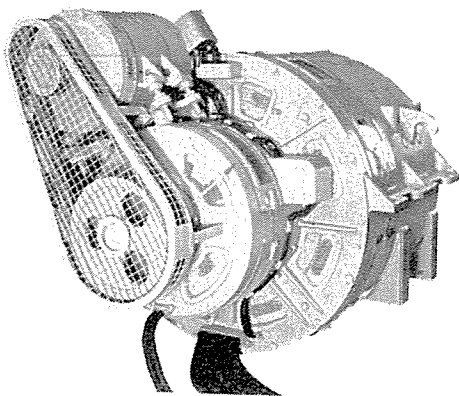
- (1) 車軸数を 6 とし車体および各機器の重量軽減をはかったため、列車暖房用蒸気発生装置を装備しながら軸重は 13.5 t と軽くなり丙線に使用できる。このことは本機関車はいかなる線区でも軸重に制限されることなく走行可能なことを意味する。
- (2) 貨物用としても使用するため全動軸として動輪上重量を大とした。
- (3) 2 軸ボギー台車 3 個を使用したわが国最初の B-B-B 車軸配置で C-C 形に比して走行性能が良い。



4 図 1,200 HP  
ディーゼル発電機  
Fig. 4. 1,200 HP diesel  
generator.

- (4) 主機関はわずかな改造で出力を 20% 増大し 1,200 HP とした。
- (5) 速度—引張力性能は丙線用蒸気機関車 C 58 形, 9600 形を上回り、乙線用では高速性能では C 57 形, 低速大引張力性能では D 51 形蒸気機関車と同等という客貨両用の特性を有しており、非電化線区の万能機関車として輸送合理化の任を果すことができる。
- (6) 主電動機は 最高回転数/定格回転数 の比が大きく大幅な弱界磁制御可能なものとし、主発電機の最大電圧/定格電圧の比の増大と相まって連続定格速度 17.5 km/h の低速から最大運転速度 90 km/h の高速まで機関全力を広範囲に発揮させることができる。
- (7) 前項の目的のために 2 段の自動主電動機弱界磁制御を採用し、気圧抵抗器の使用によりその動作を合理化した。
- (8) 重連総括制御の必要が生じた場合は簡単な改造により主回路の総括制御が可能となる。
- (9) 機器配置、艤装の合理化をはかり、制御装置は 1 個のキャビネットにまとめ、抵抗器も 1 個の枠にとりついても屋根を取りはずすことにより組立てたままつり出すことができる。

この機関車の主機関および車体台車は新三菱重工、主発電機、主電動機、補助回転機、および制御装置などの電機品は三菱電機の手になるものである。以下に当社製作の電機品につき概略説明を加える。



5 図 主発電機、補助発電機、励磁機

Fig. 5. Main generator, auxiliary generator and exciter.

#### 4. 主発電機、励磁機、補助発電機

##### ア. 主発電機

他励分巻、機関始動直巻付、半密閉自己通風形  
連続定格 700 kW, 450 V, 1,560 A, 800 rpm  
最大電圧 連続 670 V  
最大電流 2,400 A  
重 量 6,000 kg (含補助発電機)

##### イ. 励磁機

主発電機電流による差動巻線を有する特殊他励複巻式  
半密閉自己通風形  
連続定格 2 kW, 40 V, 50 A, 2,000 rpm

重 量 370 kg

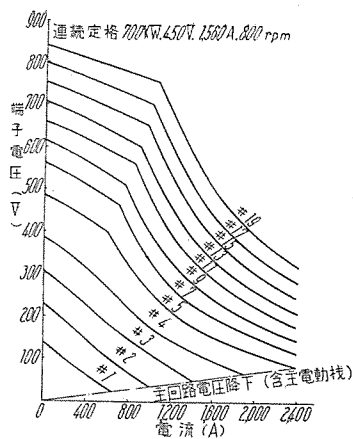
##### ウ. 補助発電機

分巻、自動電圧調整器付、半密閉自己通風形  
連続定格 40 kW, 110 V, 364 A, 450~850 rpm  
(定電圧)

構造は DD-50 形のものと同様で、主発電機電機子はジーゼル機関に直結され、同軸上に補助発電機電機子を備え、軸受は補助発電機側軸端にのみ設けられている。枠は機関と共通の台板に固定され補助発電機枠を兼ねた軸受箱が取付けられている。励磁機は DD-50 形のものと同様であり、特殊な界磁をもつことにより主発電機に定出力特性を与えることはすでに紹介したとおりで、補助発電機枠上に固定され V ベルトによって駆動される。

この装置の DD-50 形のものに比しての特長はつぎのごとくである。

- (1) 主発電機は取付の関係上外径をほとんど変えることなく軸方向にわずかに長くして 20% の出力増大を図った。
- (2) 主発電機の定格電圧と最大電圧の比を大きくし、後述の主電動機の弱界磁の大幅活用と相まって、きわめて広い



6 図 700 kW 主発電機特性曲線

Fig. 6. 700 kW main generator characteristic curves.

- 速度範囲で機関全出力を利用することができる。
- (3) 主発電機の過負荷における整流を改善した。
- (4) 主発電機の刷子保持器は点検に便ならしむるためロックリングが回転しうるようになっている。
- (5) 補助発電機は完全 B 種絶縁とし出力を増大した。

#### 5. 主電動機

要目はつぎのとおり

形 名 MB-340-AVR

形 式 丸形枠、直巻、全密閉他力通風形、

1 段減速釣掛式

連続定格 100 kW, 225 V, 520 A, 410 rpm

通 風 量 50 m<sup>3</sup>/min

界磁制御 50% および 30%, 2 段分路弱界磁制御

最大回転数 2,600 rpm

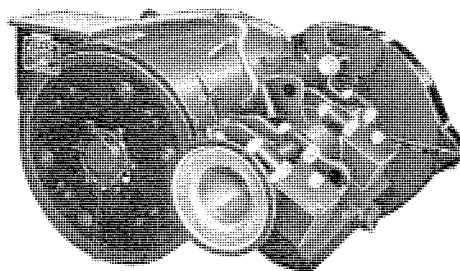
歯 車 比 72 : 17 = 4.235 : 1

(M=10)

重量 (電動機本体) 1,920 kg

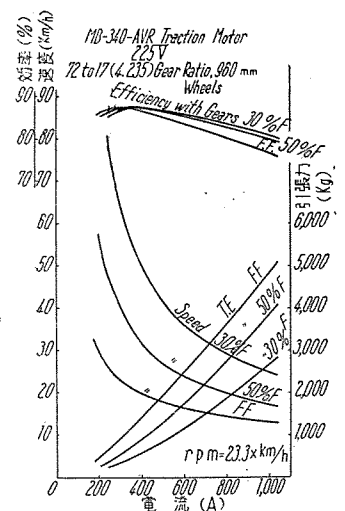
主電動機の外形寸法は DD-50 形のものと同様であるが、内容はいちじるしく進歩している。

- (1) DD-50 形のものに比し、外形はほとんど変わらないにもかかわらず、定格トルクは約 40% 増大しており、このため大引張力を発揮できる。
- (2) 定格回転数 410 rpm にたいし最大回転数は 2,600 rpm を許容できスピードレシヨは 6.3 とはなはだ高率である。
- (3) 定格を比較的低電圧、大電流にしたため重巻電機子



7 図 100 kW 主電動機

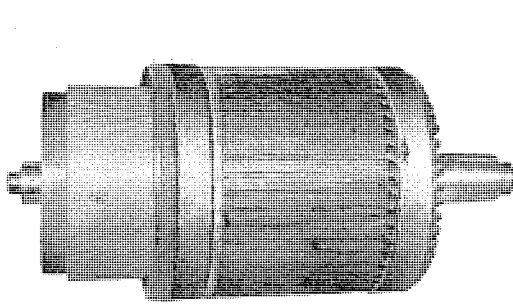
Fig. 7. 100 kW traction motor.



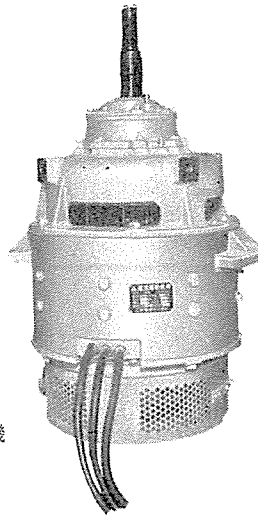
8 図 主電動機特性曲線

Fig. 8. Traction motor characteristic curves.





9 図 主電動機電機子  
Fig. 9. Armature for traction motor.



10 図 放熱器用送風電動機  
Fig. 10. Motor fan  
for radiator.

の使用が可能となり、片間電圧をきわめて低く設計できるので、補償巻線を設けずとも 30% 弱界磁 (70% 分路) という高度の弱界磁を整流上なんらの不安なく使用することができる。これにより万能機関車として必要な定出力速度範囲の大幅の拡大が可能となった。

- (4) 主極、補極コイルはオープンフェース形として冷却効果の増大を図るとともに、渡り導体には銅帯を使用し接続部はロー付している。
- (5) 整流子にはリングばねによる強固な締付構造を採用し、高回転に耐えることができる。
- (6) 万一閃絡の際接地継電器を動作させるためにアーキングスタッドを備えている。

## 6. 補助回転機

主要補機はすべて電動で前記定電圧補助発電機を電源として運転され、また放熱器用送風機を除く各補機は機関停止中でも蓄電池を電源として運転が可能である。なお主電動機用電動送風機以外はすべて DD-50 形と同一である。

### ア. 主電動機用電動送風機 2 台

電動機 直巻、半密閉自己通風形

連続定格 8 kW, 110V, 90 A, 1,450 rpm

送風機 多翼形、電動機直結

風 量 150 m<sup>3</sup>/min,

有効静風圧 120 mm 水柱

1 台の送風機により主電動機 3 台の通風を行っている。

### イ. 放熱器用電動送風機 (10 図)

電動機 直巻、堅形、半密閉自己通風形

分路弱界磁制御

連続定格 7 kW, 110 V, 77 A,

1,000 rpm (全界磁)

1 時間定格 11 kW, 110 V, 124 A,

1,200 rpm (弱界磁)

送風機 軸流プロペラ形、電動機直結

風 量 1,200 m<sup>3</sup>/min (1,200 rpm のとき)

有効静風圧 30 mm 水柱

放熱器風道の上部に垂直に取りつけられている。夏季のように冷却効果の増大をはかりたいときは主幹制御器の 11 ノッチ以上において弱界磁運転を行うことができる。

### ウ. 電動冷却水ポンプ

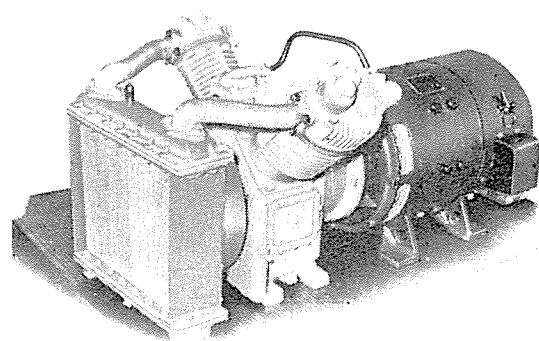
電動機 安定直巻付分巻、半密閉自己通風形

連続定格 2.8 kW, 110 V, 32 A, 1,800 rpm

ポンプ ウズ巻形

水 量 0.63 m<sup>3</sup>/min, 水 頭 16 m

### エ. 電動空気圧縮機 (11 図)



11 図 電動空気圧縮機  
Fig. 11. Motor compressor.

1 表 ジェゼル電気機関車主要機器番号と名称表

主 回 路		高圧付属回路		低 圧 補 助 回 路				低圧付属回路	
機器番号	名 称	機器番号	名 称	機器番号	名 称	機器番号	名 称	機器番号	名 称
563	逆 転 器	863	電 流 計	250	補助発電機	286	同機用他助界磁直列抵抗器	350	蓄 電 池
564	電流計分路	870	空転警報継電器	254	電圧調整器	287	同機用他助界磁起動気圧抵抗器	351	同器用開放スイッチ
565	弱界磁分路抵抗器	871	同器用直列抵抗器	255	同器用直列抵抗器	288	同機用他助界磁調整抵抗器	352	同器用充電セン受
569	主電動機ツナギ箱	873	接地継電器	256	同器用安定変圧器	290	主発電機他助界磁接触器	353	充電抵抗器
570	弱界磁継電器	874	同器用抵抗器	257	補助発電機遮断器	291	主発電機他助界磁直列抵抗器	354	充電継電器
571	同器用直列抵抗器	875	同器用開放スイッチ	258	同機用分巻界磁遮断器	294	低圧補助回路遮断器	355	同器用直列抵抗器
572	同器用気圧抵抗器			260	主電動機送風電動機	295	始動接触器	356	充電接触器
				264	同機用遮断器	1250	冷却水ポンプ電動機	360	蓄電池回路電流計
				270	空気圧縮電動機	1254	同機用遮断器	361	蓄電池回路電圧計
				271	同機用直列抵抗器	1270	放熱器送風電動機	362	蓄電池回路電流計分路
				275	空気圧縮電動機遮断器	1274	同機用遮断器		
				276	同機用接触器	1276	同機用弱界磁分路抵抗器		
				280	励 磁 機	1277	同機用弱界磁接触器		
				284	同機用分巻界磁直列抵抗器	99	始動スイッチ		
				285	同機用他助界磁接触器				

電動機 直巻, 半密閉自己通風形

30 分定格 9.5kW, 95V, 125A, 860rpm  
空気圧縮機 2 気筒 V 形, 2 段圧縮中間冷却器  
付, 電動機直結

吐 出 量 1,580 l/min

吐出圧力 8kg/cm<sup>2</sup>

なお今後製作される DF-50 形機関車にたいしては約 2 倍の容量を有する空気圧縮機が装備される予定である。

## 7. 制御装置

ジーゼル電気機関車の制御装置はその性格上床面積の制限をうけるのであるべく簡単にする必要があり, 保護装置も必要最小限に止めるべきであるが, さいまい主回路は一般電気車と異なり, 外部からの影響をうけることがなく, しかも低圧という利点があるのでこの点で目的を達しうる。

以下に各回路に分けて略述する。(ツナギ図 12 図, 機器番号と名称表 1 表)

### ア. 主 回 路

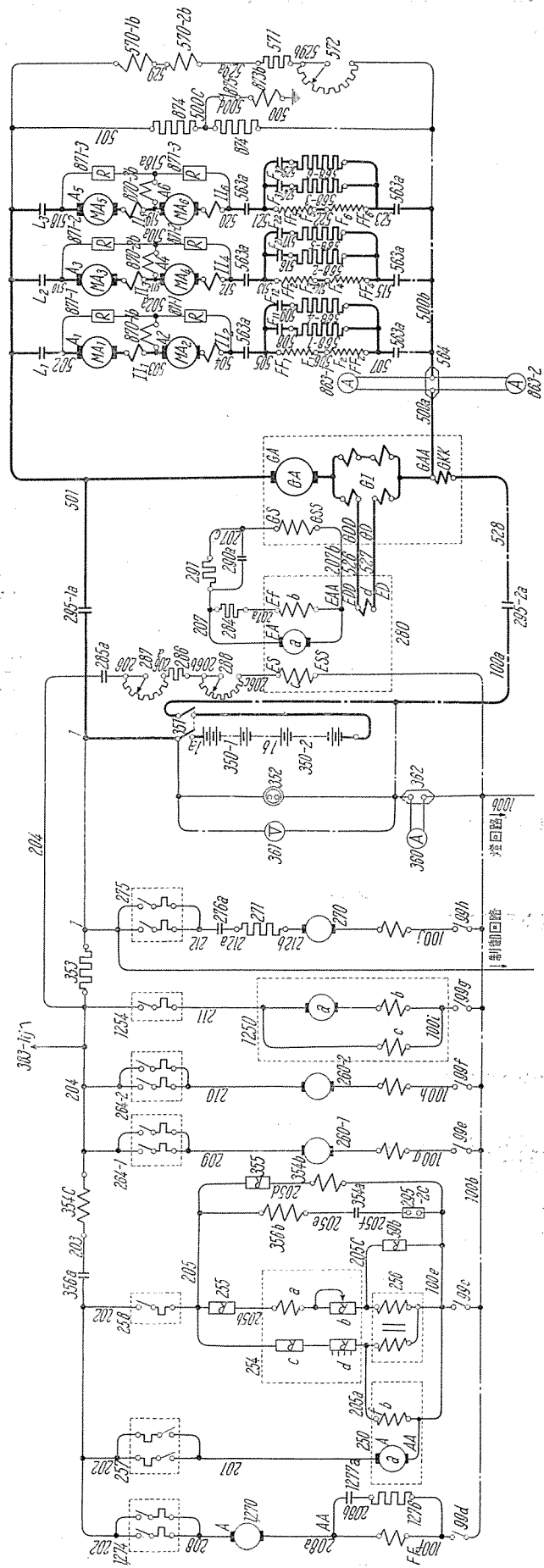
6 個の主電動機は主発電機にたいし 2 個あて永久直列に接続されて 3 回路となっている。6 個永久並列にせず永久直並列接続とした理由はつきによっている。

- (1) 主電動機を重巻として大幅の弱界磁制御を可能とするべく, その定格を比較的低電圧, 大電流としたため。
- (2) 主回路の単位スイッチの数を少くするため。
- (3) ジーゼル電気機関車はその装備の性質上重量大となり, 必要以上の粘着重量をもっているし, またその速度—引張力特性はもともと再粘着には好ましいものではないから, 前 2 項の利点を割愛してまでも全並列接続にする価値は少い。

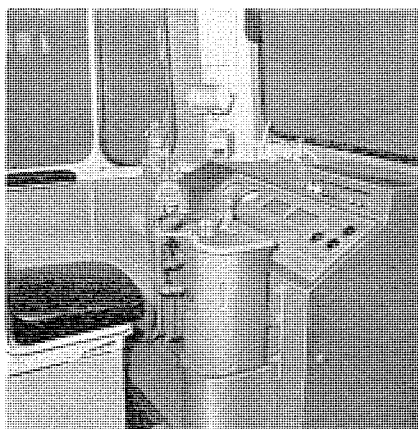
主回路には主電動機回路用単位スイッチ, 逆転器, 弱界磁用分路抵抗器, 空転警報継電器, 接地継電器, 弱界磁継電器, および気圧抵抗器, 機関始動用電磁接触器等が含まれる。

### イ. 制御回路

主幹制御器のハンドル操作により主発電機励磁回路および主回路を制御すると同時に主軸に直結された圧力調整弁で機関調整機制御空気を 0.5~3.2 kg/cm<sup>2</sup> の間に変化させて機関出力の制御を行うことは DD-50 形と変りはないが, 本機関車ではこの制御空気の圧力変化を利用してアクチュエータ操作の気圧抵抗器を設け, 機関車起動時の励磁機他弱界磁抵抗の制御, および弱界磁継電器の各ノッチに適合した動作点の制御に利用した。(後述) ノッチ数は 19 で #17 ノッチが機関連続定格位置である。なおこの機関車は単機運転を原則とするため両運転台とし, DD-50 形に見られ



12 図 DF-50 形ジーゼル電気機関車主回路, 補助回路ツナギ  
Fig. 12. Main circuits and auxiliary circuits of diesel electric locomotive.



13 図 運転室  
Fig. 13. Motor man's cab.

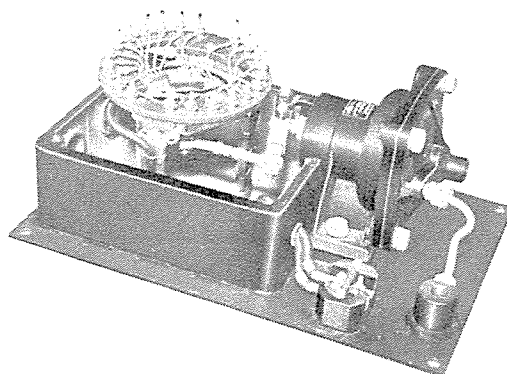
たような機関始動停止、補機の運転を重連総括制御することはせずに回路を簡単化し、将来重連の必要がおきたときはわずかの制御線をジャンパ連結器で接続し、機関制御空気管を引通すことによって、機関调速機、主回路および警報回路のみ重連制御することができるようになっている。この機関車においては励磁機他励界磁制御および主電動機2段弱界磁制御に新方式を採用しているで、これらにつき詳記する。

#### (1) 励磁機他励界磁制御

機関車の起動を円滑にするためにノッチの低い所では励磁機他励界磁を適当に弱める必要があり、このため従来は電磁接触器によって界磁抵抗を順次短絡していたが、起動時のショックを減ずるために多くの起動ノッチを得ようとすれば多数の接触器を要しさらに重連の際も渡し線が増える欠点があった。本機関車では前述機関制御空気を利用したアクチュエータ操作の可変抵抗器（気圧抵抗器）をこの界磁制御に使用し、 $\#1$  ノッチ（空気圧  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ ）では全抵抗を入れ、ノッチ進めに従い多段式の可変抵抗器を順次短絡し、 $\#5$  ノッチ（空気圧  $1.1 \text{ kg/cm}^2$ ）で全部短絡を終るという方式を採用している。この方式は空気操作による多段制御であるから起動はきわめてスムーズで、しかも重連制御の際も渡し線不要という特長がある。

#### (2) 主電動機2段弱界磁制御

ジーゼル電気機関車の主電動機弱界磁制御は主発電機の定出力電圧—電流特性を反復利用して定出力速度範囲を大きくするために行うが、本機関車では客貨万能用と



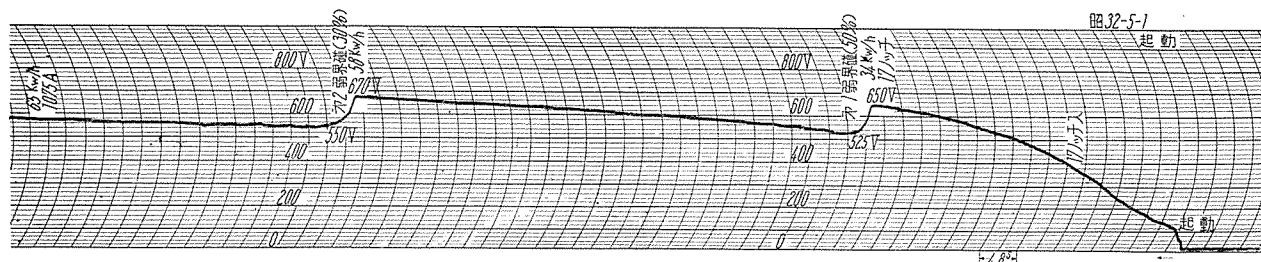
14 図 弱界磁継電器用  
気圧抵抗器  
Fig. 14. Atmospheric  
pressure resistor for weak  
field relay.

するため  $50\%$  および  $30\%$  の2段の弱界磁制御を行って性能を向上させていることは前述のとおりである。加速中の全界磁 $\rightarrow 50\% \rightarrow 30\%$ への移行、および高速運転中勾配等で急に荷が増大した場合の  $30\% \rightarrow 50\% \rightarrow$  全界磁への移行は2つの弱界磁継電器によって自動的に行われる。この2つの継電器は主発電機電圧によって動作する電圧継電器で、第1弱界磁継電器（ $50\%$  弱界磁用）は第2継電器（ $30\%$  用）に比し動作および落下電圧をわずかに低く調整してあるので、加速時電圧が上がって行く場合には第1継電器が先に動作して、全界磁 $\rightarrow 50\%$ へ移行し、いったん電圧は低下し、さらに加速を続けて再び電圧が上がれば第2継電器が動作して  $50\% \rightarrow 30\%$  となる。また  $30\%$  弱めで高速運転中速度が低下するときは電圧下降によりまず第2継電器が落下し  $30\% \rightarrow 50\%$  となっていったん電圧は上がり、さらに減速を続けて電圧が下がれば第2継電器が落下して  $50\% \rightarrow$  全界磁となる。これらの動作は誤動作を起すことなく自動的に行われ、主発電機、主電動機に過負荷を生じることなくきわめて合理的である。弱界磁制御は  $\#11$  ノッチ以上のすべてのノッチで行えるようになっているが、主発電機の定出力最大電圧（6 図 特性の折曲点の電圧）はノッチによってだんだん上って行くので、これに応じて継電器の動作点を変える必要がある。このために直列に接続した2個

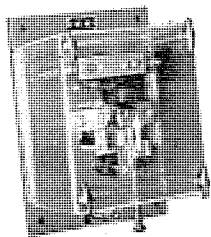
2 表

ノッチ	制御空気 圧 力 ( $\text{kg/cm}^2$ )	主 発 電 機 電 圧			
		第1継電器		第2継電器	
		動作(V)	落下(V)	動作(V)	落下(V)
$\#11$	2.0	520	380	540	397
$\#19$	3.2	680	500	700	515

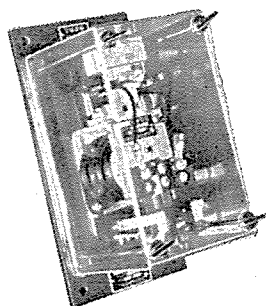
(注) 途中ノッチの動作、引放電圧は各ノッチの空気圧に応じて直線的に変化する。



15 図 弱界磁動作時主発電機電圧自動記録  
Fig. 15. Automatic record of main generator under weak-field operation.



16 図 接地継電器  
Fig. 16.  
Ground relay.



17 図 空転警報継電器  
(弱界磁継電器, 補助継電器も同一)  
Fig. 17. Slip alarm relay.

の継電器の直列抵抗を前項と同様の気圧抵抗器によって加減し、各ノッチに応じた継電器の動作値調整が自動的に行えるようになっている。具体的な数字は2表のごとくなっている。

#### ウ. 補助回路

補助発電機および蓄電池（国鉄標準 TRE 16 形 48 セル）がすべての低圧回路の電源となっている。補助発電機は機関が始動してアイドル回転に達すれば規定電圧を発生し、充電回路を閉じて蓄電池に接続される。機関の運転中は自動電圧調整器の動作でつねに定電圧を維持し、補助回転機、蓄電池充電、制御回路、燈回路の電源となる。補助回転機、およびその他の開閉にはすべて NF 型ノーヒューズ遮断器を使用している。

#### エ. 保安装置、警報装置

保安装置、警報装置は必要最小限度に止めている。

##### (1) 接地継電器

主発電機の端子間に接続した抵抗の中心と大地間に接続し、力行運転中主回路に接地事故（主として回転機の閃絡）が起った場合動作して主回路を開放し、主機関をアイドルに戻すとともにブザーを鳴らす。リセットは手動で行う。

##### (2) 空転警報継電器

直列につながれた2個の主電動機電機子の逆起電力の差によって働き、主電動機空転の際はブザーを鳴らすとともに主回路はそのまま機関をアイドルに戻す。スリップが止まればもとに復する。

一般電気車に見られる過負荷継電器は備えずとも、以上の2種の継電器で主回路は十分保護される。

##### (3) 機関にたいする保護

機関の付属品として油圧、水圧、水温によって動作する継電器を備えている。

潤滑油圧低下 } ……機関停止, 主回路遮断  
冷却水圧低下 }

冷却水温過上昇……機関アイドル, 主回路はそのまま, 水温低下とともに復帰する。

#### (4) 表示燈

機関の運転および主電動機弱界磁の度合を示す3個の表示燈が各運転台にとりつけられている。

#### オ. 制御箱

前記の制御装置の機器はほとんど1つの制御箱内に收容し、第1端の運転室の背部にとりつけてある。前面は開戸となっていてつねに点検を要する機器を配列し、背面は抵抗管等を配列し、防音蓋をボルト締めしてある。このうち各種継電器および気圧抵抗器は透明カバーにより防塵し、つねに確実なる動作を期している。この制御箱は工場で分解修理の際一体として車体外につり出すことを目的としているので、その際多数の制御回路の配線を簡単に分離できるように特殊の接続栓を使用している。

## 8. む す び

当社は DF-50 形ジーゼル電気機関車6両の完成に引き続き、記録的な北陸線交流電化用 ED-70 形イグナイトロン電気機関車 18 両を量産中で、すでに大半の完成をみている。わが国鉄の動力近代化の初年度を飾る交流電化とジーゼル化がいずれも当社の手になる機関車によってスタートをきられることは近來の快事といわなければならないまい。

終りに国鉄工作局、運転局および臨時設計事務所の各位のご指導と新三菱重工技術陣のご協力を深謝する。

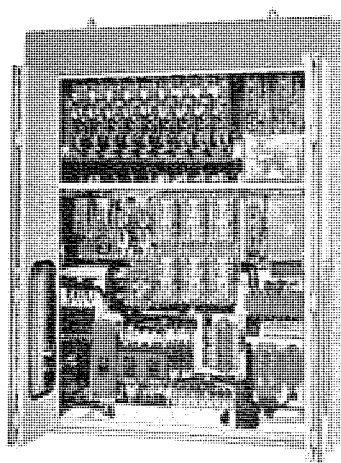
#### 参 考 文 献

- (1) 松田, 浅越 “三菱電機” Vol. 27, No. 7

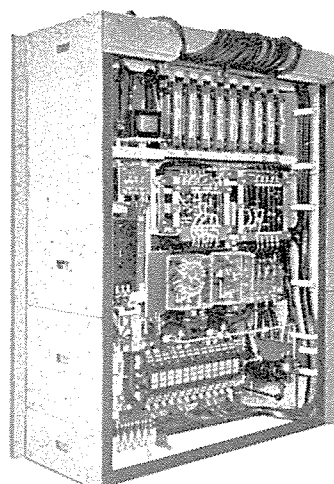
「DD-50 形ジーゼル電気機関車」

- (2) 小山 “三菱電機” Vol. 28, No. 5

「ジーゼル電気機関車用主発電機」



18 図 制御箱前面  
Fig. 18. Control box front.



19 図 制御箱後面  
Fig. 19. Control box back.



# 光沢青化銅鍍金浴中の不純物の影響

研 究 所 立原芳彦\*・秦 卓也\*\*  
名古屋製作所 鬼塚正浩\*\*\*  
和歌山工場 山本友吉\*\*\*\*

## Effect of Impurities in an Electro-Plating Bath of Bright Cyanide Copper

Engineering Laboratory Yoshihiko TACHIHARA・Takuya HATA  
Nagoya Works Masahiro ONIZUKA  
Wakayama Factory Tomokichi YAMAMOTO

During the electro-plating work of bright cyanide copper, impurities come into the electrolyte as the process goes on, accompanied by the work and supply water, or deposit in it after being dissolved from the wall. To obtain the allowable limit of these impurities that lower the brightness of plated surface, to extend the range of the limit and prolong the life of the plating bath without spoiling the brightness, several kinds of organic compound have been investigated of their effect. On the other hand, a method of removing harmful impurities from the solution by means of anion exchange resin has been tried to prove it superior to the conventional continuous refining by active charcoal.

### 1. ま え が き

光沢ニッケル鍍金の普及に伴って、最近交直流併用による光沢青化銅鍍金および亜セレン酸を光沢剤とする光沢青化銅鍍金が行われ、すでにかんりの普及をみるに至り、光沢ニッケル鍍金の下地鍍金として建浴当時は研磨を要せぬほどの光沢鍍金浴が得られている。しかし鍍金作業を重ねるにつれて光沢度が低下してきて研磨作業を不可欠とするのが現状である。これは作業中における不純物の混入によるものであるが、これらの不純物の影響および対策等についての基礎的研究があまりなされていないため、研磨作業不要の完全光沢鍍金作業を持続することは非常に困難であった。

そこで亜セレン酸を光沢剤とする光沢青化銅鍍金液について不純物の影響と対策を調べた。

### 2. 不純物の影響

薬品、電極、用水およびタンク等から混入あるいは鍍金作業中に生成される不純物として、鉄、銀、炭酸根、硫酸根、硝酸根、塩素根および珪酸根を考え、これらが光沢に及ぼす影響をしらべた。

使用した光沢青化銅鍍金液の組成と電解条件を1表に示す。この鍍金液に2表に示した各種不純物を少量ずつ添加して、鍍金面の光沢度を観察して、これら不純物の許容限度を求めた。この結果も2表にまとめた。

鉄—2個か3個かで光沢に対する影響度が4倍も異なる。

銀—0.05 g/l で光沢はあるが白色味の鍍金面にして、0.1 g/l でわずかに光沢度減少する。

炭酸根—従来の報告<sup>(1)</sup>と大体一致した。

硫酸根—0.003 g/l でも鍍金物下端の方がごくわずかに曇り、0.05 g/l でほとんど全面に光沢を失う。

硝酸根—硫酸根ほど感じないが、硝酸加里として10 g/l まで光沢低下せず、40 g/l でほとんど全面半光沢となる。

1 表 鍍金液の組成および鍍金条件

浴 組 成 (g/l)	鍍 金 条 件
青 化 銅 60	電 流 密 度 3 A/dm <sup>2</sup>
青 化 ソ ー ダ 70	温 度 70°C
亜セレン酸ソーダ 0.5	pH 12.4~12.6
ビツト防止剤 10 cc	遊離青化ソーダ 5~10 g/l

2 表 不純物の許容限度と添加方法

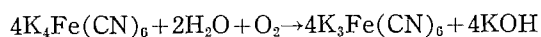
不 純 物	許 容 限 度 (g/l)	添 加 物
Fe <sup>2+</sup>	4	黄 血 塩
Fe <sup>3+</sup>	1	赤 血 塩
Ag <sup>+</sup>	0.05	青 化 銀
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	50 (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> として)	炭 酸 ソーダ
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.003 (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> として)	硫 酸 ソーダ
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10 (KNO <sub>3</sub> として)	硝 酸 加 里
Cl <sup>-</sup>	0.8 (NaCl として)	塩 化 ナトリウム
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	1.2 (SiO <sub>2</sub> として)	珪 酸 ソーダ
Fe <sup>2+</sup> +CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	単独の場合より許容限度が広がる	黄 血 塩 と 炭 酸 ソーダ
Fe <sup>2+</sup> +NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe <sup>2+</sup> の 1 g/l 以上存在で KNO <sub>3</sub> 2 g/l まで	黄 血 塩 と 硝 酸 カリ

珪酸根——電極、薬品中に割合多く含有されているが、従来はあまり問題にされていなかったようである。SiO<sub>2</sub>として1.4 g/lまでは光沢であるが、2.8 g/lになれば初め黒褐色の析出物を生ずるが、鍍膜が厚くなるにつれて光沢になる。しかしこの部分はふくれてくる。

塩素根——これまで報告はあまり見られないが、割合に敏感に作用する。塩化ソーダとして0.8 g/l添加で鍍金面の下部がわずかに曇ってきて、4 g/lで全面半光沢となる。

炭酸根と2価の鉄の共存——単独に添加の場合よりもかえって許容範囲が広がるようである。

硝酸根と2価の鉄の共存——硝酸加里単独添加の場合10 g/l添加まで光沢があったが、この場合鉄の共存のため2 g/l以上では鍍金面に半光沢の部分が現われる。これはつぎのような反応が起り黄血塩が赤血塩に変化するためと考えられる。



そしてこれに必要な酸素はKNO<sub>3</sub>の加水分解および電気分解で生成される。



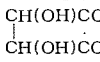
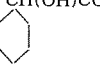

鉄が1 g/l以上存在する際反応式から計算すれば、硝酸加里として1.8 g/l以上では悪影響を及ぼすこととなり実験結果と一致する。

### 3. 添加剤の効果

2 価の鉄よりも3 価の鉄の方が有害であるので、3 価の鉄を2 価に還元してやれば、有害の程度が小さくなると考えて、有害不純物たる赤血塩を15 g/l加えた1表の鍍金液に還元作用のありそうな有機物各種を3表のように添加してその効果を比べた。

添加剤としてはロッシェル塩のようにOH基のはいったカルボン酸すなわちオキシカルボン酸が非常に効果がある。

3表 添加剤の効果

添加剤	構造式	添加剤の効果
ホルマリン	HCHO	10 cc/l 添加で僅かに光沢回復、しかし液を放置すると空色に変色
ハイドロキノン		1 g/l で光沢回復するが、それ以上では悪い。空気中の酸素吸収で液は黒変す
蔞酸カリ		40 g/l でも光沢よくも悪くもならない
葡萄糖	CH <sub>2</sub> OH(CHOH) <sub>4</sub> CHO	10 g/l 添加でかえって無光沢となり鍍金液が無色から黄赤色になる
チオ硫酸ソーダ	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 g/l でかえって無光沢となる
ロッシェル塩		40 g/l で非常に光沢よくなる
マンデル酸		5 g/l で非常によくなる
サリチル酸		4.5 g/l でマンデル酸より効果大

光沢青化銅鍍金浴中の不純物の影響・立原・秦・鬼塚・山本

4表 光沢妨害不純物に対するロッシェル塩およびマンデル酸の効果

添加剤	添加量 (g/l)	鍍金液中有害不純物許容量	
		Fe <sup>3+</sup> (g/l)	NaCl (g/l)
なし	0	1	0.8
ロッシェル塩	50	8	7
マンデル酸	10	16	35

5表 水酸化バリウムによる珪酸塩除去

鍍金液の状態	鍍金液中の SiO <sub>2</sub> 量 (g/l)
鍍金液へ珪酸ソーダを添加したまま	2.52
水酸化バリウムをさらに添加して濾過後	1.53

つぎに光沢に有害な鉄や塩素根含有の光沢青化銅鍍金液にロッシェル塩、マンデル酸等を添加して光沢度回復の効果をしらべた結果を4表に示す。これによればマンデル酸、サリチル酸の方がロッシェル塩よりも非常に効果がある。なお光学活性体の d, l いずれか一方が d-l 型混合物よりも効果が大きい。

### 4. 従来の不純物除去法の効果

冷却法——冷却析出除去法は不必要な塩が鍍金液中に生じない利点があるが、炭酸ソーダ、黄血塩等特定の不純物に限られ、また冷却装置に大きな費用を要する。光沢青化銅鍍金液の pH 調節のためには苛性加里を使用するので、炭酸加里が生成するが、これはこの冷却法では除去できない。

沈澱剤添加法——不注意に添加すると鍍金液中に残存して、かえって逆効果を示す。鉛、亜鉛、カドミウム、銀には硫化ソーダを沈澱剤として使用するが、亜セレン酸の光沢青化銅鍍金液では、硫黄化合物は非常に悪影響があるために使用しない方がよい。炭酸根、硫酸根は水酸化バリウムの沈澱剤で除去できるが、硫酸根の許容限度まで除去することは困難であろう。

珪酸塩は濾過機を用いて布で濾過すると徐々に除去できると報告<sup>(2)</sup>されているが、許容限度まで除去することができない。そこで水酸化バリウムを沈澱剤として加えて、珪酸バリウムとして除去可能か調べた結果5表のようになった。

許容限度まで除去のようであるが水酸化バリウムを過剰に加えなければならないので、バリウムの悪影響が出てくる。

活性炭法——活性炭層濾過のみでは光沢度が回復しないことが往々経験されるが、これはタンク壁、配管等に使用したプラスチックあるいは可塑剤が溶出して種々の分子量の有機分子が生じ、活性炭粒子を被覆してしまつてその後は吸着されず通過するためと考えられる。

電解法——鉛、ニッケル、銀等は電解法で除去できて、硫酸根は除去できないといわれていたが、光沢青化銅鍍金液へ硫酸ソーダ 0.005 g/l 添加した場合半光沢鍍金と



6 表 イオン交換樹脂による不純物除去率

不純物 (g/l)	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	遊離 NaCN	金属銅
樹脂通過前	8.4	14.95	6.29	5.30	4.70	35.47
" 後	5.1	10.05	5.14	2.65	5.10	18.75
除去率(%)	39.2	32.8	18.2	46.2	-10.4	49.8

なる液も 1 A/dm<sup>2</sup> で電解浄化後完全な光沢鍍金面をうることができた。

## 5. イオン交換樹脂による不純物除去法の効果

炭酸根、硫酸根は水酸化バリウムの沈澱剤で除去できるが、珪酸根、硝酸根はほとんど除去することはできなく、またロッシェル塩等オキシカルボン酸を添加する光沢鍍金の光沢度回復もしくは向上の方法でも、鉄、塩素根の許容限度を広げるだけで、不純物除去の効果はない。そこで不純物の絶対的除去法としてイオン交換樹脂層通過による吸着を試みた。光沢銅鍍金の場合は陰イオン性不純物の影響が意外に大きいことが既述のようにわかったので、まず陰イオン交換樹脂を用いた。

イオン交換樹脂.....ダイヤイオン SA#100 1 型  
(強塩基性陰イオン樹脂)

樹脂層.....28 φ×500 mm

流速.....5.5 cc/min

流量.....250 cc

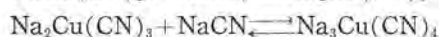
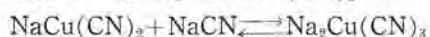
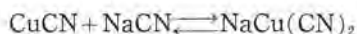
光沢青化銅鍍金液に、塩化ソーダ、硫酸ソーダ、珪酸ソーダを含有せしめた鍍金液の陰イオン交換樹脂層通過後の含有減量をしらべた。その除去率を 6 表に示す。

不純物はある程度除去できるが、主成分たる銅を約 50 % も吸着するから、青化銅を補充してやる必要がある。遊離青化ソーダ量が増すのは  $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$  として存在している銅が  $\text{Cu}(\text{CN})_2^-$  として樹脂に吸着されるからであろう。実際の不純物量は 6 表ほど多く含有されていないから、流速を速くすることができるので、銅の損失はそれほど多くならない。

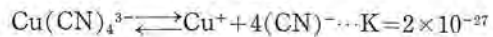
実際、不純物の絶対除去という観点からして、活性炭層過あるいはロッシェル塩添加を行っても鍍金面の光沢がよくならなかった不純な光沢銅鍍金液に、このイオン交換樹脂を用いて光沢回復の効果がいちじるしかった。

## 6. 光沢鍍金機構の考察

鍍金液の成分すなわち青化銅は水には不溶であるが、青化ソーダ溶液には溶解してつぎのような錯塩ができる<sup>(3)</sup>。



この反応は速くて青化銅を加えるとすぐに上記の錯イオンが形成される。そして鍍金浴中でこの錯イオンはまた次式のように解離している。



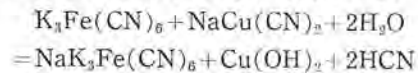
陰極のごく近傍の様子を考えると、この銅イオンは陰極面で放電し  $\text{Cu}^+ + \ominus \longrightarrow \text{Cu}$  となり陰極上に金属銅として析出し、結晶核を生じ、ここから結晶が成長し結晶粒の配列が鍍金面となる<sup>(4)</sup>。

結晶核の発生が頻繁であれば結晶の成長は遅く、小粒の結晶が多数生ずるのに反し、結晶核の発生がまれで成長が速ければ少数の大粒の結晶を生ずる<sup>(5)</sup>。そこで光沢鍍金面をうるためには結晶核の発生を多くし結晶の成長を遅らせることが必要である。

光沢青化銅鍍金の光沢度に有害な作用のある不純物としての鉄塩がこの光沢機構の必要条件にどのように影響するかを考えてみよう。

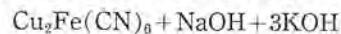
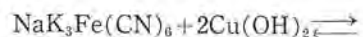
われわれの実験では鉄塩(黄血塩)添加の場合は 3 価の鉄塩(赤血塩)添加の場合よりも、光沢に対する有害作用は小さい。これに対しつぎのような考察を行った。

赤血塩を鍍金液に 15 g/l 加えた場合、鍍金液の色は添加時には橙色であるが、時間の経過とともに黄色となってきて、pH が 12.8 から 8 (東洋汙紙 CR) まで低下し、遊離青化ソーダが 9.3 g/l から 6.4 g/l まで減少してくることから次式の反応が考えられる。



1 価の銅を酸化して、赤血塩自身は還元されて黄血塩になり青酸が生じ青酸ガスとして逃げるから、遊離青化ソーダ量が減少する。もし液中に苛性ソーダが存在すれば  $\text{NaOH} + \text{HCN} = \text{NaCN} + \text{H}_2\text{O}$  の反応で pH が低下するものと考えられる。

また鍍金液へ 3 価の鉄を含むフェリシアンイオンを添加すれば 1 価の銅イオンが 2 価の銅イオンに酸化されることは、これらイオンの酸化還元電位の値からも容易に理解される。そしていったん酸化された 2 価の銅は、もはやシアン錯基として存在せず、つぎのような反応で単独の銅陽イオンとして存在し、錯基の銅よりも解離度が大きい。



したがって鍍金液中の銅陽イオン濃度が大きくなり、陰極面の放電しやすい場所で結晶の成長が速くなり、結晶核の新生が少くなるので結晶粒は大きくなる<sup>(6),(7)</sup>。また塩素イオン、硝酸イオンなどが存在すればやはりこれら銅化合物( $\text{CuCl}_2^-$ )の解離度はシアン錯基( $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ )よりも大きいので<sup>(8)</sup> 結晶核の発生少く結晶生長速度大きくなり、光沢が悪くなる。

鉄の存在による光沢度低下現象をこのように解釈した場合、オキシカルボン酸添加で光沢度が回復する現象はいかなる機構によるものか検討してみるに、ロッシェル塩添加よりもマンデル酸さらにはサリチル酸の方が効果が大きい。これらオキシカルボン酸が 2 価の銅イオンを





記のような化学結合力の差から説明できる。

つぎに光沢青化銅鍍金液における亜セレン酸ソーダの挙動を考えるに、野田氏<sup>(16)</sup>は電着物のスペクトル分析にてセレンは認められなかったと報告されているが、亜硫酸ソーダ、重亜硫酸ソーダを加えて光沢をよくする方法があり<sup>(12)</sup>、われわれの実験で硫酸根が電解で除去されるのは硫黄が銅と一緒に析出するからと考える。セレンも硫黄と同様に析出して結晶を小さくするのであろう。

しかしその量が極微量であるためスペクトル分析にて検出されなかったのではないかと考える。

## 7. 電子顕微鏡による確認

光沢青化銅鍍金液による鍍金面、これに不純物として鉄、炭酸根を加えた液による鍍金面、さらにマンデル酸を添加した液による鍍金面および普通青化銅鍍金液による鍍金面を電子顕微鏡で観察した。電子顕微鏡試料作成はエチルメタアクリル・アルミニウム2段キャストレブリカ法によった。鍍金液の組成および電鍍条件を7表に、また鍍金面の写真を1図に示す。この写真から普通の銅鍍金液から得た鍍金面に比べて、光沢青化銅鍍金液から得た鍍金面は結晶粒が非常に小さく、面は平滑である。またマンデル酸は鍍金液中の有害不純物としての鉄の悪影響を抑制し鍍金面を平滑にする作用を持つことがわかった。

## 8. む す び

研磨作業不要の光沢銅鍍金を目的として、光沢青化銅鍍金液中に混入を予想される各種不純物が鍍金面の光沢度に及ぼす影響をしらべてみた。その結果従来あまり注意されていなかった陰イオン性不純物の影響が意外に大きく、陰イオン交換樹脂による有害不純物の除去<sup>(10)</sup>は活性炭過法と併用するならば光沢度の維持に大いに役立つが、鍍金液中の銅分を減らすので注意しなければならない。有害不純物の影響を抑える作用をもつ添加物としてマンデル酸、サリチル酸あるいはその他の各種オキシカルボン酸<sup>(17)</sup>(あるいはこれらを生じうべきアルデヒド、ニトリル)の効果を比べてみると、2価の銅と結合して

安定な銅錯塩あるいは錯基を作るものほどよいことがわかった。また同様に安定な銅錯塩を作るアミノ酸も大いに効果があった<sup>(18)</sup>。上記の諸方法を用いることによって光沢青化銅鍍金液の寿命はいちぢるしく長くなるが、完全光沢鍍金の第1条件は何といっても不純物を混入させないことである。

終りにこの研究に終始ご援助をいただいた和歌山工場宇都宮工場長、中村工作課長、落合副課長に厚く感謝する次第である。

なお本研究の一部は電気化学協会にて昭和32年4月25日講演発表した。

## 参 考 文 献

- (1) 金属表面技術協会 現場パンフレット  
昭和31年5月号 P.17
- (2) M. B. Diggin The Purification of Electroplating Solutions (村田産業 KK 翻訳発行)
- (3) G. Gabrielson Metal Finishing, Feb. p. 60 (1954)
- (4) 山本洋一 電気めっきの基礎知識 p. 129
- (5) 亀山直人 電気化学の理論および応用上巻 p. 460
- (6) 同 上 同 上
- (7) J. J. Dale Metal Finishing, July p. 52 (1954)  
電着金属の構造 (抄録訳金属表面技術協会関東支部  
1955年2月発行)
- (8) 亀山直人 電気化学の理論および応用上巻 p. 463
- (9) 久保田正夫 日本化学会誌 昭和15年12月 p. 1261
- (10) 野 田 Bright Cyanide Copper Plating.  
Science & Industry (Japan) 28, 310-11 (1954)
- (11) 山本洋一訳 現代電気めっき技術 p. 209
- (12) 秦, 鬼塚, 山本 技術メモ No. 13,600号 光沢青化銅鍍金の研究
- (13) 秦, 鬼塚, 山本 技術メモ No. 13,663号 光沢青化銅鍍金浴の維持および管理
- (14) 秦, 鬼塚, 今村, 井上 技術メモ No. 13,683号 光沢青化銅鍍金面電子顕微鏡観察
- (15) 秦, 鬼塚, 伊藤 技術メモ No. 13,699号 光沢青化銅鍍金槽
- (16), (17), (18) 特許出願中

# 交流型アナログコンピュータ

無線機製作所 石井 茂\*・添田 実\*

## A-C Analog Computers

Electronics Works Shigeru ISHII・Minoru SOEDA

Majority of current analog computers are of a d-c type, i.e., a system to express numerical values by instantaneous values of physical quantity. Those used in general as of an electron tube system or combined with mechanical elements come under this category. But an a-c type making use of the amplitude of a-c voltage can be built provided that proper elements for a-c calculation are available. A computing condenser, a new element to this end, is introduced here as a key to bring the idea into reality and fundamental circuits employed by the writers are also accounted for.

### 1. ま え が き

計算コンデンサは交流型のアナコムにおいて種々のすぐれた性質をもっており、将来この使用によって計算機はもちろん、自動制御や測定装置に大きな利益を与えると期待される。しかるに現在その使用例はほとんどない状態である。本文は計算コンデンサについて紹介するとともに筆者らの使用した基本回路についてその使用法を解説する。

### 2. 交流型アナログコンピュータ

アナログコンピュータ(計量型計算機)は、その大部分が直流型、すなわち物理量の瞬時値によって数値を表現する方法に属する。一般に広く使用されている電子管式のアナコムは直流型であり、その他機械要素と組合せて構成される計算機もまた大部分はこの型のものである。

しかし、瞬時値だけが数値を表現する資格をもつものでなく、交流型と称すべき型もまた可能である。これは数値を交流の振幅であらわすものである。たとえば、交流電圧

$$E = A \sin(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots (1)$$

を使用し、 $\omega$  および  $\varphi$  を一定に保ったとき、 $A$  によって数値をあらわす。 $A$  はもちろん他のある量(たとえば時間)の函数として変りうる。この表現法は直流型に比べて理論的にはなんら異ならない。さらに、 $\omega$  および  $\varphi$  も変えらるので、Vector 計算が可能であることが知られている。

以上述べたように、交流式は理論的にはすぐれた表現能力をもつ表現法といえることができるのであって、もしすぐれた演算要素が得られれば、この方式もまた直流型と並んで広く実用される可能性をもっている。

また、交流型は、直流式において悩まされるドリフトの問題がなく、高利得の増幅も容易であり、これらは大きな利点である。

交流型のアナログコンピュータがこれまであまり製作

されなかった理由として、その演算要素——たとえば微積分を行う要素によいものがなかったことがあげられる。また浮遊容量やインダクタンスなどにより、演算要素の直線性、安定性、再現性等に問題が多く、さらに実数領域での計算機としては  $\varphi$  を相当厳密に一定に保たねばならぬため、計算機全系にも注意が必要である。

現在、交流型の微積分装置としては、直流型のそれに匹敵するものはなく、このため微積分を含む交流型の計算機を、純電氣的に構成することは困難である。ある程度信頼できる要素として交流タコメータがあるが、これを使用するにはいわゆる Electro-mechanical Computer とならざるをえない。しかし、単能計算機の多くは、機械量として数値をあらわすことも多く、またこの方が構成に便利ながため、このような分野で交流型は広く使われる可能性がある。

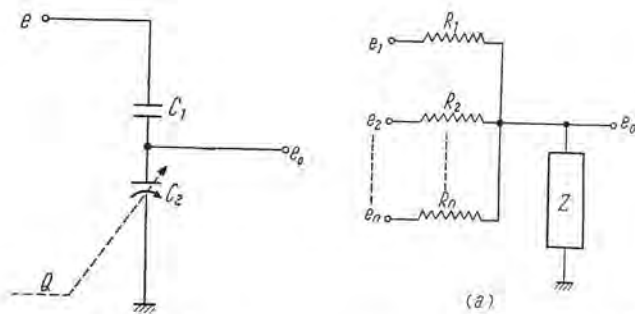
問題をこの分野の計算機に限ると、つぎに問題となるのは、代数演算を行う演算要素であって、普通に必要なのは、加減乗除の4則演算および函数記憶の要素である。加減については、直流型における演算増幅器に相当する増幅器を使用することができるが、乗除および函数記憶について、従来満足すべきものは少なかった。本文で解説する計算コンデンサはこの要素としてすぐれた性能を有するものであって、交流型のアナコムに画期的な進歩をもたらすものであると思われる。

### 3. 計算コンデンサ

#### ア. 原 理

乗算および函数記憶に使用される演算要素のうち、インピーダンスを変化させる方法を用いるものが多くつかわれている。この方式は、インピーダンス自体が割合安定なため、すぐれた方式といえることができる。たとえば、ポテンショメータは、機械的入力量(回転、変位)によって抵抗値を変えるものであり、こうすることによって

\* 機器製造部



1 図 Fig. 1

乗算は容易に行いうる。また機械的入力量と、抵抗の変化とがある関係になるようにつくれば、その函数を表現したことになる。(たとえば Sine-Cosine Potentiometer はその一例である)。またインダクタンスを変えるものとして、たとえば Synchro resolver をあげることができる。(相互インダクタンスの変化)。

しかし、インピーダンスの変化法中、精度や耐久性等からみてもっともすぐれているものは容量変化法であろう。その使用の一例を示すと 1 図のようになる。図中  $\theta$  は、回転角である。入力電圧  $e$  と出力電圧  $e_0$  とは

$$e_0 = \frac{C_2}{C_1} e \quad \dots\dots\dots (2)$$

の関係を持ち、これは乗算の機能を有することがわかる。すなわち、

$$C_2 = k\theta \quad \dots\dots\dots (3)$$

となるようにコンデンサ  $C_2$  を製作しておけば、(このとき  $C_2$  は直線函数を記憶しているものと考えられる) 1 図は、 $\theta \times e$  の演算を行う。

$$e_0 = \frac{k}{C_1} (\theta \times e) \quad \dots\dots\dots (4)$$

また

$$C_2 = kf(\theta) \quad \dots\dots\dots (5)$$

となるように  $C_2$  をつくっておけば、 $C_2$  は函数  $f$  を記憶する装置と考えることができ、1 図の回路によって、

$$e_0 = \frac{k}{C_1} \{f(\theta) \times e\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

の計算を行うことができる。

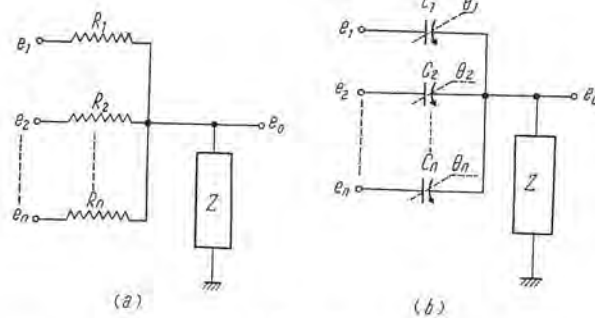
容量はまた、直流型アナコムにおける加算抵抗に相当する役割を果すことができる。その対応は 2 図 (a), (b) に示す回路によって明らかであろう。

2 図 (a), (b) においてつぎの式が成立つ。

$$e_0 = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} \left( \frac{1}{Z} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \right) \quad \dots\dots\dots (7-a)$$

$$e_0 = \sum_{i=1}^n e_i C_i \left( \frac{1}{j\omega Z} + \sum_{i=1}^n C_i \right) \quad \dots\dots\dots (7-b)$$

すなわち (a), (b) どちらの回路でも加算を行うことができるが、(b) においては加算の項が



2 図 Fig. 2

につれ、 $e_0$  と和  $\sum e_i C_i$  との比例係数が変わるという不都合がある。これはもちろん Feedback Amplifier をいれることによって除去することができる。

3 図に示す回路をつかうと、 $e_0$  と  $e_1 \dots e_n$  との関係は、増幅器増幅度  $A$  が大きいときは

$$e_0 = -Z_0 \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{Z_i} \quad \dots\dots\dots (8)$$

が成立ち、 $Z_0, Z_1 \dots Z_n$  を、すべて容量  $C_1 \dots C_n$  で置きかえ、

$$Z_i = 1/j\omega C_i \quad \dots\dots\dots (9)$$

とすると

$$e_0 = \frac{-1}{C_0} \sum_{i=1}^n e_i C_i \quad \dots\dots\dots (10)$$

を得る。2 図 (b) に示すように  $C_1 \dots C_n$  が機械的回転角  $\theta_1, \dots, \theta_n$  によって変るものとし、

$$C_i = f_i(\theta_i) \quad \dots\dots\dots (11)$$

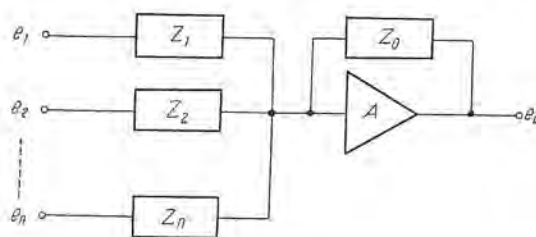
とすると

$$e_0 = \frac{-1}{C_0} \sum_{i=1}^n e_i f_i(\theta_i) \quad \dots\dots\dots (12)$$

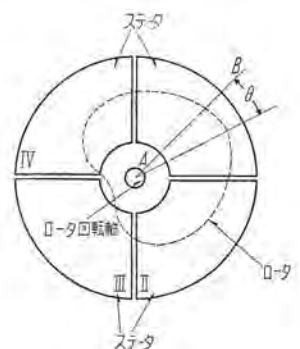
を得る。このように容量は、普通の抵抗回路と同様に使用できる。回転角  $\theta$  を与えたとき容量  $C$  が  $\theta$  のある函数  $f(\theta)$  として、精密に与えられる素子が、ここにいう計算コンデンサであって、その構造はつぎのようになっている。

### 1. 構造

計算コンデンサは 4 図のように、1 つのロータと数個の Section に分けられたステータとからなっている。そしてロータが回転軸のまわりに回転するにつれて、ロータとステータ I (または II, III, IV) との間形成する容量は、

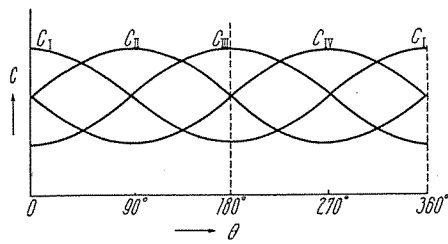


3 図 Fig. 3

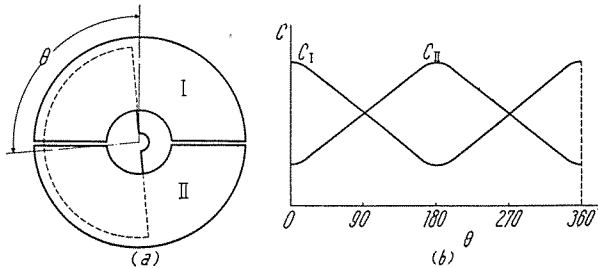


4 図 Fig. 4





5 図 Fig. 5



6 図 Fig. 6

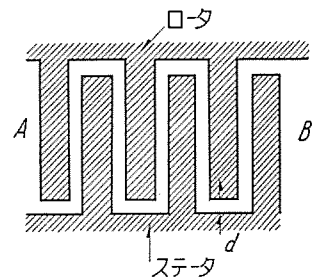
ータの形によってきめられるある函数関係によって変る。ロータが 4 図に示す形であれば、回転角  $\theta$  に関しおおよそ 5 図のように変化するであろう。

また、ステータを 2 つの Section にわけ、ロータを 6 図に示すように扇形とすれば、直線関係を得ることができる。

実際の計算コンデンサではステータおよびロータには楕形のみぞがついており、互にその溝にはまりこんだまま回転するようになっている。これによって、ロータとステータとの間の容量  $C_I, C_{II}, C_{III}, C_{IV}$  は単に平板をむかい合せたものよりはるかに大きくなり、数百  $\mu\text{F}$  を得ることも困難でない。この状況を示すため 4 図 A—B 切断面を書くと 7 図の如くなる。容量を大きくするには、空隙の寸法  $d$  は相当小さくしなければならず、また厳密な函数関係を満足するためには、空隙寸法はロータの回転につれ変化してはならない。精密な計算コンデンサをつくるため、工作上つぎの考慮が必要である。まず、できるだけ軽量小形につくるため材料として耐食アルミニウムが適している。また前に説明したように、7 図空隙寸法  $d$  ができるだけ精密に得られるよう仕上げなければならない。たとえば計算コンデンサの精度を 0.01% ~ 0.005% に要求すると、 $d$  は  $\pm 0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$  程度の許容差で製作せねばならない。(これは、ステータおよびロータの寸法および組立時の調整双方に要求される許容差である。)

このため各部品は、それぞれ厳密な公差のもとに慎重に工作する必要がある。とくにロータとステータの製作は、単に旋盤でシングルポイントツールを用いて行う方はで法、1 条の溝は満足に加工できても、つぎの溝を加工する場合、その切削刃で前に成型した部分を変形させるおそれがあり、たとえそれが、スパーサの挿入とか、切削条件の改善等で防止できたとしても、溝数が 10 本を超えるような場合、在来の旋盤精度でもって、ピッチ

精度が前述の許容差内におさまるかどうかいささか疑問である。さらに治具中ぐり盤高級フライス盤などで精密ボーリングヘッドを使用して 1 溝あて加工してゆく方法とか、精密旋盤でホローミル系統を用いてい



7 図 Fig. 7

全溝を加工する方法等が考えられるが、前者はやはり切削刃の問題が付随してくるであろうし、後者の場合はホローミルの精度が即製品の精度になるので、この場合ホローミル製作の精度をどこまで高めうるかが重要な点である。なおホローミルは 1 組 2 種類が必要である。

また材料の内部歪を除去するために、加工前に適切な熱処理を行うことは、このような精密機器に用いる部品には不可欠な操作である。

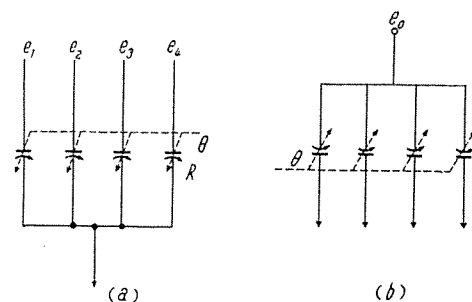
以上のべたほかにロータの形がある複雑な曲線によってきめられるため、相当の問題があると思われる。しかし、いちどある函数関係を精密に満足するよう製作されれば、その寿命はほとんど無限であり、また経年変化が少いため精密度の低下の心配も非常に少い。

## ウ. 使用法

計算コンデンサの使用法にはふたとおりある。1 つは、ステータに入力電圧  $e_1, e_2, \dots, e_n$  を供給し、ロータを出力端子とする方法であり、8 図 (a) に示す。も 1 つの方法は、その逆にロータに入力電圧  $e$  を与え、ステータを出力端子とするものであり、8 図 (b) に示す。図はいずれも 4 個のステータをもつ場合を示してある。

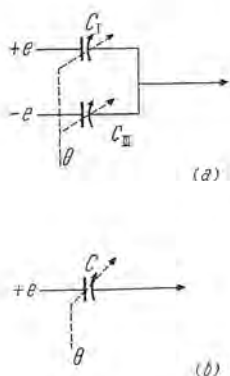
この 2 つの方法を以下、例によって説明しよう。6 図 (a) の計算コンデンサは、本来 linear になるような構造をもつものであるが、実際には stray capacity のために、6 図 (b) に見るように直線関係は回転範囲の大部分にわたって得られるに止まり、範囲の両端付近ではこの関係を満たさない。また容量は正の値しか表現できないことは当然であり、このため使用に制限がある。このことは、8 図 (a) の回路を 9 図 (a) のように使うと、解消する。すなわち  $C_I$  と  $C_{III}$  とを

$$\begin{aligned} C_I &= f(\theta) \\ C_{III} &= f(\theta + 180^\circ) \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$



8 図 Fig. 8





9 図 Fig. 9

となるように構成し（これはステータ I, II を全く同じ形につくって, 180° ずらせて置けば, つねに成立つ）ステータ I および III にそれぞれ +e および -e の電圧を与えれば, この回路は 9 図 (b) において C が

$$C = C_I - C_{III} = f(\theta) - f(\theta + 180^\circ) \dots \dots (14)$$

であるときと等価な回路であることは明かであろう。このようにして等価的に負の C をつくることもできる。また, stray capacity の影響が除去されることは (14) 式と 6 図 (b) とを参照すれば明かであろう。

8 図 (b) の使用法の一例としては 10 図に示す回路がある。10 図において

$$\left. \begin{aligned} C_I &= C_0' + k \cos \theta \\ C_{II} &= C_0'' + k \cos (\theta + 90^\circ) = C_0'' - k \sin \theta \\ C_{III} &= C_0' + k \cos (\theta + 180^\circ) = C_0' - k \cos \theta \\ C_{IV} &= C_0'' + k \cos (\theta + 270^\circ) = C_0'' + k \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots (15)$$

となるように計算コンデンサを製作すれば, (このような計算コンデンサを Sine-Cosine 計算コンデンサと呼ぶ)

(10) 式から

$$\left. \begin{aligned} e_{01} &= \frac{-1}{C_0} \{ e(C_0' + k \cos \theta) - e_1 C_1 \} \\ e_{02} &= \frac{-1}{C_0} \{ e(C_0' - k \cos \theta) - e_2 C_2 \} \end{aligned} \right\} \dots \dots (16)$$

したがって, 出力  $e_0$  は

$$e_0 = \frac{-2k}{C_0} e \cos \theta - \frac{1}{C_0} (e_1 C_1 - e_2 C_2) \dots \dots (17)$$

となり  $e \cos \theta$  に比例した項をうることができる。ここで,  $e_1, e_2$  および  $C_1, C_2$  は任意と考えたが, これが上と同様に

$$\begin{aligned} e_1 &= e_2 = e' \\ C_1 &= C_1' + k' f(\theta') \\ C_2 &= C_1' - k' f(\theta') \end{aligned}$$

ならば (17) 式は

$$e_0 = -\frac{1}{C_0} \{ 2ke \cos \theta + 2k' e' f(\theta') \} \dots \dots (18)$$

の形となり, 関数の乗算および加算を同時に行うことができはなはだ便利である。

## エ. 特長と応用範囲

計算コンデンサの特長としては前にもふれたが,

(1) きわめて精度の高いものを作りうること。

( $\frac{1}{1,000}$  以上の精度は容易である。)

(2) 高精度の割に小形に作りうること。

(3) 構造上摩擦部分がないので回転所要トルクは小さく, 寿命は永久的である。

(4) Linear, Function 等種々の函数のものを作りうること。

(5) 原理上巻線形ポテンショメータのような階段状変化をしないこと。

(6) A-C System に使うのに便利なこと。

(船舶, 航空機等の交流配線化の傾向に合致)

等があげられる。

一方欠点としてはほとんどなく, しいてあげれば,

(1) 函数の変更が不可能なこと。

(2) D-C System で使う場合 DC-AC, AC-DC の変換が必要なこと。

(3) 精度の低いものが割高であること。

などがあげられるが, (1)(2) は欠点というほどのものではなく, やや欠点らしい点としては (3) のみであろうが, 高精度ではかえって割安となるので, これもたいした欠点ではない。

以上の特長を利用して従来のポテンショメータ, レゾルバあるいはトランスジューサ等の相当分野に進出可能である。

その用途としては, 角度を正確に電気的量に変換するトランスジューサとして, Function Generator (函数記憶) としての作用, 精密な可変要素としての性質等から測定装置, 自動制御および計算機の各分野にわって, 非常に広い用途がある。とくに, 小形で精密な点を生かし, また交流計算回路を使用することに着目するとき, 航空機における計算装置や自動制御の要素として重要な役割を演ずるものと考えられる。

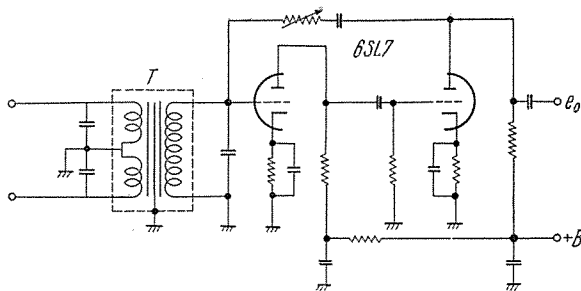
## 4. 計算コンデンサを使用した計算回路

以上計算コンデンサの概要を述べたが, 本節では 10 図の回路を例にとって, 具体的構造をやや詳細に論ずる。もちろんここに述べる回路は, これ以外の計算にも広く応用しうるものである。10 図の計算回路においてもっとも重要なものは (16) の 2 式の差をとり (17) 式に示す  $e_0$  を求める回路であるから, まずこの回路について述べ, ついで一例により計算機の System とについて説明する。

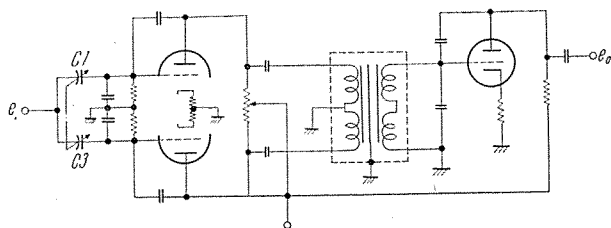
### ア. 基本回路

(1) 差動トランス方式 (11 図)

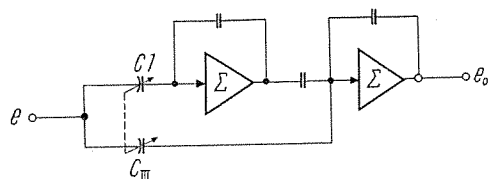
本方式は非常に簡単のようであるが, トランスの製作には周到的な注意を払わねばならず, その上外部磁界の影響を受けやすいので, シールドがとくにめんどろである。ただしシールドさえ完全に施すならば, 安定で正確な方



11 図 Fig. 11



12 図 Fig. 12



13 図 Fig. 13

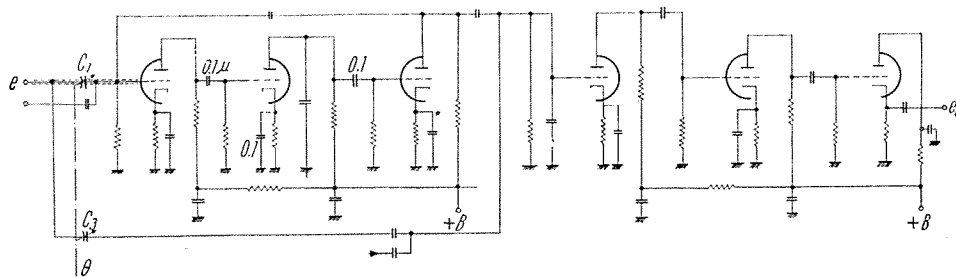
式の 1 つであるということができる。

入力信号  $e$  に商用周波数の電圧を用いる必要のあるときには外部磁界の影響はとくにいちじるしいが、400 c/s 以上の電圧を用いるならば、シールドはさほどめんどうでなく、Filter を入れることによって、商用電源の影響から免れることができる。

差動トランスより後段の増幅器は Noise の少ない安定なものでなければならぬことはもちろんである。また外部磁界の影響を小さくする方法としては計算コンデンサから出た信号を安定な増幅器で増幅したのち、差動トランスを用いる方法もある。(12 図)

## (2) Sign Changer を用いる方法

演算増幅器を Sign Changer として用いる方法であって、Sign Changer において極性が反転するので、13 図で明かなように、2 つの Signal の差が得られる。具体的な回路例を 14 図に示す。



14 図 Fig. 14

この方式はほぼ同じ増幅器 2 台をつかって構成されるが、Sign Changer で位相が完全に反転しないことにより、誤差が加わり、また 2 つの Channel が balance していないという欠点がある。

## イ. 基本回路の応用

以上述べた基本回路はそのまま一種の計算機を構成するが、つぎに代数方程式解法器としての一例をあげ、基本回路の応用例を示す。いま 15 図の三角形において、 $a$ ,  $b$ , および  $\theta$  を与えて  $\varphi$  を求める問題を考えよう。

$$a \sin \theta - b \cos \varphi = 0 \dots \dots \dots (19)$$

これには (19) 式を解く Equation Solver を考えればよい。その Schematic diagram を 16 図に示す。

このときにおくる問題を具体的に述べよう。交流型のアナコムにおける問題の 1 つは、計算回路に最適の周波数と、Motor に最適の周波数が、必ずしも一致しないことである。

たとえば計算回路にはおおむね 1,000 c/s 程度が適しているのに、Motor はその特性上 1,000 c/s のものは望ましくない。できれば 50~60 c/s 程度のものが望ましい。したがって、両者の周波数を合致させるための Frequency Changer が必要となる。この両周波数変換の媒介周波数としてももっとも容易なものは直流である。すなわち、いったん、直流に変換し、その後これを Modulator によって任意の周波数に変換する。

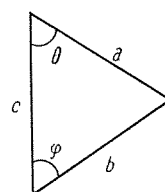
つぎに、前記基本回路の出力  $e_0$  を直流に変換する方法の一例をのべる。

17 図に示すように、2 つの信号を、それぞれ負帰還をほどこした増幅器で増幅したのち、ゲルマニウムダイオードで整流する方法である。使用回路例を 18 図に示す。

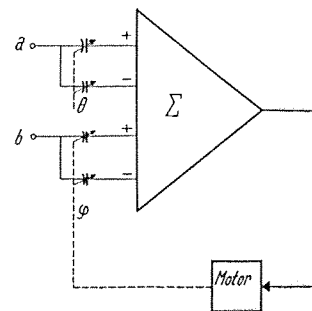
16 図、または、これに類似の Computer を構成するには、D-C 電圧によって、Servo Motor を回転させるための変調回路（たとえばチョップ回路）や、サーボループの問題があるが、これらはほかに、詳しくのべられているので一切を省略し、最後にこの回路を用いて解いた数値例をのべる。

15 図において  $C=$ 一定  $2a=b$  ( $a$  は任意) の条件で、 $\varphi$  を与えて  $\theta$  を測定した結果を 1 表に示す。

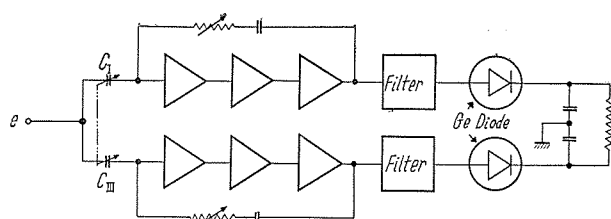
誤差はおおむね  $0.3^\circ$  以内にはいつている。



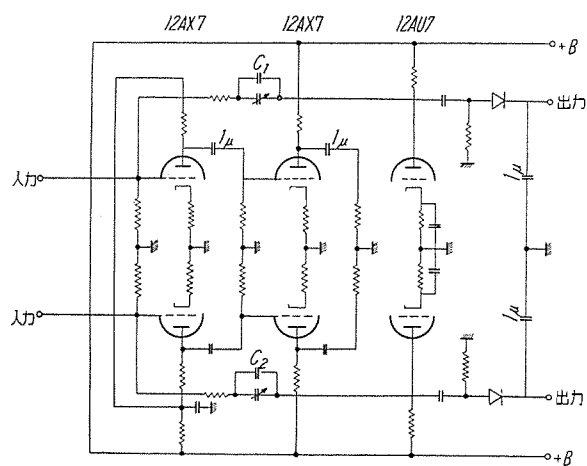
15 図 Fig. 15



16 図 Fig. 16



17 図 Fig. 17



18 図 Fig. 18

1 表

$\theta$ (度)	$\rho$		誤差 (度)
	理論値 (度)	測定値 (度)	
10	4.95	4.7	0.25
30	14.3	14.0	0.3
50	22.5	22.6	-0.1
70	28.0 <sub>5</sub>	28.0	0.0 <sub>5</sub>
90	30.0	30.0	0.0

## 5. む す び

以上計算コンデンサの概要を説明し、ついで若干の使用例を述べた。もちろん計算コンデンサの応用はこれ止まらず、多種多様の計算器に応用できるものであることは、以上の説明から明かになったものと思う。その特長を生かした応用が数多くあらわれて交流型の Analogue Computer の発達をもたらすことを希望してやまない。

最後に終始、懇切にご指導をいただいた当社無線機部、香取課長、三谷課長付を始め、ご協力を賜った設計工作、実験室の各位に深甚なる感謝と敬意を表する次第である。

# 質量分析装置用電子管回路

研 究 所 後 藤 正 之\*

## Electronic Circuits in Mass Spectrometry

Engineering Laboratory Masayuki GOTO

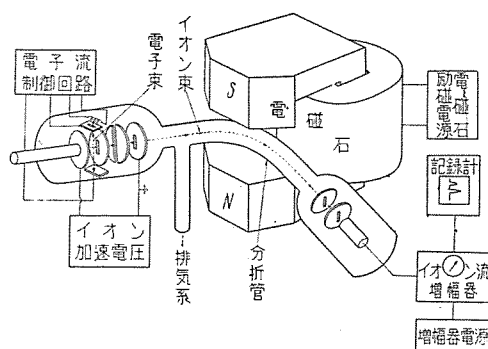
With the latest spectacular development electronics has come to dominate in almost every sphere of measurement. Before the advent of the electronics mass spectrometers used to be operated with electric batteries, current detectors or electrometers in use. Development of electronic circuits have afforded them mobility so as to be applied in industry and the field as well as the use in laboratories by skilled operators. In this paper is dealt with several electronic circuits employed in mass spectrometry, ion accelerating voltage supply, magnet power supply and feed-back amplifier for measuring ion currents.

### 1. ま え が き

最近エレクトロニクスがめざましい発達をしめしてほとんどあらゆる分野の測定に使用されるようになった。本来実験室的な装置としてエレクトロニクスの発達以前に誕生した質量分析計は、電池・検流計・あるいは電位計などを使用して操作されていたが、電子管回路の進歩にともなって非常に機動性にとんだものとなってきた。これまで実験室において熟練した操作者により使用されていたものが工業的・現場的な計器にと発展するにいたった。

質量分析計用電子管回路はこのように電池・検流計に代るべく登場したものであるから、定電圧源・定電流源・および高感度直流増幅器からなっている。1図からわかるように普通に使用されるおもな回路は

- (1) イオン源電子電流制御回路
- (2) イオン加速用定電圧電源
- (3) 電磁石励磁用定電流電源
- (4) イオン流測定用直流増幅器
- (5) 真空計回路および保護回路



1 図 質量分析計用電源の構成

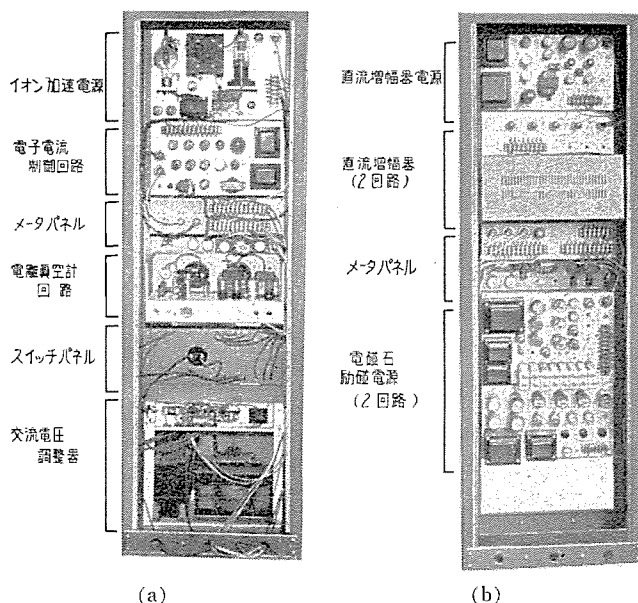
Fig. 1. Composition of mass spectrometer power source.

などであるが、ほかに若干の指示回路と補助電源が付属している。全体に共通した特長はそのすべてが多かれ少なかれ直流増幅器を使用したものである点である。したがってはじめに直流増幅器について一般的にのべてから個々の回路の構成と動作についてのべてみたい。

2図は研究所の90度型質量分析計電子管回路の一部をしめしたもので、(a)図上よりイオン加速電源・電子流制御回路・メータパネル・および電離真空計回路・交流電圧調整器がみられ、(b)図上より直流増幅器電源・直流増幅器(2系統)・メータパネル・および電磁石励磁電源(2系統)がみられる。

### 2. 直流増幅回路

直流増幅回路は直流信号あるいは低周波信号に対して



(a)

(b)

2 図 質量分析計電子管回路

(90度型質量分析計操作盤の一部)

Fig. 2. Electric circuit of mass spectrometer.



1 表 電位計用真空管の特性

	$E_f$ (V)	$I_f$ (mA)	$E_a$ (V)	$E_c$ (V)	$I_p$ ( $\mu$ A)	$I_s$ ( $\mu$ A)	$E_g$ (V)	$I_g$ (A)	$\mu$	$g_m$ ( $\mu$ S)
GE FP54	2.5	90	6.0	4.0	60	140	-4.0	$10^{-15}$	0.9	20
東芝 UX54	2.5	100	6.0	4.0	40	200	-4.0	$10^{-15} \sim 10^{-15}$	1.0	25
" UX54A	2.0	200	6.0	4.0	40	270	-4.0	"	1.0	25
" UX54B	2.0	50	6.0	4.0	40	270	-4.0	"	1.0	25
WE D96475	1.0	270	4.0	4.0	85	475	-3.0	$10^{-15}$	1.0	40
Victoreen VX41A	1.25	10	4.5	3.4	12	240	-3.0	$3 \times 10^{-15}$	1.0	15
三菱 EM11	3.0	100	12.0	12.0	69	430	-3.0	$10^{-15}$ 以下		23
Ten R4001	4.5	250	12.0	12.0			-1.5	$10^{-15}$ 以下		

2 表 電位計用として使用される受信用真空管の特性

	$I_g$ (A)	$E_a$ (V)	$I_r$ ( $\mu$ A)	$E_{g2}$ (V)	$E_f$ (V)	$I_f$ (mA)	$g_m$ ( $\mu$ S)	$\mu$	$R_{in}$ (M $\Omega$ )	他
RCA 954	$10^{-15}$	30	12	3.0	4.0	—	—	—	—	$E_{g1}=0.5$ V
RCA 954	$3 \times 10^{-10}$	4.8	6.0	4.5	3.0	—	30	—	—	
RCA 955	$5 \times 10^{-12}$	36	60	—	4.0	—	130	25	0.2	
1C5GT	$10^{-13}$	16.5	20~100	—	1.0	60	300	—	—	
3S4	$10^{-14}$	6.0	7.0	10.5	0.7	30	—	150	1.5	$E_{g1}=-1$ --1.5 V
3S4	$2 \times 10^{-14}$	6.0	80	12.0	1.4	30	150	—	—	
12BE6	$5 \times 10^{-11}$	12.0	—	7.5	—	105	—	250	—	
RCA 959	$1.7 \times 10^{-15}$	6.0	21	6.0	0.5	—	20	—	—	
6AK5	$1 \times 10^{-13}$	10.0	2~10	32	4.0	—	—	—	—	

これらの値はすべてよい値を示したものの一例である。

利得のあるものでなければならないから、抵抗容量結合やトランス結合はできず各段間は直結されなければならない。また電源電圧の変動、真空管エミッションの変動、回路部品の特性の経年変化などがすべて出力の零点の変動としてあらわれる。これらが直流増幅器に固有な特長であるがそのほかとくに微少な電流を増幅する場合には高い格子抵抗を使用する必要がある。初段の真空管として格子絶縁のよいもの、格子電流の小さいものが要求される<sup>(1)</sup>。このような目的のためには普通の受信管をかなり低い所で使用することも行われているが、またこの目的のためにとくべつに作られた真空管（電位計用真空管 Electrometer tube）もある。1表・2表にそのおもなものの定格をしめた。三菱電機の EM11 はこのためにとくに開発されたもので、質量分析計用直流増幅器の成功は EM11 の完成に負うところが大きい。

### ア. 簡単な直流増幅器

上にのべたように直流増幅器は段間を直結しなければならないことと零点移動のため、単段で使用するかまたは大きく負饋還をかけて多段で使用するかのいずれかである。そして1段のみの場合でも零点の移動を少くするため平衡回路とすることが多い。3図は電位計用真空管による単球平衡回路で Barth 回路とよばれる<sup>(2)</sup>。指示計として  $10^{-8}$  A/mm 程度の検流計を使用し、格子抵抗に  $10^9 \Omega$  の高抵抗を使用することにより、 $10^{-13}$  A の微少電流を安定に測定できる。陽極と空間電荷格子の電圧をフィラメント電源から共通にわけてとることにより電源電圧の変動を補償できるようになっている。この種の回路は多段増幅器の初段としてしばしば用いられる。

4図は差動平衡回路で電源電圧の変動・エミッションの変動に対して安定な指示が得られる。その入力電圧  $\Delta E_g$  と出力電流  $\Delta i_L$  との関係は4図(a)の回路では

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta E_g} = \frac{g_m}{2 + \frac{R_L}{r_p} + \frac{R_L}{R_k}} \quad (1)$$

また(b)の回路では

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta E_g} = \frac{g_m}{2 + (\mu + 1) \frac{R_L}{r_p} + \frac{R_L}{R_k}} \quad (2)$$

となる。このような回路の例は16図の電離真空計用回路にみられる。この回路では感度を最高にしたとき  $10^{-8}$  A の入力電流に対して  $50 \mu$ A の出力電流が得られる。このような差動平衡回路は多段直流増幅器の一部としてもしばしば使用されている。

### イ. 多段増幅器の段間結合法

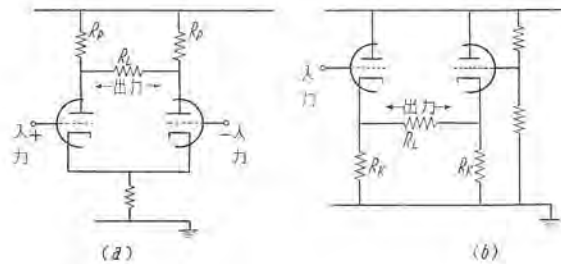
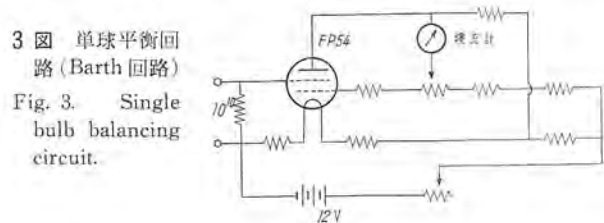
多段増幅器においてなるべく簡単な電源ですますためにいろいろな結合法がとられている。5図のように

(1) 直接結合法 (a)図のように陽極が次段の格子に直結されるもので、利得の減少はないが、多段に適用するには高い  $B$  電圧を必要とするから初段・終段の低かあまり使用されない。

(2) 電池による結合法 (b)図のように陽極と次段の格子との間に積層乾電池を入れて結合するもので利得の減少はないが、多数の乾電池を必要とする。

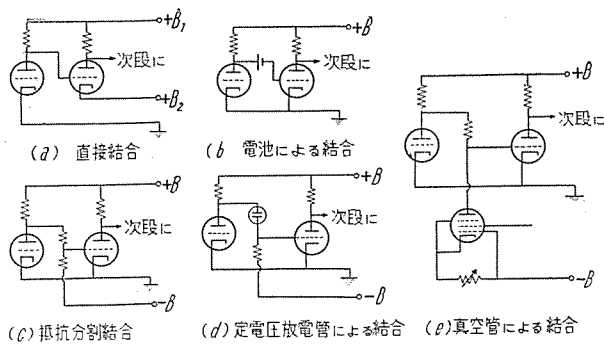
(3) 抵抗で分割する結合法 (c)図のように負の  $B$  電圧を使用して抵抗で分割して結合するもので何段にも簡単に応用できる。抵抗分割分だけ利得が減少する。

(4) 定電圧放電管を使用する結合法 (d)図の定電

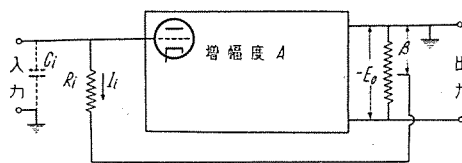


4 図 差動平衡回路

Fig. 4. Differential balancing circuit.



5 図 直流増幅器の段間結合法  
Fig. 5. Interstage coupling of D-C amplifier.



6 図 負饋還直流増幅器  
Fig. 6. Negative feedback amplifier.

圧放電管による結合は利得の減少はないが、動作電流 ( $>100 \mu\text{A}$ ) を必要とするのと雑音を発生しやすいこととのために終段以外ではあまり使用されない。

(5) 真空管による結合 (e) 図は5極管の定電流特性を利用したうまい結合法であるが多少複雑である。

以上の方法があるが、普通 (1), (2), (3) の3つを適当に組合せて使用することが多い。

#### ウ. 負饋還増幅器

直流増幅器において6図のように出力側から入力側に負饋還をかけると、入力格子にかかる電圧は  $R_i I_i - \beta E_0$  であるから

$$A(R_i I_i - \beta E_0) = E_0$$

したがって

$$E_0 = \frac{AR_i I_i}{1 + A\beta} \quad (3)$$

となり、 $A\beta \gg 1$  なるようにすれば

$$E_0 = \frac{R_i}{\beta} I_i \quad (4)$$

となり利得は増幅器自体の増幅度  $A$  と無関係になる。(3)式からこの増幅器は入力抵抗が  $R_i / (1 + A\beta)$  なる増幅器と等価であり、実際に入力格子にかかる電圧は  $1 / (1 + A\beta)$  となるから、増幅器の非直線性歪とか、格子電位により格子電流が変化して生ずる雑音などは著しく改善される。入力回路の時定数についても同じことがいわれ、 $R_i C_i / (1 + A\beta)$  となっていることがわかる。たとえば11図の増幅器において  $A \approx 10^4$  であるから  $R_i = 10^{10} \Omega$ ,  $C_i = 10 \text{ pF}$  であっても等価入力抵抗は  $10^6 \Omega$ , 入力時定数は  $10^{10} \times 10 \times 10^{-12} \times 10^{-4} = 10^{-5} = 10 \mu\text{sec}$  としてふるまうことになる。

### 3. イオン源電子電流制御回路

質量分析計のイオン源では試料気体が電子衝撃により質量分析装置用電子管回路・後藤

イオン化されるが、生成するイオン量は衝撃電子電流に比例するから電子流を一定に保つことが重要である。7図はそのような回路の一例である。フィラメントを出た電子は加速スリット  $A$  (フィラメントに対し  $+75 \text{ V}$  位) で加速されイオン化筒を通して、電子ターゲット  $T$  (フィラメントに対し  $+150 \text{ V}$ ) に達する。電子流は抵抗  $R$  の両端に約  $75 \text{ V}$  の電位差をあたえるが、電子流が増加すると6SJ7の格子電位が上昇しそれによって6AS7Gの格子電位が高くなってその内部抵抗を減少させ、フィラメントトランスの1次電圧を下げるように働くものである。このような回路はRidenour-Lampson<sup>(3)</sup>によって電離真空計用制御回路として試みられたのが最初であって、そのうちNier<sup>(4)</sup>によって質量分析計用に変形されたものである。そのほかにサイラトロン(2050, 2D21など)を使用する方式<sup>(5)</sup>もあり、われわれのところでも60度型分析計用としてはこの方式をとっている<sup>(6)</sup>。16図の電離真空計制御回路もこれと同じである。回路構成はずっと簡単になるが、真空管による連続制御にくらべて多少不安定である。

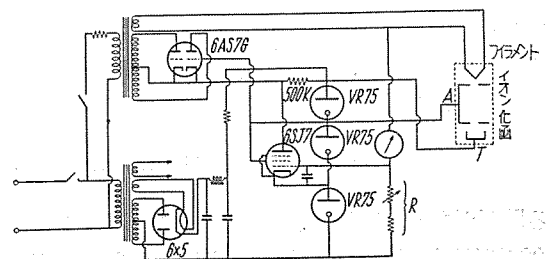
このほかにイオン源自体に制御格子を設けて電子流制御を行う方法も発表されている<sup>(7)</sup>。

### 4. イオン加速用定電圧電源

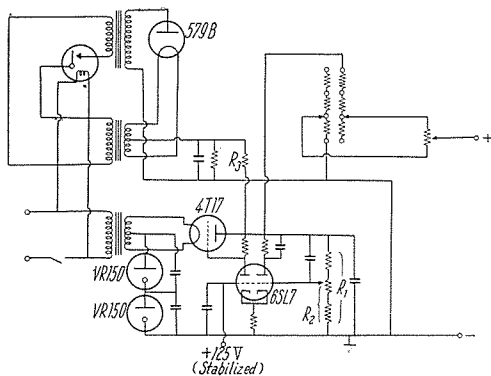
電子衝撃により生成されたイオンはスリット系で所要の電圧に加速される。加速電圧は普通数百～数千  $\text{V}$  である。特殊な例(2重収斂質量分析器)としては数万  $\text{V}$  のものもあるが、ここでは比較的簡単な  $2,000 \text{ V}$  の定電圧電源についてのべる。整流管579Bにより整流された直流  $2,500 \text{ V}$  は送信管4T17の負荷  $50 \text{ k}\Omega$  を通って出力端子にあたえられる。出力電圧の変動は6SL7の格子に加えられ、陰極結合で一方の6SL7で増幅されて4T17の格子電圧を変化させることにより制御される。このような回路の電圧安定度は(前項の電流制御回路も同様であるが)直流増幅器の増幅度によって決定されるもので、電圧安定度  $S = \Delta E_i / \Delta E_0$  で定義すると8図の回路では

$$S = 1 + R_3 \left( \frac{R_2}{R_1} \cdot G \cdot g_m + \frac{1}{r_p} + \frac{1}{R_L} \right) \quad (5)$$

であたえられる。ここに  $G$  は6SL7の部分の電圧増幅度、 $R_L$  は全負荷抵抗、 $g_m$ ,  $r_p$  はそれぞれ4T17の相互

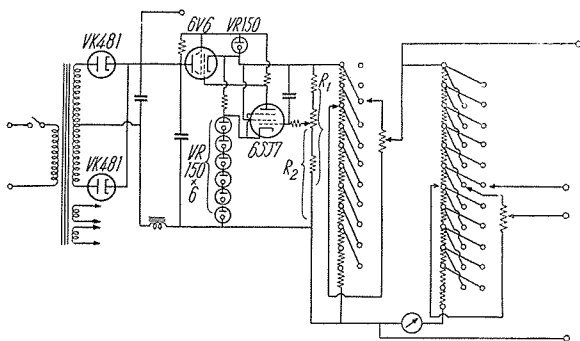


7 図 イオン源電子電流制御回路  
Fig. 7. Ion source electronic current control circuit.



8 図 イオン加速電源 (2,000 V)

Fig. 8. Ion accelerating power source (2,000 V).



9 図 イオン加速電源 (1,000 V)

Fig. 9. Ion accelerating power source (1,000 V).

伝導度と内部抵抗である。この場合  $S \approx 10^3$  となり、入力電圧の変動に対して出力電圧の変動は 1/1,000 程度に減少されることがわかる。この電源に用いられる 125 V の定電圧は規準となるもので十分安定でなければならない。6 節でのべる直流増幅器用安定電源から供給される。

9 図の回路は 60 度型分析計に使用されている 1,000 V の定電圧回路である。この回路の安定度は

$$S = 1 + \left(1 + \frac{R_2}{R_1} G\right) \mu + \frac{r_p}{R_L} \dots\dots\dots (6)$$

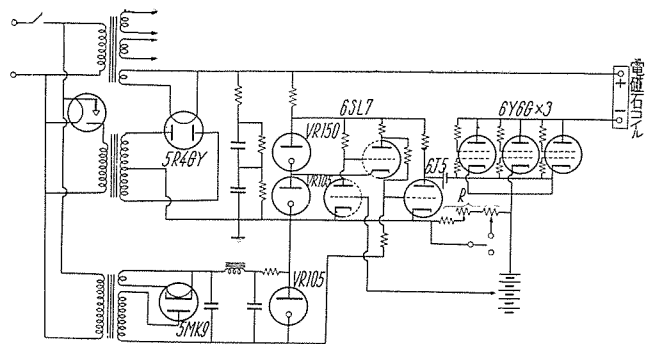
であたえられ、前と同じように  $S \approx 1,000$  である。ここに  $G$  は 6SJ7 の増幅度、 $r_p, \mu$  は 6V6 の値である。このような安定回路の一般論についてはたとえば文献<sup>(8)(9)</sup>を参照されたい。

## 5. 電磁石励磁用定電流電源

スリットで所要電圧に加速されたイオンは磁場に入って軌道をまげられる。加速電圧  $V$ 、質量数  $M$ 、イオン軌道半径  $r$ 、と磁場の強さ  $H$  の間には

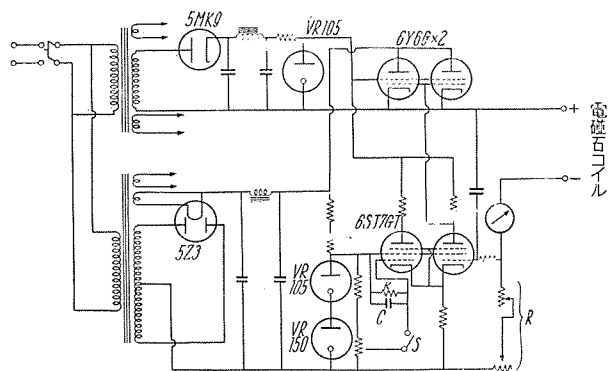
$$M = 4.82 \times 10^{-5} \frac{r^2 H^2}{V} \dots\dots\dots (7)$$

なる関係があり、磁場の変動の影響は重大である。10 図は 90 度型分析計用励磁電源回路を示したもので、励磁電流は 6Y6-G を通って抵抗  $R$  に電圧降下をあたえる。  $R$  の両端の電圧変動は 3 段の直流増幅器 ( $G \approx 10^4$ ) を経て



10 図 電磁石励磁電源

Fig. 10. Magnet exciting power source.



11 図 電磁石励磁電源

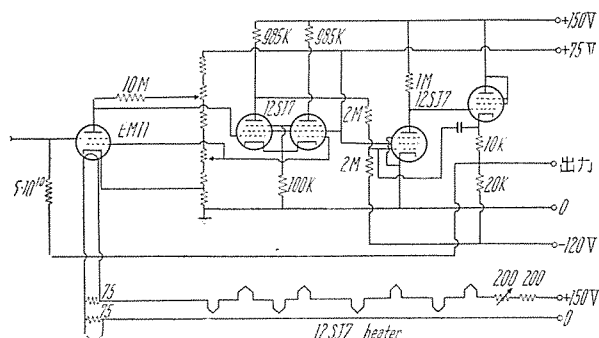
Fig. 11. Magnet exciting power source.

6Y6-G の格子にあたえられ、その内部抵抗を変化させて励磁電流を制御する。磁場の変動は (7) 式からわかるように 2 乗で影響するからとくに高い安定性を要する。この回路は  $S \approx 10^4$  程度である。しかしわれわれのところではスペクトル記録を磁場の走査により行っているので、多少問題が複雑となる。定電流性を満足させつつ広範囲に電流を変化させる必要があるわけで (これは 10 図の初段の 6SL7 の格子電位を連続的に変化させて行くことで可能であるが)、安定性は多少殺されるものと見なければならぬ。11 図はさらに簡単な回路で  $S \approx 10^3$  である。この回路では磁場の走査に CR 放電特性を利用している。もちろん 10 図の回路でも同じように CR 充電特性を利用して走査が可能である。

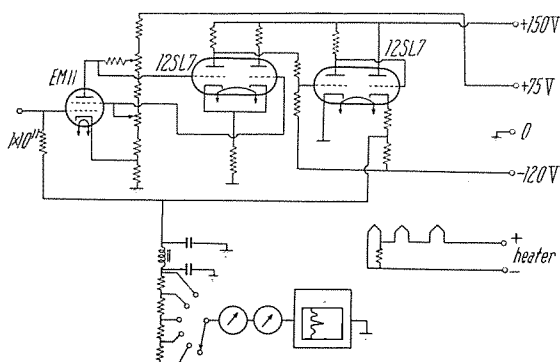
## 6. イオン流測定用直流増幅回路

質量分析計のイオン電流は  $10^{-14} \sim 10^{-10}$  A の範囲であることが多いから、そのための高感度直流増幅器は重要である。微少電流測定用直流増幅器として 2 節にのべたことがそのまま適用される。初段に高い格子抵抗を使用するので初段の真空管は入力格子絶縁のよい格子電流の少ないものが要求される。したがって 1 表のように第 1 格子を空間電荷格子とした電位計用真空管、あるいは 2 表のように 6AK5, 3S4, 954 などの小形受信管を定格以下で使用するのが普通である。12 図は初段に電位計用真空

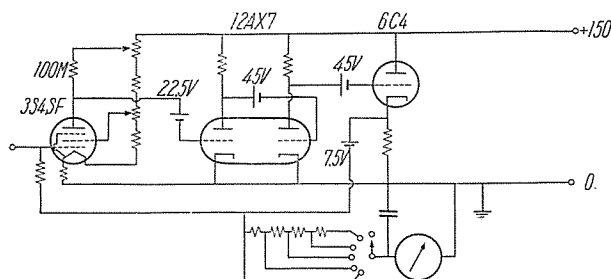
管 EM11 を用いた負帰還増幅器で、初段に利得がないので 2 段目を安定化する必要があり 12SJ7 の平衡回路を使用している。段間結合は直結と抵抗による分割結合とを併用している。出力端子とアース端子との間に指示計（マイクロアンメータ・記録計など）をつなぎ、入力 0 のときメータのフレが 0 になるように調整して使用する。高利得直流増幅器ではヒータに交流を使用することはいろいろ困難を伴う（とくに初段で）ので安定化された直流を使用する必要がある。この回路では 12 V 球を使用してヒータを直列にして 15 図の B 電源から共通にとっている。13 図も同様な回路であるがだいぶ簡単になっている。しかし安定度は 12 図のものに比して少しも劣らない。入力抵抗  $10^{11} \Omega$  を使用して  $2 \times 10^{-14} \text{ A}$  まで測定可能である。ノイズは 1 mV 以下、零点移動は 2 mV/day 程度である。14 図は多少毛色の変ったもので



12 図 イオン流直流増幅器  
Fig. 12. Ion current D-C amplifier.



13 図 イオン流測定用直流増幅器  
Fig. 13. D-C amplifier for D-C current measurement.



14 図 直流増幅器 (3)  
Fig. 14. D-C amplifier.

初段に 3S4SF を用いて多少の利得が期待できるので 2 段目以下は交流（安定化された）で加熱し、初段の 3S4 のフィラメントのみ B 電源から直流で加熱している (20 mA)。結合に積層乾電池を使用しており、 $10^{10} \Omega$  の入力抵抗に対し十分安定に動作する。これらの回路はすべて (4) 式で  $\beta=1$  とおいたものに相当し、電圧利得はないが電流利得は

$$I_o = \frac{E_o}{R_o} = I_i \frac{R_i}{R_o} \quad \dots\dots\dots (8)$$

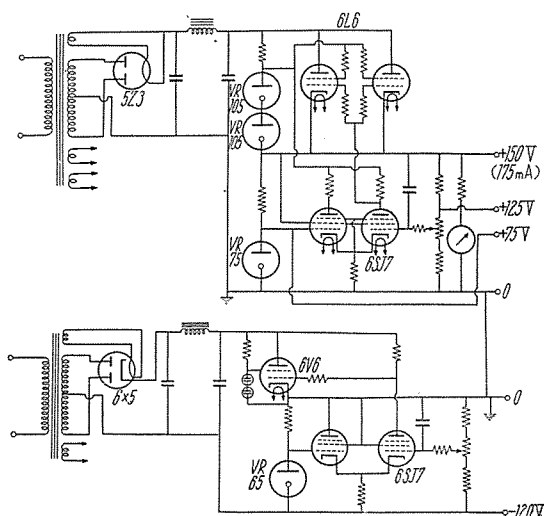
のように入力抵抗  $R_i$  と出力抵抗  $R_o$  の比で決定されるから、たとえば  $R_i=10^{10} \Omega$ ,  $R_o=10^3 \Omega$  (13 図の回路) とすれば 160 db の利得が得られる。

15 図は 12 図, 13 図の回路の電源である。これも 6S J7 と 6L6-G からなる 2 段の直結増幅器で安定度  $S \approx 2,000$  位である。中間端子の 125 V は 8 図のイオン加速電源の規準電圧として供給される。直流増幅器によりとりだされたイオン電流は電子管式記録計により記録されるのが普通である。記録計作動に必要な自動感度切換回路、その他の指示回路については別の機会にゆずる。

## 7. 真空計回路

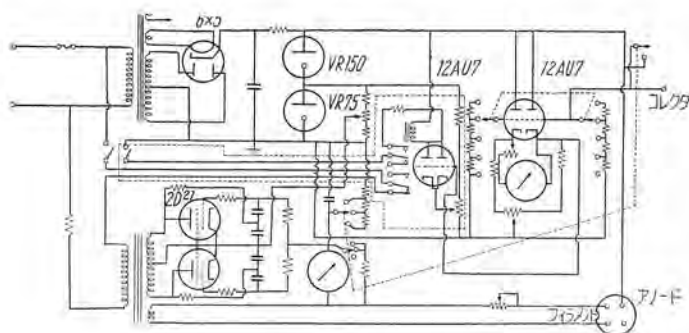
質量分析計は残留ガスを減らし散乱イオンを少なくするため、その分析管内は  $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ mmHg}$  の高真空に保たれる必要がある。真空度指示計としては電離真空計または放電型真空計が使用される。真空計として要求されることがらは  $10^{-4} \sim 10^{-7} \text{ mmHg}$  の真空度を指示できること、および真空度の劣化に際して分析管フィラメントの保護リレーを働かせうることが必要である。

16 図の回路は質量分析計に使用されている電離真空計回路の 1 つで、真空計管球 K5 (Fogel 1 型) を使用して  $10^{-2} \sim 10^{-7} \text{ mmHg}$  の真空度を指示でき、また保護リレー NAS221 により指示計 (100  $\mu\text{A}$ ) フルスケールの 2 倍位のところでフィラメント回路を OFF できる。



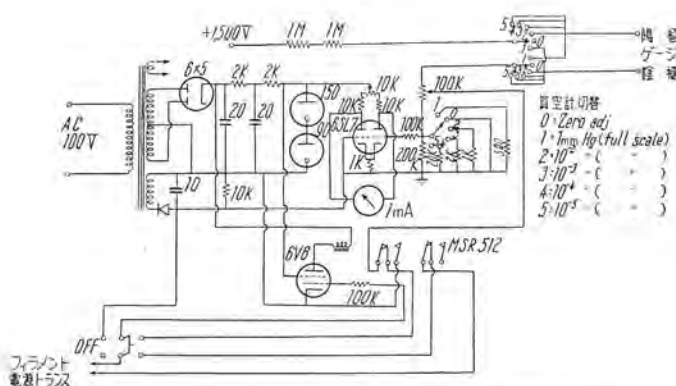
15 図 12, 13 図直流増幅器の電源  
Fig. 15. Power source of D-C amplifiers in Figs. 12 and 13.





16 図 電離真空計回路

Fig. 16. Ionization vacuum gauge circuit.



17 図 放電型真空計回路とフィラメント保護回路

Fig. 17. Discharge type vacuum gauge circuit and filament protecting circuit.

この回路に使用されている増幅器は4図(b)に示したものと同形であり、電子流制御回路は3節で触れたサイクロン型のものである。

放電型真空計の場合17図の回路で $1 \sim 10^{-6}$  mmHgの真空度を指示し、その間の任意の真空度で保護リレーを働かせることができる。真空度は6段に切替えられそれぞれフルスケール $1, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$  mmHgの示度をあたえる。放電型真空計の場合精度はおちるが増幅・保護回路はずっと簡単である。

## 8. む す び

質量分析計のおもな電子管回路をのべた。このほかに直視型分析計・高周波電場による分析計・あるいは固体用2重収斂分析器などの場合にはそれに応じた特殊な回路が必要である。その一部はすでに報告したものもあるが<sup>(10)</sup>、適当な機会にとりあげたい。質量分析計用電子管回路の精度・安定度はそのまま分析結果の精度に影響がある。現在の程度で決して十分なものではなく今後も引き続き向上を要するものである。また最近高周波電子管回路の進歩にもよってそれを利用した新形式の質量分析計も作られているようで<sup>(11)</sup>、このようなことがらについても今後の研究を要する。

研究にあたり物理第2研究室八十田室長、工務課浅見主任に一方ならぬご指導・ご援助をいただいたことを感謝する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 後藤：微少電流電圧測定法(技術メモ13,670号)。
- (2) Barth: Zs. f. Phys., **87** (1934), p. 399.
- (3) Ridenour and Lampson: Rev. Sci. Instrum., **8**, p. 162 (1937).
- (4) Nier: Rev. Sci. Instrum., **18**, p. 398 (1947).
- (5) Nelson and Wing: Rev. Sci. Instrum., **13**, p. 215 (1942).
- (6) 後藤：質量分析計について、三菱電機 **28**, No. 12, p. 47 (1954).
- (7) Winn and Nier: Rev. Sci. Instrum., **20**, p. 773 (1949).
- (8) 工業物理講座：電子管回路 p. 190.
- (9) 岩波講座現代物理学：電子管の応用 p. 66.
- (10) 後藤：直視型質量分析計、三菱電機 **30**, No. 2, p. 33 (1956).
- (11) Wiley and McLaren: Rev. Sci. Instrum., **26**, p. 1150 (1955).

# マスタ・スレイブ・マニピュレータ

研 究 所 蘆 原 智\*

## The Master Slave Manipulator

Engineering Laboratory Satoru HAGIWARA

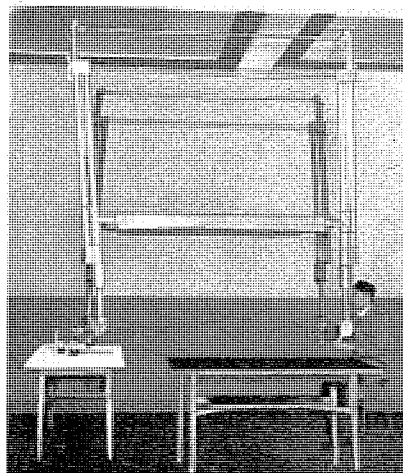
With the advancement of the study in peaceful utilization of nuclear power, necessity of handling radioactive substances has increased considerably. To protect the human body from radiation injury of these substances, a special laboratory and remote operating apparatus to do experiment with these have become indispensable. Of varied manipulators devised for the purpose, one fit for very subtle and precise work is called a master slave manipulators. Mitsubishi has designed and built a Type MA-M manipulators for trial, the performance of which is described herein.

### 1. ま え が き

原子力平和利用の研究が進むにつれて、放射性物質を取扱う必要が多くなり、これら物質の放射線障害から、人体を保護するために、特別な実験室と、その中でいろいろな操作を行える遠隔操作装置が必要となってくる。現にわが国でも実験用の原子炉が建設されつつあり、やがて放射性同位元素（アイソトープ）も生産されるようになれば、医学・農学・工学などの立場から、広く利用されるようになるであろう。また動力用原子炉が運転を開始すれば原子燃料やその灰の研究、処理のために、強い放射線をさけて、種々の実験研究を行わなければならない。このように強い放射線をさけていろいろな操作を行う遠隔操作装置をマニピュレータと呼んでいる。

原子炉の燃料を取換えるために、燃料をつかみ出すというような一定の操作をくり返して行う場合は、その目的に合致した専用の自動機を用いるが、実験室の中で化学実験のように複雑な操作を行うには、人間の手首や指と同じ運動を行える遠隔操作装置が必要になる。このような目的のために作られたマニピュレータを汎用マニピュレータと呼び、その中でとくに人間の手首や指の運動を操作者と従動者の間で1対1の対応をして動くものをマスタ・スレイブ・マニピュレータと呼んでいる。マスタとは主人の意味で、スレイブは奴隷いを意味し、操作者の意のままに従うマニピュレータを意味している。

1 図は当社で完成した MA-M 型マスタ・スレイブ・マニピュレータで操作しているところを示している。



1 図 MA-M 型マスタ・スレイブ・マニピュレータ

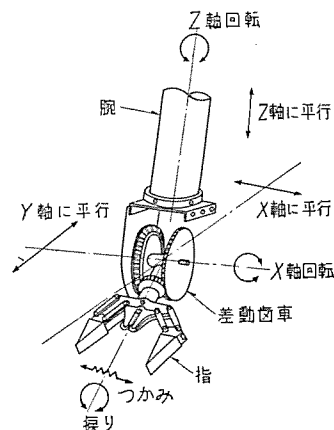
Fig. 1. Type MA-M master slave manipulator.

### 2. マニピュレータの基礎的な要素

マニピュレータを設計する際に、考えなければならない基礎的な要素として、つぎのような事項を、R. C. Goertz<sup>(1)(2)(5)</sup> が述べている。

#### ア. 7 個の運動の自由度

つかみの指が運動できる自由度として、2 図に示すように、空間の中で  $x, y, z$  の 3 座標軸に平行な運動と、3 座標軸の回りに回転できる運動ともう 1 つ品物をつかむために指ではさむ動作と、合計 7 個の自由度が必要な最少限度である。単純な機械の場合は、このうちの幾つかがはぶかれる場合もあるが、汎用マニピュレータでは 7 個の自由度は最少限の自由度である。しかもこの 7 個の自由度は相互に干渉されないうで、操作者のマスタハンドルから、従動者のスレイブトングに伝えられる運動でなければならない。

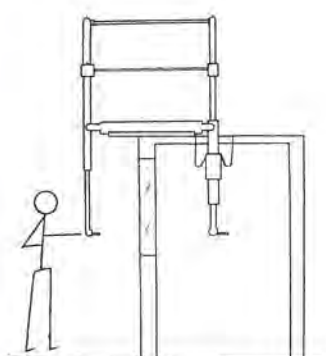


2 図 手首と指と腕の運動の自由度

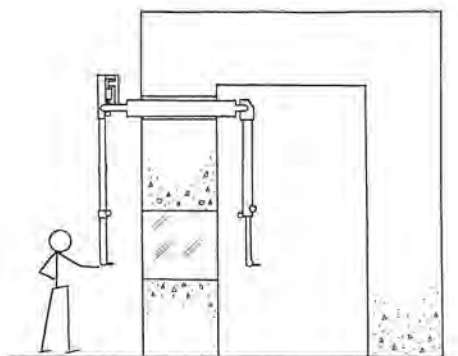
Fig. 2. Freedom of the motion of a wrist, fingers and arms.

\* 材料研究室

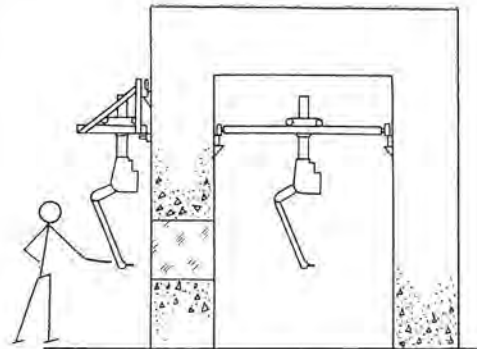




3 図 マスタ・スレイブ・マニピュレータ・アルゴンヌ4型  
Fig. 3. Master slave manipulator Argonne 4 type.



4 図 マスタ・スレイブ・マニピュレータ・アルゴンヌ8型  
Fig. 4. Master slave manipulator Argonne 8 type.



5 図 電気制御マスタ・スレイブ・マニピュレータ  
Fig. 5. Electrically controlled master slave manipulator.

## イ、運転操作の方法

このように多数の自由度をもつものを、1人の操作者が操作するためには、これらが簡単に制御されなければならない。

そうでないとおのおのの運動が錯綜して、誤動作を起しやすく、また敏速な運動を行いにくなる。このためには、人間が誕生以来習得した手首と指の熟練した操作を、そのまま利用して、1対1の対応で従動者に伝えるマスタ・スレイブ型のマニピュレータが、もっとも簡単な解決方法である。1対1の対応といっても、喰違いの角度は20度程度までなら、それほど不便を感じないので、対応の必要性はそれほど厳密なものではない。しかしあまり大きな誤差は操作をむずかしくする。たとえば斜の位置で、工業用テレビジョンで撮影した画面を見ながら操作するときは、はじめのうちは著しく不便を感じる。

しかしこれも熟練によっては、相当複雑な操作まで行えるように訓練される。

## ウ、従動者に作用する力を操作者に感じられること

つまり力の感覚を伝えることで、つかんでいるピーカを握りつぶしたりすることのないように、操作者が自分の指でつかんでいるような感覚を伝えられなければならない。またマッチをするような動作の場合は、視覚で軸木と箱を接触させるだけでなく、この両者の接触力を両方の手に感じるによって、より正確に接触していることを知ることができる。このように力の感覚は、力の調節を行って対象物を破損するのを防ぐだけでなく、動作をより正確に行うのを助ける要素となっている。

## エ、操作者から従動者を動かすと同時に従動者からも操作者を動かせること

操作者と従動者の動きは可逆的であることが望ましい。たとえば従動者の手が机に突き当たったなら、操作者の手も停止しなければならない。この際に感覚のはね返りはもちろん必要な要素である。つぎに従動者でクランクハンドルを回すような場合は、従動者の運動が拘束されていてその拘束の中で操作者は動かなければならない。したがってこのように拘束された種々の動作をするには、

動きの可逆性は重要な要素となる。

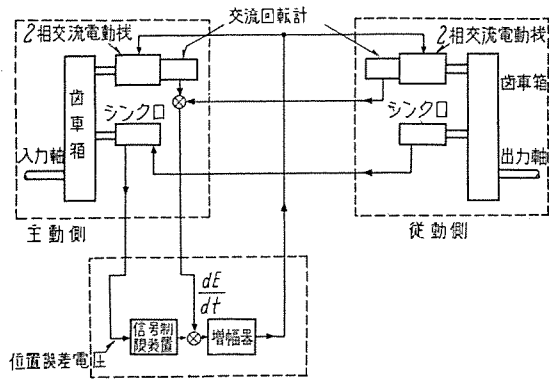
オ、釣合よく摩擦や慣性モーメントを少なくすること  
いろいろな操作をするに必要な力以外は、できるだけ小さくしておくことが望ましい。それで機械各部の釣合はバランスウエイトで釣合をとり、摩擦損失は極限まで小さくする努力をしなければ、十分な感覚を伝えることはできない。また慣性モーメントは敏速な運動を行うために、できるだけ小さい方が望ましい。

## 3. マスタ・スレイブ・マニピュレータの種類

このようなマスタ・スレイブ型のマニピュレータは、米国のアルゴンヌ研究所でいろいろと研究開発されたもので、マスタハンドルとスレイブトングを結ぶ力の伝達方法に、まったく機械的な結合を行っているものと、電気的なサーボ機構を用いているものに大別される。

### ア、機械的な方法

3図と4図は機械的マニピュレータの代表的なものであり、アルゴンヌタイプでのおおの4型、8型と呼ばれている。4型はアルゴンヌ研究所で最初に実用的に広く使用されるマニピュレータとして完成されたもので、手首の運動と腕の運動の間にまったく干渉がなく、簡単な機構で軽快な操作ができる。一方コンクリートの遮蔽室の中へスレイブアームを挿入するために、天井に丸穴を開けており放射線がこの丸穴の間隙から上方に出てくる恐れがあるため、その放射線の散乱による害を考へて、実験室を作らなければならない。したがってこの形式は一般に数百キュリー程度までの放射性物質の操作実験用に用いられる。8型は4型の欠点を改良して、コンクリートの側壁を貫通してスレイブアームを遮蔽室内に入れるようにしたもので、数千キュリー程度までの放射性物質をあつかう実験室に使用されている。この両者とも、力の伝達はステンレス鋼索か、ステンステープを用いて行われ、操作者の力を、できるだけ効率よく従動者に伝えるようになっている。したがって、途中で力の拡大を行うには、レバー比率を変えて行うためストロークが短くなり、1対1の対応を極端に乱すほどの力の拡大は



6 図 力の感覚を伝えるサーボ機構

Fig. 6. Servo mechanism transmitting the feeling of force.

望めない。操作しうる重量は、ほぼ 2.5~10 kg で機能は後述の MA-M 型と同程度である。

#### イ. 電気的な方法

電気的な方法を用いる場合は、マスタアームとスレイブアームの間を切断して、両者を結んでいた鋼索を電気的に置きかえてサーボ機構で結合させる。したがって両者は 1 本のケーブルで結ばれるだけで、スレイブアームは実験室内を走行台車に乗って自由に移動できるように行動範囲が拡大される。5 図<sup>(6)</sup>は電気制御マスタ・スレイブ・マニピュレータの代表的なものである。

サーボ機構はとくに感覚を伝えられるもので 6 図<sup>(3), (4)</sup>に示すような回路が用いられている。電気制御を用いるときは外部から動力を供給できるので力の拡大を容易に行え、また行動の敏速も可能になる。しかし機械的方法に比べて値段が高くなり、また絶縁材料が一般に  $10^7 \sim 10^8$  レントゲンで損傷を起すので寿命に制限が出てくる。

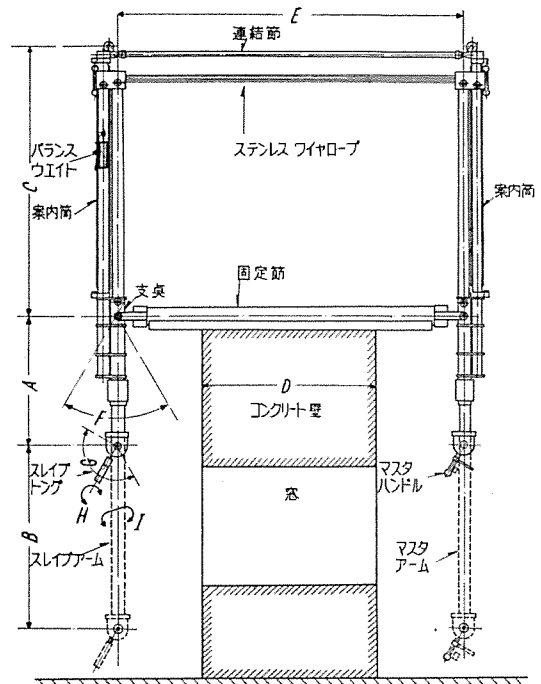
#### 4. MA-M 型マスタ・スレイブ・マニピュレータ

このマニピュレータは、7 図に示すように操作者が約 1m のコンクリート遮蔽壁を通して、両手で操作する機械的なマスタ・スレイブ型であり、その機構はアルゴン 4 型のマニピュレータを参考にして設計された。あつかえる放射性物質は、数百キュリー程度までを考え、また片手で持ち上げる重量は 5 kg 程度である。スレイブの手指の運動は、かなり微細な運動を行えるように、軽量円滑な構造で 8 図や 9 図に示すようにマッチをすったり、化学実験のような試験管やフラスコ等のガラス器具も自由に取りあつかえる。

##### ア. 運動範囲

7 図に示すように、マスタとスレイブ各 2 本の案内筒と固定節および連結節の 4 本の節で、完全な 4 節平行連鎖を構成しており、マスタアームとスレイブアームは、おのおのその案内筒に沿って上下の移動と、 $z$  軸回りの回転ができるようになっている。したがってアームは固定節の軸を中心に  $\pm 45$  度まで回転して  $x$  軸方向の平行運動を行い、また支点を

マスタ・スレイブ・マニピュレータ・萩原



A	700 mm	(最大) (最小)
B	1,200 "	1,200 ~ 800 mm
C	1,600 "	1,600 ~ 1,200 "
D	1,000 "	1,000 ~ 600 "
E	2,200 "	2,200 ~ 1,800 "
F	60°	
G	140°	
H	$\pm 180^\circ$	
I	$\pm 160^\circ$	

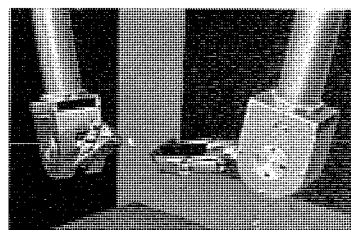
備 考

B, C, D, E の寸法は左表の範囲内では自由に設計製作が可能である

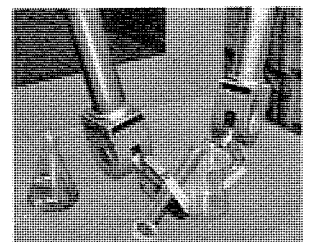
7 図 MA-M 型の側面図と寸法

Fig. 7. Profile and dimensions of type MA-M.

中心に  $\pm 30$  度の回転をして  $y$  軸方向の平行運動を行える。上下の方向には案内筒のキーをガイドとしてアームを動かし、マスタとスレイブの対応は両者の間に張られたステンレスワイヤロープで結合されて行われる。またアームの回転も、アーム上部のプーリに巻かれたステンレスワイヤロープで結合されて 1 対 1 の対応をなしている。上記の運動に対してはいずれも限界停止装置をつけてあり、とくに上下方向には板ゴムを用いて緩衝装置をほどこしてある。



8 図 マッチをすったところ  
Fig. 8. Striking a match.



9 図 化学実験を行っている  
Fig. 9. Handling chemical utensils.



手首の運動は 2 図に示したように、3 個の差動歯車によって行われる。この 2 個の親歯車が同時に同方向に等しい角度だけ回転すれば、指はそのままの振り角度で、回転角度だけ上下方向にあお向けの。もし親歯車が同時に反対方向に等しい角度だけ回転すれば、指のあお向け角度はそのまま、指の振り角度は、親歯車の回転角に歯車比を掛けた角度だけ回転する。したがって指のあお向け角度と振り角度は、2 個の傘歯車の回転角度で定められる。この親歯車の回転角度は、マスタハンドルからスレイブトングへ、ステンレスワイヤロープを通して伝えられる。

つかみの運動は 9 図のように 2 本の指をステンレスのワイヤロープで引張って行われる。10 図のようにマスタハンドルの指輪に指を入れてつかみ運動をすると、ハンドルのリングが動いて中央のプーリを押し出し、ワイヤロープをたぐり込み、指を閉じる。この両者の間にはほぼ 1 対 1 の対応が行われているが、もし大きなものをつかむときはこのワイヤロープを始めからたぐり込んでおき、マスタハンドルの閉じ角を多くしておく、つかみ力は 2 倍程度に拡大される。これはマスタハンドルのリンクのレバー比の力の効率の高い位置、つまりハンドルを閉じた状態でものをつかめるからである。最大の指のつかみ力は約 10 kg であり、ゴムを内張りされた指の摩擦力で、5 kg の重量を十分つかみうる強さである。

これら運動の範囲をつぎに示す。

#### 腕の運動

上下方向 (z 軸に平行) 800~1,200 mm  
前後方向 (y 軸に平行) 支点を中心に  $\pm 30$  度  
左右方向 (x 軸に平行) 固定節を中心に  $\pm 45$  度  
回 転 (z 軸回り)  $\pm 160$  度

#### 手首の運動

あお向け角 (x 軸回り) 140 度  
左右振り (y 軸回り)  $\pm 180$  度  
つかみ幅 80~120 mm



10 図 マスタハンドルの操作

Fig. 10. Operation of master handle.

## イ. 力の伝達

マスタハンドルから、スレイブトングへの力の伝達は、すべてステンレスワイヤロープが滑車を通って行う。このワイヤロープが伝える力は最大で 20 kg 程度になる場合も考えられ、また途中の滑車の中には、構造上直径 12 mm 程度の小さなものを使用しなければならなかったで、使用するワイヤロープの素線は、0.1 mm  $\phi$  の太さで引張り強さ 200 kg/mm<sup>2</sup> 程度に、強度の冷間加工をほどとした 18-8 ステンレス線を、7 $\times$ 7 より合せて用いている。したがって素線に生ずる最大応力は引張で約 60 kg/mm<sup>2</sup> 曲げで約 60 kg/mm<sup>2</sup> となり、くり返し疲労に対しても十分な耐久力を持っている。厚さ 0.1 mm 幅 5 mm のステンステープの使用も考えているが、現在までには 200 kg/mm<sup>2</sup> 以上の引張強さのテープは製作できず、くり返し使用の耐久性に疑問があるので採用しなかった。ワイヤロープとテープの差異はおのおの相反した利点をもっている。それを列挙するとつぎのようになる。

	ワイヤロープ	テ ー プ
引張強さ	200 kg/mm <sup>2</sup> 以上	150 kg/mm <sup>2</sup> まで
ヤング率	小さい $1 \times 10^6$ kg/cm <sup>2</sup>	大きい $2 \times 10^6$ kg/cm <sup>2</sup>
振 れ	強 い	弱 い
曲げ応力	テープよりやや少い	薄板と同じ
信 頼 度	大きい	きずの検査が困難
外 面	一度曲げるとこぶが出る、よじれやすい	平坦で良好

以上のように一概にその優劣はきめがたいが、今回は強度の点でワイヤロープを採用した。米国ではエリジロイテープと言う商品名のテープを採用してワイヤロープと混用している。

## ウ. 摩擦損失

マスタハンドルの操作は、すべて人間の力で行われて外部からは動力を入れていないので、この力をできるだけ能率よくスレイブトングへ伝達しなければならない。またつかみの圧力や指先、腕等に生じた反力を十分に感じとるには、その反力が十分にはね返ってこなければならない。もし摩擦が多いと加えた力の何 % かが伝えられ、はね返ってくる力もまた何 % かに減少して最後には摩擦損失以下の反力は感知できないことになる。このように摩擦損失を少なくすることは、単に操作を軽快円滑にするだけでなく、十分な感覚を伝えて微細な操作を行うために絶対に必要な要素となってくる。

この機械では回転する軸や滑車にはすべてボールベアリングを用い、とくに大きな軸受は鋼球を用い、また平行運動する部分には、幾組かのボールベアリング入りのローラを用いており、あらゆる部分が転り接触を行い、相互に滑り合う面は少しもないようにできている。したがって使用されているボールベアリングの数は大小 206 箇に及び、また鋼球の数も 360 箇に達している。もっと

も抵抗の多い腕の上下運動も、約 100g の力でマスタハンドルを動かされこの力は、マスタアームを傾けても増加しないようにできている。滑車の効率は、小さな直径のものは約 92% 大きな直径のものは 98% 以上となっている。

### エ. 釣合と慣性モーメント

操作者の力は弱いので、余分な力を出さないでよいように各部分の釣合を十分に調整しておかなければならない。おのおののアームはバランスウエイトで完全に釣合をとり、アームが上下してもその重心は固定節に対して変化しないようにしてある。また全体の重心は他のバランスウエイトで支点よりごくわずか下げたところになっているので、アームは放置すれば正常位置に戻るようになっていて、したがってゆっくりアームを動かすには、前述の摩擦損失に打ち勝つだけでよい。

さらに敏速な運動を行えるように、あらゆる部分方向の慣性モーメントを減少することに注意した。そのために材料の強度の許す限り重量の軽減に努力し、材料の選定と共に形状の小形化をはかった。またバランスウエイトはすべて回転中心の近くに取付けて、慣性モーメントの軽減につとめたので、行動範囲の大きさに比べて敏速な運動を行える。

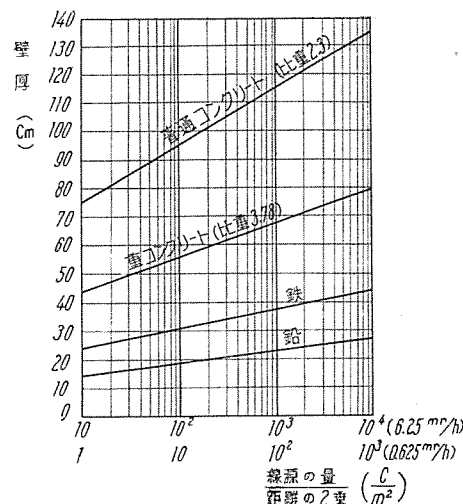
### オ. 材料の選定

材料の選出については、耐食性と強度、重量の減少を考へてアルミ合金とステンレスを用いた。ワイヤロープはステンレスで、他の部材は 52S 耐食アルミ合金の板材と丸棒の機械加工品および 3S のパイプ材である。パイプ材は 3S であるがとくに加工硬化した降伏点 12kg/mm<sup>2</sup> 以上の強度をもっている。

### カ. 遮蔽コンクリートと窓

マニピュレータを使用する場合には、放射性物質の放射線をさけるために、遮蔽壁を隔てその中に内部をのぞける窓をもうけなければならない。壁の厚さは普通コンクリートを用いるか、比重の大きい重コンクリートや鉄や鉛の板を用いる場合でいろいろ異なってくる。11 図<sup>(7)</sup>は Co<sup>60</sup> を用いた場合の  $\gamma$  線に対する遮蔽壁の厚さを示し、1,000 キュリーに対して普通コンクリートでは 115 cm、重コンクリートでは 70 cm の厚さを必要とすることがわかる。

また透視窓には普通コンクリートの場合は臭化亜鉛の 80% 溶液 (比重 2.5) をガラス板ではさんだ水槽に入れて用い、重コンクリートの場合は鉛ガラス (比重 2.7~6.2) の適当な比重と厚さのものを幾枚か重ねて用いる。このような遮蔽壁の外から操作すれば放射線の照射量を十分な許容量以下におさえられる。



11 図 ガンマ線に対する各種遮蔽体の厚さ

Fig. 11. Thickness of various shield for gamma rays.

## 5. む す び

以上当研究所において設計試作したマスタ・スレイブ・マニピュレータ MA-M 型を中心にしてこの種マニピュレータの概略を説明した。MA-M 型は昨年 10 月に完成し耐久試験を行い、すでに東京の国際見本市に出品され広く紹介せられるようになった。さらに 8 型や電気制御マニピュレータも設計研究を進めている。

最後にマニピュレータの製作に当り種々ご指導、ご鞭撻をいただいた材料研究室や、当所原子炉研究会の方々、ならびに直接製造に当られた工務課の方々に感謝の意を表する次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 藤井澄二 “サーボマニピュレータの問題” 機械学会誌 Vol. 59, Jun. 1956.
- (2) R. C. Goertz: “Fundamentals of General-Purpose Remote Manipulators” Nucleonics, Vol. 10, No. 11, 1952.
- (3) R. C. Goertz & F. Bevilacqua: “A Force-Reflecting Positional Servomechanism” Nucleonics, Vol. 10, No. 11, 1952.
- (4) R. C. Goertz & W.M. Thompson: “Electronically Controlled Manipulator” Nucleonics, Vol. 12, No. 11 1954.
- (5) R. C. Goertz: “Mechanical Master-Slave Manipulators”, Nucleonics, Vol. 12, No. 11, 1954.
- (6) 米国原子力委員会編 Chemical Processing and Equipment, McGraw-Hill, 1955.
- (7) 放射性物質利用施設設計基準案 1956 年版

# 三菱ラピッド型けい光燈

研 究 所 山下博典\*・竹田俊幸\*\*

## Mitsubishi Rapid-Start Type Fluorescent Lamps

Engineering Laboratory

Hironori YAMASHITA・Toshiyuki TAKEDA

In spite of their number of merits such as simplicity in construction, low cost and long life which brought them to present popularity, glow-switch-start type fluorescent lamps are considered to be something lacking. The slow starting is the target of criticism after all. A popular cry for the removal of this disadvantage has led to an idea of rapid start of the fluorescent lamp, which, however, can hardly be accomplished without inducing another difficulties. Mitsubishi has worked out a number of ingenious methods such as a special cathode construction and transparent conductive coating inside the valve to overcome the difficulties, going so much as to make them applicable with a dimmer on a simple circuit.

### 1. ま え が き

ここ数年来、ラピッドスタート型と称するけい光燈および点燈器具が市場に進出してきた。ラピッドスタート型という名称が始めて用いられたのは比較的最近のことであるが、かかる起動方式、すなわち電極ヒラメントを予熱し同時にランプ両端に必要な電圧を加えて起動させる方式は、相当古くからあり、スタビラ方式と称せられるものも、これに属するものである。それにもかかわらず最近この起動方式が事新しく取り上げられるようになったのはなぜであろうか。もともと起動方式としては、高圧リーケージトランスを用いる瞬時点燈方式、共振型方式、マグネットスイッチ方式、サーマルスイッチ方式、等が用いられていたが、グロースイッチの出現により、その安価なことから、点滅によるランプ寿命の低下がきわめて少ない円滑確実な起動方式である点から、けい光燈点燈方式の大半は、グロースイッチ方式が占めてきたわけである。しかし一方点燈に若干の時間を要するという欠点は白熱電球の即応性に慣れてきた者にとって、ときに不愉快でさえあり、そのために高価であるにもかかわらず高電圧瞬時点燈たるスリムライン方式に限られた一部ではあるが使用されてきたわけである。また一般家庭など小規模な照明設備ではそれほど問題とはならないが、工場、ビルなどのような数百燈、数千燈の照明設備を有する所では、保守の容易であることが大きな問題となるが、この点、グロースイッチ方式では、グロースイッチそのものが消耗品である上に、ランプがつかないとき、ランプが悪いのかグロースイッチが悪いのか一目でわからないために保守がはん雑になることは否めない。以上のような運動性と保守のはん雑というグロースイッチ方式の有する2つの欠点を除き、しかも安価で、ランプ寿

命を害しない点燈方式が要望され、これに答えて現在ラピッド型と称せられている点燈方式とほとんど同一の方式が過去においても一部に試みられたのであるが、起動の不確実性と短寿命のために広く普及するまでに至らなかったのである。しかしその後幾多の実験研究は起動の問題と短寿命の問題を克服し、新しくラピッド型と称して脚光を浴びることとなった。三菱電機においても早くよりこの点に意を用いて研究を重ね、ようやく昨年より製品としてラピッド型を市場に送り得たのであるが、ここにその研究結果に基づき三菱 40 W ラピッド型けい光燈を中心としてその概要を述べることにする。

### 2. ラピッド型点燈方式の基礎

前述のようにラピッド方式の出現を遅らせたのは、起動と電極の問題である。以下この点につき概説する。

#### ア. 起 動 の 問 題

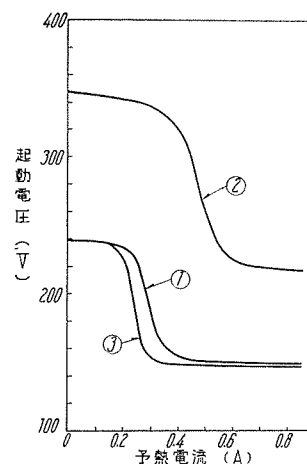
##### (1) 起動電圧に影響を与える因子

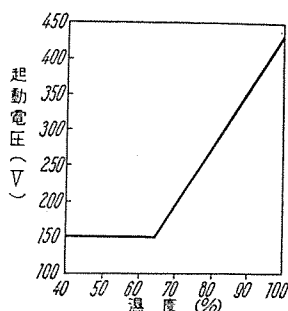
1 図 予熱電流と起動電圧の関係 (40 W T12)

- ① 近接導体接地
- ② 近接導体なし
- ③ 透明導電膜内面塗布

Fig. 1. Pre-heat effect on starting voltage 40 W T12

- ① With grounded near-by conductor.
- ② Without near-by conductor.
- ③ With inside conductive coating.





2 図 湿度と起動電圧の関係  
40 W T12  
予熱電流 0.4 A  
近接導体接地

Fig. 2. Humidity effect on starting voltage.  
40 W T12  
Pre-heat current: 0.4 A  
With grounded near-by conductor.

#### a. 予熱電流

けい光燈の起動電圧は陰極ヒラメントの加熱の程度により変化するが、このことは陰極湿度が高くなるほど熱電子放射が盛んになることから当然である。予熱電流と起動電圧の関係を示すと1図のようになる。すなわち、ある予熱電流値において起動電圧は急に低下するので、ラピッド型では、この電流値以上の適当な値に電極を予熱する。この起動電圧が低下する電流値はヒラメントの種類、構造によって変えることはもちろんで、図は普通の40 W ランプの場合の一例である。

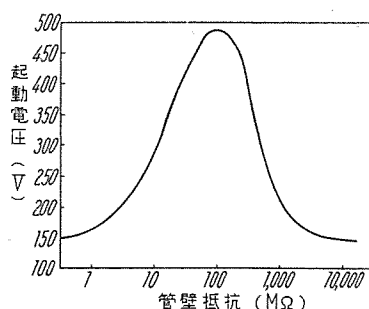
#### b. 近接導体

ランプの近辺に導体のある場合とない場合により起動電圧は異なる。また近接導体のある場合、その導体とランプとの距離、導体とランプ電極間の電位差によっても異なる。1図にその一例を示す。ランプ電極の一方を接地した状況において、曲線①は、幅70 mmでランプ全長にわたる金属板をランプから5 mm 離れた場合の起動電圧特性であり、曲線②はランプから1 m 以内に導体のない場合のものである。

#### c. 湿度および管壁抵抗

起動電圧に及ぼす湿度の影響はとくに著しく、湿度が高くなると起動電圧も非常に高くなる。2図にその状況を示す。一般的に言ってランプ管壁の電気抵抗値が変化すると電極間に電圧を加えた場合の電界分布が変化を受け、起動電圧は変るが、その関係は3図に示すとおりである。一方湿度が変化すると管壁抵抗値が変化する。たとえば、低湿度では管壁抵抗値は $10^5 \text{ M}\Omega$ 以上にもなっているが、湿度が高くなるにつれて管壁抵抗は減少し、湿度100%では200 M $\Omega$ 程度になる。2, 3図を対比すれば、湿度による起動電圧の変化は、管壁抵抗値の変化によるものであることがうかがわれる。

以上のほか、周囲温度、ランプの履歴(点燈時間)等によっても起動電圧は変化するが上記3条件に比べるとその影響はずっと少い。



3 図 管壁抵抗と起動電圧の関係  
40 W T12  
予熱電流 0.4 A  
近接導体接地

Fig. 3. Relations between bulb resistance and starting voltage.  
40 W T12  
Pre-heat current: 0.4 A  
With grounded near-by conductor.

#### b. 金属条貼布

バルブ外側に幅数 mm 程度の金属薄膜をランプ全長に貼布するもので相当起動電圧は低下するが、湿度の影響は、なお若干受ける。これを1極につなげば、起動電圧は湿度に関係なく非常に低くなるが、これに触れた場合のショックが問題である。

#### c. 透明導電膜外面塗布

これは、3図に示した起動特性の左の部分を利用するもので、数百 k $\Omega$  程度の透明導電膜をバルブ外面全体に塗布し、起動電圧を湿度に無関係に非常に低下せしめる有効な起動補助装置であるが、この欠点は、点燈中または片方のピンをソケットに差し込んだ状態でバルブに触れると容量性電流が人体に流れショックを感ずることである。

#### d. 透明導電膜内面塗布

バルブ内面に透明導電膜を塗布するもので、起動時、印加電圧がランプ両端部に集中するので、起動電圧は非常に低下し、湿度の影響は皆無で、近接導体の有無には関係しないすぐれた起動補助装置である。

### イ. 電極の問題

ラピッドスタート方式では、電極加熱と同時にランプ両端に2次電圧が印加されるので、予熱が不十分なうちに放電が開始する可能性が多分にある。1図の曲線①または③において、予熱電流0、すなわち全然予熱してないときの起動電圧が240 V程度になっているが、この場合起動電圧としては、安定な陰極スポットを生じアーク放電になる電圧をとってあるのであって、今もしグロー放電が起る電圧をもって起動電圧とした場合は、予熱電流0において180~190 Vとなる。一方40 W型の場合、安定器の2次電圧は、起動電圧のいかにかわからず、ランプ電流波形の方から少くとも200 Vを必要とする(現在ラピッド型安定器では230 Vにしているのが多い)ので、スイッチインと同時にランプにはグロー放電が起り、やがて予熱電流によりヒラメント温度が上昇し



て安定なアーク放電に移る。(9図参照)この初期のグロー放電では、陰極電圧降下が大きく、この期間に電極は傷められる。この点グロースイッチ方式と大いに異なる点で、したがってラピッドスタート方式における電極ヒラメントは、最初のグロー放電の期間ができるだけ短い構造、換言すれば、ヒートアップが早く、グロー放電によっても速かに電極が加熱されるような構造で、かつグロー放電によって陰極物質が容易に飛散しないよう、これを強固に保持する構造であることが要求され、一般けい光燈用電極構造をそのまま用いることはできない。

### 3. 三菱ラピッド型けい光燈

#### ア. 電極構造

前述のようなラピッド型けい光燈の電極に要求される条件を満たすものとして当社で研究の結果採用している電極ヒラメントは、4図(a)に示すごときものである。比較のため同図(b)に一般用けい光燈の電極を示す。一般用ヒラメントは、1本のタングステン線を2重コイルにしたものであるが、当社のラピッド用ヒラメントは、複数本のタングステン線を並列に巻きそれを2重コイルにしたものである。この場合各素線は単線の場合に比し、ずっと細くなり局部的熱容量が小さくなって、起動時のグロー放電によるヒートアップが速やかに行なわれ、安定なアーク放電に移る。点燈中は各素線が放電電流を分担する。さらにまたこの構造では、同一ヒラメント抵抗、同一陰極物質保持量に設計した場合各素線間の間隔を図に示されているように小さくつめることができるので、陰極物質の保持が強固となる。すなわち、ヒートアップが速いこと、陰極物質保持が強固であること、と言う必要事項を満たし、すぐれた点滅強度と寿命を有する。

#### イ. 起動補助装置

さきに述べた各種起動補助装置のうち、三菱電機では透明導電膜を内面に塗布する方法を採用しており、近接導体の有無にかかわらずいかなる周囲条件においても確実に起動した配線上の特別の配慮を必要としない。導電膜塗布による光度の低下はよほど厚く塗らなければ問



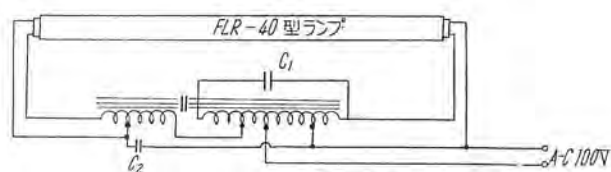
4 図 a 予熱起動型ランプのフィラメント (ダブルコイル)

Fig. 4a. Filament for pre-heated start type lamps (double coil)



4 図 b 三菱ラピッドスタート蛍光ランプのフィラメント (4本組のダブルコイル)

Fig. 4b. Filament for Mitsubishi rapid start fluorescent lamps.



5 図 三菱 40 W ラピッド型点燈回路 (FDR-42A 型)

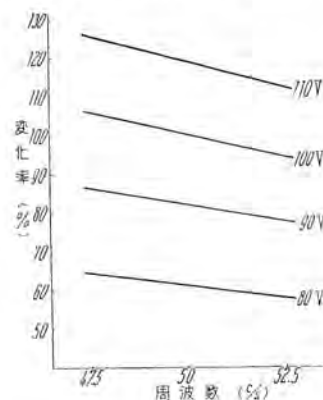
$C_1$ : 力率改善用コンデンサ

$C_2$ : 雑音防止用コンデンサ

Fig. 5. Circuit of 40 W rapid start type (FDR-42A)

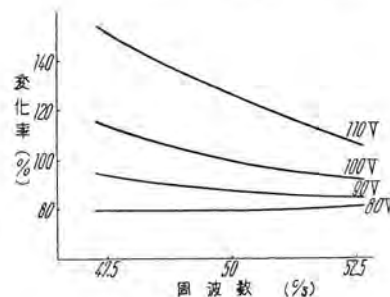
6 図 FDR-42A5 電源電圧・周波数変化と管電流の変化  
定格管電流 435 mA

Fig. 6. Effects of source voltage and frequency on lamp current. FDR-42A5.



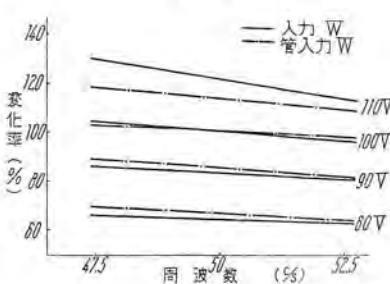
7 図 FDR-42A5 電源電圧・周波数変化と入力電流の変化  
定格入力電流 0.59 A

Fig. 7. Effects of source voltage and frequency on input current. FDR-42A5



8 図 FDR-42A5 電源電圧・周波数変化と入力・管入力の変化  
定格入力 53 W, 管入力 40 W

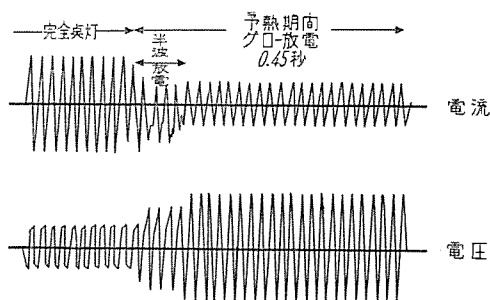
Fig. 8. Effects of source voltage and frequency on input wattage and lamp wattage. FDR-42A5.



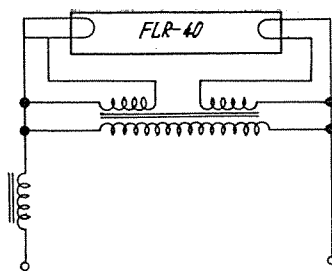
題とならないのみか、その紫外線反射特性を利用することにより光度を若干増加させることもできる。

#### ウ. 点燈器

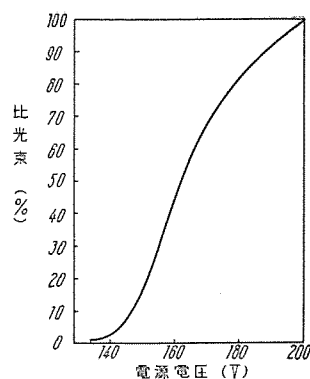
各種の点燈器があるが、回路的にも特性的にも似通っているので、代表的なものとして、40 W 1 燈、100 V、50 c/s 用の安定器 FDR-42A5 について、その回路と特性を5図～8図に示す。また9図に当社製ラピッド型ランプと点燈器を組み合わせた場合の起動時のオシログラムを示す。



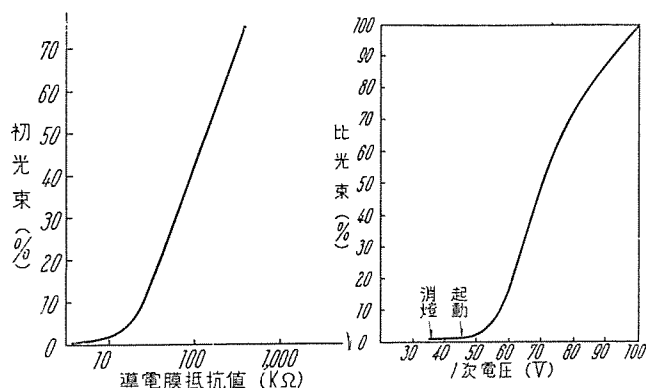
9 図 三菱ラピッドランプの起動時オシログラム  
Fig. 9. Oscillogram of Mitsubishi rapid start lamp at the starting.



10 図 調光回路の 1  
Fig. 10. Dimming circuit 1.

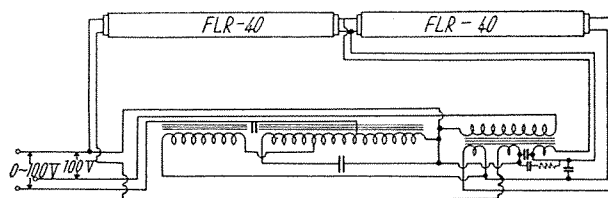


11 図 調光特性の 1  
Fig. 11. Dimming characteristics 1.



12 図 導電膜抵抗値と調光特性  
Fig. 12. Effect of conductive coating resistance on starting voltage.

14 図 調光特性の 2  
Fig. 14. Dimming characteristics 2.



13 図 調光回路の 2  
Fig. 13. Dimming circuit 2.

る。ただ導電膜抵抗値をこの程度に十分低くすることは種々の問題があるのでこの欠点を除くため、13 図に示すような 2 燈直列の逐時起動回路を用いれば、導電膜に対する抵抗値の制限もはるかに楽となり、一層円滑な調光ができることは 14 図に示すとおりである。

#### 4. む す び

ラピッドスタート型点燈方式は、従来のグロ-スイッチ方式の欠点を除き、しかもその長所を保持する魅力ある方式であるが、主として電極構造および起動の点でグロ-方式とは異なった困難な問題を内蔵している。三菱ラピッドスタートランプは、特殊な電極構造と内面導電膜塗布によりこの問題を解決し、すぐれた特性を有するのみならず、また調光用にも簡単に応用できる特長を持っている。

終りに、本文を草するに当って、主として点燈器に関して豊富な資料を提供していただいた大船工場東技師、村井技師その他技術課の方々に謝意を表する。

#### エ. 調光への応用

管内面に導電膜を塗布した当社製ラピッド型けい光燈は、起動電圧が低くかつ確実であるから、電源電圧を変化させるだけで簡単に調光でき、従来のような特別な装置を使う必要がない。いま 10 図の回路で電源電圧を上昇させた場合の調光特性を 11 図に示す。図では数 % の明るさから調光できることが示されているが、この立ち上りの初光束値は導電膜抵抗値に関係し、抵抗値が高いと起動電圧が上昇して初光束は大きくなり調光範囲が狭くなる。その状況を示すのが 12 図で、薄膜抵抗値と立ち上り初光束との関係である。同図によれば、立ち上り光束がほとんど 0 から広汎な調光をするためには薄膜抵抗値は 10 kΩ 程度以下にしなければならない。11 図に示した調光特性は、かかる低抵抗値の場合のものである。

# 電鉄事故選択遮断装置用雑音除去装置を用いた人工故障試験

本 社 迎 久 雄\*

## Artificial-Faults Experiment for the Selective Protective Device of the Electric Railroad Circuits with the Newly Improved Standing-Noise Eliminator.

Head Office Hisao MUKAE

To heighten the selective sensitiveness of an arc type fault selective interrupting device, a standing noise eliminator to eliminate noises regularly occurring on feeder lines has been built by Mitsubishi and tested in Ofuna and Yokohama sub-stations of National Railways. The results are marvellous and it has been confirmed that the selective interruptor is positively operated without removing noises due to faults which are to be taken out on the output side for the desired interruption.

### 1. ま え が き

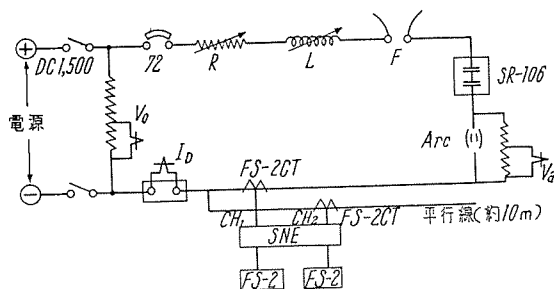
さきに論文「電鉄事故時の選択遮断装置の改良」によって報告申し上げたとおり<sup>(1)(2)(3)</sup>、三菱電機では電弧型事故選択遮断装置の選択感度を高めるために、新しく饋電線に発生している常時雑音の除去装置を作成、東鉄大船変電区および東鉄横浜変電区において常時雑音除去特性の実測を行ったところ、所期の目的どおりきわめてよく常時雑音を除去することが確認されたが、これに対し事故が発生した場合の事故電流による雑音は除去することなく有効に出力側に取り出し、選択遮断装置を確実に動作させることを実測により確認するため、鉄道技術研究所電力保安研究室のご好意によって、同研究室大井町分室において人工故障試験を行った。

結果はまったく満足すべきものであって、大井町分室においては常時雑音を除去した状態において事故雑音出力は常時雑音出力の10数倍に達した。

新装置「常時雑音除去装置」は、大船、横浜および大井町における一連の実測の結果、原理どおりの動作を示すことが確認されたので、今回の人工故障試験結果を中心に報告する次第である。

1 表 大井町変電区電源主機運転時間表

主 機	No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
日	Maker	日 立	富 士	東 芝	三 菱	日 立	日 立
時	容 量	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	3,000
3 月 7 日 (第 1 日)	9.00	↓		↓		↓	
	10.00						
	11.30			↑	↑	↓	
	15.00						
	21.00						
3 月 8 日 (第 2 日)	11.00	↑		↓			↓
	13.00						
	15.00	↓			↑		
	17.00						
	21.00						
3 月 9 日 (第 3 日)	10.00	↑		↓		↑	↓
	13.00						
	17.00						
	21.00						



Arc. 事故点 72. 気中遮断器 R. 制限用格子抵抗 L. 空心インダクタンス F. 回路保護用ホーンヒューズ SR-106. 断流器 SNE. 常時雑音除去装置 (Standing Noise Eliminator) FS-2. 電弧型事故選択遮断装置 CH. 回線 VD. 電源電圧 Va. 電弧電圧 Id. 電流 (註) 約 10 m の平行線を張り、FS-2 を入れたのは事故時の随伴動作の有無をしらべようとするものである。

1 図 試験回路および測定回路図

Fig. 1. Test circuit and measurement circuit.

### 2. 常時雑音除去装置を用いた人工故障試験

ア. 日時 昭和 32 年 3 月 6 日 (水) 準備

昭和 32 年 3 月 6 日 (水)~9 日 (土) 実測

イ. 場所 鉄道技術研究所電力保安研究室大井町分室

ウ. 参加者 鉄道技術研究所電力保安研究室

三菱電機株式会社

エ. 供試品 常時雑音除去装置

(Standing Noise Eliminator)

FS-2 型事故選択遮断装置 (メータリレ一方式)

オ. 測定項目

(1) 電源電圧 (2) 電弧電圧 (3) 電弧電流

(4) 雑音除去装置出力波形 (5) 人工故障状況

カ. 試験回路および測定回路

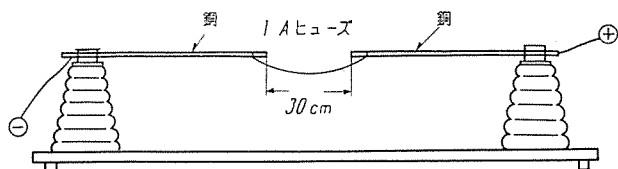
試験回路および測定回路は 1 図に示すとおりである。

キ. 電源主機運転時間 (大井町変電区)

日によって電流中の雑音成分の量に変動があったので参考のために調査したものである。

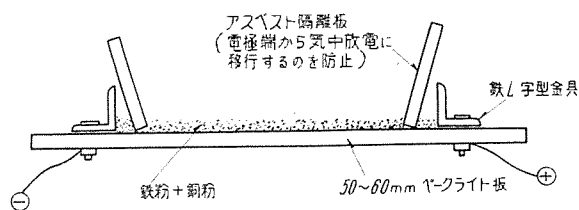
## ク. 人工故障種類および発生法

人工故障としては実際に起りうる可能性があると思われる気中アーク、絶縁沿面放電、電線管内絶縁破壊および碍子内面閃絡の4種について行った。



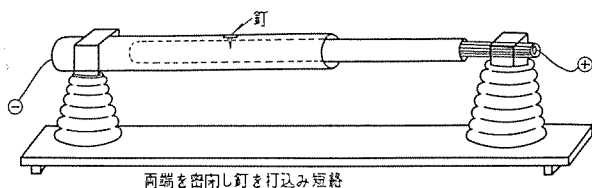
2 図 気中アーク発生法

Fig. 2. Arc generation in the air.



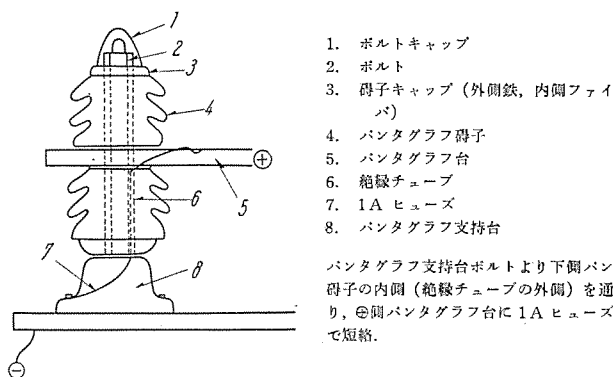
3 図 絶縁沿面放電発生法

Fig. 3. Creeping arc generation on insulation.



4 図 電線管内絶縁破壊発生法

Fig. 4. Insulation breakdown inside a conduit.



5 図 碍子内面閃絡発生法

Fig. 5. Flash over inside insulator.

## ケ. 試験結果記録

### (1) 鉄研大井町分室における雑音除去特性の測定

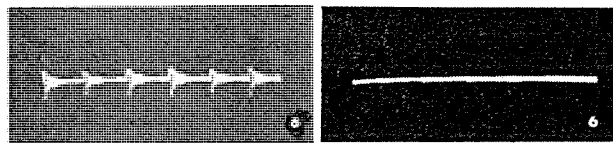
人工故障試験に先だち、大井町分室における雑音除去特性をしらべるため、常時雑音除去装置（以下 SNE と略称する）の雑音不除去の場合の再生出力を CT 2 次出力と同一とし、これを除去したところ雑音除去率は 80% に達した。

電鉄事故選択遮断装置用雑音除去装置を用いた人工故障試験・迎

SNE 再生出力目盛 2 負荷電流 50 A  $L=0$  mH

不除去時 (I)

除去時 (i)



$$\text{雑音減少率} = i/I = 1/5 = 20\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 4/5 = 80\%$$

(注)  $L$  は距離 1km ごとに 1mH と仮定した。

6 図

(2)~(6) の波形は、すべて常時雑音を除去した状態において SNE 再生出力目盛 4.5 一定としてある。

### (2) 気中アークにおける雑音波形

銅-銅電極 極間=30 cm 1 A Fuse にて発弧

(I)  $I=300$  A  $L=0$  mH FS-2 動作 (○)



7 図

(II)  $I=300$  A  $L=5$  mH FS-2 不動作 (×)



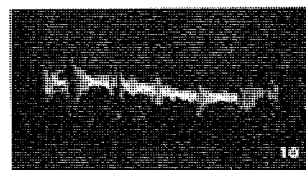
8 図

(III)  $I=300$  A  $L=10$  mH FS-2 (×)



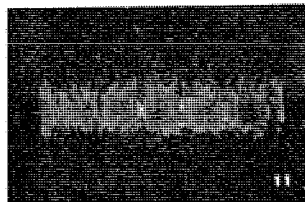
9 図

(IV)  $I=300$  A  $L=20$  mH FS-2 (×)

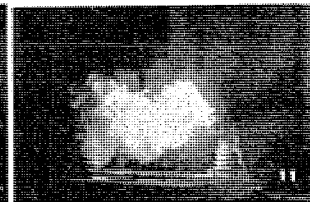


10 図

(V)  $I=500$  A  $L=0$  mH FS-2 (○)



オシログラム  
Oscillograms

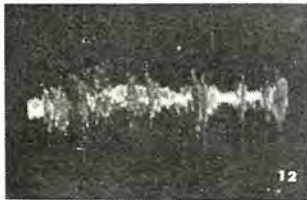


実況  
Actual conditions

11 図



(VI)  $I=500\text{ A}$   $L=5\text{ mH}$  FS-2 ( $\times$ )



12 図

(VII)  $I=500\text{ A}$   $L=10\text{ mH}$  FS-2 ( $\times$ )



13 図

(VIII)  $I=500\text{ A}$   $L=20\text{ mH}$  FS-2 ( $\times$ )



14 図

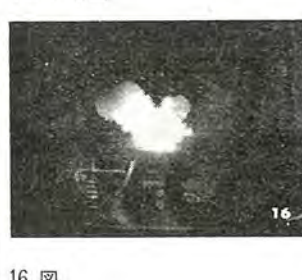
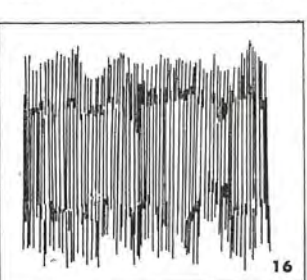
(3) 沿面放電 (鉄粉) における雑音波形  
ベークライト板上の鉄粉 極間 15.8 cm

(I)  $I=300\text{ A}$   $L=0\text{ mH}$  FS-2 ( $\circ$ )



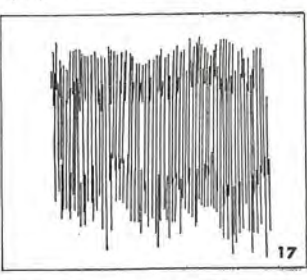
15 図

(II)  $I=300\text{ A}$   $L=5\text{ mH}$  FS-2 ( $\circ$ )



16 図

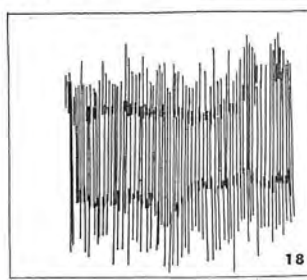
(III)  $I=300\text{ A}$   $L=10\text{ mH}$  FS-2 ( $\circ$ )



17 図

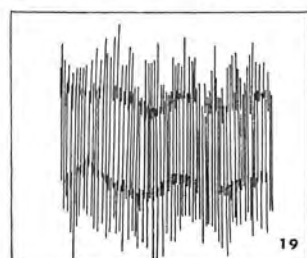
オシログラム Oscillograms 実況 Actual conditions

(IV)  $I=300\text{ A}$   $L=20\text{ mH}$  FS-2 ( $\circ$ )



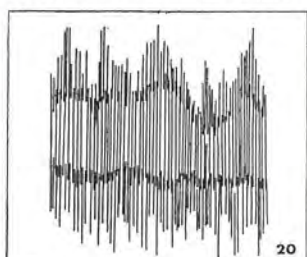
18 図

(V)  $I=500\text{ A}$   $L=0\text{ mH}$  FS-2 ( $\circ$ )



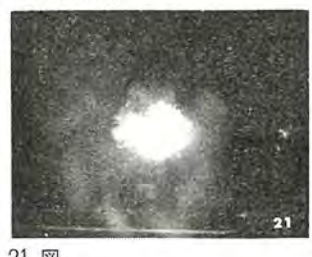
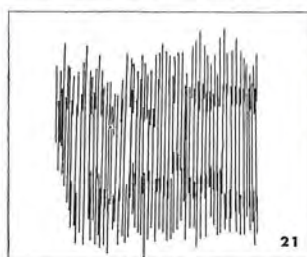
19 図

(VI)  $I=500\text{ A}$   $L=5\text{ mH}$  FS-2 ( $\circ$ )



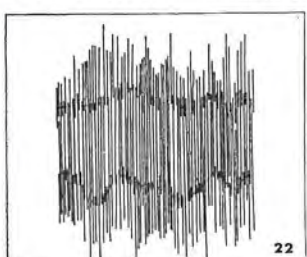
20 図

(VII)  $I=500\text{ A}$   $L=10\text{ mH}$  FS-2 ( $\circ$ )



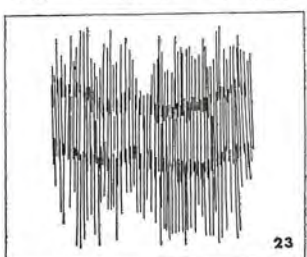
21 図

(VIII)  $I=500\text{ A}$   $L=20\text{ mH}$  FS-2 ( $\circ$ )



22 図

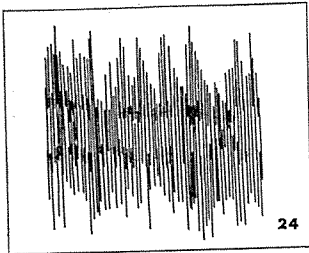
(IX)  $I=1000\text{ A}$   $L=0\text{ mH}$  FS-2 ( $\circ$ )



23 図

オシログラム Cscillograms 実況 Actual conditions

(X)  $I=1000\text{ A}$   $L=5\text{ mH}$

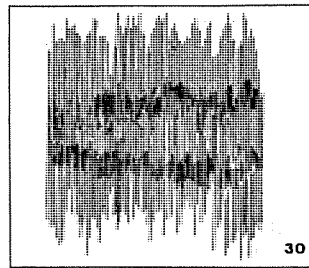


FS-2 (○)

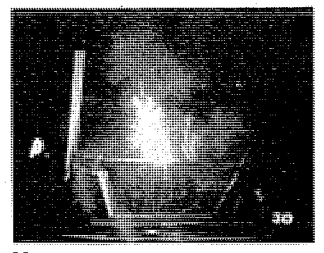


24 図

(IV)  $I=500\text{ A}$   $L=0\text{ mH}$

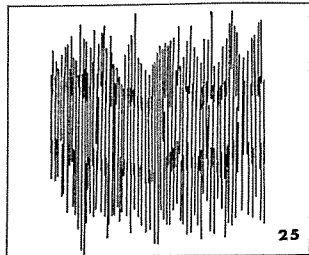


FS-2 (○)

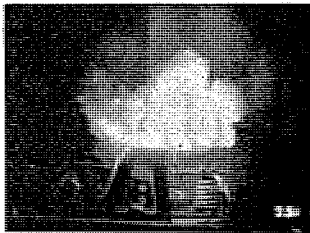


30 図

(XI)  $I=1000\text{ A}$   $L=10\text{ mH}$



FS-2 (○)

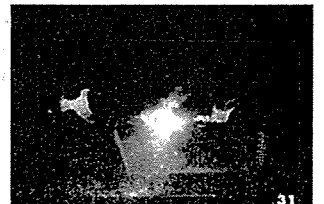


25 図

(V)  $I=500\text{ A}$   $L=5\text{ mH}$

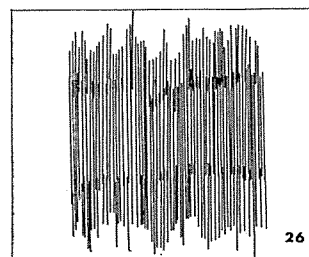


FS-2 (○)

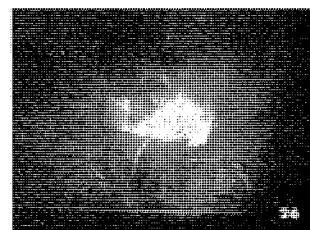


31 図

(XII)  $I=1000\text{ A}$   $L=20\text{ mH}$

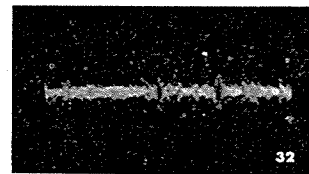


FS-2 (○)

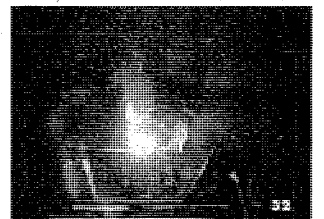


26 図

(VI)  $I=500\text{ A}$   $L=20\text{ mH}$



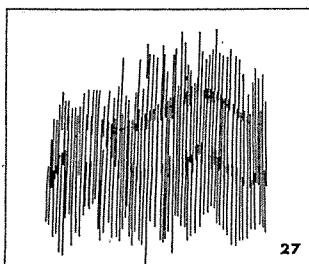
FS-2 (×)



32 図

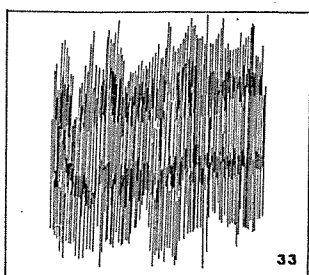
#### (4) 電線管閃絡における雑音波形

(I)  $I=300\text{ A}$   $L=0\text{ mH}$  FS-2 (○)

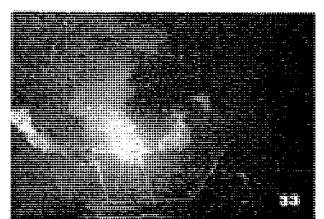


27 図

(VII)  $I=1000\text{ A}$   $L=0\text{ mH}$

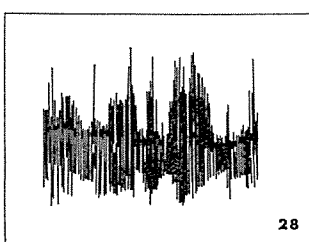


FS-2 (○)

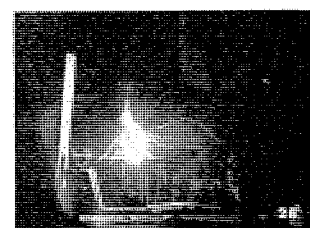


33 図

(II)  $I=300\text{ A}$   $L=5\text{ mH}$

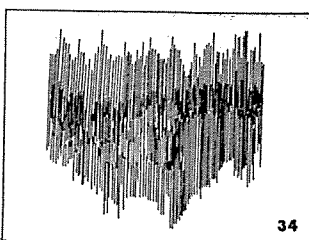


FS-2 (○)

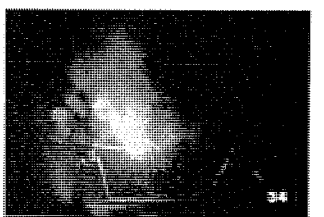


28 図

(VIII)  $I=1000\text{ A}$   $L=5\text{ mH}$

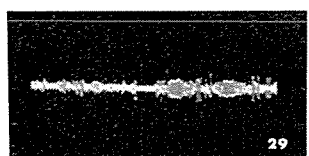


FS-2 (○)

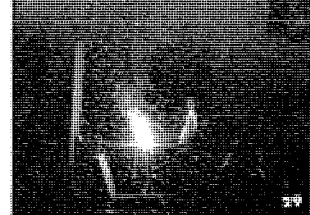


34 図

(III)  $I=300\text{ A}$   $L=20\text{ mH}$

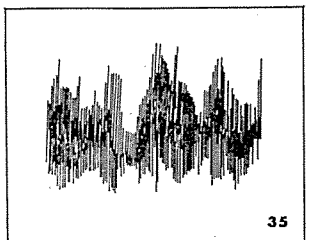


FS-2 (×)

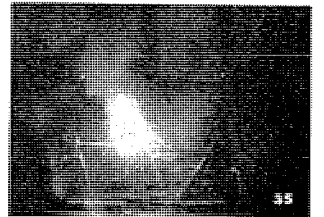


29 図

(IX)  $I=1000\text{ A}$   $L=20\text{ mH}$



FS-2 (○)



35 図

オシログラム Oscillograms

実況 Actual conditions

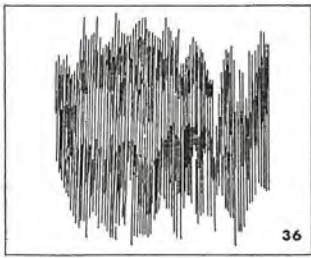
オシログラム Oscillograms

実況 Actual conditions



(5) パンタグラフ碍子内面閃絡における雑音波形

(I)  $I=300\text{ A}$   $L=0\text{ mH}$  FS-2 (○)



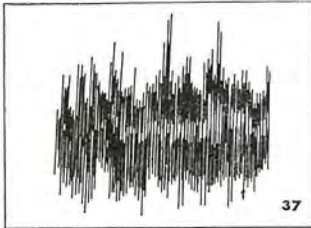
36



36

36 図

(II)  $I=300\text{ A}$   $L=20\text{ mH}$  FS-2 (○)



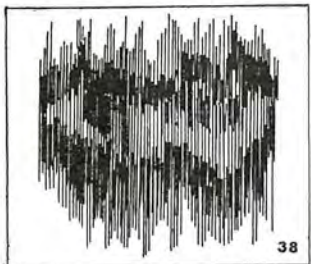
37



37

37 図

(III)  $I=500\text{ A}$   $L=0\text{ mH}$  FS-2 (○)



38



38

38 図

(IV)  $I=500\text{ A}$   $L=20\text{ mH}$  FS-2 (○)



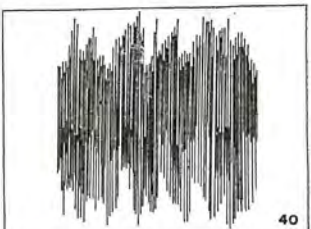
39



39

39 図

(V)  $I=1000\text{ A}$   $L=0\text{ mH}$  FS-2 (○)



40



40

40 図

(VI)  $I=1000\text{ A}$   $L=5\text{ mH}$  FS-2 (○)



41



41

41 図

オシログラム Oscillograms

実況 Actual conditions

(VII)  $I=1000\text{ A}$   $L=10\text{ mH}$  FS-2 (×)



42



42

42 図

(6) 事故雑音(S)/常時雑音(N) (S/N 比) を求めるための定常負荷電流における雑音出力 (鉄研大井町分室における雑音波形)

(I) 負荷電流=300 A  $L=10\text{ mH}$



43

43 図

(II) 負荷電流=500 A  $L=10\text{ mH}$



44

44 図

(III) 負荷電流=1000 A  $L=10\text{ mH}$

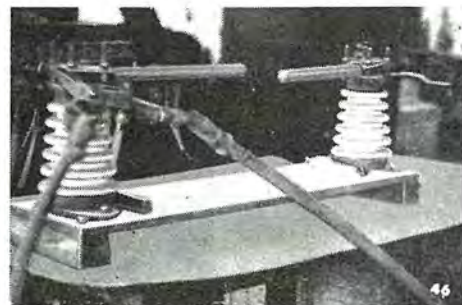


45

45 図

(7) 試験状況

(a) 気中アーク用電極 (試験前)



46 図

Fig. 46. Electrodes for arc generation in the air.

(b) 絶縁沿面放電



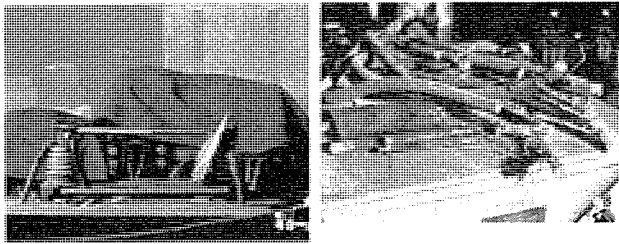
47 図 試験後のベークライト板

Fig. 47. Bakelite board after test.

(c) 電線管閃絡

試験前

試験後の電線管



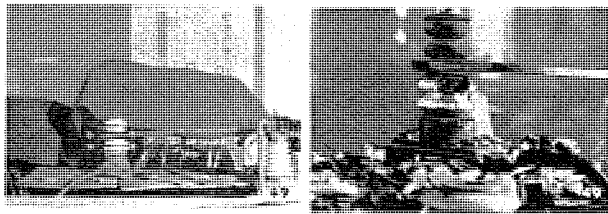
48 図

Fig. 48. Flash over test of conduit tube.

(d) 碍子内面閃絡

試験前

試験後の碍子

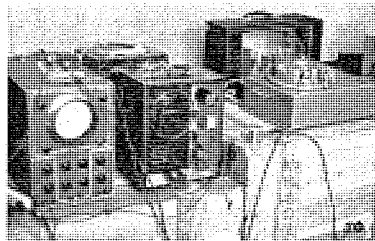


49 図

Fig. 49. Flash over test of inside insulator.

(e) SNE, SD 本体および測定回路

右……常時雑音除去装置  
(SNE)  
中……FS-2 型事故選択装置  
(SD)  
左……波形観測用ブラウン管  
オシログラフ

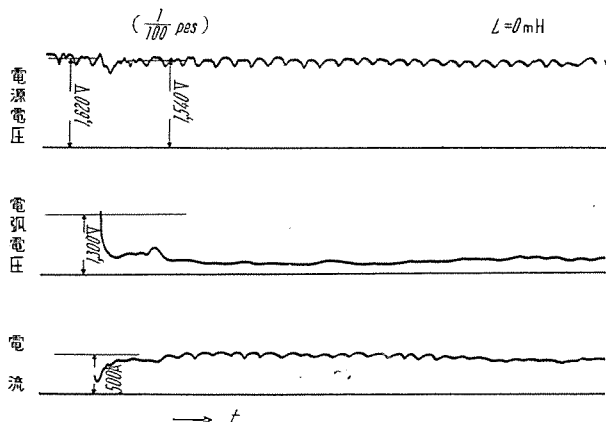


50 図

Fig. 50. Body of SNE, SD and measurement circuit.

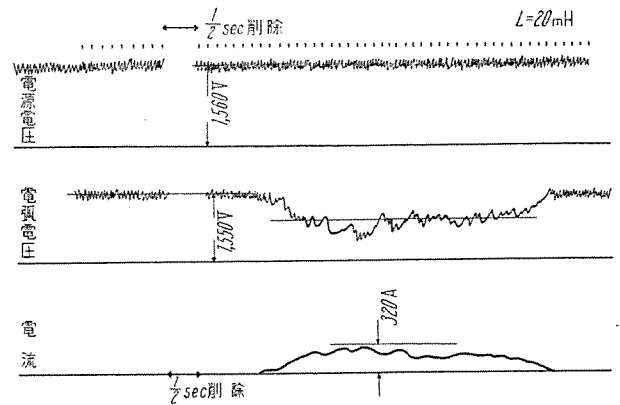
(8) 電磁オシログラム記録例

電磁オシログラムによって記録した電源電圧、電弧電圧および電流波形を各故障種別について一例を示すと、51~54 図のようである。



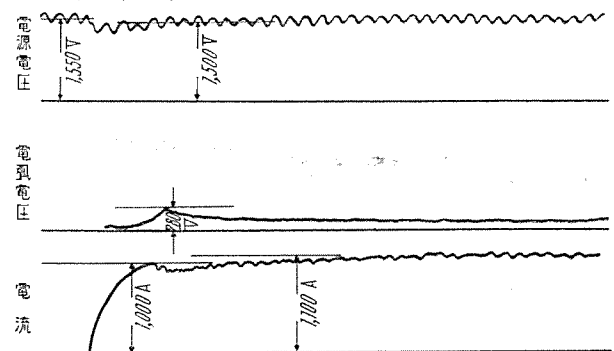
51 図 空中アーク電磁オシログラム例

Fig. 51. Examples of electro-magnetic oscillograms of arcing in the air.



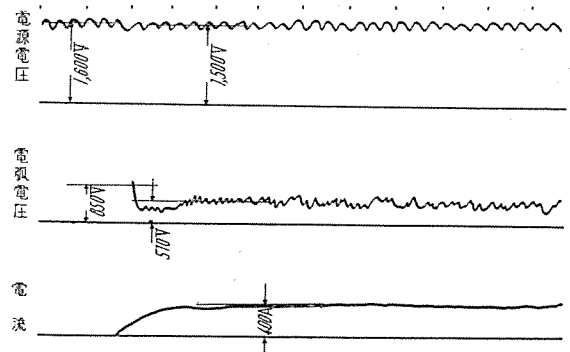
52 図 絶縁沿面放電電磁オシログラム例

Fig. 52. Examples of electro-magnetic oscillograms of creeping discharge.



53 図 電線管内絶縁破壊電磁オシログラム例

Fig. 53. Examples of electro-magnetic oscillograms of insulation breakage inside conduit tube.



54 図 碍子内面閃絡電磁オシログラム例

Fig. 54. Examples of electro-magnetic oscillograms of flash-over inside insulator.

### 3. 試験結果の整理

ア、常時雑音 (N) に対する事故雑音 (S) の S/N 比  
試験結果の記録から常時雑音を除去した状態における事故雑音 (S) と常時雑音 (N) との S/N 比を求めると 2 表のようである。



2 表 事故雑音 (S) と常時雑音 (N) との S/N 比

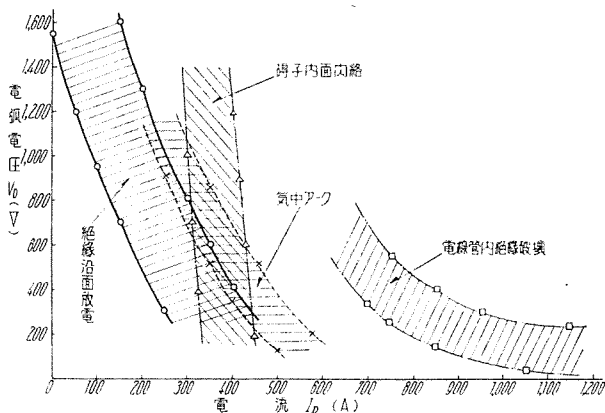
故障種別	事故電流 (A)	負荷電流 (A)	L (mH)	事故電流雑音振幅	負荷電流雑音振幅	S/N 比 (%)	FS-2 動作実績	備 考
気中アーク	300	300	0	18 mm	3 mm	600	○	1) 試験中 SNE 再生出力目盛は 4.5 で一定としてある。 2) 雑音振幅は振動の尖頭の平均値をスケールで測った値である。 3) 負荷電流雑音は変電所間隔の平均値として L=10 mH を以て代表してある。
	"	"	5	15	"	500	×	
	"	"	10	8	"	266	×	
	"	"	20	8	"	266	×	
	500	500	0	12	3	400	○	
	"	"	5	8	"	266	×	
絶縁沿面放電	"	"	10	8	"	266	×	
	"	"	20	8	"	266	×	
	300	300	0	35	3	1170	○	
	"	"	5	33	"	1100	○	
	"	"	10	33	"	1100	○	
	"	"	20	35	"	1170	○	
	500	500	0	36	3	1200	○	
	"	"	5	40	"	1330	○	
	"	"	10	34	"	1130	○	
	"	"	20	35	"	1170	○	
	1,000	1,000	0	40	2.5	1600	○	
	"	"	5	35	"	1400	○	
電線管閃絡	"	"	10	34	"	1360	○	
	"	"	20	39	"	1560	○	
	300	300	0	36	3	1200	○	
	"	"	5	28	"	935	○	
	"	"	20	3	"	100	×	
	500	500	0	38	3	1270	○	
	"	"	5	11	"	370	○	
	"	"	20	5	"	167	×	
	1,000	1,000	0	40	2.5	1600	○	
	"	"	5	20	"	800	○	
	"	"	20	20	"	800	○	
碍子内面閃絡	300	300	0	40	3	1330	○	
	"	"	20	25	"	835	○	
	500	500	0	40	3	1330	○	
	"	"	20	17	"	566	○	
	1,000	1,000	0	38	2.5	1520	○	
	"	"	5	19	"	760	○	
	"	"	10	16	"	640	×	

## イ. 事故電流の電弧電圧特性

電磁オシログラムを解析して [電弧電流  $I_D$ : 電弧電圧  $V_D$ ] の振動範囲を求めたところ, 55 図のようになった。

気中アークは安定で振動範囲の狭いのに対し, 絶縁沿面放電の場合は激しく変動し, 振動範囲が広がっている。

また, 碍子内面閃絡では電弧電流の変化の小さい範囲内で電弧電圧が激しく変動し, 電線管内絶縁破壊では電弧電圧が低く, 電弧電流大なる範囲に振動が偏している。



55 図 事故電流の電弧電圧特性

## ウ. 人工故障試験における FS-2 型電弧型選択遮断装置の動作範囲

今回の人工故障試験では, 各故障種別とも事故電流および  $L$  の変化に対する実験回数が少なかったため統計的処理をするにはあまりに個数が少く, 単に傾向を知るに止まるが, 常時雑音除去装置を通した場合, FS-2 型電弧型選択遮断装置の動作範囲は 3 表のようになる。

3 表

FS-2 型電弧型事故選択遮断装置の動作範囲

(a) 気中アーク

L (mH)	0	5	10	20
I (A)				
300	○	×	×	×
500	○	×	×	×
1,000	○	×	×	×

(b) 絶縁沿面放電

L (mH)	0	5	10	20
I (A)				
300	○	○	○	○
500	○	○	○	○
1,000	○	○	○	○

(c) 電線管閃絡

L (mH)	0	5	10	20
I (A)				
300	○	○	○	×
500	○	○	○	×
1,000	○	○	○	×

(d) 碍子内面閃絡

L (mH)	0	5	10	20
I (A)				
300	○	○	○	○
500	○	○	○	×
1,000	○	○	×	×

注 1. ○……動作 ×……不動作  
注 2. FS-2 型電弧型事故選択遮断装置入力信号分圧調整値は 98%, 時限继电器設定時限は 25 c/s である。

## 4. む す び

### ア. 事故電流雑音に対する考察

(1) 試験結果の記録に見られるとおり, 新装置“常時雑音除去装置”はよく原理どおりに動作することが判明した。すなわち, 鉄道技術研究所大井町分室における負荷電流雑音は大井町変電区水銀整流器の 6 相転流時に発生する電弧およびその高調波である電源周波数の高調波成分が大部分であって, 整流器フィルタがないために, それらの雑音は直流電流にかなり大きく発生しているにもかかわらず, 常時雑音除去装置を通すことにより, 逆相打消の原理によってきわめてよく除去され, 2. 項 (1) で示すように, 雑音除去率は 80% に達している。

しかも, 事故電流雑音出力は 2. 項 (2)~(5) で示すように常時雑音除去状態において, ブラウン管オシログラフ上でほとんどフルスケールに振れている。

これで, 常時電流雑音は電源周波数と高調波関係にあ

る規則的反復波形であり、事故電流雑音成分は電源周波数と高調波関係のない雑多な周波数成分を含み、絶えず大きさも不規則に変化することが確認された訳である。

(2) 人工故障の種類は、気中アークは別として一応起りうる可能性が多いと思われるもの4種について行ったものである。各故障種別毎に結果を検討してみると、

(a) 気中アークでは、電流の大きいかんにかかわらず  $L=0\text{ mH}$  の場合に多少大きい雑音が発生するだけで、その他の場合はほとんど雑音が出ていない。これは、気中アークは非常に安定なアークであって、安定なアークでは不規則な雑音振動分がなく、気中アークはほとんど直流電流そのもののような状態となることを示している。したがってこの場合は、常時雑音除去装置の有無に関係なく選択遮断装置は動作しにくい。

しかし、実際の事故では、初めから安定な気中アークが発生する例はまれであり、多くの場合、安定したアークに移行する以前に絶縁破壊、沿面放電など不安定なアークを発生する過渡的状态を経過するから、この時期に事故を確実に検出すればよい。

(b) 絶縁板上の沿面放電（ベークライト板上の、鉄粉による沿面放電）では、事故雑音がきわめて大きく、常時雑音除去装置を通した場合、S/N 比は電流および  $L$  のいかにかわらず 10 数倍に達しており、したがって選択遮断装置も 100% 動作している。

実際には、事故はこのケースから出発、拡大することがもっとも多いことが知られているから、事故を拡大しないうちに確実に検出し、高速度遮断器を動作させるための最適特性を有することが判明した。

(c) 電線管閃絡では、 $L$  が増大するに従って雑音出力が減少する傾向が強いが、絶縁沿面同様雑音の不規則振動が非常に大きい。今回の人工故障試験では、供試電線管の両端の密封が十分でなく、発弧した場合のガスの漏れが大きかったが、実際には電線管は密封されているから発弧の際ガスが充満し、激しい雑音振動を発生するものと思われる。

実際の場合は沿面放電同様この種の事故が先行して発生する場合が多いから、やはり、この時期に事故を確実に検出し、高速度遮断器を動作させるのに適した特性を有している。

(d) パンタグラフ碍子内面閃絡も、非常に大きい不規則振動雑音出力を得ている。

#### 1. 常時雑音除去装置付電弧型事故選択遮断装置の将来性

上記の事故電流雑音に対する考察で述べたように、常時雑音除去装置付電弧型事故選択遮断装置は、事故の大多数が必ず経過すると思われる沿面放電あるいは電線管閃絡のような初期的事故時に、非常に高い精度をもって事故を検出できる特性を有している。そして、3 表に示したように、検出感度は事故電流の大小には関係なく、事故電流が小さい場合でも検出感度は非常に高い。ただし、 $L$  の大小により、検出感度に差があり、 $L$  が大になるに従って振動分がインダクタンスに吸収されて検出感度が悪くなる傾向が見える。

しかし、国鉄では今後変電所を、5~10 km の間隔で設置する方針とのことであるから、 $L$  が 10 mH 以下の範囲内で、事故電流の大小にかかわらず、確実に事故を検出できる特性が望ましいわけで、その点、この装置は十分満足すべきものである。

さらに、微分型選択遮断方式では  $L$  が小、事故電流が大なる範囲では確実であるが、事故電流が小さく、かつ沿面放電、電線管閃絡の初期のような状況では非常に事故を検出しにくく、事故を拡大させるおそれがあるが、この装置は微分型のこの難点を十分に補償する特性を有している。

したがって、微分型の選択特性を有する高速度遮断器と、本装置を結合することによって、電鉄直流回路の保護性能は著しく向上する筈である。

最終的には、常時雑音除去装置はトランジスタ回路とし、事故選択遮断装置もメータリレー式のものとして軽量、小形かつ安定で取扱簡易な装置に纏めることになっている。

今回の人工故障試験の結果、最終設計に対する、具体的な、しかも非常に明るい見通しをうることができた。

終りに臨み、今回の人工故障試験に関して種々ご指導ならびにご援助を賜った鉄道技術研究所電力保安研究室広瀬室長、三浦、渡辺両技師ならびに室員の諸氏および本社電力技術部長木村久男博士、田淵、井村両技師に対し、深甚なる謝意を表する次第である。

#### 文 献

- (1) 迎・田淵・木村：電鉄事故時の選択遮断装置の改良  
電気学会誌 77, 4 月号 (昭 32) p. 387~392.
- (2) 迎：電鉄事故時の選択遮断装置の改良  
三菱電機, Vol. 31, No. 4 臨時増刊 p. 44~60.
- (3) 迎：電鉄事故時の選択遮断装置の改良 (続)  
三菱電機, Vol. 31, No. 7, p. 51~54.



## 通信線に発生する誘導雑音 [I]

本社電力技術課長 (工博) 安 藤 安 二

## 1. ま え が き

電力線と通信線との協調問題は、

- (1) 漏洩電流による電触問題
- (2) 低周波誘導高電圧に対する保護問題

(電力線に故障が発生したときに通信線に誘起する高電圧によって通信側に発生する被害を防止する問題であって、主として商用周波数電流による電磁誘導が対象となる。)

- (3) 雑音周波数による干渉問題

(電力線に常時運転中に発生している高調波電圧および高調波電流が電話線に誘起する雑音であって、電話雑音となるものである。)

に分けられるが、その内で雑音周波数による誘導雑音について説明する。この雑音問題についてはすでに Edison Electric Institute と Bell Telephone System との共同の詳細な研究報告があり、また Westinghouse 社発行の Electrical Transmission and Distribution Reference Book にも記述されているところであるが、現下わが国では電鉄関係および一般工業会社などで水銀整流器を設置する場所が多く、誘導雑音問題が重要視されるようになってきたので、この問題を整理し報告する。

ところで誘導雑音を算定する段階としてつぎの順序が考えられる。

- (1) まず電力線に発生する高調波電圧および高調波電流を求め、さらにこの高調波電圧および高調波電流をそれぞれ平衡成分と残留成分とに分けて算出する。
- (2) 電力線の配置、電話線の配置および電力線と電話線との関係位置によって定まる誘導係数を算出する。
- (3) 電力線の燃架および電話線の燃架の効果を算定し、さらに他導線による遮蔽係数を考慮に入れる。
- (4) さらに電話線に発生する誘導を対地回路 (longitudinal-circuit) に発生する成分と、線間回路 (Metallic-circuit) に発生する成分とに分けて考え、前者に流れる対地成分が電話線回路の不平衡のために線間成分を発生する比率をも考えに入れなければならない。
- (5) 最後にそれぞれの成分を合成した結果を求める。

これらの段階を経て関係因子を全部考えに入れて雑音計算をやらなければならないが、関係因子を網羅して、かつ遮蔽係数も勘案することは不可能に近いことは明かであって、できるだけ実測した結果に頼るのが実状である。回路常数等がよくわっている場合でも実測値と測定値との間に相当の差異があって、その精度は 2 対 1 (6db) 程度といわれている。

計算値と実測値との間に差異が生ずる一番大きなものは、大地導電率の実際の値がつかみにくいことおよび他導体よりの遮

蔽を全部計算に入れることができないのが大きな原因である。実際の測定例を示すと 1 表のようになる。

1 表 誘導係数に関する実験値と理論値との比較

	実験場所	比		率	
		電磁誘導 平衡分	残留分	静電誘導 平衡分	残留分
対地回路係数	Cincinnati	0.8	0.4	0.6	0.4
	Terre Haute	0.8	0.7	0.7	0.4
	Spinnerstown, Pa	—	—	—	0.4
	Cross Keys, N. J.	—	1.3	—	1.0
	Grand Rapids	—	1.2	—	—
	Memphis	1.0	1.1	0.7	0.6
線間回路係数	Cincinnati	0.8	1.0	1.2	1.0
	Terre Haute	—	1.1	—	0.8
	Memphis	1.1	1.1	1.2	0.9

1 表に示した値は実測係数と理論係数との比率であって、理論係数は他導体の遮蔽がないとして計算したものである。電磁誘導については大地深度を、平衡電流に対しては 500 ft、残留電流については 200 ft と推定して算出してある。

実測と理論とを比較すると、線間回路係数は大地回路係数よりもよく一致している。

静電誘導については誘導大地電圧の実測値は理論値の 4 割になっている。

これらの差異は他導体からの遮蔽のためである。電話回線は遮蔽効果を及ぼさないように大地より離隔しておいても、やはり遮蔽効果を及ぼしている。

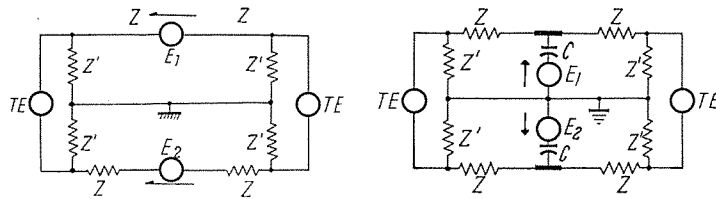
Cross Keys の場合は遮蔽を及ぼすような他導体がなく、また他の電話線導体もないのでよく一致しているが、Cincinnati および Terre Haute での例ではレール等の遮蔽効果がはいっているため、実測値は理論値より低下している。

つぎに電話線回路の対地回路 (Longitudinal-circuit) および線間回路 (Metallic-circuit) の概念を示すために電磁誘導に対しては 1 図を、静電誘導については 2 図を示す。

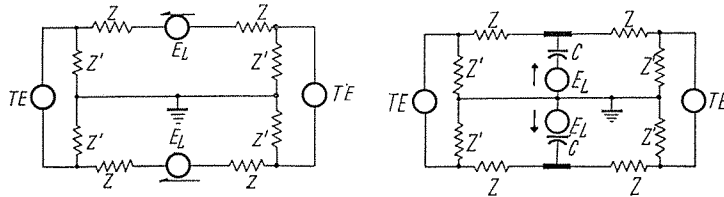
## 2. 電力線に発生する調波成分

誘導区間内で雑音周波数に対する協調問題で苛酷度を表わすのに困難な点は、雑音周波数には多数の高調波成分が含まれている点である。それですべての周波数を一まとめとして、1 つの因子で苛酷度を表わすのが望ましくなる。それで各周波数について電話器の感度を考えに入れた frequency-weighting curves (周波数重み曲線) が作られ、それを発生雑音周波数に応じて合成して 1 つの因子で表わす試みがなされた。

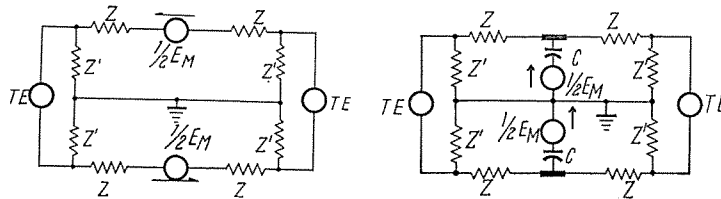
(a) 電磁誘起電圧に関する等価回路 (a) 静電誘起電圧に関する等価回路



(b) 電磁誘起電圧に関する Longitudinal 回路 (b) 静電誘起電圧に関する Longitudinal 回路要素



(c) 電磁誘起電圧に関する Metallic 回路 (c) 静電誘起電圧に関する Metallic 回路要素



1 図 電磁誘導に関する等価回路 2 図 静電誘導に関する等価回路

〔注〕 TE: 電話端局  
Z: 直列回路要素  
Z': 並列回路要素

$$E_M = E_1 - E_2$$

$$E^L = \frac{E_1 + E_2}{2}$$

なお、この因子を決定するときに考慮された点は、

- (1) 電力線と電話線との間の結合。
- (2) 電話回路(とくに電話受話器)の周波数応答特性。
- (3) 各周波数の効果の総合方法。
- (4) 音を聞くときの人間の耳の感度特性。
- (5) 明瞭度をそこなう電話雑音の影響。

等であって、種々の実験の結果、各周波数に対する frequency weighting curves を算出して、それぞれの成分を RSS 法 (Square root of the sum of the squares) によって合成すれば満足すべき結果が得られることがわかった。

ところで雑音推定の場合に、まず電力系統の電圧および電流

の高調波を求め、つぎに電話線回路に誘起する結合係数を求め、つぎに frequency-weighting curves を適用すれば全般的の影響を推定できることになるが、しかし多くの場合は電力系統に発生する高調波に対して、1 つの因子を求めておけばさらに便利である。この目的のためには電話線に適用できる frequency-weighting curves に電力線と電話線との間の結合を考えに入れた因子を加味することが必要となる。実験の結果では周波数に直接比例する因子を加味すれば、電力線に発生している電流および電圧の高調波に対して共に満足な結果を与えることがわかった。これが電力線に発生する高調波に適用できる frequency-weighting curve を導くことになって、これらを TIF 曲線、すなわち telephone interference factor あるいは telephone influence factor と称せられるようになった。

その frequency-weighting curve も電話器の周波数特性の変化と共に変わってくるのは当然であって、1919 年、1935 年、1952 年と改訂されている。

これらを 2 表、および 3 図に示す。

ところで 3 図には電力線に対する TIF のほかに、聴覚感度係数  $S_n$  を示しておいたが、この  $S_n$  は電話受話器の感度特性に相当するもので、1935 年の  $S_n$  は 3 号型受話器 (旧型) に相当するものであり、1952 年の  $S_n$  は 4 号型受話器 (新型) に相当するものである。

なお、雑音測定器もそれぞれの受話器の感度特性を加味したものが作られており、測音 3 号測定器は 3 号型受話器に相当し、測音 4 号測定器は 4 号型受話器に相当する。

つぎに TIF と  $S_n$  との関係を示すと、一例として、

電力線の IT 積は  $\sqrt{\sum (\omega n S_n I_n M)^2}$  となり、

通信線の IT 積は  $\sqrt{\sum (\omega n S_n I_n)^2}$  となる。

すなわち 3 図の TIF は  $\omega n S_n$  に相互誘導を考慮した係数  $M$  を乗じたものに相当する。

$\omega n$  は周波数成分。

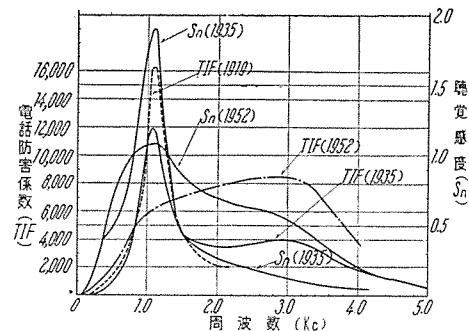
$I_n$  は電力線を流れる電流成分。

$i_n$  は通信線を流れる電流成分。

それで電力線に表われる IT 積および  $kV \cdot T$  積がわかれば、通信線に誘起する誘導雑音の大体の見当がつくことになるので、参考のために各電圧階級に対する起誘導因子を集めて紹介する。

2 表 電話防害係数 TIF

周波数	1919 TIF	1935 TIF	周波数	1919 TIF	1935 TIF
60	8.8	1	1,260	9,350	7,920
120	112	15	1,330	6,100	5,470
300	440	205	1,410	5,250	4,740
350	770	370	1,500	4,530	4,400
420	1,100	570	1,620	3,600	3,900
510	1,770	1,250	1,740	3,020	3,660
660	2,510	2,250	1,800	2,750	3,580
720	3,100	2,930	1,860	2,600	3,570
780	3,870	4,080	1,980	2,280	3,590
900	6,260	7,270	2,100	2,000	3,500
1,020	11,700	11,600	2,500	....	3,600
1,080	16,000	11,980	3,000	....	3,910
1,140	16,100	11,100	5,000	....	480



3 図 電話防害係数 TIF および聴覚感度係数  $S_n$



3 表 電力線の起誘導因子 I.T および kV.T 積の総括

	電力回路 電圧範囲 (kV)	電 磁 誘 導 (amps×TIF)		静 電 誘 導 (kV×TIF)	
		平 均	最 大	平 均	最 大
平衡成分	2.3～4	1,500	23,000	60	400
	11～14	2,100	12,000	300	1,400
	19～44	1,600	16,000	700	2,000
	60～69	1,400	6,000	1,200	3,500
	88～132	1,400	2,800	1,700	2,300
残留成分	2.3～4	0～500	1,100*	No Data	
	11～14	10～2700†	400～4,800†	No Data	
	19～44			15～30	100
	60～69	60～800	100～1,000	††	50～400
	88～132			No Data	

\* 最大値の平均を示す

† 大きい数字は発電機が直接結ばれ、かつ中性点を接地した系統について得られたものである。しかしこのような直配の系統がつねに最大値を示すとは限らないのは注意を要する。

†† 平均値を出すには Data 不足である。

5 表 相間電圧に対する高調波 (3 の倍数の調波は除外)

回路電圧 (kV)	各 高 調 波 の 百 分 率 値											試験 回数
	300	420	660	780	1,020	1,140	1,380	1,500	1,740	1,860		
2.3	平均	1.33	0.33	0.13	0.07	0.04	0.03	0.08	0.05	0.03		231
	最大	5.90	1.7	0.72	0.97	0.33	0.19	0.67	0.59	0.38	0.26	
* 4**	平均	0.98	0.25	0.10	0.06	0.05	0.04	0.05	0.07	0.05	0.08	383
	最大	4.6	1.4	0.95	0.30	0.50	0.81	0.60	1.7	0.28	0.27	
11～13.8	平均	1.0	0.29	0.12	0.09	0.05	0.04	0.06	0.07			67
	最大	2.7	0.71	0.69	0.60	0.26	0.56	0.47	0.25			
19～44	平均	1.2	0.44	0.09	0.04	0.04	0.03	0.06	0.06			28
	最大	4.1	1.16	0.42	0.14	0.29	0.20	0.22	0.43			
60～69	平均	1.1	0.35	0.13	0.17	0.04	0.03	0.03	0.03			35
	最大	3.2	0.97	0.65	1.0	0.23	0.18	0.15	0.11			
88～132*	平均	2.07	0.31	0.076	0.021	0.005	0.005	0.013	0.018			7
	最大	3.8	0.73	0.18	0.05	0.008	0.006	0.06	0.060			

\* は相電圧に対する高調波の比率

\*\* は Δ/Y の接地変圧器によって饋電される接地 4 線式配電線

7 表 残留高調波電流

回路電圧 (kV)	各 周 波 数 に お け る 電 流 値								試 験 回 数
		180	300	420	540	900	1260	1620	
4.0	平 均	4.78	0.22	0.06	0.10	0.01	0.005	0.008	266
	最 大	20	2.0	0.60	1.3	0.61	0.89	0.89	
*11～13.8	平 均	0.51	0.05	0.02	0.05	0.04	0.03	0.06	48
	最 大	4.7	0.71	0.09	0.26	0.17	0.39	0.47	
**11～13.8	平 均	6.96	0.08	0.06	0.22	0.02	0.02	0.10	15
	最 大	25	0.45	0.15	1.17	0.07	0.09	0.85	
19～44	平 均	0.48	0.06	0.08	0.03	0.001	....	0.008	13
	最 大	2.1	0.24	0.83	0.07	0.01	....	0.07	
60～69	平 均	0.66	0.06	0.03	0.04	0.004	0.001	0.003	43
	最 大	2.2	0.65	0.22	0.12	0.04	0.014	0.05	
80～132	平 均	0.89	0.11	0.08	0.04	0.006	0.001	0.003	18
	最 大	3.0	0.41	0.51	0.15	0.032	0.006	0.016	

\* 系統は非接地であるか、あるいは変圧器を通してのみ多重接地してある。

\*\* 多重接地で、かつ少なくとも 1 か所は発電機の中性点で接地してある。

4 表 機器の無負荷電圧 TIF 特性

			平 衡 T I F			残留成分 T I F*		
			平均	最大	試験 回数	平均	最大	試験 回数
同期 発電 電機	汽力 kVA	1,000～2,500	39	105	169	..	..	..
		2,501～15,000	18	98	153	15	99	21
		15,001 以上	15	110	163	15	66	36
	水力 kW	0～999	72	190	116	..	..	..
		1,000～2,500	53	323	110	..	..	..
		2,501～15,000	57	590	120	7	13	6
		15,001 以上	17	59	25	17	20	4
直流 発電機	電 動 発 電 機		109	480	26			
	同 期 変 換 器		25	103	33			

\* ここに示す残留 TIF (Residual Component TIF) とは基本波および高調波残留電圧の rms の 1/3 に TIF を加味した値を RSS 法で合成し、これを相電圧の rms 値で割ったものである。

6 表 相電流に対する高調波 (3 の倍数の調波は除外)

回路電圧 (kV)	各 高 調 波 の 百 分 率 値											試験 回数
	300	420	660	780	1,020	1,140	1,380	1,500	1,740	1,860		
2.3	平均	1.65	0.47	0.11	0.06	0.05	0.04	0.11	0.12	0.05	0.04	243
	最大	8.2	4.7	1.3	2.3	0.96	1.6	14.	13.	3.9	5.3	
4	平均	1.18	0.32	0.09	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.02	0.01	396
	最大	8.2	7.5	1.2	1.3	0.65	1.4	1.1	1.6	0.20	0.16	
11～13.8	平均	1.8	0.51	0.24	0.16	0.09	0.05	0.09	0.08			157
	最大	20.	7.1	6.8	8.4	2.1	0.52	4.8	2.5			
19～44	平均	4.1	1.2	0.35	0.18	0.10	0.07	0.22	0.17			77
	最大	16.	5.8	2.4	0.80	0.53	0.57	3.1	1.6			
60～69	平均	3.9	1.3	0.35	0.20	0.09	0.07	0.09	0.09			81
	最大	45.	9.5	2.4	1.7	0.94	0.43	0.79	0.82			
88～132	平均	3.5	1.3	0.77	0.20	0.03	0.03	0.05	0.04			22
	最大	15.	6.1	9.0	1.5	0.13	0.16	0.42	0.24			

3 表は 2～132 kV の電力回線に実際に表われる平衡分と残留分との IT 積および kV・T 積の実例である。

4 表は機器の無負荷電圧に対する TIF を示すもので、ここで表わす平衡分 TIF とは「基本波および高調波成分 (3 の倍数の一連の調波を除く) の Weighted rms 値の RSS 合成値」を「常規無負荷電圧の rms 値」で除したものを示す。

残留分 TIF (Residual component TIF) とは「基本波および高調波残留電圧の rms 値の 1/3 (すなわち零相分) の Weighted rms 値の RSS 合成値」を「常規の端子と中性点間との電圧の rms 値」で除したものを示す。

5 表および 6 表には 2.3～132kV の電力系統において、相間電圧および相電流に発生する高調波成分を示す。

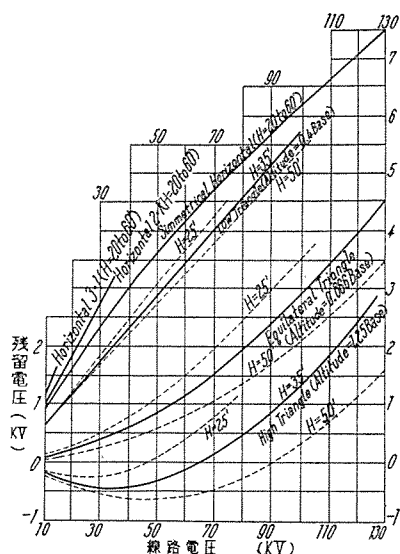
7 表には各電力系統に対する残留高調波電流の成分を示す。

4 図には水平配置および三角配置の 3 相線路の残留電圧を各電圧階級に対して示してある。

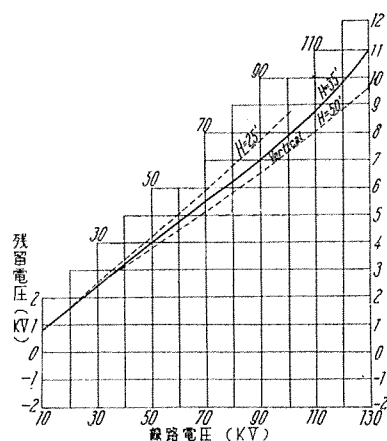
5 図には垂直配置の 3 相線路の残留電圧を各電圧階級に対して示してある。

8 表には各種の電力回路の構成についての、大地帰路 IT と回路残留 IT との比率を示す。

8 表 大地帰路 IT と回路残留 IT との概略比率



4 図 水平配置および三角配置の 3 相線路の残留電圧



5 図 垂直配線の 3 相線路の残留電圧

実際に電磁誘導を及ぼす電流は大地帰路電流によるもので、系統構成によっていかに差異を生ずるかの概略値を示してある点で有用である。これらについてさらに説明を加えると、

(1) 単一接地の場合は非常に変化が大きく、線路容量を通して流れる残留電流と負荷を通して流れる残留電流との相対値と位相関係によって変化するものである。線路容量を通した

電力回路の構成		比率
記述	回路概要図	
3相3線回路 (非接地あるいは接地)  あるいは 単相分岐 (2相線路)	<p>3φΔ      Δから単相分岐</p> <p>3φY (接地あるいは非接地)      Yから単相分岐</p>	1.0
3相4線あるいは開放Y (2相線および中性線)  あるいは単相分岐 (単相線および中性線)	<p>3φ4線Y      単相分岐 (1相と中性線)</p> <p>開放Y</p>	0~2
多重接地	<p>3φ4線Y</p> <p>(開放Yおよび単相の場合も同様)</p>	0.4~0.5
通電あるいは接地線 (多重接地)  あるいは 架線ケーブルシステム (両端接地)	<p>電力回路</p> <p>遮蔽導体</p>	0.4~0.5  0.7~1.0

残留電流は 60~80% が大地帰路電流となり、負荷電流はほとんど中性線を流れることになる。

(2) 一般に多重接地遮蔽線あるいは架空地線は、各接地点の抵抗が  $15\Omega$  より少なければ低抵抗接地を通して接地してあると考えられる。なお、誘導区間の両端における接地の方が中間の接地よりも重要である。

(3) 多重接地系の場合は、No. 6 銅線の抵抗よりも低い抵抗値を持つ架空地線を張った場合についての範囲で、これよりも導体抵抗が大なる場合は、さらに多くの電流が大地を還流することになる。

(4) 接地中性線と遮蔽線とが両方存在するときは、8 表によってそれぞれの場合に対する比率を求め得るわけであるが、両方の積を用いてはならない。低い方の値を用いなければならない。



## 第5章 CP-5 (濃縮ウラン重水非均質炉)

### 1. ま え が き

アルゴンソ国立研究所の CP-5 原子炉は 1954 年 2 月に出力 1,000 kW で運転を開始されたが、最近では出力 2,000 kW まで上げられており、将来は 4,000 kW まで上げる予定になっている。CP-5 は燃料として濃縮ウラン ( $\sim 90\%$ ) をもち、減速および冷却には重水をもち、最大中性子束は 1,000 kW のとき炉心のすぐ外で  $2 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>/sec、実験装置としては垂直実験孔が 30、水平ビームホール 4、水平試験孔 4、水平ニューマチックチューブ 2、熱中性子柱 2 つがある。(Fig. 1 参照)

建設費の大半は建家と付属実験室に要したが、建家を含まない原子炉の費用は \$1,051,000 で、これには 7 トンの重水の費用 (重水の値段は 28 ドル/lb.) は含まれていないが、一組の燃料要素の成型費 \$15,000 は含まれている。原子炉の費用で最大のものは生体用遮蔽、グラファイト、原子炉タンクの \$403,000 であった。

わが国の輸入 2 号炉の CP-5 型原子炉は AMF (American Machine and Foundry Co.) および三菱グループにより東海村に建設され、出力 1 万 kW で 1958 年末から運転にはいる予定であるが、これは中央実験孔として 4"φ のものをつけるなどアルゴンソのものよりさらに有力な実験装置をもつもので原子炉の費用は約 150 万ドルである。これについてはいずれ後の機会にゆずり、ここではアルゴンソの CP-5 原子炉について簡単に説明する。

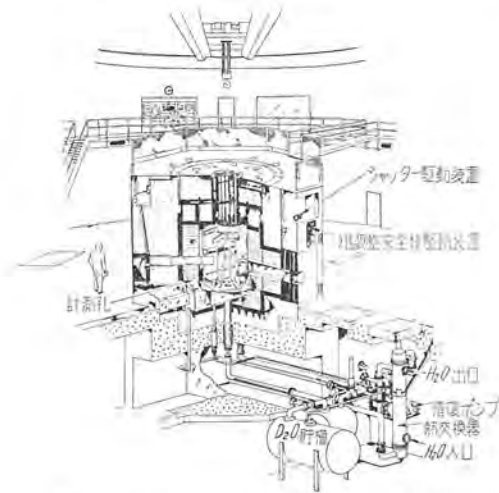


Fig. 1. CP 5 原子炉 (アルゴンソ国立研究炉)

て燃料要素の上部の穴を出てタンクにはいり、タンクの下部から熱交換器に流される。重水の高さは 6'-6" である。炉心の上部の重水領域には粗調整安全棒があり、炉心の側面および下の 2' 厚さの領域は実験に利用される。重水タンクの側面および下部の周囲の 2' 厚さのグラファイト層もまた実験に利用される。この層の外径は 10' 高さは 10' になる。グラファイト層の外側に熱遮蔽がある。1/4" 厚さの Al に埋められたボラルで熱中性子束は  $10^{-6}$  倍に減少し、その外側の 3.5" 厚さの鉛で γ 線がほとんど吸収される。これら熱遮蔽の外は特殊コンクリートでその厚さは 56"、これにより洩れ出る高速中性子、熱中性子および γ 線を減速ないし吸収してその表面での放射線強度を許容量以下にする。遮蔽の厚さの合計は約 5' になり、結局炉の外径は 20'、高さ 13.5' の正八角柱になる。

### 2. 原子炉設備の概要

Fig. 1 に全体図を、Fig. 2 および Fig. 3 にそれぞれ原子炉の平面図および立面図を示す。炉心は 2'φ × 2'ht、1000 KW では 10 枚の燃料板からなる 4 角柱の燃料要素 12 本で十分運転できる。(燃料用の穴は 17 ある) 制御棒はシグナルアーム型の粗調整安全棒が 4 本、微調整棒が 1 本ある。炉心は 6'φ の Al タンクの中央におかれ、重水はタンクの底からプレナム室にはいり、オリフィスのついた各燃料要素の下部から燃料板表面を冷却し

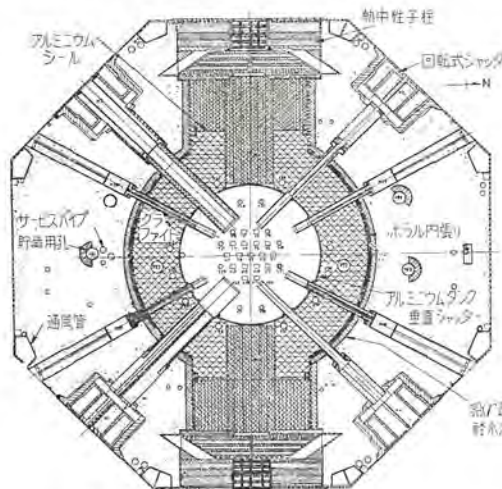


Fig. 2. 主ビームホールを含む原子炉の平面図 (CP-5)

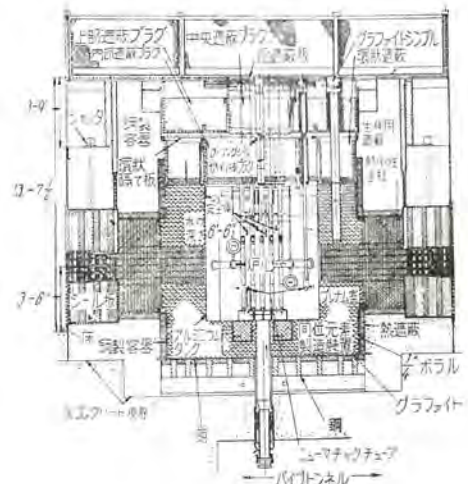


Fig. 3. 原子炉立面図 (CP-5)

### 3. 原子炉各部分の説明

#### ア. 炉心

燃料板は濃縮ウラン（～90%）と Al の合金を Al の板に挿んだものである。1,000 kW のときは 10 枚の燃料板からなる燃料要素 12 本がもちいられるが、4,000 kW のときは 12 枚からなる要素 16 本がもちいられる筈である。（最近の報告によれば上述のような燃料要素の型をやめて棒に変更される模様である）燃料要素の図は Fig. 4 に、またその配置については Fig. 2. を参照されたい。格子間隔は 6" である。各燃料要素は 9,100 cm<sup>2</sup> の表面積をもち、平均熱流束は 6.5 cal/cm<sup>2</sup>・sec, max. は 9.8 cal/cm<sup>2</sup>・sec., 重水の流速は 1.6 m/sec（流量1,200 gpm）, 膜係数は 0.2 cal/cm<sup>2</sup>・sec, °C, max. 膜温度差は 4.9°C である。燃料要素中の温度上昇は 12.6°C, 入口温度 40°C で膜沸騰は辛うじて避けられる。（以上の熱伝達の値は 4,000 kW に対するものである。1,000 kW では熱流束は低く問題はない）燃料インベントリは運転費に非常に影響を与えるが、1,000 kW のときの初期装入量は 1,680 g, 現在までのところ燃料の平均の燃焼率は 15%, max 30% である。燃料要素は一度に全部とりかえないものとし冷却期間を 2 カ月とするとインベントリは 2,700 g みておけば十分である。4,000 kW のときは 16 本の燃料要素が必要であるが、1 本の燃料要素中の U<sup>235</sup> 132 g が燃焼して 100 g になるととりかえたとすると、燃料要素のとりかえの期間は 1 カ月で、その量は炉心中の燃料要素総数の 1/4 である。この際必要なインベントリは 7.5 kg である。この炉の燃料ウランの濃縮度を 20% にすると炉の臨界の大きさは 1.8 倍になる。

#### イ. 制御系および炉の安全性

炉の反応度の調節はつぎにのべるような 4 つの方法でおこなわれる。

(1) 粗調整安全棒(4 本)……反応度の大部分はこれにより制御される。これは Al に被覆された Cd の板で、各板は反応度にほとんど有効でない位置(上部重水反射材中)から最も有効な位置まで回転により 350 msec. で到達する。最初の加速は強いスプリングでなされる。4 本の板はその位置により 8%～12%

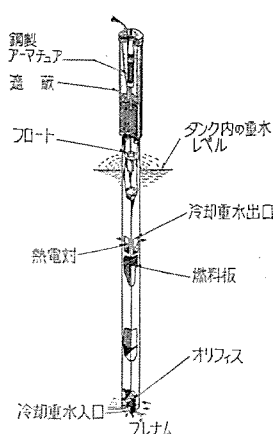


Fig. 4 燃料要素 (CP-5)

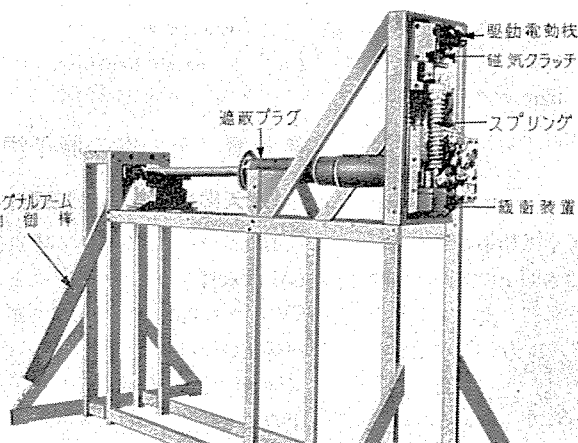


Fig. 5. 粗調整安全棒 (CP-5)

Fig. 6. 2,000 kW 運転中炉を停止した後の燃料要素の温度上昇（原子炉タンク内に水も He もないとき）

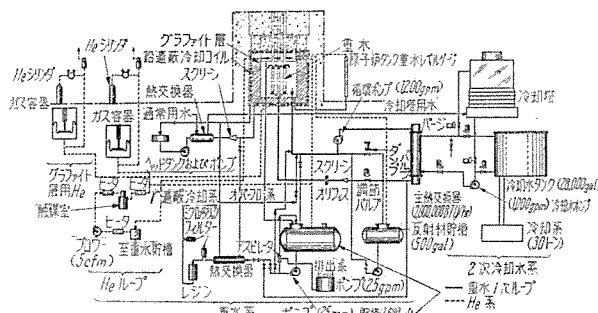
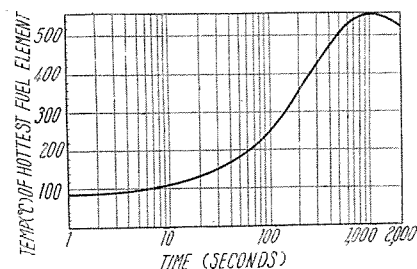


Fig. 7 フローシート (CP-5)

の等価反応度をもち、通常の運転の際には炉を停止させるには 1 枚で十分である。この型の (Fig. 5 参照) 粗調整安全棒の利点は運転中は上部重水反射材中にあるから特別な冷却を必要としないこと、燃料棒の方向に並行に動くものにくらべて空間が小さくてよいことなどである。炉の運転のために余分に仕込まなければならない反応度は a) 減速材の温度変化 (30°C→50°C) によるもの 0.8%, b) Xe 等の毒作用 3.5%, c) 燃焼分 1～2% d) 実験用 1～2% でこれらは粗調整安全棒により調整される。

(2) 微調整棒(1 本)……炉の上方から重水反射材を貫通するシムルの中を上下することにより炉の起動および運転中の自動制御がおこなわれる。その等価反応度は 0.4%, 中性子の寿命は  $1.5 \times 10^{-3}$  sec で非常に長いから炉のピリオドを危険なまでに短くすることはないので、微調整棒は相当速く操作することが許される。これにより与えられた出力の 1% 以内に調整することができる。棒は Al 被覆の Cd 円棒である。これには Co をもちいてもよい。

(3) 重水のレベル……重水のレベルを燃料要素上端のレベルまでおとすに要する時間は約 15 sec で、等価反応度は 3.5% である。

(4) 低温冷却材……炉の停止後 1～2 時間して Xe の蓄積により炉を起動する反応度が不足するとき、2 次の冷却水を冷却塔で冷却しないで他のループでより低温まで冷却し、したがって減速材もまた通常の温度以下に冷却して炉を再起動することができる。(Fig. 7 参照)

水冷減速の原子炉は本質的に非常に安全であることが知られている。軽水炉でおこなわれた実験の結果によると、蒸気の発生による反応度の



減少は非常に大きい、重水をもちいるこの炉 (CP-5) では中性子の寿命が軽水の場合より約 20 倍長いので暴走を起すようなペリオドを与えることは不可能である。通常炉は 6% 以上の超過反応度を持たないようにしてあるがいまかりにこれが全部有効になったとしても出力が増してくると蒸気が発生し、燃料板が溶解する温度になることはない。

水冷却炉の自己制御に関する実験は炉の建家の建設中におこなわれた。建家は気密で鉄筋コンクリートでつくられた。気密ならびに放射性ガスの放出の際の危険な漏洩の防護に関する試験の結果はきわめて良好であった。炉の自己制御性により燃料の溶解に起因する危険性はありそうもないが、Al タンクの破壊により重水が流出したときには停止後の分裂生成物の熱により燃料板が溶解するかも知れない。これに関しては電気的加熱により模擬実験がおこなわれた (Fig. 6 参照)。結果は 2,000 kW に関するものであるが、重水を空気で置換えることによる溶解は起らない、重水を He で置換えた実験結果によると 4,000 kW の運転後でも辛うじて溶解は起らないようである。しかし 4,000 kW の運転に対しては炉の上部遮蔽プラグの下側にスプレをつけてかかる事故の際、溶解、分裂生成物の放出を防ぐようにする。ガスで加圧された重水タンクからスプレを通して水を放出するが、重水の量が不足な場合には軽水に切換える。最悪の場合、すなわち燃料が溶解して分裂生成物が空气中に放出された場合でも、気密な建家は周囲にガスの漏洩するのを防ぐ。このように放射線防護対策は何段にもおこなわれている。

#### ウ. 水・ガス系

Fig. 7 に流体系のフローダイアグラムを示す。重水はタンクの底のブレンナムから燃料要素のオリフィスを通して燃料板中を上昇し、その上部からタンクに流出する。各燃料要素の出口ではフロートを利用した流量測定と熱電対による温度上昇の測定とがおこなわれる。原子炉タンクの底から重水は循環ポンプ (1,200 gpm) を通って熱交換器に送り軽水により冷却され (パイプを通じて漏洩がおこったとき重水から軽水側に流れるように重水側を少し高圧にしてある)、再び炉のタンクにかえってくる。この際重水の無用なインベントリの増加を避けるため重水系はできる限りコンパクトにつくってある。タンクの重水レベルは一定の高さに設けられたオーバフローパイプにより一定に保たれる。少量の重水はつねにこのパイプを通して流れている。タンクにはまた反射重水レベルを急速に炉心の燃料の上部のレベルまで落す装置がつけられている。重水系は主作業室の重い遮蔽床の下にあり、運転中容易に接近し、監視することができる。なお 1 次系の重水は一部分イオン交換器を通して純度が保たれる。

原子炉タンクの重水の自由表面上にはプラス 2 $\frac{1}{2}$ " 水柱の圧力の He が満たされている。この圧力はガス供給系とネオブレンのガス容器により保たれる。タンクの重水面上の空間は容積 1,000 ft<sup>3</sup> の容器と大きい直径の管で連結されている。このパイプの端はゴム製の膜で封じられ、He ガスの圧力が炉の重水の分解により生じた D<sub>2</sub> と空気の混合物または何かの機会に生じた水蒸気により 1 psi を超すと破れるようになっている。1 ヶ月内の He の消費は 1,000 ft<sup>3</sup> 以下である。

軽水冷却系のポンプ能力は 1,000 gpm である。これには燃料が燃焼してきたとき用いられる特別の冷却水系 (chilled water

system) が冷却塔と並列にはいつているのを除いては通常のもと同じである。この特別の系による燃料の燃焼率の増加による燃料費の減少とこの系の追加によるコストの増加とで運転費がどうなるかは経験が決定する。

#### エ. 実験装置

Fig. 2, Fig. 3 でその概略を知ることができる。実験装置に関してはいままでのべてきたものにくらべてとくに新しい点はないから詳細の記述は省略し、ただ主要な場所所得られる熱中性子束密度をあげることにする。

Table 1. 熱中性子束分布 (CP 5)

位 置	熱中性子束 (n/cm <sup>2</sup> /sec)	
	1,000 kW	4,000 kW
垂直重水シンプル	$1.7 \times 10^{13}$	$6.1 \times 10^{13}$
垂直グラファイトシンプル	$6.5 \times 10^{11}$	$2.6 \times 10^{12}$
熱 中 性 子 柱	$2 \times 10^{12}$	$8 \times 10^{12}$
水 平 ビ ー ム 穴	$1.5 \times 10^{13}$	$6 \times 10^{13}$
同位元素トンネル	$1.2 \times 10^{12}$	$4.8 \times 10^{12}$

実験家にとって興味のある量の 1 つは炉の外にとり出せる熱中性子束であるが、熱中性子柱からとりだせる最大の熱中性子束は  $6 \times 10^{10}$  n/cm<sup>2</sup>sec で、高速中性子束をとりだすにはこのビーム中にウランのコンバータをおけばよい。

#### オ. 運 転

炉の定常運転に必要な人員は監督者 1 人、制御室の操作員 2 人で計 3 人である。このスタッフで照射用のサンプルを準備したり照射済のサンプルの搬出などもおこなう。炉およびその附属設備に要する電力は 80 kW である。

#### 参 考 文 献

- (1) Untermyer, S., Plans for the new Argonne Research Reactor, CP-5, Nucleonics 12: 12-15 (Jan. 1954).
- (2) Weills, J.T., A description of the Argonne National Laboratory Research Reactor CP-5, Chem. Engg. Prog. Symp. Ser. No. 11, Nuclear Engg.—Part I, 50: 213-227 (1954).
- (3) Dietrich, J.R., and W.H. Zinn, Experimental determinations of the self-regulations and safety of operating water moderated reactors: Results and motion picture records, Geneva paper #481.
- (4) Argonne Research Reactor CP-5, Part II, Geneva paper #861.
- (5) Research Reactors, (1955), McGraw-Hill.

## 第 6 章 その他の原子炉・むすび

### 1. 天然ウラン重水減速非均質炉

第 5 章に述べた炉とちがう点は燃料として天然ウラン金属を (Al で被覆して) もちいることである。その他の点に関しては CP-5 と本質的に同じ種類に属するものである。この型の炉で運転開始の時期も早く、癌の治療につかわれる Co<sup>60</sup> その他の放射性同位元素の生産および原子炉材料の開発に対する貢献で歴史的にも有名なのはカナダのチョークリバーの NRX (Nuclear Research X-metal or X-perimental の略、X-metal とはウランを指す) 原子炉である。これは 1947 年運転を開始されたもので、1952 年 12 月 12 日事故により解体再建され 1954 年 2 月 17

日事故以前よりも 1/3 高い出力 (4 万 kW) で再び運転を開始された。カナダにはこの他に 20 万 kW の NRU (Nuclear Research Universal) がある。わが国で 1959 年完成予定の国産 1 号炉はこの型に属するものである。NRX とことなる点は NRX では冷却をオッタワ河から引いた軽水および空気でおこなうに對し、国 1 号炉では冷却も重水でおこない、冷却用重水と減速用重水とは重水タンクの出口管で一緒になるいわゆる不完全分離型を採用している点である。以下 NRX について簡単に説明する。

#### NRX 原子炉の概要

Fig. 8 に NRX の構造の概念図を示す。この炉の大きさは生体用遮蔽も含めて 34'φ、高さは主床面上 30' である。重水取扱装置はすべて主床面下にある。

熱出力は 4 万 kW、最大熱中性子束は  $6.8 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>sec である。

燃料棒は天然ウラン金属で  $1.36'' \phi \times 10\frac{1}{4}''$  long, 0.08'' 厚さの Al(1S) の被覆があり、その外側の軽水冷却水の通路の厚さは 0.07'', 176 本の燃料棒の重さは各 120 lb, 原子炉中の全ウランニウム重量は約 10 $\frac{1}{2}$  トンである。

Al タンクは  $8\frac{3}{4}'' \phi \times 10\frac{1}{2}''$  ht でタンクに固定された多くの Al 管がタンクの上面から底面に走っている。管は 2.25'' ID で、この管と燃料棒との間を冷却用の空気が流れている。燃料棒用の穴は六方格子に配列し、その格子常数は  $6\frac{13}{16}''$ , Al タンクは重水 3,300 gal. (18 トン) を入れる。

反射材は内側から 9'' グラファイト、その外にトリウム棒のための  $2\frac{1}{2}''$  の間隔を置いて 2'' 厚さのグラファイトがある。グラファイトの全重量は 58 トンである。トリウム棒は 4'' 間隔で 90 本あり、これはもちろん U<sup>233</sup> 製造用のものである。NRX はかかる装置を備えた最初の原子炉である。

アルミタンクの上部遮蔽は下から順に Al 遮蔽 (水冷却)、2 枚の鋼板 (各 15 トン、水冷却)、4 つのコンクリート遮蔽 (各 17~19 トン) からなり、底部遮蔽は水冷却の 2'' のサンドイッチ、その下に 4 枚の鋼板 (水冷却) がある。アルミタンクの側面には厚さ 6'' の 2 枚の鋳鉄 (空気冷却) があり、その外側は 7'~8' のコンクリートである。

冷却水は大体 3,500 gal でオッタワ河の水を利用し、ほとんどは燃料の冷却にもちいられる。冷却水は放出に先立ってタン

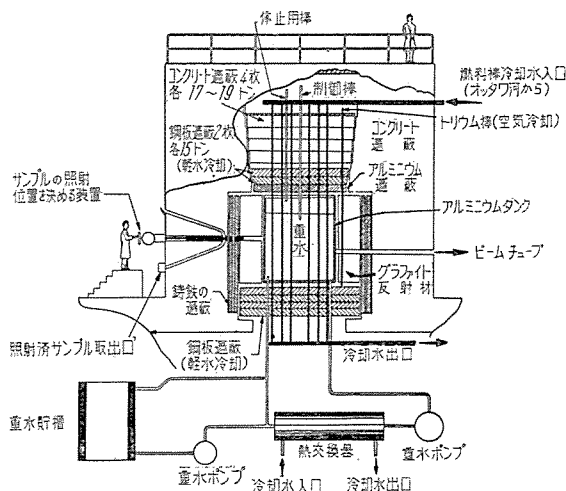


Fig. 8. NRX 原子炉の立面図

クに入れ、モニタリングの後再び河に放出される。冷却用空気の流量は 70,000 lb/hr で、遮蔽体およびトリウム棒の冷却につかわれる。

冷却水の温度上昇は 40°C、重水は 49°C 以下 (このため重水は 250 gpm の割合で熱交換器を流される) に、また反射材は 149°C 以下に保たれる。

制御棒には 6 本の安全棒 (ボロンカーバイド B<sub>4</sub>C の粉末を鋼鉄製の管に入れたもの) と微調整棒 1 本 (Cd スラグを鋼製の管に入れたもの) とがあり、使用してない燃料棒用の Al 管中を上下する。

実験装置としては熱中性子柱 6'×6' が 2 つ、放射性同位元素生産用の装置が 15, 4''φ の実験孔 12, 12''φ の実験孔 3, 中央実験孔 5 $\frac{1}{2}''$  ID×10' long (全体積にわたって中性子束は  $10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>sec より大) がある。

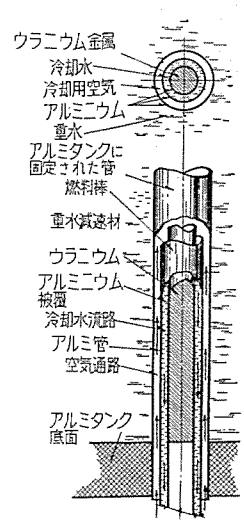


Fig. 9. NRX 原子炉の燃料棒

#### 参考文献

- (1) Hurst, D.G. and A.G. Ward, Canadian Research Reactors, Prog. in Nuclear Energy Vol. 2, Pergamon Press Ltd., London 1956.
- (2) 国産 1 号炉設計仕様書, 日本原子力研究所 1957, 3 月。

## 2. アルゴノート (Argonaut)

### A. アルゴノートの由来

原子核工学の最近における急速な発展は技術者の教育用および物理設計の試験のための原子炉を非常に要求している。しかし現存するアルゴンヌの CP-5、アーコの MTR、オークリッジの LITR、ブルックヘブンの BNL などの高出力の炉は据付の融通性に乏しく、また (危険係数、バイロオシレーション等) 測定装置としての原子炉の有用性の範囲が限定されている。カナダのチョークリバーの ZEEP、アルゴンヌの ZPR-I, II, NAA のウォータボイラ、サバナリバの TTR など低出力の炉は新しい炉の設計や原子炉パラメータの決定に重要な役割を演じてきた。

アルゴンヌの学校 School of Nuclear Science and Engineering (SNSE) において CP-5 は教育的な道具としての要求と高中性子束の研究用の道具としての要求の板挟みになっていたが CP-2 (天然ウラングラファイト炉) の解体以後は危険係数およびバイロオシレーションの仕事は中断せざるを得なくなった。このため学校の教育用の要求のみならず反応度の試験、指数実験、測定器の較正などの要求をも満足する原子炉が必要となってきた。TTR (Thermal Test Reactor, Savannah River) がこの要求に合致すると考えられたが、一応いろいろの型のものが検討された。ウォータボイラ、スイミングプール、重水非均質炉、グラファイト炉のうちでスイミングプールのみが TTR に競合しうるように思われた。しかしスイミングプールでは水のために不銹鋼や金属 (Al など) で密封して実験を行なう必要があり、sensitivity と便利さにおいて TTR に劣るので結局後

## 1. 概 要

## ウ. 実 験

点も考慮してアルゴノートでは装置を提供するよりもむしろ実験のスペースを提供することに重点を置いたからである。アルゴノートの標準の一揃いのできる実験はつぎの如くである。

- (6) 熱中性子柱の中で内部中性子束分布をうるための燃料要素の照射

(3) 遮蔽試験装置中での指数実験，熱中性子の移動に関する性質の測定

すでに述べたようにアルゴノートは全体をできるだけ軽便に費用も安くするように設計された。燃料の貸借料を除き建家も含めて建設費の総額は \$10 万 である。その内訳を下に示す。

据付 約 2 人×2 ヲ月  
建家, 石板, 基礎工事

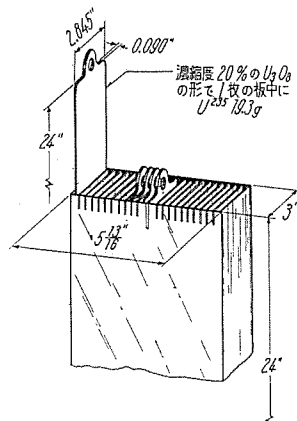


Fig. 12. Argonant の燃料要素

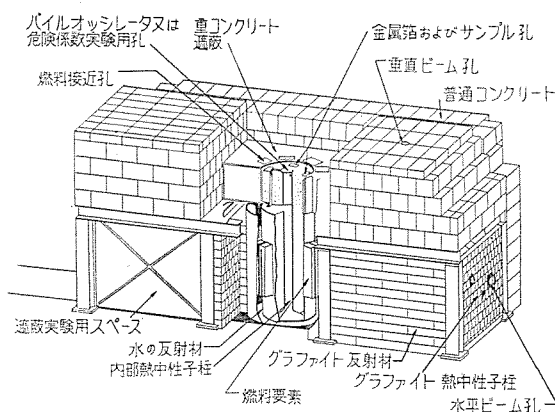


Fig. 10. Argonaut のカット

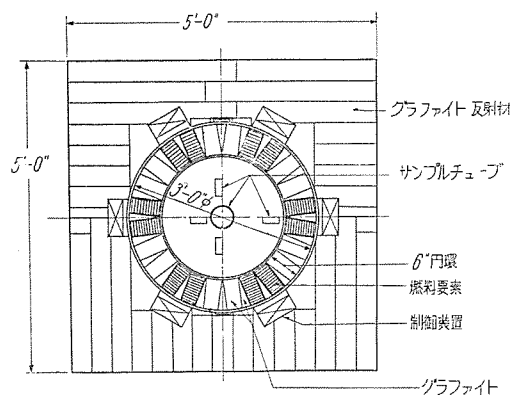


Fig. 11. Argonant の平面図

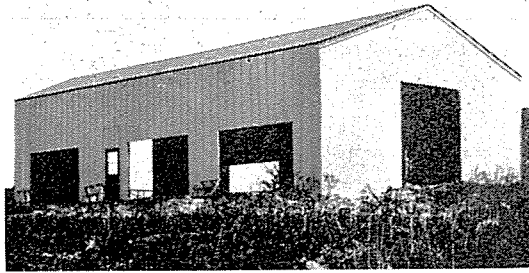


Fig. 13. 完成間近の Argonaut の建家

#### 参考文献

- (1) D.H. Lennox and B.I. Spinrad, Interim Report on Argonaut, ANL-5552.
- (2) L. Tonks, The Thermal Test Reactors of the Knolls Atomic Power Laboratory, AECD-3530 (1953).
- (5) "Research Reactors" by USAEC, McGraw-Hill Book Co. (1955).

第4章には Knolls Atomic Lab. の NTR の説明がある。

### 3. その他

以上5回にわたっていろいろの型の原子炉について述べてきたが、これですべての型の原子炉がつくされたわけではもちろんない。ぜんぜん触れなかった型で有名なものには天然ウラン・グラファイト型のものがある (BNL, X-10), またオークリッジ国立研究所の ORR はスイミングプールとタンク型の折衷のようなもので (大体はタンク型である), タンクはプールの底にあり, プールの水は通常運転時は遮蔽の役をするわけであるが, 燃料などの取換え, 運搬に際してもプールの水は遮蔽および冷却の役をする。

この他にもまだいろいろの特色をもつ原子炉が運転または建設中であるが, それらすべてをつくすことはもちろん本解説の

目的とするところではないので, 各型の炉の説明はこの辺でやめることにする。

### 4. むすび

世界における最近の動力炉の激甚な開発競争により, 研究用原子炉の利用にたいする需要はとみに増大してきた。実際米国の MTR においては動力炉開発のためのループテストを10位並行に行ない, 小さなものを入れると件数は200~300にも達するほどであるが, なお必要には応じ切れず, 最近さらに大規模の工業用試験に應ずる ETR を建設中である。燃料の寿命, 材料の放射線下における損傷を短時間に調べるには高い中性子束をもつ炉が必要である。この要求に応じて英国では DIDO ( $10^{14}$  max.), カナダでは NRU ( $3 \times 10^{14}$  max.), 米国では ETR ( $5 \times 10^{14}$  Av.), ORR ( $1.3 \times 10^{14}$  Av.), ベルギーは米国の NDA 社と共同で  $9 \times 10^{14}$  のものを建設ないし設計中であり, 大体これら高性能の研究用原子炉はいずれも1, 2年以内にはそのすぐれた能力を発揮しだすものと思われる。

原子力工業の発展にとって必要な他の重要な因子は技術者の養成である。米国は世界で圧倒的に多数の原子力技術者を擁しながらなおその不足にあえいでいる有様で, 小形の原子炉による技術者の養成, 訓練はまた上に劣らず重要なことである。

わが国においても, 以上のような世界的な動向と切迫してきた動力不足により, 昨年より原子力にたいする関心は急激にたかまり, 原子力研究所の設立, 米国よりウォータボイラ, CP-5 の輸入, 国産1号炉の設計と急速に実施段階に踏み込むことになった。この間三菱グループは, いちはやく三菱原子動力委員会 (MAP) をつくり, この方面の技術レベルの向上に努め, ウォータボイラの建設に際しては当社はその一部を担当し, また, CP-5 は AMF 社と共に三菱グループがその建設に当り, 国産1号炉の設計, 製作においてもその一部を担当するなど, この1年間における飛躍はまさに注目に値するものがあつた。



## 発 電 用 原 子 力 プ ラ ン ト

Atomic Power for Electric-Utility Plants. (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1, Jan. 1957, p. 3~4)

発電を目的とする原子力プラントは、いまや急速な進展を遂げつつあって、米国における最初の本格的な原子力発電所が Shippingport において完成を急がれている。プラントのおもな部分は、すでに昨年末までに据え付けを終り、1957 年中には全体の完成を終ることになっている。このプラントはデュークエス電燈会社が操業する予定であるが、原子炉部分の設計、開発および構築は、AEC との契約のもとにすべて W 社が行っている。

Shippingport は電気出力 60,000 kW であるが、経済的な発電を目的としたものではなく本格的な発電所を運転することによって、将来の発電原価見積の正確な資料を得たり、設計資料や種々の技術的な経験を体得することを目的としたものである。

また、W 社は 1956 年にヤンキー・アトミック電力会社向けの 134,000 kW の加圧水型原子炉の契約を行った。この原子炉は Shippingport と同様加圧水型ではあるが多くの点で異なっている。たとえば、燃料の被覆材にはジルコニウムの代りにステンレススチールを使用しており、燃料自体もいわゆるシード、ブランケットの方式をやめて、全体に低濃縮ウランを使用している。熱出力は 480,000 kW である。

一方、ペンシルバニア電力電燈会社と W 社との手によって根本的に異なった概念のもとづく均質型の動力炉が開発されている。これは PAR 計画と呼ばれ、出力 150,000 kW のプラントで、設計資料を得るために現在種々の問題について研究が進められている。

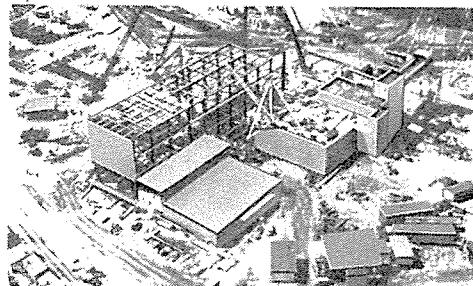
最初の参考設計としてはトリウムと酸化ウランウムを重水に混じた、いわゆる、スラリ型のものがあげられている。この原子炉系は原子炉炉体、ガス分離器、蒸気発生器、1 次循環ポンプおよび必要な種々のバルブ類から成っており、その他サージタンク、加圧器、あるいは燃料再処理装置のような補助機器を備えている。スラリの炉心入口温度は 465°F、出口温度は 580°F とされており、発生熱量は 550,000 kW である。現在、スラリによるエロウジョンやコロジョンなどの詳細な研究が進められているが、このような均質型原子炉において直面する問題は加圧水型におけるそれとはかなり異なっている。たとえば、固体燃料型の原子炉においては 1 次系統も水が流れるだけであるが均質型においては燃料それ自体が循環させられるから、原子炉外の 1 次系統の近傍も強い放射線の影響を受ける。したがって、1 次系に使用される種々の要素について放射線の影響を慎重に考慮せねばならないし、取りかえも遠隔操作によらなければならないので、できるだけ信頼度の高い保守の容易なものであることが要求される。最後の設計に至るまでにはまだ多くの問題が残っているが、現在までに解決できぬような問題は見出されていない。

小形の原子力プラントとしてはベルギー向熱中性子炉(BTR)があげられる。これは加圧水型の原子炉で熱出力 43,000 kW、電気出力 11,500 kW である。1 次系統の圧力は 2,000 psia、発

生蒸気圧力は 520 psia で、原子炉容器は高さ約 18 ft、直径 5 ft である。冷却材の入口温度 492°F、出口温度 518°F であるから 43,000 kW の熱を除去するためには流量は 5,000,000 lb/h となる。

1957 年末に運転を開始されることになっている W 社材料試験炉(WTR)は、最初の民間資本による原子炉で、最初は出力 20,000 kW で運転されるが、プラントの容量は 60,000 kW に設計されている。WTR は種々の材料を高いレベルの放射線にさらした場合の物理的特性について研究することを第 1 の目的として設計されており、完成されればこのような影響を研究するために W 社および他のいろいろな会社に利用されることになっている。

(伊丹製作所 岸田公治訳)



建設中の Shippingport 原子力発電所 (1956 年)

## 開 閉 装 置 の 発 達

Switchgear Developments. (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1, Jan. 1957, p. 10~11)

米国では、油が高圧大容量の屋外用遮断器の標準的な消弧媒体と考えられていた。油が入手しやすい米国では、油入遮断器がもっとも信頼すべき地位にまで築き上げられ、このたび 138 kV、10,000 MVA 新型空気遮断器が完成されるまでは、CT を備えるブッシングを持った接地タンク型油入遮断器が高圧空気遮断器を凌駕する実用上の利点を持っていた。この新型空気遮断器は、気圧が直接に加わる碍管を構成要素および対地絶縁に用い、高価な別置型 CT の必要な従来の圧縮空気遮断器とはまったく異なるものである。

この新型空気遮断器はタンクおよびブッシングを持ち、消弧室は各相ごとに 250 psi (約 17.5 気圧) のタンクに納められ、操作機構も油入遮断器のものと酷似しており、外見は従来の油入遮断器とあまり異ならない。トリップの指令と共に油入遮断器と同じようにタンク内のばねで加速されるクロスアームが下方に動き、各相 2 個の遮断ユニットのトリガ弁をそれぞれ始動し、これにより主ピストンが駆動され吹付弁が開かれる。1 つの遮断ユニットには主遮断点と並列抵抗遮断点とがあり、まず主遮断点が開いて電流を抵抗に移して後、抵抗遮断点が開くようになっており、電弧はそれぞれオリフィス内において、タンクよりの圧縮空気吹付により消弧され、吹付空気はコンデンサブッシングの中空導体を通じて排気される。その後クロスアームはさらに断路動作を行い、閉路指令のない限りタンクの気圧

いかににかかわらず開路状態に留まり絶縁を保つ。

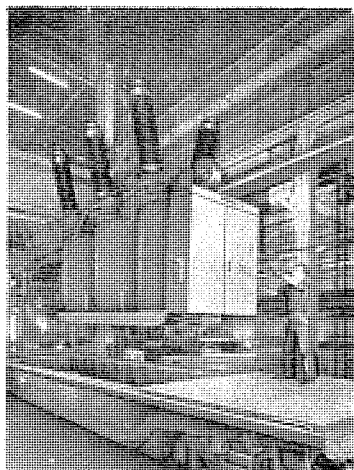
圧縮空気の流れにより消弧作用の行われるオリフィスの幾何学的形状を改良し、消弧室に新しい材料を使用することにより従来よりさらに高い定格まで実現が可能となった。

最初のユニットは New York の Consolidated Edison の系統に納入されたが、このような大都市地区では油入遮断器使用の場合に起る油の貯蔵、取扱、浄化等の手数や火災に対する危険性がきらわれるので大いにその実用上の利点が發揮されるであろう。

保守の時間と費用の少いのが空気の油に勝る利点であり、この空気遮断器の接触部は油の代りに圧縮空気中に置かれているので点検保守がさらに容易になり、したがって定期点検や調整のための停電時間を節約できる。

Consolidated Edison における据付は圧縮空気供給系統の観点からはちょっと珍らしく 1,000 psi (約 70 気圧) が採用された。この高気圧を使用することにより遮断器操作に対して、より大きい容量と、より乾燥した空気を供給できる。この高気圧は 250 psi (約 17.5 気圧) に減圧してから使用されている。

138 kV, 10,000 MVA の定格は多数の需要に応じるために選ばれたものであり、将来、ますます普及されることと考えられる。  
(伊丹製作所 富永正太郎訳)



出荷のため荷造りされた 138 kV  
10,000 MVA 空気遮断器

## 新消弧媒体 SF<sub>6</sub> ガス関係の開発

Developments With SF<sub>6</sub>. (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1, Jan. 1957, p. 11)

### SF<sub>6</sub> ガス充填型遮断器

SF<sub>6</sub> (Sulphur hexafluoride) ガスは消弧用として多くの好ましい性質を有しており、すでに VLB 型負荷断路器の消弧媒体として使用されてきたが、今回はさらに高電圧大遮断容量の 115 kV, 1,000 MVA SF<sub>6</sub> ガス遮断器が Gulf Power Company の系統に納入された。これは SF<sub>6</sub> ガスを使用した最初の電力用遮断器である。

SF<sub>6</sub> ガスはそのすぐれた絶縁性のゆえに約 2 気圧という低気圧下で使用できる上、消耗量も少いから碍子型として設計される。

SF<sub>6</sub> ガス遮断器は無再点弧遮断器であるから単一バンク、あるいは並列バンク等、キャパシタバンク開閉用としてとくに適している。

### 5 サイクル自動接地開閉器

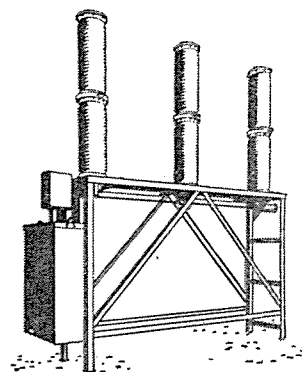
上記の遮断器は回路の短絡に際して開路することによって保護を行うが、接地開閉器はこの逆の方法で保護を行う。すなわち小容量の短絡が検知されると接地開閉器は閉路し金属接地短絡を発生せしめる。

自動接地開閉器は、通常、遠隔地にある消費者に給電している変圧器の保護に用いられる。

変圧器内部事故が生じたとき電源側遮断器は変圧器を保護すべきか否かを簡単に判断できないことがある。接地開閉器はこの小さな内部故障電流を変圧器から遠く離れて設置された電源側遮断器が引外しできる大ききまで増大させる役目を果す。したがって変圧器の事故電流を遮断器と共に設置されたリレーが検出できなくとも、変圧器付近にあるリレーがこれを検出し、接地スイッチを動作せしめることにより変圧器は安全に回路から切り離される。

従来使用されていた自動接地開閉器はヒンジ付ブレード型で開路時間は 15~30 サイクルであった。しかるに遮断器およびリレーの高速化によりこれと協調する接地開閉器の高速化が一般に行われるようになった。

新型接地開閉器では旧型の回転ブレードを往復ロッドとしこれを SF<sub>6</sub> ガスを充填した碍子中に入れ、動作時間は 5 サイクルとなった。動作時間が短くなりだけでなく新型接地開閉器は 20,000 A の電流を投入でき、また氷結になやまされる心配がない。SF<sub>6</sub> ガスはコンタクトの損耗を最小にし、開極距離を空气中よりはるかに小にするから、高速度操作機構と相まって大きな投入速度が得られる。最初の新型接地開閉器は Pennsylvania Power & Light 系統において 196 kV, 20,000 A の投入に使用された  
(伊丹製作所 米沢克昌訳)



115 kV 1,000 MVA  
SF<sub>6</sub> ガス充填型遮断器

## メタルクラッド開閉装置

Metal-clad Switchgear. (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1, Jan. 1957, p. 13)

メタルクラッド開閉装置の普及率は屋外用、屋内用ともに年増加しつつある。磁気遮断器および各種付属機器などを内蔵したユニットはユニットサブステーション、発電所、工場等の開閉装置として最適である。メタルクラッド開閉装置のもっと

も魅力的な点は、設備としてはこれ以外に余分な投資が不要でハウジングその他の心配もないことである。磁気遮断器の現在の定格は遮断容量 13.8 kV において 750 MVA、定格電流は 5 kV のもので 3,000 A、遮断時間は標準型において 5 サイクルである。

最近 50-DHHS と名づけられる 2 サイクル磁気遮断器が配電線の損傷を減少させるため迅速な遮断が要求されているので開発された。これにより嵐の最中、木の枝やその他による短絡電流の電流時間は最小にとどめられ、導線の被害をきわめて軽減させることができる。またこの 2 サイクル遮断器は配電線用ヒューズと従来よりいっそう有効な協調をとることができる。

この 2 サイクル遮断器は定格遮断電流 4.16 kV において 30,000 A、定格短時間電流 40,000 A、定格電流 600 A、開極時間 3/4 サイクル、全遮断時間は 2 サイクルで、ユニットは現在の 150 および 250 MVA 磁気遮断器と交換可能であり、4.16 kV 配電回路にひろく使用されることと期待されている。

発電所用としては上記とは別に 4.16 kV、定格電流 1,200~3,000 A、定格短時間電流 80,000 A、遮断容量 350 MVA (従来は 4.16 kV では定格電流 2,000 A、定格短時間電流 60,000 A、遮断容量 250 MVA までしかなかった) が開発されている。このユニットは元来発電所補器用として設計されたものであるが、定格電流あるいは遮断容量の大きい場所に対して需要が多いであろう。

大形変圧器が必要とされる都心変電所用としては 13.8 kV、定格遮断容量 750 MVA、定格電流 1,200~2,000 A の新型磁気遮断器が完成した。このユニットは 500 MVA ユニットに比べて高さおよび幅は変わらず奥行きが 6 インチ長いだけであるから、サブステーションの容量が増加するにしたがい据付場所のわずかの改造で 500 MVA ユニットの 750 MVA ユニットに簡単に取換えることができる。(伊丹製作所 富永正太郎訳)

## シリコン整流器の溶接機への応用

Silicon Rectifiers Take Up Welding. (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1, Jan. 1957, p. 24~25)

直流アーク溶接機にはその交流→直流の変換にあらゆる方式、すなわち電動発電機、セレン整流器あるいはゲルマニウム整流器が用いられてきたが、新たにシリコン整流器が利用されるようになった。

シリコン整流器はすばらしい高効率で電力を供給し、溶接機のように大電流を消費するものには電力損失の大きな節減となる。また逆流を完全に防止するため溶接の動的な特性を改善する。なおシリコンは 375°F の温度まで運転しうる比類のない特性を有している。

シリコンはまたほとんど永久的な寿命をもっており経年変化がない。これは活性要素が銅容器に密封されているためである。

シリコン整流器はまた直流交流兼用溶接機にも利用され始めた。この場合も前と同様の利点を有しており、交流から直流運転にスイッチによって簡単に切替えられる。

この装置は主変圧器、溶接電流制御用の飽和リアクトル、直流変換用の単相全波ブリッジ結線のシリコン整流器、安定および平滑用直流リアクトルおよびスイッチ類からなっている。溶接電流の調整は、手動または足踏式のレオスタットによって制御電流を変化せしめ、リアクトルのインピーダンスを変えて行われる。また特殊高周波装置があり、不活性ガスアーク溶接に適するようになっている。(伊丹製作所 己斐健三郎訳)



シリコン整流器は電弧溶接に応用され種々の利点を発揮している。なお写真は代表的なセレン整流器と比較してシリコン整流器がいかに小形にできるかを示している。

## 合金の設計

Designing Alloys. (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No.1, Jan. 1957, p. 32)

数世紀の間合金というものは、カット・アンド・ツライの方法で開発されてきた。冶金技術者は究極には与えられた仕様の合金を設計することができるという理論を完成する第一歩が最近ふみ出された。この新しい技術の最初の実際の応用は Nivco と呼ばれる新しい耐熱合金の開発で実施された。この合金は 650°C (1,200°F) のような高温で強い強度を持ち、そして機械的な振動に耐えうるように設計された。この合金は、まずよりよいタービンのブレードの材料として将来の要求にあうように作られたものである。

12% クロム鋼のような現在のタービンブレード材料は一応 566°C (1,050°F) の温度においては全体として優秀な特性をもっている。しかしこの温度以上ではこの材料はもっと低い応力で使われなければならない。

さてこの新しい合金 Nivco はこの問題を解決してくれるように思われる。すなわち、650°C (1,200°F) で 12% クロム鋼の 5 倍の強度をもっており、しかも 12% クロム鋼の 480°C (900°F) におけるほぼ同じ粘性をもっている。

この新しい合金は主としてコバルトとニッケルからなっている。しかしながらその外に 5 つの金属の少量を含んでいる。

この合金の最大引張り強度は 650°C (1,200°F) で 70 kg/mm<sup>2</sup> (100,000 lb/□") である Nivco はアルゴンガスの不活性雰囲気の中で真空溶解によって作られる。しかしして鍛造後 1,093°C (2,000°F) の温度で熱処理され鍛造されるのである。すべての合金が与えられた仕様に完全に適応するように設計される日はまだ数年後かも知れない。しかしながらその方向にむいての第一歩はふみ出されたのである。(世田谷工場長 尾島学二訳)



## ■ 東洋最大級の台湾電力滝漣発電所用 54,000 kVA 水車発電機 完成近し

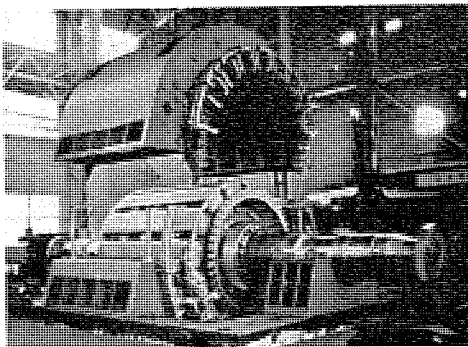
昨年、はげしい国際競争の末受注した台湾電力滝漣発電所向横軸ペルトン水車発電機は、おもな製作工程を終って完成に近づいた。水車はフランスの Neyrpic 社製ペルトン水車と直結するもので、出力 68,000 HP、落差 855 m である。

この発電機は横軸ペルトン水車としては東洋最大級のものでそのおもな特長を示せば

- (1) 輸送制限重量がわずかに 15 ton のため主軸を 3 分割し、中空軸を使用して重量の軽減に努めた。
- (2) 発電機軸受は冷却効果をよくするために銅板のライニングを使用している。
- (3) 発電機の分解組立を容易にするため、そのままの位置で固定子を上下に分解し、回転子を取り出せるようにコイルおよび結線を考慮した。

### 定格

容量 54,000 kVA  
電圧 1,100 V  
回転数 514 rpm  
閉鎖風道循環型空気冷却器付  
横軸ペルトン水車発電機



台湾電力滝漣向水車発電機

## ■ 世界最初の 60 サイクル用交流機関車 ED 70 形イグナイトロン電気機関車 完成！

国鉄交流電化の主力として期待された ED70 形イグナイトロン電気機関車は昨年来、国鉄当局のご指導により鋭意製作中であつたがこのほど 18 両の完成をみ、本格的な交流線区である北陸線に配属された。この機関車は、世界最初の 60 サイクル用交流機関車で、去る昭和 30 年、当社が試作完成した仙山線用 ED 451 形に比し出力を 50% 増加したにもかかわらず自重 62 ton で数多くのすぐれた特性を有している。

おもな特長ならびに性能要目はつぎのとおりである。

### ——特長——

- (1) 狭軌で全重量 62 ton 連続定格出力 1,500 kW という高性能車で ED 形としては最大限に近い出力を有している。
- (2) 機関車の粘着特性をさらに向上した貨客両用の万能車である。
- (3) 重連総括制御が可能で速度制御は 34 ノッチという多段式で円滑な運転ができる。
- (4) 電気回路には万全の保護装置を設けてある。すなわち特別高圧 20 kV の加圧部分はすべて屋上に配置するほか空気遮断器を設け、主変圧器や蓄電器類には不燃性油を使用している。
- (5) 主電動機はわが国最強力 (連続 375 kW, 1 時間 400 kW) にして、しかも 1,820 kg という軽量を誇る記録品である。
- (6) 交流補助回転機は相変換方式回路を採用することにより 3 相の誘導電動機を用いている。

### ——性能要目——

運転整備時重量	62 t
形 式	箱形両運転室
輪軸配置	BB (揺枕式 2 軸ボギー付)
電気方式	単相交流 20 kV, 60 c/s
機関車性能	
連続定格出力	1,500 kW
〃 引張力	14,700 kg ( $\mu=24.5\%$ )
連続定格速度	36.5 km/h
最大運転速度	90 km/h
最大引張力	24,000 kg ( $\mu=40\%$ )
	21,000 kg ( $\mu=35\%$ )

### 主変圧器

形式	外鉄形、フォームフィット式 送油風冷式、不燃性油使用
電圧	20 kV/100~1,000 V
容量	2,410/4,020 kVA (オーバタップ 2,840 kVA)

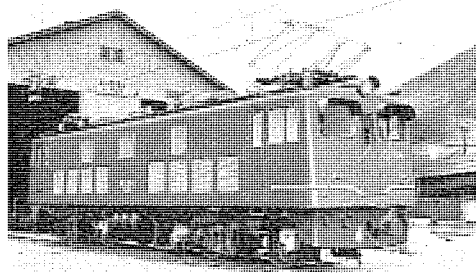
イグナイトロン整流器	8 in 密封液冷式イグナイトロン 整流器, 8 タンク
------------	---------------------------------

### 主電動機

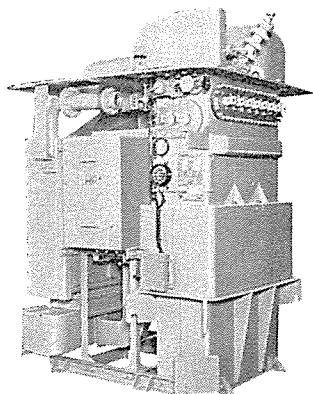
連続定格	375 kW, D-C570 V, 710 A, 1,020 rpm 4 台
動力伝達方式	三菱スプリングドライブ式、歯 車比 91/16, 車輪径 1,120 mm
制御方式	重連、変圧器 2 次側電圧制御 電磁空気単位スイッチ式 制御回路電圧 D-C 100 V
ブレーキ装置	EL14A
機関車寸法	
全長 (連結器間面)	14,260 mm



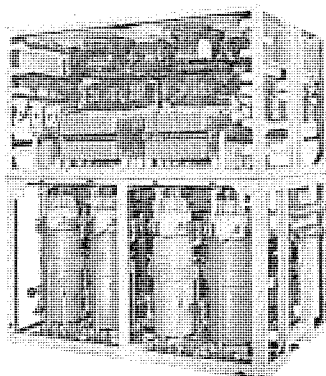
全幅 2,800 mm  
全高 (レール面より折畳みたるパンタグラフ上面まで) 4,150 mm



ED70 形交流電気機関車



主変圧器



イグナイトロンと同用制御箱

## ■ 記録的な 60 kV 移動用変圧器 完成

かねて北陸電力株式会社向として製作中であった 3 相 2,000 kVA, 60 kV トレーラ式移動用変圧器が今般伊丹製作所において完成した。

移動用変圧器とは、変電所の緊急予備用、あるいは一時的な過負荷に対し、急速に応援が行えるよう変圧器に移動車輪を付けて機動性をもたせたものである。従来 2,3 製作されたものは、鉄道レール上を走行するもので、行動範囲はおのずから制約されるのに反し、トレーラ式移動変圧器は道路の存在するところはすべて移動可能となったわけで、利用価値が非常に増大したことになる。わが国の道路状況からトレーラ式移動変圧器は輸送中に受ける振動、衝撃が軌条式のそれに比し非常に大きく、とくに構造的に強固でなければならず、また、道路法規、自動車法規の適用を受け、寸法的にも重量的にも軌条式に比べ軽量小形に製作しなければならず、製作に非常に困難の伴うもので、従来 30 kV 2,000 kVA 以下が 1,2 わが国で製作されたにすぎず 60 kV のものはわが国においても記録品である。

今回製作されたものの仕様はつぎのとおりである。

3 相 2,000 kVA 60 c/s 油入自冷式  
66-22 kV/6,900-3,450 V CR 型

セミトレーラ (ダリー付) 式台車付

総重量 (台車共) 19,500 t

寸法 2,490×8,150 mm 高さ 3,490 mm

なおこの変圧器は前後 10 回にわたる苛酷な制動試験や延 40 km に及ぶ走行試験後、中身つり上げ点検および電気試験を受けてなんら異常がなかった。

なお、この種の変圧器は今後受注の増加が予想されるが、当社で製作中のものは下記のように多数に上っている。

中部電力向

2,000 kVA 50/60 c/s 33-22 kV/6,900-3,450 V 1 台

〃 1,500 〃 〃 〃 〃

日本国有鉄道向

3,350 〃 〃 77-66-22 kV/1,370 V 〃

北陸電力向

2,000 kVA 60 c/s 77 kV/6,900-3,450 V 〃



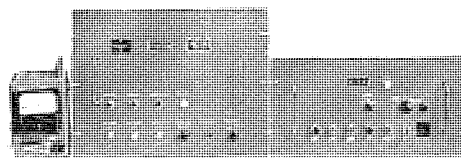
60 kV 移動用変圧器

## ■ 極光観測に一役買う

### 極光分光器自動露出装置

日本光学工業株式会社からの注文で、かねて製作中であった本装置が完成し、すでに納入されて夜光の観測に活躍している。この装置を備えた極光分光器は、近く開始される国際地球観測年に、南極で、無人自動操作による極光の観測に偉力を発揮する予定であるが、極光よりさらに微弱な国内の夜光の観測にも十分実用できることがわかった。

自動露出装置のおもな役割は、極光および夜光の主要スペクトル線である 5,577 Å 単色光の光子数を計数して分光器フィルムの適正露出に相当する一定数値に達したときシャッターを自動的に閉じることにあるが、その他フィルムの巻上げ、フィルム黒化度校正用データの撮影、観測日時の記録など数ヶ月の無人連続観測を支障なく行わせる一切の機能を備えている。5,577 Å 単色光の光子が毎秒 10,000 個程度しか入射しない微弱な入射光に対しても計数できるという高い性能を有しており、南極での活躍が期待される。



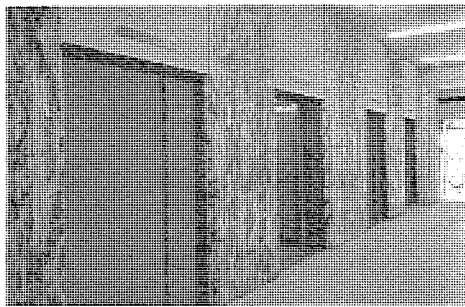
オーロラスペクトグラム

## ■ 阪急百貨店新館の エレベータ・エスカレータ

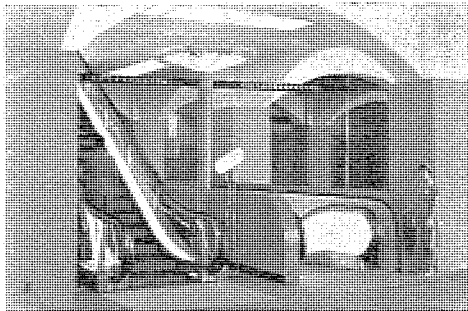
大阪でもっとも出入客の多いと称せられている阪急百貨店では、昨年来増築工事中であったが今回全階で、6,055 坪が完成した。

当社ではこれにエレベータ 6 台、エスカレータ 2 台を据付けた。客用エレベータは、4 台並列の百貨店用としてとくに設計した容量 2,250 kg (定員 30 名)、速度 150 m/min のシグナルコントロール・ギヤレスエレベータで、快適な乗心地と輸送能力の増大のためにロート・トロール制御を用いている。出入口扉は 4 枚戸中央開きで開幅は 1,600 mm あるから高速扉開閉機構と共に乗客の出入には能率が高い。店員ならびに貨物兼用のエレベータ 2 台は、いずれも直流可変電圧ウォームギヤ 1 段減速で、大型機は容量 3,500 kg、速度 75 m/min、60 HP の巻上電動機を用いて、商品輸送の能率化に威力を発揮している。

エスカレータはさしあたり 2 台の増設で (旧館に 5 台既設) 1 階地階間と 1 階 2 階間で、いずれも毎時 8,000 人を運び下部と中央部のパネルを透明型にした 1200LS 型である。



阪急新館 2,250 kg, 150 m/min ギヤレスエレベータ



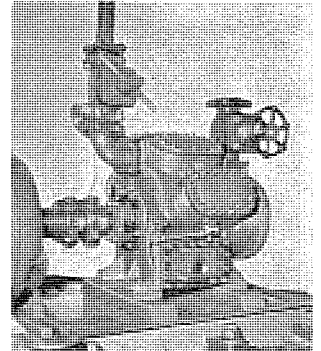
阪急新館 1200 LS 型エスカレータ

## ■ 小形高速多気筒の MC 型冷凍機完成

当社高速多気筒冷凍のシリーズの一環として今回 MC 型の試作が完了し、現在量産しつつある。本機は従来の大形機 MB 型、中形機 MA 型に続く小形高速多気筒冷凍機でフロン 12 を使用した場合 1,800 rpm、気筒数 4, 6, 8 気筒の 3 機種から成り、付属電動機は 20, 30, 40 馬力である。

## ニュース フラッシュ

回転数	1,800 rpm
馬 力	20, 30, 40 HP
気筒数	4, 6, 8 気筒
容量制御	1 段, 2 段, 2 段
冷 媒	フロン-12 および フレ オン-22



MC 型小形高速多気筒冷凍機

## ■ 日本放射線高分子研究協会向 電子線加速用 3 MeV ベルト起電機受注

財団法人日本放射線高分子研究協会から、3 MeV の Van de Graaff 型ベルト起電機を受注した。

このベルト起電機は 31 年度通産省応用研究補助金の交付を受け、さきに完成をみた 2 MeV のものより、さらに高電圧の 3 MeV 仕様のもので、受注第 1 号機である。なお 2 MeV のものの仕様、構造、およびその応用については「三菱電機」化繊用電機品特集 (第 31 巻, 第 6 号, 昭和 32 年 p. 52~57) に述べてあるので参照されたい。

今回受注をみた日本放射線高分子研究協会は、化繊関係会社が共同で高分子放射線化学の研究をするためにつくった研究会で、ポリマー・イラジエーション委員会の後身である。同研究協会としては、このベルト起電機を東京と大阪の 2 カ所に設置する計画で、当社で受注した 3 MeV のものは、この中の東京地区に設置されるものであり、これは科学研究所内に据付けられる予定である。

この装置のおもな仕様は、つぎのとおりである。

- 電子線加速電圧 3 MeV
- 電子ビーム強度 500  $\mu$ A
- 電子ビーム走査幅 300 mm
- 大きさ  
タンク直径 最大外径 1,560 mm 最小 1,000 mm  
タンク高さ 4,100 mm  
タンク下部 2,500 mm
- 重量  
タンク蓋 約 5 t  
鏡 板 約 1.2 t  
全重量 約 6.5 t
- ベルトの幅、速度  
ベルト幅 280 mm  
ベルト速度 20 m/sec
- 使用ガス、圧力 窒素+炭酸ガス、25 気圧
- タンク吊上装置 5 t ホイスト

最近における当社の社外寄稿一覧

寄稿先	掲載号	題名	執筆者	所属
産業機械	4月26日	大型ボイラ用通風機	岩原二郎	長崎
溶接界	4月2日	抵抗溶接機用タイマ	馬場利彦	伊丹
"	4月10日	薄板の溶接	南日達郎	"
"	"	イナートガス消耗メタルアーク溶接の溶接電線	"	"
電気計算	4月30日	最近の蛍光灯を語る	小堀富次雄	本社
オーム	5月17日	磁気コアを使用した静止制御方式(サイバック)	{新谷保次哲	神戸
電気学会	5月8日	電磁接触器の経済的寿命試験	{潮恒郎朗穂	研究所
家庭電気文化会	6月7日	夏を涼しくする照明の工夫	小堀富次雄	本社
電気公論	6月20日	アメリカの照明と日本の照明	"	"
電気学会	4月13日	タービン発電機の避雷	山田栄一	"
電子工業	4月6日	TM-11(12)型遠隔測定装置	{馬場文夫	無線機
日本電気協会	5月4日	イグナイトロン整流器の可搬特性と保守条件	加藤又彦	伊丹
溶接界	5月29日	粉末切断したステンレス鋼の耐食性	南日達郎	"
電気学会	6月15日	チェッコスロバキアの回路網の再起電圧	永田秀次	"
電気公論	6月8日	負荷遮断用断路器	亀山三平	"

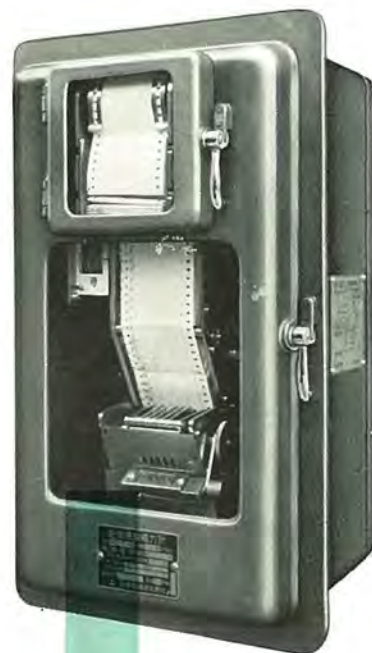
最近における当社の社外講演一覧

講演月日	主催	演題	講演者	所属
3月5日	大垣商工会議所	商店照明について	小堀富次雄	本社
3月16日	日本非破壊検査(関西支部)	当所における 137Cs の利用状況	牧田孝次郎	伊丹
3月19日	合成樹脂工業	不飽和ポリエステル樹脂の電気的性質	石黒克己	研究所
3月23日	日刊工業新聞社	多種少量生産工場における生産設計の実際	松尾準一	本社
3月27日	規格協会	工場管理と品質管理	和田巖	"
3月27日	国鉄豊川工場	分離駆動方式と高速度電動機	松田新市	伊丹
3月27日	電気3学会, 日本原子力産業会議専門講習会	PWR 型発電炉	横須賀正寿	研究所
3月27日	"	SGR 型原子炉	長沼辰二郎	"
4月11日	大阪貿易館	包装の考え方	堀直昌	本社
4月5日	鉄道貨物協会	包装と荷役	"	"
4月3~5日	電気4学会連合大会	イグナイタの点弧特性	岡田武夫	研究所
"	"	内壁に導電性薄膜を有する蛍光ランプの光出力	青木伸典	"
"	"	蛍光放電燈の起動	山竹博俊	"
"	"	2, 3 の光導電薄膜の特性	"	"
"	"	遮断器高圧部分諸量の測定装置	鷲尾信雄	"
"	"	誘導法による発電機ターン間の絶縁破壊	伊吹順章	"
"	"	イグナイトロン機関車の交渉側高波	潮恒郎	"
"	"	接触変流器接点保護用短絡装置	原仁吾	"
"	"	磁気増幅器を用いた時間遅れ装置	平塚篤	"
4月2日	日刊工業新聞社	酸化物永久磁石材料	岡久雄	"
4月3日	日本金属学会	OP 磁石に関する研究 III (硝酸法によるスビネル生成反応)	浜岡文夫	"
4月6日	日本化学会	砒酸塩系蛍光体に関する研究 (7 報)	中村弘	大船
5月10日	日本電気協会	イグナイトロン整流器の可搬特性と保守条件	"	"
"	"	電鉄事故時の電弧型選択遮断装置の改良	井手平三郎	"
"	"	RWS 型積算無効電力計	加藤又彦	伊丹
5月25日	静岡県電設協会	三菱デラックス蛍光ランプおよび各種安定器	迎久雄	本社
5月26日	日本写真学会	{ 偏光板に関する研究(第8報)PVA の融化度・重合度と沃素 } { 呈色反応, 第9報 PVA と融化度・重合度と偏光性 }	山県穆	福山
4月3日	早稲田大学	2 層誘電体入り円形導波管の管内波長	山下源一郎	大船
5月10日	日本電気協会	イグナイトロン整流器の可搬特性と保守条件	依田功	"
5月20日	放射線高分子学会	粒子加速器の原理 (ファンデグラフ型およびコッククロフト型について)	喜連川隆	無線機
			加藤又彦	伊丹
			今村元	研究所

三菱MZ — 3 D 型

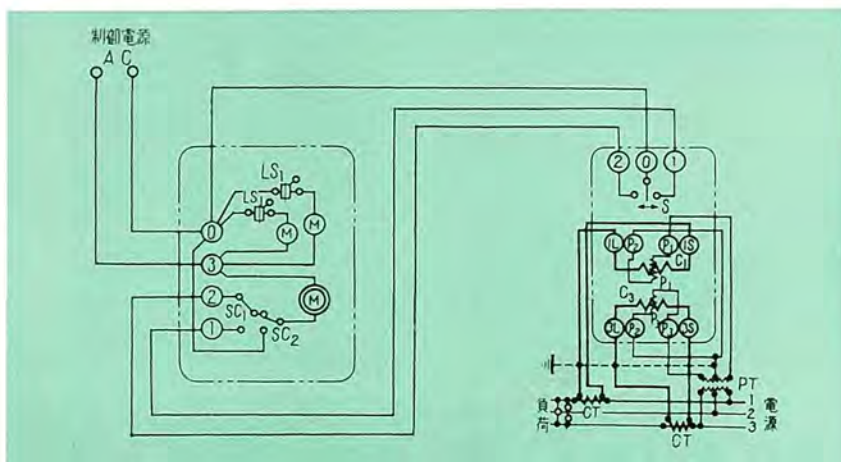
# 記録積算電力計

昭和 28 年に MZ-1 型印字式記録積算電力計を製作して以来、さらに改良を加え、MZ-2 型を市場に送り出し、その後各電力会社のご要求を採り入れた MZ-3D 型を開発したもので、多年の経験と最新の技術および完備した工場設備と優秀な品質管理により製作している。この計器は積算電力計の読みを、一定時間ごとに自動的に印字記録し、負荷の状況を知りうるものであるから、監視人の労力をはぶき人件費を節約できる。したがって自動発電所、大口需要家などにおいて、負荷状況の検討、特殊電力、深夜電力の記録に使用するなど応用の広いものである。



## 特 長

1. 高精度で正確に記録する。
2. 記録紙は折たたみ式とし取扱いが便利である。
3. 監視人の記録と同じであるから人件費の節約となる。
4. 制御電流の交流化、かつ停電時にも印字する。



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

「禁無断転載」      定価 1 部 金 60 円 (送料別)

## 雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	大石 久保 謙	常任委員	宗 村 平
副委員長	浅井 辰 雄	委員	石 橋 英
常任委員	荒井 徳 次	"	岡 屋 精
"	安藤 安 潔	"	進 立 藤
"	菅野 正 雄	"	津 原 芳
"	木村 武 雄	"	松 尾 又
"	堀 富 次	幹 事	井 上 八
"	高井 得 郎	"	市 村 宗
"	中野 光 雄		
"	馬場 文 夫		
"	松 田 新 市		

(以上 50 音順)

編集兼発行人 東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 市 村 宗 明  
 印刷所 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 大日本印刷株式会社  
 印刷者 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 長 久 保 慶 一  
 発行所 三菱電機株式会社内 「三菱電機」編集部  
 電話 和田倉 (20) 1 6 3 1  
 日本出版協会会員番号 213013  
 発売元 東京都千代田区神田錦町 3 の 1 株式会社オーム社書店  
 電話 (29) 0915・0916 振替東京 20016