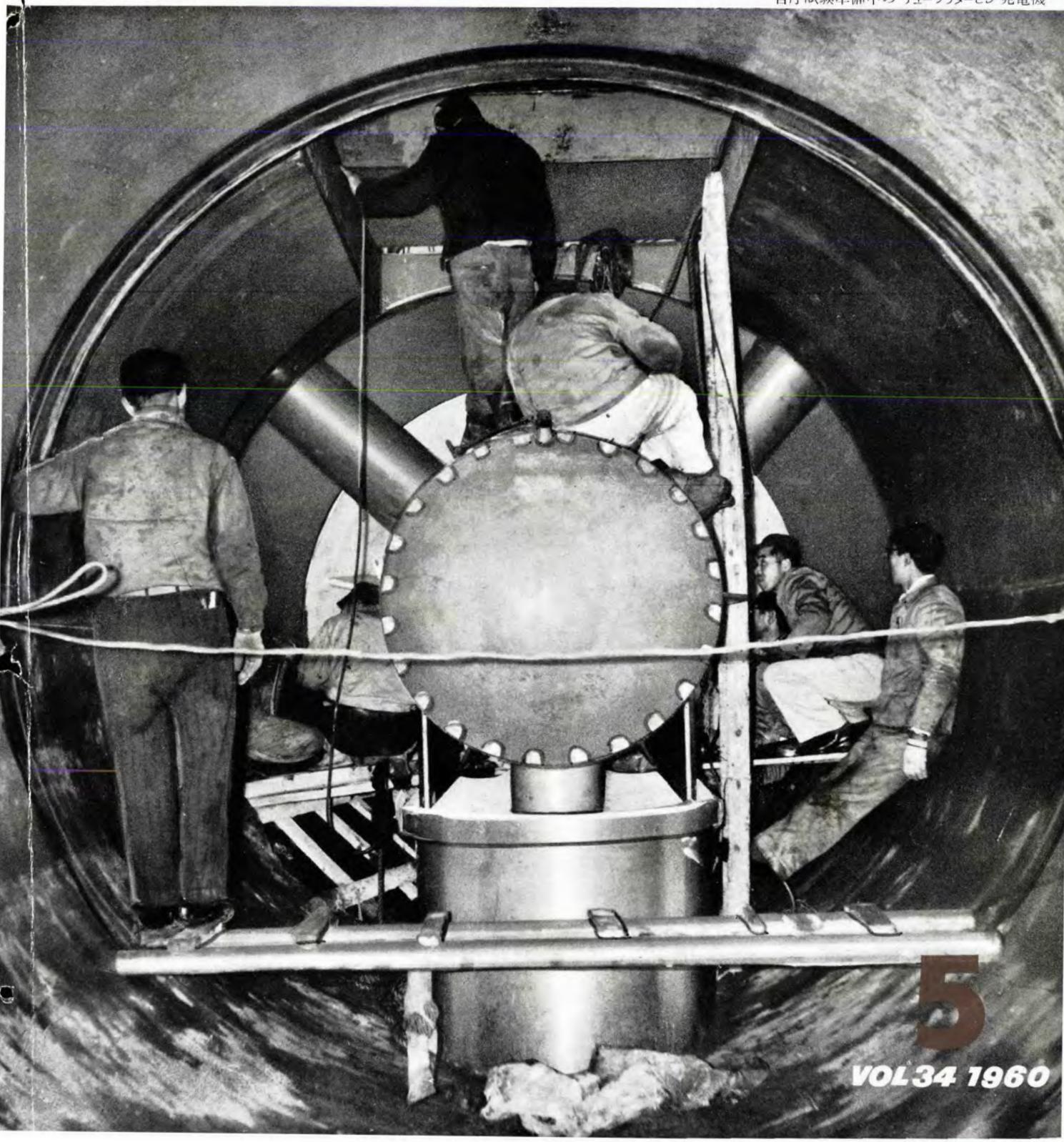


**MITSUBISHI DENKI**

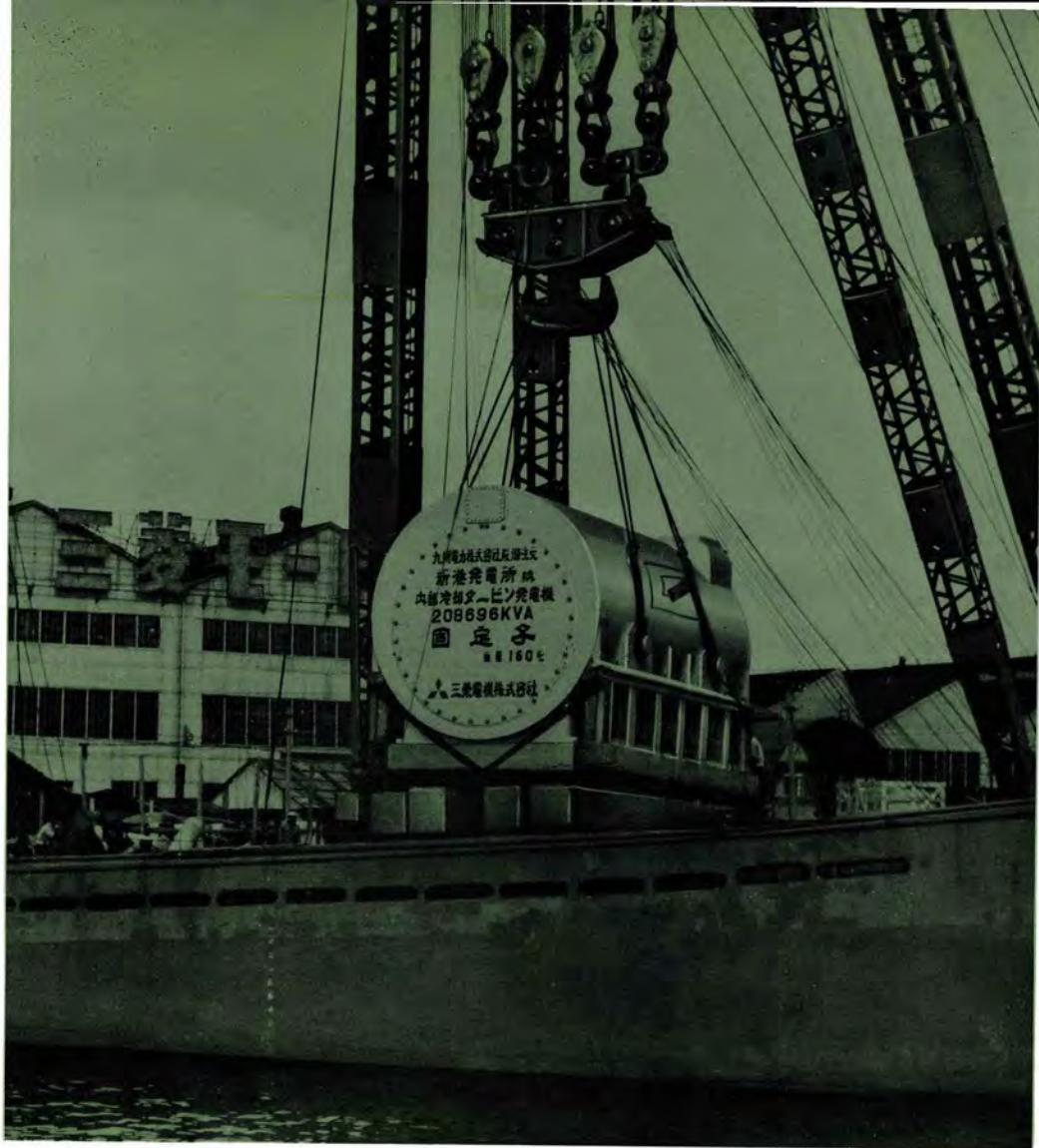
# 三菱電機

官庁試験準備中の チューブラータービン 発電機



5

VOL 34 1960



## 船積中の内部冷却タービン発電機

関西電力大阪発電所納め 208,696 kVA タービン発電機に引続き製作中であった 九州電力新港発電所用タービン発電機が完成し、工場試験の結果優秀な成績を収めることができた。

本機は内部冷却形新鋭火力発電機の第 2 号機であって仕様は下記のとおり第 1 号機とまったく同様で、国産による新形記録品であり、わが国における最大容量機である。

この発電機は固定子コイル、回転子コイルとともに内部冷却で冷却媒体には水素ガスを用いてある。

なお、本機は本年 6 月上旬火入れして 10 月営業運転の予定である。

### 主要定格

208,696 kVA 0.85 PF 水素ガス圧 4.2 kg/cm<sup>2</sup>g

端子電圧 18,000 V

周波数 60 c/s

相数 3

回転数 3,600 rpm

主励磁機 975 kW 375 V 897 rpm

副励磁機 4 kW 250 V 897 rpm

結合方式 励磁機は減速歯車を介して  
発電機に直結



表紙説明

東北電力人来田発電所が無人営業運転にはいっている。この発電所は12.1 m の低落差で 333 rpm の チューブラタービン を遊星歯車により 1,000 rpm に增速して 1,300 kW の誘導発電機を回わしておりこれはわが国初めての試みである。このために発電機重量も約 12t に軽量化されている。写真は官庁試験準備中の水路検査状況。中央円形のものは発電機、その回わりに遊星歯車を介して全閉した案内羽根、ランナはさらに案内羽根の奥(下流側)にある。

# 三菱電機

昭和 35 年 第 34 卷 第 5 号

## 目 次

四国電力野村発電所納め 690 kW 横軸 チューブラタービン	山本秋久…	2
東北電力人来田発電所納め 1,365 kW チューブラタービン	織田明男・福上剛太郎…	10
チューブラタービン 誘導発電機、運転制御装置および配電盤	藤山辰之・甘粕忠男・松尾潔…	17
関西電力大阪発電所用配電盤	堀謙二郎…	28
'60 年形 ユニテナ	河合照男…	35
'60 年形 ウインテナ	牛田善和・高橋克己…	43
L バンド の レーダ 装置における送受信切換回路	井上義男・田原清一…	47
400 Mc/FM 狹帯域無線機 (1) (FS-7D 形固定用および FM-7D 形移動用)	佐藤晋・黒田忠光・吉田元之・桂川弘…	52
エナメル 線および合成ゴム の電気的性質におよぼす 冷媒と油の影響	白井万次郎・原仁吾・平林庄司…	65
銀系接点の消耗移転現象 (2)	山森末男・森田義男・岩村武志・政木淑人…	71
<b>《技術解説》</b>		
火力発電 シリーズ: 蒸気タービン (3)		87
誘電体混合物の誘電率	喜連川 隆・有田不二男…	96
<b>《文献抄訳》</b>		
電場発光 ケイ光体と印加電界、外部放射の間の諸関係・フィラデルフィアの高速車		104
<b>《ニュース フラッシュ》</b>		
水車発電機の完成 (①関西電力読書第二発電所向け、②電源開発芦ノ瀬発電所向け)・シリコン整流器続々完成 (①三菱金属工業秋田製錬所向け、②江戸川化学浪速工場向け、③旭硝子牧山工場向け)・パラメトロン使用の工作機械用数値制御装置完成 (①中ぐり盤自動位置決め用数値制御装置、②自動旋盤数値制御装置)・ケイ素鋼帶の磁気特性連続自記装置・自動翻訳機・列車電話装置 (400 Mc 帯) 受注		106
<b>《特許と新案》</b>		
電気機器油槽の冷却装置・電気扇		110
《最近における当社の社外講演一覧》		111
《最近登録された当社の特許および実用新案》		64
<b>《表紙》</b>		
2. 船積中の内部冷却タービン発電機 (九州電力新港発電所向け)		
3. 防爆形 コントロールセンタ		
4. 三菱 HU 形 ヒートポンプユニテナ		

# 四国電力野村発電所納め 690kW横軸チューブラータービン

新三菱重工業株式会社神戸造船所

山本秋久\*

## A 690 kW Horizontal Shaft Tubular Kaplan Water Turbine for The Shikoku Electric Power Co.

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited.

Kobe Shipyard &amp; Engine Works

Akihisa YAMAMOTO

In Nomura power station of the Shikoku Electric Power Co. a water wheel of novel design has been installed. This is a 690 kW horizontal shaft tubular Kaplan water turbine ingeniously adapted to very low head water power, which has been made light of in former days. The generator is directly coupled with the water turbine and both set up on the floor clear from water. The resistance of the runner blades is made use of as braking force to eliminate mechanical brake equipment. Being an induction generator, it needs no governor. There are further many other features, which all help economise the installation and make the device suit the purpose..

### 1. まえがき

ここ数年来とみに増加しつつある電力需要に対処するため、数多くの水力発電所が建設されてきたが、なんぶん超低落差地点の開発は経済的採算性が悪いため、等閑視されてきたきらいがあった。しかしこのチューブラータービンの出現により、最近にわかつて超低落差の開発が脚光を浴び、各方面で開発計画をはじめられるようになった。もっともチューブラータービンはヨーロッパにおいてはすでに約20年以前より実用に供されているが、わが国では今回野村発電所用として納入されたのが最初である。

周知のように、チューブラータービンは他形式の水車に比して建設費が安く、効率も良いため低落差用としては最適のもので、その形式も種々あるが、今回採用されたものは発電機を水車の上流側に設置し、歯車増速装置を使用しないで発電機軸を直接水車軸に連結する方式のものである。この発電所は既設の古い水車発電機を撤去し、旧設備の一部を流用して新設されたもので、その有効落差はヨーロッパの既設のものに比して高く、これに反して水車出力は比較的に小さい。そこで計画にあたって水車回転数を高くとることができたので、増速歯車を使用しない方式を採用した次第である。このほか本機の特長を列記すると次のとおりである。

- (1) 水車発電機の上流側は水圧鉄管に接続されている。
- (2) 発電所床面上に設置され、したがって水車発電機は全部露出している。
- (3) 機械的ブレーキではなく、ランナ羽根の抵抗力を利用

用してブレーキ作用をさせる。

- (4) 水車発電機軸の軸継手には、フレキシブル継手を用いている。
- (5) ガイドペーンは重錘で閉鎖する方式である。
- (6) 誘導発電機であるため調速機はない。
- (7) 水車発電機は組立てたまま現地に輸送し、そのまま据付けられた。
- (8) 工場にて実際に水を流して試運転を行なった。大体以上のとおりであるが以下その概要を述べる。

### 2. 発電所概要

野村発電所は愛媛県東宇和郡野村町野村に位置し、肱川水系宇和川より取水し、全長約2,450mの導水路によって発電所付近の水そうに導かれ、それにより水圧鉄管を経て発電所に至り、直接宇和川に放水される。旧発電



図 2.1 発電所遠景  
(中央左側発電所、中央右側旧発電所、手前水路)  
Fig. 2.1 General view of power station.

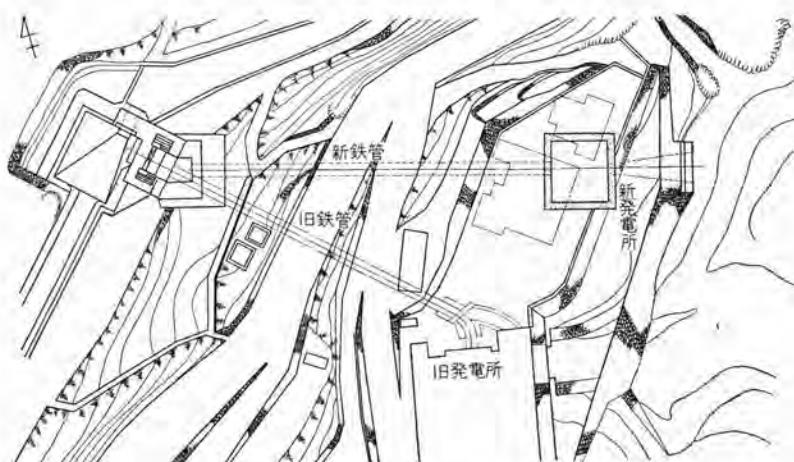


図 2.2 発電所付近平面図  
Fig. 2.2. Map of power station site.

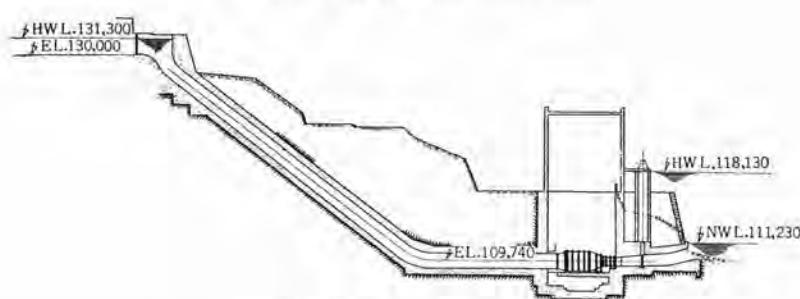


図 2.3 発電所付近断面図  
Fig. 2.3. Cross sectional view of the power station site.

所には2台のフロンタル水車が設置されていたが、これを撤去し新たに旧発電所のやや下流側に新発電所が建設され、これにチューブラービンが設置された。したがって取水口より上水そうまでは旧設備が流用され、それ以後の水そうゲート、水圧鉄管は新製された。

この発電所は水路式で、河川流量に応じた発電を行ない、発電所の運転方式は一人制御方式で、運転保守員は1日2回程度所内を巡回点検を行なうだけとし、他は無人とする計画である。

発電所位置	愛媛県東宇和郡野村町野村
河川名	肱川水系宇和川、稻生川
発電所認可最大使用水量	4.1 m³/s
上水そう(既設)	オーバーフロー形 全長 7.21 m, 全幅 6 m, 水深 2.27 m
水圧鉄管	内径 1,300 mm, 長さ 45.274 m 厚さ 6 mm
放水路	コンクリート製吸出管出口より直接宇和川へ放流
水路設備(既設)	ダム形式、オーバーフロー形重力式 コンクリート 長さ 43.79 m 高さ 3.33 m

四国電力野村発電所納め 690 kW 橫軸 チューブラービン・山本

導水路全長 2,452.77 m

### 3. 水車仕様

#### 3.1 設計要項

形 式	横軸 チューブラービン
有効落差	19.68 m
水車出力	690 kW
流 量	4.1 m³/s
回 転 数	728 rpm
特有速度	462 (m·kW)
周 波 数	60 c/s
回転方向	発電機側より見て時計方向

3.2 制御方式 無人制御方式で、一人制御も可能、負荷は電気式水位調整器による。

#### 3.3 保証事項

基準出力	690 W
速度上昇率	72 %
水圧上昇率	40 %
ただし発電機回転部 $GD^2$	700 kg·m²

水車回転部 $GD^2$	200 kg·m²
ガイドベーン 閉鎖時間	3.5 sec

無拘束速度 2,160 rpm

#### 3.4 水圧推力

11,200 kg

#### 3.5 吸出落差(水車中心にて)

-1.45 m

#### 3.6 各部寸法および仕様

ランナ 外径	870 mm
ランナ 羽根数	5 枚
ガイドベーン 外径	900 mm
ガイドベーン 高さ	252.5 mm
ガイドベーン 数	12 枚
入口管最大内径	1,800 mm
吸出管入口径	850 mm
主軸直径	135/70 mm
ガイドベーンサーボモータ 直径	170 mm × 行程 170 mm (閉鎖は重錘式)
ランナサーボモータ 直径	320 mm × 行程 40 mm
圧油 ポンプ 容量	20 kg/cm² × 50 l/min × 1,800 rpm
潤滑油 ポンプ 容量	2 kg/cm² × 47 l/min × 1,800 rpm

ポンプ用電動機出力	3.7 kW
圧油そう容量	1,150 l
集油そう容量	
(圧油潤滑油を含む)	4,500 l
潤滑油上油そう容量	1,080 l
所内排水ポンプ (常用電動)	$3.7 \text{ kW} \times 15 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}^3/\text{min} \times 1,800 \text{ rpm}$
(予備用内燃機駆動)	$3.7 \text{ kW} \times 15 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}^3/\text{min} \times 1,200 \text{ rpm}$

### 3.7 直結発電機

形 式	横軸カゴ形回転子全閉外被水冷式 三相交流誘導発電機
出 力	660 kW
電 壓	6,600 V
回 転 数	728 rpm
周 波 数	60 c/s

## 4. 模 型 試 験

模型試験は、性能試験装置とキャビテーション試験装置の2種類の装置により実施した。すなわち前者により水車効率、無拘束速度、水圧推力、インデックス試験、ランナ羽根開閉力、ガイドベーン圧力分布などを計測し、後者によつて、キャビテーション、流水部損失水頭などを計測した。模型ランナは、性能試験用キャビテーション試験用おののおの2種類製作試験して比較検討を行ない、優秀なほうを採用した。ランナはいづれも5枚羽根である。

### 4.1 性能試験

性能試験は装置の関係上立軸とし、発電機部分を省略して水車入口部以後を実物と相似に製作して種々の試験を行なった。図4.1は性能試験装置を、また図4.2は同模型水車の断面を示す。図4.3は模型水車の性能で、その予想効率は保証値を数パーセント上回る好結果を得た。

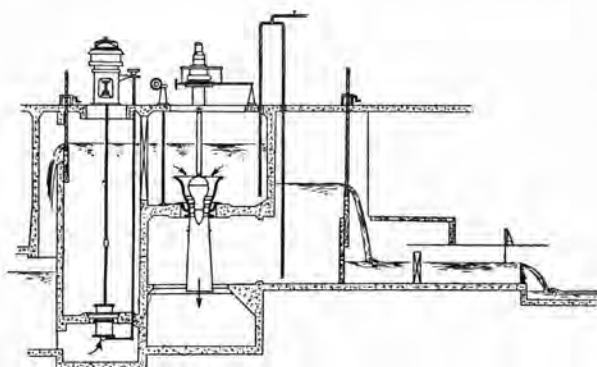


図 4.1 立軸効率試験装置

Fig. 4.1 Vertical machine efficiency test device.

無拘束速度、水圧推力はいづれも保証値を下回る結果を得た。

この水車には現地において流量を計測するために、インデックス法による流量測定装置が取付けられるので、これの適当な取出位置を見出すための試験を模型水車により実施した。その結果水圧取出位置として図4.2のa, b点を用い、模型水車の流量を与える式としてつぎのものが得られた。

$$Q = 28.61 d^{0.523}$$

ただし  $Q$ : 模型水車流量  $l/\text{sec}$

$d$ : 2点の圧力差  $\text{mmAq}$

周知のようにカプロン水車においては、負荷に応じてガイドベーンと相関連してランナ羽根を適当な開度に調整しなければならない。したがつてこの操作をつかさどるランナサーべーモータには、ランナ羽根開度とガイドベーン開度のあらゆる組合せに対しても十分操作できる容量を持たさなければならない。この適正値を見出すため模型ランナは図4.2のように実物と同じような油圧式開閉機構を持っており、羽根開閉時の油圧を計測することにより、開閉に必要な力を求められるようになっている。これを用いて種々な条件のもとで開閉力を計測し、サーボモータの

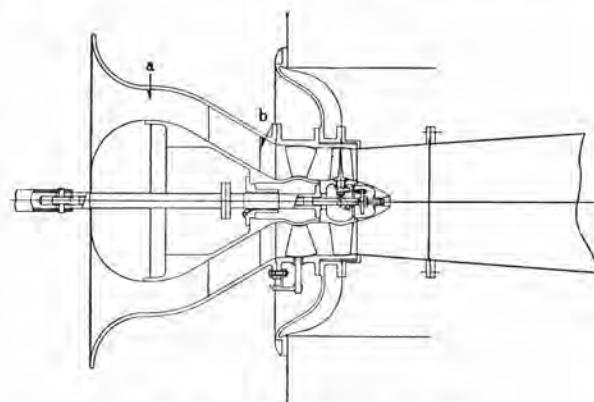


図 4.2 効率試験模型水車組立図

Fig. 4.2 Cross section of model turbine for efficiency test.

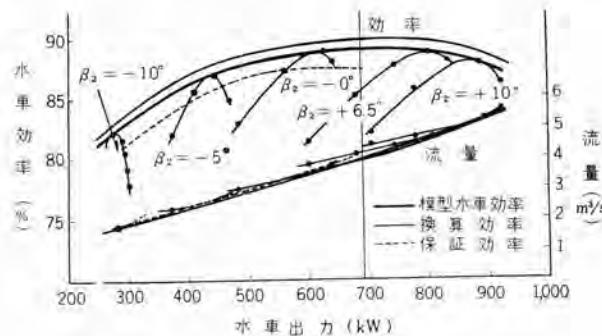


図 4.3 野村発電所用模型水車性能

Fig. 4.3 Model runner efficiency of Nomura power station.

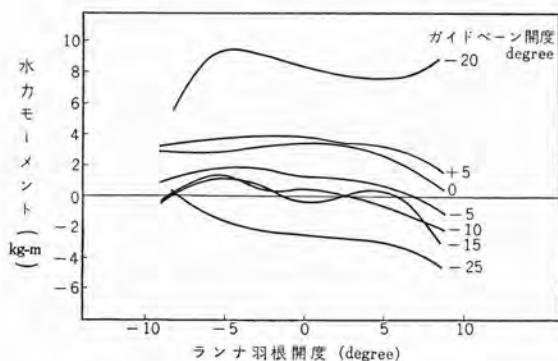


図 4.4 ランナ 羽根スピンドル回り水力モーメント  
Fig. 4.4 Hydraulic moment around the runner blade spindle.

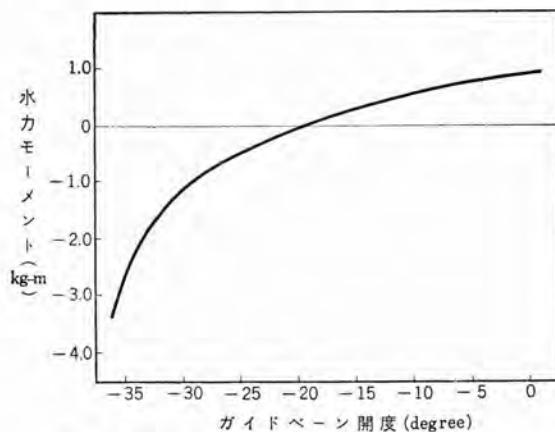


図 4.5 ガイドベーンスピンドル回り水力モーメント  
Fig. 4.5 Hydraulic moment around guide vane spindle.

必要最小容量が決定された。図 4.4 はこの試験結果の一例である。

チューブラータービンに使用されるガイドベーンは従来の水車に用いられてきたものとは形状が異なり扇形で、かつ流体力学的には内外周の間でいくぶんひねりを与えることが要求される。しかし実用上ガイドベーンで流水を遮断するためには、平面的な二次元翼を使用するのが望ましい。この点に関しては、さきに模型試験でこの両者の比較を行ない、水車性能にはほとんど差がないことが確かめられているので、今回も二次元翼を採用した。ガイドベーンもランナ羽根の場合と同様、サーボモータの容量決定のために、ガイドベーン表面の圧力分布を計測し、これより軸まわりのトルクを算定した。図 4.5 はガイドベーン 1 枚当たりの水圧によるトルクを示す。

#### 4.2 キャビテーション試験

キャビテーション試験装置は、発電機部分を含めて実物と相似に製作して試験を行なった。図 4.6~4.8 は同装置を示す。この装置は図 4.8 のように、ディスクチャージングが透明になっており、ストロボ装置により直接観察できるようになっている。図 4.9 は現地と同じ運転条件における

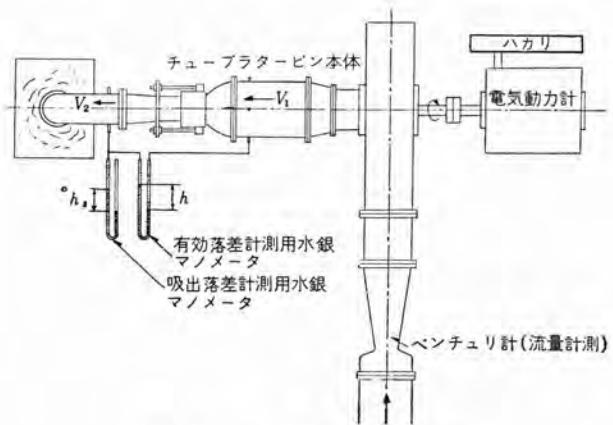


図 4.6 横軸キャビテーション試験装置  
Fig. 4.6 Horizontal machine cavitation test device.

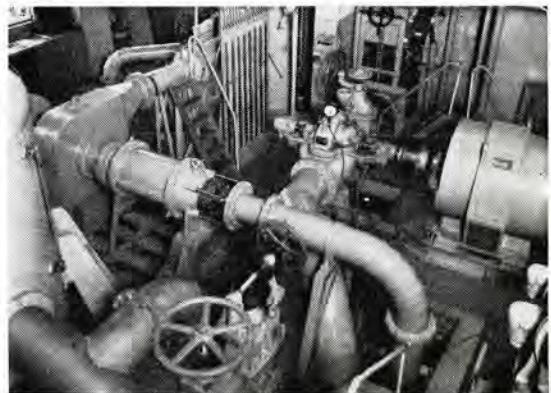


図 4.7 キャビテーション試験装置  
Fig. 4.7 Cavitation test device.

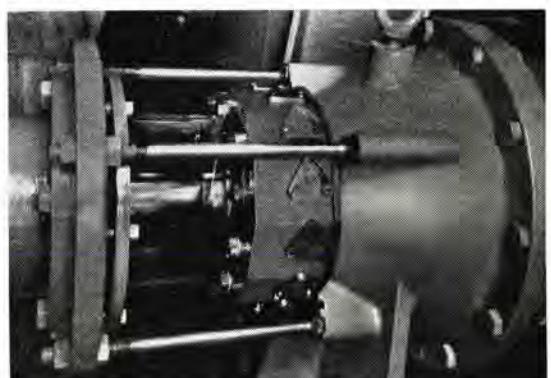


図 4.8 キャビテーション試験装置  
Fig. 4.8 Cavitation test device.

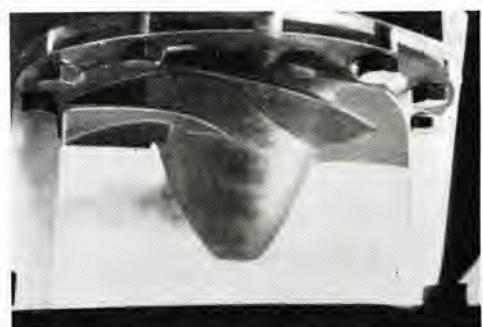


図 4.9 常時運転時の状態 ( $\sigma = 0.56$ )  
Fig. 4.9 State of ordinary operation.



図 4.10 キャビテーション発生状態 ( $\sigma=0.30$ )  
Fig. 4.10 State of cavitation generation.

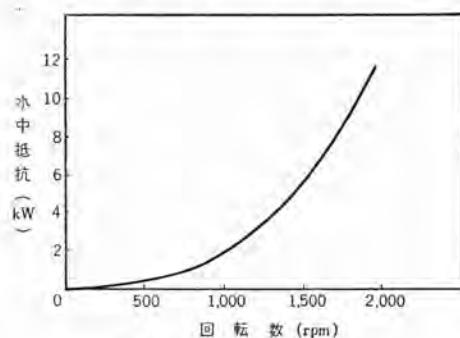


図 4.11 ランナの水中抵抗

Fig. 4.11 Water resistance of the runner.

ランナの状態で、ほとんどキャビテーションの発生は認められない。

実物水車には機械的ブレーキ装置を設備することができないので、ランナ羽根の水抵抗を利用してブレーキ作用をさせる設計となっている。そこでこの抵抗モーメントをこの装置により計測した。計測はランナ羽根の種々な開度に対して回転数を変化させて行なった。その結果の一例を図 4.11 に示す。

## 5. 発電所設備

新発電所は旧発電所のやや下流側に建設され、単床式で水車発電機はその床面上に設置される。したがって普通のいわゆるチューブラーピンと異なり、水車発電機の外側はコンクリートに埋ることなく全部露出している。その他床面上には、ガイドベーン開閉装置、圧油装置、グリース給油装置、所内排水ポンプが設置される。図 5.1 は発電所内の配置を示す。

### 5.1 水車本体

水車発電機は水平に設置され、発電機は水車の上流側にあり、入口は円錐管により水圧鉄管に接続され、出口はルーズフランジにより吸出管に接続されている。水車発電機全体は、床面に埋込まれた台板上にボルトにより固定され、分解の際取はずしができるようになっている。

図 5.2 は水車の断面を、図 5.3 は発電所内部、図 5.4 はランナおよびガイドベーンを示す。

#### (1) ランナ

ランナは羽根、ボス、コーンいずれも 13 クロムステンレス 鋳鋼製で、ボス内の開閉機構は普通のカプラン水車のものと同じである。ランナ直径は 870 mm で羽根数は 5 枚である。ボス内は各シュー動部の潤滑をするため、潤滑油で満たされているが、この油の流出を防止するため主軸とランナの接続部分に O リングが取付けられている。し

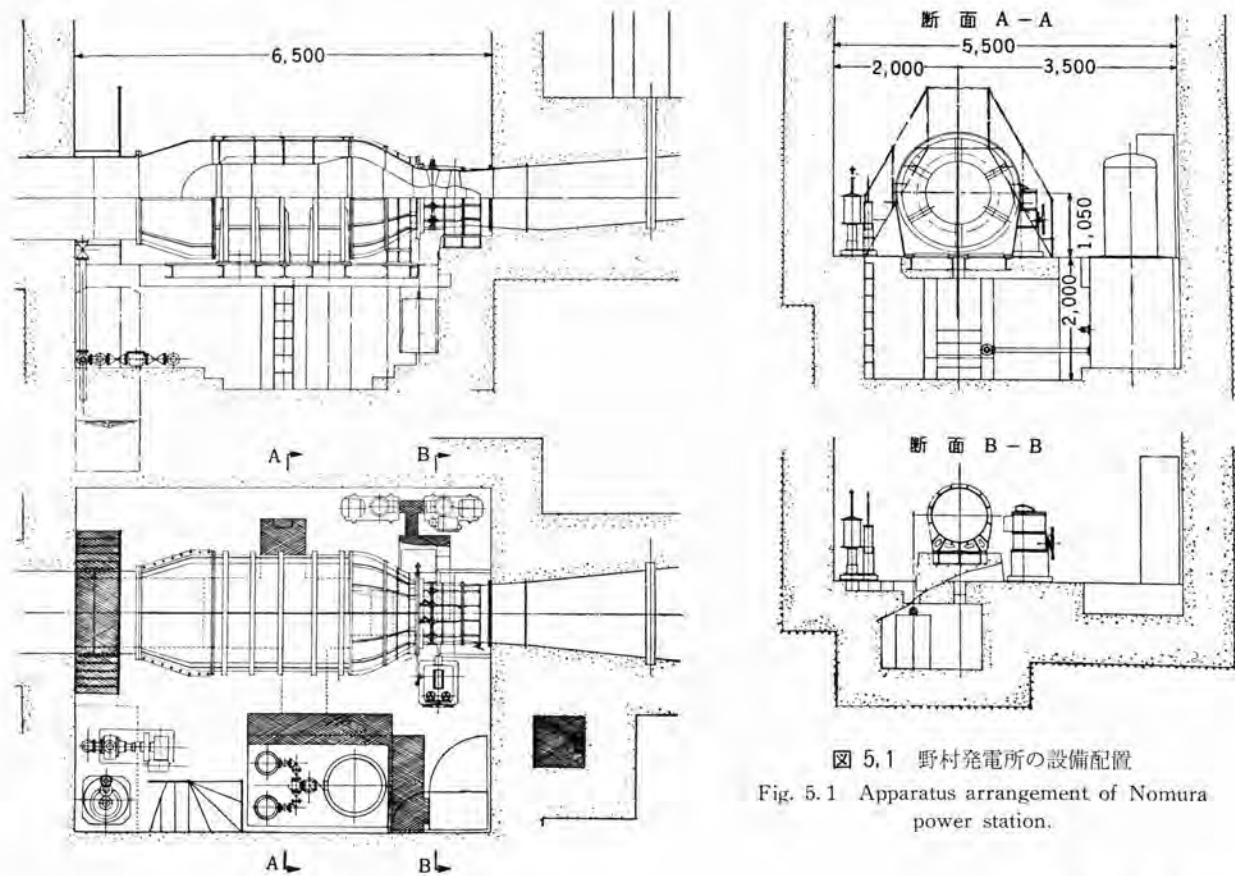


図 5.1 野村発電所の設備配置  
Fig. 5.1 Apparatus arrangement of Nomura power station.

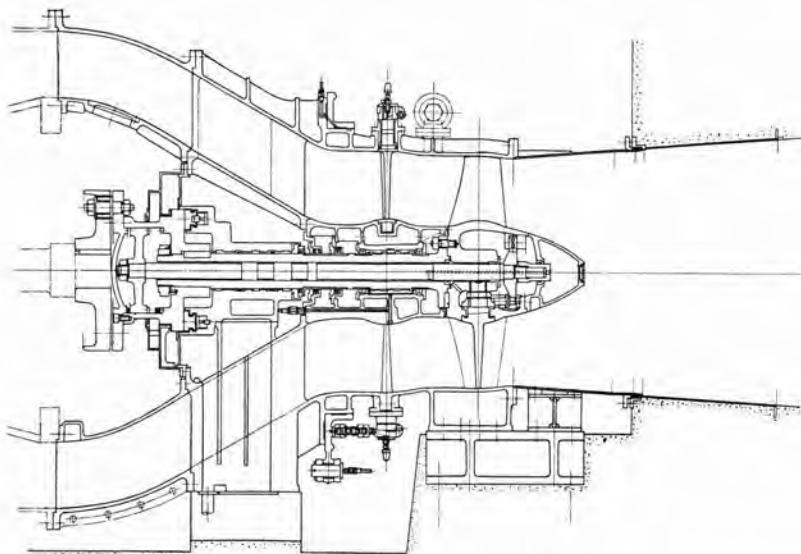


図 5.2 チューブラータービン 断面図

Fig. 5.2 Cross section of tubular Kaplan turbine.



図 5.5 ランナ

Fig. 5.5 Runner.



図 5.3 発電所内部

Fig. 5.3 Interior of power station.

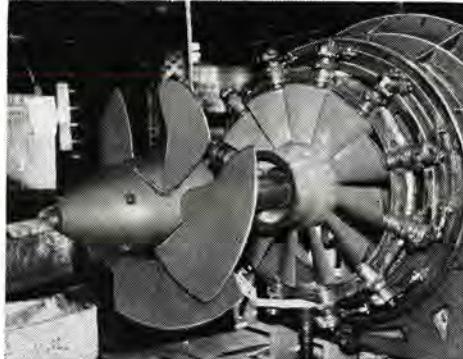


図 5.4 ランナ および ガイドベーン

Fig. 5.4 Runner and guide vanes.

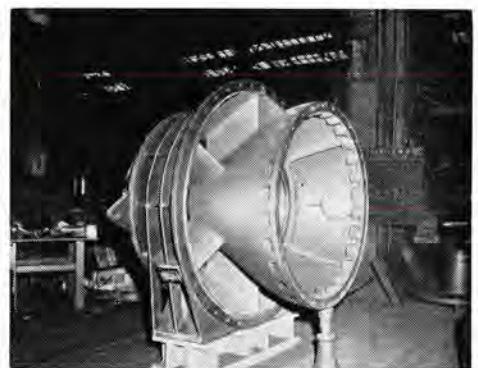


図 5.6 ステーリング

Fig. 5.6 Stay ring.

たがってランナ羽根を開閉する際、ボス内油の占める空間容積が不变であることが必要で、このため調整棒はコーン内に突き抜け、そのシュー動部にもOリングを取り付け漏油を防ぐ構造になっている。コーン先端にはフタが取付けられているが、万一コーン内に浸水あるいはボスよりの漏油があった場合は、調整棒の中心にあけられた穴を通して外部に逃すようになっている。

#### (2) ディスクチャージリング

ディスクチャージリングは鉄鋼製一体物で内面は半球面になっており、上流側はガイドベーンシステムの中心面でステーリングに接続され、下流側は吸出筒に接続される。ランナとガイドベーンの中間部には負荷シャ断時に動作する空気弁が取付けられている。

#### (3) ステーリング

ステーリングは鉄鋼製一体物で、6個の翼形断面のステーベーンにより軸受そのほかの内部構造物を支持している。ステーベーンはすべて中空になっており、そのうちの4個が給排油管、給排水管、レターン機構、温度計リード線の通路に利用されている。

#### (4) 入口接続管

四国電力野村発電所納め 690 kW 横軸 チューブラータービン・山本

入口接続管は内部と外部とがありいずれも鉄鉱製である。内部接続管の発電機側接続ボルトは、外側より着脱できるようになっており、締付後は鉛を凹部に流し込んで、表面の凹凸がないようにしている。外部接続管は二つ割れて、水車分解の際は最初にこの部分が取はずされる。

#### (5) ガイドベーン支持筒

ガイドベーン支持筒は鉄鋼製で水車主軸受と一体に鋳造され、内部には漏油漏水を防止するためのパッキンが2個取付けられている。

(6) ガイドベーンは鉄鋼製で12枚あり、前述のように扇形二次元翼で、全閉することにより流水をシャットダウンすることができる。図5.8は組立用具を用いてのガイドベーン組立状況を示す。ガイドベーンの開閉装置のリンクは構造上三次元的な動きをするので、接続部にはユニバーサルジョイントが用いられている。(図5.9参照)ガイドベーンは圧油を用いて重錘により閉鎖される。各シュー動部はグリース潤滑で、手動グリースポンプにより給油される。

#### (7) 主軸および軸受

主軸は直径135 mmの鉄鋼製中空軸で、その内部を

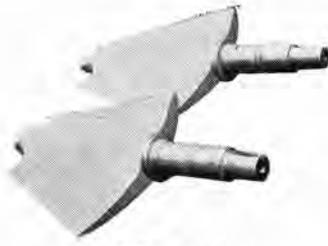


図 5.7 ガイドベーン  
Fig. 5.7 Guide vane.



図 5.8 ガイドベーン 組立状態  
Fig. 5.8 Guide vane assembling.

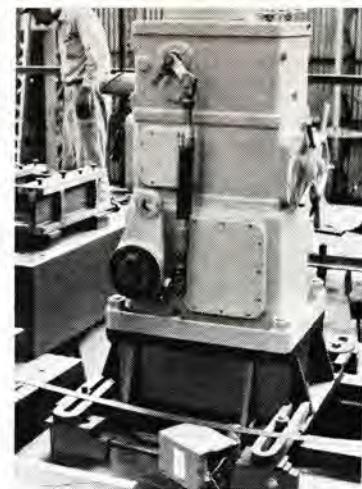


図 5.12 負荷調整装置  
Fig. 5.12 Load regulating device.

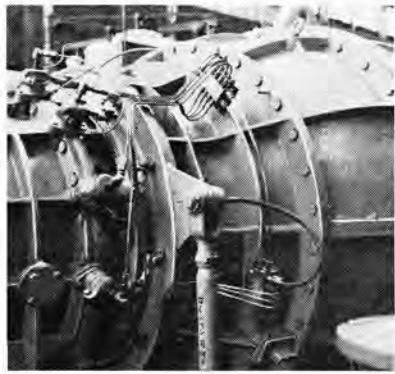


図 5.9 ガイドベーン 開閉機構

Fig. 5.9 Guide vane opening mechanism.



図 5.10 推力軸受  
Fig. 5.10 Thrust bearing.

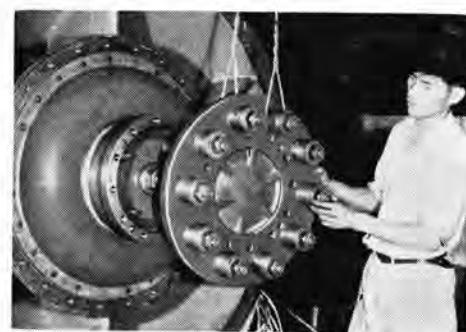


図 5.11 ランナーサーボモータ および軸継手  
Fig. 5.11 Runner servomotor and shaft coupling.

ランナ 羽根調整棒が シュウ 動する。

水車軸受としては、主軸受、補助軸受、および推力軸受の 3 個がある。主軸受は ガイドベーン 支持筒に特殊な方法で固定され、内側は白色合金で裏張りし、グリースにより潤滑される。補助軸受は油潤滑で、圧油導入装置および推力軸受の支持台も兼ねている。推力軸受は キングスベリ 式均等負荷分配構造のもので、運転中各 パッド にかかる推力荷重はつねに均等になるように、自動的に調整される。

#### (8) ランナーサーボモータ および軸継手

ランナーサーボモータ は主軸の発電機側端に取付けられ、推力軸受の ランナ も兼ねている。また サーボモータフタ は発電機との継手 フランジ の役を兼ねている。軸継手は ゴム を利用した特殊な フレキシブル 継手を採用した。

#### 5.2 負荷調整装置

この水車用発電機は誘導発電機であるので、調速機はなく、この負荷調整装置により発電機負荷を調整する。ケーシング 内には ガイドベーン 用の油圧 サーボモータ が内蔵され、圧油装置からの圧油を用いて配電盤からの遠方操作および現場で手動操作により ガイドベーン の開閉ができる。この場合閉鎖は圧油を使用せず、重錘によって閉まる方が採用されている。この装置には電気式水位調整器が付属しており、當時は自動的に河川流量に応じた負荷をとるようになっている。ランナ 羽根との運動装置は普通

のカプラン 水車と同様に、カム を介して行なわれる。図 5.12 にこの装置を示す。

#### 5.3 圧油装置および潤滑油装置

圧油装置は図 5.13 に示すように、圧油 そう および圧油 ポンプ は集油 そう の フタ 上に取付けられ、全体としてまとまりよく設計されている。圧油 ポンプ は 2 台あり油圧は  $20 \text{ kg/cm}^2$  で吐出量は  $50 \text{ l/min}$  である。潤滑油 ポンプ は上記圧油 ポンプ に直結され、容量は  $2 \text{ kg/cm}^2$ ,  $47 \text{ l/min}$  で、潤滑油はいったん上油 そう にくみ上げられてから推力軸受、発電機軸受に給油される。圧油 および潤滑油の集油 そう は共用になっている。水車主軸受は グリース 潤滑で、電動 グリースポンプ により自動的に、また ガイドベーン 開閉装置の シュウ動部には手動 グリースポンプ により給油される。図 5.14 は グリース 給油装置である。

#### 5.4 給排水装置

水車主軸受ならびに集油 そう の冷却水は、鉄管より取水され、ストレーナ を経て直接給水される。所内排水 ポンプ は立テ横軸各 1 台あり、前者は電動機により、後者はディーゼルエンジン により駆動される。

#### 5.5 運転制御装置

運転制御装置は非常に簡単な設計になっており、起動方法として種々な方法があるが、この水車ではまず水車により起動し、同期速度付近に達すると自動 スベリ 検出装置により同期速度を検出して並列に入れる方法が採用さ

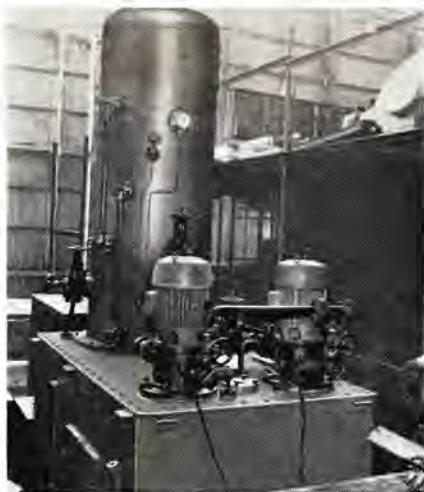


図 5.13 圧油装置

Fig. 5.13 Pressure oil device.

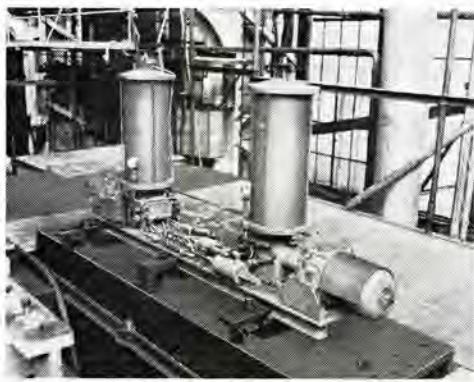


図 5.14 グリース供給装置

Fig. 5.14 Grease supplying device.

れている。停止時にはガイドベーン全閉と同時にランナ羽根を起動開度まで開き、ブレーキ作用をさせるとともに、上水そうのゲートを閉鎖する。保護装置としては、油圧低下、潤滑油断、冷却水断、上油そう油面低下、軸受温度上昇、過速度、上水そう水位低下などを検出するようになっている。

## 6. 現地試験

水車発電機は工場試験完了後昭和 34 年 8 月 10 日に工場より発送され、8 月 17 日に現地据付開始、9 月 23 日に完了した。10 月 1 日には好成績裏に官庁試験が終了し現在すでに営業運転にはいっている。近日中に現地

表 6.1 自動起動停止試験

項目		測定値
起動	(主幹順序スイッチ操作「停止」→「並列」) 上水そうゲート開放完了	10 分 51 秒
	水車起動	11 分 36 秒
	同期速度用速度リレー動作	12 分 13 秒
	並列用シヤ断器 並列投入	12 分 28 秒
負荷	(主幹順序スイッチ操作「並列」→「負荷」) 負荷制限用調整スイッチ操作始めより最大負荷まで	1 分 25 秒
	停止前の負荷	300 kW
緩停	(主幹順序スイッチ操作「負荷」→「停止」) 並列用シヤ断器 開放	59 秒
	上水そうゲート閉鎖完了	11 分 33 秒
	水車発電機停止	13 分 43 秒
	ランナベーン閉鎖完了	14 分 29 秒
急停止	停止前の負荷	600 kW
	(急停止用閉そくリレー操作よりの時間) 並列用シヤ断器開放	6 秒
	上水そうゲート閉鎖完了	44 秒
	水車発電機停止	3 分 57 秒
	ランナ羽根閉鎖完了	4 分 41 秒

四国電力野村発電所納め 690 kW 横軸 チューブラーベン・山本

表 6.2 負荷シヤ断試験

項目	1	2	3	4	備考
シャ断時刻	14°45'	15°08'	15°32'	16°14'	
シャ断負荷 (kW)	158	315	473	630	
負荷時電圧 (V)	6,430	6,550	6,500	6,400	
負荷電流 (A)	26	38	50	66	
無効電力 (kVar)	280	310	360	410	
周波数 (c/s)	60.0	60.0	60.0	60.0	
開度	68	141	166	190	
木車	0	5	11.5	20.5	
回転数	720 (722)	720 (723)	720 (725)	720 (727)	( ) の数値はオシロ記録を示す
最大 (rpm)	750 (750)	910 (910)	1,010 (1,010)	1,070 (1,070)	# 保証値 72%
変動率 (%)	4.13 (3.95)	26.1 (25.8)	39.9 (39.2)	48.1 (47.2)	( ) の数値はオシロ記録を示す
ケーブル	負荷時 (m)	21.3 (21.80)	21.0 (21.50)	20.7 (21.20)	20.2 (20.70)
水車	最大 (m)	25.8 (25.50)	25.2 (25.10)	25.1 (25.65)	25.4 (26.55) #
シアン	安定後 (m)	21.4 (21.95)	21.4 (21.95)	21.4 (21.95)	21.3 (21.75) 保証値 40%
真吸	変動率 (%)	20.6 (17.0)	19.5 (16.8)	20.8 (21.0)	25.1 (28.2)
空出	負荷時 (m)	2.0	1.5	1.0	0
管	最大 (m)	1.5	0.5	0	-0.4
安定後 (m)	1.8	1.5	1.5	1.5	
ペガ	不動時間 (s)	(0.07)	(0.058)	(0.08)	(0.067) ( ) の数値はオシロ記録を示す
ライ	閉鎖時間 (s)	5.0 (4.59)	7.5 (7.33)	8.5 (7.94)	8.2 (7.66) #

効率試験が実施されることになっている。

現地の運転状態は、きわめて静かで振動はほとんどなく、良好であった。水車関係の官庁試験としては、起動停止試験、負荷シヤ断試験および連続負荷試験が実施された。試験時の有効落差は所定の値よりわずかに低く大体 19m くらいであったが、水車出力はガイドベーン全開で約 680 kW あり予想どおりの性能を發揮しているものと推定される。全開出力シヤ断時の速度上昇率 47.2%，水圧上昇率 28.2% でいずれも保証値以下である。また各軸受の温度は水車主軸受 23°C，補助軸受 43°C，推力軸受 43°C であった。表 6.1 に起動停止試験結果を、表 6.2 に負荷シヤ断試験結果を示す。

## 7. むすび

前述のように官庁試験も無事終了し、すでに営業運転にはいっているが、本邦における第 1 号機としてその設計製作に細心の注意と努力を傾注した結果現地における運転状態もきわめて良好で、好成績をおさめチューブラーベンの実用性を実証した。したがって今後はチューブラーベンによる超低落差地点の開発にいっそう拍車がかけられることを期待し、本機で得られた経験をもとにしてさらに大きい容量のチューブラーベン、ひいては潮力発電用機器の開発に力をそそぐ所存である。なお本機では增速歯車装置を設備していないが增速歯車の試作研究を実施しており、歯車装置を有するチューブラーベンの製作態勢もとのえている。

おわりにのぞみ本機の計画完成ならびに本稿の執筆にあたりご支援を賜わった四国電力の関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 山本：電力 43, 11 号, 31 (昭和 34 年 10 月)。
- 2) 富永・田辺・弘中：新三菱重工技報 1, No. 2, 37 (昭 34)。

# 東北電力人来田発電所納め 1,365 kW チューブラタービン

三菱造船株式会社長崎造船所 織田明男\*・福上剛太郎\*\*

## A 1,365 kW Tubular Type Kaplan Water Turbine

Mitsubishi Shipbuilding & Engineering Co., Ltd.

Nagasaki Works Akio ODA · Gōtarō FUKUGAMI

The Tohoku Electric Power Co. has been interested to make use of low head water power and has finally realized the building of Hitokida power station as a model installation. The project has been completed by cooperation of the Mitsubishi Electric Manufacturing Co. and the Mitsubishi Shipbuilding Co. The machine set up is a 1,365 kW tubular turbine generator. Though it is rather a epochal apparatus in this country, the type has been tried and attested with success in Europe for a score of years. A small space needed for the installation and resultant small expenses in civil engineering works, yet good water turbine characteristic are outstanding features of the machine worth recommending to the development of heretofore neglected low head sites.

### 1. まえがき

東北電力株式会社は、早くから低落差開発に着眼し、具体化を計っていたが、昭和 33 年以来、三菱電機ならびに三菱造船と共同研究にはいり、モデルプラントとして、人来田発電所の水車を、チューブラタービンとして改造することとなり、昨昭和 34 年末、わが国最初の増速形チューブラタービン発電所が完成した。この機会にその概要を紹介する。

本来、チューブラタービンは欧州においては、すでに 20 年前から建設運転されているものであって、

- (1) 発電所内で機器が占める空間体積が小さい。
- (2) したがって土木工事費が少ない。
- (3) 水車特性がよい。

等々の特長が上げられていた。今回これらの特長が十分価値あるものとして確認され、さらに大出力低落差発電

所実現の基礎が固められた。とくに、発電機増速形チューブラタービンの特長は遺憾なく發揮された。

### 2. 発電所概要

人来田発電所は、仙台市南南東約 8 km にあり、蔵王山塊に源を発し、秋保温泉湯元などの景勝の地を貫流して、仙台市の母といわれる広瀬川を合流し、仙台湾にそそぐ名取川水系にあり、上流の碁石川発電所、茂庭発電所とともに、仙山線に電力を供給している。水は、上流の茂庭発電所の放水を、名取川本流取水堰堤で堰止め、仙台市茂庭字人来田に導水発電し、ふたたび名取川本流に放流するものである。

旧人来田発電所は、大正 11 年完成したもので、落差 12.1 m 最大流量 11.7 m<sup>3</sup>/s 露出形立軸 フランシス水車 2 台で運転されていたものである。新人来田発電所は、この旧発電所の機器いっさいを撤去し、放水路隧道を補

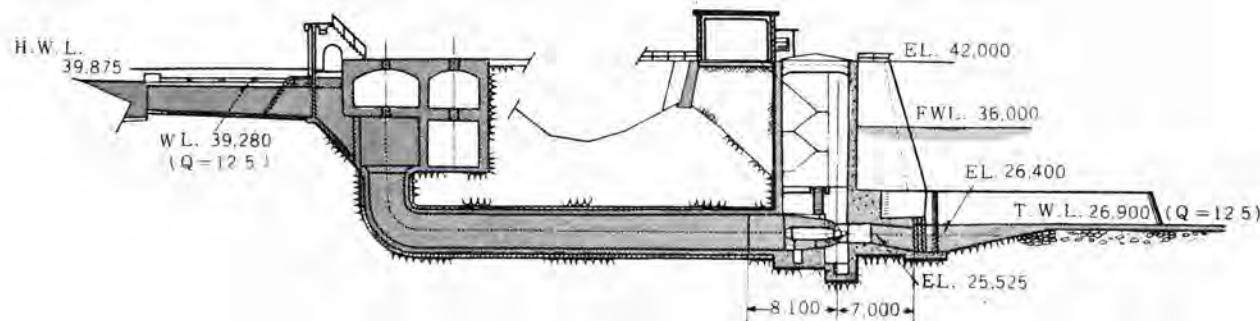


図 2.1 (a) 発電所建家縦断面図  
Fig. 2.1 (a) Sectional view of power station.

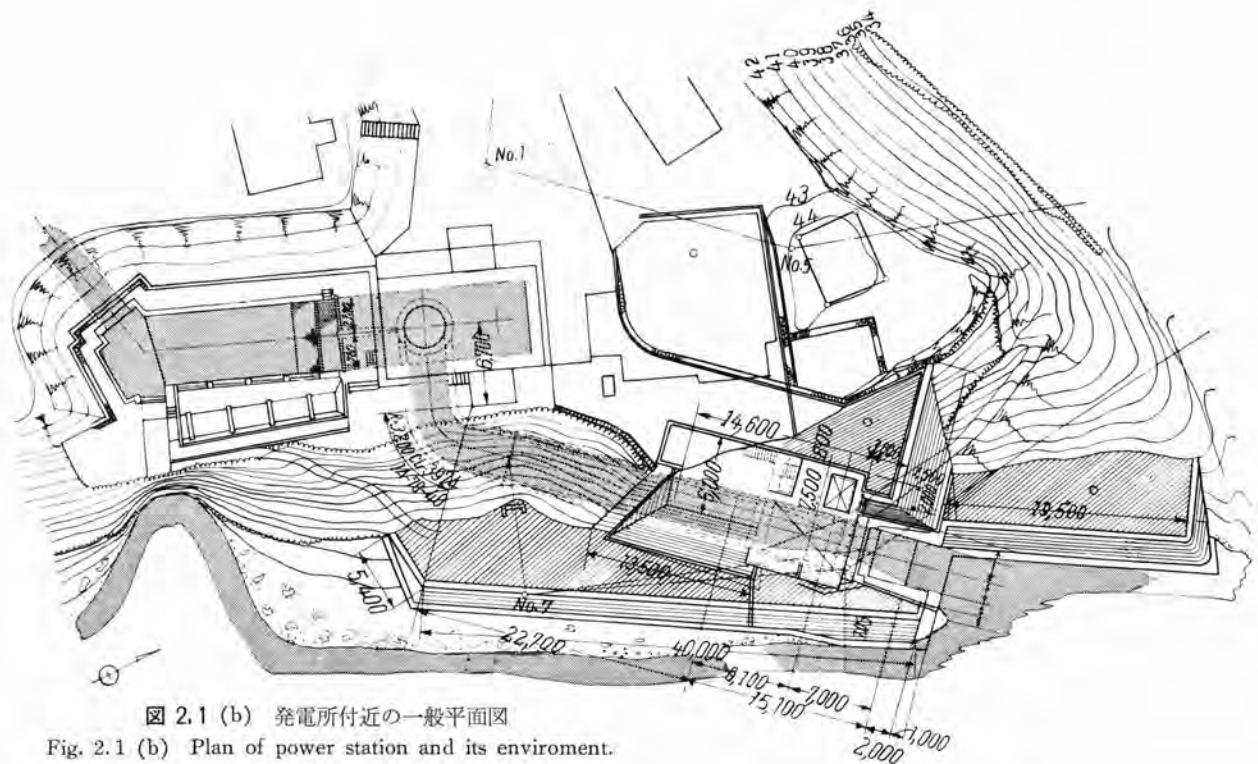


図 2.1 (b) 発電所付近の一般平面図  
Fig. 2.1 (b) Plan of power station and its environment.



図 2.2 人来田発電所全景  
Fig. 2.2 Full view of Hitokida power station.

強することによって、圧力隧道となし、隧道の一部にチューブラーターピンを据付けたものである。

主機は、昭和 34 年 9 月末三菱電機長崎製作所、ならびに三菱造船長崎造船所にて工場完成し、直ちに現地向け発送、厳重な据付、ならびに所内各種試験を行なった後、12 月中旬、無条件にて官庁検査に合格した。さらに官庁試験に先だって、効率試験を行なった結果後述するように、この種機器以外では望みも得られない数万 kW の水車にもまさるとも劣らない高効率を示した。

また、完成した発電所は、地表に、配電盤室、屋外変圧器、屋外開閉器、ならびに主機搬入 ハッチ を表わすのみであり、さらに水車室では出力制御盤以外には、水車、発電機の影をも認めざる状態で、チューブラーターピンの面目を如実に示している。

東北電力人来田発電所納め 1,365 kW チューブラーターピン・織田・福上

## 2.1 水車仕様

出力	最大	1,365 kW
	最大使用水量時	1,320 kW
落差	最大使用水量時	12.0 m
	常時使用水量時	13.332 m
水量	最大使用水量	12.5 m³/s
	常時使用水量	4.28 m³/s
	最大水量	13.0 m³/s
回転数		333 rpm
比較回転数		552 m·kW
形式	横軸円筒形可動翼 チューブラーターピン	
台数		1 台
無拘束速度		283 %

## 2.2 増速装置仕様

形式	無拘束速度防止回転離脱装置付 ステッキヒト式遊星歯車形
伝達動力	1,365 kW
増速比	1 : 3

## 2.3 発電機仕様

種類	三相交流誘導発電機
形式	横軸 カゴ形回転子
冷却方式	全閉外被水冷形
出力	1,300 kW
電圧	3,300 V
同期回転数	1,000 rpm
周波数	50 サイクル

過速度耐力

連続 2,830 rpm

### 3. 開発研究

東北電力株式会社と共同研究が開始されるや、水車部門担当として、設計に先だち、各種の試験開発研究が行なわれた。その主なるものについて紹介する。

#### 3.1 水車形状試験

(1) 低落差用水車であるので水車ケーシング内の損失は、水車特性に大きな影響があること。

(2) 水車を小形にした割合に、相対的な流量が大きいので水の流れに偏流があれば、振動がおこる恐れがあること。

(3) 既設水路を利用したために、形状大きさに制限があること。

(4) 工作上、据付上、等から経済的なケーシング形状を決定しなければならないこと。

等々によって、いわゆる模型試験を行なう前に、さらに、小形模型を製作して、各種ケーシング形状について、ケーシング内の流速分布、偏流状況、圧力分布、などを計測した。

研究の対象としたケーシングは、ケーシングの太さの大小関係、ならびに発電機支持脚の影響について行なわれた。

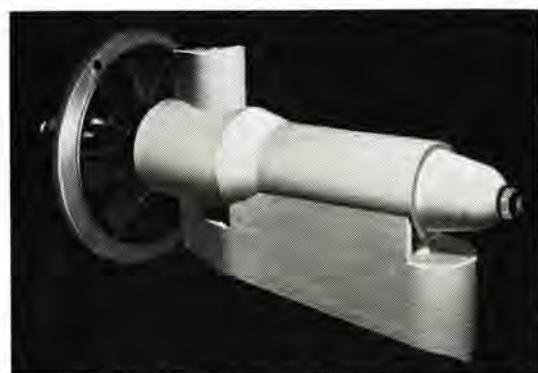


図 3.1 (a) ケーシング 形状試験 モデル

Fig. 3.1 (a) Test model of casing.

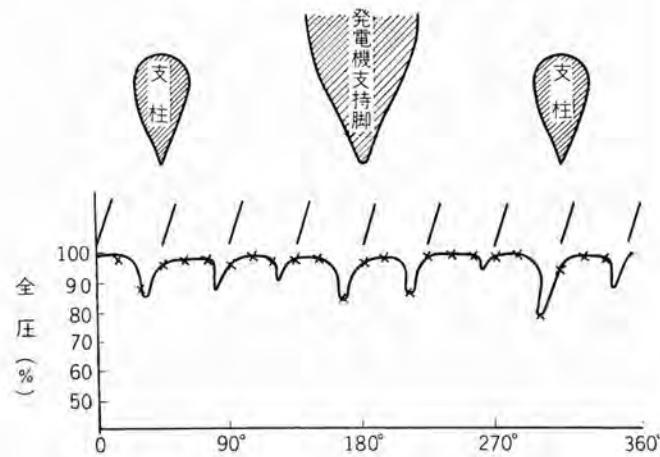


図 3.1 (b) ケーシング 全圧分布曲線

Fig. 3.1 (b) Casing full pressure distribution curve.

この結果、発電機を単に下部から舟形支持脚でささえする方法は、流体損失抵抗の少ない部分と支持脚の影響による損失の大きい部分の差がはなはだしく、したがって偏流傾向も大となるため採用されず、Y字形に発電機を支持する方法が用いられた。

#### 3.2 模型効率ならびにキャビテーション試験

入来田発電所向け チューブラーピンの 1/3.75 の模型タービンを作成し、効率特性を計測するとともに、つねに問題となる同一仕様立軸カプラン水車との比較も行なった。この結果を図 3.2 に示す。この模型計測の結果では、最大流量相当時においては、普通のカプラン水車より 2% も効率よく、最高効率点では 1% 以上の差があり、チューブラーピン模型実測値が 92% 近くもあった。

キャビテーション試験は、実機の 1/6 の模型を製作し、実落差以上の条件で試験が行なわれた。この結果、プラント  $\sigma = 0.894$  に対して、臨界  $\sigma$  は、0.63 の好結果が得られた。なお、このキャビテーション試験用模型を利用して、ランナ出口（吸出管入口部）における水圧変動の計測を行

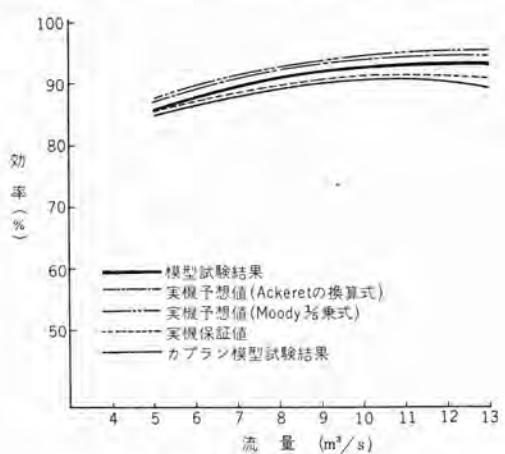


図 3.2 効率曲線  
Fig. 3.2 Efficiency curves.

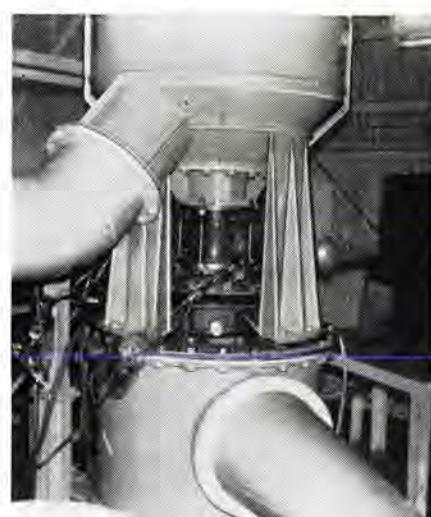


図 3.3 キャビテーション 試験装置

Fig. 3.3 Cavitation testing device.

なって、実機の振動形態の推定を行なった。さらに、この振動と、トレーリングボルテックスならびに、ランナベーンの固有振動数の関係を調査し、実機ランナ出口端形状の決定を行なった。

### 3.3 現地測水水理模型試験

新機種であるチューブラーベンの特性を各方面から研究する必要上、実機の効率測定が重要な役割をはたす。すなわち、将来の大出力低落差チューブラーベンでは、流量の測定が困難であることが予想される。したがって、今回のテストプラントである人来田発電所で、十分な測定を行なってチューブラーベン特性を調査しておく必要がある。

しかるに、図2.1示すように、隧道に曲り部があるために、流量測定位置について検討しておく必要があったので、水路系水理模型を作成し、曲り部の影響の及ぼす範囲と速度分布の計測研究を行なった。この結果ケーシング入口に接した拡大管から、導水管直径の1倍上流側断面にて、十文字形にカレントメータを取り付けて計測することとなつた。

## 4. 水車構造(図4.1参照)

### 4.1 ランナ

ランナボスは1.5%マンガン鉄鋼製で、内部にはランナ羽根開度調整機構と、これを操作するランナサーボモータが内蔵されているのが、一つの特長となっている。ランナ羽根は5枚で、18-8不銹鋼製、直径1,500mmである。ランナ羽根ステムの封水部は、低落差であるにもかかわらず

、高落差用のパッキンを使用し漏油、浸水の絶無を期している。また万一パッキン状況で漏油、あるいは浸水してもまたステム部より水車軸を通して外部に排出できるようになっている。

### 4.2 スピードリングおよびケーシング

ステーベンは鉄鋼製で、鋼板製リングに溶接した構造である。この部分が、据付、強度上もっとも重要な部分で、コンクリート埋込となっており、チューブラーベンの基礎ともいえるものである。

ケーシングは鋼板溶接構造であり、輸送の関係上上下二つ割構造で、この割面は現地で漏れ止め溶接を行なった。

下部ケーシングには舟形の発電機ならびに遊星歯車ケーシングを置く支持脚があり、支持脚の下流部は空洞となっており、ケーブル、配管、配線などを納め、水車内部と外気との連絡孔となっている。支持脚の上流半分はコンクリートを充填し、高速回転の発電機の確実な基礎となっている。

### 4.3 案内羽根

鉄鋼一体铸造品で扇形をなし、全閉時には、16枚の案内羽根が円錐状となって、完全に水をシャットして、入口弁的な役割もはたす。

### 4.4 軸受

推力軸受は、ミッセル式で、水車の水力軸推力を受ける。

水車軸受は、水車軸をささえるとともに、ランナベーン操作サーボモータに圧油を導入する導入ミクならびにギヤ潤

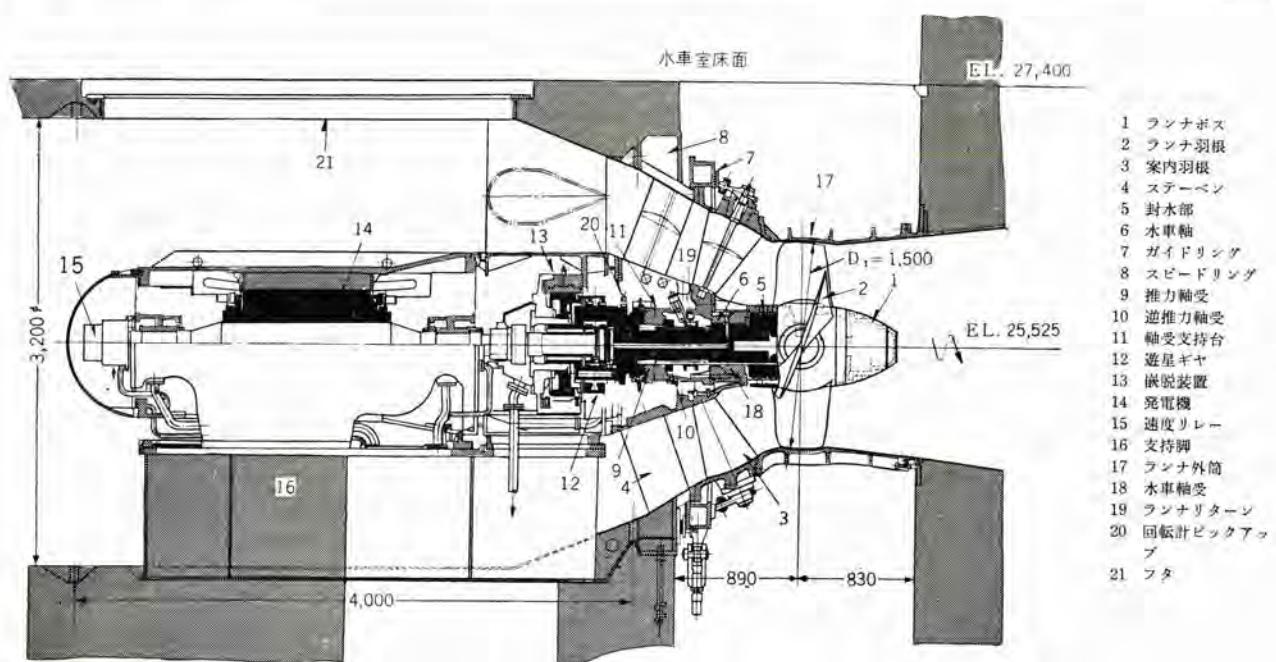


図4.1 水車発電機組立断面図  
Fig. 4.1 Cross section of water turbine generator.

滑油の導入ミヅを設けてある。したがって、この部分は一種の強制潤滑方式ともなっている。

#### 4.5 主軸漏油防止装置

チューブラーベンとしてその構造上もっとも重要な部分の一つである。この部分には、リップパッキンと称する合成ゴム板4枚によって、三つの部屋を形成し、両端の部屋はそれぞれ、漏水、および、漏油を分担し、中央の部屋は、両端からさらに漏る油と水、ならびに、ランナーベンシステムからの漏油、漏水を受けて外部に排出する部屋となっている。

#### 4.6 ランナ外筒、吸出管

ランナ外筒は、13クロム鉄鋼製で、分解組立に便利なように上下二つ割構造となっている。

吸出管は、円錐形を基本形としたもので、吸出管出口部では矩形断面に変形させた。吸出管入口部は、鋼板ライナを設け、マンホールをうがってある。

#### 4.7 増速装置

チューブラーベン開発を促進し、その特長のもっとも顕著な部分は、この増速装置にある。最近のチューブラーベンの発達は、ステッキヒト式遊星歯車装置の発達とともにあるといっても過言ではない。チューブラーベンに遊星歯車装置を用いることはエッシャーウィス社の特許（日本国内実用新案昭32-6119号）となっている。

当初計画にあたって、各種の増速装置を検討した結果、伝達特性上からも、重量的にも、価格的にも、ステッキヒト式遊星歯車装置にまさるものはないかった。その比較の一例を表4.1に示す。

この増速歯車装置の特長としては、他の歯車装置のような軸受がなく、高速側の太陽歯車は、その外周の遊星歯車に囲まれて、自動的に調心作用を行なうことである。したがって、むだな摩擦抵抗がないだけでなく、高速側に無理なく回転を伝える。これら主要歯車の材質は表4.2のとおりとなっている。

また、この装置には無拘束速度離脱装置が取り付けられる長所がある。すなわち、常時動力伝達時には、内歯外輪歯車を、油圧ブレーキによって固定しているが、水車制御油圧と同一油圧のこのブレーキは、万一制御油圧が低下すると、自動的にブレーキがゆるみ、外輪歯車が回転を始めて、太陽歯車に回転を伝えなくなる。また発電機が特定回転以上に上昇すれば速度継電器が作用してブレーキ油圧を抜き水車回転の伝達を防止する。

#### 4.8 水車制御装置

発電機が誘導発電機であるので、速度調整はおこなわず、出力調整のみを行なっている。この出力調整は、ガイドベーン開度の制御を行なうものであるが、主として水位



図 4.2 遊星ギヤ組立外形  
Fig. 4.2 Epicyclic gear assembled.

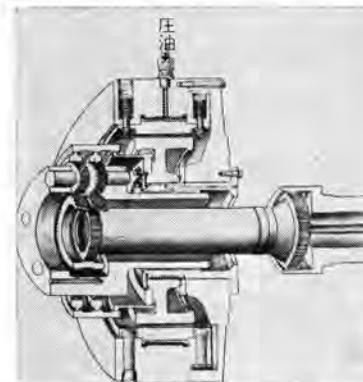


図 4.3 遊星ギヤ構造図  
Fig. 4.3 Epicyclic gear construction.

表 4.1

形 式	遊星ギヤ	段違い1段増速ギヤ
伝達動力	1,365 kW	同左
増速比	333/1,000 rpm	同左
効率	99%	96%
歯車外径	遊星 140 mm 太陽 280 mm 内歯 560 mm	小歯車 271 mm 大歯車 813 mm
モジュール(ノルマル)	4.5	60
圧力角	22° 30'	20°
ヘリカル角	25° 50' 31"	4° 56'
歯幅	ダブル	シングル
外寸法	2×60 mm 長さ 475 mm 外径 700 mm	270 mm 高さ 1,252 mm 長さ 1,465 mm
重量	720 kg	4,500 kg
価格	100%	149%

表 4.2

	ブリネル硬度	材 質
遊星歯車	578~585	クローム・モリブデン・バナジウム・窒化鋼
太陽歯車	578~585	同 上
内歯外輪歯車	183	中炭素鋼・焼入後高温焼戻処理
遊星箱歯車	235	シリコン・マンガン調質鋼・焼入焼戻処理

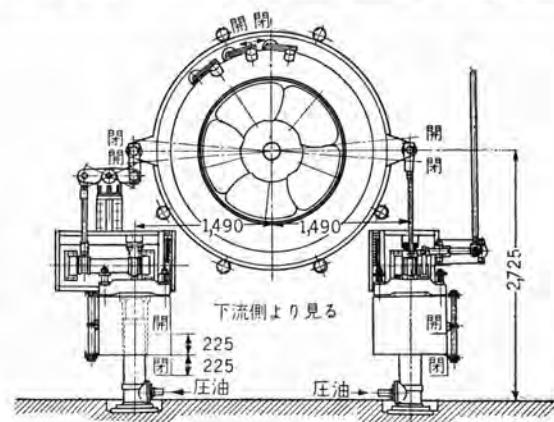


図 4.4 閉鎖重錠付ガイドサーボモータ配置図  
Fig. 4.4 Arrangement of guide servomotor with weight for closing.

調整器によって制御を行ない、任意時に任意の負荷制限装置によって出力制御もおこなえる。

ガイドペーンは調整輪を介して、重錘によって閉鎖方向の力が与えられている。ガイドペーンサーボモータは、油圧によって、重錘に抗して開の力を与える。したがって万一油圧降下すれば、重錘によって安全確実に流水をシャットして主機を保護する。

#### 4.9 潤滑油装置

圧油ポンプ用モータと共に通軸の潤滑油ポンプによって、潤滑油の循環を行なっている。潤滑油は制御操作油と同一油で #180 ターピン油を用いている。ポンプから出た油は、供給端で  $1.5 \text{ kg/cm}^2$  の圧力で供給される。當時はこのポンプから直接潤滑部に送油とともに、一部は、上部重力タンク（約 15 m 上部に据付けてある）に汲上げられ、タンク内の溢流管から集油そうに流されている。万一供給端の潤滑油圧が低下した場合は、圧力繼電器の動作によって、水車が停止動作を行ない、案内羽根は流水をシャットする。水車は発電機のフライホイール効果によってさらに回転を続けて数分後に停止するが、この間は上部重力タンクから潤滑油が落下供給する。

#### 4.10 その他

水車推力軸受、水車主軸受などはすべて一つの油箱の中に収められ、この部分に空気の存在を許さない構造としてある。これは、外部が冷たい流水に触れており、内部は温かい潤滑油があるため、空気に含まれている水蒸気が水滴に変化して油に水分が混入することを防止するためである。

また、リップパッキング摩耗の際、交換に便利なように、予備パッキングはあらかじめ水車本体内に収納されている。

### 5. 運転制御装置

この発電所は名取川自流による水調運転を行なうものである。

#### 5.1 起動ならびに普通停止

水車の起動に際しては、あらかじめランナ用ソレノイド (97S) を付勢し、起動開度約 60%まで開き、起動開度に至れば、リミットスイッチにより、起動用ソレノイド (65S) 付勢し、出力調整器が生きると同時にガイドペーンが開き、起動確認リレーにより起動とともに、ランナペーンは閉じ、ガイドペーン開度に応じたランナペーン開度となる。ガイドペーンは、さらに開度を開き、同期速度近くまで回転が上昇すれば、スピリ検出装置により、許容スピリ差になれば並列投入される。

普通停止の場合は、負荷制限電動機 (77M) により、徐々に無負荷として、シャット断器を解列し、起動用ソレノイド

(65S) を消勢して案内羽根を閉鎖する。同時にランナ用ソレノイド (97S) を付勢して起動開度まで開き、ブレーキ作用を行ない、水車停止確認リレーによって、水車停止すれば、97S 消勢し、ランナペーンは閉じる。

#### 5.2 非常停止

シャット断器を解放すると同時に、起動用ソレノイドを消勢し、案内羽根を急閉する。ただし、案内羽根は全ストローク閉鎖せずに、いったん速度上昇値に相当する開度で停止し、あとは、ランナペーンの閉鎖と運動して、ゆっくり閉鎖する、いわゆる二段モーション閉鎖を行なう。この目的は、負荷シャットによるサージング現象を防止することと、逆スラストを防止し、さらに GD<sup>2</sup> が小さくて良いようとするためである。

万一、発電機回転数が、規定速度の 175%となれば、速度リレーにより無拘束速度離脱装置用ブレーキソレノイド (12ES) 消勢されて、遊星歫車装置で、水車と発電機の縁が切れるようになっている。

#### 5.3 保護装置

保護装置のうち水車に関するものを列記すれば次のとおりである。

##### (1) 非常急停止

(a) 出力調整器圧油ポンプ停止

(b) 圧油低下第2段

(c) 各軸受温度上昇第2段

##### (2) 軽故障警報

(a) 軸受温度上昇第1段

(b) 圧油低下第1段

(c) 所内排水ピット水位上昇

(d) 圧油ポンプ常用停止

(e) 上水そう水位低下

(f) 潤滑油不足

(g) 集油そう温度上昇

(h) 上油そう油面低下

### 6. 現地据付ならびに試験

本機は、ほとんど大部分がコンクリートによって埋込まれるものであるので、慎重な据付けが行なわれた。

水車本体は大略つきの4部分に分けて搬入された。すなわち

(1) 下部導水管 ライナならびに舟形発電機支持脚

(2) 工場で組立てたままの

スピードリング

ガイドリングならびにガイドペーン

流水輪(ランナ外筒)

ランナ

水車軸

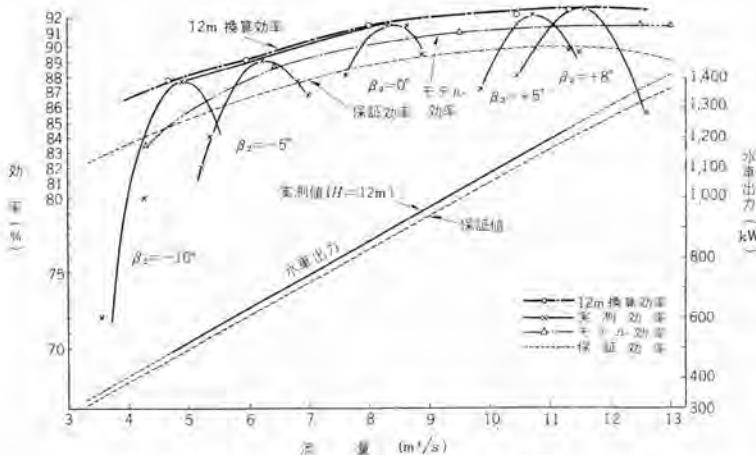


図 6.1 入来田発電所水車効率曲線  
Fig. 6.1 Water turbine efficiency curves.

内部カバーならびに内容物 1式

(3) Y字管付歯車箱ならびに遊星歯車

(4) 上部導水管 ライナ

これらは、あらかじめ打込まれた基礎コンクリート台上に据付けられた。各部の心出し、ならびにボルト結合、さらに、導水管ライナ二つ割部の漏れ止め溶接を行なって後に、外周のコンクリート打設が行なわれた。これらの過程において、チューブラーピンでは、コンクリート打設の順序に対して慎重に検討しなければならないことがわかった。万一この打設順を誤ると、意外な手数と日程を要する。この点に対して、われわれは非常に貴重な体験を得ることができた。

これらのコンクリート打設が完了して後、発電機釣込ハッチから発電機を釣込み、遊星歯車との結合と、舟形支持脚との結合継付を行なった。

遊星歯車工作精度から求めた軸心合わせ誤差に対して、実際の心合わせ精度はさらに約2倍の誤差を与えて運転中であるが、前記のとおり、発電機軸に結合される太陽歯車軸系は軸受なしの自動調心方式となっているので、なんらの支障なしに好調に運転している。これは遊星歯車装置を有するチューブラーピンの一つの大いな特長ともいえるものである。

据付完了後、数回の水密試験が行なわれた。本機のように比較的小形のチューブラーピンでは、工場で水密試験を行なうことが可能であるが、将来の低落差、大出力チューブラーピンでは、ランナ直径も数mとなり、工場において総合組立水密試験を行なうことは、困難となり、今回のように、現地において、慎重な水密試験が施行されるようになるものと思われる。これらの水密試験によって、チューブラーピンでは、水を漏らさない構造というものにより、さらに、水が漏っても運転に支障ない構造である

べきことが実証された。

このような経過を経て、通水試運転、ならびに各種の性能試験を行なった。

これらの試験によって、本機の特長として、足まわりが非常に軽いことがわかった。すなわち、本機設計の当初予想していた起動開度が、実際に運転した結果驚異的に小さいことである。ランナーピン起動開度を70%にした状態で、わずかにガイドペーンを3%開くだけで起動始め、7%で無負荷開度になった。この結果自動操作も簡単となり、

配電盤で起動操作を行なって同期並列投入まで、わずかに1分足らずで完了している。

各部軸受は、起動後約2時間半で静定し、その温度は、水車室気温10°Cにおいて、

水車軸受	45°C
スラスト軸受	36°C
発電機軸受(下流)	26°C
" (上流)	25°C

となった。

運転中の水車室音響は、そのほとんどが、圧油、潤滑油ポンプセットから発するもので、水車主機は、計器を見なければ、運転中か否かがわからないほど静かである。またチューブラーピンでもっとも重要な水車軸封水部は、リップパッキングの採用で、十分これに信頼しうることがわかった。主軸リップパッキン室からの漏水はほとんど零であり、油側からの漏油はごく微量であった。したがって、循環油系統に水が混入する恐れはまったくない。

官庁試験に先だって、水車効率試験が行なわれたが、その結果は図6.1に示すとおりであって、チューブラーピンとしての特長を如実に現わしている。

## 7. む す び

入来田発電所は、低落差開発の第一段階として建設されたもので、この経験を生かして、さらにわが国の電源開発に努めなければならない。チューブラーピンの実績は、単に運転開始できたというだけで完成したものではなく、さらに、5年10年長い年月の運転結果によって、初めて、その真価が發揮せられるものと思う。ともあれ、本機を運転開始まで、全社一致してご指導いただいた、東北電力株式会社、ならびに、電気部門を担当された三菱電機株式会社、据付建設になみなみならぬご努力をいたいた東京電気土木株式会社ほか関係各位に、御礼申し上げ、本稿の結びとする。

# チューブラタービン誘導発電機、運転制御装置 および配電盤

長崎製作所 藤山辰之\*・甘粕忠男\*  
神戸製作所 松尾潔\*

## Tubular Turbine Induction Generators, Control Equipment and Switchboards

Nagasaki Works Tatsuyuki FUJIYAMA・Tadao AMAKASU  
Kobe Works Kiyoshi MATSUO

Development of low head water power has been neglected because of economical disadvantages, but introduction of tubular type water turbines has changed the situation. With good efficiency and possibility of building small sized and light weight generators through speed up gearing, low head projects are now in the limelight. Mitsubishi has lately built an induction generator to be directly coupled with a tubular type Kaplan water turbine for the installation at Nomura power station of Shikoku Electric Power Co. as a home built machine No. 1. Also the company has supplied a generator of the same type but geared with a turbine for speed increase at Hitokida power station of Tohoku Electric Power Co. This is also a home produced machine No. 1 of the kind. Of many specific features of the apparatus, the most outstanding are the cooling method of generators, the casing of which is made by direct contact with water.

### 1. まえがき

わが国の水力資源の開発は急速にその歩を進めているが、低落差地点の開発は経済的に採算がとれないものとして等閑視されてきた。しかし、超低落差用チューブラタービンの出現により、効率もよく、增速装置により発電機を小形、軽量とすることも可能となり、また建面面積を小さくできるなど十分に経済的に採算がとれることにより、最近にわかつて超低落差地点の開発が脚光を浴びるにいたった。

今回当社では四国電力野村発電所にチューブラタービン誘導発電機1台を直結形の国産第1号機として、またついで東北電力人来田(ひときだ)発電所にチューブラタービン誘導発電機1台を增速形の国産第1号機として納入した。前者の水車は新三菱重工、後者の水車は三菱造船とそれとの共同製作になるものである。

この両発電所の特長のおもなものを列記すると次のとおりである。

- (1) 両発電所とも誘導発電機が採用された。
- (2) 人来田発電所にては、遊星歯車増速装置により発電機速度は1,000 rpmに増速された。これにより、発電機を小形かつ軽量のものとすることができた。
- (3) 両発電機とも固定子コイルはダイヤレジンによるB種絶縁とした。
- (4) 両発電所とも発電機の冷却方式として、発電機外

被を直接水中で冷却する方式がとられた。

- (5) 両発電機とも無拘束速度(定格速度の約300%)に連続耐えるよう構造上細心の考慮が払われている。
- (6) 両発電所とも機械的な制動装置を設けることなく、ランナ羽根の抵抗力をを利用して制動作用を行なわせる方式が採用された。
- (7) 両発電所とも各種の自動制御・保護に利用される起動停止確認装置として交流式のものが採用された。
- (8) 人来田発電所にては、過速度時遊星歯車の結合をゆるめる過速度保護方式が採用された。
- (9) 両発電所とも保護方式には細心の注意が払われ、その完全を期した。

現在両機とも好調裏に運転されているが、以下両機を中心にチューブラタービン誘導発電機の特性・構造・制御方式および配電盤の概要を述べる。

### 2. 定 格

四国電力野村発電所と東北電力人来田発電所に納入したチューブラタービン誘導発電機の、主要目は下記のとおりである。

	野村発電所	人来田発電所
発電機出力 (kW)	660	1,300
電圧 (V)	6,600	3,300
周波数 (c/s)	60	50
極数	10	6



図 2.1 四国電力野村発電所納め  
660 kW チューブラータービン 誘導発電機

Fig. 2.1 660 kW tubular type water turbine induction generator.



図 2.2 東北電力人来田発電所納め  
1,300 kW チューブラータービン 誘導発電機

Fig. 2.2 1,300 kW tubular type water turbine induction generator.

同期回転数 (rpm)	720	1,000
定 格	連続	連続
絶縁階級	B (ダイヤレジン)	B (ダイヤレジン)
形 式	全閉外被水冷	全閉外被水冷
增速装置	なし	歯車増速
逸走速度 (%)	300	283

図 2.1, 2.2 は 660 kW と 1,300 kW の チューブラータービン 誘導発電機の外観である。

### 3. 誘導発電機の特性

#### 3.1 特性曲線

カゴ形誘導電動機の固定子を交流の系統に接続すると、固定子、回転子間の空隙に回転磁界が発生し、回転子は回転磁界よりも少しおそい速度で回転する。もしターピンによって、誘導機の機械損に打ち勝つだけの機械的 エネルギーを供給してやると、同期速度となる。このときには、回転子導体と磁束の間に相対的な動きはない。それで回転子導体には、電圧も電流も誘起されず、固定子巻線には励磁電流が流れるだけである。さらに同期速度以上にターピンにより回すと、発電機となって回転子と磁束の相対的な方向が逆になり、スペリ  $S$  のときの回転子電圧  $SE_r$

が電動機の場合と 180 度異なった位相になる。それで発電機の回転子電流の有効分は電動機の場合と位相が逆になり、無効分は同位相になる。したがって発電機の場合スペリ  $S$  を負の値とすれば電動機の諸式はそのまま成り立つ。発電機として使用される際には、ターピンによって、回転子に加えられた機械的 エネルギーは、電気的 エネルギーに変換されて電源へ送られる。

誘導発電機の等価回路は、電動機と同様 図 3.1 によって示される。等価回路の各項は次のとおりである。

$Y_0$  : 励磁 アドミタンス

$Z_s = r_s + jx_s$  : 固定子 1 相の漏洩 インピーダンス

$Z_r' = r_r' + jx_r'$  : 回転子 1 相の漏洩 インピーダンスの固定子換算値

$I_s$  : 固定子 1 相の電流

$I_r'$  : 回転子 1 相の電流の固定子換算値

$V_t$  : 固定子 1 相の端子電圧

$E_s$  : 固定子 1 相の誘起電圧

$S$  : スペリ =  $\frac{\text{(同期速度)} - \text{(運転速度)}}{\text{(同期速度)}}$

$f$  : 周波数

$m$  : 相数

$T$  : トルク

この等価回路は二つの変数を含んでいる。一つは  $S$  であり、もう一つは  $Y_0$  である。 $Y_0$  は saturation によって定まり、 $E_s$  の関数である。しかし、普通おこる狭い電圧変化では  $Y_0$  を定数とみなしても十分正確である。これによって固定子電流を求めるとき、電動機の場合とまったく同様にして、

$$I_s = V_t \left( \frac{Z_r' Y_0 + S}{Z_r' + S Z_s + Z_s Z_r' Y_0} \right)$$

となる。一方 トルク  $T$  は

$$T = \frac{m S r_r' V_t^2}{2\pi f \times 9.8 \{ (r_r' + S r_s) + S^2 (x_r' + x_s)^2 \}} \quad (\text{kg}\cdot\text{m})$$

である。 $T$  が負となるのは、外部に要求する トルク を示す。上記の式から、同一絶対値の スペリ に対しては、発電機のほうが電動機に比し、 $|T|$  が大きくなることがわかる。その他最大回転力、機械的入力なども図 3.1 の等価回路から、誘導電動機と同様にして求まる。ただし、その正負の方向と  $S$  の正負には注意しなければならない。

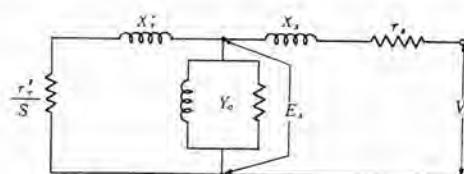


図 3.1 誘導発電機等価回路

Fig. 3.1 Equivalent circuit of induction generator.

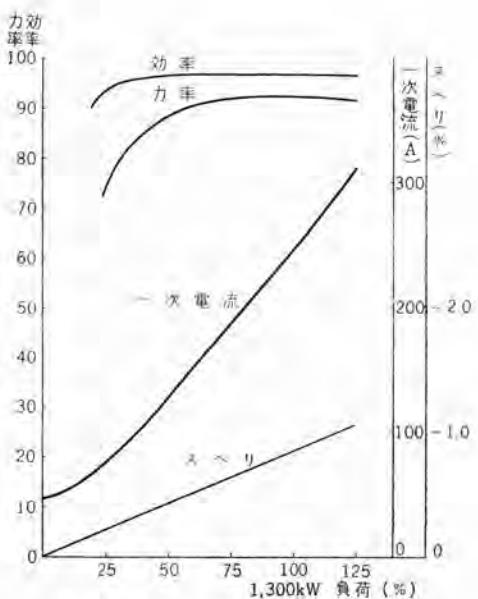


図 3.2 1,300 kW 誘導発電機特性曲線

Fig. 3.2 Characteristic curves of 1,300 kW induction generator.

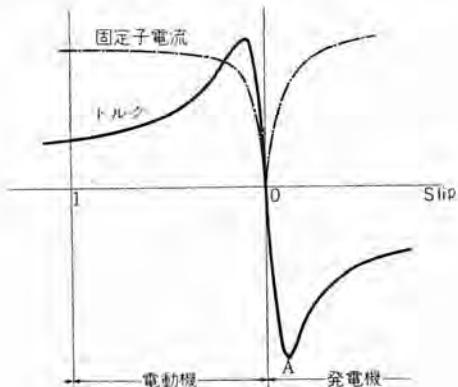


図 3.3 誘導機の速度特性曲線

Fig. 3.3 Speed characteristic curves of induction machine.

この外円線図によっても発電機特性は求められる。ただ電動機の円線図は上半分の一部を占めているのに反し、発電機の場合には下半分と、上半分のごく一部を占めている。

図 3.2 に一例として、東北電力人来田発電所納入 1,300 kW 誘導発電機の特性曲線を示す。図 3.3 は誘導機の速度に対する、トルク、電流の変化を書いたものである。

### 3.2 誘導発電機の起動

誘導発電機をカゴ形誘導電動機として、直入起動することもできるが、一般に誘導電動機の起動電流は定格電流の 5~6 倍になり、電力系統に大きな影響を与えるので、系統の安定度を乱すおそれがある。タービンによって、発電機を同期速度近くまで加速し、電源に投入すれば、起動時の電流は少なくてすむ。

しかし、同期速度付近では、固定子電流、トルクが急変

しており、もし発電機の最大トルクの点（図 3.3 の A 点）よりも速度が上がると逸走する危険性がある。このため精密な速度検出装置を必要とする。

実際の起動法は、タービンの案内弁を、起動時に無負荷開度まで開いて、タービンによって起動し、発電機軸端にとりつけた速度検出装置により同期速度を検出して電源に投入する。この際相当大きな過渡電流が流れる。

対称三相誘導機の基礎微分方程式より、固定子に突然電圧を印加したときの微分方程式を導くと、中性点が接地されていないので零相分は 0 となり、固定子電流正相分の方程式は

$$i_1^1(t) = \frac{(x_s + p - j\omega') e_{11}}{\sigma \left( l_s + \frac{3}{2} L_s \right) \left( p^2 + \left( \frac{x_1 + x_2}{\sigma} - j\omega' \right) p + \frac{x_1(x_2 - j\omega')}{\sigma} \right)} \\ = \frac{Y(p) e_{11}^{(1),(2)}}{X(p)}$$

となる。ここで

$r_s, r_r$  : 固定子、回転子の抵抗

$l_s, l_r$  : 固定子、回転子の漏洩インダクタンス

$L_s, L_r$  : 固定子、回転子の自己インダクタンス

$M$  : 固定子、回転子間の相互インダクタンス

$$\sigma : \text{漏洩係数} = \frac{\left( l_s + \frac{3}{2} L_s \right) \left( l_r + \frac{3}{2} L_r \right) - \frac{9}{4} M^2}{\left( l_s + \frac{3}{2} L_s \right) \left( l_r + \frac{3}{2} L_r \right)}$$

$$x_1 : r_s / \left( l_s + \frac{3}{2} L_s \right)$$

$$x_2 : r_r / \left( l_r + \frac{3}{2} L_r \right)$$

$\omega$  : 電源角速度

$\omega'$  : 誘導機角速度

$i_1^1(t)$  : 固定子正相電流

$e_{11}$  : 固定子正相電圧

である。一般に  $i = \{E' Y(p) \cos(\omega t + \varphi)\} / X(p)$  で表わされるとき、 $t=0$  の瞬間の電流、電荷 0 であれば

$$i = E' \varepsilon^{ip} \left\{ \frac{Y(j\omega)}{Z(j\omega)} \varepsilon^{j\omega t} - \sum_{r=1}^{r=n} \frac{Y(\lambda_r)}{(j\omega - \lambda_r) \frac{\partial Z}{\partial p} (p=\lambda_r)} \varepsilon^{\lambda_r t} \right\}$$

となる。ただし、 $\lambda_r$  は  $X(p)=0$  の代数方程式の根である。この第 1 項が定常電流、第 2 項以下が過渡電流である。逆相電流  $i_1^2(t)$  も同様にして求まる。 $i_1^1, i_1^2$  がわかれば相電流  $i_1^a$  が得られる。対称電圧  $E \cos(\omega t + \varphi)$  を突然印加したとすると過渡電流は

$$i_1^a = E \{ K_1 \varepsilon^{\alpha_1 t} \cos(\beta_1 t + \varphi_1) + K_2 \varepsilon^{\alpha_2 t} \cos(\beta_2 t + \varphi_2) \}$$

である。

上式で  $\lambda_1 = \alpha_1 + j\beta_1, \lambda_2 = \alpha_2 + j\beta_2$  であり  $\lambda_1, \lambda_2$  は  $X(p)=0$  の 2 根である。 $K_1, K_2, \varphi_1, \varphi_2$  は  $r_s, r_r, l_s, l_r, L_s, L_r, M$  および投入時の位相角によって決まる定

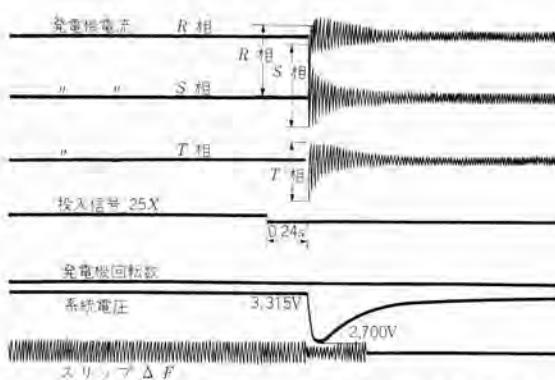


図 3.4 1,300 kW 誘導発電機並列投入時突入電流

Fig. 3.4 Inrush current of 1,300 kW induction generator when closed for paralleling.

数である。方程式  $X(p)=0$  の根と係数の関係から  $\beta_1 + \beta_2 = \omega'$  であり、 $\beta$  の一方はほぼ 0 に近く他方はほぼ  $\omega'$  である。また  $\alpha_1, \alpha_2$  はともに負であるから過渡電流は、ほとんど直流に近い減衰電流と、 $\omega'$  に近い周期で脈動する減衰電流の和となることがわかる。カゴ形回転子の誘導発電機では、回転子電流が直接問題となることはないが、固定子電流と同じ手段で求まる。

実際には、変圧器、送電線などのインピーダンスのため上記計算の全電圧の場合に比し、突入電流のピークの値は、かなり減少する。図 3.4 は人来田発電所 1,300 kW 誘導発電機を電源に投入したときの固定子電流をオシロにとったものである。

突入電流を  $i'_1$ 、突発短絡電流を  $i''_1$ 、定常電流を  $i_1$  とすると突発短絡電流は  $i''_1 = i_1 - i'_1$  である。

### 3.3 同期発電機との比較

誘導発電機と同期発電機とを比較すると利点は、

(1) カゴ形回転子であるので突極同期機に比較してじょうぶであり、高い回転数を採用することができるのと、同期機より小形軽量となり、安価になる。

(2) 連続で逸走速度に耐える構造とすることでできるのでブレーキが省略できる。

(3) 高速度に耐えうるので、負荷シャ断時の許容速度上昇率が高くとれ、水圧上昇率を下げるこどもでき、 $GD^2$  が小さくて良く、この点からも小形ですみ、クーン容量も小さくてよい。

(4) 励磁機が不要であるので、AVR などがないらず、設備が簡単となり、保守も容易である。

(5) 同期化の手数がいらず、励磁を調整する必要がないので起動、運転、制御が簡単となる。

(6) 並列運転時、タービン調速機が不要である。

(7) 線路に短絡事故を発生した場合、短絡電流の減衰速く、持続短絡電流を流さない。

一方欠点としては

(1) 同期発電機と並列運転する場合にだけ発電可能であり、単独では発電する能力がない。

(2) 発電機の励磁に要する無効電力を系統より受けたため系統の力率を低下させ、力率改善のためにはコンデンサがいる。発電機とコンデンサが並列に接続されたまま他の電源から切り離されると、コンデンサの容量、回転数によっては自己励磁現象を起し<sup>(3)</sup>、電圧が上昇して、発電機、コンデンサの絶縁に損傷をおこすことがある。

(3) 誘導発電機は力率の調整ができない、負荷が定まると力率が定まり、低負荷の場合、あるいは回転数のおそい機械では力率が悪い。

(4) 空隙寸法が小さいので取扱いに注意を要する。

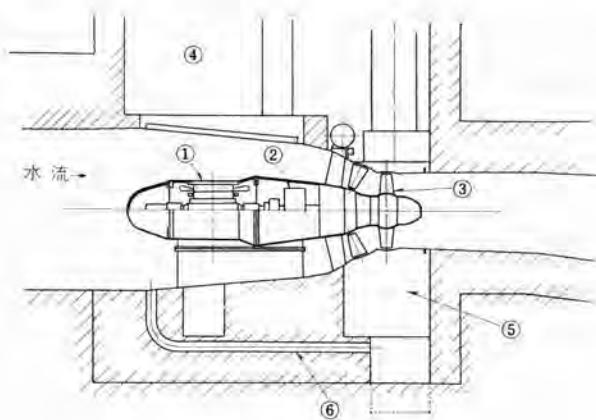
以上のことから誘導発電機は同期機に比して特性上不利な点も多い。しかし、チューブラーピン発電所は小出力であり、普通無人発電所として、親発電所より監視されるので、極力簡単化するとともに、遠方制御による自動運転とすることが望まれる。すなわち発電機の投入、シート、タービン主弁の開閉、給油装置の運転などはすべて自動的に制御する必要がある。それで保守、取扱いが簡単に安価な誘導発電機が用いられている。

## 4. 構 造

チューブラーピン誘導発電機のおもな構造は、普通の誘導電動機と大差ないが、水中にはいっているので水密にしなければならない点、その冷却方式、300%前後の無拘束速度に連続的に耐えるようになっている点などに、特異の考慮を払っている。

### 4.1 冷却方式

チューブラーピン誘導発電機の冷却方式には、大別して図 4.1 のように発電機外被を直接水で冷却するものと、



1. 発電機  
2. 増速装置  
3. タービン  
4. 機械室  
5. 点検廊下  
6. 排水管

図 4.1 チューブラーピン誘導発電機配置図

Fig. 4.1 Tubular type water turbine induction generator arrangement.

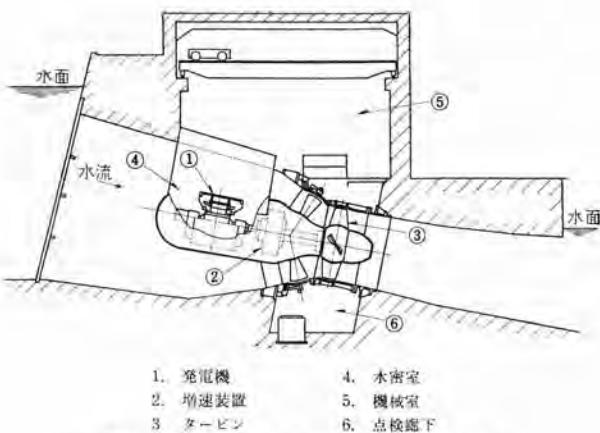


図 4.2 チューブラータービン 誘導発電機配置図

Fig. 4.2 Tubular type water turbin induction generator arrangement.

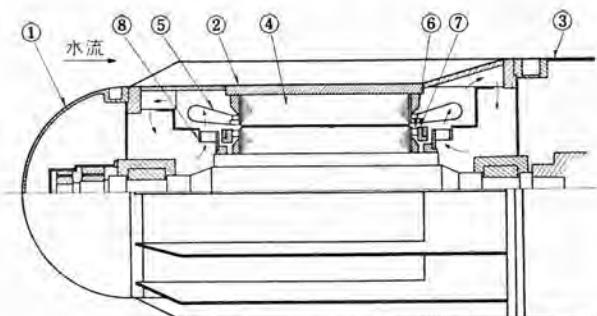


図 4.3 全閉外被水冷形通風冷却説明図

Fig. 4.3 Total enclosed and casing is cooled by directly contacted water. Also ventilation inside.

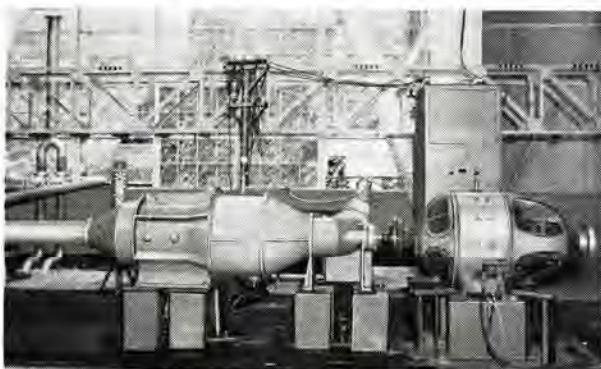


図 4.4 チューブラータービン 発電機 モルテスト 全景  
使用電動機 30 kW MK 形三相誘導電動機  
3,300 V 60c/s 4P

Fig. 4.4 Full view of tubular type water turbine generator model test.

図 4.2 のように発電機を水密室中に置き、空気を循環させて冷却するものとの 2 通りがある。四国電力野村発電所向け 660 kW、東北電力人来田発電所向け 1,300 kW の発電機は前者の冷却方式である。図 4.3 は前記 660 kW および 1,300 kW の冷却通風説明図である。発電機キャップ、固定子フレーム、タービン部との接合個所は、水が漏らないよう完全に密閉されている。固定子鉄心、固定子コイル、回転子バーなどに発生した熱の一部は固定子鉄心を通りフレームへ、一部は内部空気を経てフレームへと伝わる。水流は発電機フレーム外側を洗って流れ、発電機フレームを冷却し、内部に発生した熱を取り去り、この水流が下流でタービンを回す仕組になっている。発電機内には内部の空気を循環させるための送風機がついていて、内部発生熱をフレームから水流に伝達させる構造になっている。図 4.4 はこの冷却方式のモデル試験の全景を示している。この冷却方式では、固定子鉄心とフレームとの間の隙間の大小によって、両者間の温度差に大きな影響を及ぼすので、できる限り隙間を小さくするよう十分の注意を払って製作している。

## 4.2 固定子

固定子フレームは鉄板を溶接して製作しており、前記のように漏れに対して十分注意しなければならない。フレームは後述の耐圧、漏洩試験を行なっている。

発電機が水中で用いられ、内部の湿度が高くなることが考えられるので、固定子コイルはとくに耐湿性のすぐれたダイヤレジン絶縁を採用し、温度上昇をチェックするためのサーチコイルを埋込んでいる。またコイルエンド部は、起動電流や、短絡電流による大きな機械的衝撃に耐えるよう、十分な機械的支持を行なっている。

発電機内部には停止中に露を結ぶことのないようスペースヒータを用い、発電機内部の塗装もとくに防錆には注意を払っている。

四国電力野村発電所向け 660 kW の発電機は、図 2.1 のように、発電機フレームと水圧管とは数個のステイベーンによって連結されており、固定子コイルのリード、サーチコイル、スペースヒータ、各種測定計器のリード、および給油管、排油管などはすべてこれらのステイベーンの内部を通って水圧管の外部へ導き出されている。

図 2.2 は東北電力人来田発電所向け 1,300 kW の全景であるが、これは流量が多いため水圧管の径が大きく、発電機はその中に設けられた船形の台床の上に乗る形になっているので、固定子および計器類などのリード、給油管、排油管などはすべてこの台床の中を通って水圧管外に出される構造となっている。

## 4.3 回転子

原動機のトルクが過大となったり、あるいは発電機電圧が減少して図 3.3 の A 点をこえると発電機のトルクが減少するので発電機は逸走し、無拘束速度まで速度上昇するので、特別の考慮を払わなければ回転子の破損をひきおこす可能性がある。



図 4.5 東北電力人来田発電所向け 1,300 kW 誘導発電機回転子

Fig. 4.5 Rotor of 1,300 kW induction generator for Tohoku Electric Power Hitokida power station.

四国電力野村発電所、東北電力人来田発電所向けのチューブラービンの無拘束速度は、ともに 300 % 近くである。遠心力による機械的応力は回転数の 2 乗に比例するので、逸走時には正規の状態の約 8 倍から 9 倍の応力がかかる。それで回転子バー、エンドリングだけでは自身の応力に耐え切れないので、エンドリングの外側から非磁性の押え リングで押えて、熱および回転による応力に耐えるようにしている。

同転子鉄心も扇形を組合せたものではなく、丸抜きした 1 枚ものを使用し、遠心力による応力にはとくに注意を払っている。

軸は鍛鋼品であって、厳重な超音波探傷試験を行ない、内部欠陥のないものを使用している。これらの発電機の臨界速度はいずれも 4,000 rpm をこえており、無拘束速度よりも十分上にとっている。図 4.5 は東北電力人来田発電所向け 1,300 kW 発電機の回転子である。

#### 4.4 軸受

軸受は強制給油 スペリ 軸受を使用し、記録、指示用のサーチコイル、警報接点付 ダイヤル 形温度計、振動計を取り付けてあり、排油管には油流継電器が取付けられ、安全を期している。

東北電力人来田発電所向け 1,300 kW のものは、据付の都合により、発電機の軸中心線が下流側に 1 度以内傾



図 4.6 四国電力野村発電所向け 660 kW、東北電力人来田発電所向け 1,300 kW チューブラービン 誘導発電機用 ブラケット

Fig. 4.6 Bracket for 1,300 kW tubular turbine induction generator for Tohoku Electric Power Co., Hitokida power station.

斜することになっているので、上流側軸受の肩に油 ミゾを放射状に切り、傾斜することにより発生する回転子の推力を受け持つ構造としている。

またこれらの発電機は水中にあり軸受の点検が常時できないので、油漏れに対しても十分考慮しており、内部ファンの風圧を利用して空気 パッキンを設け、油漏れを防止している。軸電流防止装置としては、ブラケットとフレームの取付面に絶縁物をはさみ、絶縁 ボルトで固定しており、軸電流の発生を防止している。図 4.6 は四国電力野村発電所向け 660 kW、東北電力人来田向け 1,300 kW 発電機に使用している ブラケットである。

#### 5. 試験および結果

誘導発電機の特性試験は、誘導電動機と同様に、無負荷試験、定格周波数と 1/2 周波数の拘束試験を行ない、特殊甲円線図および計算によって特性を求めた。上記試験の結果得られた全負荷時の主特性は下記のとおりである。

	野村発電所	人来田発電所
負荷 (kW)	660	1,300
効率 (%)	95.5	97.2
力率 (%)	85.2	92.3
電流 (A)	68	247

発電機の実際の使用状態は水中であり、水を発電機表面に流す設備がないので、工場で温度試験はできなかつたが、1,300 kW 発電機の現地での温度試験の結果は約 90 % 負荷で、埋込温度計により温度上昇 65°C であり、100 % 負荷時にも B 種の規格値 85°C 内には十分はいる。

固定子コイルについては JEC 106 衝撃電圧試験、および回転機衝撃電圧試験委員会の衝撃電圧試験に関する推奨案によって、サージ耐圧試験を実施した。層間絶縁破壊の有無は、接地側にシャントを入れ、オシロで電流波形をとり、その変化の有無で検出した。野村発電所向け 660 kW の例では、規定電圧 35 kV に対し 35.2~39.6 kV の電圧を印加し、印加波形は  $3 \times 40 \mu\text{s}$  波とした。印加波形を決めるに先だって、サージ侵入時のコイル各部の最大対地電圧、コイル間の最大分担電圧などを測定する目的で、組立中の固定子コイルについて、電位振動試験を実施した<sup>(4)</sup>。

チューブラービン発電機では、発電機フレームの外周に直接水圧が加わるので、フレーム溶接部および、フレームとキャップ、タービン部との接合箇所などから、水が発電機内部に侵入しないことを確かめる必要がある。このために 660 kW 発電機では、フレームの漏洩試験を行ない、つい

で使用水圧の 1.6 倍の圧力をフレーム外側からかけ、各部の応力をストレーンゲージで測定した。耐圧試験後ふたたび漏洩試験を行ない、漏れのないことを確認している。1,300 kW 発電機についてもほぼ同様の試験を実施した。このほか  $\tan \delta$  の測定、逆相、零相インピーダンス測定、突入電流、 $GD^2$  の測定も行なっている。

## 6. 回路方式

図 6.1 および図 6.2 はそれぞれ人来田発電所および野村発電所の単線接続図を示す。その概要を述べれば次のとおりである。

### 6.1 人来田発電所

この発電所は既設の旧設備をすべて撤去して新設されたものである。

発電機は誘導発電機で単位接続方式をとり、発生電力は 1,600 kVA 主変圧器にて 30 kV に昇圧され、既設茂庭・碁石川両発電所と連けいし仙台方面に送電されている。

発電機の中性点は 100 A 抵抗接地方式がとられ、また

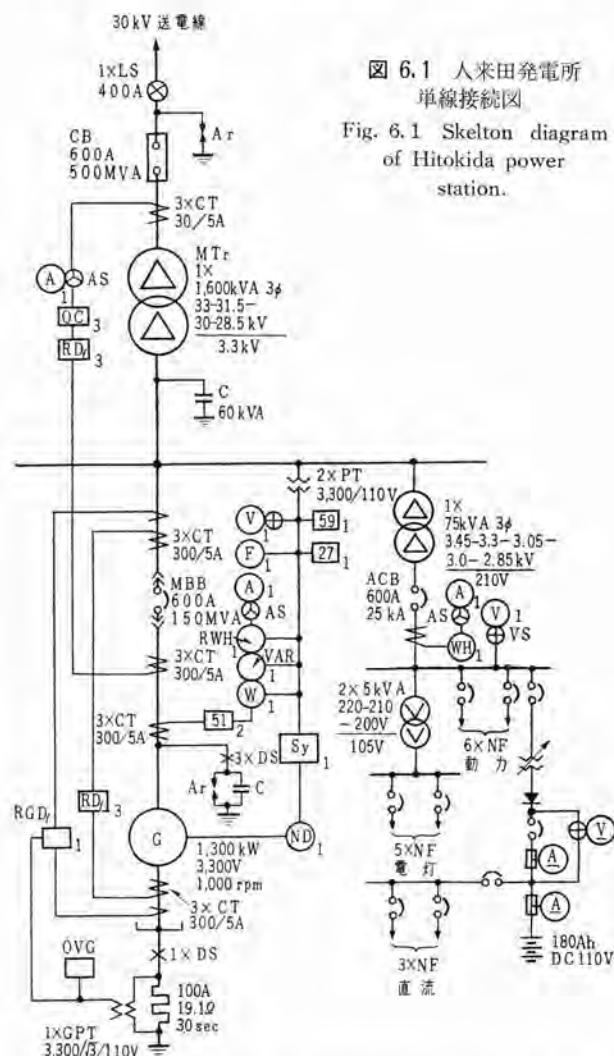


図 6.1 人来田発電所  
単線接続図  
Fig. 6.1 Skelton diagram of Hitokida power station.

発電機回路には 60 kVA の力率改善用コンデンサが接続されている。発電機回路の配電器具は中性点接地用器具を含めメタルクラッド形閉鎖配電盤に収納されている。

所内回路は 3 kV 発電機回路より分岐して 75 kVA 変圧器により 200 V に、さらに 10 kVA 変圧器により 100 V に降圧され、それぞれ動力・電灯負荷に供給されている。

### 6.2 野村発電所

この発電所は既設の水車発電機を撤去して、旧設備の一部を流用して新設された発電所である。

発電機は誘導発電機で 6 kV 母線に接続され、この母線には野村および奥成の 2 地方配電線が接続されている。このように、6 kV 母線に直配線が接続されている関係上、発電機は非接地方式がとられた。

発生電力はこのほか 400 kVA 主変圧器により 30 kV に昇圧され、宇和島・出合線 2 回線、八幡浜線 2 回線および横林線 1 回線によりそれぞれ送電されている。

所内回路は 6 kV 母線より 30 kVA 動力変圧器および 20 kVA 電灯変圧器によりそれぞれ 200 V, 100 V に降圧され、それぞれ動力・電灯負荷に供給されている。

この発電所の配電器具のほとんどのものは旧設備をそのまま流用されている。したがって、図 6.2 では送電線、配電線、主変圧器の計測、保護方式を省略した。

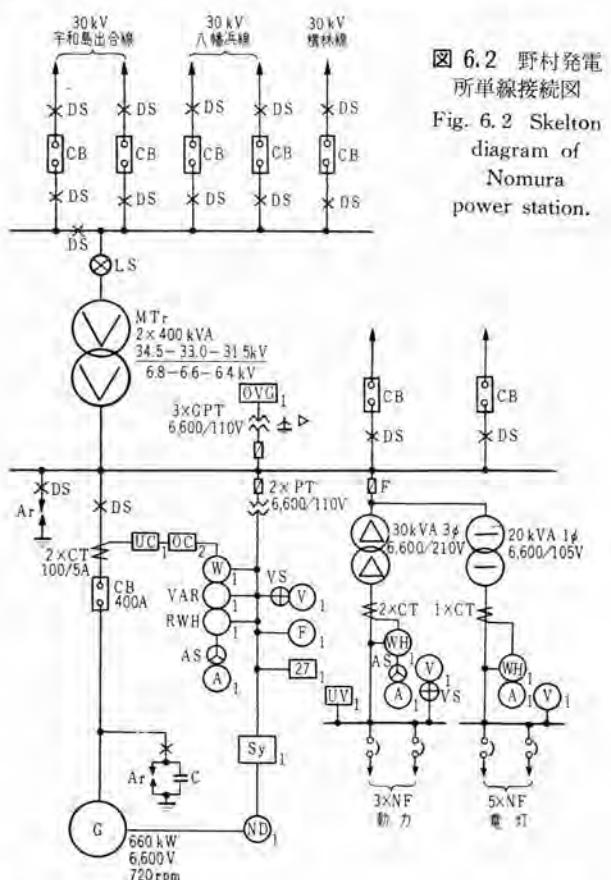


図 6.2 野村発電所  
単線接続図  
Fig. 6.2 Skelton diagram of Nomura power station.

## 7. 運転制御方式

チーブラタービンはその性格上 カプラン水車となるのが普通であるので、水車の制御方式としては従来のカプラン水車と本質的に大差はない。しかしながら、水車および発電機は円筒形外筒に一体として収納され水中に没しており、また水車発電機が水中にあるために建家の高さを低くするなど場所的な制約があり、さらに現状においては大出力のものが少なく誘導発電機が採用される場合が多いので自動制御方式としてもこれらの諸点を十分考慮する必要がある。

以下両発電所において採用した自動制御方式の概要を述べる。

## 7.1 圧油および潤滑油装置

両発電所とも圧油ポンプおよび潤滑油ポンプは同軸に配置され、常用機・予備機とも電動機駆動のものである。圧油系統は圧油槽を有しこれより案内羽根・ランナ羽根の制御・出力調整器などに圧油を供給する。潤滑油系統は重力油槽を有しこれより水車・発電機の各軸受（野村発電所では水車主軸受を除く、次項参照）に給油される。

ポンプは配電盤室の操作スイッチにより常用機、予備機を選択起動することができるが、常用機の事故停止、圧油槽の油圧低下、重力油槽の油面低下の各事故の際には予備機は自動的に起動し、事故回復とともに自動的に停止するよう制御される。

## 7.2 グリースポンプ

野村発電所においては水車主軸受の潤滑方式としてクーリース潤滑方式がとられた。このため電動機駆動ポンプ2台を設け一方は常用機他方は予備機である。

ポンプは配電盤室の操作スイッチにより常用機、予備機を選択起動することができるが、常用機の事故停止およびグリース系統の事故に際しては予備機は自動的に起動するよう制御される。

### 7.3 所内排水装置

入来田発電所では電動機駆動のポンプ2台を有し一方は常用機他方は予備機である。いずれも排水ピットの水位により自動的に起動停止を行なうものである。予備機の起動水位は常用機のそれよりも高いことは当然である。また、常用機、予備機の選択は水車室にて任意に行ないうるよう考慮されている。

野村発電所ではその特殊性より電動機駆動の常用機 1 台と、ディーゼルエンジン 駆動の予備機 1 台（旧設備）を有している。前者は排水 ピット の水位により自動的に起動停止を行なうが、後者は現場における手動起動方式がとられている。

## 7.4 起動方式

両発電所とも誘導発電機であるため調速機を設けず、単なる出力調整器を設けている。水車の起動方式としては、従来のカブラン水車に採用している起動停止確認装置を用い出力調整器（従来のものは調速機）の負荷制限電動機による緩起動方式を採用了<sup>(4)</sup>。

従来の水車発電機に用いる起動停止確認装置は直流式のもので<sup>(5)</sup>、接触片・ブラシのように消耗材を有している。しかしながら、チュラタービン発電機においてはそれが水中にあるため接触片、ブラシなどを常時点検保守することは不可能な場合が多いので、両発電所とも接触片・ブラシを有しない交流式のものが新たに採用された。

この装置の原理は、水車発電機軸に駆動され回転とともに磁気抵抗の変化する構造の磁気回路を用いて、交流電源と継電器によってこの磁路の磁気抵抗変化を検出し、間接に水車発電機の起動停止の状態を検出するものである。

これを詳述すれば、図 7.1 (a)において  $I$  は成層回転子の鉄心、 $H$  は極付成層固定子鉄心でコイル  $C_1 \cdot C_2$  を有しており、 $I$  は水車発電機軸により駆動される。 $R$  は平衡継電器でコイル  $RC_1, RC_2$  を有し、前記  $C_1, C_2$  にそれぞれ直列に接続されている。図示の状態では  $C_1$  のインダクタンスは大きくしたがって  $RC_1$  の電流が  $RC_2$  の電流

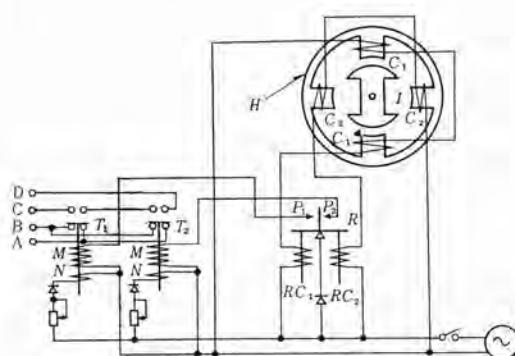


図 7.1 (a) 交流式起動停止確認装置

Fig. 7.1 (a) AC type super low speed detector

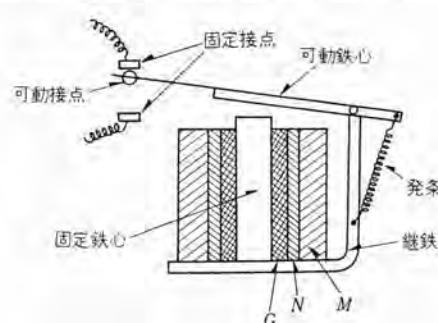


図 7.1 (b) 限時繼電器

Fig. 7.1 (b) Time delay relay.

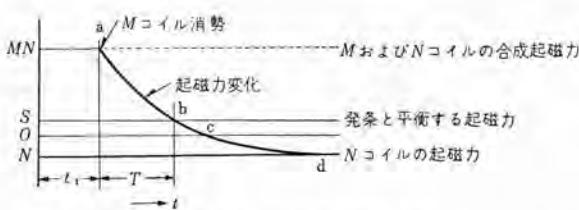


図 7.1 (c) 限時繼電器の特性

Fig. 7.1 (c) Characteristic of time delay relay.

より小さいために  $R$  は左側接点  $P_1$  が閉じる、図示の状態より 90 度回転した位置では接点  $P_2$  を閉じる。 $P_1 \cdot P_2$  は限時繼電器  $T_1 \cdot T_2$  の  $M$  コイルを付勢し  $T_1 \cdot T_2$  が動作する。 $T_1 \cdot T_2$  は図 7.1 (b) のような繼電器で固定鉄心には短絡環  $G$ 、中和コイル  $N$ 、主コイル  $M$  があるが  $M$  コイルの起磁力は  $N$  コイルのそれよりはるかに大きく  $M$  コイルに電流を通すと可動鉄心は直ちに吸引される。 $N$  コイルの起磁力極性は  $M$  コイルと反対になっておりこの回路は當時付勢されている。 $M \cdot N$  コイルとも励磁された状態では図 7.1 (c) のように合成起磁力  $O-MN$  を生じ可動鉄心は吸着されている。いま  $t_1$  時刻に  $M$  コイルを消勢すると、 $G$  には消磁を打消そうとする短絡過渡電流が流れ、起磁力はすぐには減少せず  $abcd$  のように変化する。したがってスプリングにうち勝って可動鉄心を吸着するに要する起磁力を  $OS$  とすると、起磁力が  $OS$  となったとき可動鉄心は固定鉄心からはなれることになる。したがって、 $OS$  と起磁力変化曲線とが  $b$  にて交差する点まで、すなわち  $T$  秒間は  $M$  コイルの消磁後も動作状態を継続する。

すなわち、この繼電器は  $M$  を励磁すれば直ちに動作するが、 $M$  を消磁しても一定時間動作状態を継続する特性を有している。なお、この時間は  $N$  の電流を調整すれば変更することができる。

図示の状態で  $T_1$  が動作して  $T_2$  は不動作であるが、この状態より 45 度回転するまでに  $T_1$  は消勢されるが前記の理由により動作状態を継続する。つぎに 45 度以上回転すると  $P_2$  が閉成され  $T_2$  が動作状態となる。つぎに 135 度以上回転するまでには  $T_2$  も消勢される。したがって回転体の速度の低い間は  $T_1 \cdot T_2$  が双方とも動作状態にありうるときはないが、ある速度以上になれば双方が動作状態となる。したがって  $T_1 \cdot T_2$  の接点を組合せ使用することにより回転体の起動あるいは停止を間接的に検出することができる。

以上より明らかなるとおり  $T_1 \cdot T_2$  の有する時間が  $R$  の不感角度を  $I$  が通過する時間に等しくなった速度を検出することができる。この不感角度は約 30 度であるから  $T_1 \cdot T_2$  の時間  $T$  と検出しうる軸  $I$  の回転数  $N$

(毎分)との間には次の関係が成立する。

$$N = \frac{60}{12T} \text{ rpm}$$

したがって、 $T=5$  秒とすると起動の際は毎分 1 回転以上、停止の際は毎分 1 回転以下の回転数を検出することができる。

この起動停止確認装置は緩起動方式に使用するだけでなく、各種の自動制御に利用されている。また動作の説明上  $R$  繼電器を平衡繼電器として述べたが、両発電所ともこの  $R$  繼電器の代りに磁気増幅器を使用した。

## 7.5 並列

両発電所とも自動位相検出装置を設け、わずかのスベリで自動的に発電機を線路に接続する方式が採用された。これは線路側の計器用変成器と、発電機軸端に直結された回転計発電機とを設け、両者の位相差により応動するものである。

## 7.6 負荷

出力調整器の負荷制限電動機を手動制御して負荷するほか、両発電所とも水位調整装置を有している。両者はその方式を異にし、人来田発電所では空気・機械式のもの、野村発電所では電気式のものが採用された。

この電気式水位調整器は浮子と磁気増幅器を用い負荷制限電動機を制御するものであるが、この方式、試験結果などについては近く発表される予定であるので本稿では割愛することとする。

## 7.7 制動

普通の水車発電機では機械式制動装置を有し、発電機回転子に摩擦制動をかけるのが普通である。両発電所ともこの装置は設けず、これに代る方法として水車停止時にランナ羽根を強制的に開き、ランナ羽根の水中における抵抗力を利用して制動作用を行なわせる方式を採用した。

## 7.8 力率改善

誘導発電機の力率改善についての詳細は先に発表されたので<sup>(6)</sup>ここでは述べないが、人来田発電所では年間低負荷運転日数が多いため、60 kVA 力率改善用コンデンサが設置された。

## 7.9 保護方式

保護項目については別表に示すとおりである。このほか新しく試みられた 1, 2 の保護方式について述べる。

### (1) 過速度保護方式

人来田発電所においては、発電機は遊星歯車増速装置により 1,000 rpm に增速されておりしかも誘導発電機のゆえに調速機をも有しない。したがって負荷シヤ断時に発電機は無拘束速度付近にまで達することがあり、

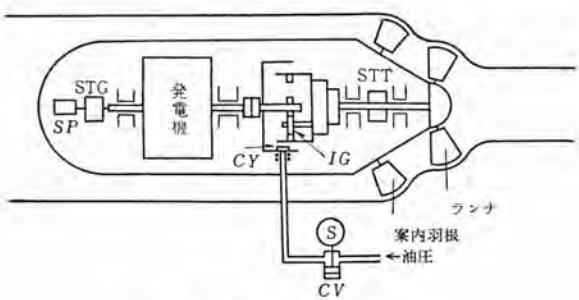


図 7.2 過速度保護方式

Fig. 7.2 Over speed protection system.

増速された発電機にとってはきわめて苛酷な状態となる。

したがって、水車が過速度となった場合に增速歯車の結合を、したがって水車と発電機の結合をゆるめ、発電機を過速度より保護する方法がとられた。

図 7.2において遊星歯車 *IG* は配圧弁 *CV* を経て圧油槽の油圧がシリカ *CY* に送られ水車側と発電機側との歯車が結合されている。いま過速度が発生すれば、発電機軸端に設置された過速度継電器 *SP* が動作し電磁弁

表 7.1 保 護 項 目

故 障 項 目	人来田発電所 故障対策	野村発電所 故障対策
発電機内部短絡	非	—
# 内部接地	"	—
# 回路接地	"	急
# 過電流	"	非
# 低電流	—	急
# 過電圧	—	—
# 低電圧	"	急
# 温度上昇	"	警
# 空気温度上昇	警	—
# 濡度異常	—	警
# 過速度	非	急
水車・発電機軸受温度上昇 1段	警	警
# # # 2段	非	急
# # 振動	"	警
# # 油流断	警	"
油圧降下 1段	"	"
# 2段	非	急
圧油ポンプ 2台停止	警	—
重力油槽油面低下 1段	"	警
# # 2段	—	急
集油槽油温温度上昇	警	—
# 混水	—	警
冷却水断水	—	"
グリースポンプ 2台停止	—	急
グリース系統故障	—	警
出力調整器圧油ポンプ停止	非	—
所内排水水位上昇	警	警
水槽水位低下 1段	"	"
# 2段	—	急
取水ゲート閉	—	"
主変圧器内部故障	非	—
送電線過電流	"	—
主変圧器油温上昇	警	—
所内回路低電圧	"	警
直流制御回路低電圧	"	"
# 接地	"	"

上表中、非は非常停止、急は急停止、警は警報を示す。

*S* を付勢すると、圧油槽よりの油圧は *CV* にてたたれ、したがって *CY* の油圧はたたれるため水車側と発電機側の結合はゆるみ、発電機を過速度より防ぐことができる。

## (2) 増速歯車再結合方式

前項に述べたように過速度時には增速歯車の結合をゆるめ発電機を過速度より保護する方式がとられる。この場合水車および発電機の速度は個々の減衰特性にしたがって減衰し、やがて異なる時期に停止するに至る。したがって、水車および発電機のいずれもが回転中はもちろんのこと、いずれかの一方でも回転中に增速歯車を再結合を行なえば歯車を損傷するに至る。

したがって、水車および発電機のいずれもが停止したことを確認して增速歯車の再結合を行ない、歯車の損傷を保護する方式を採用した。

図 7.2において *STG*・*STT* はそれぞれ発電機軸・水車軸に取付けられた起動停止確認装置で、この詳細は 7.4 項で詳述したとおりであるが、ただ水車軸のものは水車軸自体を起動停止確認装置の回転子として製作された。このように水車軸と発電機軸のいずれにも起動停止確認装置を設けることにより、水車および発電機のおのおの停止を確認して電磁弁 *S* を消勢することにより上記の目的を達することができる。

## 8. 配電盤

### 8.1 人来田発電所用配電盤

主配電盤は発電機盤・発電機継電器盤・記録計盤・自動制御盤・動力・電灯盤および直流盤の 6 面よりなり自立形片面垂直盤である。発電機盤には各種計器、操作・調整・切換スイッチのほか補機運転・状態表示を行なう集合式表示器・二重ターゲット式集合故障表示器が取付け



図 8.1 人来田発電所主配電盤

Fig. 8.1 Main switch boards for Hitokida power station.

られている。記録計盤には、記録積算電力計・記録温度計が、動力・電灯盤および直流盤には配線用シャンク断器が取付けられている。そのほか計器は高角度形、試験端子には開閉式単位形が採用されている。

水車室には、出力調整器・制御電磁弁がそれぞれキャビネットに収納され、このキャビネットには各種ゲート類・角形温度計などが取付けられている。また各種補機電動機・発電機用スペースヒータ等の電磁開閉器、電源開閉器類は、いわゆるコントロールセンタに収納され集合された。

発電機回路の配電器具はメタルクラッド形閉鎖配電盤に収納された。すなわち、発電機中性点装置を1面に、サージアブソーバを1面とし屋内形である。また発電機用シャンク断器およびCTを1面とし屋外形とした。

図8.1は主配電盤の外形を示す。

## 8.2 野村発電所

主配電盤は発電機盤・発電機継電器盤・自動制御盤・水位調整器盤および所内盤の5面よりなり既設配電盤と併置されているが、いずれも自立形片面垂直盤である。発電機盤には各種計器、操作・調整・切換スイッチのほ

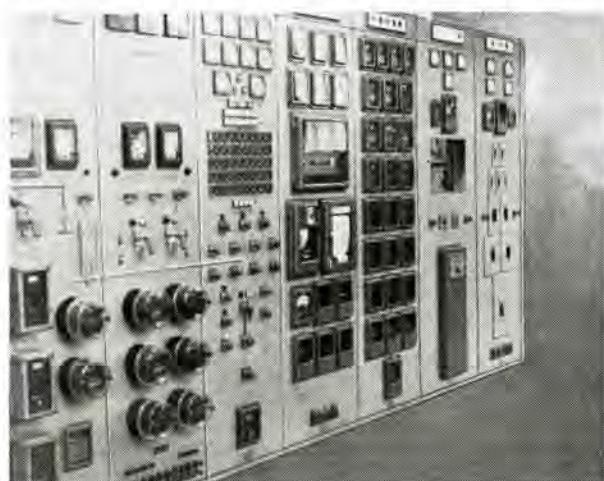


図8.2 野村発電所主配電盤

Fig. 8.2 Main switchboards for Nomura power station.

か補機運転状態・補機状態の表示を行なう集合式表示器、二重ターゲット式集合故障表示器などが取付けられている。発電機継電器盤には各種保護继電器のほか記録積算電力計・記録温度計が取付けられている。また所内盤には配線用シャンク断器が採用取付けられた。このほか計器は高角度形が、試験端子には開閉式単位形が採用された。

水車室には、制御電磁弁を収納したキャビネットを設置し、各種ゲート類および角形温度計を取付けてある。

図8.2は主配電盤の外観を示し左2面は既設盤である。

## 9. む す び

以上四国電力野村発電所向け660 kW、東北電力人来田発電所向け1,300 kWのチューブラービン誘導発電機、運転制御装置および配電盤についてのべたが、両機はそれぞれ直結形、增速形の国産1号機として各方面の注視のもとに幸にも好成績裏に完成することができた。当社としてもこの結果および経験をもとにしてさらに研究を重ね、チューブラービン発電機の研究開発に努力する所存である。おわりにのぞみ、本機の設計、製作にあたって絶大なるご支援ご指導を賜った四国電力および東北電力の関係者各位に対し深く感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 竹内寿太郎・別宮貞俊：対線座標行列法解説。265（昭33）。
- (2) J. TAKEUCHI: Matrix Theory of Electrical Machinery, 257 (1958).
- (3) J. E. BARKLE, R. W. FERGUSON: Induction Generator Theory and Application, AIEE 1954 Part III A P. 12.
- (4) 尾畠：水力発電所新制御方式の二、三、「三菱電機」28. (昭29).
- (5) 同 上
- (6) 片山：チューブラービン誘導発電機、「三菱電機」32, 275 (昭33).

# 関西電力大阪発電所用配電盤

神戸製作所

堀

謙二郎

## Switchboards for Osaka Thermal Power Plant

Kobe Works Kenjirō HORI

In Osaka thermal power plant of the Kansai Electric Power Co. are installed four 156 MW inner cooled turbine generators. Of them machine No. 3 is the one built by Mitsubishi, the rest being Westinghouse machines. In the case of switchboards those for machines No. 3 and No. 4 have been supplied by Mitsubishi except control panels for turbines and boilers—imported Leeds and Northrup products. Since the plant is so large as exceeding 600 MW in generating capacity, good many novel features are involved in the design of the switchboards. The writer makes description on them—chiefly on the points differing from conventional products of the kind manufactured by the company.

## 1. まえがき

関西電力大阪発電所は 156 MW の内部冷却式 タービン発電機 4 台からなる最新鋭の火力発電所であって、1, 2, 4 号機は Westinghouse 電機会社（以下 W 社と略す）の製作であるが、3 号機は当社が製作した。この発電所の配電盤のうち 3, 4 号機用発電機中央制御盤、送電盤、3 kV メタルクラッド、400 V パワーセンタ、400 V 用 コントロールセンタなどの製作を当社が担当した。なお 1, 2 号機用発電機中央制御盤とその仕様を統一するために 3, 4 号機

用発電機中央制御盤に取付けられる保護継電器、積算計器、記録計器、故障表示器、自動制御装置などは W 社から輸入された。

以下従来の プラント と異なる点を中心として、関西電力大阪発電所の主なる配電盤について述べる。

## 2. 発電所の大要

大阪発電所の大要を示すために、発電所全体の単線結線図を図2.1に示した。この単線結線図には発電機、変圧器、ショートセイバー、ライセンススイッチが含まれており、CT、PT、

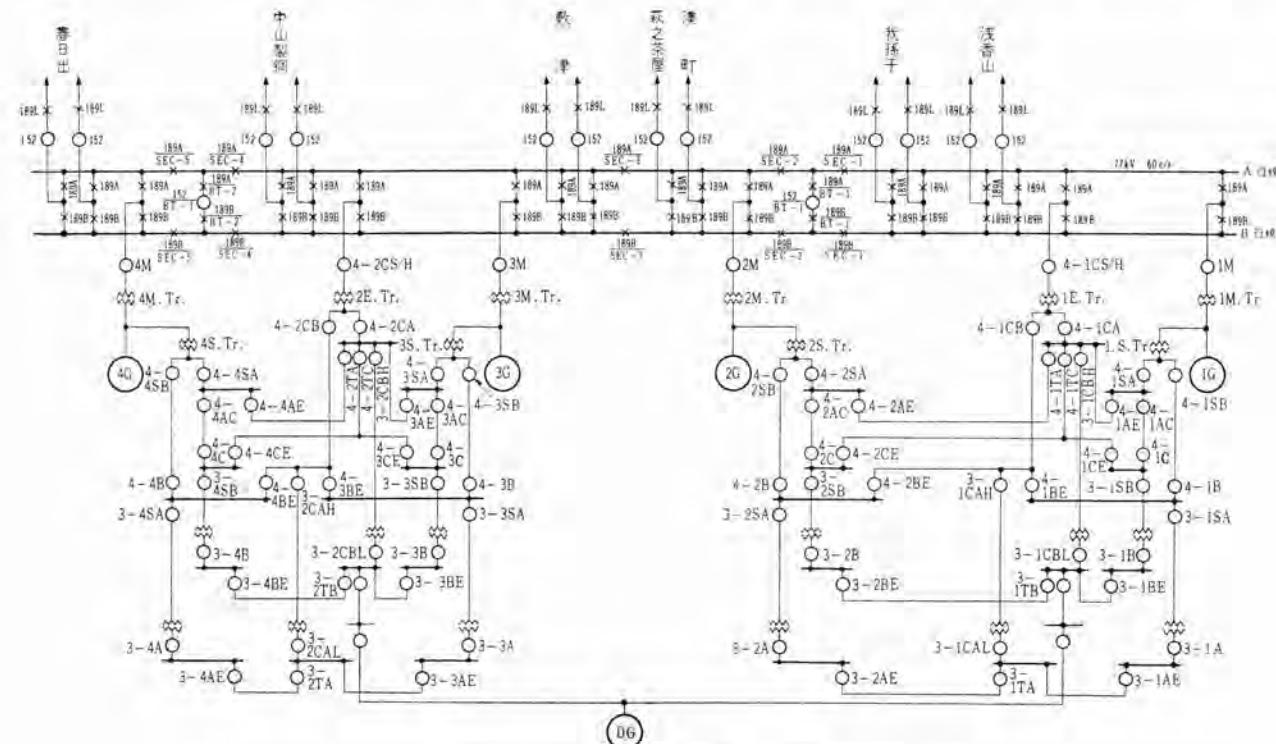


図 2.1 大阪発電所の単線結線図

Fig. 2.1 One line diagram of Osaka thermal power station.

避雷器、電動機、一般キ電線用のシャンク断器などは省略してある。図よりわかるように送電線としては並行2回線が4組と1回線が2組、配電線として並行2回線が1組ある。並行2回線4組のうち1組は浅香山変電所、1組は我孫子変電所、1組は敷津変電所、1組は春日出変電所に接続され、1回線2組のうち1組は湊町変電所、1組は萩之茶屋変電所に、配電線は中山製鋼にはいっている。特別高圧側母線は回路電圧が77kVの複母線からなり、母線区分用ライセンスイッチによって4組の複母線に分離されている。

発電機は 208,696 kVA のものが 4 台あり、それぞれ 190,000 kVA の主変圧器 1 台と 15,000 kVA の所内変圧器 1 台とともに単位式に接続され、主変圧器は特別高圧の複母線に、所内変圧器は 3 kV の メタルクラッド に接続される。

表 2.1 主要機器の定格

<b>ライインスイッチ</b>		<b>V形</b>
形式	垂直断路式	三相单投
定格電圧	80.5 kV	
定格電流	1,200 A	2,000 A
操作方式	AC 100 V	電動操作
<b>シャンタ断器</b>		<b>70-GM-350 形</b>
形式	油入	三相单接
定格電圧	80.5 kV	
定格電流	1,200 A	1,800 A
シャンタ容量	3,500 MVA	
操作方式	投入	压缩空氣
	引はずし	DC125 V 電磁
<b>主変压器</b>		
形式	送油風冷	
容量	190 MVA	
一次電圧	17.2 kV	
二次電圧	70-73.5-77-80.5 kV	
結線	一次 星形 二次 三角形	
<b>起動変压器</b>		
形式	油入自冷	
容量	15 MVA	
一次電圧	70-73.5-77-80.5 kV	
二次電圧	3,450 V	
結線	一次 三角形 二次 星形	
<b>所内変压器</b>		
形式	油入自冷	
容量	15 MVA	
一次電圧	16.4-17.2-18.0 kV	
二次電圧	3,450 V	
結線	一次 三角形 二次 星形	
<b>発電機</b>		
形式	内部冷却	
容量	166,957 kVA	2.1 kg/cm <sup>2</sup>
	192,000 kVA	3.15 kg/cm <sup>2</sup>
	208,696 kVA	4.2 kg/cm <sup>2</sup>
力率	0.85	
定格電圧	18 kV	
回転数	3,600 rpm	
上励磁機	975 kW	375 V 897 rpm
副励磁機	4 kW	250 V 897 rpm
<b>シャンタ断器</b>		<b>3-DH-20 形</b>
形式	磁気シャンタ断器	
定格電圧	3,450 V	
定格電流	1,200 A	
シャンタ容量	200 MVA	
操作方式	DC 125 V 電磁操作	
<b>シャンタ断器</b>		<b>DB-50 形 BD-25 形</b>
形式	氣中シャンタ断器	
定格電圧	440 V	
定格電流	1,600 A	600 A
シャンタ容量	50,000 A	25,000 A
操作方式	DC 125 V 電磁操作	

続されている。さらに 15,000 kVA の起動変圧器 2 台が 77 kV 回路と 3 kV 回路をつないでいる。3 kV 回路は 2 台の発電機に対して 7 組の母線からなり相互に連絡されている。所内回路としては 3 kV のほかに 400 V があり低圧所内動力変圧器を通して 3 kV 回路から給電されている。低圧所内動力変圧器は 2 台の発電機に対して 6 台設けられそれぞれ 1,200 kVA の容量をもっている。この 400 V 回路には 500 kVA の ディーゼル 発電機が接続され、非常用電源として使用されている。

表 2.1 にこれら主要機器の定格の大要を列挙する。

### 3. 母線保護

77 kV 母線は図 2.1 に示したように複母線であり、その上母線区分用の ラインスイッチ によって 4 組の複母線に区分されている。母線保護はこれら 4 組の母線ごとに実行ない、A 母線、B 母線のいずれで故障が起ったかを区別することは行なっていない。また母線区分用 ラインスイッチ が閉路されて 2 組以上の母線が相互に接続されているときは母線保護 リレー をロック することにしてある。母線保護 リレー の接続は図 3.1 に示すように 1 組の母線に接続されている送電線、配電線、発電機、起動変圧器の各回路に空心変成器を設けその二次側を図のように直列に接続し、その両端に飽和変成器を接続し二次側に全波整流器を通して有極 リレー が接続されている。この飽和変成器、全波整流器、有極 リレー までを含めたものを LC-2 形母線保護 リレー と称しており、短絡保護を目的としている。接地保護の目的には LC-2 形と同様な LC-3 形 リレー が使用されている。図 3.1 では三次巻線

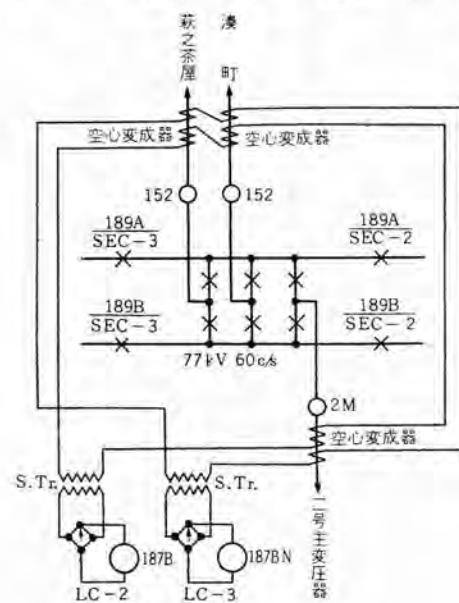


図 3.1 母線保護 リレー 接続図

Fig. 3.1 Connection diagram of bus protection relay.

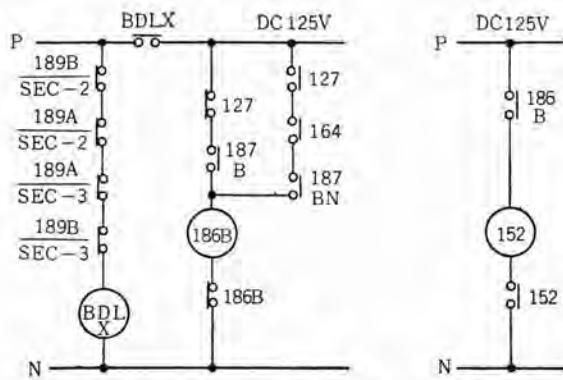


図 3.2 母線保護 リレー 接続展開図

Fig. 3.2 Sequence diagram of bus protection relay.

を使用するように書いてあるが実際には残留回路を使用した。また LC-3 形リレーは増幅装置をもっていることが LC-2 形リレーとの主なる相違点である。その接点回路は図 3.2 に示すように、1 組の母線が隣接する母線から切り離されていることを条件として補助リレー BDLX を動作させ、その接点によって直流制御電源回路を生かしている。この状態において母線内に短絡故障発生すれば HLV-3 形低電圧リレー(127)と同時に LC-2 形母線保護リレー(187B)動作して WR 形ロッカウトリレー(186B)を働かし、この母線に接続されている全ショート断器(図 3.1 では 152 が 2 台と 2M が 1 台)をいっせいにトリップする。一方接地故障発生すれば HSV 形一線接地保護リレー(164)動作し、しかも HLV-3 形低電圧リレーが動作していないのを条件として LC-3 形母線保護リレー(187BN)動作するから、LC-2 形の場合と同様に WR 形ロッカウトリレーを働かし母線に接続されている全ショート断器をトリップさせる。

#### 4. 主変圧器冷却装置の制御

主変圧器の冷却装置は図 4.1 に示すように 2 台の油ポンプと 15 台の冷却用ファンとからなるグループが 6 組あり、これらを 3 組ずつひとまとめて一方を常用、他方を予備として使用する。常用グループは変圧器に故障が起っていないことを前提として(86)、界磁ショート断器(41M および 41S)が投入されると直ちに電磁接触器(43)によって選択された 88A あるいは 88B が投入され主変圧器の冷却を行なう。予備グループは常用側運転中に変圧器の負荷が増加して変圧器温度上昇すれば温度リレー 49 動作し予備側電磁接触器(88B あるいは 88A)により起動するようになっている。温度リレー 49 は TRO-1 形リレーが採用され図 4.2 に示すように変圧器巻線と直列に接続されている CT の二次側に飽和変流器 SCT を入れ、その二次側に TRO-1 形リレーのヒータ要素が接続されている。このヒータ要素によってバイメ

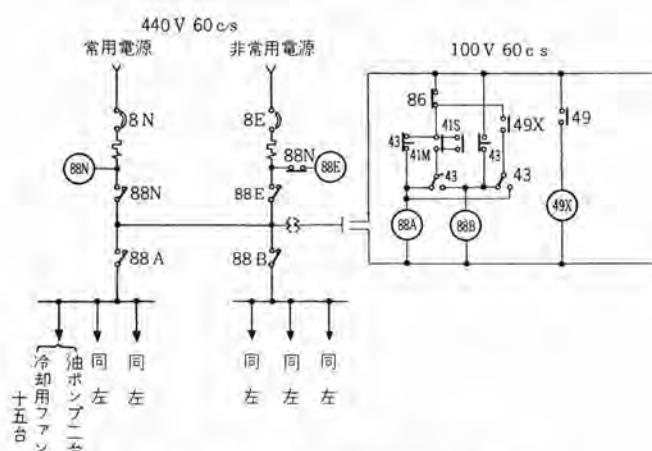


図 4.1 主変圧器の冷却装置制御回路

Fig. 4.1 Control circuit of cooler.

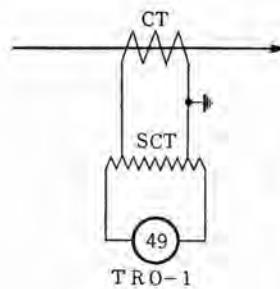


図 4.2 温度リレー用ヒータ回路

Fig. 4.2 Heater circuit of thermal relay.

タリが熱せられバイメタルの膨張に伴ってカムが回転しマイクロスイッチを働かせている。ヒータ部分および CT は変圧器タンク中の高油温部分におかれている。

#### 5. 主変圧器の故障表示

主変圧器の故障表示としては次の各項目が含まれている。

- (1) 変圧器内部の圧力が急激に上昇して SP 形衝撃圧力继電器が動作したとき
- (2) コンサベータ内部の油面が低下し丸形油面計の警報接点が閉じたとき
- (3) 送油ポンプ起動して一定時間経過した後において油の流れが一定量以下に減少したとき
- (4) 変圧器内部の油の温度上昇して丸形温度計の警報接点が閉じたとき
- (5) 前節に説明した TRO-1 形繼電器動作したとき
- (6) 冷却装置用非常電源停電したとき
- (7) 冷却装置用制御電源停電したとき
- (8) 冷却装置用常用電源停電したとき
- (9) 冷却装置各グループ用ショート断器開路したとき
- (10) コンサベータ内窒素圧力低下して圧力計の警報接点が閉じたとき
- (11) 窒素ボンベ内圧力低下して圧力計の警報接点が閉じたとき

以上の各項目のうち(4)～(5), (6)～(9), (10)～(11)は一括して表示されている。これらの表示は中央制御室に設けられたランプ式集合故障表示器に表示される。このランプ式集合故障表示器については後述する。

## 6. 主変圧器の保護

主変圧器の保護リレーとして77kV側巻線に差動接地保護リレーが使用されている。その回路は図6.1に示すように、77kV側巻線の中性点を200Ω、222Aの抵抗で接地し、この回路と77kV側CTの残留回路とにCTを入れ、さらに接地抵抗回路にPTを入れてそれぞれW社製CWP-1形差動リレーに接続してある。なお図6.1中の#87NGがこのリレーであり、#51NGは後備保護用である。

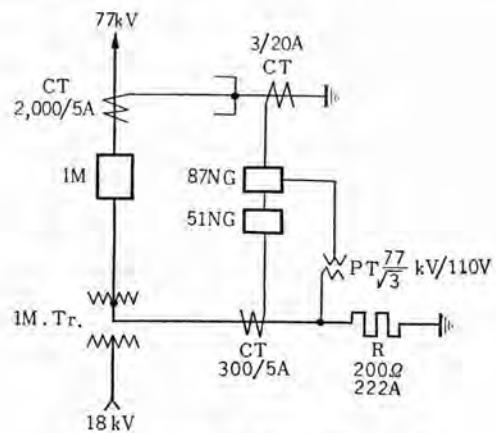


図 6.1 主変圧器 77 kV 側接地保護  
Fig. 6.1 Grounding protection of main transformer.

## 7. 発電機の監視

発電機の監視装置については特筆すべきことはあまりないが積算計器に使用されているW社製CB-2F形積算電力計および無効積算電力計が引出形継電器と同じように計器本体がケースから引き出せるようになってい

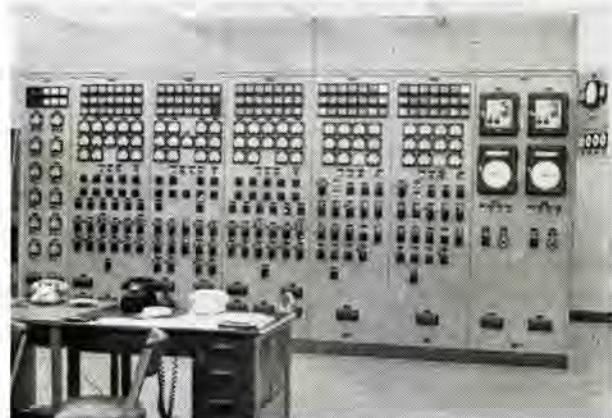


図 7.1 3, 4号機用発電機制御盤  
Fig. 7.1 Control board for #3 #4 generator.

て試験端子を内蔵していることや、同じくW社製のKI-26形同期検定器が222mm角という大形の広角度計器であることなどが従来と変っている点である。図7.1に3, 4号機用発電機制御盤の写真を示した。左の端から送電線監視盤（送電線盤は1, 2号機の中央制御室に設けられている）、3号直結所内変圧器盤、2号起動所内変圧器盤、4号直結所内変圧器盤、3号発電機盤、4号発電機盤、3, 4号自動負荷調整器盤、同期検定器盤（袖盤）である。

## 8. 発電機の制御

発電機の制御装置としては自動電圧調整装置と自動負荷調整装置の二つがある。このうち自動負荷調整装置は横河電機製のもので三相用サーマルコンバータの出力を基準値と比較しその差によって補助リレーを働かしてガバーモータを制御する方式である。

自動電圧調整装置はW社製BJ-30形AVRでその内容は改めて説明する必要もないが、この付属品としてワットバランス要素がある。この要素は発電機の励磁電流が与えられた負荷において脱調限界以下に下がるのを防止することにより、発電機が進み力率における運転可能範囲を有効に利用できるようになっている。この要素は平衡桿形絶電器からなっており、図8.1からわかるように、一方には発電機端子電圧と出力電流を導き他方には主励磁機端子電圧を加えてある。すなわち発電機電力と主励磁機端子電圧とを比較し、ある発電機電力において励磁機電圧が限界値以下に下がればBJ-30形AVRの通常制御接点の下げ側および速応制御接点の下げ側を切りはなしてそれ以下に励磁電流が減少するのを防止する。図8.2にこの要素の特性の一例を示した。

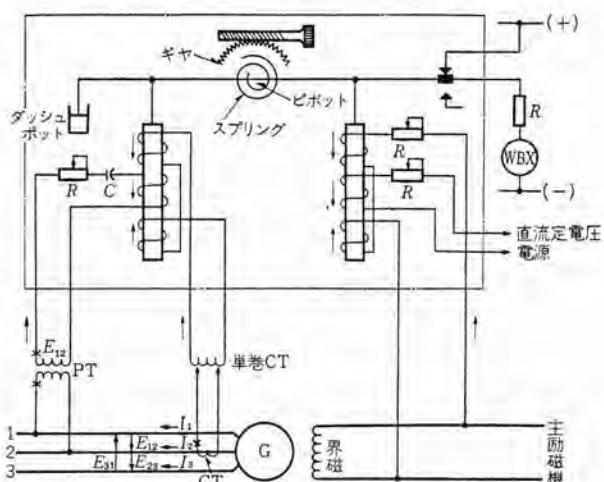


図 8.1 最低励磁限界保護装置  
Fig. 8.1 Watt balance equipment for minimum excitation limit.

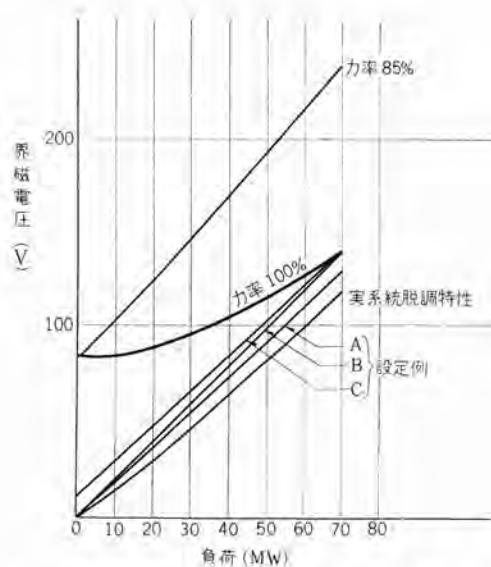


図 8.2 最低励磁限界保護装置の特性例  
Fig. 8.2 Field volts-watts characteristics

## 9. 発電機の保護

発電機の保護装置としては次のようなものが取り付けられている。

- (1) 短絡保護用 CA 形比率差動 リレー
  - (2) 電圧抑制付 COV-8 形過電流 リレー
  - (3) COQ 形不平衡負荷 リレー
  - (4) HLF 形界磁喪失 リレー
  - (5) DGF 形界磁接地 リレー
  - (6) CV-8 形接地過電圧 リレー
  - (7) サージアブソーバ

発電機の中性点は 100 kVA, 17,200/240—120 V の変圧器を通して接地され、その二次側に  $0.251 \Omega$  の抵抗器を接続し抵抗器の両端に (6) の接地過電圧リレーを接続してある。 (1) の比率差動リレーは発電機用のほかに主変圧器用の比率差動リレーの保護範囲を発電機まで広げることにより後備保護としての役目を果させている。 (5) の DGF 形界磁接地リレーは発電機界磁の両端を抵抗器で接続しその中点を接地していることは従来のものと変りはないが、片側の抵抗器に非直線抵抗を付加して発電機界磁巻線の中点に接地故障が発生した場合にも、励磁機の端子電圧が変化すれば検出することができるようになっている。以上の保護装置のほかに AVR 用 PT ヒューズの断線検出に GE 社製の CFVB 形電圧平衡リレーを使用し、AVR 用 PT の二次電圧が減少したとき他の PT の二次電圧が健全であれば AVR 用 PT ヒューズ断線と判定し AVR 制御回路を鎖錠している。

## 10. 故障表示回路

中央制御室における故障表示は5節に述べたように、

32 (638)

ランプ式集合故障表示器によっている。この表示器はSCAM社の製品で1窓当たりの寸法は図10.1に示すように92×88mmで、その回路は図10.2に示すような回路である。すなわち故障発生前は補助リレー30B消勢されているから補助リレー30A動作して自己保持する。30A動作すれば、ランプを通して30B動作して自己保持する（この場合30Bの動作電流ではランプ点灯しない）。この状態で故障発生すれば30A短絡されて消勢される。したがって30B動作30A不動作となり補助リレー74付勢されベル(BL)を鳴らして警報し同時に

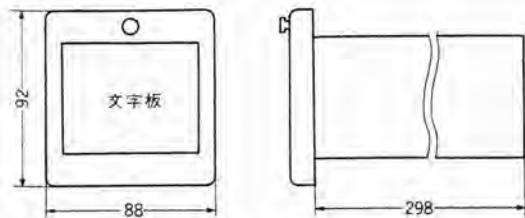


図 10.1 ランプ式故障表示器  
Fig. 10.1 SCAM annunciator.

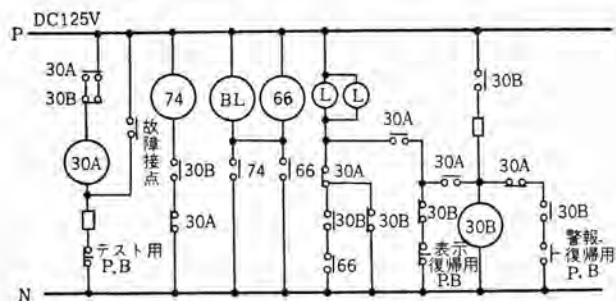


図 10.2 ランプ式故障表示器接続展開図

フリックリレー 66 を付勢して ランプ を フリック させる。警報復帰用押しボタンを押せば 30B 短絡されて消勢し続いて 74 消勢されるから ベル 停止し ランプ は フリック を停止して連続点灯に変わる。故障復帰すれば 30A 動作するから表示復帰用押しボタンを押せば 30B 動作して ランプ 消灯する。これで回路は旧に復した訳である。さらにこの回路には テスト 用押しボタンがあり、これを押すことにより 30A を消勢できるから故障が発生したときと同様な動作を行なわせることができる。なおリレー 30A および 30B は 1 個の ケース に封入され プラグイン 形として ランプ 箱の背面に押し込んである。図 10.1 に示された表示器の奥行寸法は リレー 箱を含めた寸法である。

### 11. 3kV 所内回路

3 kV 所内回路は 図 2.1 にその全体を、図 11.1~11.4 に部分的に示したように直結所内変圧器も起動所内変圧器もそれぞれ 1 台からなり、その 3 kV 側は一つ

の巻線からなっている。表 2.1 にも示すとおりいずれの変圧器も 15 MVA のため変圧器の 3 kV 側は 2 回路に分けそれぞれの回路に 2,000 A の シャ断器を挿入した。母線の構成は図 2.1 に示すように 2 台の発電機に対して 7 組の母線からなっている。すなわち各発電機ごとにそれ A, B, C の 3 母線と 2 台の発電機に対して共通に一つの母線がある。図 11.1 は A 母線の構成を示し循環水ポンプ、エキゾースト、復水ポンプからなっている。図 11.2 は B 母線の構成を示し低圧所内動力変圧器、給水ポンプ、微粉炭機からなっている。図 11.3 は C 母線の構成を示し誘引通風機、強圧通風機、ガス再循環ファン、高圧重油ポンプ、低圧所内動力変圧器からなっている。図 11.4 は共通母線 (CA 母線) の構成を示し低圧所内動力変圧器、運炭用変圧器、予備励磁機からなっている。

これらの各母線には図 11.5 に示すように部分差動保護が行なわれている。すなわち各母線に接続されている各電源回路のみに CT を挿入し、この差動回路に誘導形過電流继電器を入れて電線事故時は電線の過電流继電器が動作するまで動作しないような时限に調整してある。

各電線の保護装置は図 11.1 から図 11.4 に示すようにモータ保護には BL-1 形熱動继電器 (49) と COS 形過電流继電器 (50-51) を組合せ、熱動继電器では警報のみとし過電流继電器動作によって初めてシャ断器を引はずすようになっている。一方接地保護は各所内変圧器の 3 kV 側中性点が  $1.33 \Omega$ , 1,500A の抵抗を通して接地されており一線接地事故時 1,500A の故障电流が流れる。したがって一線接地事故時できるだけ早く故障を検出してシャ断器を引はずすように ZCT は零相电流に

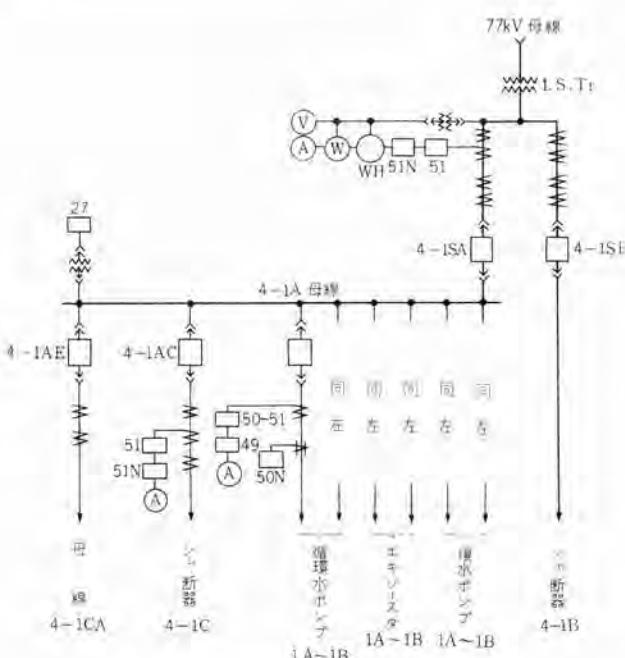


図 11.1 3 kV 所内回路—A 母線

Fig. 11.1 A bus—3 kV auxiliary power system.

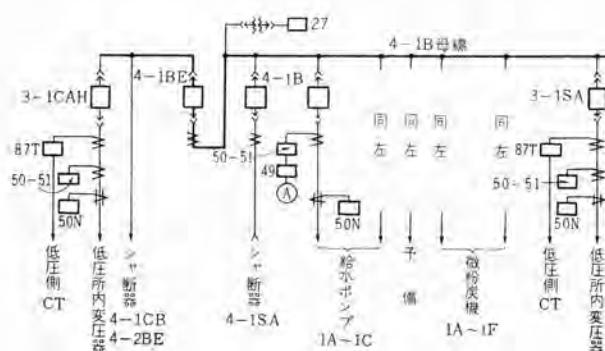


図 11.2 3 kV 所内回路—B 母線

Fig. 11.2 B bus—3 kV auxiliary power system.

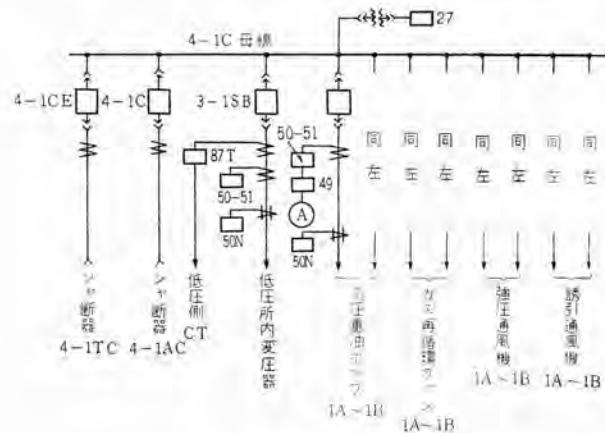


図 11.3 3 kV 所内回路—C 母線

Fig. 11.3 C bus—3 kV auxiliary power system.

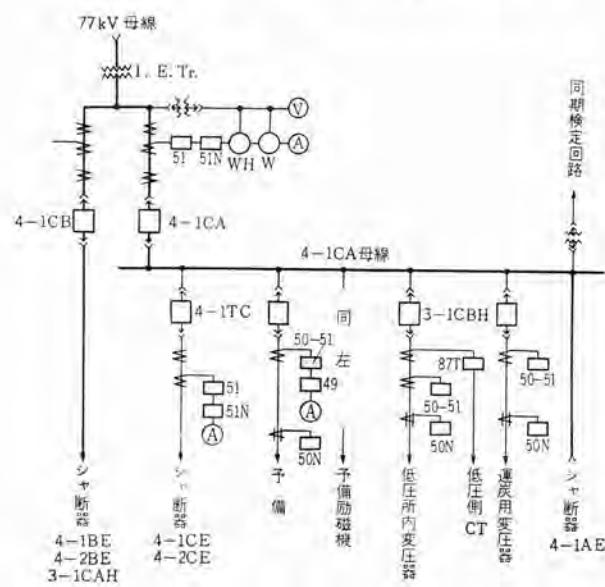


図 11.4 3 kV 所内回路—CA 母線

Fig. 11.4 CA bus—3 kV auxiliary power system.

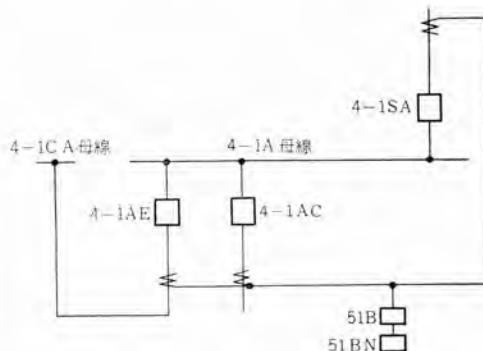


図 11.5 3 kV 母線保護

Fig. 11.5 Protection for 3 kV bus.

対して 100/5A の比をもたせ、その二次側に SC 形高速度過電流継電器を入れ高感度高速度で接地を検出して故障線をシャンクさせている。

電源事故時に自動切換を行なうことは従来のとおりであるが、たとえば

- (1) 1号主変圧器
- (2) 1号直結所内変圧器
- (3) 1号発電機

に事故発生すればシャンク断器 4-1SA をシャンクし、シャンク断器 4-1SA 開、シャンク断器 4-1CA 閉、シャンク断器 4-1AE 開を条件としてシャンク断器 4-1AE を自動的に投入する。これと同時にシャンク断器 4-1SB を引はずし、シャンク断器 4-1SB 開、シャンク断器 4-1CB 閉、シャンク断器 4-1BE 開を条件としてシャンク断器 4-1BE を自動的に投入する。

図 11.6 に 3 kV 用メタルクラッドを示した。このメタルクラッドでは、シャンク断器の開閉はテスト位置だけにおいて行なえるようになっており、操作はすべて中央または現地操作盤から行なう。

## 12. 400 V 所内回路

図 12.1 は 400 V 回路用パワーセンタである。400 V 回路の考え方はほとんど 3 kV 回路と同じであって、部分差動方式の母線保護が行なわれ、同じ考え方の自動切換が行なわれている。

なおこの回路に接続されている非常電源用ディーゼル発電機は所内電源が停電すれば自動的に起動するようになっている。



図 11.6 3 kV メタルクラッド

Fig. 11.6 Metal clad switchgear for 3 kV circuit.

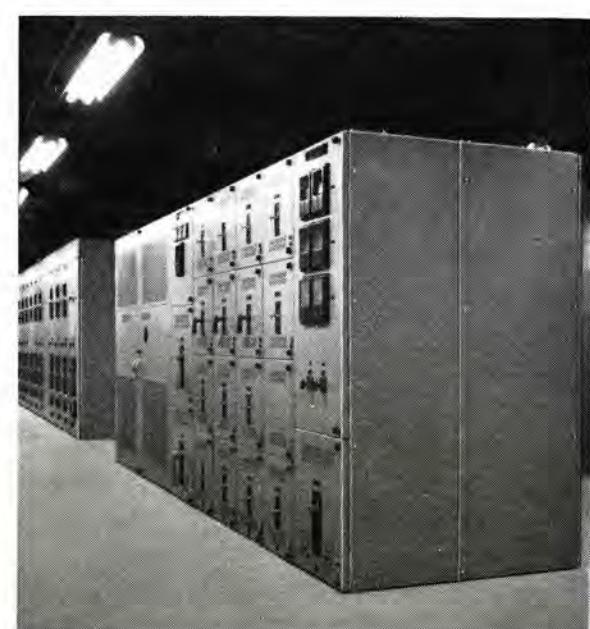


図 12.1 400 V パワーセンタ

Fig. 12.1 Power center for 400 V circuit.

## 13. む す び

以上大阪発電所に納入した配電盤に関してそのごく概略を説明した。配電盤だけとはいえすでに述べたように 600 MW をこす東洋最大の火力発電所に納められたものだけにその量もきわめて大きく、この程度の説明では十分その意をつくし得ないが当社にとっても参考になる点が多かったことを加えておきたい。

## '60年形ユニテヤ

静岡製作所

河合照男\*

## Unitaires for 1960

Shizuoka Works

Teruo KAWAI

Air conditioning is in vogue at many places nowadays. It is not only good for the comfort and health of the occupant, but also for the improvement of quality of products turned out there. A variety of air conditioners of package type, having a trade name "Unitaire," are now among Mitsubishi products. Ten years have elapsed since the set No. 1 appeared to cope with the requirements of the day. Valuable experience now stands behind the apparatus which is making unceasing improvement year after year. The company is prepared for sending eight types of Unitaires to the market for the need of coming season. The writer gives detail of features particularly on heat pump Unitaires that is a pride of the company.

## 1. まえがき

環境衛生の向上や品質管理の要素として、最近空気調和 (Air conditioning) の需要が盛んである。環境衛生の改善によって、直接業績の期待できるサービス業方面の利用が活発なのはもちろんであるが、従業員の健康管理の方法として、あるいは、病院における環境衛生の改善などに盛んな需要がありさらに、精密機械室、IBM 室、通信機械室、自動交換機室などに広く利用されている。

当社では、この盛んな需要に対応して、各種のパッケージ形空気調和装置「ユニテヤ」を生産している。ユニテヤは、

性能やデザインにすぐれ取扱いが便利であることのほかに、すえつけ位置の状況や、要求される機能の程度がその都度異なるので、多くの変り形に対応できる設計が必要である。

'60年形ユニテヤは、性能の向上のほか、すえつけ、サービスの実際面の調査を加味して各種の改良が実施された。さらに、空気式ヒートポンプユニテヤや米穀低温倉庫ユニテヤなど新しい特長を持ったユニテヤが開発され期待を集めている。

以下、「'60年形ユニテヤ」の各形の紹介を兼ねて、仕様や特長などについて述べる。

表 2.2 各形ユニテヤの応用機能範囲

形名	ダクト接続式	三方吹出ダリル	外気取入口	暖房装置	温度調整装置	容量制御装置	水量調整装置	その他
R U - 25(スイ)形			右側面	電熱式				
R U - 25(クワ)形			右側面	電熱式				トレンチング
E U - 50B形			左右側面	電熱式 蒸気式 温水式	夏:電熱式 冬:蒸気式 冬:温水式			
E U - 80形			左右側面	電熱式 蒸気式 温水式	夏:電熱式 冬:蒸気式 冬:温水式			
D U - 100B形			左右側面	電熱式 蒸気式 温水式	夏:電熱式 冬:蒸気式 冬:温水式	自動式		
D U - 150B形			左右側面	電熱式 蒸気式 温水式	夏:電熱式 冬:蒸気式 冬:温水式			
H U - 50形					夏:電熱式 冬:温水式			
K U - 80形	吸込側は不用				逆心式			

の部分は標準形として取扱う範囲

の部分はこのユニテヤには付属できない範囲

の部分は特殊形として取扱う範囲

の部分はこのユニテヤに必要としない範囲

表 2.1 標準仕様覽

(注) <sup>a)</sup> エニチヤ空気吹出口における有効静風圧  
<sup>b)</sup> DU-150B 様は 23.8°C  
<sup>c)</sup> A.S.R.E. の標準状態  
<sup>d)</sup> 凝結温度 38.5°C、冷却水温度 26.7°C ただし

表 2.3 各種ユニテヤの配管、配線接続方向

形 名	冷却水配管	冷却器室 ドレン配管	機械室 ドレン配管	蒸気、温水給湯装置 暖房器配管	電源用 配管	操作回路用 配線	電熱 暖房器配線	
RU-25(スイ)形	右	後	—	—	—	後	後	後
RU-25(クウ)形	—	後	—	—	—	後	後	後
EU-50B形	右、左、後	右、左、後	右、左、後	後	後	右	右	後
EU-80形	右、左	右、左、後	右、左、後	右、左	後右 後左	右	右	後
DU-100B形	右、左、後	右、左、後	右、左、後	右、左	後右 後左	右	右	後
DU-150B形	右、左、後	右、左、後	右、左、後	右、左	後右 後左	右	右	後
HU-50形	—	右、左	右、左、後	—	右、左	左	左	—
KU-80形	右、左	右、左	右、左、後	—	—	右	右	—

電源用、操作回路用の配線は余っている冷却水および冷却器室ドレンの配管穴を利用してることができる。

## 2. '60年形ユニテヤの種類

本年度は、RU形、EU形、DU形にそれぞれ2機種、KU形、HU形にそれぞれ1機種があつて合計8機種のユニテヤを生産している。

表2.1は本年度ユニテヤの仕様一覧表である。このうちKU形は、本誌Vol.34・No.2・p.27に紹介済であるから参照されたい。HU形は、次の機会に詳しく紹介する予定であるので本号では概略を述べるだけとしたい。

ユニテヤは、その性質上配管や配線の接続は、できるだけ多くの方向より可能であることが望ましく、また応用機能(たとえば暖房装置や湿度調整装置など)の可能な範

開も広くなければならない。すえつけ、サービスの実際面の調査から'60年形のユニテヤはすえつけに便利で応用の効く設計になっている。

表2.2、2.3は、その可能な範囲を表わしている。



図 3.1 RU-25 形外観

Fig. 3.1 Exterior view of type RU-25.

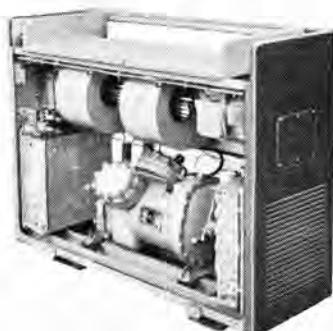


図 3.2 RU-25 形内部

Fig. 3.2 Interior view of type RU-25.

すなわち、EU形、DU形はもっとも変化に富んだ使用ができるようになっている。

## 3. RU形ユニテヤ

RU形ユニテヤは、出力2kWで空冷式と水冷式があり同じ設計の調和機本体を使用している。水冷凝縮器は、特殊な二重管式で小さく、空冷凝縮器は、リモート式で窓に懸けたり、室外の床あるいは地面にすえつけるようになった形と、窓に乗せて取りつけるようになった形があり、それぞれACC-25形、ACM-25形と称する。調和機本体と凝縮器を組合わせて空冷式あるいは水冷式にし、RU-25(クウ)形、RU-25(スイ)形と称する。

本体は、合理的に小さくワク組を使用せず鋼板で製作した側面パネルおよび底板で外側キャビネットを構成している。室内の空気は、左右側面の下部より吸込み、前面上部より吹出すようになっており、送風機の取付け、送風機軸受、送風機軸の製法などには新しい試みが成功した。

高さの低いのは、RU形の大きな特色で、窓際にすえつけでも採光を妨げないので、すえつけ位置の選定は、容易で、ビルディングなどには好適である。近時大都市においては、水道水の不足、地下水の水位低下が大きな社会問題となっており、水冷式空気調和装置には、必ずクリーニングタワーの併用が必要となっている。

RU-25(クウ)形は、リモート式凝縮機を用いて簡単な冷房が得られるので将来の発展に期待は大きい。とくに水の不足する既設のビルディングなどで付帯工事や建物の改造を必要とせず、簡単に空冷式冷房の得られる機種は、RU-25(クウ)形以外に見当たらない。また冷却器より出るドレンは、送風機軸により駆動されるドレンポンプを本体底板部分に取付けて排水し、そのドレンを凝縮機にふりかけて、凝縮能力の向上とドレン処理の一石二鳥とし

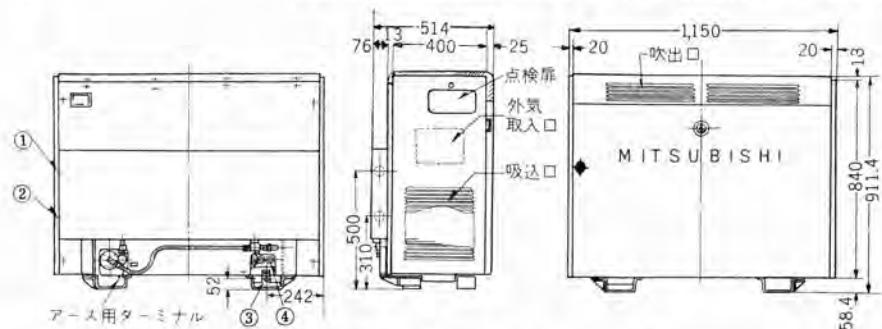


図 3.3 RU-25(スイ)形ユニテヤ外形寸法図

Fig. 3.3 Outline dimensions of type RU-25 Unitaire.

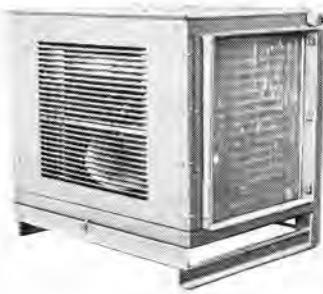


図 3.4 空冷凝縮器  
外観  
Fig. 3.4 Air cooled condenser.

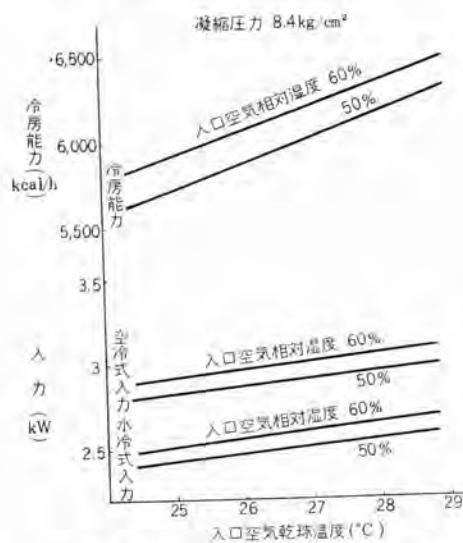


図 3.6 RU-25 形 ユニテヤ 性能曲線

Fig. 3.6 Performance curves of type RU-25 Unitaire.

ている。したがって水配管工事がいっさい不用で使用者の負担する施設費は非常に少くて済むようになっている。

図 3.1 は、RU-25(スイ)形 ユニテヤ の外観、図 3.2 は、内部、図 3.3 は、RU-25(スイ)形 外形寸法図、図 3.4 は、ACC-25 形空冷凝縮機の外観、図 3.5 は、ACC-25 形外形寸法図である。表 3.6 は性能曲線で、空冷式、水冷式ともに同一性能を保証している。

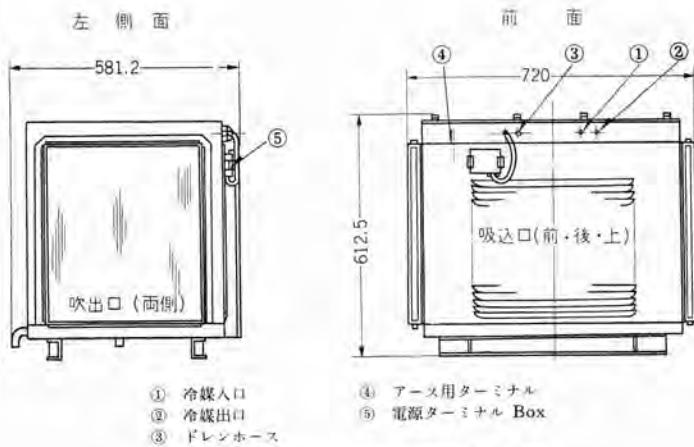
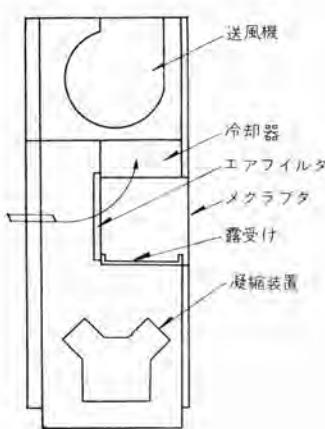


図 3.5 ACC-25 形空冷式凝縮器外形図

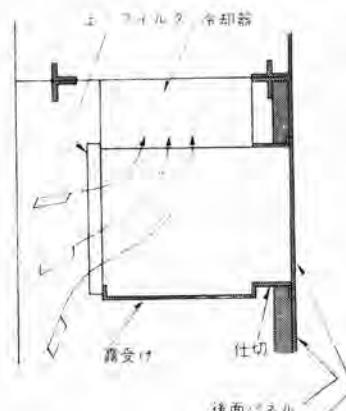
Fig. 3.5 Outline of type ACC-25 air cooled condenser.

#### 4. EU 形 ユニテヤ

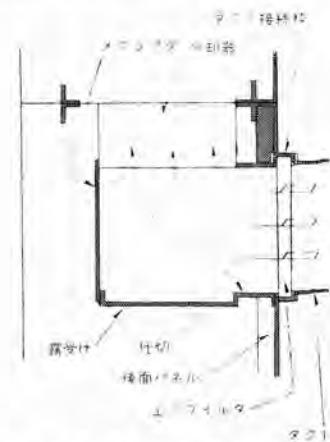
EU 形 ユニテヤ では、部屋にそのままえつけて使用する場合が多く、DU 形のようにセントラル式にする機会は少ないので、必然的に外部意匠は重要である。ユニテヤ では空気吸込口の位置および形状によって外部意匠はほとんど決まるものであるが、EU 形は キャビネット 内部に、図 4.1 のように前後に開口部を持った サクションチャンバ を設け、部屋にそのままえつけて使用する場合はサクションチャンバ の前側に エアフィルタ、後側に メクラブタ を取りつける。室内空気は外側 キャビネット のどの部分より吸込まれても サクションチャンバ 前側の エアフィルタ を通ることになるから外側 キャビネット の吸込口はどのような位置、形状でもさしつかえない。EU 形 ユニテヤ はこのため外部意匠をその形に対し、もっとも効果的な形に デザイン されており、前面および側面 バルの取付け用 ネジ 類が完全に現れない設計と相まって各種の部屋によく調和する。また吸込側に ダクト を接続する場合は、サクションチャンバ に取



側面図



拡大図 1 部屋にえつけて前側より空気を吸込むとき



拡大図 2 セントラル式にして後側にダクトを接続して空気を吸込むとき

図 4.1 EU 形 ユニテヤ の内部構造

Fig. 4.1 Interior construction of type EU Unitaire.

付けているエアフィルタとメクラブタを前後交換して後面にダクト接続フランジを取り付け後面より吸込むようとする。その結果簡単にダクト接続形に変更できしかも意匠のそこなわれることはない。とくに'60年形の新機種として発表したEU-80形は、前面パネルを写真に見るよう凸形にして、調和空気の良好な分布と、斬新な外形意匠で注目を集めている。今年度の後半に生産されるEU-80A形は、外観的には、EU-80形と変わらないが冷媒にR-22を使用する。

また、サービス面の能率向上を計って側面パネルの配管に関係ない部分は、それぞれ単独に取りはずしができるようにし、マフラ、防音機構などに改良を加えて騒音を、5~6ポン低下させることに成功した。



図 4.2 EU-50B 形外観  
Fig. 4.2 Exterior view type of EU-50B.



図 4.3 EU-80 形外観  
Fig. 4.3 Exterior view of type EU-80.



図 4.4 EU-50B 形内部  
Fig. 4.4 Interior view of type EU-50B.

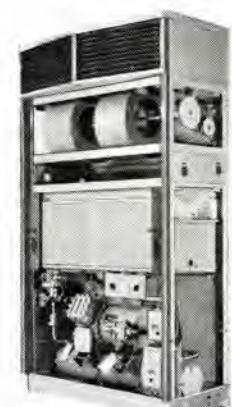


図 4.5 EU-80 形内部  
Fig. 4.5 Interior view of type EU-80.

- ①冷却水直列出口、並列出口 1 (ガス管)
- ②冷却水直列入口、並列入口 1 ( " )
- ③冷却水並列入口 1<sup>1/2</sup> ( " )
- ④冷却水器室 ドレン 1 ( " )
- ⑤機械室 ドレン 1 ( " )
- ⑥アース用ターミナル
- ⑦蒸気暖房器出口 1<sup>1/2</sup> ( " )
- ⑧蒸気暖房器入口 1<sup>1/2</sup> (ガス管)
- ⑨給湿装置 1<sup>1/2</sup> ( " )
- ⑩電線人口 28mm<sup>φ</sup>
- ⑪操作回路用電線穴 21mm<sup>φ</sup>
- ⑫電熱暖房器用電線穴 33mm<sup>φ</sup>
- ⑬電熱暖房器用電線穴 27mm<sup>φ</sup>

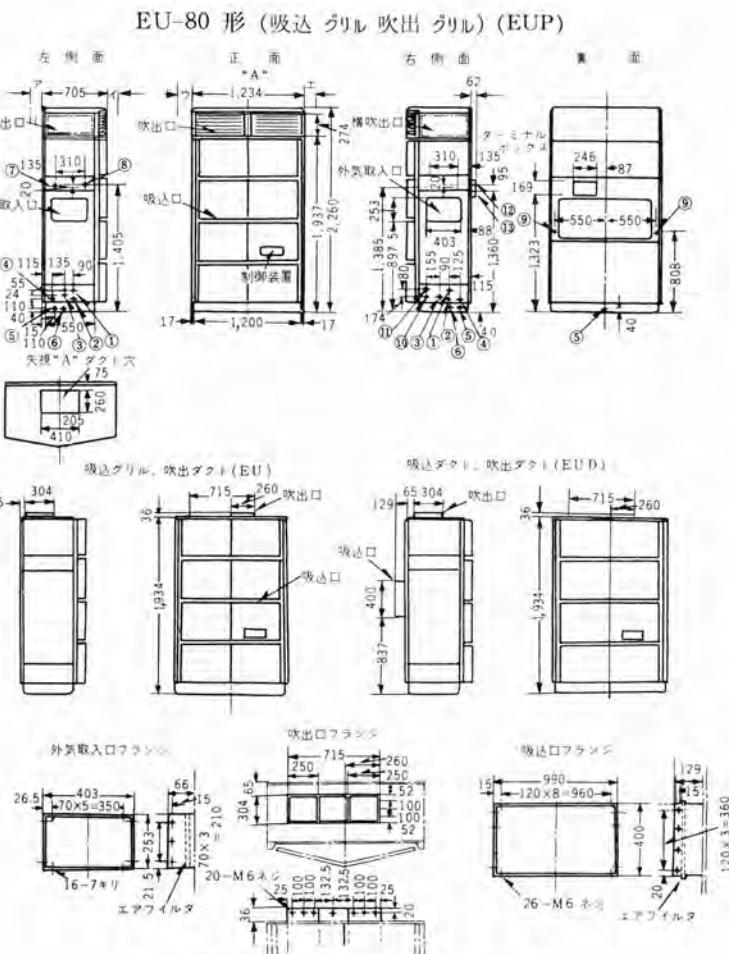
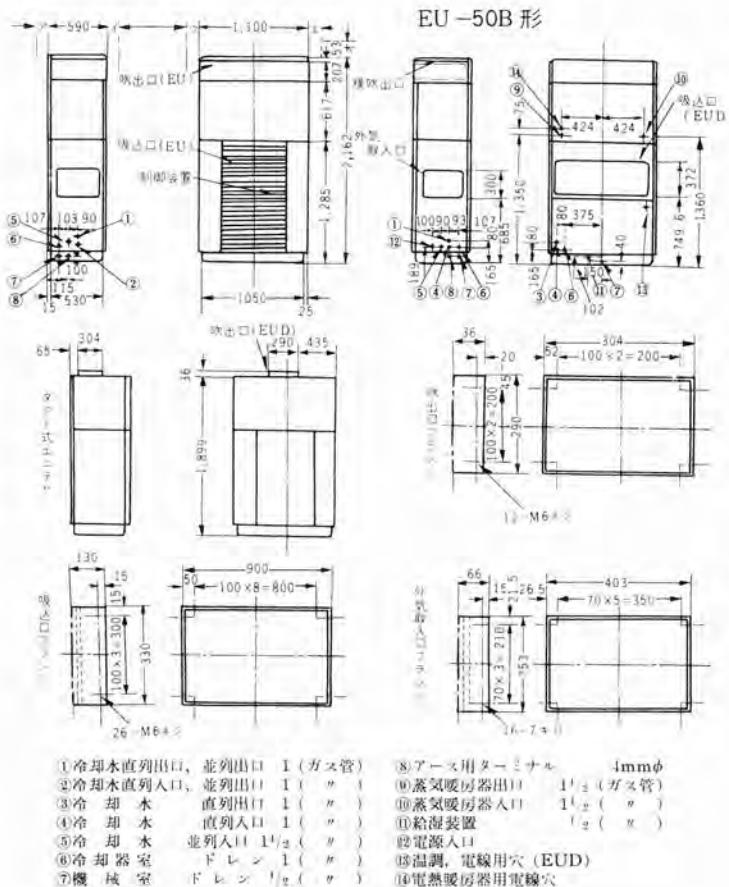


図 4.6 EU 形 ユニテア 外形寸法図  
Fig. 4.6 Outline dimensions of type EU Unitaire.

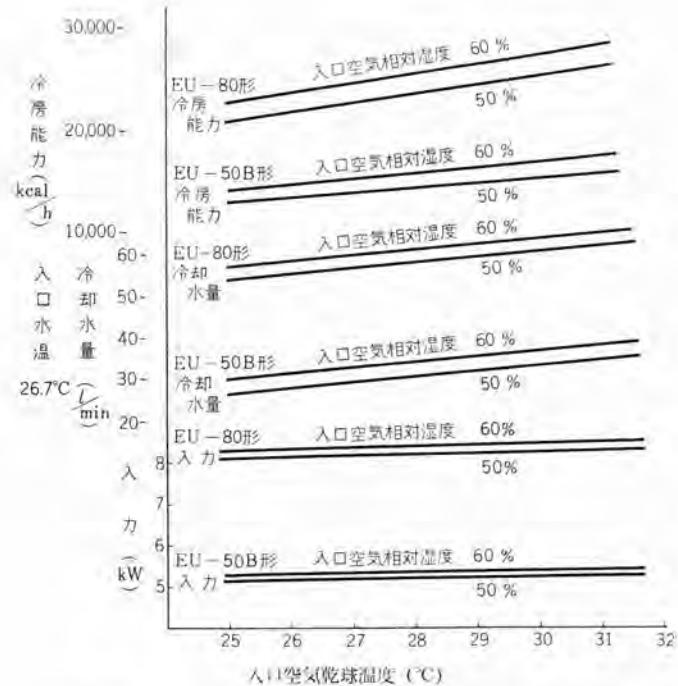


図 4.7 EU 形 ユニテヤ 性能曲線 (凝縮圧力  $8.4 \text{ kg cm}^2$ )

Fig. 4.7 Type EU Unitaire preformance curve.

表 4.1 送風機性能表  
EU-50B 形 ユニテヤ

風量 $\text{m}^3/\text{min}$	有効静風圧 $\text{mm 水柱}$							
	0	3	6	9	12	15	18	
45	815	860	905	950	995	1040	1085	1130
47.5	845	890	935	980	1025	1070	1120	
50	880	925	970	1010	1050	1090		
52.5	920	960	1005	1050	1095			
55	960	1000	1045	1085				

注 1. 空調の部分は使用できない範囲である。

2. 風量の変化  $\pm 10\%$  に対して冷房能力の変化は  $\pm 4\%$  である。

図 4.2 は、EU-50B 形の外観、図 4.3 は、EU-80 形の外観である。図 4.4 は、EU-50B 形の内部、図 4.5 は、EU-80 形の内部である。図 4.6 は、EU 形の外形寸法図、図 4.7 は、EU 形 ユニテヤ の性能曲線、図 4.8 は、凝縮器の水頭損失、表 4.1 は送風機性能表である。

## 5. DU 形ユニテヤ

DU 形 ユニテヤ は、当社ではもっとも容量の大きな ユニテヤ で、この程度の容量では、冷房能力が、大きいので、1 台で相当広い部屋の冷房ができるが、そのままでつけては温度分布の均一性が失われやすい。したがって均一な温度分布の得たい場合とか、1 台で数室の冷房を行なう場合は、ダクトを接続して、セントラル式に用いる。またその機会は、EU 形よりも多い。DU 形の外部意匠は '59 年形とほとんど変わっていないが、内容的には相当大幅な改良が実施されている。

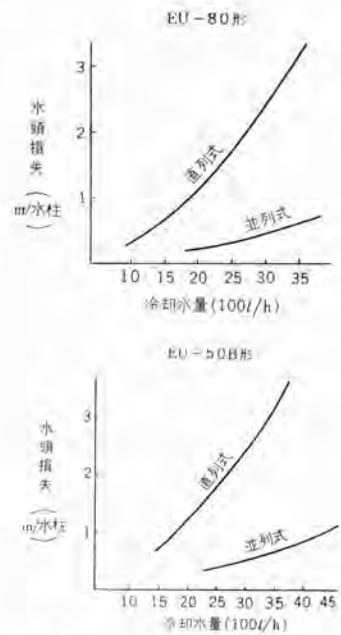


図 4.8 EU 形 ユニテヤ 凝縮器  
水頭損失曲線

Fig. 4.8 Head loss curves  
of type EU Unitaires.

表 4.1 送風機性能表

風量 $\text{m}^3/\text{min}$	有効静風圧 $\text{mm 水柱}$						
	0	6	12	18	25	28	32
72	755	855	950	1040	1160		
76	790	890	985	1075	1180		
80	825	925	1020	1110	1200	1240	1300
84	865	965	1055	1140	1225	1265	
88	905	1010	1090	1170	1250		

注 1. 空調の部分は使用できない範囲である。

2. 太枠の部分は電動機出力  $0.75 \text{ kW}$ 、その他の部分は  $1.5 \text{ kW}$  となる。  
3. 風量の変化  $\pm 10\%$  に対して冷房能力の変化は  $\pm 4\%$  である。

DU-100B 形は、圧縮機を 1 台とし、DU-150B 形は圧縮機 2 台で冷媒に R-22 を使用し、いずれも  $50\%$  の自動容量制御装置を取付けることができる。

性能の向上、取扱いの改善については、EU 形と同様の改良を実施したが、とくに大形であるので図 5.1 のように露受けを上下できるようにして圧縮機の点検を容易にし、電磁開閉器取付け パネルを開閉式にして格納と点検を合理的にした。

図 5.2 は、DU-100B 形の外観、図 5.3 は DU-100B 形の内部である。図 5.4 は、DU 形 ユニテヤ の外形寸法図、図 5.5 は、DU 形 ユニテヤ の性能曲線、図 5.6 は、凝縮機水頭損失曲線、表 5.1 は、送風機性能表である。

## 6. HU 形ヒートポンプユニテヤ

HU 形 ヒートポンプユニテヤ は、わが国で初めて完成した水を使用しない全自動の空気式 ヒートポンプ 装置で、1 台

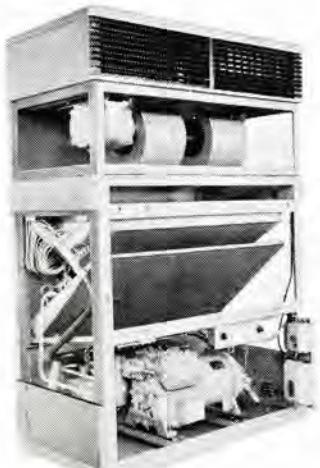


図 5.1 DU-100B 形内部

Fig. 5.1 Interior view of type DU-100B.



図 5.2 DU-100B 形外観

Fig. 5.2 Exterior view of type DU-100B.

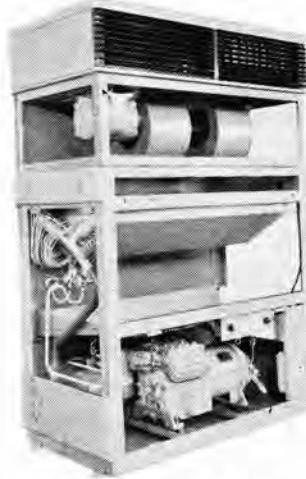


図 5.3 DU-100B 形内部

Fig. 5.3 Interior view of type DU-100B.

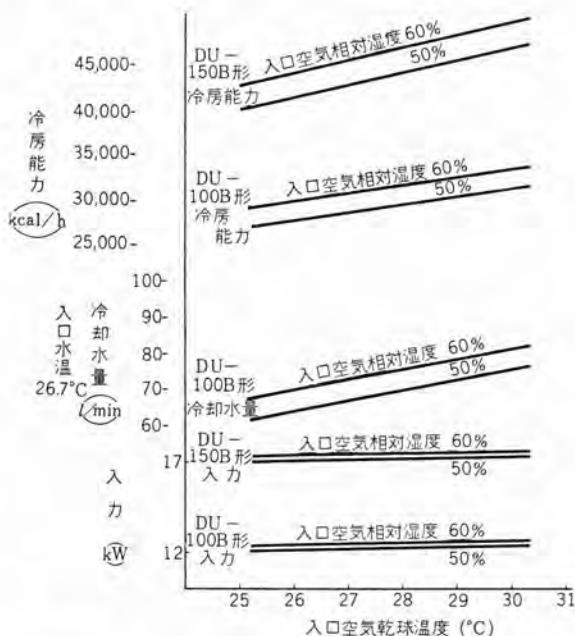


図 5.5 DU 形 ユニテイ 性能曲線 (凝縮圧力 8.4 kg/cm<sup>2</sup>)

Fig. 5.5 Type DU Unitaire performance curve.

表 5.1 送風機性能表  
DU-100B 形 ユニテイ

風量 m <sup>3</sup> /min	送風機回転数 rpm							電動機出力 1.5~2.2 kW
	0	6	12	18	25	28	32	
90	750	850	950	1050	1150	1195	1240	
95	780	875	975	1075	1175	1220	1265	
100	810	900	1000	1100	1200	1245	1290	
105	845	935	1030	1125	1225	1270		
110	880	970	1060	1155	1250			

1. 空調の部分は使用できない範囲である。
2. 太枠の部分は電動機出力 1.5 kW、その他の部分は 2.2 kW となる。
3. 風量の変化 ±10% に対し冷凍能力の変化は ±4% である。

の冷凍機で冷房、暖房を行なう。この ユニテイ は

1. 室外と室内的空気の間で熱の移動が行なわれる。いわゆる air to air 式であるから冷却水はいっさい必要

'60 年形 ユニテイ・河合

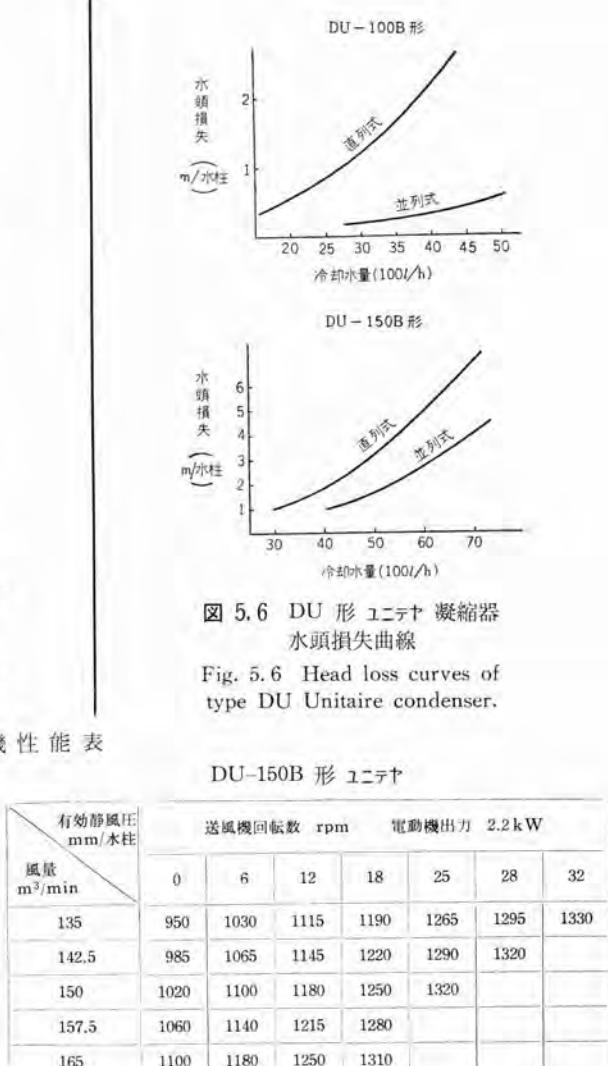


図 5.6 DU 形 ユニテイ 凝縮器  
水頭損失曲線

Fig. 5.6 Head loss curves of type DU Unitaire condenser.

DU-150B 形 ユニテイ

風量 m <sup>3</sup> /min	送風機回転数 rpm							電動機出力 2.2 kW
	0	6	12	18	25	28	32	
135	950	1030	1115	1190	1265	1295	1330	
142.5	985	1065	1145	1220	1290	1320		
150	1020	1100	1180	1250	1320			
157.5	1060	1140	1215	1280				
165	1100	1180	1250	1310				

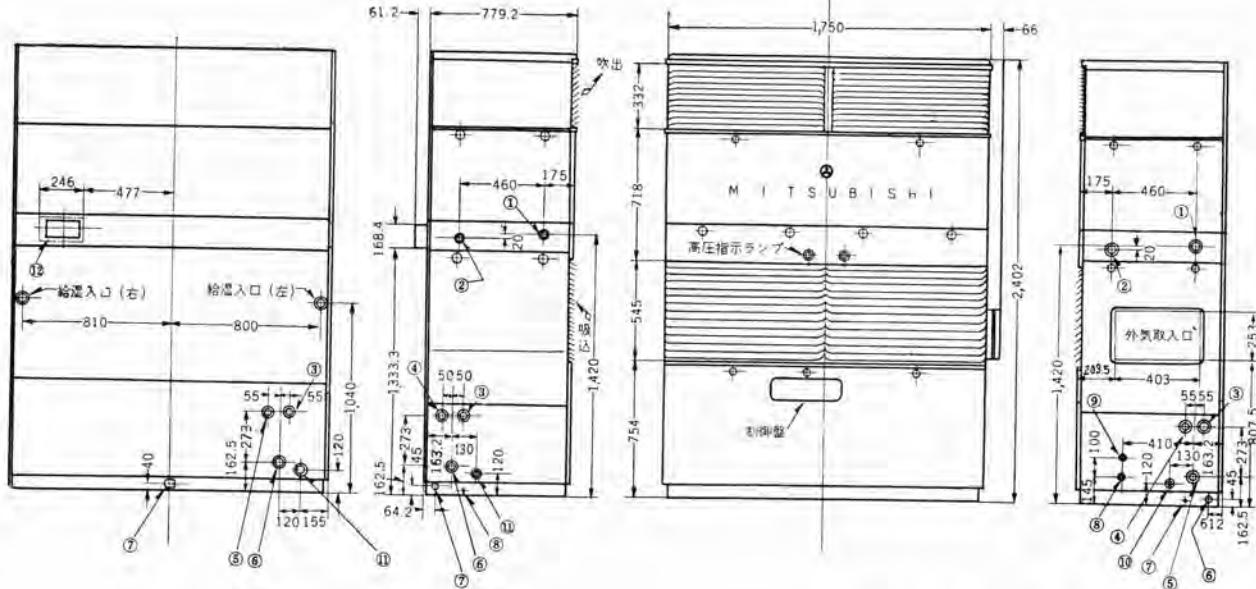
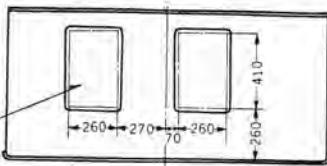
1. 空調の部分は使用できない範囲である。
2. 風量の変化 ±10% に対し冷凍能力の変化は ±4% である。

としない。

2. 冷房、暖房の切換えや設定した温度の調節は、夏冬を問わず全部自動的に行なわれ人手を要しない。

① 蒸気暖房器入口	1½ (ガス管)
温水暖房器出口	1½ (ガ)
② 蒸気暖房器出口	1½ (ガ)
温水暖房器入口	1½ (ガ)
③ 冷却水直列入口、並列出口	1/4 (ガ)
④ 冷却水直列入口、並列出口	1/4 (ガ)
⑤ 冷却水直列入口、並列出口	1/4 (ガ)
⑥ 冷却水直列入口、並列出口	1/4 (ガ)
⑦ 機械室ドレン	1½ (ガ)
⑧ アース用ターミナル	1½ (ガ)
⑨ 電源電線穴	34 mmΦ
⑩ 操作電線穴	21 mmΦ
⑪ ドレーン	1 (ガス管)
⑫ 電熱器ターミナルボックス	

DÜ-150B形(吸込グリル・吹出グリル)



DU-100B 形 (吸込 グリル 吹出 ダクト) (EUP)

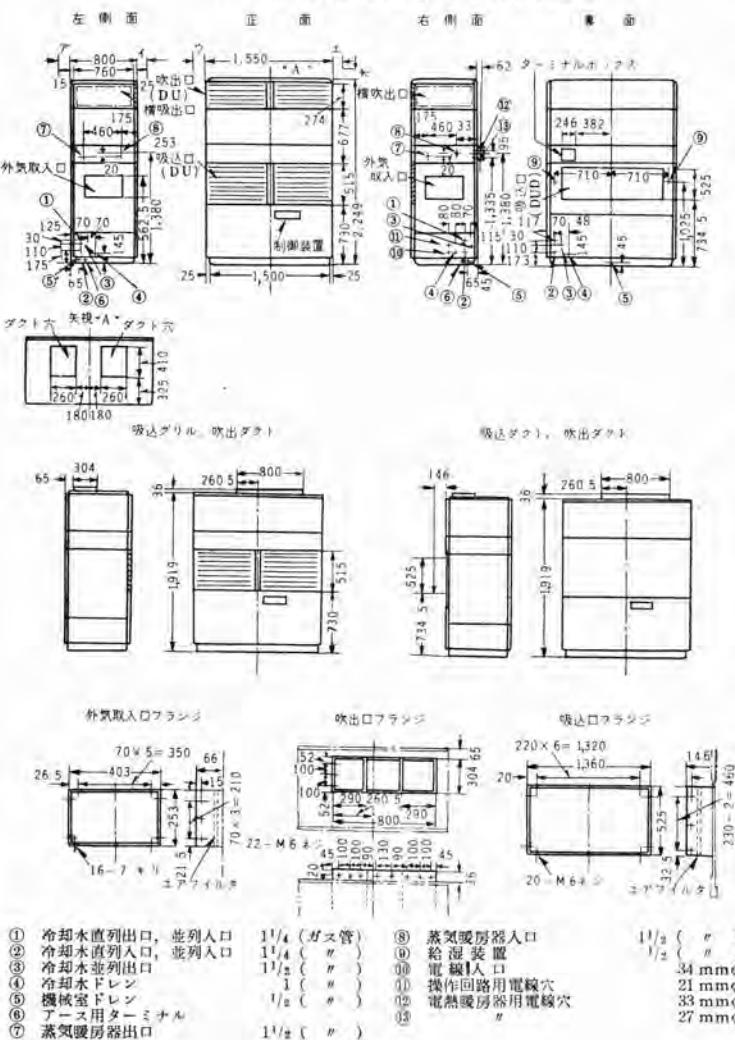
図 5.4 DU 形ユニット外形寸法図

3. 暖房運転の場合 air to air 式ヒートポンプ装置では避けられない、室外側コイルの霜着きによる能力低下は、自動霜取り装置の完成により完全に解決されている。

4. 成績係数は室外温度 0°C くらいでも 2 以上保証されており経済性にすぐれている。などの特長があり、注目を集めている。

## 7. む す び

以上'60年形の三菱ユニテヤの概略の紹介をした。1号機の完成以来約10年を経過したので、その間の経験と実績は、本年度のユニテヤに豊富に取り入れられて、品質性能にすぐれ、使いやすい装置となっている。さらに新しい特長や、用途を持ったユニテヤも開発されて前途を期待されている。今後さらにいっそう開発研究に努力して行きたいと思う。



# '60 年形ウインデヤ

静岡製作所

牛田善和\*・高橋克己\*

## Windaires for 1960

Shizuoka Works

Yoshikazu USHIDA・Katsuki TAKAHASHI

The Mitsubishi Windair is a small air conditioner to be mounted on a window sill. It consists of a totally enclosed compressor, a cooler, an air cooled condenser, a fan and a relay box, all being encased in one cabinet. It permits ready installation at any position because no water piping is required. It serves to warm the room as well as cool it. Production for this year covers six types, of which type RC-04AD is designed small and of low power consumption particularly adaptable to homes. They are all easy to operate with almost no technical skill.

### 1. まえがき

三菱ウインデヤは窓掛式空気調和装置である。美しいキャビネットの中に、全密閉圧縮機、冷却器、凝縮器(空冷式)、送風機、リレーボックス等がコンパクトにおさめられている小形冷房装置である。

したがって家庭の各部屋、バー、小事務所、応接室などを空気調和(主として冷房)しようとする場合、きわめて簡単に取付けることができる。

本年度生産されるウインデヤは、従来より生産されている RA-075B 形 (600 W), RA-10B 形 (750W), および新しく生産される RB-075 形 (600 W), RB-10 形 (750 W), RB-15 形 (1,100 W) の 5 機種、さらに小形家庭用としてホームウインデヤ RC-04AD 形 (300 W) があり、合計 6 機種である。以下これらについてご紹介する。

### 2. ウインデヤの利点

ウインデヤのパッケージ形空気調和装置に対する利点は次のとおりである。

#### (1) 小形軽量であること

単位重量当たり、単位体積当たりの冷房能力が大である。

したがって据付のためのスペースが最小で良い。パッケージ形空気調和装置との比較をすれば表 2.1 のようになる。

#### (2) 電気配線が簡単

据付ける部屋に表 2.2 の容量をもったコンセントがあれ

表 2.1

形名	冷房能力 (kcal/h)	全重量 (kg)	全容積 (m³)	重量当り能力 (kcal/h/kg)	容積当り能力 (kcal/h/m³)
RC-04AD	1,100	39	0.068	28.2	$1.62 \times 10^4$
RB-075	2,000	89	0.15	23.2	$1.33 \times 10^4$
RB-10	2,800	87	0.15	32.2	$1.87 \times 10^4$
RB-15	3,900	95	0.17	41.0	$2.30 \times 10^4$
A社パッケージ	5,300	320	0.71	17.8	$0.75 \times 10^4$
B社パッケージ	13,600	670	2.05	20.2	$0.66 \times 10^4$

表 2.2

形名	電源コンセント容量		
	単相	100V	15A
RC-04AD	単相	100V	15A
RB-075, RA-075B	三相	200V	20A
RB-10, RA-10B	三相	200V	10A
RB-15	三相	200V	10A

ばよい。

#### (3) 配水工事が不要

凝縮器は空冷式であるので冷却水は不要である。また室内から取去った水分(ドレン)の処理も、プロペラファンに付けたスリングギアで自動的に行なうので排水のための配管も不要である。

#### (4) 空気調節可能

ウインデヤは窓に取付けるため室内空気の排出および外気の吸入ができ、室内空気を清浄に保つことができる。

### 3. ウインデヤの効果

ウインデヤの効果には下記の諸点がある。

#### (1) 冷房

室内空気の温度を下げる。

吸入温度 26.5°C

吐出温度 16.0°C (RA-10B 形の場合)

#### (2) 除湿

室内空気中の水分を除去する。

吸入空気中の水分量 13.5 g/m³

吐出 " " 8.0 g/m³

1 時間の空気循環量 480 m³/h

1 時間の除湿量 2.6 kg/h (RA-10B の場合)

#### (3) 外気取入れ

ダンパを開けることにより新鮮な外気を取り入れることができる。(RC-04AD 形を除く)

#### (4) 排気

ダンパを開けることにより室内空気を排出することができる。

## (5) 暖房

電気ヒータにより衛生的な暖房ができる。

吸入空気温度 21°C

吐出 " 32°C (RC-04AD の場合)

## (6) 清淨

室内空気吸入部に付けたエアーフィルタにより、大気中のゴミを取除くことができる。大気中のバクテリヤはこのゴミに付着しているものが大部分といわれているので、バクテリヤも同時に除去することができ、室内空気を清潔に保つことができる。

## (7) 防音

都心では、ウインデヤを取付けることによって窓を締切ることができ、したがって騒音の侵入を防ぐことが可能である。

## (8) 空気循環

送風機だけを回すことにより、部屋の温度を均一にしまたこもった感じをなくすことができる。

## (9) 美観

ウインデヤは和室にも洋室にもマッチする優雅なデザインを持っており、据付により一段と部屋を美しくすることができます。

## 4. RA 形ウインデヤ

### 4.1 構造

RA 形ウインデヤの外観を図 4.1 に、内部構造を図 4.2

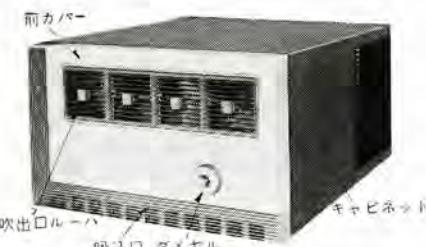


図 4.1 RA 形ウインデヤ 外観

Fig. 4.1 Appearance of type RA windaire.

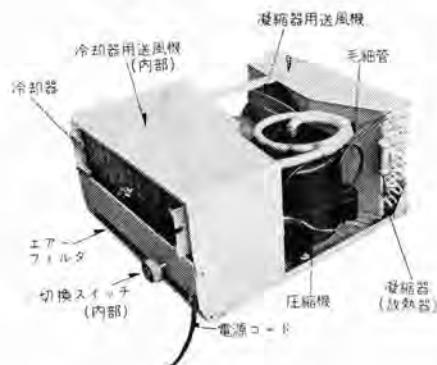


図 4.2 RA 形ウインデヤ 内部構造

Fig. 4.2 Interior construction of type RA windaire.

に示す。前面カバーは淡茶色濃茶色のツートーンカラーのハイインパクトスチロール成形品である。

構造は、高さが低く、奥行の大きい形であり、壁を打抜いて据付ける場合に開口部が小さくてよい利点がある。また和室の欄間を利用して据付けることもできる。デザインは落着いた感じであり、とくに和室に適している。

### 4.2 仕様

RA 形ウインデヤには、RA-075B 形(単相 600 W)と、RA-10B 形(三相 750 W)の 2 機種がある。その仕様は表 4.1 のようである。

### 4.3 運転

運転用ダイヤルを図 4.3 に示す。ダイヤルを回すことにより、送風・冷房・冷房換気を行なうことができる。

冷房換気とは冷房しながら排気、外気取入れを行なわせることである。

また希望により RA-075B 形は 1.3 kW、RA-10B 形は 2.0 kW の電気ヒータを取り付け暖房をすることができる。

### 4.4 圧縮機電動機起動回路

RA-075B 形ウインデヤは電源が単相 100 V であるため、圧縮機電動機(600 W)の起動電流を 33 A 以下にすることが電力会社より要求されている。

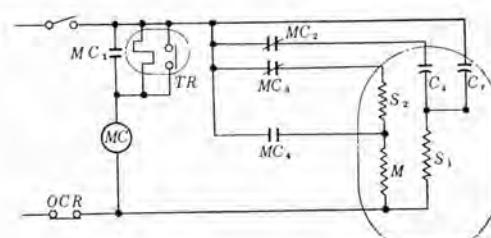
表 4.1 RA 形ウインデヤ 仕様

形名	RA-075B	RA-10B
外形 高さ (mm) 幅 (mm) 奥行き (mm)	382 651 796	382 651 796
圧縮機 電動機出力 (kW) 電源	密閉形 0.6 100V 単相	密閉形 0.75 200V 三相
送風機 室内側 室外側 風量 (m³/min)	多翼式 6	多翼式 7
軸流式	軸流式	
エアーフィルタ 冷凍能力 (kcal/h)	サランニカム紙 R-12 2,000	サランニカム紙 R-22 3,000
全電流 (A)	9.8	4
起動電流 (A)	3.3 以下	プラスチック
前面カバー 本体重量 (kg)	12.0	12.5
最大冷房 可能面積概算表	RA-075B 約 2.0 m²	RA-10B 約 2.6 m²
一般事務室 和室 銀 行 食堂、喫茶室 美容院	約 1.0 m² 約 1.5 m² 約 6 人席 約 1.3 m²	約 1.5 m² 約 2.1 m² 約 8 人席 約 1.8 m²



図 4.3 RA 形ウインデヤ ダイヤル

Fig. 4.3 Dial of type RA windaire.



MC 電磁接触器  
OCR 過電流继电器  
TR 热延时继电器  
S1, S2 起动卷线  
M 主卷线  
Cr 運転用コンデンサ  
C3, C4 起动用コンデンサ

図 4.4 圧縮機電動機起動回路

Fig. 4.4 Compressor motor starting circuit.

このため圧縮機電動機は特殊巻線および特殊起動回路を持っており、起動電流が小さいにもかかわらず大きな起動トルクを出すことができる。図4.4に起動回路を示す。

RB-075形にもこの電動機を用いている。

## 5. RB形ウインデヤ

### 5.1 構造

RB形ウインデヤの外観を図5.1に、内部構造図を図5.2に示す。

デザインは淡緑色、濃緑色のツートーンカラーであり、非常に明るい感じである。

構造は、高さが高く、奥行の小さい形であり、いわゆるthin typeである。窓に取付けたとき、わずかしか窓外に本体が突き出さないでよい利点がある。

また外気は後下部吸込、上部吐出であるので、窓から本体を出さずに据付けることも可能である。

前面にはわが国にて初めての画期的なオーツイシング装置が取付けられている。すなわち吹出ルーバ後部に、小型モータによって駆動され、風の吹出方向を約5秒おきに右方向から左方向へと自動的に変えることのできる装置がある。これによって部屋の温度をすみずみまで均一に保つことが可能である。

また構造の各部分には非常に多くプラスチック成形品が用いられ、原価低減・品質の向上・重量軽減に役立っている。



図5.1 RB形ウインデヤ外観

Fig. 5.1 Appearance of type RB windaire.

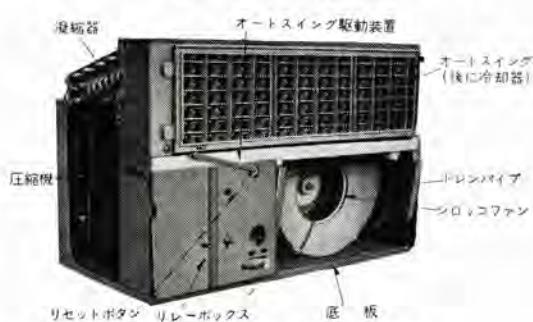


図5.2 RB形ウインデヤ内部構造

Fig. 5.2 Interior of type RB windaire.

### 5.2 仕様

RB形ウインデヤには、RB-075形(単相600W)、RB-10形(三相750W)、RB-15形(三相1,100W)の3機種がある。このうちRB-15形の1,100Wという容量はわが国にて最大のものである。

仕様を表5.1に示す。

表5.1 RB形ウインデヤ仕様

形名	RB-075形	RB-10形	RB-15形
冷媒機	密閉形	密閉形	密閉形
電動機	0.6 kW	0.75 kW	1.1 kW
電源	100 V 単相	200 V 三相	200 V 三相
全電流	約 9.8 A	約 4 A	約 6.2 A
起動電流	約 30 A		
凝縮器	空冷銅管アルミフィン	空冷銅管アルミフィン	空冷銅管アルミフィン
送風機	輪流式	軸流式	軸流式
冷却器	銅管アルミフィン キャビラリチューブ	銅管アルミフィン キャビラリチューブ	銅管アルミフィン キャビラリチューブ
送風機	多翼式	多翼式	多翼式
風量	約 6 m³/min	約 7.5 m³/min	約 10.5 m³/min
冷媒	ジクロロジプロロ メタン R-12	ジクロロジプロロ メタン R-22	ジクロロジプロロ メタン R-22
冷凍能力	2,000 kcal/h	2,800 kcal/h	3,900 kcal/h
ドレン	凝縮器吹付形	凝縮器吹付形	凝縮器吹付形
外形寸法	幅 690×奥行 440 ×高さ 485 mm	幅 690×奥行 440 ×高さ 485 mm	幅 690×奥行 503 ×高さ 485 mm
仕上げ	鋼板メラミン焼付、 前面プラスチック	鋼板メラミン焼付、 前面プラスチック	鋼板メラミン焼付、 前面プラスチック
本体重量	88.5 kg	87.3 kg	95 kg
電気料金 (1ヶ月)	約 2,200 円	約 1,400 円	約 2,000 円
入力	0.92 kW	1 kW	1.73 kW
最大冷房可能面積概算表			
一般事務室	約 20 m²	約 26 m²	約 40 m²
和室	約 10 m²	約 15 m²	約 20 m²
銀行	約 15 m²	約 21 m²	約 30 m²
食堂、喫茶店	約 6 人席	約 8 人席	約 12 人席
美容院	約 13 m²	約 18 m²	約 26 m²

### 5.3 運転

RB形ウインデヤの運転用ダイヤルを図5.3に示す。

右側の大きいダイヤルが主ダイヤルで、これによって送風・冷房・冷房外気・外気・冷房排気・排気を行なわせることができる。図5.4に排気、図5.5に外気取り入れの場合の空気通路を示す。

主ダイヤル中央のボタンを押すとオーツイシングが運転を始め、ふたたび押すと停止する。

中央のダイヤルは送風機速度調整用ダイヤルで、リアクタにより速度を8段に変えることができる。

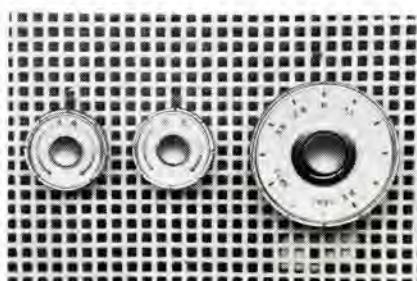


図5.3 RB形ウインデヤダイヤル

Fig. 5.3 Dial of type RB windaire.

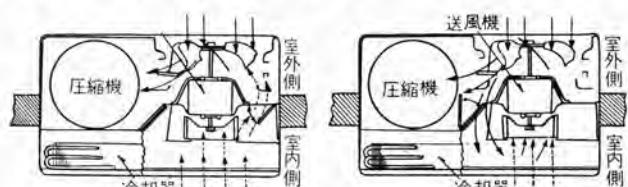


図5.4 空気通路(排気時)

Fig. 5.4 Air path (in exhausting air).

図5.5 空気通路(外気取り入れ時)

Fig. 5.5 Air path (in freshening in air).

左側の ダイヤル は温度調節器用でありこれによって室温を希望の温度に保つことができる。

また電器ヒータを取り付けることにより暖房を行なうことも可能である。

## 6. RC 形ホームウインデヤ

ホームウインデヤ は家庭向き ウインデヤ という意味である。従来ウインデヤ は 600 W 以上が必要であるといわれていた。しかし、昨年度生産した RC-04 形 ホームウインデヤ の使用結果では、容量が 300 W でも正しい使い方をすれば、快適な環境が作られること、とくに寝室などには最適であることがわかった。

たまたま アメリカにおいても数社の メーカー が Portable type として容量 400 W、能力 4,200 BTU(1,050 kcal/h)、冷房可能面積 140~180 ft<sup>2</sup>(8~10 帖)という Room Air-conditioner を生産したことから見ても、今後わが国では家庭用として 300~600 W 級の空気調和装置が普及するのではないかと思われる。

### 6.1 構 造

RC 形 ウインデヤ の外観を図 6.1 に、内部構造を図 6.2 に示す。

デザインは RB 形と同じく緑色、濃淡の ツートーンカラー である。

構造も RB 形に似ているが、全体が非常に小形軽量に作られており、持ち運びもできるよう台板に手のはい



図 6.1 RC 形 ウインデヤ 外観

Fig. 6.1 Appearance of type RC windaire.

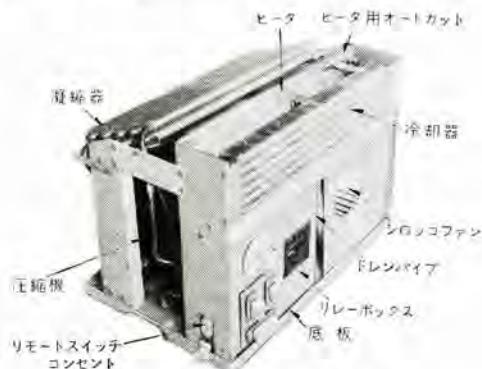


図 6.2 RC 形 ウインデヤ 内部構造

Fig. 6.2 Interior construction of type RC windaire.

表 6.1 RC 形 ウインデヤ 仕様

形 名		三菱 RC-04AD 形ホームウインデヤ
冷 運 機		全密閉形中吊スコットヨーク式
電 動 機	機 源	2 P 300 W SCL モータ 100 V 1 φ 50/60 c/s
送 風 機 用 電 動 機	電 流	4 P 30 W SL モータ 冷房時 6 A 暖房時 11 A 18/19 A
起 動 電 流	吐 出 風 量	4/4.6 m <sup>3</sup> /min 1,000/1,100 kcal/h
冷 房 能 力	暖 房 能 力	1 kW 0.8 kW
除 湿 能 力	排 気 風 量	0.8 l/h 0.8 m <sup>3</sup> /min
冷 房 装 置	媒 法	ジクロロ、ジプロロメタン (R-12)
外 形 尺 度	幅	550 × 高さ 400 × 奥行 388 (mm)
主 押しボタンスイッチ(4 点)	断	送風、冷房、暖房
排 気 装 置	押しボタン式	ダンバ機構
速 度 調 整 装 置	2 段調整	
エアーフィルタ	サランネット	
吹 出 ル ー バ	プラスチック 4 枚 90 度風向変更可能	
送 風 機	室内側シロコッファン 室外側(プロペラファン)	
タ イ ム ス イ ッ チ	接 2 時間一断 (モータ駆動式)	
リ モ ト ス イ ッ チ	着脱自在コード 3 m 付	
バイロットランプ	運転表示	
キ ャ ピ ネ ッ ト	高級仕上鋼板メラミン樹脂塗付塗装	
冷 房 可 能 面 積	居間 4.5 豊 寝室 8 豊	
重 量	約 39 kg	
付 属 品	取付ワク、取付ガスケット、バイロットランプ(予備)	

る凹みが設けてある。

### 6.2 仕 様

RC 形 ホームウインデヤ は RC-04AD 形 (単相 300 W) の 1 機種である。仕様を表 6.1 に示す。

### 6.3 運 転

前面 スイッチパネル 部を図 6.3 に示す。

下部の押しボタンスイッチにより、送風・冷房・暖房を行なうことができる。暖房用には 1 kW のアルミカヒータ が最初から装着してある。

中央右の押しボタンスイッチは送風機速度調整を行なうものであり、強弱 2 段に速度を変えることができる。

中央左の押しボタンは排気用のものである。

上部 ダイヤル はわが国最初の タイムスイッチ であって、ワレンモータ 駆動により 2 時間以内の希望の時間後に運転を停止することができる。

また着脱自在 プラグ付リモートスイッチ が取付けてある。リモートスイッチ のうら側にはマグネットが装着されており鋼製部分に吸着されるので使用に一段と便利である。

### 7. む す び

以上簡単ではあるが本年度生産される ウインデヤ について説明をした。ウインデヤ は“最終家庭電化製品”としてその将来を期待されているものである。今後開発研究に力を入れすぐれた製品を発表して行きたいと思う。

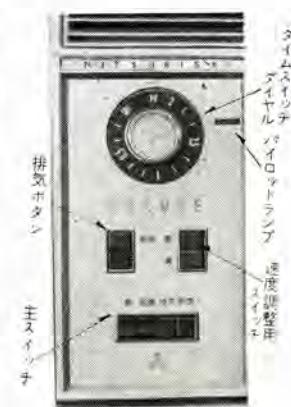


図 6.3 RC 形 ウインデヤ スイッチ・パネル

Fig. 6.3 Type RC windaire switch panel.

# L バンドのレーダ装置における 送受信切換回路

無線機製作所 井上義男\*・田原清一\*

## The Duplexer for L-Band Radar

Electronics Works Yoshio INOUE · Kiyokazu TAHARA

The radar duplexer must have function of feeding echo signals efficiently into receiver systems as well as interrupting and protecting them from high power transmitted pulses. In this article are given the results of studies on the design and actual characteristics on each of the components of L-band radar duplexer built by Mitsubishi. The principal discussion lies in the investigation of the performance of the apparatus during receiving. As a result numerous pieces of information have been made available, based on which it has become successful to bring down the over-all transmission loss of the duplexer of the L-band radar to the value below 0.8db.

### 1. まえがき

レーダにおける送受信切換回路は、受信機系とくに受信信号混合器の鉱石検波器を送信大電力パルスから遮断、保護し、受信信号に対しては、能率よく受信機へ信号を伝達するように設計される。

普通この回路は、図1.1に例示してあるようにTR空洞部分、pre TR管、ATR空洞部分およびこれらを接続する導波管回路などから構成されている。近時Lバンドのレーダは、数MW以上の大電力パルスが使用される傾向にあり、これとともに前者の機能を満たすためにTR空洞部やpre TR管を数回並接続して使用することもある。一方後者の機能を完全にするためには、各構成素子が、そのために十分な注意がはらわれて製作されていることが必要である。

以下本文では、当社で製作しているLバンド・レーダの送受信切換回路各構成素子について、設計方式ならびに動作特性を述べ、主として、受信時の性能を再検討している。

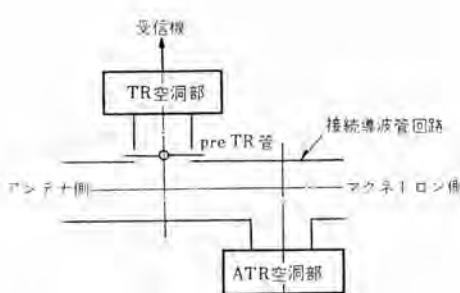


図1.1 送受信切換回路の一例  
Fig. 1.1 Block diagram of duplexing circuits.

### 2. TR 空洞部分

#### 2.1 動作の概要

TR管部分は、放電間隙をもつTR管と、共振空洞を組合せた形のものや、導波管の内部にTR管の放電間隙とアリス板を適当に組合せて、帯域渦波器を形成しているものなどが使用されているが、Lバンド・レーダでは、もっぱら前者の形のものが多く、ここで述べるものも主として、TR管BL-25を使用したこの形のTR空洞である。

#### (1) 受信時の動作

TR空洞部の等価回路は、図2.1で表わされる。図中で、 $L_0$ 、 $C_0$ 、 $R_0$ は共振空洞の等価インピーダンス、 $G_t$ 、 $G_r$ はこれに接続される電源および負荷のアドミタンスである。共振空洞の入出力結合回路は、一般にループまたは窓による結合が用いられるが、図では、この回路をアドミタンス $jB_1$ 、 $jB_2$ で表わしている。

受信時には、この回路は受信周波数で共振するように調整されているので、入力アドミタンスは、

$$G_i = \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^2 G_t + R_0 B_1^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

となる。普通、共振空洞の $R_0$ は非常に小さいので、第2項を無視できるものとすると、この回路は単純なアドミタンス変成器として動作し、

$$G_i = \left( \frac{B_1}{B_2} \right)^2 G_t \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

になるよう $B_1$ 、 $B_2$ を選べば、受信電力は、もっとも効率的に負荷 $G_t$ に伝達される。

\* 機器製造部

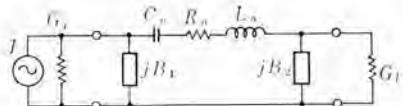


図 2.1 受信時の等価回路

Fig. 2.1 Equivalent circuit in receiving period.

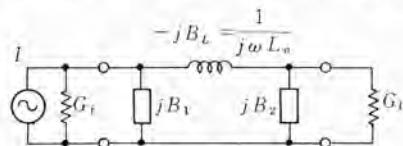


図 2.2 送信時の等価回路

Fig. 2.2 Equivalent circuit in transmitting period.

## (2) 送信時の動作

送信時においては、送信大電力によって放電間隙に放電がおこって、等価回路では  $C_0$  が短絡されることになる。したがって、送信時の等価回路は図 2.2 のようになり、入力アドミタンスは次式で表わされる。

$$Y = jB_1 + \frac{(g_1 + jb_2)(-jb_L)}{g_1 + i(b_2 - b_L)} \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

ただし、 $b$ ,  $g$  は  $G_t$  によって normalize した各アドミタンス量を示す。

一般に、TR 空洞では、 $b_1, b_2 \gg 1$  にとるから

$$Y = g_1 \left( \frac{b_L}{b_2} \right)^2 - jb_L + jb_1 \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

したがって、整合負荷の場合に伝達される電力を  $P_0$  とすると、送信時に負荷に伝達される電力  $P$  は、

$$P = \frac{4g_1 b_L^2}{b_1^2 b_2^2} \cdot P_0 \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

で、 $b_1, b_2 \gg 1$  であると非常に大きい損失を与えられることになる。

## 2.2 共振空洞の設計

L バンドの TR 管としては、BL-25 など共振空洞外付きの Cell type 管が多いようである。したがって、共振空洞は TR 管との組合せのために、その中央部の寸法はほとんど制限されてしまい、図 2.3 に示すような偏平な凹形空洞となる。この種の凹形空洞共振器の計算には、多くの既存文献がある。

図 2.4 は、文献 (2) を参考として設計、製作した空洞

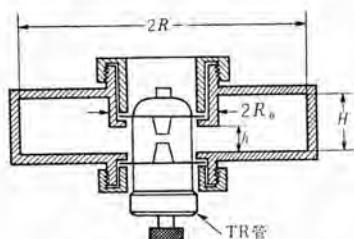


図 2.3 TR 共振空洞の一例

Fig. 2.3 Cross section of a TR cavity.



図 2.4 TR 共振空洞

Fig. 2.4 TR cavity.

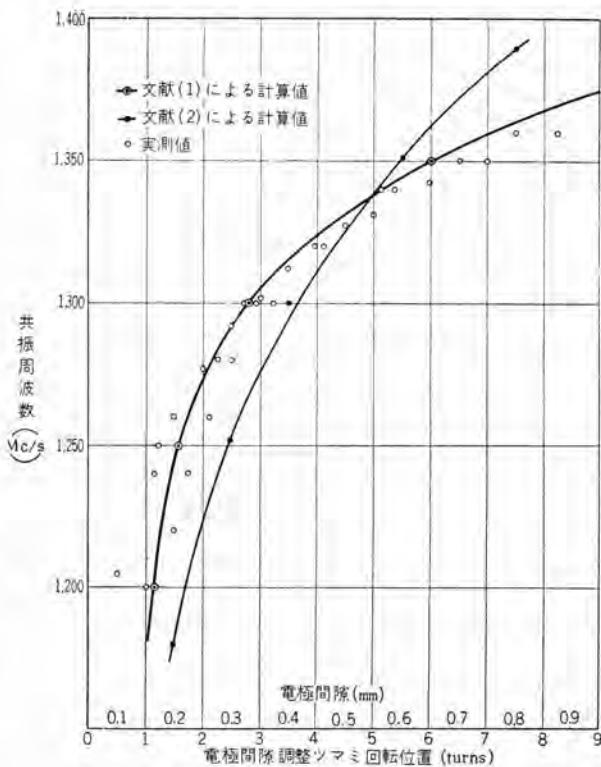


図 2.5 TR 空洞共振周波数

Fig. 2.5 Resonating frequency of the TR cavity.

である。この空洞の共振周波数を実測した結果を図 2.5 に示してある。図中、実線は文献 (1) および (2) を参考として計算した設計値であるが、このような寸法のものでは、前者のほうがより良い近似を示している。しかし、設計にあたっては、後者のほうがはるかに計算が安易であり実用上もほとんど支障がない。

なお、これらの計算では、入出力回路素子による共振周波数の変化は考慮していないが、これを考えに入れるとき、共振波長  $\lambda$  は次のようになる。

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = 1 - \frac{1}{2} \frac{1}{\omega L_0 B} \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

ただし、 $\lambda_0$ : 入出力回路素子を考慮しないときの共振波長

$$1/B = 1/B_1 + 1/B_2$$

$L_0$ : 共振空洞の等価インダクタンス

$\omega$ : 角周波数

しかるに、TR 空洞においては、式 (2.6) 右辺の第 2 項は非常に小さくなるので、ほぼ  $\lambda \approx \lambda_0$  として、入出力回路素子の影響は考慮しなくてもよい。

## 2.3 入出力回路素子の決定

動作周波数が共振空洞によって決定されるのに對して動作性能の良否は、入出力回路素子によって決定される。このことは、式 (2.1), (2.2) および (2.5) より受信時の伝送特性および送信時のシャ断特性が

$B_1, B_2$  の関数であることから明らかである。シャ断特性を良くするためには、 $B_1, B_2$  の大きいことが望まれるが、式(2.1)において  $G_0/B_2^2 \gg R_0$  でなければ受信時の伝送損失が増大する。一般に、 $R_0$  は非常に小さい値があるので  $B_2$  をかなり大きくしても、受信時の伝送損失にはあまり大きく影響しないが、シャ断量の不足は pre TR 管などの組合せによって補償できるので、この場合、受信時の伝送損失を主眼にして  $B_1, B_2$  を決める。

当社の L バンド・レーダでは、この帯域のものによくみられるのと同じく、入力導波管回路から窓結合素子を介して接続され、出力側はループ素子によって、受信信号混合器の同軸形クリスタルマウントに連結される回路構成としている。したがって、上記諸式で与えられる  $B_1, B_2$  は、つぎのような近似式で物理的に実現される。

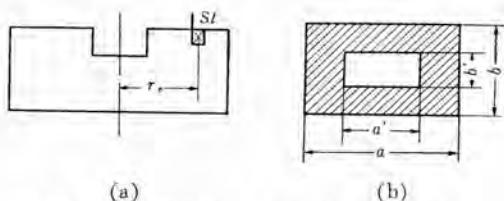


図 2.6 共振空洞と結合ループおよび結合窓

Fig. 2.6 Cavity coupling elements  
(a) loop-coupling. (b) iris-coupling aperture.

すなわち(図 2.6 参照)

$$\left. \begin{aligned} jB_1 &= -j\frac{\lambda_0}{a} \cdot \left(\frac{b}{b'}\right) \cdot \left(\frac{a}{a'}\right)^2 \cdot f(r) \cdot Y_0 \\ jB_2 &= -j/\omega \cdot \left(\frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{S_l}{r_l}\right) \end{aligned} \right\} \cdots (2.7)$$

ただし、 $a, b$ : 矩形導波管の寸法

$a', b'$ : 窓の寸法

$f(r)$ :  $r = b'/a'$  の関数

$S_l$ : ループの閉む実効面積

$r_l$ : 空洞の中央電極とループの面積中心との距離

$\mu_0$ : 透磁率

上式で与えられた入出力回路素子を図 2.4 の共振空洞に適用して、負荷(同軸形クリスタルマウント)に対して入力端よりみたインピーダンスを実測したところ、図 2.7 の曲線(1)のようであった。さらに、入力窓の寸法を変えて実測した値をも同図に付記したが、ほぼ計算値が近似しているようであった。しかし、最適値を得るために、実験的な補正が必要で上の実験でも少し結合窓を大きくしたほうが有利なことが推察される。図 2.8 は、上記の状態でさらに出力側ループ結合素子の有効結合面積を変えたときの状況を実測値から plot したものである。

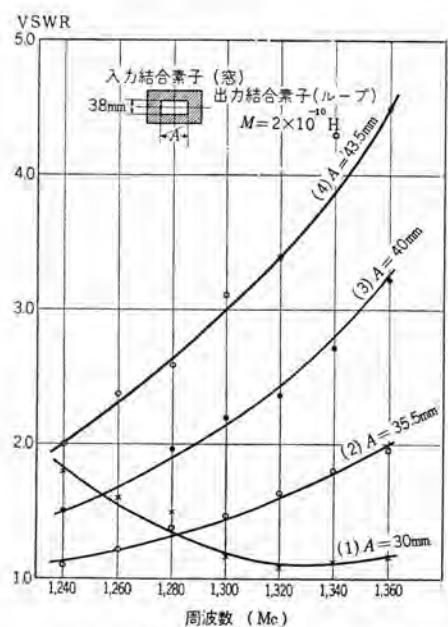


図 2.7 TR 空洞の入力インピーダンス  
Fig. 2.7 Input impedance of the TR cavity.

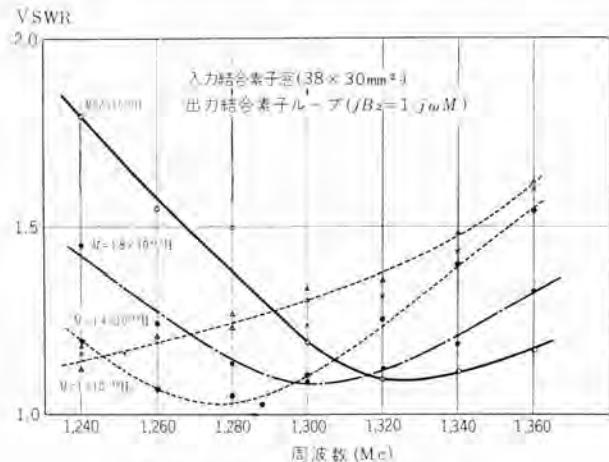


図 2.8 TR 空洞の入力インピーダンス  
Fig. 2.8 Input impedance of the TR cavity.

### 3. pre TR 管および接続導波管

#### 3.1 pre TR 管

pre TR 管は、共振窓からなる簡単なものである。

図 3.1 は L バンドで使用される pre TR 管の一例である。この入力アドミタンスは、次式で表わされる。



図 3.1 Pre TR 管

Fig. 3.1 Pre TR tube.

$$\frac{Y}{Y_0} = 1 + 2jQ \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \cdots (3.1)$$

ただし、 $Y$ : 入力アドミタンス

$Y_0$ : 特性アドミタンス

$Q$ : 共振窓の  $Q$

$\omega_0$ : 共振角周波数

$$= 2\pi f_0$$

$$\Delta\omega: \omega - \omega_0$$

受信時には、式(3.1)に従って負荷に受信電力を供給するが、送信時には、大電力のため共振窓の中央部に放電が起つて負荷側に達する電力は数十db以上の減衰をうける。

### 3.2 分岐導波管

上述の TR 部および pre TR 管は、主送信線路に対して導波管形 T 分岐回路で接続されるのが普通である。T 分岐導波管の一例を図3.2に示してある。また、これらの等価回路は、分岐が導波管の E面または H面にあるのに応じて、それぞれ図3.3のようになる。分岐側導波管の寸法が主導波管と同じであるとすると、H分岐の場合は  $T_B'$  面において、 $-jX'$  となるよう ATR 空洞

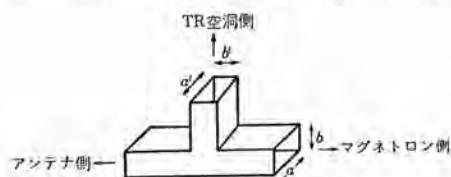


図3.2 T形分岐回路

Fig. 3.2 T-junction of three rectangular quides.

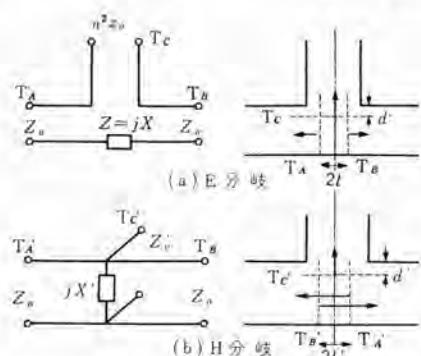


図3.3 等価回路とその側面図

Fig. 3.3 Equivalent circuits of T-junctions.

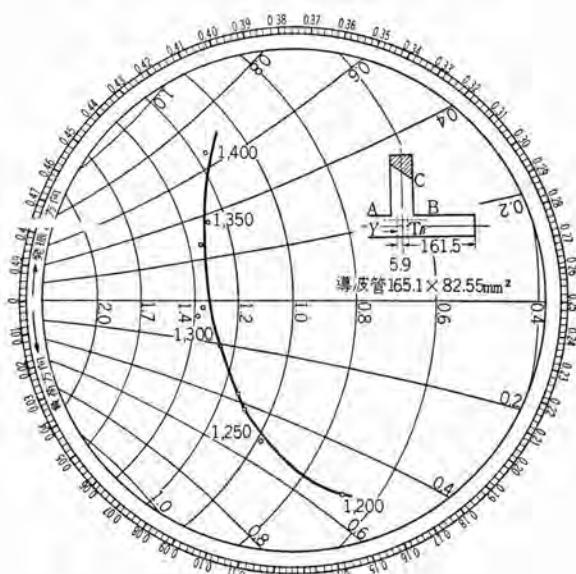


図3.4 分岐側を見たアドミタンス

Fig. 3.4 Admittance of T stub waveguide.

またはマグネットロンの位置を設計する。E分岐では、 $T_B$ 面で $-jX$ となるように設計しても  $T_C$ 端に  $n^2Z_0$  を接続しなければ整合状態が得られない。図3.4は、中心周波数で $-jX$ となるような短絡導波管を  $T_B$  端に接続したときの E 分岐導波管の特性例である。

### 4. ATR 空洞部およびその他の部分

ATR 管およびその共振空洞は、TR 管およびその共振空洞とまったく同じで、ただ負荷回路がないのが異なるだけである。したがって、共振空洞の設計は、TR 共振空洞の場合とまったく同様である。負荷回路がないので共振時の入力インピーダンスは無限大になる。これを主送信線路に対して、たとえば前項と同じ T 形 E 分岐導波管によって結合させると、アンテナ側からみたインピーダンスはマグネットロン側のいかんにかかわらず分岐の  $T_A$  面で開放状態となり、この面より

$$-jY = -jZ_0 / \tan \frac{2\pi L}{\lambda_g} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ただし  $Z$ ；導波管のインピーダンス

$\lambda_g$ ；管内波長

$-jX$ ；TR 空洞側接続 T 分岐導波管の等価リアクタンス

となる距離  $L$ だけアンテナ側に移動した位置に、TR 空洞側接続 T 分岐導波管の  $T_B$  端がくるようにすると、前項のような受信状態の伝送回路ができる。

当社のレーダでは、マグネットロンと送受信切換回路との距離が非常に小さくとれる構造になっているので、マグネットロンのインピーダンスが、発振動作時と停止時とで、大きく異なることを利用して、受信時、すなわち、マグネットロンの発振停止時に、TR 管への分岐の  $T_B$  面からマグネットロンをみたインピーダンスが、 $-jX$ となるようマグネットロンまでの距離を設計して、ATR 空洞の回路を省いている。

### 5. 総合の特性

以上に、送受信切換回路の主要な各構成素子についての設計方式ならびにその特性について述べてきたが、L バンドのレーダは、送信周波数可変のものがそのほとんどであるため、その周波数帯域における各部の特性を考慮しつつ全回路の設計を行なわなければならない。

ここで、各部の相対関係を知るために、上述の実測値または計算値について、その概略の周波数に対する傾向を再考してみると、図5.1のようになる。(a)は、TR 部の入力アドミタンス特性で、受信周波数で共振して純コンダクタンスとなるがかなりの周波数特性をもっている。(b)は、pre TR 管の特性で、純セラペタスとなる。

また(c)は、分岐部分の特性である。たとえば、TR管とpre TR管だけについて考えると、その相互間を約 $3/8\lambda_g$ 長さの導波管で接続するときは、全周波数にわたってほぼ整合状態に近づけることができるが総合としてはT分岐部分その他の特性がそのまま残ることになる。したがって、総合的に相互関係を考察する必要がある。

図5.2は、これまでに述べた設計方式ならびに相互関係についての考察に従って改造した切換回路の外観である。周波数1,250Mcないし1,350McにおいてTR部は、図5.1の(a)曲線のような傾向を示し、VSWR1.9以下、挿入損失約0.5db以下であった。また、pre TR管とTR部との接続導波管長さは中心周波数において約 $1/4\lambda_g$ とし、E分岐回路によって空中線よりの導波管と接続することにしている。分岐部のインピーダンス整合もかなり良く、pre TR管を含めて挿入損失約0.3db

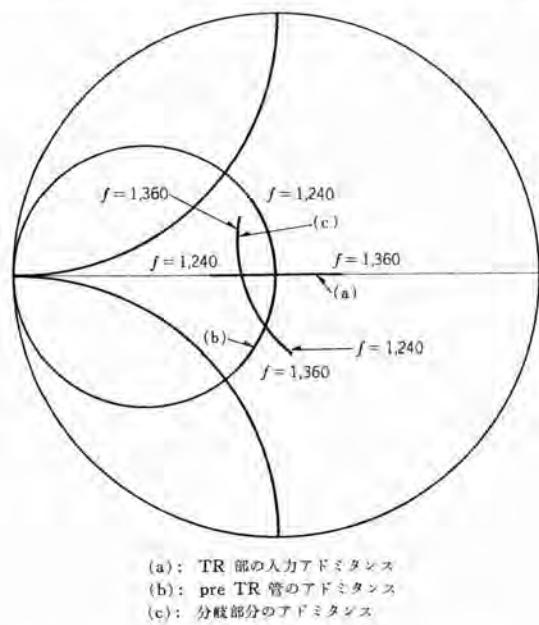


図5.1 アドミタンス図

Fig. 5.1 Admittances of a duplexer elements.

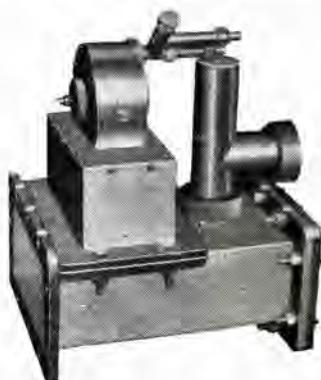


図5.2 送受信切換回路

Fig. 5.2 Duplexer.

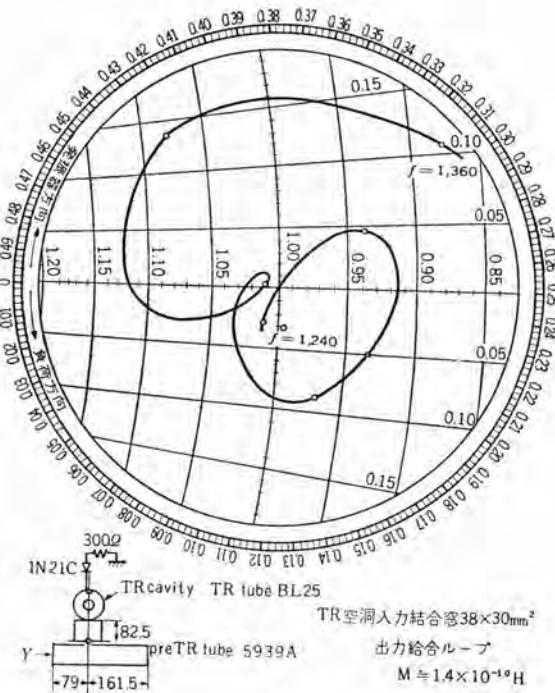


図5.3 送受信切換回路総合入力アドミタンス(受信状態)  
Fig. 5.3 Input admittance of the duplexer in receiving period.

程度となり、総合では、図5.3に示すようにVSWR1.16以下のインピーダンス特性をもち、挿入損失0.8db以下であった。

## 6. む す び

Lバンドのレーダ装置における送受切換回路について、動作解析ならびに設計式について述べ、これに従って、当社で製作している同種の回路について、主として、受信時の特性について再検討を試みた。

これらの各構成素子の特性についての記述は、本文に示した比較的簡単な組合せの回路のほかに、さらに複雑な構成の送受信切換回路の設計にも応用できるものと考える。

最後に、長期にわたってこの回路の設計ならびに実験にあたり、ご助言をいただいた第二技術課権本課長はじめ関係者各位に謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) Waveguide Hand book, MIT series 10.
- (2) 藤沢和男: 四形空洞共振器の精密なLCR並列等価回路、「通信誌」4(昭28).
- (3) Klystron and Microwave Triode, MIT series 7.

# 400 Mc FM 狹帯域無線機(1)

## (FS-7D 形固定用および FM-7D 形移動用)

無線機製作所  
佐藤晋\*

・黒田忠光\*\*  
吉田元之\*\*\*・桂川弘\*\*\*

### 400 Mc-FM Narrow Band Radio Telephones, Type FS-7D for Base Station and Type FM-7D for Mobile Use (Part 1)

Electronics Works

Susumu SATO • Tadamitsu KURODA  
Motoyuki YOSHIDA • Hiroshi KATSURAGAWA

Wonderful is the progress in electronics after the World War II. Particular narrow band mobile radio of FM system has made great strides with its improved performance and small size. However rapid increase in demand of the communication of the kind has made it difficult to find adequate allocation of frequencies of 60 Mc and 150 Mc with which communication has been working. Then the authorities have made a new allocation of 400 Mc band for mobile service, as this band has come in use in foreign countries recently. Mitsubishi, coping with new applications, has developed type FS-7D and type FM-7D radio telephones for fixed and mobile use respectively for this 400 Mc narrow band FM apparatus. The power put of the apparatus is 20 or 10 W (FS-7D) and 10 W (FM-7D), being suitable for 50 kc separation. The performance meets the technical specification published by the authorities on Oct. 5, 1959.

#### 1. まえがき

第二次大戦後の電子技術の進歩はまことにめざましいものがあり、とくに FM 方式の狭帯域移動無線機は性能の向上と小形軽量化の点でいちじるしく改良され、容易に移動して迅速確実に通話連絡ができる特長を生かして、公共の安全保持と会社業務の能率向上に利用するため広く使用されている。しかし VHF 帯（とくに 60 Mc 帯および 150 Mc 帯）では、周波数割当間隔をせばめたり選択呼出方式を採用するなどして、できるだけこの周波数帯の利用をはからっても、なおかつ急速に増加する新規の需要に応じきれないほど周波数割当が窮屈になってきている。そこで新たに 400 Mc 帯がこれら用途に対して開放されることになった。この周波数帯は各国でも最近になって使用されるようになったもので、アメリカではさらに 960 Mc 帯が移動無線用として適当かどうかの検討がなされている。

新しい周波数帯を効果的に利用するためには、技術的に可能な周波数割当間隔に基づいた機器設計基準を確立して、これを満足する機器が製造されることが必要である。このため、わが国では国産 400 Mc 帯 FM 狹帯域無線機に対する技術基準を定める目的のもとに、昭和 33 年 6 月に郵政省電波監理局から電子機械工業会に対して

50 kc セパレーションに適合するための技術基準の諮問があった。これに対する答申案を基礎にして昭和 34 年 10 月 5 日付の郵政公報（電波版）第 989 号によって“陸上課所管の 400 Mc 帯を使用する移動業務の局および同報通信を行なう固定局に対する周波数の使用方針について”が公布された。これによれば 400 Mc 帯は便宜上、つぎの 3 バンドに分けられている。すなわち A バンド 364.5～365.6 Mc, B バンド 372.5～373.6 Mc, C バンド 414.5～415.5 Mc で周波数間隔は 50 kc である。

この郵政公報に記載された技術基準を満足する機器として、当社で初めて開発したのが FS-7D 形固定用および FM-7D 形移動用の 400 Mc/FM 無線機である。以下本文においてこの種無線機の設計上考慮した事項を説明するとともに機器の概要を紹介し、さらに将来の問題についても言及したい。

#### 2. 設計上考慮した事項

##### 2.1 郵政省技術基準

郵政省によって定められた 50 kc セパレーションの 400 Mc 帯陸上移動業務用無線機に対する技術基準は表 2.1 のようである。これは今後、電波法関係規則（たとえば無線設備規則および無線機器型式検定規則）の改正が行なわれるときにその骨子となるべきものであって、その

表 2.1 400 Mc 帯 50 kc セパレーションを行なうための郵政省技術基準

区分	項目	基 準 値 注(1)	
		現 在	将 来
送信機	周波数許容偏差	$2 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$
	最大周波数偏移	12 kc 以下	左と同じ
	不要ふく射強度	バンド内 -80 db 注(2) バンド外 -60 db	左と同じ
	占有周波数帯幅	30 kc	左と同じ
受信機	選択性特性	±25 kc 70 db 注(3)	左と同じ
	感度抑圧効果	50 kc 80 db 注(3)	左と同じ
	相互変調特性	50 kc 60 db 注(c)	50 kc 65 db
	スプリアス感度	70 db 注(3)	80 db

備考：昭 34.10.5 郵政公報電波版第 989 号による。

注(1) 1W 以下の出力規格の真空管を終段に使用する送信機およびそれに専用される受信機については、適用しない。

注(2) バンド内とは、A, B, C の各独立バンド内の値を示し、バンド外としては、2 倍波までの値を示す。  
A バンドは 364.5~365.6 Mc  
B バンドは 372.5~373.6 Mc  
C バンドは 414.5~415.5 Mc

注(3) 努力目標を示す値であって、今後、約 1 年間に性能試験を行なって、その後改めて値を定める。

ためにも技術基準を満足する機器を設計製作することが絶対に必要である。

## 2.2 トランジスタ化に対する検討

トランジスタは消費電力が少なく小形軽量であるという利点があり、150 Mc 帯以下の移動用無線機に実用されている。しかし現在、国産市販品として入手できるのはゲルマニウム・トランジスタであるが、その最大の欠点は動作時の周囲温度を高くできないことにあり、現在の技術レベルでは約 50°C 以上になると急速に劣化する。これに反し、シリコン・トランジスタは約 120~150°C まで動作時の周囲温度を上げられるが非常に高価であり、国産品がほとんどない状況である。さらに、400 Mc 帯で受信用として低雑音でかつ十分な電力利得をもって動作できるトランジスタは国内では試作研究の段階であって輸入品にたよらなければならず、UHF 用受信管にくらべて高価である。送信出力が数 W におよぶ 400 Mc 帯の送信用トランジスタの出現は将来に待たなければならない。したがって 400 Mc 帯の FM 無線機のトランジスタ化は、現状では電子管とトランジスタとの混用形式のものしか考えられない。

一般に周波数が高くなるほど同一送信出力を得るための電源電力消費は多くなり、これは必然的に発熱が多くなることを意味している。このことは無線機をトランジスタ化することに対して大きな障害となるものであるが一方、移動無線機のように電池電流をできるだけ少なくしたいという要求からすればトランジスタをなるべく多く使用して、少しでも電池電流を減らす方向に進むべきであろう。400 Mc 帯では上述のように混用形式のものとなるから、その場合に電子管などの発熱体による無線機箱体内の温度上昇がトランジスタの劣化を促進しないように、構造上で十分な考慮を払わなければならない。

400 Mc 帯無線機のトランジスタ化に対しては、当社はまず電子管式を開発し、つきにできるだけ技術的に可能な範囲でトランジスタに換えて行く方針である。

## 2.3 送受信機の周波数安定度

UHF 帯では VHF 帯に比較して周波数が高いため周波数の安定化にはとくに留意しなければならないが、周波数変調の受信機では、局発周波数が狂って受信周波数が中間周波の中心からはずれた場合、インパルス 雑音による影響や隣接 チャンネル からの妨害が大きくなってくる。良好な信号対雑音比を得るために、この周波数のずれは中間周波帯域幅の 1/12 以下でなければならないといわれている<sup>(1)</sup>。

受信機の帯域幅は、局部発振の周波数偏差と中間周波のずれ、および送信機の周波数偏差を勘案して定められるべきものであり、周波数偏差が少なくなるほど、帯域幅を減少させることができ、送信機の不要側帯波から受ける妨害を少なくすることができます。したがって周波数安定度は高いほど有利なわけであるが、400 Mc 帯の送信機の周波数偏差は郵政省技術基準では現在  $2 \times 10^{-5}$ 、将来  $1 \times 10^{-5}$  に定められている。この狭帯域無線機は送、受信機とも指定周波数からの偏差を零に合わせるように水晶発振回路に微調 バリコン を具備しており、また周囲温度差による周波数の変動をおさえるために恒温槽を使用している。

送信機は五極管 6AU6 のカソード、コントロールグリッド、スクリーングリッドによる変形 P-G ピアース 回路、受信機は 12AT7 の半分を使用したオーバートーン 水晶発振回路であるが、ともに温度変化に対しては温度補償用のコンデンサを使用して回路の安定化をはかっており、周波数偏差は郵政省技術基準を満足している。試験結果の一例を図 2.1 および図 2.2 に示す。恒温槽の接続および電源電圧の変化による周波数の変化は技術基準値よりも 1 テタ 小さい数値となっている。

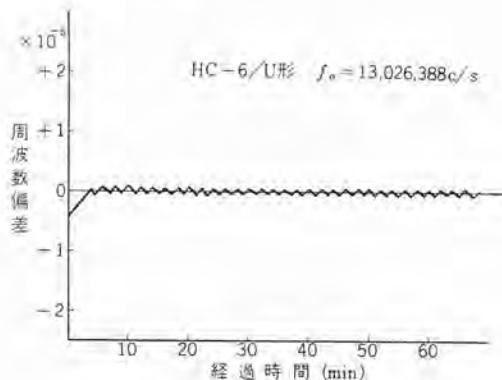


図 2.1 送信機発振周波数の漂動

Fig. 2.1 Frequency drift of the transmitter oscillator.

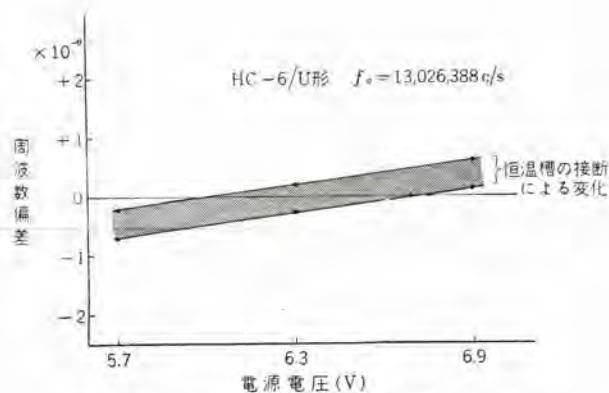


図 2.2 電源電圧の変化による送信周波数の変化特性

Fig. 2.2 Variation characteristic of transmitting frequency due to supply voltage change.

## 2.4 送信機 RF 出力段

### (1) 出力用電子管の選定

移動用無線機はその運用面から全消費電力の制限を受けるので、送信機自体の消費電力も制約を受ける。このため送信機はまず、制限内入力で能率よく最大の出力を出すように考えなければならない。つぎにまた、使用電子管は国内で楽に入手できて、取扱いや調整などの簡単なものが望ましく、とくに出力管としては小形であって、しかも固定用無線機としての出力をも十分に出すことができるという欲張ったいろいろな要求を一度に満足させるものが望まれる。

この種の出力用電子管を一応より出してみると 2C39A, 2B52, 2B94 などがある。これらの相違点をまとめたのが表 2.2 である。この表により各電子管の陽極入力、出力、陽極能率、格子入力などをくらべてみると表 2.3 のようになる。

表 2.2 と表 2.3 からわかるように 2C39A はヒータ電圧や冷却法などに対する取扱いが複雑な上に、出力の割合に必要な格子入力が大きい。また表からみれば一応 2B52 が最適のようであるが、当社でこの無線機を開発し始めた当時では 2B52 の生産実績や安定性などを考え、さらに固定用として使用した場合に取り出すことができる出力の大きさも考えあわせて 2B94 を出力管に採用した。そしてこれに安定にして十分な励振を与え、しかも電子管の種類を増さないという見地から励振管にも 2B94 を採用した。

2B94 を使用する条件のもとで、入力電力の制約を受けた場合の移動用送信機の出力を予想すると、この移動無線機が搭載される自動車などの移動局では 240Ah 程度の蓄電池が使用されているものと考えて逆算すれば、出力管と励振管に供給できる直流電力は 70W 程度となり、したがって 400Mc 帯としての出力は 10~15W に

表 2.2 2C39A, 2B52 および 2B94 の主要規格一覧

項目	2C39A	2B52	2B94
構 造	傍熱形三極管 (同軸円筒形)	傍熱形双ビーム管	傍熱形双ビーム管
ヒ ー タ	6.3V, 1A 最小加熱時間 60 秒、加熱後ヒータ電圧を下げて使用	6.3V, 1.3A または 12.6V, 0.65A	6.3V, 1.8A または 12.6V, 0.9A
最大定格で使用可能な周波数	2,500 Mc	300 Mc	250 Mc
冷 却	強制空冷 最小 0.4 m³/min	430 Mc 以上で直流陽極電圧が 300 V をこすときは強制空冷、約 0.015 m³/min	150 Mc で最大定格適用時小形扇風機などで管壁を冷却
最大定格 (C 极)			
陽極直流電圧 (V)	1,000	600	600
第二格子 " (V)	—	250	250
第一格子 " (V)	-150	-75	-175
陽極直流電流 (mA)	125	110	220
第二格子 " (mA)	—	5(第二格子損失 3W)	28
第一格子 " (mA)	50	5	10
陽極入力 (W)	—	60	120
陽極損失 (W)	100	20	40
動作例 (C 极電信)			
周波数 (Mc)	500	400	470
陽極直流電圧 (V)	800	400	400
第二格子 " (V)	—	250	250
第一格子 " (V)	-20	-50	-38
陽極直流電流 (mA)	80	50×2	110×2
第二格子 " (mA)	—	2.5×2	12
第一格子 " (mA)	32	0.7×2	1.5×2
第一格子入力 (W)	約 6	約 2	約 5
出 力 (W)	約 27	約 24	約 33

表 2.3 2C39A, 2B52 および 2B94 の入力、出力比較

項目	2C39A	2B52	2B94
陽極入力 (W)	64	40	88
出 力 (W)	約 27	約 24	約 33
陽極能率 (%)	42.2	60	37.5
格子入力 (W)	約 2	約 2	約 5
周 波 数 (Mc)	500	400	470

なる。試験の結果はほぼこのとおりとなっている。

### (2) スプリアス 放射

送信機において、その出力と同等に重要と考えられる性能はスプリアス 放射であって、これをおろそかにすると他の通信系に妨害を与えるから電波法規に厳密な規定が設けられている。送信機で発生するスプリアス 電波は、出力管の高調波 ヒズミ による 2 倍波と 3 倍波が主であって、これに対しては送信機と空中線とを結ぶ線路の途中に低域 フィルタ を挿入して高調波を吸収るように設計された送信機が多い。この無線機の送信機も同様に低域 フィルタ を挿入しているが、周波数が 400 Mc 帯であるため、集中定数による L と C を組合せた フィルタ ではその機械的構造や リード 線などによる迷インダクタンス、迷キャパシタンスなどの影響によって設計が非常に困難となるばかりでなく、良好な減衰特性を得ることもまた困難である。したがってこの送信機に使用した フィルタ は同軸構造として設計し、図 2.3 および図 2.4 に示すような特性をもつものを製作した。これによって基本波に対する第二高調波の減衰度は -80 db を越えた値となっている。

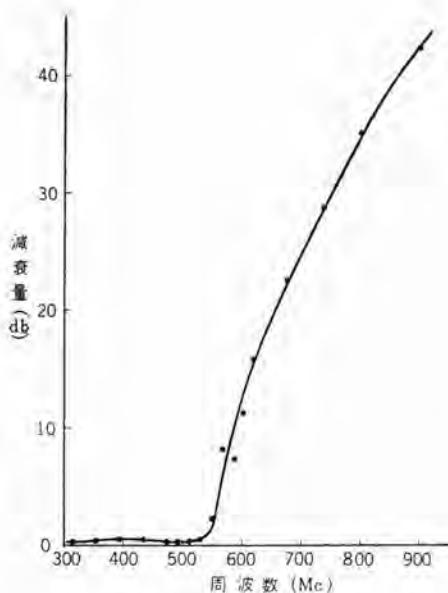


図 2.3 同軸形低域 フィルタの減衰特性

Fig. 2.3 Attenuation characteristic of a coaxial type low-pass filter.

## 2.5 受信機 RF 回路

受信機の信号対雑音比と、相互変調特性および感度抑圧効果特性との間には相対的な関係があり、両者の要求をいかに妥協させるかということが受信機設計の第一課題である。すなわち信号対雑音比を上げるには前段側の利得を大きくしたほうが容易であるに反し、相互変調特性と感度抑圧効果特性は前段の利得をおさえたほうが良い結果が得られる。

### (1) 電子管の選定と雑音指数

上述のように、利得をおさえて信号対雑音比を向上させるためには雑音指数をできるかぎり低くすることが必要である。そのためには等価雑音抵抗の小さい電子管、いいかえれば  $g_m$  の高いものでしかも次段の雑音指数の

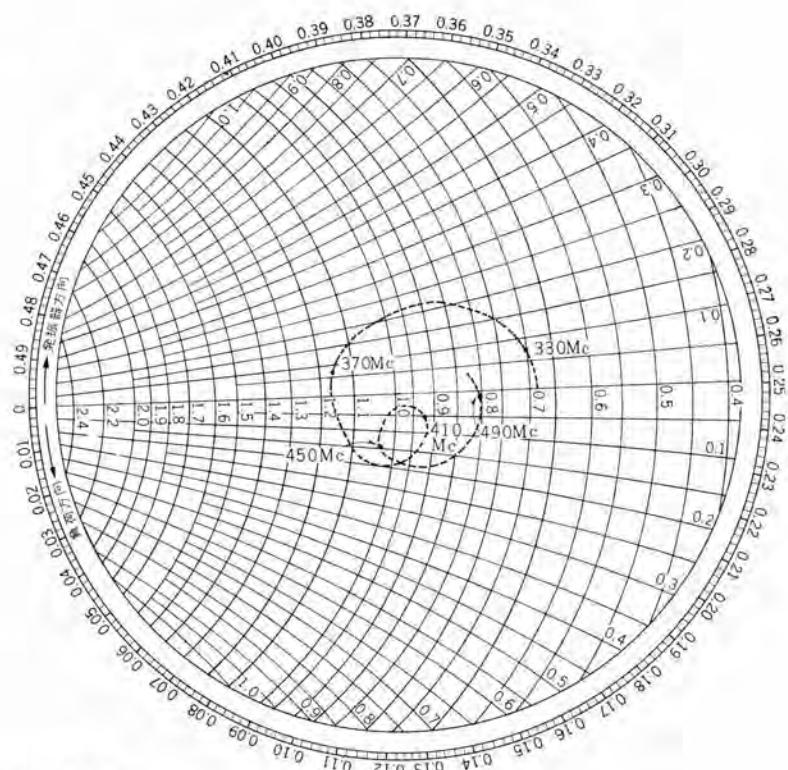


図 2.4 同軸形低域 フィルタのアドミッタンス特性

Fig. 2.4 Admittance characteristic of a coaxial type low-pass filter.

影響を少なくするために  $\mu$  の高い電子管が要望される。また増幅に不安定となりがちな UHF 帯で安定に増幅するためには格子接地回路が有利である。普通一般に用いられる陰極接地形のほうが VHF 帯では格子接地形にくらべて雑音指数がよいが、UHF 帯になると陰極接地形と格子接地形との雑音指数の差はみられなくなってくる<sup>(2)</sup>。以上の条件から電子管には格子接地形の 6J4 を用いて増幅段数を 2 段とし、第一混合器には小形で安定な シリコン・ダイオード 1N21A を使用した。こころみに RF 段の雑音指数を求めてみると次のようになる。

受信機の RF 増幅段の等価回路を図 2.5 に示す。

図 2.5 の回路において総合した雑音指数を  $F$  とすると

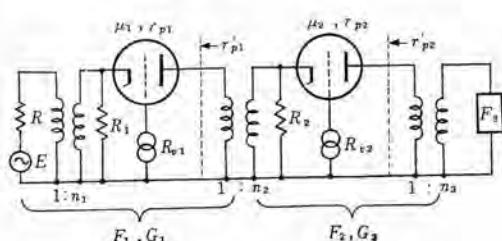
$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

となり、 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $G_1$  および  $G_2$  は次の式で表わされる。

$$F_1 = \frac{n_1^2 R + R_1}{R_1} + \frac{R_{v1}}{n_1^2 R} \left( \frac{n_1^2 R + R_1}{R_1} \right)^2 \left( \frac{\mu_1}{\mu_1 + 1} \right)^2 \quad (2.2)$$

$$G_1 = \frac{\left( \frac{R_1}{n_1^2 R + R_1} \right)^2 (\mu_1 + 1)^2 n_1^2 R}{r_{p1} + (\mu_1 + 1) \frac{n_1^2 R R_1}{n_1^2 R + R_1}} \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

$$F_2 = \frac{r_2^2 r_{p1}' + R_2}{R_2} + \frac{R_{v2}}{n_2^2 r_{p1}'} \left( \frac{n_2^2 r_{p1}' + R_2}{R_2} \right)^2 \left( \frac{\mu_2}{\mu_2 + 1} \right)^2 \quad (2.4)$$



- $R$  : 空中線のインピーダンス
- $R_1, R_2$  : 電子管の入力インピーダンス
- $R_{v1}, R_{v2}$  : 電子管の等価雑音抵抗
- $r_{p1}, r_{p2}$  : 電子管の出力インピーダンス
- $\mu_1, \mu_2$  : 電子管の増幅率
- $r_{p1}', r_{p2}'$  : 電子管の内細抵抗
- $F_1, F_2$  : 増幅段の雑音指数
- $F_3$  : 第 1 混合器以降の雑音指数
- $G_1, G_2$  : 増幅段の有能利得
- $n_1, n_2, n_3$  : トランジスタの巻数比

図 2.5 受信機の RF 増幅段の等価回路

Fig. 2.5 Equivalent circuits of the RF stage of the receiver.

$$G_2 = \frac{\left(\frac{R_2}{n_2^2 r_{p1} + R_2}\right)^2 (\mu_2 + 1)^2 n_2^2 r_{p1}}{r_{p2} + (\mu_2 + 1) \frac{n_2^2 r_{p1} R_2}{n_2^2 r_{p1} + R_2}} \dots \dots \dots (2.5)$$

いま、各トランジスタが整合しているときを考えると、そのとき総合した雑音指数  $F$  は

$$F = 2 + \frac{4R_{v1}}{n_1^2 R} \left( \frac{\mu_1}{\mu_1 + 1} \right)^2 + \frac{1 + \frac{4R_{v2}}{n_2^2 r_{p1}} \left( \frac{\mu_2}{\mu_2 + 1} \right)^2}{\frac{(\mu_1 + 1)^2 n_1^2 R}{4r_{p1} + 2(\mu_1 + 1)R_1}}$$

$$+ \frac{F_1 - 1}{\frac{(\mu_1 + 1)^2 n_1^2 R}{4r_{p1} + 2(\mu_1 + 1)R_1} \times \frac{(\mu_2 + 1)^2 n_2^2 r_{p1}}{4r_{p2} + 2(\mu_2 + 1)R_2}} \dots \dots \dots (2.6)$$

となる。

ここで  $f = 460 \text{ Mc}$  における 6J4 の定数として

$R_1 = R_2 = 50 \Omega$ ,  $R_{v1} = R_{v2} = 230 \Omega$ ,  $\mu_1 = \mu_2 = 55$ ,  $r_{p1} = r_{p2} = 5 \text{ k}\Omega$ , および  $R = 50 \Omega$ ,  $F_1 = 22$  を式 (2.6) に代入すると  $F = 24 (= 13.8 \text{ db})$  が得られる。この場合受信機の帯域幅  $B = 26 \text{ kc}$  にとればスレショールドは入力インピーダンス  $50 \Omega$  の受信機入力で約  $1 \mu\text{V}$  となる。

RF のタップ回路は調整の簡易化と小形化という見地から、同調容量が小さくなるような回路にして同調インダクタンスを大きくし、コイルを使用してスラグにより同調をとる方式を採用している。

## (2) 二信号特性

受信機の一信号選択度が静的な尺度となっているのに對して二信号特性は動的な、すなわち実際的な選択度を示している。

### a. 相互変調特性

相互変調は2個以上の異なる周波数の妨害信号が電子管回路または金属接触部の非直線性によって高次のヒズミを生じ、希望信号と同じ周波数の信号を発生して妨害を起す現象である。

もっとも簡単な場合——これがもっとも強い妨害を与えるのであるが——を考えてみる。振幅  $A$ 、周波数  $(f + \Delta f)$  の信号と、振幅  $B$ 、周波数  $(f + 2\Delta f)$  の信号との和

$$x = A \sin 2\pi(f + \Delta f)t + B \sin 2\pi(f + 2\Delta f)t \dots \dots \dots (2.7)$$

が非直線部

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots \dots \dots (2.8)$$

に加わる場合、3次のヒズミを受けたときの項を  $a_3 x^3$  で表わすと、その中には周波数がちょうど  $f$  になるものがあり、その大きさは

$$\frac{3}{4} a_3 A^2 B \sin 2\pi \{2(f + \Delta f) - (f + 2\Delta f)\} t$$

$$= \frac{3}{4} a_3 A^2 B \sin 2\pi f t \dots \dots \dots (2.9)$$

で表わされる。この妨害は  $f$  に近いほうの信号の大きさ  $A$  の自乗と他の信号の大きさ  $B$  に比例する。この発生は高周波段で妨害信号が増幅され変換部でその振幅がもっとも大きくなるため、高周波段よりも第一変換器で起るほうがはるかに大きい、非直線ヒズミを生じるところに加えられる妨害波のおおのの大きさを 1 db 変えれば、相互変調による妨害は 3 次の場合 3 db 変化する。それゆえ、この場合高周波増幅器の利得を  $\alpha \text{ db}$  下げれば、希望波が受信されているときの相互変調による妨害は  $2\alpha \text{ db}$  減少することになり、AVC を高周波段にもかけることによって相互変調特性を改善することができる<sup>(3)</sup>。また第一・中間周波段の利得が高すぎたり選択度が悪かったりすると、第二周波数変換管あるいは第三周波数変換管で起る相互変調が支配的となる場合がある。それゆえに、これらの近接通話路の周波数に対しては十分に選択度をとり、しかも、これらの周波数に対してなるべく利得を下げておくことが必要である。

### b. 感度抑圧効果

これは過大な妨害電圧が主として高周波段、第一・中間周波段さらにそのうしろまではいって行き、その増幅管または変換管に格子電流を流させてバイアスを深めさせ、希望波に対する増幅度を低下させる現象である。感度抑圧効果を改善するためには、高周波段の利得を所要  $S/N$  が得られる範囲で低くとり、またブロック・フィルタより前の中間周波段は希望信号に対しては利得があつてもよいが、隣接回線周波数に対しては減衰となるよう十分な選択度をとることが必要である。感度抑圧効果の理論値は、120~140 db と報告されているが<sup>(4)</sup>、90~100 db が実情である。

(3) 以上のことから次の原則に基づいて設計を行なった。

- 妨害波を除去するための選択度を受持つ区分と利得を得るための増幅区分をわけて考える。
- 選択度を決定するすべての同調回路は増幅部の前に置く。
- 減衰傾度の大きいメカニカル・フィルタを第三中間周波部に使用する。
- メカニカル・フィルタの前のすべての増幅段は、その利得を次段の電子管雑音が前段の信号対雑音比を害さない程度におさえる。
- 選択度を担当する段では、電子管利得と妨害波を除去するよう十分尖銳に設計された同調回路の挿入損失とが相殺して総合の増幅度が 0 db に近くなるようにする。
- 第二・第三変換管は雑音指数を小さくするため、

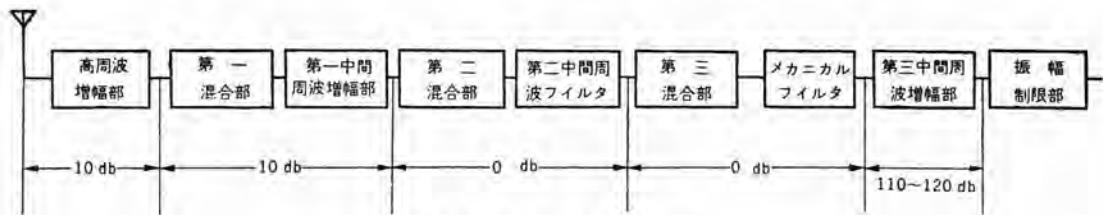


図 2.6 受信機の各段利得配分  
Fig. 2.6 Various stages gain distribution of the receiver.

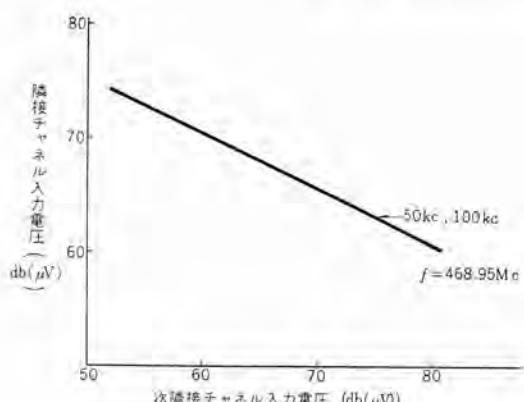


図 2.7 相互変調特性  
Fig. 2.7 Intermodulation characteristic.

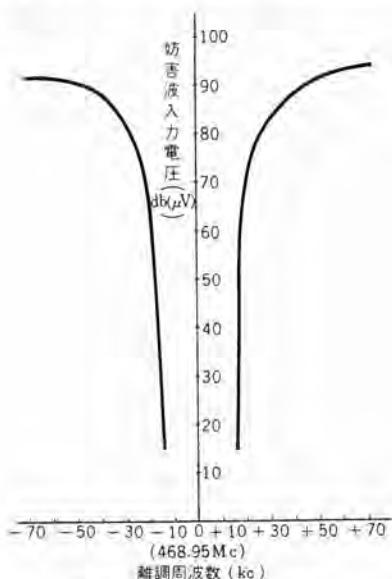


図 2.8 感度抑圧効果特性  
Fig. 2.8 Desensitization characteristic.

雑音の少ない三極管を使用する。

g. 高周波増幅回路に AVC をかけて相互変調特性的改善をはかる。

以上の点を考慮して設計した受信機各段利得配分を図 2.6 に示す。また図 2.7 に相互変調特性、図 2.8 に感度抑圧効果特性を示す。

## 2.6 受信機中間周波回路

狭帯域 FM 受信機における重要な特性は、隣接または近い周波数、さらに スピリアス 周波数からの妨害を受けにくいくことであり、また高い増幅度が安定に得られる

ことである。そのためには最終中間周波数を下げる必要があり、設計には次の項目が重要である。

(1) 中間周波の選定

(2) スピリアス・レスポンス

(3) 帯域幅と選択度

(1) 中間周波数の選定

中間周波数の選定にあたっては次の事項を考慮する必要がある。

a. 中間周波数の高調波が受信帯域内にはいらないこと。

b. 各中間周波数が高調波またはそれに近い関係にならないこと。

c. 各局発周波数と高調波またはそれに近い関係がないこと。

d. 第一と第二局発の水晶を共用する場合には第一中間周波数は受信信号に応じて可変となるから、これに対する設計、製作および調整の難易も考慮に入れること。

e. 各中間周波数を次の中間周波数の イメージ 周波数の抑圧の点から選定すること。

f. できるだけ無線放送周波数帯域をさけること。

g. 二信号特性改善のため、隣接および次隣接チャネル周波数に対する減衰を考慮すること。

h. 第三中間周波数の  $1/2$ ,  $1/3$  などが チャネル 間隔 (たとえば 50 kc) の整数倍にならないこと。

i. 最終中間周波数は最終周波数変換器における イメージ 周波数の抑圧と最終中間周波数の段の周波数特性の安定度を高くするという二つの相反する条件のもとで妥当な値に選ぶこと。

以上の条件により、この受信機は第一中間周波数に約 70 Mc, 第二中間周波数に 5.25 Mc, 第三中間周波数に 455 kc を用いた三重 スピリアス・レスポンス 方式を採用した。

(2) スピリアス・レスポンス

受信機のスピリアスを分類すると次の四つに大別される。

$$\left. \begin{aligned} a. \quad f_{sp} &= f_d + 2f_{i1} \quad (\text{ただし } f_d = f_{i1} - f_{i2}) \\ \text{または } f_{sp} &= f_d - 2f_{i1} \quad (\text{ただし } f_d = f_{i1} + f_{i2}) \end{aligned} \right\} (2.10)$$

式 (2.10) で示されるものを第一種 イメージ と称する。

$$\left. \begin{aligned} b. \quad f_{sp} &= f_d + 2f_{i2} \quad (\text{ただし } f_{i1} = f_{i2} - f_{i3}) \\ \text{または } f_{sp} &= f_d - 2f_{i2} \quad (\text{ただし } f_{i1} = f_{i2} + f_{i3}) \end{aligned} \right\} (2.11)$$

式(2.11)で示されるものを第二種イメージと称する。

c.  $mf_{sp} = nf_0 \pm f_{11}$  } ..... (2.12)  
または  $mf_{sp} = nf_0 \pm f_{12}$  }

(ただし第一と第二局部発振に一つの水晶発振子を共用した場合)

ここに  $f_{sp}$ : スピリアス周波数

$f_d$ : 希望周波数

$f_{11}$ : 第一中周波数

$f_{12}$ : 第二中周波数

$f_{11}$ : 第一局部発振周波数

$f_{12}$ : 第二局部発振周波数

$f_0$ : 水晶の発振周波数

$m$ : 1, 2, 3, .....

$n$ : 0, 1, 2, .....

式(2.12)で  $m=1, n=0$  のときは中間周波数がそのままスピリアス周波数となる場合であり、 $m=1, n=n$  の場合は第一、第二局部発振用水晶発振子の高調波に起因するものである。

d. いわゆるニアバイ・スピリアス(Near-by Spurious)と呼ばれる希望周波数の近傍にでるもので、原因は次の三つが考えられるもの；

- 水晶発振子の近接不要発振によるもの。
- 第三種イメージと呼ばれる第三局部発振によるイメージ周波数。
- 入力周波数の高調波と局部発振の高調波の合成で生じるもの。(たとえば  $f_{sp} = f_d \pm f_{12}/2$  は第二変換器で発生する第二高調波が第二中間周波数となる)。

aとb項のスピリアスはRFおよび第一中間周波回路の同調回路のQを上げ、選択性の増加によって解決できる。c項のうち、局発水晶の高調波にもとづくスピリアスはオーバートーン水晶発振回路を採用して、水晶の原振周波数を高くするとともに、倍段の同調回路の選択性をよくして、不要高調波を阻止することによって改善できる。d項のニアバイ・スピリアス比を良くするには、上記の(a)および(c)の原因によるものは局部発振器の強度を所要の信号対雑音比が得られる最小限度にとどめること、および(b)項の対策とも共通であるが、第二中間周波部同調回路の選択性を上げること、またそのほかに変換管の動作点も適当に選ばなければならない。

三重スーパーへテロダイン方式では、第一～第三局部発振にそれぞれ水晶発振子を用いると、c項で説明した局部発振の高調波に基づくスピリアス周波数の発生する可能性がふえるので、第一局部発振と第二局部発振に共通の水晶発振子を用いるのが得策である。

これらすべての要素を考慮した結果、この受信機は三

重スーパーへテロダイン方式に起りがちなスピリアス発生数が多くなることをさけるために、約30Mcのオーバートーン水晶発振子を採用して倍数を少なくするとともに、第一と第二局部発振の水晶発振子を共用にしており、その結果スピリアス・レスポンスは郵政省技術基準を十分に満足している。

### (3) 帯域幅と選択性

400Mc帯の狭帯域無線機の送信機周波数偏移は周波数割当間隔が50kcである隣接局への側帯波による妨害を少なくするため12kc以下に定められている。したがって受信機帯域幅も、混信をなくし雑音妨害を少なくするためこれと対応し、送信最大周波数偏移と受信機水晶発振子の周波数安定度により要求されるもっとも狭い数値に決定される。普通は感度が最大の点より6db低下する周波数幅をもってあらわしているが、実用上水晶の安定度を良好としたときは帯域幅の最大値は周波数偏移 $\Delta f$ の2倍あれば良い。

また選択性は隣接チャネルよりの妨害を阻止するため、極力狭いほうが良いわけであるが、郵政省の技術基準では±25kc離れて70db以上と定められている。

この受信機は三重スーパーへテロダインであり、この選択性および帯域幅は周波数の低い第三中間周波部で決定され、また第三中間周波部の特性はブロック形バンドパス・フィルタで決定されるため、選択性を良好とし、所要の帯域幅を満足するには、フィルタの減衰傾度を大きくすることが必要である。この目的からフィルタにメカニカル・フィルタを使用してその要求を満足させるとともに、機械的安定度および小形化に対する要求をも一度に解決した。その選択性特性を図2.9に示す。

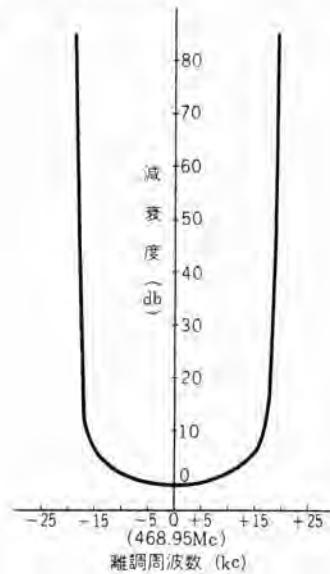


図2.9 選択性特性

Fig. 2.9 Selectivity of receiver.

## 2.7 移動用電源

移動用無線機の電源として要求されることは、

- (1) 電気的に能率が高く、安定に動作し、雑音が少ないこと
- (2) 機械的に強く振動、衝撃によく耐えること
- (3) 小形で軽量であること

などであるが、これらの条件は互に相反する性質のものがある、設計に際しては、ある程度妥協しなければならない。

### (1) DC-DC コンバータ

移動用電源の供給源としては通常 6V, 12V などの鉛蓄電池が用いられているため、無線機に必要な高圧を得るためになんらかの DC-DC コンバータが必要であって、その種類としては、

- a. 発電動機
- b. バイブレータ
- c. ランジスタ・コンバータ

などがある。これらの特長を比較したものを表 2.4 に示す。

表 2.4 DC-DC コンバータ の比較

種類	能率 (%)	昇圧器	整流回路	平滑回路	機械的運動部分	火花	備考
発電動機	約 50	不要	不要	要	有	有	機械的取付方向が限定される。ファンを備え機器を冷却できる。
バイブルータ	約 60	要	要	要	有	有	機械的取付方向が限定される。
ランジスタ・コンバータ	約 80	要	要	要	無	無	ゲルマニウム・トランジスタの場合に温度上昇に弱い。

トランジスタ・コンバータは電気的に高能率で、しかも雑音が少ないという大きな利点をもちながら一方、温度上昇に対してはトランジスタ自身が弱いという欠陥をもつてゐるため、移動局用無線機の機械自体の温度上昇が大きく、また夏期には周囲温度も相当高いという使用条件には適合しにくい。

バイブルータは発電動機にくらべて能率がよく、かつ発電動機のように回転による振動や雑音などの欠点がない代りに、変圧器や整流回路などを付属させる必要があり、しかも平滑回路は発電動機に比して周波数が低い関係から相当大形となる。また機械的振動部分が同時に電気的にもっとも重要な部分であるため発電動機にくらべて大出力のものを製作することが困難である。しかしながら、バイブルータは変圧器や整流回路を必要とするといつてもある程度分散配置することができるため、移動用無線機のように限られた空間に部品を取付けるものでは、発電動機のように一定のしかも相当大きい空間を必要とするものにくらべて有利な場合が多い。

この無線機の電源にはバイブルータと発電動機が併用し

てあり、バイブルータは受信機の高圧と送信機の遙倍段の高圧を切換えて供給し、発電動機は送信時だけ回転して送信出力段に高圧を供給するようになっている。

### (2) 電源電圧の種類と接地方式

移動用無線機を設置する移動局は、多くの場合その電源として鉛蓄電池を所有し、これを無線機の電源と共に用するが、その電圧、接地方式などは種々雑多であって、たとえば電圧は 6V のもの、12V のもの、24V のものなどがあり、また接地は  $\oplus$  接地のもの、 $\ominus$  接地のものなど、その間なんの統一もない。したがって移動用無線機としては簡単な操作でこれらに対応できるようにしてあることが望ましい。

送信機や受信機などに使用されている電子管はそれらのヒータをグループ接続し、そのグループ同志を直並列にすることによって簡単に電圧の変化に対応できるうえに、傍熱管を採用することによって  $\oplus$  接地または  $\ominus$  接地の影響を受けないようにすることができる。しかし電源部としては DC-DC コンバータの入力電圧が、電力供給源である電源の電圧に適合しなければならない。この場合に、バイブルータはさしかえることによって簡単に入力電圧を適合させることができるが、発電動機はこれをとりかえる以外に方法がない。このほか、無線機の各部分に使用しているリレー類についても同様で電圧の変化に対応してリレーの巻線に細工をするか、そうでなければ電源電圧に適合したものにとりかえる必要がある。

この移動用無線機では電源部だけ 6V 専用となっているが、送信機と受信機だけはその電子管のヒータをグループ接続にして 6V, 12V の両方に対応できるようにしてある。上に述べた電源電圧の問題は、自動車側での統一が早急に望めない現状ではこの種無線機の設計において解決しなければならない問題点の一つであろう。

## 3. 無線機の概要

### 3.1 形名

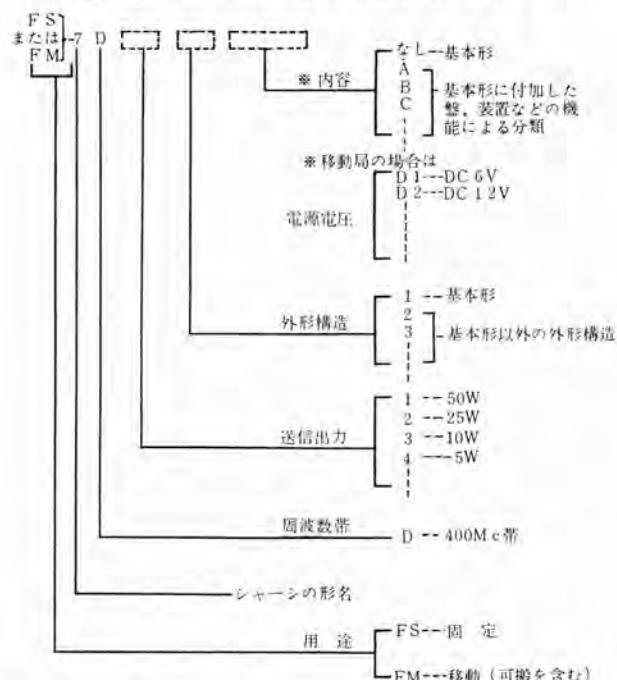
当社の標準形狭帯域無線機には、その形式・出力・機能などによりそれぞれ一定の約束のもとに形名が与えられている。形名は最初の 6 文字により、その基本構成を示し、場合によってはつぎに 1~3 文字をつづけ、これによって内容の具体的表示を行なっている。この 400 Mc 帯無線機の形名について説明すると表 3.1 に示すとおりである。

### 3.2 固定局機器

#### (1) 構造、機能

図 3.1 に FS-7D 形無線機本体の外観を示し、図 3.2 はその前扉を開いた構造を示す。本体の外形寸法は 520

表 3.1 400 Mc/FM 狹帯域無線機の形名の説明



(幅)×380(奥行)×1,155(高さ)mm である。架上部に計器部、操作部を有し、平生の操作、監視などは扉を閉じたままで行なうことができ、とくに制御器を使用する必要がなく、また床上にこの無線機を設置すれば、操作部分がちょうど事務机の高さになるように設計されている。

架内部のパネル配置は図 3.2 に示すとおりである。

計器部にある調整用メータは、送受信機の調整に共用できるように 1 個のメータを切換えて使用している。このメータは受信時には受信機に接続され、操作部の「受

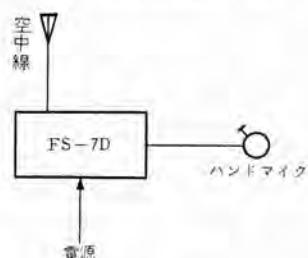


図 3.3 制御器を使用しない場合

Fig. 3.3 Case of using no controller.

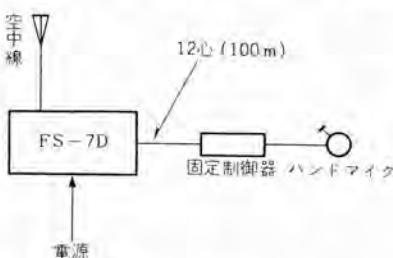


図 3.4 固定制御器を使用する場合

Fig. 3.4 Case of using a fixed controller.

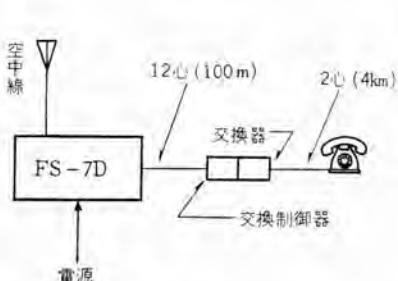


図 3.5 交換制御器を使用する場合

Fig. 3.5 Case of using a exchange controller.

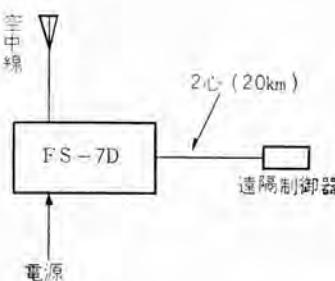


図 3.6 遠隔制御器を使用する場合

Fig. 3.6 Case of using a remote controller.

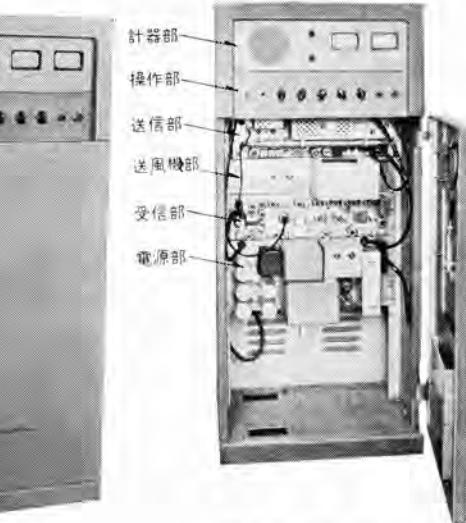


図 3.1 FS-7D 形  
無線機本体

Fig. 3.1 Type FS-7D  
transmitter-receiver.

図 3.2 FS-7D 形  
パネル配置

Fig. 3.2 Panel locations of  
type FS-7D equipment.

信」切換スイッチにより受信機各部の電流を測定でき、送信時には送信機に接続され、操作部の「送信」切換スイッチにより送信機各部の電流を測定できる。また架の内部に盤を追加することによって遠隔制御することも可能であり、別の盤の追加により自動中継局として使用することもできるほか、交換制御器を使用して子電話による無線通信を行なわせることもできる。これらのこととは、他の形式の狭帯域標準形無線機と同じである。(詳細は狭帯域 VHF/FM 無線機「三菱電機」Vol. 32, No. 7, (昭 33) の記事を参照されたい)。

## (2) 使用法

FS-7D 形無線機は使用目的によって種々の制御器と組合せて運用できる。その使用例を図 3.3~3.7 に示す。

## (3) 定格仕様

FS-7D 形無線機の定格仕様を表 3.2 に示す。なおブロック・ダイアグラムを図 3.8 に示す。

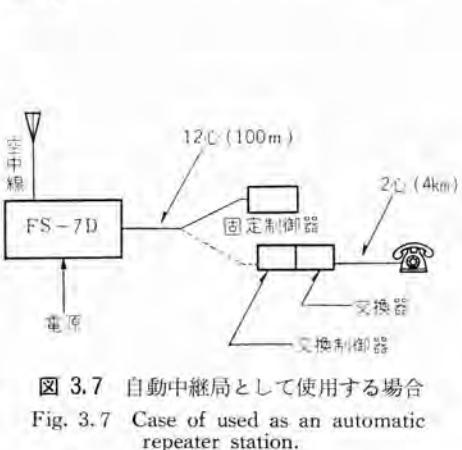
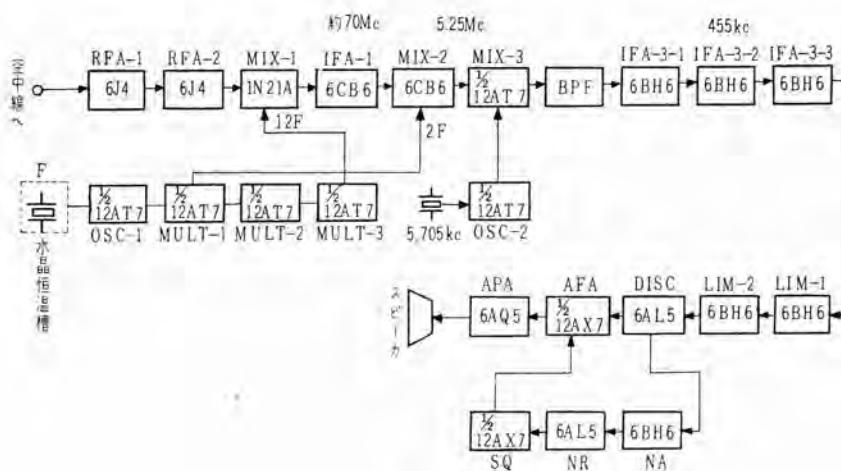
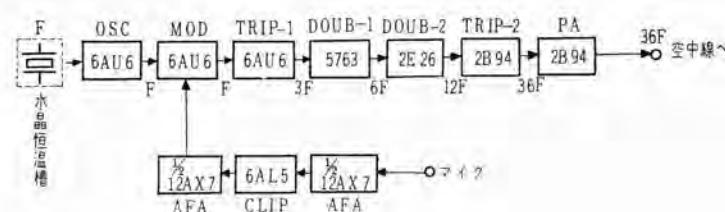


図 3.7 自動中継局として使用する場合

Fig. 3.7 Case of used as an automatic repeater station.

表 3.2 FS-7D 形無線機の定格仕様

項目	規 格	項目	規 格
一般事項		受信部	
(1) 使用定格	10 秒送信、10 秒受信の繰り返し連続使用	(1) 周波数範囲	364.5~365.5 Mc, 372.5~373.6 Mc, 414.5~415.5 Mc または 460~470 Mc 間の 1 周波数
(2) 周辺温度および湿度	周辺温度 -20°C~+50°C, 相対湿度 45~85% で異状がない	(2) 受信方式	水晶制御三重スーパー・ヘテロダイシ方式
(3) 絶縁抵抗	10 MΩ 以上	(3) 中間周波数	第一約 70 Mc 第二 5.25 Mc 第三 455 kc
(4) 耐電圧	300~500 V 回路とアース間, DC 1000 V 1 分間 250 V 回路とアース間 DC 500 V 1 分間	(4) 周波数許容偏差	周囲温度 -20°C~+50°C において ±0.002% 以内, 常温において ±0.0005% 以内に調整可能
送信部		(5) 入力インピーダンス	50 Ω 同軸ケーブルにより空中線に接続する
(1) 周波数範囲	364.5~365.6 Mc, 372.5~373.6 Mc, 414.5~415.5 Mc または 460~470 Mc 間の 1 周波数	(6) 選択度	±25 kc において -70 dB 以下
(2) 变調方式	水晶制御相変調方式	(7) 帯域幅	6 dB 低下において約 26 kc
(3) 周波数倍増数	36	(8) スプリアス・レスポンス	-70 dB 以下
(4) 周波数許容偏差	周囲温度 -20°C~+50°C において ±0.002% 以内, 常温において ±0.0005% 以内に調整可能	(9) 感度抑圧効果	希望信号から ±50 kc 離れた非変調妨害波によって希望信号の 20 dB 雜音抑圧入力レベルが 6 dB 大きくなるとき, 妨害波の入力レベルは 80 dB (μV) 以上
(5) 出力	正規電源電圧において定格出力 (20 または 10W) 以上, 正規電源電圧の 90% において定格出力の 70% 以上	(10) 相互変調特性	20 dB 雜音抑圧希望信号入力電圧と同じ値のインターモジュレーション積を生じる関係にあって, かつ希望信号から同方向にそれぞれ 50 kc, 100 kc 離れた二つの同一帯域の非変調妨害波の入力電圧は 60 dB (μV) 以上
(6) 励振低下の影響	いずれの段の格子電流が 20% 減少しても出力の減少は 10% 以内	(11) 感度	20 dB 雜音抑圧入力電圧 2 μV 以下
(7) 不要発振	水晶発振子を取り除いた場合に出力は零となる, また各段の同調部分をいずれの位置においても自励発振を起きない	(12) 信号対雑音比	1 kc 100% 变調波による信号対雑音比は入力 20 dB (μV) で 35 dB 以上
(8) 出力回路の整合	50 Ω 同軸ケーブルを通して負荷に接続したとき, 定在波比 2 以下の負荷に対し整合可能	(13) スケルト感度	入力電圧 6 dB (μV) 以下に調整可能
(9) 最大偏移	100% 变調に対する最大偏移は 1 kc 以下は ±12 kc フラッシュ, 1 kc 以上は ±12 kc	(14) 低周波出力	ヒズミ率 10% 1 kc 600 Ω で出力 1 W 以上
(10) 標準变調入力	-4 dB ±2 dB (mW)	(15) 周波数特性	1 kc を基準として 0.3 kc で +6±2 dB 以内 2 kc で -4±2 dB 以内 3 kc で +6±2 dB 以内
(11) 变調周波数特性	1 kc を基準として 0.3 kc で -10.5±2 dB 以内 2 kc で +4±2 dB 以内 3 kc で +6±2 dB 以内	(16) 電圧変動の影響	3 kc で -8±2 dB 以内 電源電圧が正規電圧の ±10% 以内で (4) および (14) 項を満足する
(12) 变调直線性	IDC 回路を働かせた状態で 1 kc 90% 变調まで直線性良好	電源部	
(13) ヒズミ率	標準变調において -20 dB 以下	(1) 定格入力電圧	AC 50 または 60 c/s 100 V
(14) 变調入力インピーダンス	0.3~3 kc において 40±10 Ω 以内	(2) 出力電圧	送信第一高圧 250 mA で 400 V ±10 V リップル 1% 以下
(15) 残存振幅変調含有量	1 kc 100% 变調において 5% 以下		送信第二高圧 120 mA で 250 V ±10 V リップル 0.1% 以下
(16) 信号対雑音比	1 kc 100% 变調において 45 dB 以上	受信高圧	120 mA で 250 V ±10 V リップル 0.1% 以下
(17) スプリアス放射強度	搬送波に対し帯域内 -80 dB 以下		
(18) 電圧変動の影響	帯域外 -60 dB 以下 電源電圧が正規電圧の ±10% 以内で (4) 項を満足する		

図 3.8 FS-7D 形または FM-7D 形のブロック・ダイヤグラム  
Fig. 3.8 Block diagram of type FS-7D or FM-7D.

### 3.3 移動局機器

#### (1) 構造、機能

一箱体内に送信部、受信部および電源部を収容し防振台を介して自動車などの移動体に取付ける。内部点検を行なう際は前部掛金をはずし、取手を前に引けば天井ふたがはずれ、点検調整が容易に行なえる構造となっている。各盤間の接続接栓および調整部分はすべて上面に装備されている。

図 3.9 は FM-7D 形無線機本体の外観を示し、図 3.10 はその内部上面を示す。本体の外形寸法は 415 (幅) × 460 (奥行) × 227 (高さ) mm である。送信部および受信部シャーシは FS-7D 形と同一のものを使用している。中央電源部のコンバータは三巻線を使用し、送信部の励振管および出力管に電源を供給するとともに装置全体の強制空冷を行なって装置

の小形化に寄与している。送信部の過倍部および受信部の高圧電源には電力消費を軽減するため バイブレータ および セレン 整流器を使用している。

## (2) 使用法



図 3.9 FM-7D 形無線機本体

Fig. 3.9 Type FM-7D transmitter-receiver.

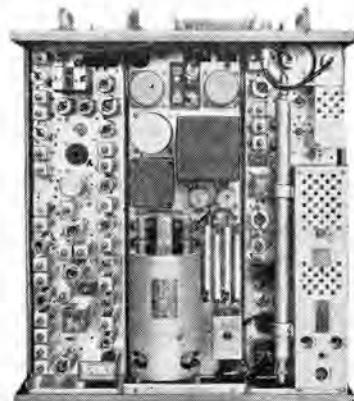


図 3.10 FM-7D 形シャーシ上面外観

Fig. 3.10 Top view of the chassis of type FM-7D transmitter-receiver.

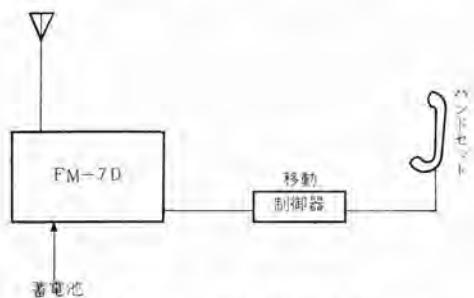


図 3.11 移動局の接続図

Fig. 3.11 Connection diagram for mobile use.

表 3.3 FM-7D 形無線機の定格仕様

項目	規 格
送信部 (1) 出力	正規電源電圧において定格出力 10 W 以上 正規電源電圧の 90 % において定格出力の 70 % 以上
電源部 (1) 定格入力電圧	6V 用、直流 6.3V 12V 用、直流 12.6V
(2) 出力電圧	送信出力管高圧 200 mA において 350 V ± 5 %, リップル 1 % 以下 送信助振管高圧 120 mA において 200 V ± 5 %, リップル 1 % 以下 送信過倍部高圧 120 mA において 250 V ± 5 %, リップル 0.1 % 以下 受信高圧 120 mA において 250 V ± 5 %, リップル 0.1 % 以下
(3) 所要入力電流	6.3V 受信時 約 18 A 送信時 約 38 A 12.6V 受信時 約 10 A 送信時 約 20 A ただし受信時には送信部の真空管ヒータ電流を含む。

備考 上の表に記載したもの以外は表 3.2 と同じである。

この装置の電源としては直流 6V または 12V の蓄電池を使用し、制御器と組合わせて使用する。その例を図 3.11 に示す。

## (3) 定格仕様

FM-7D 形無線機の定格仕様は表 3.3 に示すほか固定局 FS-7D 形（表 3.2）と同じである。

## 4. 用途

### 4.1 150 Mc 帯との伝播比較

#### (1) 伝播特性

陸上移動局業務に供される移動無線では、送・受信空中線の高さは空中線間隔に比して非常に小さいので、伝播特性は平面大地の条件を入れた伝播損失の理論式に、地物の影響による周波数特性を考慮して次の実験式によって表わすことができる<sup>(a)</sup>。

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{h_1 h_2}{d^2} \right)^2 \left( \frac{40}{f} \right)^2 g_t g_r \dots \quad (4.1)$$

ここに  $P_t, P_r$ ：送信、受信電力

$h_1, h_2$ ：空中線高さ (m)

$d$ ：空中線間隔 (m)

$f$ ：周波数 (Mc)

$g_t, g_r$ ：送信、受信空中線利得

この式において右辺の  $(40/f)^2$  を削除したものが理論式である。

式 (4.1) によれば 150 Mc 帯に比して 400 Mc 帯は約 8.5 db 伝播損失が増すので一見不利と考えられるが、一方、400 Mc 帯のほうが波長が短いので利得の大きい空中線が得やすくなるし、さらに後に述べるように外部雑音もかなり少ないので、150 Mc 帯にとくに劣ることはない。

また建物や地形による反射波のために電界は距離的に定在波を生じる。この定在波は最悪の場合約 1/2 波長程度である。

つぎに建物や地形の反射による電界の落込みの深さは周波数によって異なり、たとえば 150 Mc では中央値（ある地点における電界強度は統計的に測定することで意味があり、その地点付近で多くの標本について測定した値の 50 % 値をいう）に対して -20 db、400 Mc では -25 db が得られている例もあり、一般に都会地の高層建築物の影では電界強度は 400 Mc 帯では 10~20 db 低下するものと考えなければならない。

#### (2) 外部雑音の影響

受信点の電界強度が十分でなければ、その地点における外部雑音の大小によって受信の質が大いに左右される。外部雑音の中でもっとも高いレベルであると考えら

れる都市における人工雑音は自動車のイグニション・ノイズが支配的であるといわれている。この都市雑音をふくめて外部雑音は周波数とともに減少するので、外部雑音が多い都市およびその付近では400 Mc帯が有利であり、郊外のように外部雑音の少ないところでは150 Mc帯が有利である。

また、アメリカのNew York市近郊で行なった実験結果によれば移動無線用として都市およびその周辺で使用する場合、もっともすぐれているのは500 Mc付近であると報告されている<sup>(6)</sup>。

#### 4.2 用途

60 Mc帯、150 Mc帯にくらべて400 Mc帯は都市雑音が少なく、自動車のイグニション・ノイズにも強いために都市とその周辺における通話にはとくに有利であり、今後急速に利用されることが予想され、警察・消防・鉄道（操車場、保線など）の公共事業をはじめ、電力（保線など）・新聞社・銀行その他のパトロールなど各民間産業部門でそれぞれ効果を発揮できる分野は非常に広い。つぎに使用上参考になる試験結果を記して使用者各位の便に供したいと考える。なお、通話にはその品質を表わすのにメリット（Merit）記号を用いているのでその意味を下

周波数	468.95 Mc
基地局	空中線電力 15 W 空中線 五素子八木空中線 空中線高 地上約 40 m 空中線方向 N 42° E
移動局	空中線電力 7 W 空中線 $\lambda/4$ ホイップ空中線 空中線高 地上約 2 m
通話地点	固→移 移→固
1	M5 M5
2	M5 M5
3	M5 M5
4	M5 M4
5	M3 M3
6	M4 M4
7	M5 M5
8	M3 M3



図 4.1 市街地周辺における通話状況

Fig. 4.1 Communications in the environment of a city.

に記しておく。

M1； 撮送波は受信できるが、通話内容はまったくわからない

M2； 雜音が多く通話内容がとぎれがちで了解困難

M3； かなり雑音が多いが通話は十分可能

M4； 若干雑音はあるが問題なく通話できる

M5； まったく雑音がなく明了に通話できる

図4.1に大阪・京都地区における通話試験の一例を示す。都市内では半径10 kmくらいの範囲は高層建築物による影響を考えても十分実用になり、土地の条件が良好であれば50~60 kmの通話も可能であることが証明された。

#### 5. 将来の問題

400 Mc帯の狭帯域無線機は、新しい電波割当基準にしたがって今後移動無線業務に広く用いられると思われる。このためには、なるべく早く実用して使用面での問題点および技術的な問題点を把握してこれらを解決し、機器の進歩改良をはかることが必要である。

この周波数帯での実験結果や文献によれば、都市およびその周辺では150 Mc帯よりもすぐれている点が多いので、この特長を生かした運用をすることにより、ますます今後用途は拡大されるであろう。当面の技術的な問題としては

- (1) 性能の向上
- (2) 小形軽量化（とくに移動局用途に対して）
- (3) 電源消費電力の減少（とくに移動局用途に対して）
- (4) 信頼性の向上
- (5) 価格の低下

などが考えられる。これらはいずれも重要な項目であって、これらを実現するためには機器を構成する材料や部品の研究と製品化が先決であり、さらにこれらを適切に使用して無線機を製造する技術の進歩が必要である。この点、関係者は大いに努力しなければならない。

(1) に関しては、表2.1に記した郵政省技術基準における「将来の基準値」を十分に満足する機器を開発することであって、とくに受信機においては二信号特性に関する規格値の向上が要求されている。しかしこのために感度の低下すなわち雑音抑圧入力レベルの上昇をきたすことがないように回路設計上の進歩が望まれる。

(2) と (3) に関しては、トランジスタ化をはかるにより、全電子管式に比してかなりの改善が期待される。トランジスタ化に対しては、トランジスタの性能向上と、生産技術の改良進歩による価格の低減がとくに要望される。

このことは (4) と (5) にも密接な関係がある。なお (3) については、トランジスタ DC-DC コンバータが発電動機やバイオレータに比して能率が高いという特長があるので、これを実用化して無線機の電源部をトランジスタ化し、電源入力を減らすことが可能である。そのためには、これに適する大電力用スイッチング・トランジスタの国産化が望まれる。トランジスタ化については、当社でもこれらの開発に着手しかなりの進ちょくを示しているものもあるが、また稿を改めて紹介することとした。

(4) については、電子管またはトランジスタ、その他無線機を構成する各部の材料と部品は信頼性の高いものを使用することが必要であり、有効適切な品質管理を行なうことにより、故障の起らない無線機を製作することが必要である。印刷配線は製作技術が大いに進歩して信頼性を増してきているので、これを採用することにより機器の信頼性の向上をはかることができ、あわせて小形化と原価低減の目的も果すことができる。

(5) については、性能の向上と相反する面があるが、性能と価格の調和をはかり、量産によって原価を低減して行くための努力が必要である。また、トランジスタについては生産量の増加について、その価格は最近では電子管とほとんど差がなくなっているが、しかし UHF 用および高周波電力用のものは、かなり高価であるので、電子管と同程度の価格で販売されるときが 1 日でも早く実現

されるよう希望する。これによって 400 Mc 帯無線機の完全な全トランジスタ化が経済的に可能となる。

## 6. む す び

以上で 400 Mc 帯の狭帯域 FM 無線機に対する郵政省技術基準に適合するものとして、当社で新しく開発した FS-7D 形固定用および FM-7D 形移動用 FM 無線機について、設計上考慮した事項と、機器の概要および用途、ならびに将来の問題について紹介したが、この周波数帯の機器は今後ますます利用される情勢にあり、これに対しては、なおいっそう改良すべき点がある。すなわち機器をできるだけトランジスタ化することにより、電気的・機械的によりすぐれた無線機を製作するため今後いっそうの努力を誓うとともにここに改めて、種々ご指導ならびにご協力いただいた関係各位に対し厚く謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 染谷 黙・森永隆広：最近における移動無線通信方式、通信技術展望、「電通誌」39, 236 (昭 31).
- (2) M. Dishal: Theoretical Gain & Signal to Noise-Ratio of the Grounded Grid Amplifier at Ultra-High Frequencies, Proc. I. R. E. 32, 276 (1944).
- (3) 染谷 黙：改訂超短波移動無線、150 (昭 31).
- (4) 古橋好夫・石上彦一：実効選択度の研究、「国際通信の研究」No. 9, 1 (昭 30).
- (5) 岩井文彦・森永隆広：移動無線通信（電子・通信工学講座）、5 (昭 34).
- (6) W. R. Young, Jr.: Comparison of Mobile Radio Transmission at 150, 450, 900 and 3,700 Mc, B. S. T. J. 31, 1,068 (1952).

## ==== 最近登録された当社の特許および実用新案 ====

区別	名 称	特許または登録日	特許または登録番号	発明考案者	所属場所
新案	防爆機形器の表示装置	34-11-24	502941	平野琢磨	福岡
"	電機巻線保護装置	"	502942	尾畠喜行	神戸
"	電圧調整装置	"	502943	西山賛明	姫路
"	回路シヤ断器	"	502959	服部卓也	名古屋
"	伸縮支柱の緊締装置	34-11-25	503177	藤沢亘	無線機
"	水銀整流器の制御格子	"	503178	加藤又彦	伊丹
"	油自藏式立テ軸電機の軸受油槽	"	503179	中川英二	神戸
"	放電装置の陽極棒密封装置	"	503180	加藤又彦・塚本昭二	伊丹
"	回転電機の固定子	"	503181	山下喜美雄・竹俣茂	神戸
"	放電記録紙	34-11-27	503280	岡田昌治・上月義男	伊丹
"	放電电流記録装置	"	503281	森直次・上月義男	"
特許	車両用点灯および充電装置	34-12-3	257265	水田和幸	姫路
	並行 2 回線保護巻電装置	34-12-4	257373	森健	神戸
	空氣シヤ断器	"	257374	富永正太郎	伊丹

# エナメル線および合成ゴムの電気的性質 におよぼす冷媒と油の影響

研究所 白井万次郎\*・原 仁吾\*\*・平林庄司\*\*

## Effect of Refrigerant and Oil on Electric Characteristics of Enamelled Wire and Synthetic Rubber

Research Laboratory Manjiro SHIRAI · Jingo HARA · Shoji HIRABAYASHI

It has been known by experience that the insulation resistance of motors lowers when R22( $CF_2ClH$ ) is used for enclosed type refrigerators operating on R12( $CF_2Cl_2$ ) as refrigerant. To study this phenomenon liquid R12 and R22 and also admixture of refrigerator oil and either of above two were prepared, and resistance and break down voltage of insulation film of enameled wire were measured in these liquids. Results have revealed that enameled wire submerged in liquid containing R22 has larger drop of insulation resistance than that dipped in R12 contained one. The same tests were conducted with synthetic rubber to attest that no ill effect was observed on its electric characteristics.

### 1. まえがき

密閉形冷凍機ではよく知られるように圧縮機モータが冷媒・油混合液中に浸漬されている。冷媒にR12( $CF_2Cl_2$ )を使用する密閉形冷凍機にR22( $CF_2ClH$ )を使用すると、モータの絶縁抵抗が低下するのが経験される。このためR12とともに使用するモータのエナメル線がR22では不適当なのではないかと考えられ、各種のエナメル線の耐フレオノ性の試験がなされた。本報はこのうち冷媒と油のエナメル線の電気的性質におよぼす影響を述べたものである。同様に冷凍機に用いられる合成ゴム類が冷媒・油混合液にふれる場合があり、この場合のゴムの電気的性質におよぼす影響を試験する機会があったので、ここにあわせて報告する。

### 2. 冷媒・油混合液中のエナメル線の電気的試験

モータのエナメル線は密閉形冷凍機では冷媒と冷凍機油の混合液に接触する。はじめこの混合液にエナメル線を浸漬して一定時間後にとりだして絶縁抵抗を測定したが、絶縁抵抗の低下が見られなかった。しかしエナメル線の絶縁皮膜はきわめて薄いものであるから、取りだした後に冷媒が蒸発してしまって影響が現われないことが考えられる。そこでその後、混合液中に浸漬した状態でエナメル線の抵抗を測定するようにした。

冷凍機に用いる冷媒類は室温でかなり高い蒸気圧を示すから、液態の冷媒中でエナメル線皮膜の抵抗を測定するには耐圧容器が必要である。抵抗試験容器には図2.1

に示すようなものを用いた。冷媒類はあらかじめドライアイスを用いて液化しておき、図2.1の容器中に所定の量だけ入れる。冷媒・油の混合は容積で1:1に混合した液を使用する。試料のエナメル線は所定の長さに切り、その2本をより合わせ、この2本の線間の抵抗を測定した。より合わせはNEMA Standard for Magnet Wire (Pub. No. 46-120, 1946)に規定された方法に従って行

なった。このより合わせ線を冷媒液中に浸漬する。1本は中央のモリブデン線に、他の1本は容器に接続する。この両者はガラスによって絶縁されている。ガラス管にはコバルトを融封し、コバルトを容器

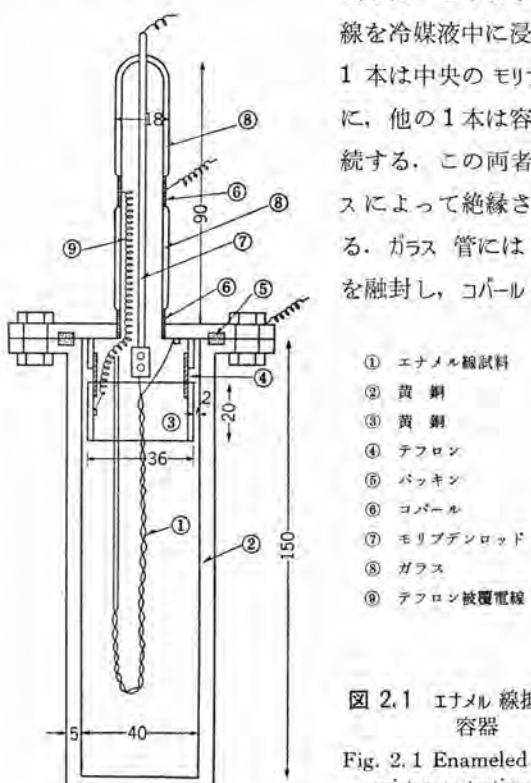


図2.1 エナメル線抵抗試験容器

Fig. 2.1 Enameled wire resistance testing device.

(黄銅製)にハンド付けする。ガラスの表面漏洩を防ぐため、ガラス管の中ほどにもコバルトをつけ、これをガードリングとした。より合わせ線の他端は上方に曲げて冷媒液の液面上にでるようにし、電線の切口から液を通して漏れる漏洩を防いだ。容器のふたのパッキンははじめフランジ全体につけたが、パッキン(コレクプレン)の切口が冷媒に浸されて切れて内部に落ちたことがあったので、後に図に示すようにフランジにミヅを切ってパッキンを入れた。こうするとパッキンは浸されず、ガス漏れもなかった。

冷媒液の抵抗を測定するため、図中3の部分の黄銅リングをテフロンでふたからつり下げた。黄銅リングはテフロン電線によってコバルト6に接続する。液体の抵抗は容器とコバルト6の間で測定した。この場合ガードはとれなかったが、表面漏洩抵抗は測定すべき液体の抵抗にくらべ十分に高いことを確かめた後に測定した。容器の内壁と黄銅リングとの間隙は2mmである。他の部分の容器の寸法のおもなものは図2.1に示しておいた。

より合わせ線の絶縁抵抗はあらかじめ空气中での抵抗を測定しておいて、液中に浸漬した後の抵抗と比較した。エナメル線の皮膜が冷媒液中で次第に変化することを考えて、抵抗は浸漬後、数日間にわたって測定した。ただし第1回目は液温が低いから数時間放置して液の温度が室温になったときに測定した。測定電圧は多くの場合DC 500Vである。

所定日数だけ冷媒液に浸漬した後はそのままの状態で破壊電圧を測定した。これとあらかじめ別の試料で測定した空気中の破壊電圧と比較した。

試料用いたエナメル線はホルマール、ナイロン、レクトン、エポキシなどの合成樹脂系統のエナメル線で、油性エナメル線は含まれていない。

冷媒はR12とR22の2種を用いた。冷媒機油は国産#150を用いた。

測定温度は室温であるが、R12とR22とで試験した時期を異にしたので、前者では15~20°C、後者では29~32°Cである。

### 3. エナメル線の試験結果

#### 3.1 絶縁抵抗

冷媒液中および冷媒・油混合液中のエナメル線の抵抗の測定結果を図3.1~図3.8に示す。図3.1はR12液中に浸漬したエナメル線の抵抗であり、図3.2はこの場合のR12液の抵抗率(固有抵抗)を示す。図3.3、図3.4はR12に冷凍機油を容量で1:1に混合した液に浸漬した場合のエナメル線の抵抗と液の抵抗率を示す。図3.5~図3.8はR12の代りにR22を用いた場合の同様な実

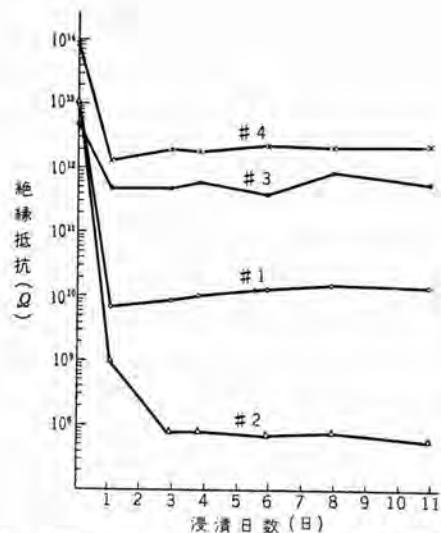


図3.1 R12液中のエナメル線の絶縁抵抗 (13~20°C)

Fig. 3.1 Insulation resistance of enameled wire in R12 liquid.

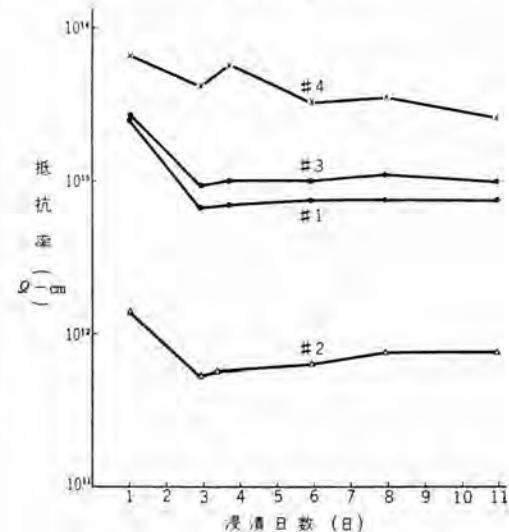


図3.2 エナメル線を浸漬したR12液の抵抗率 (13~20°C)

Fig. 3.2 Resistivity of R12 liquid in which enameled wire is submerged.

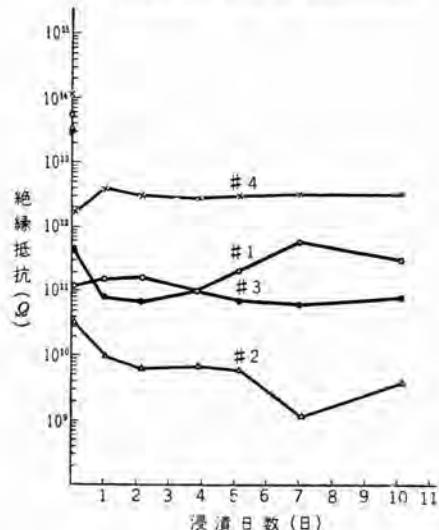


図3.3 R12液+油中のエナメル線の絶縁抵抗 (15~17°C)

Fig. 3.3 Insulation resistance of enameled wire in R12 liquid+oil.

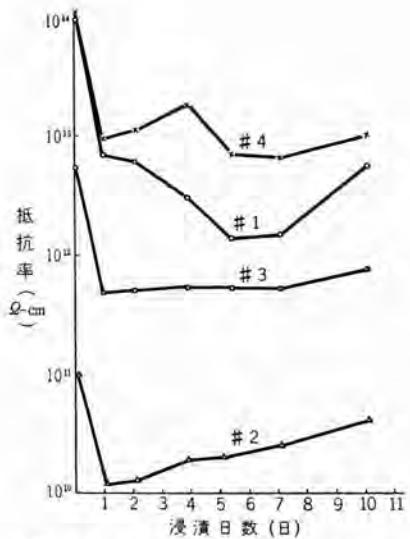


図 3.4 エナメル線を浸漬した R12 $\oplus$ 油の抵抗率 (15~17°C)

Fig. 3.4 Resistivity of R12 $\oplus$ oil in which enameled wire is submerged.

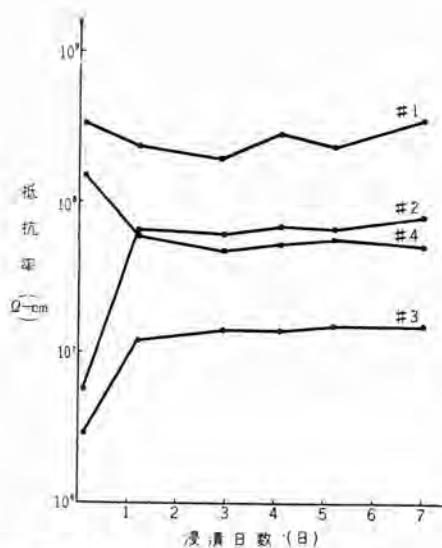


図 3.6 エナメル線を浸漬した R22 液の抵抗率 (30~32°C)

Fig. 3.6 Resistivity of R22 liquid in which enameled wire is submerged.

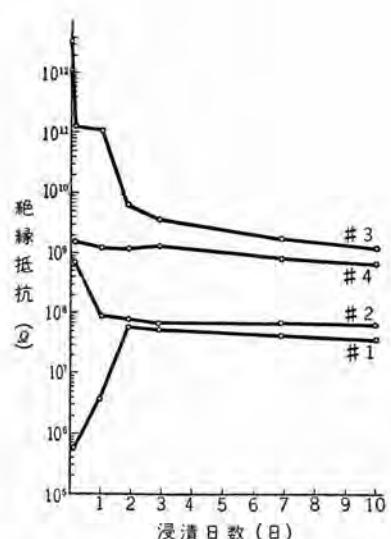


図 3.7 R22 $\oplus$ 油中のエナメル線の絶縁抵抗 (29~30°C)

Fig. 3.7 Insulation resistance of enameled wire in R22 $\oplus$ oil.

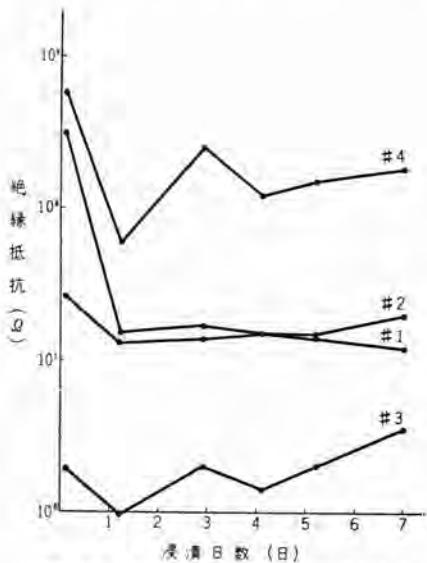


図 3.5 R22 液中のエナメル線の絶縁抵抗 (30~32°C)

Fig. 3.5 Insulation resistance of enameled wire in R22 liquid.

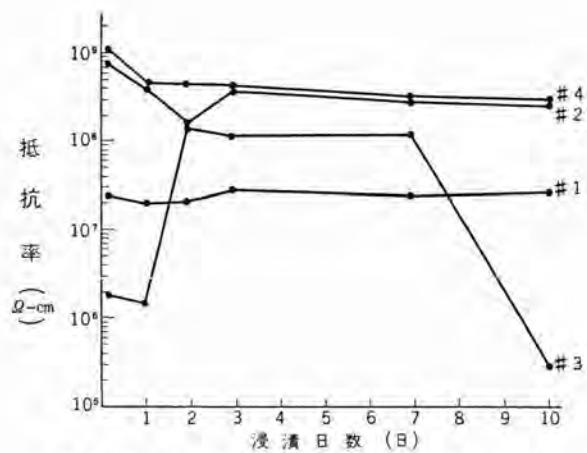


図 3.8 エナメル線を浸漬した R22 液 $\oplus$ 油の抵抗率 (29~30°C)

Fig. 3.8 Resistivity of R22 $\oplus$ oil in which enameled wire is submerged.

験結果である。

これらの図を見るといずれの場合も冷媒液あるいは冷媒・油混合液にエナメル線を浸漬すると、エナメル線の絶縁抵抗は空気中の値に比してかなり低下するが、その後抵抗はほぼ一定の値になる。エナメル線の絶縁皮膜はきわめて薄いので、液はこれに短時間に滲透し平衡状態になるものと思われる。そこで浸漬 1 日後から 10 日までの抵抗値を平均して液中のエナメル線の抵抗とし、これを空気中のそれと比較した。

各抵抗の対数をとり、 $\log R_0 - \log R$  を各試料、各液中で比較したものを表 3.1 に示す。ただし  $R_0$  はエナメル線

の空気中の抵抗、 $R$  は液中の抵抗である。この表は液に浸漬することによるエナメル線の抵抗低下のケタ数を示すものである。この表をみると全体の傾向として R22 ののはいった液中のほうが R12 ののはいった液中より抵抗の低下が大きい。この結果は R22 中に入れたモータの

表 3.1 冷媒液中のエナメル線の絶縁抵抗の低下

試 料	$\log R_0 - \log R$ ( $R_0 = \text{空気中}$ )				
	R22	R22 $\oplus$ 油	R12	R12 $\oplus$ 油	平 均
#1	4.84	5.01	2.91	2.37	3.78
#2	4.42	4.26	4.64	3.54	4.22
#3	5.15	1.38	0.91	2.35	2.45
#4	3.58	3.45	1.60	1.60	2.56
平 均	4.50	3.53	2.52	2.44	3.25

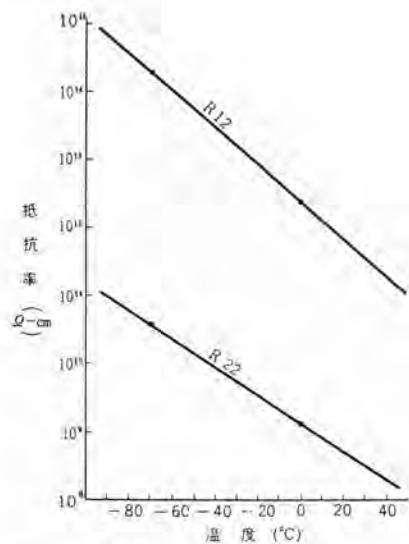


図 3.9 液体冷媒の抵抗率

Fig. 3.9 Resistivity of liquid refrigerant.

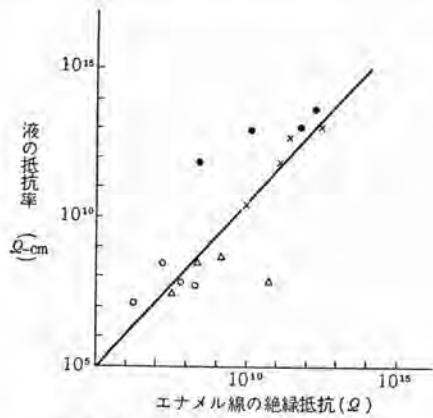


図 3.10 液の抵抗率とエナメル線の絶縁抵抗の関係

Fig. 3.10 Relation between resistivity of liquid and insulation of enameled wire.

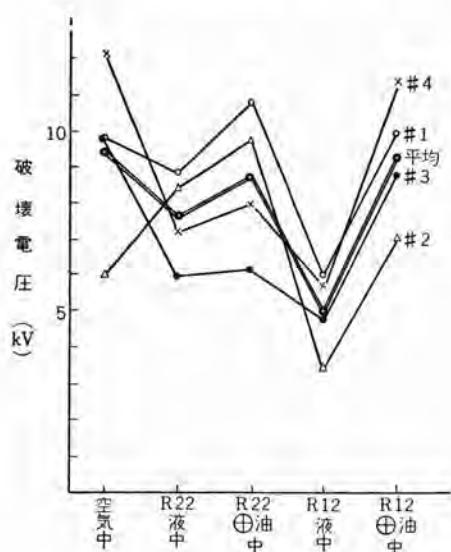


図 3.11 冷媒液中のエナメル線の破壊電圧

Fig. 3.11 Break down voltage of enameled wire in refrigerant liquid.

抵抗が低下するという経験と一致する。

エナメル線を入れない R12 と R22 液の抵抗を測定してみると図 3.9 のようになる。試料に用いた R12 と R22 は市販品をそのまま測定したものである。R22 液の抵抗は R12 液の抵抗より約 3 ケタほど低い。R22 は分子中に水素原子を 1 個含んでいるので誘電率が R12 より大きくなる。(R12 の誘電率は 2.1, R22 は 6.6 である。) 誘電率の大きい液体中では溶解した不純物が解離しやすくなるから抵抗が低くなるものと思われる。

多くのエナメル線の絶縁皮膜には冷媒液は滲透すると考えられるから、抵抗の低い液が滲透したほうが抵抗の低下が大きいであろう。冷媒液に冷凍機油が混合した場合はエナメル線の絶縁抵抗の低下は多くの場合少なくなる。

液の抵抗はエナメル線を浸漬することによりあまり大きな低下はないようである。エナメル線の絶縁抵抗と液の抵抗率の関係を見ると図 3.10 のようになる。多少ばらついている点もあるが、この両者は大体比例しているようであり、エナメル線の抵抗が液の抵抗に支配されていることを裏書きしている。

Eiseman 氏<sup>(1)</sup>はモータの抵抗の下がることは冷凍機の使用上さしつかえなく、むしろ冷媒液に滲透されたエナメル線絶縁皮膜が柔くなり傷をうけやすくなつて、機械的にうける損傷から電気的事故がおこるという見解を述べている。しかしできれば冷媒液中でもあまり抵抗の下がらないエナメル線を選んで使用すべきであろう。

### 3.2 破壊電圧

冷媒液中のエナメル線の破壊電圧は表 3.2 に示す。図 3.11 はこれを図に表わしたものである。いずれのエナメ

表 3.2 冷媒液中のエナメル線の破壊電圧

試 料	#1	#2	#3	#4	(平均)	備 考
空 気 中	9.8 kV	6.0	9.8	12.1	9.4	15.5°C, 52%RH
R22 液 中	8.8	8.4	6.0	7.2	7.6	31° 72%
R22 ⊕ 油 中	10.8	9.8	6.2	8.0	8.7	29° 75%
R12 液 中	6.0	3.4	4.8	5.7	5.0	14° 64%
R12 ⊕ 油 中	10.0	7.0	8.8	11.4	9.3	17° 62%
(平 均)	9.1	6.9	7.1	8.9	8.0	

ル線も冷媒液中あるいは冷媒・油混合液中で十分に高い破壊電圧を示し問題はなさそうである。ただ絶縁抵抗の場合と異なって R12 液中のほうが R22 液中より破壊電圧の低下が大きい。また両冷媒とも油が混合されたほうが破壊電圧は高くなる。これは抵抗の場合と傾向が同じである。試料間の差はあまり大きくなない。

### 4. 冷媒・油混合液中のゴムの膨潤

冷凍機内で冷媒および冷凍機油に接触する有機材料として合成ゴムがある。このゴムの電気的性質におよぼす

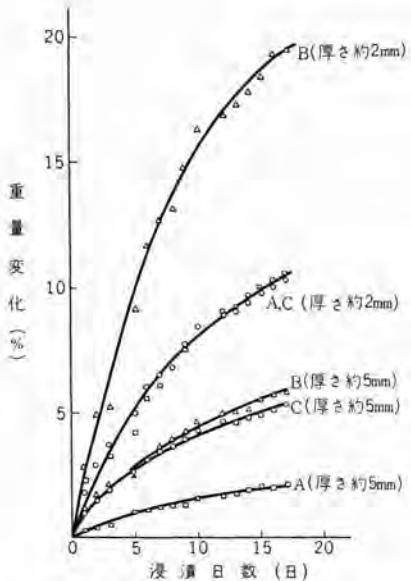


図 4.1 ゴム試料の厚さと膨潤速度

Fig. 4.1 Thickness of rubber specimen vs expansion speed.

冷媒と油の影響が実験されたので、つぎに述べる、試料に用いたゴムは充填剤としてカーボンブラックのほかゴムの絶縁性を高くするため、これを数種の無機充填剤にかえたものである。冷凍機油は前と同様 #150 である。

ゴムは有機液体中に浸漬すれば周知のように一般に膨潤する。ベンジルなどの低分子量の溶剤に対しては比較的短時間にこの膨潤平衡に達するようであるが、冷凍機油のように比較的高分子量の液中ではなかなか平衡に達しない。これには試料の厚さも関係してくる。たとえば冷凍機油 #150 中の 2, 3 の合成ゴムの膨潤による重量変化を示したのが図 4.1 である。この重量変化は体積変化とほぼ比例する。いずれの場合も浸漬後 15 日を経過しても平衡に達していない。これには液の粘度も関係し #300 の油の場合は #150 の油より膨潤速度がおそくなる。冷媒が油に混合されると液の粘度が下がるから膨潤速度が早くなる。また温度も関係し、温度が高ければ早く膨潤平衡に達する。油の成分もゴムの膨潤度にいちじるしく影響し、芳香属成分の多い油の中ではゴムの膨潤が大きい。

今回試料に用いた合成ゴムの膨潤程度を示したのが図 4.2 である。これは寸法  $5 \times 15 \times 30$  mm の試料を液に 15 日間浸漬した後の重量変化を示したもので、膨潤平衡に達していない。“直後”とあるのは浸漬液から取りだした直後の重量である。これを室内に放置しておくと、冷媒液は徐々に蒸発してゆく。“放置後”というのはこのように 5 日間室内放置をした後の重量である。冷媒液だけの場合はじめの重量より減少したものがあるのは浸

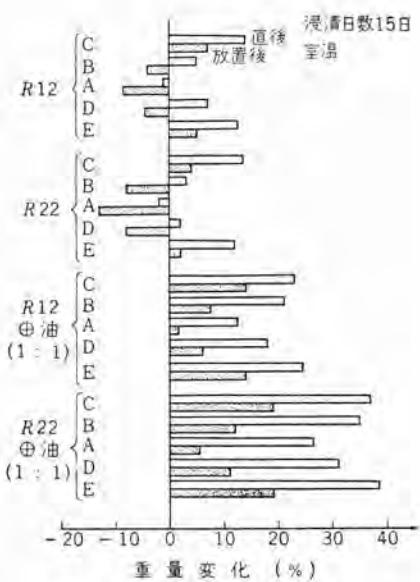


図 4.2 ゴムの重量と浸漬処理

Fig. 4.2 Weight of rubber vs submerging treatment.

漬液に溶解するゴム成分があることを示す。浸漬液に油が含まれる場合は油が蒸発しないから、ゴムに溶解する成分があっても重量がはじめより減少することはない。

## 5. 冷媒・油混合液中の合成ゴムの電気的性質

ゴムの有機液体中の膨潤過程は以上に述べたようにきわめて複雑である<sup>(2)</sup>。液中のゴムの電気的性質も膨潤平衡に達した後に測定するのが望ましいが、これは長い日数を要すると考えられたので、浸漬日数は室温で 7 日間に一定にして実験した。

電気的性質の測定に用いた試料の寸法は  $2 \times 140 \times 140$  mm である。試料のゴムシートは丸めて耐圧容器内で、冷媒、油およびその混合液に浸漬した。混合液は 1:1 の容量割合である。7 日間浸漬後、取りだして 10 分後に抵抗を測定した。この場合 エナメル線の試験のように試料を液中において測定していない。一度ゴムに滲透した冷媒類はその重量変化を測定してみると蒸発がきわめておそいので気中で測定したのである。測定電圧は DC 500 V であるが、試料 A だけは抵抗が非常に低かったので 6 V で測定した。抵抗率を出すには浸漬後の試料の厚さを使用している。抵抗測定後、油中で試料の破壊電圧を測定し、7~8 個の測定値を平均して破壊電圧とした。

実験結果は図 5.1, 5.2 に示す。破壊電圧は A は測定不能、他の 4 試料のうち B はやや他の 3 試料と傾向が異なり、浸漬後の値のほうが浸漬前よりよい。残りの 3 試料は大体傾向を同じくし、油だけに漬けたものは破壊電圧

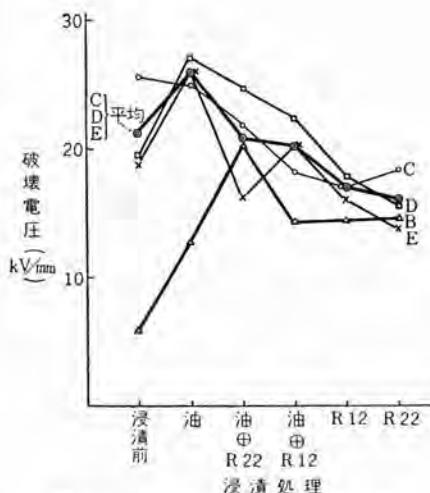


図 5.1 ゴムの破壊電圧と浸漬処理  
Fig. 5.1 Rubber breakdown voltage vs submerging treatment.

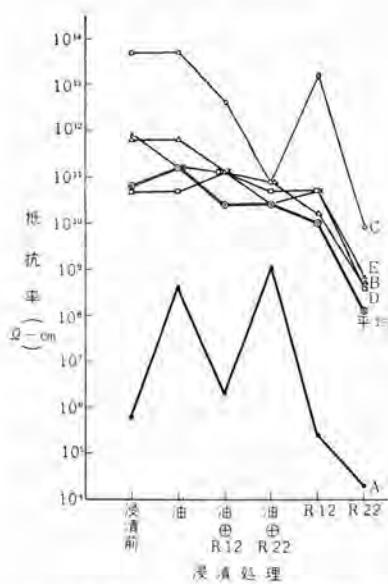


図 5.2 ゴムの抵抗と浸漬処理  
Fig. 5.2 Rubber resistance vs. submerging treatment.

がやや上がり、冷媒・油混合液に浸漬したものはやや下がるが浸漬前とあまり変らず、冷媒液にだけ浸漬したものはさらに下がる。

抵抗率も 5 試料の平均をとってみると大体の傾向がわ

かる。油に浸漬したものは抵抗はやや上がり、混合液の場合はやや下がり、R12, R22 の順で下がる。破壊電圧の傾向と大体平行するようである。

## 6. むすび

冷媒に R12 を使用する密閉形冷凍機に R22 を使用するとモータの絶縁抵抗が低下することが経験され、R12 液、R22 液およびこれらに冷凍機油を混合した液中で、エナメル線皮膜の絶縁抵抗および破壊電圧が測定された。R22 液を含む液に浸漬したエナメル線は R12 液を含む液に浸漬したものより絶縁抵抗の低下が大きい。冷媒に油を加えればエナメル線の抵抗は上がる。破壊電圧の低下は R12 中のほうが R22 中より大きい。油が冷媒中に加われば破壊電圧は上昇する。いずれの場合も破壊電圧は十分高い値をもっている。エナメル線の抵抗低下は実用上さしつかえないという意見があるが、やはり冷媒液中でもあまり抵抗の下がらないエナメル線を選んで使用すべきである。

冷凍機に使用される合成ゴムで絶縁性が問題にされる場合があり、同様な試験が数種の合成ゴムについてなされた。その結果をみると液に浸漬されたゴムの絶縁抵抗と破壊電圧は油によっていくぶんよくなり、冷媒類によっていくぶん悪くなるが、いちじるしく悪くなることはなかった。

以上は R22 使用の密閉形冷凍機用電動機の基礎試験の一部を報告したのであるが、これらの結果をもととして実用試験を行ない良好な結果を得たので、R22 用密閉形圧縮機は生産の段階にはいっている。

おわりにこの研究に対し懇切なご配慮、ご助言をお寄せ下さった当社静岡製作所石川技術課長に深く感謝する次第である。

(35-2-15 受付)

## 参考文献

- (1) B.J. Eiseman: Ref. Eng. April 61 (1955).
- (2) B.J. Eiseman: Ref. Eng. 57, 1171 (1949).

# 銀系接点の消耗移転現象(2)

研究所 山森末男\*・森田義男\*\*・岩村武志\*\*\*・政木淑人\*\*\*

## Erosion and Transfer Phenomena of Silver Group Contacts (Part 2)

Research Laboratory

Sueo YAMAMORI・Yoshio MORITA

Takeshi IWAMURA・Yoshihito MASAKI

By selecting several kinds of contacts with different content of CdO and also ones having different structure with a fixed content of CdO, the writers made thorough study how CdO affects in operation. In the first attempt, features of electric arcs occurred in closing and opening contacts were made clear in relays for testing. Then, investigations were made in connection with them on the aspect of damage on clean surfaces of contacts by single operation of making and breaking, physical characteristic of erosion after ten thousand operations, and structure of damaged contacts. Results revealed relation of operation characteristic with CdO quantity and structure of Ag-CdO contacts on heavy current. The relation obtained by this experiment might well be adaptable to cases where machines and load conditions are different.

### 1. まえがき

第1報<sup>(1)</sup>においては、Ag—CdO および Ag—W 接点の直流 20~800A, 30V 抵抗負荷回路における現象を、接触電圧降下の変化、傷損、表面組織の変化などから観察し、また清浄接点表面の溶着力の接点組織による相違を検討した。その結果、これらの接点の消耗、溶着を少なくするためには、CdO あるいは W を添加して得られた接点組織の粒度とその分布状態が問題点の一つとしてとりあげられることを推定した。

この報告では、Ag—CdO 接点について添加物 CdO の役割を明白にし、さらに上記の問題点を検討するために、まず CdO 含有量を異にするもの、つぎに同一%であるが組織を相違するものを選び、第1報同様の大電流による消耗移転現象を調査した。

一般に接点の試験は、使用した機器の機械的性能および電気的条件に左右されるので、接点に対する試験結果をそのまま普遍化することはむずかしいといわれている。しかし、大電流による接点材料の消耗移転現象は、要するにアーチによる傷損 (Arc erosion) の問題であるので、この実験においてはとくにこの点を考慮して、アーチの発生状態を使用機器について明確にし、かかるアーチに基づく傷損現象として検討して、機器に特長づけられない一般見解を導くことに努めた。

その結果、大電流用としての Ag—CdO 接点の作動特

性について、CdO の量およびその組織との関係を知ることができたが、さらに機器を異にする場合においても、機器の特長から接点特性の変化の傾向を容易に類推することの可能性を示し得たと思う。

### 2. 実験試料および測定法

#### 2.1 実験試料

この実験においては、Ag—CdO 接点だけをとりあげた。Ag に対する添加物 CdO の役割を検討することを目的としたので、CdO% の相違するものを選び、ついで CdO を添加して得られる組織の影響を調査するために、同一%であるが、その組織を異なるものを選ぶことにした。表 2.1 に使用した各種の試料を掲げたが、

表 2.1 実験に用いた Ag—CdO 接点

記号	CdO%
A	20
B	15
C <sub>1</sub>	10
C <sub>2</sub>	10
C <sub>3</sub>	10
C <sub>4</sub>	10

CdO% の同一のものをも含むので、以下本文では表の左方に示した記号によって試料名を区別することにした。表中、A, B および C<sub>1</sub> は同一製造条件で配合を変えて作られたものであり、C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> は同一%であるが、その組織が異なる試料である。組織は C<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> の順に粒度が小であり、かつ均一の分布をしている。(C<sub>2</sub> は酸化法より作られたため粒度分布の均一性が良好であったが、粉末法による C<sub>1</sub> はその点において劣っていた)

\* 材料研究室長 \*\* 材料研究室

これらの試料の顕微鏡組織を図2.1に示しておく。なお以上のほかにAg接点を加え比較の基準とした。

## 2.2 実験方法

実験の方法、実験条件などは第1報と同様で、プランジャ形単相切りのリレーを用いた。そのおもな点を再録するとつぎのとおりである。

a. リレー………スプリング圧 1 kg, 開閉速度 msec 級間隙 1 mm, 直流操作

b. 回路………蓄電池電源 30~34 V, 作動回数 16 回/分, 通電時間 0.2 秒

c. 負荷方式

Making ……接点が閉じるとき通電し、開くときには電流をシャット断しない。

Breaking……閉路のときは無電流で、開路のときに電流をシャット断する。

Normal ……普通に電流を投入、シャット断する。

の三つの方式を採用した。

なおこの実験では、各接点材料による作動時のアーチ発生状態、アーチ電圧などを測定するため、シンクロスコープを

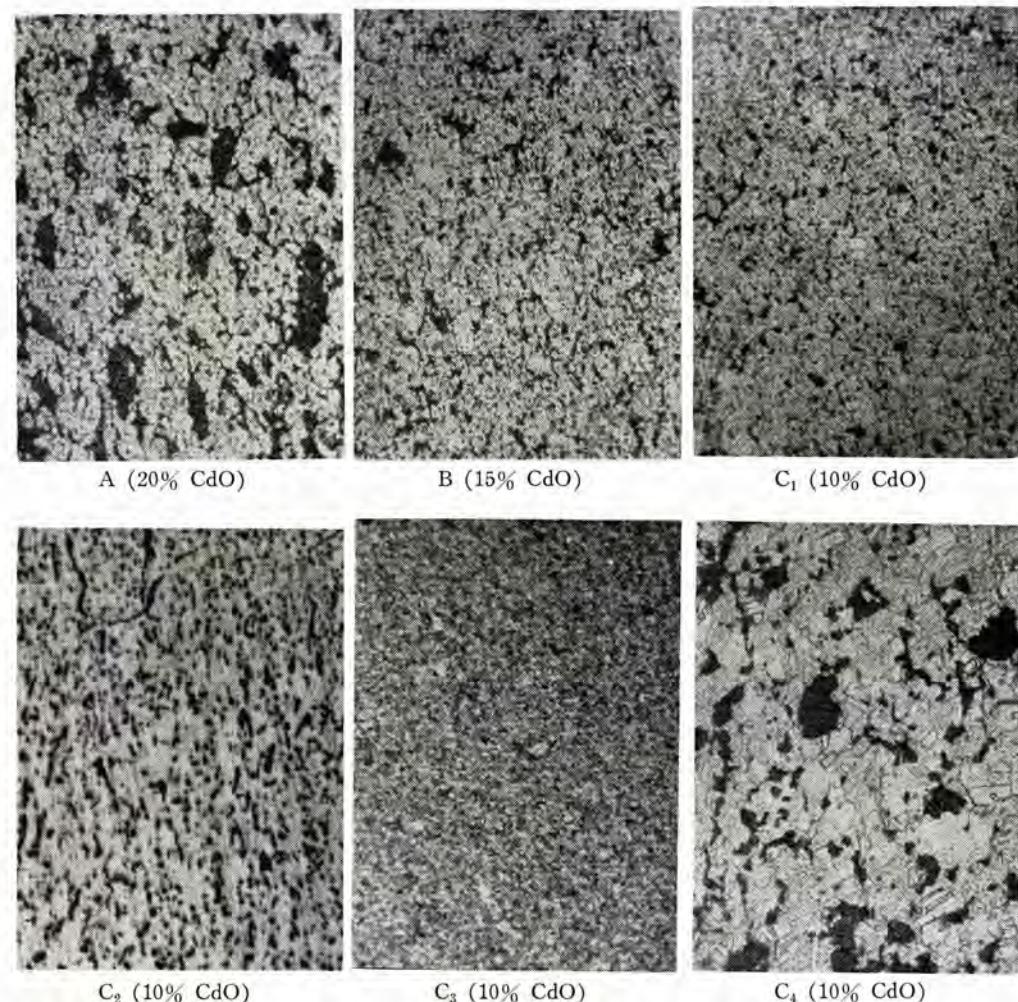


図 2.1 接点試料の顕微鏡組織 ×340

Fig. 2.1 Micro-structure of Ag-CdO contacts.

用いた。それぞれの実験の方法については必要な都度説明を加える。

## 3. 実験結果

大電流用電気接点の傷損は、一般にはほとんどアーチによるものと考えてさしつかえない。したがって大電流用接点材料の傷損を研究するためには、第1報で述べたように傷損接点を顕微鏡組織の変化から検討するとともに、その原因となる動作時のアーチ発生状態を明らかにすることが必要である。

ここではまず、各種のAg—CdO接点の動作時のアーチ発生状態を明らかにした。つぎにこれと関連づけて、前述した三つの方式を用い、大電流一発の作動による清浄面接点の傷損、1万回作動後の消耗量を検討した。以下順次これらの結果について述べるとともに、1万回作動後の傷損接点面の観察結果や作動前後の接触電圧降下の変化などについても触れる。

### 3.1 アーチの発生状態

まず、供試リレーにおける接点間のアーチ発生状態を Making と Breaking の二つに分けてその特長を観察し、ついで接点材質の相違による影響を検討した。

#### (1) Making におけるアーチ

Makingにおける供試リレーの接点跳躍の一例を図3.1に示した。これは図3.2のようにリレーの端子間電圧をシンクロスコープで撮ったものである。したがって図3.1はつぎのようなことを現わしている。スポット(1)はリレーが投入して端子間電圧がほぼ零になった点を示し、きわめて短時間後に短い第1回の接点跳躍(2)が起り(3)で終る。その後(4)に至って第2回の跳躍が起り、(5)→(7)で終る。第1回は

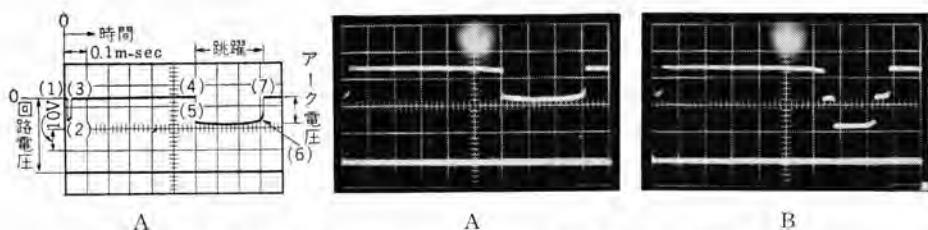


図 3.1 Making における跳躍の例 (接点-B. 電流-100A)

Fig. 3.1 Example of bouncing in contact making operation.

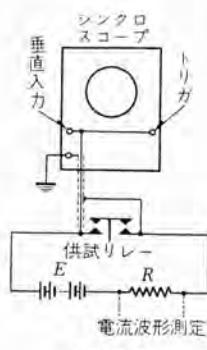


図 3.2

アーカ電圧電流波形撮影時の回路

Fig. 3.2 Circuit for measuring of arcing voltage and current.

約 0.02 m sec, 第 2 回は約 0.31 m sec の間、アーカを伴って跳躍が継続している。アーカ電圧はいずれも 10 V 程度であるから、跳躍はこの両切りリレーの片方の接点間だけに起っていることがわかる。両方の接点とも浮き上った場合には、図 3.1 (B) に示すようにアーカ電圧は 2 倍になって示されるが、この実験ではこのような例はまれであった。

以上のように Making におけるアーカは、接点の跳躍によって生じることは明らかである。このほか一般的にいえば、接点が近づいてその間隙が至近になった場合とか、接点の接触はじめた高抵抗の瞬間にアーカを生ずることが考えられるが、この実験では問題にならない。

さて、Making におけるアーカ発生の原因であるこの接点跳躍は、主としてリレーの種類構造によって支配され、リレーが異なると、かなり広く変るのが普通である。また同一リレーでも操作条件（励磁コイル電圧、リレーの取りつけ方など）によって異なることはよく知られている。その他あまり注目されていないが、同じ接点でも電流が増大した場合とか、同じ大きさでも接点材質が異なった場合には、接点の熱効果の相違により、接点相互間の反発力が変化して跳躍に影響を与える。たとえば Ag と Ag-W 接点では、低電流では類似の跳躍を示し

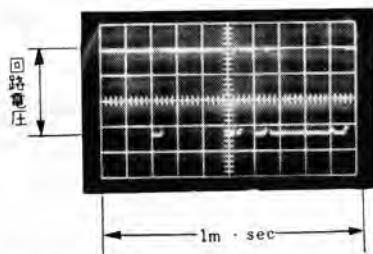


図 3.3 電流の少ない場合の跳躍の例  
(接点-B, 電流-0.18A)

Fig. 3.3 Example of bouncing on low current in contact making operation.

銀系接点の消耗移転現象 (2)・山森・森田・岩村・政木

ても、大電流になるとともに変る。図 3.1 と図 3.3 は、Ag-CdO 接点の場合に電流によって跳躍が異なる例としてあげられるが、電流がほとんど流れていない場合すなわち図 3.3 には跳躍の頻度が多いが、大電流 (図 3.1)

では少なくなっている。

このように、同一のリレーでも回路電圧、電流、接点材質などによる系統的変化のほかに、投入系の摩擦、接点面の傷損などの偶発的変化を伴うので、リレーの Making における跳躍は単純な形にはおさまらない。したがって Making 時のアーカ発生状態は多少パラツクものとなりやすい。しかし接点跳躍にもっとも大きく影響を与えるのは前述のように、リレーの構造、種類であるので、これに起因する Making 時のアーカ発生の状態、すなわち、接点の傷損も主としてこのリレーに特長づけられているのは当然である。この実験では同じ種類の十分調整されたリレーで、操作条件が一定になるように注意を払ったことを付言しておく。

#### (1) アーカ電圧

供試リレーに Ag, Ag-CdO 接点を取り付け、定常電流値 (無アーカ時の回路電流値) 400A で、それぞれの場合に得られた接点跳躍の例を図 3.4 に示した。これらのオシロに見られる跳躍の仕方 (間隔、継続時間等) は前述のように区別できるが、供試リレーにおける跳躍時のそれぞれの接点材質に特有なアーカ電圧を示している。このようにして、オシロから求めたアーカ電圧を表 3.1 に示しておく。なお同様にして得られた Ag-W, Ag-WC, Ag-Ni 接点のアーカ電圧を同表に示して参考とした。

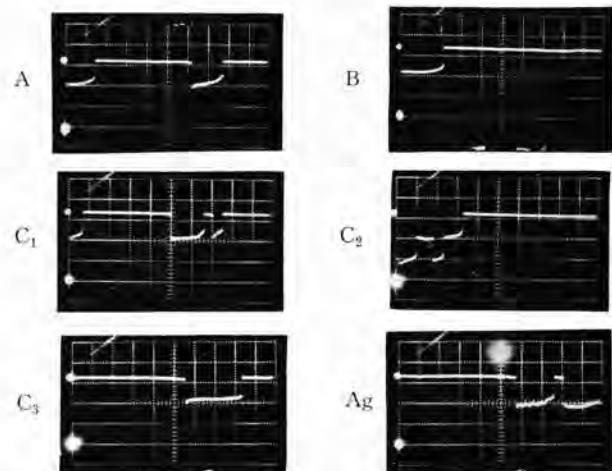


図 3.4 各種接点の跳躍におけるアーカ (電流-400A)

Fig. 3.4 Arc in bouncing of various Ag-CdO contacts.

表 3.1

Ag—CdO その他の接点のアーチ電圧

接点の種類	アーチ電圧 (V)
Ag—CdO A	約 10.5
" B	11
" C <sub>1</sub>	12
" C <sub>2</sub>	10
" C <sub>3</sub>	10
Ag	14
Ag—W (35:65)	12
Ag—WC (35:65)	10
Ag—Ni (60:40)	11

これらの結果は、Ag に CdO が添加された Ag—CdO 接点のアーチ電圧が、Ag 接点に比べ低くなることを示しており、CdO の % が大なるほど C<sub>1</sub>, B, A の順に、また微細組織であるほど C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> の順にアーチ電圧が低いことを示している。なおここに示されたアーチ電圧は、たとえば Ag については 14V となっており、一般にいわれる最小アーチ電圧 8~12.5 V<sup>(2)</sup> より大になっているが、この差はリレーの接点が跳躍してある間隙をもっており、アーチ長が  $\approx 0$  でない時に示されたアーチからの値を用いているからで、したがってリレーが異なり、跳躍の間隙が異なるれば、そのままの値では適用されないことを注意しておく。

### (2) 跳躍時のアーチエネルギー

以後の考察の便にするため、跳躍時に伴うアーチによって消費されるアーチエネルギーを計算しておく。リレー接点の普通の跳躍時においては、回路の電圧、電流がアーチ電圧、電流以下でないかぎり、接点間にアーチが発生し、アーチ電圧降下  $E_a$  (V) を伴ってアーチ時電流  $I_a$  (A) が流れ、いま  $E_a$ ,  $I_a$  を図 3.5 のように仮定すれば、跳躍時間  $T$  (sec) の間に、接点間に消費されるアーチエネルギー  $P$  (Joule) は簡単に  $P = E_a \cdot I_a \cdot T$  となる。通常は回路電圧  $E$  (V) が既知であり、定常負荷電流 ( $E_a=0$  の場合の電流)  $I$  (A) が定められているから、これを用いて上式を書き換えると、次式のようになる。

$$P = E_a I \left( 1 - \frac{E_a}{E} \right) T \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

式 (3.1) を図で示すと図 3.6 のようになり、アーチ電圧  $E_a$  が回路電圧の 1/2 ときにアーチエネルギー  $P$  が最大になる。この実験では  $E=30$  (V) で、 $E_a$  は前述のとおり 10~14 V であるから、跳躍が片側だけのときは図 3.6 の (A) の範囲が適用され、 $P$  は  $E_a$  とともに増大する。跳躍が両側に同時に生じたときは、 $E_a$  は  $(10 \sim 14 \text{ V}) \times 2$  となり、同図 (B) の範囲が適用され、 $P$  は  $E_a$  の大なるほど小となる。しかしこの実験では (A) に対して (B)

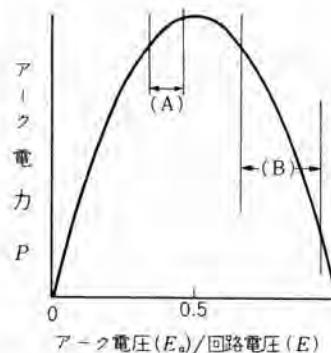


図 3.6 跳躍時のアーチ電圧とアーチ電力の関係

Fig. 3.6 Relation between arcing voltage ( $E_a$ ) circuit voltage ( $E$ ) and arcing energy ( $P$ ).

の場合はわずかであったから、実験結果については (A) で考えればよい。すなわち、この実験の場合には式 (3.1) から  $Ea < \frac{E}{2}$  の一般的な場合となり、アーチエネルギーは回路電圧、接点の跳躍時間に比例し、またアーチ電圧が大きいほど大きいことになる。また前述のように、この跳躍時間はリレーの種類、構造によって大幅に変りうるので、リレーによって Making 時のアーチエネルギーが定まるのは当然である。

### (2) Breaking におけるアーチ

Making の跳躍時に発生するアーチは上述のように不規則になりやすいが、Breakingにおいて接点間に発生するアーチはかなりよく安定している。これは接点の開離速度がほぼ一定で、現象が単純であるためである。この Breaking に発生するアーチの一例を図 3.7 に示した。このオシロは図 3.2 の結線によって供試リレーを用いて、DC 32 V をショットした場合である。図においてスポット (1) はリレーが開かれている状態で、回路電圧を示しており、リレーが閉じれば端子間電圧はほぼ零となりスポット

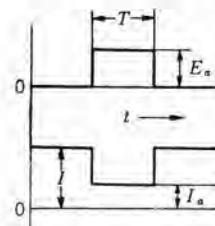


図 3.5 接点が跳躍した時の電圧・電流の変化

Fig. 3.5 Changes of voltage and current in bouncing of contact making operation.

合の電流)  $I$  (A) が定められているから、これを用いて上式を書き換えると、次式のようになる。

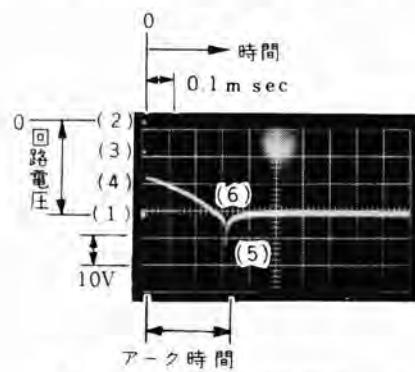
図 3.7 Breaking における端子間電圧  
(接点-C<sub>4</sub>, 電流-100A)

Fig. 3.7 Terminal-voltage on contact breaking operation.

ト (2) に移る。したがってスポット (2) はこのオシロの零電圧の位置を示す点であり、また Breaking の開始点でもある。いまリレーがショットを始めると、両切りリレーのどちらか一方の接点が開き、直ちにアーチ電圧  $E_a$  による降下がおこり、スポット (3) が現われる。ついでもう一方の接点が開き、さらにアーチ電圧  $E_a$  だけ降下する

ので、端子間には  $2E_a$  に相当する(4)が現われる。このリレーではよく均衡が取れないので、(2)→(4)への移りはきわめて短時間に終り、スポット(3)はオシロに見えない場合が多い。続いてリレーは接点隙間を開き端子間電圧も上昇し、(5)に至って最大となり、(6)でアーカーはまったく消滅する。これで回路のシャン断が終り、端子間には回路電圧がかかることになる。したがって Breaking の完了は(6)のあたりであるが、この点はやや不明確なので、ここでは(2)→(5)をもって便宜上のアーカーの継続時間(以下、アーカー時間)と呼ぶことにした。なお(5)で端子間電圧が回路電圧を少しこえているのは、回路配線に伴う若干の誘導分のためである。リレーが同一であると Breaking のアーカー時間はほとんど定まるので、種々の接点材料の特長を比較しやすい利点がある。

#### a. アーカー時間

供試リレーに Ag, Ag-CdO 等の種々の接点をとりつけ、DC 32V, 50, 100, 200, 400A(定常電流値)等の電流をシャン断した場合のアーカー時間と電流値の関係を図 3.8 に示し、そのオシロの例を図 3.9 に示した。

図 3.8 はおのおのの負荷電流において 20 回ずつシ

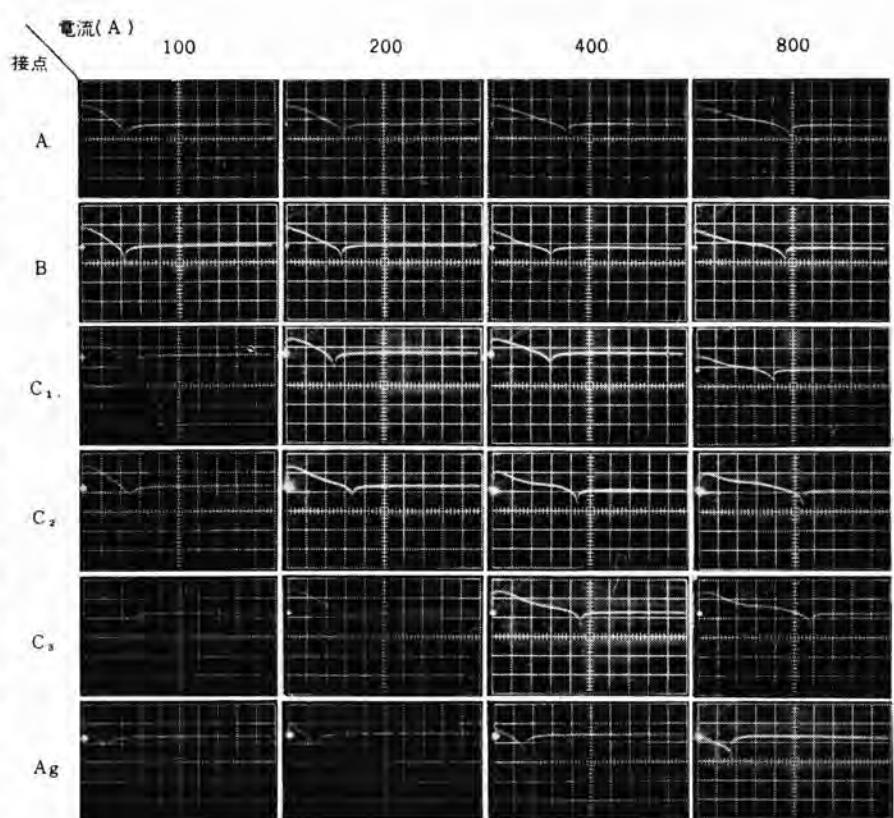


図 3.9 各種 Ag-CdO 接点のアーカー時間の一例

Fig. 3.9 Example of arcing duration of various Ag-CdO contacts.

クロスコープで測定したアーカー時間の平均値をプロットしたものであるが、たとえば Ag 接点の 100A の場合を例にとると、20 回の測定中最小時間は 0.13 msec、最大時間は 0.16 msec で平均 0.145 msec を得たものである。他の点でのバラツキもほぼ同程度で、測定条件(シャン断時の電圧、電流、接点の離間速度など)さえ一定にすれば、数値の再現性はかなり良好である。なお図の横軸に示した電流値は定常負荷電流値で Breaking が行なわれる際のアーカー時電流ではないことを注意しておく。

さて以上の結果から得られたおもな点は、

- Ag 接点のアーカー時間は、Ag-CdO 接点その他の接点に比べてもっとも短い。
- Ag-CdO 接点のほうが Ag 接点よりも、電流値に対するアーカー時間の変化の仕方が大きい。
- Ag-CdO 接点では CdO% が増すほどアーカー時間が長くなる。また CdO% 一定のものでは、CdO が微細になるほどアーカー時間は長くなる傾向にある。のようになり、Ag-CdO 接点における CdO の役割はときどきいわれるよう、消弧作用をするものではなく、むしろ添加量の増大とともにアーカー時間を増大させることが明了である。

#### b. Breaking 時のアーカーエネルギー

Breaking 時に消費されるアーカーエネルギーについて一応の

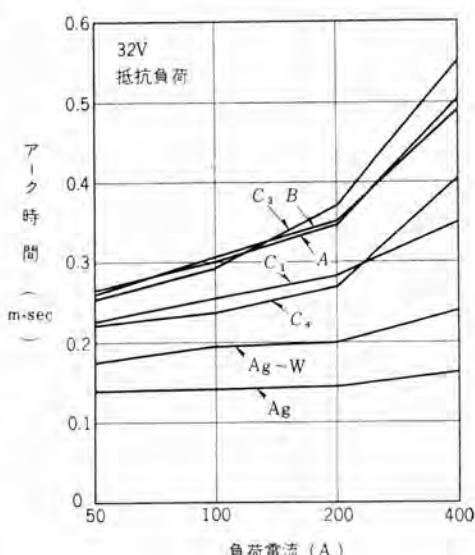


図 3.8 アーカー継続時間と回路電流値の関係

Fig. 3.8 Effect of load current on arcing duration.

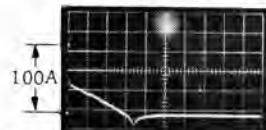


図 3.10 Breaking における電流波形  
(接点-A, 定常電流=100A)

Fig. 3.10 Waveform of arcing current on contact breaking operation.

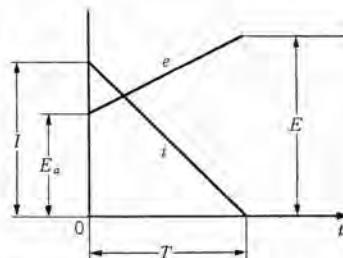


図 3.11 Breaking における電圧・電流の変化

Fig. 3.11 Changes of arcing voltage and current in contact breaking operation.

計算式を示しておく。

Breaking における電圧  $e$ , 電流  $i$  の変化は図 3.9, 図 3.10 の オシロ に示されているとおりで、これらをほぼ直線的変化とみなして 図 3.11 のように表わせば、アークエネルギー  $P$  は容易に算出することができる。

$$P = \int_{t=0}^{t=r} e i dt$$

これを計算整理すれば次式のようになる。

$$P = \frac{1}{6} (E + 2E_a) IT \quad \dots (3.2)$$

ただし以上に示した記号は下記のとおりである。

$I$  …回路の定常負荷電流 (A)

$i$  …瞬時電流 (A)

$E_a$  …アーク電圧 (V)

$E$  …回路電圧 (V)

$e$  …端子間瞬時電圧 (V)

$T$  …アーク継続時間 (sec)

$t$  …時間 (sec)

すなわち、Breaking ではアーク時間が長く、負荷電流が大でアーク電圧が高いほど、アークエネルギーが大となることを示している。

なお式 (3.2) は  $e$ ,  $i$  を直線的変化と仮定しているが、同種の接点では少なくともいちじるしく波形を異にすることはないので、Ag-CdO 接点相互間の比較の目安に用いるにはさしつかえない。

### 3.2 一発の開閉による清浄な接点表面の傷損

接点面の傷損を、まず、一発の投入あるいはシャンクに基づくアーカーと対応して調査したので

その結果を述べる。すでに第 1 報ではこのような試験を Ag 接点および混合物接点である Ag-CdO, Ag-W について比較し、混合物接点は Ag 接点と相違して傷損の広がりは大きく溶着力は小さいことを述べた。

この実験においても、種々接点の清浄な表面についてそれぞれ Making, Breaking および Normal の三つの方式で、大電流による一発の初投入あるいはシャンク等を行なった。試料接点は、すでに述べた 6 種の Ag-CdO 接点および Ag 接点である。電流は Breaking, Normal には 400A, Making には 800A を選んだ。とくに Making に 800A を採用したのは、400A では傷損の程度が観察しにくいためである。

以上の方法によって傷損を受けた接点面について、第 1 報と同様に触針式仕上面検査器によってそのプロファイルを求め、これから傷損痕跡の最大広がりと、クボミの平均深さを算出した。図 3.12 には代表的なプロファイルの例を、

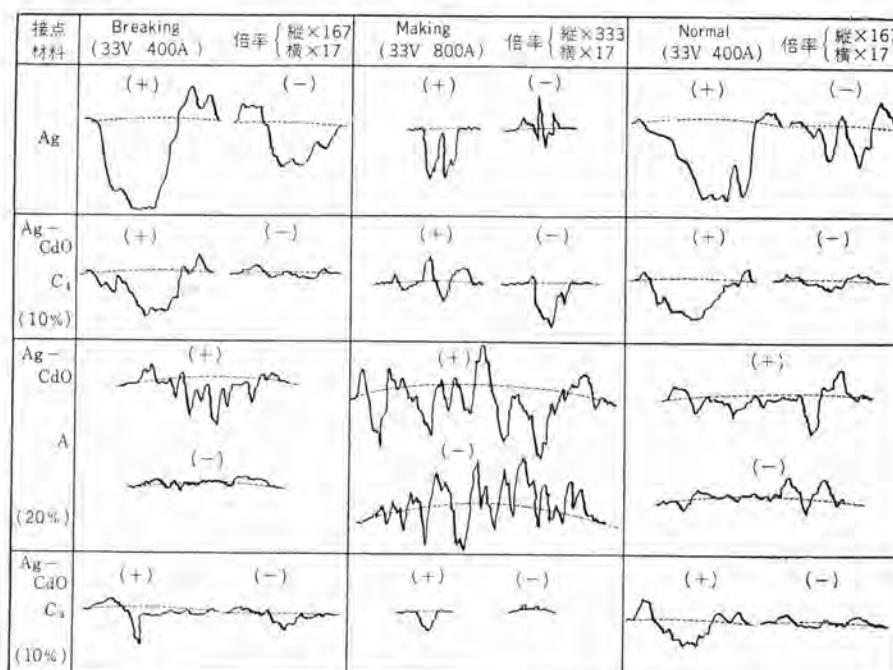


図 3.12 Ag および Ag-CdO 接点の一発作動による痕跡  
Fig. 3.12 Magnified profile of crater eroded by single operation.

表 3.2 Ag および Ag-CdO 接点の一発作動による傷損、溶着の痕跡  
(広がりとくぼみの深さ) ( $\times 10^{-2}$ mm)

接点 材料	方式 V, A	Breaking				Making				Normal				
		33V, 400 A		33V, 800 A		33V, 400 A		800 A		33V, 400 A		800 A		
		特長	広がり	くぼみ	広がり	くぼみ	広がり	くぼみ	広がり	くぼみ	広がり	くぼみ	くぼみ	
Ag 接点			81 94	84 84	7.0 4.0	3.1 3.0	38 198	36 182	1.6 2.0	0.7 0.9	124 155	88 136	6.5 2.5	2.5 1.0
CdO% の異なる Ag-CdO 接点	A (20%)	100 94	94 100	2.7 2.5	0.8 0.5	58 63	62 38	2.0 0.6	1.4 1.4	70 113	78 112	3.5 2.7	3.0 0.5	
	B (15%)	90 94	84 96	2.7 3.0	0.2 0.7	130 83	93 56	4.5 4.5	0.5 0.5	90 154	74 96	3.0 4.5	0.7 1.0	
	C <sub>1</sub> (10% 粗)	100 94	72 108	3.3 3.5	0.5 1.2	154 154	96 74	3.0 3.0	0.7 0.7	102 100	100 96	4.5 4.5	0.7 1.0	
	C <sub>2</sub> (10% 細)	94 94	86 78	4.5 5.0	1.0 1.0	93 102	67 100	5.0 4.5	0.5 0.7	88 114	80 92	3.0 4.0	0.5 1.9	
組織の異なる Ag-CdO 接点	C <sub>3</sub> (10% 微)	100 98	82 88	3.0 1.5	0.3 1.0	88 88	75 88	3.0 2.0	0.5 0.4	114 98	92 88	4.0 4.5	1.9 1.9	
	C <sub>4</sub> (10% 粗大)	120 90	90 90	4.0 5.0	1.4 0.7	114 98	92 88	4.0 4.5	1.9 1.9	114 98	92 88	4.0 4.5	1.9 1.9	

**表 3.2** には広がりと クボミ を動作方式および極性に区別して総括した。

### (1) Breaking の場合

前節に述べたように Breaking は比較的単純な動作であるので最初にとりあげることにする。

まず、表より全般的な傷損の特長を Ag—CdO 接点と Ag 接点について比較すると、Ag—CdO 接点は (+), (-) 極ともその広がりがやや大きく、クボミ は (-) 極にとくに浅いことが認められる。このように Ag に CdO が混在すると、Ag の特長が変えられて、その痕跡が軽微になる。そのような特長の変化について CdO% あるいは組織による相違を、いま、傷損の広がりおよび (+) 極の クボミ の二つから一応吟味することにする。この場合、クボミ としてとくに (+) 極だけをとりあげたのは、いずれの場合においても (+) 極がより多くアーチによる影響をうけて溶融し飛散するので、(-) 極よりも傷損がいちじるしく、結果の検討に便だからである。CdO% の異なる接点について比較すると、痕跡の広がりは A が B, C<sub>1</sub> に比してやや大であり、クボミ は、CdO% の大きいものほど深い傾向がわかる。とくに CdO% の大きいものは、そのプロファイルに示されているように、細い柱状の突起が多く、太くえぐりとられにくい特長を持つようである。しかし、このような痕跡のプロファイルは、その一断面にすぎないので、量的な比較を行なうことはここでは避けることとした。

つぎに CdO% が同一で、組織の異なる 4 種の接点について比較すると、痕跡の広がりは C<sub>4</sub>, C<sub>1</sub> および C<sub>2</sub> 相互間においてはあまり差別をつけがたいが、組織のもっとも微細な C<sub>3</sub> 接点の クボミ は他に比してとくに浅いことが注視された。要するにこれらの接点は、CdO% が同一であったが、製造者がことなるので、製造の諸条件も一様でないためか、組織に対応した傾向を定めることはできなかった。

### (2) Making の場合

Making は、前述のように機器に特長づけられた跳躍を持っており、その際に発生するアーチが溶着などの傷損の原因を作る。したがって、Making 接点のプロファイルは通電停止後、接点を静かに引き離した後の痕跡に相当するので、もし溶着が生じている場合には、Breaking に見られたような アーチ による直接の傷損の様相を示しがたいことは当然である。この実験の結果においてもとくに大電流 800A の Making の際には (+) 極と (-) 極の クボミ にほとんど差が見られなかつたが、このことは溶着のために変化をうけたものと解して良いようである。したがって実際の Making でのアーチによる傷損の

様相を求めるには、クボミ をとりあげることを避けることが必要であり、むしろ溶着力をもって示した第 1 報のような結果から評価するのが正しく、ここでは主として溶着部の広がりだけを問題にすることにした。

まず、痕跡の広がりを Ag 接点と Ag—CdO 接点について比べると、Breaking の場合と同様に Ag—CdO 接点のほうが大であることがわかる。CdO% の差異による影響をみると、C<sub>1</sub>, B 間には明確な区別をつけがたいが、CdO 20% の A 接点ではとくに大であることが目だっている。要するに Making においても CdO が多くなるほど痕跡を広げる傾向があることがわかる。つぎに CdO% 一定で組織、粒度が異なる C<sub>1</sub>～C<sub>4</sub> 接点は Breaking の場合にも述べたように組織との関係を見出すことはできなかった。微細組織の C<sub>3</sub> 接点が Making による傷損をほとんど受けなかつたのは特異例かも知れない。一般に Making による痕跡は、接点の跳躍に特長づけられるため、第 1 報にも示したように バラツキ が大であるので比較がむづかしい。なお、Making の痕跡が Breaking の際よりも電流が大きいにもかかわらず、広がりが小であったのは、Making 時の アーチ 放電の距離が小さいためと思われる。

### (3) Normal の場合

400 A で一発の Making 後、直ちに Breaking したいわゆる Normal の結果を述べる。図 3.12 からわかるように、プロファイルの様相は (+) (-) 極とも Breaking の場合とほぼ類似している。しかし、とくに (+) 極の痕跡の広さ、および クボミ にやや大きい傾向が見られるが、これは Making の溶融の影響が重なって傷損を大にした結果であると思う。

以上各動作方式にわたって述べたが、要するに方式のいかんに関せず共通していることは Ag に CdO が混在した接点は、Ag 接点にくらべ、一発のアーチによる傷損の痕跡が広く浅くなり、また CdO% が増大するとその傾向が顕著となることである。とくに粒度の微細なものに傷損が少ない場合もあったのは、微細粒であることが上述の CdO の効果をよく發揮し得た結果痕跡の現われ方が極端に少なかつた場合かとも推定された。

## 3.3 移転消耗、飛散

### (1) 移転消耗量と飛散量

前述したように、供試リレーの接点間に発生するアーチの特長を知ったので、ここではこれと関連づけて作動による接点傷損の集積を量的にとらえることとした。すなわち種々の接点を用いて Breaking, Making, Normal の三つの作動方式による、主として 200～400 A の大電流、1 万回作動後の移転消耗量と飛散量を測定した。

ここに示す移転消耗量と飛散量の測定は、第1報に示したとおりである。すなわち供試リレーの固定側の(+)(-)極接点については、それぞれ作動前後の重量差を求め、この絶対値の和を移転消耗量と名づけた。また可動側では(+)(-)極接点が一体となっているので、両者をあわせて秤量した。この可動接点の動作前後の重量差と固定接点それぞれの重量差の代数和を飛散量(系外飛散)とした。以下、この移転消耗量と飛散量についてさらに詳しく説明を加えておく。

この実験に見られる接点傷損の結果は、(-)極接点には移転堆積層の発達が顕著であり、(+)極接点にはウボミが見られるのが普通である。この接点傷損の状態を図3.13に示し、各接点を(A), (B), (C), (D)で呼ぶことにする。

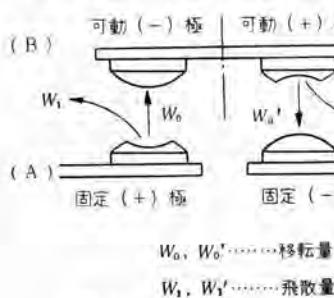


図3.13 接点傷損を示した図  
Fig. 3.13 Sketchy of erosion of contacts.

いま(+)極接点(A), (C)からそれぞれ失われる量を、相手となる(-)極接点(B), (D)への移転量 $W_o, W_o'$ と系外への飛散量 $W_1, W_1'$ で表わすと、

(A)から失われる量=(B)への移転量 $W_o$ +飛散量 $W_1$   
(C)から失われる量=(D)への移転量 $W_o'$ +飛散量 $W_1'$ となり。

(B)接点の增量= $W_o$

(D)接点の增量= $W_o'$

可動接点(B), (C)の動作前後の重量差

$$= +W_o - (W_o' + W_1')$$

となる。(A)接点では $W_o + W_1$ が減量として測定されるので、

(D)の増量+(A)の減量の絶対値= $W_o' + |W_o + W_1|$ となり、(A), (C)接点の移転量に(A)接点の系外飛散量を含んでいる。したがって移転消耗量と名づけた理由である。また(B), (C)接点の変化量、(A)接点の減量、(D)接点の増量の代数和は、

$$+W_o - (W_o' + W_1') - (W_o + W_1) + W_o' = |W_1 - W_1'|$$

となり、純粋に系外に飛散する量を示す値となる。これ

を飛散量とした理由である。

以上の計算は接点傷損の状態をモデル化して行なったものであるが、接点の移転や飛散は必ずしもこのようないいであろう。しかし上述の方法によって、飛散を示す量と主として移転を示す量とに区別して以下の接点の消耗を検討することとした。

## (2) CdO% が異なる Ag-CdO 接点

### a. Breaking の場合

BreakingにおけるAg, Ag-CdO接点の飛散量、移転消耗量の結果を示すと図3.14, 図3.15のようになる。これらはいずれも横軸に電流値をとて示したものである。またこれらの結果を200, 400 Aにおけるそれぞれの消耗量と、CdO%の関係に書き直したもののが図

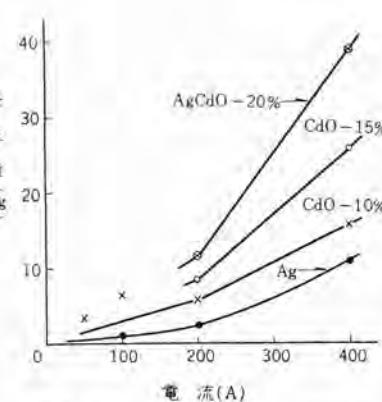


図3.14 Breakingにおける飛散量と電流

Fig. 3.14 Current vs dispersed loss in  $10^4$  cycles contact breaking operation.

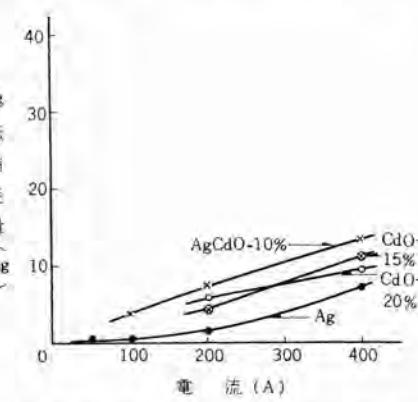


図3.15 Breakingにおける移転消耗量と電流

Fig. 3.15 Current vs transfer loss in  $10^4$  cycles contact breaking operation.

3.16, 図3.17である。これらの結果から次のことがわかることがある。

(a) AgおよびAg-CdO接点の飛散量、移転消耗量はいずれも電流とともに増大する。とくに飛散量の増加が顕著であるが、移転消耗量の増加傾向は小さい。またAg-CdO接点はAg接点に比較して飛散量、移転消耗量ともに大である。(図3.14, 図3.15)

(b) Ag-CdO接点の飛散量は200 A, 400 Aのいずれの場合もCdO%が大となるにしたがって増大する。400 AにおけるCdO%の影響はとくにいちじるしい。(図3.16)

(c) Ag-CdO接点のCdO%と移転消耗量との関係は、その量が比較的小であるためか明確な傾向をつかみがたく、あまり差がないようである。(図3.17)

以上のようにBreakingにおいてはAgにCdOを混入分布させることにより、飛散量、移転消耗量のいずれも大となり、CdOの含有量が増大するとともに、とく

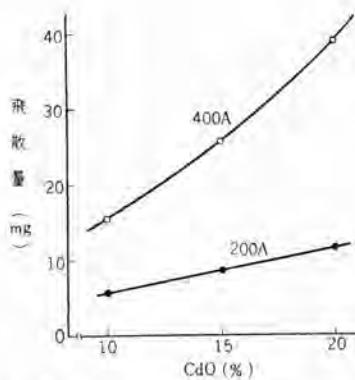


図 3.16 Breaking における飛散量と CdO%

Fig. 3.16 CdO% vs dispersed loss in contact breaking operation.

に飛散量が大となる。

さて Breaking におけるアーケー発生はかなりよく安定しており、式(3.2)に示したように、Ag接点では消費されるアーケエネルギーが小さいが、CdO%の大きいものほどアーケエネルギーが大きいので、上述した Ag, Ag-CdO 接点の飛散量と移転量を合わせた全消耗量の傾向は、その消費されるアーケエネルギーの大小の傾向と明らかに対応していることを知ることができる。

#### b. Making の場合

図 3.18、図 3.19 に Ag, Ag-CdO 接点の飛散量、移転消耗量と電流との関係を示した。説明の都合上この Making における傷損の仕方の特長をまず Ag 接点について述べることにする。

Ag 接点のこの飛散量、移転消耗量の電流特性を、前に示した Breaking における図 3.14、図 3.15 の電流特性と比較すると、Breaking においては飛散量は移転消耗量に比してやや大きい傾向にある。また Making においては飛散量は Breaking 時の値ととくに差がないが、逆に移転消耗量のほうがはなはだ

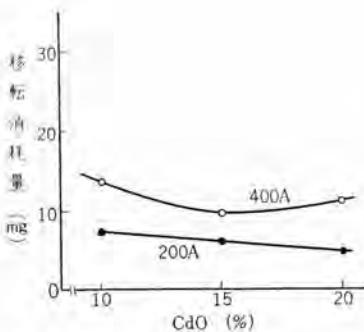


図 3.17 Breaking における移転消耗量と CdO%

Fig. 3.17 CdO% vs transfer loss in contact breaking operation.

しく大きくなる。このことは、この供試リレーの Making と Breaking における傷損のおもな相違であり、したがって Ag 接点は Making 時にかなり低い電流から大電流に至るまで移転がおもに行なわれることを示している。しかし Ag-CdO 接点については、この Making 時の移転消耗量の電流による傾向は、Ag 接点に比べとくに大電流において軽減され、図 3.19 に見られるように、200 A と 400 A では大差ない傾向を示している。また飛散量は Ag 接点に比べ、図 3.18 に見られるように、Ag-CdO 接点のほうがいずれもやや大である。

つぎに Ag-CdO 接点の CdO% とそれぞれの消耗量との関係を示すと図 3.20、図 3.21 のとおりで、つきの結果が得られた。すなわち、

(a) 飛散量は 200 A では CdO% の影響は顕著でないが、400 A では CdO% の大きいものに飛散量が増大する。

(b) 移転消耗量は CdO% によってかなり影響をうけ、200 A では CdO% が多いほど少ないことが明らかであるが、400 A では 15% のものにもっとも小さい結果が得られた。

以上までの結果が示すとおり、これらの現象は Ag 接点では Making における溶着にもとづく移転が激しく行なわれ、とくに大電流においてこの影響がいちじるしいが、Ag-CdO 接点では CdO の混在によって、また CdO の含有量の増大とともに、この溶着にもとづく移転をはなはだしく軽減させる効果をもっていることが明白である。またこの供試リレーの Making におけるアーケー発生の特長は CdO% が大になるにしたがって、式(3.1)に示

されたように、消費されるアーケエネルギーは小さくなるので、移転消耗量と飛散量の和である全消耗量が小さくなることとの対応が、図 3.21 の 200 A の場合によく示されている。400 A のような大電流の場合には、CdO% が大になると移転消耗量としてはかかった飛散の項が大きくなるためか、15% の場合に移転消耗量および全消耗量がもっとも小さくなつたのであろう。このことは図 3.20 の飛散量からも明らかである。この 400 A の場合における図 3.21 の全消耗量の傾向からは、200 A の場合のようなアーケエネルギーとの対応を見

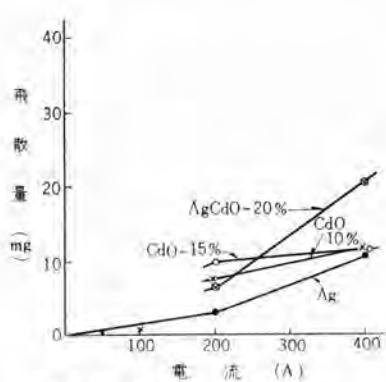


図 3.18 Making における電流と飛散量

Fig. 3.18 Current vs dispersed loss in contact making operation.

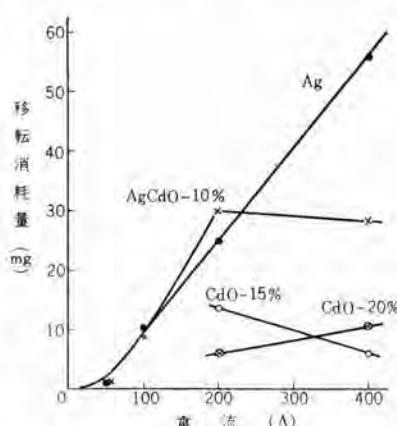


図 3.19 Making における電流と移転消耗量

Fig. 3.19 Current vs transfer loss in contact making operation.

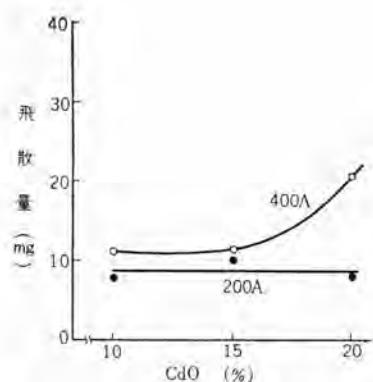


図 3.20 Making における飛散量と CdO%

Fig. 3.20 CdO% vs loss in contact making operation.

出しがたい。すなわち、この 400 A で CdO の含有量がとくに大きい場合には、アーケルギーのみからすれば当然飛散量が小さくなる傾向にあることになる。したがってこの場合の飛散量の増大は、CdO% が大きになると、大電流でとくに飛散作用を増すような状態、——たとえば高い蒸気圧をもつ CdO% の増大による爆発飛散作用の増大とか、Making 時のアーカ足が Breaking の場合に比べ小さい（前節清浄面の傷損比較から）等による熱作用の増大——などを関連づけて考慮すべき必要のあることを暗示しているものと考えられる。したがって Breaking における飛散量の傾向、図 3.16 の場合にも同様の因子による増大をとくに CdO% の大きい場合に、アーケルギーによる原因に付加して考えておかなければならぬであろう。

以上の推察はともかくとして、400 A における移転消耗量、あるいは全消耗量が最小となる CdO% が存在することから、200 A の場合には CdO の含有量が 20%

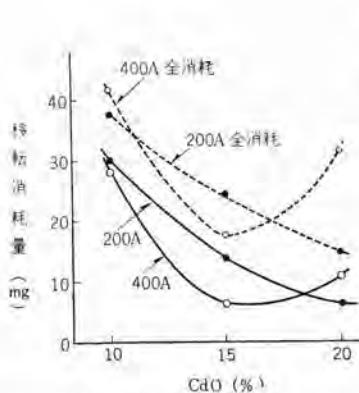


図 3.21 Making における移転消耗量と CdO%

Fig. 3.21 CdO% vs transfer loss in contact making operation.

よりもっと多い点に消耗量が最小となる場合を見出しうるものと想像され、このような CdO% の値は使用される機器の条件や電流値によって異なるであろう。

### c. Normal の場合

図 3.22 に 200 A, Normal の場合における Ag—CdO 接点の飛散量、移転消耗量と CdO% との関係を示した。これらの結果から CdO% の影響については、

(a) 飛散量は CdO% によってやや大となる。

(b) 移転消耗量は CdO% が大きくなるにしたがって小さくなる。

等の結果を示し、これらの傾向はその動作から当然考えられるように、移転消耗量は Making の飛散量は Breaking の特長と対応している。

つきに図 3.23 に Normal の場合における Ag 接点の消耗量と電流値との関係を示した。この Normal における消耗は、移転消耗量が飛散量に比べかなり大きく、前述の Making における消耗と類似の傾向をもっている。また同図には前述の Making と Breaking におけるそれぞれの移転消耗量の和、飛散量の和を示した。これらの値と実際の Normal におけるそれぞれの消耗と比較するととくに差がない。

Ag—CdO 接点の場合には、一例として図 3.22 に Making と Breaking による飛散量、移転消耗量およびこれらの和から求めた計算による全消耗量を示した。これらの CdO% との傾向は、実際の Normal において求められた飛散量、移転消耗量、全消耗量の傾向と定性的には同様の傾向を示している。

このように、Normal における消耗の傾向は Breaking におけるおもな消耗である飛散と、Making においておもな役割をする移転とによって特長づけられており、Normal における動作を Breaking, Making の二つの動作に分けて解析できることが明了である。しかしながら一般に接点材料の種類や動作電流、機器の条件などによって量的には移転量、飛散量を異にするものである。したがって飛散量の多い 400 A では、図 3.22 に示した全消耗量の傾向は、図 3.21 の Making において示した全消耗量の傾向と同様、CdO% の最

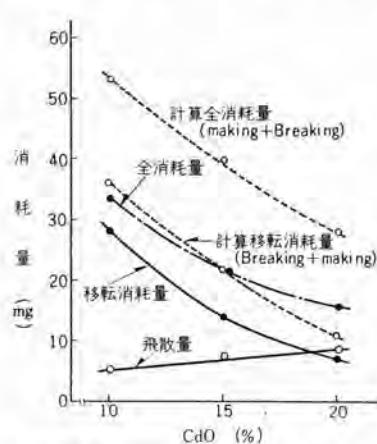


図 3.22 200A Normal における Ag—CdO 接点の飛散量、移転消耗量

Fig. 3.22 CdO% vs erosion loss in 200A normal operation.

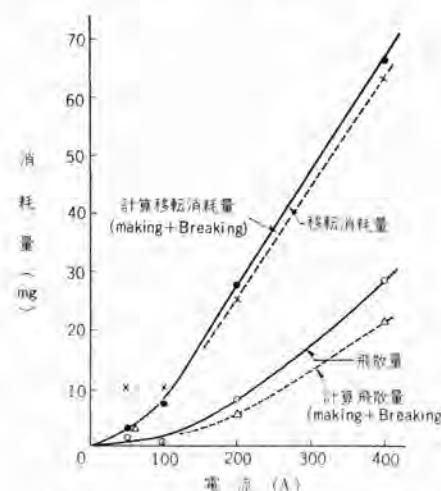


図 3.23 Normal における Ag 接点の消耗  
Fig. 3.23 Erosion loss of Ag contacts in normal operation.

適値が存在することも明らかであろう。

### (3) CdO%一定で組織の異なる Ag-CdO 接点

#### a. Breaking の場合

図 3.24、図 3.25 に飛散量、移転消耗量と電流との関係を示した。これから CdO の粒度および分布（粗密の程度）の大小と、これらのそれぞれの消耗量との関係を求めると、図 3.26、図 3.27 のとおりとなる。以上の結果からこれらの Ag-CdO 接点の飛散量、移転消耗量は、電流が大となるにしたがって増大するが、その増大の傾向は小さく、また移転消耗量に比して飛散量がやや大きい。

この飛散量は、400 A では微細組織になるにしたがって増大の傾向を示している、移転消耗量と CdO の粒度および分布との関係はあまり変わらないが、400 A では C<sub>1</sub> がやや小さい傾向のようにも考えられる。しかしこれは前述のとおり C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub> 接点は製造者を異にしているので明確ではない。

これらの関係は前節の CdO% を異にした場合の

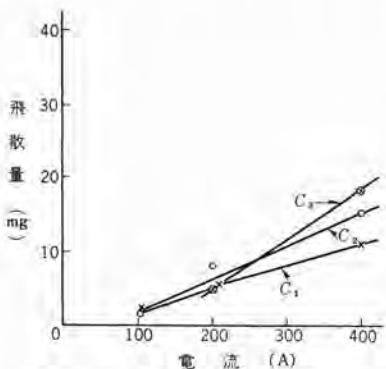


図 3.24 粒度が異なる Ag-CdO 接点の Breaking における飛散量

Fig. 3.24 Influence of grain size of CdO on dispersed-loss in contact breaking operation.

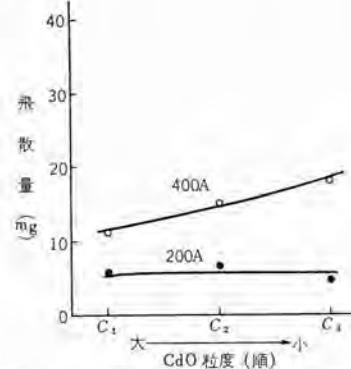


図 3.26 Breaking における Ag-CdO 粒度順と飛散量

Fig. 3.26 Grain size of CdO vs dispersed loss in contact breaking operation.

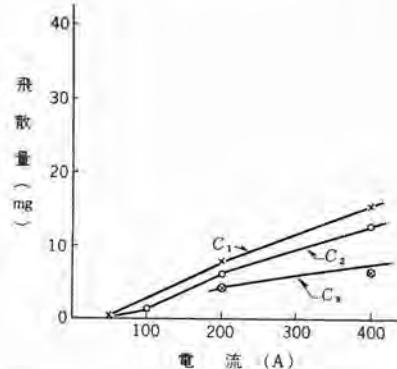


図 3.28 Making における Ag-CdO 接点の飛散量

Fig. 3.28 Grain-size of CdO vs loss in contact making operation.

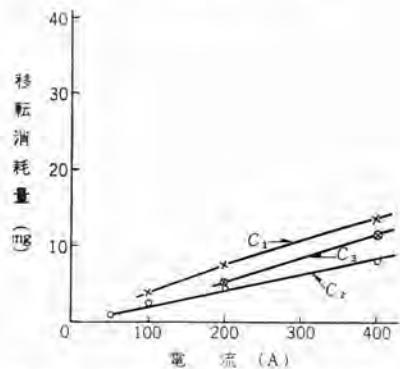


図 3.25 粒度が異なる Ag-CdO 接点の Breaking における移転消耗量

Fig. 3.25 Influence of grain size of CdO on transfer loss in contact breaking operation.

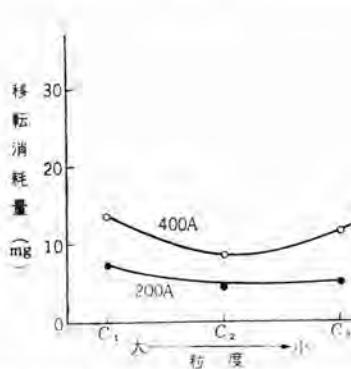


図 3.27 Breaking における移転消耗量と CdO 粒度

Fig. 3.27 Grain-size of CdO vs transferred-loss in contact breaking operation.

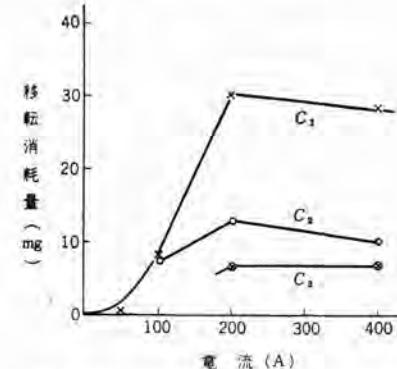


図 3.29 Making における Ag-CdO 接点の移転消耗量

Fig. 3.29 Influence of grain-size of CdO on transferred-loss in contact making operation.

Breaking の消耗、図 3.16、図 3.17 と比較して飛散量がかなり軽度になっているが、傾向としてはまったく類似しており、CdO 粒度の細かいものが Breaking において、とくに大電流で飛散量が大となり、したがって全消耗量も大になることを述べることができる。

#### b. Making の場合

図 3.28、図 3.29 に飛散量、移転消耗量と電流の関係を示し、これから図 3.30、図 3.31 の CdO の粒度および分布とそれとの消耗量との関係を得た。以上の結果から、これらの Ag-CdO 接点の飛散量は電流によって増大するが、移転消耗量は大電流でとくに軽減される傾向にあることがわかる。また微細になるにしたがって、飛散量、移転消耗量ともに減少するが、後者の減少傾向はとくにいちじるしい。

CdO% を異にした前節の場合に示したように、Making における飛散量の増大と同様の傾向は、CdO の粒度および分布がさらに細かい場合に現われるものと想像され、いずれの傾向も図 3.20、図 3.21 における CdO

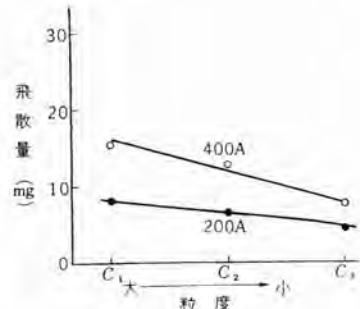


図 3.30 Making における飛散量と CdO 粒度

Fig. 3.30 Grain-size of CdO vs loss in contact making operation.

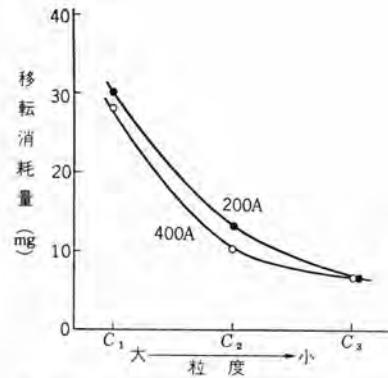


図 3.31 Making における移転消耗量と CdO 粒度

Fig. 3.31 Grain-size of CdO vs transfer loss in contact making operation.

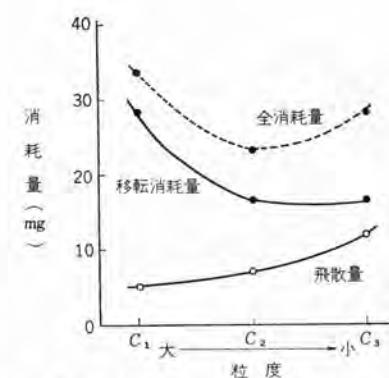


図 3.32 Normal の場合における消耗量と CdO 粒度

Fig. 3.32 Grain-size of CdO vs erosion loss in normal operation.



図 3.33 θ side, 400 A, Breaking の断面組織 ( $\times 120$ )

Fig. 3.33 Micro-structure of the cross section of the contact portion in Ag—CdO (15%) contact.

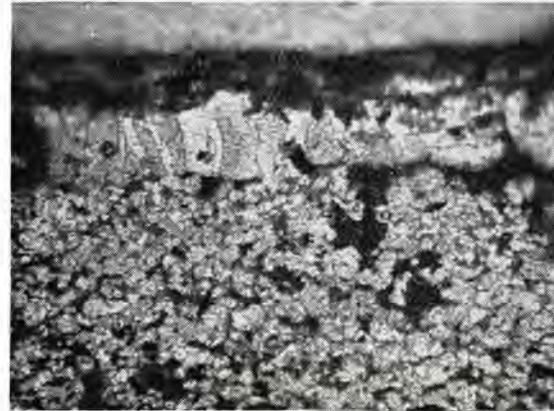


図 3.34 θ side, 400A, Breaking の断面組織 ( $\times 340$ )

Fig. 3.34 Micro-structure of the cross section of the contact portion in Ag—CdO (20%) contact.

15% 程度までの傾向と近似していると見ることができ  
る。

### c. Normal の場合

CdO の粒度および分布と飛散量、移転消耗量との関係を 200 A の場合について図 3.32 に示した。この 200 A においては、移転消耗量が組織の微細な C<sub>3</sub> に多い傾向を示し、飛散量は Breaking の特長に類似している。したがってこれらの和である全消耗量が最小となるような CdO の最適な粒度および分布が存在することは同図に見られるとおりである。これは CdO% が異なる場合にも述べたように飛散の増大が最も要因をなしていることはこの場合にも明らかであろう。

以上述べたように CdO の含有量一定で、粒度および分布を異にした場合の現象は、CdO% を異にした前節の場合の現象と同様の傾向を示していることを知ることができる。このことはまた CdO の粒度および分布が細かいほど、Making の跳躍時にみられるアーチ電圧が低く、Breaking 時のアーチ時間が長く、ともに CdO の含有量

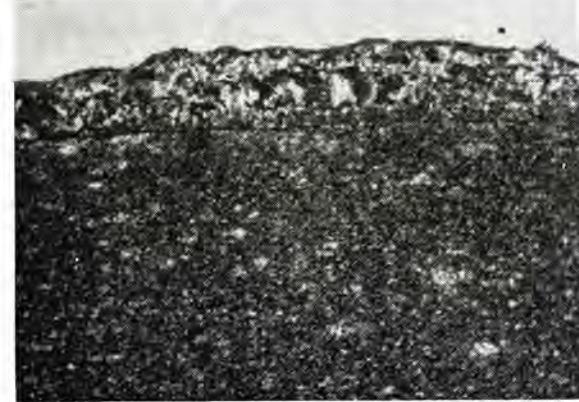


図 3.35 θ side, 400A, Making の断面組織 ( $\times 120$ )

Fig. 3.35 Micro-structure of the cross section of the contact portion in Ag—CdO (15%) contact.

を大にした場合と同様の傾向にある。したがって組織の異なるこれらの接点の全消耗量とアーチ発生の特長との対応についても、前節の場合の説明をそのまま適用してよいであろう。

### 3.4 顕微鏡組織の変化

1 万回作動後の各種 Ag—CdO 接点の断面について、顕微鏡組織を観察した。まず Breaking の接点について



図 3.36  $\ominus$  side, 200 A, Normal の断面組織 ( $\times 120$ )

Fig. 3.36 Micro-structure of the cross section of the contact portion in Ag—CdO (10%) contact.



図 3.37  $\ominus$  side, 200 A, Normal の断面組織 ( $\times 120$ )

Fig. 3.37 Micro-structure of the cross section of the contact portion in Ag—CdO (20%) contacts.

述べると、大電流通電時 (400 A) の特長として (-) 極においても、移転層の厚みがきわめてうすくなることは、図 3.33 に見られるとおりである。(+ ) 極のクボミの表面では、CdO の消失によって Ag 層が発達する。高倍率でとった例を図 3.34 に示した。しかしこの傾向は 200 A では顕著でなかった。つぎに Making の場合の (-) 極の移転層を図 3.35 に示した。Breaking にくらべて、移転層の厚さは大であるが、CdO が多くなるほど薄くなることが観察された。(+ ) 極のクボミの表面の Ag 層の発達はほぼ Breaking の場合と同様であった。一方 Normal 接点の例として 200 A で作動後の (-) 極の移転層を C<sub>1</sub> (CdO 10%) および A (CdO 20%) について、それぞれ図 3.36、図 3.37 に示した。これによると、CdO% の大きいものほど移転層が薄くなる傾向が明らかである。

なお、組織を異にする C<sub>1</sub>～C<sub>4</sub> の各接点の CdO の消失の跡を観察したが、組織上の差異にもとづく対応は判然としなかった。

### 3.5 接触電圧降下

各種の Ag—CdO および Ag 接点について、各電流銀系接点の消耗移転現象 (2)・山森・森田・岩村・政木

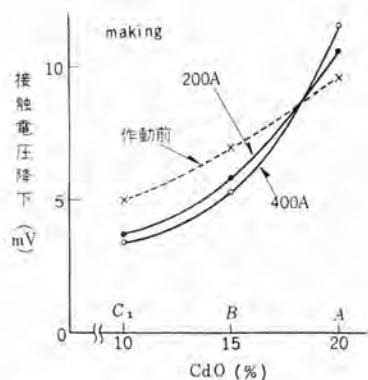


図 3.38 Making における CdO% と接触電圧降下

Fig. 3.38 Voltage-drop vs CdO% in contact making operation.

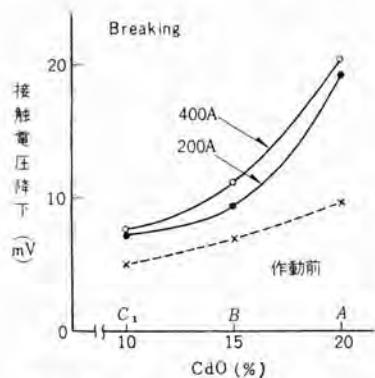


図 3.39 Breaking における CdO% と接触電圧降下

Fig. 3.39 Voltage-drop vs CdO% in contact breaking operation.

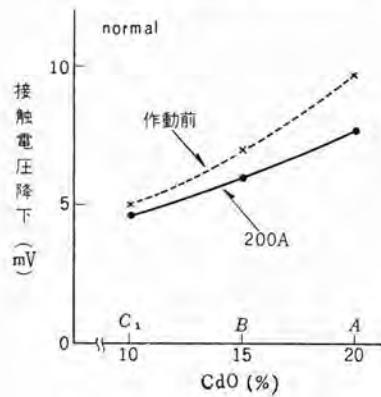


図 3.40 Normal における CdO% と接触電圧降下

Fig. 3.40 Voltage-drop vs CdO% in normal operation.

で 1 万回作動までの接触電圧降下を、第 1 報と同様に DC—10 A で測定した。その作動回数の増加に伴う接触電圧降下はいずれの接点でも 1,000 回までの変化は大きいが、それ以後においては大体安定した傾向を示した。ここでは 1,000～10,000 回までの平均値をとり作動前の値と比較した。図 3.38～図 3.40 は CdO% の異なる 3

種の接点について各作動方式にわたり、上述の作動前後の接触電圧降下と CdO% の関係を示したものである。

まず Making の場合には CdO の少ないものでは作動前の値よりも作動後の値のはうがかなり低いが、CdO の多い A では高くなっている。Making では CdO の少ないものほど移転が大であり移転層が主として Ag 相からなるために抵抗値の低下をきたし、逆に CdO が多くなると飛散が大となる傾向があるので表面の汚染を助長して接触抵抗の上昇を招いたものであろう。つぎに Breaking では、どの接点でも作動前の値よりも高くなっているが、Breaking では飛散量が多くなる関係ともよく対応している。Normal では 200 A のみの結果を示したが、いずれの接点も作動前の値よりやや低下している。この場合は接触電圧降下に関連する表面状態を支配する要因が、主として Making であるか、あるいは Breaking であったかによってきまるもので Making による移転が特長づけたものであると思われるが、しかしきわめて複雑で明白な判断は下しがたい。なお、組織を異にする C<sub>1</sub>～C<sub>4</sub> 接点の相互間では、前述の一般的な見解に立っても、製造の諸条件が相違するためか、正しい関連がつかめなかった。

いずれにしても、接触電圧降下は表面状態の変化、たとえば組織、汚染、凹凸等に密接に関連するのでこの値だけで接点材料を論ずることは誤りを招きやすい。

#### 4. 総 括

この実験の結果を総括すると、次のようである。

(1) 試験に使用した機器のアーカ発生は、Making 時には可動接点の跳躍に基づくものが主体である。接点材質の相違による跳躍時のアーカの特長は、CdO が多いものほど、および同一%ならば微細組織のものほど、アーカ電圧が低いことである。跳躍の時間は機器によりほぼ一定だから、アーカエネルギーは上記の材質のものほど、また、小さいことになる。

Breaking 時には、動作が機構的に単純であるため接点材質によるアーカの特長を比較することはとくに容易で、この場合には CdO が多いものほど、および同一%ならば微細組織のものほど、アーカ時間が長い。したがって、一般にアーカエネルギーも、また、大きく、この関係は Making の場合と反対である。

なお、CdO の存在は、その量が多いほど、さらに微細に分布するほど、アーカの構成に効果的であることから、消弧能力を与えないこともわかる。

(2) 一発の初投入時あるいはシャット時のアーカによる接点面の傷損について、検討した。CdO の多いものほど、

アーカ足が広がる結果として傷損の面積が拡大しているが、えぐられ方は浅くなる傾向がある。CdO% は一定だが組織が相違するものについては、これらの接点の製造条件が同一でなかったので明確な結果は得られなかつた。しかしながら、粒度が微細であるものにはえぐられ方が浅いことが認められた。

(3) 主として 200 A および 400 A の大電流の場合について、10,000 回作動後の傷損を量的に求め、この結果をアーカの特長と関係づけてみた。

Making だけの作動によっては、移転消耗量は CdO の少ないものには大で、CdO の多いものほど、あるいは微細組織のものほど小の傾向がある。飛散量は 200 A においては、概して移転消耗量よりも小であり、CdO% に基づく相違はほとんど見られなかつたが、400 A においては、CdO の多いものに顕著に増加した。したがって、移転消耗量と飛散量との和で示される全消耗量は、200 A においては、その傾向が移転消耗量だけの場合と同一なので、Making の際の跳躍時のアーカエネルギーの特長と対応してなんら矛盾するところがなかつた。しかしながら 400 A においては、全消耗量は CdO の多い試料の場合に飛散量が大となる結果に応じて再び増大するので、CdO が多いと大電流の際にはとくに飛散しやすくなることが、アーカエネルギーの上からではなく、たとえば傷損の仕方に関する見解の上からでも適当に理由づけられない限り、満足な説明を与えることはできなかつた。

Breaking 時には、移転消耗量は CdO の多少にかかわらず小であり、電流値が大になるとややその量を増加するが、CdO% に基づく相違はきわめて少ない。飛散量は CdO% の大なるほど、および組織が微細であるほど、顕著に増大し、また、電流値大なるほど多い。したがって、全消耗量の傾向のみの場合と一致し、Breaking 時のアーカエネルギーの特長との対応が明了であった。

(4) Making と Breaking とをくり返したいわゆる Normal の作動においては、全消耗量の関係はそれぞれの作動の重複結果によるものと見なし、両者の和より判断しても一応さしつかえないことが証明できた。すなわち、Normal 時の全消耗量は、Making および Breaking 時のいずれの消耗がより大であるかによって決まるものであり、200 A においては、したがってそれ以下の電流値においても同様であると思うが、Making による消耗に特長づけられていることがわかる。これに反して、400 A においては、CdO の少ない場合を除いては Breaking に特長づけられており、大電流値になるほど、CdO の飛散が問題となっていることがわかる。

(5) CdO% あるいは組織の相違する接点について、

020 A および 400 A 10,000 回作動後の顕微鏡組織の変化および接触抵抗の変化とを調査した。400 A においては、すべての試料を通じて (+) 極接点表面からは CdO が蒸発消失していることが認められたが、200 A においては顕著ではなかった。接触抵抗の変化については、Breaking は表面のよごれあるいは酸化をともなうためにその増大に導くこと、Making は Ag の移転表面を作るために逆にその低下に導きやすいことが見られ、Normal の値は上記それぞれの動作のいずれがより多く寄与しているかによってきまるものとしてさしつかえないようであった。

## 5. 考 察

以上までに得られた接点の消耗現象は、実験に用いた機器の特長に支配されることとは明らかであったが、接点材料に基づくアーカー発生の特長と対応させて吟味することによって、一応限定されたこの実験の範囲内で、接点材料の消耗に関する妥当な見解を得ることができたと考えられる。ここには使用機器の動作条件、負荷条件、等に関する、より一般的な因子をとりあげて検討することによって、これらの結果にさらに普遍性を与えることについて言及する。

### (1) Ag—CdO 接点の消耗と機器

普通の開閉動作をくり返す Normal, 200 A の場合、その消耗は Breaking よりもむしろ Making に特長づけられていた。いま負荷電流がさらに増大した場合を考察してみよう。この場合には逆に Breaking に起因する消耗が大となるが、Making にもとづく消耗はあまり変わらないので、この両者を重畠した消耗曲線は CdO% あるいは組織に関して最適値が存在する形を示すことになる。この曲線は電流の増大にしたがって、その最適値が CdO% の小、あるいは組織の疎の方向に移る傾向とな

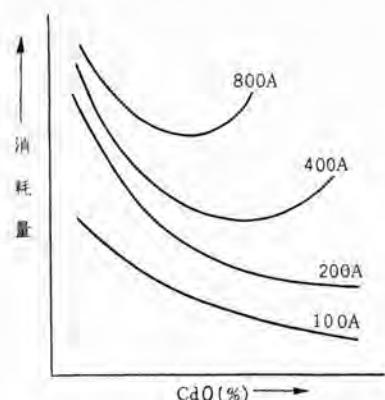


図 5.1 消耗量と CdO% の定性的な関係

Fig. 5.1 Qualitative relation between contacts erosion and CdO%.

ると考えられ、このような傾向を定性的な曲線で示すと図 5.1 のようになる。

このように Ag—CdO 接点の消耗は、Making, Breaking にもとづく消耗のいずれがおもに支配的であるかによって、その負荷条件における消耗の傾向が定まることが明らかである。このことは試験に用いる機器が異なっても、一般的に成立する関係であると考えられるので、一般の機器についてこの Making, Breaking の消耗を相対的に強めるおもな因子をあげると、

Breaking を強める場合——開離速度小（もどし パネ圧弱）電圧大、電流大、回路の インダクタンス 大など。

Making を強める場合——接点の可動系の重量大、押え パネ圧小、投入速度大、回路の インダクタンス 小など、のようになる。

Breaking の場合、とくに電圧、電流、インダクタンス は負荷条件の直接的な因子であることは、式(3.2)を参考にしても明了であり、また Making の場合にはとくに式(3.1)の  $T$  を有する機器の構造に関する要素がおもな因子となる。

この Making と Breaking の消耗のいずれが支配的となるかについては、機器が与えられている場合には、特長のわかっている接点を用いて実際の動作試験を行ない、移転と飛散のいずれが主となっているかをしらべるか、あるいはそのような接点で Making, Breaking のそれぞれの アーケネルギー の大小を求めることによって、一応の判断が可能であり、このような方法で接点選択の方向づけを行なうことは合理的であると考えられる。

なお実際の機器で接点を選択する場合について付言すると、たとえば Ag—CdO 接点の場合、消耗のもっとも少ない CdO% や組織のものを選択したとしても、これだけで問題が解決したことにはならないことが多い。溶着がより問題になる機器では消耗がたとえ少ないとしても、溶着を効果的に軽減することのできない CdO% の小さいものや、CdO の粗大粒子のものは推奨できない。また接触抵抗に制限がある場合には、とくに CdO% の大きいもの、とくに微細粒子のものも除外されなければ

表 5.1 Breaking と Making の アーケネルギー

接点材料	Breaking のアーケエネルギー J/1 回		Making のアーケエネルギー J/1 回		Breaking/Making	
	200 A	400 A	200 A	400 A	200 A	400 A
Ag	0.2g	0.7g	0.47	0.95	0.61	0.78
Ag—CdO (10%)	0.41	1.02	0.46	0.90	0.91	1.14
A (20%)	0.49	1.43	0.42	0.85	1.18	1.68
Ag—W	0.2g	0.7g	0.45	0.90	0.65	0.78

注 1. Breaking におけるアーケ時間は図 3.8 からよみ、Making における跳躍時間は多くのオシロから 0.2~0.4 msec、平均 0.3 msec とし、材料による差を考慮しなかった。

2. 回路電圧は 32 V とした。

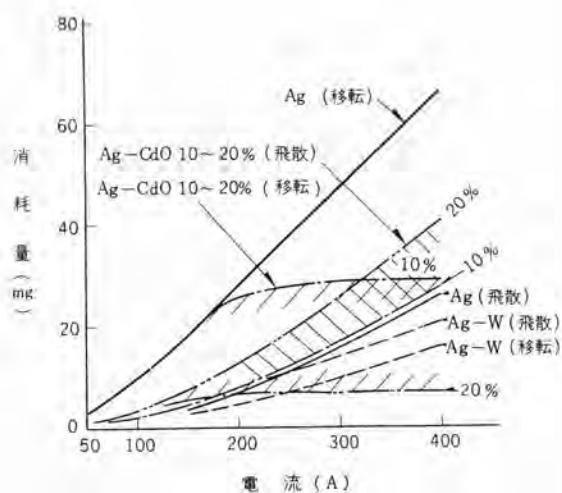


図 5.2 各種接点の電流と消耗量

Fig. 5.2 Current vs dispersed loss with various contacts.  
ならないことが多いと考えられる。したがってこのような要素を入れて総合的に接点の選択がなされなければならぬのは当然である。

## (2) 接点の傷損とアーチ

前述までの実験から接点の傷損とアーチエネルギーとは定性的に対応することが示されたが、ここではさらに定量的な検討を試みることにした。

表 5.1 は各種の接点材料を供試リレーに用いた場合、式 (3.1), (3.2) から Making, Breaking のアーチエネルギーの大略値を計算した値および、その比率を示したものである。まずこの表 5.1 から大略的にみると、

200~400 A の範囲において、そのアーチエネルギー比が明らかに  $B < M$  の関係にあり Ag-CdO 接点では 200 A, CdO 10% の場合を除いて  $B > M$  の関係にある。また Ag-W 接点では  $B < M$  となる。

などの傾向を示している。また図 5.2 は前述までの結果ならびに第 1 報からこれらの接点の電流と消耗量との関係を示したものであるが、Ag 接点では Making における移転が主に行なわれ、Ag-CdO 接点では CdO%

が小さく、200 A のときは移転が主で、大電流になると CdO の % にかかわらず飛散が強くなる傾向を示している。また Ag-W 接点ではその性質上飛散、移転のいずれも大差ない。これらの Ag-CdO 接点の消耗の傾向は上述したアーチエネルギー比の傾向とよく対応していることを示している。

これらの接点の消耗の量的な相違や移転量と飛散量との比率は、接点材料の酸化、溶着、飛散などのいわゆる耐弧性に関連した性質と関係深いが、ここではとくにふれないことにした。つきに Ag-CdO 接点のみについて言えば、表 5.1 で示されるように、CdO の存在によって Breaking のエネルギーをいちじるしく強める特長をもっていることを示しており、定性的に描いた図 5.1 の大電流で、この Breaking による飛散が増大するであろうことも、この定量的なエネルギー比から容易に了承することができる。したがって Ag-CdO 接点の以上までに述べた消耗の傾向は、さらに普遍化して考えてよいことが明らかである。

## 6. むすび

前回にひきつづいて Ag-CdO 接点をとりあげ、CdO の役割、傷損の傾向を明らかにするとともに、機器のアーチの特長と対応させ、一般見解を導くことに努めた。

このような研究はさらに Ag-W, Ag-WC 等の接点の研究にひきつづき発展しつつある。

なお、この研究は当室、青木、島、播磨の 3 君の実験に負うところが大であったことを付記する。

(35-3-15 受付)

## 参考文献

- (1) 山森・森田・岩村・政木：「三菱電機」，33，No. 10，116~126 (昭 34)。
- (2) Ragnar Holm: Electric Contacts, (1946).

## 蒸気タービン (3)

## —蒸気タービンの保安調整監視装置—

## 1. まえがき

戦後急速に発達した火力発電技術は、時代の要請に答えて、次々と高性能の発電所を生み出し電力界に貢献している。蒸気タービンの形式も戦後の、60気圧 480°C 35,000 kW のクラスから次々と飛躍し、現在 169 気圧 566/538°C 156,250 kW のものが運転を始めている。今後ますます大容量、高温、高圧のものが製作、建設されて行くと思われるが、それにつれてタービンの制御、保安、調整、監視装置もますます信頼性と確実性が強く要望される。タービンの制御装置すなわちガバナについて別稿に詳細が述べられているので、本稿ではタービンの保安装置、調整装置、監視計器について述べ、最後に今後問題になると思われるタービンの遠隔操縦についてそのあらましを述べることとする。もちろんタービンの制御装置と保安装置とは一体不可分のものであるので、別稿と多少重複するところも出てくるが、それについては簡単に述べることにする。

## 2. タービンの保安装置とインターロック

## 2.1 概要

タービンの保安装置とは、タービンを安全に運転するためのもので、異常時の警報、負荷の加減、ならびに危急時の非常停止(トリップ)を行なわせるものである。タービンの保安装置が動作すれば、当然他の機器になんらかの影響をおよぼすので、その処置を行なう必要があり、また他の機器の状況によってタービンの保安装置を動作させる必要も生じてくる。そのため他機器との間に機械的または電気的のインターロックが装備され、発電所全体が安全に運転されるようになっている。

## 2.2 機械式と電気式

タービンのガバナは現在ではほとんど全部のものが油圧、レバーなどによる機械式のものであるが、保安装置には機械式のものと電気式のものが並用されている。その考え方方はメーカーによって多少の違いはあるが機械式の方が信頼性、確実性において電気式にまさると考えられている。したがって後述するように各種の保安装置も重要度の高いものはすべて機械式となっており、その他のものも、ある装置が保安装置として必要になれば、まず電気式のものを急いで作り、あとでゆっくり機械式に改造するという行き方を取っている。その理由は使用電気部品の性能が耐熱性、耐湿性、耐振性などに関し、信頼性に今一つ欠けるところがあるからである。すなわちタービンが高温、高圧、大容量になるに従って、残留蒸気のエネルギーを極力少なくするため各種調整弁をタービン本体にできるかぎり接近して取付けるので、それらに取付けるリミットスイッチ、配線用ケーブルなどはどうしても高温多湿の状態に置かれる、200°C以上の耐熱度のあるものがほしいが、現在では信頼性のあるものが得られない実

状である。またリレーの接点も今のところ振動、ショックに弱く、その確実性においても信頼度のあるものがない。今後この方面的開発が要望されるゆえんである。

## 2.3 タービンの保安装置

## (1) タービンをトリップさせるもの

この種類は大体下記のとおりであるが、タービン、ボイラの形式によってそれぞれ必要なものが設備され、全部が装備されることは限らない。普通 1~12 は大体どのタービンにも設けられるが、他のものは設けられない場合も多い。

番号	原因	動作	備考
1	手動トリップ	機械式 トリップバーを手で動かすことによつて油圧トリップ	ガバナの項参照
2 注(1)	過速度	機械式 規定回転の 110%±1% で油圧トリップ	同上
3	高圧油圧低下	機械式 油圧低下で油圧トリップ	同上
4	軸受油圧低下	機械式 油圧 0.4 kg/cm²G 以下で油圧トリップ	同上
5 注(2)	真空低下	機械式 真空 500 mmHg 以下にて油圧トリップ	同上
6	発電機事故	電気式 差動继電器動作しソレノイドトリップ	同上
7	発電機接地	電気式 接地继電器動作しソレノイドトリップ	同上
8	変圧器事故	電気式 差動继電器動作しソレノイドトリップ	主変および所変とも
9	非常停止スイッチ	電気式 スイッチを手動操作することによりソレノイドトリップ	
10 注(3)	スマスト摩耗	機械電気式 噴出油圧をスマストカバーに当て、油圧変化を圧力スイッチで検出しソレノイドトリップまたは油圧変化で油圧トリップ 電気式 翼車位置計よりリレーでソレノイドトリップ	監視計器の項参照
11 注(4)	ボイフ燃料シャutoff	電気式 リレー動作でソレノイドトリップ	
12 注(5)	タービン運転中主塞止弁閉	電気式 主塞止弁リミットスイッチとブレーカ補助接点でソレノイドトリップ	
13 注(6)	タービン無負荷	電気式 調整弁開度をリミットスイッチで検出し 10 秒後ソレノイドトリップ	
14 注(7)	ボイラ循環ポンプ故障	機械電気式 ポンプ出入口圧差を圧力スイッチで検出し、5 秒後ソレノイドトリップ	コントロールサーキュレーションボイラだけ
15 注(8)	タービン排気温度高	電気式 温度スイッチにより 120°C でソレノイドトリップ	
16 注(9)	振動過大	電気式 振動計よりリレーでソレノイドトリップ	監視計器の項参照
17 注(10)	調整弁スティック(インターーセプターイン) (ブターイン) (作動時)	機械式 弁後の圧力差で 3 秒後油圧トリップ 電気式 弁のリミットスイッチにて 3 秒後ソレノイドトリップ	
18 注(11)	タービンモータリング	機械電気式 油圧を圧力スイッチにて検出し、弁全閉のときソレノイドトリップ、弁無負荷位置のとき 1 分後ソレノイドトリップ	

## 注

(1) クロスコンパウンド形のタービンでは、各軸に検出機構を設

け、いずれの軸が過速度してもトリップさせるようになっている。

(2) タービンの起動時には、もちろん真空トリップの設定値以下から起動するので、その際トリップしないよう掛金をかけておくようになっている。掛けは真空が $600 \text{ mm Hg}$ 以上ではずれる。しかし起動中でも排気が $0.1 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 以上になるとトリップする。

(3) タービンのスラストベアリングはスラストを受持っているのであるが、その他にこれで翼車の位置を決めているので、摩耗すると翼車が移動し、フィンをすりはなはだしい場

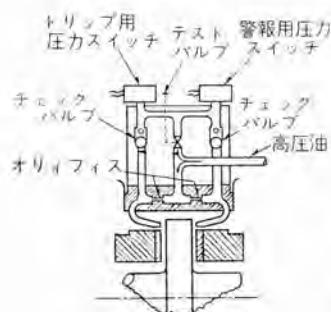


図2.1

合はブレードが静止部に当って損傷する。したがって翼車が移動した場合は、まず警報し、つぎにタービンをトリップさせる。翼車の移動量を検出するのに、機械式では図2.1のように、油をノズルから噴出させ、スラストカラーに両側から当てて、その運動による油圧の変化を

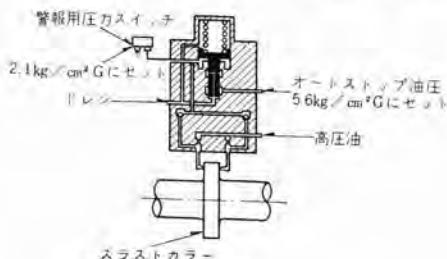


図2.2

スイッチで検出し、以後は電的に警報、フレノイドトリップさせる。なお油圧の変化によってパイロット弁を動かし、直接油圧トリップさせるものもある(図2.2)。電気式の場合には、スラストカラーの近くは油がかかりまた温度が高いので、翼車軸端のこのような影響のないところに円板を取付け、この動きを円板の両側に置いたコイルによってリアクタンスの変化に見え、ブリッジを組んで電流リレーによって警報、フレノイドトリップさせる。なおこの形式は監視計器の項に後述する。

(4) ボイラの燃料系統がシャットされた場合、タービンが引き続き負荷を取ることは危険であるので、タービンをフレノイドトリップさせる。検出はミルモータの停止、重油、軽油バルブ閉を電気的に取出している。

(5) タービンが負荷運転中に主塞止弁が全閉(2個あるときは2個とも)すると、タービンはモータリングを起し、温度が上がってタービンを破壊する恐れがある。この装置は主変圧器および所内用変圧器のブレーカの補助接点と主塞止弁のリミットスイッチを直列に結び、ブレーカが投入されているときに主塞止弁が全閉するとトリップ回路を構成し、フレノイドトリップさせる。したがってタービン起動時にはトリップ回路

は構成しない。

(6) タービンが負荷運転中に突然無負荷になると、ボイラの蒸発量が急激に減少するので、ボイラのチューブを焼損する恐れがある。しかし無負荷もごく短時間であれば問題はないので、負荷の急変の際もトリップさせる必要はない。タービンの調整弁にリミットスイッチを設け、無負荷位置に10秒以上あるときはソレノイドトリップさせる。この装置は負荷がかかっているときだけ動作するようブレーカとインターロックされており、また解列スイッチが付属させられている。

(7) 最近の高温高圧ボイラではいわゆるコントロールサーチューションボイラが使われる。これは循環ポンプで強制的に行なわせるものであるが、このポンプが故障の場合負荷を取ると、ボイラを焼損するので、ポンプ出入口の差圧を圧力スイッチで検出し、その値が $0.4 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 以下になった場合、タービンをソレノイドトリップさせる。しかし負荷変動によるポンプの圧力変動を考慮して、約5秒の時間遅れをもたせている。

(8) タービンの低圧室は大きな構造物であるので、温度が高くなると熱応力によって破壊する恐れがある。普通 $80^\circ\text{C}$ 以上の運転は避けるようにするが、 $120^\circ\text{C}$ 以上になれば危険があるので、タービンをトリップさせる。サーモスタットまたは温度スイッチによりソレノイドトリップする。

(9) タービンの振動はタービンの安全運転の指針となるもので、普通振動計によって監視されるが、さらにある値以上でタービンをトリップさせるものもある。

(10) タービンが負荷運転中に、インターロック弁またはリヒートストップ弁がある限度以上に閉じると、スラストが増えてスラストベアリングを焼損する恐れがあるので、これを防止するためにインターローターインターロックがある。これはインターロック弁およびリヒートストップ弁の開閉テストを行なっているときに、なんらかの理由によって油の供給が止まるとか、弁がしまったまま開かないでいるときに反対側のバルブテストを行なうと起る可能性がある。このインターロックは、高圧タービンと中圧タービンがそれぞれ別個にスラストのバランスを取っていないで、それぞれのタービンの中を蒸気が反対方向に流れる形式のタービンに対して有効である。この形式のタービンではスラストベアリングの有効面積が小さいので、インターロック弁またはリヒートストップ弁が閉まって、中圧タービンに蒸気が流入しなくなると、高圧タービンのスラストが勝って、スラストベアリングの許容値をオーバーし、焼損する。したがって弁が閉じると、インターロックは調整弁を開じて負荷を減らし、スラストベアリングを保護するように働く。その際調整弁がステップしていたりしまらないときは、約3秒の时限を置いてタービンをトリップさせる。このインターロックには図2.3のような機械式のものと、図2.4のような電気式のものがある。図2.3の機械式インターロックは、高圧タービン出口圧力とインターロック弁後の中圧タービン入口圧力との差がスラストベアリングにとって危険な値になると、カッブ弁を押下げ制御油圧を上げて調整弁を閉じる。もし調整弁がしまらないときは、高圧タービン出口圧力とインパルスチャ

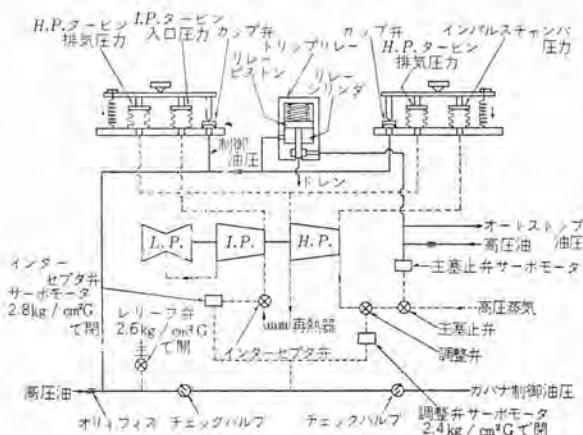
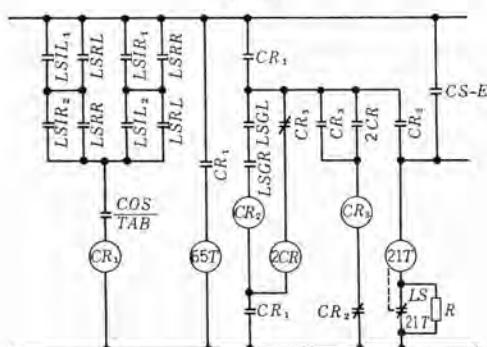


図 2.3



LSIL<sub>1</sub>, LSIR<sub>1</sub>, ..., L.C.V 用リミットスイッチ弁全開時だけ開  
 LSIL<sub>2</sub>, LSIR<sub>2</sub>, ..., L.C.V 用リミットスイッチ弁半開以上で閉  
 65T .....調整弁トリップ電磁弁  
 21T .....タービントリップソレノイド  
 CR<sub>1</sub>, CR<sub>2</sub>, CR<sub>3</sub>, CR<sub>4</sub> .....補助リレー  
 2CR .....タイマリレー  
 LSGL, LSGR .....調整弁用リミットスイッチ弁閉で閉  
 CS-E .....非常停止スイッチ  
 COS .....インターロック解除スイッチ

図 2.4

シナリオの差がそのままであるので、カップ弁は動かさなかったが、トリップリレーの油圧が時限調整オリフィスを通じて上がり、リレーが働いてオートストップ油圧をドレンに逃がしてトリップする。調整弁がしまった場合は、インパルスチャンバと高压タービン出口の圧力は等しくなり、スプリングの力でカップ弁が開き、トリップリレーへの油圧を逃がし、リレーを動作させないようにする。

図2.4の電気式インターロックは、インターロック弁およびヒートストップ弁のリミットスイッチが閉じると、ソレノイド弁を励磁し、高圧油を制御油圧系統に送り調整弁を閉じる。調整弁がしまるとリミットスイッチが閉じてタイマリレーをバイパスし、動作しないようにするが、もし調整弁がしまらなければ、タイマリレーにより3秒後にソレノイドトリップする。

(11) タービンに冷却用蒸気を流さずモーターリングさせると、ウインデジロスによって急激に温度が上がり、タービン各部に熱応力が起って変形を起し、回転部と静止部が当ったり、車室にクラックを生じたりして危険である。したがって冷却用蒸気なしで1分以上タービンをモーターリングさせてはならない。モーターリングを検出するのにリバースパワーリレーを使用することもあるが、リレーの感度の点からいって適当でな

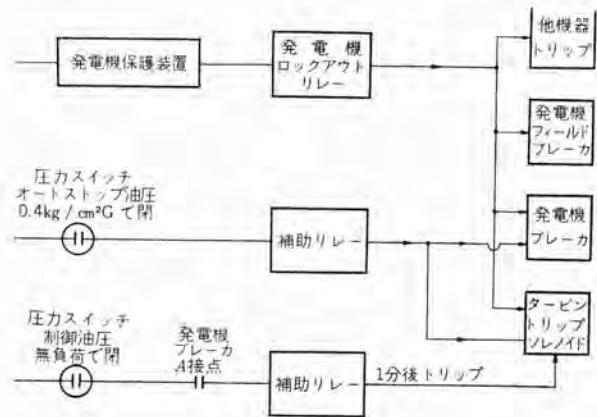


図 2.5

い。しかし下記回路の補助的に警報用として使用するにはさしつかえない。

図2.5に示すようにタービンのオートストップ油圧および制御油圧を圧力スイッチで検出して用いるのがよい。すなわちオートストップ油圧が0.4 kg/cm<sup>2</sup>G以下になれば、タービンの各バルブはしまったことになるので、ただちに発電機のブレーカを開くとともにソレノイドトリップさせる。また制御油圧がタービン無負荷相当以下になったときは、1分後にトリップさせる。この回路は発電機のブレーカの補助接点と直列に入れ、ブレーカが開いているときは動作しないようになっているので、タービン起動時併入前にトリップするのを防いでいる。また制御油圧によって5%負荷を検出し、警報させることもある。

## (2) タービンの負荷を加減するもの

下記のようなものがあるが、必ずしも全部設けられるわけではない。

番号	原因	動作	形式
1 注(1)	初蒸気圧低下	初蒸気圧が10%低下で負荷制限を始め、25%低下で最小負荷	機械式 圧力をペローで検出し制御油圧を変化させる。 電気式 圧力を圧力スイッチで検出し、ガバナモータを駆動する。
2 注(2)	真空低下	真空600 mmHgにて負荷制限始め、500 mmHgで最小負荷	同上
3 注(3)	周波数低下	1サイクル低下で負荷制限を止め、いっぽいまで負荷を増加させる。	電気式 サイクル変化を油圧で検出し、圧力スイッチでソレノイド弁動作、低負荷制限装置を投す。
4 注(4)	負荷の急増	ボイラ風量と発電機電流とのアンバランスにより負荷制限	電気式 アンバランス量をリレーで検出し、ガバナモータを駆動する。
5 注(5)	母線電圧降下	母線電圧降下の度合によって所定負荷まで制限	電気式 電圧リレーにより負荷制限装置用モーターを駆動

## 注

(1) 普通ボイラはA.C.C.によってタービン入口蒸気圧力一定の運転をしているので、蒸気圧力が低下するのはなんらかの異常があるからである。圧力低下の際タービンの負荷が一定であると、調整弁は蒸気量を増やすように開くので、蒸気圧力はさらに低下し、ついにはボイラのキャリオーバーを起すようになる。このような事故を防ぐために、蒸気

圧力が低下すれば負荷を制限してボイラの圧力回復を待ち、安全な運転を行なうようになっている。最小負荷はボイラによって異なるが普通10~20%である。

(2) 真空低下が起ったとき、負荷をそのままにしておくとさらに低下し、ついにはトリップに至ってしまうので、これを防ぐために負荷制限を行なう。しかし普通真空は急激に下がり、負荷を加減しても意味のないことが多いので、この装置はあまり設備されないようである。

(3) 水力発電の系統と並列に運転されているとき、周波数の変化によって負荷が変化しないよう、ガバモータによるコントロールを殺し、負荷制限装置によって一定負荷の運転をすることがある。その際系統事故によりサイクルが1サイクル以上低下すれば、負荷制限を止め、そのタービンいっぱいまで負荷をかけて系統の出力を増し、周波数の回復をはかる装置である。この装置は系統出力の変化に応じることができるように設置しなければ意味がないであろう。

(4) 負荷が急増したとき、ボイラの燃料供給がこれに追いつかなければ、圧力が低下してキャリオーバーを起したりするので、ボイラの風量が追いつく限度まで負荷を制限する。発電機電流の代りに、蒸気流量を取るものもあるが感度は悪いようである。

(5) 母線の短絡などの事故により電圧が降下したとき、その度合によって負荷を制限し、安全運転を行なわせる。制限負荷の値は系統によって適宜変えるが、一例をあげると、

- 母線電圧が85%に下がったときは、負荷を急速に75%に下げる。
- 母線電圧が50%に下がったときはまず負荷を急速に75%に下げ、つぎにゆっくり50%まで下げる。電圧降下はリレーによって検出し、負荷制限装置用モータを所定の速度で回わして負荷を制限するが、所定負荷になれば負荷制限装置のリミットスイッチによりモータを停止させる。電圧が90%以上に回復すれば手動スイッチで負荷を100%まで上げられるようになっている。

## (3) その他の装置

### a. 真空破壊装置

タービンがトリップしたとき、弁がしまって蒸気の流入を断つても残留蒸気が復水器真空まで膨張して仕事をするので、タービンはなかなか停止しない。タービンを停止させるためには真空を破ってやるとよいので、手動または自動の装置が付属しており、弁を開いて空気を流入させ真空を破壊するようになっている。昔は自動のものが多かったが、最近は手動または遠隔操作のものが多い。ガバナが発達したので真空を破って助けてやる必要がなくなったからであろう。発電所非常停止スイッチを操作すると作動するようになっているものもある。

### b. 大気放出安全装置

タービンの排気が0.4 kg/cm<sup>2</sup>以上になると車室が危いので、蒸気を大気に放出する装置である。昔は室外に放出する自動の弁があったが、現在は鉛板または薄い銅板を破って室内に放出するようになっている。保安装置が完備して排圧が上昇するよ

うなことがなくなったからであろう。

### c. 弁の開閉試験装置

タービンには主塞止弁、調整弁、リヒートストップ弁、インターフラッタ弁などがあるが、この各弁がスティックすることなく自由に動作しなければタービンの安全運転は行なわれない。経験によるとこれらの弁は定期的に開閉テストを行なって危急の際完全に動作するよう確認しておく必要がある。負荷運転中に弁の開閉テストができるよう各弁は2組ある。

主塞止弁および調整弁は手動の開閉装置があるから、テストする際には負荷を約80%に落し、片側ずつ行なう。

インターフラッタ弁およびリヒートストップ弁には、図2.6に示すような、片側の2個のバルブが1組となってテストする遠隔操作のテスト装置がある。すなわちテストスイッチによってフレノイド弁を励磁し、作動油を逃して弁を閉鎖させる。テストの際負荷は

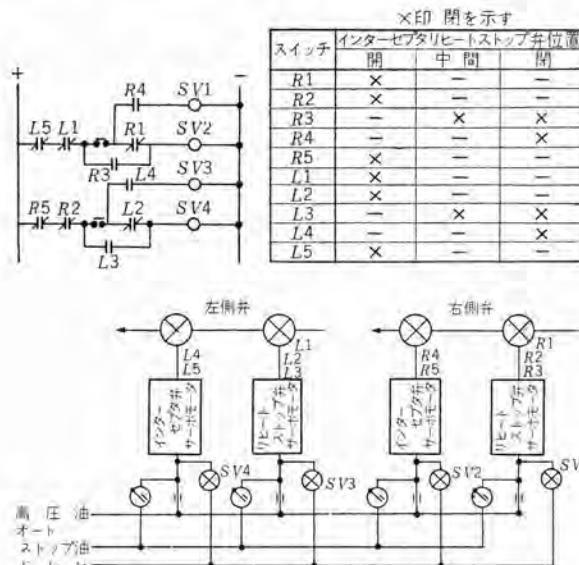


図 2.6

下げなくてよい。リヒートストップ弁は一種の安全弁で、インターフラッタ弁がスティックしてしまらないときにもしまってタービンを保護するためのものであるので、しまりやすいが一度しまると運転中の蒸気圧の差に勝って開くだけの力はない。したがってテストの際テストスイッチを開にするとまずインターフラッタ弁がしまり、つぎにリヒートストップ弁をしめる。スイッチを開にするとまずリヒートストップ弁が開き、つぎにインターフラッタ弁が開く。これらの動作は各弁のリミットスイッチと油圧フレノイド弁によって行なわれるが、片側をテスト中は他のほうはテストできないようインターロックされている。

### d. 抽気逆止弁シャット装置

タービンから各ヒータや脱気器へ給水加熱のために抽気されているが、タービンがトリップした際には蒸気が逆流してタービンを過速する恐れがあるので、各抽水管に逆止弁が取付けられている。この逆止弁の働きをいっそ確実にするために、トリップした際強制的に逆止弁をしめてやる装置である。これにはタービンのオートストップ油圧により直接、またはパイロット弁を働かせて空気圧によって行なわせる。各抽水管に設置してもよいが普通

その必要はなく、蒸気の蓄積容量の大きい脱気器へのラインだけに設置されることが多い。また負荷喪失の際タービンはトリップしないが、過速を防ぐために、インターフラタ弁がしまると逆止弁も同時にしまるようになっているものもある。ただしこれはインターフラタ弁の開閉テストの際に動作しないようインターロックされている。

#### e. ガバナランパック装置

負荷喪失の場合タービンの回転を正規回転まで落し、再併入可能なようにする装置である。回転に比例するガバナインペラの油圧を圧力スイッチで検出しガバナモータを駆動させる。この装置はG.E.系の機械式ガバナのタービンでは、調整弁とインターフラタ弁が別個の機構から操作され、インターフラタ弁のほうがわずかの速度上昇で、先に動作するため、必ず設置しないと負荷喪失後の回転上昇によりインターフラタ弁がしまったまま開かず、調整弁が先に開いてリヒータの安全弁を損傷する恐れがあるが、W.H.系の全油圧式ガバナのタービンでは、調整弁とインターフラタ弁は同一の機構から操作され、インターフラタ弁が先に開くので、必ずしも設置する必要はない。

#### (4) 警報装置

タービンの安全運転を行なうために各種の自動保安装置があることは以上述べてきたとおりであるが、その保安装置が働く前に機器の状態を警報して運転員に知らせ、適切な処置をとらせることも大切である。警報装置は必要かつ十分でなければならないが、反面あまり数を多くしても判断に迷うばかりで意味がない。以下その種類を述べるが、機器の形式、負荷の状態、運転員の能力に応じて必要なものを設置すべきである。なお設定値も状況によって変えることがある。

番号	原因	検出	設定値	備考
1	軸受油圧低下	圧力スイッチ	0.6 kg/cm <sup>2</sup> G	
2	真空低下	圧力スイッチ	600 mmHg	
3	排気高温	温度スイッチ	80°C	
4	車室フランジ、ボルト温度差大	温度差計	+130°C -20°C	フレッシュボルト
5	振動大	振動計	0.1 mm	軸振動両振幅
6	偏心大	偏心計	0.05 mm	
7	車室翼車伸差	伸差計	フインの当る前	
8	スマスト摩耗	圧力スイッチまたは軸位置計	トリップ位置の半分以下	
9	最低負荷	制御油圧圧力スイッチ	約5~10%	
10	軸受高温	温度計	70~80°C	排油またはメタル(とくにスマスト)
11	高圧油圧低下	圧力スイッチ	8~9 kg/cm <sup>2</sup> G	
12	主油ポンプ吸込圧力低下	圧力スイッチ	0.5 kg/cm <sup>2</sup> G	
13	油タンクレベル高低	レベルスイッチ	高、低	
14	補助油ポンプモータ停止	モータリレー		
15	ペーパーエキストラクタ停止	モータリレー		
16	グランシードル圧力低下	圧力スイッチ	水および蒸気	

#### (5) 標示装置

各種の自動保安装置が働いてトリップまたは負荷制限を行なったとき、運転員に知らせて事故や異常の原因を判断するのに役だせるために、それぞれ標示装置をもっている。しかし現在の段階では、標示の順序や時間的動きはわからないため、事故が起ってトリップしたあとでは、多くの標示が表われて判断に迷うことが多い。今後改良されるべきことの一つかろう。

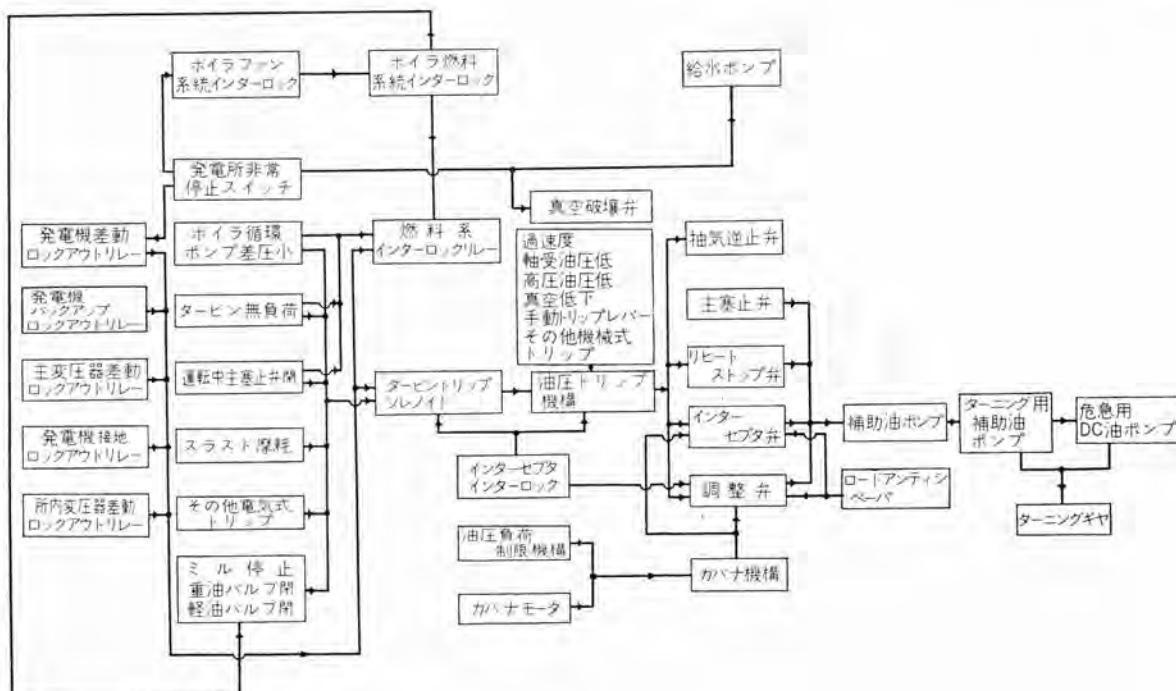


図 2.7

# 技術解説

## 2.4 他機器とのインターロック

最近の火力発電所は全部1機1缶の組合せであるので、ボイラープラントとタービンプラントは互に密接に関連を保ちながら運転されている。したがってそれぞれの変化はただちに他方に伝達され適切な処置が取られなければならない。いまその大要を図2.7に示す。ただしこの図には発電機関係、ボイラ関係の詳細は省いてある。

タービンがトリップすると、主塞止弁、リヒートストップ弁、インターフラッシュ弁、調整弁、抽気逆止弁はしまり順次回転は低下する。それにつれて軸受油圧も低下してくるが、約 $0.6 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 以下になると圧力スイッチが働き、まず補助油ポンプが起動し、軸受油圧を維持するが、もし故障の際は約 $0.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 以下でターニングギヤ補助油ポンプが起動し、これも動作しないときは約 $0.25 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 以下で非常用直流補助油ポンプが作動する。タービンが停止した後はターニングギヤをかけて連続ターニングをする。ターニング速度は3 rpmである。起動の際はこの逆である。ターニングギヤは軸受油圧が約 $0.3 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 以上なければ起動できない。主塞止弁、リヒートストップ弁、インターフラッシュ弁は補助油ポンプを起動してやらないと開かない。タービンが増速するとターニングギヤは自動的にはずれリミットスイッチによりモータは停止する。

## 3. タービンの自動調整装置

### 3.1 自動負荷調整装置 (A.L.R.)

タービンは周波数の変動にしたがって負荷も変動するが、これを周波数に無関係に一定負荷となるよう調整するのがこの装置である。

電力計に調節機構をもたせ設定値との偏差を検出してガバナモータを駆動し、一定負荷となるよう調整する。この装置は負荷制限機構および補助ガバナが働いた場合は制御油圧の差を検出してロックアウトリレーを動作させ手動に切換える。また負荷の上昇、下降割合も制限値以内となるよう速度を加減するようになっている。

実際問題としては制御油圧と負荷の関係が直線的でないこと、变速装置のイナーシャ、制御機構の時間遅れなどにより種々問題があり、今後いっそうの研究を要すると思われる。

### 3.2 自動周波数調整装置 (A.F.C.)

系統の周波数を一定に維持するためにタービンの負荷を増減させる装置である。周波数計に調節機構をもたせ、設定値との偏差を検出してガバナモータを駆動させ、一定周波数となるよう調整する。この装置は系統の特性を十分考慮した上で、設置すべきであり、十分の調整能力をもつよう多くの機器に装備されるべきである。

## 4. タービン監視計器

大容量、高温高圧のタービンは、起動、運転、停止を安全かつ効率よく行なうためにタービンの運転状況をつねに監視する必要がある。またその状態を記録して事故の解析や後日の参考資料として使用する。このようにタービンの状態を指示記録する計器をタービン監視計器といふ。監視計器には次のものがある。

- 翼車偏心記録計
- 翼車振動記録計
- 翼車位置記録計
- 車室翼車伸差記録計
- 車室伸び記録計
- 調整弁位置記録計

このほかにタービンのフランジとボルトの温度差を記録する温度差計を加えることもあるが、本稿では省く。どの計器も十分の正確度と信頼性を有し、長期間の使用に耐えるもので、較正、チェックが迅速にできるものでなければならないのはもちろんである。そのために極力電子管の使用を避け、かつ全要素を定格以下の低い値で働きしている。またすべての計器は迅速な動作テストができるよう試験装置がついている。計器は記録計とそれ以外の装置を収めたキャビネットから成っている。記録計はすべてに共通な0~5 mAの直流電流記録計が使われている。取付要領を図4.1に示す。

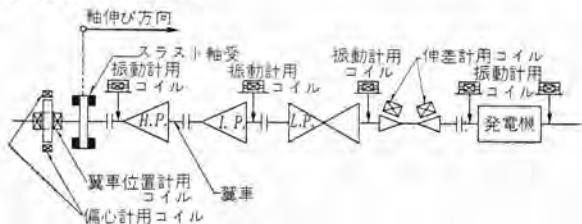


図 4.1

### 4.1 翼車偏心記録計

タービンロータは停止中ターニングギヤをかけて連続的に回転させ、タクミを防ぐようにしているが、タービンを起動するときは軸受の近くで測った偏心量(タクミ量の倍)が0.025 mm以内でなければ、タービンの回転を上昇させてはならない。この偏心量を監視記録するのが翼車偏心記録計である。偏心量が問題になるのは低速回転の間だけで、回転が高くなると偏心量は振動となって表われる。したがって約600 rpm以上はこの計器を停止させ、代りに次項の振動計で監視記録させる。計器の特性も偏心計は約600 rpm以上で悪く、指示がほとんど零になるし、また振動計は約600 rpm以下で特性が悪く誤差が大きい。構造は翼車の端に円板を取付け、上下に円板をはさんで1組のピックアップコイルを置く。偏心量はピックアップコイルと円板の間の距離の最大と最小の差でこれは180度遅れて起るから、偏心計は次のような働きをする必要がある。①コイルと円板間の最小距離を測定しその値を記憶することと、②コイル円板間の最大距離を測定すること、③二つの値の差をとること、④差引いた結果を表示し、以後先に記憶していた量を徐々に忘れて行くことによつて、偏心量を算出する。

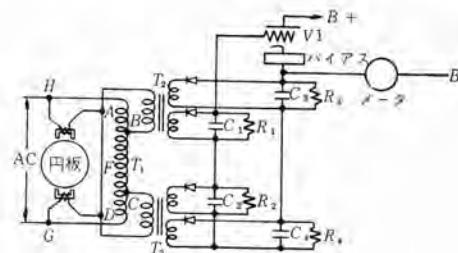


図 4.2

てつぎに送られてくる信号を受信しうるよう備えること、しかし軸受にはクリアランスがあり、速度が増すにしたがって油膜の影響によって翼車が浮上るのでこれを補正する必要がある。偏心計は以上の要求に合致するよう作られており、原理を図4.2に示す。すなわち翼車が偏心して円板が一方のコイルに近くとそのコイルのインピーダンスは増し、したがってコイルの両端の電圧が増加する。それと同時にこのコイルに直列に接続されたもう一つのコイルの電圧は減少する。その結果FG間の電圧が軸の回転に伴って変化する。FC電圧はFGと同様に変化するが、その割合ははるかに大きく変動する。T<sub>2</sub>とT<sub>3</sub>はまったく同じトランジストでそれぞれ3個の等しい巻線をもっている。T<sub>2</sub>とT<sub>3</sub>の一次は直列に接続されているため電圧の合計は点Fの電圧いかんにかかわらずつねにBC電圧と同じであり、T<sub>2</sub>の二次電圧とT<sub>3</sub>の二次電圧の合計はつねにBCと等しく、またどの二次電圧も翼車の回転について変動する。T<sub>2</sub>とT<sub>3</sub>の二次出力は整流されコンデンサの充電に使われる。コンデンサのうちC<sub>1</sub>とC<sub>2</sub>は大きな抵抗と並列にはいっておりその時定数は非常に長く数10秒にもなる。したがってC<sub>1</sub>はT<sub>2</sub>の最大電圧に比例する電圧をつねに維持し、またC<sub>2</sub>はT<sub>3</sub>の最大電圧に比例する電圧を維持する。この二つのコンデンサ電圧の合計はBC電圧と軸の偏心による電圧変化の2倍との和になる。一方コンデンサC<sub>3</sub>とC<sub>4</sub>は並列に小さな抵抗をもっているためその時定数は数サイクルに過ぎず、その電圧はいつも接続されたトランジストの電圧に比例し、したがってC<sub>3</sub>とC<sub>4</sub>の電圧の和はBCに比例する。適当なバイアスをもった真空管を用い、そのカソードにはC<sub>3</sub>とC<sub>4</sub>の和を、またグリッドにはC<sub>1</sub>とC<sub>2</sub>の和をつなぐことによってBC電圧分は差引かれ、グリッドは2倍の偏心分だけに影響されることになる。したがって真空管の漏れ電流は適当な較正を行なえば偏心量を指示することとなる。回軻が約600rpmになれば、ガバーライン油圧を圧力スイッチで検出し計器を停止させる。警報用の電流リレーは記録計と直列に入れる。

#### 4.2 翼車振動記録計

タービンの翼車は静的にも動的にも十分バランスが取ってあるので振動値はごくわずかである。したがってその値の変動を知ることは運転者にとってほとんど不可能である。振動計測には軸受ペデスタイル上で測るものと、翼車を直接測るものがあるが、タービンの振動の源は回転部たる翼車があるので、それを直接測るのが監視計器としていちばん必要なことである。軸受ペデスタイル上で測るのは容易ではあるが、軸受の影響によって振幅も位相も不規則に変化し、タービンの運転状態を正確につかむことはむずかしい。翼車振動記録計はピックアップを直接翼車に押付け、振動を指示記録させる。

ある物体の空間における振動を測定するためには、その物体に対して絶対に静止している点が必要である。しかし実際にはそのようなものはないので、関係静止点を耐震的に取付ける。すなわちその点をなるべく質量の大きなものとし、しかもそれを弱いバネでささえるようにするとよい。

振動を取出すピックアップは、ホワイトメタルの足をもつロッドでこれを翼車に押付け、ロッドの先に細い線を数千回巻いたコイル

が取付けられている。このコイルは耐震的に取付けられた一つの重い磁石による強力な静止磁界の中に置かれており、翼車の振動についてコイルは磁界の中を運動するので、コイル中に交流電圧を発生する。コイルの運動量が同一でも回転が異なると振動周期が異なるので電圧も違ってくる。しかし必要なのは回転に関係のない運動量であるので、これを較正するためにコイルの電圧を積分回路に導く。これは大容量のコンデンサと高抵抗から成り、その時定数はもっとも遅い振動波の速度よりもはるかに長いものとなっている。積分回路を出た小さな交流電圧は五極

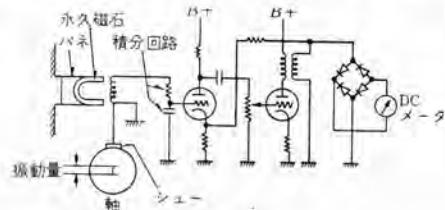


図 4.3

管のグリッドに加えられ増幅される。最初の五極管の出力はつぎのパワー管を働かせ、その出力が出力トランジストを励磁し、トランジストの二次側は整流器で整流されて記録計を作動させる。増幅器は各ピックアップの出力を同時に増幅できないので、タマまたはセレクタースイッチを用いて増幅器を切換えて順次測定する。原理を図4.3に示す。警報、トリップ用の電流リレーは記録計と直列に入れる。

#### 4.3 翼車位置記録計

タービンの翼車はスラスト軸受によって静止部との関係位置を保っているが蒸気条件、負荷など運転状態によってスラスト力が変り翼車の位置も変る。この翼車の位置を常時監視記録するのがこの計器である。

タービンの翼車の端に円板を取り付けこの動きを測定する。この

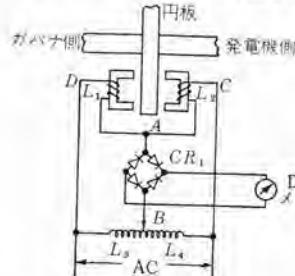


図 4.4

円板は4.1項の偏心計に使用されるものと共に用いる。まったく等しい2個のコイルを円板の両側に1個ずつ取付け、これと可変リアクトルによってリアクタンスブリッジを組んで全然接触部品を用いずに円板の位置を検出し指

示させる。原理は図4.4に示す。いま円板が発電機側に近づくと、コイルL<sub>1</sub>のインダクタンスは増し、コイルL<sub>2</sub>のそれは減少する。こうしてL<sub>1</sub>の両端の電圧ADは増加し、L<sub>2</sub>の両端の電圧ABはL<sub>1</sub>とL<sub>2</sub>のインダクタンスの変化すなわち円板の運動によって変動することになる。目盛の調整は点Bを動かすことによって行なわれる。警報、トリップ用の電流リレーは記録計と直列に入れる。

#### 4.4 車室翼車伸差記録計

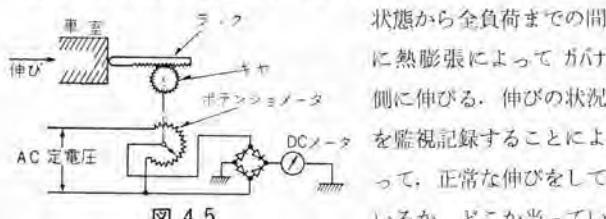
タービンの回転部と静止部はごくわずかのクリアランスしかないが、タービンの起動時、負荷変動時にはそれぞれ膨張収縮量が異なるのでクリアランスが変化する。タービンの翼車はスラスト軸受によって位置決めされ、また車室は低圧車室排気中心で固定さ

# 技術解説

れており、その変化量が大きいと回転部と静止部が当って危険である。タービンの全長が短く温度の低いものは危険性が少ないと、大容量、高温高圧のものは相対運動量が大きいのでとくに注意して監視する必要がある。したがって計測個所にはスラスト軸受からいちばん遠い点が選ばれる。原理は4.3項の翼車位置計と同様で、リアクタンスブリッジによって計器を動作させている。ただし翼車位置計と異なり、伸差の量が大きいのでピックアップに同様のものを用いると、空隙が大きくなり、漏洩磁束の量が非常に多くなって、ブリッジの直線性が悪くなる。したがってその空隙を減らすために、翼車の計測点に14.5度の角度で突起した部分を設け、これをはさんでピックアップコイルを車室側に取付ける。14.5度のCosecantは4であるので軸方向に4mmの運動があると、ギャップは1mmだけ変化することになる。このようにしてブリッジの直線性を改善させている。

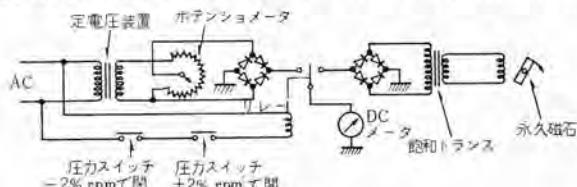
## 4.5 車室伸び記録計

タービン車室は低圧車室排気中心で固定されているので、静止



## 4.6 調整弁位置記録計

タービンの調整弁の動きを監視記録するものである。この計器と回転記録計を併用し、起動時および回転上昇時は回転計を、それ以外は調整弁位置記録計として用いるものもある。その原



## 5. タービンの遠隔操縦

現在の蒸気タービンは、その起動停止に当っては現場で操作

を行ない、運転状態にはいって初めて中央制御室から監視し、負荷の調整を行なっている。したがって中央より遠隔操作をするのは、負荷の加減と機器の監視および危急時の処置だけである。これは起動停止時にはタービンが不規則な変化を起し、遠方からはその状態がつかみにくく、適切な処置が取れないからである。しかし最近は各種計器、保安装置の発達、および数多くの運転経験から、直接機器のそばで運転監視をしなくても遠方から操縦することがだんだん可能となってきた。今後機器はますます大型となるのでその遠隔操縦も追々実施されるようになるであろう。起動、停止時の操作は大体次のようなものである。

### 5.1 各種弁類の開閉

ドレン弁、ペント弁は電動または空気操作のものとする。必要あればインターロックして開閉順序をまちがわないようにし、また温度、圧力、タイムなどによる自動操作を行なう。タービンを起動する主塞止弁は現在のものも油圧操作となっているが、その油圧パイロット弁を電動または空気操作によって駆動する。弁の開閉テストももちろん電磁弁などによって行なう。

### 5.2 保安装置のリセット

非常シャットオフ装置のリセットハンドルは電磁弁によって空気パイロット弁を操作し、エアシリンダによってリセットする。リセット動作はリミットスイッチによって確認する。真空低下トリップの掛け金も同様エアシリンダによってリセットし、リミットスイッチで確認する。

### 5.3 ターニングギヤの投入

電動または空気操作弁によって潤滑油の弁を開き、エアシリンダによってギヤをかみ合わせる。その際タービンが停止していることを、ターニングギヤ零速度標示装置で確認してから行なう。

以上のように操作自体は大してむずかしいことではないが操作を行なうための判断は信頼性ある各種計器で十分確かめてから行なわなければならないし、保安装置は絶対的にまちがいのないものでなければならない。そのために今いっそう正確な監視計器を各所に配置し、各部の状況を中央で正確に把握する必要があるが、たとえば各部の運転をノイズなしに聞く装置とか、各部の圧力、温度、伸びなどの変化を比較検討する計算機とか、今まで人間が現場で感覚、経験をたよりにしていたものを計器で行なうようなものが需要であろう。またその他保安装置も要すれば二重にするなど細かい注意が必要になるであろう。

## 6. 注意すべき事がら

### 6.1 配線工事

以上述べてきた各装置および計器の配線にはその用途、性能、配線個所によってそれぞれ気をつけなければならないことがある。まず配線材料であるが、一般にあまり高電圧のものはない代りに高温、多湿な場所が多くまた油気も多い。さらに磁気の影響も多い。したがって高温、多湿な所にはテフロン線を使用し、磁気の影響をきらうものは鉄シールド線を使わなければならぬ。非鉄金属のシールドは磁気に対してはあまり効果がない。さらに振動、偏心計の配線は単独のコンジットを通して、ケーブルを保護する。

ただしオーバーホールの際、簡単に行なえるよう適宜ターミナルを設けて中継し、できれば各エレメントはコンネクタで簡単にはずれるようにする。サーモカッフルも最近はコンネクタ式のものができている。テフロン線は一応200°Cまで安全であるが、まだ価格が高く、メーカーもなく、さらに製品にはむらが多くて最大100mくらいまで単長のものが製作可能はあるが、実際の製品は悪い個所を取除くためこま切れの状態で工事にあたって日々が多い。今後電線メーカーのいっそうの技術向上と価格の低減が望ましい。耐熱度もさらに向上したものの研究開発を切望する。

### 6.2 電気機具

耐熱、耐湿度において十分なものがほとんどなく、ことに国産では使用に耐えるものが皆無といってよいくらいである。したがって現在では全部輸入にたよっているが、それでもたとえばリミットスイッチは耐熱度175°C程度のものしか見当らない。これでは今後ますます高温化するタービンには使用して不安である。がんじょうな密封式の耐熱形スイッチの出現を期待するものである。したがって現況では、輸入品を精選してなるべくよいものを取付け、取付個所もなるべく温度、湿度の低い振動の少ない所に注意して取付けなければならない。

### 6.3 テスト機構

すべての装置はその動作および回路の安全をテストできるよう考案されていなければならぬ。

### 6.4 配管

油、空気などの操作配管は一般に細いので損傷しやすいから、コンピットを通すとか、保護チューブを使うとかして十分保護してやる必要がある。配管場所も十分考えて、オーバーホールのとき損傷したり、踏みつけたりしないような所を選んで配管する必要がある。また管の接続個所が長期間のうちにゆるんで漏洩したりするからなるべく接続個所を少なくし、やむを得ないところはネジ止めをせず、溶接またはロウ付けなどでしっかり接続することが必要である。油が漏れた場合火災が起らないよう、危険な所は避けて配管しなければならないことはいうまでもない。

## 7. 今後の課題

発達のいちじるしいタービンの今後の姿を予想することは困難であるが、現在の状況から見た場合、今後研究開発させられて行くと思われる事がらのうち、本稿に関係あると思われるものは大体つぎのようなものであろう。

### (1) 電気部品の改良

本稿の各所で述べてきたように、今後各種電気部品の耐熱、耐湿性を改良して信頼性あるものとする必要がある。

### (2) 遠隔操縦

今後ぼつぼつ採用され、各種の経験を積みながら発達して行くことであろう。

### (3) 急速起動、低負荷運転、過負荷運転

これら各種運転状態における保安、調整、監視装置が要求さ

れ発達していくことであろう。

### (4) 電気ガバナ

現在日本の蒸気タービンは全部油圧式または機械式のガバナであるが、水車タービンは最近のものはほとんど電気ガバナが川いられているし、欧州、ソ連では蒸気タービンにもすでに採用されているので、今後追々取入れられることであろう。そうなると保安、調整装置も電気式のものに変更する必要が生じ、その信頼性が問題になるであろう。

### (5) 操作油圧の上昇

タービンが大型になると各機構を動かす力はますます増大するので、操作流体の圧力を上げて操作部を小型強力化し、さらに動作を迅速、確実にさせる必要がある。圧力が上がると当然各部の漏れが増えるので、その対策が必要である。現在すでに油圧は10kg/cm²G級から20kg/cm²G級に変りつつある。

### (6) 原子力タービンの安全性

原子力タービンでBWR形のように放射能を含んだ蒸気を直接タービンに流入させるものは、放射能の半減期が数分の短いものであるとはいゝえ、その漏洩蒸気の処理が必要で、その検出、保安、安全装置も十分なものが設備されなければならない。ことに一次系の燃料棒が破壊したような場合は非常に危険である。また低圧車室の大気放出装置が作動したときの処置もぜひ必要であろう。運転も全部遠隔操縦することが安全性の面から要求されるに違いない。原子力の分野では一次系の研究開発はめざましいが、二次系たる蒸気タービンの分野は遅れているようと思われる。今後開発研究されるべき事項が多い。

### (7) ボイラ A.B.C.

現在の自然循環、強制循環のボイラのコントロールはいわゆるコンベンショナル法といわれるもので、負荷が増えればタービンの調整弁を開き、流入蒸気量の増大につれて蒸気圧力が低下するので、この圧力を一定となるようボイラの燃料をコントロールする方法である。これに対し超高压のモノチューブボイラでは最近ダイレクトエネルギー法と呼ばれる方法が採用され始めた。すなわち負荷が増せば直接ボイラの燃料を増やし、蒸気圧力の増大によってタービンの調整弁を開いてやる方法である。

今後超臨界圧力、大出力のタービンが続々建設されるであろうが、ダイレクトエネルギー法の運転が行なわれれば、タービンのガバナ系統はもちろん、保安、調整装置もそれに応じたものに変更する必要がある。今後研究開発されるべき課題であろう。

## 8. むすび

以上タービンの保安、調整、監視装置についてその概略を述べてきたが、火力発電の技術は日夜進歩してその止まる所を知らない。戦後歐米の進歩した技術を取り入れその消化吸収につとめてきたが、最近はどうにかその水準に追いつくことができたようと思われる。今後はその経験によって独自の優秀な機械を開発し製作して行くのがわれわれ火力発電技術に携わるものの大命であろう。

(新三菱重工(神戸)造船所 林 徹)

## 誘電体混合物の誘電率

研究所 喜連川 隆\*・有田不二男\*

## 1. まえがき

誘電材料の取扱いに際して、誘電率の既知な二つの物質を諸種の割合で混合したとき混合物の誘電率がどのようになるかということを簡単に推定したい場合にしばしば遭遇する。これらにつきあらかじめおおよその目安を得ることができれば非常に便利で実験データの整理にも役立つはずである。

一般的に2物質を混合した場合どのような誘電率が得られるか、あるいはこれと類似の問題として2物質を混合した場合の導電率あるいは透磁率がどのようになるかということに関し、以前より多くの人々が諸種の公式を発表している。しかし現在までのところどのような混合状態についても満足な定量的結果を与える簡単な一般公式は存在せず、それぞれの対象に応じて適当な合成公式を選択使用するより仕方がないのが現状である。

本文はかかる従来提案された各種誘電率合成公式について調査したところを紹介し、またわれわれが測定したラドーム材料としてのガラス繊維入りポリエチレン樹脂のガラス混入量と誘電率との関係、および発泡樹脂の吸水量と誘電率との関係などについての若干の実験結果とも対比して、これらの公式がどの程度実用上の意義を持ちうるかという概念を得るために参考とした。

## 2. 混合物の混合状態と誘電率

まず混合物の誘電率を左右する因子としてどのようなものを考える要があるか、そのおおざっぱな概観につき述べる。

混合物内に所定の平均電界強度を与えたときの混合物単位容積あたりの偏極量によって誘電率が定まるがそれは各構成物質の偏極量の和として与えられ、またその構成要素物質の偏極量は自己の近辺の局所的電界分布と、各構成要素物質の形状、その向きなどに左右される。また混合要素物質の一つ一つのブロックが巨視的な意味で自身の固有の誘電率を保つ程度に十分多数の分子を含む状態で分散しており、また異種分子間にも強い結合力のようなものが働かないならば容積混合率を一定に保ったままで各ブロックの大きさを比例的に変化しても混合物誘電率に変化を生じることはないが、これが分子状分散を示す程度にまで細かい分散をしているとき、あるいは異種分子間相互作用が強いような場合にはこれが変ってくる。

たとえば近年、ラドーム材料製作においてしばしば実施されるポリエチレン樹脂中のガラス繊維の混合、あるいは低誘電率誘電体を得るために樹脂の発泡などでは分子状分散までに至らず、またガラスと樹脂間の化学的結合力もあまり強くないであろうから、混合状態においても各構成要素物質は依然として自身の巨視的誘電率を保っている前者の場合に属するであろう。これに対してある溶媒中に他の物質を溶かしたり、あるいは固溶体

の形成、吸着性物質への他物質の吸着などは後者の分子状分散をなす場合として考えられる。この両者の誘電率合成公式は別々に考えなければならない。もちろん場合によってはこの両者の中間的混合状態を考える必要も生じる。

以下各節においては、まず混合要素物質のおおのがみずからの大視的誘電特性を保ったまま混合している場合につき述べ、あと簡単に分子状分散をなす場合につき述べる。

## 3. 被混合物質のおおのがみずからの巨視誘電率を維持したまま混合している場合の誘電率

## 3.1 被混合物質形状、混合状態が混合物誘電率に及ぼす影響の概観

簡単な例としてまず平板電極コンデンサの極板間に平板状、または棒状誘電体を挿入する場合を考える。

図3.1(a)は誘電体板の境界面がコンデンサ内Eベクトルと垂直になるように挿入した場合、図3.1(b)はそれがEベクトル

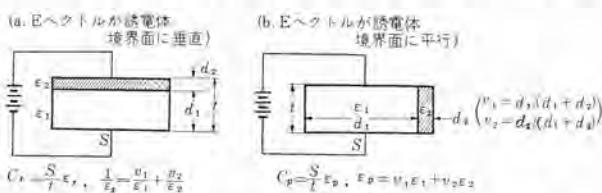


図3.1 誘導体の挿入法変化による実効誘電率の変化

と平行になるよう挿入した場合である。そのおおのがみずの場合同じコンデンサの静電容量の値から得られる極板間実効誘電率は同図付記のようにそれぞれ

$$\frac{1}{\epsilon_s} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_r} + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_r}, \quad \epsilon_r = \epsilon_1 \epsilon_2 / (\epsilon_1 + \epsilon_2), \dots \quad (3.1)$$

$$(v_1 + v_2 = 1)$$

となる。 $v_1, v_2$  は誘電率がそれぞれ  $\epsilon_1, \epsilon_2$  なる物質の極板間での体積占有率である。この関係式は単に図3.1に示したように2物質境界が一つだけある場合に限らず、任意間隔の多層配列構造としても成立する。数値例として  $\epsilon_1=1$ (空気)、 $\epsilon_2=6$ (ガラス)なる場合につき合成  $\epsilon$  の値を計算すると図3.2のようになる。この図は  $\epsilon_p$  と  $\epsilon_s$  の開きがとくに2物質を同程度の容積で混合した場合に顕著なものとなり、混合すべき誘電体の形状が合成誘電率を大いに左右した異方性現象を伴うことを示す。 $\epsilon_s$  と  $\epsilon_p$  の中間の曲線は参考のため後述節3.2の諸公式の若干の代表例につき計算したものである。

なお被混合物の分布状態が合成誘電率の値を左右する別の例として球状粒子の分散の場合につき混合の仕方いかんによりいかに誘電率が左右されるかということを定性的に図3.3に示す。これは混合物の混合比が同じであっても、そのいずれが分散媒となるかにより合成誘電率の値が変りうることを示す。

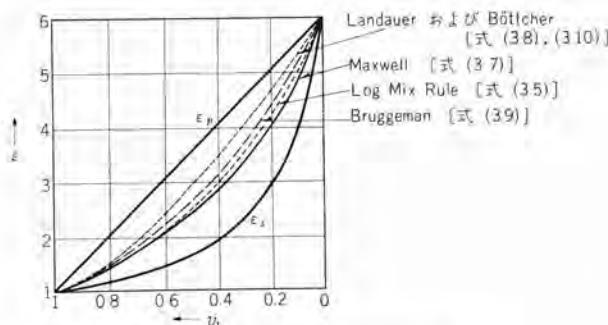


図 3.2 諸種の混合状態における誘電率

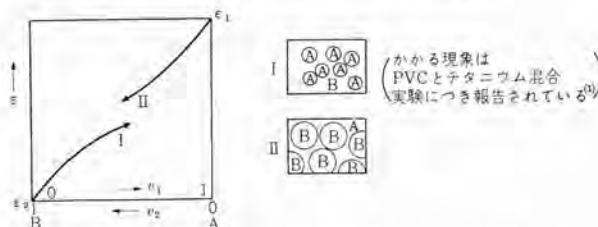


図 3.3 球状粒子が分散した場合の合成誘電率

以上の若干の例により単に被混合物質の誘電率と混合比だけから合成誘電率を推定するというのには相当無理があることが明らかである。ただ図 3.2 の  $\epsilon_p$ ,  $\epsilon_s$  として示したのは極端例であって一般に不規則な形態および分布をもつて 2 物質を混合する場合の合成誘電率は  $\epsilon_p$  曲線と  $\epsilon_s$  曲線の中間にはいるものと考えられる。これは同様に外部電界を与えて  $\epsilon_p$  に対する配置のときは誘電分極が印加電界を打消す方向に電界を発生する効果はもつとも小さく、また  $\epsilon_s$  のときはこの効果がもっとも大きい配置となっているからである。

### 3.2 従来提案された各種の誘電率合成公式

まず一般的に、被混合物質の各 ブロック がいはずれも巨視誘電率を保ち、かつ各種被混合物質が間隔なく定まった境界面をもって互に接して詰まっている、という特定混合条件が満たされているならば、混合体誘電率を  $\epsilon$ 、各被混合体単独の誘電率を  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ , ... とするとき  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ , ... のすべてを任意常数  $k$  倍すれば  $\epsilon$  も  $k$  倍にならなければならない、という事情の反映として  $\epsilon$ ,  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ , ... の相互関係はそれらの齊次式として表わされなければならないことに注意を要する。たとえば 2 物質を混合する場合については混合物質の幾何学的混合状態により定まる適当な関数形  $f$  に対して

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_1} = f\left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}\right) \quad (3.2)$$

の形に書けるはずである。実際前記式 (3.1) および以下本節記載の固体誘電率合成公式は Wiener のものを除いてほかはすべてこの形に表現しうる。もし合成  $\epsilon$  の実験値がこの形に表現しえなければそれは被混合物の誘電率を変えるたびに混合物の混合状態たとえば被混合物質の各 ブロック の形状、分布状態などが変わったか、混合に際して被混合要素物質の一つ一つの ブロック がその物質が単独に存在するときの誘電率を持つとはみなされないような状態になった、というような特殊な事情の存在を予期すべきである。

以下本節に述べる諸式は被混合物質のおのがおそらくみずからの巨視誘電率を維持したまま混合していると考えられる固体誘電体混合の場合を対象としているが、このような場合につき從来提案された誘電率合成公式は特殊な場合につき明了な理論的根拠から導かれたもの、あるいは純実験的に定めたものなど種々であって、下記諸公式にはどのような根拠から導かれたか明了でないものもあるが、これらにつき理論的あるいは実験的根拠の明らかなものについてはその大要をも述べる。

#### (1) Wiener の公式<sup>(2)</sup>

$$\frac{1}{\epsilon + u} = \frac{v_1}{\epsilon_1 + u} + \frac{v_2}{\epsilon_2 + u} v_1, v_2 = (\text{容積混合率}, v_1 + v_2 = 1) \dots (3.3)$$

$u$  は物質の混合状態、混合粒子形状により定まる常数。理論的根拠、実験との対照などは直接文献を見ていないので不明。

$u \rightarrow 0$  とすれば式 (3.1)  $\epsilon_s$  に、 $u \rightarrow \infty$  とすれば式 (3.1)  $\epsilon_p$  に一致する。

#### (2) Lichtenegger-Rother の公式<sup>(3)</sup>

$$\epsilon^k = v_1 \epsilon_1^k + v_2 \epsilon_2^k \quad (v_1 + v_2 = 1) \dots (3.4)$$

$k$  は混合状態、混合粒子形状により定まる常数。

$k \rightarrow -1$  とすれば式 (3.1)  $\epsilon_s$  に、 $k \rightarrow +1$  とすれば式 (3.1)  $\epsilon_p$  に一致する。

その中間:  $k \rightarrow 0$  とすれば、 $x^k \rightarrow 1 + k \log x$  を用いて

$$\log \epsilon = v_1 \log \epsilon_1 + v_2 \log \epsilon_2 \dots (3.5)$$

を得る。これは Logarithmic Mixing Rule と称されている。

式 (3.5) を式 (3.4) とは別の方向に一般化して

$$\log \epsilon = v_1' \log \epsilon_1 + v_2' \log \epsilon_2 \dots (3.6)$$

$$v_1' = v_1(1 + \kappa v_2), \quad v_2' = v_2(1 - \kappa v_1), \quad v_1' + v_2' = 1$$

$v_1, v_2$  = 容積混合率

$\kappa$  = 混合状態、混合粒子形状による常数

を用いて実験結果と合わせることも提案されている<sup>(4)</sup>。式 (3.5) Logarithmic Mixing Rule の成立例として図 3.4 および図 3.5 のようなものがある。

Lichtenegger 自身は式 (3.5) を誘電率の代りに導電率の場合に適用し、すなわち  $\epsilon$  の代りに導電率  $\sigma$  を置換して Pb-Sn 系混合物の実験結果とよく一致する結果を得た、としているが

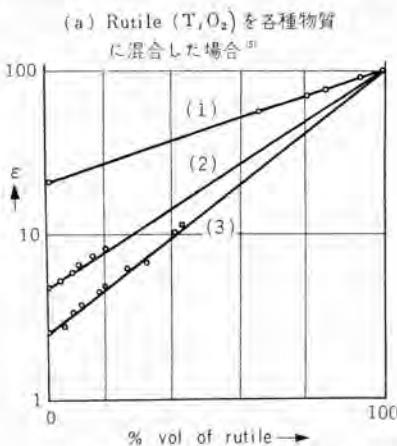


図 3.4 Rutile 混合実験

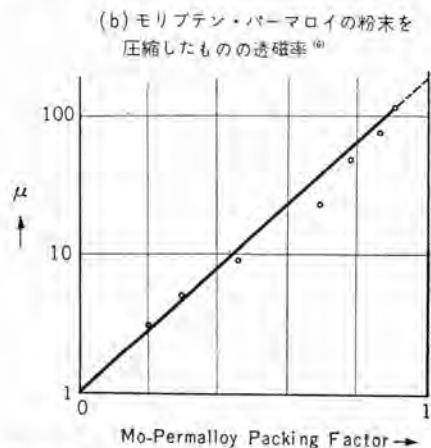


図 3.5 Mo-Permalloy の Packing と透磁率

Landauer<sup>(7)</sup>によればそれは実験の誤りで実際はその場合によく適用されない、としている。また上式を透磁率について適用した図 3.5 の Mo-Permalloy の実験結果についても疑義が出されている<sup>(8)</sup>。Bruggeman が誘電体ブリスムで実験を行なった結果も式(3.5)の公式は用いにくいといっている<sup>(9)</sup>。実際この式で混合物の一方の誘電率を  $\varepsilon_1 \rightarrow \infty$  (金属) とすればその混合率いかんによらず  $\varepsilon \rightarrow \infty$  という結果になるがこれが必ずしも事実に合致しないことからも、この Logarithmic Mixing Rule およびその一般化式(3.4)～(3.6)が無制限に適用できないことは明らかである。

### (3) Maxwell の公式<sup>(10)</sup>

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon + 2\varepsilon_1} = v_2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1} \quad (v_2 = \text{第2物質容積混合率}, \varepsilon_2 > \varepsilon_1) \dots (3.7)$$

この式は  $\varepsilon_2$  の球状物質が  $\varepsilon_1$  物質中に分散している場合に適用される、とある。

### (4) Böttcher の公式<sup>(11)</sup>

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{3\varepsilon} = v_2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon} \quad (v_2 = \text{第2物質容積混合率}, \varepsilon_2 > \varepsilon_1) \dots (3.8)$$

適用条件は式(3.7)と同じ。式(3.7)分母の  $\varepsilon_1$  を  $\varepsilon$  におきかえると式(3.8)ができる。

### (5) Bruggeman の公式<sup>(12)</sup>

$$\frac{\varepsilon_2 - \varepsilon}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = v_1 \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_1}} \quad (v_1 = \text{第1物質容積混合率}, \varepsilon_2 > \varepsilon_1) \dots (3.9)$$

適用条件は式(3.7)または式(3.8)と同じ。

### (6) Landauer の公式<sup>(7)</sup>

$$v_1 \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon} + v_2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon} = 0 \dots (3.10)$$

2 物質とも球状粒子より成り、それが間隙なく詰まっているとして導かれた式。現実にそのような詰合せ方はできないが意識的に 1, 2 物質を対称的に取扱おうとしたことから生じた便宜上の仮定である。

この式を誘電率でなく導電率の場合に用い、Bi-Bi<sub>2</sub>Pb, Cd-Pb, Cu<sub>2</sub>Sb-Sb, Cu-Fe, Mg<sub>2</sub>Pb-Pb, Pb-Sb などの混合系に適用して非常によく実験と一致した。ただし Bi-Pb 系にはうまく適用できなかった、とある。

### (7) Brown の公式<sup>(13)(14)</sup>

以上の諸公式中理論的に導かれたものは各構成要素物質の周囲は混合物の巨視的誘電率  $\varepsilon'$  を持つ均質連続体より成ると仮定して計算を進めたものばかりであるが、より基本的にそれらが discrete な モザイク 構造を持つとして統計的に扱った結果として次式が与えられている：

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon}{\varepsilon'} &= 1 - \frac{1}{3} v_1 v_2 \left( \frac{\delta'}{\varepsilon'} \right)^2 + \left[ -\frac{2}{9} v_1 v_2 (v_1 - v_2) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} (v_1^2 \lambda - v_2^2 \mu) \right] \left( \frac{\delta'}{\varepsilon'} \right)^3 + \dots \dots \dots (3.11) \end{aligned}$$

ただし  $\varepsilon' = v_1 \varepsilon_1 + v_2 \varepsilon_2$  (=式(3.1)  $\varepsilon_p$ )  
 $\delta' = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$   
 $\lambda = \left( \frac{1}{4\pi} \right)^2 2 \int d\tau_{ij} \int \left[ \frac{P_{123}}{v_1^3} - \frac{P_{12} P_{23}}{v_1^3} \right] \frac{P_2 (\cos \theta)}{r_{12}^3 r_{23}^3} d\tau_{ij}$   
 $v_1^2 \lambda + v_2^2 \mu = \frac{2}{9} v_1 v_2$

$P_{ij}$ =混合物内に任意にえらんだ  $i, j$  なる 2 点が混合要素の第 1 物質中にはいる確率

$P_{ijk}$ =混合物内に任意にえらんだ  $i, j, k$  なる 3 点が混合要素の第 1 物質中にはいる確率

$r_{ij}$ =混合物内に任意にえらんだ  $i, j$  点間の距離

$\theta = \vec{r}_{12} \cdot \vec{r}_{23}$  とのなす角

$P_2(\cos \theta) = 2$  次の第 1 種 Legendre 関数

この式は混合物の各構成要素物質間の双極子相互作用を統計的に考慮した積分方程式の級数解として求められたもので、著者によれば厳密解を与えるものとされているが、この級数が収斂するためには

$$\left| \frac{\delta'}{\varepsilon'} \right| = \left| \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 v_1 + \varepsilon_2 v_2} \right| \ll 1$$

が満たさなければならないから、実際にあまり誘電率の差の大きい 2 物質を混合する場合には適用できず、また 2 物質の統計的分布に関しても特殊な仮定がなされているので、上記の  $|\delta'/\varepsilon'| \ll 1$  が満たされる場合も必ずしも精度が良好となるわけない。たとえば  $|\delta'/\varepsilon'| \ll 1$  として式(3.11)の  $(\delta'/\varepsilon')$  の 3 次以上項を省略すると、

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon'} \approx 1 - \frac{1}{3} v_1 v_2 \left( \frac{\delta'}{\varepsilon'} \right)^2 \dots \dots \dots (3.12)$$

が成立すべきであるが、たとえば節 3.1 式(3.1)  $\varepsilon_p$  では  $\varepsilon = \varepsilon_1 v_1 + \varepsilon_2 v_2 = \varepsilon'$  で  $(\delta'/\varepsilon')^2$  の係数は零、すなわち式(3.12)の  $- \frac{1}{3} v_1 v_2$  とは一致せず、また同じく  $\varepsilon_s$  では  $\varepsilon = (v_1/\varepsilon_1 + v_2/\varepsilon_2)^{-1} = \varepsilon \left( 1 - 2v_1 v_2 \left( \frac{\delta'}{\varepsilon'} \right) + \dots \right)$  となって ( ) 内に  $\frac{\delta'}{\varepsilon'}$  の 1 次項を含むが式(3.12)にはこれが含まれていない。これらは式(3.11)の誘導に用いられた 2 物質の統計分布仮定が式(3.1)のような特殊な規則性を持つ配列の場合には適用されないからである。なお原著<sup>(13)</sup>には式(3.11)よりもさらに一般的な形で  $\varepsilon$  を計算するための積分方程式が与えられているからそれを適当な方法で式(3.11)よりももっと一般的な形で解けば上述のような適用条件が緩和されるはずであるがその実行は困難と思われる。

## 4. 被混合物質が分子状分散を示す場合の誘電率

### 4.1 分子状分散を示す場合の特異性についての概観

節 3 に述べた固体物質混合の場合においては構成要素となる

同種物質間ではその構成分子は強固な分子結合を持っているが異種構成分子間では強い近接結合を行なうことがあるいはそのような結合をすべき分子の数が全分子数に比べてきわめて少ないため無視しうるという範囲のものを対象とした。

分子状分散を示す場合として本節に述べるのは上記とは逆の場合、すなわち同種分子間にも固体結合を生じるほどの強固な分子間近接作用力は働くが、同種または異種の一つ一つの分子間に単に遠距離力としての双極子相互作用力だけが働くと考える場合、または同種分子は強固な分子間結合力により巨視的誘電率を持つ程度の「ブロック」を形成し、全物質はそれぞれの種類の物質「ブロック」の混合物となっているが、異種「ブロック」間の界面近傍では異種分子間近接相互作用が強く、これが誘電率に無視し得ない程度の影響を及ぼす場合を指す。もちろん分子状分散物質として一般的に問題となりうるものは、異種物質の混合に限らず同種物質の密度を変えるときの特性変化というような問題も特別な場合として含まれる。

具体的にはたとえば気体、液体の誘電率、固体に他物質が吸着される場合の誘電率などがおもな対象となる。これらの物質の誘電率合成公式は希薄気体またはその混合物の場合などを除いては一般的にきわめて複雑で物質ごとに個性を持つ。したがってかかる場合の誘電率合成公式は混合要素物質の誘電率から一般的な公式のもとに混合物の誘電率を求めるというよりもむしろ混合物の持つ誘電率の示す個々な特異性から混合対象の分子結合の性質を知ろうとする目的で研究されている。われわれが現在主として問題としているように固体混合物の誘電率の合成公式を得ようという場合にはこのような分子状分散の場合が直接問題となりうることは少ないと、後節実測例で述べるような樹脂物質の吸水量と誘電率との関係を考える場合などでは本節記載のような事情を考えておく必要があり、また一般にどのような因子がどのように誘電率を左右するかの一般的な概念を得る上にも参考になると考えられるので簡単に若干の公式例を紹介する。

#### 4.2 誘電率合成公式例

##### (1) Clausius Mosotti の公式

きわめて古くから知られている著名な公式で混合物の誘電率  $\varepsilon$  が次式で与えられる：

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{M_1 x_1 + M_2 x_2 + \dots}{\rho} = P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots \quad (4.1)$$

ただし  $M_i$  = 第  $i$  種物質の分子量

$x_i$  = 第  $i$  種物質のモル含有率 ( $\sum x_i = 1$ )

$\rho$  = 混合物質の比重

$P_i$  = 第  $i$  種物質のモル偏極率 =  $\frac{4\pi N_A}{3} \alpha_i$

$N_A$  = Avogadro 数

$\alpha_i$  = 第  $i$  種物質分子 1 個の偏極率 (半径  $a_i$  の球状分子については  $\alpha_i = a_i^3 \frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i + 2}$ ,  $\varepsilon_i$  = 第  $i$  種物質の誘電率)

式(4.1)は書き換えて

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{1}{N_A} \sum P_i N_i v_i \quad (4.2)$$

を得る、ただし

$N_i$  = 第  $i$  種物質だけから成る物質の単位体積中に含まれる第  $i$  種分子数

$v_i$  = 混合物中の第  $i$  種物質体積含有率 ( $\sum v_i = 1$ )

ここで、とくに第  $i$  種物質だけが存在する場合の誘電率  $\varepsilon_i$  は式(4.2)より

$$\frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i + 2} = \frac{1}{N_A} P_i N_i$$

となるからこれを式(4.2)に代入して

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \sum v_i \frac{\varepsilon_i - 1}{\varepsilon_i + 2} \quad (4.3)$$

を得る。これが  $\varepsilon$  の合成公式となる。

この公式はきわめて古くから知られかつ用いられてきたものである (Clausius: 1879, Mosotti: 1850)。とくに希薄気体、無極性希薄溶液などに適用されて成功をおさめており、対象物質のいかんによっては非常に高密度物質に至るまでこの式が成立つことがたしかめられている。たとえば文献<sup>(15)</sup>参照。

式(4.2)は混合物質中の或る任意種の物質分子を中心とする小さい仮想球形空洞を考え、その球外部では混合物全体としての平均誘電率を持つ均質物体がつまっており、その外部均質物体内の電界は全物質が均質な平均誘電率物質でできている場合に持つべき電界に等しいものになっているということを仮定した上その空洞内部電界を計算し、そのような空洞電界が、空洞の中心におかれた等方性物質としての特定種物質分子に働くものとしてその分子偏極量を計算、各分子におけるかかる偏極量の総和により全物質の偏極、したがってその誘電率を求める、という手順で得たものである。

しかしこれは各分子を包む小空洞の外部または内部が必ずしも現実に均質または等方的な物質ではできないといふことのほかに、各分子が偏極することによりその分子の周囲媒質を偏極させそれが付加電界としてもとの分子に働くという反作用場を単に平均的にしか考えていないことも一般性を失わせる大きい原因となっている<sup>(16)</sup>。したがってこの式は隣接分子との近接相互作用の強い物質とくに有極性分子を含む高密度物質などには一般には適用しにくい。固体誘電体粉末に対してこの式を適用されたことがあるが<sup>(17)(18)</sup>、そのような場合への適用は不都合であると考えられている<sup>(19)</sup>。なおパルプの吸水率と誘電率との実験的相関関係をかかる式で表示したものがあるが<sup>(20)</sup>水などは典型的な有極性物質でこの式が成立すべき物理的根拠は少ない。

##### (2) Kirkwood の公式

前節の Clausius Mosotti の式をもっと一般的に適合するような形に改良進歩させようとする努力が多くの人により成され、とくに Onsager<sup>(21)</sup> Kirkwood<sup>(22)</sup>などの研究で、より一般的に極性物質、あるいは高密度物質などにも適用可能な混合体誘電率を与える式が導かれた。これらはとくに各構成要素物質の偏極が自分の周囲物質を偏極させ、さらにそれが反作用として自分自身に付加電界を作用させることによって得られたもので、その結果を Kirkwood による表示で示すと<sup>(22)</sup>

# 技術解説

$$\frac{(\varepsilon-1)(2\varepsilon+1)}{9\varepsilon} \sum M_i x_i = \sum P_i x_i \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

ただし  $M_i$ ,  $x_i$ ,  $P_i$  の意義は式(4.1)におけると同じ。

$$\text{しかし } P_i = \frac{4\pi N_A}{3} \left[ \alpha_i + \frac{\langle \mu_i \bar{\mu}_i \rangle_{av}}{3kT} \right]$$

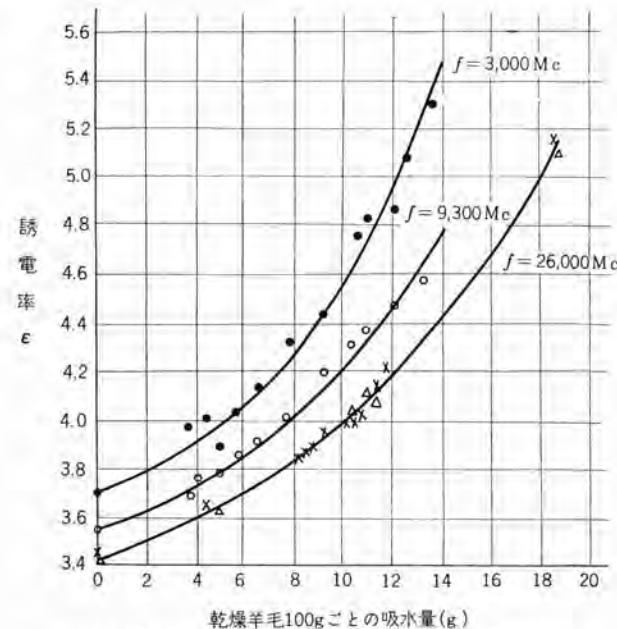
であって第  $i$  種物質のモル偏極率  $P_i$  は上式 [ ] 内第 1 項の電子偏極または原子偏極に起因する  $\alpha_i$  と同第 2 項の永久双極子能率の回転に起因するものとの両者により与えられている。後者の永久双極子能率の効果は第  $i$  種分子の永久双極子能率  $\mu_i$  と “ $\mu_i$  および  $\bar{\mu}_i$ ” によってその周囲媒質に誘起される双極子能率との和  $\mu_i$ ” との積の平均値  $\langle \mu_i \bar{\mu}_i \rangle_{av}$  の形で表わされている。隣接分子の性質に強く左右されるものである。したがって  $P_i$  は第  $i$  種物質のモル偏極率ではあるが、第  $i$  種物質の固有常数ではなく各種分子の存在密度、それら相互の混合状態などによっても変りうる。その点式(4.1)の 1 分子が単独に真空中におかれたときの偏極率を分子個数倍して得られる形式的なモル偏極率とは物理的内容が異なっている。式(4.4)の左辺の形が式(4.1)の左辺とちがうのもかかる混合体との相互作用影響のはいった現実の偏極量  $P_i$  を用いたためである。ある特殊な仮定、すなわち誘電率  $\varepsilon$  なる均質分質中に均質な球状分子がはいっているとし、また永久双極子を無視しうるという仮定のもとでは「式(4.4)の  $P_i$ 」→「式(4.1)の  $P_i \times [(\varepsilon+2)(2\varepsilon+1)/9\varepsilon]$  となることが計算され、式(4.4)→式(4.1)となることが示されるが、この仮定は一般には成立するとは限らない。

ここで式(4.1)から式(4.3)を導いたのと同様形式的に  $P_i$  を第  $i$  種物質固有常数のようにみなし、 $x_i=1$ ,  $x_j=0(j \neq i)$  のときの  $\varepsilon$  を第  $i$  種物質の実効誘電率  $\varepsilon_i$  としてこれらをもって式(4.4)を書き直すと

$$(\varepsilon-1)(2\varepsilon+1) = \sum v_i \frac{(\varepsilon_i-1)(2\varepsilon_i+1)}{9\varepsilon_i} \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

の形になる。 $P_i$  が実際は混合対象によって変りうる、ということは混合物内では実効  $\varepsilon_i$  が第  $i$  種物質単独に存在するときの  $\varepsilon_i$  とはちがつた値をとりうる、ということである。

Kirkwood の式、またはこれに若干の変形を加えた式は諸種の有極性物質にも適用され構成分子の双極子能率、分子の結合状態などの推定などに相当程度の成功をおさめているようである。これらは多く有極性液体物質に適用されているが、最近 J.J. Windle らは羊毛の吸水量と誘電率との関係を理論的および実験的に整理するのにこの Kirkwood の式を用いた<sup>(23)</sup>。その際 J.J. Windle らは羊毛に含まれる水を羊毛分子との結合状態に応じて 3 種類に分類し、mobile water, intermediate water, localized water とし最初のものは自由水の誘電率  $\approx 20 \sim 75$  (周波数 26,000 ～ 3,000 Mc) を、最後のものは羊毛への吸着により分子回転がまったく抑制されて周波数にはほとんど無関係な原子および電子偏極だけに基因する誘電率  $\approx 5.5$  を持ち、また中央のものはそれらの中間的誘電率を持つものとし、さらに水を加える分量によってこれら各種の水含有相対比率も変る、という考え方とともに実験結果を整理している。水の含有量と、以上の各種の水の相対比率との関係は単にこの測定だけでなく別に吸水に際し発生する吸着熱の測定により調べている<sup>(24)</sup>。ただしこれらは対象が羊毛という特殊なものでその詳細をここに紹介



(J.J. Windle, T.M. Shaw<sup>(23)</sup> による実験値と Kirkwood 式を適当に用いて得た理論曲線との比較)

図 4.1 羊毛吸水実験例

することはわれわれの直接の問題とかけ離れるから省略し、ただ参考のために Windle らの測定結果だけを図 4.1 に示す。かりにこのような場合にたとえば節 3 式 (3.5) Logarithmic Mixing Rule を使って誘電率を計算すれば、同図のような水含有率の範囲では水含有量と誘電率との関係はほとんど直線になり実測とはまったく合わない。

## (3) その他の公式

分子構造を知る目的に対しては分子の永久双極子能率を原子または電子偏極から分離して知ることが必要なのでそれに便利なように 1 個の分子についてもあたかもそれが永久双極能率だけを持つ分子と、原子または電子偏極だけを持つ分子とが別個に存在しそれが互に混合しているかのような形式に表現した式とか、あるいは節 3.2 (7) で述べたものと類似の統計的取扱いにより分子間相互作用をより厳密に考慮した式とかが多く提案されているが、これらはさしあたりわれわれには直接的関係が薄いか、あるいは一般的実用に供しうるほど簡単でかつ一般性のある形のものが得られていない現状であるのでここには省略する。

## 5. 当社における若干の実験例と各種公式との比較

### 5.1 ガラス繊維入りポリエチル樹脂のガラス含有量と誘電率

ガラス繊維入りポリエチル樹脂はマイクロ波アンテナ保護おおい、すなわちラドーム材として最近非常に広く用いられる。この材料は電波透過に際して電気的損失が比較的小さくしかも機械的強度が強いためである。当社においてもすでにいくつかのこの種ラドームを製作したがその設計上の基礎データを得る目的でガラス繊維とポリエチル樹脂との混合比率を種々変えて誘電特性の測定を行なった。

この材料はガラス布を何枚か重ねてそれに樹脂液を含浸し熟

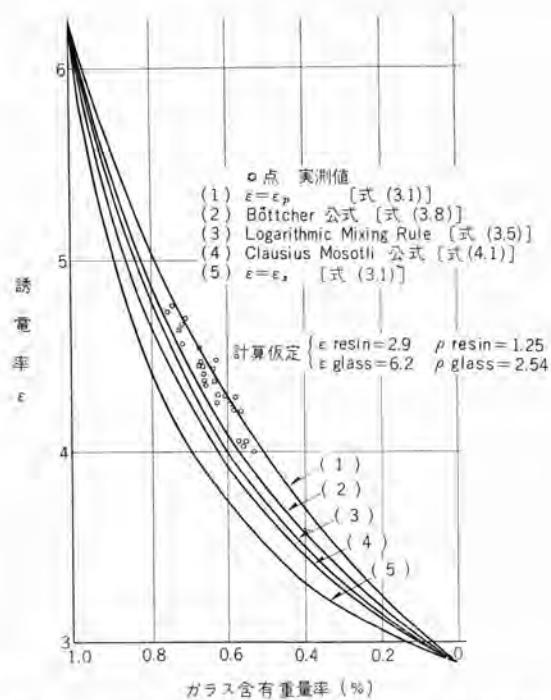


図 5.1 ガラス繊維入りポリエチル樹脂のガラス含有量と誘電率(データその 1)(実測値は米国文献(25)による,  $f=8,500$  Mc)

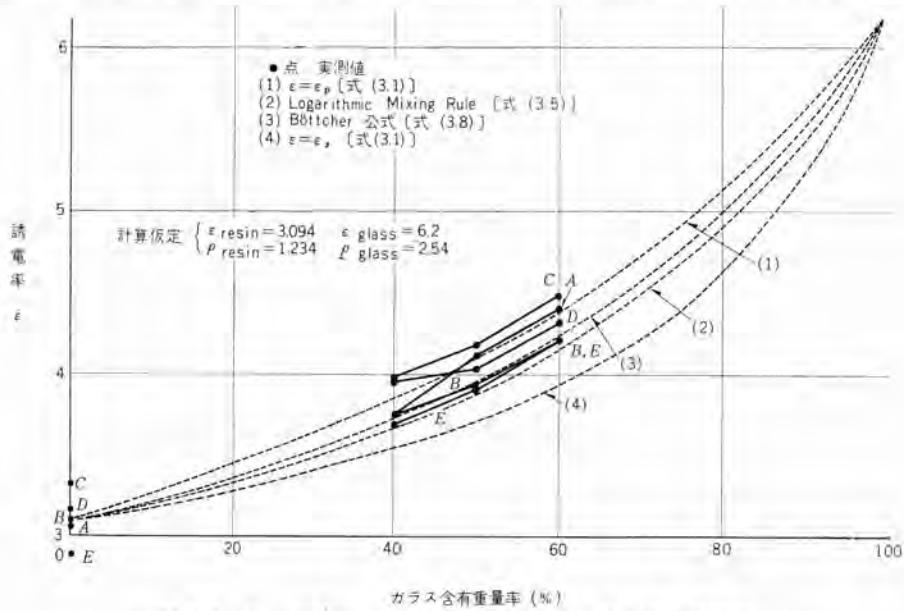


図 5.2 ガラス繊維入りポリエチル樹脂のガラス含有量と誘電率(データその 2)(実測値は文献(26)の 11 表, 12 表,  $f=9,375$  Mc の分より採る)

成固化させた低圧積層形のものでかかる混合物質では被混合要素物質のおのがみずから巨視誘電率を保ったままで混合している節 3 記載の場合に相当した誘電率が得られるはずである。

図 5.1, 図 5.2 にはそれぞれ米国文献による測定データおよび当社における測定データを示す。誘電率測定に際しては実際かかる材料でラドームを作った場合の使用状況にはほぼ合致するよう、いずれも電気ベクトルと板表面、したがってガラス布面とが平行になるような状態で行なった。これらの図には節 3 記載の

誘電率合成公式の若干の代表例による計算結果を併記してあるが、計算曲線を得るために必要な樹脂またはガラス単独の比重、誘電率としてはいずれもそれらに対する実測値または実測平均値を用いてある。

図より明らかなように誘電率実測値のバラツキを平均してながめると式 (3.1)  $\epsilon_p = \epsilon_1 v_1 + \epsilon_2 v_2$  によるものより若干少ないがこれに非常に近い。この測定はガラス混合率の全域にわたり行なわれていないが、測定範囲内においては測定値ならびに混合率変化に応じる誘電率変化率も上記計算曲線のそれとよく一致していることより推定して混合率全域にわたってこの計算がほぼ適用可能なものと推定される。

節 3.1 に記したところによれば  $\epsilon_p$  というのは混合 2 物質の境界面が電気ベクトルと平行となって諸種混合形態のうちもっとも誘電率が高く出るような状態に相当するものであるが、測定値が  $\epsilon_p$  に近いということは実際ガラス布の面と電気ベクトル方向とが平行となるような配置について測ったということが影響しているかも知れない。他種の混合状態、または電気ベクトル方向が上記と異なる状態については測定を行なっていないが、実際今回の測定におけるものと異なる混合状態のものを製作しましたラドームなどで入射波電気ベクトル方向とガラス布面とが平行でないような使用が必要となるときなどではそれらに対するガラス混合率と誘電率との関係も改めて実測検討を要するであろ

う。

## 5.2 ポリエチル樹脂の吸水量と誘電率

図 5.3, 5.4 にはポリエチル樹脂が水分吸収に際しどのように誘電率が変るかの実測値<sup>(20)</sup>を示し、また節 3 に記した若干の代表的計算公式による計算結果を対比してある。

ここで問題になることは吸水状態における水は節 4 で述べたような事情により必ずしも水単独に存在するときの巨視誘電率を保たない可能性のあることである。すなわち節 4.2 (2) 記載のように対象物質に水が吸着されることにより印加振動電界に

追従してその双極能率が回転することが妨げられ、水だけが単独に存在するときに比しその実効誘電率がはなはだしく低下すること、しかも吸水量のいかんに応じてその中の何%程度が被吸着状態にあり、残部が自由水に近い状態となるかが異なり、したがって水に付与すべき実効誘電率の値も変ってきることである。

吸水状態の物質の誘電率は上記のような事情があるときはあらかじめ推定することがはなはだ困難であって、つねに被混合要素物質の巨視的常数だけを含む一般公式によって誘電率を求めようすることは不可能に近い。個々の対象物質につきその吸水状態いかんに応じる測定を実際に行なって調べる必要がある。図5.3, 5.4の測定結果に計算曲線を付記したのは、これを

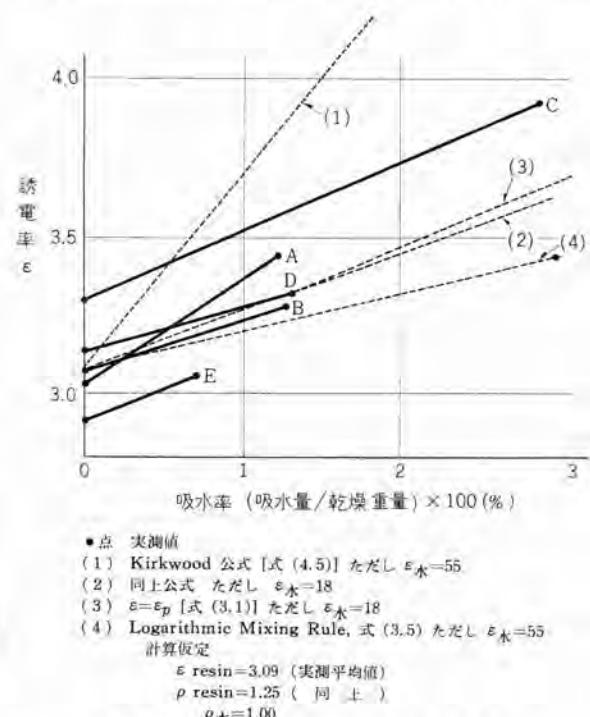


図 5.3 ポリエチル樹脂の吸水量と誘電率  
(実測値は文献(26)の10表, 11表  $f=9,375 \text{ Mc}$  の分より採る)

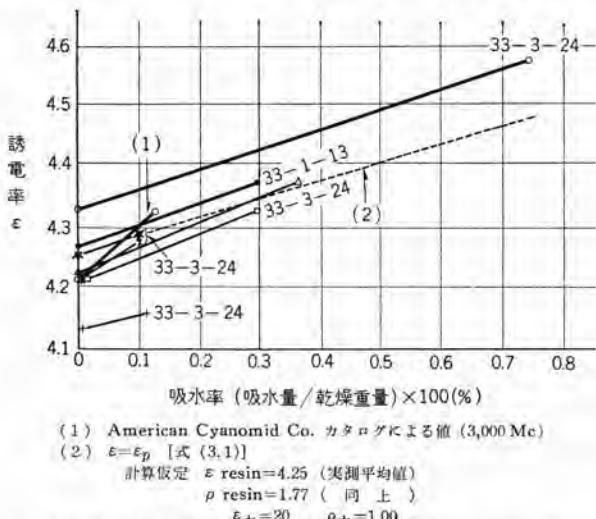


図 5.4 ガラス繊維入りポリエチル積層樹脂板の吸水量と誘電率 (9,375 Mc)

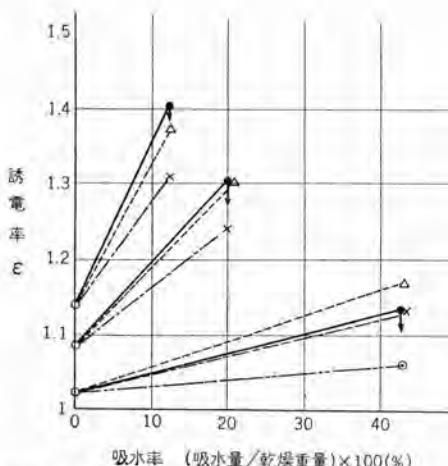
もって吸水物質の誘電率に妥当な式の形を求めようということよりも、簡単な計算によって誘電率を推定しようとするが実用的にどの程度の意義を持ちうるかという概念を与えるためのものである。

この測定結果では、ガラス繊維のはいらないポリエチル樹脂の吸水の場合については Kirkwood の式(4.5) または節 3.1, 式(3.1)  $\epsilon_p$  において吸水状態における水の実効誘電率  $\epsilon_{\text{水}} \approx 18$  としたときに、またガラス繊維入りポリエチル樹脂の吸水の場合については同じ式において  $\epsilon_{\text{水}}=20$  としたときに実測値よく合う結果を与えること、また Logarithmic Mixing Rule を使ったのでは  $\epsilon_{\text{水}}$  として 9,375 Mc, 常温での自由水誘電率 55 をとってもなお実測値を説明するほどの高い合成誘電率は得られないことが見られる。

なお上記において水の誘電率  $\epsilon_{\text{水}} \approx 18 \sim 20$ 、という推定値を得たのは、もちろん吸収されている水が必ずしも一律にかかる誘電率を持っているわけではなく、おそらく樹脂分子に強く結合して分子回転が抑制され、ほとんど電子または原子偏極だけに起因する小さい誘電率  $\approx 5.5^{(27)(28)}$  を持つものから、自由水の誘電率  $\approx 55$  程度に大きい値を持つものまでがある配分率で存在し、それらをおしなべて平均した結果が実効的に上記の値で代表し得た、ということで、使用する樹脂種が異なればもちろんのこと、またガラス繊維のはいらないときとはいっても試料内部への水の浸入状態がちがうであろうから、当然それらの場合に応じて実効誘電率も異なってくる可能性があるわけである。

### 5.3 発泡スチロール樹脂の吸水量と誘電率

図 5.5 には発泡スチロール樹脂(商品名 エバーグル)の吸水量と誘電率との関係を示す。実測を十分な精度で行ないにくかったので正確な結論を下しにくいがこの場合でも水の実効誘電率として前節同様の  $\approx 18$  程度を仮定して  $\epsilon_p$  または Kirkwood の式を用いると大体実測に近い値ができるようである。



- 実測値 (ただし ↓ あるのは印点近傍あるいはそれより若干下に真誘電率のあることを示す)
- △  $\epsilon=\epsilon_p$  [式(3.1)] による計算値 ( $\epsilon_{\text{水}}=18$ )
- × Kirkwood 公式 [式(4.5)] による計算値 ( $\epsilon_{\text{水}}=18$ )
- ◎ Logarithmic Mixing Rule [式(3.5)] による計算値 ( $\epsilon_{\text{水}}=55$ )

図 5.5 発泡スチロール樹脂の吸水量と誘電率 (9,375 Mc)

## 6. 誘電率合成代表公式一覧

公 式	本文中の式番号	公式間の関係
$\epsilon = v_1 \epsilon_1 + v_2 \epsilon_2$	(3.1)	$k \rightarrow 1$ $u \rightarrow \infty$
$1/\epsilon = v_1/\epsilon_1 + v_2/\epsilon_2$	(3.1)	$k \rightarrow -1$ $u \rightarrow 0$
$1/(\epsilon+u) = v_1/(\epsilon_1+u) + v_2/(\epsilon_2+u)$	(3.3)	
$\epsilon^k = v_1(\epsilon_1+k+v_2\epsilon_2)^k$	(3.4)	
$\ln \epsilon = v_1 \ln \epsilon_1 + v_2 \ln \epsilon_2$	(3.5)	$k \rightarrow 0$ $u \rightarrow 0$
$\ln \epsilon = v_1' \ln \epsilon_1 + v_2' \ln \epsilon_2$	(3.6)	
$v_1' = v_1(1+\kappa v_2), v_2' = v_2(1-\kappa v_1), v_1' + v_2' = 1$		
$\frac{\epsilon - \epsilon_1}{\epsilon + 2\epsilon_1} = v_2 \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_2 + 2\epsilon_1}$	(3.7)	
$\frac{\epsilon - \epsilon_1}{3\epsilon} = v_2 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_1 + 2\epsilon_2}$	(3.8)	$1 \gg \frac{ \epsilon_1 - \epsilon }{\epsilon}, 1 \gg \frac{2(\epsilon - \epsilon_1)}{\epsilon_2 + 2\epsilon_1}$
$v_1 \frac{\epsilon_1 - \epsilon}{\epsilon_1 + 2\epsilon} + v_2 \frac{\epsilon_2 - \epsilon}{\epsilon_2 + 2\epsilon} = 0$	(3.10)	$1 \gg \frac{ \epsilon_1 - \epsilon }{3\epsilon}, 1 \gg \frac{ \epsilon_1 - \epsilon }{\epsilon_2 + 2\epsilon}$
$\frac{\epsilon_2 - \epsilon}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = v_1 \sqrt[3]{\frac{\epsilon}{\epsilon_1}}$	(3.9)	$1 \gg \left(\frac{\epsilon_1 - \epsilon}{3\epsilon}\right)^2, 1 \gg \frac{\epsilon_2 - \epsilon}{3\epsilon}, \frac{\epsilon - \epsilon_1}{3\epsilon}$
$\frac{\epsilon}{\epsilon_1} = 1 - \frac{1}{3} v_1  v_2  \left(\frac{\delta'}{\epsilon'}\right)^2 + [\text{混合状態により定まる係数}] \left(\frac{\delta'}{\epsilon'}\right)^3 + \dots$	(3.11)	$\frac{1}{\epsilon_1} \approx \frac{1}{\epsilon}$
$\epsilon' = v_1 \epsilon_1 + v_2 \epsilon_2, \delta' = \epsilon_1 - \epsilon_2$		
$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = v_1 \frac{\epsilon_1 - 1}{\epsilon_1 + 2} + v_2 \frac{\epsilon_2 - 1}{\epsilon_2 + 2}$	(4.2)	$1 \gg \epsilon_1 - 1$
$\frac{(\epsilon - 1)(2\epsilon - 1)}{\epsilon} = v_1 \frac{(\epsilon_1 - 1)(2\epsilon_1 + 1)}{\epsilon_1} + v_2 \frac{(\epsilon_2 - 1)(2\epsilon_2 + 1)}{\epsilon_2}$	(4.5)	$1 \gg \epsilon_2 - 1$

## 7. むすび

以上誘電体の混合物の誘電率を得るために従来どのような式が提出され、どのような場合につきどの程度それらが適用しうるかの概要を述べた。

誘電体合成公式として従来提出されたものすべてがこれで網羅し得たわけではなく調査、ならびにわれわれの実験とも不完全ではあるが、要するに対象の特殊な構造、すなわち被混合体の分散状態とか場合により分子間結合状態などがはなはだしく合成誘電率の値を左右するので、これらをまったく離れて単に被混合体の誘電率とか混合重量比または体積比とかの巨視的常数だけから一般的に合成物誘電率を推定するための公式を得ることは無理であること、しかしこれらの個々の場合の合成誘電率公式がどのような原因でちがうるか、ということもある程度明らかにし得たと考える。これは今後諸種の対象につき誘電率を測る場合実験データをある公式のもとに整理したい場合にも参考となりうるであろう。  
(35-2-3 受付)

## 参考文献

- (1) J.P. Poly: Physica, XIX, 298 (1953).
- (2) O. Wiener: Phys. Z., 5, 332 (1904).

- | 備考 (文献)                                                   | 本文 節 3.1 $\epsilon_p$ | 本文 節 3.1 $\epsilon_s$ | Wiener (2)                                                                                    | Lichtenegger Rother (3)                                          | 同上                                                   | 同上                                                                                                  | Maxwell (10)                                                                                                               | Böttcher (11)                                                                                            | Landauer (7)                                                                                                       | Bruggeman (12)                                                  | Brown (13)(14)                                                                                                                 | Clausius Mosotti                                                              | Kirkwood (22) |  |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------|--|
| (3) K. Lichtenegger, K. Rother: Phys. Z., 32, 255 (1931). |                       |                       | (4) K. Lichtenegger, K. Rother: Leipz Sitz-Ber., 76, 244 (1924).                              | (5) A. Büchner: Wiss. Veröffentl., Siemens-Werken 18, 84 (1939). |                                                      |                                                                                                     |                                                                                                                            |                                                                                                          |                                                                                                                    |                                                                 |                                                                                                                                |                                                                               |               |  |
| (6) V.E. Legg, F.J. Given: B.S.T.J., 19, 385 (1940).      |                       |                       | (7) R. Landauer: J. Appl. Phys., 23, 779 (1952).                                              | (8) P.R. Bardell: Wireless Eng., 24, 281 (1947).                 |                                                      |                                                                                                     |                                                                                                                            |                                                                                                          |                                                                                                                    |                                                                 |                                                                                                                                |                                                                               |               |  |
| (9) D.A.G. Bruggeman: Phys. Z., 37, 906 (1936).           |                       |                       | (10) J.C. Maxwell: Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd Ed., Oxford, I, 440 (1904).     | (11) C.J.F. Böttcher: Rec. trav. Chim., 64, 47 (1945).           | (12) D.A.G. Bruggeman: Ann. Phys., 24, 636 (1935).   | (13) William Fuller Brown, Jr.: J. Chem. Phys., 23, 1514 (1955).                                    | (14) S. Flügge: Dielektrica, Handbuch der Physik, XVII, 106 (1956).                                                        | (15) J.H. Van Vleck: "Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities", chap III, Oxford Press, (1932). | (16) 文献 (19) § 33.                                                                                                 | (17) R. Jager: Ann. Physik, 53, 409 (1917).                     |                                                                                                                                |                                                                               |               |  |
| (18) J. Joachim: Ann. Physik, 60, 570 (1919).             |                       |                       | (19) C.J.F. Böttcher: Theory of Electric Polarisation, § 64, Elsevier Publishing Co., (1952). | (20) 浅田・阿部: 応用物理, 12, 64 (昭 18).                                 | (21) L. Onsager: J. Am. Chem. Soc., 58, 1486 (1936). | (22) R.M. Fuoss, J.G. Kirkwood: Electrical Properties of Solids, J. Am. Chem. Soc., 63, 385 (1941). | (23) J.J. Windle, T.M. Shaw: Dielectric Properties of Wool-Water Systems, J. Chem. Phys., 22, 1752 (1954), 25, 435 (1956). | (24) J.J. Windle: Sorption of Water by Wool, J. Polymer Science 21, 103 (1956).                          | (25) Microwave Electrical Characteristics of Radome Materials at 8.5 kMc, WADC Technical Report, 54-273, PB-11526. | (26) 尾島: ポリエチル樹脂の電気的性質を中心としての検討, 「三菱電機」, 30, No. 8, 509 (1956). | (27) J.A. Jackson: Dielectric dispersion in polar liquids at very high radio-frequencies, Proc. Roy. Soc., A, 213, 473 (1952). | (28) C.H. Collie, J.B. Hasted, D.M. Ritsom: Proc. Phys. Soc., 60, 145 (1948). |               |  |

## 電場発光ケイ光体と印加電界、外部放射の間の諸関係

W. A. Thornton, H. F. Ivey: Radiation, Fields, and Electroluminescent Phosphors (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 5, Sept. 1959, p. 134)

電場発光(EL)ケイ光体はAC電界の励起により発光することは周知のことであるが、単にこのケイ光体で平板状のランプを作って発光させるようなことはその一使用例にすぎない。構造を適当にすればDCに対しても発光し、また近紫外や青の領域の放射に対しても敏感で強い発光をしめすことが多いので、これら三つの要素—ACおよびDC電界ならびに外部放射—のうち二つを同時に作用させたとき、このケイ光体がどのような性質を示すかはまだ興味深いことである。

これら二つの要素の相互作用により発光のamplificationまたはenhancementがおこなわれることがあるが、この量Rをつぎのように定義する。

$$R = \frac{L_B}{L_1 + L_2}$$

ここに  $L_1$ =第1要素の励起だけによる発光、 $L_2$ =第2要素だけによる発光、 $L_B$ =両者が同時に作用したときの発光、でもし両者の励起がまったく独立におこなわれるならば  $L_B=L_1+L_2$  で、 $R$  はつねに1である。しかし一般に光出力は同じexcitantをそれぞれ別々に作用させたときの発光の和より大きくなることができる。

### 放射+AC電界

図1にしめすような普通のELセルで、AC電界をかけな

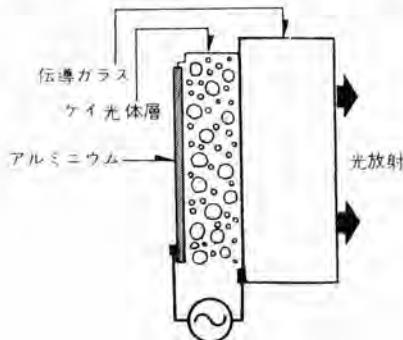


図1

いで紫外または青色光を照射すると発光する。つぎに光放射とAC電界を同時にかけ両者の量を適当地調節すると

$$R = \frac{L_B}{L_{ac} + L_{uv}}$$

は1より大きくできる。10kcで $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ のブラックライト(365nm)を照射したとき図2のような特性が得られた。紫外線照射による発色とEL発色の異なるケイ光体を使えば種々の色調が得られる。

EL発光の効率が向上すればこの効果はケイ光灯とELランプ

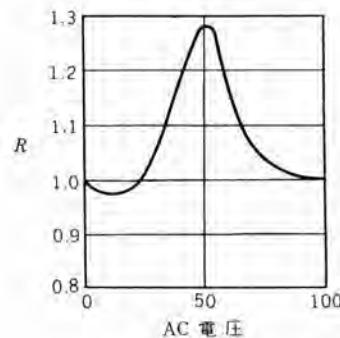


図2

の組合せなどの実用的光源として重要なものとなることが期待される。

### 放射+DC電界

ELケイ光体をごく少量のバインダとともにスプレイし、ケイ光体粒子が互いに接触している程度の構造にしたときDCでもACでも発光するようになる。ACで緑色発光するものがDCで青色になるように、DCの下では一般にAC電界に比べ発光が短波長へ移る傾向がある。このようなセルでは

$$R = \frac{L_B}{L_{dc} + L_{uv}}$$

は1よりはるかに大きく、増強効果をしめす場合があり、この一例を図3にしめす。またこの場合Rが大きいだけでなく入射するuv光量に比し大きい可視光量が得られるので光の増幅がおこなわれていることになる。この方式の光増幅器には種々の興味深い応用が考えられる。

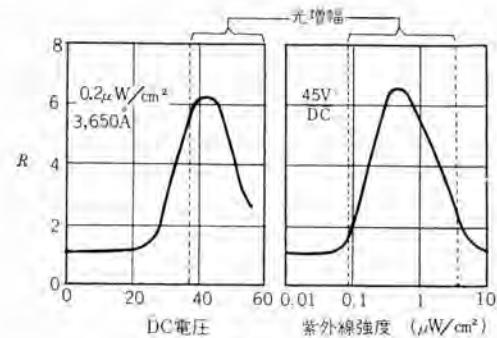


図3

### AC+DC電界

数%のバインダを含むDC発光をしめるセルはAC、DC電界を図4のように同時に印加すると強い相互作用が起る。たとえばAC発光のセルにDCをさらに印加すると250倍の輝度が得られる。

$$R = \frac{L_B}{L_{dc} + L_{ac}}$$

において緑色発光のケイ光体を用い、 $L_{dc}$ と $L_{ac}$ が同じ程度の大きさであるように各電圧を調整するとRは極大になる。いまDC電圧を一定に保ちAC電圧を変えてゆくと図5のような特性が得られる。

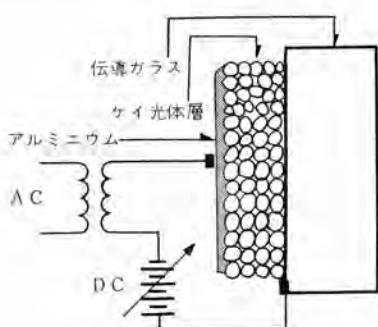


図 4

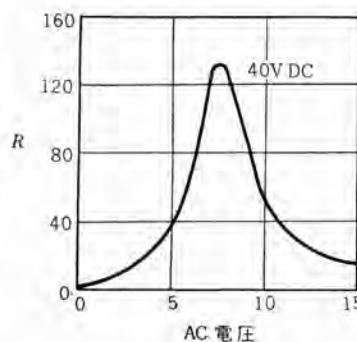


図 5

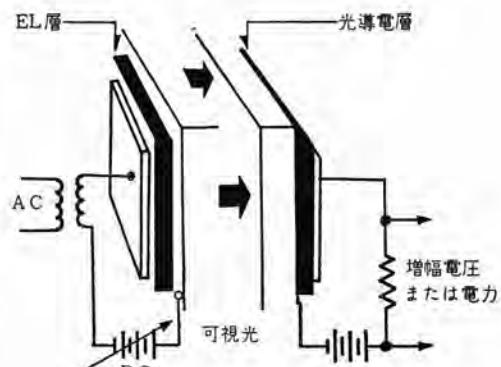


図 6

一般に AC 発光では電源の 2 倍の周波数の変化をするが、AC-DC 発光では極大の  $R$  を与えるように調整すると DC の偏極効果のため印加周波数と同じ変化をするようになるが、この効果は理論的にも興味深いものである。またこの方式のセルは、つぎのように単なる EL 発光以外に重要な応用をもつものである。

#### 1. On-off Indicator

DC 電源を印加してあるセルに、ごく小さい AC 電圧と電力を加えて発光を大きく制御するようなおもしろい用途がある。

#### 2. Audio または DC Amplifier

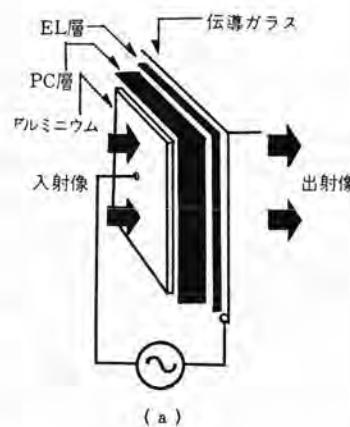
図 6 のように AC-DC セルと感光器を組合合わせて AC または DC 入力と、AC または DC 出力の電圧あるいは電力增幅をおこなわせる。光電管でもよいがここには光導電層を用いた例をしめし、セルと光学的に連結させる。AC あるいは DC のいずれか一方を信号入力に用い、他方を利得制御に使う。光学的しほりを両者の間に入れて利得を調整することもできる。

#### 3. Switching および relay

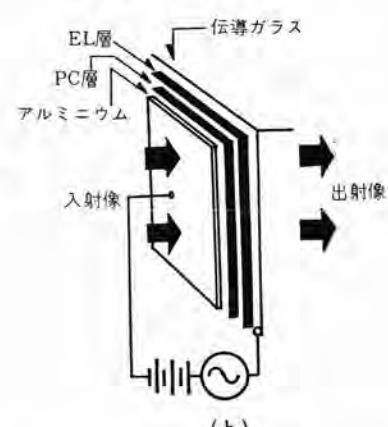
図 6 の回路でたとえば高インピーダンス入力と低インピーダンス出力を用いるとスイッチやリレーに使用できる。また入力側、出力側あるいは両者を別々のユニットにわけ、光学的には連結させ電気的には独立させると multi-pole で multi-coil の solid state リレーができる。

#### 4. Image Amplifier

AC-DC セルは光導電層と組合せることにより広い面積の intensifier にすることができる。(図 7) 暗いときには印加電圧の大部分は PC 層にかかりほとんど発光しない。PC 層に光があたると導電性になり AC 電圧が EL 層に印加され AC 発光をする。普通の AC Image Intensifier では EL 層よりもはるかに厚い PC 層を要するが PC 層による光吸収のため層が十分導電性にならずこのため EL 電圧が上がらず発光も弱い。AC-DC セルにすると、PC 層の暗抵抗が十分高ければ PC 層をきわめて薄くしても暗いとき DC 電圧の大部分が PC 層に印加され



(a)



(b)

図 7

る。AC 電圧では EL 層の厚さが PC 層に比し大きいとき大部分が EL 層にかかるのでこの目的にははなはだ都合がよい。

(研究所 山下博典訳)

## フィラデルフィアの高速車

Engineering Highlights Addenda: Faster Cars for Philly (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 1, January, 1960, inside back cover)

従来の市内電車を軽量高速車に変えて、フィラデルフィア交通局ではブリッジから 69 番街までの往復で 19 分 57 秒短縮した。その上、45 両の節約になった。この改善はトンあたりの出力の増加で高速まで高加速できることによる。

性能の改善を助けたのは計算機分析を用いたことで、駅から駅までの性能を技術者が等価的に検討できる。従来は技術者は種々の平均駆間運転の計算をしてから実際にあてはめた。だが計算機を用いるに、加速度、最高速度、減速度が与えられた装置の分析に使われる。たとえば、電動機、歯車比、車の重量の各種組合せを等価的におくと必要な車両数、運転時間、全体の経費がただちに算出される。(伊丹製作所 小川清一訳)

# NEWS FLASH!

## ■ 水車発電機の完成

### 1. 関西電力読書第二発電所向け 80,000 kVA 水車発電機

田子倉発電所用発電機に次ぐ大容量機として鋭意製作を進めてきた読書第二発電所向け 80,000 kVA 水車発電機は工程も順調に進み、大物工場試験用 ピット にその全貌をあらわした。

読書第二発電所は既設読書発電所の近くに建設され、調整池を有する ダム 水路式地下発電所で、最大出力 78,000 kW を有し、主として尖頭負荷を受持つ予定である。主機の仕様は次のとおり。

立チ軸 カサ形 回転界磁閉鎖風道循環形 1 台

80,000 kVA 13.2 kV 60 c/s PF 90% 200 rpm 36 極

主励磁機 400 kW 330 V

副励磁機 10 kW 110 V

電気ガバナ 用永久磁石発電機 500 VA 110 V

発電機は軸受を回転子下部に有する カサ形で バーレル 上に設置され、風道はコンクリート製角形である。固定子コイルは 1 ターンハーフコイル、ダイヤラスチック 絶縁をほどこし、耐圧、耐コロナ 特性についてはとくに慎重な考慮がはらわれている。推力軸受、案内軸受は同一油槽内に納め、特殊の油泡防止装置を設けて軸受運転の確実と油霧漏洩の絶無を期している。推力軸受は キングスペリ 形、四線支持ビーム構造で、各扇形片の荷重は ダイヤルゲージ を用いて簡単に測定、調整が可能で、また冷却水管には アライトン を用いた油自藏式の冷却方式を採用している。固定子は鋼板製 リングベース 上に固定され、通風路を形成し、バーレル強度の確実をはかっている。

発電機上部には主、副励磁機、電気ガバナ 用永久磁石発電機を体裁よく配置し、外形の美観に配慮するとともに、ブラシ点検などにも便利なよう計画した。



### 2. 電源開発芦ノ瀬発電所向け水車発電機

電源開発芦ノ瀬発電所向け 43,000 kVA 水車発電機はさきごろ工場で完成し、芦ノ瀬発電所は奈良県吉野郡十津川村に建設され、主として十津川の水を利用し、最大出力 83,000 kW、年間発生電力量  $300 \times 10^3$  MWh を予定する尖頭負荷用発電所であって、半地下式の建家に 43,000 kVA の発電機を 2 台設置している。主機の仕様は次のとおり。

立チ軸 普通形 回転界磁閉鎖風道循環形（空気冷却器付）

2 台

43,000 kVA 13.200 V 60 c/s PF 90% 300 rpm 24 極

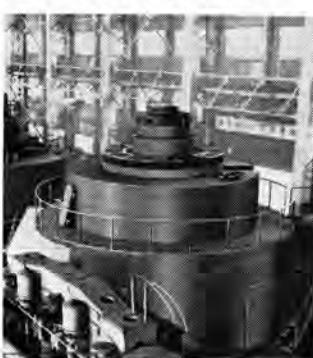
主励磁機 170 kW 220 V

副励磁機 8 kW 110 V

自動電圧調整器用高周波発電機 6.5 kVA 220 V 420 c/s

電気ガバナ 電源用永久磁石発電機 500 VA 110 V

発電機は立チ軸、普通形で、キングスペリ 形推力軸受は回転子上部にあって、上部案内軸受を同一油槽内に納めた複合形であり、冷却用水管を備えた油自藏式である。油槽よりの油霧漏洩防止には、二重の空気パッキングを使用し、軸電流防止絶縁は軸受部で行ない、絶縁状況点検のため端子を外部に導いている。固定子コイルは ダイヤラスチック 絶縁を用いた、1 ターンでローベル



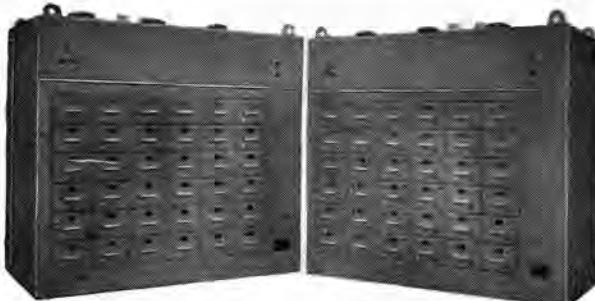
転位を行ない、また全体の美観に注意して製作するとともに、機内には照明灯を設けるなどして、機械の保守、点検に便なるよう心がけている。発電機上部には、主、副励磁機のほか自動電圧調整器用、高周波発電機、電気ガバナ 電源用永久磁石発電機を直結している。

## ■ シリコン整流器続々完成

### 1. 三菱金属鉱業秋田製錬所向け 500 V 亜鉛電解用シリコン整流器

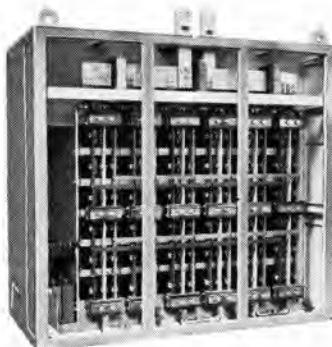
本器は風冷式であるが、下記の諸点が在来の風冷式といちじるしくことなる。

- (1) 直流出力電圧が 500 V である電解電源であること、この 500 V は電解用直流電圧としては記録品である。
- (2) 500 V の直流電圧をもっとも経済的な シリコン 整流素子を適當数直列にして構成した。
- (3) 66 kV AC 受電電圧より 500 V 直流電圧に変成するに、いわゆる一段変圧方式を採用した シリコン 変圧器 (5,340 kVA) でかつまた負荷時電圧調整器付である。



直流電圧 500 V、直流負荷電流 9,000 A

風冷式 シリコン 整流器外観



500 V 9,000 A  
風冷式 シリコン 整流器  
キューピクル の裏面直流  
母線の配線

(4) 上記 シリコン 整流器用変圧器の二次側すなわち直流巻線側に可飽和リアクトルを挿入し、この調整によって負荷電流を定電流、自動制御した方式である。

シリコン 整流器の仕様ならびに効率は下記のとおり、

SF 形 シリコン 整流器

出力………4,500 kW 500 V 9,000 A

整流回路……三相全波

定格………全負荷連続

外形寸法……2,300 mm × 1,300 × 2,100 (高さ)

全重量………3,500 kg

シリコン 整流器だけの効率……97.8%

総合効率(保証値)………96%

直流出力電圧調整範囲………190～500 V

2. 江戸川化学浪速工場向け 水冷式シリコン整流器

大容量電力用 シリコン 整流器は風冷式を原則とみなされていましたが本器はこの原則をやぶって水冷式である。

本器の特長は次のとおり、

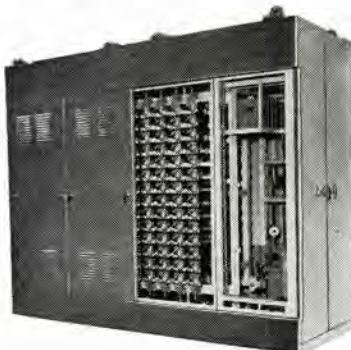
(1) 液冷式で、230 V の高直流出力電圧のもの……この点記録品である。

(2) 風冷式再冷器付の閉路循環液冷方式で冷却液としては 1000,000 Ω-cm の純水を使用。



230 V 6,500 A  
シリコン 整流器外観  
(左端は ネオンランプ  
故障表示盤)

同上 キューピクル  
内部の シリコン 整流  
素子取付状況と循環  
液冷装置



(3) 22 kV より一段変圧方式で 230 V の直流電圧に変圧し、このシリコン用変圧器に負荷時電圧調整器と二次巻線に可飽和リアクトルを挿入した、定電流制御方式のもの。

(4) 既設の回転変流機と並列運転可能。

本器の仕様は次のとおり、

a. 1,500 kW 230 V 6,500 A 液冷式 シリコン 整流器

b. 三相全波回路方式

c. 全負荷連続定格 150% 1 分間

d. 受電電圧 22 kV 三相 60 サイクル シリコン用変圧器 1,750 kVA

e. 諸元

シリコン 整流器

外形寸法……3,300 mm × 1,200 × 2,600 (高さ)

全重量………3,500 kg

シリコン用変圧器

外形寸法……3,700 × 3,500 mm × 4,000 (高さ)

全重量………13.5 t

3. 旭硝子牧山工場向け 大容量風冷式シリコン整流器

食塩電解用直流電源として先に 82 V 120 kA の日本最大電流容量のものを完納したが今回また同一種の水冷式再冷器付風冷式 シリコン 整流器、30 kA 82 V を完成した。

図 1 は 15 kA シリコンキューピクルのトレイの前面を示したもので標準方式、写真は 15 kA/1 キューピクルである。図 2 はシリコンキューピクルの下部に水冷式再冷器と冷却扇を配置した構造を示し、2 キューピクルで 30 kA の定格直流電流の風冷式 シリコン 整流器となる。

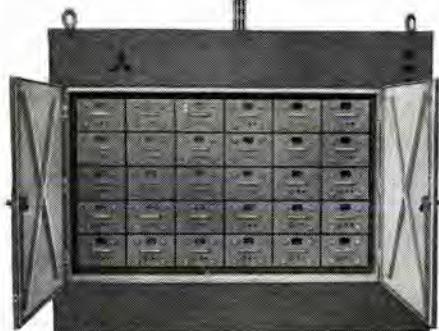


図 1 82 V 30 kA/2 風冷式 シリコン 整流器  
キューピクル 前面



図 2 食塩電解用風冷式 シリコン 整流器  
82 V 30 kA の水冷式再冷器付構造

## ■ パラメトロン使用の工作機械用数値制御装置完成

### 1. 中ぐり盤自動位置決め用数値制御装置

この装置は、あらかじめさん孔された紙 テープの情報により、自動的に中ぐり盤の ドリル の位置を数値制御する装置である。

加工図面より順次移動する ドリル の位置を算出して、その移動距離をさん孔 タイプライタ により、紙 テープ にさん孔する。この紙 テープ を数値制御装置の読取器にかけると、電気信号に変換されて、パラメトロン 論理回路により、中ぐり盤の  $x$  軸、 $y$  軸の駆動 モータ に制御信号を送り、所定の位置で精密に停止させることができる。



この装置の用途としては、中ぐり盤に限らず、ボルト盤とか、その他断続運動をして、その停止位置を制御するを要する機器に広く利用できる。

主なる性能は下記のとおりである。

- |              |                                         |
|--------------|-----------------------------------------|
| 1. 入力指令      | さん孔 テープ、6 単位符号による 2 進化 10 進法、パリティチェック 付 |
| 2. 指令精度      | 0.01 mm                                 |
| 3. 設定移動量（最大） | $x$ 軸 1,050 mm $y$ 軸 1,510 mm           |
| 4. 論理素子      | パラメトロン 1,500 個                          |
| 5. 電源        | 220 V/110 V<br>50/60～約 1 kVA            |

この数値制御装置を新日本工機に納入、同社製 RB-II 形精密立テ形中ぐり盤の制御用として使用して総合精度 0.025 mm 以内の位置決めができる。

### 2. 自動旋盤数値制御装置

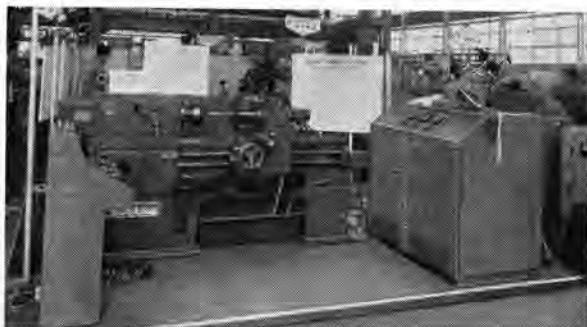
この装置は、吉川機械製、自動旋盤 DCL-7 形の数値制御装置である。従来の自動 ナライ 旋盤においては、テンプレートによって、カッタ の動きを制御する方法がとられていたが、この数値制御装置では、テンプレート が不要であり、図面より直接さん孔 テープ を作成し、これにより制御される。したがって多種少量生産の場合、多くの テンプレート を造る必要もなく、テープ がけかえによって、異なる形状の加工が容易にでき、融通性にとむ。

動作の概要是、主送り ネジ ( $x$  軸) の回転に比例した パルス 列を、切削形状により作られたさん孔 テープ の情報により、適当に減速される。

この パルス 列が、カッタ 軸 ( $y$  軸) 駆動 サーボモータ を制御して、その動きを油圧增幅して カッタ に連続変移をあたえる方法をとっている。

この装置のおもな性能は次のとおりである。

- |           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| 1. 入力指令   | さん孔 テープ、6 単位符号、<br>パリティチェック 付  |
| 2. 指令精度   | 0.01 mm                        |
| 3. 論理素子   | パラメトロン 1,000 個                 |
| 4. 総合切削精度 | 3 mm/sec 送りにおいて $\pm 2/100$ mm |



## ■ ケイ素鋼帯の磁気特性連続自記装置

最近その使用量が急激に増大したケイ素鋼帯の品質管理を強化し、測定を自動化するために、鋼帯の磁気特性を自動記録する装置を設計し、試作した。この装置は回路の一部を変更するだけで次の 2通りの機能をもつようにしてある。

- (1) 特定の磁束密度における鋼帯の鉄損および、そのときの所要磁化力を連続して自動記録する。(たとえば連続的に移動する鋼帯各部の  $H_{15}$  と  $W_{15/50}$  を記録する。)
- (2) 鋼帯を間欠的に停止させて、そのとき試験コイルの内にある鋼帯の、磁束密度対鉄損曲線および磁化力対磁束密度曲線を自動記録する。

この装置で問題となるのは、鋼帯に加わる磁化力および磁束密度の正しい取出しかたであって、この対策として試験コイルに特別な巻線方法を採り入れた。

また上記 (1) の鉄損を連続的に測定する際、その測定法として次の 3通りが考えられる。

- (1) 鋼帯内の磁束分布が不均一な部分の鉄損を定数として差引いて鉄損を求める。(鋼帯の品種および試験時の磁束密度が一定であれば、不均一部の鉄損の均一部の鉄損に対する比率はほぼ一定となる。)
- (2) 不完全 カップリング の二つの二次巻線を用い、二次回路の抵抗値を変えて測定した二つの電力計の差から鉄損を求める。
- (3) まったく同じ試験コイルを二つ用い、一方に標準試料を入れ、他方に被測定試料を通し、両試料の差として被測定試料の鉄損を求める。

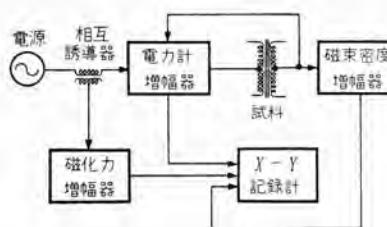


図 1 リング 試料  
測定時の回路構成

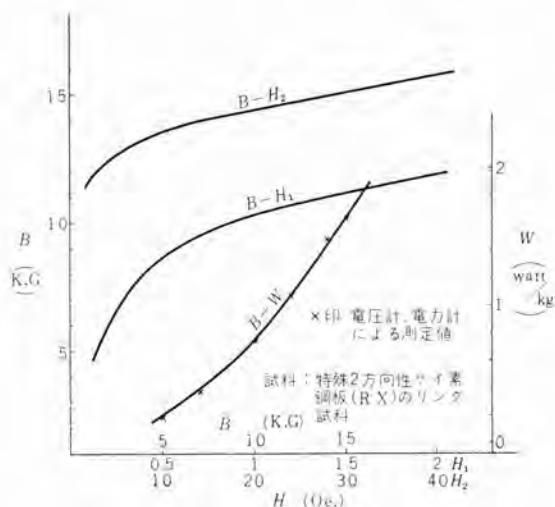


図 2  $B-H$  および  $B-W$  曲線

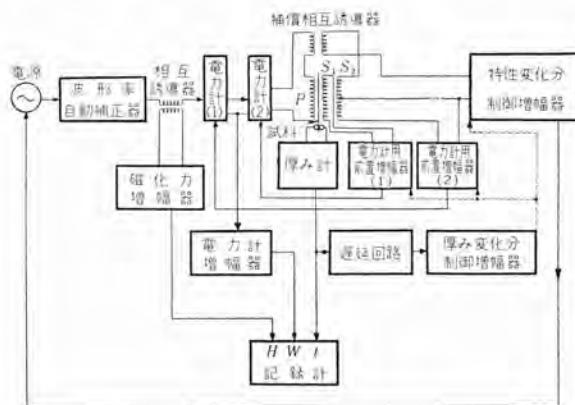


図 3 連続記録のときの回路構成

試験コイルは現在製作中で、まだ鋼帶の特性測定を行なう段階には至っていないが、自記部分だけがほぼ完成したので、リング試料を用い、図 1 の測定回路でその特性を自記させてみた。その結果、汎用の計器で測定した値とかなりよい一致を示し、この装置の有用性が確認された。これを図 2 に示した。

なおこの装置を上記の連続自動記録にもちいるときの回路構成を図 3 に示した。

## ■ 自動翻訳機

かねて九州大学より受注していた、英語または独語から日本語に翻訳するオールトランジスタを使用した電子計算機を完成了。

本機は入出力装置、翻訳(演算本体)本体、ドラム記憶装置および制御装置から構成されている。

翻訳本体は単語辞書、構文辞書、後置語辞書および熟語辞書の機能をもった演算機構から構成されており、本機はとくに翻訳装置としてだけでなく一機のデジタル電子計算機として各種工業の数値計算にも使用できるように設計されている。現在翻訳機としては 200 語の単語と文法上の命令は 90 種類を記憶で



自動翻訳機(左から制御装置、演算装置と  
ドラム記憶装置、入出力装置)

きるようになっていて、1,500 個のトランジスタおよび 18,000 個のゲルマニウムダイオードを使用している。

## ■ 列車電話装置(400 Mc 帯)受注

かねてから国鉄当局が計画中であった東海道線列車電話がいよいよ実現し、来たる 6 月 1 日より列車内で一般公衆電話の取扱いを開始することになった。

東海道全線の通話を確保するために、固定局装置としては東京、静岡、名古屋、大阪の 4 ブロックに、それぞれ統制局を置き、各ブロックには 3~4 局の基地無線局を設置し、列車が走行中つねにどこかの基地無線局と接続される構成となっている。各無線基地局は搬送装置により統制局に接続され、統制局の交換装置および各統制局を結ぶマイクロ中継回線を経て、東京、名古屋、大阪の電電公社市外電話局および各統制局の国鉄交換台に接続される。

列車内には、食堂車と談話室にそれぞれ公衆電話、車掌室と運転室にそれぞれ業務用電話が設置され、無線送受信機、車内交換装置を経て基地無線局と接続される。無線機は走行中、東京大阪間の基地無線局電波を順次受信し、つねに最良通話を得られる基地局を自動的に選択する機能を持っている。

当社は大阪、名古屋 ブロックの全固定局装置と列車 3 編成分の移動局装置の製作ならびに据付工事を受注し、6 月 1 日開通をめざして鋭意製作中である。



400 Mc/FM 列車無線基地用送信機



## 電気機器油槽の冷却装置

考案者 谷中頼朝・西山繁

従来変圧器などの電気機器は、これを冷却するために油槽内に入れ冷却油を油槽外に取り出し、ここで冷却してふたたび油槽内に循環させることが行なわれている。

この考案は、上記冷却油を循環させる通路に切換弁を介して2個のポンプを接続し、この切換弁によりポンプを制御して冷却油の循環速度を調整することにより、冷却能率を加減するようにした電気機器油槽の冷却装置に関するものである。すなわち図1は、この考案の正面図、図2は要部の拡大断面図である。

図において、(1)は油槽内の油を冷却する冷却器単位体で、油槽に連結する管(2)および切換弁(4)に接続する管(3)を有している。切換弁(4)は上記管(3)に連なる開口(5)と、ポンプ(13), (14)に連なる開口(6), (7)とを有する弁箱(8)および弁箱外に操作取手(9)を有する板状弁(10)を有し、この板状弁は操作取手のI位置においては、開口(6), (7)を開口

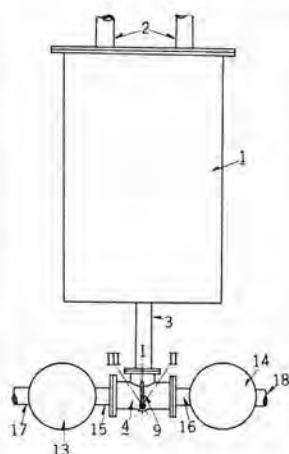


図1

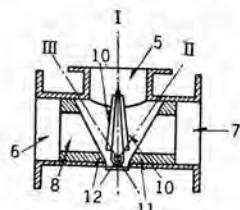


図2

(5)に連通する位置を占め、操作取手のII位置においては、開口(7)を閉塞するよう弁座(11)と重合し、また操作取手のIII位置においては、開口(6)の弁座(12)に重合して開口(6)を閉塞するようなされている。上記ポンプ(13), (14)は冷却器単位体(1)に油槽内の油を強制循環するものであって、上記弁(10)がI位置にあるときは、ポンプ(13), (14)とともに運転され、II位置にあるときはポンプ(13)だけが、またIII位置にあるときはポンプ(14)だけがそれぞれ運転するようになっている。なお(15), (16)はポンプ(13), (14)と弁箱(8)間を連結する連結管で、また(17), (18)はポンプと油槽間を連結する連結管である。

この考案は、上記の構造を有しているので、電気機器の負荷が大で、温度上昇が大なるとき、あるいは周囲温度が高いときのように、より大なる冷却能力が要求される場合には、取手(9)をI位置に置き、両開口(6), (7)を開き、ポンプ(13), (14)を運転して油の循環速度を増大させている。また平常時は取手を切換位置II、あるいはIIIに回動して開口(6), (7)のいずれか一方を閉塞し、閉塞された開口に連結するポンプを停止し、他のポンプにより油の循環を行なっている。このためいずれか一方のポンプ、あるいはそのポンプを駆動する電動機が故障の際には、即時取手を操作して、故障したポンプを停止させ、これを取り換えることができる。

このようにこの考案の冷却装置は、電気機器の負荷や周囲温度に応じて、平時補備用に備えたポンプを運転して冷却能率を倍加しうるとともに、故障したポンプの交換を、冷却装置の使用中になしいうる効果がある。

(実用新案登録第483632号) (小林記)

## 電 气 扇

考案者 長瀬卯三郎

この考案は翼車(1)の前面に、縦方向に並列する導風板を中心において左右2群に分割し、ケース(6)の上面に設けたつまみ(2)を捻回すれば、これに連なるリンク機構(3)により左右2群の導風板群(4), (5)が反対方向に、同時に偏航できるようにしたものである。またその偏航角度も、つまみ(2)の捻回程度によって随意調節できるようになされている。

したがって、翼車を正面に向けたまま相対する主客双方に連続的に風を送ることができる。

また従来の電気扇のような複雑な首振装置を除けるため、電気扇基台に重みをつけてとくにその安定を図る必要がない。したがってケース(6)には板金を使用できるので、電気扇はいちじるしく軽量となり持ち運びにも至便である。

(実用新案登録第490550号) (鈴木記)

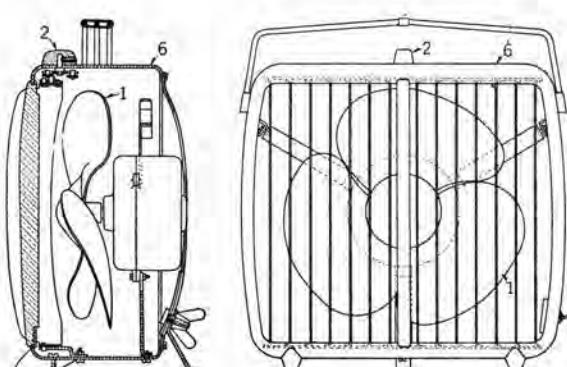


図1

図2

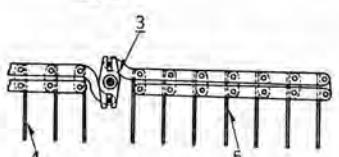


図3

==== 最近における当社の社外講演一覧 =====

講演年月日	主催または開催地	題名	講演者	所属場所
34-10-15	電気学系学会関西支部	新形 36 kV 磁気シャン断器	富永正太郎	伊丹
"	"	簡易交流電車	待鳥 正	"
"	"	電車用 60 サイクル 150 kW 交流整流子電動機	河村 寿三	"
"	"	カットコアの各種応用とその特性	清水 英範	"
"	大阪工業大学	新形キ電用直流高速度シャン断器	岩垂邦昭	神戸
"-10-16~18	電気通信学会全国大会	誘電体アンテナの放射機構に関する考察	喜連川 隆	研究所
"	"	電界変位形単向管の逆方向減衰機構	中原昭次郎	"
"-10-17	東京大学工学部	Phase-Locked Demodulator	小林信三	無線機
"-10-20, 21	溶接学会	エニオメルト溶接の溶込について	広田隆一	伊丹
"-10-21	規格協会関西支部	Q・Cセミナー	小島井 繁	本社
"-10-22	関西OR協会	生産計画	末内 譲	伊丹
"-10-23	福岡九州地区計器検定協議会	トランジスタを利用した特殊衝流発信器について	神原 升	福山
"-10-27, 28	関西能率技師協会	IE技術者養成講座	久保博司	伊丹
34-11-1	学振117委員会	スリップリングの傷損と摩耗	森田義男	研究所
"-11-2	電気学会関西支部	電力半導体整流器の新動向について	加藤又彦	伊丹
"-11-5	東北電力新潟支店	お店の照明計画と改善	小堀富次雄	本社
"-11-6	照明学会東北支部	商店街および庭園照明	"	"
"	大阪工業大学	Co-Fe合金を用いた磁気回路	藤木 一	無線機
"	"	板金工場の騒音対策について	進藤武男	"
"	"	T形溶接部の斜角探傷について	松本雄藏	"
"	輻射科学研究会	アンモニウム原子時計吸収管の2, 3の問題	喜連川 隆・藤永 敦	研究所
"-11-12	照明学会東京支部	高出力ケイ光灯による照明施設例(カラースライド併用)	小堀富次雄	本社
"	日本繊維機械学会	カード保全と水害機械について	中村敏之	名古屋
"-11-14	電気学会北陸支部	最近の超高圧変圧器	村上 有	伊丹
"	第一生命ビル	エレクトロニクスの産業機械における役割	馬場文夫	無線機
"-11-16	関西WF研究会	奨励給制度について	奈川敏雄	本社
"-11-17	自動制御	非整数階積分形制御系について	真鍋舜治	研究所
"	カラー受像管試作委員会	Radial Correction Lensを傾斜させて使用した時の検討	鷹野 泰	"
"-11-19	中部照明改善委員会	住宅の照明	小堀富次雄	本社
"	電気四学会東海支部	ED7019号交流電気機関車用誘導電動機の相数変換方式	大野寛孝	名古屋
"-11-20	電気通信学会	フェライトバーアンテナの性能	水上益良・河合 登 中村 弘・井手平三郎	大船
"-11-26	中国地区計器協議会	トランジスタ利用特殊衝流発信器について	神原 升	福山
"-11-30	東京電力配電課	MZ11形記録積算計器	林 正之	"
34-12-4	徳山市民館	ノーヒューズ説明	武藤 正	"
"-12-9	関西電力	MZ3HF形記録積算電力計	林 正之	"
"-12-11	電気3学会	トランジスタ専門講習会	岡本春樹	無線機
"-12-4	理化学研究所	有機ケイ光体の電場発光	吉沢達夫	研究所
"-12-5	電気学会シンポジウム	マグネットワイヤの熱劣化	森田義男	"
"-12-11	電気通信学会	誘電体アンテナについて	末田 治	伊丹
"	電気技術者協会	「最近の電気材料」のうち磁気材料について	野口英男	"
"-12-15	真空協会関西支部	超高真空の発生と測定	藤永 敦	"
"-12-17	原子力産業会議	原子炉制御の実際	八島英之	"
"	電気通信学会	フェライト装荷導波管内の姿態変換	喜連川 隆・中原昭次	"
"-12-18	電気通信学会	拡張された飽和関数法について	真鍋舜治	"
"-12-21	電気学会	アンモニウム原子時計の吸収管の2, 3の問題	喜連川 隆	"
35-1-20	規格協会関西支部	QCセミナー“抜取検査”	吉川 浩	本社
"	真空協会	アレキサンダ形水銀拡散ポンプ特性	藤永 敦	研究所
"-1-22	小倉中央レストラン	安全ブレーカ・ノーヒューズ技術説明会	松尾昭二	福山
"-1-29	伝送工学研究会	最近のマイクロ波技術—Radome	喜連川 隆	研究所
"	航空学会	Systems Engineeringについて	小田誠夫	無線機
35-2-8, 9	東北電力	照明器具と照明設計の実際	小堀富次雄	本社
"-2-12	日刊工業新聞社名古屋支社	電気式空気清浄装置の問題	斎藤 寛	神戸

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

本 社	東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 (東京ビル内) (電) 和田倉 (201) 大代表 1611
本社施設部	東京都千代田区丸の内 1 丁目 8 番地 (仲 27 号館) (電) 東京 (211) 代表 1261・1271・1281
東京営業所	東京都千代田区丸の内 2 丁目 20 番地 (三菱商事ビル 3 階) (電) 東京 (211) 代表 2511
大阪営業所	大阪市北区堂島北町 8 番地 1 (電) 大阪 (34) 代表 5251
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り (電) 本局 (23) 代表 6231
福岡営業所	福岡市天神町 58 番地 (天神ビル内) (電) 福岡 (5) 代表 6231
札幌営業所	札幌市大通西 1 丁目 13 番地 (電) 札幌 (3) 代表 9151
仙台営業所	仙台市大町 4 丁目 175 番地 (新仙台ビル内) (電) 仙台 (2) 代表 6101
富山営業所	富山市安住町 23 番地 2 (電) 富山 (2) 0151
広島営業所	広島市八丁堀 63 番地 (昭和ビル内) (電) 中 (2) 2211
高松営業所	高松市寿町 1 丁目 4 番地 (第一生命ビル) (電) 高松 (2) 代表 4416 ビル直通 5021
小倉出張所	小倉市京町 10 丁目 281 番地 (電) 小倉 (5) 8234
静岡駐在員	静岡市吳服町 2 丁目 1 番地 (電) 静岡 (2) 2595 (3) 2962
金沢駐在員	金沢市田丸町 55 番地 1 (電) 金沢 (3) 6213
岡山駐在員	岡山市内山下 30 番地 (佐々木ビル) (電) 岡山 (3) 2948
研究所	兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 兵庫 (6) 代表 5041
伊丹製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町 122 番地 (電) 長崎 (3) 代表 3101
無線機製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野 80 番地 (電) 大阪 (48) 8021
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73) 1531
静岡製作所	静岡市小鹿 1 10 番地 (電) 静岡 (3) 0141~0145
中津川製作所	岐阜県中津川市駒場 (電) 中津川 10, 54, 226
和歌山製作所	和歌山市岡町 91 番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275
福岡製作所	福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 (4) 代表 1568
福山製作所	福山市沖野上町 6 丁目 709 番地 (電) 福山 代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町 840 番地 (電) 姫路 代表 6900
大船製作所	神奈川県鎌倉市大船 (電) 大船 (067) 代表 2121
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町 (電) 東京 (414) 代表 8111
郡山製作所	福島県郡山市境橋町 1 番地 (電) 郡山 1220~1223
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池 1 番地 (電) 伊丹 代表 4736
無線機製作所	東京都世田谷区池尻町 (電) 東京 (414) 代表 8111
東京工場	札幌修理工場 札幌市北二条東 12 丁目 (電) 札幌 (2) 3976

次号予定

三菱電機 Vol. 34 No. 6

管球特集

- 光電子増倍管
- 17 角形 カラー 受像管
- 熱陰極格子制御放電管の使用上の諸問題
- 工業用送信管
- 受像管用電子銃の高  $g_m$  化
- 水銀灯の色補正
- 受信管の管壁温度
- 電力制御用放電管
- マグネトロン MX-502 および MX-702
- ラピッドスタート 形 ケイ光ランプ における接触抵抗と端部黒化
- 特殊 カラードランプ の長日性植物栽培における応用
- 高圧水銀灯の現状
- 管球製品一覧表
- 技術解説: 火力発電 シリーズ  
　　運炭設備 (2)  
　　串形タービンと並列形タービンの考え方とその概要

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	吉村誠一郎	常任委員	村田井野内村田野上
常任委員	浅井潔	" 員	宗山新関竹津豊米井
"	荒井安藤	"	(以上 50 音順)
"	市村宗次	"	榮正真準俊八
"	小堀富雄	"	
"	高井得一郎	"	
"	中野光雄	"	
"	馬場文夫	"	
"	船橋正信	"	
"	松田新市	"	

昭和 35 年 5 月 20 日印刷 昭和 35 年 5 月 23 日発行  
「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 吉村誠一郎  
印刷所 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 大日本印刷株式会社  
印刷者 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 高橋武夫  
発行所 三菱電機株式会社内 「三菱電機」 編集部  
電話 和田倉 (201) 1611  
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 (291) 0915・0916 振替東京 20018

# 防爆形コントロールセンタ

今回、石油精製工場向けの防爆形コントロールセンタを製作した。これは電動パルプの遠方制御用に使用されるもので、共通台ワクの前後に十数台の開閉器を取り付け、箱上部には共通母線箱を設けている。据付場所が屋外であるためとくに共通屋根を設けた。これは工場防爆指針によって製作されたものでこの箱および導線引込口は耐圧防爆構造とし母線箱は安全増防爆構造で締付部にはパッキンを入れ防水的に考慮されている。

## 取付品

前面 16 台 1-NF225C 形 ノーヒューズシャ断器

定格 600 V 70 A

瞬時引はずし電流可調整形 (300~700 A)

15-2-EKO-2×35 形電磁開閉器

定格 600 V 30 A

熱動過電流継電器は手動リセット

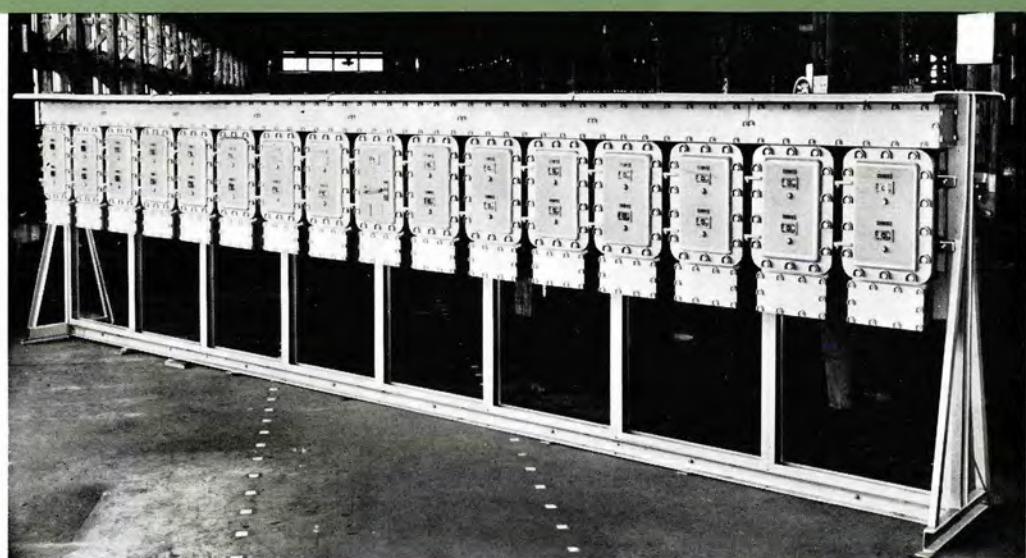
背面 13 台 2-NF225C 形 ノーヒューズシャ断器

11-2-EKO-2×35 形電磁開閉器

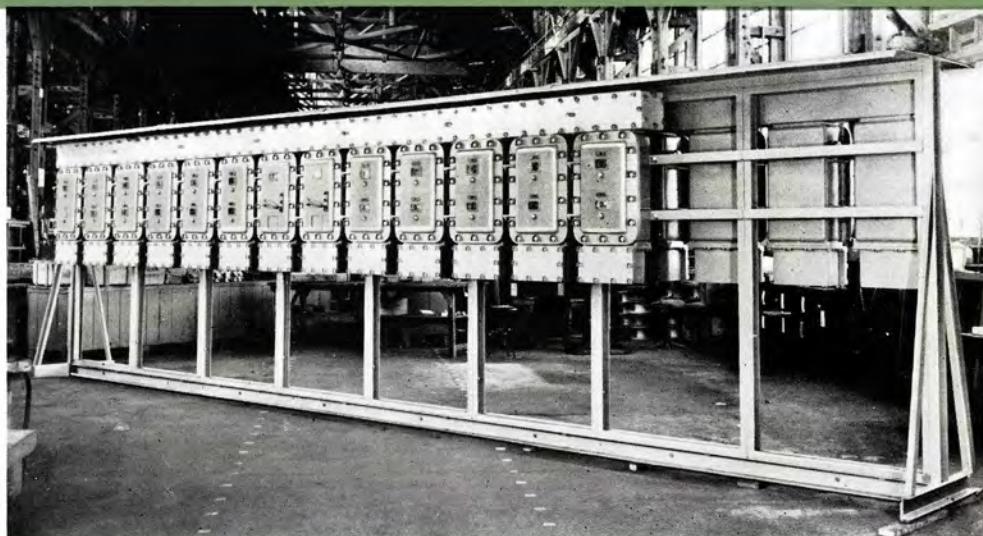
寸法 全長 8,600

高さ 2,100

奥行 台 800 屋根 1,100



防爆形 コントロール  
センタ (前面)



防爆形 コントロール  
センタ (背面)