

MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

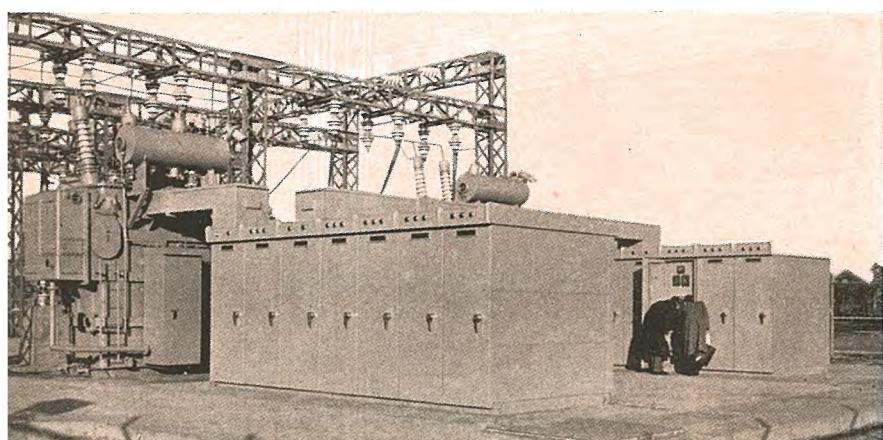


Vol.29 1955

# 三菱ユニットサブステーション

## 特長

1. 建屋の簡略、据付面積が少ない  
屋外メタルクラッド採用により変電所建屋が不要となり、また制御ケーブルはほとんど不要。
2. 人件費の節約  
完全無人遠方監視制御方式とするか、小数の監視人が時々見回るだけでよい。
3. 操作の安全性、高度の信頼度、標準化と互換性  
屋外メタルクラッドは全閉型で遮断器と断路器その他インターロック完備。

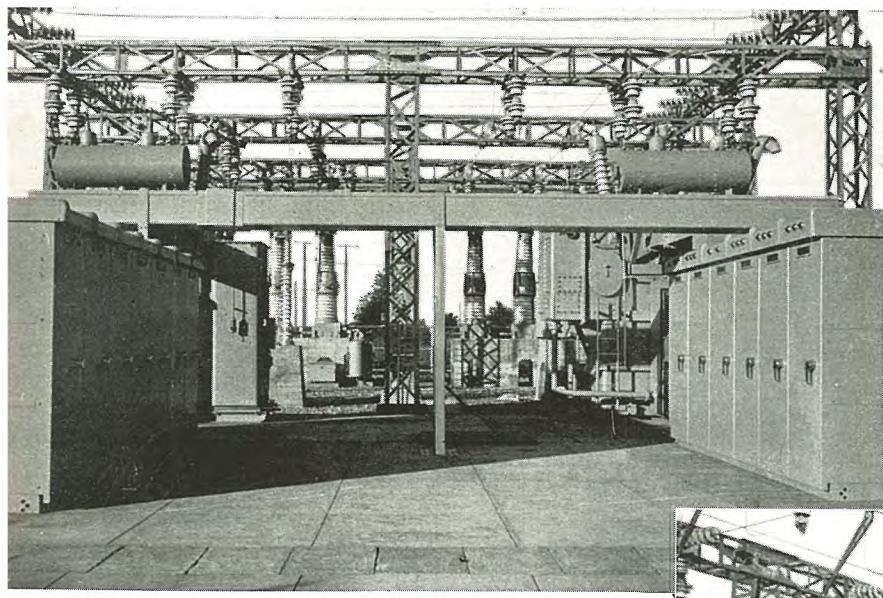


☆ 三菱 W 型メタルクラッド

## 4. 据付期間の短縮

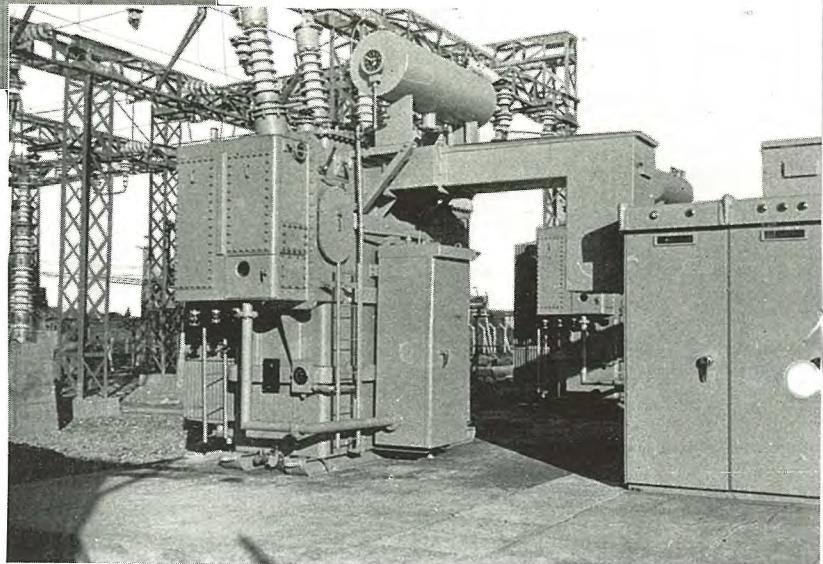
メタルクラッドは製作所で組立および試験済みのものを据付ければよいので、据付が簡単で間違が起らない。したがって拡張が容易で移動性もある。

写真は建設省立川基地納めユニットサブステーション 66 kV/3.3 kV, 2 台 1,500 kVA, 三相変圧器（負荷時電圧調整器付）



☆ 3.3 kV 完全密閉型、連絡用ブスダクト

☆ UR 型負荷時電圧調整器付変圧器および 3kV ブスダクト





MITSUBISHI DENKI

# 三菱電機

## 表紙説明

表紙のベン画は3月から大阪「そごう」デパートにデビューした当社製新型エスカレーターである。両側欄干に透明強化ガラスを張り、その下方から螢光燈照明をしているので、乗っている人が側面から透いて見えるところから「エスカレーター」と呼ばれている。

階段の幅は1,200mmあり2人並んで乗れるので1時間に8,000人の輸送能力がある。お客様を階上へ能率よく案内することは売上を増大させることであり、約2割増加するという。

踏板は8mm間隔のダイキャスト製で下駄がはさまるようなことはなく、また回転部分はすべてボールベアリングかロールベアリングを用い、手すりは当社世田谷工場製合成ゴムを使用している。

盛大な披露式が行われ「騒音がなく、乗心地がよい」と好評を得、その後も大阪で評判の一つになっている。

## 三菱電機株式會社

### 本社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)  
(電)和田倉(20)代表1631・2331  
研究所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町  
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町  
伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
長崎製作所 長崎市平戸小屋町  
飛線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
大船工場 神奈川県鎌倉市大船  
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町  
郡山工場 福島県郡山市宇境橋町  
福山工場 福山市仲野上町  
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町  
和歌山工場 和歌山市岡町  
中津川工場 岐阜県中津市駒場安森  
福岡工場 福岡市今宿青木  
静岡工場 静岡市小鹿110  
札幌修理工場 札幌市北二条東12  
大阪営業所 大阪市北区堂島北町8番地1  
(電)福島(45)5251-9  
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通  
(電)本局(23)6231-5  
福岡営業所 福岡市天神町(三菱ビル)  
(電)西(2)5821-5825  
札幌営業所 札幌市大通リ西3の5  
(電)(2)7236・7237  
仙台事務所 仙台市東一番丁63  
(電)仙台2573・8057  
富山事務所 富山市安住町23の2  
(電)富山4692・5273・2550  
広島事務所 広島市袋町1(明治生命ビル)  
(電)広島中(2)2211~3 2214  
高松出張所 高松市南紺屋町34の3  
(電)高松3178・3250  
小倉出張所 小倉市博労町63(富士ビル)  
(電)小倉3614

昭和30年第29巻第5号

## 目次

### 電子管式アナログ計算機における微分器

および積分器の演算性質に関する一考察 .....菅野正雄(2)

### 艦艇用耐衝撃型ノーヒューズ遮断器の特性

.....鈴木冽・大野寛孝・服部謙・木村紀彦(7)

単相電動機起動用交流電解コンデンサ .....白田長一(16)

電気洗濯機の品質管理 .....伊藤一夫・小島正男(24)

絶縁物の劣化よりみた変圧器の寿命と温度上昇 .....白井万次郎(33)

自動電界模写器による電気機器の研究 .....岡久雄(38)

ニュースフラッシュ .....(43)

最近登録された当社の特許および実用新案 .....(44)

## 品質奉仕の三菱電機

# 電子管式アナログ計算機における微分器 および積分器の演算性質に関する一考察

研究所

菅野正雄\*

## A Note on Operational Properties of Differentiating and Integrating Elements in Electronic Analog Computer

Masao KANNO

Engineering Laboratory

To accomplish the differentiation in the electronic analog computer,  $p$ , a generally called differentiating element alone is not enough for the purpose, and an adding element ought to be jointly used with it. As for block diagrams in solving the differential equations, differential type diagrams without using the integrating elements may be thought out in consequence of the above, but the differential element involves many defects and so, a method without using the differential elements (integral type diagrams) is preferable.

### 1. まえがき

電子管式繰返し型アナログ計算機（以下アナコムと略称する）を用いて、微分方程式の解を求めようとする場合、原理的には、積分（演算）器を一つも使用しない方式、微分（演算）器を一つも使用しない方式およびその混合方式が考えられる。

しかし、積分器にくらべ微分器には欠点の多いことが一般に認められていることと<sup>(1)</sup>、微分演算子  $D$  とヘビサイド演算子  $p$  を同一視して、微分器の誤った用い方をするおそれがあることなどの理由によって、少くとも繰返し型での微分方程式解法には、やむを得ない限り、微分器は使わない方が賢明であることを例を挙げて説明する。

### 2. 演算子の定義

微分および積分演算子をつぎのように定義する。[詳細については文献(2)を参照のこと]

微分演算子:  $D \cdot \equiv \frac{d}{dt} \cdot$ ,  $(-\infty < t < \infty)$ , ... (1)

不定積分演算子:

$$D^{-1} \cdot \equiv \frac{1}{D} \cdot \equiv \int^t \cdot dt, \quad (-\infty < t < \infty), \quad \dots (2)$$

定積分演算子:

$$p^{-1} \cdot \equiv \frac{1}{p} \cdot \equiv \int_0^t \cdot dt, \quad (-\infty < t < \infty). \quad \dots (3)$$

$D$  と  $D^{-1}$  とは互に逆演算子の関係にある。すなわち

$$DD^{-1} \cdot \equiv D^{-1}D \cdot \equiv 1 \cdot, \quad (-\infty < t < \infty). \quad \dots (4)$$

$p^{-1}$  の逆演算子を  $p$ （これをヘビサイド演算子と呼ぶ）とすれば、逆演算子の定義から

$$pp^{-1} \cdot \equiv p^{-1}p \cdot \equiv 1 \cdot, \quad (-\infty < t < \infty) \quad \dots (5)$$

の関係がある。

また、 $D$  と  $p$ 、 $D^{-1}$  と  $p^{-1}$  との間にはつぎの関係がある。

$$D \cdot \equiv p \cdot - pC\left(\frac{0}{t}\right) \cdot, \quad (-\infty < t < \infty), \quad \dots (6)$$

$$D^{-1} \cdot \equiv p^{-1} \cdot + C\left(\frac{0}{t}\right)D^{-1} \cdot, \quad (-\infty < t < \infty). \quad \dots (7)$$

ただし、 $C\left(\frac{0}{t}\right)$  は

$$C\left(\frac{0}{t}\right)F(t) \equiv F(0), \quad (-\infty < t < \infty) \quad \dots (8)$$

\* 物理第一研究室長

のように函数  $F(t)$  を  $F(0)$  に変化させる演算子で、後に説明するように、微分方程式に初期条件を導入するのに役立つ。

以上のようにして定義されたヘビサイド演算子  $p$  は、微分演算子  $D$  と異なることは (6) 式からわかることがあるが、アナコムにおいてブロック・ダイアグラムを作成する際、多くは  $D$  と  $p$  を同一に考えて用いている。その結果、アナコムによる微分方程式の解法において、微分器の誤った使い方をするということにもなっていると考えられるのである。

### 3. アナコムにおける微分器および積分器の演算性質

アナコムを微分解析機として用いるときの演算の目的は、原則的には、 $t < 0$  における既知の状態  $F_0(t)$  に、 $t=0$  の瞬間、ある既知の変革を加えて、 $t \geq 0$  における状態  $F(t)$  を求めようとしている。その数学的形式は、 $F(t)$  ( $t > 0$ ) が満足する微分方程式とその初期値  $\lim_{t \rightarrow +0} F(t) = F(+0)*$  とで与えられる。この際、たとえ、 $F(+0) = F_0(-0)$  であっても

$$[D^n F(t)]_{t=+0} = [D^n F_0(t)]_{t=-0}, \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (9)$$

は一般には成立しない。何となれば、もしこれが成立つと考えれば、 $t \geq 0$  においても常に  $F(t) = F_0(t)$  ということになり、 $t=0$  で変革を加えたということにはならないからである。

繰返し型アナコムにおいて取扱われる函数は必ず  $1F(t)$  の形で表わされる。ここに 1 はいわゆる単位函数でつぎに示すようなものである。

$$\begin{cases} 1 = 0, & (t < 0), \\ 1 = 1, & (t \geq 0). \end{cases} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

したがって、

$$D1F(t) \equiv 1pF(t), \quad (-\infty < t < \infty), \quad \dots \quad (11)$$

$$D^{-1}1F(t) \equiv 1p^{-1}F(t), \quad (-\infty < t < \infty) \quad \dots \quad (12)$$

であるから、アナコムで普通微分器といわれているものの初期値問題解法における演算上の性質は、 $D$  ではなく  $p(t \geq 0)$  であり、また、普通積分器といわれているものの初期値問題解法における演算上の性質は、 $D^{-1}$  ではなく  $p^{-1}(t \geq 0)$  となっているのである。

しかるに、 $p^{-1}$  に関する演算はよく知られており、積分器もまたこの演算を実現することができるのだが、 $p$  についての演算手段はこれを定めることができず、ただこれに  $p^{-1}$  が作用されたとき、 $p^{-1}p \equiv 1$  ということしかいえないのである。\*\*)

しかし、 $p$  が  $F(0)=0$  であるような函数  $F(t)$ , ( $t \geq 0$ ) に作用するときは、

\* これは、 $\lim_{t \rightarrow 0} F_0(t) = F_0(-0)$  から求められる。多くの場合  $F(+0) = F_0(-0)$  である。

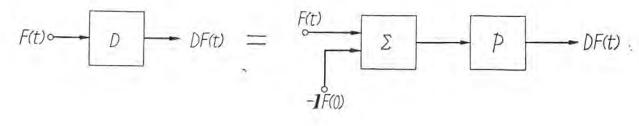
\*\* 微分方程式を解くにはこの性質だけで充分なのである。微分方程式を解くということは、結局積分することであるから。

$$pF(t) \equiv DF(t) + pC \begin{pmatrix} 0 \\ t \end{pmatrix} F(t) = DF(t) + pF(0)$$

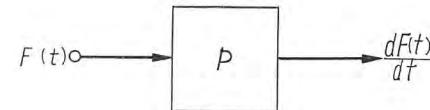
$$= DF(t), \quad (t \geq 0) \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

であるから、この場合に限り、 $p$  と  $D$  とは等価であると考えることができる。したがって  $DF(t)$  [ $F(0) \neq 0$ ] をアナコムで求めたいときは、常に  $F(t) - F(0)$  が微分器の入力函数となるように注意を払えばよく、後の例で述べる  $D - p$  変換なる操作はこの注意を自然に具体化しているのであるが、往々にして  $D$  と  $p$  を同一に考えて微分器を用いて誤りをおかすおそれがあるのと、文献 (1) での注意により、原則として微分器はこれを用いない方が無難であることは、後に説明する二、三の例によって明らかとなろう。

なお、(13) 式の関係からアナコムにおける演算要素によって  $D(t > 0)$  の演算を表示するには、つぎに示すように加算器と微分器とを併用して 1 図のようにすればよいであろう。ただし  $F(0)$  は有限とする。ここに  $\Sigma$



1 図

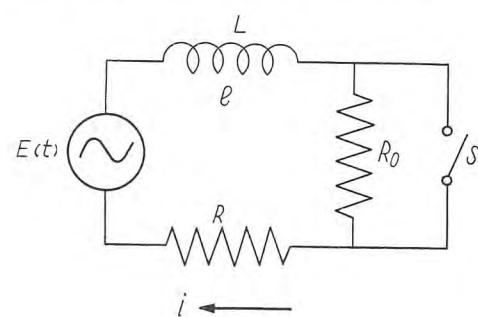


2 図

は加算器を、 $p$  はいわゆる微分器を示す。これを従来のように  $D$  と  $p$  を同一に考えてブロック・ダイアグラムを構成する際、2 図のようにすることは誤りである。

#### 4. 例 1

3 図に示すように、はじめ  $L - R_0 - R$  直列回路に  $E(t)/(R+R_0)$  なる定常電流が流れている。 $t=0$  の瞬間にスイッチ  $S$  を閉じて抵抗  $R_0$  を短絡したとき、 $t \geq 0$  における電流  $i$  および  $L$  の両端子間電圧  $e$  を求めるた



3 図

めのブロック・ダイアグラムをつくること。

$$\text{微分方程式: } D \cdot \frac{d}{dt} i = E(t), \text{ として}$$

$$(LD + R)i = E(t), \quad (t > 0), \dots \dots \dots (14)$$

$$LDi = e, \quad (t > 0). \dots \dots \dots (15)$$

初期条件:

$$C \begin{pmatrix} 0 \\ t \end{pmatrix} i = i_0 = \frac{E(0)}{R + R_0}. \dots \dots \dots (16)$$

解: (6) 式の関係を (14), (15) 式に代入すれば、(16) 式を参照して

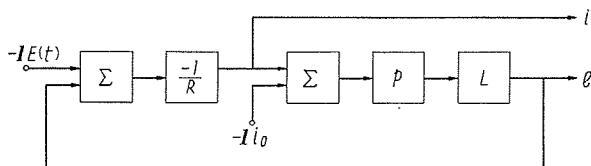
$$Lp(i - i_0) + Ri = E(t), \quad (t \geq 0), \dots \dots \dots (17)$$

$$Lp(i - i_0) = e, \quad (t \geq 0) \dots \dots \dots (18)$$

が得られる.\* これをブロック・ダイアグラムにあらわすのに、原理的につぎの二通りの方法が考えられる。

#### ア. 微分型ブロック・ダイアグラム

(17), (18) の両式をブロック・ダイアグラムに示せば 4 図のようになる。ここに  $\left[ \frac{-1}{R} \right]$ ,  $\left[ L \right]$  等は定数設定器である。



4 図

4 図によって所要の積分解  $i(t \geq 0)$  および  $e(t \geq 0)$  を求めることができるが、ここでは積分器を一つも使用していない。それでこのようなブロック・ダイアグラムを微分型ブロック・ダイアグラムと呼ぶことにする。

#### イ. 積分型ブロック・ダイアグラム

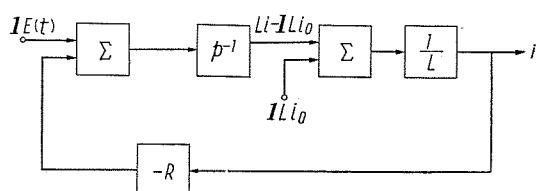
(17) 式の両辺に  $p^{-1}$  を作用させれば、

$$Li - Lli_0 + Rp^{-1}i = p^{-1}E(t), \quad (t \geq 0) \dots \dots \dots (19)$$

が得られるが、これをブロック・ダイアグラムにあらわせば  $i$  が求められる。(5 図)

また、 $e$  を求めるには (18) - (17) とすれば、

$$e = E(t) - Ri, \quad (t \geq 0) \dots \dots \dots (20)$$

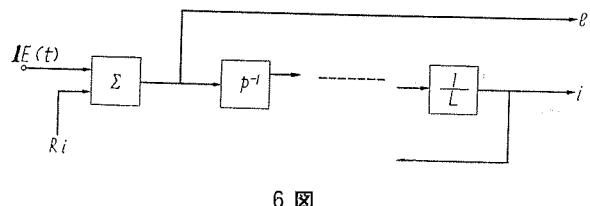


5 図

\* このように微分方程式に初期条件を導入した関係式を導く操作を  $D \rightarrow p$  変換ということはすでに文献 (2) で説明したところである。

\*\* これと同様の形は (15) - (14) 式としても得られるが、それは  $e = E(t) - Ri, (t > 0)$  で、 $t = 0$  における関係を含んでいないので、(20) 式と同一にみることができない。

の関係が得られるから、6 図に示すように 5 図のブロック・ダイアグラムの途中から直ちに  $e$  を引出せばよい。



6 図

さて、このブロック・ダイアグラムでは微分器を一つも使用せずに、(14), (15) を与えられた初期条件の下に解くことになる。それでこの種のブロック・ダイアグラムを積分型ブロック・ダイアグラムということにする。

もし、

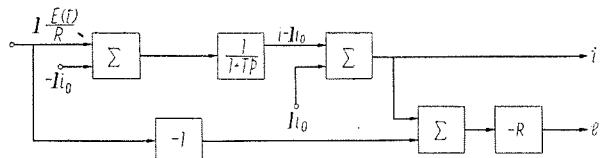
$$\left[ \frac{1}{1+Tp} \right], \quad (T = \frac{L}{R})$$

のような演算要素(通称ユニット・ラグ)が利用できるならば、(17) 式から

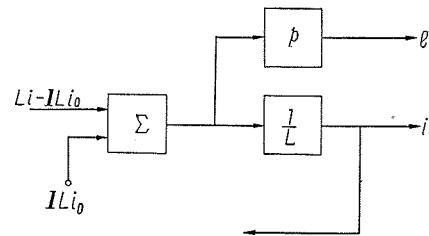
$$i = \frac{1}{1+Tp} \left\{ \frac{1}{R} E(t) - i_0 \right\} + i_0, \quad (t \geq 0) \dots \dots \dots (21)$$

として、7 図に示すブロック・ダイアグラムが得られる。

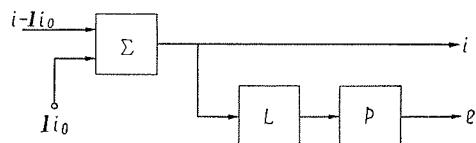
この際、従来のように  $D$  と  $p$  を同一に考えて、(15) 式から直接に  $i$  を微分器に入れて、5 図または 7 図から、8 図、または 9 図のようにして  $e$  を導くことは誤りである。ただし、8 図および 9 図において  $Li \rightarrow [ p ] \rightarrow e$



7 図

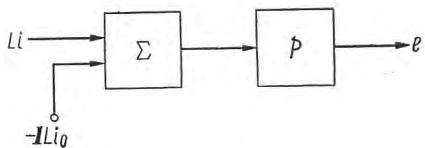


8 図

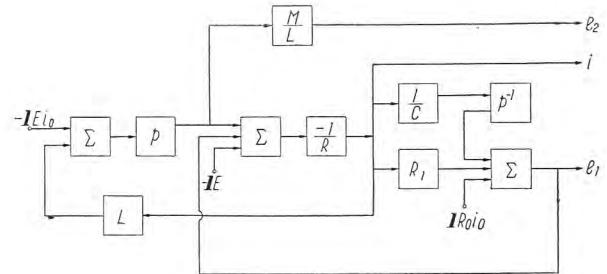


9 図

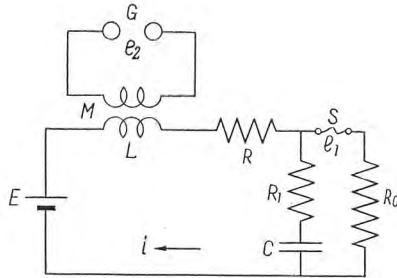
の代りに 10 図のように加算器と微分器とを常に組合せたものを用いることには、原理的には誤りはないわ



10 図



12 図



11 図

けであるが、6 図または 7 図の形式にくらべて無駄があると考えられるのである。\*)

## 5. 例 2

11 図に示す回路で、一次電流  $E/(R+R_0)$  を  $t=0$  の瞬間、 $S$  において遮断したとするとき、 $t \geq 0$  における  $S$  の両端子間および二次回路の空隙  $G$  にあらわれる電圧  $e_1$  および  $e_2$  と、一次回路電流  $i$  を求めるブロック・ダイアグラムをつくること。

微分方程式：

$$(LD+R)i+e_1=E, \quad (t>0), \dots \dots \dots (22)$$

$$(R_1+(CD)^{-1})i-e_1=0, \quad (t>0), \dots \dots \dots (23)$$

$$MDi=e_2, \quad (t>0). \dots \dots \dots (24)$$

初期条件：

$$C\left(\begin{array}{c} 0 \\ t \end{array}\right)i=i_0=\frac{E}{R+R_0}, \dots \dots \dots (25)$$

$$C\left(\begin{array}{c} 0 \\ t \end{array}\right)\{(CD)^{-1}i\}=R_0i_0=\frac{R_0E}{R+R_0}. \dots \dots \dots (26)$$

解： 微分方程式に  $D-p$  変換を施せば、

$$Lp(i-i_0)+Ri+e_1=E, \quad (t \geq 0), \dots \dots \dots (27)$$

$$\{R_1+(Cp)^{-1}\}i-e_1=-R_0i_0, \quad (t \geq 0), \dots \dots \dots (28)$$

$$Mp(i-i_0)=e_2, \quad (t \geq 0). \dots \dots \dots (29)$$

## ア. 混合型ブロック・ダイアグラム

(23) 式には初めから積分項を含んでいるから、純微分型ブロック・ダイアグラムではなく、微分型と積分型との混合型ブロック・ダイアグラムが考えられる。

(27), (28), (29) の関係をブロック・ダイアグラムで示せば、12 図のようになる。

\* しかもこのときの  $e$  は  $e(t>0)$  で  $e(t \geq 0)$  ではない。

## イ. 積分型ブロック・ダイアグラム

(27) 式に  $p^{-1}$  を作用させれば

$$Li-Li_0+Rp^{-1}i+p^{-1}e_1=p^{-1}E, \quad (t \geq 0) \dots \dots \dots (30)$$

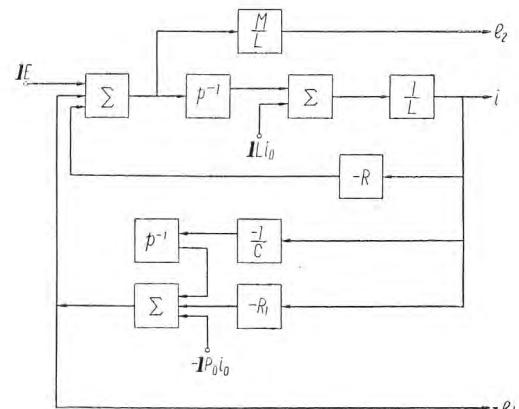
となり、また (27) 式および (29) 式とから  $i-i_0$  を消去すれば、

$$MRi+Me_1+Le_2=ME, \quad (t \geq 0) \dots \dots \dots (31)$$

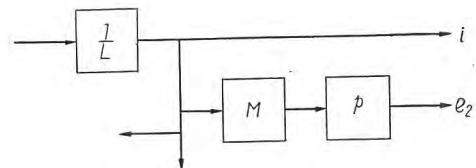
となる。

(28), (30), (31) の三式を用いて 13 図に示すようなブロック・ダイアグラムをつければ、これは積分型ブロック・ダイアグラムである。

この際、 $e_2$  を求めるのに、従来のように  $D$  と  $p$  を同一に考えて、(24) 式を用いて  $i$  を直接微分器に入れて、13 図から 14 図のようにするには誤りである。



13 図



14 図

## 6. 例 3

微分方程式

$$D^2x+f_1(t)y+f_2(t)x=F_1(t), \quad (t>0), \dots \dots \dots (32)$$

$$D^2y+g_1(t)Dx+g_2(t)y=F_2(t), \quad (t>0) \dots \dots \dots (33)$$

を初期条件

$$C\begin{pmatrix} 0 \\ t \end{pmatrix}x = x_0, \quad C\begin{pmatrix} 0 \\ t \end{pmatrix}\{Dx\} = x_1, \quad \dots \quad (34)$$

$$C\begin{pmatrix} 0 \\ t \end{pmatrix}y = y_0, \quad C\begin{pmatrix} 0 \\ t \end{pmatrix}\{Dy\} = y_1 \quad \dots \quad (35)$$

の下に解くブロック・ダイアグラムをつくること。

解:  $Dx = u, \quad (t > 0), \quad \dots \quad (36)$

$Dy = v, \quad (t > 0) \quad \dots \quad (37)$

とおき、(32), (33), (36) および (37) 式に  $D-p$  変換を施せば、

$$p(u - x_1) + f_1(t)y + f_2(t)x = F_1(t), \quad (t \geq 0), \quad \dots \quad (38)$$

$$p(v - y_1) + g_1(t)u + g_2(t)y = F_2(t), \quad (t \geq 0), \quad \dots \quad (39)$$

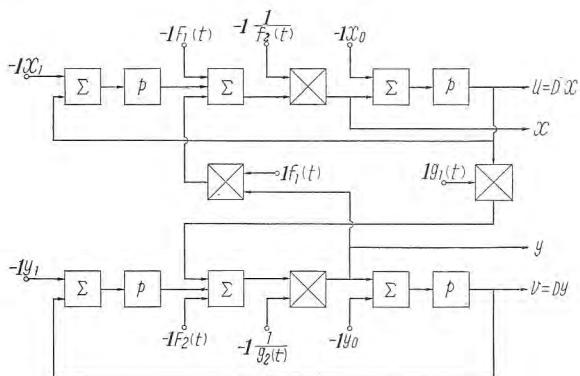
$$p(x - x_0) = u, \quad (t \geq 0), \quad \dots \quad (40)$$

$$p(y - y_0) = v, \quad (t \geq 0) \quad \dots \quad (41)$$

となる。

### ア. 微分型ブロック・ダイアグラム

(38)～(41) 式の関係をブロック・ダイアグラムにあらわせば、15 図のようになる。ただし  $\boxtimes$  は掛算器を示す。



15 図

### イ. 積分型ブロック・ダイアグラム

(38)～(41) 式の両辺に  $p^{-1}$  を作用させれば

$$u - x_1 + p^{-1}\{f_1(t)y\} + p^{-1}\{f_2(t)x\} = p^{-1}F_1(t), \quad (t \geq 0), \quad \dots \quad (42)$$

$$v - y_1 + p^{-1}\{g_1(t)u\} + p^{-1}\{g_2(t)y\} = p^{-1}F_2(t), \quad (t \geq 0), \quad \dots \quad (43)$$

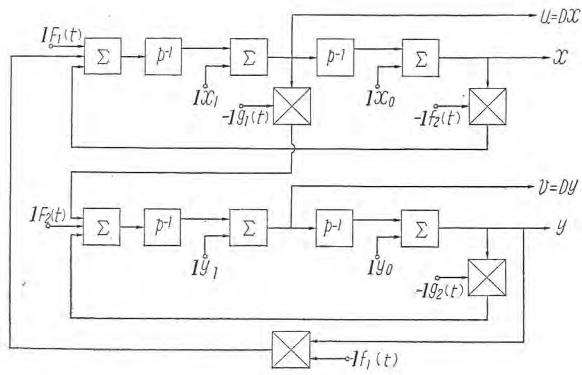
$$x - x_0 = p^{-1}u, \quad (t \geq 0), \quad \dots \quad (44)$$

$$y - y_0 = p^{-1}v, \quad (t \geq 0) \quad \dots \quad (45)$$

となるが、これらの関係をブロック・ダイアグラムに示せば、これは積分型ブロック・ダイアグラムである。  
(16 図)

### 7. 微分型ブロック・ダイアグラムと積分型ブロック・ダイアグラムとの比較

以上の例において、微分型（混合型を含む）ブロック・ダイアグラムと積分型ブロック・ダイアグラムとを比較してみれば、演算要素の種類において、微分器と積分器とのちがいがある以外には、演算要素の数およびそれらの接続の模様においては両者に著しい差はない。もつ



16 図

とも、微分型ブロック・ダイアグラムを作るには、微分方程式に  $D-p$  変換を施した直後の式をそのまま使えるのに対し、積分型ブロック・ダイアグラムでは  $D-p$  変換直後の関係を適宜積分する（すなわち  $p^{-1}$  を作用させる）必要があるだけ微分型の方が簡単である。

しかし、現在の電子管式微分器には次のような欠点のあることが知られている。<sup>(1)</sup>

- (1) 微分器は衝撃雑音を増幅する傾向をもっている。
- (2) 微分器は高周波特性がよいので、不必要的高周波振動を発生しやすい。

なおその上に、前節迄において例をあげて説明したように、従来は、往々微分演算子  $D$  とヘビサイド演算子  $p$  を同一に考えて、誤ったブロック・ダイアグラムを作成するおそれのあつたことを併せ考えれば、アナコンを利用しても微分方程式を解く際には、微分器はなるべく使わないようにして、いい換えればなるべく積分型ブロック・ダイアグラムを利用することが賢明であろう。

### 8. むすび

電子管式アナログ計算機において微分操作を実現するには、一般にはいわゆる微分器のみではその目的を達することはできず、加算器と微分器とを併用しなければならない。そうすれば、微分方程式解法のためのブロック・ダイアグラムには、積分器を一つも使用しない微分型を考えることができることになるが、現状では、積分器にくらべて微分器には相当の欠点のあることが知られているので、なるべくは微分器を一つも使わない積分型ブロック・ダイアグラムを使用する方が無難であることを例をあげて説明した。

擲筆に当り、この問題に關し、ご助言を賜わった電気試験所野田技官ならびに東京大学生産技術研究所野村助教授に感謝する次第である。

### 文 献

- (1) Korn and Korn: Electronic Analog Computers, p. 19 (1952).
- (2) 菅野: 電学論, 3, 79, 103, 111 (昭 17), 三菱電機, 18, 97, 121, 147, 213, 255, 321, 381 (昭 17), 19, 183, 317 (昭 18).

# 艦艇用耐衝撃型ノーヒューズ遮断器の特性

名古屋製作所

鈴木冽<sup>\*\*</sup>・大野寛孝<sup>\*\*\*</sup>・服部謙<sup>\*\*\*</sup>・木村紀彦<sup>\*\*</sup>

## Characteristics of Shock Proof No-fuse Breakers for Marine Use

Kiyoshi SUZUKI • Hirotaka ONO •

Yuzuru HATTORI • Norihiko KIMURA

Nagoya Works

Demand for no-fuse breakers is on the marked increase. Their compactness, light weight, and easy maintenance were highly appreciated in the maritime application, which, however, calls for further betterment of their characteristics in heat resisting and vibration proof; not to speak of shock proof that is a vital requisite. Our Type AQB no-fuse breakers have been developed to meet the requirements and are now enjoying reputation extensively.

### 1. まえがき

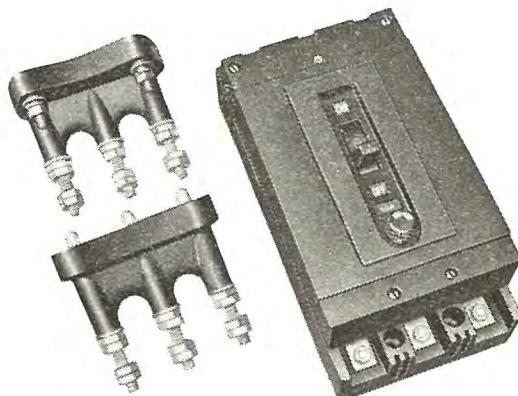
近時ノーヒューズ遮断器の需要が一般に増加するにつれて、船舶用としてもその小型・軽量・保守の容易さなどが認められ盛んに使われるようになった。商船用としては陸上用のものとほとんど同一仕様のものが使われているが、最近艦艇用などの特殊用途に使用するため、機械的耐衝撃を主とし、さらに一段と耐熱性・耐振動性を増し、かつ小型化されたノーヒューズ遮断器が要求されるようになった。

今度当社は艦艇用耐衝撃型ノーヒューズ遮断器（すなわち AQB 型ノーヒューズ遮断器）を開発し、昨年防衛庁による試験に全面的に合格した。

現在続々受注生産中であるが、すでに多数の AQB 型遮断器を海上自衛隊に納入し、その性能を発揮している。1 図はその外観を示す。

ここでは主として 100 A フレーム AQB 型ノーヒューズ遮断器の、構造・特性などの特長その他を NF 型ノーヒューズ遮断器と対比してのべることとした。

なお、実際使用する際の電気配線図などの説明は、いまままでに NF 型ノーヒューズ遮断器で発表されているので、本稿では省くことにした。



1 図 100 A フレーム AQB 型ノーヒューズ遮断器  
Fig. 1. 100 AF. type AQB no-fuse breaker.

### 2. 定格

AQB 型ノーヒューズ遮断器には 1 表に示す各種の定格がある。

### 3. 外形寸法、構造および作動特性

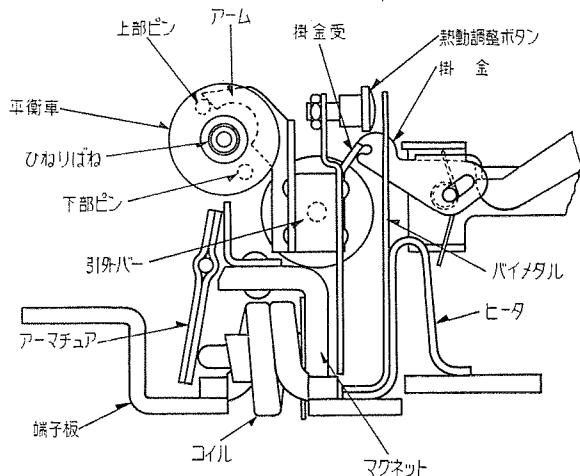
AQB 型ノーヒューズ遮断器の一例として、100 A フレームの外形寸法を示すと 2 図のとおりである。

1 表 AQB 型ノーヒューズ遮断器定格一覧表

フレーム (A)	極 数	定格電圧(V)		引外装置電流 定格 (A)	遮断容量 (kA)
		交流	直流		
100	2 および 3	250	250	15, 25, 50	交流 15 直流 10
		500	250	75, 100	
225	2 および 3	250	250	125, 150	交流 20
		500	250	175, 225	直流 15
600	2 および 3	250	250	250, 300	交流 30
		500	250	350, 400 500, 600	直流 20

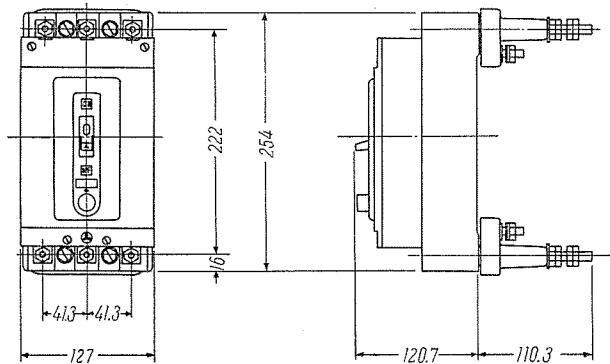
注:—1. 自動引外装置の各電流定格には電磁引外作動電流のちがいにより、各2種類ずつのものがある。

2. 2極遮断器は3極遮断器と同一外形寸法でその中央極のみを取除いたものである。



3 図 AQB 型ノーヒューズ遮断器緩衝装置

Fig. 3. Shock-proof mechanism of type AQB no-fuse breaker.



2 図 100 A フレーム AQB 型ノーヒューズ遮断器外形寸法図

Fig. 2. Overall dimension of 100 AF type AQB no-fuse breaker.

AQB 型遮断器は所要の特性に応じるため、一般の NF 型ノーヒューズ遮断器にくらべて構造上および特性上いちじるしいちがいがあるので、これをつぎに述べる。

#### ア. 耐衝撃性

この遮断器は艦艇用として使用されるため、自艦の発砲あるいは至近弾落下の際起る爆風などによる衝撃に耐えなければならない。このため耐衝撃性についてつぎのような考慮が払われている。

2,000 ft-lbs (276.6 kg-m) の機械的衝撃にたいして遮断器の各部分が破損しないように使用材料を充分吟味し、かつ堅固な構造となっているほか、自動引外装置が、衝撃や振動によって誤動作し回路を遮断するのを防止するため3図に示すような、衝撃緩衝装置が設けられている。(特許出願中)

衝撃緩衝装置の原理について述べる。いま遮断器が衝撃または振動を受けると、その瞬間平衡車はその上部ピンをアームによって叩かれ、ヒネリばねに打勝って急速に反時計方向に回転する。同時に下部ピンがアームの下方を打ち、平衡車は時計方向に回転する。

一方引外バーは衝撃または振動を受けて反時計方向に

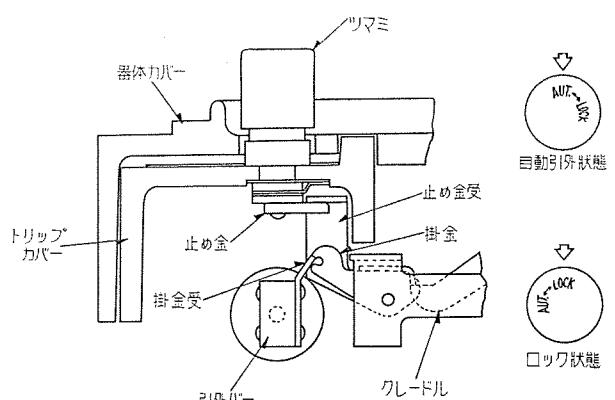
回転し掛金を外そうとするが、アームが平衡車の下部ピンに叩かれて回転を阻止され、かつ元の位置にかえった平衡車の上部ピンによって、時計方向に押されるから、掛金と掛金受との係合は外れない。したがって回路の遮断を防止することができる。

つぎに遮断器に過電流あるいは短絡電流が流れたときは、平衡車は引外バーの回転につれて徐々に反時計方向に回転し、下部ピンがアームの下方に当るまで回転することができるが、その前に掛金が外れて回路が遮断される。

#### イ. ロック装置

ロック装置は非常のとき、あるいは電動機起動時に遮断器が動作しないように、自動引外装置を機械的に拘束するもので、その構造は4図に示すとおりである。(特許出願中)

同図にみるように止め金受は掛け金に溶接されている。いま、つまみを Lock の位置に回すと、止め金受は止め金により運動を拘束されるから、遮断器に過電流、あるいは短絡電流が流れ、引外バーが時計方向に回転して



4 図 AQB 型ノーヒューズ遮断器ロック装置

Fig. 4. Lock mechanism of type AQB no-fuse breaker.

も、掛金は回転できない。したがって掛金とクレードルの係合が外れないで、通電状態を保つことができる。

また、つまみを AUT の位置に戻せば、止め金受は自由になるので、過電流あるいは短絡電流で、引外バーが時計方向に回転することにより、掛金が回転し、クレードルが外れて回路を遮断する。

#### ウ. モールド部分の耐熱性

AQB 型遮断器は、一般用の NF 型ノーヒューズ遮断器にくらべ、小さな外形寸法で、大きな過負荷耐量を要求されているため、遮断器の内部温度が高くなるので、ベース、カバーその他のモールド部分は、耐熱性が大きいことが必要であるとともに、一方耐衝撃性をもたせるために機械的強度、とくに衝撃値の大きなものが要求される。

一般にモールドの耐熱性と機械的強度とは相反する傾向があり、これらの両者を満足し、かつ電気的特性の優れたモールドを得ることは、甚だ困難であるが、われわれは満足なものを作ることができるようにになった。

#### エ. 挿込型接続器

AQB 型遮断器は、その接続導体をとり外したり、または電源を切らないで、盤の表面から遮断器を容易に取り外すことができるよう、挿込式端子構造とするため、7 図に示す挿込型接続器付となっている。

#### オ. 自動引外装置

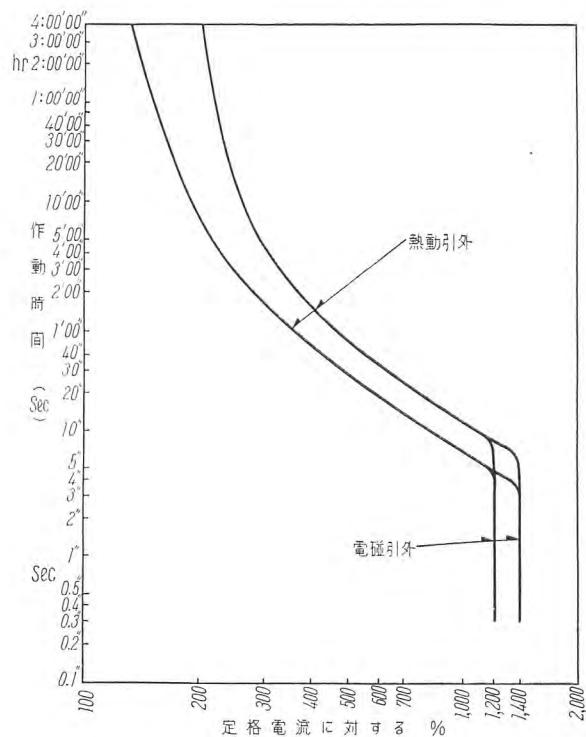
AQB 型遮断器の自動引外装置は、取換型で同一フ

2 表 AQB 型ノーヒューズ遮断器および NF 型ノーヒューズ遮断器引外特性一覧表

熱動引外 電磁引外 の別	AQB 型ノーヒューズ遮断器		NF 型ノーヒューズ遮断器						
	フレーム	電流 (%)	引外時間	電流 (%)	定格電流 (A)	引外時間			
熱動 引外	150	150	1 時間以上	30 以下	60 分以内				
					31~50	〃			
					51~100	120 分以内			
	225	225	1 時間以上	101~225	〃				
					226~400	〃			
					401~600	〃			
電磁 引外 (瞬時 引外)	600	600	25 秒 ± 25 %	30 以下	2 分以内				
					31~50	4 分 〃			
					51~100	6 分 〃			
	200	200	25 秒 ± 25 %	101~225	8 分 〃				
					226~400	10 分 〃			
					401~600	12 分 〃			
とくに規定はない									
電流定格(A)									
100	15~100	1,200~1,400	交流用	600~700	直流用				
	15 F~100 F	600~700 %	—	—	—				
225	125, 150	600~700 %	—	—	—				
	175, 225	900~1,050 A	—	—	—				
	125M~225M	1,200~1,400	—	—	—				
	250, 300	600~700 %	—	—	—				
600	350, 600	1,800~2,100 A	—	—	—				
	250M~400M	1,200~1,400	—	—	—				
			—	—	—				

注: 1. 電流定格に F の字のついたものはすべての幹線用遮断器および電燈電熱負荷の分岐回路遮断器。

2. 電流定格に M の字のついたものは変圧器保護用遮断器およびモータ負荷の分岐回路遮断器。



5 図 AQB 型ノーヒューズ遮断器引外特性曲線  
Fig. 5. Type AQB no-fuse breaker minimum and maximum calibration limits.

レームのいずれの定格にも簡単に取換えが可能であり、取換後も調整しないで直ちに使用できる。したがって負荷の変更、あるいは引外装置の故障などにたいし、遮断器本体を用意する必要がなく、補用品の節約ができる。

#### カ. 引外特性

AQB 型遮断器の自動引外装置の引外特性は、NF 型ノーヒューズ遮断器のそれとは大きなちがいがある。これを表示すると 2 表に示すとおりである。

つぎにこれらの要求に適合する、AQB 型遮断器の引外特性曲線の一例を 5 図に示す。

#### 4. 用途

AQB 型遮断器は本来の目的である艦艇の配電盤・分電盤などの、回路遮断器として使用されるほか、車両用遮断器など、とくに耐衝撃性を要求される用途にも好適である。

#### 5. 試験方法およびその結果

試験はおもに防衛庁規格によって行った。同規格による試験項目はつぎのとおりである。

- ア. 構造検査
- イ. 投入操作試験
- ウ. 引外試験
- エ. 温度試験
- オ. 耐久試験

- カ. 遮断試験
- キ. 絶縁耐力試験
- ク. 振動試験
- ケ. 衝撃試験

上記の各試験項目について、その方法および結果をつぎに述べる。

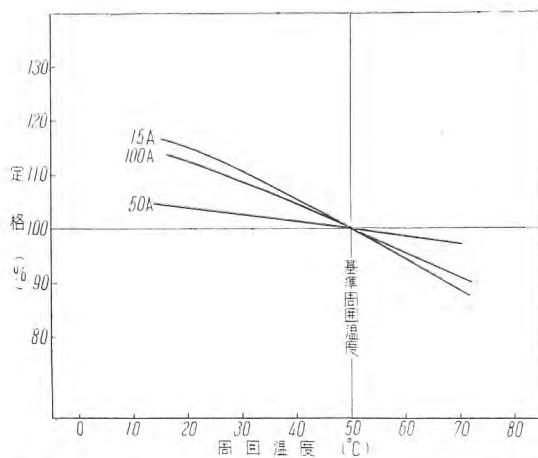
#### ア. 構造検査

遮断器の構造および工作その他を点検し、仕様書に合致しているかどうかをしらべる。

3表 100 A フレーム AQB 型ノーヒューズ遮断器引外試験結果

試験電流 定格	交流用		直流用	
	100A, 3極	15A, 3極	100A, 2極	15A, 2極
交流用は 600% 直流用は 400%	19.5 秒	30 秒	55 秒	56 秒
225%	6分45秒	5分25秒	6分30秒	4分
150%	61分30秒	100分	100分	90分
電磁引外	左極1,355A 中極1,360A 右極1,350A	左極195A 中極204A 右極200A	左極625A 右極630A	左極95A 右極98A

注:一熱動引外は全部の極を直列にして行い、電磁引外は各極ごとに行った。



6図 100 A フレーム AQB 型ノーヒューズ遮断器定格一周围温度関係曲線

Fig. 6. 100 AF type AQB no-fuse breaker effect on rating of ambient temperature.

4表 AQB 型ノーヒューズ遮断器接続電線一覧表

遮断器の定格電流(A)	導体の大きさ(CM)	断面積(mm <sup>2</sup> )	遮断器の定格電流(A)	導体の大きさ(CM)	断面積(mm <sup>2</sup> )
15	4.1	2.08	225	212	107
25	10.4	5.29	250	250	127
50	20.8	10.5	300	300	152
75	41.7	21.8	350	400	203
100	66.0	33.6	400	500	253
125	83.7	42.5	500	700	355
150	106.0	53.3	600	950	481
175	133	67.4			

#### イ. 投入操作試験

投入操作が容易にかつ確実にできることをしらべる。

#### ウ. 引外試験

遮断器の自動引外装置の引外特性を試験する。試験結果の一部を3表に示す。

遮断器の引外試験は原則として周囲温度50°C±5°Cで行うことになっているが50°C以外の温度では6図の曲線により、試験電流を較正して行うことができる。

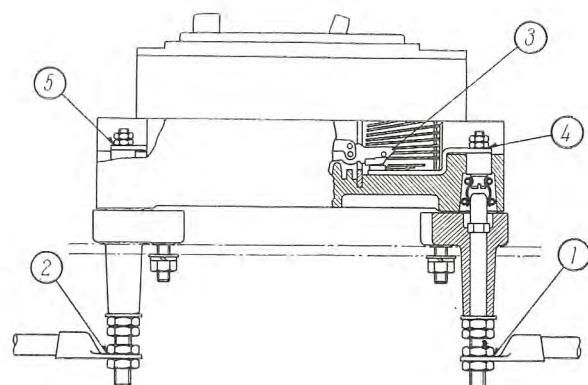
なお試験の際接続する電線は4表のものを、使用するように指定されている。

#### エ. 温度試験

AQB型遮断器の温度上昇限界は、下記のように規定されている。

銀接触子(主接触子)	65°C
コイル(A種絶縁)	40°C
〃(B種絶縁)	60°C
〃(単層巻A種絶縁)	60°C
〃(単層巻B種絶縁)	80°C
端子	60°C

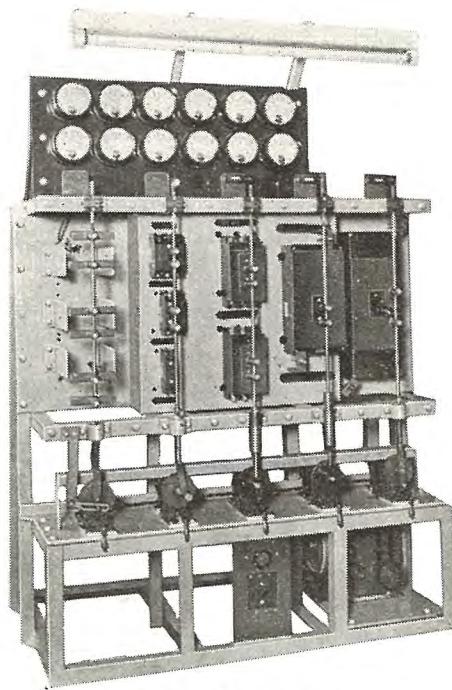
試験の際接続する電線は、引外試験の時と同一寸法のものを使わなければならない。



7図 100 A フレーム AQB 型ノーヒューズ遮断器測定箇所  
Fig. 7. Temperature measuring-points of 100 AF type AQB no-fuse breaker.

5表 AQB 型ノーヒューズ遮断器連続開閉試験条件一覧表

遮断器の定格電圧(V)	回路条件			フレーム(A)	試験条件		
	試験電圧(V)	試験電流(A)	力率または時定数		開閉の割合回/min	通電	無通電
交流 250	250	定格電流	0.75~	100	6	6,000	4,000
			0.8	225	5	4,000	4,000
			おくれ	600	4	1,000	4,000
直 250	250	定格電流	なるべく無誘導	100	6	6,000	4,000
				225	5	4,000	4,000
				600	4	1,000	4,000



8 図 耐久試験装置  
Fig. 8. Endurance test machine.

6 表 AQB 型ノーヒューズ遮断器遮断容量および動作責務

遮断器 フレー ムの大 きさ (A)	給与 電圧 (V)	回路 条件			動作 責務
		交 流	直 流	動作 責務	
100	定格電 圧また は定格 電圧以 上	15,000 0.5 以 下おく れ	10,000 短絡電 流最大 値 (A)	0.003以上 時定数 (sec)	0-2分 -CO -5分 -CO
225		20,000	15,000	0.005以上	
600		30,000	20,000	0.0067以上	

今回の試験では 7 図に示す箇所について温度上昇を測定した。結果は規格値を充分満足するものである。

#### オ. 耐久試験

この遮断器は 5 表の条件で、連続開閉試験を行い、電気的、機械的に故障を生じないことを。

試験は 8 図に示すような連続開閉試験装置で行い、その結果は極めて満足なものであった。

#### カ. 遮断試験

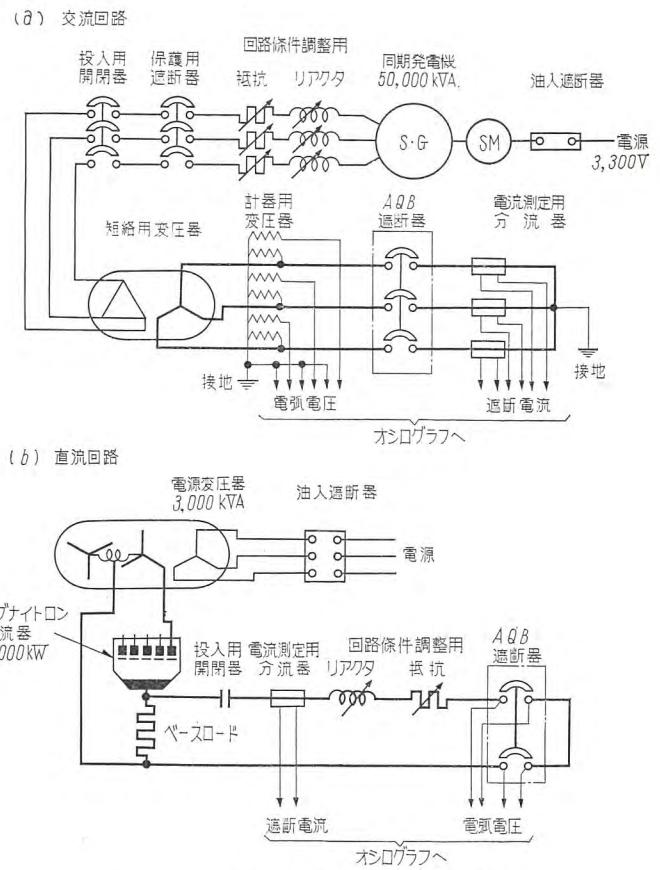
6 表に示す遮断容量および動作責務を要求されており、かつ遮断の際遮断器の開口部をおおったほう帶に引火してはならない。

試験は 9 図に示す回路で行った。

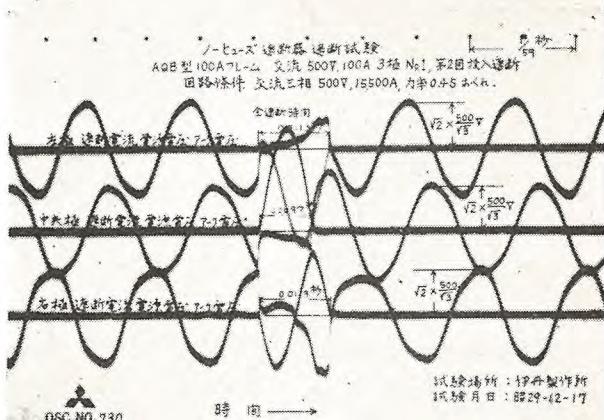
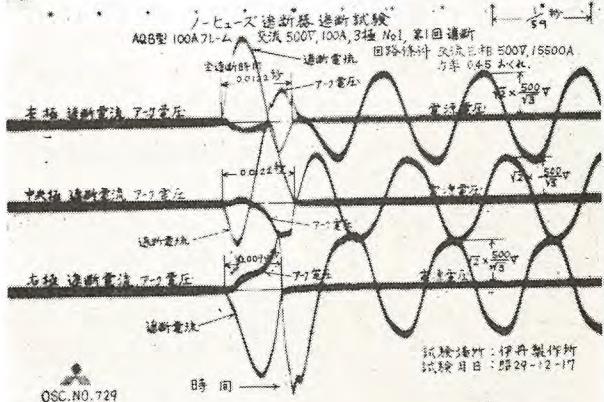
試験の結果の一例は 10, 11 図に示すように直流、交流とも、全遮断時間は、1 サイクル以下で切れ味も極めてよく、また遮断器開口部をおおったほう帶にも引火しないし、充分な遮断能力があることが確認された。

#### キ. 絶縁耐力試験

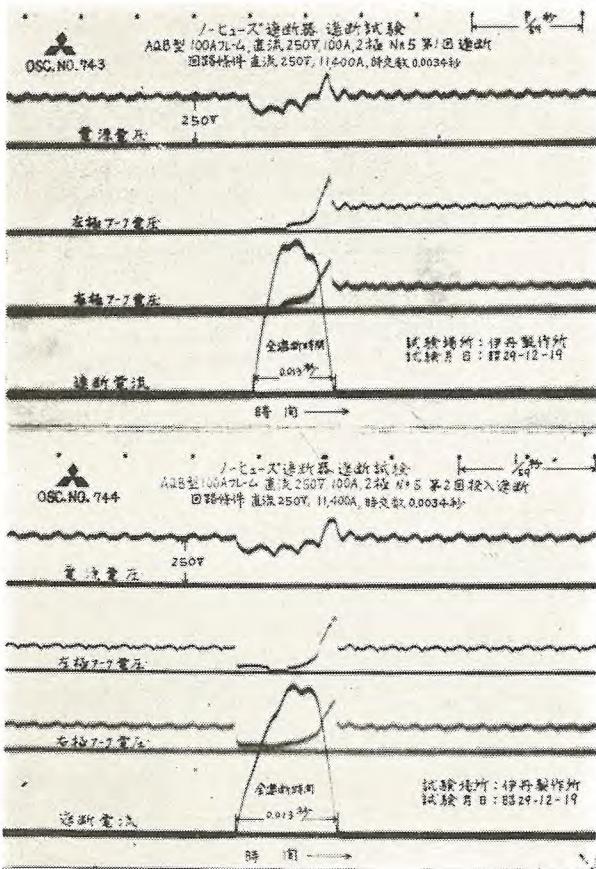
交流 60 c/s で定格電圧  $\times 2 + 1,000$  V で一般機器と同



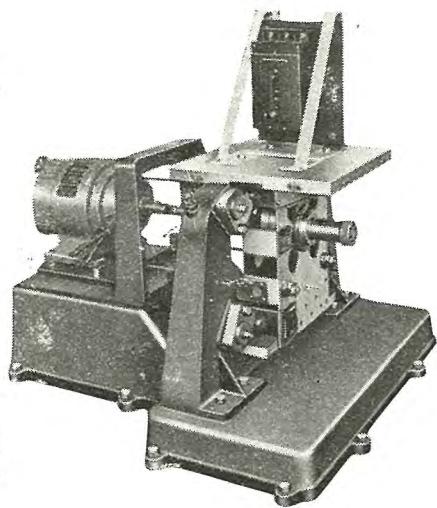
9 図 遮断試験回路接続図  
Fig. 9. Connection diagram for rapturing test.



10 図 AQB 型ノーヒューズ遮断器遮断試験オシログラム (3-φ)  
Fig. 10. Short circuit test oscilloscopes of type AQB no-fuse breaker (3-φ).



11 図 振動試験機  
Fig. 12. Vibration test machine.



12 図 振動試験機  
Fig. 12. Vibration test machine.

一である。測定結果は充分耐えるものであることはいうまでもない。

#### ク. 振動試験

定格電流をとおし、振幅 ±1.5 mm (全振幅 3.0 mm) 振動数 1,000 c/m の単弦振動を垂直方向および水平方向におけるの 1 時間ずつかけて試験する。この程度の振動にたいしては、全く問題はなかった。また同一振幅で周波数を 300 ~ 3,000 c/m の範囲に変化して行ったがこのときも、全く異状はない。

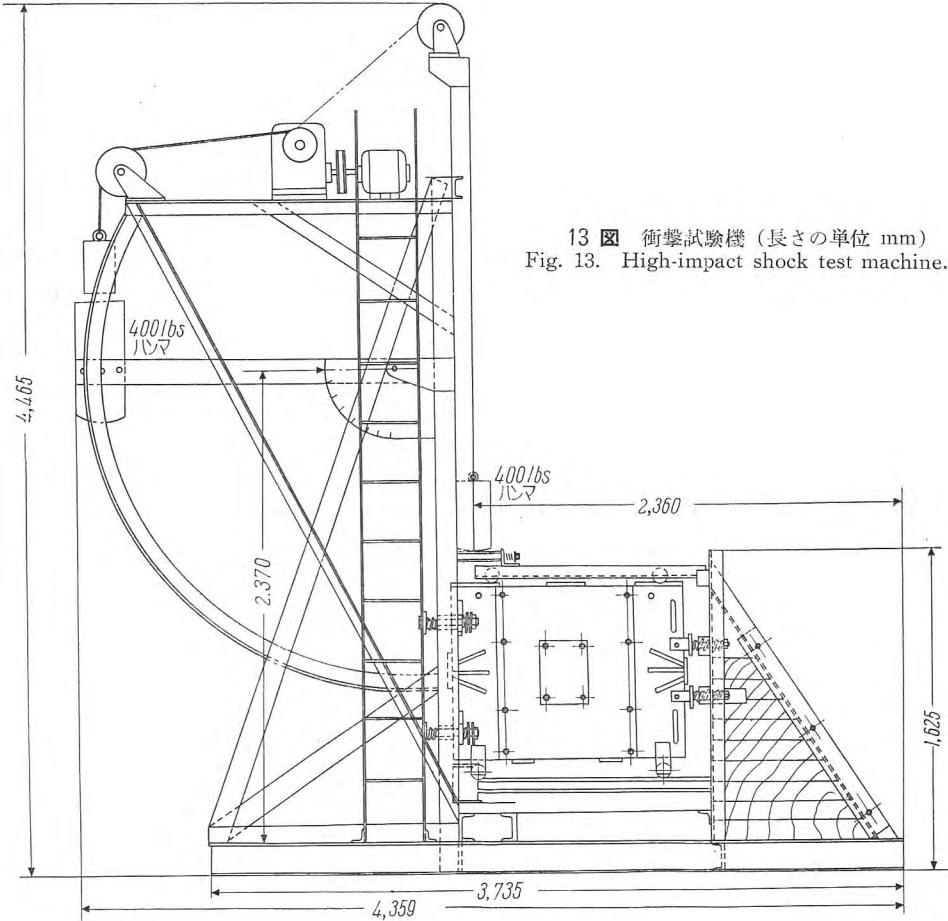
参考までに使用した振動試験機を 12 図に示す。

#### ケ. 衝撃試験

##### (1) 衝撃試験機

a. 構造. ハンマでアンビルプレートを叩く方式の衝撃試験機で米海軍の Light Weight High-Impact Shock Test Machine<sup>(1)</sup> に類似のものである。(13, 14 図参照)

この試験機は垂直、背面、側面の 3 軸方向の衝撃を被試験物にあたえることができる構造になっている。垂直衝撃はガイドの間にハンマを落してあたえ、背面衝撃は 5 ft の腕のハンマを振って叩く。側面衝撃のためにはアンビルプレートを 90 度垂直軸に回転してプレートの端を 5 ft の腕のハンマで叩く。アンビルプレートは各方向からの衝撃をうけとめるようにスプリングで支持している。この試験機の性能はつぎのようである。

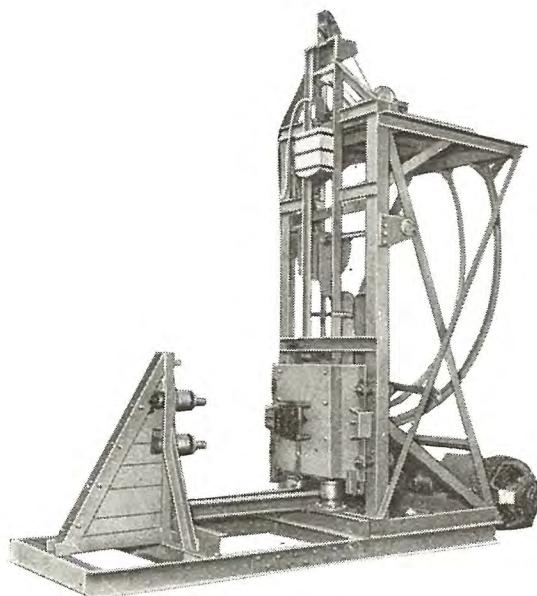


13 図 衝撃試験機 (長さの単位 mm)  
Fig. 13. High-impact shock test machine.

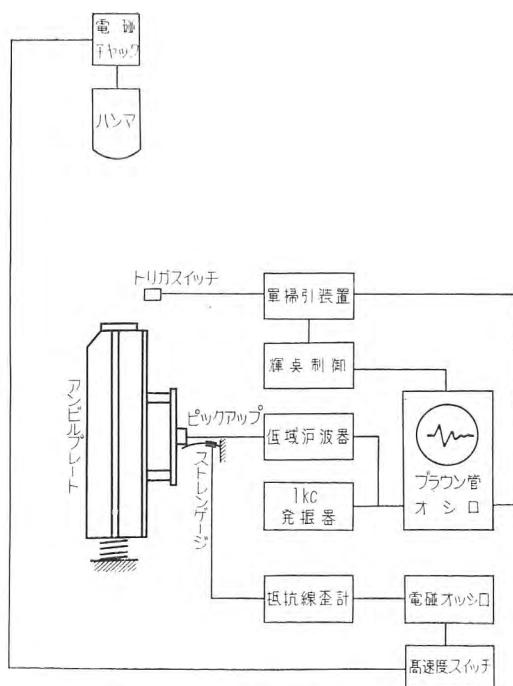
垂直ハンマ重量	400 lbs (181 kg)
振子ハンマ重量	400 lbs (181 kg)
最高落下高度	5 ft (1.52 m)
最大エネルギー	2,000 ft-lbs (275 kg-m)
被試験物最大重量	250 lbs (113 kg)

### b. 衝撃試験機の特性

(i) 加速度計ピックアップ<sup>(2)</sup>. 衝撃試験機の加速度測定に用いたピックアップは水晶片に重錘をのせてゴムでこれを押えた構造のもので、その



14 図 衝撃試験機  
Fig. 14. Highimpact shock test machine.

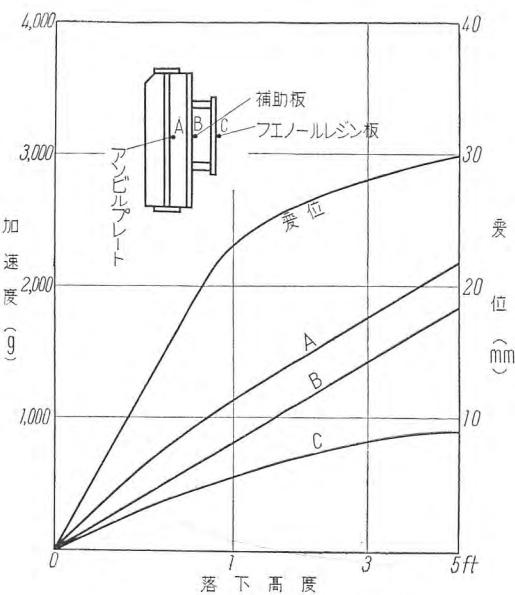


15 図 加速度および変位の測定  
Fig. 15. Block diagram for measurement of acceleration and displacement.

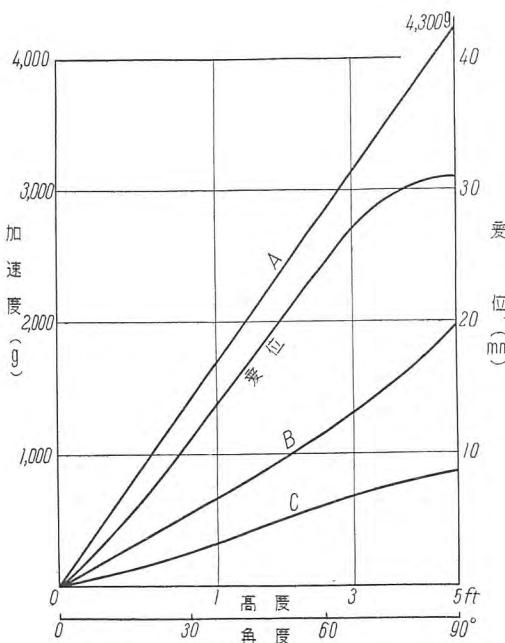
固有振動数は 15 kc である。

ピックアップの出力と加速度の関係は水晶に加えた静荷重と出力電圧の特性から較正を行った。

(ii) 増幅濾波器. この種の衝撃加速度を測定するときその値は測定装置の周波数特性によって定まる。このため測定装置は 100~5,000 c/s の範囲に忠実に応答することが必要である。今回の



16 図 頂面衝撃の最高加速度と変位  
Fig. 16. Maximum values of acceleration and displacement at top blows.



17 図 背面衝撃の最高加速度と変位  
Fig. 17. Maximum values of acceleration and displacement at back blows.

測定には 5,000 c/s の低域瀧波器を用いピックアップの固有振動に起因する共振を消し、ダンピングを持たせるようにした。

(iii) 変位、ばね鋼帯の片持梁にストレンゲージを貼り付け、これをアンビルプレートの中心にあって変位を測定した。

このとき片持梁の固有振動数はアンビルプレートの変位の周期の約 10 倍の 150 c/s にした。

(iv) 衝撃試験機の特性、衝撃の加速度はアンビルプレートの中央または補助取付板の中央にピックアップを溶接し、試料取付板がフェノール・

レジン板のときにはその中央にピックアップをボルトじめして、頂面、背面、側面の 3 方向の打撃にたいして計 9 種の条件についてハンマの落下高さを変えて測定した。(15 図参照)

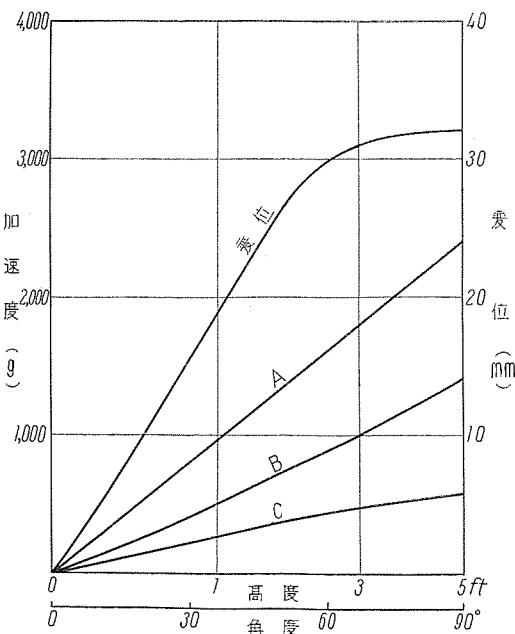
16 図から 18 図は各測定条件の落下高さと最高加速度および変位の関係を示したものである。これらを要約するとおよそつきのようなことがいいうるものと考えられる。

1. アンビルプレート中央の最高加速度は頂面衝撃約 2,200 g、背面衝撃約 4,300 g、側面衝撃約 2,400 g、で尖頭値までの到達時間は約 150  $\mu$ s、その周波数は 1,100~1,300 c/s である。(19 図参照)
2. 遮断器を取付けるフェノール・レジン板中央の最高加速度は、頂面衝撃約 920 g、背面衝撃約 850 g、側面衝撃約 570 g であって、その周波数は頂面、側面の衝撃のとき約 300 c/s、背面のとき約 170 c/s である。
3. アンビルプレートの最大変位は約 30mm である。衝撃をうけたアンビルプレートはスプリングによって停るが衝撃が強くなるとスプリングだけでは吸収できなくてフレームにあたって停る。
4. アンビルプレートは 20~30 ms. で最大変位に達しその最大速度は約 3.3 m/s. である。
5. ハンマのはね返り高さは最高 110 mm 程度で 2 回目よりあとの衝撃についてはほとんど問題にする必要はない。

## (2) 衝撃試験

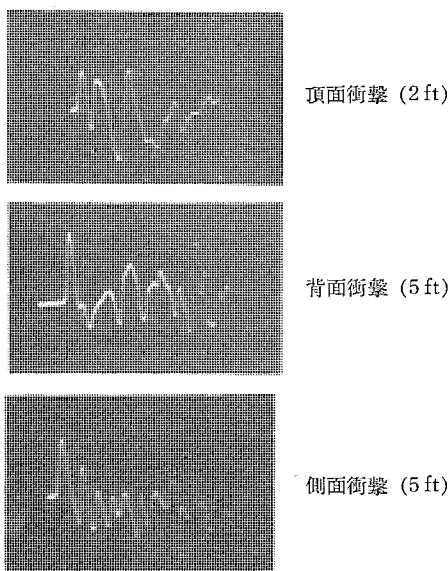
### a. 手順

- (i) 衝撃試験機への遮断器の取付けは 20 図による。
- (ii) 接点閉、定格電流通電し、各方向にて 1, 3,



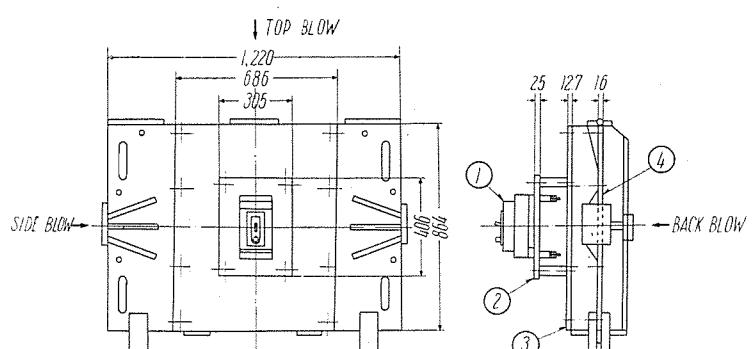
18 図 側面衝撃の最高加速度と変位

Fig. 18. Maximum values of acceleration and displacement at side blows.



19 図 アンビルプレートの加速度

Fig. 19. Accelerations on Anvil plate.



20 図 AQB 型ノーフューズ遮断器標準取付

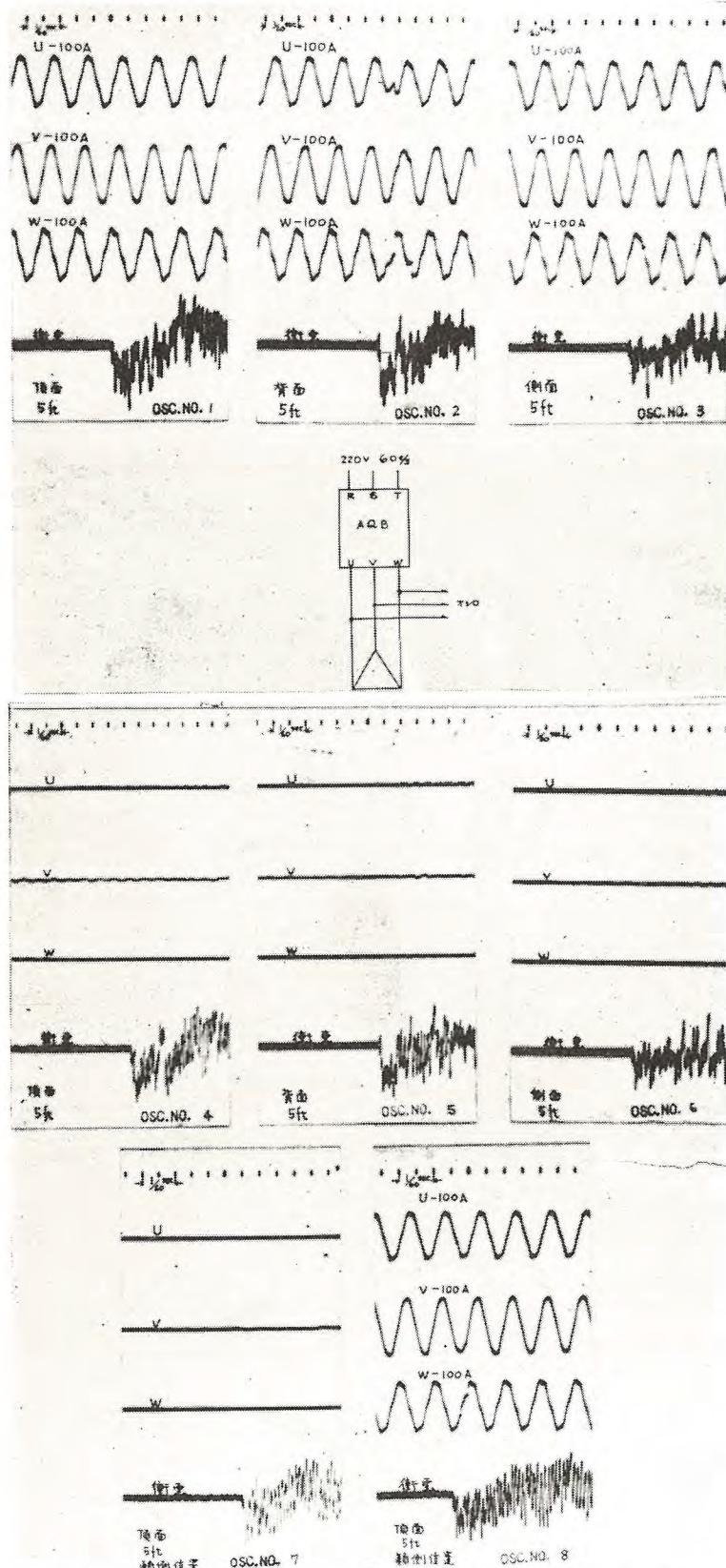
1. AQB 型ノーフューズ遮断器
2. フェノールレジン板
3. 補助板
4. アンビルプレート

Fig. 20. Standard mounting of type AQB no-fuse circuit breaker.

1. Circuit breaker;
2. Plastic mounting panel;
3. Auxiliary plate;
4. Anvil plate

5 ft の高さより計 9 回の衝撃をあたえる。

- (iii) 接点を開き各方向にて 1, 3, 5 ft の高さより計 9 回の衝撃をあたえる。
- (iv) 遮断器の上下を逆にして取付け接点閉, 定格



21 図 100 A フレーム AQB 型ノーヒューズ遮断器の衝撃試験オシログラム  
Fig. 21. High-impact shock proof test oscillograms of 100 AF type AQB no-fuse circuit breaker.

艦艇用耐衝撃型ノーヒューズ遮断器の特性 鈴木・大野・服部・木村

電流通電し 1, 3, 5 ft の 3 回の正面衝撃をあたえる。

- (v) 遮断器の上下を逆にして取付け、接点を開き 1, 3, 5 ft の 3 回の正面衝撃をあたえる。

- (vi) 上記試験はいずれもロック装置を外したままで行う。

#### b. 判定

衝撃が主要機能に障害をおよぼすかどうかはつきの基準によって判定する。

- (i) 閉路状態の接点が 0.2 秒以上開かないこと。

- (ii) 開路状態の接点が閉じないこと。

- (iii) 遮断器に損傷のないこと。

- (iv) 衝撃試験のうち引外し試験を行い規定範囲内にあること。

#### c. 試験結果

- (i) 閉路状態の接点が衝撃の影響をうけるのは最初の一撃の 1 サイクルであって背面衝撃以外接点はほとんど開かない。

- (ii) 開路状態の接点は全然閉じない。

- (iii) 遮断器は衝撃によってなんら損傷をうけない。

- (iv) 衝撃試験前後の引外し試験結果は測定誤差範囲内ではほとんど影響をうけない。

一例として 21 図に衝撃試験オシログラムをしめす。

## 6. むすび

遮断器の性能のよしあしは電動機、電燈、電熱などの働きをも左右し、電源回路の保護および保安上にも影響するところが極めて大きい。その上衝撃にたいしても電気的、機械的に耐えて、しかも小型軽量でないと艦艇用遮断器としての役目を果せない。

AQB 型ノーヒューズ遮断器はこれらの諸要求を満足するものである。それゆえ用途も広範におよぶと考える。

現在引続いて大容量のものを開発しているので需要家の要望に全面的に応える日も間近である。

なお衝撃試験機の特性測定には生産技術部の堀技師、研究所の水野、吉山技師に負うところが多かったことを併記しておく。

## 文 献

(1) IRWIN VIGNESS; Some Characteristics of Navy "High-Impact" Type Shock Machine, Experimental Stress Analysis Vol. 5, No. 1.

(2) M. HETÉNYI; Handbook of Experimental Stress Analysis p. 321, 1950.

# 单相電動機起動用交流電解コンデンサ

名古屋製作所

臼田長一\*

## A-C Electrolytic Condensers for Starting Single Phase Motors

Choichi USUDA

Nagoya Works

Condenser start single phase motors owes their practicability to the success in producing excellent and inexpensive A-C electrolytic condensers, the study of which has made a marked advance. These remains, however, much to be studied to find what characteristics are required for the starting of motors and how to check them. In this connection, first, the cause of their breakdown was searched to define the rating of continuous and intermittent current flow. Next, change in the characteristics with the lapse of time was brought to light to suggest a new test method.

### 1. まえがき

分相起動单相電動機は構造が簡単で価格も安いが起動電流が過大であるのに起動トルクが低い欠点をもっている。これを解決するものとしてコンデンサ起動型が考えられていたが安価で寿命の長い、小型軽量のコンデンサが得られなかったために特殊な場合を除いて実用されていなかった。しかし数年来交流電解コンデンサの研究がすすみ紙蓄電器とは比較にならない程の価格と寸法で、かつ起動用としてはほぼ満足できる特性のものが得られるようになり実用の段階に入った。しかしながら電動機起動用コンデンサとしてどのような特性のものが要求されるか、またはその特性はどのような方法で試験すればよいかなどの問題に対しては充分な解答があたえられていない。われわれは数年来コンデンサ起動单相電動機の研究、製作に従事し、その間の実験と考察から、この問題に対して電動機製作者としての考え方および結論を得た。本文においてはこれらの問題を明らかにするとともに国内交流電解コンデンサの現状を若干のべ、コンデンサ起動型单相電動機は明日のものではなく今日既に充分信頼のにおけるものであることを明らかにしたい。

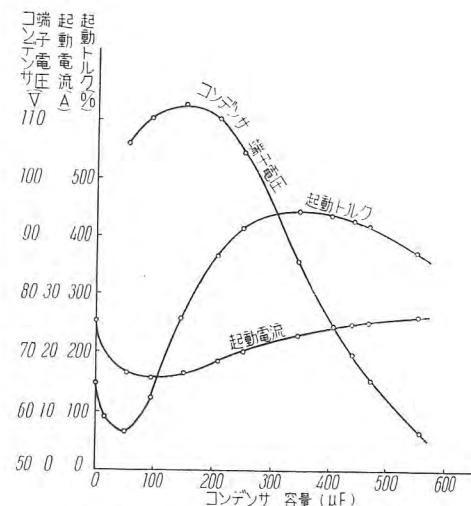
### 2. 单相電動機起動用として交流電解コンデンサに要求される特性

交流電解コンデンサの特性の現状は考慮しないで電動

機側よりみてどのような特性が要求されるかを最初に考える。

#### ア. 容量、力率に対する要求

コンデンサ起動单相電動機の起動トルク、起動電流は挿入する容量リアクタンスによって変化する。これを実験例で示したのが1図である。同図で示すようにコンデンサの容量が増加すると起動トルク、起動電流とも増加し限界容量に達すると起動電流は増加するが起動トルク



1図 コンデンサ容量起動特性曲線  
Fig. 1. Condenser capacity-characteristic curves.

は減少傾向になる。また起動トルクの増し方はかなり急激であるから起動特性を最良の範囲に保証しようとすれば容量、力率はせまいバラツキ範囲内になければならない。実験的、理論的にバラツキ範囲を規定すれば容量は定格値に対して $-0\sim+10\%$ の範囲にあり力率は平均値に対して標準偏差が1%以下であることが必要である。また力率は低圧コンデンサでは平均値が5%以下であることが望ましい。

#### イ. 温度による特性変化に対する要求

電解コンデンサの特性は温度(とくに低温の場合)によって非常に変化するがその変化の程度が予想される温度変化範囲で充分なる起動特性を保証できうるものでなくてはならない。すなわち温度が $-20^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ に変化しても起動トルクは常温の場合の90%以下にならないで起動電流は110%以下であるようにするためにゆるし得る特性変化の範囲は

常温で、力率5%以下、容量は定格値として

$-20^{\circ}\text{C}$ にて力率変化は200%以下

容量変化は90%以上

$+70^{\circ}\text{C}$ にて力率変化は90%以上

容量変化は105%以下

(ただし常温の場合の特性値をそれぞれ100%とする)でなければならない。

#### ウ. 寿命に対する要求

どのように起動特性が良好であっても実使用ですぐ破壊するようなものではいけない。一般に単相モータは適当な負荷で電源が定格条件であれば数秒以内に完全に起動が行われかつ起動回数も1時間に数回以下のものである。しかし現在の日本の電源事情と使用状況とを考えると予想以上に苛酷な使用条件があり得る。われわれの経験では家庭用ポンプで1分間に2回の起動、停止が行われたことがある。汎用電動機として考える以上これらの、ありうる最悪の条件においてもある程度は保証されるものでなくてはならない。また何らかの原因により起動できない状態がつづいても保護装置が動作するまでにコンデンサが破壊してはならない。

最後に放置された場合の劣化であるが常時使用されるポンプ、圧縮機などでは問題がないが短期間だけ使用してあと放置されるものでは放置期間の自然劣化が問題である。また長期間の在庫も考えられるから最低一年間放置されても特性、寿命には何らの劣化も起きないものでなければならない。

#### エ. その他の要求

家庭用電機品は高湿中で使用される場合があるから高湿中に長く放置されても吸湿して損失を増加させてはならない。また万一の故障でコンデンサが破壊した時に人畜、機器に損傷をあたえないように安全装置を

付属しておかなければならぬ。寸法は特性、寿命のゆるす限り小型軽量であることが望ましい。振動、衝撃等に対しても充分の強度を持っていなければならぬ。たとえば取扱い中、床上に落下させたり、輸送中、運転中振動をうけても差支えない構造でなければならない。

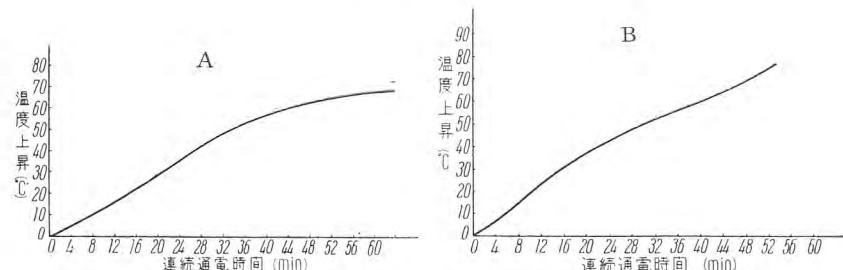
### 3. 交流電解コンデンサの定格

交流電解コンデンサの定格は現状不明確である。そこで本質的な考え方を述べる。一般に定格とは「連続使用または短時間使用に対して甚しい劣化を来さないような条件」を意味する。電解コンデンサでも同様に考えて連続使用および短時間使用、または断続使用に耐えるような条件すなわち使用電圧、時間、周囲温度および温度上昇等を理論的、実験的にもとめなければならない。

#### ア. 交流電解コンデンサ破壊の原因

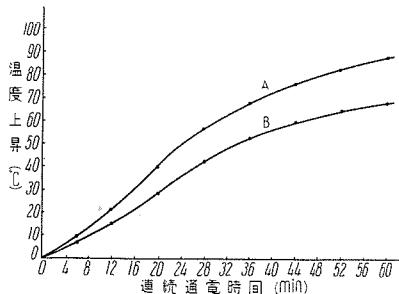
定格を考える前提として破壊の原因を考察する。交流電解コンデンサは純電気的、電気—熱的、熱的、経年劣化によって破壊する。すなわち純電気的とは化成皮膜が純電気的に絶縁破壊を起すもので印加電圧が化成電圧より高い場合に起る。化成は定格交流電圧(実効値)の約2倍の直流で行われるから交流電圧では定格電圧の140~150%が限界と考えられる。

電気—熱的破壊には二通りの意味がある。すなわち電気的原因が発熱を誘因する場合と電解を誘因する場合である。前者は連続、断続いずれの通電の場合にも起るが後者は断続通電の場合に起る現象である。しかし断続通電でも熱的劣化が主で電解による劣化は少いものと考えられる。いずれにせよコンデンサが通電されている時には、その温度が一定限界以下であれば劣化の進度はゆるやかであるが限界温度以上になれば劣化は急激に進むものである。熱的破壊は通電しないで高温中に放置されると急激に劣化し遂には破壊に至ることを意味している。電解コンデンサは適当な条件で使用された方が同一温度条件の放置よりもはるかに劣化しないものである。最後に経年劣化とは常温で長期間放置されると自然劣化を来すもので完全劣化に至っていない限り再化成することにより特性を回復し得るものである。実使用状態においては以上の諸要因が組合されて破壊に至るのであるがその一つ一つについて実験的に考察する。



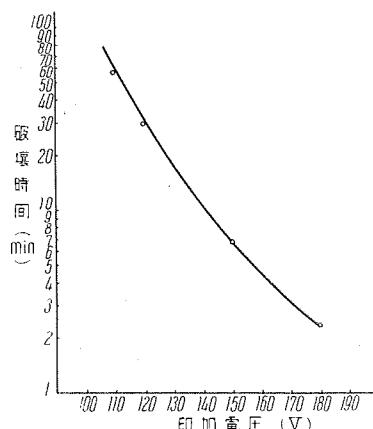
2 図 連続通電による温度上昇 A...80  $\mu\text{F}$  110 VA-C, B...200  $\mu\text{F}$  110 VA-C,

Fig. 2. Temperature rise due to continuous current flow.

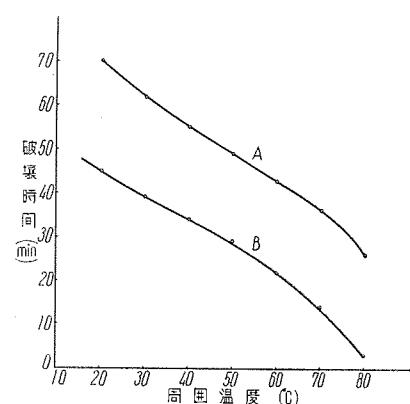


3 図 連続通電におけるケース内  
外部の温度上昇差曲線

A…ケース内部, B…ケース外部  
Fig. 3. Temperature rise curves at the inside of case during the continuous flow of current.



4 図 印加電圧破壊時間特性  
Fig. 4. Characteristic curve of applied voltage-break down time.



5 図 周囲温度破壊時間特性  
A…110 V A-C 80 μF,  
B…110 V A-C 200 μF  
Fig. 5. Characteristic of ambient temperature-break down time.

## イ. 交流電解コンデンサの温度上昇

電解コンデンサの温度上昇は化成皮膜およびペーストに抵抗が存在するために起る。したがって温度上昇をきめるものは発熱量、熱容量、放熱などである。電解コンデンサを連続に通電した時の温度上昇の状況の1例を2図に示した。この実験曲線は110 V A-C, 80 μF, 200 μFの双方を示したがケース容量は静電容量には比例していないので(A)曲線の方が低い温度上昇示をしている。

もし同一容器寸法とすれば発熱量の少い、放熱のよいものが温度上昇も低くなるものである。ところで発熱量はコンデンサの抵抗によってきまるのであるからコンデンサの抵抗、とくにペーストの抵抗を小さくすることがのぞましい。ペーストの抵抗を小さくすれば熱損失が少くならぬでなく温度による特性変化も少くなる。

なお一般に電解コンデンサの温度測定箇所はケースの外側であるがこれとケース内部の温度との差を明らかにしておかないと判断を誤るおそれがある。もちろんコンデンサの構造によって多少のちがいはあるが実験の1例を示せば3図のようになる。すなわち内、外温度の差は80°Cにおいて約20°Cと考えられる。

## ウ. 交流電解コンデンサの電気一熱的破壊

電解コンデンサの電気一熱的破壊特性を求めるにはいろいろの周囲温度、印加電圧に対する破壊時間を測定すればよい。まず印加電圧一破壊時間の関係を考えると電圧が増せば熱損失はほぼ電圧の二乗に比例して増加するから破壊時間と印加電圧の関係はほぼ二次曲線で示される。交流印加電圧(実効値)が(直流化成電圧)/ $\sqrt{2}$ 以上になれば純電気的破壊となり先の曲線は中断される。4図はその実験例を示したものである。破壊時間の大小については別項にて詳細にのべる。

またコンデンサの破壊時間は周囲温度によっても変化する。その実験例が5図に示したものでこの場合の印加電圧は定格電圧である。この2曲線が求められれば任意の周囲温度における破壊時間、または使用可能時間を知

ることができる。後者においてはコンデンサの使用可能の温度限界は80°Cとして決定する。

## エ. 交流電解コンデンサの連続通電による破壊

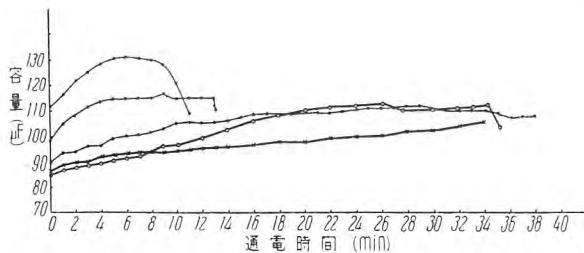
コンデンサの温度上昇は化成皮膜およびペーストの抵抗によって起る。ペーストの沸点を135°Cとし放熱が全くない場合連続通電でこの温度に達するまでの時間を求めてみる。いま比熱がCでmgの物質をt<sub>0</sub>°Cよりt°Cまで温度上昇させるのに要する熱量Hはつぎの式で示される。

$$mc = (t - t_0)H$$

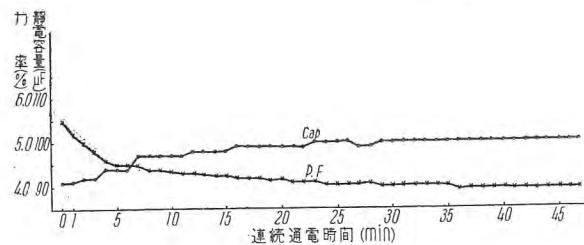
したがってコンデンサのアルミ電極の重量を60g、比熱C<sub>1</sub>=0.22、t<sub>0</sub>=25°C、t=135°C、さらにペーストの重量を70g、比熱C<sub>2</sub>=0.82として計算すると温度上昇に必要な熱量は

$$60 \times 0.22 \times (135 - 25) + 70 \times 0.82 \times (135 - 25) \\ = 7911 \text{ cal} = 33,100 \text{ joul}$$

またコンデンサの発生熱量を50W、すなわち50joul/secとすると約11分にて135°Cに達する。上記の諸条件は定格電圧110 V A-C、静電容量200 μF、力率が5.48%のものに相当する。したがって放熱のない限り110 V A-C、200 μFの電解コンデンサは10~12分位で破壊する。それで温度上昇を下げるためには放熱を良好にするとともに発生熱量を減少させることが必要である。放熱を良好にするためにはコンデンサの熱容量を大にすること、適当な空隙を持たせることなどが考えられるが、コンデンサに許される寸法によってある程度制限されるものである。発生熱量を減少させるためには化成皮膜およびペーストの抵抗を減少させなくてはならない。ペーストの抵抗は全体に対して非常に多い部分を占めているのでこれを減少させることにより温度変化に対する抵抗の変化、いいかえれば力率の変化を少くすることができる。以上に述べたようにコンデンサの連続通電による破壊時間を求めるることはコンデンサの熱容量、熱劣化特性を知る点で極めて有効な試験方法と考えられる。6図は各社のコンデンサを連続通電した場合の容量



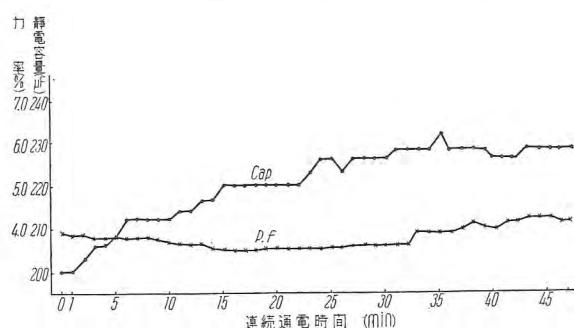
6 図 各社電解コンデンサの連続通電特性 (静電容量のみ)  
Fig. 6. Characteristics of continuous current flow on varied electrolytic condensers (Static capacity alone).



7 図 電解コンデンサ連続通電による特性変化  
80 μF 110 V A-C  
Fig. 7. Change of characteristic due to continuous current flow on electrolytic condensers.

力率の変化を破壊に至るまで測定したデータを示したものである。これを少しく説明するとペースト抵抗の温度係数は負であるから内部温度が上昇するにしたがってペースト抵抗は小さくなり、その結果容量は増加し力率はやや減少するものである。しかし中には最初から力率も急増するようなものもあるが、これは単にペーストの抵抗の大小問題よりも、他の原因で化成皮膜とともに熱劣化を急激に起したものと考えられる。破壊時間はコンデンサの性能が同一であっても寸法が異ると変るので一概にきめることはできないが、定格電圧および寸法が決定されるならば性能だけで一応の規準をあたえることができる。

また多くの実験結果を総合して見ると連続通電特性の良好なものは他の苛酷な使用条件（たとえば断続通電など）にも優れた性能を示すことが明らかとなった。7, 8図は現在もっとも良好な特性の電解コンデンサの連続通電の結果を示したものである。7図は110 V A-C, 80 μFの場合であるが図面の関係で45分間の特性変化のみを



8 図 連続通電による容量力率の変化 110 V A-C 200 μF  
Fig. 8. Change of capacity and power factor due to continuous current flow.

単相電動機起動用交流電解コンデンサ・臼田

9 図 電解コンデンサの断続通電における温度上昇

A<sub>1</sub>…ケース容量大  
2秒-28秒 1c/s

A<sub>2</sub>… " 0.5秒-7秒 "

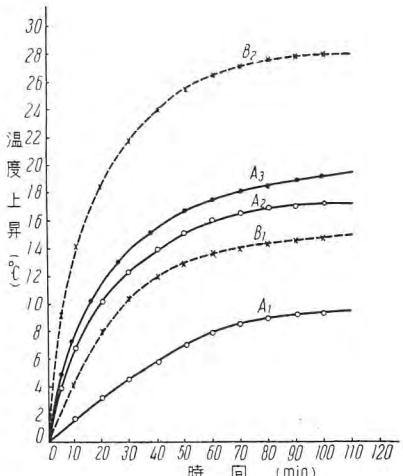
A<sub>3</sub>… " 5秒-25秒 "

B<sub>1</sub>…ケース容量小  
2秒-28秒 "

B<sub>2</sub>… " 0.5秒-7秒 "

A, Bの特性はほぼ同一

Fig. 9. Temperature rise of electrolytic condensers due to intermittent current flow.



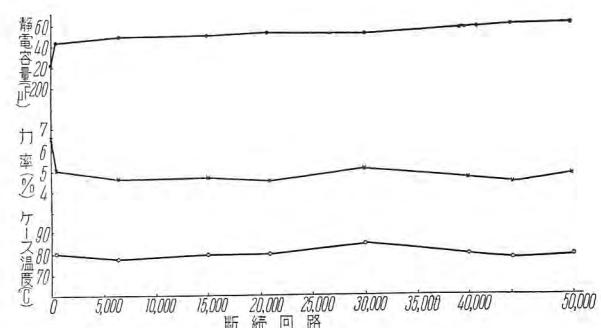
示したがほぼこのままの状態でさらに40~50分は継続されているものである。

#### オ. 交流電解コンデンサの断続通電による破壊

断続通電による破壊もその原因から考えると周囲温度と断続通電による温度上昇による熱的劣化とわずかの電解作用による化成皮膜の劣化とよりきめられる。コンデンサの温度が限界温度以上になると通電によって再化成されても劣化は急激にすすみ遂には破壊に至る。限界温度はコンデンサ内部で80°Cと考えられる。

断続通電の場合には通電時間を総合計して表現するよりもその回数で表現することが正しい。また通電のサイクルは連続に行われるべきであって中間で休止してコンデンサを冷却すると劣化が回復してしまうから寿命試験の一つとしてこれを実施する場合には完全に連続行われなければならない。断続サイクルによる温度上昇は連続通電と同じようにコンデンサの熱容量、寸法、および損失とによってきめられる。したがって使用する条件によって断続サイクルをきめそれに耐えるようなコンデンサの寸法と特性とをきめればよいのである。

9図は特性は同一でケース容量のことなる2箇のコンデンサについていろいろの断続サイクルで測定した温度上昇曲線を示している。この実験は新に電解コンデンサを選定する時には必ず行われなければならない。



10 図 電解コンデンサの断続通電による特性変化  
110 V A-C 200 μF

Fig. 10. Change of characteristic of electrolytic condensers due to intermittent current flow.

10 図は周囲温度 60°C で断続サイクルは 2 秒通電, 28 秒休止を 1 c/s として連続試験した場合の特性変化を示す。周囲温度を 60°C とした理由は電動機規格と同じく周囲温度を 40°C としこれにモータの温度上昇による温度の伝達を 20°C としてきめたものである。また断続サイクルは家庭用ポンプなどでありうる最悪の条件として考えたものである。この実験は一応 5 万回の断続を目標として実施したがほとんど劣化を示さないことが明らかとなった。実使用においては完全連続ということはまず考えられないから前記の 5 万回の記録は相当長い期間の寿命を保証することを意味しているものと思う。

#### カ. 交流電解コンデンサの定格の定義

電解コンデンサはモータ起動用としてのみ用いられるものであるから連続通電の時間は実用上他に故障のない限り 1 分以下と考えてよい。それ以上かりに通電されたとすればコンデンサは別としても絶縁巻線が損傷していくであろう。したがって実用的に考えると連続通電の定格時間は余り意味はない。しかし試験法として考えれば連続通電は極めて意味のあることで連続通電時間の長いものほど他の使用条件にも耐え寿命も長いことが明らかになっているのでこの観点から定格時間をきめておくことは必要である。すなわち劣化しない程度の連続通電時間は低圧小容量 (110 V 以下, 200  $\mu$ F 以下) のもので 15~20 分、高圧大容量 (150 V 以上, 200  $\mu$ F 以上) のもので 5~10 分である。また破壊時間は低圧小容量のもので 40~90 分、高圧大容量のもので 15~30 分である。ただしこれらは現在市販のコンデンサ寸法で得られた結果よりきめたもので特殊なものには適用されない。

そこで一般に電解コンデンサの定格としては断続の周期を考えるのが妥当であろう。これもコンデンサの性能および実用上の要求の双方より考えられるべきでいたずらにコンデンサの性能にのみ苛酷な要求をすることは無意味に等しい。米国では定格とする断続周期を 1 時間に 20 回、通電時間を 3 秒としている。一般にはポンプ、圧縮機、冷凍機など比較的の起動の頗度の多いものでも正常の運転状態であれば前記の条件以下と考えられる。米国の電解コンデンサはこの定格の断続サイクルに対しては充分長期間の運転に耐えることが実験的に明らかとな

った。またわが国の電解コンデンサも前節に述べた実験データで明らかのようにこの断続サイクルには問題なく耐える。しかしこれをそのまま定格として採用することにはつきの点で問題がある。すなわちわが国での電機品の実使用状況を考えるに米国の定格とするものよりはるかに苛酷な条件になることがありうる。たとえば家庭用ポンプなどでは 1 分間に 2 回の起動頗度になりうることを経験している。そこで電源事情その他も考慮して最も苛酷な条件において寿命を保証することが必要である。また電解コンデンサの性能も考慮するとわれわれが目標としなければならない定格は周囲温度 60°C で断続サイクルは 2 秒通電、28 秒休止、1 c/s とするものになるであろう。この目標は先の実験データで明らかのように一部の電解コンデンサでは到達されているものである。ただし以上は定格電圧の加えられた場合であつて印加電圧が変化したり周囲温度が変った場合には当然変更されなければならない。

#### 4. 交流電解コンデンサの容量、力率の測定法

直流電解コンデンサの容量、力率は [ウイーン、ブリッジ] により測定するように JIS にきめられているがその方法を交流電解コンデンサに適用することにはつきの疑点がある。

(1) ウイーンブリッジの測定電圧は 3V であるが交流電解コンデンサの使用電圧は 100~200V で甚しく異なる。しかも交流電解コンデンサは測定電圧によって特性値が若干変化するゆえ定格交流電圧で測定することが必要である。

(2) 交流電解コンデンサの充電波形は印加波形が正弦波であつても高調波を含む歪波となり電流、損失とも増加する。

以上 2 点を解決するためには 11 図に示す測定回路で定格交流電圧を印加して電流計、電力計により測定することが必要である。

すなわち  $1/WC = WL$  なる条件を満足するようなインダクタンス  $L$  を挿入すれば充電波形もほぼ正弦波に近いものとなる。実モータ回路では必ずコンデンサに直列にインダクタンスが入っており 11 図の測定回路はモータの近似回路ともいえる。もし適当なインダクタンスが得られないならばモータ回路に挿入して測定してもコンデンサ単独で測定するよりも正確な結果が得られる。容量、力率はつきの式にて算定する。

$$C = I/2\pi fV \quad (\mu F)$$

$$P \cdot F = W/I \cdot V \times 100 \quad (\%)$$

ただし

$$C = \text{静電容量} \quad (\mu F)$$

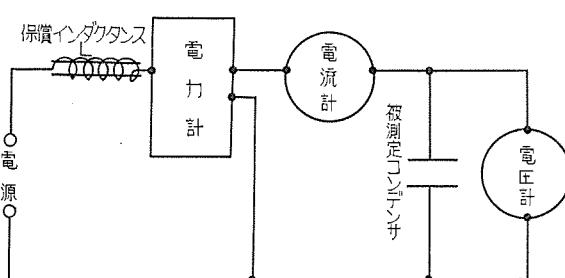
$$I = \text{コンデンサに流れる電流} \quad (A)$$

$$f = \text{周波数} \quad (c/s)$$

$$V = \text{コンデンサの端子電圧} \quad (V)$$

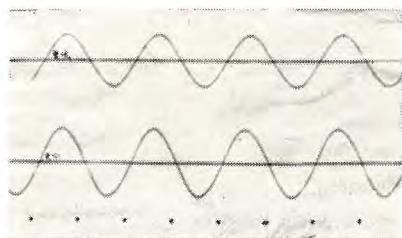
$$W = \text{コンデンサの損失} \quad (W)$$

以上の測定において電源は正弦波で周囲温度は 20°C

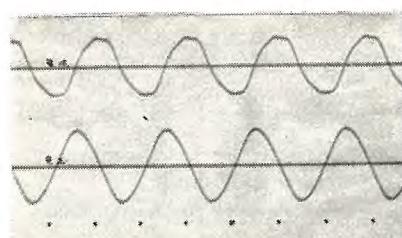


11 図 交流電解コンデンサ容量力率測定回路

Fig. 11. Circuit measuring capacity and power factor of A-C electrolytic condensers.



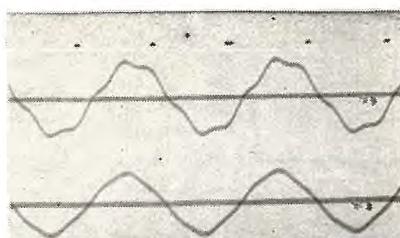
a. 保償インダクタンスの入った場合



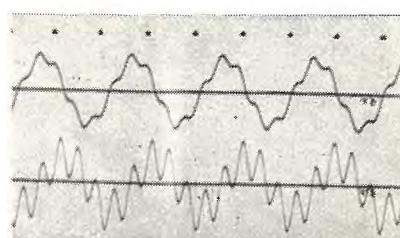
b. 保償インダクタンスの入らぬ場合

12 図 電解コンデンサの充電電流波形  
(電源正弦波)

Fig. 12-13. Charging current wave forms of electrolytic condenser.



a. 保償インダクタンスの入った場合



b. 保償インダクタンスの入らぬ場合

13 図 電解コンデンサの充電電流波形  
(電源非正弦波)

1 表

電源	保償インダクタンス	容量 ( $\mu\text{F}$ )	力率 (%)
正弦波	あり	204	5.07
〃	なし	218	6.57
歪波	あり	217.5	6.47
〃	なし	253	6.59

インダクタンスで補償した場合と補償しない場合の充電波形を示す。

13 図で明らかなように適當なインダクタンスを使えばほとんど歪を補償しうること、また通常行われている工場電源による測定は甚しい歪波で行われていることが示されている。この波形の歪が測定値に及ぼす影響は1表に示したが予想以上に顕著なちがいのあるものである。

## (2) 印加電圧による誤差

電解コンデンサの特性は測定電圧により若干異り一般に印加電圧が大になると容量、力率とも増加するものである。とくにコンデンサ単独で試験した場合には高電圧になる程高調波の影響が顕著となり定格電圧以上になると容量、力率ともに急増する。14 図は補償インダクタンスなしで電圧特性を測定したものである。このデータから明らかなように交流電解コンデンサは必ず定格電圧で試験されなければならない。

## (3) 周囲温度および測定時間による誤差

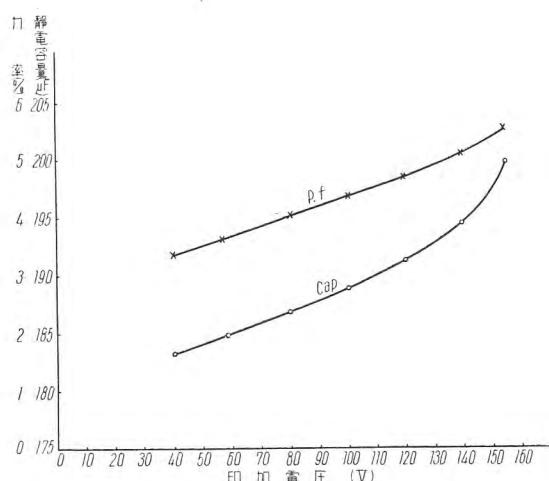
測定は一定規準温度で行われないと誤差をまねくおそれがある。なぜならコンデンサ特性の温度変化は製造法材料によって箇々に異なるから規準温度でのみその特性は比較されなければならない。このことは後章においてさらに詳細に述べる。測定時間も誤差の原因となるもので測定時間が 30 秒以上になるとコンデンサ内部の温度上昇のために特性はいちじるしく変化するものである。温度による誤差を少なくするためにには測定ができるだけ短くすることが必要でわれわれは電圧印加後 5 秒を標準としている。

## 5. 交流電解コンデンサの温度特性

交流電解コンデンサの容量、力率は温度によって変化する。低温側はペーストの凝固点まで (ほぼ  $-30\sim40^\circ\text{C}$ )、高温側はペーストの沸点まで (ほぼ  $+125\sim135^\circ\text{C}$ )。周囲温度を変えて特性を求めるとき  $+20^\circ\text{C}$  を標準として容量は 50%~120% 位まで、力率は 800%~90% 位にはなはだしい変化をするものである。これらは製造方法、材料などによってきまるものである。

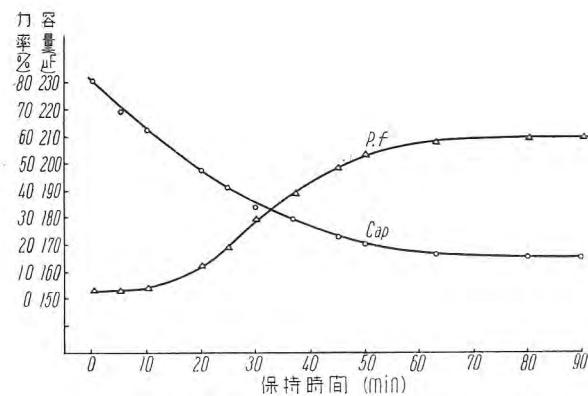
### ア. 温度特性測定上の問題

温度特性を正確に求めるには恒温槽の中にコンデンサを入れて内部まで一定温度に達してからできるだけ早く測定を行わなければならない。ところで恒温槽の中に入れておく時間はコンデンサの大きいものによるが  $200\mu\text{F}$ 、 $110\text{ V A-C}$  以下のもので最低 90 分を必要とする。これ



14 図 電解コンデンサの印加電圧による特性の変化曲線  
 $110\text{ V A-C } 200\mu\text{F}$

Fig. 14. Curves of characteristic charges of electrolytic condenser due to applied voltages.



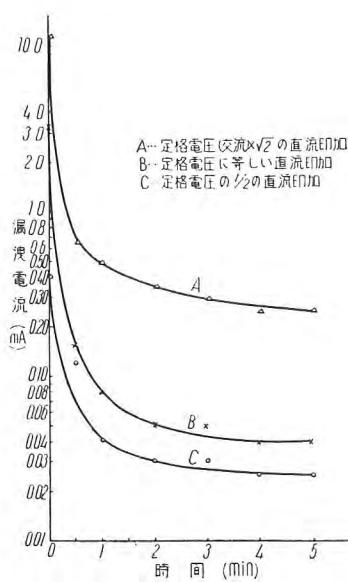
15 図 恒温槽に保持した時の特性変化  
(+65°C 2 時間放置後 -30°C の恒温槽に入れた)  
Fig. 15. Characteristic change when kept in thermostatic bath thermostatic.

以上の容量、電圧のものに対しては 2 時間以上が必要である。15 図は以上を実験的に裏付けたデータで 110 V A-C, 200  $\mu$ F のコンデンサを 65°C の恒温槽の中に 2 時間保った後急に -30°C の低温槽に入れ特性の安定するまで（すなわち全体が -30°C になるまで）の時間を求めたものである。

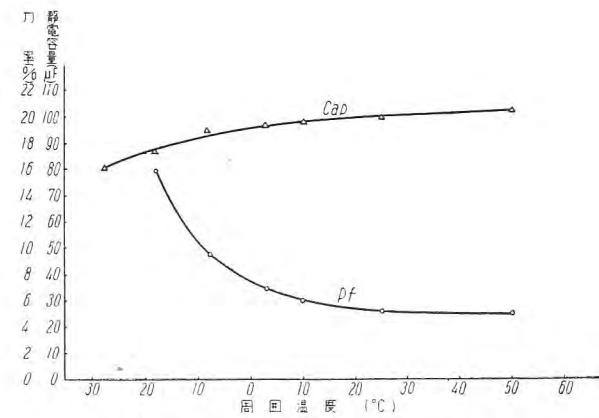
#### 1. 温度特性

温度特性は一般に全抵抗に占めるペースト抵抗の比率とスペーサの抵抗および厚みによって左右される。前述したようにペーストの抵抗を小にすれば全抵抗が小になるのみでなく全抵抗に対して占める割合も小となりしたがって温度による変化は少くなる。またスペーサの抵抗および厚みも明らかに温度特性に影響をあたえる。大体の温度特性を予想すればペースト抵抗の温度係数は負であるから高温になれば抵抗は小さくなり容量は増大し損失は減少する。低温ではこれと正反対になる。ここで問題にしなければならないのは低温における容量の低下

と力率の増大である。このことは低温ではモータの起動トルクの減少を意味しているからできるだけその変



17 図 漏洩電流時間曲線  
Fig. 17. Leakage current-time curves.



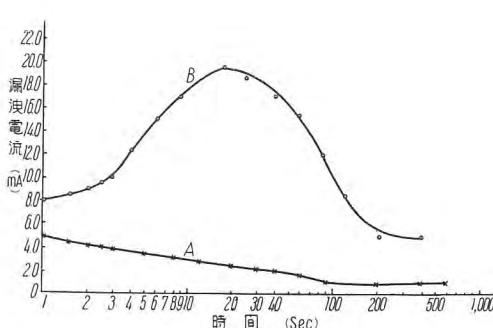
16 図 交流電解コンデンサ特性の温度変化  
Fig. 16. Characteristic changes of A-C electrolytic condensers due to ambient temperature.

化は少いことが望ましい。16 図は温度特性の実験データの 1 例を示したがこれは現在えられる良好なものに属する。温度特性をよくすることにより他の特性が悪くなるようなことは考えられないがこれらについては今後も検討されなければならない。

#### 6. 交流電解コンデンサの漏洩電流

漏洩電流は周囲温度、初期条件（すなわち化成された直後であるかまたは長く放置されていたかなどの現在までの履歴）、測定時間などによって異なるものである。従来交流電解コンデンサの漏洩電流が余り問題にされていなかったのはこれらの諸条件により測定値に信頼がおけなかつたためと思う。その点を解決するためにはつぎのように行けばよい。すなわち周囲温度を一定に保ち、直流電圧（交流定格電圧  $\times \sqrt{2}$ ）を 30 分印加した後 24 時間放置して初期条件を同一にしてから漏洩電流を測定する。この場合の直流電圧は交流定格電圧  $\times \sqrt{2}$  に等しいものとし約 10 分間の漏洩電流を刻々に測定する。電圧印加直後は電流変化が甚しいから 1 分間位は数秒毎に読みとる必要がある。もちろん一定値に安定すれば 10 分以内でも中止してよい。このように時間の函数として漏洩電流を測定することは後述するとおりコンデンサの劣化特性をある程度示し得るからであってその必要のない時には一定時間後の漏洩電流のみ測定すれば充分である。17 図は種々の直流電圧にて測定した漏洩電流の時間的変化を示したものである。

漏洩電流はつぎの場合に測定する。



18 図 劣化による漏洩電流の変化曲線  
A…劣化前, B…劣化後  
Fig. 18. Curve showing change of leakage current due to deterioration.

- (1) コンデンサの入荷直後
- (2) 連続通電または断続通電による寿命試験を実施

2 表 強制劣化試験後の漏洩電流  
60°C, 128 時間後

NO.	試験前			試験後		
	容量 (μF)	力率 (%)	漏洩電流 (mA)	容量 (μF)	力率 (%)	漏洩電流 (mA)
1	178	6.66	0.4 0.6	178	6.66	0.4 0.7
2	178	6.20	0.4 0.5	180	6.10	0.9 1.0
3	157	5.86	0.4 0.7	158	6.24	0.3 1.2
4	169	6.50	0.6 0.8	169	6.0	0.9 0.8
5	174	7.40	0.3 0.4	170	6.0	0.75 0.58

3 表 強制劣化試験後の漏洩電流  
80°C, 24 時間

NO.	試験前			試験後		
	容量 (μF)	力率 (%)	漏洩電流 (mA)	容量 (μF)	力率 (%)	漏洩電流 (mA)
1	155	4.7	0.1 0.12	154	4.9	0.8 0.9

した直後（この場合には再化成の必要がない）

（3）高温にて強制劣化試験を行った直後  
この試験は熱的劣化試験として実施するものである。  
ところでコンデンサが劣化したか否かは容量、力率の変化で明らかになるが漏洩電流でも可能である。むしろ僅かの劣化を示すのには力率よりも漏洩電流の方が有効であることが実験的に明らかになった。たとえば2、3表に示す如くコンデンサを高温中に放置した後常温まで冷却してから容量、力率、漏洩電流を測定して見ると容量、力率では明確な差は出ないが漏洩電流では明らかに劣化を示している。2表は60°Cで168時間、3表は80°Cで24時間コンデンサを放置したものである。

また寿命実験の前後においても顕著な差が認められるがその甚しい一例を示すと18図のようである。もちろんこの時には力率も数10%の変化を来している。このように漏洩電流はコンデンサの劣化判定法として有効なものと考えられる。

なおこの強制劣化試験は経年劣化を早期に行う等価試験としての意味も持つものと考えられるがその正確な関係については目下実験中である。

## 7. 交流電解コンデンサの構造

### ア. 防爆構造

なにかの事故によりコンデンサが破壊する時内部構造が気密にできている程内外圧の差が著しくそのため破壊の瞬間に内部素子が激しくとび出し危害をあたえるおそれがある。構造を気密にすることは防湿の点から絶対に必要であるから爆発を防止するためには適当な防爆安全装置が必要である。最も理想的な方法は温度継電器をコンデンサに内臓することであるが価格が高くなるのでほとんど実用されていない。現在はケースを密封するのにゴム板とマイカルタ板とを用いマイカルタ板には3~5φの穴を、ゴム板には細穴をあけ當時はゴムの弾性で細穴は閉鎖されているが内部圧が高くなると細穴が開いて内部圧力を外ににがすような方法が最も多く用いられている。この方法は動作圧力にムラがあり充分なものとはいえないが簡単でほとんどそのための費用のかからぬ

4 表 電解コンデンサの自然落下試験

落下回数	端子方向		端子と反対方向		側面方向	
	容量 (μF)	力率 (%)	容量 (μF)	力率 (%)	容量 (μF)	力率 (%)
0	206	5.4	209	5.7	205	5.7
1	207	5.4	210	5.4	205	5.4
5	207	5.7	210	5.4	205	5.4
10	208	5.4	211	5.4	205	5.7
20	212	6.0	212	5.4	206	5.7
30	215	6.3	213	5.4	206	5.7
40	シート	213	5.4	シート		
50		215	5.4			
70		217	5.7			
100		218	5.7			
120		218	5.7			
150		219	6.0			

長所を持っている。しかしその構造、動作については今後も研究されなければならない。

### 1. 耐振動、耐衝撃構造

使用中モータは多少の振動をともなうものであり機械との連結がわるいと振動は甚しくなる。また輸送中や取扱い中にコンデンサを床上に落下させることも考えられる。これらの振動、衝撃によりコンデンサは口出線が切れたり短絡を起してはならない。最近これらの点は充分の注意が払われておらずMIL-S-901Aに規定された衝撃試験に耐えるものもできている。4表はコンクリート床上へ1mの高さから自然落下させた場合の実験データであるがこれによっても振動、衝撃に対して充分保証し得ることが示されている。

### 8. むすび

われわれは電解コンデンサの製造には従事していないのでも電動機メーカーとしての立場から考察を加えた。その点一方的な議論に終るおそれがあるが現実には、実例としてあげた諸データから明らかのように電解コンデンサメーカーではわれわれの意とする所をよく理解してほぼわれわれの要求に近い水準まで性能を向上させてきたことが認められると思う。

われわれの考えている要求は国内の諸事情から少し苛酷と思われるかもしれないが進歩の過程においては一応到達しうる限界まで研究をすすめ、その後において実用性とにらみ合せて不必要と思われる点を除去して行けばよいと考えたからである。たとえば断続通電の定格などもあらゆる場合を考慮してきめたものであってこのような条件にならぬことが明らかになった場合には規準を下げてさらに安価なものを選定しても差支えないと思っている。

いずれにせよ交流電解コンデンサは今日充分信頼のおけるものでありコンデンサ起動単相電動機の将来は期待してよいと思う。

# 電 気 洗 灌 機 の 品 質 管 理

名古屋製作所

伊 藤 一 夫\*・小 島 正 男\*

## Quality Control of Electric Washing Machines

Kazuo ITO Masao KOJIMA

Nagoya Works

Important qualities expected from washing machines are efficient washing, quiet operation and durability. The quality control on them is to maintain economically these characteristics at a logical level. Efficiency of washing is experimented in the stage of trial manufacture of the apparatus, then the design being determined. The endurance test is given through 2,000 hour's continuous running to confirm no wear occurs at almost any part. The quiet operation is tested with special attention according to a predetermined standard. Further, over the mechanical work shall be made the quality control at varied stages by the use of histograms as the case demands.

### 1. まえがき

電気洗濯機工場で行っている品質管理の概要とそれに応用した統計的手法について記す。

### 2. 概 要

#### ア. 電気洗濯機の構造

三菱電気洗濯機 MW-11 型および 15 型は、攪拌式 3 枚翼で、翼は平歯車とラックによって減速し回転運動を半回転往復運動に変換して駆動され、モータは、100 V 50/60 c/s 100W であり、1 回の洗濯容量は約 2kg である。

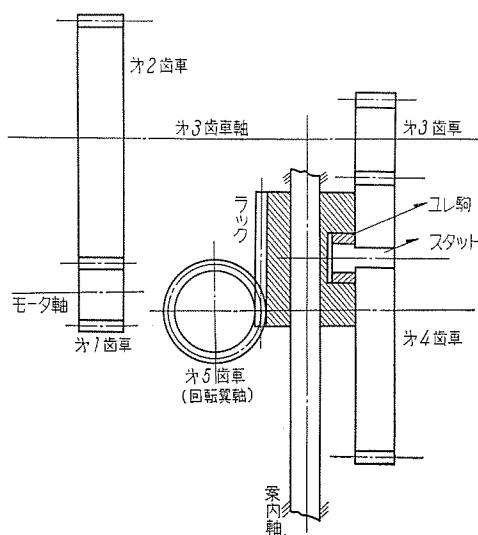


Fig. 1. Sectional view of gear box.

歯車箱の機構は、1 図および 2 図に示す。

#### イ. 品質の重点

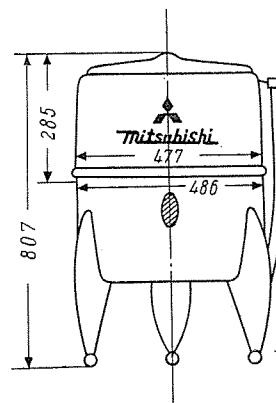
電気洗濯機として要求されることは、次のようなことである。

- (1) 洗浄性能が高く洗浄が確実で、洗浄物がいたまない。
- (2) 取扱い易く故障が少く耐久性がある。
- (3) 静かに運転する。
- (4) 置場所が少くて、外観が優美である。

品質管理としては、材質の研究と部品精度の向上による耐久性の増進と静かな運転ということを第一として部品製作、組立、塗装の各工程で品質の管理と、不良の未然防止に努めている。

### 3. 主要品質の現状

洗浄性能、耐久性、静か運転の三つの主要な品質について実験結果およびその管理方法について記す。



2 図 外 観 図  
Fig. 2. Outside view of washing machine.

### ア. 洗浄性能

洗浄性能については主として翼の形、回転角度、回転精度によるもので、設計の際、外観も考え合せて、効率がよいと考えられる数種について洗浄性能の実験<sup>(1)</sup>を行い、市場品とも比較して優秀な仕様を採用するようにした。実験要領は「JEM 1077 電気洗濯機」により、この分野の権威者の実験結果などを充分に参考し、綿密な注意により、バラツキの少い洗浄性の異なる汚染布を製作して行っている。翼の形状による実験結果の一例を1表に示す。現在使用している翼は、1表で最もよい翼をさらに若干改造して、より洗浄性能をよくしたものを採用している。洗浄効率の定義を参考迄に次に示す。

$R$ =汚染布洗濯後の反射率 (Whiteness)

$R_s$ =汚染布洗濯前の反射率

$R_0$ =原布の反射率

$$\text{洗浄効率 } E(\%) = \frac{R - R_s}{R_0 - R_s} \times 100$$

反射率の測定は

Photo volt Co. の反射率計 Mod. 610 を使用した。

### イ. 耐久性

耐久性については

部品の摩耗および洗濯槽部分の腐食および発錆などにより電力の増大、運転時の騒音の増大、洗浄効率の低下、外観の損傷などが考えられるが、洗濯槽部分の腐食については後に述べるように洗濯槽（槽には耐食性の琺瑯がしてある）の作業は慎重に行われ、かつパッキング部品のメッキも充分な仕様によって確実に作業を行っている。

部品の摩耗については、耐久試験によって、材質、調質条件を研究して最も良好な仕様を採用しているが、2,000時間連続運転後の各部品の摩耗状況を測定した結果を2表に示す。

2,000時間は、毎日30分ずつ使用するとして11年間使用することになり、表に示すように摩耗量はわずかで、極めて優秀な耐久性であることが知られる。

### ウ. 騒音

三菱洗濯機は、歯車駆動の機構のため静かではあるが、前二者の特性と異り、つねに厳重な管理が必要である。

また騒音の基準は、指示騒音計で示されるが、単に音の大きさのみで無く音質にも充分の考慮が払われねばならぬ。

1表 洗浄性能実験結果（翼の形状）

綿布 重量	回 転 翼	洗浄効率	
		水 %	湯 %
1.0 kg	A <sub>1</sub>	68.0	73.0
	A <sub>2</sub>	67.5	72.5
	A <sub>3</sub>	60.0	67.0
1.5 kg	A <sub>1</sub>	67.5	72.0
	A <sub>2</sub>	63.3	71.5
	A <sub>3</sub>	59.5	66.0
2.0 kg	A <sub>1</sub>	66.0	71.0
	A <sub>2</sub>	60.3	70.0
	A <sub>3</sub>	56.8	65.0

2表 2,000時間連続運転後の歯車箱各部品の摩耗量

単位 mm

箇所	実験回数	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	注
歯車厚	第1	✓	✓	✓	✓	0.005	✓は摩耗量僅少で測定し得ず空欄は未測定
	第2	0.01	0.01			0.005	
	第3	✓	✓	0.01	✓	0.005	
	第4	0.01	✓	✓	0.01	0.005	
	第5	✓	✓	✓	✓	0.005	
ラック		✓	✓	✓	✓	✓	
軸外径	第4	✓	0.01	0.005	0.025		
	第3	✓	✓	✓	✓		
	主軸 12φ	✓	✓	✓	✓		
	18φ	✓	✓	✓	✓		
案内軸	0.01	0.01	✓	0.015	0.01		
スタッド外径		0.02	0.01	0.01	0.015	0.02	
ユレ駒 14φ	0.004	0.015	0.015	0.007	0.005		
	20φ	✓	✓	✓	✓	✓	

らない。われわれは、次のようにして管理している。

### (1) 騒音基準の設定

製品の騒音の検査は、検査員が全数について聴覚検査を行い、疑問のあるものについては、基準の洗濯機と比較して、聴覚に加えて指示騒音計により騒音を測定し、良否を判定するようしている。

そこで基準の騒音を設定する必要があるが、それには、つぎのような手順によって決めている。

a. 数名の検査員によって現状を代表するようなロットについて検査し、次のように分類する。

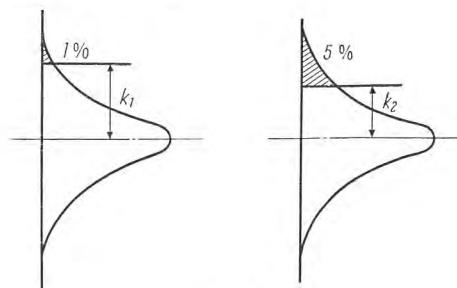
- (i) 連続的な音で、異常音のないもの。
- (ii) 異常音の入るもの。
- (iii) 嘸り音がある。
- (iv) きしむ音がある。
- (v) 部品の「かち合う」音がある。
- (vi) その他

b. (i) については、洗濯機上方 1 m および側方洗濯機の上端を含む水平面上 1 m の所で騒音を測定し、最高最低および平均のもの各 2 台、さらに 3 図に示す、 $k_1$ 、 $k_2$  の位置にあるもの各 2 台を取り出す。

c. (ii) については、その大きさの大きいもの、中位のものをサンプルとして取り出す（異常音のあるものは全部不良としている）。

d. 市場における水準を調査する。

e. b. c. によって取り出したサンプルの騒音を関係者立会の上、きいてみる。



3図

Fig. 3.

- f. e. の結果 d とも考え合せて、騒音基準を設定する。  
 g. f. により決定された所により、良品の最高限、不良品の最低限と考える洗濯機を取り出し判定基準のサンプルとする。

#### (2) 騒音基準の管理

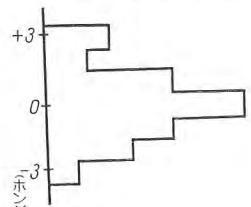
検査員は、設定された基準サンプルにより充分その感覚を訓練し、また毎日の検査初めと終り、また疑問のあるときは基準サンプルについて感覚をチェックするようしているが、基準のサンプルもまた経日変化することが考えられるので、基準サンプルの騒音を一定の条件でテープレコーダに録音しておき、品質管理責任者が定期的に再録音して、前回の録音結果と比較チェックするようしている。

#### (3) 騒音基準の改訂

部品精度の向上により、騒音の品質水準が、よりよくなれば前述の要領に準じ基準を改訂し、バラツキを少くする。

#### (4) 騒音の現状

現在出荷している騒音を指示騒音計で測定した結果バラツキの状態は4図のようである。また異常音のあるものは全部不良としている。



4図 齧音の現状  
Fig. 4. Noise histogram.

## 4. 機械加工作業の管理

初めは、各部品共工程毎または製作完了後全数検査を行い、不良防止のための措置は、検査結果によって探究していたが、次に示す各段階をへて各作業共管理状態となり、現在では巡回検査による管理検査のみによって品質が保証できるようになった。

### ア. 第1段階

第1段階は、部品精度の現状把握と常識的な品質向上のためのアクションおよびその結果判定に管理図(Control chart)工場実験を応用した。歯車についての例を次に示す。

#### (1) 歯車の精度

歯車の精度が組立後の騒音に影響することは、種々の研究<sup>(2)</sup>によって明らかである。歯車精度として、歯厚誤差(Thickness error)、ピッチ誤差(Pitch error)、偏心誤差(Eccentric error)、歯形誤差(Profill error)が考えられ、また歯面の仕上り粗さ(Roughness)も騒音に影響する。

偏心誤差は、主として、カッタの取付、ブランクの精度および取付、テーブル軸の回転精度によるもので、ピッチ誤差、歯形誤差は主としてカッタおよび機械の精度によるものである。設備の都合、アクションのとり易い

ものという考え方から偏心誤差とピッチ誤差を規定し管理することにしている。両誤差が騒音に影響することは実験的にも確かめてある。

#### (2) フェローカッタ

解析用管理図よりカッタの精度が偏心誤差に大いに影響しているらしく思われたので確めたところ5図のようになつた。5図-1はカッタの各歯についての法線ピッチ誤差、偏心誤差を示し、5図-2は、そのカッタで切削した歯車の精度を示している。

これにより、カッタの法線ピッチ誤差(Normal pitch error)が著しく歯車の偏心誤差、ピッチ誤差に影響していることが判る。

この結果、カッタの精度を検査することは、もちろんであるが、高精度のカッタが、間に合うまで、精度の悪い部分に印をつけ、その部分では、仕上歯切をしないようにした。なおカッタについては、ツアイス型歯車試験機により、歯車については、三井精機歯車試験機によつた。なお、カッタの再研磨の際は、マーグ式の歯形検査機で歯形を、ツアイス式歯車試験機で、法線刻み誤差、偏心誤差を検査している。

#### (3) 歯切精度の現状分析

##### a. ホッピング・マシン

因子として、機械、カッタおよび切削順序をとり上げ、偏心誤差との関係を調査した。結論のみ述べれば、

- (i) 機械とホップの違いによる精度の変化より切削回数、切削順序による精度の変化の方が大きい。
- (ii) 切削順序、切削回数による精度の変化は大体6図のようになる。(1回の切削は6枚切削し同一の刃部で2回切削する。)

この結果より、管理としては、6図の(B<sub>1</sub>D<sub>1</sub>)(B<sub>2</sub>D<sub>6</sub>)の製品をとくに監視すべきであることが判る。

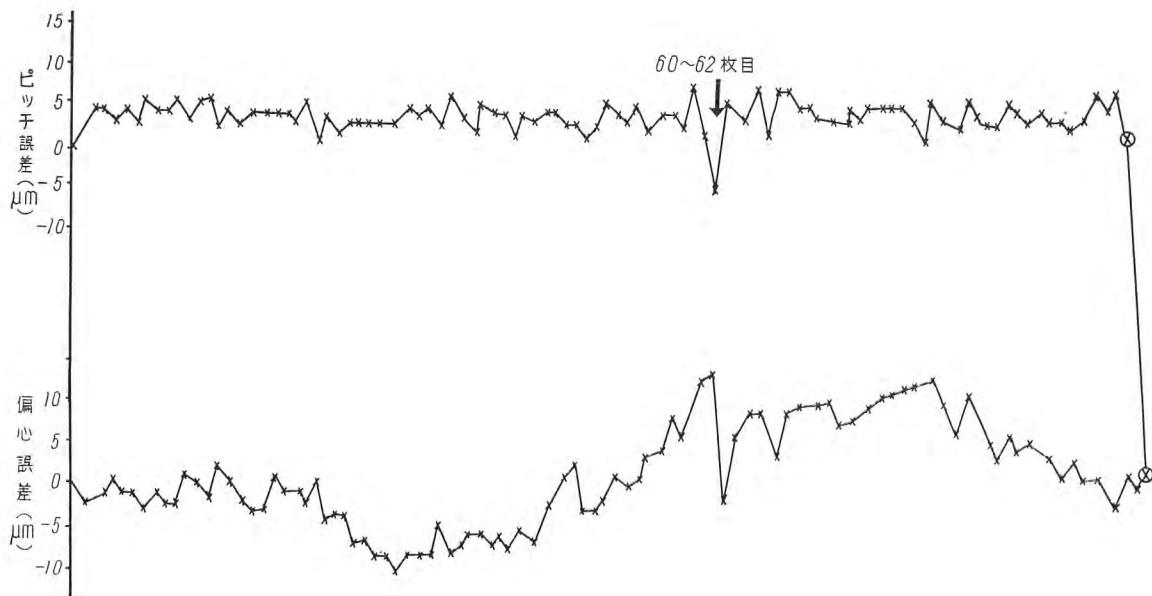
##### b. ギヤー・シェーパ

カッタ、機械、切削順序別に層別して、偏心誤差を、調査した結果を一つのカッタについてグラフにすると、7図のようになる。7図は第1歯車について切削初めより30箇おきに連続4箇ずつ抜取った試料を切削順にグラフにしたもので、上は偏心誤差、下は法線ピッチ誤差の最大値、最小値の差を示す。7図-1によると、

- (i) 大体カッタの再研磨後200枚切削してから急に偏心誤差が大きくなっている。
- (ii) 周期的に異常に偏心誤差の大きいものがある。(これは、前に述べたカッタピッチ誤差の大きい部分によって切削したものである)
- (iii) (ii)の異常なものを除くと大体7図-2の関係になる。この結果、管理のためには、切削順序を明らかにして、抜取り、カッタ再研磨後150枚付近よりは抜取回数を多くする必要があることが判る。

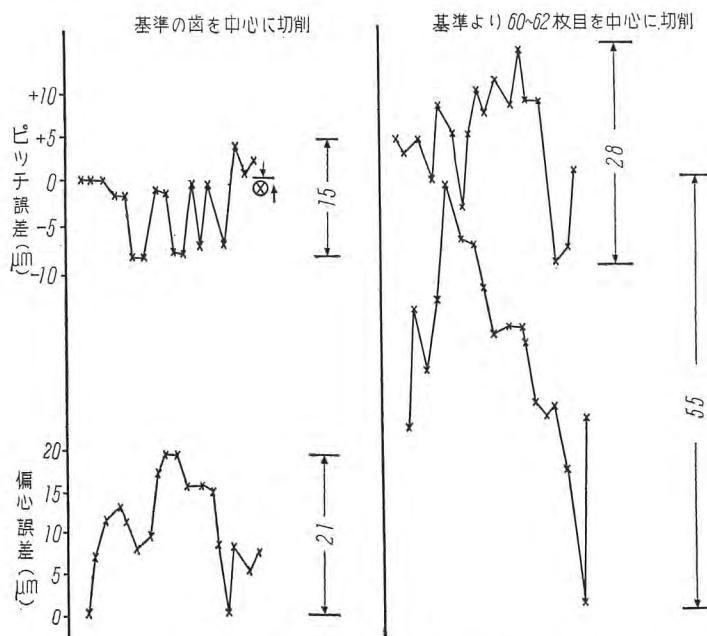
#### (4) その他の部品

歯車以外の部品についても、歯車と同要領で分析しましたは管理図を用いて分析して、次の第2段階に入るため



5 図-1 フェロカッタ精度

Fig. 5-1. Pitch error and eccentric error of fellow cutter.



5 図-2 カッタ精度と歯車精度の関係

Fig. 5-2. Relation between cutter precision and gear precision.

の、情報を種々得たが省略する。

## イ. 第2段階

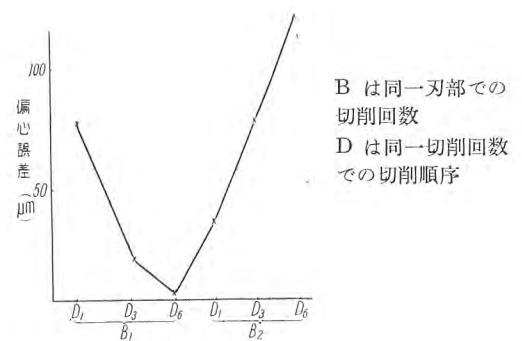
第2段階として、第1段階で得た情報を基礎として不良の未然防止のために、巡回検査、初品検査を行った。工作中、小数の試料を測定することにより、可否原因を発見して不良を未然に防止する方法としてシェーハート(Shewhart)の管理図が一般に行われている。

ここに示す初品検査、巡回検査の方法は、この管理図の役目と同時に検査の役も果そうとするもので、ジュラソ氏<sup>(3)</sup>も同様の方法を述べている。

### (1) 初品検査、巡回検査の要領

#### a. 初品検査

電気洗濯機の品質管理・伊藤・小島



6 図

Fig. 6.

作業者はカッタの段取、段取替等により、作業条件が変更してその条件が良好であるかどうか疑わしい時は検査を受けなければならない。

#### b. 巡回検査

(i) 作業者は、製品を良品と、不良品および良否判定困難なものの2種に区別する。それぞれ抜検品、全検品と称する。

(ii) 検査は、1日少くとも1回巡回して次の要領で決められた特性を測定する。

○全検品は全数検査する。

○抜検品は、各部品により、それぞれ決められたところにより、抜取検査を行う。

○測定結果を予め決められた基準に照し、ロットの合否工程の良否を判定してそれぞれ処置をする。不合格ロットは全数検査する。

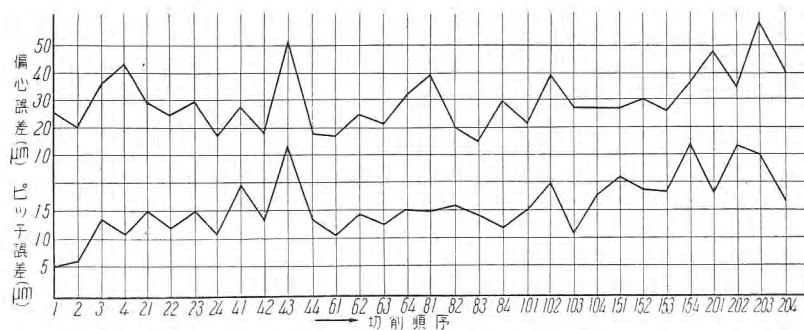
○3回以上連続して不合格ロットを出した時は作業者にそのロットを選別させる。

#### c. 作業者への報償

作業者の良品および不良品判定不明品の撰削精度ならびに良品率によって精励加給を行う。

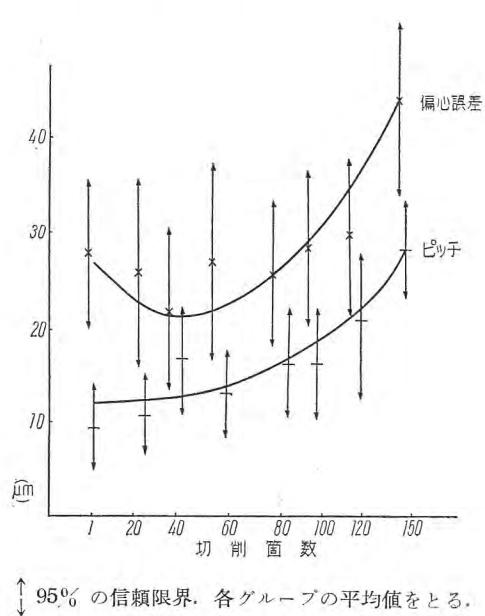
#### (2) 歯車について

歯車についてはとくに作業の性質上、最初の段取が重



7 図-1 第一歯車偏心誤差, ピッチ誤差

Fig. 7-1. Pitch error and eccentric error of the first pinion.



7 図-2 歯車切削箇数と精度

Fig. 7-2. Gear cutting number and gear precision curves.

要であるので、初品検査を必ず行い、その方法は、標準偏差既知の逐次抜取検査の要領により行い、段取りが良好と判定されるまで段取りをし直す。作業続行中は、作業者はその切削順序を明らかにしておき、1日1回以上巡回して切削順序の逆順に試料を抜取って初品検査と同要領で逐次抜取検査を行う。ただし、ホッピングマシンによる場合は、初品検査を行わず、巡回検査は、標準偏差既知の1回計量抜取検査を行う。実施前後の品質の比較を8図に示す。

### (3) その他の部品

例として歯車箱の場合の特性表と、計数計量の別を3表に示し、巡回検査の際の抜取検査表を4表に示す。計量の場合は、圧縮限界<sup>(4)</sup> (Compressed control limit)による計量抜取検査 (Variable sampling inspection)を行っている。不合格ロットの場合は、場合により別にして流し、後から全数検査することがある。

歯車箱の一つの特性について実施前後の品質の比較を9図に示す。

なお、巡回検査実施に際しては、作業者が、各特性を測定する必要があるので、定盤インジゲータ等必要な測定具は、各作業者にわたるよう整備した。

### ウ. 第3段階

以上の段階を経て、機械加工部品については、各部品共管理状態を保ち作業が安定した状態になってきた。そこでさらに品質を向上するため、どの特性をより向上すべきかを知るためにとくに歯車とモータについて

て工場実験を行った。

#### (1) 実験の概要

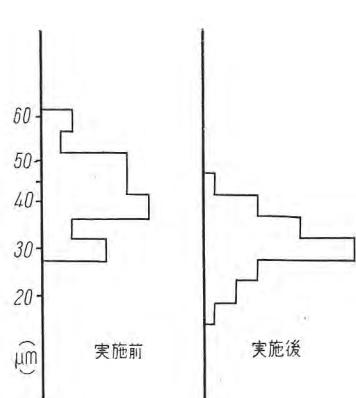
作業はすべて管理状態になりかつ誤差もかなり少くなってきたので、各部品の現在の誤差の程度では最も騒音に影響しているものは何か、すなわちこれ以上騒音を少くするにはどの特性をまず向上すべきかを知ることが目的で実験を行った。

#### a. 取り上げた因子

- (i) ポールベアリングのラジアル遊隙 (Radial clearance) (10図参照)
- (ii) 電動機の両側ベアリング穴の相対的な偏心量
- (iii) 電動機フレームの第1、第2軸間距離 (10図-A)
- (iv) 電動機軸の偏心量
- (v) 第1歯車の誤差

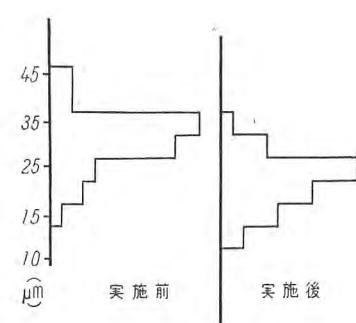
#### 偏心誤差

#### ピッチ誤差



8 図-1 第2歯車偏心誤差

Fig. 8-1. Eccentric error of the second gear.



8 図-2 第1歯車偏心誤差

Fig. 8-2. Eccentric error of the first pinion.

3表 齧車箱巡回検査特性表

工程	加工箇所	検査箇所	巡回検査		備考
			計数	重要度	
6 LA	端面 第4軸穴	平面度	計数	B	当り検査
		20φ 内径	〃	B	
	嵌込み	90 端面より穴座	〃	A	
		115φ 内径	省略		
DR-1	取付穴	穴の位置	省略		治具検査
TLA-1	嵌込み 第3軸穴	98φ 内径	計数	B	
		15φ 内径	〃	B	
	主軸穴	92 端面より穴座	〃	B	
		20φ 15φ ピッチ倒し	計量	A	
TLA-2	主軸穴	28φ 内径	計数	B	
		12φ 内径	〃	B	
	軸穴	93.5 深さ	〃	B	
		端面に対する平行度	計量	B	
DR-2	軸穴	15φ 内径	計数	B	300 mm で
		端面に対する平行度	計量	B	
	主軸穴に対する通風度	主軸穴に対する通風度	〃	B	
		主軸受取面に対する平行度	〃	B	
検査	上記特性全部のロット検査				
DR-3	取付ネジ	6ねじ	省略		
	第4軸穴座	25φ 座 内径	計数	B	
	第3軸穴座	20φ 座 内径	〃	B	
	主軸穴座	14φ 座 内径	〃	B	
SL	軸穴の座	74.5 両座の長さ	〃	B	
	油溝	省略			

4表 抜取検査表

## 1. 計数

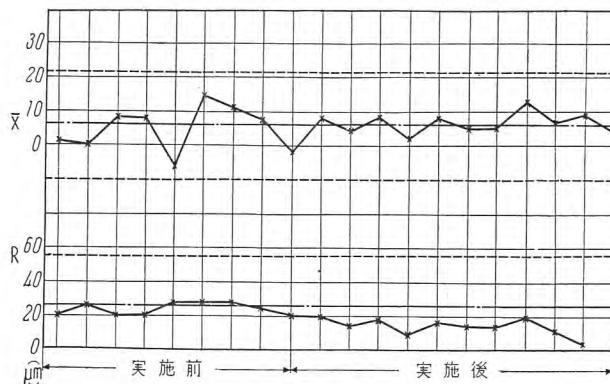
ロットの 大いさ	厳 格			基 準			緩 名					
	試料の 大いさ			重要度			試料の 大いさ			重要度		
	n	A	B	n	A	B	n	A	B	n	A	B
15 以下	15	0	1	10	0	1	5	0	1			
16~25	15	0	1	10	0	1	5	0	1			
26~40	25	0	1	15	0	1	7	0	1			
41~80	25	0	1	15	0	1	7	0	1			
81~110	35	0	1	35	1	2	10	0	1			
111~180	50	1	2	50	2	3	10	0	1			
181~300	75	1	3	75	2	4	15	1	2			
301~500	110	2	4	110	3	6	22	2	3			
501~800	150	3	5	150	4	8	30	2	4			
800 以上	150	3	5	150	4	8	30	2	4			

## 2. 重計

ロットの 大いさ	嚴 格			基 準			緩 名		
	n	T (T')	P (A B)	n	T (T')	P (A B)	n	T (T')	P (A B)
100 以下	12	0.8 (2.4)	2 3 8	8	0.8 (2.4)	2 3 4	0.8 (2.4)	1 2	
101~300	16	0.8 (2.4)	2 3 12	12	0.8 (2.4)	2 3 4	0.8 (2.4)	1 2	
301 以上	20	0.8 (2.4)	2 3 16	16	0.8 (2.4)	2 3 6	0.8 (2.4)	1 2	

手順 (1) 規格公差  $A \pm \Delta$  とする(2)  $T \times \Delta = T_1$  を計算する(または  $\frac{\Delta}{3} \times T' = T_1'$   $T_1 = T_1'$  となる)(3) 限界  $A \pm T_1 = (A \pm T_1')$  を計算する

(4) ロットより n 箇抜取り測定する

(5) 試料中の管理限界外のものの数  $p'$  を数え  $p' > p$  ならロットは不合格(6)  $p' \leq p$  ならロットは合格

9図 齧車第3, 第4 齧車軸穴ピッチ

Fig. 9. Pitch between third gear shaft center and fourth gear shaft.

歯厚

硬度

(vi) 第2 齧車の誤差

偏心誤差

ピッチ誤差

歯厚

硬度 (材料は布入りリグナイト)

## b. 実験要領

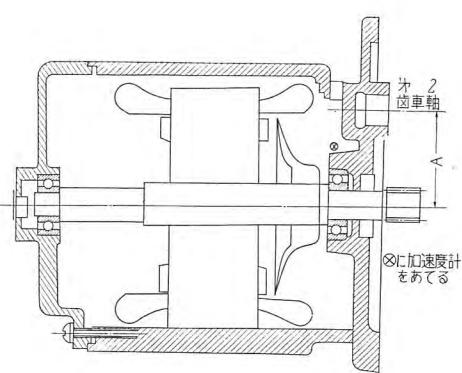
あらかじめ、各因子について測定した各部品をランダムに組合せて電動機 27 台を組立ててベアリングジャーナル部分に加速度振動計をあて騒音の比較値とする。27 台の電動機は 5 表のように層別されている。

次に任意の電動機をとりだし、それについて 24 の第 2 齧車をランダムな順序に組合せ、(第 1 齧車は電動機軸に直結) 騒音計により、騒音を測定しこれを 16 台の電動機について行った。24 の第 2 齧車 16 台の電動機はそれぞれ 6 表 7 表のように層別されている。

次に任意の第 2 齧車を取り出し、それについて 24 台の電動機をランダムな順序に組合せて騒音計で騒音を測定しこれを 3 箇の第 2 齧車について行った。24 台の電動機は、8 表のように層別されている。

## c. 実験結果

実験結果の分散分析表は、9 表、10 表のようである。



10図 電動機組立図

Fig. 10. Sectional view of motor.

結果を図示すると、11図、12図のようになる。11図、12図共に各特性の大小に対する騒音の傾向を示したものである。この結果

- (i) 齧車の背隙をより少くする。
- (ii) 球軸受の遊隙を適当にする。
- (iii) 電動機枠の加工精度をよりよくする。

ことが対策として考える必要がある。

これらは、それぞれ改善実施せられ騒音の基準もしたがって改訂した。

## 5. 組立作業、塗装作業

### ア. 電動機組立

1ロット(1ロットは約50台)組立毎

(1) 騒音(球軸受部分の騒音)

(2) 最低起動電圧

(3) 無負荷入力

(4) 無負荷電流

(5) 耐電圧

(6) その他

について全数検査を行っている。

無負荷入力、無負荷電流については、とくにロット毎、ヒストグラム(Histogram)用紙に記入し、特性の傾向を監視し、管理に役立たせている一例を13図に示す。

13図縦軸は基準値に対する差を示している。実負荷試験は、新製品開発の際および定期的に行つてチェックするようにしている。

6表

歯厚 F	硬 度 G	偏 心 H		ピッヂ誤差 I	
大きいもの F <sub>1</sub>	F <sub>1</sub> の 中で	F <sub>1</sub> G <sub>1</sub> の 中 で	小さいもの F <sub>1</sub> G <sub>1</sub> H <sub>1</sub>	F <sub>1</sub> G <sub>1</sub> H <sub>1</sub> の 中 で	小さいもの F <sub>1</sub> G <sub>1</sub> H <sub>1</sub> I <sub>1</sub>
			大きいもの F <sub>1</sub> G <sub>1</sub> H <sub>2</sub>	F <sub>1</sub> G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> の 中 で	大きいもの F <sub>1</sub> G <sub>1</sub> H <sub>1</sub> I <sub>2</sub>
	高いもの F <sub>1</sub> G <sub>2</sub>	F <sub>1</sub> G <sub>2</sub> の 中 で	小さいもの F <sub>1</sub> G <sub>2</sub> H <sub>1</sub>	F <sub>1</sub> G <sub>1</sub> H <sub>1</sub> の 中 で	小さいもの F <sub>1</sub> G <sub>2</sub> H <sub>1</sub> I <sub>1</sub>
			大きいもの F <sub>1</sub> G <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	F <sub>1</sub> G <sub>2</sub> H <sub>2</sub> の 中 で	大きいもの F <sub>1</sub> G <sub>2</sub> H <sub>1</sub> I <sub>2</sub>
					小さいもの F <sub>1</sub> G <sub>2</sub> H <sub>2</sub> I <sub>1</sub>
					大きいもの F <sub>1</sub> G <sub>2</sub> H <sub>2</sub> I <sub>2</sub>
中位のもの F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub> の場合と同様に層別				
					F <sub>2</sub> G <sub>1</sub> H <sub>1</sub> I <sub>1</sub>
					F <sub>2</sub> G <sub>1</sub> H <sub>1</sub> I <sub>2</sub>
					F <sub>2</sub> G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> I <sub>1</sub>
					F <sub>2</sub> G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> I <sub>2</sub>
					F <sub>2</sub> G <sub>2</sub> H <sub>1</sub> I <sub>1</sub>
小さいもの F <sub>3</sub>	F <sub>3</sub> の場合と同様に層別				
					F <sub>3</sub> G <sub>1</sub> H <sub>1</sub> I <sub>1</sub>
					F <sub>3</sub> G <sub>1</sub> H <sub>1</sub> I <sub>2</sub>
					F <sub>3</sub> G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> I <sub>1</sub>
					F <sub>3</sub> G <sub>1</sub> H <sub>2</sub> I <sub>2</sub>
					F <sub>3</sub> G <sub>2</sub> H <sub>1</sub> I <sub>1</sub>
					F <sub>3</sub> G <sub>2</sub> H <sub>1</sub> I <sub>2</sub>
					F <sub>3</sub> G <sub>2</sub> H <sub>2</sub> I <sub>1</sub>
					F <sub>3</sub> G <sub>2</sub> H <sub>2</sub> I <sub>2</sub>

5表

組立後偏心 A	組立後球軸受の ラジアル遊隙 B	球軸受の良否 C		
小さいもの A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> の中 で	小さいもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> の 中で	よいもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>
				中位のもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>
				悪いもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>
	中位のもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>		A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> の 中で	よいもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>
				中位のもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
				悪いもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>
	大きいもの A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>		A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> の 中で	よいもの A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>
				中位のもの A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>
				悪いもの A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>
中位のもの A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> の場合と同様に層別			
大きいもの A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> の場合と同様に層別			

7表

モート ルの騒 音 A	硬 度 B	中心軸同距離 C		歯 厚 D
小さいもの A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> の 中で	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> の 中 で	小さいもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> の 中 で
			大きいもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> の 中 で
	高いもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> の 中 で	小さいもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> の 中 で
			大きいもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> の 中 で
大きいもの A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> の場合と同様に層別			
				A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>
				A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>2</sub>
				A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> D <sub>1</sub>
				A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> D <sub>2</sub>
				A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>
				A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> D <sub>2</sub>
				A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> D <sub>1</sub>
				A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> D <sub>2</sub>

8表

モーター騒音 A	硬度 B	背隙 C		ピッチ誤差 D	
		A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> D <sub>1</sub>
A <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> の中 で 低いもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	小さいもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	小さいもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>
			大きいもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	大きいもの A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>2</sub>
		A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	小さいもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	小さいもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>
	高いもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>		大きいもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	大きいもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> D <sub>1</sub>
					大きいもの A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> D <sub>2</sub>
中位のもの A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> と同様に層別				
大きいもの A <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> と同様に層別				

9表 分散分析表(5表に対する)

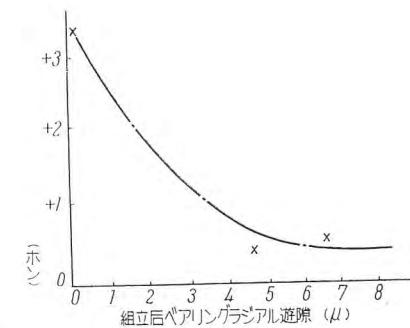
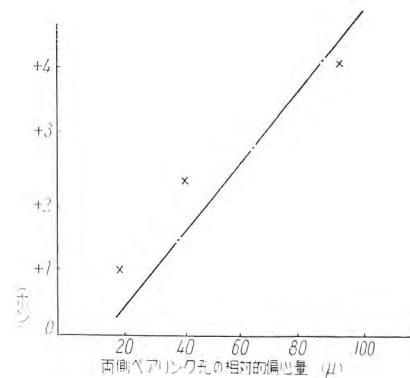
要因	S.S	f	M.S	F	判定
A	39	2	19.5	4.5	*
B	15	2	7.5	1.7	
C	47	2	23.5	5.4	*
A×B	30	4	7.5	1.7	
A×C	32	4	8	1.8	
B×C	56	4	14	3.2	
E	35	8	4.35		

10表 分散分析表(6表7表に対する)

要因	S.S	f	M.S	F	判定
第1歯車	硬度 B	206	1		4.9
	歯厚 D	26	1		
モータ騒音 A	1026	1		25	**
第1, 第2歯車軸間距離 C	8.1	1			
B×D	310.8	1		7.5	*
B×A	0	1			
B×C	253.6	1		6.15	*
D×A	100	1		2.44	
D×C	29	1			
A×C	5	1			
S <sub>E1</sub>	285.6	7	40.9		
第2歯車	硬度 F	1.8	1		
	歯厚 G	293	2	146	23.6
	偏心 H	21.6	1		5
	ピッチ誤差 I	23.7	1		5.45
	F×G	63	2	31.5	7.25
	F×H	13	1		3
	F×I	3	1		24.8
	G×H	216	2	108	
	G×I	5	2		
	H×I	4	1		
S <sub>E2</sub>	173.8	355	4.35		

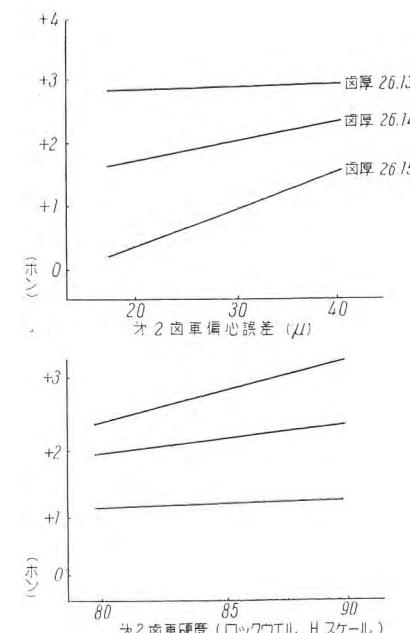
## イ. 歯車箱組立

歯車箱組立は、とくに防音室内で作業している。作業者にあらかじめ騒音基準によくなれさせておき、騒音の少いように部品を組合せるようにしている。部品精度がよくなつたので選択する時間は、ほとんどなくなり機械的に組合せてよいようになってきた。



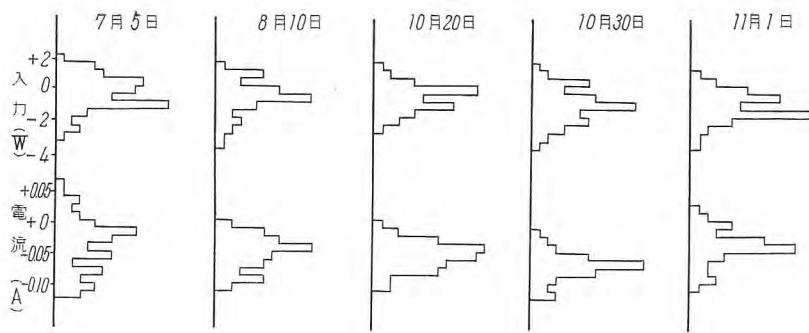
11図 ペアリング遊隙および偏心量と騒音との関係

Fig. 11. Curves representing noise radial clearance of bearing and noise eccentricity.

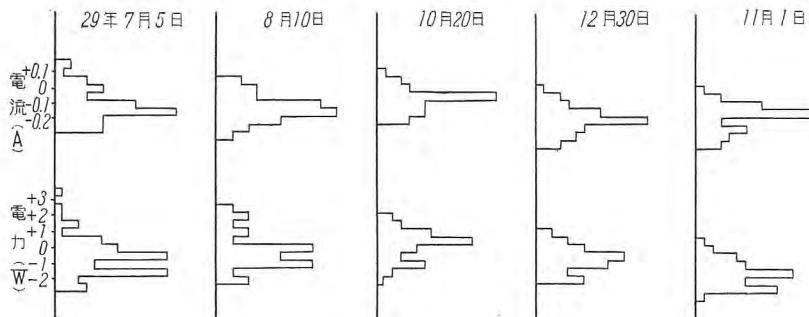


12図 第2歯車偏心誤差および硬度と騒音の関係

Fig. 12. Relation between second gear eccentric error and noise. Relation between second gear hardness and noise.



13 図 電動機特性ヒストグラム  
Fig. 13. Histograms of motor characteristic.



14 図 電気洗濯機特性ヒストグラム  
Fig. 14. Histograms of washing machine characteristics

組立後は、約 8 時間運転し、検査員によって

- (1) 耐電圧
- (2) 油洩れ
- (3) 入力
- (4) 騒音

について全数検査している。

とくに騒音については、防音室内で完成品と同様あらかじめ決められた基準によって検査される。

#### ウ. 塗装作業

塗料受入については、入荷する毎に一部について実際に使用した上、不合格品は使用しないようにしている。作業中、作業完了後は、それぞれ抜取全数検査により管理している。

#### 6. 外注部品

外注部品については、大部分のものについて、米国軍用抜取検査規格 MIL-105 A を適用して検査し(重要部品については全数検査である) AQL は重軽微欠陥(Major, serious and minor defect) 各 0.3%, 1%, 3% を用いている。

とくに磁石については、ロットを厳重に区別して作業完了後および作業完了後 14 日間の 2 回、全数検査して、経日変化の有無を確めて良品のみ入倉するようにしている。

#### 7. 完成品

組立後約 4 時間運転後、ロット毎に

- (1) 騒音
- (2) 耐電圧
- (3) 入力
- (4) 電流

について全数検査を行い、さらに 6~8 時間放置後、

- (5) 最低起動電圧
- (6) 油洩れ

について、全数検査している。

試験要領は、すべて JEM-1077 によっている。騒音については、すでにくわしく述べたのでここでは省略するが、結果は、不良率チャートに記入し、入力、電流についてはロット毎測定値をヒストグラムに記入し、傾向を見易くして異常があるときは、工作担当者に連絡するようしている。14 図に参考迄に入力、電流のヒストグラムを抜萃して示す。14 図縦軸は基準値に対する差を示している実負荷試験は、定期的に行い、とくに耐久試験はつねに少くも数台は試験されている。

#### 8. むすび

以上 MW-11 型および 15 型電気洗濯機についての品質の向上、維持保証のために行った実験および管理の要領について概要を述べた。

作業標準の決定と総合的品質管理の実施によって品質の向上と、経済的生産に寄与したものと考える。

#### 参考文献

- (1) 矢部外: 洗浄力試験法に関する研究「油脂化学協会誌」 Vol. 1, No. 3, Vol. 3, No. 1, No. 2,
- (2) 中田: 機械の要素 岩波機械工学講座 II
- (3) Juran: Quality Control Hand Book
- (4) 藤田: 限界ケージを用いる新しい品質管理方式「機械の研究」第 5 卷, 第 3 号 (1953)

# 絶縁物の劣化よりみた変圧器の寿命と温度上昇

研究所

白井万次郎\*

## The Life and Temperature Rise of Transformers from the Viewpoint of Deterioration of Insulator

Manjiro SHIRAI

Engineering Laboratory

Based on a theory considering the deterioration of insulation as a phenomenon of chemical reaction, much information has been made public of the subject relative to the transformer.

As a result of its summarization, a conclusion has been made that cellulose insulator, varnish, insulating oil and the like deteriorate almost with primary chemical reaction. The temperature rise  $x^{\circ}\text{C}$  which brings about the life of insulation becoming  $1/a$  is available from an equation  $x = \frac{\log a}{(E/R)} T^2$  where  $x$  is a variable depending on the temperature  $T^{\circ}(k)$ .

### 1. まえがき

絶縁物の劣化よりみた、変圧器の寿命と温度上昇の関係について調査する機会があった。普通に変圧器に用いられる、紙のようなセルローズ絶縁物、ワニス、絶縁油などの劣化現象については、これまで多くの研究報告があり、また最近は絶縁物の劣化を化学現象として考察した理論も発表されている。この報告は、これまでに発表された、変圧器に用いられる絶縁物の劣化に関する資料を、最近の理論により考察し、まとめたものである。

### 2. 化学現象としての有機絶縁物劣化の考察

有機絶縁物の劣化は、大気中の酸素による酸化作用や、加熱による熱分解作用、可塑剤の蒸発による減少などによりおこり、酸基の導入により導電性や力率が増大し、固体材料にあっては脆硬化し、抗張力が減少し、油にあってはさらにスラッジを生じ変圧器の冷却作用を害う。

T. W. Dakin<sup>(1)</sup>は、絶縁物の劣化を化学現象として、つぎのように考察した。

絶縁物は酸素や熱によって化学変化をおこし、それは材料の機械的性質や電気的性質の変化となってあらわれる。これらの物理的性質を  $D$  であらわすと、 $D$  はこれに関係する材料中の成分の濃度  $C$  の函数である。

$$D = f(C) \quad (1)$$

化学反応の速度は、反応の次数により、成分の濃度の何乗かに比例するものとされているから

$$\frac{dc}{dt} = -KC^n \quad (2)$$

ここで  $\frac{dc}{dt}$  ; 反応速度

$n$  ; 反応の次数

$K$  ; 反応速度恒数

(2) 式を積分したものは、一般につぎの形であらわされる。

$$f_0(C) = -K_0 t \quad (3)$$

もし、与えられた材料の劣化現象が、一次反応にしたがうならば、 $n=1$  で、(3) 式は

$$\log C = -K_0 t + \text{const} \quad (4)$$

材料のある物理的性質  $D$  が、濃度  $C$  に単純に比例すると仮定するならば、 $D$  と時間  $t$  との間にもつぎの関係が成立する。

$$\log D = -K_0 t + \text{const} \quad (5)$$

(5) 式は、グラフ上の両軸に  $\log D$  と  $t$  とをとれば、直線になる。絶縁物の劣化現象はかならずしも一次化学反応にしたがわないが、変圧器に用いられる絶縁物の劣化現象は、あとに示すように一次反応にしたがうことが多く、(5) 式は材料が劣化する時の物理的性質の変化と時間の関係を知るために重要な式である。材料の劣化試験は、限られた時間で行うことが多いが、それらの時間内に限られた点を結んで、(5) 式の直線の傾斜率  $K_0$  が得られれば、理論的根拠の下に長時間に延長することができる。

L.C. Whitman と P. Doigant<sup>(2)</sup> は, Dakin の理論を拡張して, 絶縁物の劣化と温度の関係をつぎのよう導いた. (5) 式の  $K_0$  は時間によって変化しないが, 温度によって変り, Arrhenius の式によれば

$$K_0 = Ae^{-\frac{E}{RT}}$$

ここで  $E$ ; 活性エネルギー  $R$ ; ガス恒数  
 $T$ ; 絶対温度  $A$ ; 比例常数

これを (5) 式に代入して

$$\log D = -At e^{-\frac{E}{RT}} + C \quad \dots \dots \dots (6)$$

これを変形して, つぎの式のようにかくことができる.

$$\log t = \log \left[ \frac{C - \log D}{A} \right] + \left( \frac{E}{R} \right) \frac{1}{T} \quad \dots \dots \dots (7)$$

(7) 式は, 絶縁物が寿命に達したと推定される, 定った  $D$  の値に達するまでの時間と温度との関係をあらわす. グラフ上に  $\log t$  と  $\left( \frac{1}{T} \right)$  を両軸にとれば, (7) 式は直線であらわされ, その傾斜より  $\left( \frac{E}{R} \right)$  をきめることができる.

多くの材料の寿命試験は, 劣化を加速するため, 実際の使用温度以上の温度で試験することが多いが, それらの実験よりきめられた  $\left( \frac{E}{R} \right)$  を用い, 理論的根拠をもって実際の使用温度まで延長し,  $t$  を求めることができるから, (7) 式はきわめて役に立つ式であると思われる.

筆者はさらに (7) 式を用いて, いわゆる 8°C 規則, 10°C 規則といわれているものを検討してみた. 8°C, 10°C 規則というのは, 普通, 有機絶縁物は温度が 8°C あるいは 10°C 上昇するごとに, 劣化が 2 倍の速度で進行する, あるいは寿命が半減するということを経験的であらわしたものである.

いま絶縁温度  $(T+x)^\circ$  にある, ある絶縁材料の寿命が, 温度  $T^\circ$  にある時の  $1/a$  であるとすると, (7) 式よりつぎの関係が得られる.

$$\log a = \frac{E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T+x} \right) \quad \dots \dots \dots (8)$$

これより

$$x = \frac{\log a}{(E/R)} T^2 / \left[ 1 - \frac{\log a}{(E/R)} T \right] \quad \dots \dots \dots (9)$$

温度  $T$  に対し, 温度上昇  $x$  があまり大きくない場合, すなわち  $x/T \ll 1$  とすれば, (8) 式はつぎのようになる.

$$\begin{aligned} \log a &= \frac{E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T} \left( \frac{1}{1+x/T} \right) \right) \\ &= \frac{E}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T} \left( 1 - \frac{x}{T} \right) \right) \\ &= \frac{E}{R} \frac{x}{T^2} \end{aligned}$$

すなわち温度上昇  $x$  に対して近似的につぎの式が成立する.

$$x = \frac{\log a}{(E/R)} T^2 \quad \dots \dots \dots (10)$$

(9) および (10) 式は, 寿命が  $1/a$  になる温度上昇は, その材料がおかれている温度によってことなり, 経験的にいわれている, 8°C 規則とか 10°C 規則はすべての温度にあてはまるものではないことを示している. 近似的には絶対温度の自乗に比例し, (7) 式の直線の傾斜率に反比例する. (10) 式も材料の温度上昇と寿命の関係を知るのに便利である.

### 3. セルローズ絶縁物の劣化

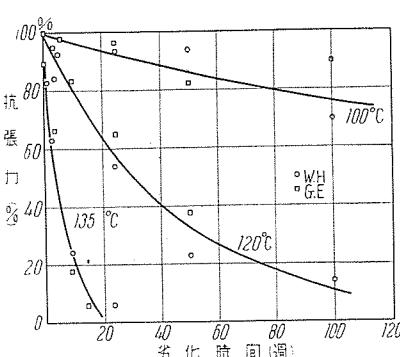
紙およびプレスボードのような, セルローズ絶縁物は, 油とともに変圧器中でもっとも多量に用いられる絶縁物で, その劣化現象はこれまで多くの研究者により研究されている. 絶縁物の劣化現象は, 劣化条件にいちじるしく敏感であるから, 条件の不適当な調節により, 試験結果は広く分散することが多い.

1 図<sup>(3)</sup>は AIEE の変圧器分科会で行われた, セルローズ絶縁物の代表として, マニラ紙の劣化試験の結果を示したものである. 試料は窒素下の油中に密閉され, 高温で劣化し, 劣化を示す性質として, 紙の抗張力を測定している.

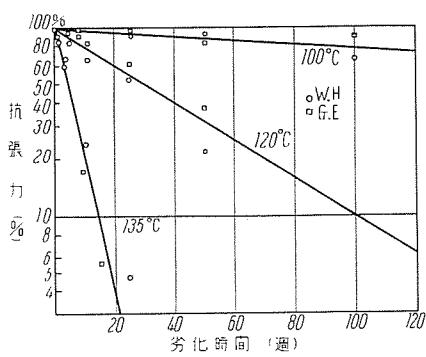
2 図はこの資料を, 縦軸に紙の抗張力を log scale でとり, 横軸を時間にとってあらわしたもので, ほぼ直線をなし, (5) 式にあてはまる事を示している. 3 図は紙の抗張力が初めの値の 50%, 20% になる時間を, 各温度の直線について 2 図から求め, その時間の log を縦軸に, 絶対温度の逆数を横軸にとってあらわしたもので, 直線になる. (7) 式にあてはまることがわかり, これより傾斜率を計算すると,  $2.3(E/R) = 7594$  となる.

この値を (10) 式に入れて, 寿命が半減または  $1/3$  になる温度上昇  $x$  を求めると 4 図のようになる. 80°C のあたりでは, 寿命が半減する温度上昇は 5°C である.

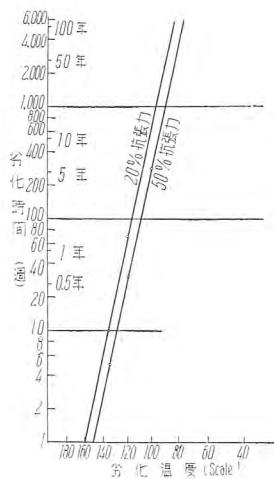
以上は油上の空間に窒素をみたした場合であるが, これと酸素をみたした場合との比較を F. M. Clark が示している. 5 図<sup>(4)</sup>はマニラ紙の初めの抗張力が 50% に低



1 図 窒素下の油中に劣化せる紙の抗張力の減少  
Fig. 1. Decrease in tensile strength of deteriorated paper in oil under nitrogen.



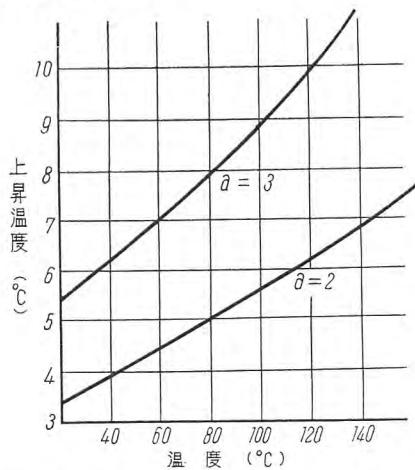
2 図 1 図の抗張力を log scale であらわしたもの  
Fig. 2. Tensile strength in fig. 1. expressed by a log scale.



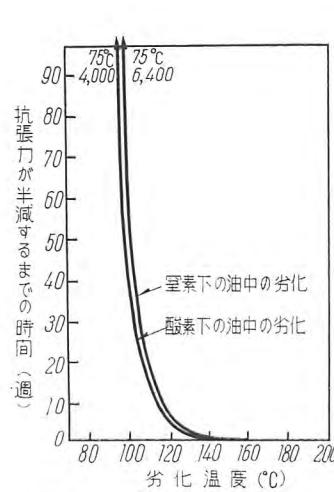
3 図 1 図の条件下の紙が劣化し初めの抗張力の 50%, 20% になるまでの時間と温度の関係  
Fig. 3. Relation between the temperature and aging to cause 50% or 20% deterioration of tensile strength under the condition of Item 1.

下するまでの時間を、各温度で比較したものであるが、図にみるようにあまり大きな差はない。セルローズの劣化現象は、初期において抗張力に変化のおこらない期間があって、潜伏期と呼ばれている。この潜伏期の長さは、低い温度の場合、酸素の存在によって影響され、短くなるが、この影響は初期だけに限られ、長時間の場合は影響が少いことを、Clark は他の論文<sup>(5)</sup>でのべている。セルローズ絶縁物の油中の劣化は大気の酸素に影響されることが少く、大部分、熱分解によることを示している。

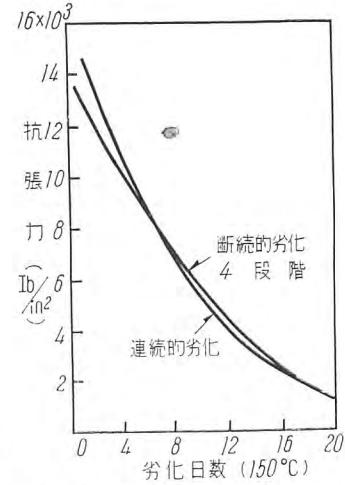
6 図<sup>(4)</sup>は同じ著者による、劣化を連続的に行った場合と、断続的に行った場合の比較を示す。試料はマニラ紙を用い、窒素下の油中で劣化したもので、連続的に行った場合と、断続的に行った場合と差がないことを示す。酸素下の実験も同様な結果を示している。これは室温においての劣化はほとんど無視できるから、高温における劣化の加算性がなりたつことを示し、実際の変圧器の過負荷による劣化を考察する場合に大切なことである。



4 図 1 図の劣化条件下にある紙の寿命が半減または 1/3 になる温度上昇  
Fig. 4. Temperature rise that cause the life of paper decrease to 1/2 or 1/3 under deterioration in the case of fig. 1.

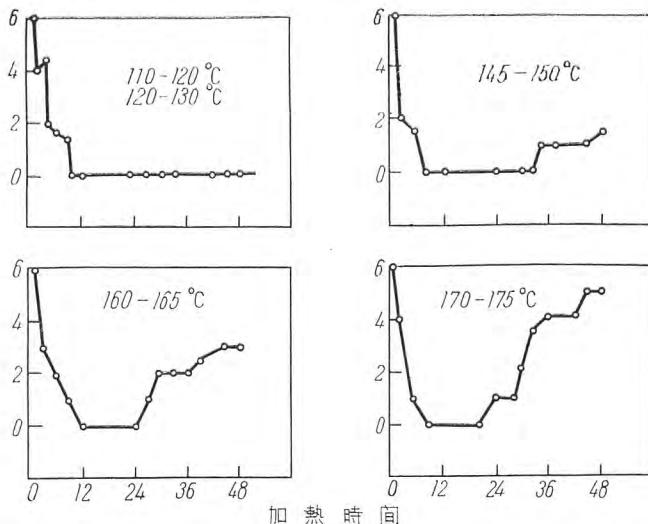


5 図 紙の劣化条件の中で油上を窒素で充たした場合と酸素を充たした場合の比較  
Fig. 5. Comparison between the life test of deteriorating paper in oil in contact with nitrogen and that with oxygen.



6 図 紙を連続的に劣化した場合と断続的に劣化した場合との比較  
Fig. 6. Comparison between the life test of paper under continuous aging and that intermittent aging.

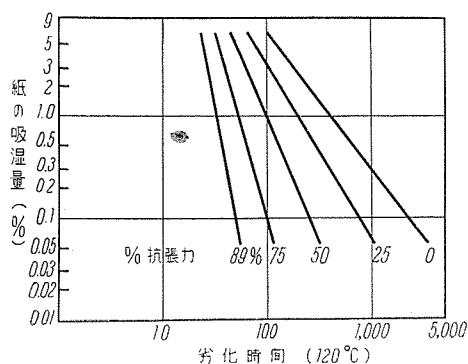
セルローズ絶縁物の劣化温度を上げてゆくと、セルローズはついに分解してガスを発生するに至る。これはセルローズの寿命を短縮するばかりでなく、ガスの発生自体がガスのイオン化による絶縁破壊にみちびくから避けねばならない。7 図<sup>(6)</sup>は油浸紙からの油分解によるガスの発生を示したもので、紙を加熱すると、最初に吸着ガスの発生があり、その後ガスの発生がなくなるが、130 °C 以上の高温になると、ふたたびセルローズの分解による



7 図 真空の下で熱分解の結果としてできる油浸紙からのガス発生  
試料。しっかりと巻かれたロール、2 mmHg で加熱される。  
ガス発生の割合の表現

0. ガス泡計量器にガス発生がない
1. 時々泡が発生する
2. 3 秒間に泡が 約 1 つ
3. " 3~5
4. " 5~20
5. " 20~40
6. " 40 以上

Fig. 7. Generation of gas from paper in the oil as a result of thermal decomposition of cellulose under vacuum.



8 図 与えられた量の機械的劣化を生ずるに必要な加熱時間と紙の吸湿量の関係。両軸ともに log scale, 試料は油浸の 0.003 in マニラ紙, 密閉ガラス器中で 120°C に加熱。

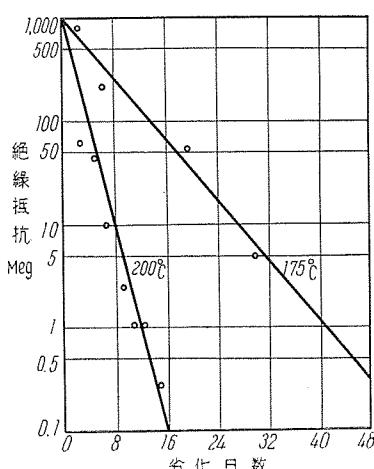
Fig. 8. Relation between the water absorption of paper and aging time to cause a predetermined mechanical deterioration in it.

ガスの発生がはじまる。紙は 130°C 以上に加熱することは避けねばならない。変圧器の top 油の温度は平均油温より 10°C 低く、平均油温は hot spot の温度より 10°C 低いとされているから<sup>(9)</sup>、top 油の温度が 110°C 以上になるのは危険であるということになる。

また紙は湿気を含んでいる場合に、油中でいちじるしく劣化が促進されることを、Clark は示しており、8 図<sup>(4)</sup>は紙の吸湿量と、一定温度の劣化試験における紙の抗張力との関係を示す。この図によれば、少量の水分も紙の劣化に影響するから、変圧器の最初の乾燥を充分に行なうことが大切なことを示している。

#### 4. ワニス皮膜の劣化

ワニス皮膜の劣化も、劣化をあらわす性質として、ワニス皮膜の絶縁抵抗をとると、それと劣化時間の関係が(5)式にあてはまることが 9 図<sup>(1)</sup>に示されている。この実験は、Westinghouse 電機会社の L. E. Frost によって行われたもので、真鍮棒上にワニスを塗り、高温で



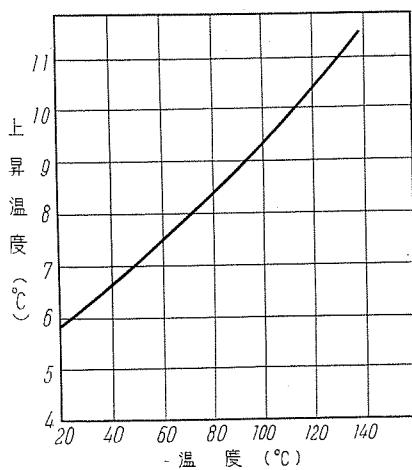
9 図 ワニス皮膜の絶縁抵抗の減少  
Fig. 9. Decrease of insulation resistance with the aging of varnish film.

劣化し、塩水と真鍮棒との間のワニス皮膜を通しての抵抗が

測定された。この図より抵抗が 0.1 % に下るまでの時間と絶対温度の逆数を両軸にとって直線をひいたものが 10 図で、この図より直線の傾斜を求め、(10)式にあてはめて寿命が半減する温度上昇を求めると 11 図のようになる。80°C における寿命を半減させる温度上昇は 8.5°C である。

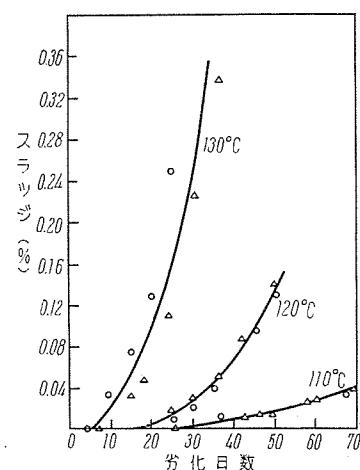
#### 5. 絶縁油の劣化

変圧器に用いられる絶縁物の中で、セルローズ絶縁物とともに、大量に用いられて重要なものは、絶縁油である。絶縁油は今日なお大部分鉱油が用いられており、これは酸化をうけ、酸とスラッジを生じ、絶縁を害するばかりでなく、変圧器の冷却を害す。しかし劣化した油はぬきだしてこれを再生し、あるいは新油と交換するから変圧器の全体の寿命に関係しないとも考えられるが、変



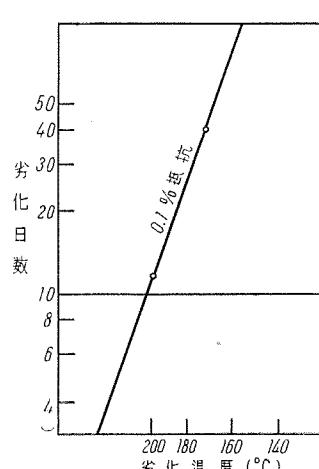
11 図 ワニス皮膜の寿命が半減するに必要な温度上昇

Fig. 11. Temperature rise required to decrease the life of varnish film, to 1/2.



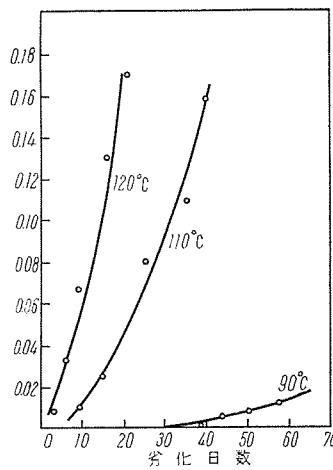
12 図 絶縁油のスラッジ堆積量に対する温度の影響、銅を含まず。

Fig. 12. Influence of temperature on the sludge accumulation of insulation oil (with copper in it).



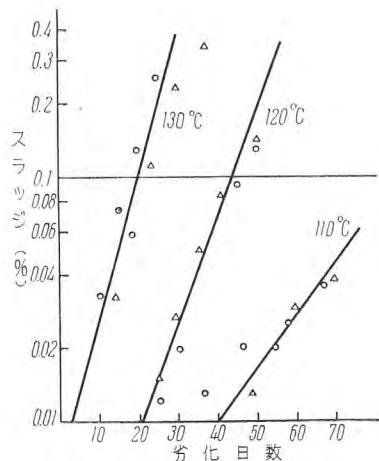
10 図 9 図のワニス皮膜の抵抗が  
初めの 0.1 % になるまでの時間  
と温度の関係

Fig. 10. Relation between temperature and aging that cause the insulation resistance comes down to 0.1 % of the original value.

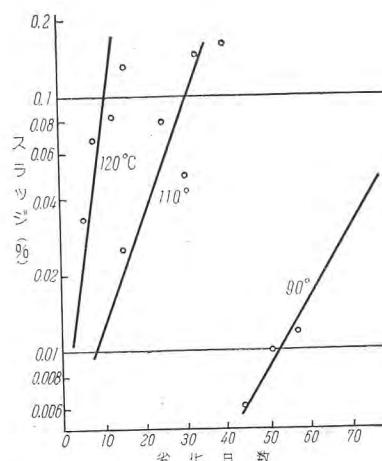


13 図 絶縁油のスラッジ堆積量に対する温度の影響、銅を含む。

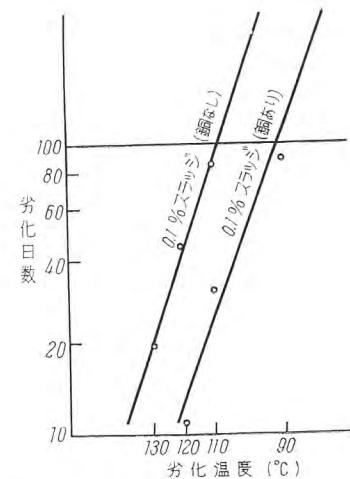
Fig. 13. Influence of temperature on the sludge accumulation of insulation oil (with copper in it).



14 図 12 図のスラッジ量を log scale であらわしたもの  
Fig. 14. Sludge quantity expressed by a log scale in fig. 12.



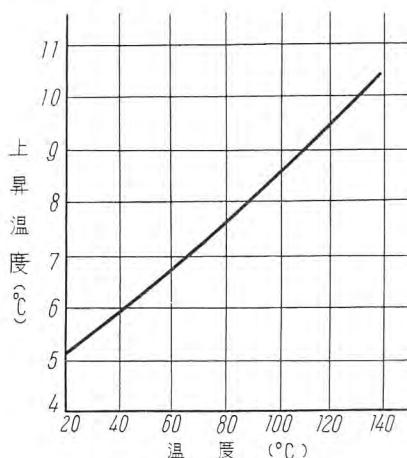
15 図 13 図のスラッジ量を log scale であらわしたもの  
Fig. 15. Sludge quantity expressed by a log scale in fig. 13.



16 図 絶縁油より 0.1% のスラッジを生ずるまでの時間と温度の関係  
Fig. 16. Relation between the temperature and time for 0.1% sluge accumulation.

圧器の温度上昇が油の劣化にいかに影響するかを知つておくことが必要である。

12, 13 図<sup>(5)</sup>は、ASTM で絶縁油の安定度試験法をきめる際に、米国の各社共同でなされたと思われる研究の報告中より、スラッジ堆積に対する温度の影響を示した資料をあげたものである。12 図は一定の試験条件で、油のみを各温度で劣化させた場合であり、13 図は油中に劣化の促進剤として銅を入れた場合である。これをグラフの縦軸にスラッジ量を log scale でとり、横軸に時間をとつてあらわしてみると、14, 15 図に示すように、ほぼ直線をなし、この場合も(5)式にあてはまることがわかった。0.1% のスラッジを生ずるまでの時間と、絶対温度の逆数を両軸にとってあらわしたのが 16 図で、二つの直線の傾斜はほぼ等しい。この傾斜率を(10)式に入れて、スラッジ堆積が 2 倍になる温度上昇を求めたのが、17 図である。80°C でスラッジ堆積が 2 倍になる温度上昇は 7.5°C である。



17 図 絶縁油より生ずるスラッジ量が 2 倍になるに必要な温度上昇  
Fig. 17. Temperature rise for the accumulation of double quantity of sludge in the insulating oil.

絶縁物の劣化よりみた変圧器の寿命と温度上昇・白井

られた変圧器の過負荷による温度上昇が、定格温度にある変圧器の寿命にいかに影響するかは、以上の資料を用いて推定することができる。

いまある変圧器が規則的に 1 日の 2/3 は 80°C の温度にあり、残りの 1/3 が過負荷により 90°C になったとする。

(10) 式を用いて、80°C において温度上昇が 10°C あると、各絶縁物の劣化が何倍になるかと計算してみよう。これまでのべててきた絶縁物の資料が、各絶縁物の代表的なものとみなせば、劣化は、セルローズ絶縁物では 4 倍となり、ワニス皮膜では 2.3 倍、絶縁油では 2.5 倍となる。すなわちこの変圧器の 1 日の劣化は、1 日全部が 80°C で運転される場合に比較して、セルローズ絶縁物では 2 日に相当し、ワニスでは 1.4 日、絶縁油では 1.5 日に相当する。寿命はおののおの 1/2, 1/1.4, 2/3 となるといふことができる。しかしこれはかならずしもセルローズ絶縁物がもつとも早く寿命に達することを意味しない。おののおのの絶縁物の寿命とみなされるものが異なるからである。

## 7. むすび

変圧器中に普通に用いられる、紙のようなセルローズ絶縁物、ワニス、絶縁油などの劣化は、一次化学反応にほぼしたがう。絶縁物の寿命が  $1/a$  となる温度上昇  $x^{\circ}\text{C}$  は、つぎの式で近似的にあらわされる。

$$x = \frac{\log a}{(E/R)} T^2$$

ここで  $T$  は絶対温度であり、 $E$  は材料の活性エネルギー  $R$  はガス恒数である。 $x$  は絶縁物のおかれた温度によって異なる。80°C において寿命が半減する温度上昇は、本文中に引用された資料を、その絶縁物の代表とみなせば、紙では 5°C、ワニスでは 8.5°C、油では 7.5°C である。

## 文 献

- (1) T. W. Dakin; AIEE. Trans. 113 (1948)
- (2) L. C. Whiteman & P. Doigan; AIEE. T. P. 54-72 (1954)
- (3) AIEE. Transformer Sub-committee; AIEE. Trans. 879 (1948)
- (4) F. M. Clark; AIEE. Trans. 742 (1942)
- (5) F. M. Clark; AIEE. Trans. 778 (1941)
- (6) F. M. Clark; AIEE. Trans. 1088 (1935)
- (7) F. M. Clark & E. A. Snyder; ASTM. Proceeding. 568 (1936)
- (8) F. M. Clark; ASTM. Proceeding. 507 (1938)
- (9) V. M. Montsinger; AIEE. Trans. 632 (1940)

# 自動電界模写器による電気機器の研究

研究 所

岡 久 雄\*

## Study of Electric Machinery with Automatic Field Plotter

Hisao OKA

Engineering Laboratory

An automatic field plotter set up in our laboratory of late has proved itself to be an ingenious tool in the study of electric machinery. The analogue method in electrolyte, thus far known as a means to plot the field, has been put in an automatic operation with this device aiming at more ease and speed than the old method. This report deals with the fundamental theory, usage and practical application of the analogue method as well as the construction and operation of the plotter in brief.

### 1. まえがき

電気機器の設計あるいは研究に当って、その電界、磁界または電流界等の分布状況を知ることは極めて望ましいことではあるが、一般にそれらを直接的に、しかも簡単に求めることは困難である。そのため、古くよりこれらの界の分布状況を比較的簡単に知るための多くの試みがなされてきたが、現在最も多く実用されかつ最も信頼し得るのは電解液法である。

この電解液法の歴史は古く、静電界、定常電流界の模写はいわゆる最も早く、その他流体力学、材料力学、熱伝導等工学上あるいは物理学上に大きな貢献をなしてきた。

しかし最近になり、送電電圧の上昇に伴う高圧用電気機器の耐圧または絶縁の問題、また新しい電子装置の開発等は、再びこの電解液法による電界の模写を注視せしめるようになってきた。とくに英國においてはこの方面的技術研究が盛であり<sup>(1)(2)</sup>、また米国においては電解液法の自動化が早くより行われてきた<sup>(3)</sup>。

今回当研究室において製作設置された自動電界模写器は電解液法による電界模写を、とくに最近の自動制御工学の進歩に鑑み、サーボ機構による自動的なものとしたものであり、手動によるよりも遙かに能率よく電界の模写を行うことができる。

### 2. 電解液法の原理

数学的に完全に類似関係にある物理的現象は同一型の界を有することは周知のとおりであり、その一方を知れば、同時に他方をも知ることができる。これは取りも直さず近年急激に発達したアナコムの思想であり、この意味では電界模写器は一種のアナコムともいえる。

さて初等電磁気学においてよく知られている、電流界、電界および磁界の類推性につきその代表的なものを1表に列挙する。

これを見ると定常電流界、空間電荷の存在しない場合の静電界および電流外における静磁界は極めて良い類似関係にある。すなわちいずれもラプラス型の方程式で表わされるポテンシャル分布を有する。

電解液法は電解液中に模擬電極を置き、それら電極間に比較的低周波の交流電流を流し、その電流界の液面に生じる定在的電位分布を知り、それに対応する静電界、静磁界またはその他数学的に完全に類似関係にある界の分布を知る方法である。この場合これら電極間に流れる電流は商用周波またはそれ以上 1~1.5 kc 程度迄の比較的低周波のものであり、この電流界の一定位相については概ね定常電流界と見なしても差支えない。電解液面上に生ずる定在的電位分布を知るには、液面上を探針で走査

1表 電流界、電界および磁界の間の類推性

定常電流界	静電界	静磁界
電位 $V$ $\nabla^2 V = 0$	電位 $V$ 空間電荷のない界 $\nabla^2 V = 0$	磁位 $\Omega$ 電流外において $\nabla^2 \Omega = 0^*$
電界の強さ $E = -\nabla V$	電界の強さ $E = -\nabla V$	磁界の強さ $H = -\nabla \Omega$
電流密度 $i = \kappa E$	誘電率密度 $D = \epsilon E$	磁束密度 $B = \mu H$
連続式 $\operatorname{div} i = 0$	連続式 $\operatorname{div} D = 0$ 空間電荷の存在する界 $\operatorname{div} D = \rho$	連続式 $\operatorname{div} B = 0$

\* 単連結領域に限る

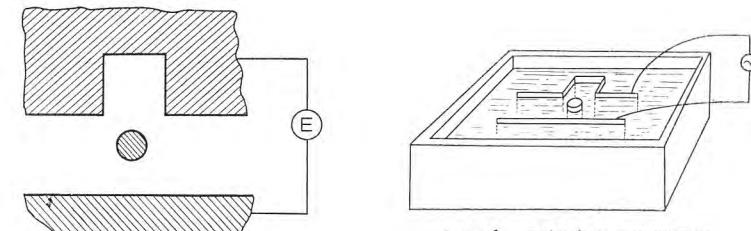
し、或る一定電位と探針の電位との差がつねに零になるようにし、かつその探針の運動の軌跡を知ればよい。その軌跡はその電位の等電位線を表わすから、順次その電位を変えて行けばそれらの等電位線群が得られ、目的は達せられる。

### 3. 電解液法の基本的方法

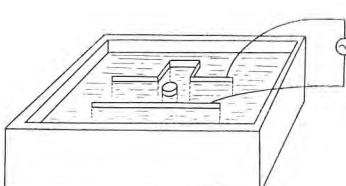
電解液法における界の模写は、求めんとする界の条件によりつぎのように分類される。

#### ア. 次元の数による分類

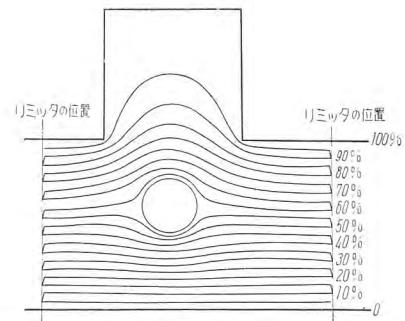
厳密にいえば2次元の界とは無限に続く平行電極間の電界の如き場合であるが、実際には有限長の場合でも簡便のため2次元と見なして差支えない場合が多い。このような場合には電解液の深さによって断面の変わらない電



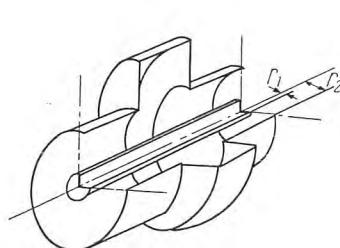
1図 a 実際の電極の断面



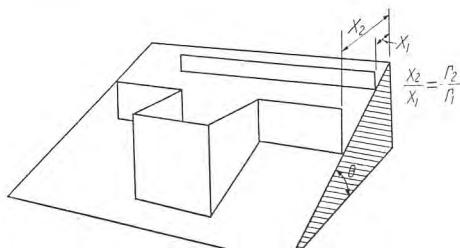
1図 b 電解液中の模擬電極

1図 単一媒質中における2次元の界  
Fig. 1. Two dimensional homogeneous field.

1図 c 自動電界模写器によって求めた電界



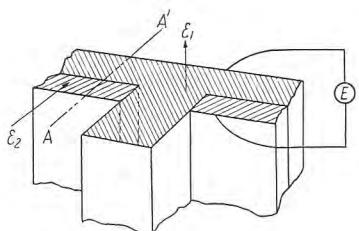
2図 a 実際の電極の形状



2図 b 模擬電極および液槽底面

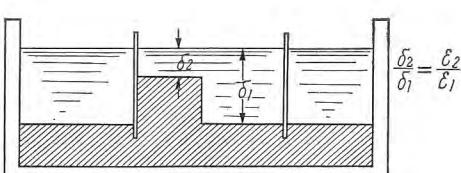
2図 単一媒質中における3次元円筒対称の界

Fig. 2. Three dimensional homogeneous field in cylindrical symmetry. 2図 c 自動電界模写器によって求めた電界

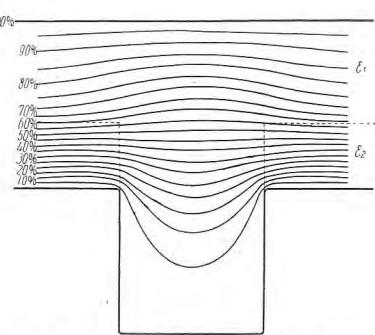


3図 a 模写すべき元の電界

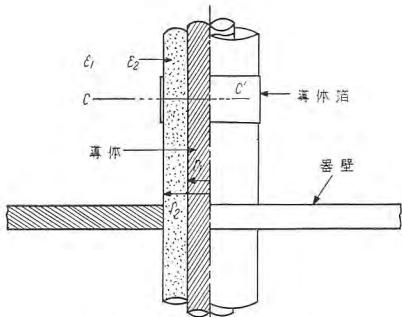
3図 2種の媒質より成る2次元の界  
Fig. 3. Two dimensional heterogeneous field.



3図 b 模写電極および液槽底面の断面  
(A-A' 断面)

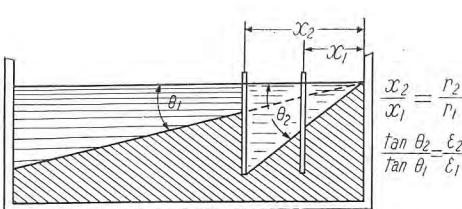


3図 c 自動電界模写器によって求めた電界

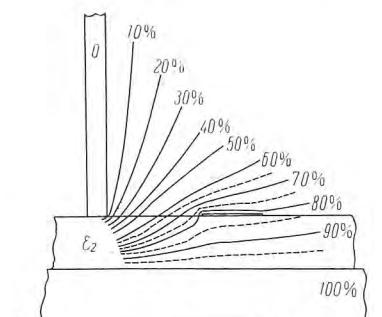


4図 a 模写すべき元の電界

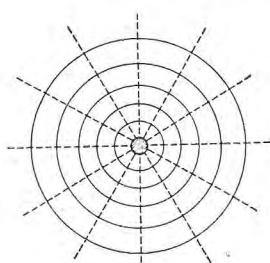
4図 2種の媒質より成る3次元円筒対称の界  
Fig. 4. Three dimensional heterogeneous field in cylindrical symmetry.



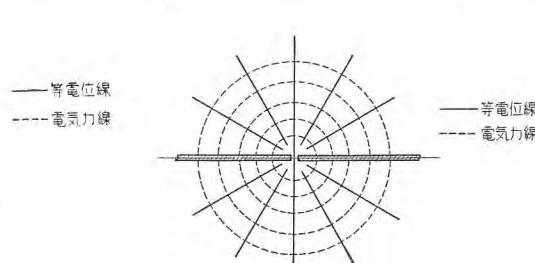
4図 b 模写電極および液槽底面の断面  
(C-C' に対応する断面)



4図 c 自動電界模写器によって求めた電界



5図 a 紙面に垂直な一線電荷による電界



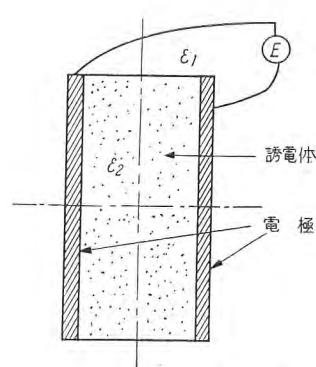
5図 b 同一平面上に接近して対立している2枚の平面板による電界

5図 共軸関係にある電界  
Fig. 5. Electric fields conjugate each other.

#### 4. 電解液法による力線の模写

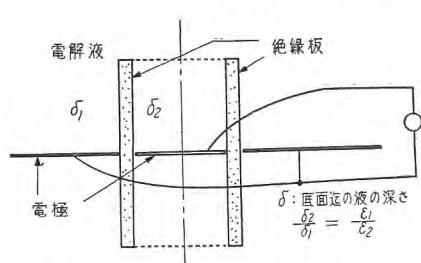
電解液法は電解液面の等電位線群を画かせ、それを以て電解液面の電流界と類似関係にある界の等ポテンシャル線群を知るわけであるが、実際には等ポテンシャル線と同様に或はそれ以上に、これと共軸関係にある力線の分布を知りたいことがある。そのためには求められた等ポテンシャル線群より図解的に力線群を求めねばならないがとくにその界が2次元の場合には等角写像法を用い、力線群を求めるとする界と共軸関係にある界を設け、その界の等ポテンシャル線群を知って、元の界の力線群を求めることができる場合がある。たとえば5図aの如き紙面に垂直に極めて長い1線電荷より成る電界は、同図bの如く2枚の板が1平面上で極めて接近して対立している時の電界と共軸関係にある。

このように共軸関係を用いて力線群を求める場合、媒質が2種以上存在する時は、等ポテンシャル線群を求

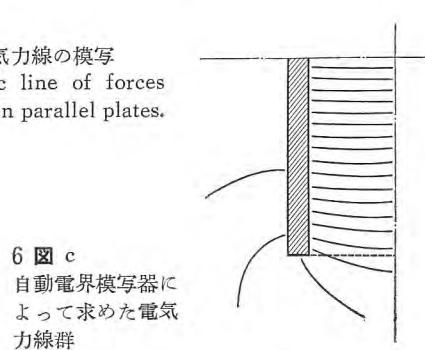


6図 a 模写すべき元の電界

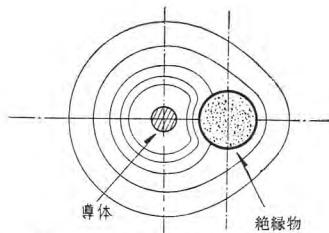
6図 b 電解液中の模擬電極



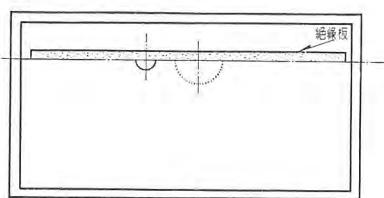
6図  
平行平板間の電気力線の模写  
Fig. 6. Electric line of forces between parallel plates.



6図 c 自動電界模写器によって求めた電気力線群

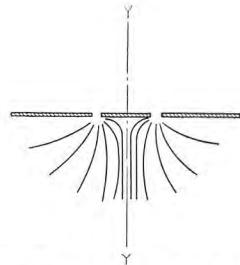


7 図 a 対称軸を有する電界(1)

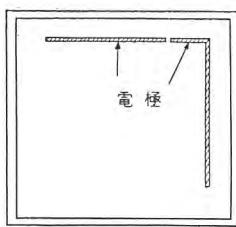


7 図 b 電解液中の模擬電極

Fig. 7. Utilization of symmetrical axis for this analogue method in electrolyte. (No. 1)

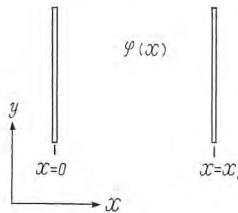


8 図 a 対称軸を有する電界(2)

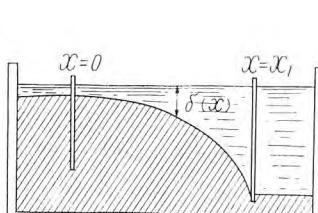


8 図 b 電解液中の模擬電極

Fig. 8. Utilization of symmetrical axis for this analogue method in electrolyte. (No. 2)



9 図 a 空間電荷の存在する平行平面間の電界



9 図 b 電解液中の電極および底面

Fig. 9. Plotting of a field with space charges.

る場合と反対に、その誘電率、導電率または導磁率に反比例して電解液の深さを変化させねばならない。

6 図 a の如き 2 枚の平行平面電極間に誘電率  $\epsilon_1$  なる誘電体が介在している時の電気力線は、同図 b の如き模擬電極装置を用いて求められる。同図 c はそのようにして求められた電気力線群である。

## 5. 電解液法における対称軸の利用

求めんとする界が電極構造上明らかに対称軸を有することが判っている場合には、電磁気学における電気的影響法と逆の関係を電解液法に適用することができる。

たとえば 7 図 a のように X 軸が対称軸をなし、しかもその対称軸を通過する等電位線がすべてそれに垂直に交わる場合には、電解液法における模擬電極装置は同図 b のように対称軸の一方のみの電極を作り、他方は絶縁板で電解液を遮蔽すればよい。それはその界における電気力線は決してそれら対称軸を通過しないことによる。

また 8 図 a のように Y 軸が対称軸をなし、しかも Y 軸はそれ自体一つの等電位線をなしている場合には、同図

b のように対称軸の一方のみの電極を作り、他方は金属板で遮蔽すればよい。

## 6. 空間電荷の存在する電界の模写

電解液法では原則的にラプラス型の方程式で表わされる界以外の界、たとえば空間電荷の存在する電界の模写はできないが、空間電荷の分布を仮定す

れば、電解液の深さを変化させることにより、近似的に模写させることができる場合もある。

いま 9 図 a のように 2 枚の平行平面の 2 次元の極間に  $\rho(x)$  なる空間電荷が存在し、しかも  $\rho(x)$  は  $x$  のみの函数で  $y$  方向には変化しないものとすれば、その電界の方程式は

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_0} \dots \dots \dots (1)$$

次にこの電界を模擬する電解液中電流界を考えるに、9 図 b のように電解液の深さを  $\delta(x)$  とすれば、電解液中の電流密度  $i(x)$  は

$$i(x) = \kappa \frac{dV}{dx} \dots \dots \dots (2)$$

しかして電解液中の電流密度  $i(x)$  は深さの方向に一様であると見なせば

$$i(x) \times \delta(x) = I = \text{const.} \dots \dots \dots (3)$$

(2) と (3) より

$$\frac{dV}{dx} = \frac{I}{\kappa \delta(x)} \dots \dots \dots (4)$$

もし 9 図 a の電界を、同図 b の電流界で完全に模擬できたとすると (1) と (4) より

$$\frac{I}{\kappa \delta(x)^2} \frac{d\delta}{dx} = \frac{\rho(x)}{\epsilon_0} \dots \dots \dots (5)$$

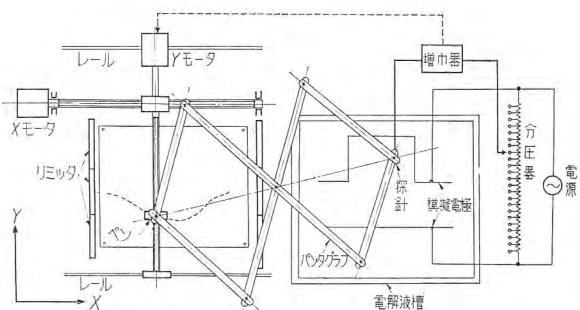
この (5) 式を解くことにより  $\rho(x)$  と  $\delta(x)$  との関係を求めるべき。

## 7. 自動電界模写器の構造

本器は以上述べた電解液法をほとんど自動的に行わしめる装置であり、構造の概要は 10 図に、また実際の外観は 11 図に示すとおりである。

10 図について説明すると、まず電解液槽は木製で、その中にに入る電解液としてはタップウォータと呼ばれる  $\text{NaOH}$  が  $\frac{1}{1000} N$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  が  $\frac{1}{2000} N$  の混合中和溶液を用いる。しかし普通の水道水でも、使用毎に新しく取換えるならばそのまま電解液として使用しても差支えない。電解液の深さに変化を与えるための細工はベークライトおよびビニクロングルを使用している。ビニクロングルはビニール粘土とも呼ばれ細工が容易でかつ何回でも作り変えて使用し得る。模擬電極としては鉄板を用いている。

電解液面の電位を走査する探針は直径約 1 mm の  $M_0$  線を用い、その尖端を極めて細くして約 2~3 mm 程液



10 図 自動電界模写器の構造概略図  
Fig. 10. Structure of automatic field plotter.

の中に浸す。この探針はパンダグラフによってペンと 1:1 の対応運動を行うようにし、探針の運動の軌跡は ペンによって紙面に画かれる軌跡と相似になっている。

この場合これらの運動が直接駆動されるのはペン側である。すなわちペンホルダは  $X$  方向には  $X$  モータにより、また  $Y$  方向には  $Y$  モータによって駆動される。

模擬電極間に加える交流電源としては 300 c/s, または 60 c/s で 200 V, 100 V 等を用いているが, 電極の寸法および形状等によって適当に決めればよい. 一般に周波数が高い程電極と液との接触面における分極作用が少くそれだけ誤差も少いが, あまり厳密なことを必要としない場合には 60 c/s でも差支えない.

次にその動作を説明すると、ペンまたは探針は  $X$  方向には一定速度で運動し、 $Y$  方向には分圧器のある電位点と探針との電位差が常に零になるように  $Y$  モータによって駆動される。 $Y$  モータは平衡電動機でいわゆるサーボモータとして動作するわけである。ペンまたは探針

が  $Y$  方向にはいま述べた如くその向きと大きさを選択しながら、 $X$  方向に一定速度で運動し、電界模写の必要範囲の限界迄達した時は適当なりミットスイッチでリレーを動作させ、 $X$  モータの回転方向を逆転させてペンの  $X$  方向の運動の向きを逆転させると共に、分圧器の電位点を一段准ませる。

このようにしてペンまたは探針は  $X$  方向に往復運動しながらつづきつづきと等電位線を書き、求めんとする界の等電位線群が得られるわけである。

分圧器の等分数は 20 等分にしてあるが、これと直列に抵抗を加えることにより、それ以上に細かく等分することができる。X 方向の向きを変えたり分圧器の電位点を変えるための継電器としては普通のテレホンリレーおよび電話交換器用ロータリステッピングリレーを用いてある。

本装置で  $X$  方向にほぼ直角に彎曲する曲線または閉曲線となる等電位線を画かせる場合には、以上の説明以外に他の繼電器を用い一部手動操作を加えた半自動式として電界模写を行わしめる。

## 8. ま す び

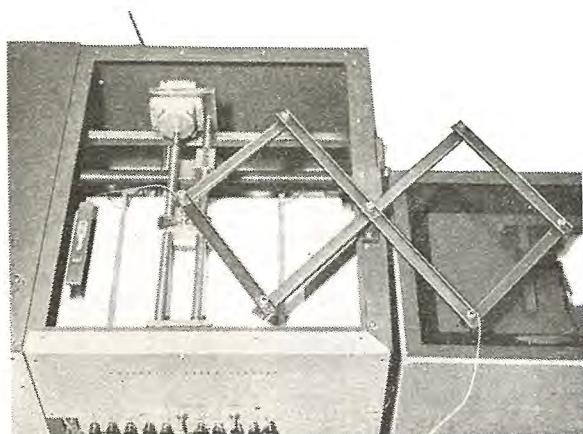
以上、今回当研究所において製作設置した自動電界模写器の原理、用法および構造について簡単に説明したが、本器は現在いろいろの方面から利用され活躍している。たとえば高圧イグナイトロン電極間の静電界、高圧用ブッシングの導体と器壁および大地間の静電界、クライストロンの電子錶における電界等々である。

もちろん本器は完全のものではなく、電解液法自体に存する誤差の他、機械的、電気的な誤差もあるが、数学的に図解的あるいは直接測定によって界の分布状況を知るよりは極めて簡単にまた迅速にそれらを模写し得るものである。

この報告を終るに当って、本器の製作に終始励しと良き指導を賜った、横須賀当研究室長および河合技師に、また熱心にご協力下さった製作担当者各位に深甚の謝意を表したい。

文 献

- (1) D. McDonald ; P. I. E. E. (II) vol. 100, pp. 145~166 (1953)
  - (2) H. Diggle, E. R. Hartill ; P. I. E. E. (II) vol. 101, pp. 349~368 (1954)
  - (3) P. E. Green ; Rev. Sci. Instr. vol. 19, pp. 646~653 (1948)



11 図 自動電界模写器の外観  
Fig. 11. Automatic field plotter.

坑内の合理化に……

切羽開閉器の集約化

**CCX 型集団切羽開閉器**

変圧器の二次側に必要な機器を一体としたもので、気中式遮断器、電磁開閉器、接地繼電器などを組合せたものであります。切羽、片盤の所要電動機、操作方式などに応じて必要な機器を組合せます。

## 利 点

- (1) スイッチ室の空間の節約
- (2) 移設が簡単
- (3) 点検手入れの迅速化
- (4) ケーブル配線の簡素化

## 使用機器

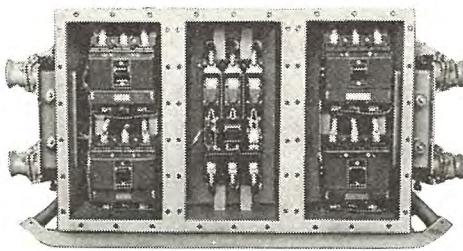
気中遮断器 600 A, 200 A, 100 A, 50 A

電磁接触器 300 A, 150 A, 100 A, 50 A

保護装置 瞬時遮断、過負荷、低電圧

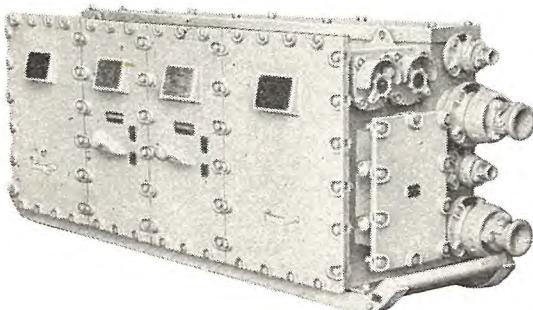
接地繼電器

引 出 口 プラグまたはケーブルヘッド



CCX-1104 D 型

九検第 2079 (圧) 号



CCX-2154 R 型

九検第 1965 (圧) 号

**新外扇型誘導電動機**

誘導電動機を全閉外扇型とすれば周囲の環境と無関係に完全に電動機を運転することができる周知のとおりであるが、

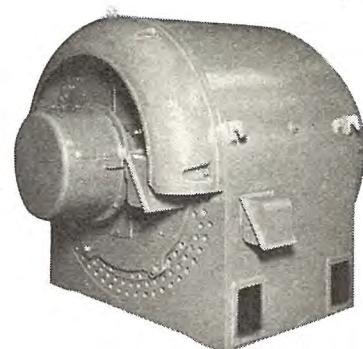
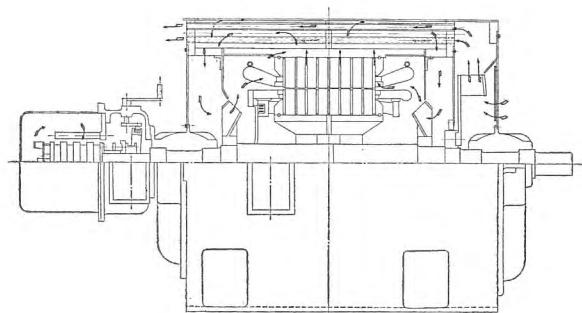
1. 外形寸法が大きくなる
2. 価格が高くなる
3. 保守点検がやりにくくなる

等の欠点がある。

当社はこの欠点に鑑み冷却効果を増加させる目的で、熱交換器として銅管を電動機外周に配置した新外扇型誘導電動機を完成した。

外部冷却空気は外部ファンによって銅管中に強制通風される。また一方電動機の発生熱によって加熱された内部空気は、内部ファンによって鉄心部と冷却管外周との間を強制循環して、銅管の表面で外部冷却空気と熱交換を行うものである。

図は空気の移動方向を示し、写真は新外扇型誘導電動機である。



新外扇型誘導電動機

## 特許紹介

最近登録された当社の特許および実用新案

区別	名 称	特許または登録日	特許または登録番号	発明、考案者	所 属
特 許	恒温装置	30- 1-21	210507	中原四郎 木下忠男	名古屋
"	直流選択遮断装置の雑音低下方法	30- 1-21	210508	木村久安 安藤三男	本 社
"	導波管気密装置	30- 1-21	210509	喜連川隆 東野義夫	無線機
"	流体駆動洗濯機	30- 1-21	210510	岡本英彦 柘木正治	名古屋
"	炭化タンクステン・コバルト系硬質合金の電解液	30- 1-21	210511	尾島学 前島裕二 斎藤雄男	研究 所
"	磁石発電機	39- 1-21	210512	宮崎秀夫	姫 路
新 案	電気車非常電気制動装置	29-12-24	421701	松田新市 待鳥正	伊 丹
"	回転電熱円筒	29-12-24	421702	田村弘治郎	名古屋
"	誘導型電気計器	29-12-24	421732	山県穆	福 山
"	管制器制御把手装置	29-12-24	421733	浅井国行	長 崎
"	磁石発電機	29-12-24	421734	品川朝一	姫 路
"	計器用軸受	29-12-24	421735	篠村益雄	福 山
"	計器用変圧器	29-12-24	421736	武藤正	"
"	電気計器の封緘装置	29-12-24	421737	加藤義明	"
"	スタンド支柱調節装置	29-12-24	421738	増谷良久	名古屋
"	複胴巻上機のクラッチ切換装置	29-12-24	421739	熊本永	長 崎
"	熱動型回路遮断器	29-12-24	421740	高見滋 都築勇吉	名古屋
"	熱動型回路遮断器の電磁引外し装置	29-12-24	421741	高見滋	"
"	油入電気機器の油濾器	29-12-24	421742	中村幸雄	伊 丹
"	水銀整流器	29-12-24	421743	加藤又彦	"
"	コード取付装置	29-12-24	421744	横井繁	名古屋
"	差動型戸閉機械	30- 1-17	422336	吉田竹治 菅田恵之助	伊 丹
"	差動型戸閉機械	30- 1-17	422337	"	"
"	差動型戸閉機械	30- 1-17	422338	"	"
"	水位遠隔測定装置	30- 1-17	422339	尾畠喜行	神 戸

# ○○市街電車用 UM型断流器○○

市街電車用として製作した電磁式断流器で、過負荷機構を併せ備え、優秀な遮断能力をもつて いる。

## 構 造

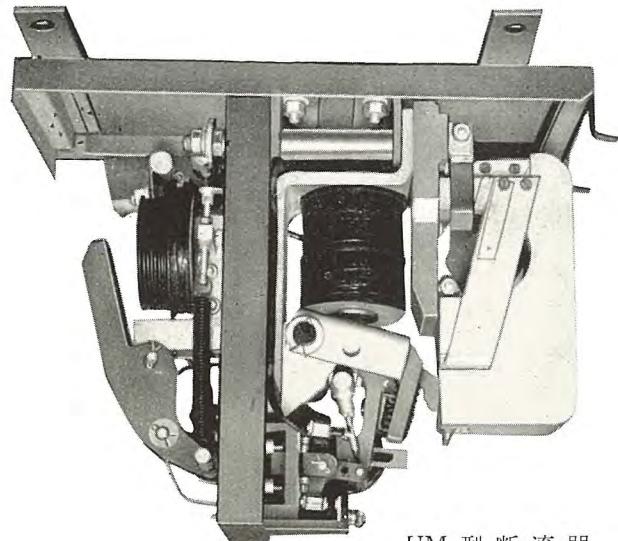
小型、軽量で電磁接触器と過負荷继電器を同一の鉄箱に收め、電車の床下に吊下げる構造になっている。過負荷機構は積層した鉄心および可動鉄片を備え、電磁接触器の接触子と機械的連動をする。

## 動 作

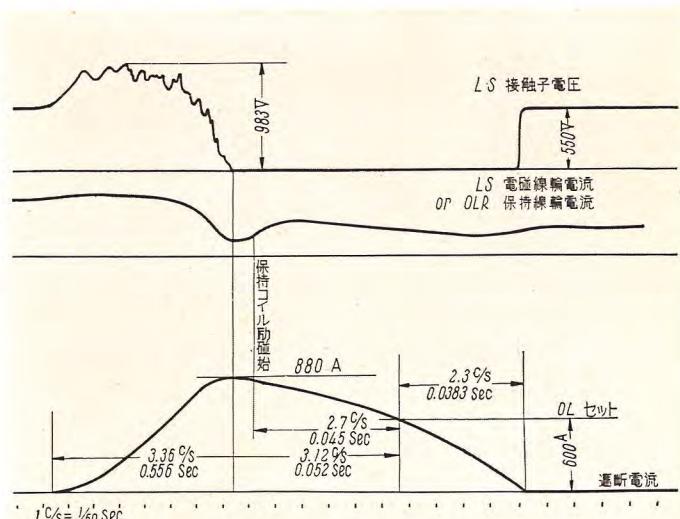
過負荷继電器が動作したとき機械的連動により電磁接触器の接触は直接開き同時に接触器の動作コイルを電気接点により開いて高速度の電流遮断が行われる。このとき過負荷继電器の保持コイルが励磁され、制御スイッチを断にするまでは保持状態を続ける。

## 性 能

600 V, 2×100 HP または 4×50 HP 以下の電車に適し、電磁接触器は連続定格 600 V, 300 A で過負荷继電器の動作後 0.2~0.4 c/s で断流器は遮断を開始する。



UM型断流器



昭和 30 年 5 月 25 日 印刷

昭和 30 年 5 月 27 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 60 円 (送料別)

### 雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長 大久保 謙

副委員長 石川辰雄

委 員 浅井徳次郎

荒井 潔 石橋英樹 市吉惟浩

伊東祐義 薄井廉介

大久保夙郎 岡屋精二

菅野正雄 木村武雄

小林治一郎 小堀富次雄

進藤貞和 田宮利彦

津村 隆 成富公一

中野光雄 每熊秀雄

松田新市 松尾又一

松尾米太郎 宗村 平

横須賀正寿

幹 事 市村宗明 前田幸夫

(以上 50 頁)

編集兼発行人 東京都千代田区丸の内2丁目3番地 市 村 宗 明

印 刷 所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印 刷 者 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 長 久 保 慶 一

発 行 所 三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部

電話 和田倉 (20) 1631

日本出版協会会員番号 213013

発 売 元 東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店

電話 (29) 0915・0916 振替東京 20018