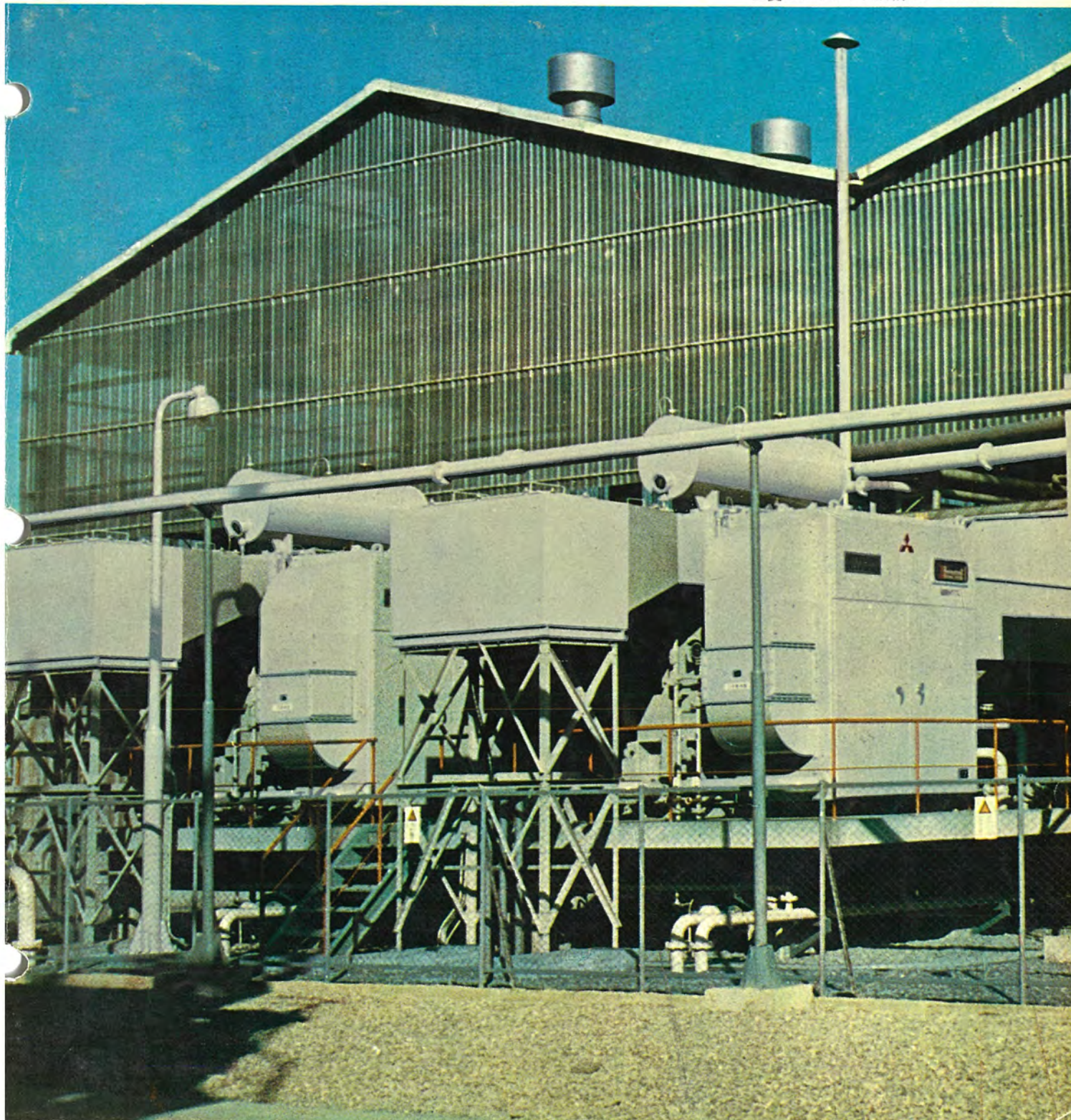


# MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.39 May 1965

5

三菱モンサント化成納めレクチフォーマ



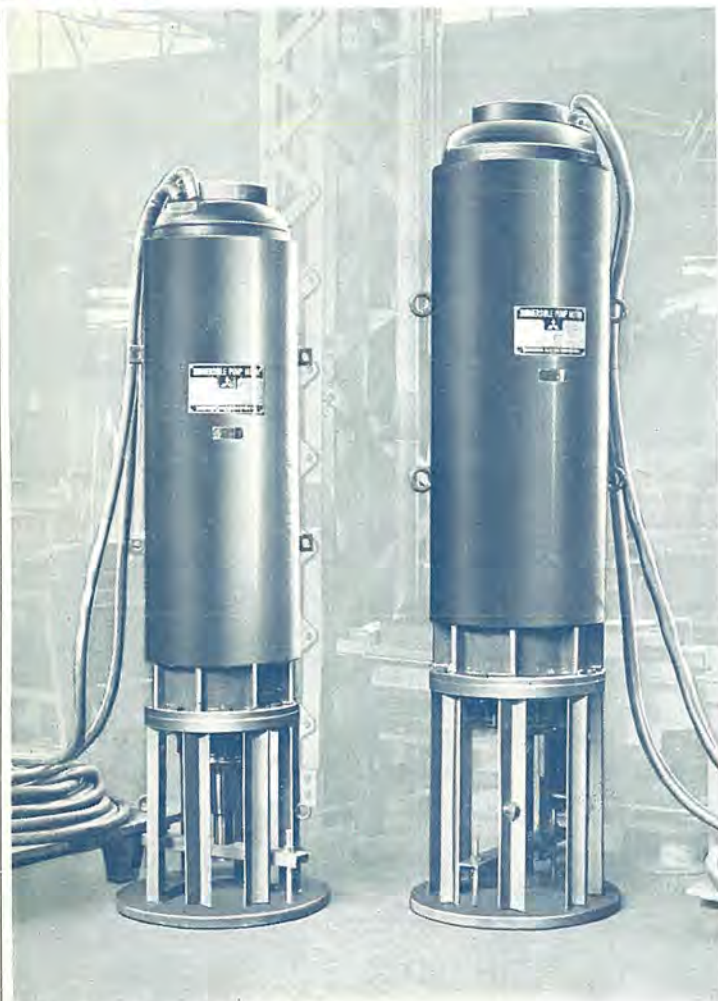


# ●わが国最初の実用化

岐阜市水道部納め

## 高圧水封式水中モートル

### 完成！



高圧水中モートル 3,300 V 60 c/s

右側 150 kW 4P 2,800 S フレーム

左側 75 kW 4P 2,500 S フレーム

岐阜市水道部のご要求で製作していた高圧 (3,300 V) 水封式水中モートルが このほど完成した。この水中モートルは 数年以前より 当社が鋭意開発研究を進めてきた高圧水中コイルを使用したもので このたびの岐阜市水道部の岐阜市水道設備の拡充計画に対して 将来の給水用大形ポンプ駆動電動機のあり方を考慮され 当社の試作品の性能を十分ご検討の上 多大の期待をもって当社に発注されたものである。

この水中モートルは 3,300 V 60 c/s の電源により駆動されるもので 水封式としてわが国最初の実用化であるばかりでなく 世界にも あまり例をみない画期的な製品である。

#### ■ 特 長

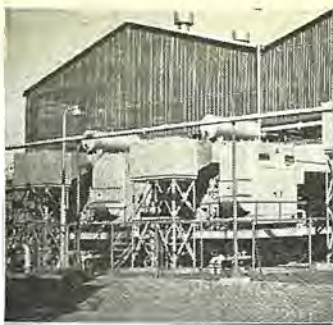
(1) 高圧水中コイルは 一般モートルと同様の平角線を使用し 特殊ゴム材料と特殊合成樹脂との組み合わせにより 完全に 加熱融着させたもので 両材料の高度の融着性により コロナの発生がまったくないという絶縁特性上画期的なものである。このコイルは 3,000 V 級の設計であるにもかかわらず 水中において 20 kV 以上の耐圧に耐え得るものであることが確認された。また 同様なコイルで処理された試作品 (100 kW 4P) は すでに 2 年以上の連続水中試験において 絶縁抵抗の低下はまったくみられず さらに 運転継続中である。

(2) スラスト軸受は 特殊合成樹脂製で ミッチェル式の構造をもつもので きわめて高荷重に耐えうるものである。ラジアル軸受は 特殊青銅製の自動調心構造を採用している。スラスト軸受は 下部ラジアル軸受と 回転子の間に設けられ 構造的に きわめて安定である。

(3) 軸封装置には きわめて精度の高いメカニカルシールの組み合わせ方式を採用しているので 長寿命を保証できるものである。

#### ■ 仕 様

出 力	150 kW	75 kW
極 数	4	4
電 圧	3,300 V	3,300 V
周 波 数	60 c/s	60 c/s
定格電流	36.5 A	19.5 A
定格回転数	1,780 rpm	1,780 rpm
絶縁種別	Y	Y
許容温度上昇	40 deg	40 deg
最高使用周囲水温	25°C	25°C
起動方式	Y-△	Y-△
概略外形寸法	590φ×2,500	540φ×2,000
概略重量	1,600 kg	2,200 kg



#### 表紙説明

レクチフォーマは電気化学用途を中心として急速な発展を遂げたがこの設備は新鋭大電流電解設備に適用された典型の一つである。11.7 MW, 130 V, 90 kA の容量をもつレクチフォーマ装置は三菱モリタ化成四日市工場のソーダ電解設備に直流電流を供給しており、完全屋外、組立輸送などの一体構造整流装置の条件を完備し設備合理化に大きく貢献している。装置は 20 kV キュービクル、負荷時電圧調整器、45 kA 変換単位 2 組のレクチフォーマより成り導電部分はまったく露出しない構成で過酷な周囲環境にも最適である。



# 三菱電機技報

昭和 40 年 第 39 巻 第 5 号

## 目次

### 《論文》

電力用単巻変圧機	田村良平・菅 寿郎	2
AHF-50 形直流高速度 シュ断器	渡辺陸夫	8
LV-GL 形配電用避雷器	加藤又彦・大木正路・岡田昌治・鎌田隆好・田口 修・永井信夫	14
電気化学用大電流 レクチフォーマ	小林 凱・鶴田敬二・上岡康宏	20
コントロールセンタ 製造への電子計算機の導入	町野康男・桐生悠一	29
本質安全防爆多点温度指示装置	渡辺 宏・杉本 弘	36
モレクトロン 同期信号分配器	中村有光・池田弘明・小林信三・忍足 博	41
水位 デジタルテレメータ	室田 慎・藤原謙一・今泉 巽・小村 明	46
3 次元 ホーミング 魚雷 シミュレータ	多田智彦・高村邦治・金子敏夫・渡辺秀也・井塚秀弥	52
MELDAS-1022 整流子 アンダカッティングマシン 制御装置	小島一男・金森剛明・志賀正明	66
精密 デジタル 速度制御装置——中性子分光器用位相制御装置——	大野 栄一・川畑隆夫	70
GaAs トンネルダイオード	清水潤治・池川秀彰	77
マイクロ波用 イットリウム・鉄・ガーネット	竹内守久・靱山公男・野口英男	84

### 《技術講座》

変圧器付属品 (3) 絶縁油劣化防止装置そのほか	印藤義雄・川中 進	90
--------------------------	-----------	----

### 《新製品紹介》

業界最高の シュ断容量を有する三菱 NFT 形 トライパックシュ断器を開発・三菱電気振動ドリル VD-10S-1 形新発売・三菱扇風機「コンパクト」	99
--	----

### 《ニュースフラッシュ》

富士山気象 レーダ 完成記念切手、封筒、ハガキ 発売される・八幡製鉄納め 6,000 kW 三相誘導電動機完成・CH 形重責務用直流避雷器完成・電鉄変電所用レクチフォーマ受注	102
---	-----

### 《特許と新案》

磁気増幅装置を用いた直流電動機制御装置・直流回路接地継電装置・回転電機の ブラシ 揚装置・クラッチブレーキ 装置・ラジオ、テレビ などの押し ボタン 開閉装置	104
---	-----

### 《表紙》

1. 三菱 モリタ化成納め レクチフォーマ
2. 高圧水封式水中 モートル 完成
3. 産業界の オリンピック 第 6 回東京国際見本市開かる
4. 三菱 ルームクーラー



## 電力用単巻変圧器

田村良平\*・菅寿郎\*

## Autotransformers for Power Use

Itami Works Ryōhei TAMURA・Hisao KAN

There have been relatively few cases where autotransformers are used for power service in this country. However, the recent expansion of service territories by power companies has brought about the necessity of interconnection of extra high voltage systems among them. This encourages the use of autotransformers, and together with increase in the export of this type of transformers, the production of these apparatus is now on the increase. Also in the 500 kV class transmission projects expected to be realized at no distant date, power autotransformers are sure to come in for the interconnection with the existing extra-high tension systems. In view of this trend, problems about these units and those produced by the Company are discussed in this article.

## 1. ま え が き

単巻変圧器は普通の変圧器に比べ、軽量、高能率、低インピーダンスなどの利点を有しており、小規模には古くから使用されてきたが、電力用としては使用範囲が有効接地系間の連系に限られるため、有効接地系の少ないわが国においては、従来電力用単巻変圧器の使用例はきわめてまれであった。しかし最近になって、電力広域運営の目的から、異なる電力会社の超高圧系統間の連系が進められ、そのために大容量単巻変圧器が採用されるようになった。また、海外においては、有効接地系が多いために単巻変圧器が従来から広く使用され、したがって変圧器の輸出増大とともに、単巻変圧器製作の機会も増加してきた。一方、近い将来に実現が予想されている 500 kV 級超々高圧送電においては、現在の超高圧系との連系に超大容量単巻変圧器の広範囲な使用が考えられ、電力用単巻変圧器が注目を浴びている。このような内外の情勢から見て、今後われわれが電力用単巻変圧器を製作する機会も急激に増加することが予想されるので、この稿では、電力用単巻変圧器の問題点と当社単巻変圧器の構造について述べ、ご参考に供したいと思う。

## 2. 当社の電力用単巻変圧器の納入実績

わが国では、前述のごとく有効接地系が少ないため、従来電力用単巻変圧器の使用例は少なく、本格的なものとしては、昭和31年に、四国電力宇和島系の有効接地化による  $\sqrt{3}$  倍昇圧の際用いられた、津賀発電所納め 110/54.5 kV 13,100 kVA 器が最初であった。その後、東京電力信濃川発電所において、154 kV 系を有効接地に変更して 275 kV 系との連系を行なった 200 MVA 器2台、関西電力の 275 kV 系と中国電力の 220 kV 系の連系のために姫路変電所に設置された 200 MVA 器1台、および電源開発中四連絡線建設にあたり中国電力の 220 kV 系と四国電力の 187 kV 系の連系用に伊予変電所に設置された 99 MVA 器が運転されており、当社からは、伊予変電所、津賀発電所向けの単巻変圧器を納入している。一方、輸出品としては、前述のように海外では単巻変圧器が広く使用されているため、輸出の増加とともに製作実績も、オーストラリア New South Wales 州電気局 Sydney West 変電所納め 145 MVA 器7台をはじめ、かなりの数に上っている。

表 2.1 に当社電力用単巻変圧器の納入一覧を示す。

表 2.1 三菱電力用単巻変圧器納入一覧

納入先	相数	巻数	容量 (MVA)	電圧 (kV)	冷却方式	台数	形式	タップ切替方式	コイル構造	製作年度
四国電力 (津賀 p/s)	3	60	13.1/13.1/6	110/54.5/11	油入自冷	1	外鉄	—	図 5.2	昭 31
電源開発 (伊予 s/s)	3	60	99/99/25	220/187/15.4	*	1	*	図 4.5 (f)	図 5.4	昭 37
インド (ガンゴール s/s)	3	50	90	220/132	送油水冷	2	*	—	図 5.2	昭 35
オーストラリア (シドニーウエスト s/s)	1	50	145/125/25	$\frac{330}{\sqrt{3}}/\frac{138.6}{\sqrt{3}}/16$	送油風冷	7	*	図 4.5 (c)	図 5.3	昭 38
メキシコ (ナバ s/s)	3	60	40/40/10	230/138/13.8	油入風冷	1	*	—	図 5.2	昭 38
メキシコ (マタモロス s/s)	3	60	46.6/46.6/16.31	138/69/13.8	*	1	*	—	図 5.2	昭 38
インド (パンジャブ州各 s/s)	3	50	90	220/132	送油風冷	6	*	—	図 5.2	製作中
インド (ゴトリ s/s)	3	50	50	220/138	油入風冷	2	*	図 4.5 (a)	図 5.2	*
インド (MP 州)	3	50	125/125/30	220/145/12	*	2	*	—	図 5.2	*
*	3	50	63/63/23	220/132/33	*	2	*	図 4.5 (e)	図 5.2	*
*	1	50	40/40/10	$\frac{220}{\sqrt{3}}/\frac{132}{\sqrt{3}}/33$	*	12	*	図 4.5 (b)	図 5.2	*
エルサルバドル	3	60	28/28/8	110/72/46	油入風冷	1	内鉄	—	—	*

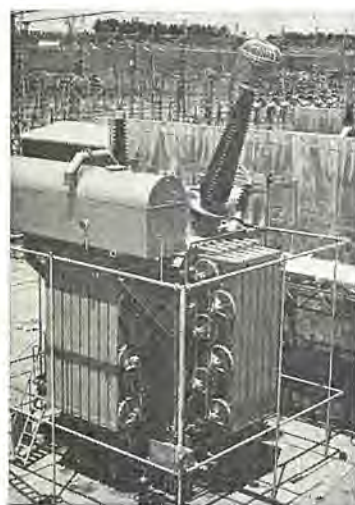


図 1.1 オーストラリアシドニーウエスト変電所納め 145 MVA 330 kV 単巻変圧器

Fig. 1.1 145 MVA 330 kV auto-transformer for Sydney West Substation, E. C. N. S. W., Australia.



### 3. 単巻変圧器の利点

単巻変圧器の利点は、いまさら述べるまでもなく、高圧巻線の一部が低圧巻線と共通となっているため、変圧器の等価容量が小さく、変圧器重量、損失、インピーダンスが減少することである。

この関係は、下式で表わされる。

$$P_t = V_H I_H = V_L I_L$$

$$P_s = (I_L - I_H) V_L = (V_H - V_L) I_H = P_t \cdot (V_H - V_L) / V_H = \gamma P_t$$

$P_t$  : 変圧器線路容量

$P_s$  : " 自己容量

$V_H$  : 高圧側電圧

$I_H$  : " 電流

$V_L$  : 低圧側電圧

$I_L$  : " 電流

ここで、 $\gamma = (V_H - V_L) / V_H$  は coratio あるいは巻数分比と呼ばれるもので、上式からわかるように、 $\gamma$  が小さくなるほど、換言すれば高圧側と低圧側の電圧値が近くなるほど、単巻変圧器の自己容量が減少し、経済性が増してくることになる。単巻変圧器の経済性を示す一例として、表 3.1 を参照されたい。これは同仕様の普通形変圧器と単巻変圧器について、特性、重量などを比較したものである。また coratio と変圧器重量の関係の一例を図 3.1 に示す。coratio が小さくなれば変圧器等価容量は比例して減少するわけであるが、coratio の減少は後述のように設計上いろいろな問題を生ずるため、変圧器の重量は等価容量ほどには減少し

表 3.1 普通形変圧器と単巻変圧器の比較

項	2 巻線変圧器	単巻変圧器
	相数・周波数	三相 50 c/s
格	容 量	600 MVA
	一 次 電 圧	50 kV $\pm 7.5\%$
	二 次 電 圧	275 kV
	電 圧 調 整	負荷時切換
	インピーダンス	15%
項	結 線	人 人 (<)
	CORATIO	0.45
概	中 身 重 量	100%
	油なし総重量	100%
	油 重 量	100%
	総 重 量	100%
	輸 送 重 量	100%
損	鉄 損	100%
	銅 損	100%
	全 損 失	100%

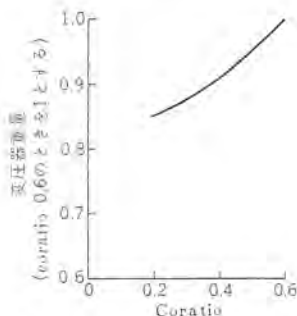


図 3.1 単巻変圧器の coratio と重量の関係の一例  
Fig. 3.1 Typical relation between coratio and autotransformer weight.

ないのが普通で、図 3.1 はこのことを示している。

### 4. 単巻変圧器の問題点

単巻変圧器は、前述のように経済性がすぐれている反面、高低圧巻線の一部を共通としたことに基づくいろいろな問題を包蔵しており、設計にあたっては、これらの点について十分注意を払わなければならない。

#### 4.1 単巻変圧器のインピーダンスと機械力

いま単巻変圧器の直列巻線、分路巻線を、普通の 2 巻線変圧器と考え、この変圧器の容量を  $P_s$ 、インピーダンスを  $\%Z_{sc}$  とする。この変圧器を単巻結線とすれば、線路容量  $P_t$  は先に述べたように、

$$P_t = \frac{1}{\gamma} P_s$$

である。一方結線が変わっても、巻線に流れる電流は同じであるから、漏れ磁束量は変わらないので、したがって線路容量ベースの  $\%$  インピーダンス  $\%Z_{HL}$  は単巻結線においては、 $\gamma$  倍に小さくなることになる。すなわち

$$\%Z_{HL} = \gamma \cdot \%Z_{sc}$$

ただし  $\%Z_{HL}$  は線路容量ベースでの単巻変圧器としての  $\%$  インピーダンス、 $Z_{sc}$  は自己容量ベースにおける直列、分路巻線間の  $\%$  インピーダンスを示す。これからわかるように、一般に単巻変圧器のインピーダンスは普通形変圧器よりも小さくなるので、したがって単巻変圧器において普通形変圧器と同等のインピーダンスを要求される場合には、磁気電気装荷の配分あるいは各部の形状などが普通形のものに比べかなり変化し、経済性に影響を与えることがある。

次に短絡機械力について考えてみよう。前述のように、単巻結線においては、 $\%$  インピーダンスが  $\gamma$  倍に減少するので、短絡電流は  $(1/\gamma)$  倍に、したがって短絡機械力は  $(1/\gamma^2)$  倍に増大することになる。すなわち、同一の変圧器を単巻結線として使用した場合には、普通の結線の場合に比べ短絡機械力が  $1/\gamma^2$  倍に増大するので、単巻変圧器においては短絡機械力に対する考慮を十分払って設計しなければならない。

#### 4.2 三次巻線の容量

電力用単巻変圧器は、高低圧間の結線はすべて星形結線が使用されるので、一般に三角結線の(三次)安定巻線を必要とする。これは普通形変圧器で高低圧星形結線の場合に、三次巻線を必要とするのとまったく同じ理由によるものである。三次巻線には、外部に端子を出さず、励磁電流中の第 3 高調波分および 1 線地絡時の零相電流を循環させるだけの、いわゆる内蔵安定巻線と、外部に負荷を供給するとともに上記作用を合わせて行なう三次巻線があるが、これらについて、容量の決定法を説明しよう。

普通形変圧器においては、内蔵安定巻線の容量は、一般に有効接地系においては、高低圧巻線の約 1/3 にとることが従来から広く行なわれている。もちろんこれは理由のないことではなく、主巻線と安定巻線が、1 線地絡事故に対して同等の熱的強度を有するという前提に基づいており、またこのような方法で安定巻線容量を決定しても、変圧器全体の価格に与える影響は少なく、問題とならない。しかしながら、単巻変圧器において、同様の考え方を適用すれば、安定巻線容量は同じく線路容量の 1/3 が必要となり、このことは coratio が小さい場合には、安定巻線の大きさが直列あるいは分路巻線と同等となることを意味するので、単巻変圧器の経済性に大きな影響がある。また、連続容量を持つ必要のない内蔵安定巻線を、等価的な連続容量と呼ぶことは、不合理な



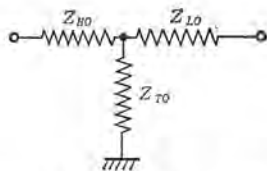


図 4.1 単巻変圧器のレイ相インピーダンス回路  
Fig. 4.1 Zero-phase sequence impedance circuit of autotransformer.

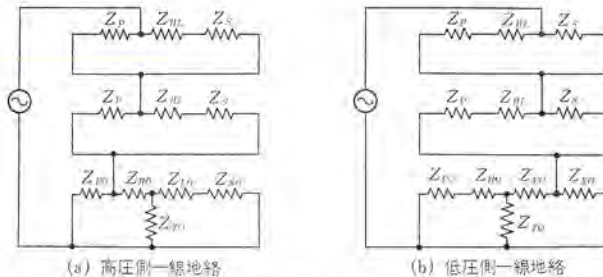


図 4.2 1 線地絡時のインピーダンス回路  
Fig. 4.2 Sequence impedance diagram in one line ground fault.

面も多分にあるわけである。この理由から、単巻変圧器の内蔵安定巻線においては、その定格を 1 線接地時の所要循環容量で表現し、これに対して所定の時間、熱的機械的に耐える安定巻線を設計することが合理的であると思われる。

1 線接地事故の際に単巻変圧器に流れる零相電流は、変圧器および系統の正、逆、レイ相インピーダンスがわかれば求めることができる。変圧器の正逆相インピーダンスは、線路容量ベースの高低圧間インピーダンスであり、またレイ相インピーダンスは、図 4.1 に示す T 回路で表わされ、外鉄形、内鉄三相 5 脚、単相器 3 台の各場合において、

$$\begin{aligned} Z_{HO} &= (Z_{HL} + Z_{HT} - Z_{LT})/2 \\ Z_{LO} &= (Z_{HL} + Z_{LT} - Z_{HT})/2 \\ Z_{TO} &= (Z_{HT} + Z_{LT} - Z_{HL})/2 \\ Z_{HL}: & \text{ 高低圧間 \% インピーダンス (線路容量ベース) } \\ Z_{HT}: & \text{ 高圧三次間 " ( " ) } \\ Z_{LT}: & \text{ 低圧三次間 " ( " ) } \end{aligned}$$

で表わされる。(内鉄形 3 脚鉄心の場合には、零相インピーダンスは上記よりも減少するといわれる<sup>(2)</sup>)

上記および系統インピーダンスがわかれば、1 線地絡時に単巻変圧器に流れるレイ相電流は、図 4.2 (a), (b) のダイアグラムから、per unit として次式で表わすことができる。

高圧側 1 線地絡のとき

$$I_{TO} = \frac{100}{\frac{2Z_P(Z_S + Z_{HL})}{Z_P + Z_S + Z_{HL}} + \frac{Z_{PO} \cdot K}{Z_{PO} + K}} \cdot \frac{Z_{PO}}{Z_{PO} + K} \cdot \frac{Z_{LO} + Z_{SO}}{Z_{TO} + Z_{LO} + Z_{SO}} \quad (\text{p.u.})$$

$$\text{ただし } K = \frac{Z_{TO}(Z_{LO} + Z_{SO})}{Z_{TO} + Z_{LO} + Z_{SO}} + Z_{HO}$$

低圧側 1 線地絡のとき

$$I_{TO} = \frac{100}{\frac{2Z_S(Z_P + Z_{HL})}{Z_P + Z_S + Z_{HL}} + \frac{Z_{SO} \cdot K'}{Z_{SO} + K'}} \cdot \frac{Z_{SO}}{Z_{SO} + K'} \cdot \frac{Z_{HO} + Z_{PO}}{Z_{TO} + Z_{HO} + Z_{PO}} \quad (\text{p.u.})$$

$$\text{ただし } K' = \frac{Z_{TO}(Z_{HO} + Z_{PO})}{Z_{TO} + Z_{HO} + Z_{PO}} + Z_{LO}$$

ここで  $Z_P, Z_{PO}, Z_S, Z_{SO}$  は、変圧器線路容量ベースでの、高低圧側系統の正、レイ相インピーダンスで、各系統の正、逆相インピーダンスは等しいとした。

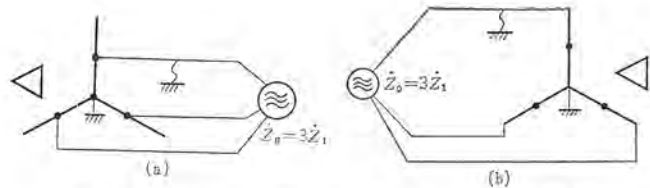


図 4.3 安定巻線に最も過酷な事故条件  
Fig. 4.3 Fault condition most severe for stabilizing winding.

このように、単巻変圧器の内蔵安定巻線の容量を決定するためには、一般に高低圧側系統の諸インピーダンスを知る必要があるわけであるが、将来の系統定数の変化あるいは変圧器の移設などを考えると、特定の条件でしか使用できないのでは、使用上に制約が大きいの、安定巻線を最悪の条件で設計しておくことが、実際的であると思われる。単巻変圧器は有効接地系に使用されるため、接続される系統の  $(X_0/X_1)$  は 0~3 の範囲にあるわけであるが、単巻変圧器の安定巻線を循環するレイ相電流は、系統のゼロ相インピーダンスが大きくなるほど増すことは明らかである。それで高低圧側系統の  $X_0$  を  $3X_1$  とし、この条件で最悪状態を求めてみると、一方の系統のインピーダンスが小さく、他方が切り離されている状態で電源のある側に 1 線地絡の生じたときがもっとも過酷であることがわかる。すなわち図 4.3 (a) (b) の状態である。この場合に単巻変圧器を通過するレイ相電流は、

$$\text{高圧側で地絡が生じたとき } I_{TO} = 300 / (6Z_P + 5Z_{HT})$$

$$\text{低圧側 } I_{TO} = 300 / (6Z_S + 5Z_{LT})$$

単巻変圧器では、通常  $Z_{HT} > Z_{LT}$  であるので、レイ相電流は低圧側で短絡したときのほうが大きく、その最大値は  $60/Z_{LT}$  (p.u.) であるので、これに対して安定巻線を設計すればよいことになる。

一方、外部端子を有する三次巻線の場合には、三次側での三相短絡に対して考慮しなければならないことは、普通の変圧器と同様である。

上記の説明の一例として、表 2.1 中のメキシコ (マタモロス 変電所) 納めの単巻変圧器について、計算例を次に示す。この変圧器の定格は次のとおりである。

三相	60 c/s	外鉄形	高圧側	138 kV, 46.6 MVA	低圧側	69 kV, 46.6 MVA	三次側	13.8 kV, 16.31 MVA
インピーダンス (35 MVA ベース)			高低圧間	7.2%				
			高圧三次間	24.4%				
			低圧三次間	14.8%				

この条件で、三次巻線の 1 線地絡に対する循環容量は、 $60/14.8 = 4.05$  (p.u.) すなわち  $4.05 \times 46.6 = 189$  MVA である。一方三次側三相短絡に対しては、高低圧側に無限大母線を仮定すると、

$$Z_H = (7.2 + 24.4 - 14.8)/2 = 8.4$$

$$Z_L = (7.2 + 14.8 - 24.4)/2 = -1.2$$

$$Z_T = (24.4 + 14.8 - 7.2)/2 = 16.0$$

したがって、短絡容量は  $100/[16.0 - (8.4 \times 1.2)/8.4 - 1.2] = 6.85$  (p.u.) すなわち  $46.6 \times 6.85 = 320$  MVA となる。

以上を総合すると、この変圧器においては、三次巻線は、内蔵安定巻線の場合には短絡容量 189 MVA を、また外部端子を有する場合には短絡容量 320 MVA (連続容量は指定された 16.31 MVA) を考慮して設計すればよいことになる。

### 4.3 分路巻線の容量

普通形変圧器では各巻線の電圧、容量が定まれば、一義的に電流値が定まる。しかし単巻変圧器においては、直列巻線および三次巻線は電流値が定まるが、分路巻線は高圧側電流と低圧側電流



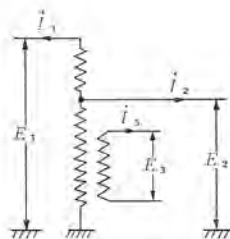


図 4.4 単巻変圧器の負荷条件  
Fig. 4.4 Loading condition of autotransformer.

の差が流れるため、三次側の負荷によって分路巻線の電流値が意外に増大することもあるので、設計にあたっては十分注意しなければならない。

今図 4.4 にしたがって

$$E_1 I_1 = P_1$$

$$E_2 I_2 = P_2$$

$$P_1 + P_g + P_3 = 0$$

とすれば、共通巻線の容量  $E_2 I_c$  は

$$E_2 I_c = -(\gamma P_1 + P_3)$$

この条件で、最大の  $E_2 I_c$  は  $\gamma < 1$  であるから、 $P_1$  と  $P_3$  が同位相で、しかも  $P_3$  が最大のときに生ずる。このときは  $|P_1| + |P_3| = |P_2|$  であるから、

$$E_2 I_{c \max} = P_3 + \gamma(P_2 - P_3)$$

となり、この条件で設計を行なっておけば、安全側であるといえる。しかしながら変圧器の定格によっては、上記のような設計を行なうと共通巻線の容量が非常に大きくなり、経済性に影響を与えることがあり、また三次負荷が調相負荷の場合には分路巻線への影響はかなり減少するので、単巻変圧器については、使用状態すなわち実際に起る負荷の大きさおよび位相関係を十分に検討し、経済的な設計を行なうことが望ましい。

前記の 46.6 MVA 変圧器について、三次負荷をとる場合と、とらない場合で、分路巻線の容量がどう変わるかを求めてみると、coratio が 0.5 であるから、三次負荷をとらぬ場合には

$$E_2 I_c = 46.6 \times 0.5 = 23.3 \text{ MVA}$$

三次負荷 16.31 MVA をとる場合には

$$E_2 I_c = 16.31 + (46.6 - 16.31) \times 0.5 = 31.455 \text{ MVA}$$

となり、分路巻線容量は後者において 35% 増大することとなる。

#### 4.4 単巻変圧器の電圧調整

単巻変圧器は、高低圧巻線を一部共用しているため、普通形変圧器のように簡単に電圧調整が行なえず、そのためにいろいろの電圧調整方式が使用されている。とくに最近広く使用されるようになった負荷時電圧調整方式の場合には、標準品として設計された負荷時タップ切換器を有効に使用するために、いろいろな工夫が必要である。現在主として使用されている方法を図 4.5 に示す。

(a) の方法は、普通形変圧器で行なわれている方法と同様、中性点にタップ巻線を設けることができるので、絶縁的に最も有利であり、また標準の三相タップ切換器を使用しやすい利点がある。欠点としては、単巻変圧器では分路巻線の巻数を変更することは高低圧双方の巻数を同数だけ変化させることになり、タップ位置によって  $V/T$  (1 ターンあたりの電圧) が変化するため変圧器の利用率が悪くなることと、たとえば低圧側の電圧を  $\pm \alpha\%$  だけ変化させるためには、分路巻線には  $\gamma = \frac{\alpha}{\gamma}$  のタップ範囲を設ける必要があり、また線路側でのタップ間隔を等間隔とすれば実際のタップコイルは等間隔にならない、などの点をあげることができる。

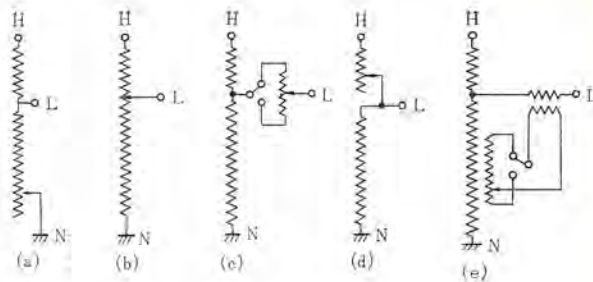


図 4.5 単巻変圧器のタップ切換方式  
Fig. 4.5 Various tap changing methods of autotransformer.

したがって、この方法は coratio が比較的大きく、タップ範囲が比較的小さい場合に適用される。

(b) および (c) の方法は、主として低圧側の電圧調整に用いられ、この場合  $V/T$  の変化もなく、タップコイルも所要調整電圧分だけですむ。しかしタップコイルが線路端に設けられるため、その絶縁設計には十分注意する必要がある。(b) と (c) を比較すれば、(b) の方法は直列巻線と分路巻線を相互に融通して coratio を変えるもので、単にタップコイルの電流容量を両巻線の電流容量の中、大きいほうに合わせておくだけでよく、巻線容量としてはもっとも少ない。しかしタップコイルの極性転換ができないので、とくにタップ点数が多いときには構造的に複雑となる。(c) の場合には、低圧側電流のタップコイルを別に設けるので、巻線総容量は (b) より大きくなるが、タップコイルの極性転換によりタップ数が半減できるので、タップ点数の多い場合に用いられる。

(d) の方法は高圧側の電圧調整に用いられ、大体 (b) (c) に似た特性を持っているが、coratio の小さい変圧器では直列巻線に対するタップ巻線の割合が大きくなり、またタップ巻線が線路端にあるための絶縁上の困難さは (b) (c) と同様である。

以上の (a) (b) (c) (d) は直接切換方式と呼ばれるものであるが、これに対して (e) (f) は間接切換方式と呼ばれる。この場合 (e) では直列変圧器を、(f) では直列変圧器と調整変圧器を、それぞれ設ける必要があり、経済的には有利といえないが、タップ切換器が直接回路に接続されないで、その電圧が自由に選べることから、設計上の自由度が大きく、またしばしば他の方式より経済的になることもあるので、多く使用されている。(e) はタップ切換器が付けのときに使用するもので、(f) は別置負荷時電圧調整器式として調整器の切り離しを主眼としたときに使用される回路である。

以上いずれの方法についても、設計上考慮を払うべき問題として、タップ位置による % インピーダンスの変化の問題がある。普通形変圧器では、通常タップ位置によるインピーダンスの変化は少ないのであるが、単巻変圧器においては、タップ位置によって coratio すなわち自己容量が変化するうえに、その切換方式に従って  $V/T$  の変化あるいは直列変圧器、励磁変圧器のインピーダンスの影響があり、また単巻変圧器のタップ巻線が全巻線に占める割合は、普通形変圧器に比べて一般に大きくなるために、漏れ磁束分布もタップ位置によって変化しやすく、全体として、タップによる % インピーダンスの変化の様相は、設計によっていろいろに変化する<sup>(3)</sup>。



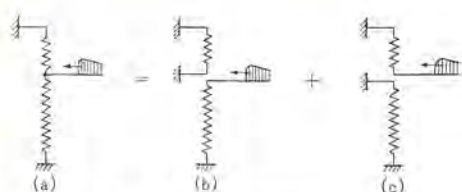


図 4.6 低圧端子の衝撃試験の状態  
Fig. 4.6 Impulse testing of LV terminal.

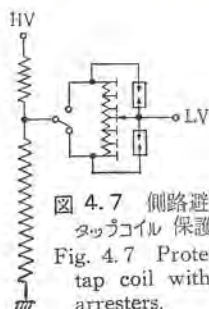


図 4.7 側路避雷器による  
タップコイル保護の一例  
Fig. 4.7 Protection of  
tap coil with by-pass  
arresters.

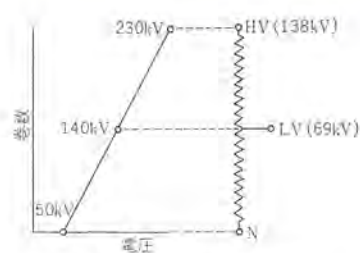


図 4.8 誘導試験の状態  
Fig. 4.8 Induced voltage test.

また、タップ巻線の占める割合の大きいことは、設計上、絶縁的、機械的に制約を大きくするから、単巻変圧器では、とくにタップ範囲を必要最小限に止めることが要望される。

#### 4.5 単巻変圧器の絶縁設計

単巻変圧器の絶縁設計上考慮すべき諸点について、以下説明しよう。

##### 4.5.1 直列巻線の衝撃電圧耐力

単巻変圧器の高圧線路端にサージが侵入した場合、低圧側がサージインピーダンスの低い線路につながっていると、侵入サージのほとんど全部が直列巻線にかかることになる。直列巻線の巻数は全巻数の  $\gamma$  分しかないので、coratio の小さいものほど巻回あたりの電圧が大きくなって、絶縁の困難さが増す。これを解決するために、直列巻線に側路避雷器を設けることも考えられたが、これは避雷器の性能、設置上の困難さのためにほとんど用いられていない。したがって、最近の電力用単巻変圧器では、すべて直列巻線だけで高圧側 BIL に耐えるように設計されている。

##### 4.5.2 低圧側衝撃試験に対する考慮

単巻変圧器において、低圧側線路端の衝撃試験は直列巻線および分路巻線の両方を同時に試験することになる。この状態を図 4.6 (a) に示すが、これは同図 (b), (c) が重畳したものと考えられる。たとえば、分路巻線についていえば、(b) の状態は、普通形変圧器の場合と同様の試験状態であり、したがって単巻変圧器の場合には、(c) による分路巻線内の電位振動が (b) に重畳することになる。(c) の影響は一般に無視しうる程度であるが、コイル構造によってはやや大きくなることがあり、これに対処した設計が必要となる。また単巻変圧器のタップは、前述のように低圧端子付近に設けられることが多く、その意味で普通形変圧器に比べ絶縁が困難であり、またコイル自身は電位分布の良好なものであっても、タップ切換器やリードなどの漂遊容量のために電位分布が悪くなることが多いので、タップ巻線のシヤヘイ設計には、十分注意する必要がある。また、タップ巻線には、しばしば側路避雷器が使用される。図 4.7 はその一例である。

##### 4.5.3 三次巻線の保護

三次巻線の保護については、普通形変圧器の三次巻線とはほぼ同様に考えればよい。すなわち外部に端子を出している三次巻線については、巻線の電圧階級に適合したサージアッパで保護してやればよい。内蔵安定巻線の場合には、保護装置を取り付けることができないので、移行電圧に耐える設計とする必要があるが、単巻変圧器については、とくに直列巻線の衝撃試験の際に、coratio の小さいものほど、衝撃電圧に対する  $V/T$  が大きくなり、三次移行電圧が大きくなるので、三次巻線の電圧を低く選ぶとか、過絶縁を施すなどの対策が必要となってくる。

##### 4.5.4 商用周波試験に対する考慮

電力用単巻変圧器は通常段絶縁であるので、商用周波耐圧試験

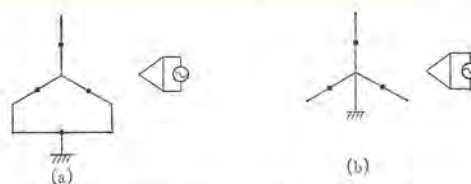


図 4.9 三相3脚鉄心の場合の誘導試験回路  
Fig. 4.9 Induced voltage test circuit for autotransformer  
with three phase three legged core.

は、一般に誘導によって行なわれる。この場合、高圧端子と低圧端子の試験は同時に行なわれるので、高低圧側の端子電圧と試験電圧によって、励磁率や中性点に与えるべき電圧が、一義的に決定される。まず単相器についていえば、たとえば高圧側電圧  $138/\sqrt{3}$  kV、試験電圧 230 kV、低圧側電圧  $69/\sqrt{3}$  kV、試験電圧 140 kV とすれば、誘導試験におけるコイル内の電圧は図 4.8 に示すようになり、中性点には 50 kV がかかることになるので、中性点は、変圧器仕様のいかににかかわらず、少なくとも 20 kV 級の絶縁を必要とすることになる。

三相器の場合には磁気回路に零相回路があれば、試験時に三次巻線を開路することによって、単相器と同様に試験を行なうことができる。外鉄形と内鉄形三相5脚鉄心はこれに相当するので、これらの構造は、単巻変圧器の試験上、自由度が大きいといえる。

内鉄形三相3脚の場合には、零相磁気回路がないので、試験回路としては、図 4.9 の (a) または (b) あるいはこれらの中間的なものとして、適当な電圧を中性点に与える方法が行なわれている。たとえば高圧側電圧 138 kV、試験電圧 230 kV、低圧側電圧 69 kV、試験電圧 140 kV の場合、(a) の試験状態では、低圧側端子に 153 kV、中性点に 77 kV が生ずるので、それぞれ 70 kV 級、40 kV に絶縁を増強しておく必要がある。(b) の試験状態では、高圧相間に 270 kV がかかるので、相間絶縁を 120 kV 級に増強する必要がある。

## 5. 当社単巻変圧器の構造

前項までで、電力用単巻変圧器の設計にあたって考慮すべき点について述べた。この項では、当社の電力用単巻変圧器の構造について、簡単に説明してみたい。

当社は大容量高電圧変圧器に外鉄形構造を採用しているが、この方針は単巻変圧器に対しても同様で、とくに外鉄形交互配置コイルは、単巻構造に対して幾多の利点を有している。当社の電力用単巻変圧器は、ほとんどこの構造で製作されている。当社外鉄形変圧器の構造と、その単巻変圧器への適用については、参考文献 (1) に詳しく述べているので、ここで繰り返すことは避けるが、単巻変圧器の最も重要な部分である巻線の構造について、若干説明を加えておきたい。

当社外鉄形変圧器は、交互配置コイルを使用しており、その基





図 5.1 外鉄形交互配置 コイル における基本的 コイル 配置  
Fig. 5.1 Typical coil arrangement of shell form sandwich coil.

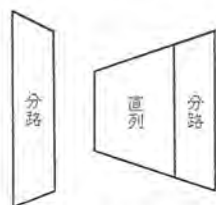


図 5.2 図 5.1 を単巻結線としたもの  
Fig. 5.2 Auto-connection in the case of Fig. 5.1.

本的な構成は、2 群構成（いわゆる 2HL）で、図 5.1 に示すようなものである。これは普通形変圧器に対するものであるが、これを単巻接続に変更し、かつ、単巻変圧器は有効接地系に使用されるため通常段絶縁であるので、段絶縁構造としたものが図 5.2 である。これは前述のように、当社外鉄形変圧器の標準構造にもっとも近いので、経済性もよく、また漂遊損の見地から見ても、後述の鼓形巻線よりは劣るが、比較的良好であるので、多く採用している。ただ欠点として図 4.6 (c) の状態における分路巻線内の電位振動がやや大きくなる場合があり、これに対処した設計を行なう必要がある。

大容量器となれば、図 5.3 に示すような、いわゆる鼓形配置コイルがしばしば採用される。この形の巻線は、電位振動あるいは漂遊損の見地から見て最もすぐれているため、単巻変圧器のコイル構造としては理想的なものであるが、直列巻線、分路巻線とも二つの並列回路に分割されるため、各巻線の電流容量が十分に大きくないと、巻線の占積率が低下し、経済性が悪くなるので、この意味で大容量器に適した構造ということができる。

一般に当社の外鉄形交互配置コイルでは、群数（HL 数）として、2, 4 などの偶数が採用される。この理由は、主として漂遊損の見地からであり、図 5.3 に示すように、群数が偶数で、しかも漏れ磁束分布が左右同形で方向が逆であるというような、いわゆる balanced design では、漏れ磁束の半分以上が左右の群の間を循環してコイルエンド側へ出てこないために、タンクその他の構造物に発生する漂遊損が減少することになる。漂遊損の減少は、普通形変圧器においてももちろん重要な問題であるが、単巻変圧器では一般に漏れ磁束量が多いものが多いので、とくに重要な問題となるわけで、この点から見ても偶数群数でしかも完全な balanced design である鼓形配置巻線は、理想的なコイル構造ということが

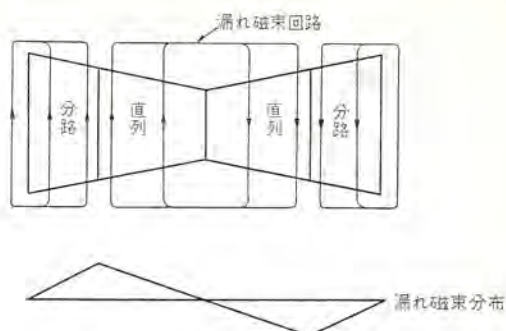


図 5.3 鼓形 コイル 配置  
Fig. 5.3 Hour-glass type coil.

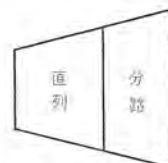


図 5.4 1 群構成の単巻コイル  
Fig. 5.4 Auto-connected coil in one group arrangement.

できる。表 2.1 の中で、オーストラリア納めの 145 MVA 器には、この構造が採用されている。

仕様の  $\text{coratio}$  が小さく、かつ線路容量ベースで高いインピーダンスが要求されている場合には、鼓形配置を採用しても過度に銅機械となり、経済性がそこなわれる場合がある。このような場合には、図 5.4 に示すような、鼓形配置を半分にしたようなコイル配置が採用されるが、これは奇数群数（1 群）の unbalanced design であるので、漏れ磁束による漂遊損に対して、十分に考慮を払わなくてはならない。

## 6. む す び

電力広域運営に伴う電力会社間の超高圧連系の推進、輸出の増大、超々高圧送電計画の具体化など内外の情勢から、脚光を浴びつつある電力用単巻変圧器について、その利点、設計上の問題点と、当社の電力用単巻変圧器の構造について概略を述べた。なんらかのご参考となれば幸いです。

## 参 考 文 献

- (1) 村上・田村：電力用単巻変圧器と外鉄形 Form-Fit 変圧器「三菱電機」30, No. 12 (昭 31)
- (2) Farry: Tertiary Winding in Autotransformers TAIEE 61-13
- (3) Froidevaux, ほか: Special Problems on Large High Voltage Autotransformers CIGRE Report 113 (1960)



## AHF-50 形 直 流 高 速 度 シ ャ 断 器

渡 辺 睦 夫\*

## Type AHF-50 High Speed Air Circuit Breakers

Kôbe Works Mutsuo WATANABE

To cope with ever increasing traffic capacities of urban and suburban electric railways, and also to meet enlarging production in such industries calling for DC power supply as electrochemistry and steel manufacture, the expansion of their power supply facilities are on the pressing demand. Consequently, fault currents on the occurrence of short circuit become enormously large, and high speed circuit breakers used for the protection of DC circuits are required high performance of large rated currents and large setting calibration values. Large interrupting capacities and excellent current limiting characteristics are also required among the rest. Type AHF-50 DC high speed circuit breakers rated 1,500 V DC 5,000 A are developed to answer the purpose, having the rated peak-let through current of 25 kA at an initial rate of current increase  $3 \times 10^6$  A/s and the maximum prospective fault current 50 kA. It has been proved by an AC equivalent interrupting test that the circuit breaker can positively interrupt the maximum prospective fault current 120 kA at the power supply voltage 1,500 V and an initial rate of current increase  $3.9 \times 10^6$  A/s.

The circuit breaker is of a magnetic holding and collision opening type with ingenious mechanism of operative on both pneumatic and electric closing devices, being small sized and lightweight. They are very convenient for being employed as a draw-out structure.

## 1. ま え が き

最近、大都市およびその近郊における電気鉄道は逐年驚異的な増加傾向にある乗客の輸送力を増大するため変電所の電源設備容量を増大しようとしており、また電気化学、製鉄ミルなど直流電源を必要とする一般工業においても生産力増強のためその電源設備容量を増大化する傾向にある。このため、いったん短絡事故などが発生したときの事故電流は非常に大きくなり、数万Aあるいは10数万Aに達することさえある。したがって、これら直流回路の保護に使用される直流高速度シャ断器は定格電流および設定電流目盛値の大きいものが要求されるとともに前記事故に対してもシャ断でき、回路および関連する機器を保護するためにシャ断容量が大きく、限流特性のすぐれたシャ断器が要求されるようになった。

これらの要求を解決するために、当社ではさきに開発しすでに多数の製作実績をもつAHF-30形直流高速度シャ断器における電磁保持、衝撃開放形の特長を生かし、操作機構の一部を改良してその投入操作方式に空気または電気のいずれでも採用できるようにしたAHF-50形直流高速度シャ断器を開発した。以下にこのシャ断器の構造、諸性能の概要について述べる。

## 2. 定 格

AHF-50形高速度シャ断器のおもな定格は次のとおりである。

形 式	AHF-50 形
定格電圧	DC 1,500 V
定格電流	5,000 A
方 向 性	正方向性
定格シャ断容量	50,000 A

突進率  $3 \times 10^6$  A/s の回路における  
推定短絡電流最大値

定格投入操作圧力	5 kg/cm <sup>2</sup> (空気投入操作方式)
定格投入操作電圧	DC 100 V, 200 V (電気投入操作方式)
標準動作責務	0-30 sec-CO
定格保持電流	0.6 A
重 量	550 kg (電気投入操作方式, 引出形)

## 3. 特 長

AHF-50形高速度シャ断器は次の特長を有している。

(1) 電磁保持衝撃開放形の機構採用、軽量な可動部分の構成および適切な構造の大容量消弧室の使用により、シャ断容量が大きく、限流特性にすぐれ、シャ断特性は安定している。

(2) アーク接触子は可動接触子側でフォローをもたせる構造としたため、その動作は安定、確実であり、大電流のシャ断に際しても主接触子の溶損はほとんどない。

(3) このシャ断器の投入操作方式は空気または電気のいずれでも採用できる。またこのシャ断器の据付方式は引出形を標準としているが、固定形とすることもできる。これらのため、このシャ断器は現在電気投入操作方式、固定フレームと組み合わせて使用する引出形を標準としている国鉄用および電気投入操作方式を標準としている私鉄および一般工業用として引出形あるいは固定形として使用することができ、その応用範囲がきわめて広い。

(4) 前記投入操作方式は納入後現地で簡単に他の投入操作方式に変更することができるため、将来の計画変更に対して便利な構造である。

(5) このシャ断器の投入装置および制御回路は主回路電位から十分絶縁されている。また、投入装置および補助スイッチは一般に空間であり、かつ大地電位であるシャ断器の取付台内部に装着できる構造にしたため、シャ断器は小形軽量に構成され、いずれの投入操作方式を採用してもシャ断器の外形寸法は変わらず、保守点検が容易で、取扱いも便利である。



(9) 引出形として使用する時のシタ断器の引出装置は低位置であるシタ断器の取付台に装着されているが、その操作軸は自在継手により適当な位置に延長されているため、操作しやすく、主回路電位を受ける部分から十分離れた安全な状態でシタ断器の引出し、そう入ができる。

図 4.1 は引出形 シュ断器の外形写真であり、主回路および制御回路は簡単に着脱でき、また他の同一形式の シュ断器との互換性をもった構造になっている。シュ断器の下部取付台には移動用車輪がついており、また引出装置、投入装置、補助スイッチなどが

図 4.4 は主要部の構造説明図である。図はシタ断器の開放状態を示しているが、閉合状態では可動、固定両接触子が接触し、閉合パネにより通電に必要な接触圧力を与えられ、常時負荷電流は下部端子から入り、自動引はずしコイルと誘導分路の並列回路を通り、可動銅帯、可動接触子、固定接触子および接触部の両側に並列に巻かれた吹消コイルを通って上部端子に至る。接触部は



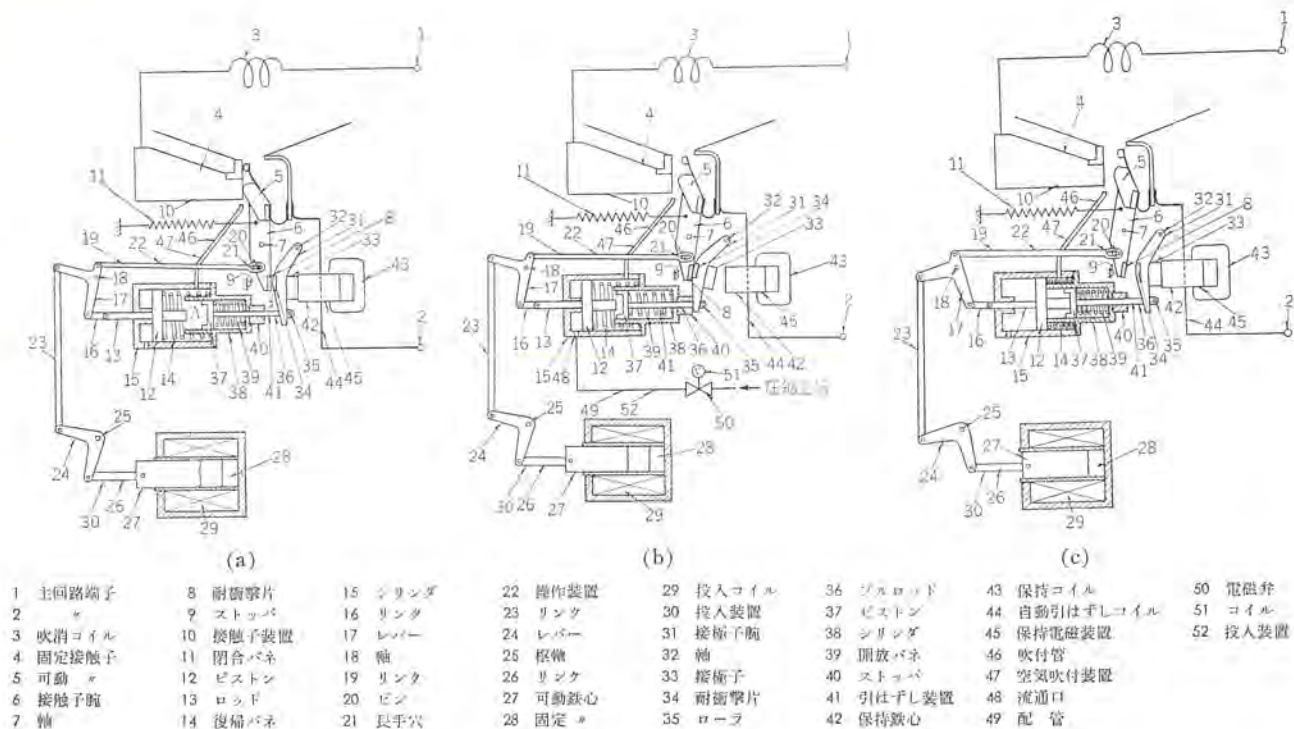


図 4.5 動作説明図

Fig. 4.5 Diagram showing operating cycle of type AHF-50 high speed circuit breaker.

主接触子とアーク接触子とから構成され、主接触子には銀接点、主接触子に遅れて開離するアーク接触子には銀タングステン耐弧合金を使用している。また、アーク接触子は可動接触子側でフォローを持たせる構造である。これは接触部の開離に際してアーク接触子の慣性を追従動作に積極的に利用するものであり、そのフォロー寸法は比較的小さくても、その動作は安定、確実であり大電流遮断に際しても主接触子の溶損はほとんどない。

また、図 4.5 にこの遮断器の動作説明図を示す。図 4.5 (a) は閉合状態、図 4.5 (b) は開放状態、図 4.5 (c) は投入過程の状態である。なお図 4.5 (a) および図 4.5 (c) には電磁ソレノイドを備えた電気投入操作方式を示したが、図 4.5 (b) には空気投入操作方式の場合に使用する電磁弁と前記電磁ソレノイドを並記して示した。図 4.4 および図 4.5 からわかるように、この遮断器の主要機構部分は、接触子装置 10、接触子装置と機械的に隔離された引はずし装置 41、接触子装置の閉合に際し引はずし装置を付勢するよう作動するとともにその間接触子装置を開離状態に鎖定保持するための操作装置 22、引はずし装置を常時保持し異常電流に応じて解放するための保持電磁石装置 45、小電流遮断用空気吹付装置 47 および電気投入装置 30 または空気投入装置 52 から構成され、これらの装置は巧みに組み合わされた構造である。

次にこの遮断器の動作について説明する。

#### 4.2 開放動作

図 4.5 (a) に示す遮断器の閉合状態において、接触子腕 6 は閉合パネ 11 により反時計方向に回動付勢され接触子腕 6 の上端に定着された可動接触子 5 は固定接触子 4 と接触している。一方保持鉄心 42 は保持コイル 43 による保持磁束により接極子 33 を吸着している。接極子 33 は接極子腕 31 に定着され、接極子腕の自由端にはローラ 35、プルロッド 36 を介して開放パネ 39 による開放力が作用している。この状態において接触子腕 6 の下端と接極子腕 31 の自由端とは図のように間ギャップを介して対向している。

主回路に故障電流が流れると、自動引はずしコイル 44 による引はずし磁束は前記保持磁束を打消し保持鉄心 42 は接極子 33 を解放する。その結果、開放パネ 39 はピストン 37 およびプルロッド 36 を左方へ引き、接極子腕 31 は開放パネ 39 の付勢力により急速に時計方向に駆動されて所定の蓄勢間ギャップを運動の後接触子腕 6 の下端に衝突する。この衝突により接触子腕 6 は接極子系が間ギャップを運動する間に蓄勢したエネルギーによって可動接触子、接触子腕の慣性および閉合パネ 11 の付勢力に対し急速に時計方向に回動付勢され可動接触子 5 ついでアーク接触子は大きな初開離速度をもって開離方向に駆動される。なお、接極子 33 の解放によるピストン 37 およびプルロッド 36 の左方移動によりピストン 37 は空気室 A の大気圧空気を圧縮する。この圧縮された空気は吹付管 46 を介してアーク接触子の開放により両者間に発生するアークに吹き付けられ直列吹消コイル 3 による磁気吹消が期待できない小電流をも確実に遮断する。遮断動作が完了すると図 4.5 (b) に示す状態となる。

#### 4.3 投入動作

この遮断器には前述のように電磁ソレノイドによる投入装置 30 または圧縮空気による投入装置 52 のいずれでも付属させることができるが、まず電磁ソレノイドによる投入動作について説明する。

電磁ソレノイドの投入コイル 29 を付勢するとその可動鉄心 27 は固定鉄心 28 に吸引され右方に移動する。可動鉄心 27 の右方への移動はリンク 29 を介してレバー 24 をその軸 25 の回りに反時計方向に回動させ、さらにリンク 23 を介して T 字形レバー 17 をその軸 18 の回りに反時計方向に回動させることになる。レバー 17 の回動はリンク 16 を介してロッド 13 およびピストン 12 を復帰パネ 14 の付勢力に対して右方に移動し一定距離移動の後ピストン 37 と衝突しピストン 37 を開放パネ 39 の付勢力に対して右方に移動するとともに、リンク 19 を左方に移動する。ピストン 37 の移動によりプルロッド 36 の先端に回転自在に結合されたローラ 35 は接極子腕 31



自由端との係合を断ち右方へ移動し接極子腕 31 はその自重により反時計方向に回転して接極子 33 は保持鉄心 42 の吸着面に接触する。保持鉄心 42 の吸着面には保持 コイル 43 による保持磁束が存在しているので接極子 33 は保持鉄心 42 に確実に保持される。一方、前記 ロ-ラ 35 が接極子腕 31 との係合を断つことにより接極子腕 6 は閉合 パネ 11 の付勢力によって軸 7 の回りに反時計方向に回転し、可動接極子 5 が固定接極子 4 に接近しようとするが、リンク 19 の左方への移動によりリンク 19 の長手穴 21 が接極子腕 6 の下端に定着したピン 20 と係合することにより、閉合 パネ 11 の付勢力にたいして可動接極子 5 は開放状態に保持される。この状態を示したのが図 4.5 (c) である。前記可動鉄心 27 が全行程移動すると、レバー 24 に連動された図 4.4 に示す操作用補助スイッチ (54Fa) が動作し、投入 コイル 29 が消勢される。したがって復帰 パネ 14 および閉合 パネ 11 の付勢力によりピストン 12 および可動鉄心 27 は復帰し、引はずし機構は開放動作可能な状態に整定され、接極子腕 6 は閉合 パネ 11 の付勢力により反時計方向に回転して接触部を閉合し図 4.5 (a) に示す閉合状態となる。

次に圧縮空気による投入動作について説明する。

電磁弁 50 のコイル 51 を付勢すると、圧縮空気源からの圧縮空気が配管 49 を通ってシリンダ 15 の流通口 48 に供給される。この圧縮空気によりピストン 12 は右方へ移動し、前記 T 字形 レバー 17 をその軸 18 の回りに反時計方向に回転させることになる。したがって、以下電磁ソレノイドの可動鉄心 27 がその固定鉄心 28 に吸引されたと同様の作動により図 4.5 (c) に示す状態となり、この状態で前記同様操作用補助スイッチ (54Fa) により電磁弁 コイル 51 が消勢される。電磁弁 コイル が消勢されると流通口 48 から供給されたシリンダ 15 内の圧縮空気は流通口 48、配管 49 を通って電磁弁 50 の排気口から排出される。したがって前記電磁ソレノイドの投入コイル 29 が消勢されたと同様の作動によりシャ断器の投入動作は完了し図 4.5 (a) に示す閉合状態となる。

以上の説明からわかるようにこのシャ断器の引はずし装置に与えられる開放力は開放 パネ 39 によってのみ与えられ、接触部閉合時の速度の大小、衝撃力の大小にはまったく関係しないため、シャ断器の投入に際して保持電磁石の強励磁その他の緩衝装置は必要なく、また負荷投入時の動作電流値と通常の動作電流値とは一致する。またシャ断器の開放時、引はずし装置の運動量は、接触部に アーク のこう着時間を短縮するに有効な大きな初離離速度を与えるが、その後、閉合 パネ 11 の伸長、小電流 シャ断用空気室 A の圧縮などにより減衰するため引はずし装置の ストップ 40 の容量は比較的小さくすみ、また構造部に与える衝撃力も小さくなり。このシャ断器は小形軽量に構成される。

## 5. 性 能

AHF-50 形正方向直流高速度 シャ断器のおもな性能および試験結果について以下に述べる。

### 5.1 引はずし特性

#### (1) 漸進電流による過電流引はずし特性

保持電磁石磁路にそう入されている目盛鉄心の調整により電流目盛 5,000 A、6,000 A、7,000 A、8,000 A および 10,000 A の各値に設定した場合の保持電流対動作電流特性曲線を図 5.1 に示す。この図からあきらかなようにこのシャ断器の自己保持電流は非常に高く、キ電線用シャ断器として考えられる逆流値を大きく上回っている。またこのシャ断器の保持電磁石および接極子には

AHF-50 形直流高速度 シャ断器・渡辺

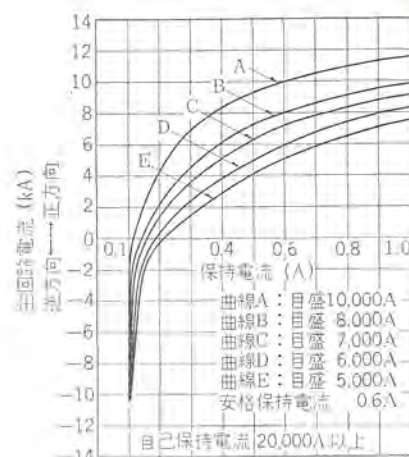


図 5.1 動作特性曲線

Fig. 5.1 Calibration curves of type AHF-50 high speed circuit breaker.

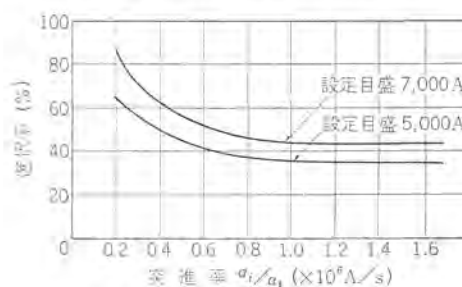


図 5.2 突進率と選択特性

Fig. 5.2 Fault discriminating characteristics of type AHF-50 high speed circuit breaker.

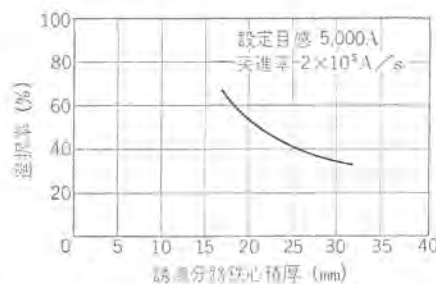


図 5.3 誘導分路鉄心積厚と選択特性

Fig. 5.3 Fault discriminating characteristics of type AHF-50 high speed circuit breaker.

特殊表面処理を施しこれらの防シヨウ(錆)力を増すとともに、その接着面にはわずかではあるが空ゲキを設けたため、長期間の使用に対しても目盛誤差は少なく、電流目盛は安定している。

#### (2) 突進電流による引はずし特性(選択特性)

図 5.2 にこのシャ断器の突進率と選択率の関係を示す。この図は突進率  $2 \times 10^5 \text{ A/s}$  において、電流目盛値の 60% 以上の負荷電流を投入できるよう誘導分路の鉄心積厚を調整したときの選択特性を示している。図 5.3 は突進率  $2 \times 10^5 \text{ A/s}$  における供試シャ断器の誘導分路鉄心積厚と選択率の関係を示す曲線である。

### 5.2 通電容量および絶縁耐力

2,000 回の連続開閉試験終了後温度上昇試験を実施した。この試験によりこのシャ断器は連続定格および短時間定格に対する十分な通電容量をもっていることが確認された。また絶縁耐力試験は、商用周波耐電圧試験および衝撃耐電圧試験を表 5.1 の値で行ない、いずれも問題なく合格した。

### 5.3 開極時間

キ+パシタの放電電流をシャ断器の自動引はずしコイルに流し、そ



表 5.1 絶縁耐力試験

測定部	試験電圧 (kV)	
	商用周波 (1 分間)	衝撃電圧
主接触子相互間	5.5	20
主電部と操作装置の導電部 および接地部の間	5.5	20
操作装置の導電部と接地部の間	1.5	5

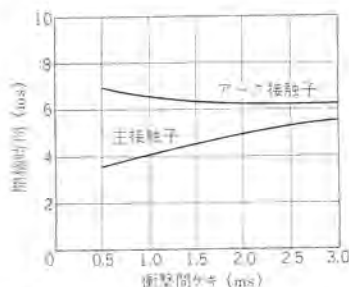


図 5.4 衝撃間ゲキと開極時間

Fig. 5.4 Impulse gap vs opening time of type AHF-50 high speed circuit breaker.

の放電電流が流れ始めてからシャ断器の主接触子およびアーキ接触子が開離するまでの時間をオシログラムにより測定した。図 5.4 はこのときの試験結果であり、衝撃間ゲキの大きさと開極時間の関係を示す曲線である。この試験において、前記放電電流により自動引はずしコイルに供給された引はずし電流は 2~3 ms の極短時間であり、しかも波高値が比較的小さいため、実際に故障電流をシャ断する場合の開極時間とは多少異なるが、図 5.4 はこのシャ断器の衝撃間ゲキが多少変化してもアーキ接触子の開極時間はほとんど変わらず、その開離速度は衝撃間ゲキが増すほど増大することを示している。

#### 5.4 シャ断性能

##### (1) 大電流シャ断性能

シャ断器の定格電流が大きくなると、その通電容量を保证するために、当然通電部分が大形化し、同一構造のシャ断器では、可動接触子およびこれを支持する接触子腕など可動接触子系運動部分の重量が増大しその部分の慣性質量が増大する。この慣性質量の増加分に相当するだけ接触部の開放力を増すことは、シャ断器の機構部分、構造部分に対する静的、動的機械力の増大、これに対処するための機構要素部分の強大化、構造部の大形化など多くの問題がつかまとう。このため、高速度シャ断器の開極時間、初開離速度を速くすることはその通電容量が増すほど困難になり、その限流特性をよりよくすることはいっそうむずかしくなるのが普通である。一方このシャ断器が使用される回路からはその電源容量が大きく、したがっていったん短絡事故などが発生したときの事故電流が大きいため、一般に電流目盛値の設定が高いにもかかわらず、その事故電流のすみやかな限流シャ断が要求される。現在 JEC-152 に規定されている定格シャ断容量 50,000 A および定格シャ断電流 25,000 A は定格電流 3,000 A 以下の直流高速度シャ断器に対する規定であり、このたび日本国有鉄道はその規格仕様書 (電 71430 号 A) に定格電流 4,000 A の直流高速度シャ断器を追加し、定格電流 3,000 A と同様のシャ断性能を要求している。AHF-50 形直流高速度シャ断器は前記規格 JEC-152 および電 71430 号 A に規定された定格電流 3,000 A 以下のシャ断器と同様のシャ断性能を発揮し、小形、軽量に構成するよう、電磁保持、衝撃開放形の機構を採用し、運動部分の慣性質量をで

きるだけ小さくした高速度シャ断器である。

当社では、AHF-50 形直流高速度シャ断器のシャ断性能を確認するために 50 MVA 交流短絡発電機を使用し交流等価シャ断試験を実施した。この試験は前記発電機を約 10 c/s で運転し、その電源電圧波高値 1,750 V、供試シャ断器に対する短絡瞬時電圧、回復電圧とも 1,500 V 以上になるよう位相制御を行なったものである。このときの試験回路を図 5.5 に示す。表 5.2 はこの試験のおもな試験結果、図 5.6 は推定短絡電流最大値 51,000 A のときの O 動作シャ断試験オシログラム、図 5.7 は同 123,000 A のときの O 動作オシログラムである。また図 5.8 は推定短絡電流 123,000 A をシャ断したときの状況を撮影した写真である。

このシャ断器は、定格電流 5,000 A であり、したがって前述のように可動接触子系の慣性質量が定格電流 3,000 A のシャ断器に比べ相当大きくなっているにもかかわらず、推定短絡電流最大値 50,000 A のときの実シャ断電流は 25,000 A 以下となり限流特性のすぐれていることを立証している。また推定短絡電流最大値 123,000 A の故障電流を電源電圧 1,500 V、突進率  $3.9 \times 10^6$  A/s のもとにおいて確実にシャ断することができる。なお、このシャ断器は約 50 回の大電流交流等価シャ断試験を通じて終始安定したシャ断特性を示し、10 数回に及ぶ約 120,000 A CO 動作シャ断試験においても主接触子の溶損はなく、またアーキ接触子、消弧壁の損耗もほとんどなく、大電流シャ断性能のすぐれていること

表 5.2 交流等価シャ断試験結果

推定短絡電流最大値 (A)	電流突進率 (A/s)	試験電圧 (V)		実シャ断電流 (A)	アーキ電圧最大値 (V)	全シャ断時間 (ms)	備 考
		給電電圧	回復電圧				
51,000	$3.8 \times 10^6$	1,680	1,560	24,000	3,600	16.2	O 動作
83,000	$3.2 \times 10^6$	1,660	1,570	29,400	3,600	19.0	
116,000	$3.1 \times 10^6$	1,660	1,620	30,000	3,760	18.0	
54,000	$3.5 \times 10^6$	1,740	1,530	25,000	3,680	17.0	CO 動作
93,000	$3.6 \times 10^6$	1,750	1,500	30,000	3,920	17.2	
123,000	$3.9 \times 10^6$	1,730	1,430	35,100	3,920	18.6	

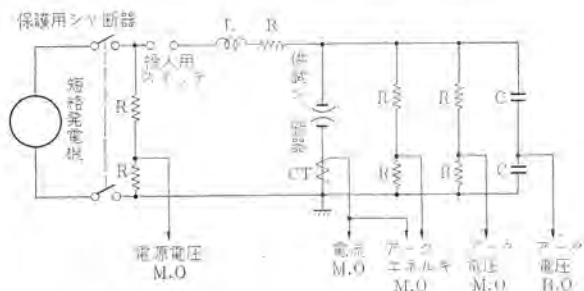


図 5.5 交流等価シャ断試験回路

Fig. 5.5 The circuit of AC equivalent interrupting test.

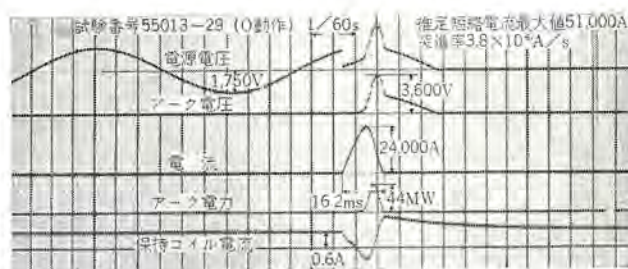


図 5.6 交流等価シャ断試験オシログラム (推定短絡電流最大値 51,000 A O 動作)

Fig. 5.6 Oscillogram of AC equivalent interrupting test (maximum prospective fault current 51,000 A).





図 5.7 交流等価シヤ断試験オシログラム  
(推定短絡電流最大値 123,000 A CO 動作)  
Fig. 5.7 Oscillogram of AC equivalent interrupting test  
(maximum prospective fault current 123,000 A).



図 5.8 交流等価試験のシヤ断状況  
(突進率  $3.9 \times 10^5$  A/s 推定短絡電流最大値 123,000 A)  
Fig. 5.8 AC equivalent interrupting test.

を確認することができた。さらに、このシヤ断器の大電流シヤ断に対するアーク空間を検出するために消弧室を中央にし、その周囲を、上部に金網を設けた鉄板で囲んでシヤ断試験を実施し、貴重な資料を得ることができたことを報告しておく。

#### (2) 手動シヤ断性能

回路インダクタンス 7.6 mH および 15.4 mH のときの手動シヤ断試験結果を表 5.3 に示す。図 5.9 は回路インダクタンス 7.6 mH シヤ断電流 7,500 A のときのオシログラムである。

#### (3) 小電流シヤ断試験

大電流シヤ断試験後通電方向を逆にして小電流シヤ断試験を行ない、小電流シヤ断用空気吹付装置の効果を確認した。この試験

表 5.3 手動シヤ断試験結果

試験電圧 (V)	シヤ断電流 (A)	回路 インダクタンス (mH)	アーク電圧 最大値 (V)	アーク時間 (mS)
1,500	2,900	7.6	3,340	24.6
1,500	7,500	7.6	3,800	34.3
1,500	4,000	15.4	3,830	38.7

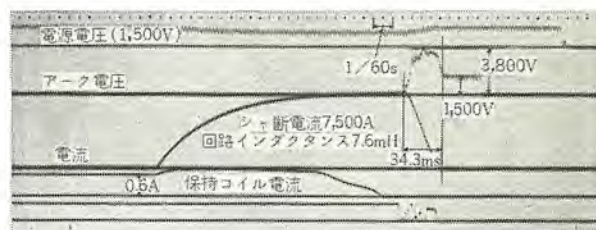


図 5.9 手動シヤ断試験オシログラム  
Fig. 5.9 Oscillogram of DC interrupting test.

で、約 7 A の電流をシヤ断したときのアーク時間は約 18 ms であった。

## 6. む す び

以上述べたように今回開発した AHF-50 形正方向直流高速度シヤ断器は、さきに関しすでに 300 台余りの製作実績をもつ AHF-30 形正方向直流高速度シヤ断器と同一系列であるが、AHF-30 形高速度シヤ断器はその投入操作方式が空気専用であるのに対し、AHF-50 形高速度シヤ断器ではその操作機構を改良し、その投入操作方式は空気または電気のいずれでも採用できるよう考慮して設計した。またこのシヤ断器は引出形として使用するのに非常に便利な構造である。これらのことは、このシヤ断器が小形、軽量にして高性能なこととあいまって、このシヤ断器は国鉄のみならず私鉄その他一般工業用直流回路の保護に広く応用でき、その市場が拡大されるものと期待している。

なお、当社では前記 AHF-30 形高速度シヤ断器についても電気投入操作方式を採用し得よう現在設計変更を計画中である。

終わりにこのシヤ断器の交流等価シヤ断試験に当り多大のご協力をいただいた当社伊丹製作所の関係各位に厚く謝意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 岩垂、渡辺：「三菱電機」34, 393 (昭 35)



## LV-GL 形 配 電 用 避 雷 器

加藤 又彦\*・大木 正路\*\*・岡田 昌治\*  
鎌田 隆好\*・田 口 修\*・永井 信夫\*

## Type LV-GL Autovalve Lightning Arresters

Itami Works

Matahiko KATŌ・Masamichi OHKI・Masaji OKADA  
Takayoshi KAMADA・Osamu TAGUCHI・Nobuo NAGAI

Since the commencement of manufacturing Type LV distribution valve type lightning arresters in 1930, various kinds of protective apparatus against lightning surges have been produced. Recently new AUTOVALVE lightning arresters of Type LV-GL (distribution valve type arresters) have been developed based on rich experience in the field of lightning protection. Although they are designed compact in conformity to 2,500A lightning arresters of JEC-156 standard, the LV-GL arrester has series gaps of high interrupting ability with permanent magnet for arc suppression and discharge capacities of 150 A 2ms. 20 times. In addition, they are assured of low sparkover level and contaminationproofness. The Company's newly devised leak tests using a vacuum tank have manifested the airtightness with every assembled unit.

## 1. ま え が き

近年とくに配電系統の合理化が叫ばれ、耐雷設計の資料の一環として各地で実測が行なわれているが、その実測結果を含めた「配電線耐雷設計基準要綱（電力中央研究所技術研究所）」が発刊されるに及んで、配電線の雷サージ発生機構とその保護対策が解明され、耐雷設計指針が確立されたといえる。

当社では昭和5年にLV形配電用避雷器の製作を開始して以来、発電電所用避雷器・配電用避雷器を含めた避雷装置を製作し耐雷設計に寄与しているが、配電用避雷器の分野においても、性能・納入実績・適用成果において鋭意努力を重ね今日にいたっている。

これらの豊富な経験を生かし、配電用避雷器の改良研究を進めた結果、永久磁石消弧式LV-GL形避雷器を新しく開発した。この新製品は、耐雷設計基準要綱に記載された要求事項を満足させるもので、適用上の便宜をはかるため小形・軽量に設計されており、避雷器の新規格JEC-156（1963）の2,500A避雷器の性能を有し、耐汚損特性も従来品に比較し一段と向上している。昭和39年9月に9電力会社参加による公開試験を行ない、良好な保護特性・高い遮断性能を実証し、有用な防爆効果も認められ

た。

LV-GL形避雷器は、すでに従来のLV-GA形避雷器から切り換えを行なって量産を開始し、定格8.4kV以下の各種定格のものが納入されている。

## 2. 構 造

LV-GL形避雷器の設計指針は、保護性能の向上と小形化により適用上の便宜をはかることに重点をおいた。これは、できるかぎり部品数を減らすとともに標準化をはかり、かつ性能の向上を目的として改良を重ねた結果所期の目的を達したもので、量産体制も強化されて短納期の受注に応ずることができるようになり、量産品としての理想的な生産体制に一步近づいたといえる。

## 2.1 外観構造

LV-GL形避雷器は、ガイ管に避雷器要素を収納した後、パッキンを介して金属フタをガイ管に圧着し完全密封構造としている。線路側および接地側端子はこの金属フタにそれぞれ取り付けられており、心線をさし込んだ後ネジで締め付ける構造をとっている。

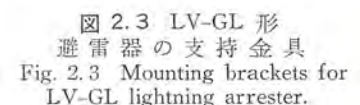
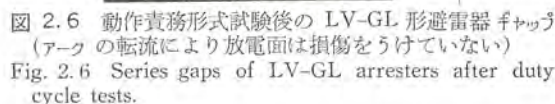
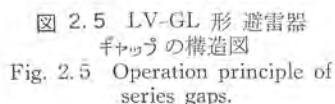
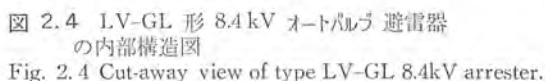
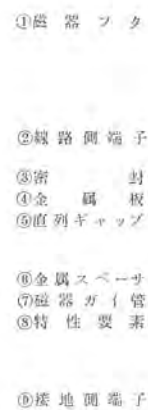
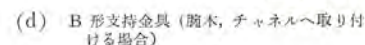
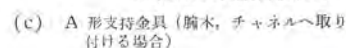
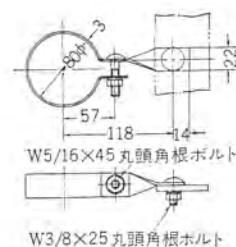
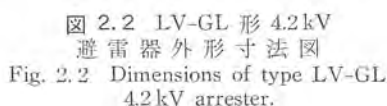
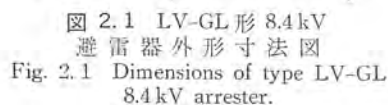
線路側には特別に設計された絶縁用の磁器フタを取り付けることが可能で、磁器フタ内部に装着された特殊なコイルパネによって、



図 1.1 LV-GL 形 オートバルブ 避雷器

Fig. 1.1 Type LV-GL AUTOVALVE lightning arresters.





(657) 15



生じた場合図 2.5(b) のように円形に駆動される。したがって避雷器動作時に アーク が電極の一点に留まることがないので電極の消耗がほとんどなく、消弧能力の高いギャップが得られる。この永久磁石はフェライト系磁石で、きわめて抗磁力が高く、熱に対しても安定した性能をもっている。

LV-GL 形避雷器は衝撃比が低くなるようにギャップ構造・組立構造が設計されており、急しゅんなサージに対しても遅れがなく良好な放電特性を有する。また、直列ギャップと磁器ガイ管内面との空気を大きくとることによりガイ管表面漏れ電流との静電結合を小さくし、さらに直列ギャップ上下に配置された金属板によるシャハイ効果との重畳で、ガイ管表面の汚損による放電特性変化を最小限に防止している。

### 3. 性 能

LV-GL 形避雷器は JEC-156(1963) の 2,500 A 避雷器の定格を有し、その特性を表 3.1 に示すが、規格値に十分な裕度をもった保護性能を有する。

#### 3.1 放電特性

放電開始電圧-時間特性を図 3.1 に示すが、急しゅんなサージに対する放電の遅れも少なく、放電開始電圧のバラツキの少ない安定した特性を有している。衝撃放電開始電圧試験の代表オシログラム

表 3.1 LV-GL 形 避 雷 器 特 性

定 格 電 圧 (許容端子電圧) (kV) rms	使用回路電圧 非 有 効 接 地 (V)	商 用 周 波 放 電 開 始 電 圧 (kV) rms 以 上	衝擊放電開始電圧 kV crest 以下				制 限 電 圧 (kV) crest 以下	
			100%		0.5 μs			
			規 格 値	標 準 特 性	規 格 値	標 準 特 性	2,500A	5,000A
※0.65	750 以下	2.5	—	6	—	—	5	6
1.4	1,100	3	—	8	—	—	7.5	9
2.1	1,650	4	—	10	—	—	11	13
2.8	2,200	5	—	12	—	—	11	13
4.2	3,300	6.9	17	14	20	17	14	16
8.4	6,600	13.8	33	28	38	33	28	32

注※ 適用回路は交流 0~750V の回路で被保護機器の衝撃耐電圧が 7,500V crest 以上あれば使用できる。

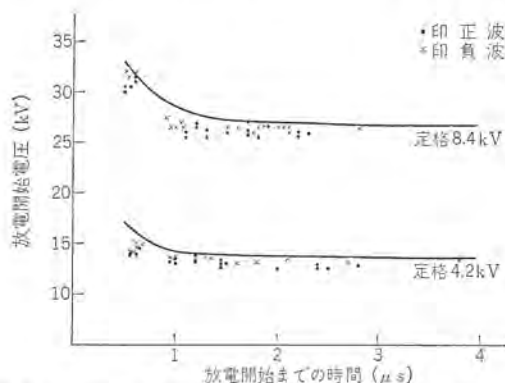


図 3.1 LV-GL 形避雷器の衝撃放電開始電圧-時間特性  
Fig. 3.1 Volt-time characteristics of type LV-GL arresters.

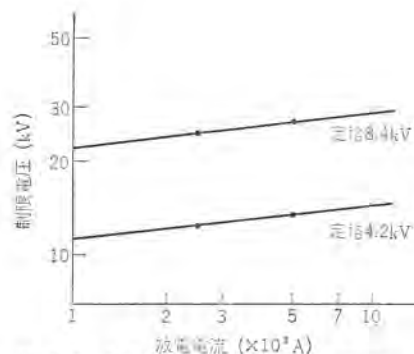


図 3.3 LV-GL 形避雷器の制限電圧-放電電流特性  
Fig. 3.3 Discharge voltage characteristics of type LV-GL arresters.

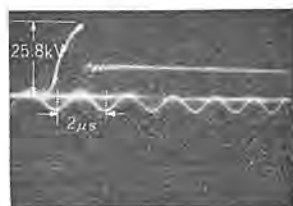
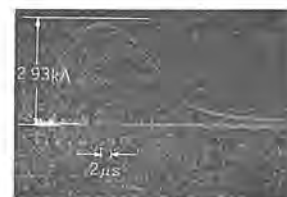


図 3.2 100% 衝撃放電開始電圧試験 オシログラム  
(LV-GL 形 8.4 kV 避雷器)

Fig. 3.2 Oscillogram of 100% impulse sparkover voltage tests on LV-GL 8.4 kV arrester.



(a) 電 圧 波 形

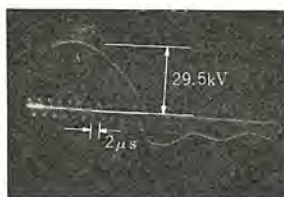


(b) 電 流 波 形

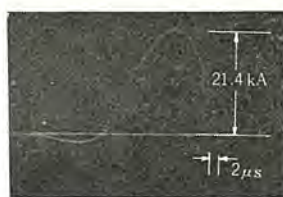
図 3.4 制限電圧試験の オシログラム  
(LV-GL 形 8.4 kV 避雷器)

Fig. 3.4 Oscillograms of V-I characteristic tests on LV-GL 8.4 kV arrester.





(a) 電圧波形



(b) 電流波形

図 3.5 衝撃放電耐量試験 20 kA 50 回連続印加試験  
オシログラム (LV-GL 形 8.4 kV 避雷器, オシログラム  
は 50 回目試験時のもの)

Fig. 3.5 Oscillograms of impulse current with-standing test on LV-GL 8.4 kV arrester 20 kA, 50 times, 1 min. interval.

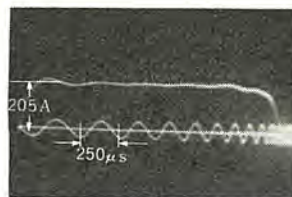


図 3.6 LV-GL 形避雷器の  
方形波放電耐量 オシログラム  
Fig. 3.6 Oscillogram of  
long duration current  
withstanding tests on  
LV-GL arrester.

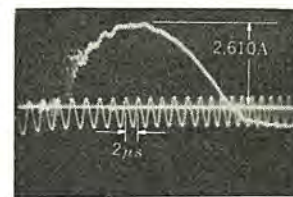


図 3.7 動作責務試験の始動衝  
撃電流 オシログラム  
Fig. 3.7 Oscillogram of impulse  
current at duty cycle tests.

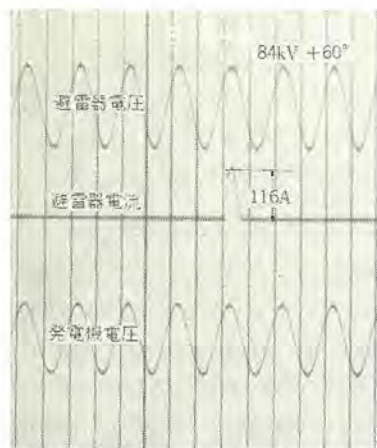


図 3.8 普通動作責務試験 オシログラム  
(LV-GL 形 8.4 kV 避雷器)  
Fig. 3.8 Oscillogram of duty cycle  
tests on LV-GL 8.4 kV arrester.

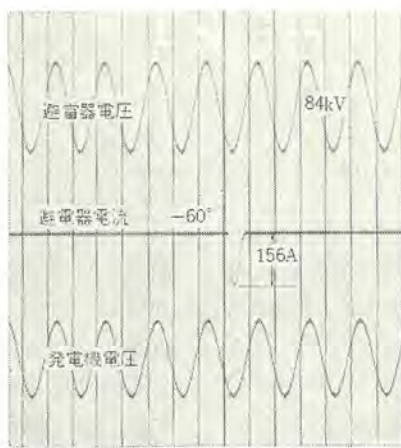


図 3.10 固有短絡電流 10,000 A  
回路における動作責務試験 オシログラム  
(LV-GL 形 8.4 kV 避雷器)  
Fig. 3.10 Oscillogram of duty cycle  
tests on LV-GL 8.4 kV arrester.

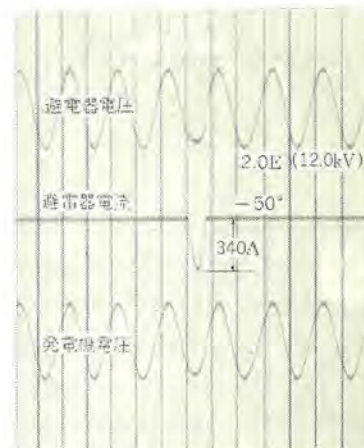


図 3.11 動作責務機圧上昇試験 オシログラム  
(LV-GL 形 8.4 kV 避雷器に対して  
12.0 kV を印加した)  
Fig. 3.11 Oscillogram of duty cycle  
tests on LV-GL 8.4 kV arrester.

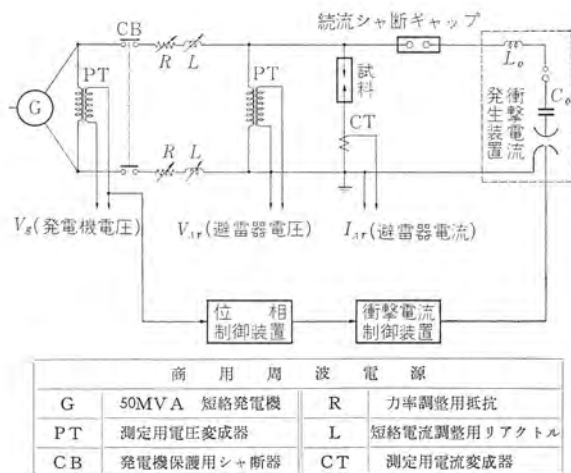


図 3.9 普通動作責務試験回路図  
(固有短絡電流 10,000 A)  
Fig. 3.9 Connection diagram for  
duty cycle tests.

JEC-156 では試験回数を同極性・逆極性各 5 回の計 10 回を規定しているが、参考として 50 回の動作責務試験も施行し続流をシャ断した。

### 3.5 固有短絡電流の大きな回路における動作責務試験

LV-GL 形避雷器は弁形避雷器構造であり、図 3.7 のオシログラムに示すように固有短絡電流 1,200 A の回路で試験した場合、続流流通時の避雷器電圧が無負荷時の商用周波電圧に比較して実質的に低下していないため、短絡電流容量に関係なく続流シャ断が

LV-GL 形配電用避雷器・加藤・大木・岡田・鎌田・田口・永井

可能であるが、一部の電力会社から参考試験として試験の要求を受けたため大容量回路での動作責務試験を施行した。

試験回路は図 3.9 に示すように短絡電流容量を大きくするため 50 MVA 短絡発電機を試験避雷器に直結して固有短絡電流 10,000 A とし、衝撃放電電流 2,610 A で同逆極性各 5 回・1 分間隔の普通動作責務試験を施行した。

代表オシログラムを図 3.10 に示すが、試験試料全数について続流をシャ断し、短絡電流容量に無関係に避雷器を適用できることが立証された。

### 3.6 動作責務機圧上昇参考試験と防爆効果

避雷器の続流シャ断能力の限界を検証する方法の一つとして、動作責務試験時の商用周波印加電圧を定格電圧から順次上昇させて行なう機圧上昇試験がある。

LV-GL 形 8.4 kV 避雷器について、9 電力会社立会による公開試験時にこの参考試験を施行したが、定格 8.4 kV に対し 143% にあたる 12 kV までの商用周波電圧印加状態で 2,610 A の衝撃放電電流による動作責務を果した。

さらに機圧を上昇させた試験では、12.6 kV の電圧印加時に続流シャ断不能となって避雷器要素は破壊し、引き続いて 1,100 A rms の短絡電流が流通したが、避雷器はガイ管下部の金属フタに穴があいて内部ガスを放出し、ガイ管は破壊せず防爆効果も良好であった。

このように高い続流シャ断能力が検証されたが、避雷器が定格以上の責務を負って、万一続流シャ断に失敗したときの防爆効果





図 3.12 動作責務破壊試験後の試料  
(公開立会試験時に機圧上昇法により  
破壊させたもの)

Fig. 3.12 An example of pressure relief.

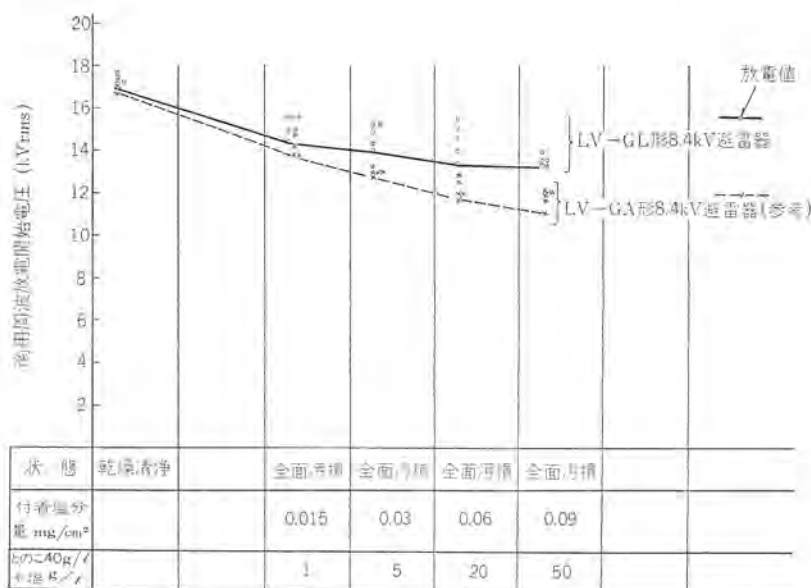


図 3.13 等価霧中試験法による避雷器汚損湿潤時の商用周波放電開始電圧特性  
Fig. 3.13 Pollution tests of arresters.

について説明を加えておく。避雷器が絶縁シャ断不能となるのは、一般に放電耐量以上のサージエネルギーを吸収する動作、または定格電圧以上の電圧が印加された状態での動作などの過酷な状態にさらされた場合などに起こりうる。避雷器要素が破壊し、さらに系統からの短絡電流が流通すれば特性要素からのジュール熱・短絡アークからの熱作用などでガスが発生し、ガイ管の内圧上昇によってガイ管が破壊する場合も生ずる。配電用避雷器はガイ管が小さいため破壊時の内圧上昇が急であることから、防爆効果をもたせておいたほうが望ましい。LV-GL 形避雷器は図 2.4 で周知のように特性要素を接地側金属フタに接触させて組み立てたことにより、特性要素が破壊した後さらに続けて短絡電流が流通すれば、その集中して流れる電流アークによりガイ管底部の金属フタが溶かされ、その部分に穴があいてガイ管内部のガスが放出される。公開立会試験時の防爆効果検証例を図 3.12 の写真に示すが、もしガイ管が破壊した場合でも、この防爆効果による内部ガス放出で飛散程度を最少限にとどめることができる。もちろん、この防爆構造は特性要素が貫通しないしは側面セン絡しない限り動作することではなく、正規の動作責務試験や放電耐量試験ではなんら異常なく、確実な動作特性を有している。

### 3.7 汚損特性

ガイ管表面汚損による避雷器の放電特性変化は、衝撃放電開始電圧は実質的に変化せず商用周波放電開始電圧が低下する傾向にあることから、この商用周波放電開始電圧の変化状況を等価霧中法により検証した。

比較のため従来の LV-GA 形避雷器と対比させたデータを図 3.13 に示すが、LV-GL 形のほうが放電開始電圧の低下の割合が小さく、耐汚損特性が一段と向上し、より汚損地区に適した構造になっていることがわかる。この等価霧中試験はとのこ 40 g/l と塩を 1~50 g/l の割合で水にとかし、試験試料ガイ管表面の塩分付着量が飽和するまで試料に吹き付け、スプレー停止後 30 秒経過して電圧を印加したもので、当社における等価霧中試験はスプレー停止後電圧印加までの時間が短いため、極端に過酷な試験を行なっていることになり、他のデータと比較する場合は注意を要する。

LV-GL 形避雷器の場合、0.09 mg/cm<sup>2</sup> の塩分付着時の汚損湿

潤状態で商用周波放電開始電圧が 13~14 kV でガイ管清浄時の JEC-156 規格値 12.6 kV まで低下しておらず、実系統に使用した場合汚損ではまず問題ないと考えられる。また、実系統において晴天時で汚損物がガイ管表面に付着しただけでは特性に変化はなく、雨天の場合でも雨がかかった瞬間だけが問題で、しばらくすれば雨洗効果が表われ、霧や霜の場合は常規対地電圧による発熱で補償されることになるわけで、弁形避雷器の過去の使用実績もこれを裏書きしている。

### 3.8 密封構造の確認

LV-GL 形避雷器の密封構造確認のため、当社では真空試験を考案した。これは避雷器を真空そうに一定時間放置し、その前後の放電開始電圧の変化により良否を検出するもので、密封構造に不良のある場合には、避雷器内部の気圧が変化するため放電開始電圧が変動することを利用している。この方法により、外観上からは検出できないようなわずかな気密構造不良でも確実に検出でき、試験により製品を損傷することもなく信頼度の高い品質管理が行なえる。

## 4. 適 用

耐雷設計基準要綱に記載されている実績によれば、避雷器が設置されていないか、その数が非常に少ないときの 1 雷雨期における柱上変圧器事故率は 5% 近くになる場合があるが、避雷器を多数設置した地域では事故率が 0.2~2% に激減している。この実績によっても避雷器は耐雷設計に欠かすことのできない保護機器であることが立証され、停電防止やサービス向上のためにもますます配電用避雷器の普及が望まれている。

実測によれば、対象となった配電線の避雷器は 1 雷雨期に平均 2 回弱動作し、このうち線路の絶縁レベルを超過する雷サージに対しては平均約 1 回有効動作していることになり、保護効果の実績が認められている。

LV-GL 形避雷器は JEC-156 の 2,500 A 避雷器の性能に十分な裕度をもった高性能避雷器で、耐汚損特性も良好に設計されており、系統の短絡容量の大小による特性の変化がなく、さらに密封形構造のためガス放出などの恐れもなく市街地やこみいった場





図 4.1 LV-GL 形 8.4kV 避雷器  
(A 形支持金具使用、磁器フタなし)  
Fig. 4.1 Type LV-GL 8.4kV arrester type A mounting bracket and without porcelain cap.

所での設置にも適する。

次に適用上の注意事項を述べる。

#### 4.1 被保護機器のできるだけ近くに接続すること

雷サージは約 300 m/μs の早さで伝搬し、線路端では反射して倍の電圧となるから、避雷器と被保護機器が離れていると被保護機器に高い電圧がかかり事故の原因となる。「線路の末端、屈曲点、分岐点などにはかならず避雷器を設置する必要がある、工地上隣接柱に設置することになってもやむをえない」と耐雷設計基準要綱にも明記されている。

また、誘導雷サージによる事故をほとんどゼロにすることを目的として配電線にある間隔で避雷器を設置する場合は、機器の配置状況も考慮し、その有効保護距離内に入るようにして平均設置間隔を 200 m 以下にすることが推奨されている。

#### 4.2 接地抵抗はできるだけ低くすること

わが国における配電用避雷器動作時の放電電流は 1,000 A 以下が 95~98% を占め、このうち最も発生ひん度が大きいのは 300 A 以下で約 70% を占め平均値は約 200 A である。

配電線耐雷設計では誘導雷を対象としているので、直撃雷によるものは対象外として上記の実績を考慮すると、一般に誘導雷サージによる避雷器放電電流は 1,000 A 以下としてさしつかえないと考えられる。したがって放電電流 1,000 A を考慮して接地電位上昇限度から接地抵抗値を算出すると、一般に 30 Ω 以下にすれば機器の保護は可能と考えられる。(耐雷設計基準要綱)

しかし接地抵抗による IR 電位降下が小さいほうが避雷器の有効保護範囲が広くなり、1,000 A 以上のサージに対しても協調がとれることになるので接地抵抗はできるだけ低く (10 Ω 以下) することが望ましく、また接地線もそのインダクタンスによる電位降下が加算されるので短いほうが有効である。また、接地抵抗が低くとれず 30 Ω を超過するような場合は、被保護機器の接地と連接すれば絶縁協調を確保できるが低圧側への誘導などについて検

討しておく必要がある。

#### 4.3 保守

配電用弁形避雷器は、放出形避雷器と異なり完全密封形で動作により消耗する部分がなく、長期間の寿命と最少限の保守を目的として設計される。

LV-GL 形避雷器の簡易良否判定法としては絶縁抵抗測定があり、線路側と接地側間のメガを 1,000 V メガーで測定し 2,000 MΩ 以上あればよい。しかしガイ管表面が汚れていたり湿っていると低い抵抗値を示すことがあり、このときはガイ管表面をきれいにふき、表面をかわかして再測定する。

とくに汚損、塩害のはなはだしい地域で使用する場合は、ガイ管表面にシリコンコンパウンドを一様に塗布すれば乾燥清浄時と同一の特性を発揮する。塗布量は約 0.2 mm 厚で、1 年に 1 回程度の塗り換えを行えばよい。

#### 5. む す び

LV-GL 形避雷器は配電線路用避雷器として要求されるいろいろの問題を合理的に解決し、次のように多くの特長を有する。

- (1) 小形・軽量に重点をおき、コンパクトな避雷器として取り付けも容易で広範囲に適用できる。
- (2) 線路側には着脱自在の磁器フタがあり、充電部分を露出させない場合には現場で容易に取り付けができる。
- (3) 端子部はリード線をドライバで簡単に着脱できるようになっており、取り付け、取はずし作業が容易である。
- (4) 永久磁石消弧式直列ギャップの使用により高いシャ断能力を有する。
- (5) 放電特性が良好で JEC-156 の規格値に約 20% の裕度を有する。
- (6) 制限電圧は JEC-156 の規格値に約 20% の裕度を有する。
- (7) 今後開閉サージの保護能力も必要になると考え、JEC-156 規格値の 2 倍の 150 A・2 ms のく形波放電耐量を保証している。
- (8) ガイ管表面の漏えい長が大でかつ漏れ電流によって焼損するような部分が全然なく、またガイ管の内径が大で直列ギャップが中心に保持されるような構造にしているため、ガイ管表面と直列ギャップの静電結合が小さく汚損の影響を受けにくく良好な特性を示す。

LV-GL 形避雷器は当社が永年の経験を生かして開発した新製品で、画期的な避雷器として多数適用され、配電線の異常電圧防護に寄与することを期待する。(昭 40-3-9 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) 電力中央研究所技術研究所、配電線耐雷設計基準要綱 (昭 38)



## 電気化学用大電流レクチフォーマ

小林 凱\*・鶴田 敬二\*・上岡 康宏\*

## High Current Rectifiers for Electrochemical Service

Itami Works Gai KOBAYASHI・Keiji TSURUTA・Yasuhiro UEOKA

“Rectiformer,” an engineered merger of a rectifier and a transformer as a new approach to large silicon rectifier installations, has made a great stride in the last one year following its debut in 1963.

A number of advantages made available with this rectifier-transformer integral construction have brought the device to the premier position in chemical industry. Mitsubishi, the first builder of the unit for practical service, has marked several milestones by beginning a complete outdoor service in Sept. 1964 with a rectiformer substation rated 11.7 MW 90 kA, and supplying a 24 MW 120 kA unit, possibly the world largest of the kind, to a large caustic soda plant.

This article gives a brief description of the development with rectiformers, introducing the high current design for electrochemical applications.

## 1. ま え が き

昭和38年に開発されたレクチフォーマは、その後1年間で電解用直流電源の王座を占めるほどの急速な発展を遂げた。レクチフォーマ (Rectiformer) はすでに紹介されたように、シリコン整流器 (Rectifier) と変圧器 (Transformer) を一体化した新しい整流装置の名称である。

整流装置を一体化する試みは、ここ数年間世界の各メカで検討されてきたが、構造方式の選択あるいは設計技術によりその結果したがって一体化構造整流装置の評価も異なっているようである。この中でレクチフォーマは開発以来順調な発展を続けているが、これはわが国での実用第1号器となった2,200 kW装置以来

最適な構造方式の採用と一体化構造方式が有すべき条件をすべて備えた形で製作されていることによる。その結果は製作開始後1年間で8万kW、50万Aの実績にみる事ができるが、この中には世界でも最初の完全屋外形の新鋭大電流設備となった11.7 MW、90 kA装置や、世界最大容量の24 MW、120 kA装置が12 MW、60 kAユニットで組立貨車輸送されているなど多くの高い技術水準が含まれている。

このようにレクチフォーマは他形式と異なり、すでに電解用直流電源として最もすぐれた形に完成されているので、この装置をいまだ使用されていない工場あるいはプラント計画者にもご参考となるようその概要を紹介したいと考える。

## 2. 一体化構造とレクチフォーマ

## 2.1 一体化構造方式

一体化構造方式が大電流の整流設備にもたらす多くの利点は、すでに紹介されているが、その方式と開発状況により得られる結果にも差異が生じており、各種形式を簡単に検討してみることにする。なお全体を油タンクに入れる油入式 (Submerged Type) は保守とヒューズの使用が困難で、以前から小形低仕様の装置に用いられる程度で、また風冷整流器を変圧器に近接設置したものは従来形式の単なる集合であり、素子あたり占積率が大きく大容量装置の製作が困難であるところからも除外さるべきであろう。

## (1) 直接取付形

変圧器タンク壁に設けた開孔に絶縁、油密に金属製基板を取り付け、外部から素子を装着し、内側には多数の放熱片が突き出して熱を絶縁油に伝える。この形は初期にかなり広く紹介されたが、すでに指摘されている構造上の問題点と適用上の制限から、めだった進展はみせておらずわが国でも1件製作されたのみにとどまっている。

## (2) 水冷整流器の組み合わせ

これは別個に製作した変圧器と水冷式整流器を組み合わせで外観上一体とするもので、水と油の2組の循環冷却系統を有する。ここでは直接取付形における形状、構造上の制限は少なく、わが国でも電気化学用にかなり製

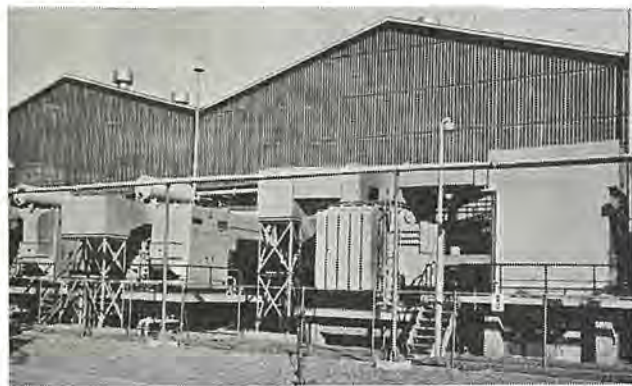


図 1.1 大電流屋外レクチフォーマ設備  
11.7 MW, 130 V, 90 kA

Fig. 1.1 High current outdoor rectifier installation.

表 1.1 レクチフォーマ形整流装置製作実績 (電気化学用)

	納入先	出力 (kW)	直流電圧 (V)	直流電流 (A)	用途	備考	納入 (年)
(1)	三菱モシサント化成	2,200	220	10,000	塩水電解	実用第1号器屋外形	1963
(2)	旭硝子	9,900	165	66,000	“	風冷再冷却式	1964
(3)	三菱モシサント化成	11,700	130	90,000	“	屋外形	“
(4)	三菱化成	5,000	250	20,000	“	屋外形 60 kV 受電	“
(5)	小名浜製錬	2,500	125	20,000	銅電解	屋外形	“
(6)	日本曹達	4,025	115	35,000	塩水電解	“	1965
(7)	大阪曹達	10,000	250	2×20,000	“	風冷再冷却式屋外形	“
(8)	南海化学	2,200	220	10,000	“	屋外形	“
(9)	徳山曹達	24,000	200	120,000	“	世界最大容量	“
(10)	住友化学	7,200	120	60,000	“	屋外形 60 kV 受電	“
(11)	大阪チタニウム	2,590	70	37,000	マグネシウム電解	“	“



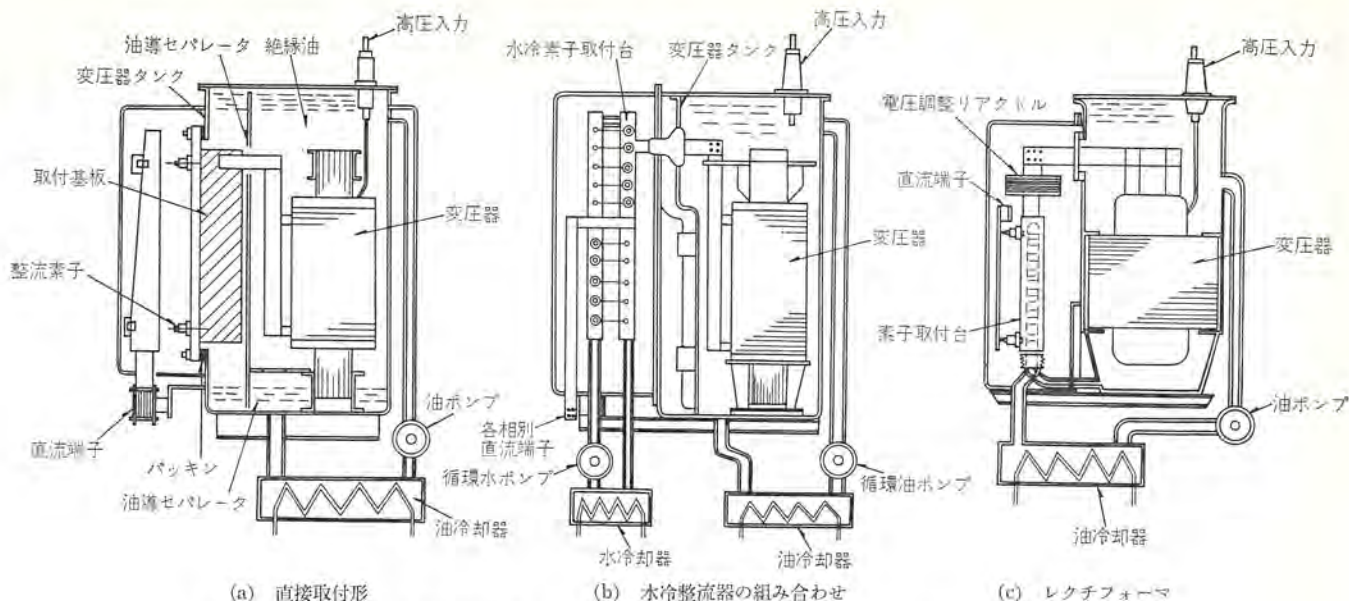


図 2.1 各種の一体化構造方式

Fig. 2.1 Comparison of various integral constructions.

作されている。しかし反面 2 種のポンプ、熱交換器をもつ複雑な冷却システムとなり保守の手数も増加する。さらに連続運転予備システムを設けるときはまったく大がかりなものとなるほか、低圧用に限定される。正逆両極性の素子を組み合わせて 2 素子直列をうることできるが、保守上の不便のほか水系絶縁長さにも問題がある。

### (3) レクチフォームの構造

以上の考慮から、レクチフォームでは変圧器タンクに特別な窓を設けず、小形経済的な設計を採用している。ここでフォームフィット構造は整流器との組み合わせに好つごうな外形を得るうえではなほだ有利である。この側壁から二次端子が出され、そこにタンクとは別個に素子取付導体を配列接続し、取付導体内部に変圧器油を流通冷却する方式とした。この結果各形式の欠点が除去されるとともに、一体化構造としての特長がすべて実現できることとなった。

- 変圧器と整流器に対する構造、形状の制限が少ない。
- 変圧器はそれ自体小形にでき、全体も軽量・経済的になる。
- 単一化された冷却系により信頼度が向上し保守も容易となる。
- 油密接続部がきわめて少なく油漏れの心配がない。
- 低圧大電流から高圧の電鉄用まで適用範囲が広い。

この方式で考慮されなければならないのは、共通の油冷却により両者の動作温度を合理的に適合した設計と、効果的な冷却を得るため高度の技術を必要とすることである。慎重な検討結果はシリコン整流器の特長を生かして、変圧器単独よりわずかに低い温度で両者の経済的合致点を得ている。冷却器の接液面積  $A$  のみを別個の冷却器を油と水に設けたときのそれぞれの面積  $A_0, A_W$  の和と比較すると

$$A > A_0 + A_W \quad (2.1)$$

となるが、冷却器のコスト  $C$  は使用材料やヘッダなど他の部分に大きく影響されるので、実際に対象となる容量範囲では、かえって

$$C \leq C_0 + C_W \quad (2.2)$$

となることが多い。一方素子取付導体も後述のきわめて冷却効果の良い形が開発され、素子ヒューズなどから要求される最小寸法内で数℃の低い接液温度差に収めることに成功した結果、レクチフォームはほかで製作されている(2)の形式よりもかえって小形である。これは設計技術が油の使用を障害としない水準に達している

ことを示すものである。なお従来の別置形では整流器単独の循環冷却システムとなるから低圧用には純水の使用も経済的となろう。事実水冷シリコン整流器の製作は当社が最も長く行なっており、この経験のうえにレクチフォームが設計されているのである。

### 2.2 一体化構造方式としての条件

一体化構造についてすでにあげられている多くの利点を実現するために、具備すべき条件を考えよう。この各項目を検討するとき、レクチフォーム以外ではすべての条件が満たされていないことにも気づかれると思う。

#### (1) 各種の用途に適応しうる構造であること。

化学用だけでなく、ほかにも基本的に同一の方式が適用できることは、技術的進歩とコスト低下からも望ましい。これはシリコン整流器があらゆる用途に用いられて今日の発展にいたっていることにも通じている。

#### (2) 従来形式と同等あるいはそれ以上の大容量定格も無理なく製作できること。何万 A から上は従来形式というものではない。

#### (3) 屋外設置が困難なく適用できる構造であること。

装置のほうから屋内を要求したり、屋外形にしても整流器部をはめ込む建屋が必要ではその価値が減少する。

(4) 電力変換に必要な主回路機器を収容し、交流大電流の通る複雑な導体がないこと。とくに電圧調整リアクトルを収容するには高い技術を要するが、別置では整流器とリアクトルを結ぶ多相導体が必要となり、従来と大差なくなる。

(5) ほとんどの仕様に対し工場で完成した装置が組立輸送されること。現地での両者の組合せ加工は品質保証やトラブルの面から論外であり、輸送制限から分割するときも必ず工場で組合せ試験を行なうべきである。

### 2.3 諸外国の発展状況

最初の試みは 2.1 節(1)の形で行なわれ、SSW 社が Transformer-Gleichrichter Aggregate Bauweise として 500 kW 装置を製作し、本格的には WH 社が Rectoformer の名で 5,000 kW などいくつかの製作例を示したので比較的広く紹介されている。しかしこの方式のもつ問題点から WH 社はさらに 2.2 節(2)の形を検討した後、第 3 すなわちレクチフォームの方式が最も将来性あるものとして変更を表明した。SSW 社でもとくに進展のな



以後 Kompakt Bauweise として変形を発表した。これは一体化の面では後退した近接設置形式であって、冷却には水、油いずれともあげており実施例と同様明確ではない。Oerlikon 社も Transformer-Rectifier-Block の開発に熱心であり、レクチフォーマと同様な形式を推奨しているが、従来の例では水冷整流器の組み合わせがあり開発途上である。このほか SW 社、Mareli 社も着手しているが、WH 社 Rectoformer と同様な段階でこれらを総合すると、わが国での発達が理解いただけると思う。

### 3. 大電流レクチフォーマの構成

#### 3.1 装置の構成

レクチフォーマの主要部分に変圧器と油冷シリコン整流器である。両

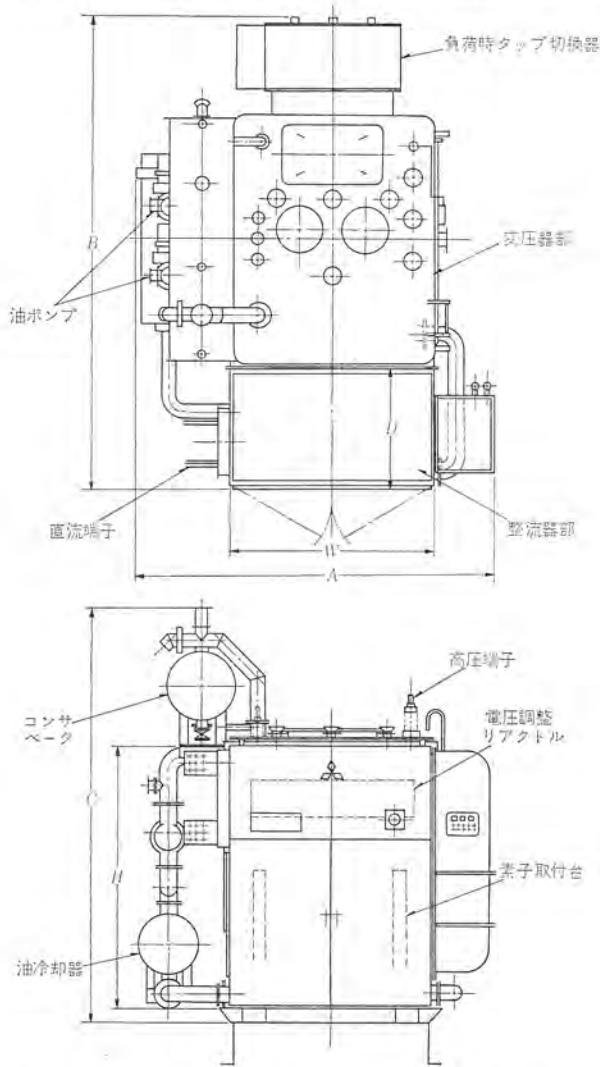


図 3.2 レクチフォーマの外形と構成 (a)  
Fig. 3.2 Outline and construction of rectifier (a).

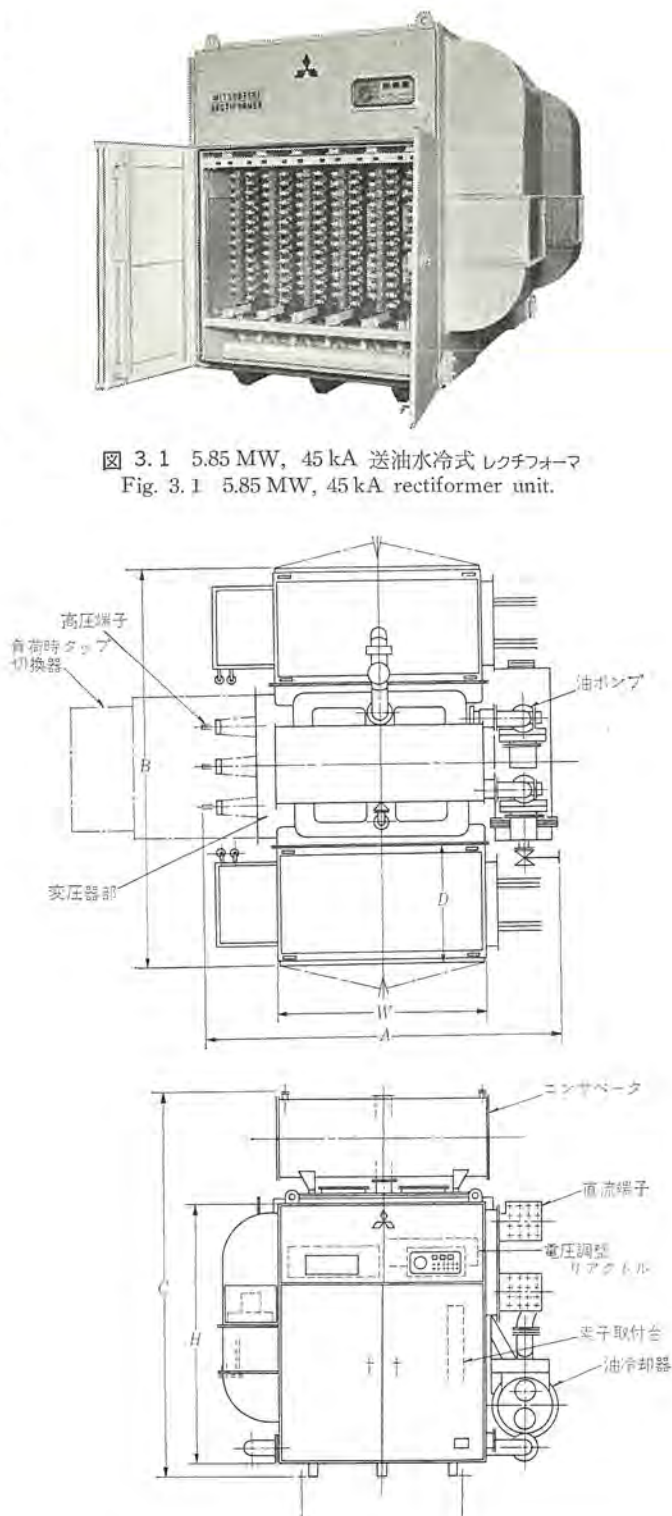


図 3.3 レクチフォーマの外形と構成 (b)  
Fig. 3.3 Outline and construction of rectifier (b).

表 3.1 レクチフォーマの重量・寸法例 (図 3.2, 3.3 参照)

交流入力 kV/c/s	直 流 出 力			外 形 式	外 形 寸 法 (mm)			重 量 (kg)			全 油 量 (l)
	kW	V	A		A	B	C	総重量	整流器	変圧器	
22.0/60	2,200	220	10,000	図 3.2	3,000	3,830	4,310	30,000	5,200	16,800	8,800
8.6/50	9,900	165	60,000	図 3.3	3,200	4,970	4,400	48,000	10,000	30,500	8,300
27.0/50	5,850	130	45,000	"	3,730	4,005	4,220	29,100	8,000	15,800	5,800
3.3/50	2,500	125	20,000	図 3.2	3,250	4,225	4,360	32,000	4,000	20,000	8,550
10.5/50	4,025	115	35,000	"	3,850	5,110	4,460	43,800	5,000	27,500	12,500
21 /60	5,000	250	20,000	"	3,350	5,230	4,590	41,100	4,000	28,500	9,450
17.8/60	12,000	200	60,000	図 3.3	3,390	4,990	4,240	54,000	10,000	35,000	9,600
66 /60	7,200	120	60,000	同上に電圧調整器付	4,200	5,820	4,650	53,900	9,000	31,700	14,600
22 /60	2,590	70	37,000	図 3.2	3,930	5,110	4,460	44,700	5,000	28,000	13,000
33 /60	2,200	220	10,000	図 3.2	3,180	4,110	4,500	29,300	4,000	18,200	7,950



者は並行して製作された後、側面フランジで正確に組み合わせられる。変圧器タンク側壁から二次端子が出されており整流器の各相に接続される。整流器キュービクルの下部には素子取付導体が配列され、上部に電圧調整リアクトルを収容し導体の延長がそのまま貫通導体を形成する。この構造で大電流まで無理なく調和した形にまとめる技術を第1号器から確立したところにレクチフォームの特長がある。この結果出力は直流で取り出され、かつその端子が装置の肩位置にある点が電解ソウへの接続をきわめて合理的にしている。結線は三相全波、二重星形ともに対応できるが、後者では変形星形の採用で、相間リアクトルを直流導体にそのまま貫通でき、将来電圧を2倍に上昇することも容易な形に設計されている。レクチフォームでは整流器取付が変圧器の強度を損ずることなく分解も可能である。素子は油とまったく無関係に着脱でき、またキュービクルの表側にすべて配列されているから保守も容易である。

変圧器には負荷時タップ調整器を取り付けることもできる。図3.2の形で40kAまでの装置が得られ、長手方向に調整器を付けたまま輸送される。さらに変圧器の両側に整流器を組み合わせた図3.3の形は実に80kAの大電流を可能とする。しかも内部の導体接続も最短に保たれ性能を損ずることがない。この形にタップ切換器を付けるときは、鎖線のように高圧端子側におかれ、組立輸送時にはこの部分を切り放すが、油が仕切られるように考慮されており現地での接合も簡単である。このときも変圧器と整流器は一体として送られるから、特長はまったく失われない。変圧器のもう一つの側壁には、共通の冷却装置（油ポンプ、再冷器）が設けられて、完全な電力変換単位を形成している。

### 3.2 大容量変電設備

レクチフォームはきわめて大容量の装置まで製作できる。直流電圧

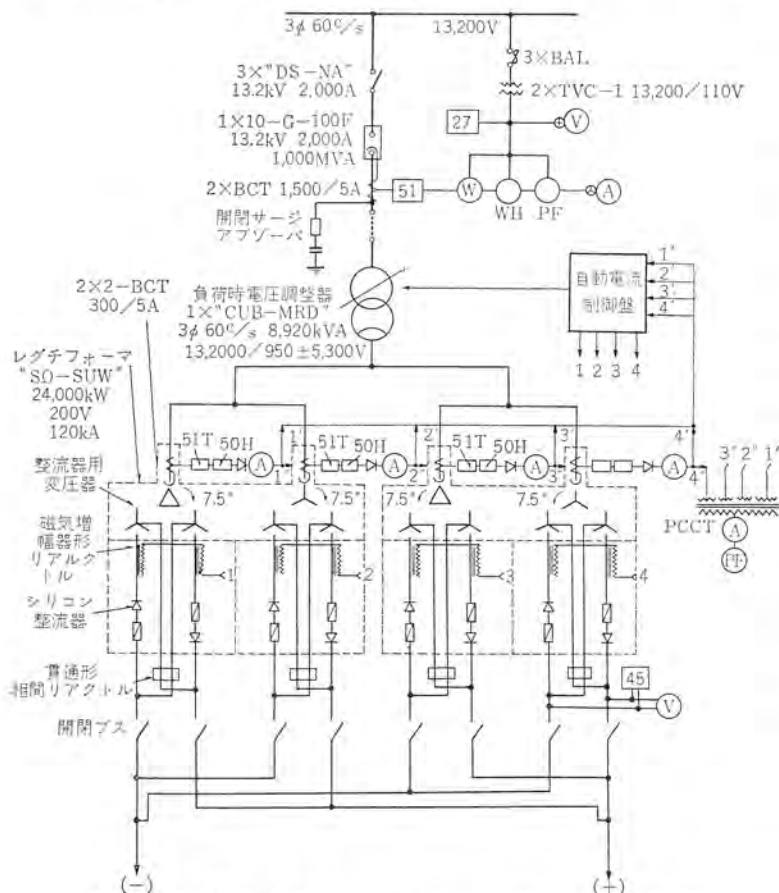


図 3.4 24 MW, 120 kA レクチフォーム 単線結線図  
Fig. 3.4 Single line connection diagram of 24,000 kW 120 kA rectifier.



図 3.5 レクチフォームの設置と電解工場への接続状況  
Fig. 3.5 Rectifier installation and its outside connections.

は 300 (半波)/600 (全波) V で電流定格は世界最大の 80 kA までが製作可能である。大電力装置には両面整流器形で1単位で12相整流回路が得られるようになっている。たとえば 27 MW, 150 kA といった電解設備では 75 kA 2組を用いて 24 相回路が可能である。一方組立輸送も、すでに 15 MVA/12 MW の単位が貨車で送られているので、ほとんどの設備がレクチフォームの特長を生かしうることになる。表 3.1 は寸法例を示しているが、他の諸形式に比べはるかに小形で経済的に製作されている。これらは屋外形として考えられており、直流端子部にはカバー取り付けのフランジが設けられており、設置環境に応じて高圧入力もカバーあるいはエレファントとして、帯電部分がいっさい露出しないようにできる。実際屋外形を採用されたところでもその選択に満足されている。

大容量レクチフォーム設備の回路構成例を図 3.4 に紹介する。

ソーダ電解工場に用いられたものであるが、従来形式に比べて大きな合理化が見られる。電解ソウへの接続も直流導体のみの簡単なもので、電解ソウ側導体の一部が延長して直流端子に接続され、いわゆる整流装置としての導体工事が皆無の例もある。またアルミ導体の使用にも最も適した形である。実際にこのような大容量設備が大きな電解工場に隣接した、わずか 8×20 m ほどのスペースに負荷時電圧調整器も含めた全機器が設置され、電解ソウ側のプスがそのまま延びてレクチフォームの直流出力端子に接続されて、無人化した設置が遠方操作される状況は直流変電所の革命を感じさせるものである。図 3.5 はレクチフォームの設置と電解工場への接続状況を他の例について示したものである。

### 4. 整流器部分

整流器部分は変圧器側壁に取り付けられるよう片面がフランジとなったキュービクル構造で、図 4.1 にも示されるように上部に電圧調整リアクトル、直流端子導体、保護装置をまとめ、下部に整流回路を収容している。設計上とくに考慮されている点は次のとおりである。

(1) 上記のように必要な器具を収容しながら世界最大の電流容量まで変圧器との組み合わせをも含めて無理なくまとめている。

(2) 構造材料面でも変圧器とつり合いのとれた強固で信頼性の高いものとしている。





図 4.1 整流器部分 (SO-IW36C2X 形)

Fig. 4.1 Silicon rectifier portion (Type-SO-IW36C2X).

(3) 保守が容易であるとともに経済的に製作でき変圧器との組み合わせも最終段階で簡単に行ないうるようにしている。

整流回路部は軽合金の押出形材を溶接して組み立てた強固な素子取付台を6相分に縦に対向導体とともに配列し、整流素子は図4.2 からわかるように冷却油とはまったく無関係に着脱できる。取付台の形状は軽合金形材技術の進歩とあいまって、とくに内部通油路断面は独特のもので、かつ油流速は層流限界に近いレイノルズ数を与えるように設計されているので、きわめて少ない油——取付台間温度差とともに6組の並列油路には調整弁をいっさい用いずに均等な冷却が得られている。

キュービクル上部で変圧器二次端子に接続された導体は、電圧調整

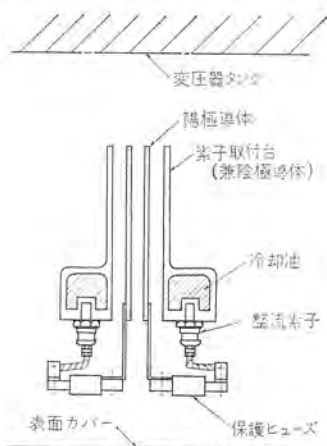


図 4.2 整流回路部構造断面

Fig. 4.2 Cross-section of rectifier portion.

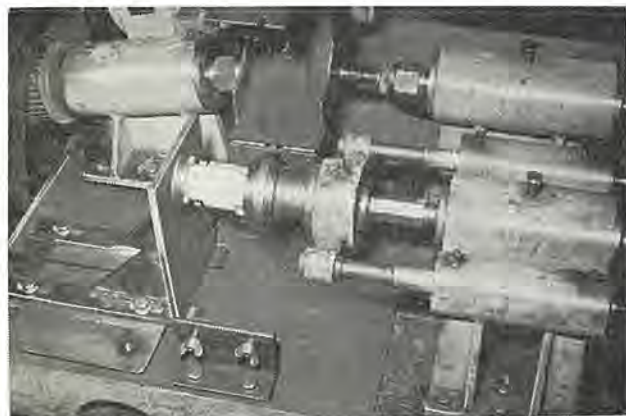


図 4.3 絶縁継手の試験状況

Fig. 4.3 Mechanical testing of the insulating joint.

表 4.1 整流器部標準系列

形 名	直流電流 (A)		外形寸法 (mm)	単器での最大 直流出力 <sup>(*)</sup>
	二重星形 (W)	三相ブリ ッジ(B)		
SO-IW (B) 20C2	16,800	8,400	W=2,180 D=1,200 H=2,900 max.	7,800 kW 260V-30,000A または 520V-15,000A
SO-IW (B) 24C2	20,000	10,000		
SO-IW (B) 28C2	23,500	11,700		
SO-IW (B) 32C2	26,800	13,400		
SO-IW (B) 36C2	30,000	15,000		
SO-IW (B) 20C2X	33,600	16,800	W=2,180 D=1,200×2 H=2,900 max.	15,600 kW 260V-60,000A または 520V-30,000A
SO-IW (B) 24C2X	40,000	20,000		
SO-IW (B) 28C2X	47,000	23,500		
SO-IW (B) 32C2X	53,500	26,800		
SO-IW (B) 36C2X	60,000	30,000		
SO-IW (B) 20C3	27,000	13,500	W=2,180 D=1,200 H=2,850 max.	12,000 kW 300V-40,000A または 600V-20,000A
SO-IW (B) 24C3	31,600	15,800		
SO-IW (B) 28C3	36,000	18,000		
SO-IW (B) 32C3	40,000	20,000		
SO-IW (B) 20C3X	54,000	27,000	W=2,180 D=1,200×2 H=2,850 max.	24,000 kW 300V-80,000A または 600V-40,000A
SO-IW (B) 24C3X	63,200	31,600		
SO-IW (B) 28C3X	72,000	36,000		
SO-IW (B) 32C3X	80,000	40,000		

(\*) さらに大容量の設備には図 3.4 のように複数組の単位を並列にする。

リアクトルを貫通してただちに整流回路に入る。素子取付導体と対向導体が1アームとなるが、互いに磁界を消去する新方式がとられており、大電流装置に不可避であった加熱などの問題を根本的に解決している。また互いに 180° 異なる相を1対の群としてきわめて簡単に電流平衡回路が形成される。これらは大電流装置の製作には必ず(須)のもので当社独特の方式である。また自然に直流端子が肩位置から出せ、あらゆる点で合理的な形態にまとめる。

油密構造にはとくに注意がはらわれている。他形式と異なり素子取付台は完全な油密である。取付台と油管の間は特殊合成樹脂の絶縁継手を用いているが、6kV 以上の耐圧をもちかつ機械的には 15 kg/cm<sup>2</sup> に耐える可トウ管を強固なフランジで締め付けている。図 4.3 は継手の試験状況である。

整流素子、ヒューズその他保護装置はすべて前面から保守が行なえ内部に入り込む不便がない。表 4.1 は整流器部分の標準系列を示しているが、形名中 2 は SR200 形、3 は SR300 形素子に対応し、X は変圧器両面取付形である。外形は図 3.2, 3.3 を参照下さい。キュービクル側面の風洞には内部のリアクトル、導体などを冷却する補助冷却装置が収容されており、外気とはシャ断されているから、腐食性環境にも安全でそのまま屋外設置が可能である。

## 5. 変圧器と電圧調整装置

レクチフォームが前述のように急速な発展を遂げた理由には変圧器が大きな役割を占めている。

(1) 変圧器部分の設計あるいは構造において、当社の変圧器が有する特長を最大限に発揮するようにレクチフォームの構造が考えられており、その経験と技術が高い信頼性の装置を作るうに

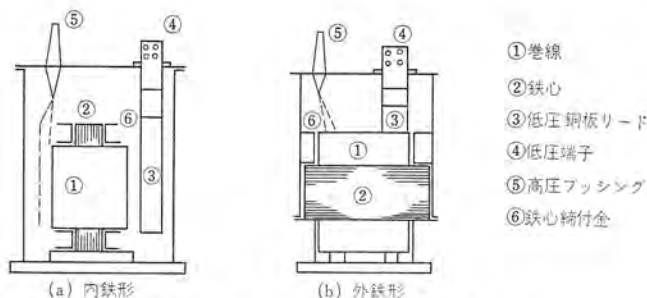


図 5.1 内鉄形と外鉄形の構造比較

Fig. 5.1 Comparison of constructions of core type (a) and shell type (b) transformers.



生かされている。

(2) 変圧器が設計上の自由度の高い当社独特の外鉄形で、さらに中身とタンクを一体としたフォームフィット構造が採用されているので、特性をそこなうことなく輸送に適した形に設計が可能で整流器、変圧器、電圧調整器の各部分を一体に組みあげた形で輸送されている。

(3) 冷却系統が洗練されている。

### 5.1 レクチフォーマ用変圧器

ここに用いられている外鉄形フォームフィット構造は、昭和 27 年に電力用の標準形式とされてから改良が重ねられ、昭和 33 年か



図 5.2 銅板コイル  
Fig. 5.2 Copper plate coil.

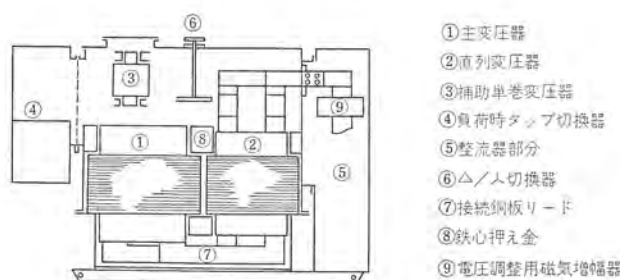


図 5.3 レクチフォーマ用変圧器の構造断面  
Fig. 5.3 Construction of transformer for rectifier.

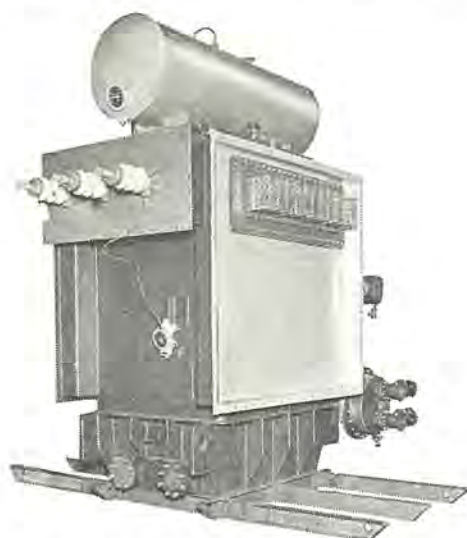


図 5.4 レクチフォーマ用変圧器  
Fig. 5.4 Transformer for a high current rectifier.

ら大電流整流器用変圧器の標準形式となったものである。

図 5.1 は内鉄形と比較したものであるが、(b) では絶縁物で四周を完全に包んだコイルの外周に鉄心が積まれて、中身とタンク間に絶縁距離が不要であり、中身とタンクを一体に作り付けるフォームフィット構造ができる。この構造により据付面積、材料の節約のほか、上部タンク内側に溶接された鉄心押え金によって鉄心はボルト穴を設ける必要なく締め付けられるから、方向性ケイ素鋼板の特性をそのまま発揮できるとともに、油はほとんどコイル中を通るため冷却効果がすぐれている。また外鉄形が内鉄形と本質的に異なる点として交互配置コイルを採用しており、漏れ磁束方向がコイル板面に沿っているため機械的に強い、図 5.2 のように銅板コイルを用いて大電流に容易に適応しうる。同時に高、低圧コイルグループの数を増して漏れリアクタンスひいては転流電圧降下を少なくするとともに、高—低圧コイル間に静電シャヘイ板を設けて高圧側異常電圧の低圧側移行と混触を防止している。

図 5.3 は代表的な構造を示した例で、変圧器タンク内には主変圧器、直列変圧器、補助単巻変圧器、△/人切換器、側面には負荷時タップ切換器などが、むだなく配置されている。

交互配置四角コイルの採用により設計上の自由度が大で、縦、横、高さの比や特性がある程度自由に選択できることは整流器と一体化して組立輸送するうえに大いに役だっている。

設置環境に対応して端子の汚損を防止するため高圧側はブスダクトあるいはエレファント方式を採用されている。低圧側は直接整流器部に導かれ、直流端子はまたカバーされて露出部がない構造がとられている。図 5.4 は 130 V、45 kA レクチフォーマ用の変圧器で、ここへ整流器部分が組み合わされる。

### 5.2 負荷時タップ切換器

電気化学用途の自動運転に対応するため、ひんばんな動作にも信頼度が格段に高く、保守点検も容易な URA-2 形負荷時タップ切換器が多く採用されている。この切換器は 33 のタップ点数により有効な電圧調整が可能であり、ゼネパギアで三相一括駆動されるタップ選択器は確実な動作を行ない、無電流で開閉するため油中にあっても油を汚損することがない。切換開閉器は磁気空気吹消併用の乾式で油の手入れが不要なほか、全電流域でアーク時間が短

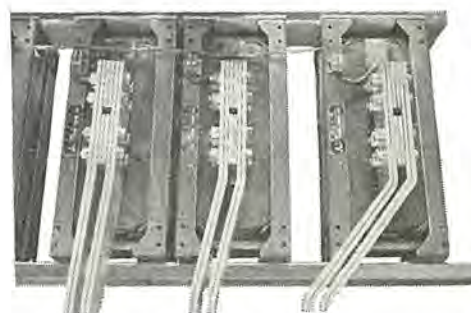


図 5.5 電圧調整用磁気増幅器  
Fig. 5.5 Mag-amp type reactors for voltage control.

表 5.1 標準磁気増幅器の形式と定格

貫通窓寸法 (mm)						直流最大調整電圧 (V)			
形 式						二重星形結線		三相ブリッジ結線	
50×180	60×180	70×180	60×280	70×280	80×280	50 c/s	60 c/s	50 c/s	60 c/s
AV-M11	AV-M12	AV-M13	AV-M14	AV-M15	AV-M16	3.3	3.9	6.5	7.8
AV-M21	AV-M22	AV-M23	AV-M24	AV-M25	AV-M26	3.9	4.7	7.8	9.4
AV-M31	AV-M32	AV-M33	AV-M34	AV-M35	AV-M36	4.9	5.9	9.7	11.7
AV-M41	AV-M42	AV-M43	AV-M44	AV-M45	AV-M46	5.9	7.0	11.7	14.0



かく接点寿命も長い特長を有している。またその形状はレチフォーマに適し一体組立輸送ができる一理由ともなっている。

### 5.3 電圧調整リアクトル

タップ切換器によるステップ電圧調整を連続制御するため、電圧調整リアクトルが整流器の各アームにそう入されている。これには磁気増幅器形リアクトルが用いられ、自己飽和形であるから制御ATは非常に少なく制御電流も5A程度である。

鉄心は無切断の高級接着鉄心で、低騒音で（整流器キューピクルに收容されるので外部にはまったく静かである）全制御域にすぐれた特性を示す。出力巻線は図5.5にあるように整流器各アームの導体が延長貫通して形成されるため改めて設ける必要がなく、構造も簡単で小形にできているが、これは完全な一体化構造を形成するうえにきわめて重要な要素である。ただコンパクトにまとめる



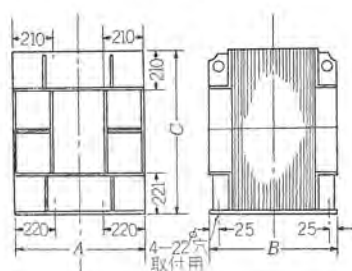
図 5.6 貫通形相間リアクトル  
Fig. 5.6 Through conductor type inter phase reactor.

表 5.2 標準相間リアクトルの形式と定格

変圧器直流側電圧 (V)		貫 通 窓 寸 法 (mm)			
50 c/s	60 c/s	形 式			
80	92	200×300	250×350	300×400	350×450
120	136	AV-L11	AV-L12	AV-L13	AV-L14
160	184	AV-L21	AV-L22	AV-L23	AV-L24
200	228	AV-L31	AV-L32	AV-L33	AV-L34
		AV-L41	AV-L42	AV-L43	AV-L44

表 5.3 標準相間リアクトルの寸法・重量

形 式	A (mm)	B (mm)	C (mm)	重量 (kg)
AV-L11	620	390	731	780
AV-L21	620	510	731	1,120
AV-L31	620	630	731	1,470
AV-L41	620	750	731	1,850
AV-L12	670	390	781	860
AV-L22	670	510	781	1,240
AV-L32	670	630	781	1,620
AV-L42	670	750	781	2,070
AV-L13	720	390	831	950
AV-L23	720	510	831	1,360
AV-L33	720	630	831	1,770
AV-L43	720	750	831	2,260
AV-L14	770	390	881	1,030
AV-L24	770	510	881	1,480
AV-L34	770	630	881	1,930
AV-L44	770	750	881	2,460



ため異常局部加熱を生じないように、設計にはとくに注意がはらわれている。

この磁気増幅器は表 5.1 の標準系列が完成されているが、さらに大きな調整電圧は2段に重ねる形で簡単に得られている。

### 5.4 相間リアクトル

二重星形結線には相間リアクトルが用いられるが、これには据付保守のきわめて容易な標準系列が表 5.2 のように整備されている。図 5.6 に見られるようにシリコンワニスで処理されたH種乾式貫通形で、レチフォーマの直流端子への導体が巻線を形成するから巻線損失がない。形状もこれに合うものとなっており、臨界電流も大電流用で 2,000 A 程度であるからまったく問題にならない。

## 6. 冷却系統

### 6.1 冷却系統の構成

シリコン整流器と変圧器を一体化する際、冷却は重要な問題でその基本的考慮は2章に述べられている。レチフォーマでは整流器を変圧器と共通油で循環冷却するところに大きな特長がある。冷却

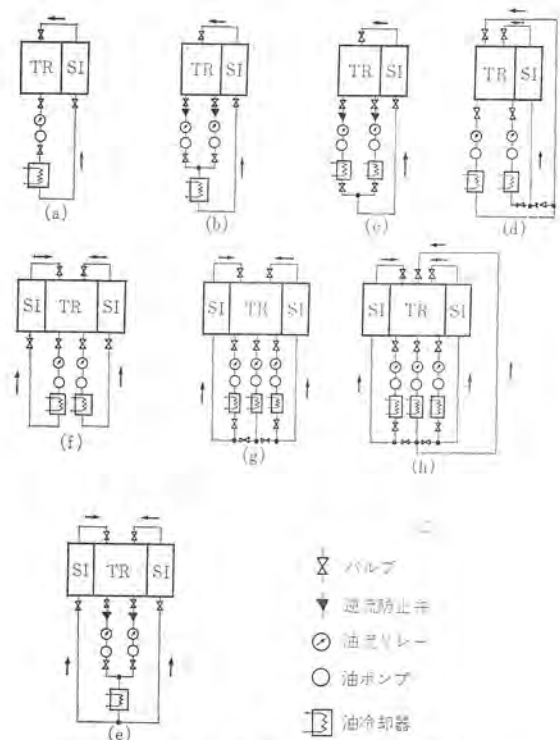


図 6.1 各種の冷却系統  
Fig. 6.1 Various kinds of cooling system.

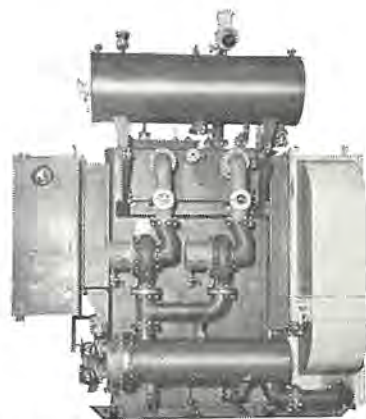


図 6.2 レチフォーマの冷却系統 (図 6.1 (b))  
Fig. 6.2 Cooling system of a rectifier (Fig. 6.1 (b)).



器を出た温度の低い油はまず整流器を冷却してから変圧器を通り、ふたたび冷却器に帰る。この冷却系統により次の利点が生ずる。

(1) シリコン整流器と変圧器の冷却系統が集中化し、スペースとともに部品も共通節約され効率良い冷却器が経済的に使用できる。

(2) 冷却系統の集中化により予備設置も簡単で予期せぬ停電を防止できる。

(3) 系統の熱時定数は2~3時間程度であるから、油が循環している限り短時間の過負荷や外部冷却水の停止にも耐える。

(4) 冷却系統の単純化により保守が簡単である。

変圧器の油温は巻線温度の考慮から80°C程度にすればよいが、整流器との組み合わせから循環系のシリコン整流器出口温度を70°C以下としてこれに冷却器のよこれなどを考慮した余裕をみている。この油温と窒素封入により運転中の油劣化、スラッジなどはまったく問題ないものとなっている。図6.1は水冷再冷却式について冷却系統の例を示したものである。(a),(f)は予備系なし、(b),(e)は油ポンプ予備、(c),(g)はポンプ冷却器の1系統予備をもつ。(d),(h)は大容量で整流器と変圧器の循環油量を整合したものである。各油循環系統は警報接点付油流指示器をもち、万一ポンプ故障時には警報を出すとともに(b),(c),(e)のごとく逆止弁付きのものでは自動的に予備系に切り換えてできる。したがって非常に信頼性の高い無人変電所に適した方式となる。(d),(h)のときも整流器系ポンプが故障してもバイパスバルブにより変圧器系統と切り換えて少し負荷をさげて運転が行なえる。しかし油ポンプ、冷却器の予備系があまり増加すると変圧器への直接取付けが困難となり、別置式になるとスペース、配管作業の増大をきたすから実績とあわせて慎重に検討すべきと思われる。もちろん別個冷却の他形式に比べてはるかに自由度は大きい。図6.2は(b)方式の一例である。

冷却系の熱容量が大きいため運転は非常に安全で、外部冷却水停止には断水リレーを必要とせず油温リレー(26D)を少し低くセッティングして軽故障警報を出し、さらに素子取付台温度(26H)により、はじめて停止するようにしてある。

油冷却器を風冷式とした例もあり、水冷式と同様に系統構成が選択できる。ただ油一風では熱交換率が大きく異なるので、冷却器が大きく配管も増すから冷却水が得られない場合に限定するべ



図 6.3 油循環ポンプ  
Fig. 6.3 Oil pump.

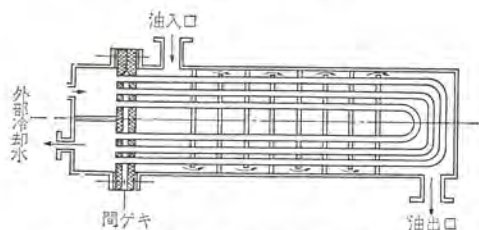


図 6.4 水冷式油冷却器の構造  
Fig. 6.4 Construction of oil-cooler.

きである。冷却水も最高40°Cといった温度まで用いた例がある。

## 6.2 構成機器

油ポンプは図6.3のように油中電動機を採用しポンプと一体となって鋼板溶接のケーシングに納めた全閉形で軸部などからの漏れは皆無であるとともに、他種ポンプに比べ非常に信頼度が高い。

油冷却器の断面は図6.4に示されるが、二重に鏡板を用いた特殊構造で万一水漏れしても、2枚の鏡板の間ゲキから外部に漏れるだけで油に浸入することは絶対に生じない。冷却管は耐食性の強いコンデンサチューブで鏡板との接合は溶接を用いず拡張管接し、かつ管の選定と拡張作業にはとくに厳重な管理を行ない、管の掌握力が失なわれずまた残留応力によるシーズクラックの発生がまったくないようにしている。製作後の冷却器は5 kg/cm<sup>2</sup>の圧力で漏水漏油に対し厳重な試験が行なわれて完全を期している。保守時には水室側のナットをゆるめて水室をはずすだけでよい。2枚の鏡板は水室とは別に油室に強固に取り付けられているから、油にはいっさい関係なく、水室、冷却管内の保守が行なえる。

## 7. 工場試験と輸送

工場で組み立てられたレクチフォーム用変圧器は、単独での試験を受ける。一方整流器部は磁気増幅器を組み込んだ後、厳重な検

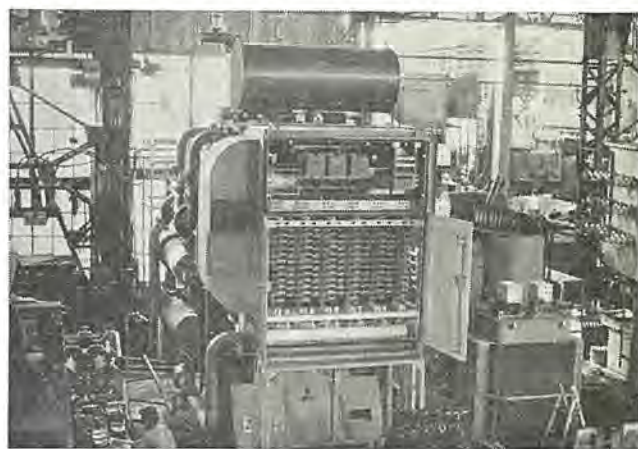


図 7.1 5 MW, 20 kA レクチフォームの工場組立試験状況  
Fig. 7.1 Complete factory test of a 5 MW, 20 kA rectifier.

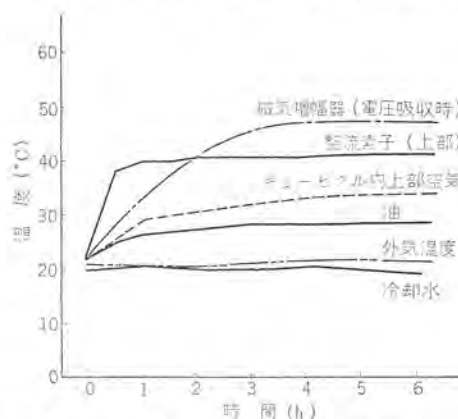


図 7.2 温度上昇試験結果 (11.7 MW, 90 kA 装置)  
Fig. 7.2 Temperature rise test data.

表 7.1 レクチフォームの特性例

交流入力 (kV)	直流出力			総合電気的特性(%)	
	(kW)	(V)	(A)	効 率	電圧変動率
22.0	2,200	220	10,000	96.8	6.9
8.6	9,900	165	60,000	96.8	5.4
27.0	5,850	130	45,000	97.0	5.7
3.3	2,500	125	20,000	96.4	6.6
66.0	5,000	250	20,000	98.1	7.1





図 7.3 9.9 MW, 60 kA レクチフォーマの組立輸送  
Fig. 7.3 9.9 MW, 60 kA rectifier shipped assembled.

査を経て変圧器と組み合わされて全装置が完成し、ここで全装置に対する点検、耐圧、油圧試験に続いて負荷、温度上昇、特性試験などが行なわれる。このように工場で完成した形としてあらゆる組合試験が行なわれるところに、一体化構造の価値が生きてくるもので、従来形式のような整流器部のみの単独試験は実際には変圧器が一体に組み合わされるだけにはなだ不完全といえるから、一体化した形で立会試験を受けるべきものである。レクチフォーマの試験はすべてこの形で行なわれており図 7.1 はその一例である。

図 7.2 は 11.7 MW, 90 kA 装置の温度上昇試験結果であるが、非常に余裕のある値を示しており過酷な特殊試験にもすぐれた特性を示している。ここにも冷却系統の特長が認められ実際に屋外無人変電所での運転はまったく好調である。

特性試験の中で損失測定も行なわれるが、表 7.1 はここから求められた効率をいくつか紹介している。これは高圧入力から直流端子の間、負荷時電圧調整器や磁気増幅器も含みさらに直流端子はそのまま電解ソーに接続されるからこれらの特性は実際使用時のものと同様に考えることができる。半導体整流装置の効率は規格により規約効率を用いるから、従来の別置式では機器間接続導体の損失を含まない。低圧大電流設備では導体損失による効率差は 0.3~0.5% に及ぶことがあるから、同じ規約効率で表示された特性をレクチフォーマと比較するときは導体損失も含ませるよう指定するかこの差を差引くことが必要である。また一体化構造の装置でも、電圧調整リアクトルを別置している形ではやはり 0.2% ぐらいの差があることを考慮しなければならない。

工場組合せ試験を終了したレクチフォーマは、コンバータなど若干の部分はずしただけで変圧器と整流器は一体に組み立てたまま

納入先へ輸送される。前述のようにきわめて大容量の装置まで組立貨車輸送されるから、現地における機器据付工事は一体化構造の利点を十分に発揮し、簡単な基礎上へ据え付けた後補助部品を取り付け、高圧入力と直流導体の接続でほとんど完了するから工期も大幅に短縮され、大電流設備の工事が 10 日あまりで完成した例もある。また装置の品質、特性は工場試験時と変わらぬものが需要家の手元に届く訳である。とくに装置の定格、仕様上（単に大容量というだけではないが）と輸送限界から分割輸送した例が 1 件あるが、これも工場で一度完成したものを、変圧器と磁気増幅器などを組み込んだままの整流器に分けるだけで送られたので、現地では加工や寸法合わせなどなしに、ただちに組み立てられている。図 7.3 は 9.9 MW, 60 kA レクチフォーマの組立輸送状況である。

## 8. む す び

以上に紹介したようにレクチフォーマは多くの特長を生かして電気化学工業の合理化に貢献しているが、その発展は積極的にこの新しい装置をご採用いただいた化学会社各位のご理解ご指導によるところがきわめて大でありここに厚くお礼申しあげたい。幸いにも当社では変圧器と整流器を同じ伊丹製作所で製作しておりレクチフォーマにとって最も好つこうであるので、今後も優秀な整流装置をもってご期待にこたえたいと考えている。また電気化学用で発達したこの装置は、他の工業用直流電源や電鉄用途にもすぐれた適用性を有することが知られており、おのおの分野で新しい成果が期待されている。

## 参 考 文 献

- (1) 小林ほか：レクチフォーマ「三菱電機技報」38, 673 (1964)
- (2) GÜNTHER KLIESCH und PETER MÜLLER: Transformator-Gleichrichter-Aggregat, Siemens Zeitschrift, 36, 222 (1962)
- (3) D. K. Barnes (ほか)：The Rectoformer, Westinghouse Engineer, 22, 152 (1962)
- (4) 武居ほか：シリコン 変圧整流装置、「東芝レビュー」18, 847 (1963)
- (5) 服部ほか：シリコン 変圧整流器、「富士時報」37, 491 (1964)
- (6) Neue Bauformen für stromstarke Siliziumgleichrichteranlagen, Siemens Zeitschrift, 38, 442 (1964)
- (7) The rectifier-transformer block, Bulletin Oerlikon, No. 352, 17 (1963)



# コントロールセンタ製造への電子計算機の導入

町野 康男\*・桐 生 悠 一\*

## Computer Application to Manufacture of Control Centers

Nagoya Works Yasuo MACHINO・Yuichi KIRYŪ

Type NC control centers which have a number of features as central control equipment of induction motors were developed by Mitsubishi in 1954 ahead of other electrical manufactures. Their demand has made a rapid increase in keeping pace with the extension or rationalization of power stations or diversified production facilities. To cope with enlarged amount of orders improvement of manpower efficiency was planned through the utilization of electronic computers. This project not only applied computer into designing work but also extended the mechanization of data processing in production control and cost estimation. Furthermore, study is being made on the total system to establish positively the arrangements of accepting orders of short term delivery, thus a new phase being opened for the manufacture in complicated special control division.

### 1. ま え が き

NC 形 コントロールセンタの製造に電子計算機を利用しようとするプロジェクトは、数年前に一部の部品選定、集計を行なうささやかなプログラムを、設計部門が利用しようとした時に始まる。

以来、このプロジェクトは時とともに発展し、今ではユニットの配列と全所要部品のリストアップを行なうにいたって、設計業務の相当部分の機械化を行ない、迅速な見積業務の機械化は、当社の営業活動を優位にたたせ、正確な原価計算の機械化は、特殊制御器の複雑な原価管理に新しい一面を開いた。

また、現在開発中の工程手配を行なうプログラムは、より短納期受注と、精度の高い仕掛品管理を可能にするものと期待されている。さらに部品の自動発注、総合日程計画の機械化など、トータルシステムへの夢は限りなく発展する。

このレポートは、このプロジェクトを通して受注製品生産工場における電子計算機の導入と、システムの進化の姿を紹介するものである。

### 2. NC 形コントロールセンタの概要

NC 形 コントロールセンタは、600 V 以下の誘導電動機や抵抗負荷などの開閉および保護を目的として作られたもので、それらの主回路開閉器や監視制御器具などを、各单位ごとにまとめたもの（ユニット）が集散的に閉鎖形の外箱に組み込まれたものである。

短絡事故に対する保護を行なう NF 形 ノーヒューズシタ 断器（以下シタ断器と略す）と、負荷の制御および過負荷保護を行なう EMO 形電磁開閉器の組み合わせを主体としたユニットは、コンパクトな引出構造を有するユニットケースに組み込まれて、自立閉鎖形の外箱に収納されている。

外箱には各外箱ごとの垂直母線と、いくつかの外箱を通す水平母線が組み込まれて、自動的にユニットを連結できる構造となっており、ユニットの点検、修理、取換は簡単に行なえる。

コントロールセンタの外観を図 2.1 に、ユニットの一例を図 2.2 に示す。

ユニットは内部取付器具によりその大きさを異にするが、タテ寸法が 240 mm (S 形) と 360 mm (L 形) の整数倍に統一され、これら 2 系列のユニットを標準寸法の外箱に自由に組み合わせて



図 2.1 NC 形 コントロールセンタの外観  
Fig. 2.1 Type NC control center.



図 2.2 ユニット 外観  
Fig. 2.2 Exterior view of the unit.

収納している。

外箱は必要に応じて何面でも列盤にすることができ、トビラには電流計、信号灯、スイッチなどを必要に応じて取り付けることができ、電動機容量や制御方式の変更に際してユニット配列の変更や増設を容易に行なうことができる。

昭和 29 年、他社にさがけて製作をはじめて以来、コンパクト、互換性、保守容易、高信頼性などの長所を認められ、期ごとに生産面数は上昇し、最近では火力発電所をはじめ、鉄鋼、石油、化学、化繊、ビルおよび一般工業において急速にその需要が増大し、月産 200 面をこえる生産を続けるようになった。



### 3. 開発の経過

コントロールセンタ製造に関し、電子計算機を利用しようとするこのプロジェクト着手の動機は、増大する仕事量に対処するための設計業務の機械化がその発端である。

Man-Power 効率の向上と、設計技術者の効果的な活用をめざして、単なる計算の機械化に止まらず、設計業務そのものの機械化にとりかかったのである。

開発に伴い順次 ルーチン・ワーク としての形態も整い、外箱にユニットを配列して外形図を作成し、所要外箱面数、水平垂直母線、配線材料のサイズと使用量などが選定されるようになり、製造に必要な部品を全部電子計算機のアウト・プットに指示することが可能になり、原価見積の機械化も行なわれるようになった。

さらに、顧客の電動機一観表に対して外箱の形式、シャ断容量、その他の仕様を変える比較見積が容易にできるようになり、戦略的な営業活動が可能になったし、アウトプットのユニット一覧表をそのまま承認図や製作図として積極的に使用できるようになった。

ここまでプログラムが開発され、形が整ってくると、初期の目的であった Man-Power 効率向上もかなり数量的にはあくできるようになり、設計企画者と製図者の配分比率も再検討されて、現在の人員を増すことなく、出図能力を 200% 近くまで上げ得る見通しもできた。

その上、直接プログラムに関与しなかった設計製図者も、改善に役立つ積極的な提案を行なうようになり、これがまた新しい刺激となって非常に効果的な標準化が実行されるようになり、コントロールセンタ製造の電子計算機利用は、ようやく本格的なものとなっていった。

営業所も顧客の引合に際し見積計算用として使うようになり、このプログラムの活動範囲は広くなり、同時に営業所第一線と製作所設計部門の距離は非常に縮まった。

その後も関係者の絶えざる努力と積極的な改善提案のおかげで標準化とプログラムは不離一体の形となり、現在では設計は例外処理以外はほとんど全面的にそのままのアウトプットを使用できるようになり、このプロジェクトの当初の目的はほぼ達成されたといえるようになった。

### 4. 関連業務の分析

前述のように、このプロジェクトは設計業務だけでなく、製造に関連あるほとんどすべての部門に関係を持つ一つの総合的なシステムの設立を目的としている。このようなシステムの設計においても、またその土台となるプログラムを作成するにも、最初に、そして最も徹底して行なわなければならないのは関連業務全域にわたる業務の分析である。

以下に業務内容を述べるのは、次章のプログラムにどのような機能が要求されるのかを理解する前提として取り上げるものであり、これがプロジェクト着手前のシステムの姿でもある。

記述内容には 6 章に述べるプロジェクト実施後のシステムと若干重複する部分があることをご了承いただきたい。

#### 4.1 営業業務

顧客より新設備計画の概要を提示された営業所は、製作所に引合の資料をそえて見積照会をする。製作所営業部門は見積事務担当部門に指示して必要な原価資料を作成させ、仕様書、外形図などを添付して営業所に回答する。

顧客は見積仕様書、外形図、価格などを検討してのち正式に発注し、営業所は受注通知書を製作所営業部門に送付する。

見積業務は営業所だけでも十分行なえるように資料が整備されているので、営業所が細部まで製作仕様を決定する場合も多く、この場合は受注通知書とともに工事用仕様書が送られてくる。

製作所内担当部門では受注連絡会議により、納期に対する日程計画を立て、仕様不明確点の照会、資材や部品の手配上、あるいは工程上の問題点などについて十分検討する。

なお営業は受注通知書に従って PCS (パンチカード・システム) のためのオーダー番号をとり、オーダーを発行する。

#### 4.2 設計業務

設計者は受注仕様書(電源方式、シャ断容量、各ユニット別の電動機の種別と容量、付属機器などの項目)により、大略次の手順で設計を行なう。

(1) シャ断容量、電動機の起動階級や起動時間などをもとに、各電動機のシャ断器と電磁開閉器の種別と定格電流を求める。

(2) 制御トランスその他の付属機器の定格と個数を求める。

(3) 上記の組み合わせから各電動機のユニット形名、トピラ加工図番を決定し、ユニット一覧表を作成する。

(4) 外箱にユニットを配列して、ユニット配置を示す外形図を作成する。

(5) 外箱、水平母線、垂直母線、電線のサイズが算定され、図面化される。

以上の設計内容はいずれも標準化された技術資料により比較的容易に設計できるが、通例標準外の新しい要求があり、部品取付加工や母線接続の図面が必要となる。さらに器具の形式や定格、動作仕様の検討もあって、かなりの設計時間が必要となる。

そのため設計の標準化と各部分組立の形式の記号化は、相当以前から進められ、外箱、ユニットの配列も合理的な表示方法が採用されていた。それゆえ、設計から工場に出図される図面の内容は、特別の加工図や製作図を除いて一覧表の形式がとられている。

#### 4.3 工程業務

各工事ごとの図面は工程担当者が部品納期その他の所要事項を記入して、帳表作成者に送られる。帳表作成者はオルメガ印刷機で各種の伝票を印刷して材料計画、進捗、担当工場に送付する。

工程担当者はそののち関係各部門の進捗担当者よりの情報で、工程のチェックと必要な指示を行なって、最終組立に必要な期日までに所要部品が整うように手配する。

#### 4.4 見積、原価業務

コントロールセンタの原価は従来より標準原価表が作成されていて、各営業所に配布されている。これを使って営業所が見積業務を行なう場合があることは前述したとおりである。

特殊仕様のものや、製作所で正確な原価見積を要するものは、製作所営業部門の指示により、設計部門は仕様の内容を検討して原価見積に必要な製作仕様を明示する。この資料は関係先に回付されて製造原価が算出され、製作所営業部門に回答される。

受注後の製造原価の正確な計算としては、製品製作のために発生した費用をオーダー番号ごと、あるいは特定グループごとに適確に区分はあくしている。

### 5. プログラム

このプロジェクトは現在 3 種の 7090 用プログラムを有している。第 1 のオーダー処理プログラムは見積業務用と製造業務用の二通りの



使い方ができるもので、現在このプロジェクトの中核となってルーチンとして働いているプログラムである。

第2の標準原価表プログラム、第3の標準設計表プログラムは後述されるマスタ・ファイルが更新されたときにそれぞれ標準原価表、

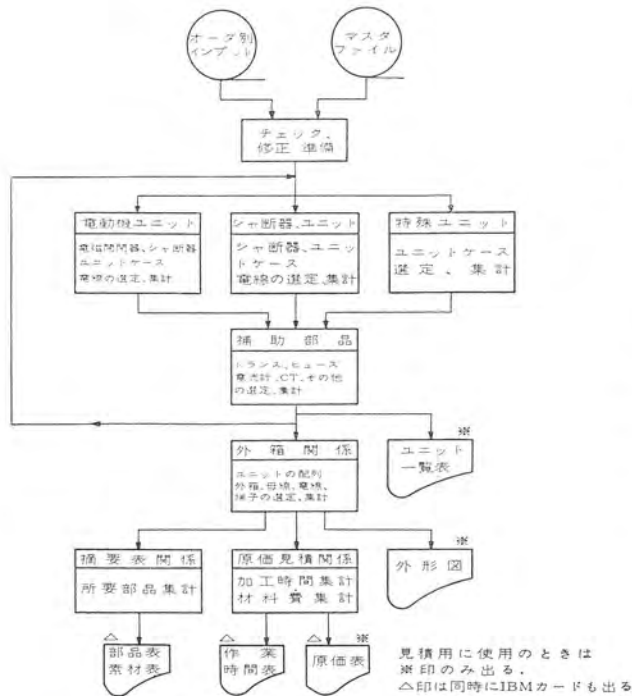


図 5.1 オーダ処理プログラムのブロック線図  
Fig. 5.1 Block diagram of order processing program.

標準設計表を作表する補助的プログラムである。

### 5.1 オーダ処理プログラム

このプログラムは前章に説明した設計業務を主体とし、それに原価業務を接続した構成になっている。プログラムは FORTRAN カード 3,000 枚に及び、詳細については紙面の都合で割愛するが、演算の流れを簡略化して示すと図 5.1 のようになる。

図中のマスタ・ファイルとはシャ断器選定表、電磁開閉器選定表、ユニットケース選定表、その他の部品選定表などの設計資料と、原価構成要素別の材料費、加工時間などの原価資料など、要するに業務に関係する一切の資料を網羅するインプット・データであり、設計部門のプログラム担当者により常に最新の状態でメンテナンスされている。

オーダー別インプットは工事用仕様書をインプット・データに変換したものであり、仕様をいろいろと変えて比較見積ができるような特別な工夫がしてある。またその記入にあたっては、コード番号帳などを要せず、英字を使って業務用語をそのまま用いて容易にインプットを作成でき、様式についても利用者の負担を軽減するように細かい考慮がはらわれている。

今、顧客よりの引合に際して見積業務用として使用する場合は次のアウトプットが得られる。

- (1) ユニット一覧表
- (2) 外形図
- (3) 主要原価表

また、オーダー発行後、設計部門が製造業務用として使用する場合は次のアウトプットが得られる。

ORDER NO.22-24956		MESSRS.TOYO PULP		NAME TAKAGI		SPEC.NO.2		DATE 3/7/63		DISPATCH 3/10/63		PAGE
SUPPLIER HIRO.ZOSEN		FOR PAPER PLANT		GROUP S								
MAIN C.T. 220V		CONT.C.T. 220V		FREQUENCY 60 CPS		RAP.CAP. 7500A		UNIT L-SERIES				
UNIT NO.	CIRCUIT IDENTIFICATION	RATING	UNIT CASE PANEL	BREAKER AUX.SWS.	CONTACTOR HEATER AUX.SWS.	TR FL	AA CT	PL	DB RY WHM CS AV PT	WIRE TERMINAL	REMARKS	
1 N	01/1 STOCK NUSH PUMP	15.00KW 48.1A 4P	L1-10CM06N 02SOP	NF100C100A	EMD-65 2A 2B	55.0A 100*		R+G	1	2250 9	E317503	
2 N	01/2 IBNDR ROLL	1.50KW 5.1A 2P	L1-05B2401 12SOP	NF-50B 30A	EMD-15 2A 2B	5.6A 100*	1-7.5A	R+G	1	5.550 6	E317503	
N*	01/3 IBNDR ROLL	1.50KW 5.1A 2P			EMD-15 2A 2B	5.6A 100*	1-7.5A	R+G	1	5.550 6	E317503	
3 N	01/2 IBNDR ROLL	1.50KW 5.1A 2P	L1-05B2401 12SOP	NF-50B 30A	EMD-15 2A 2B	5.6A 100*	1-7.5A	R+G	1	5.550 6	E317503	
N*	01/3 IBNDR ROLL	1.50KW 5.1A 2P			EMD-15 2A 2B	5.6A 100*	1-7.5A	R+G	1	5.550 6	E317503	
4 N	01/2 IBNDR ROLL	1.50KW 5.1A 2P	L1-05B2401 12SOP	NF-50B 30A	EMD-15 2A 2B	5.6A 100*	1-7.5A	R+G	1	5.550 6	E317503	
N*	01/3 IBNDR ROLL	1.50KW 5.1A 2P			EMD-15 2A 2B	5.6A 100*	1-7.5A	R+G	1	5.550 6	E317503	
5 N	23/2 2NDRY SCREEN PUMP	30.00KW 95.0A 4P	L2-22DM15N 02SOP	NF225D150A	EMD-155 2A 2B	110.0A 100*		R+G	1	6050 9	E317503	
6 N	23/2 2NDRY SCREEN PUMP	30.00KW 95.0A 4P	L2-22DM15N 02SOP	NF225D150A	EMD-155 2A 2B	110.0A 100*		R+G	1	6050 9	E317503	
7 N	23/2 2NDRY SCREEN PUMP	30.00KW 95.0A 4P	L2-22DM15N 02SOP	NF225D150A	EMD-155 2A 2B	110.0A 100*		R+G	1	6050 9	E317503	
8 N	23/3 VERT. SCREEN PUMP	11.00KW 35.5A 4P	L1-10CM06N 02SOP	NF100C 90A	EMD-65 2A 2B	46.0A 90*		R+G	1	1450 9	E317503	
9 N	23/3 VERT. SCREEN PUMP	11.00KW 35.5A 4P	L1-10CM06N 02SOP	NF100C 90A	EMD-65 2A 2B	46.0A 90*		R+G	1	1450 9	E317503	
10 N	23/3 VERT. SCREEN PUMP	11.00KW 35.5A 4P	L1-10CM06N 02SOP	NF100C 90A	EMD-65 2A 2B	46.0A 90*		R+G	1	1450 9	E317503	
11 N	23/3 VERT. SCREEN PUMP	11.00KW 35.5A 4P	L1-10CM06N 02SOP	NF100C 90A	EMD-65 2A 2B	46.0A 90*		R+G	1	1450 9	E317503	
12 N	23/3 VERT. SCREEN PUMP	11.00KW 34.2A 2P	L1-10CM06N 02SOP	NF100C 90A	EMD-65 2A 2B	39.0A 100*		R+G	1	1450 9	E317503	
13 N	23/3 VERT. SCREEN PUMP	11.00KW 36.2A 6P	L1-10CM06N 02SOP	NF100C100A	EMD-65 2A 2B	46.0A 90*		R+G	1	1450 9	E317503	
14 L	CONT. CONT/Flicker	50.0A 50.0A	L1-05B-05B 01SOP	NF-50B 50A 2P	NF-50B 50A 2P			R		2250 6	E317501 FRX2	

図 5.2 ユニット一覧表

Fig. 5.2 List of units.



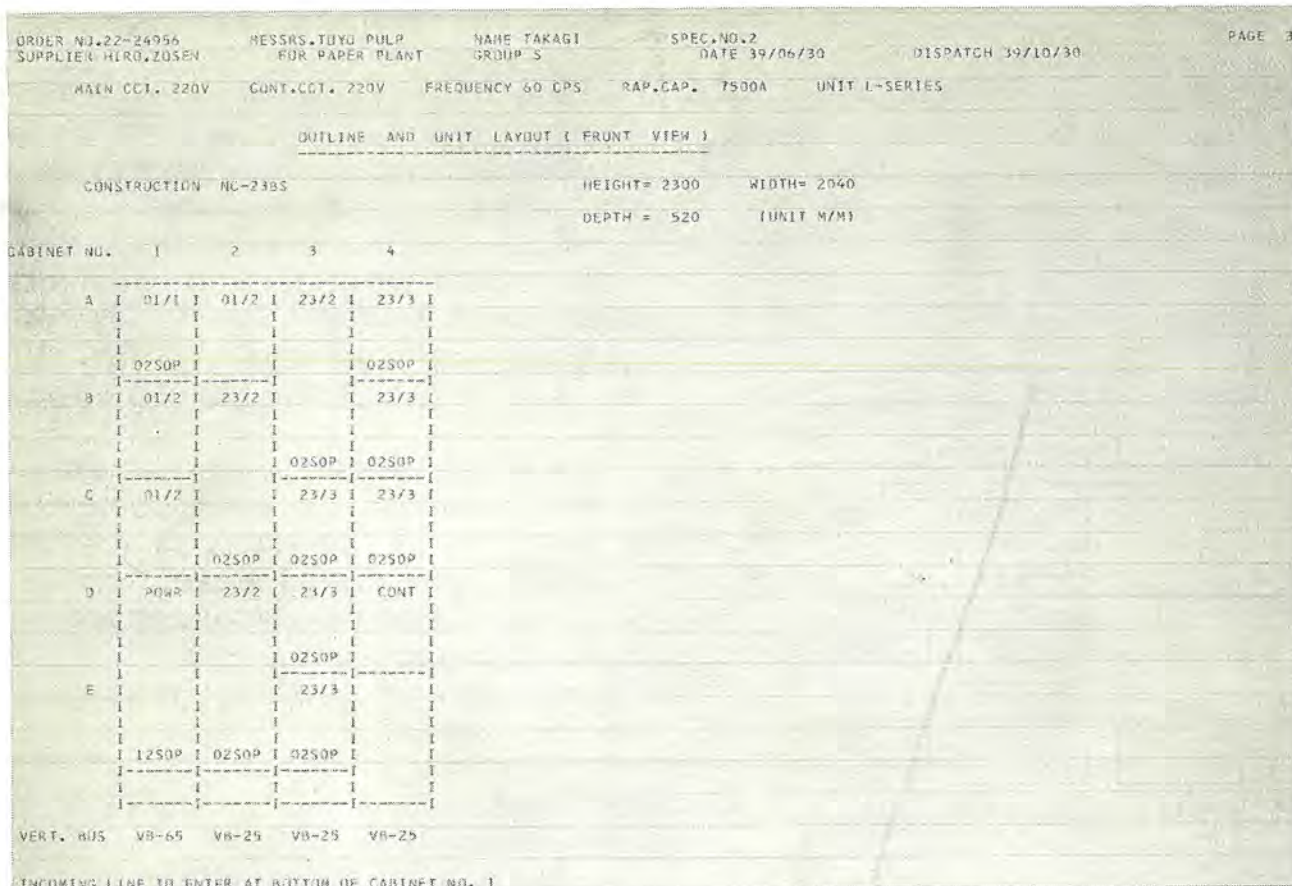


図 5.3 コントロールセンタ 外形図

Fig. 5.3 Outline and unit layout.

- (1) ユニット一覧表
- (2) 外形図
- (3) 盤素材表
- (4) ユニットケース集計表
- (5) シャ断器、電磁開閉器、その他の部品集計表
- (6) 加工時間表
- (7) 明細原価表

この際、リストと同時に製造情報が高度に濃縮した形で IBM カードにパンチアウトされ、後述される工程管理業務プログラム of インフラットとして準備される。ユニット一覧表を図 5.2 に、外形図を図 5.3 に示す。

## 5.2 標準原価表プログラム

このプログラムは前述のマス・ファイルを読み込んで各原価要素ごとにリストアップする。ここでいう原価要素とは電子計算機用に作られたもので、従来の原価見積の際の項目とは異なっているが、現在では手計算によるものも含んですべての原価見積をこの方式で処理している。

## 5.3 標準設計表プログラム

このプログラムは前述のマス・ファイルを読み込んで標準設計資料をリストアップする。この際、単にマス・ファイルの各種選定表をそのまま作表するのではなく、各定格電流ごとにシャ断器の種類と定格、電磁開閉器の種類と定格など関連あるものを適当に組み合わせ、設計者が利用しやすい様式でアウトプットするようデザインされている。

## 5.4 標準化の推進

標準化は近代産業の基本思想である。また、最近の産業界では標準化なくしては電子計算機の利用はありえないことが常識化したようである。

コントロールセンタは最初から標準化された機種だからここまでやったのだとの意見もあろう。しかし、このプロジェクトのおもな努力はプログラミングではなく、標準化に対してはらわれたのであり、現在もその努力はますます強力に続けられている。決して想像するほどたんたんなる道を歩めたわけではない。

われわれの場合、設計業務の標準化には二つの形があった。第一は多数の設計者の設計思想の統合により最良の設計方式を決める標準化であり、第二は部品や加工方法を標準化することであった。

設計方式の標準化は一人が一機種担当している場合は問題ないが、実際には設計者と補助者が用途別あるいは顧客別にいくつかのグループに分かれており、たとえ標準設計資料はかなり整備されていても、特殊管制器の性格上例外事項が多く、従来は設計者による個人差が相当にあった。そこで設計者が集って設計方式の精粗や、余裕に対する考え方を十分検討し合って調整、統合した。また、標準設計資料そのものにも個人差を生じる原因になるものがいくつもあった。

たとえば、従来は顧客から示される電動機容量からシャ断器や電磁開閉器を選定する表を用いていたが、標準外の電源電圧や電動機容量や重負荷起動の場合には選定表に該当個所がないため、選定に若干の個人差を生じた。これを電動機容量を定格電流に変換して選定することにし、また現実の電動機では同一容量でも電流が相当バラツキがあるので、多数のデータから容量対電流の回帰曲線を求め、電源電圧、周波数、電動機容量、極数が与えられると電流が定まり、シャ断容量、起動階級、起動時間などを指示すればシャ断器と電磁開閉器の形式と定格が選定されるように改めた。

第二の部品や加工方法の標準化は現行中のオーダーをうまくさば



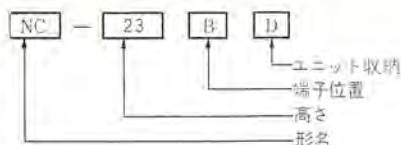


図 5.4 外箱形名の構成  
Fig. 5.4 Type of cabinet.

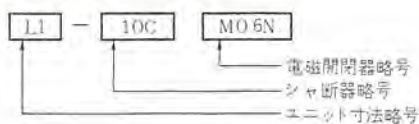


図 5.5 ユニット 形名の構成  
Fig. 5.5 Type of unit.

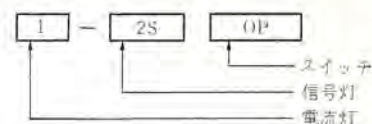


図 5.6 トペラ 加工図番の構成  
Fig. 5.6 Code No. of panel machining.

きながら標準化を進めるので、かなりの手際よさを要した。このタイラの標準化は形名の設定によって特長づけられている。たとえば、以前より外箱形名は図 5.4 のように高さや負荷側端子の引き出し方向とユニットが外箱の片側につくのか両側につくのかによって形名を見れば内容がわかるようになっていた。

これと同じ思想でプログラミングに並行して各種の部品に新しい形名制度を採用し、その標準製作図の完備と実施にふみ切った。たとえば、ユニット形名は従来は形名表を調べなければその内容がわからなかったのを、図 5.5 のようにユニット寸法、遮断器形名、電磁開閉器形名の 3 要素で表現することにして、形名から内容がわかるようになった。

水平母線、垂直母線などの形名も同様であり、たとえば、HB-65 は定格 600 A の外箱 5 面用の水平母線の形名である。垂直母線はこの見直しの際、長さが 13 種類もあったのを 8 種類に削減した。

加工方法の標準化の例としてはトペラ加工がある。従来、トペラ加工図はユニット寸法とトペラ取付品の組み合わせにより多種多様であった。たとえば、押しボタン・スイッチが 2 個取り付けられる場合でもユニット寸法 240 mm では横に 2 個並び、ユニット寸法 360 mm ではタテに 2 個並ぶといった具合であった。これを図 5.6 のように電流計、信号灯、スイッチの 3 要素で表現することとし、ユニット寸法にかかわりなく同一加工図を使い、美観を損なうことなく生産性を向上することができた。

このようなプログラミングに伴う標準化は、原価低減や業務効率の向上といった直接的な効果のほか、次のような利益をもたらす。

(1) 業務内容を徹底的に分析し、ロジックを探索するため、日常業務では気づかなかった設計上、工作上的問題点を発見し、大きな改善を行なえる可能性がある。すでに標準化の相当進んでいる部門でも標準化のよい見直しの機会となる。

(2) 平常から標準化の不足に気づいていても、その場は何とかとりつろっていた問題点を残らず明るみに出し、業務全域にわたって明確に規定しなければならない。これは部分的な標準化を全体的な標準化に押し進める絶好の機会である。

(3) ある部門での標準化が他の部門の標準化を刺激、促進し一貫した総合的標

準化体系へと発展させることができる。

(4) 関係者の標準化に対する認識が深まり、標準化への支援が得られ、その後の標準化がスムーズに推進される。

## 6. システムの運営

現在のコントロールセンタの見積、製造のシステムは、個別オーダー処理を行なうプログラムを中核として従来のシステムを改造したものである。残念ながら現時点では主としてデータ伝送システムの分野が未開拓であるため、この種システムの最終目標とされるトータル・システムへの機は熟していない。

われわれとしても将来やりたいことはいろいろあるが、このシステムは現状の制約の中で一応精一杯のものではないかと考える。

われわれはシステムの設計にあたって、仕様変更は例外ではなくて通例であることを理解し、それに対する修正処置を正確、迅速に行なえること、また標準は改善されるためにあることを認識して確実に現状に合わせることができるようメンテナンスしやすいことを重要視した。

図 6.1 に現在のシステムのブロック線図を示し、以下その流れに従ってシステムの運営について説明しよう。なお、プロジェクト実

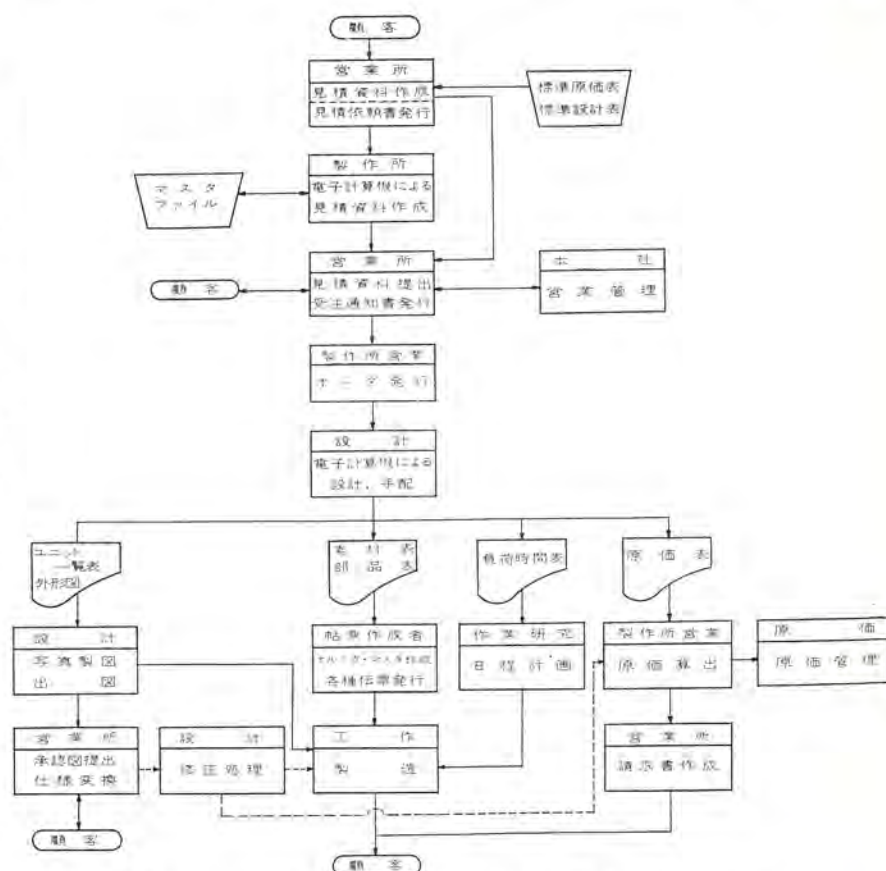


図 6.1 システムのブロック線図  
Fig. 6.1 Block diagram of system.



施前の各部門の業務についてはすでに述べられているので、プロジェクト実施後も変化していない部分についての記述は簡略化した。

### 6.1 見積関係

営業所より製作所に対し見積依頼がきた場合は、設計は顧客が提示した購入仕様書によりオーダー別インプットを作成し、本社計算部門にオーダー処理プログラムを見積用に使うように依頼する。このとき、顧客における仕様が最終決定していない場合には必要に応じて仕様断容量、外箱の形式その他を変えたいいくつかのケースについて比較計算を行なわせ、その原価変動についての情報を営業に提供し、戦略的営業活動に資する場合がある。

営業所が自力で見積を行なう場合、あるいは仕様変更による原価変動の計算を行なう場合には、後述されるが製作所から提供されて常に最新の状態にある標準原価表、標準設計表を利用する。

また、最近では営業所が電子計算機になれてきて、自分でオーダー別インプットを書いて直接本社計算部門に計算依頼する場合も多い。今後はいっそうこのような営業所による直接利用の割合をふやす努力をしたい。

なお、多くの場合において顧客には電子計算機のアウトプットが正規の見積仕様書の一部として提出される。

### 6.2 設計関係

受注決定後オーダー発行までは従来と同じである。次に設計はオーダー処理プログラムを製造業務用として用いて前述5.1節に示した各種アウトプットを得る。

すでに指摘したように、この機種では仕様変更は通例なのであり、これにいかにか標準図面を流用するか、またやむを得ないときはどのような仕様にするかを検討し、アウトプットに修正を施し、必要ならば特殊加工図をつけて図6.1のように関係先に出図する。ユニット一覧表と外形図はそのまま正式図面として仕上げ、工事用図や顧客への承認用図として使うことになり、設計の出図能力は著しく増大した。

なお、承認用図提出の段階で顧客より仕様変更の要求があれば設計はただちに工作に工事用図と部品表の修正処置をとり、同時に製作所営業に原価変動を連絡する。

### 6.3 工程関係および原価関係

原価計算については完全な原価のリストが電子計算機から得られるので、従来のまったく面倒きまわりの特殊管制器の原価計算事務から全面的に解放されたことは画期的な変革であった。

工程関係については従来とほとんど変わりが無い。しかし後述するように、短期計画として帳票作成事務を機械化するプログラムの開発を取り上げており、これが完成したあかつきには全体を通してのデータ処理時間は従来の観点からすれば驚異的といえるまで短縮するはずである。

### 6.4 設計管理

特殊管制器の宿命ともいえるが、次から次へといろんな顧客からくる千変万化の仕様に対しその場限りの野放図な設計管理をしていると半標準的な図面や部品の種類が無制限に増加する。

この多くのオーダーを注意深く分析して、特殊性の中に一般性を見出し、標準化を行なってゆくことがこの種の機種の設計部門に負わされた大きな責任ではなからうか。

これはいうはやすくして行なうはむずかしく、これではいけないと気づいたときは大抵手遅れで、あまりの大仕事にどこから手をつけるべきかも決めかね、結局何とか当面をとりつくろって標準化はまた明日にしようということが多いようである。

コントロールセンタにもそのような危機があり、これを乗り切るためこのプロジェクト開始以前から標準化担当者を置いて各オーダーを研究しながら長時間にわたって徐々に標準化を浸透させていった。この努力の結晶が標準化を絶対の前提とするプログラムの作成にどれほど大きな力となったかはいうまでもなからう。

現在も標準化担当者は各オーダーを当って顧客の要求する特殊仕様を検討し、本質的でないものについては当社の標準仕様を採用することを考慮してもらうため、必要な資料を添付して顧客に照会している。また、今後も繰り返えされそうな一般性のあるものを標準に入れるべきかどうかを検討するのも標準化担当者の重要な任務である。

このようにして新設、あるいは改廃された標準についての情報は関係者にすみやかに連絡し、これによって計算機専任者はマスタ・ファイルの修正を行なう。こう書くとしごくうまく運営されているようだが、標準化担当者間の設計方針の完全な統一はやさしい問題ではないと申し添えておこう。また、マスタ・ファイルの修正も一部データの改訂はそこだけで止まらずデータの他の部分にまで影響するため、それらの関係を常に完全にはあくしておかなければならない大変な仕事なのである。

さて、設計部門で標準に繰り入れられた図面はオーダーに使用する以前に工場に出図され、オルログ帳表の準備と標準部品として在庫手配するが、この一連の処置が正確、迅速に行なわれることが工場管理のポイントであり、同時にシステム運営の良否の判定基準でもある。

### 6.5 原価管理

コントロールセンタの標準原価表は毎営業期ごとに標準加工レートの変更に伴い改訂されて製作所関係先および営業所に配付される。この利用法についてはすでに述べたとおりである。

図6.2は前述の標準原価表プログラムにより標準原価表を作成するプロセスを示したものである。

標準原価表はもし製造に変更が生じた場合はマスタ・ファイルの該当原価情報を変更すれば、ただちに新しい標準原価表が作成でき、原価変更の手間は非常に軽減されレスポンスは著しく向上した。

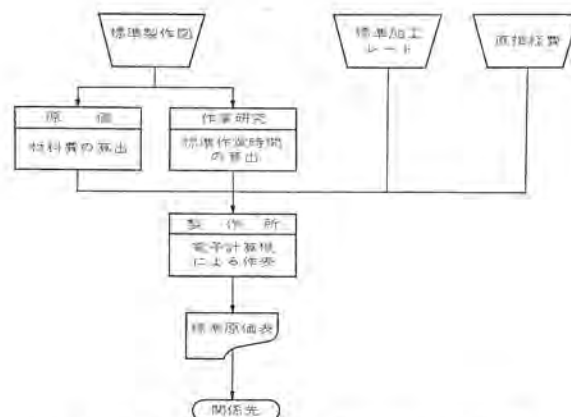


図 6.2 標準原価表作成のブロック線図  
Fig. 6.2 Block diagram of standard cost table.

## 7. 今後の計画

現在のプログラムにもシステムにも決してわれわれは満足していない。ある時点で立てた目標にたどりつくと、そこをベースとしてより良い目標が現われる。このような過程を幾度も繰り返してこのプロジェクトは今日の姿にまで進歩してきた。それぞれの進歩



が漸進的であったればこそ、ここまでこれたともいえる。

このプロジェクトは前にも述べたように、元来は設計業務を対象としたローカルな性格のものとしてスタートした。これが原価業務にも見積業務にも使えるようになり、このプログラムのアウトプットが工程管理業務のインプットにも使えることが明らかになって、コントロールセンタ製造の全職制をカバーする一種のトータル・システムへの道が開けたのである。

このシステムを今後、よりダイナミックな効果的なものとするため、われわれは前述されたような問題を持ちながらもすでに次の新しい計画の検討に入っており、ここにその大要を紹介しよう。

#### 7.1 MELCOM-1530 の活用

現在使用している大形電子計算機 IBM 7090 は当所からは遠隔地である東京に設置されているため、インプット、アウトプットを郵送に依存している現状ではレスポンスに難点があり、当面最大の頭痛の種となっている。たとえば、小さいミスでも郵送日時を含めると処置に非常に時間がかかることがあるし、外箱面数が少ない場合は手計算の方が便利になってくる。

幸い当所に中形電子計算機 MELCOM-1530 が設置されるので、将来作成されるものはもちろん、現在あるプログラム群も逐次 1530 用書き換え、データ処理時間を一きょに短縮する計画である。7090 ではプログラムとインプットの全部を 32K のメモリに納めることができたが、1530 では必然的にチェイン・ジョブにしなければならない。しかし、演算時間をあまり増さずに技術的に解決できる見通しがついている。

#### 7.2 帳票作業の機械化

現在プログラムは設計業務を対象としているため、電子計算機からでた素材部品表は、従来通り帳票作成者がそれをさらに部品細目にまで分解してオルミグ印刷機にかけて、各種個別伝票を発行して所定の手配を行なっている。

たとえば、リストに垂直母線 VB-45 とあると、これを3本の母線本体、3種類の接続導体、6個の母線ささえとささえ金、2種類のネジ、ザガネなど多数の部品に分解しなければならない。次に、これら各部品細目にわたって集計し、あるものは小庫から組立係へ払い出し、あるものは機械係に製作手配し、機械係は所要材料を資材倉庫へ倉出カードにより請求する。

現在これを機械化する 1530 用プログラムを開発中であり、近い将来に各種伝票をリストとして、購買請求券や倉出カードは IBM カードとしてアウトプットする予定である。

#### 7.3 在庫管理

上の計画が実施できれば、相当広範囲の素材、部品について自動発注方式が適用可能なはずで、特殊管制器につきものの多品種小量在庫管理に新しい局面をひらくものと期待されている。

#### 7.4 短納期受注

製品の市場での競争力の基礎となるのは品質と原価と納期である。最近 RONS (Rapid Order Negotiation Service) と呼ばれる方式が最もすぐれた短納期受注方式として注目されており、このプロジェクトでも RONS 方式の採用を目標にしている。コントロールセンタではすでに受注業務の標準化も進んできており、RONS 方式の土台となる営業所、製作所間のテレコミュニケーション網が完成すれば、電子計算機による速応データ処理と合理化したシステムの運営により RONS 体制をとり、顧客へのサービス向上につくことができよう。

#### 7.5 日程計画の機械化

現在プログラムから得られる各オーダー別の情報を基に、各オーダーのバランスを取って、生産ラインに流す日程計画プログラムが長期計画として検討されている。

これは多くの情報発生元にデータ収集装置を設置することが前提となるが、上の段階まで順調に計画が進めば、関連各部門にわたってこのシステムを受け入れる準備体制は十分できているものと思われる。

この段階までくれば、関連各部門は自部門の最適化を追求する単に分業組織の寄せ集めではなく、全体の最適化を目指す一つのシステムとして統合され、関連する一群のプログラムは互いのインプット、アウトプットにより緊密に結びついた一種のトータル・システムをもってゆけるものと考えられる。

### 8. む す び

以上で NC 形コントロールセンタ製造における電子計算機利用について、開発の動機から将来の計画まで約2年間の経過について報告したのであるが、現在まだシステムとしては開発途上であるにもかかわらず、あえて本文を提出した理由は、制御器関係の、しかも個別オーダー工場として非常に工場管理の難しい部門における実験的試みだからであることを申し添えたい。

この間、このような試みが比較的スムーズに進み、しかもかなりの成果を納め得たのは、製造部ならびにスタッフ部門の管理者の理解と関連他部門の協力によることをここに改めて報告し、これらの方々に深く感謝する次第である。



# 本質安全防爆多点温度指示装置

渡 辺 宏\*・杉 本 弘\*

## Intrinsically Safe Temperature Measuring Apparatus

Kōbe Works Hiroshi WATANABE・Hiroshi SUGIMOTO

An electrically operated multi-point temperature selective indicating apparatus of intrinsically safe construction has been, for the first time in this country, completed by Mitsubishi. Based on the British Standard, the apparatus has undergone the test of the authoritative Testing Authority to be certified of its intrinsically safe explosion-proofness. Furthermore it has been also approved by The Doyd's Register of Shipping.

The apparatus has been delivered to Nagasaki Shipyard of the Mitsubishi Heavy Industries and carried on the oil and are transport ship, Raunala, of Granges Bergs Bolaget, Sweden. Another unit is under construction for its sister ship, Rautus.

### 1. ま え が き

当社はこのたび、わが国で初めて本質安全防爆構造の電気式多点温度選択指示装置を完成した。この装置はイギリス規格に基づいて、権威ある国家試験機関で試験され本質安全防爆の証明を受け、さらにまた、イギリスロイド船級協会の承認も受けたものであり、世界でもあまり例がないものである。

この装置は三菱重工業長崎造船所建造のスウェーデン GRANGES BERGS BOLAGET 納め油、鉱石運搬船 RAUNALA 号にとう載された。

また、姉妹船 RAUTUS 号にとう載用のものも現在製作中であるが、本文では、前者のものについてその概要を述べることにする。

### 2. 本質安全防爆

可燃性ガス蒸気が空気と適当な割合で混合し、爆発性ガスとなると、電気火花により点火され爆発する。しかし、電気火花のもつエネルギーがある限度以下に小さくなると、点火の可能性が非常に小さくなり、実際には点火しないと考えてよい。

本質安全防爆構造とは、電気機器または回路で発生するいかなる電気火花も爆発性ガスに点火する確率が十分小さく、実質的に点火しないように考慮された構造をいう。

現在、JISで規定されている防爆構造の耐圧、内圧、油入、および安全増防爆構造では、故障時はもちろん、正常な動作中でもこれらの電気機器から発生する火花はすべて爆発性ガスへの点火能力があるものとして、点火の防止方法を提供しているのに対し、本質安全防爆構造ではいかなる発生火花も点火能力がないように機器、回路に考慮を払ったものである。したがって機器の構造や外観は普通のものと同じであり、経済的にも有利なものである。

本質安全防爆構造についてイギリス規格 1259 では次のように回路と機器とに分けて定義している。

(1) 本質安全な回路とは、試験実施当局により規定された条件で、かつ明細書に列挙した回路要素をもった回路で通常の動作中発生するいかなる電気火花も対象ガスに点火しない回路をいう。

(2) 本質安全な機器とは、試験実施当局により規定された条件で設置、使用した場合、その機器または回路のいずれにおいて

も通常の動作中発生する電気火花が対象ガスに点火しない機器をいう。

ここで「通常の動作中」とは、通常の使用中、本質安全防爆性を必要とされる回路において、回路をシャ断または短絡した場合に生ずるような火花を含むものであり、さらにまた試験実施当局が実際に生じうると考えるいかなる故障時の発生火花も含まれる広いものである。

本質安全防爆については、現在イギリスの他オランダにおいても規格が制定されており、その他ドイツ、フランス、ベルギー、スイス、イタリア、スウェーデン、アメリカ、日本でも研究されまた規格化されつつある。

### 3. 仕 様

この装置のおもな仕様は次のごとくである。

測定対象	積荷の油または鉱石の温度
測定場所	タンク 内
測定タンク数	右舷・左舷タンク 各 12 } 合計 30 中央タンク 6 }
タンク 深さ	右舷・左舷タンク 17 m 中央 13 m
測定範囲	0~100°C
測定方法	甲板から熱電対を各タンクにそう入し、右舷および左舷タンク 24 については、深さ 3 m および 17 m の所の温度の平均値を、中央タンク 6 については深さ 13 m の所の温度を検出し、1 台の指示計で遠隔選択指示させる。
熱電対	CA 熱電対、防水形、シース材質 SUS-27、シース外径 4.8φ、耐圧 5 kg/cm <sup>2</sup>
温度指示計	防滴、パネル埋込形、電子式自動平衡形、0.5 級、目盛範囲 0~100°C
切換スイッチ	30 点切換押しボタン式、防滴、パネル埋込形
規 格	LR
船体振動	振動数 16.7 c/s、振幅 ±3 mm
船体ローリング	22.5 度
船体傾斜	30 度

### 4. 構 成

この装置の機能は、防爆の点を除けば、ごく一般的な多点手動





図 4.1 熱電対  
Fig. 4.1 Thermocouple.



図 4.2 熱電対端子箱  
Fig. 4.2 Therminal box of thermocouple.



図 4.3 選択呼出盤  
Fig. 4.3 Selector switch panel.



図 4.4 冷接点補償器  
Fig. 4.4 Cold junction compensator.



図 4.5 冷接点補償器用電源箱  
Fig. 4.5 Cold junction compensator.



図 4.6 温度指示計  
Fig. 4.6 Temperature indicator.

選択温度指示装置であり、その構成要素は次のごとくである。

#### (1) 熱電対

クロメル-アルメル 熱電対で、船倉上部、底部の測温部に応じ 3, 13, 17 m の 3 種の長さのものを甲板からそう入した。図 4.1 は熱電対の外観である。

#### (2) 補償導線

各タンクに配置された熱電対の甲板引出部分から監視室の装置本体まで甲板上を電線管により配線してある。

#### (3) 端子箱

各熱電対と補償導線との接合部保護ケースで、タンク上部の熱電対引出穴のカバーとしてガス漏れ、海水の浸入を防げくものであり、耐波浪、耐爆構造となっている。(この耐爆構造は本質安全防爆構造とは基本的には関係のないものである。) 図 4.2 は端子箱の外観である。

#### (4) 選択呼出盤

各タンクの 30 組の熱電対の信号から測定しようとする熱電対の信号を選び出す装置で、信号切り換えのためのリードリレーとリレーの選択動作のための押しボタンスイッチにより構成されている。図 4.3 はその外観である。

#### (5) 冷接点補償器とその電源

熱電対(補償導線)の冷接点側温度は室温であり、熱電対の信号起電力は室温に相当する温度分だけ低いものになるので、これを補償するためのものである。

図 4.4 は冷接点補償器、図 4.5 は電源箱の外観を示す。

#### (6) 指示計

自動平衡形、全トランジスタ式のものである。これは真空管式のものに比べ、内部回路の電源電圧が小さいから、このような目的のためには好都合である。全振入力電圧 0~4.2 mV で AR600 形を次に述べるごとく改造して用いた。図 4.6 はその外観である。

### 5. 本質安全防爆回路設計

#### 5.1 基本方針

この装置において、タンク内の原油から発生する爆発性ガス(この本質安全防爆多点温度指示装置・渡辺・杉本

れは最も発火しやすい水素 22% 空気混合気と見なした)は、熱電対の周囲、端子箱の内部、補償導線電線管の内部に充満している。このため、これらの部分で事故により点火レベル以上のエネルギーを持った電気火花(ガスの種類別に点火に要するエネルギーは、実験により表 5.1 のように判明している)が、発生すればかならず爆発が起こればならなければならない。

表 5.1 対象ガス級別と最小点火エネルギー

ガス	蒸気	メタン	ペンタン	エチレン	水素
ガス級別(級)	1	2c	2d	2e	
最小点火エネルギー(μJ)	280	280	85	20	

しかし、この装置の主要部分をなす選択呼出盤、補償器、指示計は爆発性ガスが充満しないと思われる監視室に設置されるので、この部分での発生火花は爆発に直接つながらないと考えてさしつかえない。

以上よりこの装置における「発火点」は熱電対と甲板の補償導線部分に限定されてしまい、発火点にない装置はただ発火点への点火エネルギー供給要素として考えればよいことがわかる。

2 章においても説明したように、本質安全防爆とは、爆発の原因となる火花発生を防止するのはむしろのこと、かりに火花が発生してもそれが正常動作中の火花ならむしろ、事故による火花でもそれによって周囲のガスに点火し得ないような小さなものしか原理的に発生し得ないように装置を構成するものである。このために必要な処置、すなわちまず爆発性ガス中で構造的に火花が発生しないように、次に回路的に、点火エネルギー以下の火花しか発生し得ないようにすることが設計上の基本方針となるのである。

#### 5.2 爆発に至る経路

発火点において火花発生に至る経過を考えれば、大きく分けてまず次の二通りの場合が考えられる。

その第 1 は、装置が正常動作中、機械的ショックにより回路の切断、短絡、接地事故が起こり、火花が飛ぶ場合で、第 2 は、装置が故障または異常動作中にこれらが起こる場合である。

第 1 の場合には、

(1) 切断回路の自己誘導による火花……回路の誘導係数と切



断時に回路に流れていた電流値の大小が火花の大きさに影響する。

(2) 回路が短絡されて、回路に接続されていた起電力要素、たとえば熱電対や補償器、あるいは蓄電器からエネルギーが供給されて飛ぶ火花……起電力要素の起電力、内部抵抗、蓄電器ならチャージ電圧、容量、短絡部分を含めての回路時定数などが影響する。

さらに第2の場合には

まず故障内容が問題となるが、これは点火部分にエネルギーを供給し初めるような、あるいは通常供給していたエネルギーが増大するような故障、要するに火花エネルギーに影響があるような故障のみが問題になるのである。

このような故障は、その内容および組み合わせによって、非常に多くの場合が考えられる。たとえば発火点の切断、短絡、接地などは実際には単独に起こるよりも組み合わせられて起こる方が多いであろうし、またその各過程において回路のL、Cが変化しながら組み合わさるので、発火点の過渡的電圧、電流は非常に複雑な変化をするのである。これらに対しては事故の内のより爆発の可能性ある事例を取り上げることにより多くの場合を考慮外へはぶき去るようにするのである。

そこでおもな場合を記せば、

(3) 電源ラインが点火レベル以上のエネルギーを供給し得るような仕方では発火点につながる場合。

(4) 装置の内部電源が上記と同様に発火点につながる場合。

(5) 装置の内部回路や電源ラインなどが発火点につながる結果、発火点における自己誘導係数、静電容量などが増加し、ここに発火点に通常存在するエネルギーが蓄積されるような場合、などである。

以上に示したような点火の経路のおのおのに対する基本的対策を以下に示すこととする。

### 5.3 火花エネルギー減少の基本的方法

本質安全防爆のための基本的方法は、一般に原理的にはたいへん簡単でありながら、実際には装置の機能を落とさずに基本的手法をとることができない場合が多いことから、技術的に問題がたいへんめんどうなものになる場合が多いようである。

たとえば5.2節(1)および(2)に示した種類の事故に対しては、まず発火点(信号回路)に電流が流れないようにすればよいのは当然であるが、現実にはそれは不可能であるから、回路の定数L、C、Rと必要な点火エネルギーから、許される最大電圧、電流

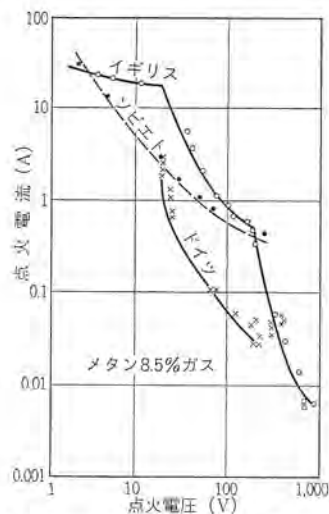


図 5.1 抵抗回路の点火電流と電圧  
Fig. 5.1 Igniting voltage and current of resistance circuit.

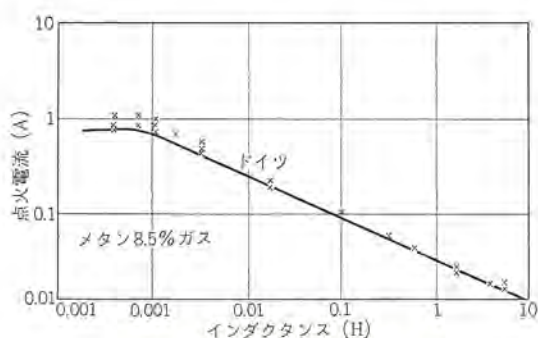


図 5.2 誘導回路の点火電流  
Fig. 5.2 Igniting current of inductance circuit.

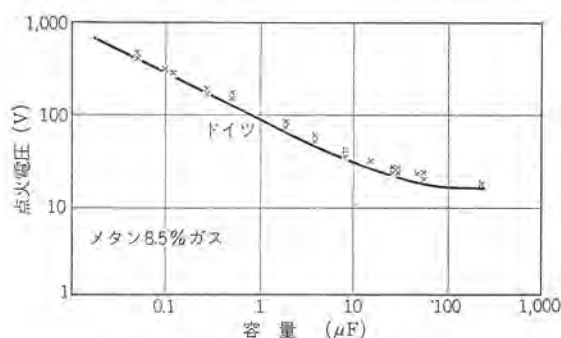


図 5.3 容量回路の点火電圧  
Fig. 5.3 Igniting voltage of capacitance circuit.

表 5.2 直列抵抗のある容量回路の最小点火電圧  
(試験ガス メタン 8.3% 火花発生器 S. M. R. E.)

直列抵抗 R (Ω)	最小点火電圧 (V)		
	1 μF	10 μF	100 μF
0	122	37.5	25
50	212	—	78
100	288	155	—
125	—	—	132
200	362	212	—
250	—	—	210
300	—	288	—
333	—	—	262
400	—	312	—
500	—	—	312
600	—	362	322
1,000	—	—	335

値を決定し、その値以下になるよう検出器の選定、回路定数の変更などを行なう必要が生じるのである。

誘導素子、容量素子、抵抗などを含む回路のメタガスに対する点火電圧、電流などの値を図5.1～5.3および表5.2に示した。

5.2節(3)および(4)の電源エネルギーによる火花に対しては、電源不用の装置にすればよいのであるが、そのような装置は現在のところ技術的にも経済的にも困難なものであるから、代わりにこのような事故が起こる確率をほとんど0と見なせるような(厳密に言えばこの確率が、点火エネルギー以下で爆発が起こる確率よりも小さくなるような)処置を施すのである。

ただ内部電源については、点火レベル以下のエネルギーしか流出しないように回路を設計することはある程度可能であるから、本来の仕方でも目的を達することができるのである。

## 6. 具体的回路設計と動作説明

結線図6.1において、5.3節に示した対策が具体的にどのような回路として織り込まれているか記すこととする。(特許出願中)

### 6.1 熱電対部分

(1) 熱電対はタンク内で継目のない一体のものにしている。これは継目での事故の増加を防ぐためである。



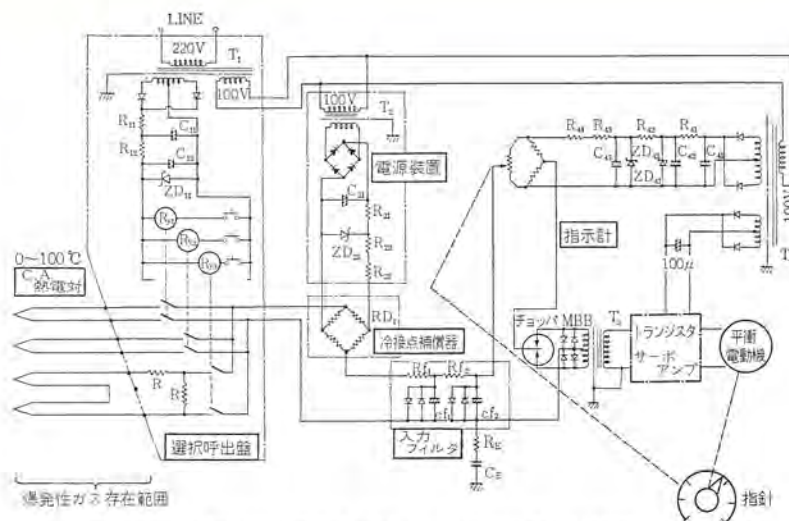


図 6.1 本質安全防爆形多点温度選択指示装置の結線図 (特許出願中)  
Fig. 6.1 Connection diagram of intrinsically safe temperature measuring apparatus.

(2) 熱電対の出力電圧は 100°C においても 4.2 mV で、信号回路の電流は数  $\mu\text{A}$  以下にすぎないから、これによる点火の恐れはまったくない。

## 6.2 補償導線

通常の船用鉛被導線を用いた。

## 6.3 選択呼出盤

(1) 信号回路は選択 リレー (Ry) によって内部回路と絶縁した。さらに内部回路はトランス (T<sub>1</sub>) により電源ラインと絶縁し、内部回路を直流的にアースより絶縁して、いわゆる電氣的に「浮いた」状態とした。

(2) さらに、この電源トランスは一次、二次コイル間に両コイルより絶縁された金属板をそう入し、これを鉄心とともにアースした。これによって電源ラインがアースされる事故はあっても、ラインが内部回路と接続する可能性はたいへん小さくなった。むしろラインから信号回路に電流が流れる可能性はさらに小さくなることは確かである。

## 6.4 冷接点補償器

ブリッジ (RB<sub>1</sub>) を構成する各抵抗は、相互の接続が断たれることのないように一体の構造としてケースに納め、断線事故を防止した。

## 6.5 冷接点補償器電源

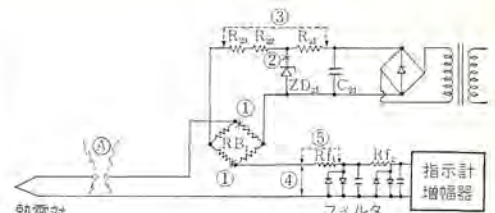
この電源装置は直接信号回路に接続されているから、事故 (たとえば、補償器 (RB<sub>1</sub>) の 2 辺が断線して電源が信号回路に直列に接続される状態など) が生じても、点火レベル以上の電力が流出しないように根本的処置を講じる必要がある。

図 6.1 におけるこの部分の回路定数、たとえば電源トランスの出力電圧、平滑回路のコンデンサの値、これに並列に入れられたゼナーダイオード、回路に直列に入れられた数個の抵抗値はすべて、点火エネルギーを考慮して決定したものであり、実際この電源のエネルギーで「発火点」において点火レベル以上の火花を生じさせるためには次に列挙する条件が全部同時に満たされるというような、まず考えられない事態が生じることが必要となるのである。すなわち図 6.2 のごとく、

(a) まず補償器で電力が消費されないように (RB<sub>1</sub>) 内の 2 点で断線が起こり、

(b) 次に指示計入力回路がフィルタより手前で短絡するか、

本質安全防爆多点温度指示装置・渡辺・杉本





三菱電機技報・Vol. 39・No. 5・1965



# モレクトロン同期信号分配器

中村有光\*・池田弘明\*  
小林信三\*\*・忍足博\*\*\*

## Molelectron Synchronizing Signal Distributors

Japan Broadcasting Corporation

Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works, Itami Factory

Mitsubishi Electric Corporation, Kitaitami Works

Yūkō NAKAMURA・Hiroaki IKEDA

Shinzō KOBAYASHI

Hiroshi OSHITARI

A molelectron (2D system) is formed by an integrated resistor wafer mounted with such discrete devices as picotransistors and microcondensers and sealed in a metal case, being highly reliable. Given rated operation tests at a temperature of 85°C, it has been confirmed that the failure rate is below 0.1% per 1,000 hrs.

A synchronizing signal distributor consists of a signal distributor unit, four voltage stabilization units and a power supply. This distribution unit is further composed of four systems of signal distribution amplifiers (SDA), each system having one input and nine outputs and comprising one molelectron 5EF50D and three 5AF41D.

The test results of trial manufacture have been very satisfactory. The employment of the molelectron has greatly reduced the weight, dimensions, and number of components and soldered points but only turned the two chassis in the old design to one chassis as a whole machinery because of restriction from the connectors.

### 1. ま え が き

超小形回路は、高信頼度、低原価および超小形化または多機能化を実現しうる新しい技術として注目され、各方面で盛んに開発されて来たが、すでに種々の機器に応用され実用段階に入ったと考えられる。

一般に超小形回路は、超小形部品を組み立てて製作するモジュール方式<sup>(1)</sup>、部品の段階を経ずして材料より直接電子回路を製作する集積回路方式 (Integrated Circuit)<sup>(1)(2)</sup> ならびに両方式の混合からなる混成回路方式 (Hybrid Circuit)<sup>(3)(4)</sup> に区分される。集積回路は、半導体を主体とする半導体集積回路 (Semiconductor Integrated Circuit)<sup>(1)(2)(5)</sup>、絶縁基板の上に蒸着または定着などによって電子回路を形成する薄膜集積回路 (Thin Film Integrated Circuit)<sup>(1)(3)(6)</sup> ならびに両者の混成集積回路 (Hybrid Integrated Circuit)<sup>(1)(2)</sup> などの各種がある。これらは、いずれも電子回路素子を結合するという考え方では一致しており、それぞれ一長一短があって、それぞれの長所を發揮して共存すると考えられる。これらを総称して ICP (Integral Circuit Package)<sup>(7)</sup> ともよばれている。

モレクトロンは三菱電機が開発した ICP の総称で、2D 方式<sup>(8)</sup> 類似の混成回路、半導体集積回路、薄膜集積回路ならびに混成集積回路など各種がある。ここに報告する同期信号分配器は 2D 方式類似の混成回路方式のモレクトロンであり、半導体集積回路開発の予備段階として開発されたものであるが<sup>(9)</sup>、十分な信頼度を有することが確認されるに至った。なお、半導体集積回路の同期信号分配器もすでに開発を完了し、目下信頼度試験中であり、追って報告の予定である。

映像機器へのモレクトロンの適用は機器の高信頼化、小形軽量化および無調整化によって、その構成ならびに運用を便利にすることを目的としている。この場合、1 個のモレクトロンに与える機能の大きさは、モレクトロン自体の信頼度、モレクトロンの歩留り、マウントおよび試験の工費、モレクトロンの量産性、機器の信頼度、機器の組立・調整・保守の簡便さなど、総合的に判断する必要がある。

筆者らは、できるだけはん用性のある回路を標準化することによって、量産性・互換性に有利とし、低原価を実現するため、単一回路ごとにモレクトロン化する方式を採用した。しかし、多くの機能を 1 モレクトロンに集積する方式は、はん用性、標準化および量産性と相反する要素もあるが、総合的信頼性、保守性ならびに低原価性という見地から、今後検討すべき重要な方式の一つであると考えられる。

筆者らは、映像機器へのモレクトロン適用の第一段階として、比較的熱損失の少ないパルス回路を取り上げ、同期信号分配器のモレクトロン化を試み、十分な信頼度を有することを確認したので、ここに報告し大方のご批判をお願いする次第である。

### 2. 同期分配器用モレクトロン (2D 方式)

#### 2.1 モレクトロン (2D 方式) の構造

モレクトロン (2D 方式) は<sup>(4)</sup>、抵抗膜を集積した抵抗ウエハにマイクロコンデンサおよびピコトランジスタをマウントした混成回路である。

図 2.1 は抵抗ウエハの一例で、 $6.4 \times 6.4 \times 0.2 \text{ mm}^3$  のアルミ基板の上に、抵抗素子およびそれらの結線部・端子部をステンレススクリーンで印刷し、約 700°C で焼成したものである。抵抗体は Du Pont 社のコンポジション抵抗を使用し、その特性を表 2.1 に示す。この抵抗素子はカーボン被膜抵抗あるいはフリッド抵抗に比べて温度係数が小さく、約 2,000 ppm/°C の温度係数を有する半導体集積抵抗に比べてきわめて安定であり、微細調整も可能という特長を有している。



図 2.1 抵抗ウエハ  
Fig. 2.1 Resistor wafer.



表 2.1 抵抗素子の特性

抵抗材料	シート抵抗 ( $\Omega/\square$ )	温度係数 (ppm/ $^{\circ}\text{C}$ )
# 7826	500	+450
# 7827	3,500	+300
# 7828	10,000	-130

表 2.2 ピコトランジスタの特性

項 目	特 性
シャ断周波数 (Mc)	150~200
電流増幅率	20~160
コレクタ出力容量 $C_{ob}$ (pF)	4
ベース抵抗 $r_{bb'}$ ( $\Omega$ )	70
コレクタ飽和抵抗 $R_s$ ( $\Omega$ )	25
ターンオン時間 $T_{on}$ (ns)	10
ターンオフ時間 $T_{off}$ (ns)	150



図 2.2 ピコトランジスタ  
Fig. 2.2 Picotransistor.

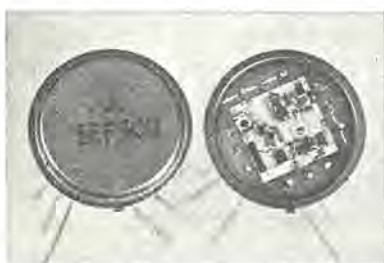


図 2.3 モレクトロン 5EF50D  
Fig. 2.3 MOELECTRON 5EF50D.



図 2.4 モレクトロン 5AF41D  
Fig. 2.4 MOELECTRON 5AF41D.

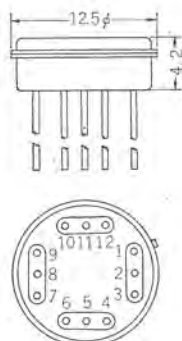


図 2.5 MO-5A 形 ケース  
Fig. 2.5 Type MO-5A case.

マイクロコンデンサは  $1.0 \times 1.5 \times 0.2 \text{ mm}^3$  以下のセラミックコンデンサで、その特性は従来のチタコンと同様である。このコンデンサは、半導体集積容量および薄膜集積容量に比べ、容量密度がきわめて大きく、かつ高周波まで高 Q を保持する特長を有している。

ピコトランジスタは、図 2.2 に示す外観を有する  $0.7 \times 0.7 \times 0.2 \text{ mm}^3$  のシリコンプレーナ形トランジスタで、トランジスタ部の表面は、二酸化シリコン膜で不活性化され、1 mm 幅の金メッキリボンに融着されたのち、さらに特殊レジンで表面不活性化および機械的補強を施したものである。その特性を表 2.2 に示す。

これら超小形部品は、前記集積抵抗ウエハにマウントされ、さらにシステム MS-5A に取り付けられたのちレジンで固め、乾燥窒素を封入しキャプシールされる。同期信号分配器用モレクトロン 5EF50D および 5AF41D の内部構造ならびに外観を、それぞれ図 2.3 および図 2.4 に、ケース MO-5A の寸法を図 2.5 に示す。

## 2.2 モレクトロン (2D 方式) の特長

このモレクトロンは、ピコトランジスタおよびマイクロコンデンサを使用しているため、人手を使用せず機械的生産ないしは自動生産して原価低減するという超小形回路の最終の目的からははずれているように思われる。しかし、マイクロモジュールに代表されるモジュール方式および半導体または薄膜集積回路に比べて、なお多くの利点を有し、将来とも超小形回路の重要な一方式であると考えられる。その利点を列挙すると、次のとおりである。

(1) レジンで固めたりえ、乾燥窒素を封入し、キャプシールを施しているのち、湿度ならびに酸素の影響がきわめて少なく、長期間の安定性を有する。これは超小形化されたために実現可能になるもので、とくにわが国のように湿潤な風土において高信頼度を達成する有力な手段である。

(2) 抵抗ウエハおよび超小形部品は、システムまたはウエハに接着あるいは融着されたりえレジンで固められ、リード線は単にリード線自身の自重をささえるのみであり、かつシステムは図 2.5 に示すように 12 本脚でプリント板に取り付けられるので、振動・衝撃にきわめて強く、機械的信頼度がきわめて高い。なお従来、集積回路が内部結線点がないため高信頼度であるという主張がなされて来たが、これは必ずしも真ではなく、内部結線点の減少は、労働力を減少して低原価を実現する点に真の意義があることを留意すべきである。

(3) 使用する回路素子の特性は高性能で、かつ設計の自由度、選択の自由度を有し、コンデンサを含む回路または比較的高圧を要する回路には、他の方式に比べ断然すぐれている。すなわち、集積抵抗ウエハは、温度係数も小さく調整も比較的簡単である。半導体集積抵抗のように、制御が困難で偏差が大きく、温度係数が大きく、かつ PN 接合の寄生容量を付随し、高周波特性が悪いものに比べ、断然すぐれている。薄膜集積抵抗は、温度係数はきわめて小さいが、調整は必ずしも簡単ではないのであって、この点この抵抗ウエハの方がすぐれているといえる。コンデンサは、集積されていない欠点はあるが、歩留り、容量密度および高周波 Q という点で、他方式の追随を許さない。従来、薄膜コンデンサは高周波特性がよいと主張されてきたが、薄膜なるがゆえに直列抵抗が大きく、高周波 Q は低くなるのである。半導体集積回路および混成集積回路におけるコンデンサ素子は、しばしば超小形回路のメリットを失なわすほどの致命的存在になっている。ピコトランジスタも集積されていない欠点はあるが、トランジスタ段階における選択が可能で、とくに集積回路では製法上高逆耐圧はきわめて困難であ



り、かつ素子間分離のために存在する寄生容量が特性を悪くするという本質的欠陥があるが、この方式は、この欠陥をもっていない。

### 2.3 モレクトロン (2D 方式) の信頼度

モレクトロンは、 $-20^{\circ}\text{C}$  および  $+85^{\circ}\text{C}$  の温度衝撃、周波数 50~3,000 c/s および加速度 10 G の振動、高さ 180 cm よりの落下、温度  $85^{\circ}\text{C}$ 、湿度 90% RH、時間 48 時間の温湿度ならびに  $-20^{\circ}\text{C}$  および  $+85^{\circ}\text{C}$  の低温・高温動作などの環境試験に合格することが確認されている。

信頼度試験は、温度  $85^{\circ}\text{C}$  において連続定格動作試験を行ない、すでに故障率 0.1%/1,000 h 以下であることが、中間的に確認されている。これは常温換算で 0.01%/1,000 h 以下に相当している。

ここに報告する同期信号分配器は、常温定格動作試験を連続 24 時間、延べ 5,000 時間を経過して無故障という中間データを得ている。

## 3. 同期信号分配器

### 3.1 構成および構造

装置は、従来のトランジスタ式同期信号分配器<sup>(10)</sup>との互換性を考慮し、表 3.1 に示す定格とした。

この装置は、1 パネルに同期信号分配ユニット (以下 SDA と略称する)、4 個の定電圧ユニットおよび電源部より構成される。

この装置の系統図を図 3.1、外観図を図 3.2~3.4 に示す。

SDA ユニットの 4 系統の SDA 回路からなり、1 系統は 1 入力 9 出力で 4 個のモレクトロンで構成される。モレクトロンはそのフランジ部を金属板と絶縁板ではさんで保持し、プリント基板で配線する取付法を採用したため、放熱状態はきわめて良好である。SDA ユニットの 1 番でシャーシに取り付けられ、プリント基板側の点検も容易な構造である。SDA ユニットの寸法は  $125 \times 170 \text{ mm}^2$  であるが、点検端子を除外し、正常の間隔にマウントすれば、 $60 \times 60 \text{ mm}^2$  の寸法に収容できる。従来のトランジスタ式 SDA ユニットの

表 3.1 同期信号分配器の定格

項	目	定 格
入力インピーダンス	(k $\Omega$ )	約 10 (ブリッジ接続)
負荷インピーダンス	( $\Omega$ )	75
入力レベル	(V <sub>p-p</sub> )	4 (負極性)
出力レベル	(V <sub>p-p</sub> )	4 (負極性)
周囲温度	( $^{\circ}\text{C}$ )	$-15 \sim +45$

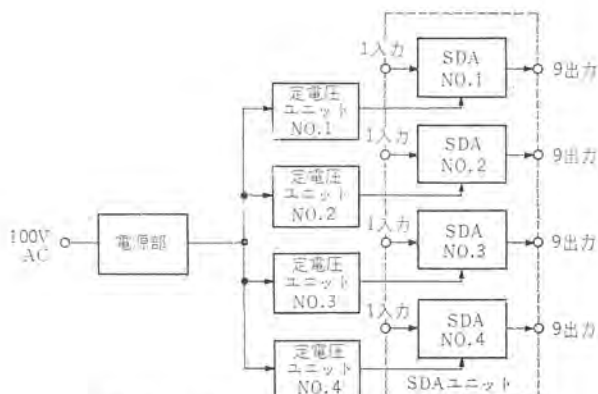


図 3.1 同期信号分配器系統図  
Fig. 3.1 Synchronizing signal distributor, block diagram.

比較し、寸法は約 1/15、重量は約 1/30、部品点数は約 1/7 およびハンダ付箇所は約 1/5 に減少している。

定電圧ユニットは、プラグイン構造をなし、保守点検を容易にしている。これは、暫定的にゲルマニウム・トランジスタを使用したためである。

電源部は、サブシャーシに取り付けられたのち、シャーシにネジ止めされる構造を有し、各定電圧ユニットに共通になっている。

各ユニットの回路図は、図 3.5~3.7 に示す。図 3.5 において

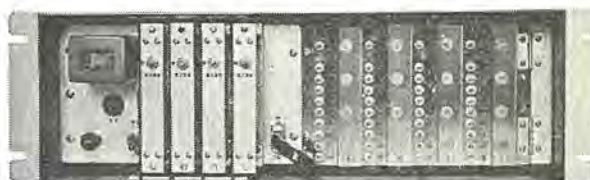


図 3.2 同期信号分配器前面外観図  
Fig. 3.2 Synchronizing signal distributor, front view.



図 3.3 同期信号分配器 (接セン: M 形) 背面外観図  
Fig. 3.3 Synchronizing signal distributor (connector: type M), rear view.



図 3.4 同期信号分配器 (接セン: BNC 形) 背面外観図  
Fig. 3.4 Synchronizing signal distributor (connector: type BNC), rear view.

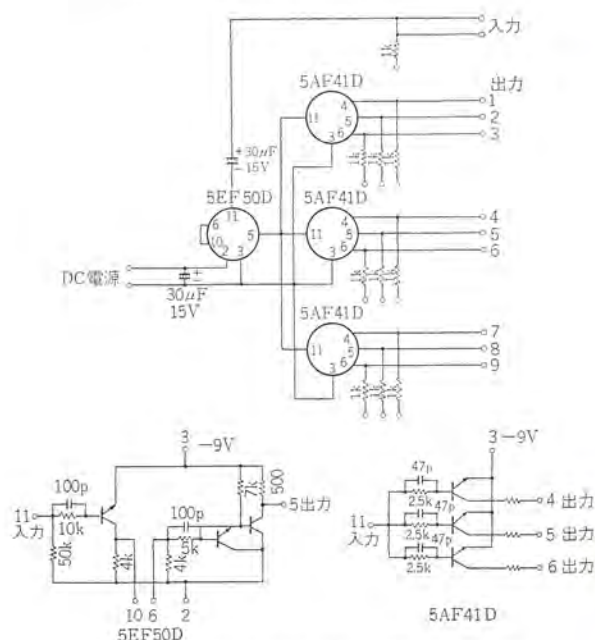
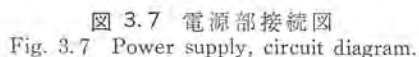
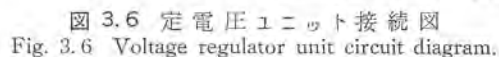


図 3.5 同期信号分配増幅器 (SDA) 接続図  
Fig. 3.5 Synchronizing signal distributor amplifier (SDA), circuit diagram.





SDA は、多数ブリッジ接続するとき、終端抵抗に比べて十分高い入力インピーダンスを呈し、パルスの反射および入力インピーダンス変化によるレベル低下などを起こさないよう配慮している。5EF50D は、9 出力を取り出しうるよう、エミッタ・ホロウとし、5AF41D は出力短絡時にも破壊されないよう出力回路に直列抵抗をそう入している。また 5EF40D は、入力端子が二重終端されても出力レベル変動がないよう、入力レベル  $2V_{TH}$  以上で飽和動作するよう設計されている。

### 3.3 電氣的特性

SDA ユニットの主要電気的特性は  $-20 \sim +45^{\circ}\text{C}$  で次のとおりである。

入力レベル	$4\frac{+1}{-2} V_{p-p}$	負極性
出力レベル	$4\frac{+1}{-0} V_{p-p}$	負極性
出力波形		
立上り	40 ns 以下 (規格値 0.2 $\mu$ s 以下)	
立下り	60 ns 以下 (規格値 0.2 $\mu$ s 以下)	
パルス幅変化	40 ns 以下 (規格値 0.13 $\mu$ s 以下)	
オーバーシュート	1% 以下	
サグ	帰線消去信号および複合同期信号に対して 1% 以下 その他の信号に対して 3% 以下	
雑音改善率	入力信号に -20 dB の $\Delta$ を重畳したとき の出力における重畳または変調 $\Delta$ レベル は -60 dB 以下	
出力雑音	入力端子を 75 $\Omega$ で終端するとき 0.1 mV <sub>p-p</sub> より十分小さく測定不能 (規格値 1 mV <sub>p-p</sub> 以下)	
信号漏れ	系統相互間において 約 -90 dB (規格値 -60 dB 以下)	
入出力インピーダンス	75 $\Omega$	

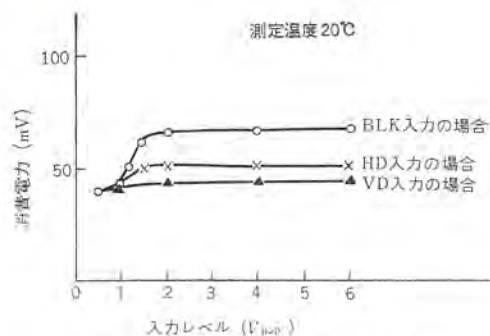


図 3.8 5EF50D の消費電力特性  
Fig. 3.8 5EF50D, power consumption characteristics.

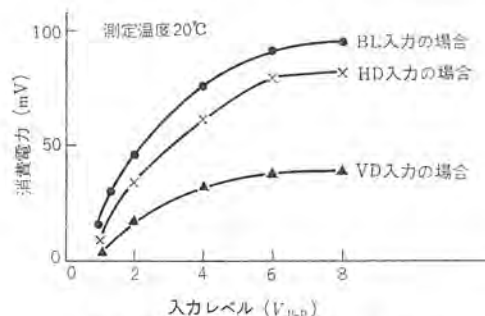


図 3.9 5AF41D の消費電力特性  
Fig. 3.9 5AF41D, power consumption characteristics.

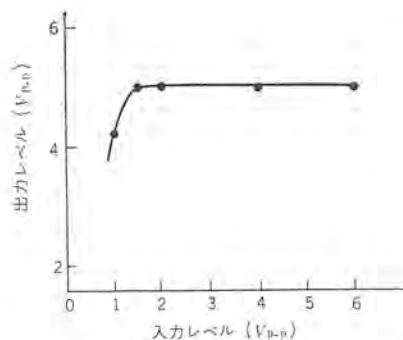


図 3.10 同期信号分配増幅器の出力レベル対入力レベル特性

Fig. 3.10 Synchronizing signal distribution amplifier, output voltage vs input voltage.

定電圧ユニットの電気的特性は次のとおりである

入力直流電圧	-12~-21 V
出力直流電圧	-9
出力電圧変動	±0.1 V 以下
出力電流	150 mA 以下
リップル含有率	0.1% 以下

各モロトンの消費電力対入力レベル特性を図3.8および図3.9に示す。SDAの出力レベル対入力レベル特性の一例を図3.10に示す。入力レベルが2~6Vに変化しても、出力レベル変動は0.1V以下である。出力レベルの温度特性は、-20~+45°Cにおいて、入力電圧4V<sub>DD</sub>のとき変化率6.3%で、温度の増加とともに減少する傾向にある。出力パルスの遅延時間 $t_d$ 、立上り時間 $t_r$ および立下り時間 $t_f$ の温度依存性の一例を図3.11に示す。SDAが超小形化されたため、定電圧ユニットをSDA1系統ごとにいれることができ、信号漏れは非常に改善された。モロトロンを用いることによりSDAは超小形化され、従来の2シャーシ分を1シャーシに収容できたが、図3.3または図3.4より明らかに、すでに接センで充満しており、これ以上超小形化する



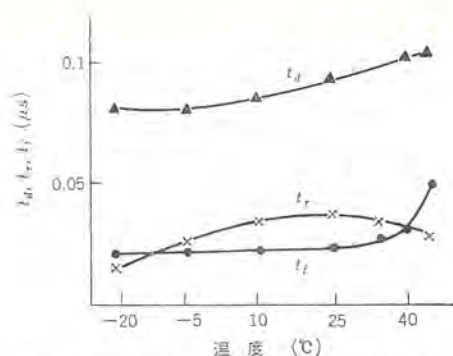


図 3.11 同期信号分配増幅器の温度特性  
Fig. 3.11 Synchronizing signal distribution amplifier, temperature characteristics.

ことは、この面から制約されている。モレトロン化のねらいを、高信頼化および低原価におく一因はここにあるといえる。

#### 4. む す び

映像機器とくにパルス回路をモレトロン化することは、種々の点で利点があることが確認された。

パルス回路は適切に設計すれば消費電力が少なく、モレトロン化が容易であるので、さらに種々の広い応用範囲があり、機能によってはトランジスタ回路との併用も考えられる。

しかし、機器全体から見ると、機構部品のように超小形化が困難であり、また超小形化することが必ずしも適当でないものもあるので、回路構成の適切化とともに、機構および構造についても立場をかえて再検討するとともに、総合的に最適構造を検討する必要があると考えられる。

さらに低原価を目的として半導体集積回路化を検討しているの

で、これに関しては追って報告する予定である。

終わりに、ご指導ご協力いただいた NHK 技術研究所開発部、三菱電機鎌倉製作所伊丹工場ならびに北伊丹製作所の関係各位に深謝する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 学振 131 委：エレクトロニクスへの応用，「薄膜工学 ハンドブック」オーム社 (1964)
- (2) 日本電子振興協会：超小形電子回路〔外国技術の動向〕11 月 (昭 39)
- (3) 小林・太田・久我：プラナモジュール，信学会全国大会 56-9 (昭 38)
- (4) 小林・忍足・田中：モレトロン・デジタル・ブロック (2D 方式) 信学会全国大会 56-8 (昭 38)
- (5) 土屋・安芸・山本：シリコン 固体回路 NOR ゲート，信学会全国大会 56-4 (昭 38)
- (6) 小林・福渡・福見・大角：薄膜回路，学振第 131 委 No. 78 (昭 38)
- (7) IE News: Microelectronics Gets New Name and Standards, International Electronics, Aug. p. 21 (1963)
- (8) T. A. Prugh, J. R. Nall and N. J. Doctor: The DOFL Microelectronics Program, Proc. IRE 47, No. 5, May p. 882 (1959)
- (9) 中村・池田・小林・忍足：モレトロンを応用した映像機器用パルス回路の二、三の開発，「テレビジョン」18 2 号 p. 22
- (10) 日本放送協会：TAD-102 形同期分配器仕様書，B. S. S. E6489



# 水位ディジタルテレメータ

室田 慎\*・藤原謙一\*・今泉 巽\*・小村 明\*

## Water Level Digital Telemeters

Kamakura Works, Itami Factory Shin MUROTA・Ken-ichi FUJIWARA・Tatsumi IMAIZUMI・Akira OMURA

To meet increasing demands on water level meters of high precision, two types of water level digital telemeters, a parallel transmission type (TM-1000) and a serial transmission type (TM-1100), have been developed by Mitsubishi. In the parallel transmission type unit a coded signal of decimal 3~4 figures is transmitted parallel with time by the use of multiple wires. It is good for the transmission in a relatively short distance. The serial transmission type one is to convert coded signals to long and short pulses in series with time and to transmit them in regular repetition on a 50 Band FS circuit. To examine signal errors the parity check on every figure and the total pulse number check are jointly made to assure no error. The article deals with herein the operation of both types and their features.

### 1. ま え が き

従来、単なる監視のために用いられてきたテレメータは、近年集中制御、管理のための中継機器として利用されるようになり、電子計算機を中心とするリアルタイム制御系を構成することも考えられている。

このような目的に使用されるテレメータは、高精度の測定を行なう機能を持つことが要求される。さらに設置場所が一般にきわめてきびしい自然条件下にさらされる場合が多く、このような場合でも障害発生のないよう考慮を払わなければならない。

当社においては、これらの要求に応じて各種のディジタルテレメータの製品化を行ない、多数の特長ある装置を世に送り出した。この文では、水位情報を多線を使用して伝送する直送式 (TM-1000 形) と搬送 50 本回線を使用して伝送する搬送式 (TM-1100 形) の水位ディジタルテレメータにつき、その特長、おもな仕様、動作原理ならびに主要回路につき述べる。

### 2. テレメータ方式

テレメータ装置は送量部と受量部に大別され、両者の間は伝送路により結合されている。構成を図 2.1 に示す。

送量部は検出器とテレメータ送量器に分けられる。検出器は水位変化をフロートを用いて検出し、2 進化 10 進の電気符号に変換する部分であり、テレメータ送量器は、その電気符号、伝送路に適した方法で選出する部分である。ここで伝送路は

#### (1) 直送式

多線式線路を使用して符号を時間的に並列に伝送するもので、比較的短距離の伝送に適した方式

#### (2) 搬送式

信号線 (2 本) を使用して符号を時間的に直列に伝送するもの

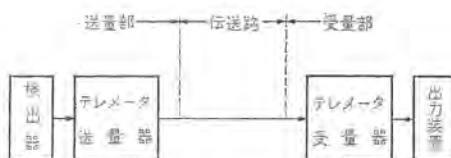


図 2.1 テレメータ構成  
Fig. 2.1 System diagram of telemeter.

で、比較的長距離の伝送に適した方式

の方式により、多線あるいは 2 線を使用して伝送する。

受量部は、テレメータ受量器と出力装置に分けられる。テレメータ受量器は、送量器から伝送されてきた信号を出力装置に結合させるためのもので、必要によっては符号誤り検定などの機能を有する。出力装置としては数字表示器、アナログ指示計、アナログ記録計、印字装置、計算機などが考えられる。

### 3. 水位検出

#### 3.1 水位検出器

##### 3.1.1 検出機構

河川またはダム の水位を電気信号に変換するためのもので図 3.1 はその原理を示す。量水筒内の水面にフロートを浮かせてステルステープをつけ、水位検出器のプーリを通してテープ巻取車に結合する。テープは等間隔に穴があけられたものであり、プーリは穴にカミ合ってスリップによる測定誤差を生ずることがない。したがって、フロートの上下はプーリの回転角に変換される。プーリ軸は回転形 A-D 変換器とギヤ機構を通して直結されている。

テープの他端はテープ巻取車に結ばれている。テープ巻取車は特殊なウエ巻パネで、一定の力で常にテープを巻き取る張力を得ている。したがって従来使用されていたカウンタバランス用のメモリはこの装置では必要としない特長を有する。

図 3.2、3.3 は水位検出器およびフロートの外観を示す。

##### 3.1.2 アナログーディジタル変換

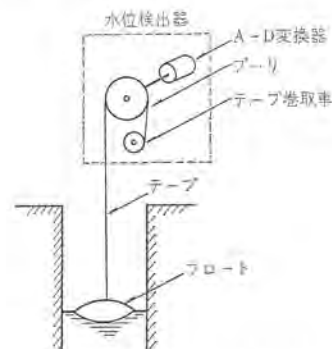


図 3.1 水位計測原理  
Fig. 3.1 Principle of water level meter.





図 3.2 水位検出器  
Fig. 3.2 Water level meter.



図 3.3 フロート  
Fig. 3.3 Float.



図 3.4 水位検出器内部  
Fig. 3.4 Interior of water level meter.

フロートの上下はラバーを介して A-D 変換器の回転に変換される。水位検出器の内部に変換器を組み込んだようすを図 3.4 に示す。

A-D 変換器は符号板および ブラシ を用いて回転量を 2 進化 10 進符号に変換する装置である。

A-D 変換器の構成は符号板、ブラシ および ギャ・トレーン で構成されている。符号板は 36° ごとに 10 等分された特殊形状の導体板および絶縁体板の組み合わせでできており、その符号板には 2 組 (1 組は 5 個) の貴金属の ブラシ 群が接触しており、これが 1 ユニットである。3 ケタ 数字用の場合は 3 ユニットで構成され、各ユニット間は 10 対 1 の ギャ・トレーン で結合されている。図 3.5 (a), (b)。

A-D 変換器に回転力が与えられて、入力 シャフト に固定された符号板が 10 回転すると、それに 10 対 1 の ギャ・トレオ で結合されている符号板は 1 回転し、さらに 10 対 1 の ギャ・トレオ で結合されている符号板は 1/10 回転する。このようにして入力 シャフト 側の符号板から順に 10 進数字の 1 位、10 位、100 位を表わすことができる。この符号板に接触している 5 本の ブラシ からなる ブラシ 群は 1 本の ブラシ を共通 ブラシ とし、この ブラシ と他の 4 本の ブラシ との間の導通の有無によって 10 個の状態を 2 進化 10 進数字によって表わす。ここでケタが上がる際のあいまいさの問題、すなわち 9 から 10 に移る際および 99 から 100 に移る際の読取り誤差は 2 組の ブラシ を用いた 2 重 ブラシ 法によって除いている。

この A-D 変換器は 2 進化 10 進符号を採用しており、各 ブラシ と共通 ブラシ との間に導通のある状態を 1、ない状態を 0 として表わすと図 3.5 (c) のとおりである。この符号の特長は

(1) 単位距離符号である。(ユニットディスプレイコード)

隣り合う数字の間では 1 個所だけでその状態が変化するため、ブラシ の配列の不一致や符号板の配列の不一致および数字の変わり目による数字読み取り誤差は 1 字以内に押えられる。図 3.5 (b)。

(2) 外側から 4 番目の ブラシ の読み取る符号は、0~4 の間では 0 で、5~9 の間では 1 である。これはケタ上がりのあいまいさを防ぐために採用している二重 ブラシ の選択の基準を与えている。

### 3.1.3 特性

方式 フロート・ローラー巻取車方式  
フロートの直径 370 mm

水位 デジタルテレメータ・室田・藤原・今泉・小村

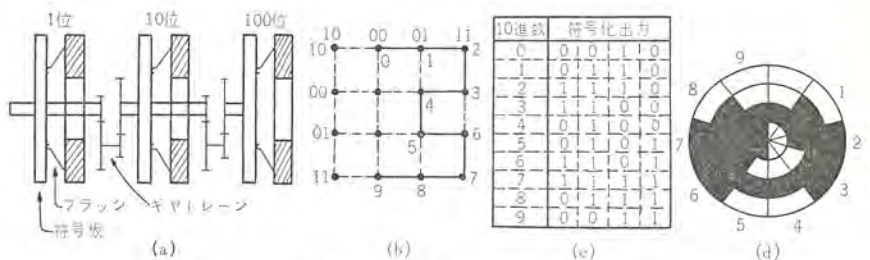


図 3.5 円板形 A-D コンバータ Fig. 3.5 Disk type A-D converter.

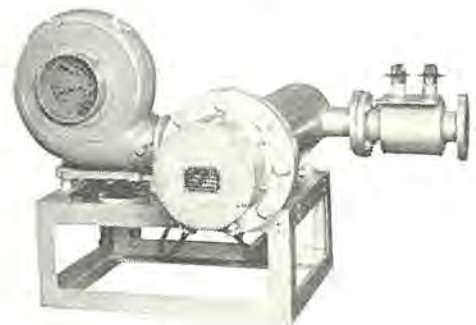


図 3.6 凍結防止装置  
Fig. 3.6 Hot wind spray.

ステンレスケーブ	幅 13 mm, 穴 びっち 25 mm
巻取車 トルク	1 kg
測定範囲	0~999 cm (3 ケタ) 0~9,999 cm (4 ケタ)
測定単位	1 cm
精度	10 m 計測で最小計測単位以下
温度条件	-20~60°C

### 3.2 凍結防止装置

#### 3.2.1 動作

冬期 フロートピット 内の水面が結氷して水位計測が困難な場合に使用するもので、とくに寒冷地の発電所のダム水位測定などに利用される。これは フロートピット 内に熱風を吹き込むことにより結氷を防止するものであり、構成は次のとおりである。

本体: 電気 ヒータ, 送風器, モータ, 温度検出器  
起動箱: ヒータ 自動制御用 リレー, 故障検出 リレー  
送風管: 熱風を一樣に フロートピット 内に放射させる。

熱風の温度は、温度検出器により一定温度範囲内に自動的に調整され、常に水面上に放射させる。また、必要以上に ヒータ 内の温度が上昇した場合には、警報を発する機能を有する。

図 3.6, 3.7 は凍結防止装置本体および起動箱の外観を示す。

図 3.8 はこの装置を使用した、電源開発機加発電所取水塔付近の遠景である。





図 3.7 起 動 箱  
Fig. 3.7 Starter box.



図 3.8 幌加 P/S ダム 取水塔  
Fig. 3.8 Level meter tower of Horoka Dam Power Station dam.

### 3.2.2 特 性

方 式	熱風放射による凍結防止
ヒ ー タ	AC 210 V, 50~60 c/s, 2 kVA
モ ー タ	AC 210 V, 50~60 c/s, 160 VA
熱風調整範囲	+10~+15°C
定 格	連 続

## 4. 直送式水位デジタルテレメータ (TM-1000 形)

この装置は水位変位をフロート式水位計に回転形 A-D 変換器を取り付けて電気符号に変換した後、多線式伝送路を使用して遠方に数字表示を行なうものである。多線を使用するため、比較的に短距離の伝送に使用すると経済的である。図 4.1 にこの装置の系統図を示す。

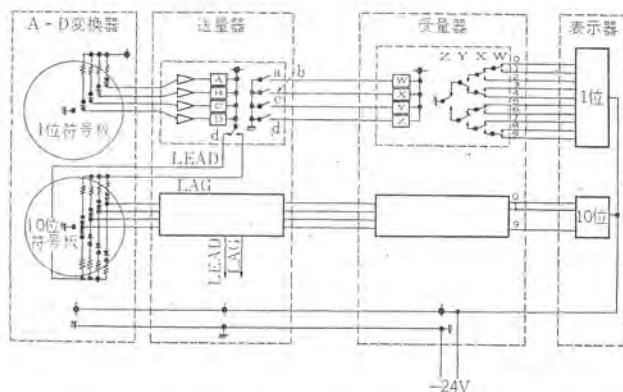


図 4.1 TM-1000 形 テレメータ 系統 図  
Fig. 4.1 Schematic diagram of type TM-1000 telemeter.



図 4.2 TM-1000 形 送 量 器  
Fig. 4.2 Type TM-1000 transmitter.

### 4.1 送 量 器

A-D 変換器からの プラシ 信号を リレー の接点出力として線路に送出する部分である。線路に外部からの誘導、サージ が乗った場合でも、リレー 接点の耐圧を高く取れば十分大きな外乱に対して安全である。

A-D 変換器の 1 位符号板の出力 4 本は、トランジスタ 増幅された後、リレー A, B, C, D を駆動し、その接点 a, b, c, d を線路に送り出す。また、リレー D の接点 d により、10 位符号板の進み遅れの プラシ のどちらかに電圧を加えて プラシ 選択を行なう。10 位 プラシ 信号は 1 位と同様に トランジスタ 増幅された後、リレー A, B, C, D を駆動し、その接点 a, b, c, d を線路に送り出す。

また、リレー D の接点 d により、10 位符号板の進み遅れの プラシ のどちらかに電圧を加えて、プラシ 選択を行なう。10 位 プラシ 信号は 1 位と同様に トランジスタ 増幅された後、リレー を駆動し、線路に送出される。ここで 100 位の進み遅れ、プラシ の選択を行なう信号を供給することは、1 位の場合と同様である。送量器は図 4.2 に示すように、完全防水の全天候形である。

### 4.2 伝 送

10 進 1 ケタは 4 ビット で表わされるため、何 ケタ 伝送するかにより情報の伝送線数は異なる。情報線のほかに電源線およびアース線が 1 本ずつ必要である。

	情報 線	電源 アース 線	合 計
10 進 3 ケタ	12	2	14
10 進 4 ケタ	16	2	18

### 4.3 受 量 器 お よ び 表 示 器

受信側の動作は受量器から伝送されてきた リレー の ON, OFF 接点信号により、表示動作を行なうものである。

送量器からの 4 ビットの情報に対して 4 個の リレー W, X, Y, Z を動作させる。リレー はその接点により伝送されてきた 4 ビットの情報を 0, 1, ..., 9 の 10 進数にデコードする。このリレーデコードは各ケタに 1 個必要であり、各ケタの出力は表示器に接続される。このようにして表示器には現在水位の状態を表わすことができる。

受量器は以上の動作を行なうが、外部の誘導 サージ に対して、十分耐えられるように リレー によって受信する方式であることは送量器の場合と同様である。このようにして非常に単純化された回路方式を採用することにより機器の信頼性を高めるとともに、保守の皆無を目標とした。

送量器、A-D 変換器、および表示器への電源は受量器から供給し、そのための電源盤を受量器は内蔵している。

図 4.3, 4.4 は、それぞれ受量器および表示器の外観である。





図 4.3 TM-1000 受量器  
Fig. 4.3 Type TM-1000 receiver.



図 4.4 表示器  
Fig. 4.4 Indicator.

#### 4.4 特性

方式	直送多線式, 水位 デジタルテレメータ
伝送量	10 進 3 ケタ または 4 ケタ, 1 量
伝送線数	14 または 18 本
電源	受量器入力 AC 100/200 V $\pm 10\%$ または DC -24 V $\pm 10\%$
周囲温度	-10~50°C
伝送距離	数 km 以内

#### 5. 搬送式水位デジタルテレメータ (TM-1100 形)

この装置は水位情報を信号伝送装置を使用して伝送するため、長距離の伝送に適している。水位変化は水位計により、電気符号に変換された後、長短パルスの符号化され、受信側に常時返復伝送する。受信側では数字表示を行なうほか、D-A 変換器を使用してアナログ指示を行なうことができる。伝送路における誤字検定にはパリティ検定、パルス総数検定の二重符号検定を行なう。図 5.1 はこの装置の構成を示す。

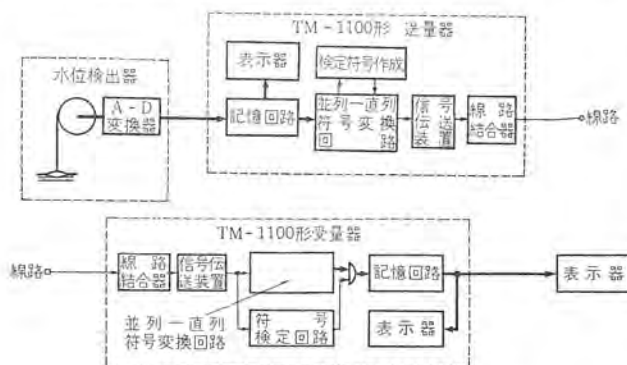


図 5.1 TM-1100 形テレメータ系統図  
Fig. 5.1 Block diagram of type TM-1100 telemeter.

##### 5.1 送量器

水位検出器内の A-D 変換器出力を TM-1100 形送量器により時間的に直列な信号として線路に送出する。

A-D 変換器出力は時間的に並列な符号であり、これは 1 度記憶回路でたくわえられる。記憶されたデータは並列-直列変換回路により長短パルス列に変換される。(図 5.2 参照)

ここで

水位 デジタルテレメータ・室田・藤原・今泉・小村

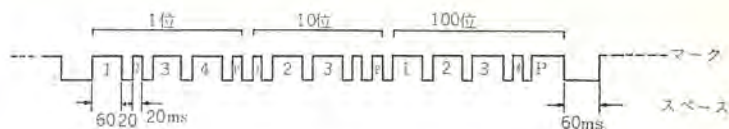


図 5.2 伝送符号の形式  
Fig. 5.2 Forms of transmission code.

長パルス (LM): 60 ms (符号 1 を表わす)

短パルス (SM): 20 ms (符号 0 を表わす)

長スペース (LS): 60 ms (データの区切りを表わす)

短スペース (SS): 20 ms (符号の区切りを表わす)

であり、マークおよびスペースの時間比は

LM : SM = 3 : 1

LS : SS = 3 : 1

であり、伝送路のヒズミが大きくなった場合でも十分安定な受信動作を確保することができる。

すなわち、理論的に

時間比 2 : 1 の長短パルス判別: 符号ヒズミ 49%

" 3 : 1 " : " 99%

まで伝送系においてヒズミが発生した場合においても受信側では正常な動作を行なわせることができる。しかし、実用的には 2 : 1 の場合 40%, 3 : 1 の場合 70% ぐらいを限度とすることが知られている<sup>(1)</sup>。したがってこの装置においても同程度の符号ヒズミを許すことが可能である。

符号の各ケタにはパリティ検定符号を付加し、伝送路の雑音、瞬断などによる誤り受信を防止するための基準を与えている。このために検定符号作成回路が付加されている。パリティ検定は奇数パリティとし、10 進 1 ケタ 4 ビットに 1 ビットのパリティ符号を付加する。このため 10 進 3 ケタの符号は 15 ビットで構成される。

したがって長短パルス方式で符号伝送を行なった場合の伝送時間は

(1) 全符号を S.M と考えた場合が最小で  
(SM+SS) × 5 ビット × 3 ケタ + LS = 660 ms

(2) 全符号を L.M と考えた場合が最大で  
(LM+SS) × 5 ビット × 3 ケタ + LS = 1,260 ms

となり、伝送符号の内容により伝送時間が変化することがわかる。

水位データを一度記憶することは伝送時間中約 1 秒の間に水位が変化した場合、受信側で誤字となって表示されるため、これを防止するために必要である。すなわち水位データを数 ms 以下の短い時間に読み取ることににより、その間の水位変化が無視できるように考慮してある。

記憶回路の内容は、数字式表示器により現在伝送中の符号の内容を監視することができるとともに、水位検出器内の表示（ローリのシャフトで機械的に数字表示を行なう）と A-D 変換器の符号出力とが一致していることを常に確かめることができる。

図 5.3 は長短パルス送信部の回路を示す。クロックは伝送速度と等しく 20 ms である。入力端子 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 はそれぞれ 10 進 4 ビットの 1, 10, 100 位の入力であり、端子 5, 10, 15 はパリティ検定トリップフロップから信号を供給する。

長パルスおよび長スペースは LMM および LSM によって作られる。

図 5.4 は送量器の外観を示す。

##### 5.2 伝送

送量器の並行-直列変換回路の出力は、図 5.2 に示すようなパ



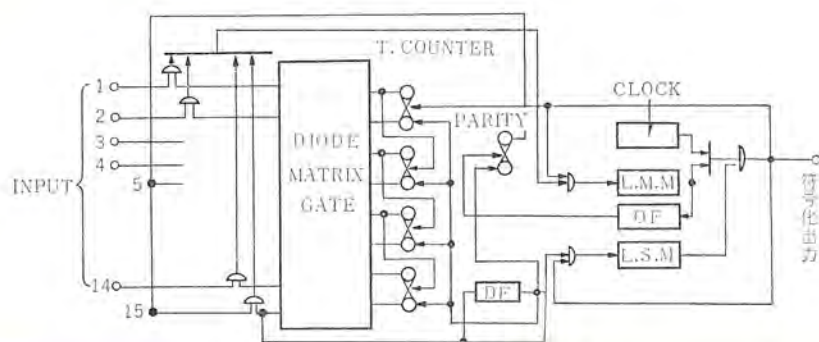


図 5.3 長短パルス送信回路  
Fig. 5.3 Long-short pulse transmitting circuit.

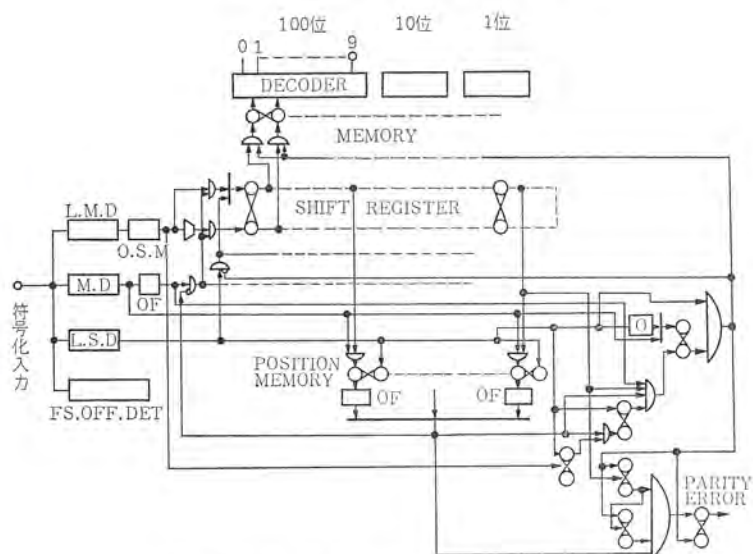


図 5.5 長短パルス受信回路  
Fig. 5.5 Long-short pulse receiving circuit.

ルス列であるので、これを伝送するために信号伝送装置 (FS-MOD) を使用する。この装置の符号伝送速度は 50 ボーである。

信号伝送装置は時間的に直列なパルス列を遠方に伝送するために有利な音声周波数内の FS 変調波に変換する装置である。これにより音声伝送の可能な回線、たとえば電話実回線、通信線搬送、電力線搬送、あるいは VHF、またはマイクロエー回路などを使用して水位情報の伝送が可能であることがわかる。

受量器では FS 変調波を復調して、もとのパルス列を得るための信号伝送装置 (FS-DEM) を使用する。

FS 方式は常時搬送波を送出しているため、回線断の検出を行なうことができるほか、雑音に対しても強い特長を有することは周知である。

なお、信号伝送装置の線路側には、線路結合器を使用して線路への外部誘導あるいはサージ電圧に対してテレメータ機器の保護を行なっている。

### 5.3 受量器

信号伝送装置 (FS-DEM) によって復調されたパルス列は、直列—並列変換回路により、時間的に並列な符号としてとくえられる。これと同時に符号検定回路は

(1) パリティ検定が各々とも正しく判定受信されたか

(2) 受信パルス総数が規定数であったか

の 2 点につき検定を行なう。この符号検定が“良”であった場合は直列—並列変換回路にとくえられていたデータが記憶回路に移される。



図 5.4 TM-1100 形送量器  
Fig. 5.4 Type TM-1100 transmitter.



図 5.6 TM-1100 形受量器  
Fig. 5.6 Type TM-1100 receiver.

記憶回路にとくえられたデータは数字表示器 (装置内部および外部) によって表示され、水位情報を読み取ることができる。

符号検定の結果、“誤”であったと検定された場合には、そのデータは記憶回路には移されず、記憶回路は前のデータのまゝを保持する。ここで符号検定の結果引き続き 3 回以上“誤”であると判定された場合には警報を発する。

図 5.5 は長短パルス受信部の回路を示す。

長短パルス受信のためには、長パルス分離 (L.M.D.)、パルス分離 (M.D.)、長スペース分離 (L.S.D.) が必要である。直列—並列変換はシフトレジスタにより行なう。シフトレジスタはパリティ検定、パルス総数検定を行なうために必要なパルスカウンタの役割を同時に行なっている。記憶回路はトランジスタのフリップフロップであり、その出力はデコーダにより 0, 1, 2, …, 9 の 10 進数に復号化される。受量器の外観を図 5.6 に示す。

記憶回路の内容は数字表示を行なうことができるほか図 5.7 の D-A 変換回路を使用して、アナログ指示を行なうことができる<sup>(2)</sup>。ここで

S 11, 12, 13, 14: 100 位の 8, 4, 2, 1

S 21, 22, 23, 24: 10 位の 8, 4, 2, 1



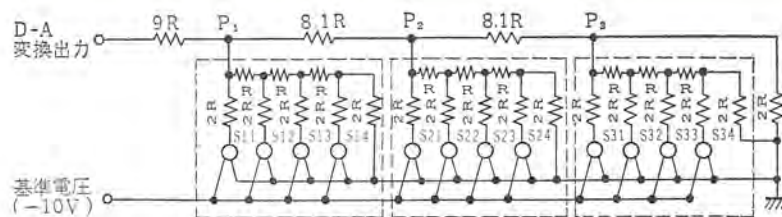


図 5.7 D-A 変換回路 Fig. 5.7 D-A converter circuit.

S31, 32, 33, 34: 1位の8, 4, 2, 1のためのスイッチング素子であり、トランジスタスイッチである。スイッチは入力信号によりアース側か基準電圧(-10V)側に導通となりD-A変換されることになる。

#### 5.4 特性

方式	搬送式水位 デジタルテレメータ
伝送量	10進3ケタ または 4ケタ
符号形式	長短パルス、常時伝送方式
伝送速度	50バース
伝送方式	音声帯域内FS変調方式
誤字検定方式	パリティ検定 パルス総数検定

による二重誤検定

電源 AC 100, 200 V. DC -24 V  
±10% 以内  
周囲温度 0~40°C

#### 6. むすび

以上新たに開発したTM-1000形およびTM-1100形テレメータにつき、その概要を報告した。

今後、テレメータの利用は、気象、電力、防災、水道など広域企業を中心としますます増大の道をたどるであろうと考えられるものであり、さらに方式上改善を計り、将来の発展に備える方針である。

終わりにこの装置製作にあたって種々ご指導いただいた電源開発株式会社関係各位に謝意を表するとともに、今後の改善すべき点につき広くご批判を願う次第である。

(昭 40-2-2 受付)

#### 参考文献

- (1) 藤原:「電学関西支部講習会資料」昭40-2
- (2) 竜田, 塚原:「三菱電機技報」, 37, No. 2 (昭39)



# 3次元ホーミング魚雷シミュレータ

多田 智彦\*・高村 邦治\*・金子 敏夫\*  
渡辺 秀也\*・井塚 秀弥\*

## Three Dimensional Homing Torpedo Simulator

Kamakura Works Tomohiko TADA・Kuniharu TAKAMURA・Toshio KANEKO  
Hideya WATANABE・Shūya IZUKA

Simulators of various types have made marked development of late. Here is introduced a three dimensional homing torpedo simulator built by Mitsubishi which is intended to simulate the conditions of three dimensional motion and homing operation of a homing torpedo in the water. Through the simulation of the operating state of a homing torpedo in a laboratory, a similar test to launch a torpedo can be conducted to judge dynamical stability of the torpedo, analysis of its homing characteristic and study of all-round operation characteristic such as analysis of steering performance. This enables the apparatus to be used for the apparatus testing a torpedo manufactured as well as to furnish quantitative information in the design. The set comprises a servo analogue computer, a hydraulic power servo, an electric power servo, an instrument servo in addition to the electronic analogue computer.

### 1. ま え が き

このたび三菱重工業株式会社に納入した3次元ホーミング魚雷シミュレータについて、その概要を報告する。

このシミュレータは、ホーミング魚雷の動作状態を実験室内で模擬することによって、発射試験と同等の試験を行ない、魚雷の動的安定性の判別、ホーミング特性の解析、操ダ(舵)性能の解析など魚雷の総合的な動特性を調べ、魚雷の設計にあたり定量的な設計資料を提供すると同時に、製作された魚雷の試験装置として使用するものである。このために、電子式アナログ計算機のほか、サーボ式アナログ計算機、油圧式パワーサーボ、電気式パワーサーボ、インストゥルメントサーボなどサーボ技術の大半をもうら(網羅)している。

### 2. ホーミング魚雷のシミュレーション

#### 2.1 概 要

ホーミング魚雷とは水中になんらかの方法で発射されると、水中でみずから発した超音波の目標(船舶)からの反射波、または目標からのスクリーンノイズなどの音波を受け、自身の操ダ装置によってその運動を制御し、目標方向に進んでいくような魚雷である。

このホーミング魚雷の運動をシミュレートする場合、その閉ループ系としての大略の構成を図2.1に示す。

図2.1において目標諸元および魚雷諸元を外部から設定し、ダ(舵)角信号を入力として魚雷の運動方程式を解き、目標位置計算、魚雷位置計算などを行なって閉ループを形成している。

ホーミング装置および操ダ装置は実魚雷をそのまま使用する。ホー



図 2.1 シミュレーション系統図  
Fig. 2.1 System diagram of simulation.

ーミング装置への音響入力は、目標および魚雷の相対位置に基づいて目標エコーを模擬してこれを使用する。

魚雷運動計算を行なう運動方程式としては、風洞試験の結果に比較的良好一致する2次の非線形項までとった微分方程式を使用し、実時間動作を行なわせるために無次元化は行なわない。

#### 2.2 魚雷運動計算

魚雷発射基点をOとし、地球固定座標系をO-XYZとする。Zは鉛直線に一致し、魚雷はかりにOX方向に発射されるものとする。また魚雷の重心点をO'とし、魚雷固定の動座標系をO'-xyzとする。各軸は魚雷の慣性主軸に一致し、魚雷はx軸について軸対称であるとする。これらの様子を図2.2および図2.3に示す。

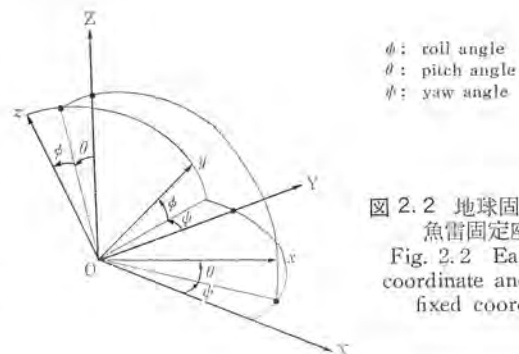


図 2.2 地球固定座標系と魚雷固定座標系  
Fig. 2.2 Earth fixed coordinate and torpedo fixed coordinate.

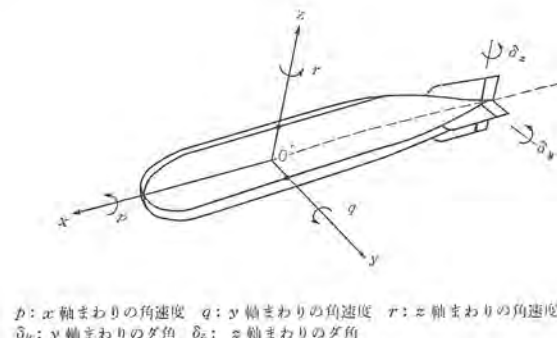


図 2.3 魚雷と魚雷固定座標系  
Fig. 2.3 Torpedo and torpedo fixed coordinate.



ここで  $m$  を魚雷質量,  $m_x, m_y, m_z$  および  $J_x, J_y, J_z$  をそれぞれ  $x, y, z$  方向の魚雷の付加質量および付加慣性性能率としたとき, 図 2.3 において魚雷の運動方程式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} (m+m_x) \frac{du}{dt} - (m+m_y)rv + (m+m_z)qw &= F_x \\ (m+m_y) \frac{dv}{dt} - (m+m_z)pw + (m+m_x)ru &= F_y \\ (m+m_z) \frac{dw}{dt} - (m+m_x)qu + (m+m_y)pv &= F_z \\ (I_x+J_x) \frac{dp}{dt} - (m_y-m_z)wv - \{(I_y+J_y) - (I_z+J_z)\}qr &= M_x \\ (I_y+J_y) \frac{dq}{dt} - (m_z-m_x)uw - \{(I_z+J_z) - (I_x+J_x)\}rp &= M_y \\ (I_z+J_z) \frac{dr}{dt} - (m_x-m_y)vu - \{(I_x+J_x) - (I_y+J_y)\}pq &= M_z \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.1)$$

ここに  $F_x, F_y, F_z$  および  $M_x, M_y, M_z$  は  $x, y, z$  方向の力およびモーメントの分力である。  $p, q, r$  ( $x, y, z$  軸まわりの角速度) はロール角  $\phi$ , ピッチ角  $\theta$ , ヨー角 (yaw angle)  $\psi$  によって次のごとく表わされる。

$$\left. \begin{aligned} p &= \dot{\phi} - \dot{\psi} \sin \theta \\ q &= \dot{\theta} \cos \phi + \dot{\psi} \cos \theta \sin \phi \\ r &= \dot{\psi} \cos \theta \cos \phi - \dot{\theta} \sin \phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.2)$$

また  $u, v, w$  は魚雷速度の  $x, y, z$  方向の分速である。

次に  $F_x, F_y, F_z$  および  $M_x, M_y, M_z$  について検討する。魚雷の受ける力は次のとおりである。

推力:  $F_T$ :  $x$  軸方向に作用

水力: 揚力  $L_\xi$ , 横力  $L_\eta$ , 抗力  $D$

重力: 魚雷重力と浮力との差  $mg(1-\rho')$ :  $-z$  軸方向に作用

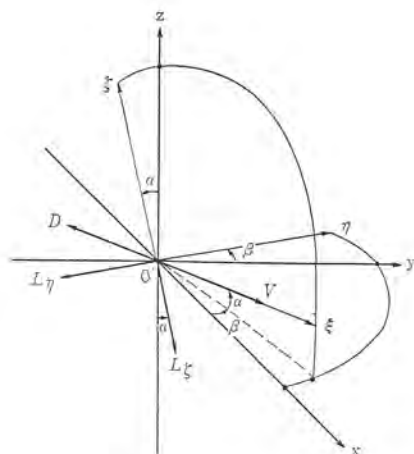
水力は図 2.4 に示すように  $O'-xyz$  座標と迎え角  $\alpha$ , 横スベリ角  $\beta$  で関係する風軸座標系  $O'-\xi\eta\zeta$  において, 抗力  $D$  は  $-\xi$  軸方向, 横力  $L_\eta$  は  $-\eta$  軸方向, 揚力  $L_\xi$  は  $-\zeta$  軸方向にそれぞれ作用する。

したがって  $F_x, F_y, F_z$  は次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F_T + L_\xi \sin \alpha \cos \beta + L_\eta \sin \beta - D \cos \alpha \sin \beta - mg(1-\rho') \sin \theta \\ F_y &= L_\xi \sin \alpha \sin \beta - L_\eta \cos \beta - D \cos \alpha \sin \beta - mg(1-\rho') \cos \theta \sin \phi \\ F_z &= -L_\xi \cos \alpha - D \sin \alpha - mg(1-\rho') \cos \theta \cos \phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.3)$$

さらに  $L_\xi, L_\eta, D, M_x, M_y, M_z$  について, 風洞試験に比較的良好一致し簡略化された水力計算式を用いる。(計算式省略)

また式 (2.1) の  $u, v, w$  は魚雷速度  $V$  の分速であるから



$V$ : 魚雷速度  
 $\alpha$ : 迎え角  
 $\beta$ : 横スベリ角  
 $D$ : 抗力  
 $L_\eta$ : 横力  
 $L_\xi$ : 揚力

図 2.4 魚雷固定座標系と風軸座標系  
 Fig. 2.4 Torpedo fixed coordinate and wind axis coordinate.

$$\left. \begin{aligned} u &= V \cos \alpha \cos \beta \\ v &= V \cos \alpha \sin \beta \\ w &= V \sin \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.4)$$

のように表わされる。

したがって式 (2.2)~(2.4) および水力計算式を式 (2.1) に代入することにより, 運動方程式が得られる。ここで運動方程式の各定数およびダ角量  $\delta_y, \delta_z$  を与えることにより, 運動方程式を解くことができ,  $\phi, \theta, \psi, \alpha, \beta$  の値を求めることができる。

## 2.3 位置計算

水中における目標と魚雷の位置関係を計算する。すなわち目標位置計算, 魚雷位置計算および相対位置計算を行なう。図 2.5 および図 2.6 に水中における位置関係の水平面および垂直面の状態を示す。

### 2.3.1 目標位置計算

地球固定座標における目標の位置を計算する。図 2.5 および図 2.6 に示すように目標速度を  $V_T$ , 目標進路角を  $\Psi_T$ , 目標昇降角を  $\Theta_T$  とすると, XYZ 方向の分速は次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} V_{Tx} &= V_T \cos \Theta_T \cos \Psi_T \\ V_{Ty} &= V_T \cos \Theta_T \sin \Psi_T \\ V_{Tz} &= V_T \sin \Theta_T \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.5)$$

次に目標位置の初期値を  $X_{T0}, Y_{T0}, Z_{T0}$  とすると, 目標位置は次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} X_T &= X_{T0} + \int V_{Tx} dt \\ Y_T &= Y_{T0} + \int V_{Ty} dt \\ Z_T &= Z_{T0} + \int V_{Tz} dt \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.6)$$

### 2.3.2 魚雷位置計算

地球固定座標における魚雷の位置を計算する。魚雷速度を  $V$ , 運動計算式によって得られた迎え角を  $\alpha$ , 横スベリ角を  $\beta$  とすると, 魚雷固定座標における魚雷速度の  $xyz$  方向の分速は次のよ

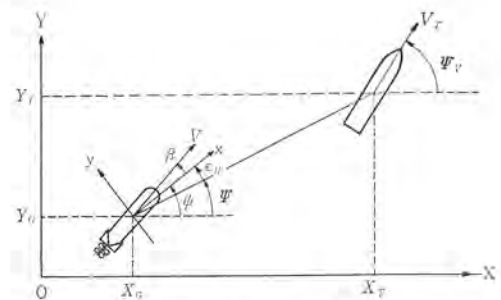


図 2.5 水平面運動  
 Fig. 2.5 Horizontal plane motion.

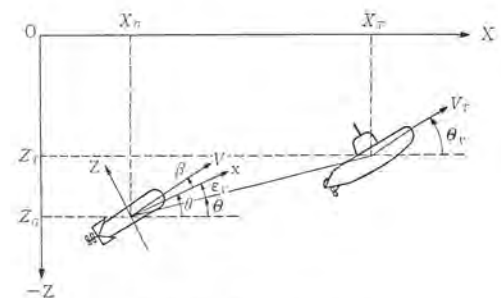


図 2.6 垂直面運動  
 Fig. 2.6 Vertical plane motion.



うに表わされる。

$$\left. \begin{aligned} u &= V \cos \alpha \cos \beta \\ v &= V \cos \alpha \sin \beta \\ w &= V \sin \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.7)$$

さらに運動方程式から得られる ロール角  $\phi$ , ピッチ角  $\theta$ , ヨー角速度  $\dot{\psi}$  を使用して,  $xyz$  方向の分速  $u, v, w$  から地球固定座標における XYZ 方向の 3 分速を次のように求める。

$$\left. \begin{aligned} \psi &= \psi_0 + \int \dot{\psi} dt \\ V_{GX} &= [u \cos \theta - (v \sin \phi + w \cos \phi) \sin \theta] \cos \psi \\ &\quad - (v \cos \phi - w \sin \phi) \sin \psi \\ V_{GY} &= [u \cos \theta - (v \sin \phi + w \cos \phi) \sin \theta] \sin \psi \\ &\quad + (v \cos \phi - w \sin \phi) \cos \psi \\ V_{GZ} &= (v \sin \phi + w \cos \phi) \cos \theta + u \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.8)$$

したがって魚雷位置の初期値を  $X_{G0}, Y_{G0}, Z_{G0}$  とすると, 魚雷位置は次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} X_G &= X_{G0} + \int V_{GX} dt \\ Y_G &= Y_{G0} + \int V_{GY} dt \\ Z_G &= Z_{G0} + \int V_{GZ} dt \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.9)$$

### 2.3.3 相対位置計算

地球固定座標における目標と魚雷との相対位置を計算する。すなわち目標魚雷計算で求めた目標座標と魚雷位置計算で求めた魚雷座標とから目標と魚雷との相対位置を求める。

$$\left. \begin{aligned} X_T - X_G &= \Delta X \\ Y_T - Y_G &= \Delta Y \\ Z_T - Z_G &= \Delta Z \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.10)$$

次にこれを用いて図 2.5 および図 2.6 で定義される照準線角  $\Psi, \Theta$  および相対直距離  $R$  を求める。

$$\left. \begin{aligned} \Delta X \sin \Psi - \Delta Y \cos \Psi &= 0 \\ \Delta X \cos \Psi + \Delta Y \sin \Psi &= R_H \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\left. \begin{aligned} R_H \sin \Theta - \Delta Z \cos \Theta &= 0 \\ R_H \cos \Theta + \Delta Z \sin \Theta &= R \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.12)$$

また追尾誤差角  $\varepsilon_H, \varepsilon_V$  を次式で定義しこれを求める。

$$\left. \begin{aligned} \psi - \Psi &= \varepsilon_H \\ \theta - \Theta &= \varepsilon_V \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.13)$$

この結果, 目標と魚雷とのすべての位置関係が求められたことになる。

### 2.4 目標エコーシミュレーション

魚雷の運動方程式が解かれ, 目標と魚雷との相対運動が決まると, 目標と魚雷との間の音響 ホーミング のシミュレートが可能となる。すなわち水中での超音波の伝搬状態をシミュレートするため無響水そうをつくり, この中で実魚雷送受波器から超音波を発射し, これが目標に当たって反射する状態を実現する。

今, 実魚雷送受波器からの送波音圧を  $P_T$  とし, これが目標に当たって反射して帰って来た受波エコー音圧を  $P_E$  とすると,  $P_E$  は次式で与えられる。

$$P_E = P_T f_1(R) f_2(\varepsilon_H) f_3(\varepsilon_V) f_4(T_H) f_5(T_V) + P_N \dots\dots(2.14)$$

- ただし  $R$  目標と魚雷との間の相対直距離
- $\varepsilon_H$  水平方向追尾誤差角
- $\varepsilon_V$  垂直方向追尾誤差角
- $T_H$  水平方向目標反射強度

$T_V$  垂直方向目標反射強度

$P_N$  目標雑音音圧

すなわち送波音圧を  $R, \varepsilon_H, \varepsilon_V, T_H$  および  $T_V$  の関数でそれぞれ減衰させて, これに目標雑音を加える。(実際には  $T_V$  の影響は小さいので考慮していない)

さらに  $P_E$  は  $P_T$  に対して音波の伝搬速度  $C$  に関して次式のよ

$$\tau = \frac{2R}{C} \dots\dots\dots(2.15)$$

したがって  $P_T$  に対して式(2.14)で表わされる減衰を受け, さらに式(2.15)で表わされる時間遅れを持つような  $P_E$  を作れば, 音響 ホーミング がシミュレートできる。

## 3. シミュレータの構成

### 3.1 概要

図 3.1 に シミュレート の構成を表わす系統図を示す。運動方程式を解く運動計算機は魚雷諸元を設定するほか, フィードバック 信号として動揺台上にある実魚雷の姿勢角を検出する操タ 負荷装置の信号が制御卓を経由してはいる。図 2.1 シミュレーションの系統図で示した閉 ループ のうち, 第 1 の閉 ループ は座標計算機から制御卓を経由して油圧による動揺台駆動信号として動揺台つまり実魚雷にかかっている。第 2 の閉 ループ は, 座標計算機内にある目標エコー発生装置から送受波器用増幅器を経由して, 無響水そう内で音響信号として実魚雷送受波器にかかっている。第 3 の閉 ループ は, 座標計算機から魚雷深度信号が深度圧力として実魚雷受圧部にかかっている。

次にシミュレータを構成する各機器についてしるす。

### 3.2 運動計算機

魚雷の姿勢角信号 ( $\delta_y, \delta_z$ ) を入力として魚雷の運動方程式を解き, 魚雷の姿勢角 (ロール角  $\phi$ , ピッチ角  $\theta$ , ヨー角  $\psi$ ), 迎え角 ( $\alpha$ ), 横スベリ角 ( $\beta$ ) を算出する。運動方程式の設定が魚雷の形式, シミュレーションの内容によってそのつど異なるので, 計算機ははん用低速変形 アナログ 計算機とし, ラレパッチ 方式を採用し, 各種のシ

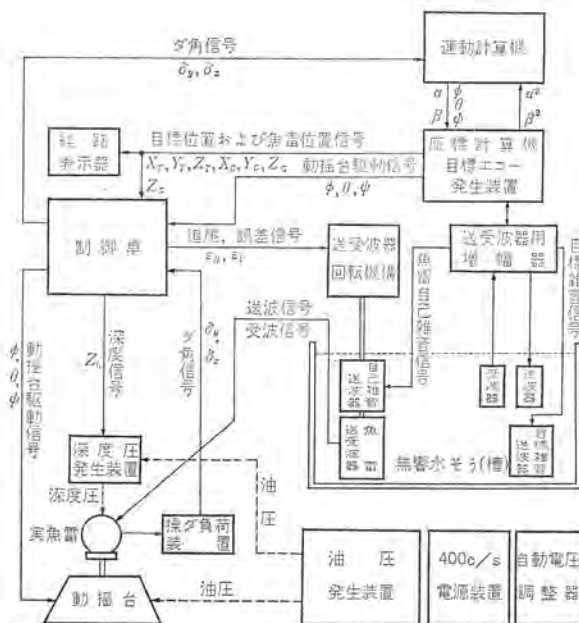


図 3.1 3次元ホーミング魚雷シミュレータ系統図  
Fig. 3.1 System diagram of three dimensional Homing Torpedo Simulator.



ミュレーションが簡単にできるようにしている。

### 3.3 座標計算機

目標位置計算、魚雷位置計算、相対位置計算を行ない、同時に目標エコーシミュレーションをするサーボ式アナログ計算機である。おのこの計算には、計算要素として直線形または三角関数形の計算コンデンサおよび非線形関数形ポテンシオメータを演算増幅器とともに使用し、400 c/s の交流サーボ演算機構を構成している。目標エコー発生装置は、無響水そう内の実魚雷ホーミング部（実魚雷送受波器）に目標からの模擬エコーを送るものである。

### 3.4 動揺台

実魚雷にホーミング動作中経験する動き（ロール、ピッチおよびヨー）を与えるもので、3軸はそれぞれ独立に座標計算機からの信号に従って油圧で回転動作を行なう。

### 3.5 深度圧発生装置

魚雷が水中にもぐった場合に深度に比例した水圧がかかるが、これをシミュレートするために座標計算機からの魚雷深度信号（魚雷位置計算にて求めたもの）に比例した油圧力を発生させ、動揺台上の実魚雷に与える装置である。

### 3.6 油圧発生装置

動揺台および深度圧発生装置の作動に必要な一定圧力の圧力油を発生し、これを供給する装置である。

### 3.7 送受波器回転機構

座標計算機からの追尾誤差角信号（ $\varepsilon_H$ ,  $\varepsilon_V$ ）に従って、無響水そう内で実魚雷送受波器（実魚雷ホーミング部）および自己雑音送受波器を回転させる装置である。

### 3.8 操ダ負荷装置

実魚雷を操ダするとき、水中でカジに加わる負荷トルクをシミュレートして、この等価トルクを動揺台上の実魚雷のカジに与え、かつダ角を検出する装置である。

### 3.9 制御卓

運動計算機および座標計算機の計算開始および停止を制御し、計算機からの信号を増幅して動揺台、深度圧発生装置および送受波器回転機構へ中継するとともに動揺台、油圧発生装置の遠隔操作を行なう。

### 3.10 経路表示器

目標および魚雷の刻々の態勢すなわち目標座標および魚雷座標を、水平面または垂直面の形式で自動的に記録するペン書き2現象レコーダである。

### 3.11 自動電圧調整器

運動計算機で使用する電源電圧を安定化させる装置であって、磁気増幅器による安定化回路を使用している。

### 3.12 400 c/s 電源装置

座標計算機および制御卓で使用する 400 c/s 電源を発生させる装置であって、60 c/s 電源をトランジスタによる静止形インバータによって 400 c/s に変換している。

3次元ホーミング魚雷シミュレータ・多田・高村・金子・渡辺・井塚

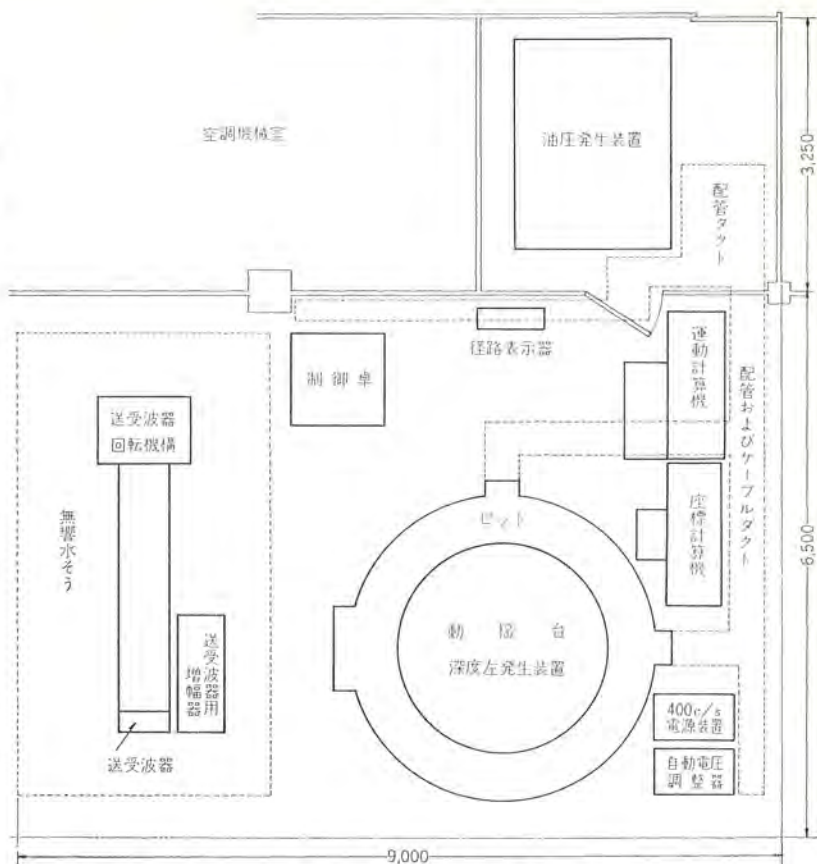


図 3.2 シミュレータ配置図 Fig. 3.2 Layout of simulator.



図 3.3 シミュレータ全景 Fig. 3.3 Complete view of simulator.

以上の全機器の配置を図 3.2 に、またその状況を図 3.3 に示す。

## 4. 主要機器の仕様および性能

### 4.1 運動計算機

#### 4.1.1 構造

本体は完全自立形 スチールキャビネット 方式とし、各 パネル は ブラウイン方式で簡単に前方へ引き出せる構造か、または前面パネルが前方に倒れる構造かのいずれかであって、内部の点検調整が容易である。図 4.1 に外観構造を示す。

#### 4.1.2 演算制御方式

##### (1) 演算制御

下記の演算制御を演算制御パネルにおいて行なうことができる。

##### (a) バランスチェック





図 4.1 運動計算機  
Fig. 4.1 Motion computer.

- (b) リセット
- (c) コンピュート
- (d) ホールド

なお、ホールド操作は内蔵した電圧比較回路により所要の時間瞬時または電圧瞬時に自動的に行なうことができる。また上記の演算制御は制御卓側からも行なうことができ、運動計算機側でリセットした後制御卓側で COMPUTE スイッチを ON-OFF すると、これがそれぞれ コンピュート・ホールド に相当して運動計算機が作動する。

#### (2) 初期値設定

演算制御パネルにおいてリセットすることにより、初期値として姿勢角 ( $\phi, \theta, \psi$ ) および迎え角 ( $\alpha$ )、横スベリ角 ( $\beta$ ) の電圧を 100 V 以内の適当な値に設定することができる。

#### (3) 出力監視

演算増幅器の出力電圧を切換スイッチによって選択しメータで読み取ることができ、かつゼロ点調整を行なうことができる。また各演算増幅器の出力電圧が最大値を越えた場合は、過負荷表示灯を点灯して表示するとともに警報ブザーを鳴らす。

### 4.1.3 演算増幅器

#### (1) 概要

ドリフト補償を行なった直流増幅器で、加算積分器、加算係数器またははん用演算増幅器として使用される。各演算増幅器にはすべて同一の直流増幅器を使用する。収容している増幅器の数は 50 台である。

#### (2) 特長

(a) 多段の平衡増幅回路を使用した上、ドリフト補償を行なっているから、ドリフト、オフセットともに少なく、動作がきわめて安定である。

(b) 周波数特性がすぐれているから、高い周波数まで高精度の演算を行なうことができる。

#### (3) 構造

高さ 200 mm × 幅 480 mm の引出し式標準パネルに同一の直流増幅器 10 台を収容し、この直流増幅器はいずれも同一の完全ララライン方式とする。演算制御とは別に単独で休止またはバランスチェックを行なうための切換スイッチおよびゼロ点調整用つまみをパネル前面に取り付けてある。

#### (4) 性能

#### a. 共通性能

- (a) 直流増幅器利得 直流で 140 dB 以上
- (b) 補償増幅器利得 55 dB 以上
- (c) 周波数特性 倍率 1 のとき 40 kc で 3 dB 低下以内  
倍率 10 のとき 20 kc で 3 dB 低下以内
- (d) 出力電圧  $\pm 100$  V (負荷 5 k $\Omega$ )
- (e) 最大出力電流  $\pm 20$  mA (負荷 5 k $\Omega$ )
- (f) 負荷抵抗 最小 5 k $\Omega$
- (g) 静的精度 0.1% 以内 (負荷 5 k $\Omega$ , 倍率 10)
- (h) グリッド電流  $2 \times 10^{-10}$  A 以内
- (i) ドリフト 入力グリッド換算 50  $\mu$ V/8 h
- (j) オフセット 500  $\mu$ V 以下。調整により 0 V にできる。

#### b. 保持特性

積分器は 3 分間のホールドにより最大出力電圧に対して 0.1% 以上の電圧変動がない。

### 4.1.4 ポテンシオメータ

#### (1) 概要

演算を行なうとき、積分器の初期値の設定、係数設定、単位関数発生などのために用いられ、入力電圧に 1 以下の任意の係数を乗ずるものである。ポテンシオメータ盤 I C、ポテンシオメータ盤 A、ポテンシオメータ盤 B にそれぞれ 14 個ずつ取り付けられている。

#### (2) 性能

- (a) 全抵抗値 30 k $\Omega$  (50 k $\Omega$ )
- (b) 全抵抗値偏差  $\pm 2\%$  以内 ( $\pm 1\%$  以内)
- (c) 直線性  $\pm 0.1\%$  以内
- (d) 全回転角 3,600 度 10 回転

( ) 内はポテンシオメータ盤 A の値

### 4.1.5 関数乗算器

#### (1) 概要

時分割方式を用いた全電子管式乗算器で、四つの入力変数  $U, V, X$  および  $Y$  に対して  $UX, VY$  の二つの積を同時に得ることができるもの (関数乗算器盤 B) と、四つの入力変数  $U, X, Y$  および  $Z$  に対して  $UX, UY, UZ$  の三つの積を同時に得ることができるもの (関数乗算機 C) とがある。

#### (2) 性能

- (a) 入力  $U, V, X, Y$  の 4 変数または  $U, X, Y, Z$  の 4 変数いずれも  $\pm 100$  V
- (b) 入力インピーダンス  
 $U, V$  : 300 k $\Omega$   
 $X, Y, Z$  : 1 M $\Omega$
- (c) 出力  $UX/100, VY/100$  または  $UX/100, UY/100, UZ/100$  いずれも  $\pm 100$  V
- (d) 出力電流 最大  $\pm 10$  mA
- (e) 負荷抵抗 最小 10 k $\Omega$
- (f) 静的精度  $UX, VY$  または  $UX, UY, UZ$  とともに最大出力電圧に対して  $\pm 0.5\%$  以内
- (g) 周波数特性 100 c/s まで  $\pm 3$  dB 以内
- (h) 残留雑音 50 mV 以下
- (i) ドリフト 入力電圧が 0 のとき 50 mV/h 以内

### 4.1.6 精度



運動計算機の精度はいわゆる サークルテスト によって規定する。すなわち積分器 2 台と係数器 1 台とによる正弦波発生回路において、いろいろな周波数に対して計算時間 30 秒間における演算誤差によって定義する。

- (1) 振幅誤差       $\omega = 1$  のとき  $\pm 0.2\%$  以下  
                           $\omega = 4$     "       $\pm 0.5\%$     "  
                           $\omega = 10$    "       $\pm 2\%$       "  
                           $\omega = 28$    "       $\pm 5\%$       "  
                           $\omega = 56$    "       $\pm 10\%$    "
- (2) 周波数誤差       $\omega = 1 \sim 56$  に対して  $\pm 0.3\%$  以下

## 4.2 座標計算機

### 4.2.1 構造

本体は完全自立形 スチールキャビネット 方式とし、各 パネル には内部に サーボ 機構および演算増幅器が収容されていて、この パネル が簡単に前方へ引き出せる構造であって、内部の点検調整が容易である。図 4.2 に外観構造を示す。

### 4.2.2 演算制御方式

#### (1) 演算制御

下記の演算制御を制御 パネル において行なうことができる。

- (a) COMPUTE START  
 (b) COMPUTE STOP

また上記の演算制御は制御卓からも行なうことができ座標計算機側で切換スイッチを LOCAL から REMOTE に倒した後、制御卓側で COMPUTE スイッチを ON-OFF すると、これがそれぞれ START-STOP に相当して座標計算機が作動する。なお、このときには運動計算機も同時に作動することはもちろんである。

#### (2) 初期値設定

初期値として目標座標 ( $X_T, Y_T, Z_T$ )、魚雷座標 ( $X_G, Y_G, Z_G$ ) および魚雷姿勢角 (ロール角  $\phi$ , ピッチ角  $\theta$ , ヨー角  $\psi$ ) の各 サーボ機構に任意の値を設定することができる。

#### (3) 出力監視

サーボ 機構による演算結果は、それぞれの サーボ 機構に付属する目盛指示によって監視することができる。

#### (4) 経路表示器入力制御

目標座標 ( $X_T, Y_T, Z_T$ ) のうちの任意の 2 座標、魚雷座標 ( $X_G, Y_G, Z_G$ ) のうちの任意の 2 座標をそれぞれ経路表示器入力として座標計算機から送るが、この信号の選択を制御 パネル において行

なうことができる。

#### (5) 目標 エコー 発生装置制御

下記のような目標 エコー 発生装置制御を行なうことができる。

- (a) アクティブホーミング または パッシブホーミング の選択  
 (b) アクティブホーミング 利得調整  
 (c) パッシブホーミング 利得調整  
 (d) アクティブホーミングパルス 繰返し周波数選択  
 (e) アクティブホーミングパルス 幅選択  
 (f) 雑音周波数選択

### 4.2.3 計算要素

#### (1) 増幅器

座標計算機に使用されている増幅器は、サーボ 式 アナログ 計算の中心をなす サーボモータ 駆動用の サーボ 増幅器、加算乗算用の演算増幅器、目標 エコー 発生用の特殊増幅器など種々の機能を有する 21 種類に分類される。これらのうち電子管式のものが 13 種、トランジスタ 式のものが 5 種、抵抗 コンデンサ 回路網のものが 3 種である。次に各増幅器の主要使用目的を記す。

#### (a) AS1

AS1 は計算軸の位置設定をする サーボモータ に電力を供給する サーボ 増幅器で、その出力は サーボモータ の制御巻線に印加される。

#### (b) AA3

AA3 は AS1 の付属用で利得位相の調整回路があり、また加算演算用としての精密抵抗も組み込まれている。サーボ 系の入力信号として交流 (400 c/s) のほかに直流の場合もあるので、この場合には加算した後 トランジスタチョップ を使用して交流に変換しており、この チョップ もこの増幅器内に組み込まれている。

#### (c) AC1

AC1 は計算 コンデンサ との組み合わせにより種々な計算を行なう演算増幅器である。

#### (d) AA1

AA1 は AC1 の付属用で利得位相の調整回路がある。

#### (e) AC6

AC6 は高利得のはん用演算増幅器で、加算演算または ポテンシオメータ の インピーダンス 整合などに使用する。

#### (f) AB3

AB3 は微分要素として用いられる タコジェネレータ に安定した励磁電圧を供給するとともに、温度変化および周波数変動により タコジェネレータ からの出力電圧が変動しないように、それぞれの補償回路を持っている。

#### (g) AB4

AB4 は微分要素として用いられる タコジェネレータ の出力電圧を増幅するとともに、ゼロ 回転時の残留電圧や出力電圧の位相などを補償する回路を持っている。

#### (h) AB5

AB5 は ポテンシオメータ などの低 インピーダンス を負荷とする インピーダンス 整合用増幅器である。

#### (i) AB9

AB9 は AB5 と同じく低 インピーダンス を負荷とする インピーダンス 整合用増幅器である。

#### (j) AB10

AB10 は AB5, AB9 と同じく インピーダンス 整合用増幅器であるが、AB5, AB9 より簡易形である。

#### (k) AD1



図 4.2 座標計算機  
 Fig. 4.2 Coordinate computer.



AD1 は目標 エコー 発生装置で使用する パルス 遅延増幅器である。

#### (1) AN1

AN1 は目標 エコー 発生装置において、目標の発生する ノイズ および魚雷自身が発生する ノイズ をシミュレートするための雑音発生器である。

#### (m) AF1

AF1 は帯域 フィルタ であって、AF1 で発生した ノイズ のある周波数成分だけ取り出して増幅する。

#### (n) AM1

AM1 はサーボ 系において速度追従誤差を補償して動特性を改善するための増幅器である。

#### (o) AM4

AM4 は交流入力信号 (400 c/s) の位相の正逆によって出力に正負の直流電圧を発生させる位相弁別復調整である。

#### (p) AM5

AM5 は目標 エコー 発生装置において、実魚雷から無響水そうを通して受波した パルス 変調波信号を パルス にもどすパルス 復調器である。

#### (q) AM6

AM6 は目標 エコー 発生装置において使用する パルス 変調器である。

#### (r) AP4

AP4 は計算用単位電圧を安定に増幅するもので、400 c/s, 10 rms の電圧を正相逆相の バランス を 0.1% の精度で発生させている。

#### (s) AP7

AP7 は AC1 に使用する -60 V の電源を安定化する増幅器である。

#### (t) AP8

AP8 は直流高圧 -280 V の電源を安定化する増幅器である。

#### (u) AZ11

AZ11 は計算電圧に 1 以下の数をかけるための系数設定器である。

### (2) 計算 コンデンサ

#### (a) 概 要

計算 コンデンサ は軸の回転角を入力として、その回転角のある関数で表わされる電圧を出力とする容量形 ポテンシオメータ の一種である。すなわちこれは空気を誘電体とする可変 コンデンサ であって、アース から絶縁物で浮かされた固定部分 (ステータ) と可動部分 (ロー

タ) からなり、ロータ をステータ が両側からはさむような構造になっている。普通 2 連が一体となって 1 個の計算 コンデンサ を構成し、同時に 2 個の同じ関数の出力または 2 個の異なる関数の出力を得ることができる。

#### (b) 仕様および性能

使用周波数範囲	400~3,000 c/s	
耐 圧	DC 1,000 V 1分間	
回転 トルク	10 g・cm	
重 量	520 g	
寸 法	90 mm (縦) × 102 mm (横) × 36 mm (厚さ)	
	直線形	三角函数形
回転角範囲	172°	360°
最大実効容量	200 pF	90 pF
最大容量	210 pF	120 pF
精 度	A 級	±0.1%
	B 級	±0.2%
		±0.4%

(注) 実効容量とは実際の関数形がこの容量によって決まるものをいう。最大容量とは 1 個のロータ に対する全ステータ の容量である。

### (3) ポテンシオメータ

ポテンシオメータ は目標 エコー 発生装置において、 $f_1(R)$ ,  $f_2(\varepsilon_H)$ ,  $f_3(\varepsilon_F)$  および  $f_4(T_H)$  で表わされる非線形関数を発生させるためのものである。各関数 ポテンシオメータ は関数そのものを巻線によって実現するのは製作上困難であるから、直線形のを製作しておいてこれに中間 タップ を適当数つけ、所要の非線形関数が得られるように固定抵抗を並列に接続し、折線近似を行なっている。

### 4.2.4 演算方式

#### (1) サーボ 機構による演算

座標計算機をおもに構成する サーボ 機構による演算の原理は次のとおりである。図 4.3 に示すように、サーボモータジェネレータ (サーボモータ SM と タコメータジェネレータ TG の連結したもの) をギヤ 機構を介して、計算要素 (計算 コンデンサ または ポテンシオメータ; 図 4.3 の例では計算 コンデンサ CC1~CC3) に連結する。サーボモータ には励磁巻線と制御巻線とがあり、励磁巻線には 400 c/s 115 V が常時印加されている。この状態で制御巻線に励磁巻線とは 90° 位相の違った電圧を加えると、この電圧にほぼ比例した回転数でサーボモータ が回転する。

今制御巻線に サーボ 増幅器 AS1 の出力を接続し、付属増幅器 AA3 には外部入力  $X_1$  および計算 コンデンサ CC1 からの フィードバック 信号  $X_2$  を加える。ここで AA3 の出力つまり AS1 の入力

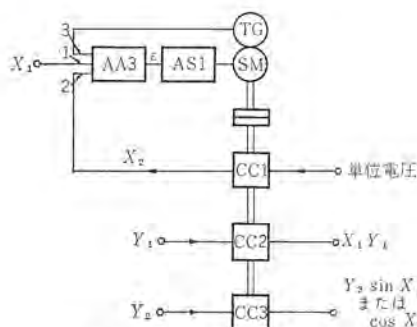


図 4.3 サーボ 機構演算原理図  
Fig. 4.3 Principle diagram of computation with servomechanism.

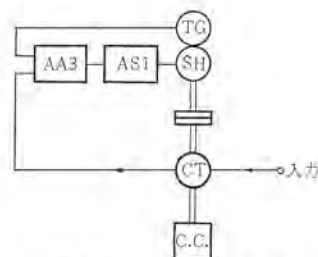


図 4.4 シンクロ 制御方式  
Fig. 4.4 Synchro control system.

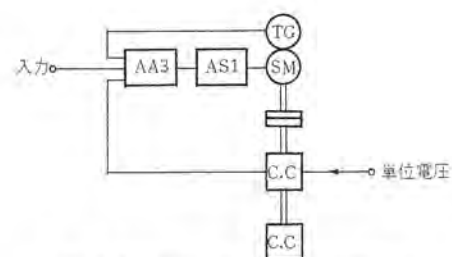


図 4.5 線形計算 コンデンサ 制御方式  
Fig. 4.5 Linear computing condenser control system.



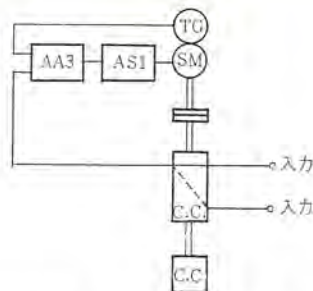


図 4.6 三角関数計算 コンデンサ 制御方式  
Fig. 4.6 SIN-COS computing condenser control system.

$\varepsilon = X_1 - X_2$  とすると サーボモータは回転し  $\varepsilon = 0$  となって サーボモータの制御巻線に加わる電圧が零になると停止する。この状態では  $X_2 = X_1$  であるからこの サーボ機構は  $X_1$  なる値を持ったといえる。したがって図 4.3 において計算 コンデンサ CC2 として線形のものを使用し、CC2 の入力に  $Y_1$  を加えると出力としては  $X_1 Y_1$  なる値が得られ、乗算演算ができたことになる。また計算コンデンサ CC3 として三角関数形のものを使用し、CC3 の入力に  $Y_2$  を加えると出力としては  $Y_2 \sin X_1$  または  $Y_2 \cos X_1$  という値が得られ、三角関数演算ができたことになる。図 4.3 において AA3 の端子 3 に入っている タコメタジェネレータ TG からの電圧はこの サーボ機構の制動をきかせる働きをする。

サーボ機構はその目的によって、位置制御用 サーボ機構および速度制御用 サーボ機構があり、座標計算機の中ではこの 2 種類がそれぞれの目的に応じて使われている。

#### (2) 位置制御用 サーボ機構

外部からの入力信号に比例した位置に サーボ軸が設定されるものであって、次の 3 種類に分類される。

##### (a) シンクロ 制御方式

この方式では入力信号はシンクロ信号であって、発信機とサーボ機構の受信機の角度差の信号がサーボ増幅器に入る。 $\varepsilon_H$ ,  $\varepsilon_r$  および  $T_H$  の各サーボ機構がこの方式を使用している。

##### (b) 線形計算 コンデンサ 制御方式

この方式では入力信号は電圧であって、サーボ機構の線形コンデンサからのフィードバック電圧との差がサーボ増幅器に入る。 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\phi$ ,  $\theta$  および  $R$  の各サーボ機構がこの方式を使用している。

##### (c) 三角関数計算 コンデンサ 制御方式

この方式では入力信号は 2 種類の電圧であって、 $\sin$  演算と  $\cos$  演算との差の電圧がサーボ増幅器に入る。 $\psi$  および  $\theta$  の各サーボ機構がこの方式を使用している。

#### (3) 速度制御用 サーボ機構

外部からの入力信号に比例した速度でサーボ軸が回転するサーボ積分器であって、次の 2 種類に分類される。

##### (a) 精密級速度制御方式

この方式ではフィードバックとして使用する タコジェネレータの電圧を安定にし、かつ精度を上げるために AB3 および AB4 を補助増幅器として使用し、励磁電圧の安定化、出力電圧の周波数補償および温度補償を行なっている。 $\phi$ ,  $X_T$ ,  $Y_T$ ,  $Z_T$ ,  $X_G$ ,  $Y_G$  および  $Z_G$  の各サーボ機構がこの方式を使用している。

##### (b) 普通級速度制御方式

この方式ではフィードバックとして使用する タコジェネレータの電圧をそのまま入力電圧と加算し、サーボ増幅器に入れている。 $\Theta_r$  および  $\Psi_r$  の各サーボ機構がこの方式を使用している。

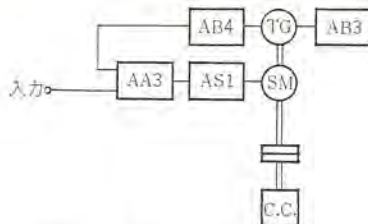


図 4.7 精密級速度制御方式  
Fig. 4.7 Precise rate control system.

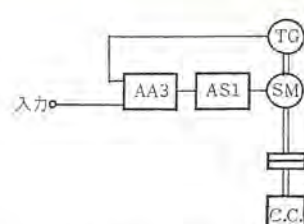


図 4.8 普通級速度制御方式  
Fig. 4.8 Moderate rate control system.

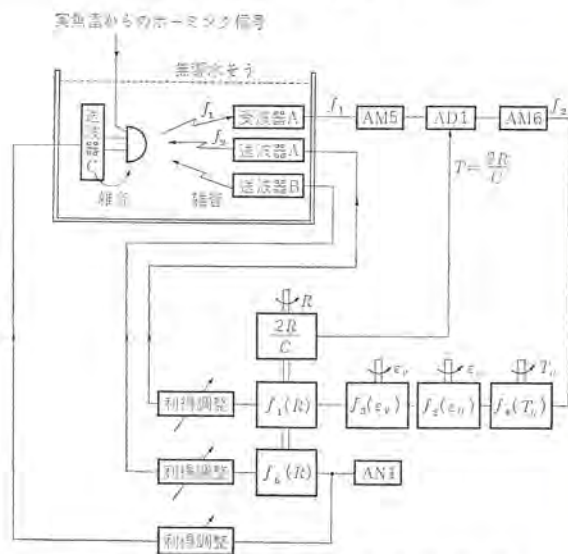


図 4.9 目標エコー発生装置原理図  
Fig. 4.9 Principle diagram of target echo generator.

#### (4) 目標エコー発生装置

目標エコー発生装置では式 (2.14) および式 (2.15) を実現させる。図 4.9 に示すように無響水そう内に実魚雷のホーミング装置の部分を入れパルス変調された  $f_1$  c/s のホーミング信号を発射する。この信号は水中でホーミング装置からある距離だけ離れたところにある受波器 A によって受波され、AM5 増幅器によってパルスに復調される。このパルス信号は AD1 増幅器において式 (2.15) で示される時間遅れを持たされ、AM6 増幅器において  $f_2$  c/s をパルス変調する。このあと  $T_H$ ,  $\varepsilon_H$ ,  $\varepsilon_r$  および  $R$  の非線形関数ポテンシオメータによりそれぞれ所定の減衰をシミュレートして  $P_T f_1(R) \times f_2(\varepsilon_H) f_3(\varepsilon_r) f_4(T_H)$  を実現し、送波器 A から水中のホーミング装置へ向け発射される。以上はアクティブホーミングのシミュレーションの場合であるが、魚雷がみずから音響信号を発射せず目標雑音を受けてホーミング動作を行なうパッシブホーミングのシミュレーションに使用する目標雑音は図 4.9 において AN1 増幅器により発生され、相対距離  $R$  の関数  $f_6(R)$  で減衰を受け送波器 B から水中へ発射される。なお送波器 C からの雑音は魚雷自己雑音をシミュレートしている。

#### 4.2.5 精度

総合精度の規定は次のごとく行なっている。座標計算機の入力として考えられる  $\phi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $V$ ,  $V_T$ ,  $\Theta_r$ ,  $\Psi_r$ ,  $X_{T0}$ ,  $Y_{T0}$ ,  $Z_{T0}$ ,  $X_{G0}$ ,  $Y_{G0}$  および  $Z_{G0}$  の種々な値を仮定し、これらの値に対して座標計算機で計算すべき計算式によってあらかじめ計算して、おのおのの場合について答えを求めておく。次に上記の入力を実際に座標計算機に入れその計算結果とあらかじめ求めた答えとを比較する。なお、座標計算機の計算結果はサーボ機構のダイヤル指示によって表示される。





図 4.10 動揺台  
Fig. 4.10 Torpedo table.

#### (1) 個別精度

加算器	$\pm 0.1\%$
乗算器	$\pm 0.1\%$
sin, cos 演算器	$\pm 0.2\%$
積分器	$\pm 0.2\%$

#### (2) 総合精度

演算部	$\pm 0.5\%$
目標エコー発生装置部	$\pm 5\%$

### 4.3 動揺台

#### 4.3.1 構造

動揺台はロール部、ピッチ部、ヨー部および固定部の4部に大別される。ロール、ピッチ、ヨーの各部はそれぞれ電気油圧サーボ機構および油圧モータにより制御される。図 4.10 に動揺台の外観構造を示す。

##### (1) ロール部

ロール部は実魚雷の本体を支持固定してローリングの運動を行なう部分である。その駆動はピッチ部に設けられたロール部駆動減速歯車機構を介して油圧モータによりなされる。またロール部はピッチ部に設けられたガイドに沿って動き、軸がないのが特長である。

##### (2) ピッチ部

ピッチ部はロール部を乗せたままピッチングの運動を行なう部分であって、ヨー部のフレーム軸によりささえられている。その駆動はこの軸を中心にヨー部に設けられたピッチ部駆動減速歯車機構を介して油圧モータによりなされる。ピッチ部には前記のロール部駆動減速歯車機構のほか、ロール検出歯車機構、ロール部駆動用油圧モータ、ロール部用アキュムレータ、ロール軸にブレーキをかけるリミット用ソレノイドバルブおよび後記の深度圧発生装置などが取り付けられている。

##### (3) ヨー部

ヨー部は上記のロール部およびピッチ部を乗せたまま、ヨーイングの運動を行なう部分であって、固定部に設けられたヨー部駆動減速歯車機構を介して油圧モータにより駆動される。ヨー部にはピッチ部駆動減速歯車機構、ピッチ検出歯車機構、ピッチ部駆動用電気油圧サーボ機構、ピッチ部駆動用油圧モータ、ピッチ部用アキュムレータ、ピッチ軸にブレーキをかけるリミット用ソレノイドバルブ、カムバルブ、減圧弁などが取り付けられている。

##### (4) 固定部

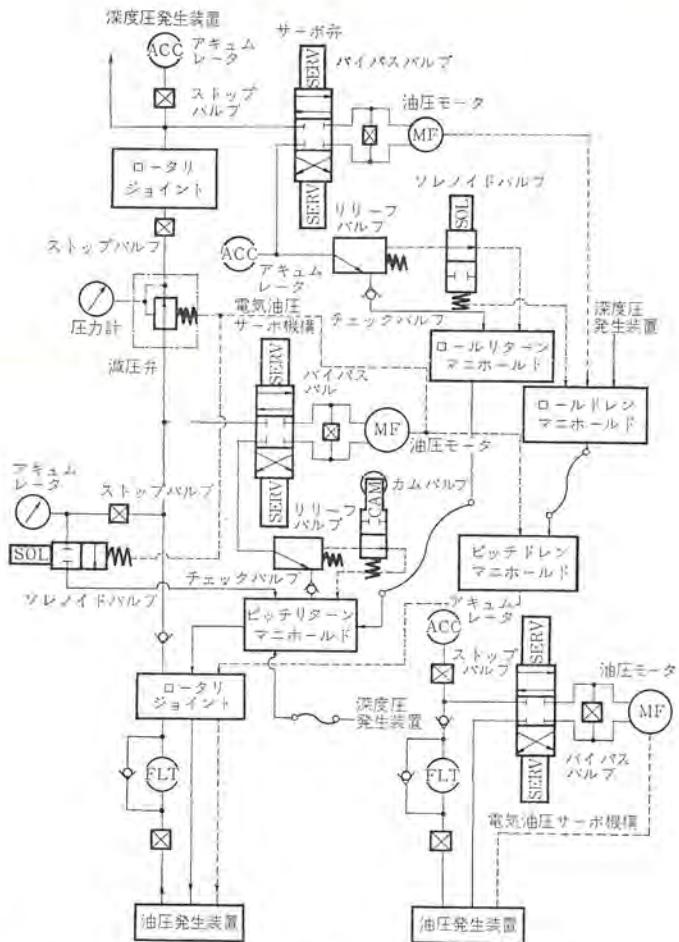


図 4.11 動揺台総合油圧回路図  
Fig. 4.11 Hydraulic circuit of torpedo table.

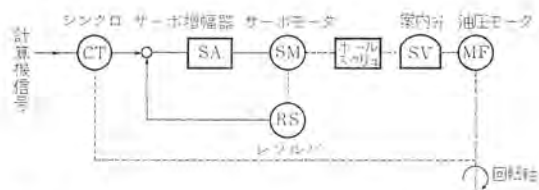


図 4.12 電気油圧サーボ機構 A 形原理図  
Fig. 4.12 Principle diagram of electro-hydraulic servomechanism type A.

固定部には上記の可動部分がすべて乗せられていて、コンクリート基礎にアンカーボルトで固定されている。固定部にはヨー部駆動減速歯車機構、油圧モータ、電気油圧サーボ機構、アキュムレータ、ヨー検出歯車機構のほか、ピッチ部およびロール部に油を送るための油圧ロータリジョイントおよび電気信号を伝えるスリップリングが取り付けられている。

#### 4.3.2 動作

##### (1) 概要

ロール、ピッチ、ヨー各軸ともその駆動は油圧により行なわれる。後記の油圧発生装置から供給される油圧は各軸の電気油圧サーボ機構に入る。油は座標計算機からの電気信号により電気油圧サーボ機構によって流量を制御され油圧モータに供給される。油圧モータは送り込まれた流量だけ回転し、各減速機構により減速されロール、ピッチ、ヨーの各軸を回転させ、取り付けた魚雷を動揺させる。図 4.11 に動揺台の総合油圧回路図を示す。

##### (2) 電気油圧サーボ機構

###### (a) 電気油圧サーボ機構 A 形



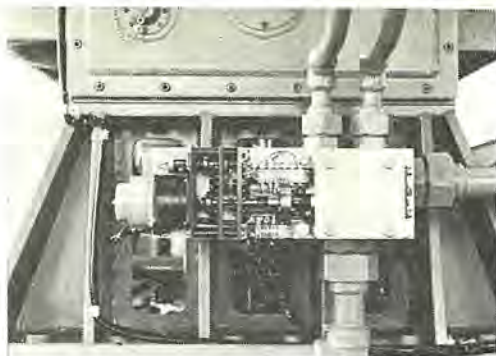


図 4.13 電気油圧サーボ機構 A 形  
Fig. 4.13 Electro-hydraulic servomechanism type A.

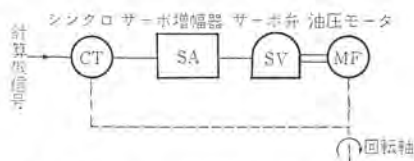


図 4.14 電気油圧サーボ機構 B 形原理図  
Fig. 4.14 Principle diagram of electro-hydraulic servomechanism type B.

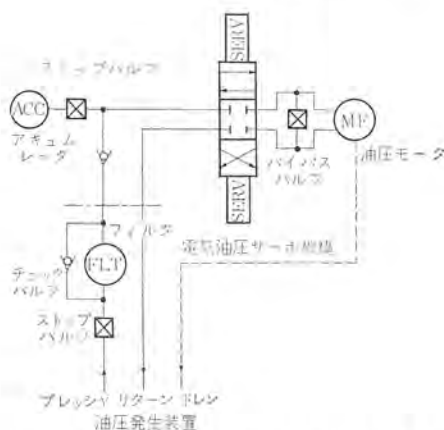


図 4.15 ヨー軸駆動部油圧回路図  
Fig. 4.15 Hydraulic circuit diagram of yaw axis drive.

図 4.12 に A 形の原理を示す。座標計算機信号がシンクロを経てサーボ増幅器に入るとサーボモータが回転し、減速機構を経てボールスクリューを動かす。ボールスクリュー軸は案内弁のスプールに直結されているため案内弁のポートの開度を入力信号に比例して制御する。この結果油の流量が制御されるので、油圧モータは制御流量に応じた回転速度で回転する。なおこのサーボ機構は位置制御であるから計算機信号すなわち計算機のシンクロ角度と、このサーボ機構のシンクロ角度が一致すると、つまりシンクロ誤差信号がゼロになると案内弁内のスプールが中立位置にもどり、油圧モータは回転を停止する。

図 4.13 に A 形を取り付けた状態を示す。

(b) 電気油圧サーボ機構 B 形

図 4.14 に B 形の原理を示す。座標計算機信号がシンクロを経てサーボ増幅器に入るとその出力によってサーボ弁内のフラップを変位させ、その結果スプールを入力信号に比例して移動させる。これで油の流量が制御されるので油圧モータは制御流量に応じた回転速度で回転する。B 形も A 形と同じく位置制御である。

なお A 形と B 形を比較してみると、A 形は応答はやや劣るが、使用油内のゴミなどによる作動不良が少ない。B 形は応答は良いが、油をきわめて清浄にしておかないと作動不良となる恐れがあ

3次元ホーミング魚雷シミュレータ・多田・高村・金子・渡辺・井塚

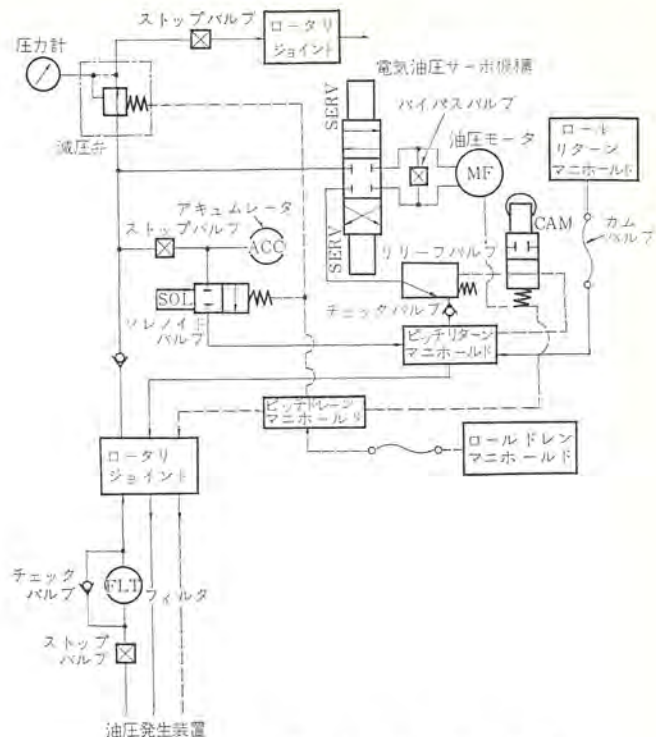


図 4.16 ピッチ軸駆動部油圧回路図  
Fig. 4.16 Hydraulic circuit diagram of pitch axis drive.

る。

(3) ヨー部駆動

図 4.15 に ヨー軸駆動油圧回路を示す。電気油圧サーボ機構としては A 形を使用してあって、油圧発生装置から供給される油は案内弁に入り、入力信号に比例した流量に制御される。油圧モータは制御流量に応じた回転速度で回転し、ヨー部駆動減速歯車機構を経てヨー部を回転させる。油圧モータを出た油は電気油圧サーボ機構を通して油圧発生装置にもどされる。

(4) ピッチ部駆動

図 4.16 に ピッチ軸駆動油圧回路を示す。電気油圧サーボ機構としては A 形を使用してあって、油圧発生装置から供給される油はヨー部中央にあるロータリジョイントを通してヨー軸の場合と同様に案内弁に入り、入力信号に比例して流量を制御される。油圧モータは制御流量に応じた回転速度で回転し、ピッチ部駆動減速歯車機構を経てピッチ部を回転させる。油圧モータを出た油は電気油圧サーボ機構から制限装置として設けたリリーフバルブおよびチェックバルブを通り、リターンマニホールドを経てロータリジョイントを通して油圧発生装置にもどされる。

ピッチ部は回転角度範囲が  $\pm 40^\circ$  以内であるから、入力信号が  $\pm 40^\circ$  を越えた場合ピッチ部が  $\pm 40^\circ$  を越えないように 2 段のリミットが働く。すなわちピッチが第 1 リミットにかかるとマイクロスイッチが作動し、制御回路に擬似信号が入ってピッチ部がその角度で停止し、入力信号が第 1 リミット以内にもどるとピッチ部もリミットを離れて、元通りに回転する。万一第 1 リミットを通過した場合には第 2 リミットにかかり、マイクロスイッチが作動するとリレーが働き油圧発生装置の電源を切るとともに、ソレノイドバルブを働かせアキュムレータの圧力をゼロにする。この動作とほとんど同時にリリーフバルブのベント回路に接続しているカムバルブが作動し、油圧モータの背圧を上げて回転を停止するブレーキの役目をする。

(5) ロール部駆動

図 4.17 に ロール軸駆動油圧回路を示す。ピッチ部に送られた油



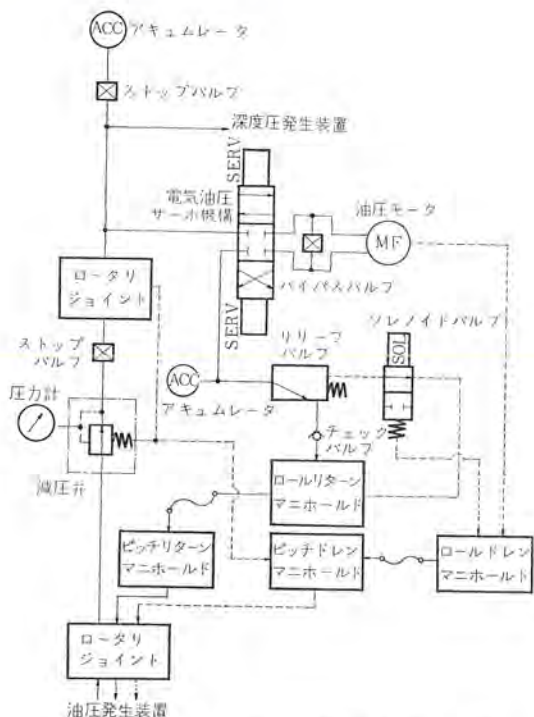


図 4.17 ロール軸駆動部油圧回路図  
Fig. 4.17 Hydraulic circuit diagram of roll axis drive.

表 4.1 動揺台の性能

項目	軸名	ロール	ピッチ	ヨー
駆動方式	油圧	油圧	油圧	油圧
使用圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	70	80	80	
最大流量 (l/min)	17.2	92	92	
最大回転数 (rpm)	1,750	2,330	2,330	
可動範囲 (deg)	±40	±40	±270	
最大角速度 (deg/sec)	35	35	35	
静的精度 (deg)	0.5	0.5	0.5	
周波数特性 (c/s)	1	1	1	
とう載最大荷重 (kg)	730			

(注) 1, 周波数特性は振幅が ±5 deg で 3 dB 低下のときの値である。  
2, 上表の性能はとう載荷重が 200 kg のときの値である。

は T 継手で分けられ、減圧弁およびピッチ軸に設けられてあるロータリージョイントを通してロール用電気油圧サーボ機構に入る。ロール部には電気油圧サーボ機構 B 形を使用している。サーボ弁は入力信号に比例して流量を制御し油圧モータを回転させロール部駆動減速歯車機構を経て魚雷を取り付けるロール部を回転させる。サーボ弁を出た油はソレノイドバルブ、チェックバルブおよびマニホールドを経て、ロータリージョイントを通して油圧発生装置にもどされる。

ロール部の回転はピッチ部と同様回転角度に制限があるから、入力信号が ±40° を越えた場合、ロール部が ±40° を越えないように 2 段のリミッタが働く。その動作はピッチ部の場合と同様である。

#### 4.3.3 性能

動揺台各軸の性能を表 4.1 に示す。

#### 4.4 深度圧発生装置

##### 4.4.1 構造

深度圧発生装置は減圧弁、アキュムレータ、サーボ増幅器、圧力制御弁および圧力検出器からなっている。また制御された油圧力を、動揺台上にある実魚雷の深度圧受圧部へ導くためのホースが備えられている。これらはいずれも動揺台のピッチ部の上方に取り付けられている。図 4.18 にこの状態を示す。

##### 4.4.2 動作

図 4.19 に深度圧発生装置回路を示す。ピッチ軸のロータリージョイン

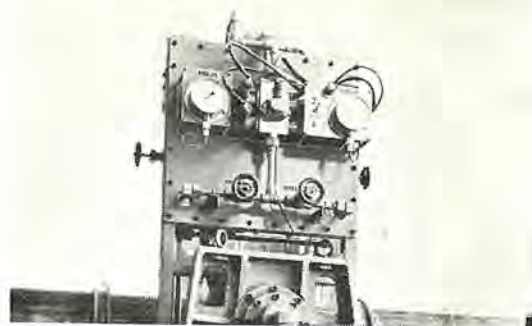


図 4.18 深度圧発生装置  
Fig. 4.18 Depth pressure generator.

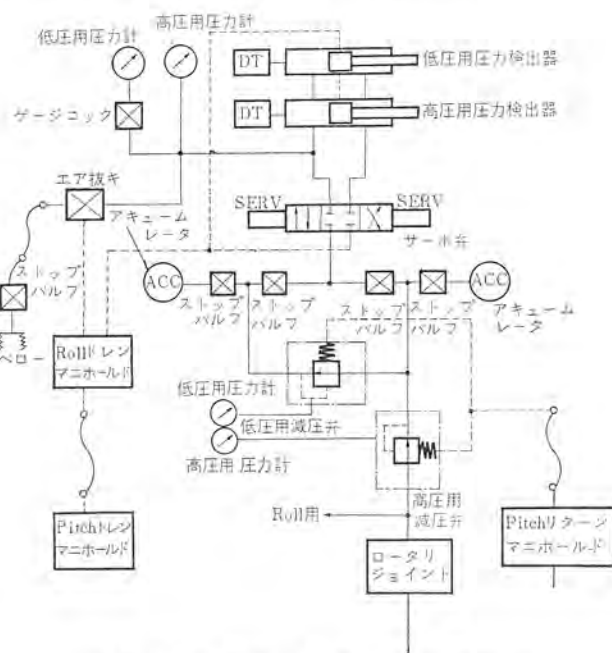


図 4.19 深度圧発生装置油圧回路図  
Fig. 4.19 Hydraulic circuit diagram of depth pressure generator.

表 4.2 深度圧発生装置の性能

項目	圧力	深度区分 (m)	静的精度 (%)	周波数特性 (c/s)
高圧用		350 ~ 100	±2	1
		100 ~ 10	±1	
		10 ~ 0	—	
低圧用		35 ~ 3	±2	1
		3 ~ 0	—	

(注) 周波数特性は振幅 ±5 m で 3 dB 低下のときの値である。

トを出た油はロール駆動用と深度圧発生装置用とに分岐される。深度圧発生装置用の油はまず高圧用減圧弁に入り、圧力を 40 kg/cm<sup>2</sup> に設定される。高圧用減圧弁を出た油は分岐して低圧用減圧弁に入り圧力を 5 kg/cm<sup>2</sup> に設定される。高圧用圧力計および低圧用圧力計はおおのこの減圧弁の圧力設定に使用する。以上 2 個の減圧弁により 2 種類の油圧力が得られるが、これを 2 個のストッパバルブで切り換えてサーボ弁へ供給する。供給された油はサーボ弁により入力信号（座標計算機からの魚雷深度信号）に比例した圧力に制御されホースを介して魚雷に送られる。一方制御圧は圧力検出器に入る。圧力検出器は高圧用と低圧用とがあり、スイッチで切り換えることによって、おおのこの制御範囲内において圧力を検出し電気信号に変換され、サーボ増幅器にフィードバックされる。

##### 4.4.3 性能

深度圧発生装置の性能を表 4.2 に示す。





図 4.20 油圧発生装置  
Fig. 4.20 Hydraulic power unit.

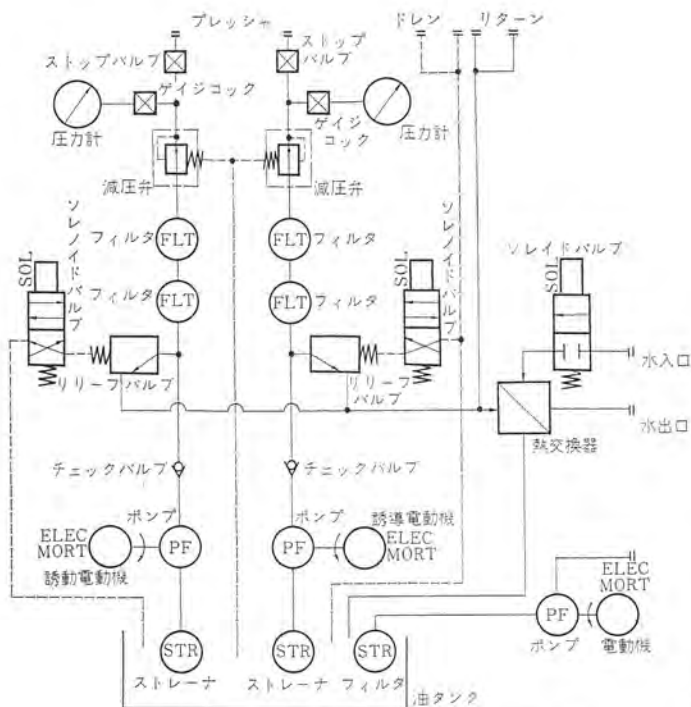


図 4.21 油圧発生装置油圧回路図  
Fig. 4.21 Hydraulic circuit diagram of hydraulic power unit.

#### 4.5 油圧発生装置

##### 4.5.1 構成

油圧発生装置は油タンク、オイルポンプ、ポンプ駆動用誘導電動機、ストレーナ、フィルタ、リーフバルブ、減圧弁、冷却用熱交換器および操作パネルからなっている。図 4.20 に外観を示す。操作パネルには遠隔操作のための接点付圧力計、温度計、電動機起動用押しボタン、油タンクに油を入れるためのポンプ起動用押しボタンおよびパイロットランプなどがあり、パネルの内側にはそれらのリレー回路が内蔵されている。

##### 4.5.2 動作

油圧発生装置の油圧回路を図 4.21 に示す。電動機を起動することによりポンプはストレーナを通して油タンクから油を吸い込む。ソレノイドバルブを作動させることにより、リーフバルブのベント回路を閉じ圧力の設定を可能にし、ポンプの出口圧力は一定圧に設定される。油は二重のフィルタでろ過されさらに減圧弁で使用圧力に減圧される。リーフバルブの設定圧力を減圧弁による設定圧力よりわずかに高く ( $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ ) することによりフィルタエレメントの破損の保護と圧力の脈動を少なくしている。リーフバルブのリターンポ

3次元ホーミング魚雷 シミュレータ・多田・高村・金子・渡辺・井塚



図 4.22 送受波器回転機構  
Fig. 4.22 Transmitter-receiver rotating mechanism.

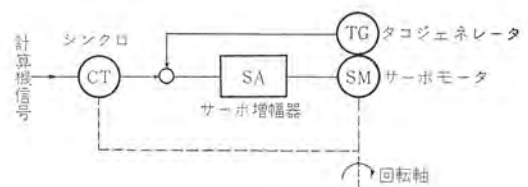


図 4.23 送受波器回転機構原理図  
Fig. 4.23 Principle diagram of transmitter-receiver rotating mechanism.

表 4.3 送受波器回転機構の性能

軸名	項目	可動範囲 (deg)	静的精度 (deg)	周波数特性 (c/s)
ピッチ		$\pm 40$	$\pm 0.5$	1
ヨー		$\pm 2n\pi$	$\pm 0.5$	1

(注) 周波数特性は振幅  $\pm 5 \text{ deg}$  で  $3 \text{ dB}$  低下のときの値である。

ートの油および動揺台のリターン回路の油は冷却用の熱交換器に入り、水用ソレノイドバルブを作動させることにより冷却され油タンクにもどる。

##### 4.5.3 性能

油圧発生装置の性能は次のとおりである。

油タンク容量	1,600 l
誘導電動機	三相 200 V 37 kW 2 台
ポンプ最大吐出量	110 l/min
最大圧力	$140 \text{ kg/cm}^2$

#### 4.6 送受波器回転機構

##### 4.6.1 構成

送受波器回転機構は、実魚雷ホーミング装置 (送受波器) および自己雑音を水中でピッチおよびヨー運動を行なわせる回転体部と、これを駆動するサーボモータ、減速歯車機構、シンクロ制御変圧機などからなるピッチ軸およびヨー軸駆動部とから構成されている。

図 4.22 に送受波器回転機構を無響水そうに取り付けた状態を示す。

##### 4.6.2 動作

回転体部を駆動するサーボ機構の原理を図 4.23 に示す。座標計算機からの追尾誤差角信号 ( $\varepsilon_r, \varepsilon_H$ ) を受け  $\varepsilon_r$  にてピッチ軸を  $\varepsilon_H$  でヨー軸をそれぞれ駆動する。負荷トルクが大きいのでサーボモータとしては  $50 \text{ W}$  の DC モータを使用しサーボ増幅器はトリニスタを採用してある。



ピッチ軸の回転角度範囲は $\pm 40^\circ$ に制限されているから、入力信号が $\pm 40^\circ$ 以上になるとリミットにかかり、マイクロスイッチが働いてリレーを動作させ制御回路に擬似信号が入り、その角度でピッチ軸を保持する。

#### 4.6.3 性能

送受波器回転機構の性能を表4.3に示す。

#### 4.7 操ダ負荷装置

操ダ負荷装置は動揺台上に固定された実魚雷のカジの部分に取り付け、操ダしたときそのカジに負荷トルクがかかるようにスプリングでカジを押える構造になっている。またこのときのカジの回転した角度を検出するようにシンクロが取り付けられていて、



図 4.24 操ダ負荷装置  
Fig. 4.24 Rudder load mechanism.



図 4.25 制御卓  
Fig. 4.25 Control desk.

水平ダ角信号 $\delta_y$ 、垂直ダ角信号 $\delta_z$ をそれぞれ制御卓を経由して運動計算機に送るようになっている。図4.24に外観を示す。

#### 4.8 制御卓

##### 4.8.1 構造

制御卓は図4.25に示すような外観構造であって、操作部および表示部はすべて前面のパネル上に配置されていて操作しやすいようにまた監視しやすいようになっている。座標計算機からの信号を受けてこれを増幅する増幅器類や電源は裏面のトビラを開くと内部に配置されている。

##### 4.8.2 構成および機能

###### (1) 概要

制御卓はシミュレータ全系の制御を行なうほか、座標計算機からの信号を変換したり増幅したりして動揺台、深度圧発生装置、送受波器回転機構などのサーボ機構を駆動する。

###### (2) 全系制御

前面パネルには全系の制御を行なうのに必要なスイッチおよび表示ランプ類がそれぞれの機能に応じて取り付けられている。

###### (a) 運動計算機および座標計算機

計算開始—停止制御

###### (b) 動揺台

動揺開始—停止制御

ロール、ピッチ、ヨー各軸の手動制御

リミット表示

###### (c) 深度圧発生装置

動作開始—停止制御

低圧—高圧表示

###### (d) 送受波器回転機構

動作開始—停止制御

リミット表示

###### (e) 油圧発生装置

油圧上昇—下降制御および表示

油温上昇表示

全機器を同時に動作させる場合すなわちシミュレーション動作を行なう場合には、計算機を停止の状態のまま他のすべての機器を動作準備の状態にして、次に計算機を計算開始にする。

###### (3) 動揺台駆動系

動揺台の駆動については動揺台の電気油圧サーボ機構の項で述べたが、その中のサーボ増幅器(SA)の構成は次のとおりである。座標計算機からのシンクロ信号は動揺台各軸のシンクロ制御変圧機によって受けられ、角度誤差信号は復調器DEMIによって位相弁別された直流となる。この信号は補償回路を通った後、チョッパ形の直流増幅器DCAで増幅され、A形ではこのあとパワー増幅器(PA)を経てサーボモータ(SM)を駆動し、B形では直接サーボ弁(SV)を駆動する。A形におけるパワー増幅器にはトランジスタを使用し、サーボモータとしては応答のよいブリットモータを使用している。

###### (4) 送受波器回転機構駆動系

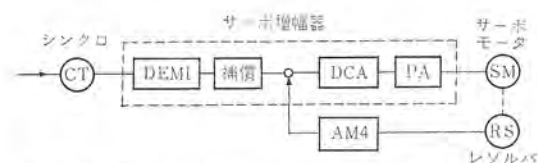


図 4.26 電気油圧サーボ機構 A 形用サーボ増幅器  
Fig. 4.26 Servo amplifier for electro-hydraulic servomechanism type A.



図 4.27 電気油圧サーボ機構 B 形用サーボ増幅器  
Fig. 4.27 Servo amplifier for electro-hydraulic servomechanism type B.

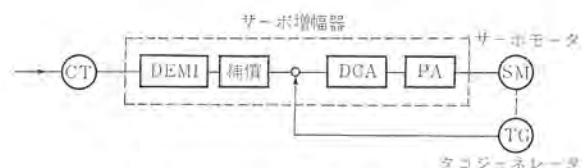


図 4.28 送受波器回転機構用サーボ増幅器  
Fig. 4.28 Servo amplifier for transmitter-receiver rotating mechanism.



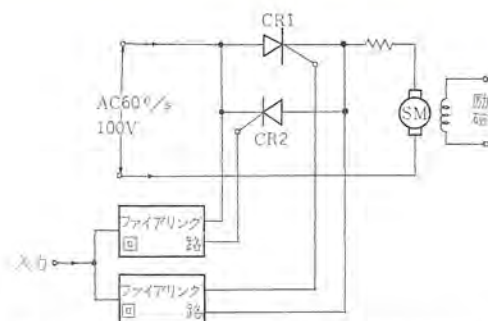


図 4.29 シリコン制御整流素子パワー増幅器原理図  
Fig. 4.29 Principle diagram of silicon controlled rectifier power amplifier.

送受波器回転機構の駆動については送受波器回転機構の動作の項で述べたが、その中のサーボ増幅器 (SA) の構成は次のとおりである。図 4.28 に示すように座標計算機からのシンクロ信号は送受波器回転機構各軸のシンクロ制御変圧器によって受けられ、以後動揺台の駆動系と同様に DEMI, 補償回路および DCA を通った後、シリコン制御整流素子を使用したパワー増幅器 (PA) により直流サーボモータ (SM) を駆動する。

図 4.29 にシリコン制御整流素子パワー増幅器の原理を示す。図において、CR1 はサーボモータの正転用、CR2 は逆転用のシリコン制御整流素子であって、各素子は独立したファイアリング回路を持ち、直流入力電圧の極性により選択点弧される。ファイアリング回路は入力電圧の大きさに比例した点弧位相を持つパルスが発生する回路であって、入力電圧の極性によってどちらかのファイアリング回路が点弧する。なおシリコン制御整流素子としてはトリスタ CR5A-6 を使用している。

#### 4.9 経路表示器

##### 4.9.1 構造

経路表示器は図 4.30 に示すような外観構造であって、表示面に取り付けられた記録紙を 2 本のペンが独立に図形を描くようになっている。内部にはこれらのペンを駆動するサーボ機構および増幅器類が組み込まれている。また表面には入力信号電圧のレベルを切り換えるスイッチ、サーボのゲインを調整するツマミ、動作状態を表わす表示灯などが取り付けられている。

##### 4.9.2 動作

経路表示器は目標座標および魚雷座標を記録紙上に 2 次元的に表示するものであるから、おのおのの座標すなわち  $(X_T, Y_T, Z_T)$  および  $(X_G, Y_G, Z_G)$  のうち座標計算機側で選んだ任意の 2 個の組み合わせ、たとえば  $(X_T, Y_T)$  および  $(X_G, Y_G)$  という信号が入力として入ってくる。1 本のペンには 2 台のサーボ機構が関係していて、おのおののサーボ機構がペンを駆動することによって表示面上で縦座標および横座標を形成する。たとえば 1 本のペンの縦座標として  $Y_T$ 、横座標として  $X_T$  を入れると表示面上では

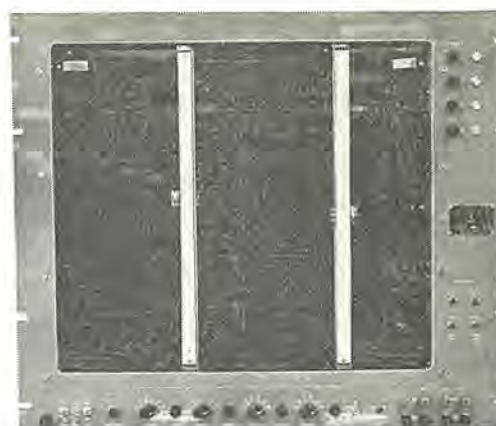


図 4.30 経路表示器  
Fig. 4.30 Locus recorder.

目標の XY 面での運動が記録できる。

またこの表示器は 2 現象同時表示であるから表示面で 2 本のペンがまったく独立に運動するが、表示の途中で二つの信号が (表示面上で) 交差するような場合には、おのおののペンに入っている入力信号が互いに他のペンに自動的に切り変わって、その後の表示ができるという特長を持っている。

##### 4.9.3 性能

記録紙寸法	500×500 mm
表示最大速度	タテ軸ヨコ軸ともフルスケール 3 秒
表示電圧	AC 400 c/s; 20, 10, 5, 2, 1 V 切換
入力インピーダンス	50 kΩ/V 以上
精 度	タテ軸ヨコ軸ともフルスケールに対して 1%
外部電源	AC 60 c/s 100 V および AC 400 c/s 115 V

## 5. む す び

以上 3 次元ホーミング魚雷シミュレータについて、その概要を述べた。このシミュレータはアナログ技術、サーボ技術および音響技術を含む大規模な装置であり、技術的に今後検討すべき点もある。すなわち技術が広範囲にわたっているため、各機器のつながりの問題、総合的動作チェックの問題などがある。

紙数のつごう上、各機器の説明は作動状況を中心とする定性的なことがらだけに終わってしまった。各種のサーボ系の伝達関数を中心とする定量的な説明は、このシミュレータの実際の運転状況とともに別の機会に発表したい。

このシミュレータは三菱重工業株式会社長崎造船所で計画されたものであり、必要な資料は提供を受けた。最後にこのシミュレータの開発にご指導ご援助いただいた三菱重工業株式会社の関係各位ならびにシミュレータ各機器の製作、据付および調整に尽力された社内関係各位に謝意を表する次第である。



# MELDAS-1022 整流子アンダカッティングマシン制御装置

小島 一男\*・金森 剛明\*・志賀 正明\*

## Fully Automatic Undercutting Machine, MELDAS-1022

Kamakura Works Kazuo KOJIMA・Takaaki KANAMORI・Masaaki SHIGA

Now that machine tools have been automatized, repetition of the same work is to be most effectively accomplished by automatic operation. In undercutting mica pieces of comutators, determination of the position involves diversified methods. The pitch of mica pieces is not uniform from the standpoint of work precision. The pitch errors are liable to be accumulated, which makes the mechanical determination of the position improper. The old practice is to use a magnifying lense to determine a proper position, resorting to a manual operation. A new device, MELDAS-1022, is an automatic undercutting machine to operate on a principle to detect the mica section optically, to determine the position and to set the tool post in motion with a pneumatic pressure.

### 1. ま え が き

直流機回転子の整流子 マイカ 部分を切削する アンダ・カット 作業において回転子の位置決めを行なうのに、従来は、作業者が拡大鏡を通して マイカ 部分を見ながら手作業で行なっていた。この装置は アンダ・カット 作業を自動的に行なわせるためのもので、マイカ部を光学的に検出して位置決めし、空気圧で刃物台を動かすようにしたものである。

この装置の特長は交流 サーボ 方式を用い、検出部に、機械的可動部のない光学的検出器を用いていることである。



図 1.1 アンダカッティングマシン  
Fig. 1.1 Fully automatic undercutting machine.

### 2. 動作概要

この装置は アンダ・カッティング・マシン に装着される制御装置であって、セグメント 位置を光学的に検出し、自動的に セグメント を切削位置に位置決めをして、カッタ の前進および後進を制御することにより、直流機回転子の整流子の アンダ・カット 作業を自動制御する装置である。構成図は図 2.1 に示す。

この装置は整流子の銅部分と マイカ 部分を レンズ により拡大して、1 対の フォト・トランジスタ 上に像を結ばせ、フォト・トランジスタ 出力信号を増幅し、サーボモータ を駆動して、マイカ を切削位置に設定する装置である。切削位置が設定されると、回転している 10% の カッタ が、前進および後進を行ない マイカ が切削される。最初の マイカ の切削が終了すると、次の マイカ 部分が自動的に位置決めされ、順次 マイカ が切削されて、全 マイカ が切削完了すると機械は停止する。つまり機械本体にある カウンタ にあらかじめ マイカ 数を設定しておき、この数から カッタ の前進・後進運動の数を減算して、カウンタ が 0 になれば機械を停止させている。

#### 2.1 構成

MELDAS-1022 は下記のものより構成されている。

- (1) 機械部 1 台
- (2) 制御部 1 台

(1) の機械部は、光学検出器、光源および前置増幅器からなり、(2) の制御部は同期整流器、サーボモータ 用増幅器、リレー 群および電源部からなる。

#### 2.2 規格および性能

- 1. 検出方式 像を 1 対の フォト・トランジスタ により検出する。
- 2. セグメントマイカ 幅 約 0.43 mm
- 3. セグメント 間隔 1 mm 以上



図 2.2 制御装置  
Fig. 2.2 Controller of under cutting machine.

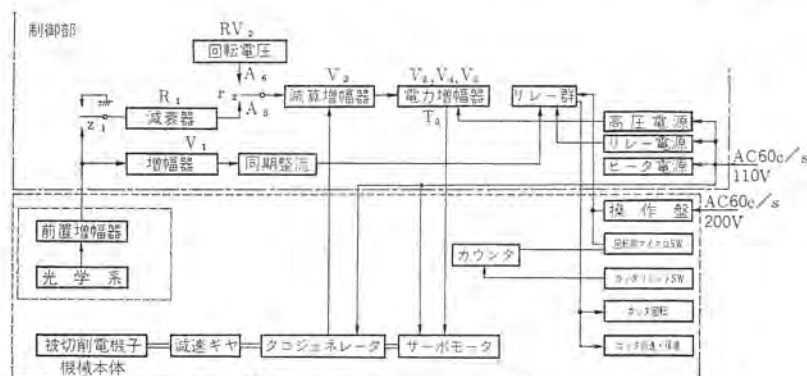


図 2.1 アンダカッティングマシン制御ブロック線図  
Fig. 2.1 Block diagram of undercutting machine control.



4. 位置設定精度 セグメントマイカ 中心に対し  $\pm 0.05 \text{ mm}$   
(ただし検出位置において)
5. 位置設定時間 約  $0.3 \text{ sec}$
6. 光点の大きさ 約  $0.75 \times 5 \text{ mm}$
7. 切削面のレンズ間間隔  $25 \text{ mm}$  以上
8. サーボモータ  $60 \text{ c/s}$   $110 \text{ V}$   $5 \text{ W}$   
(タコジェネレータ 付)
9. 電 源  $\text{AC } 100 \text{ V} \pm 5 \text{ V}$   $60 \text{ c/s}$   $250 \text{ VA}$

## 2.3 動作原理

### 2.3.1 機械部

機械部は光学系および前置増幅器で構成される。光学系は図 2.3 のごとくマイカ部分をレンズにより約 5 倍に拡大して、フォト・トランジスタ上に像を結ばせる。フォト・トランジスタ像との関係を図 2.4 矢視の図に示す。フォト・トランジスタは整流子の表面状態に比較的左右されない、光感度特性を有している。直径  $2 \text{ mm}$  のフォト・トランジスタ 2 個の上にマイカの像の幅約  $2 \text{ mm}$  ( $0.43 \text{ mm}$  の約 5 倍) が映る。光电セルにフォト・トランジスタを用いた回路は種々あるが、この装置で用いた回路は、従来の回路と大きく異なっている。従来はフォト・トランジスタ 2 本をシリーズにして、コレクタ側に負電圧エミッタ側に正電圧を加え、その出力電圧をチョップ回路で交流にして交流サーボをかけていたが、この装置は、光电セ

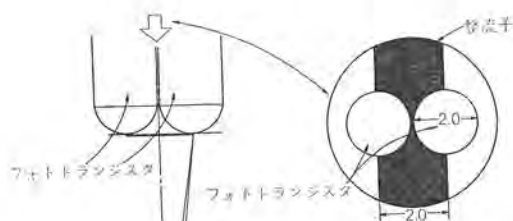


図 2.4 矢視の図  
Fig. 2.4 Top view  
of Fig. 2.3.

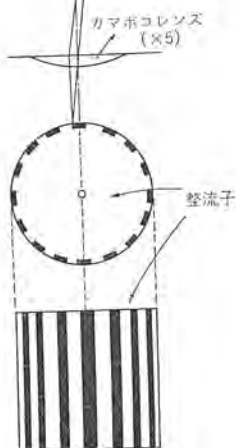


図 2.3  
光学系原理図  
Fig. 2.3  
Principle  
diagram of  
photography.

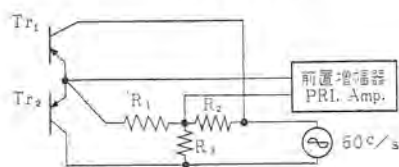


図 2.5  
検出器原理図  
Fig. 2.5 Principle  
diagram of detector.

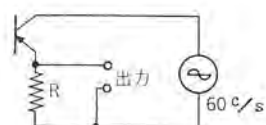


図 2.6 検出器基本回路  
Fig. 2.6 Basic circuit of detector.

ルでチョップ回路を兼ねていることになっている。この装置に用いた光电セルの特長は

- (1) 回路が簡素化された。
- (2) 直流安定化電源が不要になった。
- (3) フォト・トランジスタに直接交流をかけるために電源変動による検出誤差は皆無になった。

図 2.5 に検出器原理図を示す。この検出器の動作を説明すると、基本回路は図 2.6 のようになる。基本回路は図 2.7 のフォト・トランジスタの特性曲線からフォト・トランジスタに光量 0 の時にフォト・トランジスタには暗電流が流れる。フォト・トランジスタと直列に接続されている抵抗  $R$  に暗電流  $I_0$  が流れ、抵抗  $R$  の両端に生ずる電圧降下は  $V_0 = I_0 R$  となる。フォト・トランジスタに光量  $x$  が入ったとすると、フォト・トランジスタには  $I(x)$  なる電流が流れ、抵抗  $R$  両端における電圧降下  $V(x) = I(x) R$  となり、光量により抵抗  $R$  両端間における降下電圧が変化する。フォト・トランジスタに逆電圧をかけた場合も同様な特性を示し、この回路の電源に交流電圧をかけた場合、図 2.8 のように暗電流のときもフォト・トランジスタに光を感じたときも  $\square$  形波の出力があらわれ、出力電圧は光量により比例する。図 2.6 の基本回路を 2 個組み合わせ、差動的に使用したのがこの装置に用いた回路である。この回路において、フォト・トランジスタ 1 および 2 の光量がバランスしている時は、抵抗  $R_1$  の降下電圧は残留電圧で低い値を示す。フォト・トランジスタ 1 の光量とフォト・トランジスタ 2 の光量差の出力電圧が現われ、フォト・トランジスタ 1 より 2 の方が光量大のとき出力電圧が正相である。とすればフォト・トランジスタ 2 より 1 の方が光量大の時に逆相となる。この出力電圧は、偏位量にほぼ比例して偏位方向により位相が逆転する。この出力電圧を同期整流すれば(この操作は制御部において行なっている。)マイカと整流出力電圧の関係は図 2.9

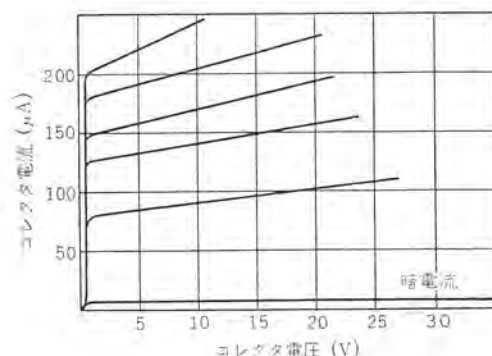


図 2.7 フォトトランジスタ特性曲線  
Fig. 2.7 Characteristic curve of photo transistor.

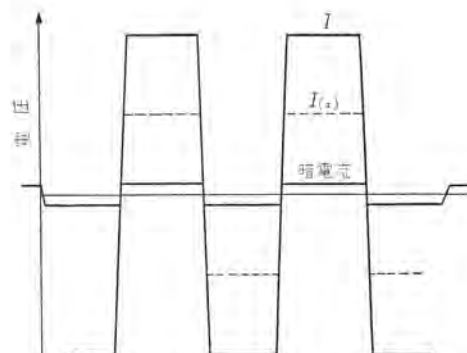


図 2.8 基本回路出力電圧  
Fig. 2.8 Output voltage of basic circuit.



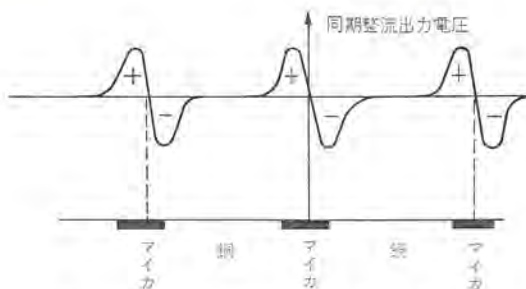


図 2.9 マイカと同期整流出力電圧との関係  
Fig. 2.9 Relation between the position of mica and sync rectified out put voltage.

に示すごとくになる。以上光学系の原理を述べたが、この装置の検出器として要求される諸条件により、フォト・トランジスタ光源などを以下に示すよう選択した。

フォト・トランジスタは、一般に用いられるごとくコレクター・エミッタ間に正電圧 (NPN の場合) あるいは負電圧 (PNP の場合) のみかけられるのと異にして、交流負電圧がかけられるためフォト・トランジスタの正方向・負方向の電気的特性の等しいものを選ぶ必要がある。この電気特性とは、感度、暗電流のそろったものである。この条件のそろったものから温度特性のそろったものを選び出し、2 本を対にして検出器を構成する。

この装置は、工場に設置するため、とくに温度特性には留意する必要がある、ここでは  $45^{\circ}\text{C}$  以下で確実に動作するように検出器を製作した。

光源については、反射光を検出器で受けるため、フォト・トランジスタが受ける光量が少なく、検出する部分に集光して、効率よく光源を利用するように検出部分に  $0.75 \times 5 \text{ mm}$  の光点を与えるようにした。この検出器で留意したことは、光電セルの選択と相まって、できるだけ検出部分を広い範囲とし、かつ精度を上げるためにマイカの縦方向はレンズで拡大はせずに横方向のみを約 5 倍に拡大することであった。以上の条件を満たすために、レンズはカマココ形のものを使用してこの問題を解決した。カマココ形レンズを使用した結果、普通のレンズを使用した場合、微少部分の傷などで検出を行ない、誤動作を起こしていたが、傷、ほこりなどによる誤動作が飛躍的に減少した。

前置増幅は、真空管 2 本により構成された  $60 \text{ c/s}$  用低周波増幅器である。

### 2.3.2 制御部

制御部のブロック線図は図 2.1 に示す。機械部からの出力電圧は  $AC 60 \text{ c/s}$  であり、減衰器  $R_1$  を通り、この信号はタコジェネレータ出力より  $V_2$  において減算され  $V_3$  で増幅する。  $V_4, V_5$  で構成される電力増幅器で最大  $15 \text{ W}$  の出力を出す。  $T_3$  の出力は、機械本体にあるサーボモータに印加される。機械部の出力電圧は一方  $V_1$  で増幅され、同期整流回路は交流電圧を直流電圧に変換する回路であり、交流電圧振幅と直流電圧は比例し、かつ、交流信号が基準交流電圧と同位相の時は直流正電圧を出し、逆相の時は直流負電圧を出す回路である。リレー群は電機子の回転制御、カッタ前進、後進の制御、カッタ回転の制御などに使用されている。リレーシーケンスは図 2.10 に示すが、概略の動作を説明する。まず準備ボタンを押すと、サーボモータに回転電圧が与えられ、被切削電機子が回転し、有極リレー端には図 2.11 に示す出力電圧が生じる。図 2.11 の点 A 以上の電圧が生じると、有極リレーが動作するよう調整してあり、有極リレーの動作によりマイカの概略の

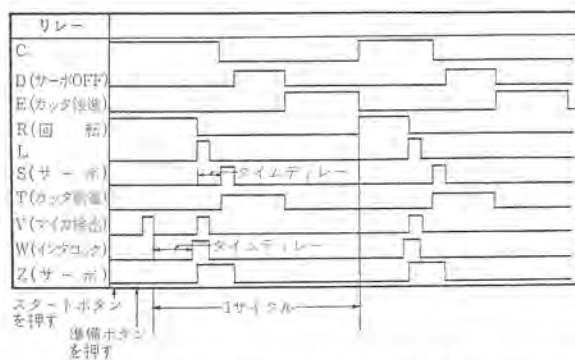


図 2.10 リレーシーケンス Fig. 2.10 Relay sequence.

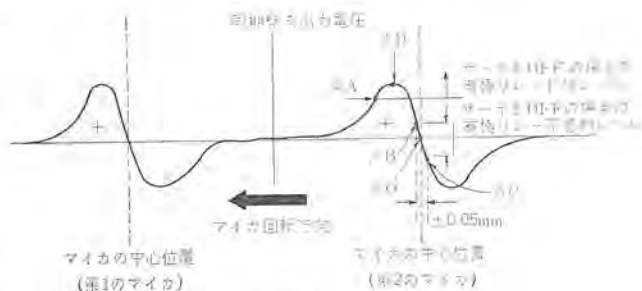


図 2.11 有極リレー動作レベル  
Fig. 2.11 Operation level of polarized relay.

位置が検出できる。start ボタンを押すと、マイカの概略の位置で止まる。すなわち切削が一つのマイカより次のマイカに移るとき  $r_2$  を  $A_3$  側に倒して  $RV_2$  より回転電圧を印加してサーボモータを一方方向に回転させ、有極リレーが動作すれば  $r_2$  を  $A_3$  に倒し回転電圧の印加を停止し、リレー  $z_1$  を閉じることによりサーボをかける。このようにして第 1 のマイカより第 2 のマイカに移ることができる。サーボのかかった状態では、電機子は点 0 の近くになったことを確認した上で、機械本体のカッタを前進させる信号を出し、刃物台が動き出すとマイカの切削が始まる。このサイクルを繰り返して全部のマイカの切削が終了すれば、カウンティングリレーが閉じて切削を終了する。

この装置では、前述のごとく、有極リレーで粗位置決めをし、精位置決めは検出器出力でサーボをかけて行なうためサーボが安定するまでカッタは前進しないようにしておかなければならない。そのためサーボ信号が出てからサーボが十分安定するまで、時間遅延した後カッタを前進させるようにリレーシーケンス中に遅延回路をもたせてある。一方マイカとマイカとの間にあるちり、傷などによる誤動作を防止するインタロック回路として、切削完了後、回転電圧がかかってからマイカの概略位置にくるまで時間遅延回路を用いてサーボがかからないようにしてあるため、検出器が誤動作しても切削は行なわれない。また位置決め精度が悪い時はカッタ前進を行なわないようなシーケンスとなっている。

### 2.3.3 機械本体

機械本体は制御装置からの信号を受けて、カッタ回転、カッタ前進・後進を行なわせるもので、図 2.13 に機械本体のブロック線図を示す。スイッチを押すとカッタが回転を始めサーボモータが回転し、検出部で検出しサーボが安定するとカッタ前進の電磁弁が開き刃物台が動く。刃物台が所定の位置まで前進すると、往復台の往復回数を数えるカウンティングリレーの接点をセットする。カッタ前進の電磁弁が閉じ、カッタ後進の電磁弁が開き刃物台が後退する。刃物台が所定の位置まで戻るとサーボモータにより次のマイカまで送られる。





図 2.12 アンダカット機械装置  
Fig. 2.12 Mechanism of under cutting machine.

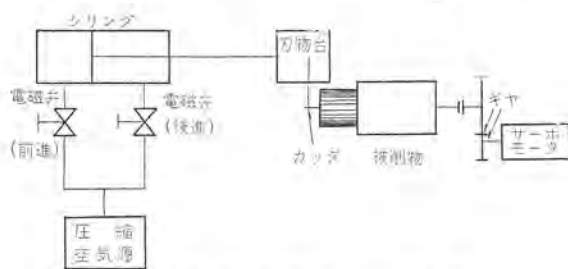


図 2.13 機械部ブロック線図  
Fig. 2.13 Block diagram mechanism.

この機械では、位置決めをサーボモータで行なっているために、その歯車系をとくに考慮する必要がある。歯車系にバックラッシュがあるとき増幅器の利得を上げると、歯車のガタで正確な位置決めができないためハンティングが生ずる原因となり、増幅器の利得の低いところでしか使用できないので位置決め精度が悪くなる。したがって、バックラッシュをなくせば増幅器利得を上げるので、同じ偏位量に対しサーボモータの出力トルクを上げることができ、バックラッシュのない歯車が理想的である。

整流子のマイカが軸に対してかならずしも平行に位置しているものではないので、普通に切削を行なった場合、検出点よりはずれた所では、マイカ中心線よりずれて切削することもあり得る。そこで、刃物台の速度を決めれば、切削条件を左右するのはカッタ回転数である。切削条件によりマイカに沿って切削しようとすれば、カッタの回転数を決定すれば条件に合う切削が行なえる。アンダカットについての切削を考えると、銅と銅とはさまれたマイカを切削するが、銅はねばくてやわらかい、マイカはもろくてかたいという性質があるため、重切削を行なうと、マイカ側へカッタは逃げる。したがって、マイカに沿って切削ができる。カッタ回転数は、カッタ回転用モータにDCモータを用い、回転数をかえて実験的に求めた。切削条件はできるだけ軽切削でないとカッタの寿命を短くするので、切削との兼ね合いで慎重に回転数は決定する必要がある。

### 3. 使用結果

以上述べたことをもとに設計製作されたこの装置は実際の性能をチェックした結果次のようになった。

#### 3.1 位置決め再現性

この装置で切削を行なわないで、被測定整流子の径、 $40\phi$ ミジ数28、切削ミジ幅0.43のものを用いて位置決め再現性を調べたところ、 $\pm 1/100$ mmの精度で位置決めをしていることがわかった。測定は検出している部分から $90^\circ$ の点に測定用の線を引き、

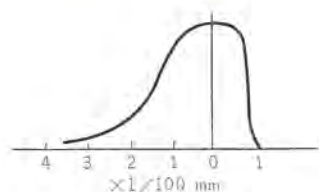


図 3.1 切削精度分布曲線  
Fig. 3.1 Distribution curve of cutting accuracy.

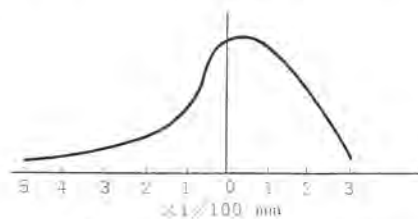


図 3.2 中心位置分布曲線  
Fig. 3.2 Distribution curve of mica center.

検出器で検出させてサーボをかけて、測定用線の誤差を測定した。各ミジ5回測定を行なった。

その結果、上記の $\pm 1/100$ mmという結果がでできた。

この位置決め再現性を測定する場合、電機子のスラスト方向の動きが測定エラーとなりうるので、注意が必要である。

#### 3.2 総合テスト

工場に流れている電機子をランダムにサンプリングして行なった。切削が重切削であり、マイカに沿って切削が行なわれるとして設計されたため、その分をチェックする意味でカッタ位置をあらかじめマイカの中心位置よりずらした結果、カッタは完全にマイカ側に逃げ、銅マイカの端面を切削していた。総合精度は仕様の $\pm 5/100$ に入っていた(図3.1参照)。

総合精度で、位置決め再現性より悪い値が出たのは、整流子の面が、アンダカット作業後仕上げられるため荒仕上げとなり、面のあらさにより光が乱反射を行なうためにマイカの正確な中心位置が検出し得ないのである。位置決め再現性は、その中心位置というよりフォト・トランジスタのバランス点をみつけるということであり、再現性の場合には、中心位置を検出したのではないためである。

図3.2の中心位置のずれの分布曲線が片側に寄っているのは、二つのフォト・トランジスタの感度バランスが少しずれているためと思われるが、目標精度内に入っているため調整不要と思われる。

### 4. む す び

この装置は、多量生産されている。比較的小形の電機子のアンダカット作業を自動化したが、この装置の検出部を刃物と同一の動きをするようにすれば、大形電機子のアンダカットも可能である。

なおこの装置は現在、当社姫路製作所において、好成績で運転中である。

### 参 考 文 献

- (1) 馬場・渡辺・小島・中嶋・松本：工作機械数値制御装置(1)、『三菱電機』34, No. 3 (昭35)
- (2) 杉本ほか：機械加工の自動制御「オートメーションシリーズ(7)」共立出版(昭35)
- (3) 小島・金森：ガス切断機自動曲線追跡装置、『三菱電機技術』36, No. 12 (昭37)
- (4) L. W. KERBEY: Step-and-Null System Controls Commutator Undercutter. Control engineering. May, (1959)



# 精密ディジタル速度制御装置

## —中性子分光器用位相制御装置—

大野 栄一\*・川畑 隆夫\*

### A Digital Speed and Phase Control System for Multiple DC Motors

#### —A New Neutron Chopper Phase Control System—

Central Research Laboratory Eiichi OHNO・Takao KAWABATA

Three Jacrot-type neutron beam choppers have been successfully phase controlled when driven by 400 W DC motors. Herein is described a novel, simple and accurate method for the control of the speed and the phase difference of three motors.

The first motor is accurately speed controlled by a digital speed controller, while the second and the third motors are phase controlled so as to follow the first motor keeping arbitrary phase differences among them. This new chopper drive system is simpler to operate, less expensive and more accurate than the ordinary system using synchronous motors. All components used in this chopper controller are solid state devices and high reliability can be expected. Experimental results are as follows.

speed error:  $3 \times 10^{-3}\%$ , phase error: 0.6

#### 1. ま え が き

日本原子力研究所の JRR-2 原子炉の付属実験装置として、新しい形式の中性子分光器を製作し、このほど据付工事を完了した。

この装置は、原子炉から単色中性子線を取り出し、それを試料物質に照射して、非弾性散乱のエネルギー分布を測定することにより、物質の構造の研究を行なう新しい実験装置である。

この装置の原理は、図 1.1 に示すとおりである。すなわち、原子炉から出てくる中性子ビームの通路に、スリットのある3個の回転円板を間隔を隔てて置き、おのおのを別のモータにより、同一速度でかつ、一定の回転位相差角を保って回転させることにより、特定の速度の中性子を取り出すものである。

3 個の円板の回転速度と、スリットの位相差角を適当な値に保つことにより、任意の速度の中性子が得られる。

この方法は、3 台の円板を1本の軸で直結して1台のモータで駆動する方法に比べて、軸の振動の問題がないので、円板の間隔を長くとることが容易であり、また回転中でも自由に位相差角の変更ができるので、中性子速度の変更が容易である。

しかし、単に3台のモータの速度をそろえるだけでなく、その回転位相差角を任意の値に保つことが要求されるので、制御装置は速度制御と位置制御の混合したものとなり、一段とむずかしくなる。

海外では、高周波発電機により、3 台の同期電動機を同一速度で駆動し、No. 2 と No. 3 モータのステータをサーボにより位置制御することにより、No. 1 モータと他のモータとの位相差角を設定値に保つ方式が行なわれている。しかし、この方法は機械装置、制御装置ともに複雑となるので、われわれは直流電動機による方

法を新しく考案し、装置を比較的簡単化するとともに、すぐれた性能を得ることができた。

この装置は数日間の連続運転にわたって、高い絶対精度を要求されるので、制御装置の主要部はディジタル方式を採用している。

以下、この装置の原理と運転結果について述べる。

なお、この中性子分光器の制御装置に対する要求事項は、次のとおりである。

- |               |                                   |
|---------------|-----------------------------------|
| (1) 速度制御範囲    | 20.0~200.0 rps                    |
| (2) 速度設定ステップ  | 0.1 rpm                           |
| (3) 速度誤差      | 0.1 rps 以下                        |
| (4) 位相角制御範囲   | 3.0~240.0°                        |
| (5) 位相角設定ステップ | 0.6°                              |
| (6) 位相角誤差     | 誤差 1.2° 以内の時間が、全運転時間の 90% 以上あること。 |

以上の要求のうち、(6)は実現が非常に困難と思われるものである。

#### 2. No. 1 モータの速度制御系の概要

この装置は数日間の連続運転にわたって高い精度を要求される。したがってアナログ方式では困難と思われ、制御装置の主要部はディジタル方式となっている。制御装置の構成は図 2.1 に示す。

すなわち、No. 1 モータはディジタル方式で、精密速度制御され、No. 2 (No. 3) モータは、これと一定の位相角を保って回転するよう制御している。

このうち、No. 1 モータの速度制御装置をさらに詳しく示すと、図 2.2 のようになる。

No. 1 モータの速度制御は、回転数に対応する設定周波数  $f_{SR}$  と、30 pulses/revolution (以下 P/R と略す) の速度計からの帰還周波数  $f_{SI}$  との周波数差をゼロとするように行なわれている。

設定周波数  $f_{SR}$  は、パルス分配器により、0.1 rps おきに、0 から最高回転数に対応する周波数範囲の任意の値を設定しうる。(0~6,000 c/s, 3 c/s ステップ)

パルス分配器とは、水晶発振器を基準周波数として、パルス間隔は多少不均一であるが、正確な平均周波数のパルスを発生する装

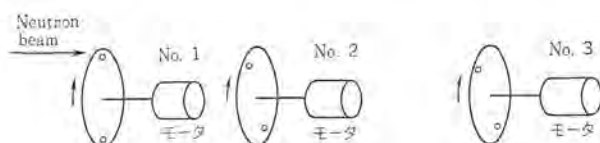


図 1.1 中性子分光器の原理  
Fig. 1.1 Principle of the neutron chopper.



置で、出力周波数はデジタルコード信号により選択されるものである。

No. 1 モータは、この基準周波数に完全に一致して回転するよう制御される。すなわち、図 2.2 の方式では、 $f_{SR}$  と  $f_{S1}$  の差の周波数を、パルス周波数差回路により求めており、 $f_{SR} > f_{S1}$  か  $f_{SR} < f_{S1}$  に対応して、それぞれ、差の周波数の up pulse  $P_{U1}$  または down pulse  $P_{D1}$  が得られる。この偏差信号をもとにして、可逆カウンタと D-A コンバータによる積分制御と単安定マルチによる比例制御を行なっている。

設定回路と引き算回路がデジタル方式であるため、まったく誤差がなく、また積分制御回路にもドリフトがないので、きわめてすぐれた精度を得ることができる。

このような方式の速度制御は、すでに使用した実績があり、その結果では、定常状態での速度偏差のピーク値は  $3 \times 10^{-3}\%$  以下、速度偏差の平均値は完全にゼロという、すぐれた結果が得られて

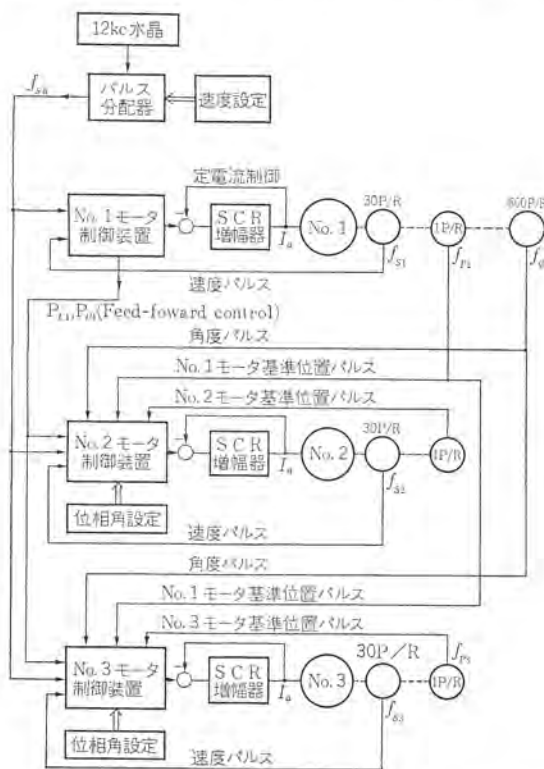


図 2.1 制御装置の構成  
Fig. 2.1 Schematic diagram of the speed and phase control system for 3 motors.

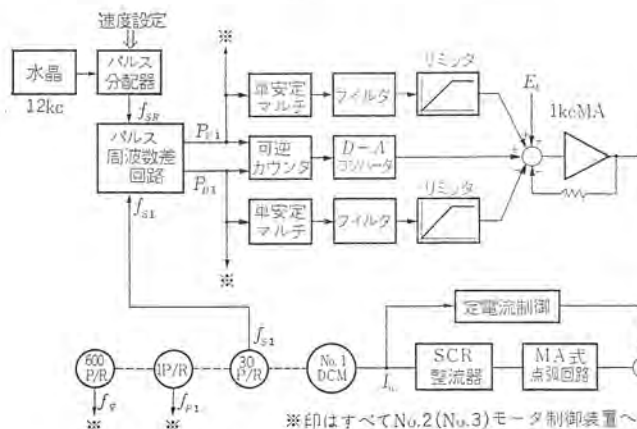


図 2.2 No. 1 モータ速度制御系の構成  
Fig. 2.2 Connection diagram of the speed control system for motor No. 1.

いる。

この精度は、要求仕様の(3)から、1ヶタ以上も良いので、むだなように思われるが、後で述べるように、No. 1 モータの速度の変動は、たとえわずかであっても、No. 2 (No. 3) モータの位相制御系に、外乱として大きくきいてくるので、この程度の速度の安定度が必要となるのである。

### 3. No. 2 (No. 3) モータの位相制御系の概要

No. 2 (No. 3) モータは、No. 1 モータと完全に同一速度で回転しながら、しかもモータと一定の位相角を保つように制御されるが、位相制御を行なう前に、まず No. 1 モータとはほぼ同じ速度まで加速する必要があるので、No. 2 (No. 3) モータ制御装置には、加速減速モードと位相制御モードがある。

制御方式は、図 2.1 と図 3.1 に示すとおりである。

この装置は機械系の時定数が大きく、かつ速度範囲が広いので、モータは、定電流で電機子制御している。

図 3.1 では、スイッチは加速減速モードに入っているので、加算回路に入っている7本の入力のうち、働いているのは①～③のみである。この場合は、回路は、図 2.2 において、可逆カウンタと D-A 変換器による積分制御を除いたものと同一となり、No. 2 (No. 3) モータは  $f_{SR}$  を設定周波数として、速度制御される。

比例制御だけで、積分制御は行なわれないので、いくつかの定

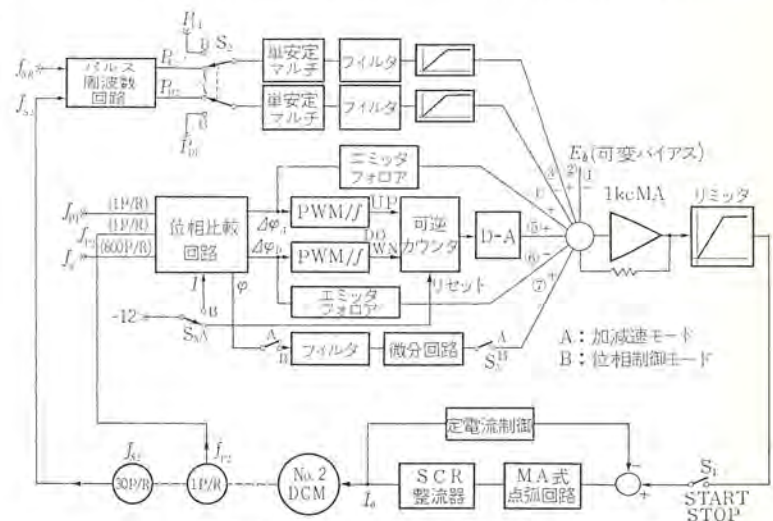


図 3.1 No. 2 モータ速度および位相制御系の構成  
Fig. 3.1 Connection diagram of the speed and phase control system for motor No. 2.

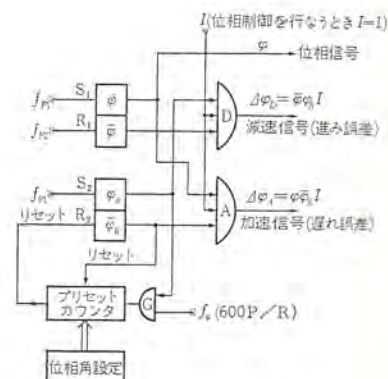


図 3.2 位相比較回路  
Fig. 3.2 Phase comparator.



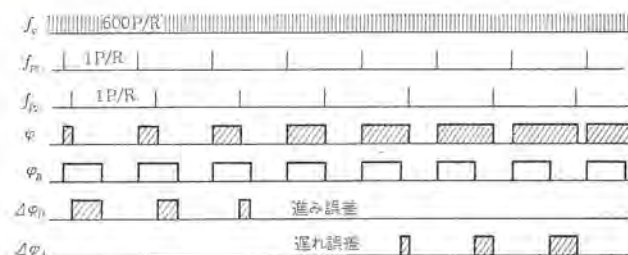


図 3.3 位相比較回路の動作 ( $I=1$  のとき)  
Fig. 3.3 Operation of phase comparator.

常速度偏差を生じてつり合うようになるが、比例制御のゲインを十分大きくとり、また可変バイアス  $E_0$  を設定速度に応じて、少し調節すれば、定常速度偏差は容易に、0.2 rps 以下となり、同期引込みが可能となって、位相制御モードに移ることができる。

### 3.1 デジタル位相比較方式

位相制御を行なうには、位相角を設定し、検出し、かつ比較して、位相誤差を求める回路が必要となる。

ここでは、要求精度の点から、図 3.2 と図 3.3 に示すように、リセットカウンタを用いたデジタルのパルス幅変調方式によりこれを行なっている。

すなわち、No. 1 モータには速度を示すピクアップ 30 P/R ( $f_{S1}$ ) のほかに、基準位置を示すピクアップ 1 P/R ( $f_{P1}$ ) および角度を示すピクアップ 600 P/R ( $f_{\phi}$ ) をつけている。また、No. 2 (No. 3) モータには速度を示すピクアップ 30 P/R ( $f_{S2}$ ,  $f_{S3}$ ) のほかに基準位置を示すピクアップ 1 P/R ( $f_{P2}$ ,  $f_{P3}$ ) をつけている。これらのピクアップからのパルスをもとにして、図 3.2 の位相比較回路は、図 3.3 に示すように動作する。

フリップフロップ (以下 FF と略す)  $\phi$  は、 $f_{P1}$  でセットされ、 $f_{P2}$  でリセットされるので、 $\phi$  には No. 1 と No. 2 モータの位相差に相当するパルス幅変調 (PWM) の信号が得られる。一方、FF  $\phi_R$  が、 $f_{P1}$  でセットされると、リセットカウンタのゲート G が開きリセットカウンタは、 $f_{\phi}$  (600 P/R) をカウントして、リセット値に達すると出力パルスを出し、FF  $\phi_R$  をリセットすると同時に、リセットカウンタ自身をゼロにリセットする。

したがって、 $\phi_R$  には設定位相角に相当する PWM 信号が得られる。

AND ゲートにより、 $\phi_R$  と  $\phi$  を図 3.2 のように組み合わせると、D と A にそれぞれ、進み誤差と遅れ誤差に対応する PWM 信号が得られる。

D に信号があるときは、No. 2 モータが進みすぎている場合であり、A に信号があるときは、遅れすぎている場合であるから、この誤差信号をもとにして、位相角の制御ができるはずである。

### 3.2 位相制御系

上記のような位相比較回路をもとにして、位相制御系は図 3.1 のように構成されている。

位相制御モードのときは、すべての SW は B に入っているから、 $f_{S1}$  と  $f_{S2}$  の差にもとづく速度制御ループは動作せず、二つの単安定マルチは、 $P_{V1}$  と  $P_{D1}$  により動作する。 $P_{V1}$ ,  $P_{D1}$  による制御は、後で述べるように、精度を上げるために追加した Feed-Forward Control であって、補助的なものである。したがって、加算回路に入っている 7 本の入力のうち、主要な働きをしているものは、①、④～⑦である。

この制御装置は一種の PID 制御装置であるが、入力信号はモータの回転数により周波数の変化する PWM 信号で、かつ (+)

と (-) 誤差が別の端子から与えられるので、図 3.1 のように変形されている。

すなわち、比例制御部は PWM 信号をそのままエミッタフォロアを通して加減算回路に与えている。これは、1 kc MA の時定数によるフィルタ効果を考えてとくにフィルタはつけていない。

次に、積分制御部は可逆カウンタを積分器として用いているので、PWM 信号そのままでは動作しない。したがって PWM 信号に対応する周波数信号を発生する変換器を用いている。

また微分制御部は位相誤差信号ではなく位相信号を微分しているが、これは位相誤差信号は 2 本の線から与えられるので、これを微分するには符号反転器が必要となるからである。いずれにしても位相設定変更に対する応答が異なるだけで、外乱に対する応答は同じである。微分回路は 1 台の演算増幅器により、PWM 信号に対するフィルタと微分をかねている。

可変バイアス  $E_0$  は、モータのロストルクに相当する信号を与えることにより、積分制御の必要な制御幅を狭くするものである。

## 4. 制御系の伝達関数

### 4.1 機械系の伝達関数

まず、モータトルク  $T_M(I_A)$  から速度  $n$  までの伝達関数を考える。簡単のため損失トルク  $T_L$  は速度によらず一定とする。

$J$  (kg·m·sec<sup>2</sup>) : モータと負荷の慣性

$n$  (rad/sec) : 速度

$T_M$  (kg·m) : モータ内部トルク

$n_0$  (rad/sec) : ベースと考える速度

$T_{M0}$  (kg·m) : ベースと考えるトルク

上記の記号により、運動方程式は

$$J \frac{dn}{dt} = T_M - T_L \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

これを単位法に直して、

$$J \frac{n_0}{T_{M0}} \frac{d\left(\frac{n}{n_0}\right)}{dt} = \frac{T_M}{T_{M0}} - \frac{T_L}{T_{M0}} \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

$$T_m = J \frac{n_0}{T_{M0}}, \quad v = \frac{n}{n_0}, \quad T_m = \frac{T_M}{T_{M0}}, \quad T_l = \frac{T_L}{T_{M0}}$$

と置くと、

$$T_m \frac{dv}{dt} = T_m - T_l \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

次に、モータ速度から位相角までの伝達関数を考える。

$n_1$  (rad/sec) : No. 1 モータ速度

$n_2$  (rad/sec) : No. 2 モータ速度

$\theta$  (rad) : No. 1 と No. 2 モータの位相角

とする。また、 $\theta$  の符号は、No. 1 モータに対して、No. 2 モータが遅れている場合を正とすると、次式が成立する。

$$n_1 - n_2 = \frac{d\theta}{dt} \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

これを単位法に直して、

$$\frac{n_1}{n_0} - \frac{n_2}{n_0} = \frac{2\pi}{n_0} \frac{d\left(\frac{\theta}{2\pi}\right)}{dt} \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

$$v_1 = \frac{n_1}{n_0}, \quad v_2 = \frac{n_2}{n_0}, \quad T_\theta = \frac{2\pi}{n_0}, \quad \varphi = \frac{\theta}{2\pi}$$

とおけば、

$$v_1 - v_2 = T_\theta \frac{d\varphi}{dt} \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

式 (4.3) (4.6) から、機械系の伝達関数は図 4.1 のようになる。



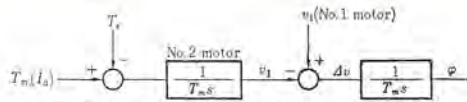


図 4.1 機械系のブロック線図  
Fig. 4.1 Transfer function of the mechanical system.

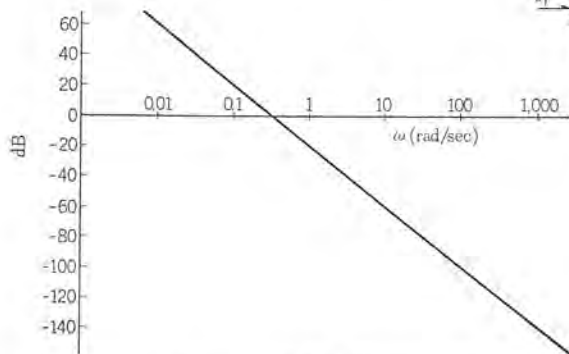


図 4.2 モータのトルクから位相角までの伝達関数 (単位法)  
Fig. 4.2 Transfer function from motor torque to phase angle.

この装置に使用した、モータの特性は下のとおりである。

FK 形 DC モータ 定格  
高速回転用 他励分巻

定格出力 400 W, 100 V, 6.3 A, 250 rps

定格出力 トルク 0.026 kg·m

界磁 100 V, 0.104 A

慣性  $10^{-4}$  kg·m·sec<sup>2</sup>

また、負荷となるロータの慣性は  $J=0.04$  kg·m·sec<sup>2</sup>

したがって、モータの速度のベースを 100 rps とし、トルクのベースを 0.026 kg·m とすれば、

$$T_m = \frac{2\pi \times 0.04 \times 100}{0.026} \approx 1,000 \text{ sec}$$

$$T_p = \frac{2\pi}{2\pi \times 100} = 0.01 \text{ sec}$$

これにより、No. 2 モータトルクから、位相までの伝達関数は

$$\phi/T_m = 1/T_m T_p \cdot s^2 = 1/10^3 \dots\dots\dots (4.7)$$

となり、その周波数特性は図 4.2 に示すようになる。

これを見れば、高い周波数成分のトルク外乱は機械系自身の特性により減衰するので、たとえば、アマチュア電流のリプルがかりに 100% あっても  $\omega = 2\pi \times 100 = 628$  rad/sec であるから、120 dB 程度減衰して、位相角リプルは、 $10^{-4}\%$  程度となり問題ない。しかし、数 rad/sec より下の周波数成分を持つトルク外乱の影響は大きく出てくることがわかる。DCM のブラシとか軸受の状態の変化とか、SCR 整流器の電源電圧変動にもとづく  $I_a$  の変動、界磁電流の変動などがトルク外乱として、きいてくるので、これらの外乱をなるべく少なくするよう設計しなくてはならない。また、制御装置は数 rad/sec より下の周波数成分のトルク外乱に対して十分な制御動作を行なう必要がある。

#### 4.2 制御系のブロック線図

図 3.1 と前節で明らかとなった、機械系の伝達関数にもとづいて、No. 2 (No. 3) モータの位相制御系の線形領域におけるブロック線図を作ると図 4.3 のようになる。

実際には損失トルクは速度とともに増大するので  $v_2$  から点線で示すような帰還がかかっているが、これは系の動作にはほとんど影響しないので無視することができる。

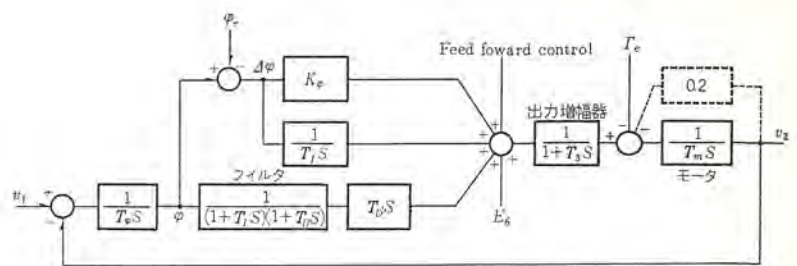


図 4.3 No. 2 (No. 3) モータ位相制御系のブロック線図 (単位法)  
Fig. 4.3 Mathematical model for the motor No. 2 (No. 3) phase control system (per unit method).

$K_p$  は二つのエミッタホロアによる比例制御のゲインである。

また、積分制御の時定数  $T_1$  は、次の三つにより決まる。

- (a) 可逆カウンタのゲタ数
- (b) 可逆カウンタが正または負の飽和になったときの、積分制御の制御幅、これは D-A コンバータのゲインにより決まる。
- (c) PWM/f コンバータの入力 PWM 信号幅と出力周波数の関係

次に、微分制御は 1 台のトランジスタ演算増幅器により次のような伝達関数を作り、2 次のフィルタと微分をかねている。

$$\frac{O(s)}{I(s)} = \frac{C_i R_f s}{(1 + C_i R_i s)(1 + C_f R_j s)} = \frac{T_p s}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)} \dots\dots\dots (4.8)$$

加減算回路は 1 kc Mag. Amp. によるもので、10~20 ms の時定数を持つが、これは十分短くから無視している。

SCR 式出力増幅器は電流帰還により、逆起電力とか電源電圧の変化にかかわらず、入力信号に比例したアマチュア電流をモータに与えるようになっている。比較的応答が速いから系の特性に大きな影響は与えないが、必要に応じて 1 次または 2 次の時定数として考慮する。

以上の説明で明らかのように、図 4.3 の系は 6 次系となるので、制御装置の最適調整点は簡単には決まらない。もし出力増幅器とフィルタの時定数がなければ、この系は単なる 3 次系となり、原理的にはいくらかでも制御のゲインを上げることができて精度を上げるのは容易なのであるが、主としてフィルタの時定数により制御のゲインの限界が決まる。出力増幅器の時定数もゲインを制限する要因となりうるが、実際には比較的短い時定数であるからあまり問題とならない。

#### 4.3 アナコムによる検討

図 4.3 の系をアナコムでシミュレーションするため、まず、初めから決まっている時定数を考えると、

$$T_m = 1,000 \text{ sec}, \quad T_p = 0.01 \text{ sec}$$

である。

また、出力増幅器の時定数は大きめに見積もって、0.1 sec 程度の 1 次時定数とする。これは実際の装置では、電源周波数、モータの電機子電流許容脈動率、平滑リアクトルの  $L$  などにより限界があるが、0.1 sec よりもかなり短くしうるものである。

次に、微分回路の前のフィルタの時定数が次のようにして決まる。

すなわち、この装置の位相制御可能な最低回転数は 20 rpm であるから、微分回路に与えられる PWM 位相信号の最低周波数も 20 c/s となる。微分回路はこれをフィルタして直流にしてから微分する。フィルタの後に微分がくるので、図 4.4(a) からわかるように 1 次のフィルタでは PWM のキャリア周波数に対して利得



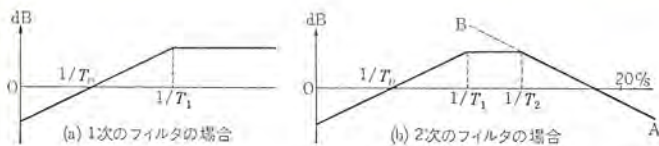


図 4.4 微分制御回路の伝達関数  
Fig. 4.4 Transfer function of differential control for PWM signal.

表 4.1 微分制御の伝達関数

a	$\frac{10s}{(1+0.313s)^2}$
b	$\frac{10s}{(1+0.1s)(1+s)}$
c	$\frac{5s}{(1+0.227s)^2}$
d	$\frac{5s}{(1+0.1s)(1+0.5s)}$

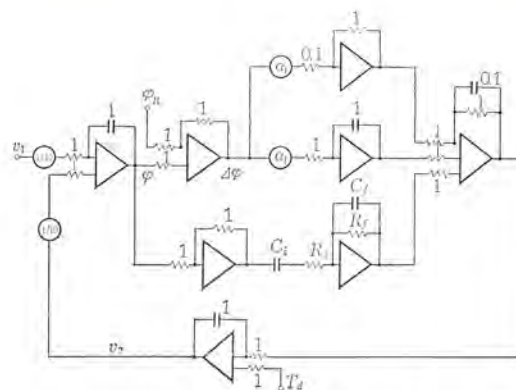


図 4.5 位相制御系の シミュレーション (real time,  $v_1$ ,  $v_2$  は 1,000 倍に拡大されている)

Fig. 4.5 Simulation of the phase control system.

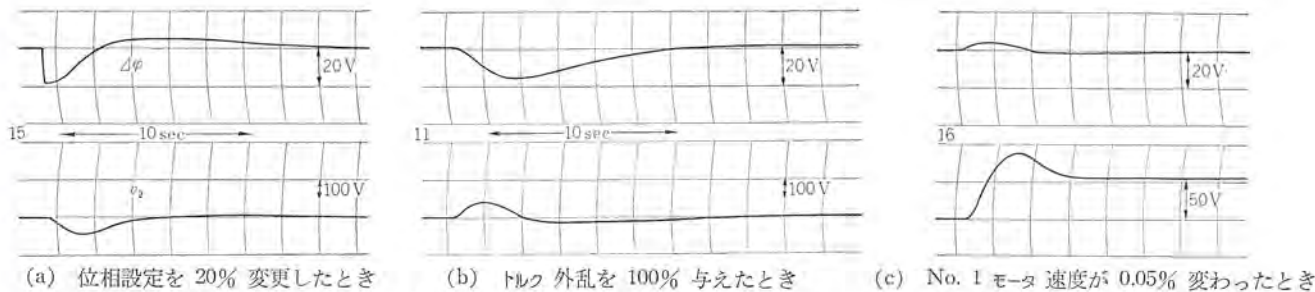


図 4.6 シミュレーションの結果 Fig. 4.6 Results of simulations.

があるようになり、大きなリプルを生ずるので、前節の式 (4.8) のように 2 次 の フィルタ を用いて、20 c/s のところで、利得が 0dB 以下になるようにしなくてはならない。このように、初めに線 AB が決まってしまうので、 $T_D$  の上限およびフィルタの時定数も自然に決まってくる。ボード線図を用いて、微分利得がなるべく大きくなり、かつ位相が遅れ始める周波数なるべく高くなるような伝達関数を考えてみると表 4.1 に示すような場合が得られる。

表 4.1 に示す四つの場合について、 $K_p$  と  $T_1$  の値を種々変えてみて、最適の場合を探すことにする。

まず、図 4.3 の系を アナログにより シミュレートすると図 4.5 のような結線となる。タイムスケールは変更していない。 $T_m$  を 1,000 sec から 1 sec にして、速度 ( $v_1$ ,  $v_2$ ) を 1,000 倍に拡大するとともに、 $T_D$  を 0.01 sec から 10 sec にして、ループゲインを合わせてある。したがって拡大してないところで 100 V を 100% とすれば、速度は 100% が 0.1% (100 rps  $\times$  0.1% = 0.1 rps) である。

図 4.5 の結線による実験の結果、次の場合が最も応答が速く、かつ、トルク 外乱とか No. 1 モータ 速度変動に対して強いことがわかった。

最適調整点： 微分回路： a,  $K_p=5$ ,  $T_1=2$  sec

応答波形は図 4.6 に示す。

これによれば、外乱による位相誤差の大きさは

トルク 外乱 100%  $\rightarrow$  位相誤差 ピーク 値 16%

No. 1 モータ 速度変動 0.05%  $\rightarrow$  " 5%

すなわち、トルク 外乱、No. 1 モータ 速度変動とも位相誤差の原因として大きくきいてくるが、とくに No. 1 モータ 速度変動の影響は大きい。すなわち、No. 1 モータの速度変動は約 100 倍に拡大されて位相誤差として出てくるので、位相誤差を  $1.2^2=1/3\%$  以下にするには、No. 1 モータの速度変動は  $3 \times 10^{-3}\%$  以下でなくてはならない。この速度精度は前に述べた No. 1 モータ 速度制

御装置の精度と同程度である。

## 5. 運 転 結 果

上記の原理と構成にもとづく中性子分光器を製作し、實際上運転を行なった結果を簡単に示す。

この装置の制御盤の外観を図 5.1, 5.2 に示す。

図 5.3 は No. 1 モータの速度設定を 0.5 rps 上げたときの電機子電流の応答の一例である。これを見れば No. 1 モータの速度制御は、電機子電流がパルス的に増減して行なわれていることがわかる。ところが、4.3 節で述べたように、No. 1 モータの速度の急激の変化により大きな位相誤差が生ずるので、No. 1 モータの速度が  $P_{v1}$  または  $P_{D1}$  によりパルス的に補正されるたびにかなりの位相誤差を生ずることになる。これを避けるため、この中



図 5.1 中性子分光器制御盤  
Fig. 5.1 Neutron spectrometer control panel.





図 5.2 デジタル位相制御装置  
Fig. 5.2 Digital phase controller.

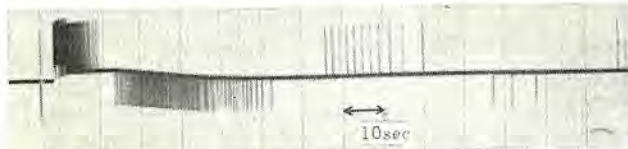


図 5.3 No. 1 モータ 速度制御装置の電機子電流の応答  
Fig. 5.3 Response of armature current of motor No. 1 when speed reference is varied 0.5 rps.



図 5.4 位相誤差の例  
Fig. 5.4 Example of phase error.

性子 チョップ では図 2.2 と 図 3.1 からわかるように、No. 2 (No. 3) モータ 制御装置に  $P_{VI}$  と  $P_{DI}$  を与えて、No. 1 モータの電機子電流がパルス的に増減すると同時に、No. 2 (No. 3) モータの電機子電流も増減するようにしてある。これは一種の Feed-Forward Control である。これは精度を上げるのに非常に効果がある。

もう一つ精度を上げるために考慮すべき点がある。それはデジタル制御装置につきものの量子化効果である。

位相制御装置では図 3.2 に示すように、設定は  $0.6^\circ$  ステップで量子化されているが、誤差信号は連続的な PWM 信号として得られるので誤差信号に量子化がなく、 $0.6^\circ$  以上の精度が可能となっている。しかし積分制御は可逆カウンタによっているので、ここに量子化効果が出る可能性があるからカウンタのケタ数を十分大きくとって、12 ケタとし量子化効果を避けている。

また、速度制御装置では pick up の 1 回転あたりのパルス数をいくりにするかということにより、量子化効果の度合いが決まってくる。1 回転あたりのパルス数を多くするほど、スムーズな制御が可能となるが高速のデジタル回路素子が必要となり、またデジタル素子の数も増加するので、30 P/R にしてある。その結果、速度制御装置の可逆カウンタのケタ数が決まるが、もしそのケタ数が小さくなって量子化効果が生ずると思われる場合は、1 回転あたりのパルス数を増さなくてはならない。

以上のような点に注意した結果、図 5.4 に示すように位相誤差精密 デジタル 速度制御装置・大野・川畑

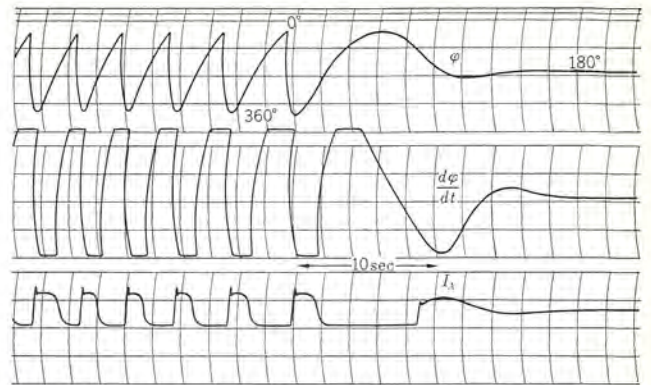


図 5.5 同期の過程  
Fig. 5.5 Wave form showing synchronizing process.

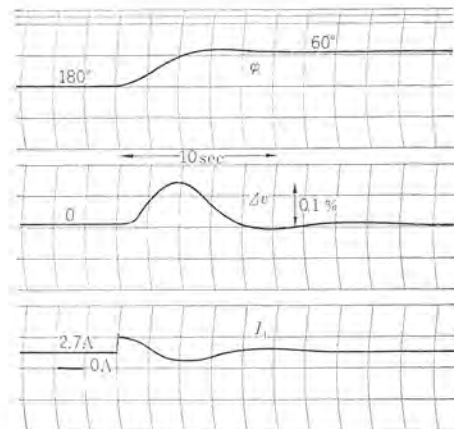


図 5.6 位相設定変更に対する応答  
Fig. 5.6 Response of the phase control system when phase reference is varied from  $180^\circ$  to  $60^\circ$ .

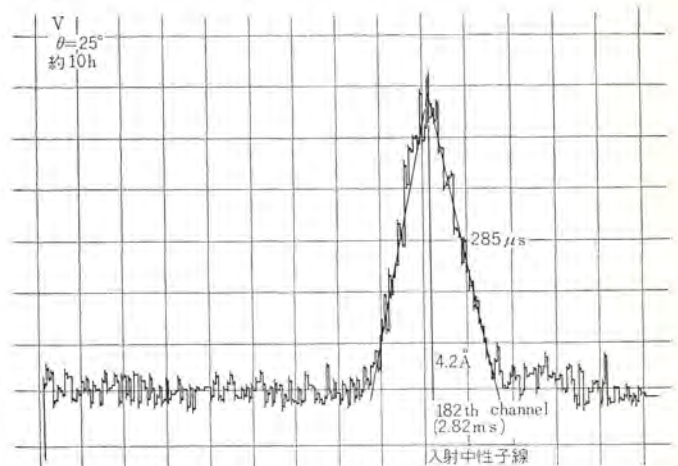


図 5.7 単色化された中性子線の波長分布  
Fig. 5.7 Wave length distribution of monochromalized neutron beam.

差  $0.3^\circ$  以内の時間が大部分という、要求精度を十分満足するすぐれた結果を得ることができた。

図 5.5 は、No. 1 モータ と No. 2 モータ の速度差が 0.3 rps 程度のところから同期する様子を示している。

図 5.6 は、100 rps で、位相設定を  $180^\circ$  から  $60^\circ$  に変えたときの応答を示している。これと アナコン による シミュレーション の波形を比較すると、実際の装置のほうがよい応答波形を示しているが、これは未知のファクタによりダンピングがかかっているためである。この原因についてはさらに調査を要する。



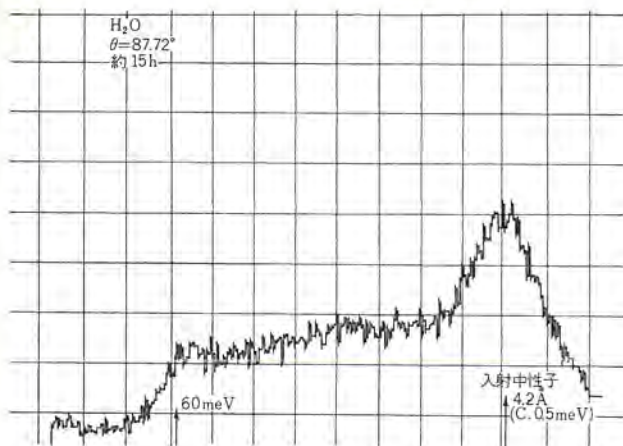


図 5.8 水分子により非弾性散乱された中性子線  
Fig. 5.8 Wave length distribution of neutron beam nonelastically scattered by H<sub>2</sub>O.

図 5.7 と図 5.8 はこの中性子分光器と タイムアナライザ を組み合わせて、JRR-2 号炉で行なった実験結果の一例である。

図 5.7 は、V メタル により弾性散乱された中性子の波長分布を示す。実験時間は 10 時間、ロータの回転数は 160 rps、位相角は、 $\phi_{12}=237.6^\circ$ 、 $\phi_{13}=182.4^\circ$  である。まだバックグラウンドノイズが十分消されていないが、満足すべき分解能を示している。

図 5.8 は、水分子により非弾性散乱された中性子の波長分布を示す。実験の条件は図 5.7 と同じである。水分子からエネルギーを得て波長の短くなった中性子の分布が、入射中性子の左に出ている。また、水分子の熱運動により、入射中性子線の波長分布が

広がっていることがわかる。

## 6. む す び

以上、今回製作した新しい形式の中性子分光器用 デジタル 位相制御装置の概要と運転結果について述べた。

この装置の特長をまとめると

(1) 3 台の ロータ を共通の軸で直結する方式に比べて、軸の振動の問題がなく、ロータの間隔を長くとることが容易である。

(2) 回転中でも ロータ の位相角を自由に変更できるので、中性子の速度を変えることが容易である。

(3) 同期電動機を用いる方式より、機械装置、制御装置とも簡単となっている。

(4) デジタル 方式であるため、ドリフトを生ずることなく高い絶対精度を持つ。

(5) 位相角誤差が  $1.2^\circ$  を越すと、バースタイムパルス を消すようになっているから、速度誤差の大きい中性子により誤差のある実験データを作る恐れがない。

(6) 装置は完全に solid state 化されており、長寿命が期待できる。

この装置は、液体とか結晶の内部構造の研究、磁性材料の スピン構造の研究などの物性研究に大きな偉力を発揮するものと期待される。

最後にこの装置の製作にあたり、種々のご助言、ご協力をたまわった原研固体物理研究室の方々、機械部を担当された萩原主任研究員、梶田技師はじめ関係者各位に深甚な謝意を表する次第である。



## Gallium Arsenide Tunnel Diode

Central Research Laboratory Junji SHIMIZU・Hideaki Ikegawa

Gallium arsenide has a larger value of tunnel probability, electron mobility and energy band gap than Germanium and Silicon. These properties are factors contributing most to obtaining improved characteristics of tunnel diodes. This report deals with a tunnel diode manufactured for trial by forming a pn junction with p type gallium arsenide (Zn doping level  $> 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) and a small sphere of tin as n type impurity material by an alloy method, which is comparatively easier than other one. For the adjustment of pn junction, the electrolytic etching method is used with 10% KOH water solution and a good result is obtained. A tunnel diode thus manufactured has characteristics with  $I_p$  ranging from 0.1 mA to 500 mA and  $I_p/I_v$  from 10 to 30, while series resistance ranges from 1 ohm to several ohms. On the other hand there are some diodes having a hump in the excess current region and mention is made on the characteristics of them and also on thermal properties of Gallium Arsenide tunnel diode. Though no special description is made on the deterioration of this diode, the problem will be solved by using good Gallium Arsenide crystal and proper doping method.

## 1. ま え が き

トンネルダイオードは江崎氏<sup>(1)</sup>によって発明されて以来、比較的短期間のうちに、その特性と伝導機構の解明および応用方面に力が注がれ、すでに多くの研究結果が報告されている<sup>(2)</sup>。トンネルダイオードの特長としては、製作法が複雑な段階を要せず他の素子と比較して容易であり、また通常トランジスタ、ダイオードに見られる外気作用の影響が少ないということである。またこれは常温で安定な負性抵抗をもつために回路素子として応用するのに容易である。ここではトンネルダイオード材として、結晶の特性上 Ge および Si と比較して有利である III-V 族金属間化合物の GaAs を取り上げた理由、およびそれを用いたトンネルダイオードの試作研究の結果と静特性と特性の温度依存性について報告する。

## 2. 材 料

初期段階において、トンネルダイオードの材料としては Ge および Si が研究の対象となっていた。しかしこれらは図 2.1 に示すごとく価電子帯の頂上と、伝導帯の底が GaAs のように  $K=(000)$  で一致していないために、エネルギー保存則から Phonon の吸収、あるいは放出が必要となる。Phonon が十分に作用しないような状態では、トンネルダイオードの生命であるトンネル確率が大きく得られない。それに対し GaAs では、価電子帯の頂上と伝導帯の底とが  $K=(000)$  で一致しているため直接遷移を起こし、Phonon の受授作用の必要がないため、トンネル確率が温度によって変化しない特長をもっている。図 2.1 に Ge, Si および GaAs のエネルギー帯構造の略図を示してある。

さらに GaAs のような金属間化合物がトンネルダイオード材としてすぐれている点は、Ge および Si と比較して、実効質量の小なることおよび高い電子移動度をもっていることである。これらはトンネル確率を大きくする因子であり、また素子としての電気的性質を助長する役割をもっている。表 2.1 は Si, Ge, GaAs および 2, 3 の III-V 族金属間化合物の特性を示している。表からわかるように、GaAs は広い禁止帯をもっているために、Ge および Si

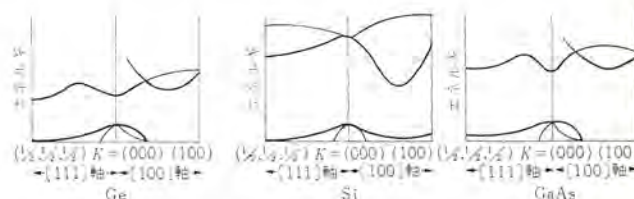


図 2.1 Ge, Si および GaAs のエネルギー帯図  
Fig. 2.1 The diagrams of band edges of Ge, Si and GaAs.

表 2.1 半導体の特性

半 導 体 元 素 名	禁止帯の幅 $E_g$ (eV)	誘電率 空気=1	電子移動度 ( $\text{cm}^2/\text{volt-sec}$ )	正孔移動度 ( $\text{cm}^2/\text{volt-sec}$ )	Maximum Device Tem- perature ( $^{\circ}\text{C}$ ) (理論値)
Ge	0.67	16.0	3,900	1,900	100
Si	1.106	11.8	1,500	500	250
GaAs	1.4	11.1	$\sim 10,000$	$> 450$	450
InSb	0.18	15.9	$\sim 80,000$	$\sim 10,000$	$\sim -196$
GaSb	0.68	14.0	$\sim 4,000$	$\sim 1,400$	100
GaP	2.4	8.4	$> 100$	$> 20$	1,000

と比較して高温でも十分に耐えうるし、また頂上電圧  $V_p$  から谷電圧  $V_v$  までの幅が大きくとれる。理論式からみると、禁止帯が大であることはトンネル効果を著しく減少させることになるが、GaAs に関しては、より小さい実効質量 ( $< 0.1 m$ ) がトンネル効果を十分に大きくするので、その影響をほとんど受けない。GaAs の電子移動度は Ge および Si に対して大である。したがって電気伝導率

$$\sigma = n\mu e \dots\dots\dots (2.1)$$

( $n$ : キャリア濃度,  $\mu$ : キャリア移動度  $e$ : 電子電荷)

の関係式から、素子の直列抵抗が小さくなる特長をもっている。さらに誘電率が小さいことがトンネル確率を増すと同時に、接合部の容量を小さくし高周波における性能を良くする。以上がトンネルダイオード材としてとくに GaAs が選ばれる理由である。

## 3. トンネルダイオードの原理

トンネル効果の理論については、多くの研究結果が報告されている<sup>(3)</sup>。ここでは一般によく用いられる定性的な方法で考察する。



電子はその波動性により、古典粒子としては不可能なエネルギー障壁へ侵入する性質をもっていることが知られている。これは一般に量子力学的トンネル効果として知られている。固体物性において電子が外部作用の影響のもとに、一方のエネルギー帯から他のエネルギー帯へ遷移することはトンネル効果の一例である。これは C. Zener<sup>(4)</sup>によって絶縁物の電氣的破壊を説明するために取り扱われてきたものである。この効果は自然においては、ありふれたものであるが、これを明らかにするために量子力学でよく知られている W. K. B (Wentzel, Kramer および Brillouin) 近似法を用いて説明されている。W. K. B 法とはプランクの定数が小さいという見地から、とくに 1 次元の Schrödinger 方程式を近似的に解く有力な方法であるが、ここで意味のあることは、古典的に侵入不可能なエネルギー障壁に粒子が衝突すると、それが障壁の他方側に現われる確率を計算するために用いられていることである。その関係式は次のごとく示される。

$$T = \exp \left( -2 \int_a^b P(x) \frac{dx}{\hbar} \right) \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで  $T$  はトンネル確率、 $P(x)$  は障壁における粒子の運動量の絶対値、 $\hbar$  はプランクの定数を  $2\pi$  で除したもので、そして  $b-a$  は図 3.1 に示すごとく、エネルギー障壁の幅を示す。トンネルダイオードを物理的立場から見た一つの近似として pn 接合部におけるエネルギー障壁を図 3.1 に示されるような三角形であると考えると、式 (3.1) によって  $T$  を求めるとその値が pn 接合部で起こるトンネル確率となる。

$$T = \exp \left( -\frac{4}{3} \frac{\sqrt{2m_{eff}}}{\hbar} \cdot \frac{E_g^{\frac{3}{2}}}{e\mathcal{E}} \right) \dots \dots \dots (3.2)$$

- ここで  $E_g$  エネルギー禁止帯 (eV)
- $\mathcal{E}$  障壁における電界 (V/cm)
- $m_{eff}$  結晶中における電子の実効質量
- $e$  電子電荷

また  $T$  は次のように近似的に書き換えられる。

$$T = \exp \left\{ -\frac{8}{3} \frac{\pi^{\frac{1}{2}}}{\hbar e} E_g \left( K m_{eff} \cdot \frac{p+n}{pn} \right)^{\frac{1}{2}} \right\} \dots \dots \dots (3.3)$$

$n$  および  $p$  は電子および正孔の数、 $K$  は誘電率を表わす。この  $T$  と 1 秒間に障壁に衝突する電子の数とを乗ずると、その値は 1 秒間に障壁を横切るトンネル確率を示すことになるので、これを求めるために次の手続きをとる。すなわち運動量の変化と時間との比は外部力に等しい。したがって  $dp/dt = e\mathcal{E}$  とおくことができるから  $K = e\mathcal{E}/\hbar$  なる関係が得られる。ここで  $K$  は電子の運動量  $P = \hbar K$  で表わされる波数を示す。結晶格子において、一つの  $K$  (波数ベ

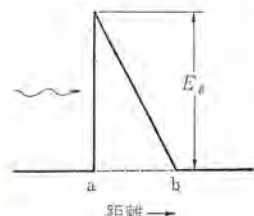


図 3.1 トンネル確率を計算するために仮定した pn 接合障壁  
Fig. 3.1 The form of pn junction barrier assumed for estimating tunneling probability.

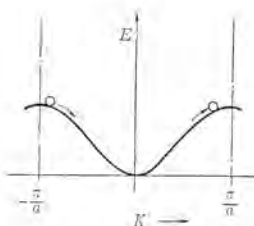


図 3.2 格子定数  $a$  の単原子線形格子に関するエネルギー対波数ベクトル  
Fig. 3.2 Plots of energy vs wave vector for a monoatomic linear lattice of lattice constant  $a$ .

表 3.1 トンネル確率の計算値

トンネル確率 (sec)	$E$ (volt-sec)
$4.8 \times 10^{-22}$	$10^6$
$1.0 \times 10^{-14}$	$10^7$
$6.0 \times 10^{-6}$	$10^8$
$1.1 \times 10^{-7}$	$10^9$

トル) 間隔 ( $-\hbar/a \leq K \leq \hbar/a$ ) で  $K = 2\hbar/a$  となり、この範囲で電子はエネルギー帯の上部端から下部端へ移り、そして、ふたたび上部端へもどる。(図 3.2) したがって障壁に対して一つの電子が一度衝突して、ふたたび衝突するまでの時間は次のごとく表わされる。

$$\Delta t = \frac{\hbar \Delta K}{e\mathcal{E}} = \frac{\hbar}{ae\mathcal{E}} \dots \dots \dots (3.4)$$

このように考えると、1 秒間に電子が障壁にあたる回数は  $ae\mathcal{E}/\hbar$  となる。それ故に 1 秒あたりのトンネル確率は次のごとく与えられる。

$$\frac{\text{トンネル確率}}{\text{秒}} = \frac{ae\mathcal{E}}{\hbar} \exp \left[ -\frac{4}{3} \sqrt{2m_{eff}} \frac{E_g^{\frac{3}{2}}}{\hbar e\mathcal{E}} \right] \dots \dots \dots (3.5)$$

ここで  $a$  は格子定数を表わす。今仮定として

- $a = 5 \times 10^{-8}$  cm
- $\hbar = 6.6 \times 10^{-27}$  erg·sec
- $e\mathcal{E} = 1.6 \times 10^{-12} \times \mathcal{E}$  V/cm
- $\hbar = 1 \times 10^{-27}$  erg·sec
- $m_{eff} = m = 9 \times 10^{-28}$  g
- $E_g = 1$  eV

のごとくおき、式 (3.5) に代入して計算を試みた結果を表 3.1 に示す。この表からみると、トンネル効果が  $10^6$  から  $10^7$  V·sec の間で急激に増大していることがわかる。いま pn 接合の幅を  $100 \text{ \AA}$  とすると、接合部にかかる電界の強さは、ほぼ  $E_g/100 \text{ \AA} = 10^6$  V/cm となる。この値と表 3.1 の値とを比較してみると、トンネル確率が急に大きくなる  $\mathcal{E}$  は  $10^6$  V/cm 以上であるから pn 接合幅が  $100 \text{ \AA}$  以下であれば大きな値のトンネル確率が得られる。

トンネルダイオードでは Zener 形の電流が 0 ボルトより逆方向電圧の領域と順方向電圧  $V_c$  までの領域で流れていると考えられる。Esaki 氏<sup>(1)</sup>によると、あるエネルギー単位  $E$  における伝導帯から価電子帯へのトンネル電流は伝導帯における電子の数  $f_C(E) \cdot p_V(E)$  と価電子帯において受け入れられる準位の数 (電子によって占有されていない状態数)、 $[1 - f_V(E)] p_V(E)$  および伝導帯から同一レベルの価電子帯へのトンネル確率  $T_{C \rightarrow V}$  の積で表わされる。したがってトンネル電流  $I_{C \rightarrow V}$  は次のような積分を行なうことにより得られる。

$$I_{C \rightarrow V} = A \int_{E_c}^{E_v} f_C(E) \cdot p_C(E) [1 - f_V(E)] p_V(E) T_{C \rightarrow V} dE \dots \dots (3.6)$$

ここで  $A$  は接合部面積、 $f(E)$  は Fermi-Dirac 分布関数で与えられたエネルギー状態  $E$  が占有されている確率を与える式であり、 $f_C(E)$  は伝導帯に関する分布関数である。

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp(E - E_F)/kT} \dots \dots \dots (3.7)$$

$E_F$  はフェルミ準位、 $p_C(E)$  および  $p_V(E)$  は伝導帯および価電子帯におけるそれぞれの状態密度である。同様な説明が価電子帯から伝導帯への電流にも適応される。すなわち

$$I_{V \rightarrow C} = A \int_{E_c}^{E_v} f_V(E) p_V(E) [1 - f_C(E)] p_C(E) T_{V \rightarrow C} dE \dots \dots (3.8)$$

と表わされる。ここで  $T_{V \rightarrow C} = T_{C \rightarrow V} = T$  と仮定すると、順方向の小さなバイアス領域に関して



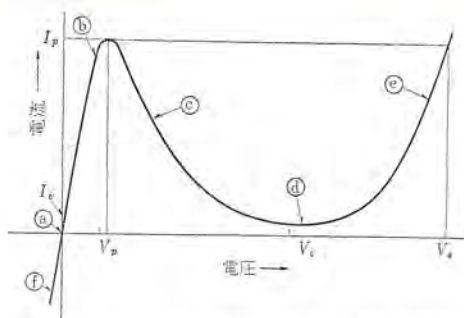


図 3.3 トンネルダイオード 電流—電圧特性  
Fig. 3.3 Current-voltage characteristic of tunnel diode.

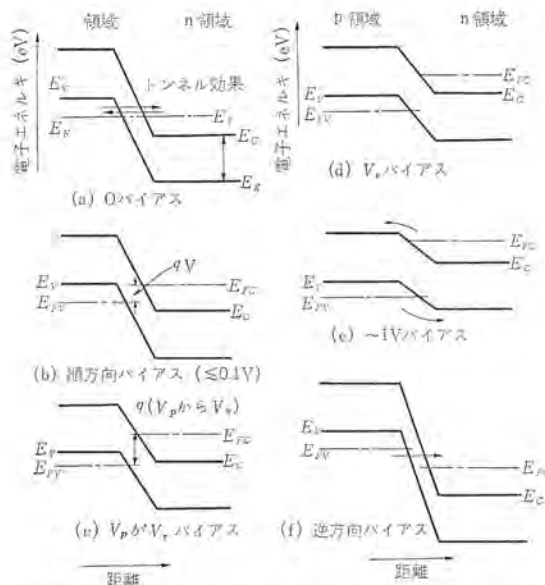


図 3.4 トンネルダイオードの帯理論に基づく pn 接合図  
Fig. 3.4 Diagrams of tunneling pn junction based on band theory.

$$I = I_{p \rightarrow n} - I_{n \rightarrow p} = A \int_{E_c}^{E_v} \{f_v(E) - f_v(E)\} T_{p \rightarrow n}(E) p_v(E) dE \quad (3.9)$$

なる電流が得られる。状態密度は放物線状のものとして考えると

$$p_v(E) \propto (E - E_{ndiff})^{\frac{1}{2}} \quad (3.10)$$

で与えられる。ゆえに式 (3.9) は

$$I = B \int_{E_c}^{E_v} \{f_v(E) - f_v(E)\} \cdot T \cdot (E - E_c)^{\frac{1}{2}} \cdot (E_v - E)^{\frac{1}{2}} dE \quad (3.11)$$

とかけられる。ここで  $B$  は定数である。このようなトンネル電流が流れていることを説明している。

トンネルダイオードの直観的な動作機構として、通常半導体によく扱われている帯理論に基づくエネルギー状態図を用いて定性的な説明が行なわれている。図 3.3 はトンネルダイオードの電流—電圧特性を示す。図 3.4 の (a) は電圧が印加されていないときの p-n 接合部のエネルギー状態を示す。これが図 3.3 の (a) 点に対応する。半導体の帯理論によると pn 接合部において、電圧が印加されていないときは p 側と n 側のフェルミ準位が図に示されているごとく一致するように空間電荷層を生ずる。この幅は近似的に

$$W = \left\{ \frac{KE_g(p+n)}{2he^2pn} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.12)$$

で表わされる。ここで

$p, n$ : 正孔および電子濃度

$K$ : 誘電率

$E_g$ : エネルギー禁止帯の幅

$e$ : 電子の電荷

式 (3.12) から  $p$  および  $n$  の濃度が大きくなると  $W$  が狭くなることがわかる。そして障壁における電界の強さが  $eE = E_g/W$  なる関係式で示されるが、これにより  $W$  が狭くなれば障壁にかかる電界  $E$  がますます大きくなり、Zener 効果が起こりやすくなる。GaAs で不純物濃度を  $\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  とすると  $W$  はほぼ  $180 \text{ \AA}$  になり、不純物濃度を増すと  $W$  はさらに狭くなる。そしてこのとき電界の強さが  $10^6 \text{ V/cm}$  程度の大きな値となり、電子は禁止帯を量子力学的トンネル効果で通過する。

次にダイオードに順方向バイアスを増加させていくと、図 3.4 の (b) に示す矢印のように n 領域から p 領域へ電子が移動する。これは図 3.3 の (b) にあたり、電圧で示すと  $V_p$  点までの範囲を示す。  $V_p$  付近で  $I_p$  が最大値を示す。さらにバイアスを加えると図 3.4 (c) のように  $E_{Fp}$  が禁止帯にかかるため、通過する電子の数が減少してくる。したがって電圧の増加にもかかわらず、ここでは逆に抵抗が減少する特性を示す。図 3.3 の (c) がこの領域にあたり負性抵抗を示している。次に  $V_v$  付近に達すると図 3.4 (d) に示すごとく禁止帯のために電子が通過できなくなる。  $V_v$  付近を過ぎると図 3.4 (e) に示すごとく、電子あるいは正孔が熱的に障壁を越えて、ふたたび電流が流れ出す。これらが図 3.3 の (d) および (e) にあたる。図 3.3 の (e) が通常ダイオード電流と呼ばれている。

次に逆バイアスを印加した場合図 3.4 (f) に示すごとく、矢印の方向にトンネル効果を起こし電子が流れ出す。この領域が図 3.3 の (f) にあたる。以上がトンネルダイオードの定性的な説明である。

#### 4. GaAs トンネルダイオードの製法と構造<sup>(7)</sup>

トンネルダイオードは通常不純物濃度の大きい半導体に、不純物分布が階段状となるような pn 接合を作ることによって作られる。製作に関し一般によく行なわれている方法は、p 形不純物濃度の大きい半導体に n 形不純物を含有する金属ゲレットを短時間で熱処理を行なって、pn 接合を形成する方法であるが、その他に Ge の上に Ge または GaAs の上に Ge を気相成長法によって pn 接合を作る<sup>(8)</sup>、あるいは solution-growth 法によって pn 接合を作る方法も試みられている<sup>(6)</sup>。ここではとくに GaAs について、一般に行なわれている合金法による pn 接合の形成法に関する実験結果について述べる。

高不純物濃度をもつ半導体材料として Zn を  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以上ドーパした GaAs 結晶を使用した。この結晶は最初原結晶に Zn を拡散によりドーパする方法を取った。すなわち GaAs に対して適当な p 形不純物々質は周期律表の II 族に属する Cd または Zn である。したがってこれらのうち比較的拡散が容易である Zn を p 形不純物に選んだ。GaAs 結晶の厚さを約  $150 \mu$  にサイ断し、表面を鏡面研磨または化学エッチング法で平滑にし、清浄な表面に保つ。これと Zn を石英管中に封入した。これを図 4.1 に示すような温度分布をもつ拡散炉に入れて、GaAs 側を  $1,000 \sim 1,100^\circ\text{C}$  Zn 側を  $800 \sim 900^\circ\text{C}$  の条件で熱処理を行なう。Zn は GaAs 中で異常拡散 (通常の拡散式にあてはまらない) をするといわれている。しかしこれは目的とする高濃度の拡散に関しては無視できる。ただし拡散時間の設定が問題となるので、この基準を決めねばならない。そのために、ここでは F. A. Cunneil<sup>(8)</sup> らの GaAs に対する Zn 拡散実験結果を参考とした。図 4.2 は  $1,100^\circ\text{C}$  に



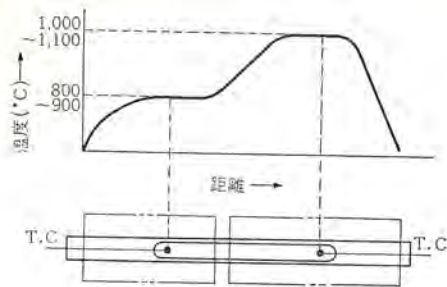


図 4.1 拡散炉の温度分布  
Fig. 4.1 Furnace system for diffusion.

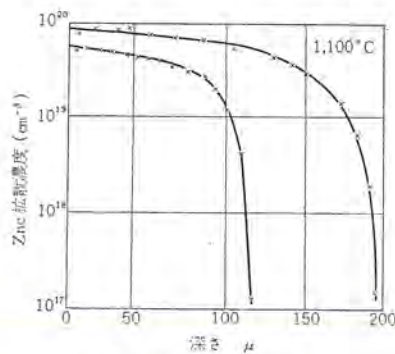


図 4.2 Zn 濃度と拡散深さ  
Fig. 4.2 Zn concentration vs distance from surface.

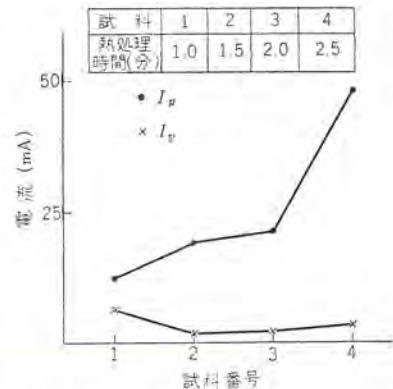


図 4.3 pn 接合形成熱処理時間と  $I_p$ ,  $I_v$  の関係  
Fig. 4.3 Heat treatments for forming tunnel pn junction vs  $I_p$ ,  $I_v$ .

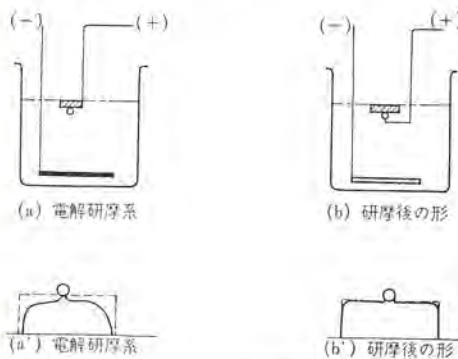


図 4.4 電解エッチング装置略図とエッチングされた素子部の断面  
Fig. 4.4 Schematic diagrams of laboratory equipment used for tunneling pn junction etching and the cross sections after electrolytic etching.

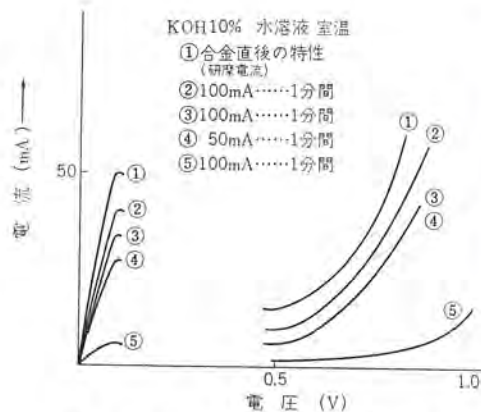


図 4.5 電解エッチング法による特性の変化  
Fig. 4.5 Variations of tunnel diode current-voltage characteristic for etching time.



図 4.6 GaAs トンネルダイオードの断面  
Fig. 4.6 Cross section of GaAs tunnel diode.

おける拡散濃度と深さの関係を示している。これからわかるように時間を設定すると、Zn の拡散深さは結晶表面の Zn 拡散濃度に大きく影響される。これらのことから考慮して前述の温度に設定し、最適時間  $1.8 \sim 3.6 \times 10^4$  sec として拡散した。石英管を炉から出すとき、その一端 (Zn 側) を急冷し、Zn および As の化合物が結晶表面上に堆積するのを防止した。Zn を拡散したウェファを約  $600 \mu^2$  のペレットにサイ断しベース電極に取り付け、一方 n 形不純物としての Sn の小球をペレットの表面に置き、水素ガスふんい気中最高濃度  $500^\circ\text{C}$  であらかじめ定めておいた最適な温度サイクルで熱処理を行ない pn 接合を形成する。この熱処理温度サイクルの最適時間を定めるための一例を図 4.3 に示してある。これは結晶ウェファから 4 個のペレットを作り、温度を  $500^\circ\text{C}$  にしてそれぞれについて時間を変えて熱処理したものを、 $I_p$  と  $I_v$  についてまとめたものである。

熱処理には温度の上昇が速く、短時間で下降する加熱装置が望ましい。この主旨に沿った装置により pn 接合を作成した。これを規格のステムまたは適当な外装にマウントする。

次に特性を調節するために、化学エッチングまたは電解エッチングを行なうが、ここでは主として電解エッチング法を採用した。この方法では特性の調節が容易であると同時に、化学エッチング法で問題となる電極材の腐蝕対策を別途に行なう必要が省略できるので、すぐれていると考えている。電解エッチングのために、電解溶液は KOH 水溶液を用いている。溶液濃度について、温度を  $60^\circ\text{C}$  から室温までの範囲で種々の濃度を含むものについて試みたが、10% 程度のものが一番良い結果を与えたので、これを使用した。電解エッチングを行なうのに、正電極をダイオードの n 側に接続するときと p 側に接続するときのふたとおりがある。図 4.4 (a) に

示すような接続で電解エッチングしたものについては (a') で示したような形になる傾向を示している。このとき特性は十分に調節され得るが母体結晶がかなり浸食される。一方図 4.4 の (b) のような場合は (b') に示されるごとく母体結晶の浸食が少なく接合部が主として削られる傾向を示す。ただ前の方法よりも多くの時間がかかる欠点をもっている。図 4.5 は電解エッチング時間によるトンネルダイオード特性の変化の一例を示している。

電解エッチング後の処理は次のごとく行なう。純水で 10 分間水洗  $\rightarrow 80^\circ\text{C}$  の温水で 5 分間洗浄  $\rightarrow$  アルコール または アセトン で洗浄  $\rightarrow$  赤外線または真空乾燥  $\rightarrow$  適当な樹脂材を用いて pn 接合部を保護し、機械的な原因による破損を防止する。

高ドーラの GaAs P 形結晶を初めから使用すると、Zn を拡散する時間が不必要になる。またこのような結晶は比較的性質が安定しているので、トンネルダイオード素子として使用したとき特性劣化を少なくするという問題点、あるいは特性をそろえるという点ですぐれているのではないかと考えられる。図 4.6 (a) はトンネルダイオードの断面の一例である。図 4.7 は試作ダイオードの外観を示す。図 4.6 (b) はダイオード素子部の略図である。高周波用としての外装はインダクタンス成分の小さいものが適している、そのときは特別な構造のものが要求される。

## 5. 電流—電圧特性

GaAs 結晶は Ge および Si と比較して、トンネル 確率が大きく



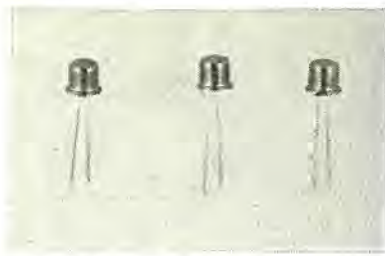


図 4.7 試作 GaAs トンネルダイオード  
Fig. 4.7 Gallium Arsenide tunnel diode.

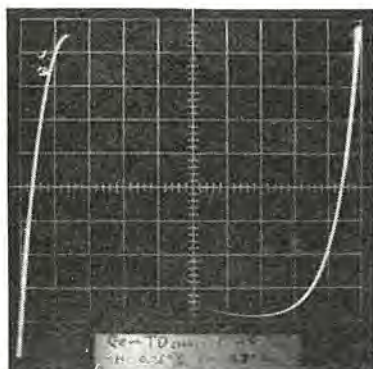
得られる利点をもつために、そのトンネルダイオードの  $I_p$  は高いものが得られやすい。試作試料でも 500 mA 程度のものが得られており、また  $I_p/I_v$  の比も大きく 30 倍程度のものが得られている。さらにスイッチングに応用するために  $V_s$  (図 3.3) が大きなものほど有利であるといわれているがこの  $V_s$  についても Ge および Si によるものと比較して大である長特長を示す。試作ダイオードでは  $V_s$  は 0.9~1.2 ボルトの範囲に治まっている。図 5.1 (a) および (b) は比較のために Ge および GaAs トンネルダイオードの電流—電圧特性を示したものである。(a) の  $V_s$  は (b) のそれと比較して明らかに小さいことがわかる。また  $I_p/I_v$  は (b) の 20 は (a) の 9.5 に比較してより大である。 $V_p$  からみると (a) は (b) より小である。

トンネルダイオードの特性は使用した母結晶によって異なる。その違いは初めから p 形結晶として作られたものを使用したものと n 形のものに p 形不純物をドーピングして p 形に反転させたものを使用したものの間にあるらしい。図 5.2 (a) および (b) は GaAs に p 形不純物をドーピングした結晶で作られたトンネルダイオードの特性である。図 5.2 (a) のように  $I_p$  が 1 mA 以下のものができる反面 (b)

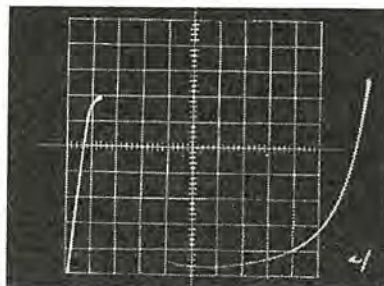
のごとく 10 mA のものでも容易に得られる。さらに図 5.3 に見られるごとく  $I_p$  が 100 mA のものも得られる。しかしこれらの  $V_p$  をみるとすべて図 5.1 (b) の  $V_p$  より大である。この原因は n 形結晶に p 形不純物を拡散させているので compensate による電子電導に寄与しない不純物の数が増加するため、これがキャリア移動度の低下を招く結果抵抗が高くなっていると考えられる。図 5.4 は同じ試作条件のもとで作られたものであるが、過剰電流部にコブができていている一例を示しているが、この機構は明らかでない。ここでドーピングされた p 形不純物濃度は Hall 係数を測定することにより約  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  である。

次に原結晶が  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の p 形の結晶を用いたトンネルダイオードの静特性について説明する。図 5.5 (a), (b) と (c) は  $I_p$  が 2 mA, 0.6 mA および 1.4 mA のものの特性を示す。これは同じ試作条件にもかかわらず  $I_p$  値に違いができる。(d) は同結晶、同条件で試作した中で過剰電流部にコブと称せられる現象が現われた。低温でコブが現われることはよく知られているが室温でも現われるものがある。この現象は一般に pn 接合部にある不純物エネルギー準位に関係あるものとして報告されている<sup>(9)</sup>。図 5.5 (e) および (f) は、負性抵抗部を直視できる装置で特性を示したものである。図 5.6 は p 形濃度  $2.4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  の結晶にさらに Zn を 5 時間拡散させた結晶で作ったトンネルダイオードの特性である。これからみると不純物濃度が増加したためか  $I_p$  が大きく得られている。これは予想されることである。しかし  $V_s$  が小さくなっている傾向をも示している。この原因は拡散の方法にあったのかまたは n 形不純物の熱処理方法にあったのかは明らかでない。

トンネルダイオードの特性は  $I_p/I_v$  が 10 倍以上で最高が 30 倍のものが得られている。また谷部電流は Ge および Si と比較して小さいものが得られている。直列抵抗  $R_s$  は逆バイアスを印加して測



(a) Ge を用いたもの  
タテ軸 (電流) 0.2 mA/div  
ヨコ軸 (電圧) 0.05 mV/div

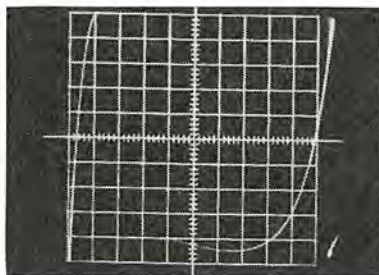


(b) タテ軸 (電流) 0.1 mA/div  
ヨコ軸 (電圧) 0.1 V/div



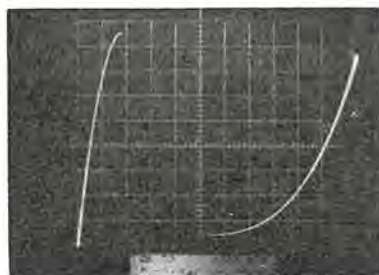
(c) タテ軸 (電流) 2.0 mA/div  
ヨコ軸 (電圧) 0.1 V/div

図 5.2 GaAs トンネルダイオード電流—電圧特性  
Fig. 5.2 Current-voltage characteristics of Gallium Arsenide tunnel diodes.

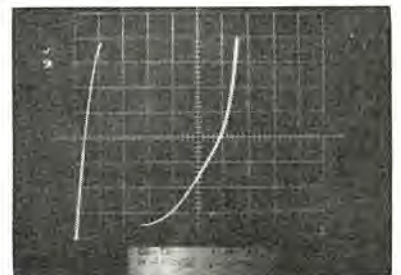


(b) GaAs を用いたもの  
タテ軸 (電流) 0.2 mA/div  
ヨコ軸 (電圧)

図 5.1 トンネルダイオード電流—電圧特性  
Fig. 5.1 Current-voltage characteristic of tunnel diodes.



タテ軸 (電流) 10 mA/div  
ヨコ軸 (電圧) 0.1 V/div  
図 5.3 GaAs トンネルダイオード電流—電圧特性  
Fig. 5.3 Current-voltage characteristic of GaAs tunnel diode.



タテ軸 (電流) 10 mA/div  
ヨコ軸 (電圧) 0.2 V/div  
図 5.4 GaAs トンネルダイオード電流—電圧特性  
Fig. 5.4 Current-voltage characteristic of GaAs tunnel diode.



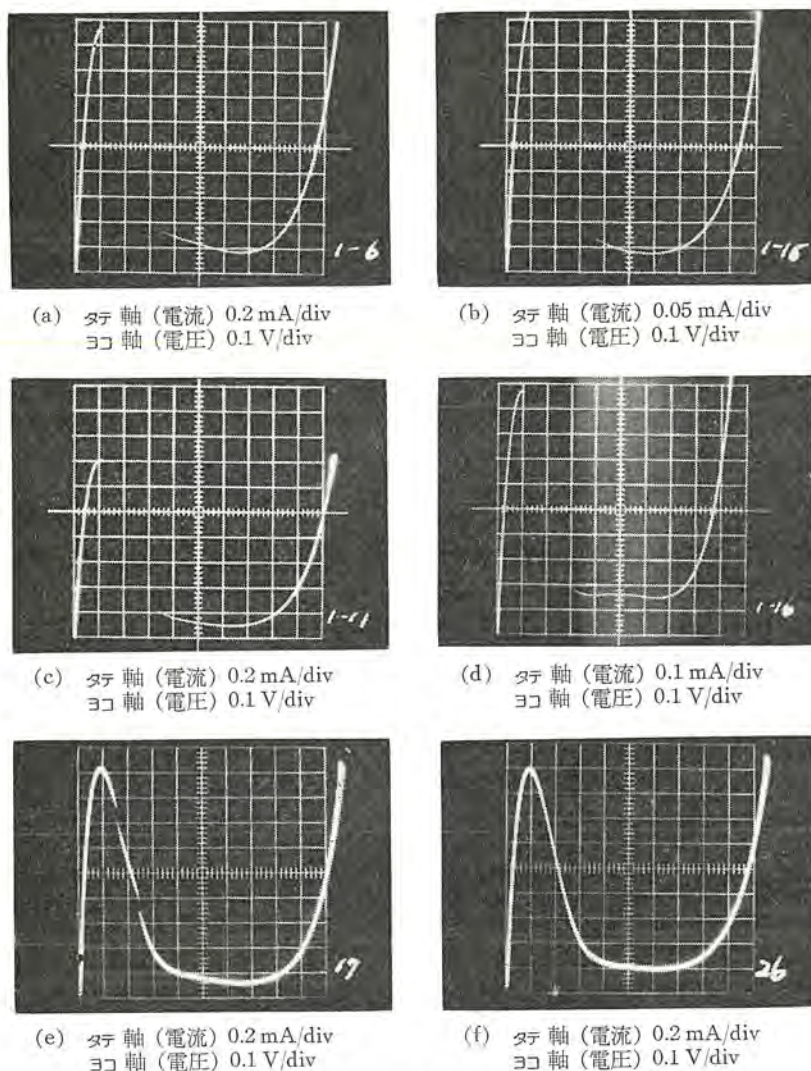
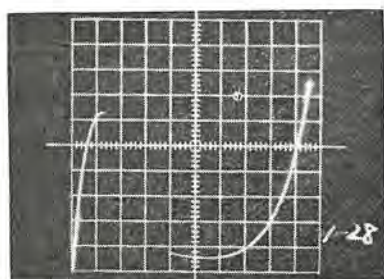


図 5.5 GaAs トンネルダイオード 電流—電圧特性  
Fig. 5.5 Current-voltage characteristics of GaAs tunnel diodes.



タテ軸 (電流) 0.5 mA/div  
ヨコ軸 (電圧) 0.1 V/div

図 5.6  $2 \times 10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup> の不純物濃度をもつ p 形 GaAs に、Zn をさらに 5 時間拡散したものを用いて試作したダイオードの電流—電圧特性  
Fig. 5.6 Current-voltage characteristics of GaAs tunnel diode using the material which is diffused Zn for 5 hrs into GaAs having dropping level  $2 \times 10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup>.

定したが、その値は  $1 \Omega$  或はそれ以上であった。  $R_s$  を少しでも小さくするためには製法に問題がなければ母体結晶として n 形の電子移動度の大きいものを使用した方が有利であると考えられる。

## 6. 温度による性質

GaAs トンネルダイオードの温度依存性は、Ge および Si トンネルダイオードの温度特性と類似している。ここでの測定温度範囲は  $-196^\circ\text{C}$

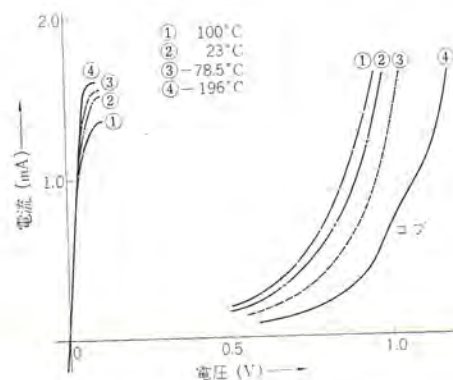


図 6.1 トンネルダイオード 特性の温度による変化

Fig. 6.1 Temperatur dependence of tunnel diode characteristics.

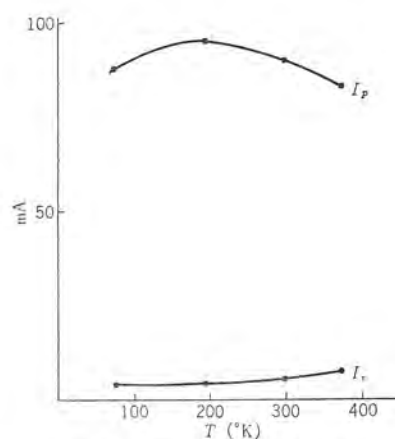


図 6.2  $I_p$  と  $I_v$  の温度変化 (Zn 濃度約  $5 \times 10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup>)

Fig. 6.2 Effects of temperature on  $I_p$  and  $I_v$  (Zn doping level about  $5 \times 10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup>).

から  $100^\circ\text{C}$  までである。図 6.1 は温度をパラメタとしたダイオードの電流—電圧特性である。これからわかるように、温度が上昇するに従い過剰電流が急激に増加する。逆に温度が低くなると過剰電流が少なくなる傾向を示し、同時に  $V_s$  が急激に増加する。さらに過剰電流部にコブが現われる。図 6.2 は  $I_p$  および  $I_v$  の温度依存性について示したものである。

Ge トンネルダイオードで  $I_p$  が室温付近でピークをもつものと、低温側へ増加するものと高温側へ増加するものの 3 種類の現象があると報告されているが<sup>(10)</sup>、われわれの試作 GaAs トンネルダイオードでは図 6.2 で示すごとく、 $I_p$  がピークをもつものと、低温側へ増加していくものの 2 種類が得られている。過剰電流の温度依存性は低温領域では小さく、高温領域へ入るに従い増加する傾向を示している。これは Ge の場合とまったく同様である。

$I_p$  の温度変化については、Ge トンネルダイオードに関して MEYERHOFER<sup>(10)</sup> らが n 側不純物濃度を一定にし p 側の不純物濃度を変えたときの実験結果を報告している。この報告によると p の濃度が  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  では  $I_p$  は低温側で増加する傾向をもち、 $5.2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  では室温付近でピークをもち、 $2.4 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  で高温側増加の傾向をもつ。この結果の一部は今回の試作ダイオードにおいてもあてはまる。図 6.2 (b) は不純物濃度が  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  のときのものを表わしている。これの  $I_p$  は低温領域で増加の傾向を示している。(a) は  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  のもので  $I_p$  にピークが見



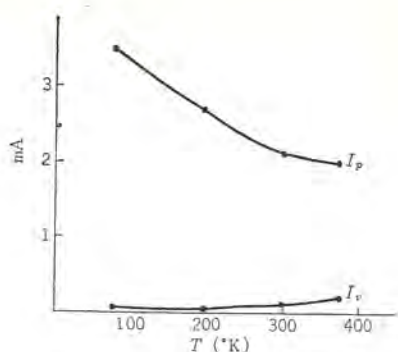


図 6.3  $I_p$  と  $I_v$  の温度依存性  
(Zn 濃度約  $2 \times 10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup>)  
Fig. 6.3 Effects of temperature on  $I_p$  and  $I_v$   
(Zn doping level about  $10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup>).

られる特性をもっている。

## 7. む す び

金属間化合物である GaAs が、トンネルダイオード材として Ge および Si と比較して有利な特性をもつことがわかった。すなわち  $I_p$  の大きなものが容易に得られること、比較的高温でも動作可能であることなどである。 $I_p$  が大きくとれることから大電力用の素子の可能性が期待されること、および高周波用としてのスイッチング速度に関してもかなり高い値を示していることが報告<sup>(7)</sup>されているので、このような回路素子に应用されることも期待される。しかし GaAs トンネルダイオードは、動作中にその特性が劣化するという報告がなされているために<sup>(11)</sup>、実用化が停滞しているが、GaAs の結晶性や不純物添加の問題などが十分に解決されることにより、特性劣化の問題はかなり解決されるものと期待される。また応用上問題となるのは特性がそろったダイオードが要求されることであるが、これは製作技術の向上に従って解決できるものと考えている。

## 参 考 文 献

(1) L. Esaki: New Phenomenon in Narrow Germanium

p-n Junctions, Phys. Rev., 109 2 p. 603 (1958)

- (2) たとえば T. A. Longo: On the Nature of the Maximum and Minimum Current in Germanium Tunnel Diodes, Bull. Am. Phys. Soc. Ser. 2 5 p.160 (1960)
- (3) たとえば Evan O. Kane: Theory of Tunneling, J. A. P 32 No. 1 p. 83 (1961)
- (4) C. Zener: A Theory of the Electrical Breakdown of Solid Dielectrics, Proc. Royal Soc. (London) A145 p. 523 (1934)
- (5) J. C. Marinase: Tunnel Diodes by Vapour Growth of Ge on Ge and on GaAs, I. B. M JOURNAL p. 280 July (1960)
- R. L. Anderson: Germanium-Gallium Arsenide Hetero Junctions, I. B. M. JOURNAL p. 283 (1960)
- (6) N. H. Ditrick and H. Nelson: Design and Fabrication of Germanium Tunnel Diodes, R.C.A LABORATORIES 6 p. 19 (1960)
- (7) N. Holonyak, Jr. and I. A. Lesk: Gallium Arsenide Tunnel Diodes, proc. I. R. E 48 8 p.1405 (1960)
- (8) F. A. Cunnell and C. H. Gooch: Diffusion of Zinc in Gallium Arsenide, J. Phys. Chem, Solid 15 p. 127 (1960)
- (9) R. S. Classen: Excess and Hump Current in Esaki diodes, J. A. P 32 11 p. 2372 (1961)
- (10) D. Meyerhofer, George. A. Brown and H. S. Sommers, Jr.: Degenerate Germanium I. Tunnel, Excess and Thermal. Current in Tunnel Diodes, Phys. Rev. 126 No. 4 p. 1329 (1962)
- (11) R. D. Gold and L. R. Weisberg: The degradation of GaAs Tunnel Diodes, I. R. E trans. ED-8 5 p. 4281 (1961)
- A. Pikor, G. Elie and R. Glicksman: Some Factors Affecting The Degradation of GaAs Tunnel Diodes, J. Elec. Chem. Society 110 No. 2 p. 178 (1963)
- (12) エサキダイオードとその応用特集, 信学誌 第479号 47 4 号 (昭 39)



## マイクロ波用イットリウム・鉄・ガーネット

竹内 守久\*・靱山 公男\*

野口 英男\*\*

## Polycrystalline Yttrium Iron Garnet for Microwave Applications

Central Research Laboratory  
Himeji WorksMorihiisa TAKEUCHI・Kimio MOMIYAMA  
Hideo NOGUCHI

Experiments have been conducted with yttrium iron garnet and aluminum substituted yttrium iron garnet ( $3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (5-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) used for micro-wave devices.  $3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (5-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$  garnets are produced by co-precipitation method, the range of  $x$  being 0~0.9. Increase of  $x$  brings about linear increase of  $4\pi M_s$  while the lattice constant and the curie temperature undergo linear decrease. The higher the density of the garnet, the narrower the ferrimagnetic resonance line width  $\Delta H$ . Minimization of the dielectric loss tangent necessitates making the garnet composition stoichiometric. When the above garnets were applied to 1,300 Mc isolator, the insertion loss less than 0.63 dB and the front to back ratio higher than 68 were obtained. When applied to a circulator of 400 Mc band, it resulted in the insertion loss less than 0.15 dB and the isolation higher than 30 dB.

## 1. ま え が き

数年前、3 価の希土類金属酸化物とヘマタイト ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) からなるフェライトで、 $3\text{M}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3$  または  $\text{M}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  の一般式で示される新しいフェリ磁性酸化物いわゆるガーネットが人工的に作られ、非常に注目された。ここで  $\text{M}^{3+}$  は Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu の希土類金属イオン または  $\text{Y}^{3+}$  であり、代表的なものは Y を含む イットリウム・鉄・ガーネット で YIG と略称されている。

ガーネットの特長は、2 価のイオンを含みぬために、従来のフェライトに比べて電気抵抗が非常に大きく (Mn-Zn 系のスピネルフェライトでは  $10^6\Omega\text{-cm}$ , ガーネットでは  $10^8\Omega\text{-cm}$ )、マイクロ波領域での損が失非常に小さいことである。とくにマイクロ波回路素子として YIG が用いられる特長は、飽和磁化が比較的小さく、また調節が可能であること、異方性磁場  $K_1/M_s$  が小さいこと、キュリー温度  $T_c$  が高いこと、さらに共鳴吸収曲線の半値幅  $\Delta H$  が小さいことである。このために物性論的見地のみでなく、エレクトロニクス の立場からも非常に興味をもたれ、とくに最近ではマイクロ波への応用が盛んである。

YIG の強磁性共鳴吸収については今までに多くの研究がなされ、その  $\Delta H$  は YIG の密度に大きく左右されるといわれている<sup>(1)</sup>。そこで、われわれは YIG 中の  $\text{Fe}^{3+}$  イオンを  $\text{Al}^{3+}$  イオンで置換して  $4\pi M_s$  を調節し、低磁界損失および  $\Delta H$  の小さな高密度の多結晶体 YIG を粉末冶金的に作るのに必要な製造条件を見出し、さらに、マイクロ波への特性を実験した。

## 2. 結晶構造と磁性

ガーネットの結晶構造<sup>(2), (3)</sup>は天然のザクロ石 ( $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ・ガーネット) と同形の高度の対称性をもつガーネット形の立方晶系に属し、空間群  $\text{O}_h^{10}\text{-Ia}3\text{d}$ 、単位胞は 8 分子からなる。ガーネット形構造は 96 個の  $\text{O}^{2-}$  が体心立方最密充填構造を作り、陽イオン配置は 3 種の副格子にわかれている。すなわち、スピネル形と同様に 40 個の  $\text{Fe}^{3+}$  は 8 面体 6 の配位の 16a に 16 個、4 面体 4 配位の 24d に 24 個を占める。イオン半径の大きな 24 個の  $\text{M}^{3+}$  (0.99~

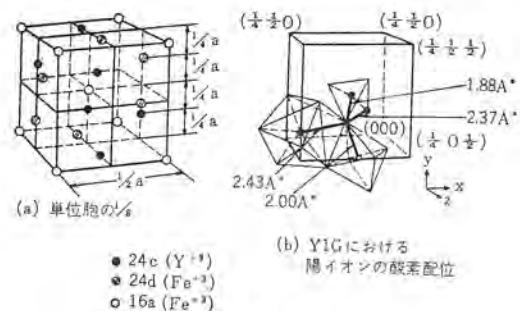


図 2.1 ガーネットの結晶構造  
Fig. 2.1 Crystal structure of garnet.

~1.13Å) は上記の位置を占めるには大き過ぎ、 $\text{O}^{2-}$  と置換するには小さ過ぎる。そこで  $\text{M}^{3+}$  は特別な格子点である  $\text{O}^{2-}$  8 個にかこまれた 12 面体 8 配位の 24c 位置を占めている。図 2.1 にその結晶構造を  $\frac{1}{8}$  格子について示す、他の  $\frac{7}{8}$  はそれぞれこの図の構造を回転させたり、鏡映させたりして得られる。

ガーネット形の自発磁化もフェリ磁性で説明される。<sup>(4)</sup> すなわち  $\text{Fe}^{3+}(16a)\text{-O-Fe}^{3+}(24d)$  の角度は  $126.6^\circ$  で最大で、その間の距離は  $3.88\text{Å}$  で最短のため a—d 間の交換相互作用が最も強く、 $\text{Fe}^{3+}$  の磁気モーメントは反平行に結合する。また  $\text{M}^{3+}$  は弱い c—d 間の相互作用により  $\text{Fe}^{3+}$  の磁気モーメントと反平行に結合する。c—d 間の角度と距離は  $122.2^\circ, 4.31\text{Å}$ , a—c 間は  $102.8^\circ, 4.43\text{Å}$  したがって、1 分子あたりの自発磁化  $\sigma_0$  は次のようになる。

$$\sigma_0 = |6m_{(d)}\text{Fe}^{3+} - 4m_{(a)}\text{Fe}^{3+} - 6m_{(c)}\text{M}^{3+}| = |10 - 6m\text{M}^{3+}|\mu_B$$

ここで  $\text{Y}^{3+}$  の場合は  $4f$  電子がなく、 $\text{Lu}^{3+}$  では閉コフ (殻) になっているので磁気モーメントをもたない。このため、 $\text{Fe}^{3+}$  だけの磁気モーメントが現われ、YIG では 1 分子あたり  $10\mu_B$  となり実測値  $9.44\mu_B$  とよく一致する。その他の場合は  $4f$  電子が非閉コフであるから磁気モーメントをもち、たとえば、 $\text{Gd}^{3+}$  では  $7\mu_B$  を有するから GdIG は  $(7 \times 6 - 10)\mu_B = 32\mu_B$  となり実測値  $30.3\mu_B$  に近い。

そこで結晶構造の 24c, 16a および 24d のおのおのを各種金属イオンで占有することにより磁気特性が変わる。一般にガーネット形構造をとる化合物の化学式を  $\text{A}_3^{1+} \cdot \text{B}_2^{3+} \cdot \text{C}_3^{3+} \cdot \text{D}_{12}^{2+}$  すると、



表 2.1 ガーネット形構造における各種金属イオンの配置占有傾向<sup>(3)</sup>

24c	Na <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , Cd <sup>2+</sup> , Y <sup>3+</sup> , R <sup>3+</sup> , Bi <sup>3+</sup>
16a	Fe <sup>2+</sup> , Ni <sup>2+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , Sc <sup>3+</sup> , In <sup>3+</sup> , Zr <sup>4+</sup> , Hf <sup>4+</sup> , Nb <sup>5+</sup> , Ta <sup>5+</sup>
24d	Li <sup>+</sup> , V <sup>5+</sup> , P <sup>5+</sup> , As <sup>5+</sup>
16a と 24c	Mg <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Co <sup>2+</sup>
16a と 24d	Al <sup>3+</sup> , Ga <sup>3+</sup> , Fe <sup>3+</sup> , Ti <sup>4+</sup> , Si <sup>4+</sup> , Ge <sup>4+</sup> , Sn <sup>4+</sup>

(注) \* R<sup>3+</sup> は Ce<sup>3+</sup> を除く 3価の希土類金属イオン  
Si<sup>4+</sup> と Ge<sup>4+</sup> はおもに 24d に入る

表 2.2 各種ガーネットの結晶定数と磁気特性<sup>(1)(6)</sup>

M <sup>3+</sup>	Y	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
格子定数 (Å)	12.376	12.524	12.518	12.479	12.447	12.414	12.880	12.349	12.325	12.291	12.277
X線密度 (g/cc)	5.169	6.235	6.276	6.436	6.533	6.653	6.670	6.859	6.946	7.082	7.148
自発磁化 (μB)	8.44	9.31	5.18	30.3	31.4	32.5	27.5	23.1	2.0	0	8.23
4πMs, gauss (20°C)	1,740	1,695	1,100	169	190	537	976	1,308	1,100	1,640	1,500
反転温度 (°K)	—	—	—	290	246	220	136	84	4~20	0	—
キュリー温度 (°K)	545	580	570	564	568	563	567	556	549	548	549

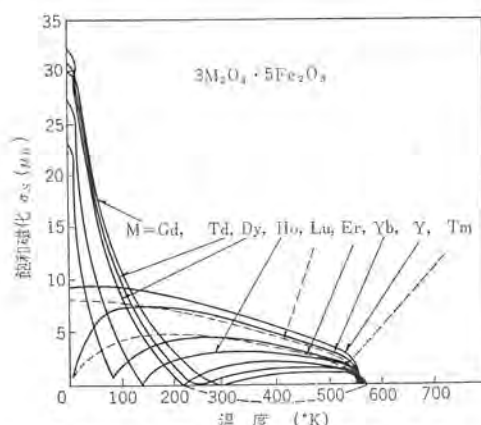


図 2.2 自発磁化  $\sigma_s$  の温度変化  
Fig. 2.2 Spontaneous magnetization of a number of rare-earth and yttrium iron garnet vs variation of temperature.

それぞれのイオンの価数が  $3l+2m+3n=12p$  なる関係がなりたつ。ガーネットの置換固溶体はこの条件を満たす価数と、適当なイオン半径を有する金属イオンのみに可能である。表 2.1 にガーネット形構造における各種金属イオンの配置占有傾向を示す。<sup>(5)</sup> 一般に各位置を占める金属イオン半径は 24d ( $r < 0.6 \text{ Å}$ ), 16a ( $0.7 \text{ Å} < r < 0.8 \text{ Å}$ ), 24c ( $0.85 \text{ Å} < r < 1.0 \text{ Å}$ ) である。

また自発磁化の温度変化を見ると、キュリー温度が M<sup>3+</sup> の種類によってほとんど変わらなく約 270°C である。これは a-d 相互作用の強さが優先しているため、キュリー温度は大体この結合の強さによってきまる。しかも、この結合にあずかっているのは Fe<sup>3+</sup> だけであるから、各ガーネットともすべて同程度のキュリー温度を示す。また Y, Sm, Eu, Lu を除いたガーネットでは c-d 相互作用の結果 M<sup>3+</sup> の磁気モーメントの温度変化が関与するため、反転温度がある。

表 2.2 に各種ガーネットの結晶定数と磁気特性<sup>(1)(6)</sup>を示す。図 2.2 に自発磁化  $\sigma_s(\mu_B)$  の温度変化を示す。

### 3. イットリウム・鉄・ガーネットおよびアルミニウム置換イットリウム・鉄・ガーネットの製造

われわれは低磁界損失および  $\Delta H$  の小さな高密度の多結晶マイクロ波用イットリウム・鉄・ガーネット・竹内・靱山・野口

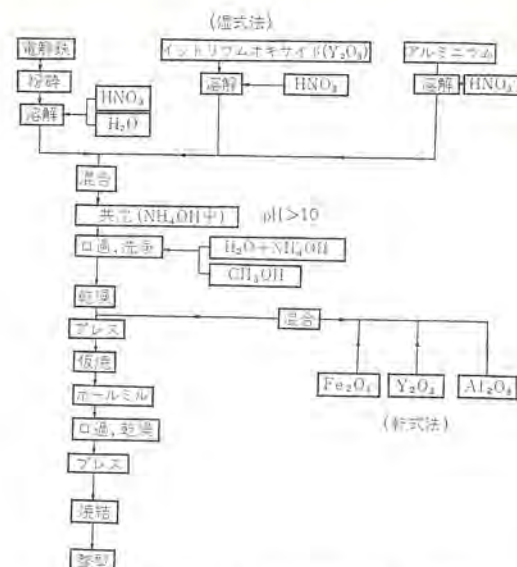


図 3.1 アルミニウム置換イットリウム・鉄・ガーネットの製造工程図 (湿式および乾式法)  
Fig. 3.1 Work flow chart of poly-crystalline aluminum substituted yttrium iron garnet (wet and dry method).

ガーネットを得るため、結晶構造と磁性との立場から考えて、まず YIG 中の Fe<sup>3+</sup> イオンを Al<sup>3+</sup> イオンで置換したものについて研究を進めた。図 3.1 に湿式法および乾式法による多結晶アルミニウム置換イットリウム鉄ガーネット ( $3Y_2O_3 \cdot xAl_2O_3 \cdot (5-x)Fe_2O_3$ ,  $x=0 \sim 0.95$ ,  $x=0$  は純 YIG. 略称 Al-YIG) の製造工程図を示す。両式とも従来のフェライトの製造と変わったところはないが、Y が高価な点と均一性のよい試料を得るために湿式法を用いた。

Al-YIG の製造に先だって、製造法の基礎となる生成条件をも確めておく必要がある。また、仮焼後の Al-YIG 原料粉を粉末冶金的方法で行ない、マイクロ波回路用素子としてよい特性を得るためには原料、密度および他相の影響などに注意しなければならない。これらの点について述べ、さらに Al-YIG の特性を示す。

#### 3.1 Al-YIG の生成反応

イットリウム・鉄・アルミニウム共沈水酸化物 [ $Y(OH)_3 + Fe(OH)_3 + Al(OH)_3$ ] を用い、加熱温度および時間とともにどのように Al-YIG の生成量が変化するか、示差熱分析および磁化の強さから測定し、また X 線回折から生成物の同定を行なった。

図 3.2 に  $Y(OH)_3 + Fe(OH)_3 + Al(OH)_3$  混合体 (以後略称、YIAI 共沈水酸化物とする) の示差熱分析の結果を示す。YIAI

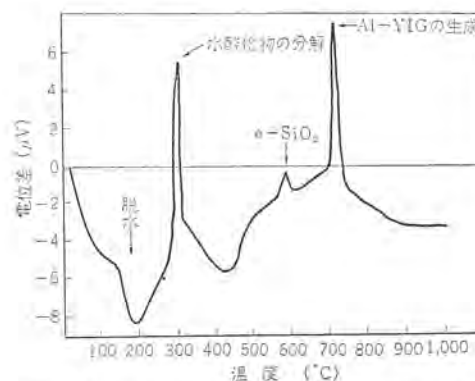


図 3.2 イットリウム・鉄・アルミニウム共沈水酸化物の示差熱分析  
Fig. 3.2 Differential thermal analysis of  $Y(OH)_3 + Fe(OH)_3 + Al(OH)_3$ .



共沈水酸化物混合体の加熱にともなう反応を大別すると脱水、水酸化物の分解および Al-YIG の生成の三つに分けられる。まず、約 100°C から付着水の脱水過程が起こり、約 200°C 付近から水酸化物の分解が起こる。分解反応の最高ピーク温度は 310°C で  $Y(OH)_3$  の分解反応のピークと一致している。 $Fe(OH)_3$  および  $Al(OH)_3$  の分解温度が現れないのは、 $Y(OH)_3$  と  $Fe_2(OH)_3$  および  $Al(OH)_3$  の分解反応の温度差が 30~50°C しかないため、まず  $Fe(OH)_3$  および  $Al(OH)_3$  の分解が始まると、その分解熱で  $Y(OH)_3$  の分解がすぐ起こり、前者の分解反応熱が  $Y(OH)_3$  に吸収されるので示差熱分析の結果に現れなかったものと考えている。分解温度を過ぎた後は 700°C における Al-YIG の生成まで反応は観察されず、またそれより 1,200°C の間にも反応は見られない。Al(OH)<sub>3</sub> を含まないときは、720°C に YIG の生成が見られ、Al-YIG の生成と比較して約 20°C の差である。

図 3.3 に YAl 共沈水酸化物の加熱減量および磁化の強さの変化から Al-YIG の生成量を測定した結果を示す。加熱減量は加熱温度の上昇とともに徐々に起こり、500°C 付近から減量の飽和値 34% に近づいている。この減量変化のヨウ配を見ると 250~300°C 付近がいちばん急で、500°C 以上は非常にゆるやかである。それは 250~300°C 付近で共沈水酸化物の分解による脱水が激しいことを意味し、500°C では分解がある程度終了し、600°C 付近から Al-YIG の生成が始まりかけていることからもうなずける。Al-YIG の生成は約 600°C 付近から始まり 750°C ではほぼ 100% 完了していることがわかる。また Al-YIG の生成量は図 3.4 に示す曲線からもわかる。図 3.4 に Holmgvist<sup>(7)</sup> による

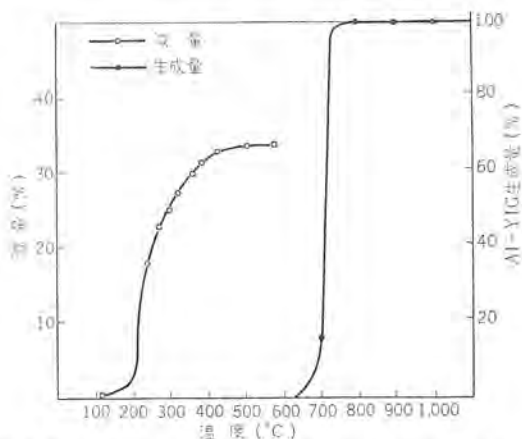


図 3.3 イットリウム・鉄・アルミニウム共沈水酸化物の加熱減量および Al-YIG の生成量曲線

Fig. 3.3 Rate of formation of aluminum substituted yttrium iron garnet and weight variation of  $Y(OH)_3 + Fe(OH)_3 + Al(OH)_3$  for heating.

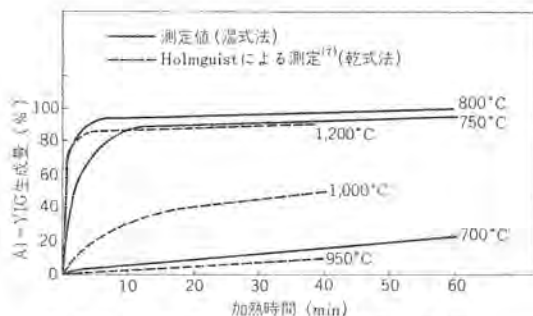


図 3.4 温度因子に対する Al-YIG の生成量対時間曲線

Fig. 3.4 Rate of formation of aluminum substituted yttrium iron garnet as a function of temperature.

測定結果(試料は乾式法で作成)を同時に示したが、乾式法と湿式法にはこのような反応条件の差がある。これは出発点における原料粉の粒形および混合状態が異なることによって理解される。

$Y(OH)_3 + F(OH)_3$  共沈水酸化物から YIG が生成される過程を X 線回折によって同定した結果では、600°C 付近から YIG の生成が始まり、分解してできた酸化物の減少が見られる。生成過程中考えられそうな  $YFeO_3$  は確認できなかった。この理由は示差熱分析および磁気測定の結果からもわかるごとく、YIG の生成が急激に行なわれているため、たとえば、 $YFeO_3$  の生成を経過しても確認されないだろう。

### 3.2 原料

YIG を製造する場合、どの程度の純度の原料を要求するかはその純度が特性に大きく影響するから大きな問題である。われわれが用いた原料の分析結果を表 3.1 に示す。現在用いられている  $Y_2O_3$  は 99.9~99.99% 程度でマイクロ波用として普通に用いる場合は問題はないが、いくら原料の純度をよくしても製造工程中に不純物の混入があれば、高純度を用いる理由がなくなるので、極力混入を防がねばならない。

表 3.1  $Y_2O_3$  および電解鉄の分析

$Y_2O_3$  の分光分析 (純度 99.99%, アメリカンポタシ ヲ製)

Cu	Mg	Fe	Si	Mn	Al	Ca	Ag	Ni	Co	Cr	Zn
/[±]	tr	tr>	/[±]	/[±]	/[+]	[tr]?	[tr]?	[tr]?	[tr]?	[tr]?	/[±]
B	Mo	Na	Pb	Sn	Sr	Ta	Ti	V	W	Zr	
/[+]	/[+]	/[+]	/[+]	/[+]	/[±]	/[±]	/[±]	/[±]	/[±]	/[+]	

? : Y の線と重なるため存在不確実

電解鉄の定量分析 (wt%)

Mn	Si	C	Fe
0.001	0.001	0.008	残リ

### 3.3 密度の影響

図 3.5<sup>(1)</sup> に YIG の密度の変化に対する  $\Delta H$  の影響を示す。すなわち理論密度 (5.17 g/cc) に近いものを作ることが重要である。実用化されている密度は理論値の 95~99% であるが、試料が大形化するにつれて密度を高くすることが困難である。そのため、密度を高くするために、いろいろな粉末冶金的考慮がはらわれている。

まず、YIG の粒度調整、成形圧および焼結条件を制御する必要がある。粒度調整にはボールミルを用いるので、ボールミルから混入する不純物を制御し、なるべく微粉にしなければならない。

成形圧は高いほどよいが、3t/cm<sup>2</sup> 以上になると普通の成形方法ではキ裂が入り、その影響で密度が低下する。とくに高密度を得るためには、静水加圧法またはスラッジレス<sup>(1)</sup>などを用いる必要が

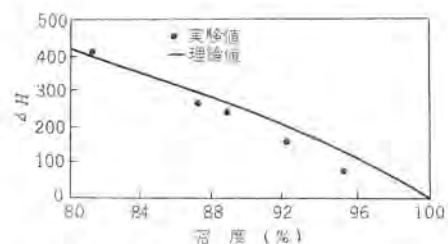


図 3.5 密度変化に対する YIG の  $\Delta H^{(1)}$

Fig. 3.5 Line width ( $\Delta H$ ) of yttrium iron garnet as a function of density.



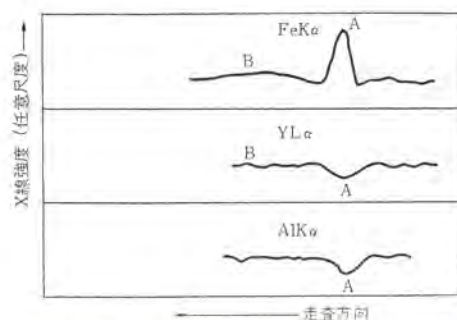
ある。

また、焼結温度 1,400°C で焼結時間を長くすると、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  が  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  に分解して、そのときの発生酸素ガスの影響で穴が多くなり、密度が下がるといわれているので注意する必要がある。(8)

### 3.4 他相の影響

YIG の多結晶を工業的に作る場合、 $\text{Y}_2\text{O}_3$  は空気中でよく湿気を吸うし、また工程中に混入する少量の不純物は避けられないので、化学量論的なものはなかなか作りにくい。Fe が過剰な場合は、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  が析出し、不足すると  $\text{YFeO}_3$  のごとき他相が析出する。これらの他相は  $\Delta H$  を増大せしめ、また誘電体損失  $\tan\delta_e$  を増大させる。この防止策としては調合比で Y および Fe の補正、焼結の際にはふい気および温度の上昇、下降速度を制御することが重要である。

アルミナ過剰の YIG については、図 3.6 の顕微鏡組織に見られるような白い他相が析出する。この白い他相を X 線マイクロアナライザで定性分析した結果は、Fe について見ると白く輝いて見える相が多く、他の部分では均一に分布していることがわかる。また Y および Al は地の部分では均一に分布しているが、白い相中では Fe とは逆に少なくなっている。したがって析出物は  $\text{FeO}$  かあるいは  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  である。白い相の多いものほど、磁気特性は悪い。



加速電圧: 30 kVp 試料電流: 0.1 μA X線源径: 2.4 μm  
装置: 島津 ARL エレクトロンプローブマイクロアナライザ  
図 3.6 X 線 マイクロアナライザによる定性分析と顕微鏡組織  
試料: Al-YIG  
Fig. 3.6 Qualitative analysis with x-ray micro-analyser and microscopy.

### 3.5 アルミニウム置換イットリウム・鉄・ガーネット

X 線回折および磁気測定用の標準試料は 1,100°C 3 時間仮焼を行なったガーネット原料粉を、1,400°C 5 時間酸素中で焼成したものである。また単向管およびサキュレタ用試料としては YIG の製造工程の注意事項を制御して、1,400~1,425°C で 5 時間酸素中で焼結し、 $\text{Fe}^{3+}$  イオンの  $\text{Fe}^{2+}$  イオンへの還元を極力押える方法を

マイクロ波用 イットリウム・鉄・ガーネット・竹内・靱山・野口

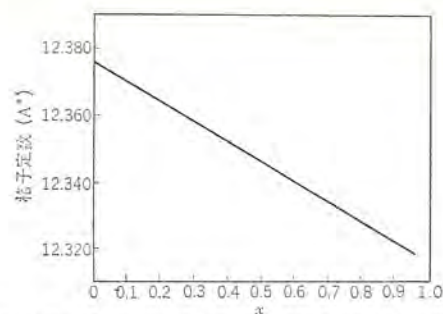


図 3.7  $3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (5-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$  と格子定数  
Fig. 3.7 Lattice constant vs composition aluminum substituted yttrium iron garnets.

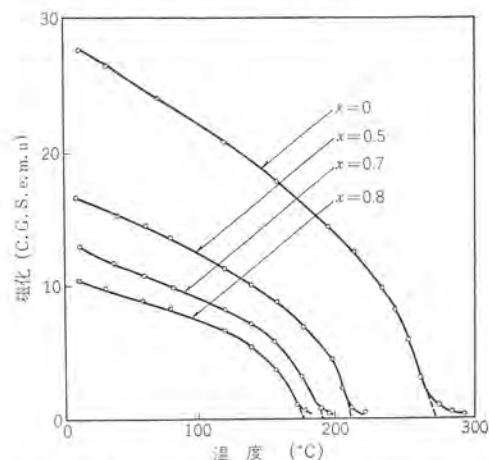


図 3.8  $3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (5-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$  の磁化-温度曲線  
Fig. 3.8 Variation of magnetization with temperature for composition aluminum substituted yttrium iron garnet.

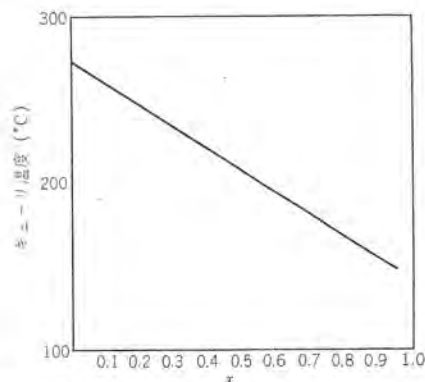


図 3.9  $3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (5-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$  とキュリー温度  
Fig. 3.9 Curie temperature vs composition aluminum substituted yttrium iron garnet.

用いた。

磁化の強さの温度変化は磁気テンペンをを用いて測定した。

図 3.7 に格子定数の変化を示す。これから  $\text{Al}^{3+}$  は  $\text{Fe}^{3+}$  と完全に置換し、格子定数 ( $L$ ) は直線的に減少することがわかる。この様子は、 $3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (5-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$  の置換量  $x$  に対しては、 $L(x) = 12.376 - 0.060x$  と表わされ、Van Hook<sup>(9)</sup>の求めた  $L(x) = 12.375 - 0.068x$  より減少の割合が小さいが傾向は一致している。

図 3.8 に各組成の磁化の強さと温度の関係を示す。この結果から組成とキュリー温度の関係を求めたのが図 3.9 である。キュリー温度も測定した組成範囲では直線的に減少し、結果は Gilleo<sup>(10)</sup>の報告とほぼ一致する。

なおガーネット構造中の  $\text{Al}^{3+}$  置換位置は低温での飽和磁化測定



が不足しているため、このデータからは判明しないが、室温での磁化が置換量とともに単調に減少し、またキュリー温度の減少度が割合ゆるやかであることから、 $\text{Al}^{3+}$  はガーネット構造中に 24 個の同価点を持つ 4 面体位置 (24d) に優先的に入ることが予想される。Gilleo<sup>(10)</sup> らの詳細な研究の結果によると、 $\text{Al}^{3+}$  は 4 面体位置に優先的に入るが、置換量が増すにつれて 8 面体位置 (24c) に入る割合が増加している。

#### 4. マイクロ波回路素子への応用

マイクロ波回路素子への応用としては、大別して非線形範囲を利用するものと線形範囲を利用するものがある。ここでは後者に属するものとして、ジャイレータ、サーキュレータ、アイソレータおよび移相器などの応用として YIG の研究を進めた。

この方面の YIG の特長は低い周波数帯でよい特性のものができることにある。その理由は  $4\pi M_s$  が比較的小さいこと、異方性磁場  $K_1/M_s$  が小さいこと、さらに  $\Delta H$  が小さいことである。

たとえば、共鳴形単向管に用いる磁性体としては、その特性の良さを表わす順逆比  $R_{\text{max}}$  の大きなものが望まれ、この  $R_{\text{max}}$  は共鳴磁界  $H_r$ 、 $\Delta H$  との間に  $R_{\text{max}} = (4H_r/\Delta H)^2$  なる関係を有し、 $\Delta H$  が小さいほど大となる。サーキュレータに用いる磁性体としては、周波数が低いほど、磁性体固有の低磁界損失がそう入損失中で占める割合が大きくなるので、低磁界損失および  $\Delta H$  の小さいものが望まれる。

ここでは、各周波数帯で満足な特性を得るように、 $\Delta H$  をあまり変えることなく適当な飽和磁化を示す Al-YIG を用いて、1,300 Mc 共鳴形単向管、2,800 Mc サーキュレータ、400 Mc 帯サーキュレータに応用した。

##### 4.1 1,300 Mc 共鳴形単向管

図 4.1 に  $\text{Al}^{3+}$  の置換量  $x$  と単向管の特性との関係を示す。この値に用いた試料の密度は不均一で、4.5~4.9 g/cc の間を示したが、今密度の影響を考えないで図 4.1 を見れば、 $\text{Al}^{3+}$  の置換量を増すと、そう入損失  $L_f$  は次第に減少し、約  $x=0.5$  以上になると減少の割合が小さくなる。これは飽和磁化が大きすぎると、共鳴磁界でなお未飽和部分があり、ゼロ磁界損失が共鳴磁界においても消滅せず、そう入損失の中に含まれてそれを大きくしているが、飽和磁化の減少とともにゼロ磁界損失は減少し、 $x=0.5$  以上になると共鳴点における損失はゼロ磁界損失と無関係になるた

めと考えられる。ゼロ磁界損失と  $\text{Al}^{3+}$  置換量  $x$  の関係を図 4.2 に示す。

また、逆方向減衰  $L_B$  は飽和磁化が小さくなるに従って次第に減少する。したがって、最良の特性を得るには、まず適当な飽和磁化の試料を選定しなければならない。

図 4.3 にわれわれが開発した 1,300 Mc 共鳴形単向管の特性を示す。比較のため市販最良品の輸入 YIG (MCL-1116) を用いて測定した結果を表 4.1 に示す。

##### 4.2 2,800 Mc サーキュレータ

単向管用ガーネットと同様の製法で作ったガーネットを用いてサーキュレータとしての特性を求めた。図 4.4 はわれわれが開発した 2,800 Mc Y サーキュレータの特性である。すなわち、 $L_f=0.2\text{dB}$ 、 $L_B=23\text{dB}$  である。動作磁界で  $L_f$  が大きな値を示す原因はいろいろあるが、一つは動作磁界が低すぎるとゼロ磁界損失の項がなお残っており、その影響がきいてくるものと考えられる。それは単向管の特性と同様に、適当な飽和磁化をもつものを選べば解決される。

表 4.1 1300 Mc 共鳴形単向管に用いたときの三菱 A と MCL-1116 特性

	そう入損失 ( $L_f$ )	逆方向減衰 ( $L_B$ )	順逆比 ( $L_B/L_f$ )
三菱 A	0.63 dB	43 dB	68
MCL-1116	0.68 dB	42 dB	62

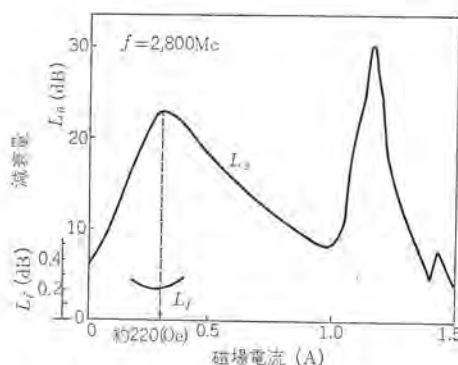


図 4.4 アルミニウム置換イットリウム・鉄・ガーネット(三菱 B)を用いたときの 2,800 Mc サーキュレータ特性  
Fig. 4.4 2,800 Mc circulator characteristic for aluminum substituted iron garnet (Mitsubishi B).

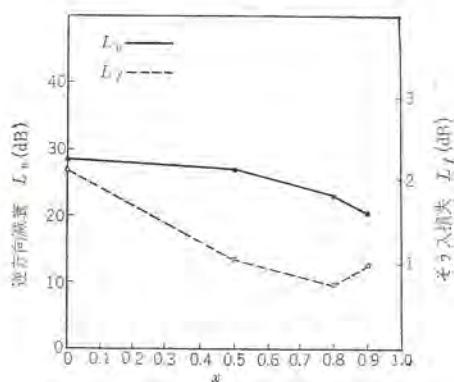


図 4.1  $3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (5-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$  の  $x$  対単向管特性  
Fig. 4.1 Circulator characteristic vs composition aluminum substituted yttrium iron garnet.

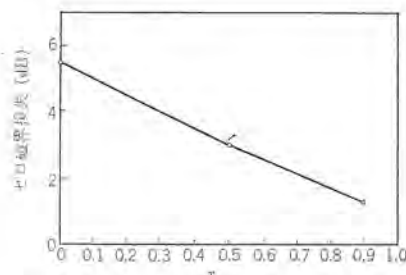


図 4.2  $3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot (5-x)\text{Fe}_2\text{O}_3$  の  $x$  対ゼロ磁界損失  
Fig. 4.2 Low field loss vs composition aluminum substituted yttrium iron garnet.

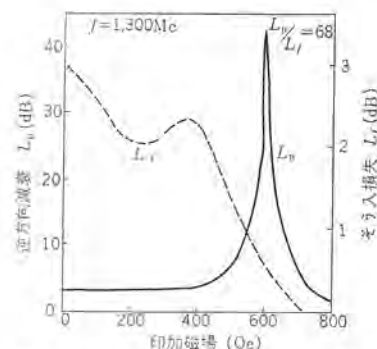


図 4.3 アルミニウム置換イットリウム・鉄・ガーネット(三菱 A)を用いたときの 1,300 Mc 共鳴形単向管特性  
Fig. 4.3 1,300 Mc isolator characteristic for aluminum substituted yttrium iron garnet (Mitsubishi A).



#### 4.3 400 Mc 帯サーキュレータ

この周波数では、共鳴磁界が低くゼロ 磁界損失と重なるため、2,800 Mc サーキュレータのように共鳴点以下で動作させるサーキュレータは不可能であり、共鳴点以上で動作させなければならない。この場合に、ガーネットの直径は約 70 mm 程度となる。この大きさで焼結密度を理論値の 95% 以上にすることは普通の方法では困難である。しかし、密度の不足をガーネットの直径および内部導体の形などを変え、動作磁界を共鳴磁界からずらせて、低密度によって増大した  $\Delta H$  の影響を減じた場合には、そう入損失  $L_f$  が 0.5 dB となり入力の小さい場合のサーキュレータとして使用可能となる。

410 Mc の特性はそう入損失 0.5 dB 以下、逆方向減衰 25 dB 以上である。

#### 4.4 低損失置換形ガーネット

VHF および UHF 帯で、比較的大電力用のサーキュレータとして使用しうるガーネットが要求されている。今までに開発してきたガーネットは 400 Mc 程度の周波数になると、ガーネット自体のそう入損失が大きくなり、大電力用としては発熱による温度上昇のため、さらに大きな損失増加をもたらす結果となり使用できなくなる。したがって、大電力用としてはガーネットの周波数に伴うそう入損失の増大を防ぎ、さらに温度特性を改良することが第一となる。

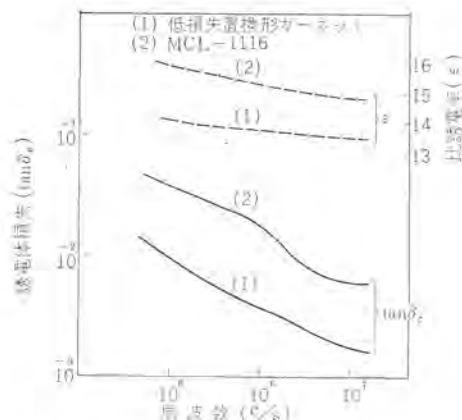


図 4.5 ガーネットの誘電体損失と比誘電率  
Fig. 4.5 Dielectric loss tangent dielectric constant of garnet for frequency.

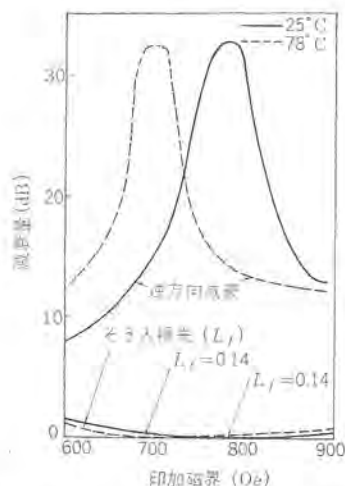


図 4.6 450 Mc サーキュレータとしての特性の温度変化  
Fig. 4.6 450Mc circulator characteristic for variation of temperatures.

表 4.2 マイクロ波用ガーネットの代表例

置換	$4\pi M_s$ (gauss)	$g_{eff}$	$\Delta H^*$ (Oe)	$\epsilon$	$\tan \delta \epsilon^{**}$	$T_c(^{\circ}C)$	備 考
	1,750	2.00	55	—	0.002	275	MCL-YIG
Al	1,200	—	80	14	0.0035	250	MCL-1110
Al	600	—	50	13.5	0.004	170	MCL-1116
Al	300	2.05	55	11.7	0.0016	125	MCL-300
Al	1,050	—	—	13.3	0.01	206	三 菱 A
Al	550	2.03	80	13.0	0.01	160	三 菱 B
Al	700	—	50	13.4	0.0007	190	三 菱 C

注: MCL→Microwave Chemicals Laboratory, Inc.

\*  $\Delta H$ (Oe) at 9,400 Mc

\*\*  $\tan \delta \epsilon$  at 20 Mc

従来の製法でもそう入損失の原因となる誘電体損を小さくするために、焼成温度の厳密な管理などの工程上の問題点および化学組成の管理などの原料上の問題点について検討した結果、損失に関する温度特性が良好であり、誘電体損の小さいガーネットの開発に成功した。

得られたガーネットの特性例として図 4.5 に誘電体損および比誘電率の 100 kc から 200 Mc までの測定値を、輸入ガーネット MCL-1116 と比較して示す。さらに図 4.6 に 200 kW 用の 450 Mc サーキュレータとしての特性を示す。

表 4.2 に MCL-と三菱製のガーネットの代表的なものを示す。

#### 5. む す び

マイクロ波の応用に使用可能なガーネットを開発することを目的として、実用化に必要な飽和磁化の調節およびそれともなう問題点、さらにマイクロ波におけるアイソレータ、サーキュレータとしての特性を述べてきた。

その結果はキュリ温度 150°C 以上で、 $4\pi M_s$  が 500 G から 1,800 G まである程度自由に作ることができることがわかり、その上、温度特性のよい低損失のガーネットもできたので、輸入ガーネットをたよらず、純国産品で大電力用サーキュレータ、さらに小形サーキュレータとして活用され始めている。

最後にこの研究遂行にあたり、いろいろとご協力いただいた中研高周波機器研究部、喜連川部長、中原研究員および関係者各位に謝意を表する。また、X線マイクロアナライザによる分析を実施願った島津製作所、萱島敬一氏に厚くお礼申し上げる。

(昭 40-3-9 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) W.P. Wolf and G.P. Rodrigue: J. Appl. Phys. 29, 1, 105. ('58)
- (2) G. Menzer: Z. Krist. 69, 300. (1929)
- (3) S. Geller, M. A. Gilio: J. Phys. Chem. Solids. 3, 30. (1957)
- (4) F. Bertant, R. Pauthenet: Pro. IEE, 104B, 5, 261. (1957)
- (5) S. Geller: J. Appl. Phys. 31, 30S. (1960)
- (6) F. Bertrant, F. Forrat: Compt. Rend. 244, 96. (1957)
- (7) W.R. Holmgvist, C.F. Kool and R.W. Moss: J. Amer. Ceramic, Soc., 44,194. (1961)
- (8) L.G. Van Uitert, F.W. Swanekamp and S. Pregrisi: J. Amer. Ceram. Soc., 42, 421. (1959)
- (9) H.J. Van Hook: J. Am. Gr. Soc., 46, 121. (1963)
- (10) S. Geller, H.J. Williams, G.P. Espinosa, R.C. Sherwood: Bell. System. Tech. J. XLIII, 565. (1964)



## 変圧器付属品(3) 絶縁油劣化防止装置, そのほか

印 藤 義 雄\*・川 中 進\*

### 1. ま え が き

油入変圧器の付属品は、ほとんど油に関連するものが多く、機器本来の機能以外に構造上とくに要求される性能として変圧器鉄心の磁ワイ現象による振動に対する油漏れ、誤動作などのないこと、および屋外に使用されるための耐候性が絶対条件となる。一般に油入変圧器では油の保守が、その変圧器の耐久度を左右するといわれ、このことは付属品に要求される特性が、そのまま変圧器本来の高度の信頼性と性能を発揮するものであるといつて過言でない。

変圧器付属品は変圧器の容量、電圧によって多くの種類のものが使われているが、大きく分けて変圧器の機能上必要な標準付属品と変圧器に特別要求される目的のために必要な特殊付属品に分類できる。

ブッシング、冷却装置、温度計および油面計などが標準付属品であり、特殊付属品としては絶縁油の劣化防止のための各種装置あるいは内部絶縁破壊事故の検出を目的とした SP 形衝撃圧力継電器、ラフホルツ 継電器、さらに油温度または巻線温度を遠隔指示する装置など、個々の変圧器の仕様により多くの付属品が取り付けられている。以下、順を追ってその概要を説明する。

### 2. 油劣化防止装置

油入変圧器が、いつも製作当初と同様の信頼度を保持し、高い絶縁耐力をもって安全に運転するためには、油はつねに新しく注入されたときの性能を維持しなければならない。変圧器油は絶縁と冷却の目的を持っており、その油が劣化することはそれだけ変圧器の耐久度を低下させることになる。すなわち油入変圧器の保守の大部分は、油の劣化を防ぐことにあつて過言でない。一般に変圧器は油の膨張収縮による呼吸作用、いわゆるブリーディングなる現象がある。このため絶縁油は使用中に次第に劣化する。劣化は空気中の水分の吸収や不純物の混入にも原因するが、最大要因は酸化現象である。すなわち空気との接触によって絶縁油が酸化し、この酸化は変圧器の温度上昇、銅、鉄などの金属との接触作用、絶縁ワックスの溶出などによっていっそう促進される。

このほか、分解重合などの化学反応を生じ、油に溶けにくい物質を生じ、これが鉄心や巻線にあるいは外箱内壁や底部などに沈積するようになる。この状態の物質がスラッジと呼ばれるものである。スラッジは耐電圧に直接影響を及ぼさないが、巻線部分に析出したものは油による冷却を妨げ、また放熱器や外箱側壁に析出して冷却を悪くし、油ならびに巻線の温度上昇を増し絶縁破壊に間接的な影響を及ぼす。このように油の劣化防止は変圧器保守管理上、重大な課題であつてその方法として下記のような方式が用

いられている。

#### (1) コンサベータ方式

変圧器に使用する絶縁油の劣化を防止するために変圧器外箱の上部に運転状態における絶縁油の膨張収縮による油の変化量に見合うだけの大きさの貯油タンク、すなわちコンサベータを設け油の空気と接触する面積を小さくし、かつ、変圧器本体の熱油が、直接空気に触れないようにしたものである。吸湿に対してはさらにシリカゲルまたは、活性アルミナを使用した吸湿呼吸器が付属される。

#### (2) 窒素封入方式

これは変圧器外箱の上部の空気の部分またはコンサベータ内部の空気の部分を不活性ガス(窒素ガス)で置換し、油の酸化促進を防止する方法である。この方式を効果的にするためには、油の脱気、脱水が必要であり、このため窒素封入式の油は真空浄油機により処理されている。

#### (3) 添加剤方式

絶縁油が光熱、重金属イオンまたは特定の反応条件下で活性化されて遊離基を生じ、自己酸化を起こす現象があるのでこれらを防止するために、P. B. M., 24. M. 6B, D. B. C. P., などの防止剤を 0.2% から数 % 程度を絶縁油に添加し、絶縁油の劣化を防止する方法である。

#### (4) 吸着剤式

これは、油の酸化、スラッジの発生を防止するほかに、破壊電圧、固有抵抗の特性を良くする効果もあり、割合に簡単に再生できるので開放形、またはコンサベータ方式変圧器に利用して便利である。

#### (5) 密封方式

この方式は、主として中形、小形の変圧器や計器用変成器などに採用される方式で変圧器に油を充填した後、油面上に空間を残したり、またはコンサベータ内に空間を取って密閉し、油温の変動による油面の上昇低下をこの空間で調整する。また、この空間の空気を窒素ガスに置換して密封する方法が最近多く使用されるようになってきた。

#### (6) 隔膜方式

これは、油の酸化、スラッジの発生を防止するためにコンサベータ内で耐油性ゴムを用いて油を外気からシャ断する方式であり、いろいろな構造が考案されている。

#### (7) 金属ペロー式

これは密封式の一方式で油の酸化、スラッジの発生を防止するために金属ペローを用いて外気から完全にシャ断する方式である。

以上のような油劣化防止方法があるが、次に当社で採用している方式についてその概略を説明する。

#### 2.1 ポンベ式窒素封入装置

ポンベ式窒素封入装置は変圧器コンサベータ油面上の空間に窒素を





図 2.1 RV 形 ポンプ式窒素封入装置

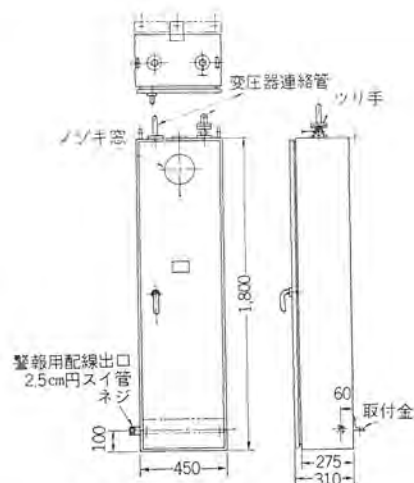


図 2.2 RV 形 ポンプ式窒素封入装置外形寸法図

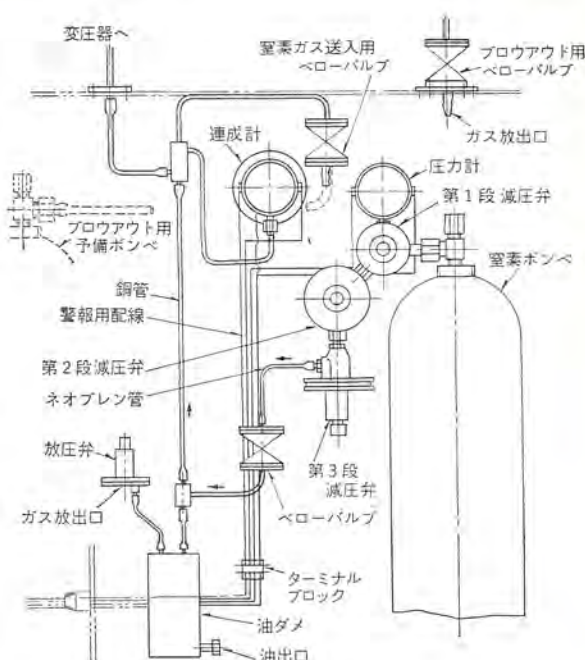


図 2.3 配管図

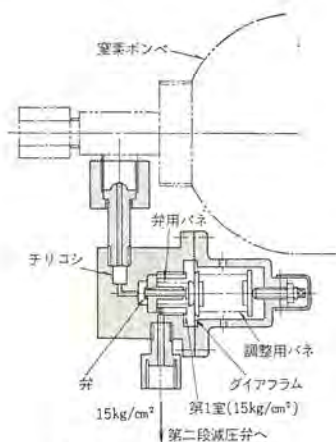


図 2.4 第1段減圧弁

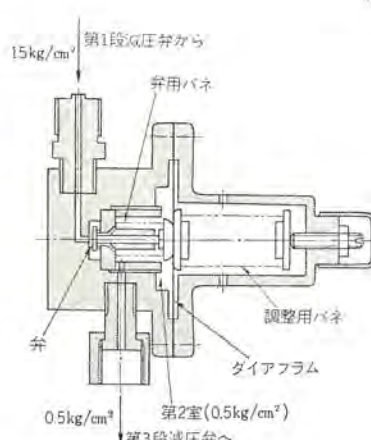


図 2.5 第2段減圧弁

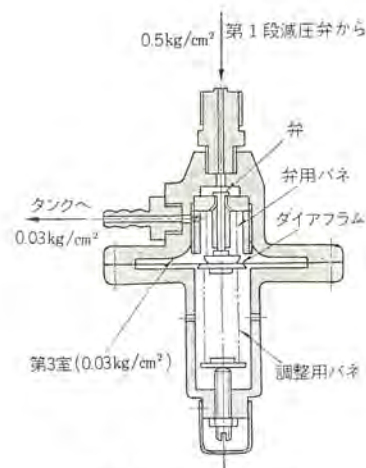


図 2.6 第3段減圧弁

封入し、呼吸作用による窒素の消耗を別の窒素ポンプより減圧弁を経て自動的に補給するもので、つねに新鮮な窒素ガスが充填され、最も完全な窒素封入方式である。この装置は図 2.1 および図 2.2 のような外観をしていて、その内部は下記のもの構成されている。

- (1) 減圧弁 (第1段、第2段、第3段)
- (2) 放圧弁
- (3) バルブ
- (4) 高圧圧力計 (ポンプ圧力指示用)
- (5) 連成計 (変圧器内圧力指示用)
- (6) 油ダメ
- (7) 窒素ポンプ
- (8) 配管および配線

これらの部品を鋼板を溶接して作った外箱に納め、この外箱は次の3種類の取り付け方により変圧器に接続される。

- (1) 緩衝装置を介して変圧器タンクの側面に取り付ける。
- (2) 変圧器とは別に設けた窒素タンクの側面に取り付ける。
- (3) 外箱だけ単独の基礎を作って取り付け。

図 2.3 は箱の中の配管図および配線図である。ポンプから出た

高圧窒素ガス (最高圧力 150 kg/cm<sup>2</sup>) は第1段減圧弁に入って 15 kg/cm<sup>2</sup> (ゲージ圧力、以下同じ) に減圧され、さらに第2段減圧弁に入って 0.5 kg/cm<sup>2</sup> まで減圧され、これがさらに第3段減圧弁に入って 0.03~0.05 kg/cm<sup>2</sup> まで減圧され、バルブを経てコンサベータ内に流入する。コンサベータ内の圧力が 0.03~0.05 kg/cm<sup>2</sup> になると減圧弁は、自動的に閉じて窒素ポンプからの流入が停止する。したがって第3段減圧弁の放出圧力を 0.03~0.05 kg/cm<sup>2</sup> の任意の値に調整することによってコンサベータ内の最低圧力を調整することができる。一方コンサベータ内の圧力が上昇した場合、窒素ガスの補給が停止することは前述のとおりであるが、その圧力は、0.37 kg/cm<sup>2</sup> まで保持され、それ以上になると放圧弁より外部へ放出される。したがってコンサベータ内圧力が、0.03~0.05 kg/cm<sup>2</sup> から 0.37 kg/cm<sup>2</sup> の範囲では窒素ガスの出入はなく密閉された状態にある。以下、この装置に使用されている個々の部品について説明する。

#### 2.1.1 第1段減圧弁 (図 2.4 参照)



ポンペから出た高圧ガスは、第1段減圧弁に入り、まず、チリコシを通り、ここで微細なチリまで全部取り去る。この高圧ガスは、弁が開いている場合、これを通過して第1室に入る。第1段のガス圧力が  $15 \text{ kg/cm}^2$  のとき、ガス圧力と弁用パネの両者がダイヤフラムを押す力が等しくなるよう調整パネは調整してある。したがって第1室の圧力が、 $15 \text{ kg/cm}^2$  以上になるとダイヤフラムと弁との間に間隙を生じ、弁は弁用パネに引かれ自動的に閉じ、ポンペから第1室へのガスの流入は停止する。逆に第1室の圧力が、 $15 \text{ kg/cm}^2$  以下になると、前述の圧力のバランスがくずれ、第1室側の圧力が小さくなるから弁が押し開かれ、ポンペ内のガスは第1室内のガス圧力が  $15 \text{ kg/cm}^2$  になるまで第1室に流入する。すなわちポンペ内の圧力にかかわらず第1室にはつねに  $15 \text{ kg/cm}^2$  の窒素ガスが充滿していることになる。また第1室の圧力が異常に高くなると危険であるうえにダイヤフラムを損傷することがあるから第1室には作動圧力  $20 \text{ kg/cm}^2$  の安全弁を取り付けてある。

第1段減圧弁は高圧であるゆえ、普通のパッキン構造では完全な密閉を行なうことができないため、各接続部はメタルトゥーまたは金属パッキンを使用している。このため各部品は、精度の高い機械加工を施し、材質はほとんど黄銅を使用している。

#### 2.1.2 第2段減圧弁 (図2.5参照)

第1段減圧弁の第1室の  $15 \text{ kg/cm}^2$  窒素ガスは上と同様にして第2段減圧弁で自動的に  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  まで減圧され、第2室には  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  の窒素ガスが充滿している。第2室には作動圧力  $1 \text{ kg/cm}^2$  の安全弁が取り付けられている。

#### 2.1.3 第3段減圧弁 (図2.6参照)

第2段減圧弁で  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  まで減圧された窒素ガスは第3段減圧弁で3回目の減圧を受け  $0.03 \text{ kg/cm}^2$  までさがり、変圧器タンク内に流入する。すなわち変圧器タンク内の圧力が  $0.03 \text{ kg/cm}^2$  以上のときは、減圧弁はいつも閉じているが、 $0.03 \text{ kg/cm}^2$  以下にさがったときに減圧弁が開いてポンペから窒素ガスを補給し、ポンペが空になるまで以上の動作を繰り返すことになる。

第1段減圧弁および第2段減圧弁ではダイヤフラムに加わる圧力が相当高いのでダイヤフラム自体の弾性は性能的に支障をもたらすほどの影響はないが、第3段減圧弁のダイヤフラムは動作圧力が非常に小さいため適切な材料を得ることが重要になってくる。

当社では、放出能力試験、高温長時間の等価経年変化試験などいろいろの実験を重ねた結果、テフロンが一番良好な特性をもっていることを確認し、現在、テフロンを標準として使用している。

#### 2.1.4 放圧弁 (図2.7参照)

これは一種の安全弁であり、タンク内の圧力があらかじめ定められた一定圧力により上昇したとき、パネの力にたいしてダイヤフラムを押し上げ、タンク内の圧力を逃がすものである。標準として、この放圧

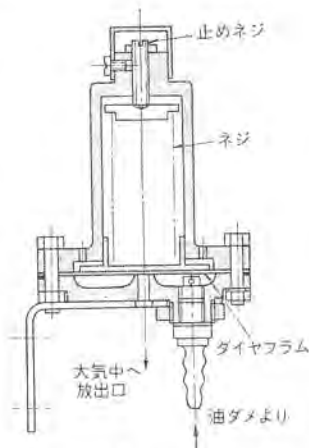


図2.7 放圧弁

弁の動作圧力は  $0.37 \text{ kg/cm}^2$  に設定してある。

#### 2.1.5 連成計の指示圧力

連成計はコンサベータ内の圧力を指示する。コンサベータ内の圧力は自動的に  $0.03 \sim 0.37 \text{ kg/cm}^2$  調整されるが、この連成計の指示により窒素封入装置が順調に作動しているかどうかを点検することができる。すなわち、変圧器本体の油温に比例して前述の圧力範囲内を指示するときは正常であるが、油温変化に対応して圧力が変化しない場合、ガス漏れ、または減圧弁の故障であることがわかる。連成計には警報接点がついていてコンサベータ内圧力が  $0.4 \text{ kg/cm}^2$  または  $-0.17 \text{ kg/cm}^2$  になったとき警報を発するようにになっている。

#### 2.1.6 圧力計の指示圧力

これはポンペ内の圧力を指示する。この圧力も窒素封入装置の作動状況を確認するために重要なものである。窒素封入装置が順調に動作しているときはポンペ1本 (7,000 l) の寿命は約6ヵ月ないし2年である。圧力計には  $15 \text{ kg/cm}^2$  のところに警報接点を設け、ポンペ内の圧力が  $15 \text{ kg/cm}^2$  以下にさがったとき、ポンペ取り換え準備の警報を発する。しかし、減圧弁はポンペの圧力がゼロになるまで作動するから  $15 \text{ kg/cm}^2$  になってもただちに切り換える必要はない。

#### 2.1.7 フロアウト用バルブおよび窒素ガス送入用バルブ

これは変圧器タンク内の空気と窒素を置換するときに必要な部品である。フロアウト用バルブを開いてからタンク内の油面を静かに上昇させるとタンク内の空気はこのバルブを通して大気中に放出される。こうしてタンク内に残っている空気が少ない場合はフロアウト用バルブを開いたまま、窒素ポンペの口金を開くと高圧窒素は減圧弁により減圧されて変圧器タンク内に流入し、タンク中の空気は他の出口から排出される。

タンク内に多量の空気が残っている場合は、フロアウト用バルブを開いたまま窒素ガス送入用バルブにゴムホースを取り付け、ホースの他端は予備ポンペの口金に連結し、窒素ガス送入用バルブを開いてからポンペ口金をわずかに開いて窒素ガスをポンペから直接にわずかに補給する。このとき連成計の指示圧力が  $0.2 \text{ kg/cm}^2$  ぐらいより高くならないよう注意する。

#### 2.2 浮動ガスタンク式窒素封入装置 (GT形)

ガスタンク式窒素封入装置は、コンサベータ内の空間を利用して窒素を封入し、油面の変動に伴う窒素ガスの容積変化に対し、べつにガスタンク式可変容積の窒素調整装置を設置し、配管で接続したものである。(図2.8参照)

この装置の特長は、作動ガス圧力が  $10 \sim 15 \text{ g/cm}^2$  というきわめて小さい値であるからガス漏れ、または油漏れの心配は少なく、またつねに大気圧以上であるから外気を吸い込むことは絶対にならない。空気遮断の封油が少なくても十分な効果を得ることができ、空気室には吸湿呼吸器を通して外気を吸収しているから、封油を通り侵入する空気ないし湿気はわずかで、ほとんど問題にならない。タンク側面に付けてある圧力計では窒素室の圧力を読むことができる。浮動タンクが正常に動いているときは、ほぼ一定値を示すから、ガス漏れまたは浮動タンクの動作不良を早急に発見することができる。

この方式のいま一つの特長は、ガス圧力が低いので従来のコンサ



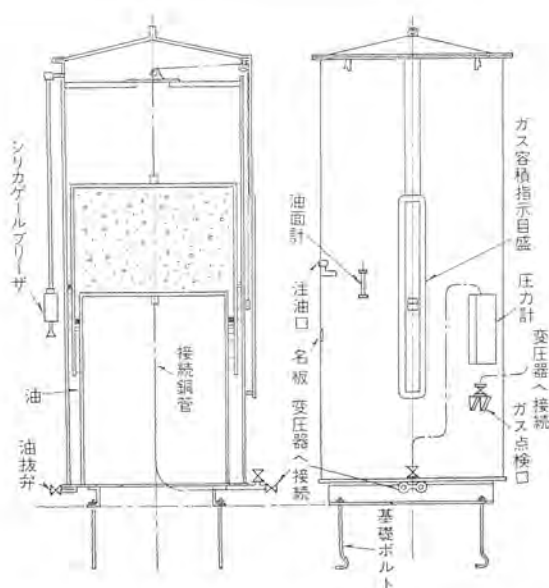


図 2.8 GT 形 ガスタック式窒素封入装置説明図

ベータ式のものは容易に窒素封入式に改造できることである。

そして窒素ガスは一度充填すればガス漏れのない限り、ほとんど補給する必要はない（ただし、変圧器を脱気処理した場合は窒素ガスが油中に吸入され、飽和するのに一年ぐらいかかり、ガス量が漸減するので、当初の一年間は一度ぐらい補給する必要がある。）付属品としてメモリ利用のガス容積計、油面計、圧力計（U字管）、油孔、排油弁、変圧器およびポンプ接続弁、ガス点検弁、吸湿呼吸器（空気室用）基礎ボルト、配管一式、予備ポンプなどがある。当社では、主として小形変圧器に使用しているが、変圧器容量にしたがって数種類のガス容積のものを標準として製作している。

### 2.3 完全密封式窒素封入装置

完全密封式窒素封入装置は、変圧器外箱上部、またはコンサベータ油面上の空間に窒素を封入して密封し、油の膨張収縮による空間の体積の変化によって生じる窒素室の圧力変動が、一定の値以下になるよう窒素室の容積をとくに大きく選定したものであり、コンサベータのみでは容積が不足する場合にはべつに窒素室を設けることもある。図 2.9 は、この装置の概略構造を示す。この装置は図で知られるように構造的には一般のコンサベータ付変圧器とほと

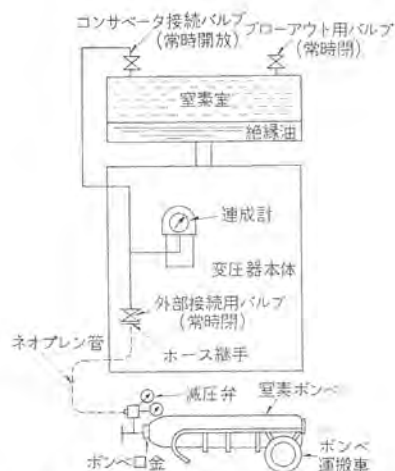


図 2.9 完全密封式窒素封入装置構造図

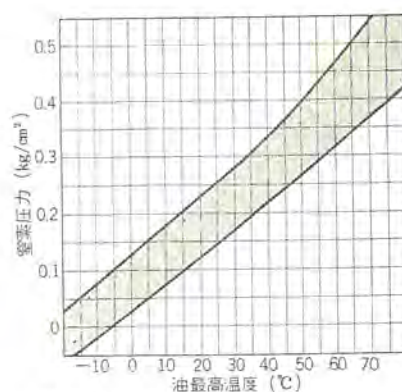


図 2.10 温度—窒素圧力特性曲線

んど変わらないが、とくにガス漏れがないよう注意して製作され、窒素圧力の監視用として連成計および図 2.10 に示すような温度—窒素圧力特性曲線名板が付属している。この装置は、構造簡単で信頼性が高く、保守、点検がきわめて容易である。またとくに小容量の変圧器を除き窒素補給用として窒素ポンプ、小形窒素調整器、接続用ネオプレン管、窒素ポンプ運搬車を一組とした簡易窒素封入装置を付属するのを標準としている。

小形窒素調整器は2段減圧式で元圧用高圧力計（0～250 kg/cm²）と二次圧用低圧力計（0～3 kg/cm²）の二つの圧力計がついている。窒素ポンプから出た高圧窒素ガスは第1段減圧弁で15 kg/cm²に減圧され、使用圧力は圧力調節用押しネジを操作して0.1～1.5 kg/cm²に減圧できる。窒素ガスを充填するときのガスの流量は、使用圧力1 kg/cm²で最大150 l/minである。

完全密閉式窒素封入方式は当社では、主として1,000～10,000 kVAの中容量変圧器に採用している。

### 2.4 ゴム袋式油劣化防止装置

ゴム袋式油劣化防止装置は、コンサベータ内に耐油性の合成ゴム製の袋を設けて空気と油との接触を防ぎ、窒素封入方式と同等の働きを行なわせるものである。その構造を図 2.11 に示す。図の膨張収縮による油量の変化はゴム袋の形状が変化することにより補償するので、ゴム袋はとくに繰り返しの動作に耐えるよう製作されている。油面の指示は、油面計用コンサベータに設けられたゴム袋により油面計室へ主コンサベータの油面の変化を伝える方式を採用している。またゴム袋は、ブリーザを通じて外気と通じており、ゴム袋内に湿気が侵入しないようになっている。

このほか万一ゴム袋が破損して空気がコンサベータ内に侵入した場合は、異常警報装置により警報を発し、またゴム袋の動作状態はコンサベータ側面に設けられた監視窓により容易に観察できるよ

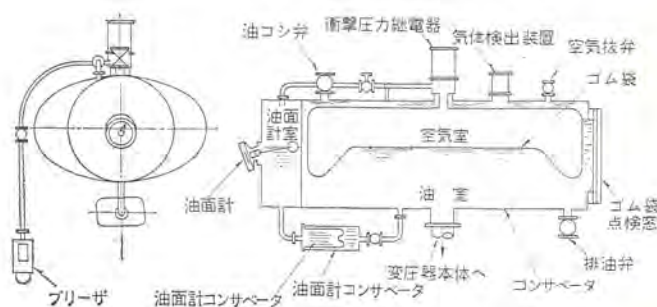


図 2.11 ゴム袋式油劣化防止装置説明図



うになっている。

## 2.5 吸湿呼吸器

変圧器は温度の変化に応じコンサーバ内の油面が上下し、これにしたがって空気が絶えず出入りし、いわゆる呼吸作用を行なっているが、大気中の湿気を吸入すれば油の劣化は促進されるので大気呼吸通路に吸湿剤を配置し吸入空気中の湿気をできるだけ防止して油の劣化を少なくする目的で吸湿呼吸器が用いられる。もちろん窒素封入装置の場合は不要である。この装置の要点は吸湿剤の寿命を長くするよう大気中からシャ断させ吸入空気中の湿気のみを除去するようにする点で、当社では図2.12のように、ビニルスポンジフィルタと油および粒状シリカゲルを用いて大気とシャ断しており、これは防じん作用も兼ねている。

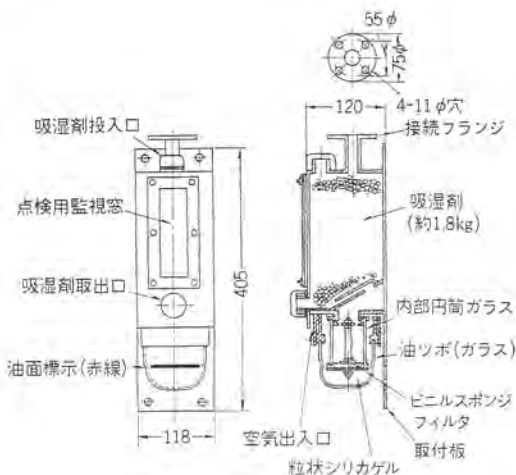


図 2.12 吸湿呼吸器

吸湿剤としては、当社では青色に着色したシリカゲルを標準として使用し、この変色をもって吸湿の尺度としている。これは、ガラス窓により外部から容易に監視できる。吸湿したシリカゲルは、ブリーザから取り出し鉄そのほか適当な容器に入れて150～200℃で10～20分間カッパしながら加熱すると吸湿した水分を蒸発放出して青色に戻り再生することができ、繰り返し使用することが可能であるから、常時点検し、少なくとも一年に一度は取り換える必要がある。

## 2.6 活性アルミナによる油の劣化防止(吸着剤式)

絶縁油は、前述のごとく負荷による温度上昇、大気中の水分ならびに酸素の作用をうけて電気絶縁性、冷却能力などの絶縁油としての性能がしだいに劣化してくる。このため劣化度が一定基準に達した場合は、新しい油との取り換えあるいは、更生処理を行なわなければならない。また積極的に劣化を防止し、使用期間の延長をはからなければならない。このように油の更生と劣化防止の両方の目的に使用でき、また、日常の保守の簡単なことで、近年小、中容量変圧器には吸着剤を充填した劣化防止装置を変圧器に取り付けられることが多い。これは、吸着剤により油中に含まれている、有機酸および油溶性不純物ならびに水分を吸着、除去させることにより油の劣化促進を防止させる方式である。この目的に使用される吸着剤として活性アルミナがある。活性アルミナは水酸化アルミニウムを原料として特殊な方法で造粒、活性化されたもので $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ で表わされる。各粒子は、結晶全体に分

布した無数の超微細な毛管をもった多孔性物質であり、広大な表面積による強い吸着性を有している。

この活性アルミナをトリタ(活性アルミナを収納する箱)に収納し変圧器本体の側面に取り付け変圧器内の油の対流作用によって油が活性アルミナ層を循環するようにしたものが、活性アルミナによる劣化防止方式である。(アルソ式劣化防止方式といわれているのは商品名である)

このようにこの方式は他の劣化防止方式に比べ構造が簡単であり、現在のところでは、とくに活性アルミナが油に与える悪影響というものは見られない。一般に電力用変圧器では、負荷使用条件によりいくぶん異なるが、だいたい1～2% (油100kgに対して活性アルミナ1kgを1%と呼ぶ)を充填することにより、約10年間は再生あるいは取り換えるの必要がなく使用できる。活性アルミナは油中の浮遊水分を吸着し耐圧、固有抵抗を徐々に改善する。酸価の方は若干さがり気味になるが、活性アルミナが吸着すべきものが初めから少ないのでそれほど目立たず、徐々に劣化していくものを吸着するものである。ただし、数年後いずれは飽和点に達する酸価が進み出したら飽和点に達したものと判定する(これは新油を使用した場合で1年に1回油の点検を行なう)。

## 2.7 変圧器油の劣化判定

以上述べてきたように変圧器の絶縁油の劣化を防止するためにいろいろの方法が講じられているが、いまだに完全劣化防止策はない状態である。そこで絶縁油の保守のためにその劣化程度を判定しなければならない。

絶縁油の劣化判定方法としては、従来から行なわれている耐電圧の測定の外に酸化度、固有抵抗、 $\tan \delta$ 、表面張力などを測定し総合的劣化度を判定することが望ましい。

### 2.7.1 酸化

新油の場合の酸化は0.02以下である。酸化が0.2未満の場合は再生が望ましい状態であり、とくに超高压の場合には、再生する必要がある。ただし、30kV以下の変圧器においては0.3まで良い。0.2～0.5では、なるべく都合をつけて再生または取り換えなければならない限度であり、0.5を超過すれば、早急に再生または取り換えさせなければならない。

### 2.7.2 固有抵抗

酸化と固有抵抗の関係は測定点のバラツキが大きいため判定基準は目安程度に考えればよく、むしろ水分、湿気の影響のチェックに有効である。

固有抵抗は $1 \times 10^{12} \Omega \text{ cm}$ 以上は良好であり、 $1 \times 10^{11} \sim 1 \times 10^{12} \Omega \text{ cm}$ 程度は要注意、 $1 \times 10^{11} \Omega \text{ cm}$ 以下は不良である。

### 2.7.3 界面張力

これは、最も新しい判定法であり、スラッジ発生については、鋭敏な反応を示すので劣化判定には最も適したものであるが、難点は測定に手間がかかる。

この場合の判定基準は19 dyne/cm以上については良好(スラッジ析出なし)であり、16～19 dyne/cmまでについては要注意(スラッジが析出することあり)、16 dyne/cm未満のものは不良(かならずスラッジが析出する)である。

### 2.7.4 耐電圧

耐電圧は、従来30kV以上で規定されていたが、変圧器の形態



の変遷、高電圧使用に伴ない油の規定値も次のように規定することが望ましい。すなわち 60 kV 以上の変圧器で窒素ガス封入のものは 35 kV 以上、その他のものは 30 kV 以上、また負荷時タップ切替器開閉装置室については 20 kV 以上とする。

### 2.7.5 誘電正接 ( $\tan \delta$ )

絶縁油の劣化判定法としてはあまり利用していない。むしろ機器全体としての  $\tan \delta$  を判定の基準としているが、油自身としては次のものが目安となる。0.5% 未満は良好、0.5~2.0% は要注意、2.0% 以上は精密検査を必要とする。(ただし 20°C、50 c/s、1,000 V) 以上のような判定基準によって絶縁油の劣化判定をするのが理想的である。

## 3. 変圧器の保護装置

最近の電力用変圧器は材料、設計法、工作法の著しい進歩によって信頼度は非常に高くなってきつつあり、また回転機に比べて静止器であるため、その事故率もきわめて低いものであるが、変圧器は送電線、配電線に直接に接続させるために線路から侵入する衝撃波、動揺波、故障電流の脅威につねにさらされており、完全な無事故を望むことは不可能であって、電力系統上、変圧器の占める重要性を考えれば、万全の保護装置は絶対に欠くことができない。近年とくに系統の電圧、容量はますます大きくなる傾向にあり、故障電流が大きく、系統に与える影響も大であるから適当な保護装置により、事故発生時変圧器をできるだけ早く回路からシャ断して系統の安定を保つとともに、変圧器自体も事故の拡大を最小限に止めなければならない。

### 3.1 保護方式の分類

変圧器の事故は大別すると持続的負荷による異常温度上昇、巻線、リード、タップ切替器などの絶縁破壊、ブッシングの絶縁破壊、鉄心の積層間絶縁破壊、絶縁油の異常劣化、油面低下、窒素封入装置の故障、付属品主として冷却器の故障などに分類することができるが、これらの故障のうちすみやかに回路をシャ断する必要があるものとただちにシャ断する方式ではかえって有害であり、適当な警報装置を付けて運転員に警告する方法が良い場合があり、それぞれに適した保護装置を付ける必要がある。

現在用いられているいろいろの保護装置を分類すると、概略次のようになる。

#### (1) 内部事故に対する保護装置

(a) 電氣的保護方式：過電流継電器、差動継電器など

(b) 熱的保護方式：温度計、抵抗式温度継電器など

(c) 機械的保護方式：ブッフホルツ継電器、圧力継電器、放圧警報装置など

#### (2) その他の事故に対する保護装置

(a) 熱的保護方式：冷却ファン、ポンプの過負荷シャ断器、停電警報器

(b) 機械的保護装置：警報接点付油面計、油流継電器、断水継電器

次に各保護装置についてその概略を述べる。

### 3.2 衝撃圧力継電器

油入変圧器の内部で絶縁破壊を起こすと、二次的に熱および油中アークのため絶縁物や油が分解し、多量の分解ガスや油の蒸気を



図 3.1 SP 形衝撃圧力継電器の外観

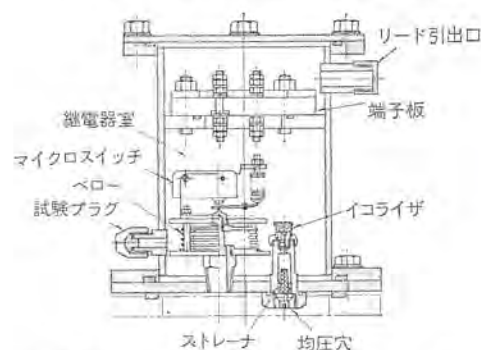


図 3.2 SP 形衝撃圧力継電器の内部構造

発生し、タンクの内圧が急激に上昇するからタンク側壁またはコンサバータガス室部分に圧力継電器を取り付けられ、内圧上昇を機械的に検出して変圧器をシャ断することができる。しかし、最近の電力用変圧器は、絶縁油の劣化を防止するために窒素封入方式または完全密封式をとる場合が多い。このときは封入ガスと絶縁油は温度変化により膨張収縮するために常時でも内圧が相当大幅に変動するから圧力継電器の感度を高くすると、周囲温度が高くなって常規運転中でも誤動作する恐れがあるため感度をある程度落さなければならない不利があり、事故拡大を防止し、故障の早期発見の目的に反することになる。この欠点を補い、常規運転による内圧変化には無関係で、異常圧力のみを検出する構造にしたのが衝撃圧力継電器である。図 3.1、3.2 は、その外観および構造図である。容器は鋼板を溶接したうえ、機械加工を施し、各部のパッキンを吟味して気密にしてある。内部にはマイクロスイッチ、ベロー、イコライザ、端子板および試験プラグが取り付けられている。とくに、ベローとイコライザの特性はそのまま継電器の特性に大きな影響を及ぼすため、ベローの材質は十分検討し、経年変化のないベリリウム銅板を使用している。またイコライザは非常に小さな穴であるため、異物が侵入しないようストレーナを設け、この継電器に最後に組み込み、組立中の異物の侵入に対しても極力注意している。この継電器は油入変圧器のガス室部に取り付けられ、常時運転中はその内圧が緩慢に変動しても、変圧器ガス室内の圧力と継電器内の圧力とはイコライザを通じてつねに等しい圧力となるから継電器は動作しない。内部事故でガス室内圧力が急激に上昇した場合は、継電器内はイコライザの抵抗のため圧力上昇が遅れ、ベローの内外面に圧力差を生じて膨張し、マイクロスイッチを閉じる。すなわち、イコライザの抵抗効果のために内部事故が大きく、圧力上昇が速いときは短時間で継電器が動作するという反時限性を持たせ



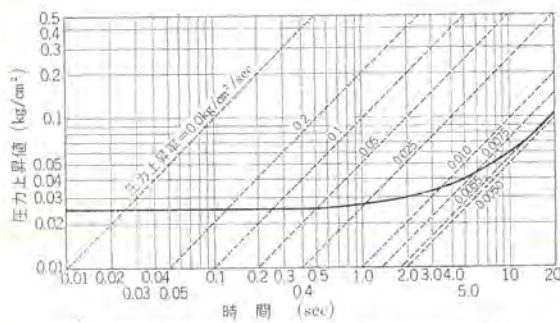


図 3.3 SP 形衝撃圧力継電器の動作特性曲線

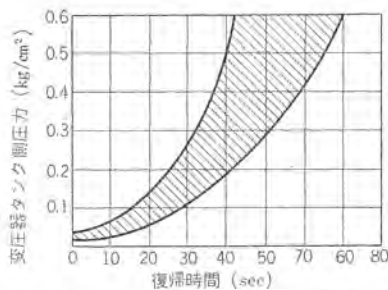


図 3.4 試験プラグによるチェックの時の圧力時間曲線

るとともに常時の内圧に無関係に感度を上げることができる。図 3.3 はこの継電器の特性を標準整定した場合の動作特性曲線である。この図における破線と太い線の交点の横軸によってそれぞれの速度の圧力上昇を与えた場合のマイクロスイッチが動作するまでの時間を示す。たとえば、いま変圧器タンク側に  $1.0 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$  圧力上昇が起こった場合は約 0.025 秒後にマイクロスイッチが動作し、同様に  $0.1 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$  の圧力上昇の場合は約 0.25 秒後に動作することを示している。すなわち、この程度に急激な圧力上昇のときは、イコライザの抵抗はほとんど無限大になり、圧力上昇と動作時間は反比例する反時限性となるが、圧力上昇が  $0.01 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$  程度に遅くなると、イコライザの効果が現われて動作時間は長くなる傾向となり、さらに  $0.005 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$  以下の緩慢な圧力上昇のときはイコライザの抵抗はほとんど 0 となり、絶対圧力がどんなに高くなっても継電器は絶対に動作しないことを示している。常時運転中の変圧器で内圧変動の一番大きい完全密封式変圧器でも、この変動速度はこの継電器の最低圧力上昇速度よりもはるかに緩慢である。またこの整定の継電器を標準形式の外鉄形変圧器に取り付けた場合、故障電流が少なく最も検出し難い巻線間短絡事故を仮想して計算しても 1/5～1/2 秒後には確実に動作し、さらに大きな内部事故では反比例的に動作するという結果を得ている。この継電器が正確な動作特性を維持しているかどうかは試験用プラグを用いて現地で簡単に点検することができる。図 3.4 は試験プラグによるチェックのときの圧力時間曲線で、斜線の部分に入っていれば良好である。

### 3.3 ブッフホルツ継電器

上に述べた衝撃圧力継電器とともに、内部事故に対する機械的保護装置の一つとしてブッフホルツ継電器が古くから使用されている。変圧器が内部事故を起こすと前述のごとく二次的にタンクの内圧が異常に上昇する。ブッフホルツ継電器はこの二次的現象によって動作する機械的保護装置であり、変圧器タンクとコンサバ



図 3.5 ブッフホルツ 継電器

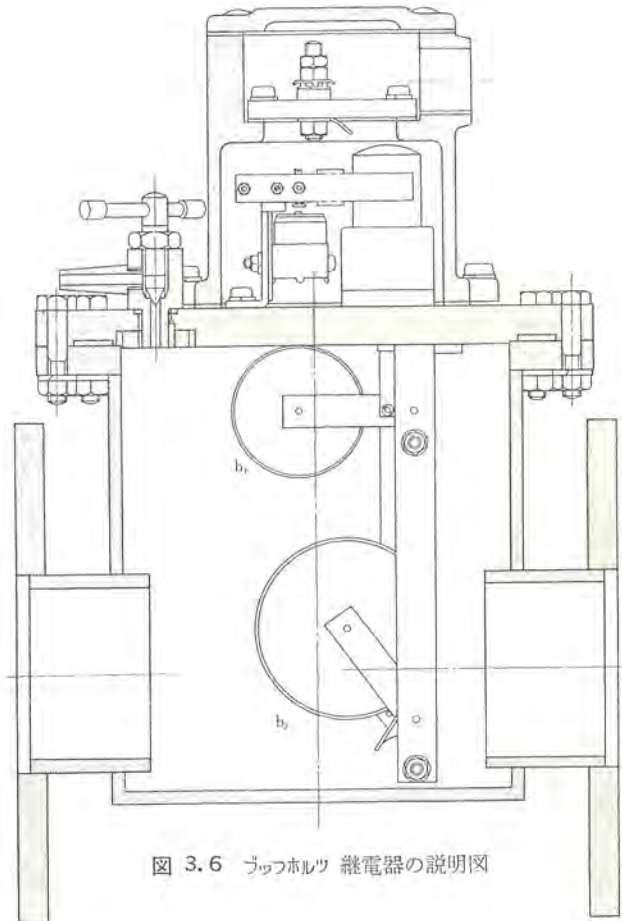


図 3.6 ブッフホルツ 継電器の説明図

をつなぐ連絡管の途中に取り付けられる。図 3.5、3.6 はブッフホルツ継電器の外観および断面図である。この継電器には従来、水銀接点を使用していたが、変圧器からの強制振動によってガラスカラム中の水銀接点が誤動作することもあり、また接点からのリードの絶縁破壊の可能性もあるため、全面的にマイクロスイッチによる接点構造にしている。絶縁物の局部破壊、鉄心積層絶縁の破壊などで分解ガスが徐々に発生した場合、この気泡がコンサーバの方へ上昇するが、これをブッフホルツ継電器のガス室内に集積すればガス室内の油面が低下するから小浮子  $b_1$  は下降し、マイクロスイッチの接点を閉じ、警報を発する。また急激な故障の場合は内圧上昇のため油がタンクからコンサーバへ吹き上げる力によって大浮子  $b_2$  を押しもう一つのマイクロスイッチの接点を閉じ主回路をシャ断する構造になっている。この継電器の特長は、巻線事故のほか鉄心の積層間絶縁破壊、油面低下なども検出でき、また第1段接



点により初期の比較的軽微な局部事故を早期に発見できるうえ、ガス室のガスを分析すればある程度故障状態を判断しようという利点を持っているから衝撃圧力継電器と併用すればさらに完全に保護の目的を達することができる。

### 3.4 放圧板破壊装置

油入変圧器の内部事故発生時のタンク内圧上昇によるタンクの変形破裂を防ぐために放圧装置を設ける。放圧動作は普通の場合放圧板（バースティングプレート）が内圧で破裂することにより行なうが、この装置を機械的に検出すれば放圧警報装置として警報することができる。図3.7は、この装置の構造を示す。この装置は変圧器の放圧管に取り付けられる。この装置は主として中形、大形変圧器に使用されるが、変圧器の容量によって放圧管の内径が変わるため、これに合わせるために内径を160, 200, 250, 300φの4種類を標準としている。各接続部はパッキンを十分検討して取り付けであり漏れの心配はない。また内面には耐油処理を施してある。

この装置は放圧管内部圧力  $0.85 \text{ kg/cm}^2$  を動作点として調整してある。平常状態では放圧管内部圧力はベロースを通じ、圧力調整バネと平衡状態を保ち、引はずし軸は上部に押し上げられ、図の状態となっている。放圧管内部圧力が異常に上昇し、 $0.85 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\pm 5\%$  の範囲内になると、ベロース内の圧力は、圧力調整バネに打ち勝って引はずし軸は矢印の方向に移動し、止めのはずれた作動軸は押しバネの力により確実に放圧板を破壊する。

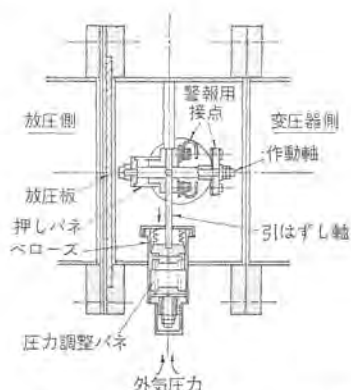


図 3.7 放圧膜破壊装置

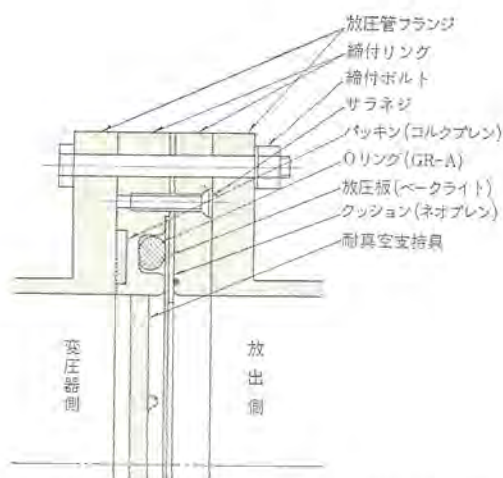


図 3.8 耐真空0リング式放圧膜締め付け構造図

それと同時に警報接点を閉じ警報を発するようになっている。

放圧装置としていま一つの方法は放圧管の先端にマイカルタ板を図3.8の状態に組み込んで使用するものがある。当社ではこれを0リング式放圧板と呼んでいるが、この装置では機械的に放圧板を破壊するのではなく、放圧板の強度をそのまま利用したものであるから、放圧管の内径によって板厚を変えている。また板が非常に薄いので、締付圧力の不均一も破壊値に影響するから、片締めのないよう十分注意して取り付けしている。当社では、この形の放圧板として放圧管の内径に合わせ200, 160, 130φを標準として製作している。0リング式放圧板の破壊値は  $0.7 \text{ kg/cm}^2$  となるよう設計している。放圧板破壊装置よりわずかに低い値をとっているが、前述のように放圧板自身の強度で破壊するため、吸湿、製作上の精度にある程度バラツキがあるため、安全性をもたせて決定したものである。放圧板破壊装置には、耐真空用支持金を付けてあるから、変圧器に真空注油する場合も、盲ふたを取り付ける必要はない。従来0リング式放圧板には耐真空支持金が無かったため、変圧器脱気注油の場合いちいち盲ふたを取り付けていたが、最近その構造を改良し耐真空支持金を施し、現地で脱気注油する場合でも、そのままこの状態でできるようになった。

### 3.5 遠隔温度指示装置

一般に油入変圧器では、熱容量の大きな絶縁油が多量に充填されているため、変圧器が急激に過負荷運転に入っても、油の温度は短時間にさほど上昇しないのに対し、巻線と油の温度差が相当に大きくなって危険状態に達する場合がある。このため、変圧器の保守にあたっては、油温度のみを監視するだけでは不十分で巻線の最高温度によって変圧器の運転状態を判断することが必要である。当社では巻線温度指示装置としてサーチャイル 形遠隔温度継電器を用いているが、図3.9はその構造および結線を示す。

サーチャイルとしては温度係数が大きい白金線を用い  $0^\circ\text{C}$  において  $50 \Omega$  の抵抗を持つサーチャイルを標準として製作している。ブリッジ回路はサーチャイルの抵抗値が  $50 \Omega$  のとき、すなわち、温度が  $0^\circ\text{C}$  のとき平衡するようになっている。このとき回路の不均衡電流はゼロであり、温度が上がるにしたがってブリッジの平衡が破れ不均衡電流が流れる。この電流値を温度に換算して目盛であるから温度を直接読むことができる。

サーチャイルは変圧器本体の油最高温度部分（通常タンク上端部）に埋設し、さらにサーチャイルを変圧器電流に比例した電流のヒートコイルにより加熱させることによってサーチャイルを巻線に直接々触させると等価的に巻線の温度を監視することができる。サーチャイルの接続回路の往復抵抗値は温度指示誤差の一部となるので  $0.5 \Omega$

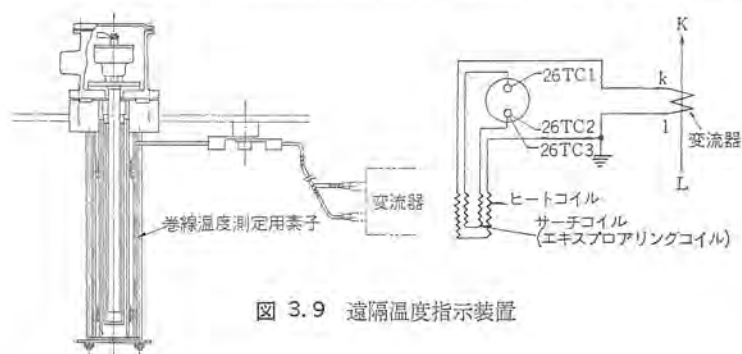


図 3.9 遠隔温度指示装置



に押える必要がある。

### 3.6 X-6 形温度継電器

変圧器のタンク側壁に取り付け、負荷の状態に応じて変圧器巻線温度（または油温度）が変化した場合、その温度により冷却装置を自動的に制御するとともに変圧器の熱負荷あるいは巻線（または油）温度を指示し、異常温度上昇時はシタ断回路を閉じて変圧器を保護する構造となっている。図 3.10 はこの装置の外観を示す。この継電器は変圧器の最高油温部に取り付け、遠隔温度指示装置と同様にヒートコイルにてその感温部を加熱することにより、巻線温度を検出する。この温度により、感温部に内蔵されたバイメタルは指針を回転させ前述のごとく変圧器巻線温度を指示するとともに、指針軸に取り付けたカムにより No. 1 スイッチは  $65^{\circ}\text{C}$ 、No. 2 スイッチは  $70^{\circ}\text{C}$ 、No. 3 スイッチは  $90\sim 105^{\circ}\text{C}$  にて閉閉させるよう設定してある。この 3 個のマイクロスイッチの内 No. 1、No. 2 は冷却器制御用、No. 3 は警報、またはシタ断用として用いられる。ただし、これらの設定温度は温度上昇方向の動作温度であり、下降の場合は  $5^{\circ}\text{C}$  程度の応差を有し、不必要な動作を防止している。この継電器の主要部はバイメタルとマイクロスイッチであるが、これにはツル巻形を使用しているので回転力が大きく 3 個のマイクロスイッチを動作させるに十分な強さである。またケースは密閉形で気密構造としアルミニウム合金製で耐食処理を施し長期間の屋外使用にも安定した性能を発揮することができる。



図 3.10 X-6 形温度継電器外観

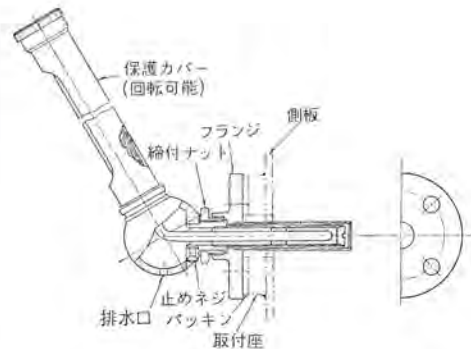


図 3.11 棒状（アルコール）温度計

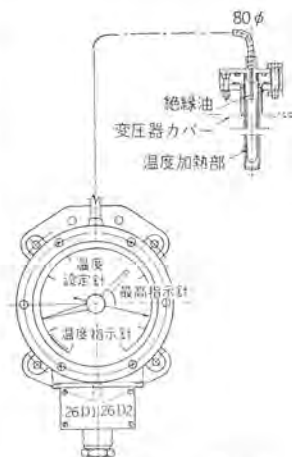


図 3.12 ダイアル温度計

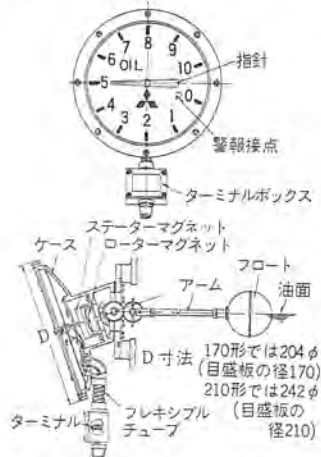


図 3.13 ダイアル油面計

### 3.7 温度計

変圧器の保守は主として巻線温度による方がよいことは前述のとおりであるが、その点検の意味で油温度を監視することは必要である。温度計には、棒状（アルコール）温度計図 3.11 とダイアル温度計図 3.12 があり、ともに変圧器タンク上部の最高油温度を測定するものであり、棒状温度計は主としてダイアル温度計の較正用として使用される。ダイアル温度計は、感熱部、誘導管、指示器、電気接点の 4 部分からなり、指示器には温度指針、最高指針、警報温度設定針を有し、温度目盛は  $0\sim 100^{\circ}\text{C}$  である。ケース内部に異常温度警報用のマイクロスイッチを内蔵し、温度変化による水銀膨張でバルブ管を動作させて油温を指示し、 $80^{\circ}\text{C}$  においてマイクロスイッチを閉じて配電盤で警報を発するようにしており、計器そのものは通常名板の近く、地上より監視容易な場所に取り付ける。棒状温度計、ダイアル温度計とも従来はその感温素子を直接油と接触させていたが、最近では図 3.12 に示すように感温部を二重構造とし、その保護管は外箱にパッキンを用いて気密に取り付けているので、油漏れは完全に防止されるとともに、変圧器の油面をさげることなく温度計を取り換えることができる構造になっている。

### 3.8 油面計（ダイアル油面計）

変圧器の負荷状態および周囲条件によって変圧器の油面が上下することは周知のとおりであるが、変圧器の保守の一つとして油面高さを監視することが必要である。油面計としてはいろいろのものが製作されているが、ここではダイアル油面計について説明する。

ダイアル油面計は変圧器のコンサバタあるいはプッシングの膨張室

に取り付け遠方から油面の監視ができるようにしたもので、その構造を図 3.13 に示す。このダイアル油面計は、内蔵された磁石により、間接的に変圧器内部の油面を外部に伝達し、ダイアル形の目盛板と指針により指示する方式である。その機構は、フロートに内側磁石が組み合わされており、油面の上下に応じてフロートが上下し、これを歯車または直結軸により内側磁石の回転にかえる。内側磁石に対応する外側磁石は、非磁性金属板で完全に油密、気密に隔離された油タンク外にあり、これに指針が取り付けられ、内側磁石の回転をそのまま外部に伝えて油面を指示する。指示盤面には、H. L.  $0\sim 10$  の文字を入れ、最高、最低の指示を行なっている。この形の油面計は指示盤の大きさにより 80、125、170、210 と 4 種類のものを標準として製作している。

## 4. む す び

当社において現在使用している変圧器の付属品類についてこの講座を借りて 3 回にわたりその概要を紹介したが、紙面の関係でいくぶん説明不足の点や一部省略した部品もあるが、できるだけ必要な事項は取りあげたつもりであり、この講座が変圧器を実際運転されるうえになんらかの参考になれば筆者らの幸甚とするところである。

変圧器が年々容量、電圧とも大きくなり、これに使用される付属品も当然それに見合ったものが改良、開発されなければならない現状で、今後そのために大いに努力する所存であり、あわせて関係各位のご支援を切望する所である。



# 新製品紹介

## 業界最高のシャ断容量を有する三菱 NFT 形トライパックシャ断器を開発

当社はこのたび NF 形 ノーヒューズシャ断器に FLT 形限流 ヒューズをコンパクトに装着させ、大シャ断容量をもたせた NFT 形トライパックシャ断器を開発した。

最近低圧配電回路の負荷の増大に伴い、変圧器や発電機の容量を増したり、それらの並列運転を行ったりしてバックパワーを大きくしているため、事故時の推定短絡電流が急増している。NF T 形トライパックシャ断器はその大短絡事故から回路を安全に保護する低圧モールドケースの気中シャ断器である。このシャ断器は NK (日本海事協会鋼船規格) の立会試験を受け承認を得ている。



NFT 形 トライパックシャ断器振動ドリル

### ■ 特 長

- (1) 業界最高の 100,000 A のシャ断容量を有する。内部の限流ヒューズの限流作用により大短絡電流を小さく低減し、シャ断する。
- (2) 過負荷および小電流短絡時に回路の適切な保護を行なう。
- (3) 欠相運転の心配はない。
- (4) 小形軽量かつ取付面積が小さい。
- (5) 取り扱いのうえで安全である。

### ■ 仕 様

形 名		NFT 100		NFT 400	
フレームの大きさ (A)		100		400	
極 数		* 2	3	* 2	3
定格電圧 A.C. (V)		550		550	
定格電流 (A)	周囲温度 25°C	15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 100		125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400	
	周囲温度 45 または 50°C	15, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 100		125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400	
定格シャ断量	A C	NEMA	310 V	100,000	
			460 V	60,000	
			550 V	100,000	
			**NK 500 V	50,000	

\* 2 極シャ断器は 3 極シャ断器の中央極導体を取り除いたものである

\*\* NK の定格シャ断容量は対称電流値である。

## 三菱電気振動ドリル VD-10S-1 形新発売

建築工事などのスピード化に伴うコンクリート、モルタル、タイルなど硬材質の穴あけ作業が急速に増え、電気工事、配管工事、取付工事、据付工事にと、電気ドリルの用途は広がりました。

当社では、このたび、“回転+振動”によりセン孔することのできる電気ドリル VD-10S-1 形電気振動ドリルを開発いたしました。

この製品は、従来の電気ドリルが単に静回転のみにセン孔するのに対し、回転と同時に軸方向の振動に伴う、すなわち“回転+振動”によりセン孔する電気ドリルで、この振動を刃先に与える作用により、セン孔時間を短縮し、とくにコンクリート、モルタル、タイルなどの硬材質の穴あけ作業や石その他の不純物に当たったときにその振動の効果を発揮し、セン孔能力を著しく上げたものです。

しかも普通の電気ドリルとして、鉄工、木工用にも使用でき、操作もハンドルの切り換え一つで簡単にできます。

用途は、コンクリート、モルタル、ブロック、石材などを問わず配線・配管・装飾金具類の取付工事などの穴あけ作業に適しております。

### ■ 特 長

- (1) 作業範囲が広く、セン孔能率が良い“回転”および“回転+振動方式”を採用。
- (2) 確実に操作の容易な回転・振動の切換ハンドル付きですので握りやすく、長時間の使用にも疲れません。
- (3) 強力で寿命の長い、三菱整流子電動機を使用。



VD-10S-1 形三菱電気振動ドリル  
現金正価 円 21,500



(4) 13 mm チャック を取り付けているので、一段大きなドリルまで使用できる。

(5) 保持し易く、作業し易い近代的なデザイン。

(6) 携帯に便利な製品箱つき。

## ■ 仕様

形 名	容 量 (mm)	電 源			出 力 (W)	全負荷電流 (A)	回 転 数 (rpm)		振動回数 (回/分)	重 量 (kg)	付 属 品
		種 類	電 圧 (V)	周波数 (c/s)			無負荷時	全負荷時			
VD-10S-1	銅 10	単相交流  直 流	100	50/60	160	3.1	1,200	800	8,800	4.2	製品箱 1 個
	コンクリート 25.5 レンガ 25.5  (木工にも使用可)										超硬コンクリートドリル 8.5φ 1 個 取付トイシ 1 個 予備炭素ブラシ 1 組

きれいな風……場所もとらない、分解できる扇風機

## 三 菱 扇 風 機 「コ ン パ ッ ク」

扇風機は安定した品質と使いやすい数々の新機構、さらに高く評価されたその造形美により業界における不動の地位を確保するとともに常に業界をリードする新機軸なアイデアを打ち出してきた。

その本質的なアイデアの一つとして40年度扇風機にコンパクトを発表し今後の扇風機否家庭用電気製品の在り方を世に問うた次第である。

「コンパクト」とはコンパクト・パッケージのペットネームで小さく包装するという意味である。最近扇風機は10年前のもの比べると約2倍もの大きさになっている。またその他の家庭用電気製品も非常に普及してきた。

一方住宅は公団住宅で代表されるように狭隘化しつつある。したがってシーズンオフにおけるこれらの保管場所にも困る家庭が増加しつつあることも理の当然である。三菱扇風機はこの消費者の声をいち早くキャッチし前代未聞の小さくしまえる分解形扇風機「コンパクト」を業界のトップを切り卓上扇およびお座敷扇の主力機種として発表したのである。

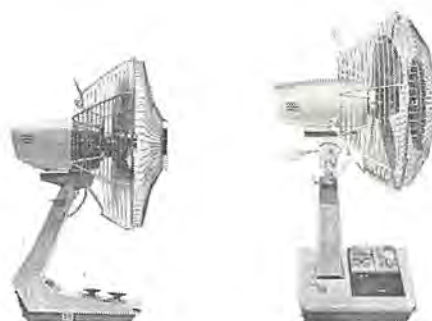
### ■ コンパットの構造

コンパクト・パッケージとするため分解形とした。すなわちガード、羽根を分解し、二つ割の発泡スチロール箱に内装する構造とし、つり手付のダンボール箱で外装しトランク形状となし従来の包装荷姿に比べ3割小さくなるとともに薄形となり保管・運搬効率の大幅な改善がなされた。

(1) ガード、羽根の組立分解は工具不要となし小学4年生程度でも容易に分解組立ができるような簡単な方式を採用した。

後ガードはフレームに大形な締付ナット1個で固定され羽根はスピナーを回すことによりコレットチャックがモータ軸に締め付けられ羽根とモータ軸が一体に結合される。また前ガードは大形なクリップを使用し分解組立がきわめて容易な構造となした。

(2) 発泡スチロール包装の採用はとくに流通段階における荷扱いがその過程の複雑さと取扱数の激増に伴って製品包装に高い耐衝撃性を要求されてきたが39年度に業界に先がけて発泡スチロールによる新しい包装方式を採用し好評を博した。本年度はさらに二つ割発泡スチロール箱に完全内装する方式となし分解式扇風機とあいまって3割荷姿を小さくするとともに従来に比較して2倍以



(左) スポーティー 300  
現金正価 ￥12,800  
月賦正価 ￥13,300

(右) デラックス 300  
現金正価 ￥15,500  
月賦正価 ￥16,100

図1 コンパット



図2 二つ割発泡スチロール箱にすっぽり入ったコンパクト

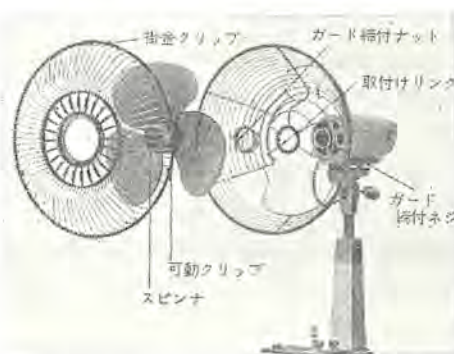


図3 分解構造図





図 4 (a) かさばらず  
持ち運びも便利です



図 4 (b) 従来のもの



図 5 組み立ては簡単、  
お掃除も手軽にできます。

上の落下衝撃に耐え、また シーズンオフ における製品の保管取扱に  
きわめて都合が良い。

#### ■ コンパックの特長

家庭用電気製品の特長を論ずるに従来の消費者の立場からのみ  
でなくむしろ流通段階における利点も十分に強調する必要がある  
と思うので両面からの利点を列挙する。

##### (1) 消費者に対して

a. 保管に場所をとらない—夏たっぷり涼み シーズンオフ にはコン  
パクト にしよう。

しまっておく期間の長い扇風機は外箱の大きさが重要、これが  
3 割も小さく薄形になり保管に場所をとらない。

b. 手入れが容易—ガード、羽根が工具不要で簡単に分解、組立  
ができるから扇風機が汚れても手軽に掃除ができる。とくに羽根、

ガード の清掃性が著しく改善されたことが大きな特長の一つであ  
る。

##### (2) 流通機構に対して

a. 倉庫に 5 割増余分に入る—外箱寸法が 3 割小さくなり、しか  
も薄形になり横積も可能で倉庫に 5 割も余分に入る配達。

b. 持ち帰りも非常に手軽—小形トラックでも 5 割余分に積めるし、  
オートバイ、自転車にも横積で 3~4 台積めるので配達に便利。また  
トラック 形で手でさげられるので急ぎの客には持ち帰りが可能。

c. 人目を引く展示効果—発泡 スチロール の パッケージ に分解した  
状態で展示すればその新機軸に人目を奪うとともに コンパック の特  
長が一目でわかり効果万点。

d. サービス も簡単—訪問、巡回 サービス も手入れが簡単で能率  
があがり従来の 2 倍の家庭を回ることができる。





## ニュースフラッシュ

### ■ 富士山気象レーダ完成記念切手・封筒・ハガキ 発売される

富士山気象レーダ完成を記念して記念切手、封筒、ハガキが郵政省より3月10日に発売された。

この富士山気象レーダは、新聞・雑誌および本誌においてもたびたび紹介(39巻4号富士山気象レーダ特集)されているように当社が気象庁より受注、当社の技術の粋をあつめて、幾多の困難を排し、2年の歳月をかけ昨秋完成させたものである。本年3月10日正式に気象庁に納入し、現在好調に稼動中である。

気象用レーダとしては、世界一の性能を誇り、100 km離れた東京気象庁からリモートコントロールできるという世界で初めての装置を採用するなど、数々のすぐれた特長をもっている。

このレーダの完成により、台風などの気象災害の防止および気象予報に飛躍的な進歩をとげることになった。

発売された記念切手は

種 類	10 円切手 1 種
発 行 日	昭和 40 年 3 月 10 日
意 匠	富士山頂剣ヶ峰の気象レーダ
刷 色	4 度刷
版 式	グラビア
印面の寸法	タテ 22.5 mm ヨコ 33 mm
シートの構成	タテ 4 枚、ヨコ 5 枚の 20 面版
原 画 作 者	大塚均氏(郵政省職員)
発 行 数	2,400 万枚
カ ッ シ ェ	建築工事中の富士山頂気象レーダ 写真および資料提供——三菱電機株式会社



### ■ 八幡製鉄納め 6,000 kW 三相誘導電動機完成

昨年から鋭意製作中であった八幡製鉄東田工場納め高炉 ブロウ用 6,000 kW 2 極の三相誘導電動機を 40 年 2 月好成績をもって工場試験を終了し、3 月初旬に現地据付を完了した。この電動機は 2 極機としては国内最大級のものである。電動機の形式は全閉内冷形で、空気冷却器は電動機ピット内に設けられ、断水などの非常時には開放形としても使用できるような構造にしている。スリッパリング部は、電動・手動式スリッパリング 短絡 ブラシ 引上装置付である。その要目は次のとおりである。

出 力	6,000 kW
電 圧	6,300 V
周 波 数	60 c/s
極 数	2 極
回 転 数	3,570 rpm.
回転子形式	巻線形
絶縁階級	B 種(ダイヤモンド)
給油方式	強制給油
台 数	1 台



6,000 kW 2 極 三相誘導電動機

### ■ CH 形重責務用直流避雷器完成

当社では、昭和 34 年に永久磁石を使用した磁気吹消形 PR 形直流避雷器(軽責務用)を完成し、国鉄、私鉄直流変電所用および車両用として、多数の納入実績を有するが、このほど新しく CH 形重責務用直流 1,500 V 避雷器を完成し、国鉄の京都 s/s、明石 s/s、高崎 s/s、新横川 s/s、熊ノ平 s/s などへ納入した。

CH 形直流避雷器は、放電チャック装置に吹消コイルを用い、吹消コイルによる強力な磁束で、続流アークを耐弧性絶縁物中に引きのばして消弧する方式で、特性表に示すごとく、PR 形避雷器に比べ、放電特性で 15%、制限電圧特性で 30% 低い保護特性を有し、かつ約 5 倍の放電耐量をもっている。このため、外雷のみならずヒューズ 溶断時やシャ断器開閉時などに発生する内雷の処理能力が大きく、変電所だけでなく、車両などの直流回路全般の主要機器の保護に適するものである。



CH 形重責務用直流避雷器特性

			CH 形 (重責務用)	PR 形 (軽責務用)	国鉄仕様 (重責務用) JRS 29103-14AR3
公称電圧			1,500V	1,500V	1,500V
許容端子電圧			1,800V	1,800V	1,800V
放電開始電圧	直 流		4,300V 以上	5,000V 以上	4,300V 以上
		100% 衝撃波 波 頭	5,500V 以下	6,500V 以下	5,500V 以下
			6,300V 以下	7,500V 以下	6,300V 以下
制 限 電 圧	2kA		4,500V 以下	6,500V 以下	4,500V 以下
		5kA	5,500V 以下	7,700V 以下	5,500V 以下
		10kA	6,500V 以下	—	6,500V 以下
放 電 耐 量	衝撃波 4×10 μs タ形波 2 ms		150 kA 2 回	30 kA, 2 回	100 kA, 2 回
			1,200 A 20 回	300 A, 20 回	—
動作 責務 試験	普通動作責務 基準試験	L=2 mH 以下	機圧 1,800V 5,000 A サージ同過各 3 回	機圧 1,800V 5,000 A サージ同過各 5 回	機圧 1,800V 3,000 A サージ同過各 5 回
		L=10~15 mH	機圧 2,000V 5,000 A サージ同過各 5 回	機圧 1,800V 5,000 A サージ同過各 5 回	機圧 2,000V 3,000 A サージ同過各 5 回
	低電圧試験 特別動作責務	L=10~15 mH	機圧 750V 5,000 A サージ同過各 3 回	機圧 750V 5,000 A サージ同過各 5 回	機圧 750V 3,000 A サージ同過各 3 回
		L=20mH 以上 R=0.4 Ω 以下	機圧 1,800V 移行電流 800 A, 10 回	機圧 1,800V 移行電流 300 A, 10 回	機圧 1,800V 移行電流 800 A, 10 回



CH 形重責務用直流 1,500 V 避雷器

また CH 形避雷器は、爆発防止装置を備えており、避雷器が責務外の動作などにより、万一続流遮断不能に陥っても、爆発飛散することはない。この爆発防止装置の構造は、特性要素を直接防爆膜へ接触させる独特の方法を採用しているため、回路短絡電流が数 100 A から数 1,000 A までの範囲にわたって有効に動作する。

このようにすぐれた特性をもっているため、PR 形避雷器とともに直流機器保護用として、今後の適用が期待される。

## ■ 電鉄変電所用レクチフォーム受注

当社では変圧器とシリコン整流器を一体とした新形式の整流装置「レクチフォーム」を昭和 38 年に開発製品化したが、そのすぐれた特性が認められてわずか一年余の間に総計 10 万 kW, 60 万 A に近い製作実績を得るほどのめざましい発展を示した。これらの装置の大部分は電気化学用であるが、そのおもな理由はレクチフォームにより大電流の接続導体や変電所建屋が不要となること、効率が上昇するなど需要家にとって多くの利点があることにあわせて信頼性高い装置として完成されていたからである。

このようにレクチフォームは当初は他の一体化構造の整流装置と同様に電解用の大電流設備を目的として開発されたが、その製作結果の集積とともに電鉄変電所用にもすぐれた特性をもつことが判明した。これはレクチフォームでは変圧器と共通の絶縁油を整流器の冷却に使用しており、かつ基本構造も整流素子の直並列接続への自由度が大きい方式を採用しているので電気化学用で得られた多くの経験が高圧の電鉄変電所用整流装置にも適用できるから

である。

このため電鉄変電所用レクチフォームとして備えていなければならない各種条件が検討され、化学用におけると同様最初から完成した姿に製作すべく準備された結果今回小田急電鉄および南海電鉄よりあいついで受注することとなった。

今回受注したレクチフォームの仕様は次のものである。

### 1. 小田急電鉄 厚木変電所納め 1 台

完全屋外形 全装可搬窒素封入油冷風冷式

交流入力 三相 50 c/s, 20 kV  
直流出力 3,000 kW, 1,500

V, 2,000 A, E 種定格

回路方式 三相ブリッジ結線

### 2. 南海電鉄 今宮変電所納め 2 台

完全屋外形 全装可搬窒素封入油冷風冷式

交流入力 三相 60 c/s, 20 kV

直流出力 2,000/2,500 kW, 600/1,500 V, 3,334/1,667 A,  
D 種定格

回路方式 二重星形/三相ブリッジ結線切換形

いずれの装置においても変圧器の側面にシリコン整流器キューピクルが置かれて組み合わされ交流の高圧入力をつなぐと整流器の端子からはただちに直流が得られる完全な電力変換単位を形成している。変圧器の他の側面には放熱器が付いていて両者の熱を冷却する。このほかコンバータ、タップ切換器、ボウなど必要ないっさいの機器がまとめられてしかも変圧器単独と同じように全装可搬形になっているから、工場で完成したレクチフォームはそのまま輸送して変電所の基礎におくだけで整流装置ができることになる。

レクチフォームの変圧器部は従来と大差ない中身だが整流器との組み合わせを考慮した形に設計されている。整流器部は化学用と同様に軽合金材に整流素子を取り付けその内部に変圧器の油を流通して冷却するから油浸式と異なり素子などは油と無関係に保守できし、変圧器タンク壁に開孔もないから強度的にも安定している。

レクチフォームを電鉄変電所に用いたとき得られる利点としては次のものがあげられている。

(a) 変電所建屋と据付面積が大幅に節約できる。

(b) 据付工事が簡単でその費用も節約できる。

(c) 移動が簡単である。また変圧器と整流器を切り放すことも可能である。

(d) 冷却風を吸入しないから風冷式整流器における保守の手数が簡略化され、周囲環境の悪い設置条件にも適している。

(e) 雨水を吸入しないから絶縁が確実で屋外変電所として安定したものが経済的に製作できる。

(f) 騒音がないから住宅地への設置にも問題が少ない。

このようにすぐれた特性を有しているため他の方面からも多くの関心が寄せられており、今夏に完成するこれらのレクチフォームは電鉄変電所に大きな革命をもたらすものと期待されている。



## 磁気増幅装置を用いた直流電動機制御装置

発明者 北 岡 隆

この発明は単に指令スイッチの開または開操作により、電動機を起動または停止することができ、しかも停止後絶対に逆転することのない磁気増幅器を用いた制御装置を提供するものである。

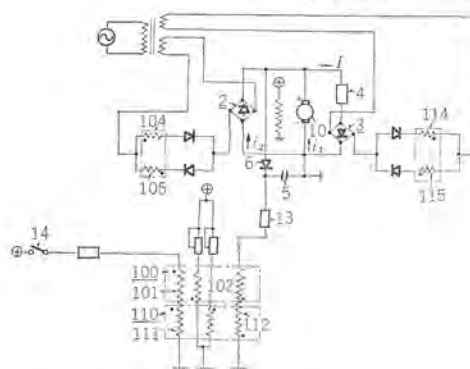
図において (100) は正の入力アンペアターン印加時のみ出力巻線 (104) または (105) に出力を出す磁気増幅器、(110) は負の入力アンペアターン印加時のみ出力巻線 (114) または (115) に出力を出す磁気増幅器である。いま指令スイッチ (14) を閉じると (100) (110) には制御巻線 (101), (111) により正の入力アンペアターンが印加されるから、(100) のみが出力を出し整流器 (2) を介して電機子 (10) に図示極性の電圧を印加する。この時整流器 (3) を介して抵抗 (4) に電流が流れようとするが、電機子抵抗が抵抗 (4) に比べ小さいことおよび起動時の逆起電圧小なることから、電流はほとんど電機子 (10) に流れ電動機は加速される。その後逆起電圧の増加に伴い、整流器 (6) と抵抗 (13) を介して負キ(鎖)還巻線 (102), (112) を付勢するが、制御巻線 (101), (111) によるアンペアターンをこれより大きくしてあるから、(100) が出力を出し続け、電動機は回転を続ける。

次にスイッチ (14) を開くと、負キ還巻線 (102), (112) による入力アンペアターンのみが残るから、今度は磁気増幅器 (110) が出力を出し、整流器 (3) を介して電機子 (10) に図示と逆向きの電圧を印加し、ブレーキ電流  $I$  を流すことになって、電動機を減速する。

この減速とともに磁気増幅器 (110) の出力が小さくなるのを防ぐため、コンデンサ (5) を設けてある。

ところで上記ブレーキ電流  $I$  は図中  $i_1$  と  $i_2$  とに分流しようとするが、逆起電圧  $e$  が電機子電圧降下  $i_1 r$  よりも大きい時は  $i_2$  は流れず、減速されて  $e < i_1 r$  となった後に分流が開始される。したがって停止すれば、 $e=0$  となるからブレーキ電流  $I$  は全部整流器 (2) の方に流れる。このため電動機は停止後絶対に逆転することがない。

(特許第 407466 号) (太田記)



## 直流回路接地継電装置

発明者 森 健・寺田 真

従来この種装置は図 1 のように、正負直流母線間に抵抗値の等しい 2 個の抵抗 (1), (2) を接続し、この接続点 (4) と大地 (5) との間に継電要素 (3) をそう入していた。しかしこの装置は継電要素 (3) に流れる電流の大きさに応動するものであるから、動作値が被保護回路の電圧変動の影響を受ける。

この発明はこの影響を除くもので図 2 のように構成した。すなわち (1) は正母線、(2) は負母線、(3), (5) は  $KR_0(\Omega)$  (ただし  $K < 0.5$ ) なる抵抗、(4) は  $(1-2K)R_0(\Omega)$  なる抵抗、(10), (12) は  $R(\Omega)$  なる抵抗、(6), (7) は継電要素、(8), (9) は整流器である。故障のない時は点 (14) の電位  $>$  点 (11) の電位  $>$  点 (15) の電位であるから、整流器 (8), (9) により継電要素 (6), (7) はいずれも付勢されない。

いま正母線 (1) 上の一点 (13) に  $R_F(\Omega)$  なる抵抗を伴った故障が発生すると、この  $R_F$  が抵抗 (10) と並列状態となる。したがって正負両母線 (1), (2) 間の電圧を  $V$  とすると、(1)-(14) 間の電位差  $=KV$ 、(1)-(11) 間の電位差  $=\frac{R_F}{R+2R_F}V$  となる。したがって (14)-(11) 間の電位差  $=\left(K - \frac{R_F}{R+2R_F}\right)V$  となる。

いま  $K > \frac{R_F}{R+2R_F}$  すなわち  $R_F < \frac{K}{1-2K}R$  なる時は点 (14) の

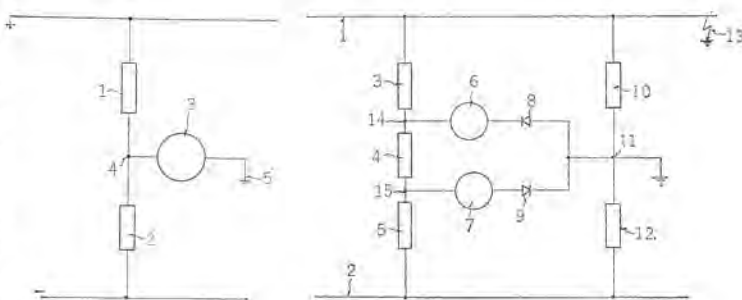


図 1

図 2

電位が (11) の電位よりも低いから整流器 (8) を通して継電要素 (6) が付勢され、逆に  $R_F > \frac{K}{1-2K}R$  の時に付勢されない。すなわち両母線 (1), (2) 間の電圧  $V$  の変動とは無関係に接地抵抗  $R_F$  が一定値以下になった時のみ継電要素 (6) が作動する。

他方、負母線 (2) に故障が発生した時には、上記点 (14)-(11) 間の電位差の関係を点 (15)-(11) 間に置き換えることにより、継電要素 (7) によって上記と同様に検出できる。

(特許第 405612 号) (太田記)

## 回転電機のブラシ揚装置

考案者 宮 野 正 和

この考案は 1 個のクランク軸の回転操作により、短絡環を操作するとともに、ブラシの揚げ下しをも行ないうるようにしたものである。

すなわちアダプタ (1) を貫通してクランク軸 (2) が設けられ、この軸の回転は腕 (3)、コロ (4) およびレバー (5) を介して短絡環 (7) を回転軸 (12) 上に移動させ得る。また上記クランク軸 (2) に



は図 3 (展開図) に示す  
ごとき案内ミゾ (20) を有  
する掣動環 (17) が遊カ  
ン (嵌) されており、クランク  
軸 (2) に取り付けられて  
いる係合子 (21) がこ  
の案内ミゾ (20) に係合し  
ている。また上記掣動環  
(17) には支持腕 (16)、  
保持棒 (15) を介して、  
集電環 (11) と接触する

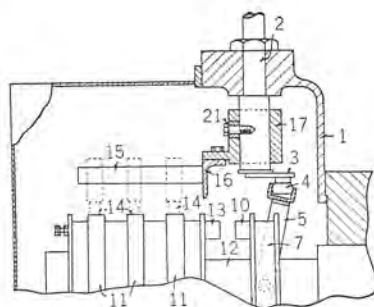


図 1

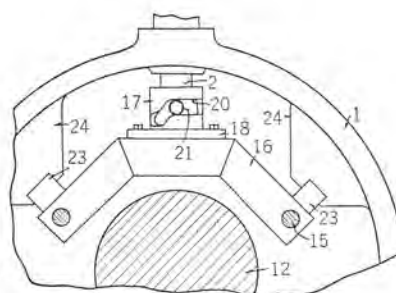


図 2

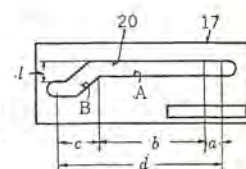


図 3

ブラシ (14) が取り付けられている。 (23) は支持腕 (16) に設けられたストッパであり、アダプタ (1) の突設片 (24) と係合してクランク軸 (2) の回転に追従する掣動環 (17) の不要の回転を阻止するものである。 (10), (13) は短絡環 (7) および集電環 (11) に設けられた接触子である。

いまクランク軸 (2) を時計方向に回転すると、レバー (5) を介して短絡環 (7) を左方に移動し、接触子 (10), (13) を閉合して全集電環 (11) を短絡する。ところでこの (10) と (13) との閉合動作はクランク軸 (2) が図 3 に示す  $(a+b)$  ( $a$  は遊び角) の角度回転したとき行なわれる。この間案内ミゾ (20) は平坦部 A を形

成しているから掣動環 (17) は同一高さを保持する。ところでさらにクランク軸 (2) を回転すると係合子 (21) が傾斜部 B にかかり、掣動環 (17) を上方に  $l$  だけ移動し、ブラシ 揚げ操作を行なう。この操作はクランク軸 (2) を上記角度  $(a+b)$  からさらに  $c$  なる角度回転して、全行程  $d$  が終了した時完了する。

次にこの状態からクランク軸 (2) を反時計方向に回転すれば、上記と逆にクランク軸 (2) が  $c$  だけ回転するとブラシ (14) は集電環 (11) に圧着され、次の  $(b+a)$  なる角度の回転中に接触子 (10), (13) が開離され、図 1 に示す状態にもどる。

(登録実用新案第 709978 号) (太田記)

## クラッチブレーキ装置

考案者 藤 木 博 愛

この考案は、たとえば電気 ホイスト などに使用されるクラッチブレーキ装置の改良に関するものである。

すなわち、図 1 に示すように、同一軸線上においてたがいに対応する駆動軸 (1) と被動軸 (2) のいずれか一方の軸端に、他方の軸端に設けられた突子 (7) と係合する一対の突起 (9)(10) を有する圧力板 (8) を軸方向に可撓動に装着するとともに、上記圧力板 (8) をブレーキライニング (15) に常時圧接して、上記駆動軸 (1) ならびに被動軸 (2) を制動する パネ (13) を設け、かつ上記一対の突起 (9) と (10) との間には、図 2 に示すように、上記駆動軸 (1) の回転時にのみ上記突子 (7) と係合して圧力板 (8) を後退させ、ブレーキライニング (15) から圧力板 (8) を離脱させる V 字形の傾斜面 (16) を設けるようにしたものである。

したがって、この考察のクラッチブレーキ装置は、駆動軸 (1) に駆動トルクが加わっているあいだは駆動軸 (1) および被動軸 (2) の制動を自動的に解き、駆動軸の駆動トルクがなくなると自動的に両軸に制動をかける機能をきわめて簡単に構成し、しかも構成部

品が著しく少ないので安価に提供することができるものである。

(実用新案登録第 716520 号) (土居記)

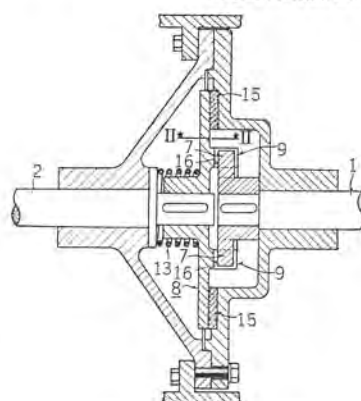


図 1

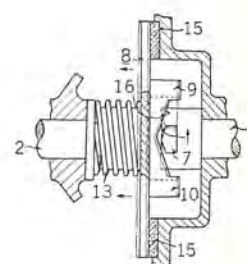


図 2

## ラジオ、テレビなどの押しボタン開閉装置

考案者 高 橋 福 重・柳 川 滋

この考案は、ラジオあるいはテレビ用チューナのチャンネル切換装置などに使用される押しボタン開閉装置の改良に関するものである。

すなわち、図 1 および図 2 に示すように、キャビネット (2) の前面に並列して突出し、手動により個々に上下移動されて開閉動作を行ない、その位置に保持される複数の押しボタン (4)、および上記押しボタンの後方に設けられ、常態では上部各押しボタンによりそれぞれ隠べいされ、押しボタン (4) の押圧操作により露出する文字が記載された表示板 (10) を備えたものである。

したがって、いまたとえば、「8」チャンネルを選局せんとして、その押しボタンを押下げると、図 1 に示すように、表示板 (10) の一部に記載されたチャンネル番号「8」が露出し、押しボタンが前

面板 (1) の内部に隠れても使用中のチャンネル番号が明示されるものである。

(実用新案登録第 705532 号) (土居記)

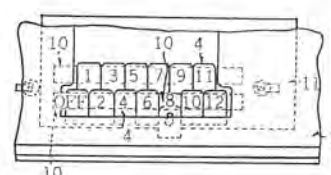


図 1

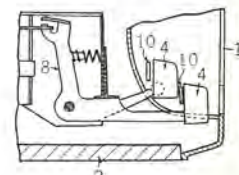


図 2



## 次号予定

三菱電機技報 Vol. 39 No. 6

### 論文

- フィリッピンアンガット P/S 122.2 MVA 変圧器
  - アクスルシヤフト 低ヒズミ 焼入機
  - 三菱E種はん用電動機
  - AISE 準拠 クレーン 用電動機
  - EBA 形電磁ブレーキ
  - ED75 形電気機関車の SCR 制御装置
  - 航空機用超短波無線電話装置
  - 2極直流機の軸内ウズ電流損の計算
  - 30 MeV フィールドバイアス形ベータ管 (2)
  - 空心  $\sqrt{2}$  形ベータ線スペクトロメータの設計
  - 高速ケタ上加算回路
  - 機械による学習
- 技術講座
- SCR インバータとその応用 (その 2)

### 三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅
常任委員	明石精
"	安藤二一
"	石川理一
"	宇佐見重夫
"	大野寛孝
"	小路誠春
"	小堀富次雄
"	鈴木正秋
"	祖父江晴秋
"	中野光雄
"	馬場文夫
"	宮内圭次
"	安松靖彦
"	山田栄一
委員	大森淳夫
"	尾畑喜行
"	樫本俊弥
"	神崎遼介
"	島津大幸
"	堀真

(以上 50 音順)

昭和40年5月22日印刷 昭和40年5月25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12番地 小倉弘毅  
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「三菱電機技報社」  
東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内)  
(電) 東京 (212) 大代表 6111

#### 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) 0912 振替東京 20018

### 本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

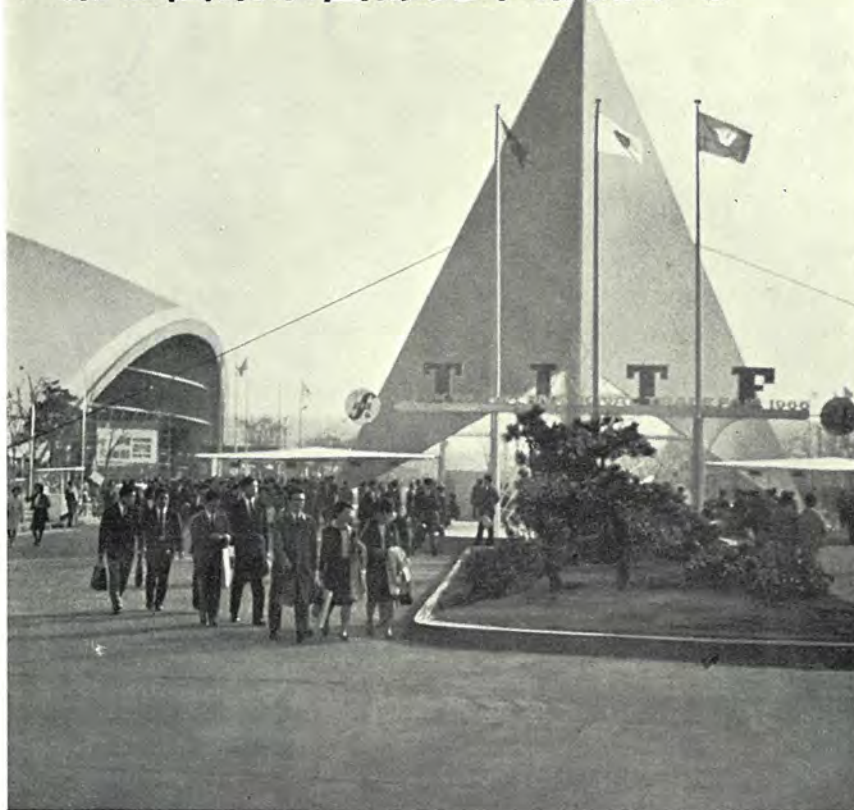
本 社	東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内) (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪営業所	大阪府北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3の88・名古屋ビル (電) 名古屋 (56) 大代表 5311
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番地1号 天神ビル5階 (電) 福岡 (75) 代 表 6231
札幌営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111
仙台営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 代表 6101
富山営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 富山 (3) 代表 3151
広島営業所	広島市八丁堀15番8号 (電) 広島 (21) 代表 4411
高松営業所	高松市鶴屋町45番地 (電) 高松 (2) 大代表 0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2の12・三菱電機ビル (電) 東京 (212) 大代表 6111
大阪商品営業所	大阪府北区堂島北町8の1 (電) 大阪 (312) 大代表 1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3の88・名古屋ビル (電) 名古屋 (56) 大代表 5311
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番地1号 天神ビル5階 (電) 福岡 (75) 代 表 6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 札幌 (26) 大代表 9111
仙台商品営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 仙台 (22) 代表 6101
富山商品営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 富山 (3) 代表 3151
広島商品営業所	広島市八丁堀15番8号 (電) 広島 (21) 代表 4411
高松商品営業所	高松市鶴屋町45番地 (電) 高松 (2) 代表 0001
横浜出張所	横浜市神奈川区沢渡16高島台第2ビル (電) 横浜 (48) 6121~6123
新潟出張所	新潟市万代町69番地 (電) 新潟 (4) 0643
静岡出張所	静岡市七間町9の10・池田ビル (電) 静岡 (53) 代表 9186
北九州出張所	北九州市小倉区京町10の28・五十鈴ビル (電) 小倉 (52) 代 表 8234
長崎出張所	長崎市大黒町3番1号長崎交通産業ビル (電) 長崎代表 (3) 6101
岡山出張所	岡山市駅前町1の1岡山会館 (電) 岡山 (4) 代表 0331
金沢出張所	金沢市幸町13番28号 (電) 金沢 (31) 6213~4
長野出張所	松本市白坂212番地 (電) 松本 (2) 1058・(3) 1453
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
商品研究所	鎌倉市大船782番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目 (電) 神戸 (67) 代表 5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地 (電) 長崎 (3) 代表 3101
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地 (電) 名古屋 (73) 代表 1531
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地 (電) 福岡 代表 0431
福山製作所	福山市沖野上町6丁目709番地 (電) 福山 (2) 代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地 (電) 姫路 (23) 大代表 1251
相模製作所	相模原市小山字久保224の224 (電) 相模原 (72) 大代表 5131
静岡製作所	静岡市小籠110番地 (電) 静岡 (85) 大代表 1111
中津川製作所	中津川市駒場町1番地3号 (電) 中津川 大代表 2121
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (電) 和歌山 (3) 代表 1275
大船製作所	鎌倉市大船800番地 (電) 鎌倉 (6) 代表 6111
郡山製作所	郡山市字境橋町1番地 (電) 郡山 (2) 1220~1223
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 太田 代 表 4311
無線機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字園所1 (電) 京都 西山 (92) 代 表 1141
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 (電) 伊丹 大代表 5131
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 鎌倉 (6) 大代表 6171
稲沢製作所	稲沢市字井之口 (電) 稲沢 (32) 代表 4121
鎌倉製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 大阪 (481) 大代表 8021
相模製作所	東京都世田谷区池尻町437番地 (電) 東京 (414) 代 表 8111
伊丹製作所	三田市三輪町字父々部85番地 (電) 三田 4371~4375

#### ◆抜き刷りご案内

本誌掲載の論文は、抜き刷りを用意しておりますのでご入用の方は、  
「三菱電機技報社」編集部までご連絡下さい。



# 産業界のオリンピック！ 第6回東京国際見本市開かる



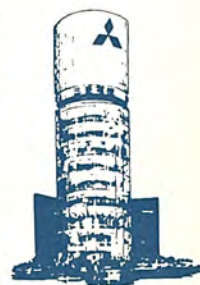
前進を象徴した正面ゲート

第6回東京国際見本市が4月16日～5月6日までに21日間にわたって、東京晴海の国際見本市会場で開かれた。

規模は、会場の総面積 203,884 m<sup>2</sup>、展示面積 111,085 m<sup>2</sup>、展示館数も一般展示館 10、特設館 10 の計 20 館である。

今回の見本市は、日本経済が開放体制になってから1年を経過、その間日本経済の不況、国際競争の激化ときびしい試練を受けた。それだけに日本側、外国側ともこの見本市にかける意きごみはすさまじいものがあり、ソ連キューバなどの初参加国6カ国を加え参加国は30カ国、出品会社は前回を上回る3千社が10万余点の出品をし、従来にない激しい国際商戦を繰り広げた。取引額も230億円に達するものとみられている。

当社も、三菱グループの一環として1号館に各種新製品、新技術を展示し好評を博した。



社会と企業を結ぶPR施設  
三菱電機スカイリング



世界最大の富士山気象レーダの模型  
100 km 離れた東京気象庁からリモートコントロールできる



三菱オートマース  
世界ではじめて体温・脈はく数の測定を自動的に行なう電子検診装置



三菱の産業機器コーナー



三菱電子レンジおよび家庭用電気品コーナー



扇風機コーナー（分解できる扇風機三菱コンパクト）カラーテレビの実演

