

*MITSUBISHI DENKI*

# 三菱電機

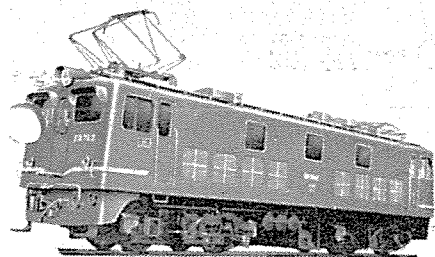


国鉄北陸線納  
ED70形イグナイトロン電気機関車

7

VOL31 1957





MITSUBISHI DENKI

三菱電機

## 表紙説明

表紙の写真は、32年10月から営業運転開始予定の北陸線米原―敦賀間 交流電化用として国鉄から18両一括受注したED 70形イグナイトロン電気機関車であります。

この機関車は三菱電機が30年秋仙山線に納入して好成績を納めたED 451の1.5倍の容量を有するもので、出力1,500 kW、重量60.45 t、最大速度90 km/h、周波数60 c/s、客貨車両用の機関車であります。

## 三菱電機株式会社

本社

東京都千代田区丸の内(東京ビル)

(電) 和田倉 (20) 代表 1631・2331  
研究所 兵庫県尼崎市南清水  
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町  
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町  
伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水  
長崎製作所 長崎市平戸小屋町  
無線機製作所 兵庫県尼崎市南清水  
大船工場 神奈川県鎌倉市大船  
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町  
郡山工場 福島県郡山市宇境橋町  
福山工場 福山市仲野上町  
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町  
和歌山工場 和歌山市岡町  
中津川工場 岐阜県中津市駒場安森  
福岡工場 福岡市今宿青木  
静岡工場 静岡市小島 110  
札幌修理工場 札幌市北二条東 12  
大阪営業所 大阪市北区堂島北町8番地1  
(電) 大阪 (34) 代表 5251  
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通  
(電) 本局 (23) 代表 6231  
福岡営業所 福岡市天神町  
(電) 中 (4) 7031—7036  
札幌営業所 札幌市大通り西3の5  
(電) 札幌 (2) 代表 7236  
仙台営業所 仙台市東一番丁 63  
(電) 仙台 (2) 代表 1601  
富山営業所 富山市安住町 23の2  
(電) 富山 4692・5273・2550  
広島営業所 広島市袋町6(富国生命ビル)  
(電) 中 (2) 2211—4  
高松出張所 高松市紺屋町 34番地  
(電) 高松 3178・3250  
小倉出張所 小倉市京町 10丁目(五十鈴ビル)  
(電) (5) 小倉 3614

昭和32年 第31巻 第7号

## 目次

電子管式アナログ計算機による境界値問題の一解法	菅野正雄	2
大容量衝撃電圧発生装置	大木正路	6
遮断試験用4万アンペア直流発電機設備	小島井 繁・伊藤正蔵	14
新型誘導円板型過電流継電器	天野 恒	16
車両用過速度継電器装置	渡辺 宏	20
電動機軸受用グリースの試験と選別法	伊藤一夫・今井辰四郎・金山 進	25
顕微鏡用露出計	伊吹順章・土方明躬	31
誘導加熱用高周波発電機	生駒銀郎	36
MG型高周波誘導加熱装置の負荷回路調整		
ならびにその応用	馬場文夫・渡辺文明	42
鋳鉄鋳物組織の研究 第6報		
イソライト型使用の場合の組織に及ぼす		
酸素量と冷速の関連性	鈴木一郎	48
電鉄事故時の選択遮断装置の改良(続)	迎 久雄	51

## 技術解説

研究用原子炉(III)	川口 修	55
-------------	------	----

## W社文献抄訳

ヤンキー原子力発電プラント	60
原子力の船舶推進への利用	60
原子力発電所機器	61
内部冷却発電機における進歩	61
W社シャロン変圧器工場のテストセンタ	62
ニュースフラッシュ	63

品質奉仕の三菱電機

# 電子管式アナログ計算機による境界値問題の一解法

研 究 所 菅 野 正 雄\*

## A Method of Solving Problems of Boundary Values with Electronic Analog Computers

Engineering Laboratory Masao KANNO

It is a common consent that what is called initial value problems can easily be solved by electronic analog computers as a principle. But solution of boundary value problems with this equipment is regarded as a matter to have recourse to either a trial method or approximation to differential equations by difference equations. A few examples given herein, however, prove that a solution of boundary value problems on linear ordinary differential equations is considered possible with a certain accuracy in stead of the foregoing methods.

### 1. ま え が き

電子管式アナログ計算機(以下アナコムと略称する)によって、いわゆる初期値問題を解くことは原理的に容易であるが、いわゆる境界値問題を解くには、これまでは試行法<sup>(1)</sup>かまたは微分方程式を、差方程式で近似する方法等によらざるを得ないとされていた。このうち試行法は、微分方程式および与えられたいくつかの境界条件のうちの一部を満足する多くの試行解の中から、ちょうど与えられたすべての境界条件を満足するような1つの解(所要の解)を選びだそうとする方法であるから、問題の種類によっては比較的簡単に解が求められる場合もあるが、原理的には、試行をやっている間にいつかは解が求まるという不確定要素が入ってくる不便があり、とくに低速度記録式アナコムの場合には、解が得られるまでに相当の時間を要することもあるという欠点がある。そのためか、つぎのような解き方をした1つの例に遭遇した。

問題は、つぎの第2章における例1の微分方程式に似た線形微分方程式を、(2)および(3)式で示された境界条件の下に、 $\omega$ の値を種々に変えて解くということであるが、まず(2)、(3)式の条件を満足する微分方程式の解析解を筆算で求め、ついで  $y' = \frac{dy}{dx}$  を導き、その  $x=0$  における値  $y'(0)$  を計算する。しかる後、 $y_0$  および  $y'(0)$  が与えられたものとして、初期値問題解法という形で、元の微分方程式をアナコムで解くというのである。これはいかにもまわりくどい解き方であるが、おそらく試行法に対する不安を避ける意味があったためであろう。

また、微分方程式を差方程式で近似する方法では、その近似の程度を高めようとするれば、演算要素を数多く用意する不便がある。

それでここでは、この試行法における不確定要素を避

け、一定の手続きにより確実に解が求められる1つの方法(便宜上これを代入法と呼ぶことにする)を、2,3の例をあげて紹介することとする。もっともこの方法が適用されるのは、現在のところ、線形常微分方程式の境界値問題解法に限定される。

### 2. 例 1

微分方程式

$$(D^2 + \omega^2)y = f(x),$$

$$\left(0 < x < a, D \equiv \frac{d}{dx}, \omega^2: \text{定数}\right) \dots \dots (1)$$

を境界条件

$$x=0 \text{ で } y=y_0, \dots \dots \dots (2)$$

$$x=a \text{ で } y=y_a \dots \dots \dots (3)$$

の下に、アナコムで解くためのブロック・ダイアグラムを作ること。ただし  $f(x)$ ,  $(0 \leq x \leq a)$  は既知とする。

(1) 試行法 もしこの問題で、(3)式の条件の代りに

$$x=0 \text{ で } Dy=y_0' \dots \dots \dots (4)$$

のような条件が与えられていたものとすれば、かりに  $x$  を時間変数と考える場合、これはいわゆる初期値問題となるから、このときのブロック・ダイアグラムは容易に求められる。すなわち、演算子  $p$  を

$$p^{-1} \equiv \int_0^x \cdot dx, (0 \leq x) \dots \dots \dots (5)$$

の逆演算子として、微分方程式(1)に  $D-p$  変換<sup>(2)</sup>を施せば、

$$(p^2 + \omega^2)y = f(x) + py_0' + p^2y_0,$$

$$(0 \leq x \leq a) \dots \dots \dots (6)$$

となる。ついでこの式の両辺に  $p^{-2}$  を作用させれば、

$$y + \omega^2 p^{-2}y = p^{-2}f(x) + p^{-1}y_0' + y_0,$$

$$(0 \leq x \leq a) \dots \dots \dots (7)$$

\* 物理第1研究室長

となるが、(6) 式からは微分型ブロック・ダイアグラムが得られ、(7) 式からは積分型ブロック・ダイアグラムが作られることはすでに文献<sup>(2)</sup>において述べたとおりである。そのうち積分型ブロック・ダイアグラムの一例を示せば 1 図のようである\*。ここに  $p^{-1}$  は積分器、 $\Sigma$  は加算器、 $-\omega^2$  は定数 ( $-\omega^2$ ) 設定器であり、また 1 は

$$\begin{cases} 1=0, (x<0), \\ =1, (0\leq x) \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

のような単位函数である。

1 図において、 $y_0'$  を可変としておき、その値を種々に変化させたとき得られる種々の  $y$  の曲線のうち、 $x=a$  で  $y=y_a$  となるような 1 つの曲線を選びだせば、このときの  $y$  が求める解となるわけである。したがってこの方法では、問題の種類により、所要の解が簡単に求まる場合もあるが、また容易には求まらない場合もありうる。

(2) 代入法 (6) 式を導くいわゆる  $D-p$  変換までの手続きは試行法の場合と同様である。

つぎに、(6) 式の両辺に  $(p^2+\omega^2)^{-1}$  を作用させて、 $y$  を未知の  $y_0'$  を含んだ形で求めたとする。すなわち  $y=A(x)+y_0'B(x)$ ,  $(0\leq x\leq a)$ .  $\dots\dots\dots (9)$

ここに

$$A(x)=(p^2+\omega^2)^{-1}f(x)+(p^2+\omega^2)^{-1}p^2y_0, \quad (0\leq x\leq a), \dots\dots\dots (10)$$

$$B(x)=(p^2+\omega^2)^{-1}p\cdot 1, \quad (0\leq x\leq a). \dots\dots\dots (11)$$

(9) 式において  $x=a$  とおけば、

$$y_a=A(a)+y_0'B(a) \dots\dots\dots (12)$$

となる。

代入法の考えは、(12) 式に含まれた  $A(a)$  および  $B(a)$  を適当な方法によって求め、つぎに (12) 式の関係をあらわすブロック・ダイアグラムにより  $y_0'$  を導き、この  $y_0'$  の値を (9) 式に代入して  $y$  を求めるということにある。この際 (9) 式により  $y$  を求めるブロック・ダイアグラムは 1 図に示したものと等価的になっていることは前に述べたとおりである。

$A(a)$  および  $B(a)$  を求め、さらに所要の解  $y$  を導くのは、たとえばつぎのような方法が考えられる。

#### 方法 I:

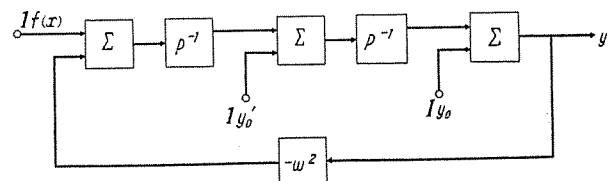
(i) (9) 式において、 $f(x)=0$ ,  $y_0=0$ ,  $y_0'=1$  とおいてみれば、このときの  $y$  は  $B(x)$  となるが、この  $B(x)$  は、(1) 式で  $f(x)=0$  とおいた微分方程式を、 $x=0$  において  $y=0$ ,  $Dy=1$  なる境界条件の下に解いて得られる  $y$  にほかならない。したがって  $B(x)$  を求めるブロック・ダイアグラムは、1 図において、 $f(x)=0$ ,  $y_0=0$ ,  $y_0'=1$  とおいたときの  $y$  として得られる。 $B(x)$  が得られれば、これから  $B(a)$  は直ちに求められる。

(ii) (9) 式において、 $y_0'=0$  とおいてみれば、この

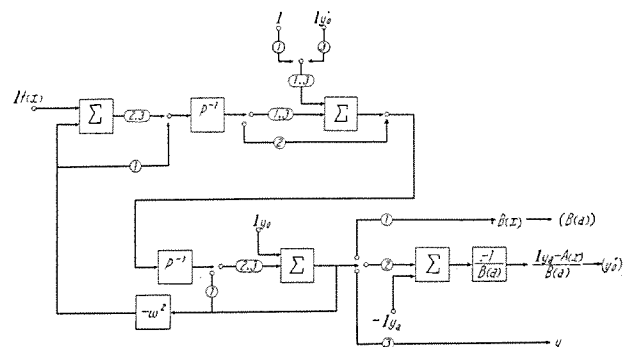
ときの  $y$  は  $A(x)$  となるが、この  $A(x)$  は元の微分方程式 (1) を、 $x=0$  において  $y=y_0$ ,  $Dy=0$  なる境界条件の下に解いて得られる  $y$  にほかならない。したがって  $A(x)$  を求めるブロック・ダイアグラムは、1 図において  $y_0'=0$  とおいたときの  $y$  として得られる。 $A(x)$  が得られれば、これから直ちに  $A(a)$  が求められ、したがって (12) 式から  $y_0'$  が導かれる。

(iii) (ii) で求めた  $y_0'$  を用いて、1 図のブロック・ダイアグラムにより所要の  $y$  を求める。

以上の 3 段階の操作において、共通の演算要素はこれを切換えて使うということにすれば、結局 2 図に示すよ



1 図



2 図

うなブロック・ダイアグラムが得られる。すなわち①という印のある回路分枝をたどれば (i) の操作が、②という印のある回路分枝をたどれば (ii) の操作が行われ、最後に③という印のある回路分枝をたどれば (iii) の操作が行われて、所要の解が得られることになる。このようにすれば、切換器を用意する必要はあるが、積分器、加算器等の演算要素の数は、試行法の場合にくらべて著しく増加することなしに、確実に目的を達することができるわけである。

#### 方法 II\*\*:

(i) (9) 式において、 $y_0'=1$  とおいてみれば、このときの  $y$  は  $C(x)=A(x)+B(x)$  となるが、この  $C(x)$  は (1) の微分方程式を、 $x=0$  において  $y=y_0$ ,  $Dy=1$  の境界条件の下に解いて得られる  $y$  にほかならない。したがって  $C(x)$  を求めるブロック・ダイアグラムは、1 図において、 $y_0'=1$  とおいたときの  $y$  として得られる。 $C(x)$  が得られれば、これから  $C(a)=A(a)+B(a)$  は直ちに

\* このブロック・ダイアグラムは、後に説明する代入法によるブロック・ダイアグラムとの比較に便利な形に書いたもので、(1) 式の微分方程式を (2), (4) 式で示された条件の下で解くというだけの問題ならば、(6) 式から

$$y=(p^2+\omega^2)^{-1}f(x)+(p^2+\omega^2)^{-1}py_0'+(p^2+\omega^2)^{-1}p^2y_0, \quad (0\leq x\leq a)$$

として、演算要素  $(p^2+\omega^2)^{-1}$ ,  $(p^2+\omega^2)^{-1}p$ ,  $(p^2+\omega^2)^{-1}p^2$  を用いたブロック・ダイアグラムを考えることもできる。

\*\* この方法は電気試験所桑松氏のご教示によるものである。

導かれる。

(ii)  $A(a)$  の求め方は方法 I の (ii) 項の場合とまったく同様である。  $A(a)$  が求まれば、  $B(a)$  は

$$B(a) = C(a) - A(a)$$

として導かれる。

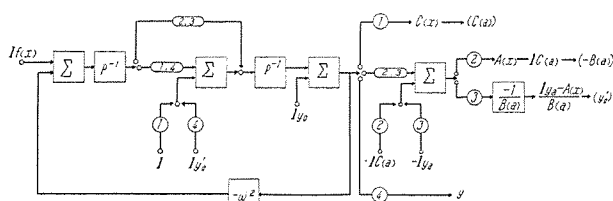
(iii)  $B(a)$  が求まれば、  $y_0'$  は (12) 式から

$$y_0' = \frac{y_a - A(a)}{B(a)} \quad (13)$$

として導かれる。

(iv) (13) 式で算出した  $y_0'$  を用いて 1 図のブロック・ダイアグラムにより、所要の  $y$  を求めることができる。

以上の 4 段階の操作を、方法 I の場合と同様にして、共通の演算要素はこれを切換えて使うという考えの下に、ブロック・ダイアグラムをつくれれば 3 図に示すようになる。



3 図

### 3. 例 2

微分方程式

$$D^2y + f_1(x)Dy + f_2(x)y = f_3(x), \quad (0 < x < a, D \equiv \frac{d}{dx}) \quad (14)$$

を境界条件

$$x=0 \text{ で } y=y_0', \quad (15)$$

$$x=a \text{ で } Dy=y_a' \quad (16)$$

の下に、代入法によりアナコムで解くためのブロック・ダイアグラムを作ること。ただし  $f_1(x)$ ,  $f_2(x)$ ,  $f_3(x)$ ,  $(0 \leq x \leq a)$  は既知とする。

$$z = Dy, \quad (0 < x < a) \quad (17)$$

とおけば、(14) 式および (16) 式はつぎのように書ける。

$$Dz + f_1(x)z + f_2(x)y = f_3(x), \quad (0 < x < a), \quad (18)$$

$$x=a \text{ で } z=y_a' \quad (19)$$

演算子  $p$  を例 1 の場合と同様に定義して、(17) 式および (18) 式に  $D \rightarrow p$  変換を施し、得られた各式にさらに  $p^{-1}$  を作用させれば、

$$y - p^{-1}z = y_0', \quad (0 \leq x \leq a), \quad (20)$$

$$p^{-1}\{f_2(x)y + f_1(x)z - f_3(x)\} + z = z_0, \quad (0 \leq x \leq a) \quad (21)$$

となる。ただし  $z_0$  は  $x=0$  における  $z$  の値すなわち  $y_0'$  で現在は未知である。(20) 式および (21) 式から、 $y$  および  $z$  を、 $z_0$  を含んだ形で求めればつぎのようになる。

$$y = A(x) + z_0B(x), \quad (0 \leq x \leq a), \quad (22)$$

$$z = C(x) + z_0E(x), \quad (0 \leq x \leq a). \quad (23)$$

ここに

$$A(x) = \{p^2 + f_1(x)p + f_2(x)\}^{-1}f_3(x)$$

$$\left. \begin{aligned} & + \{p^2 + f_1(x)p + f_2(x)\}^{-1}\{p^2 + f_1(x)p\}y_0, \\ B(x) &= \{p^2 + f_1(x)p + f_2(x)\}^{-1}p \cdot 1, \\ C(x) &= p\{p^2 + f_1(x)p + f_2(x)\}^{-1} \\ & \times \{f_3(x) - f_3(x)y_0\}, \\ E(x) &= p\{p^2 + f_1(x)p + f_2(x)\}^{-1}p \cdot 1, \end{aligned} \right\} \quad (0 \leq x \leq a) \quad (24)$$

(23) 式において  $x=a$  とおけば、

$$z(a) = ya' = C(a) + z_0E(a) \quad (25)$$

となるが、これから

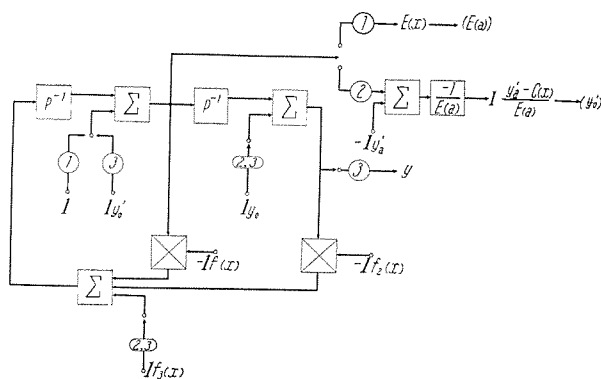
$$z_0 = y_0' = \frac{y_a' - C(a)}{E(a)} \quad (26)$$

が求められる。

$E(a)$  を定めるための  $E(x)$  は、(23) 式において  $f_3(x)=0$ ,  $y_0=0$ , [したがって  $C(x)=0$ ]  $z_0=1$  としたときの  $z$  として得られるが、これはすなわち、(17), (18) 両式で、 $f_3(x)=0$  とおいた微分方程式を、 $x=0$  で  $y=0$ ,  $z=1$  なる条件の下で解いたときの  $z$  である。

また  $C(a)$  を定めるための  $C(x)$  は、(23) 式において  $z_0=0$  としたときの  $z$  として得られるが、これはすなわち、微分方程式 (17), (18) を  $x=0$  で  $y=y_0$ ,  $z=0$  なる条件の下で解いたときの  $z$  である。

以上の説明から、4 図に示すようなブロック・ダイアグラムが得られる。この図において



4 図

(i) ①という印のある回路分枝をたどれば  $E(x)$  が求められ、したがって  $E(a)$  が定められる。

(ii) ②という印のある回路分枝をたどれば  $C(x)$  が求められ、したがって  $C(a)$  が定められ、さらに  $z_0 = y_0'$  が定められる。

(iii) ③という印のある回路分枝をたどれば求める解  $y$  [(22) 式] が得られることになる。

ただし  $\boxtimes$  は掛算器を示す。

以上の解き方は、例 1 の方法 I にならったものであるが、方法 II に対応する解き方ももちろん考えられる。

### 4. 例 3

微分方程式

$$\left. \begin{aligned} f_1(x)D^2y + f_2(x)Dy + f_3(x)y + z &= f_4(x), \\ g_1(x)D^2z + g_2(x)Dz + g_3(x)z + y &= g_4(x), \end{aligned} \right\} \quad (0 < x < a, D \equiv \frac{d}{dx}) \quad (27)$$

を境界条件

$$x=0 \text{ で } y=0, Dz=0, \quad (28)$$

$x=a$  で  $y=y_a$ ,  $Dz=z_a'$ .....(29)  
 の下に代入法で解くためのブロック・ダイアグラムを作ること。ただし,  $f_i(x)$ ,  $g_i(x)$ ,  $(0 \leq x \leq a, i=1, 2, 3, 4)$  は既知とする。

演算子  $p$  を例 1 の場合と同様に定義し, 微分方程式 (27) に  $D-p$  変換を施せば, つぎの関係が得られる。

$$\begin{cases} F(x, p)y + (z - z_0) = f_4(x) + f_1(x)p y_0' - z_0, \\ G(x, p)(z - z_0) + y = g_4(x) - g_3(x)z_0, \end{cases} \quad (0 \leq x \leq a) \dots\dots(30)$$

ただし

$$\begin{cases} F(x, p) \equiv \{f_1(x)p^2 + f_2(x)p + f_3(x)\}, \\ G(x, p) \equiv \{g_1(x)p^2 + g_2(x)p + g_3(x)\}, \end{cases} \quad (0 \leq x \leq a) \dots\dots(31)$$

であり,

$$\begin{cases} y_0' = (Dy)_{x=0}, \\ z_0 = (z)_{x=0} \end{cases} \dots\dots(32)$$

はともにも現在のところ未知のものである。

(30) 式から,  $y$  および  $p(z - z_0)$  を  $y_0'$  および  $z_0$  を含んだままの形で求めればつぎのようになる。

$$\begin{cases} y = A_1(x) + y_0' B_1(x) - z_0 C_1(x), \\ p(z - z_0) = Dz = A_2(x) - y_0' B_2(x) - z_0 C_2(x), \end{cases} \quad (0 \leq x \leq a) \dots\dots(33)$$

ここに

$$\begin{cases} A_1(x) = \{G(x, p)F(x, p) - 1\}^{-1} \\ \quad \times \{G(x, p)f_4(x) - g_4(x)\}, \\ B_1(x) = \{G(x, p)F(x, p) - 1\}^{-1} \\ \quad \times G(x, p)f_1(x)p \cdot 1, \\ C_1(x) = \{G(x, p)F(x, p) - 1\}^{-1} \\ \quad \times \{G(x, p) - g_3(x)\} \cdot 1, \\ A_2(x) = p\{F(x, p)G(x, p) - 1\}^{-1} \\ \quad \times \{F(x, p)g_4(x) - f_4(x)\}, \\ B_2(x) = p\{F(x, p)G(x, p) - 1\}^{-1} \\ \quad \times f_1(x)p \cdot 1, \\ C_2(x) = p\{F(x, p)G(x, p) - 1\}^{-1} \\ \quad \times \{F(x, p)g_3(x) - 1\}, \end{cases} \quad (0 \leq x \leq a) \dots\dots(34)$$

(33) 式において  $x=a$  とおけば,

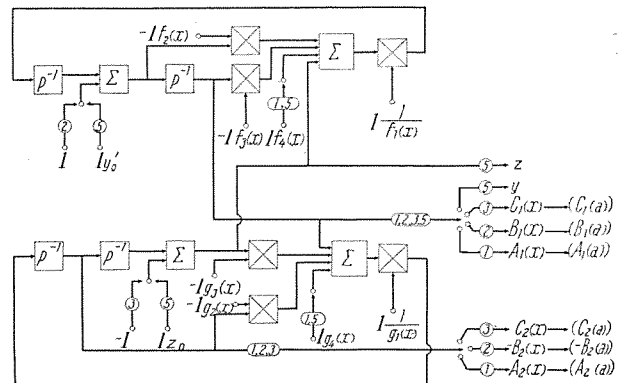
$$\begin{cases} y_a = A_1(a) + y_0' B_1(a) - z_0 C_1(a), \\ z_a' = A_2(a) - y_0' B_2(a) - z_0 C_2(a) \end{cases} \dots\dots(35)$$

となる。

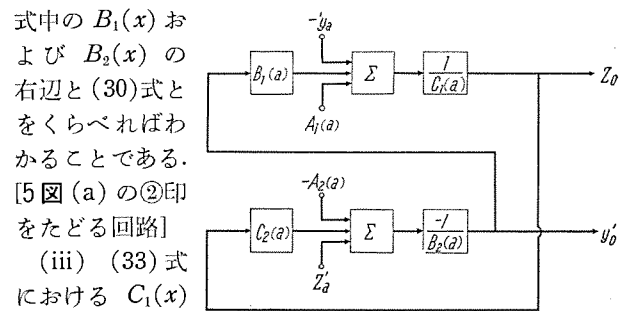
よって例 1 の場合の方法 I と同様の考えの下に, つぎのようにして所要のブロック・ダイアグラムを作ることができる。

(i) (33) 式における  $A_1(x)$  および  $A_2(x)$  を求めるブロック・ダイアグラムを作り,  $A_1(a)$ ,  $A_2(a)$  を記録する。この  $A_1(x)$  および  $A_2(x)$  は, 元の微分方程式 (27) を,  $x=0$  において  $y=0$ ,  $Dy=0$ ,  $z=0$ ,  $Dz=0$  なる境界条件の下に解いて得られる  $y$  および  $Dz$  にほかならないことは, (34) 式中の  $A_1(x)$  および  $A_2(x)$  の右辺と (30) 式とを比較してみればわかることである。[5 図 (a) の①印をたどる回路]

(ii) (33) 式における  $B_1(x)$  および  $B_2(x)$  を求めるブロック・ダイアグラムを作り,  $B_1(a)$  および  $B_2(a)$  を記録する。この  $B_1(x)$  および  $B_2(x)$  は (27) 式において,  $f_4(x)=0$ ,  $g_4(x)=0$  といった微分方程式を,  $x=0$  において  $y=0$ ,  $z=0$ ,  $Dy=1$ ,  $Dz=0$  なる境界条件の下に解いて得られる  $y$  および  $-Dz$  にほかならないことは, (34)



5 図 (a)



5 図 (b)

式中の  $B_1(x)$  および  $B_2(x)$  の右辺と (30) 式とをくらべればわかることである。[5 図 (a) の②印をたどる回路]  
 (iii) (33) 式における  $C_1(x)$  および  $C_2(x)$  を求めるブロック・ダイアグラムを作り,  $C_1(a)$ ,  $C_2(a)$  を記録する。この  $C_1(x)$  および  $C_2(x)$  は, (27) 式において  $f_4(x)=0$ ,  $g_4(x)=0$  において得られる微分方程式を,  $x=0$  において,  $y=0$ ,  $z=-1$ ,  $Dy=0$ ,  $Dz=0$  なる境界条件の下に解いて得られる  $y$  および  $Dz$  にほかならないことは, (i), (ii) の場合と同様にしてわかる。[5 図 (a) の③印をたどる回路]

(iv) (i)~(iii) で求めた  $A_1(a)$ ,  $B_1(a)$ ,  $C_1(a)$ ,  $A_2(a)$ ,  $B_2(a)$ ,  $C_2(a)$  を用い, (35) 式から  $y_0'$  および  $z_0$  を求めるブロック・ダイアグラムを作る。[5 図 (b)]

(v) 元の微分方程式 (27) を,  $x=0$  において,  $y=0$ ,  $Dy=y_0'$ ,  $z=z_0$ ,  $Dz=0$  なる境界条件の下に解くブロック・ダイアグラムを作れば, これが所要のブロック・ダイアグラムとなる。[5 図 (a) の⑤印をたどる回路]

以上の解き方に対し, 例 1 の方法 II に相当する解き方を考えることのできることは例 2 と同様である。

## 5. む す び

線形常微分方程式と与えられた境界条件の下に, アナコムで解く方法の 1 つとして代入法の考えを, 2, 3 の例をあげて説明したが, この考えはさらに, 与えられた  $n$  階の線形常微分方程式を, 与えられた  $n$  個の境界条件の下に解くという問題に拡張される<sup>(3)</sup>。そしてこの方法によれば, 従来行われてきた試行法にまつわる不便を取り除くことができる。

擧筆にあたり, この問題に関し, 有益な意見を寄せられた, 電気試験所乗松立木氏および当所電気第 1 研究室技師真鍋舜治氏に感謝する。

## 文 献

- (1) G.A. Korn and T.M. Korn: Electronic Analog Computers, p.114 (1952)
- (2) 菅野: 電学誌 75, 11 (昭 30), 三菱電機 29, 244 (昭 30).
- (3) 菅野: 電学誌 76 496 (昭 31).

# 大容量衝撃電圧発生装置

伊丹製作所 大木正路\*

## Large Capacity Surge Generators

Itami Works Masamichi OHKI

Lightning was considered to be super-human phenomenon in old times. Progress in the electrical engineering of late, however, has come to need man-made lightning to perfect the design of high voltage apparatus. Surge generators are the answer for this purpose and the very equipment that makes engineers capable of searching into unknown. The company has many experiences in building surge generators, the highest record being one rated at 3,600 kV, 130 kW. There are varied systems in the design of this equipment, each having merits and demerits. Design of allied equipment is never less important, for perfect result can only be hoped with all the apparatus combined.

### 1. ま え が き

雷の多いわが国では電力系統の雷害防止がきわめて重要であることはいうまでもないが、このためには雷実測を行って雷撃により生ずる異常電圧電流の性質の把握に努めると共に、送電線の耐雷設計ならびに電力系統の合理的な絶縁協調を実施することが必要である。絶縁協調の基本となるものは機器および施設の基準衝撃絶縁強度 (Basic impulse insulation level 略して B. I. L.) ならびに避雷器の保護レベルであるが、実際の機器がこれらのレベルに適合しているか否かを知るためには衝撃電圧発生装置を使用し、雷サージと同様な衝撃電圧を機器に印加して、機器の耐圧を確かめ、避雷器の性能を検することによって始めて明かになるわけである。さらに試験を用いて機器および材料の閃絡電圧あるいは絶縁破壊電圧を測定し、この種のデータを整備しておくことは、絶縁設計上欠くべからざることであり、また送電線上の進行波特性を解明して、機器単独の値のみでなく系統としての総合的な特性を知ること重要であって、現在では衝撃電圧試験は商用周波電圧試験と同程度の重要性を占めている。

商用周波電圧試験が古くから工場において実施されていたのに対し、衝撃電圧試験の方は比較的近年までは主として、実験室内で行われていたのであるが、現在では衝撃電圧発生装置の操作、とくにブラウン管オシログラフによる電圧電流の測定の簡易化に伴って、工場や現地においても試験変圧器を用いて商用周波電圧試験を行うのと同程度の気易さで取扱われるようになってきた。一方各種機器の試験規格が関係者の努力によって整備充実されてきたので、今では比較的低圧用の多数の機器までも工場試験あるいは受入試験として衝撃電圧試験が実施され、衝撃電圧発生装置の需要はますます増加している。

また超高圧送電系統の出現に伴い、試験さるべき機器の B. I. L. も高くなっているため、したがって衝撃電圧発生装置も高い発生電圧が要求されるようになっている。さらに系統の拡充に伴って、機器の容量が増大し、あるいはケーブル、静電コンデンサなど静電容量の大きい機器を試験する機会が多くなったので、衝撃電圧発生装置も大容量で発生エネルギーの大きいものが要求される現状である。

三菱電機では戦前より伊丹製作所に 3,600 kV、研究所に 2,000 kV の衝撃電圧発生装置を設けて製品の試験および研究に使用してきたが、昭和 29 年 9 月にはわが国最大の発生エネルギーを有する 3,600 kV 衝撃電圧発生装置を製作して古河電気工業株式会社横浜電線製造所超高圧研究所に納入し、またこの外に直立型の 1,000 kV 衝撃電圧発生装置を大日電線株式会社、鈴木合金株式会社に納入している。

最近の産業設備拡充の機運はますますこの種の衝撃電圧発生装置の需要を増大させているので、この機会に超高圧大容量の衝撃電圧発生装置について述べることにする。

### 2. 衝撃電圧発生装置の定格

1 表は日本および海外において設置されている著名な衝撃電圧発生装置の例を示すものである。最高電圧は 1 台で 5,000 kV というものがあり、さらにこれを 2 台使用し、1 台を正極性、他を負極性に充電して極間 10,000 kV と称しているものもあるが、普通に工場で試験を行う目的で設置されているものは、高電圧用でも 2,400 kV ないし 3,600 kV のものが多い。

衝撃電圧発生装置の定格として、上のように最高電圧で表示するのは、通常一段のコンデンサの最高充電電圧に段数を乗じた値を指しているのであって、実際の供試

\* 技術部

1 表 衝撃電圧発生器の例

(発生電圧 2,000kV 以上)

施設者名	最高電圧 (kV)	単位コンデンサ			全静電容量 (μF)	最大エネルギー (kWs)
		容量 (μF)	電圧 (kV)	個数		
電気試験所	2400	0.5	75	32	0.0156	45
東京芝浦電気	3500	0.2×2	60	60×2	0.00667	43.3
日立製作所	3600	0.5	75	48	0.0104	67.5
三菱電機	3600	0.25	120	30	0.0083	52
富士電機	4000×2	0.6	100	40×2	0.015×2	120×2
明電舎	2400	0.5	75	32	0.0156	45
高岳製作所	2100	0.25	75	28	0.00894	19.7
日新電機	2400	0.5	75	32	0.0156	45
日本碍子	3600	0.22	75	48	0.0046	30
住友電気工業	3000	0.5	75	40	0.0125	56
古河電気工業	3600	1.2	60	60	0.02	130
藤倉電線	3000	0.5	75	40	0.0125	56.2
昭和電線	3000	0.7	75	40	0.0175	78.7
G. E. 社 (米)	5000×2	0.33	100	51×2	0.0092×2	115×2
Westinghouse 社 (米)	3000				0.008	36
Ferranti 社 (英)	4000	0.65	220	18	0.036	285
Siemens 社 (独)	3000	0.28	100	30	0.0093	42
A. E. G. 社 (独)	3000	0.168	125	24	0.007	31.5
E & F 社 (仏)	3000	0.18	250	12	0.0149	67
A. S. E. A. 社 (瑞)	2400	0.037	150	16	0.0023	6.6
Nobel dab (諾)	2100	0.16	175	12	0.014	30
I. I. S. (印)	3000	0.33	100	30	0.011	50

電気学会編：電気学会大学講座「高電圧工学Ⅰ」（昭和31年12月20日発行）p. 16 第1・6表による。

物にこれだけの高電圧を印加するという意味ではない。これは供試物の静電容量など負荷の状態によって発生電圧の変化あるいは波形の変歪が生じること、負荷の静電容量や衝撃電圧発生器自身の漂遊インダクタンスや漂遊キャパシタンス等に基づく高周波振動を押えて規定の波形を出すために主回路に制動抵抗を挿入するとこの制動抵抗と放電抵抗とによって発生電圧が分圧された形になって発生電圧が低下すること、あるいは衝撃電圧発生器が起動するときに主回路中や充電抵抗等において損失が生ずることなどの原因によるものである。換言すれば、衝撃電圧発生装置の定格として呼称されている最高電圧とはあたかも無負荷端子電圧のごときものであるから、実際に供試物に印加しうる電圧はこれに回路条件および使用状態によって定まる利用率を乗じたものとなる。この点新設の際に定格選定上注意を要するところで、供試物に印加すべき電圧に対し、さらに使用条件による利用率を見込んで最高電圧を定める必要がある。

衝撃電圧発生装置の基本回路に対し、与えられた波形を発生するための回路定数、あるいは回路定数が与えられたときの発生波形ならびに利用率の求め方はたとえば JEC-106「衝撃電圧試験」等に記載されているので省略するが、通常電気機器を標準波形で試験する場合には利用率は 60~90% の程度の場合が多い。現在の 287.5 kV 超高压送電系統の絶縁階級は 200 号で、B. I. L. は 1,050 kV であるが、機器の破壊電圧や碍子の閃絡電圧などを知るためには 2,000 kV 程度の電圧を試料に印加したい場合があり、これに利用率を見込むと前記のように、超高压機器の試験のために設置された著名な衝撃電圧発生装置の多くが 2,400 ないし 3,600 kV 程度の最高電圧のものにおちついているわけがうなずける。最近では 380 kV

送電系統が考えられているので衝撃電圧発生装置の最高電圧もさらに高いものを要求される傾向があるが、この場合でも 3,600 kV 級のものであれば十分である。

衝撃電圧発生装置の定格を選ぶには、さらに全静電容量をいかにするかが問題である。すでに述べたように、供試物の静電容量が大きい場合には、衝撃電圧発生装置自体の全静電容量も十分大きくないと、発生波形の変歪が大きくなり、利用率も悪くなるので、十分な試験が行えない場合が生ずる。また避雷器の制限電圧試験のように、ある大きさの放電電流を流す必要がある場合には、衝撃電流発生装置のごとき性能も要求されるので、当然大容量の衝撃電圧発生装置が必要となる。このように供試物の種類によって定格も異なるから、1 表の全静電容量の値もかなり広い範囲にわたっている。

一般的に衝撃電圧発生装置の規模を表わすには最大エネルギーの値が用いられる。すなわち最高電圧を  $V$ 、全静電容量を  $C$  とした場合、最大エネルギー  $W$  は周知のように次式で与えられる。

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \dots \dots \dots (1)$$

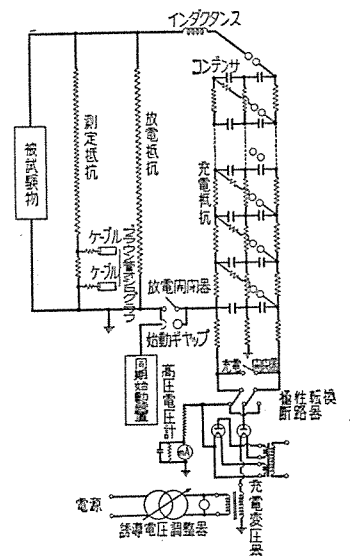
1 表の最大エネルギーは、この値を kWs の単位で示したものである。最高電圧が前述のごときものであるから、最大エネルギーの値も実際に試料に与えうるエネルギーという意味ではなく、最大蓄積エネルギーともいふべきものである。

衝撃電圧発生装置の定格の表示は、このように他の機器の場合と少し異なった方法が使われているので、新設の場合にはこの点に留意する必要がある。

### 3. 衝撃電圧発生装置の構造

衝撃電圧発生装置の回路には種々の方式があるが、現在高電圧用のものでは、ほとんど直列充電方式を用いた多段式 Marx 回路が使

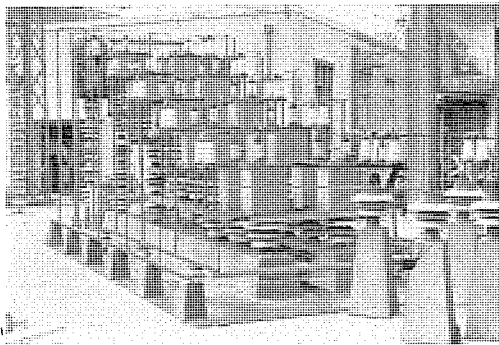
用されている。これは 1 図に一例を示すように、電源変圧器より整流管を通して得られた直流高電圧で直列充電抵抗を通じて各段のコンデンサを並列に充電しておき、始動の際には始動ギャップを飛ばしてコンデンサの一端



1 図 多段式 Marx 回路説明図

Fig. 1. "Marx circuit" diagram.





2 図 階段式衝撃電圧発生装置

Fig. 2. Cascade type impulse voltage generator.

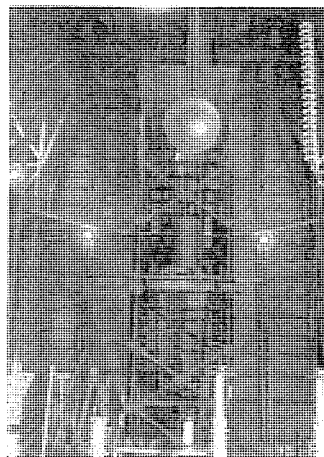
を接地し、コンデンサ他端の電位上昇により各段間の直列ギャップをつぎつぎと放電させ、全段のコンデンサを直列に放電させることにより、放電抵抗両端に衝撃高電圧を発生させるものである。

このような基本回路は古くから使用されているので、最近の衝撃電圧発生装置でもとくに変わったところはないが、空間占有容積ならびに床面積を極力切りつめコンパクトなものにすること、操作、保守などを容易にすること、操作者および機器の安全を期するための装置を設備すること等に努力が重ねられ、衝撃電圧発生装置の構造にも種々異なったものが製作されている。

構造上からみて高電圧用の多段式衝撃電圧発生装置を大別するとつぎのようである。ただしこれらの分類および名称は便宜的なものである。

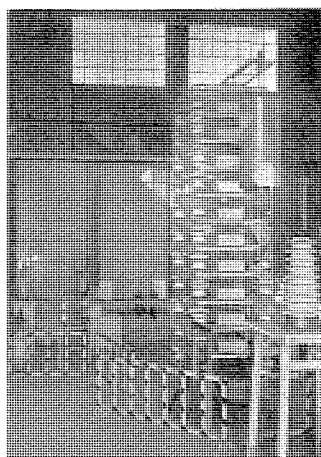
#### ア. 階 段 式

2 図の写真に一例を示すように、絶縁物で階段状に架台を作り、この上にコンデンサを積み、起動時に高電圧がかかるコンデンサほど大地から離隔距離を大きくとったものである。初期の衝撃電圧発生装置にはこの形のものが多い。これは床面積が大きい欠点があるが、点検保守をしたり、頻繁に回路の接続変更を行う必要のあるような場合には、コンデンサの電荷を除去した後、簡単に



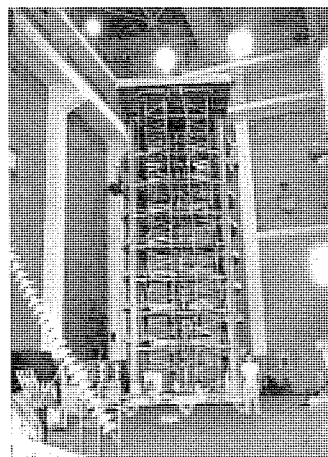
3 図 階段折返式衝撃電圧発生装置

Fig. 3. Cascade and turning-back type impulse generator.



4 図 直立載積式衝撃電圧発生装置

Fig. 4. Vertical pile-up type impulse generator.



5 図 直立螺旋階段式衝撃電圧発生装置

Fig. 5. Vertical spiral step type impulse generator.

階段を昇降してこれらの仕事をするので都合である。またコンデンサの据付、交換なども上方からクレーンあるいはホイストで簡単に吊上げ、吊下げができるので組立が容易である等の長所がある。このため最近でも現場実測試験に使用される組立式のものはほとんどこの形式のものである。

#### イ. 階段折返式

階段式では電圧が高い場合には床面積が大きくなるので、この欠点を除くため3 図のように途中で折返して積み上げる方式に改良したものである。これは階段式より床面積が小さくてすむ長所があるが、同時にコンデンサの吊上げ、組立などは少し複雑になり、また折返しの箇所で操作機構が多少複雑になることはやむを得ない。

#### ウ. 直立載積式

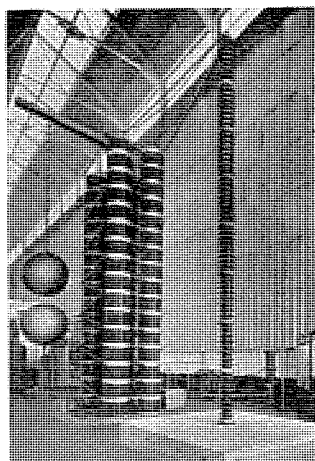
4 図のように、絶縁支持物で各段の架台をまっすぐ上方につくり、コンデンサを各段に積み上げたものである。これは床面積が小さく、コンパクトで、操作機構なども簡単な構造になしうる利点がある。また段数の増設も容易である。しかし段数が多くなると保守点検が困難になり、操作者が上方にのぼって作業をするときは足場が不安定で、とくに電荷が十分除去されていることを確認しておかないと、ちょっとしたショックで墜落することも起りかねないから注意する必要がある。また高さの割合に対して床面積が小さすぎるような構造になる場合が多いので、耐震強度について留意する必要がある。

#### エ. 直立螺旋階段式

これは5 図のように、4 本の絶縁支柱に段違いに絶縁物の棚を螺旋状にわたし、この上にコンデンサをのせたもので、外観的には直立型であるが、構造は螺旋階段式になっている。この型は直立式と階段式との長所をとり入れたもので、床面積は比較的小さく、コンパクトで、操作機構も簡単な構造となしうる。また操作者は内部の梯子と絶縁棚とを足場として利用できるので、比較的安定であり、作業も直立型よりは容易である。しかしこの型では段数の増設などはかなり困難である。

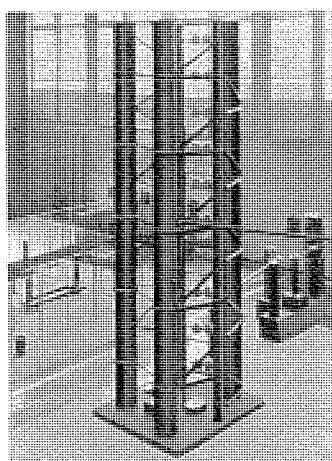
#### オ. 直立円筒式

碍子型コンデンサを使用して、これを直立に積み上げると、絶縁架台が省略できるので構造が簡単になる。6 図はその一例である。コンデンサの箱を絶縁円筒で作し、これを直立につみ上げても同じ効果が得られる。7 図はその一例である。



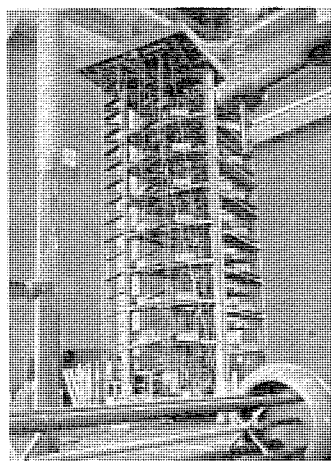
6 図 直立円筒式(碍管型)衝撃電圧発生装置

Fig. 6. Vertical cylinder bushing type impulse generator.



7 図 直立円筒式(絶縁円筒)衝撃電圧発生装置

Fig. 7. Vertical cylinder type impulse generator.



8 図 3,600 kV, 130 kWs 大容量衝撃電圧発生装置

Fig. 8. The 3,600 kV, 130 kWs large capacity impulse generator.

るので、ここでは省略することとする。

#### 4. 3,600kV, 130 kWs 大容量衝撃電圧発生装置<sup>(1)(2)</sup>

この装置は三菱電機株式会社において製作し、古河電気工業株式会社横浜電線製造所超高压研究所に昭和 29 年 9 月納入されたもので、3,600kV の超高压を発生しうると共に、

この型は床面積が小さく、構造簡単で、絶縁架台が不要である等の利点があるので、海外における新設のものはほとんどこの方式である。しかし保守点検が容易でなく上方へ昇ることが困難であるため、人間をクレーンでカゴ吊りにして作業している例もある。また下の段のコンデンサに故障を生じた場合に、交換修理がきわめて困難である等の欠点がある。コンデンサの柱は床面積の割合に比べて著しく高くなるので、わが国でこの方式を採用する場合には耐震強度の点をとくに留意することが必要である。

##### カ. 懸架式

階段式が床面から絶縁架台で順次対地離隔距離をとってゆくのに対しこれは壁面から懸垂碍子で衝撃電圧発生装置を斜めに懸架したものである。床面積を有効に利用できるなどの利点があるが、保守点検等には不便である。

##### キ. 懸垂式

直立式の支持碍子の代りに懸垂碍子を使用し、絶縁支柱から懸垂した構造のもので、現場実測試験に使用された例がある。

##### ク. 水平配列式

絶縁架台の上に水平に棚をわたしてコンデンサを並べたものである。この場合絶縁架台は最高電位に対しての絶縁を施す必要があるから階段式より支持碍子がよけいにいり、また各コンデンサ間の絶縁をもたせることがむずかしくなるので、比較的低電圧用のものにしか用いられない。構造が簡単であるから、主として現場実測試験の場合とか、トレーラに積載する可搬式の衝撃電圧発生装置の場合などに採用されている。

外観上より構造を分類説明すると大体上述のごとくで、それぞれ一長一短があるから、用途・定格・使用条件などを考慮して選定することが必要である。

この外に充電方式や始動方式など電気回路的の分類ならびに始動特性との関係など重要な問題があるが、一般的事項に関しては高電圧工学関係の書籍に記述されてい

とくにケーブル、静電コンデンサなど静電容量の大きい機器をも試験しうるように設計された大容量のもので、1 表にも見られるように単器として全静電容量ならびに最大エネルギーの大きい点ではわが国最大であり、世界的にみても有数のものである。以下この装置について詳しく説明する。

##### ア. 定 格

直流耐圧 60 kV、容量  $1.2 \mu\text{F}$  の単位コンデンサ 60 個を使用し、総合全静電容量は  $0.02 \mu\text{F}$  で、最高電圧 3,600kV の場合のエネルギーは 130kW<sub>s</sub> に達し、衝撃電流発生装置にも匹敵するものである。全段数を使用せずに一部のみを用いれば、低圧の衝撃電圧でも発生させることができることはもちろんである。

##### イ. 構 造

8 図に示すように直立螺旋階段式で、床面積は  $3.7 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$ 、高さは台車を含めて 9.7 m であり、高電圧大容量の割には占有空間が小さく、コンパクトにできている。シリコンワニス処理を施した 4 本のマイカルタ支柱に段違いに油浸木材の棚を螺旋状にわたし、各段に 2 個ずつのコンデンサを載せてある。段数は 30 段で、各段の 2 個のコンデンサは直列に接続されている。

コンデンサは模型のもので、套管は衝撃電圧発生器の内部中央方向に向けて出しており、リード接続部の金具は球状として、コロナ発生を抑えるようにしてある。

衝撃電圧発生器の中央部には、9 図に示すように 4 本のマイカルタ柱と中央柱とがあり、これに充電抵抗および制動抵抗ならびに放電ギャップを取付けてある。放電ギャップのギャップ長を調整するには、制御室で操作盤の押ボタンを押せば、10 図の右方に示す電動機が回転し、ねじの切ってある軸に取付けたナットが移動して中央柱を回転させることによって行われる。始動ギャップ長は 0~30mm、主ギャップ長は 0~60mm で、10 図の左方に見える回転軸に直結した可変抵抗の変化を電圧値に変換して操作盤に送り、始動ギャップの長さで目盛っ



9 図 衝撃電圧発生器の中央部 (1)  
Fig. 9. Inner construction of the impulse generator.



10 図 衝撃電圧発生器の中央部 (2)  
Fig. 10. Center of impulse generator.

た電圧計で遠隔計測できるようになっている。この目盛はフルスケール 30/7.5mm の 2 重目盛で、最小目盛は 30 mm 範囲で 0.2 mm, 7.5 mm

範囲で 0.05 mm であるから、最高 3,600 kV より最低約 5,000 V 位まで正確に始動させることができる。

衝撃電圧発生器の中央部には、10 図に見られるように絶縁材料でできた昇降用梯子が 4 本設けられており、これとコンデンサを載せてある棚とを利用して身体のア定を保ちながら作業できるような構造になっている。

この装置は台車に載せてあり、3 本のレールと 9 個の車輪を用いて屋外試験場に引き出しうるようにしてある。このような高電圧大容量の衝撃電圧発生装置で可搬式となっているものは他にその例を見ないものである。全重量は約 23 トンである。

#### ウ. 回路要素

充電抵抗は中央部の 4 本柱と中央柱との対応箇所に抵抗線を巻き、Marx 直列充電方式を採用している。

充電抵抗中を流れる充電電流および正規動作時の電流は小さいが、使用中直列ギャップ中の一部のみが不整放電を起すと全電荷がこの部分の充電抵抗を通して流れるため、あたかも抵抗線に衝撃電流試験を行うような結果を生ずることとなるので、この種の大容量高電圧発生装置では、この点をとくに考慮に入れて充電抵抗を設計することが重要であることを経験した。すなわち 11 図に示すような多段式衝撃電圧発生回路において、全段の放電ギャップが同時に放電せず、一部のギャップのみが不整放電を生じた場合、コンデンサの電荷は充電抵抗を通して放電し、さらに隣接したコンデンサの電荷も順次充電抵抗を通して放電するため、不整放電を生じたギャップにもっとも近い充電抵抗にはきわめて大きいエネルギーの消費を強要されることになる。

いま  $\gamma$ : 充電抵抗の抵抗値 ( $\Omega$ )

$\rho$ : 抵抗線の固有抵抗 ( $\Omega \text{ cm}$ )

$l$ : 抵抗線の長さ (cm)

$s$ : 抵抗線の断面積 ( $\text{cm}^2$ )

とすれば、次式が成立する。

$$\gamma = \rho \frac{l}{s} \quad (2)$$

また  $J$ : 熱の仕事当量

$\delta$ : 抵抗線の比重 ( $\text{g/cm}^3$ )

$c$ : 抵抗線の比熱

$\theta$ : 抵抗線の温度上昇 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$W$ : 抵抗線で消費するエネルギー ( $J$ )

とすれば、熱の放散を無視すると次式が成立する。

$$J\delta cs l \theta = W \quad (3)$$

(2) および (3) 式より

$$s = \sqrt{\frac{\rho W}{J\delta c \gamma \theta}} \quad (4)$$

あるいは

$$\theta = \frac{\rho W}{J\delta cs^2 \gamma} \quad (5)$$

いま不整放電をしたギャップのある段のみを考え、そのコンデンサの蓄積エネルギーを  $W_1$  とした場合、その段の充電抵抗の温度上昇は

$$\theta_1 = \frac{\rho W_1}{J\delta cs^2 \gamma} \quad (6)$$

として計算される。

つぎに隣の段のコンデンサの電荷について考えると、これは  $W_1$  と同じであって、これが充電抵抗 3 本直列になった回路を通じて放電するから (制動抵抗の値は充電抵抗の値に比べては無視しうる)、いま考えている不整放電ギャップの段の充電抵抗の温度上昇  $\theta_2$  はつぎのようになる。

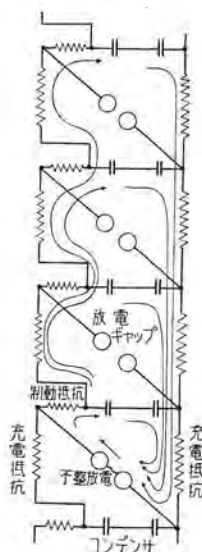
$$\theta_2 = \frac{1}{3} \theta_1 \quad (7)$$

このようにして、30 段の衝撃電圧発生器の最上段か最下段のギャップかが不整放電したとすると、この場合が一番苛酷であって、全段のコンデンサの電荷が充電抵抗を通じて不整放電ギャップの段の充電抵抗に並列に放電することになるが、この充電抵抗の温度上昇  $\theta_m$  は次式のようになる。

$$\begin{aligned} \theta_m &= \sum_{n=0}^{29} \frac{1}{2n+1} \theta_1 \\ &= \left( 1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \dots \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{59} \right) \theta_1 \\ &= 2.7 \theta_1 \end{aligned} \quad (8)$$

0.2 mm の直径のニクロム抵抗線の場合について計算してみると

11 図 充電中直列ギャップ中の一のみが不整放電を起した場合の回路説明図  
Fig. 11. Description of circuit whose series gaps partially made irregular discharges under charging.





$\theta_m = 557^\circ\text{C}$  となる。抵抗線の端の接続箇所は接触抵抗が大きいので、この部分はさらに温度上昇が著しい。大容量の衝撃電圧発生装置では、ギャップの一部に不整放電が生ずると充電抵抗が断線しやすいので、充電抵抗の線径を 0.23 mm に強化したが、これによって充電抵抗が断線するようなことはなくなった。充電抵抗の値は各段約 4,600  $\Omega$  となったが、利用率も低下することなく、かえって充電時間が短縮されるので良好な結果を得ている。

制動抵抗は金属抵抗線を A.P. 巻とし、各段とも 10, 20, 30  $\Omega$  を挿し換え、あるいは短絡しうるようにした。これは後に 20  $\Omega$  と 40  $\Omega$  の 2 種に変更した。

この装置は大容量でエネルギーが大きいので、放電抵抗と測定用抵抗とを別に設けた。12 図はその写真で、両者共ニクロム線をベークライト板に A.P. 巻とし、放電抵抗の方は 131  $\Omega$  のものを 31 枚直列に接続して全体で約 4,000  $\Omega$  とし、測定用抵抗の方は 224  $\Omega$  のものを 36 枚直列に接続して全体で約 8,000  $\Omega$  とした。放電抵抗と測定用抵抗とは実際には並列接続されるから、衝撃電圧発生装置からみた総合の放電負荷抵抗としては 2,660  $\Omega$  となる。これらの抵抗は最上段のトップ・プラットフォームに取付けられている滑車を利用してビニールの紐で簡単につり上げまたはつりおろすことができるようになっている。

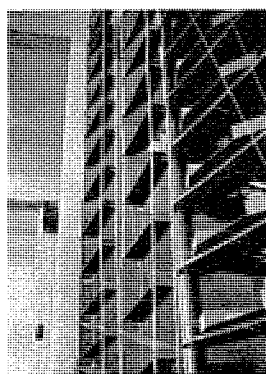
波形調整用のインダクタンスとしては 1mH のものをトップ・プラットフォームの上に用意してある。

### エ. 発生波形

この装置は前述のように直立螺旋階段式であって、従来の直立式と階段式との長所をとり入れたもので、小形にできる外に操作点検が容易であることは前節でも述べたが、また漂遊インダクタンスおよび漂遊キャパシタンスが小さいため波形および利用率が良好になる利点を有している。13 図は  $(1 \times 40) \mu\text{s}$  の全波発生波形、14 図は 2,000mm の棒間隙を閃絡させた場合の截断波波形であって、きわめてきれいな波形を示している。

### オ. 操作方式

この装置の特長の 1 つは完全遠隔操作方式を採用した



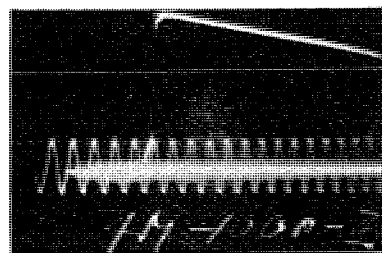
12 図 放電抵抗および測定用抵抗

Fig. 12. Load resistor and resistance potential divider.

ことであって、超高圧研究所 3 階の操作室においてすべて遠隔操作できるようになっている。15 図は操作盤および誘導電圧調整器で、押ボタンを押すことにより充電および放電操作を容易に行うことができる。誘導電圧調整器は電動操作および手動操作の両方が可能で、衝撃電圧発生器を起動させて 1 回の電圧印加試験が終わった後は自動的に 2 次電圧が零の位置に戻っているの、つぎに充電開

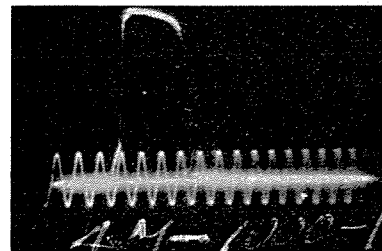
13 図 発生波形オシログラム (全波)

Fig. 13. Oscillogram of impulse voltage waves (full wave).



14 図 発生波形オシログラム (截断波)

Fig. 14. Oscillogram of impulse voltage waves (chopped wave).



始したときにはコンデンサに急に高圧を印加するおそれがないようになっている。

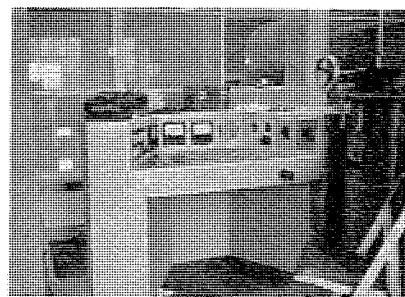
放電ギャップのギャップ長変更も操作盤で行い、その指示が操作盤のメータに表われることはすでに記した。

また発生すべき衝撃電圧を正極性あるいは負極性に切り換えるには、16 図に示す極性転換断路器によって行うが、この操作も操作盤の押ボタンを押すことにより電動操作で遠隔制御を行うことができ、その指示は操作盤上のランプの点滅となって表われる。これは必要により断路器のところで手動に切り換えることもできる。

衝撃電圧発生器を起動させるには、始動ギャップの第 3 電極に始動パルスを送るのであるが、この始動パルスを発生させる同期始動装置は 17 図に示すごとくである。このサイラトロン回路は操作盤でフィラメント回路を投入すると、限時継電器の動作により約 15 分後に陽極側高圧が自動的にサイラトロンにかかるようになっており、同時に操作盤に赤色表示燈が点灯するので、陰極が加熱されないうちに高圧をかけたり、また高圧を陽極に加えるのを忘れて操作したりするおそれがないようになっている。サイラトロンが温まるまでの時間は冬季と夏季と

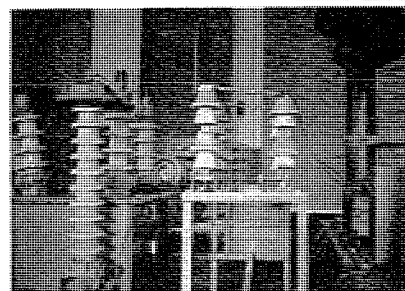
15 図 操作盤および誘導電圧調整器

Fig. 15. Main control panel and induction regulator.



16 図 充電用変圧器および極性転換断路器

Fig. 16. Charging transformer and disconnecting switch for polarity changing.





で異なるので、限時継電器の時限も 6 分～60 分の範囲で調整できるようになっている。

このように完全に遠隔操作ができ、しかも継電器の活用により操作がきわめて容易であることが特長となっている。

#### カ. 安全装置

この装置のもう 1 つの大きな特長は、保安装置が完備していることである。

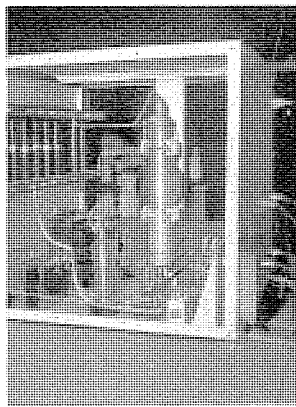
衝撃電圧発生器を使用していないときには、コンデンサの端子間は充電開閉器で短絡されており、また放電開閉器で接地されているので、コンデンサには残留電荷による危険な高電圧が残っていないようになっている。18 図は放電開閉器である。

使用の際には、操作盤の充電開始用押ボタンを押すと、継電器の動作により自動的にまず放電開閉器が開いてコンデンサの接地がはずされ、つぎに充電開閉器が開いてコンデンサ端子間の短絡がはずされ、しかる後はじめて充電用変圧器につながる誘導電圧調整器の 1 次側の回路が接続されるようになっている。

また衝撃電圧発生器を始動させて 1 回の電圧印加試験が終ると、継電器の動作により自動的にまず誘導電圧調整器の 1 次側の回路が開かれて充電回路が遮断され、つぎにある時間遅れて充電開閉器が閉じてコンデンサ端子間が短絡され、さらにある時間遅れて放電開閉器が閉じてコンデンサ端子は接地されるようになっている。そして誘導電圧調整器は自動的に 2 次電圧が零の位置に戻って、充電開始前の状態に復帰する。

このように衝撃電圧発生器を 1 回パチンと飛ばすごとに自動的にコンデンサの残留電荷が除去された上接地されてしまうので、実験者にとってきわめて安全である。

衝撃電圧発生器を充電中に、たとえば被試験物の誤接続などを発見して、試験を中止したいような場合が生じたとする。このときは操作盤で非常用押ボタンを押すと、まず充電開閉器が閉じてコンデンサ端子間を短絡し、しかる後ある時間遅れて放電開閉器が閉じてコンデンサ端子を接地するようになっているから、被試験物に高電圧



17 図 同期始動装置  
Fig. 17. Power surge tripping device.

を印加することなしにコンデンサの電荷を除去することができる。この場合も自動的に充電開始前の状態に復帰するようになっている。この装置は緊急時危害予防にきわめて重要である。なお上の場合とは別に、たとえばオシログラフを撮影したりする必要がないときあるいは被試験物に一定電圧を繰返し印加したいようなときもある。この場合には、操作盤の放電押ボタンを押すと、まず放電開閉器が閉じて最下段のコンデンサの端子の 1 つを接地するから、あたかも始動ギャップを放電させたと同じことになり、ブラウン管オシログラフ装置および同期始動装置に無関係に被試験物にサージを印加することができる。その後ある時間遅れて充電開閉器が閉じてコンデンサ端子間を短絡し、充電開始前の状態に復帰するようになっている。

この衝撃電圧発生装置は完全遠隔操作方式になっているので操作者にとっては安全であるが、操作室と被試験物を置いてある場所とが離れているだけに、被試験物の接続配線作業の場合などに連絡不十分のため誤って充電を開始するようなおそれがないとはいえない。あるいはまた、充電操作がきわめて容易になっていて、充電開始用押ボタンを押すと自己保持されて自動的に充電が行われるような方式になっているため、操作者が不在のときに誰かがこの押ボタンに触れて充電開始の状態にしてしまうおそれもないとは限らない。このような場合に備えて操作盤には安全開閉器を取付ける端子が設けてある。したがってたとえば衝撃電圧発生器本体および被試験物のまわりに柵を設け、その扉に安全開閉器を取付けて該端子と接続しておけば、扉をひらいて作業者が柵内にはいる限り充電開始ができないようにすることができる。また操作室に別に安全開閉器を設けて該端子と接続しておけば、この安全開閉器を投入しない限りみだりに押ボタンを押しても充電開始の状態にならないようにすることもできる。これらの必要のない場合は該端子間を短絡しておけばよい。

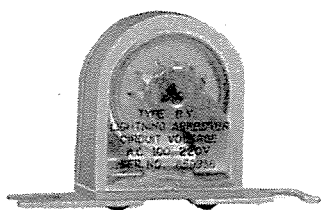
この衝撃電圧発生装置は大容量であるから、被試験物に閃絡もしくは破壊が生じたときの放電電流は大きい値に達する。たとえば前述の放電抵抗および測定用抵抗に並列に被試験物を接続し、これが閃絡もしくは破壊した場合、制動抵抗が全段で  $300\Omega$  入れてあったとしても、 $3,000\text{kV}$  充電では  $6,300\text{A}$  となり、最高  $3,600\text{kV}$  充電では  $7,550\text{A}$  が流れることになる。制動抵抗をさらに減少した場合には  $10,000\text{A}$  程度の衝撃電流が流れるので、これが低圧回路その他への誘導も相当大きいおそれがある。これには接地方式とくに接地抵抗を低くすることが先決問題であるが、この装置ではメータ回路、ブラウン管オシログラフ装置、同期始動装置その他の要所に 19 図に示すようなきわめて小形の低圧回路用避雷器を多数取付けてあるので、誘導電圧に対する操作者の保安ならびに機器の保護が十分に行われている。この避雷器は衝撃放電開始電圧が  $2,300\text{V}$  程度、 $1,500\text{A}$  における制限



18 図 放電開閉器  
Fig. 18. Discharging switch.

19 図 低圧回路用避雷器

Fig. 19.  
Lightning  
arrester for  
low voltage  
circuit.



電圧は 1,500 V 程度であつて、低圧回路の絶縁協調に適したものである。またこの外に低圧回路には絶縁変圧器およびサージ吸収用コンデンサを設け、電源側には雷侵入に備えて 3 kV オートパルス避雷器が設置されている。

以上述べたように、この装置は操作が容易であると共に、保安装置に万全の措置を講じてあることが特長である。

## 5. 1,000 kV, 12.5 kW<sub>s</sub> 衝撃電圧発生装置

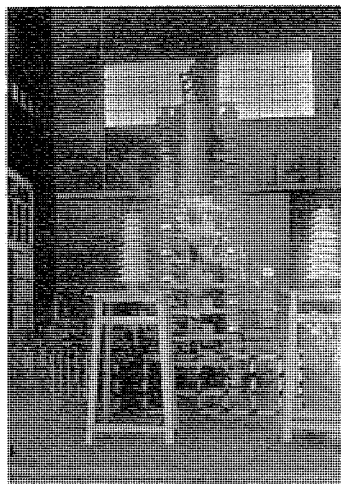
前項では本文の主題である

超高压大容量の衝撃電圧発生装置について述べたが、日常の工場試験あるいは研究にあたっては 1,000 kV 程度の中容量の衝撃電圧発生装置の方が手頃で使い易い場合も多い。そこでこの種の装置として製作納入したものについて簡単に紹介することとする。

この装置は 20 図に示すように直立載積式のもので、各段のコンデンサは直流耐圧 100 kV、容量 0.25  $\mu$ F で、全段 10 段で最高電圧 1,000 kV、全静電容量 0.025  $\mu$ F、全エネルギー 12.5 kW<sub>s</sub> である。

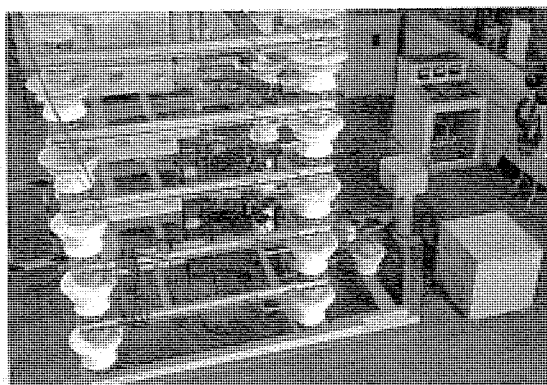
構造の細部は 21 図に示すごとくで、絶縁架台はピン磚子とアングル・フレームとで構成され、コンデンサは横型で、直列ギャップの調整は発生器本体前面の操作箱のハンドルを回転することにより全段連動するようになっている。操作箱のそばにある四角の箱は同期始動装置である。

22 図は充電用変圧器、ケノトロン変圧器、極性転換断路器および操作盤を示すもので、均圧環を付した磚管は充電電圧測定に使用する直流高压電圧計用抵抗を納めたものである。



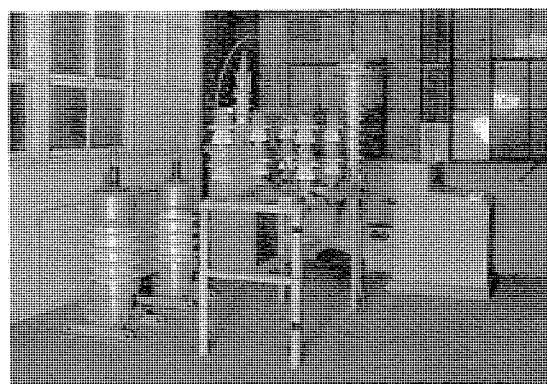
20 図 1,000 kV 12.5 kW<sub>s</sub> 衝撃電圧発生装置

Fig. 20. The 1,000 kV, 12.5 kW<sub>s</sub> surge generator.



21 図 衝撃電圧発生器の構造細部

Fig. 21. Construction of the impulse generator.



22 図 充電用電源部、極性転換断路器および操作盤

Fig. 22. Charging source, disconnecting switch for polarity changing and main control panel.

## 6. む す び

以上超高压大容量衝撃電圧発生装置について述べたが、衝撃電圧試験がますますひろく各方面で実施される方向に進んでいるときに当り、操作が容易でかつ安全度の高い装置を提供して、一層斯界の発展に寄与することができれば幸甚である。

擧筆に際し、本装置製作の機会を与えられた古河電気工業株式会社、大日電線株式会社ならびに鈴木合金株式会社の関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

## 文 献

- (1) 明楽桂一郎： オーム, 41, 1074 (昭 29), 電力, 38, 983 (昭 29)
- (2) 明楽桂一郎・田畑稔雄・大木正路・早瀬通明・岩崎晴光： 昭和 30 年電気 3 学会連合会大会予稿 345.

# 遮断試験用 40,000 アンペア直流発電機設備

神戸製作所 小鳥井 繁\*・伊藤 正蔵\*\*

## 40,000 amp. D-C Generating Equipment for Interruption Tests

Kobe Works Shigeru KOTORII・Shozo ITO

The latest engineering has come to demand large values of rated interrupting currents for air circuit breakers. To assure dependable operation of the breakers, the testing facilities must go with them in the development. In some cases the test is conducted based on equivalent values calculated, but without undergoing the experiment on the interruption of actual current values, much trust will never be given to the apparatus. Mitsubishi has set up a new equipment capable of rupturing d-c currents up to 40,000~50,000 amperes. The operation results have given the company satisfaction, assuring the design of the breakers to the fullest extent.

### 1. ま え が き

最近気中遮断器に要求される遮断定格電流値は大幅に増大してきたが、大電流の実際値を遮断しなければ遮断器の諸元を確実につかむことは不可能である。

等価的に実施する方法も考えられるが、三菱電機においては直流 4~5 万 A までは実際に遮断する状況を現実的に観測して機器の適確な性能をつかみ、設計上の確固たる資料を得るために頭記直流発電機を試験電源として、開発新設した。

現在すでに稼動しているのでその概略を紹介する。

### 2. 定 格

#### ア. 発 電 機

出力 (kW)	電 流 (A)	電 圧 (V)	定 格	回転数 (rpm)	励 磁 (V)
1,500 5,000	4,000 20,000	375 250	連続 1 秒 (60c/s)	600	220

#### イ. 駆動電動機

出力 (HP)	電力 (V)	電流 (A)	回転数 (rpm)	相	極数	周波数 (c/s)	励磁 (V)
1,500	3,300	202	600	3φ	12	60	220

### 3. 設 備 概 要

#### ア. 基 本 条 件

発電機がもつべき性能は、

- (1) 少なくとも、日本海事協会(NK)規定の示す第5種自動遮断器の定格遮断電流を出しうること。
- (2) 遮断時の消費電力が受電に大きな変動を及ぼさないよう自己のもっている fly wheel effect を活用しうること。
- (3) 経済的理由を考慮して 250 V ないし 750 V 級の

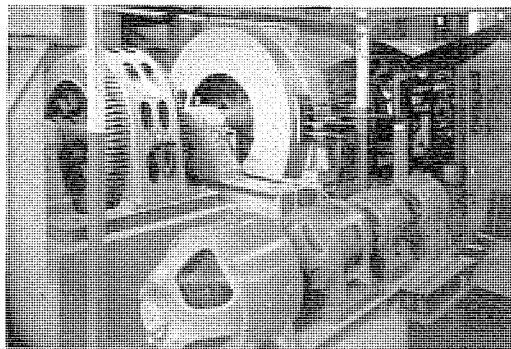
通常の試験電源としても自由に利用しうること。  
などである

#### イ. 実現した設備の構成

前項の基本条件の第1, 第2を満たそうとすれば被試験器の責務である「0-1分-CO」の一連の遮断動作で失うエネルギーを十分に補足できるだけの、fly wheel effect を有する、MG セットでなくてはならない。このためには fly wheel そのものを MG セットにつけることも考えられるが、据付場所の関係や、その他の使用条件などから考慮して MG そのものが蓄積する GD<sup>2</sup> によることとした。

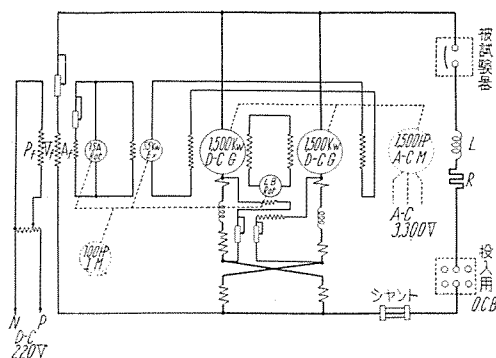
また駆動用同期電動機が小容量であるのはそのためである。

つぎに基本条件第3を満たすと共に大電流容量の機械セットとして使用するために double commutator の発電機2台とし1台の同期電動機に直結することにした。したがって 40,000 A の電流は 250 V の場合に並列運転によって得られるわけであるが、この際2台の発電機は負担負荷が常にバランスしていることが必要であるので差和動複巻による、交叉接続方式とロートコントロールによるロードバランスをつけて両機の負荷分担の均衡を自



1 図 試験設備の外観

Fig. 1. View of testing equipment.



2 図 構成機器の結線方式

Fig. 2. Connection diagram of the testing equipment.

動的にとりうるように考慮した。

なお投入時間を極力小さくするためにとくに1 CPS 前後の投入用ブレーカを新設した。

したがって設備の構成を表に示すとつぎのようになる

発 電 機	2 台	主 配 電 盤
駆動用同期電動機	1 台	機 型 制 御 盤
励 磁 機	1 セット	投入用ブレーカ
ロートトロール	1 セット	負荷用抵抗器

#### ウ. 据付前の予備試験

この発電機2台に試験駆動電動機を直結して負荷返還法で特性や  $GD^2$  などの測定を実施した。

整流も定格電流の 125 % まで No. 1 に調整し、20,000 A (1 秒) の場合の整流状況も良好であるとの推定ができる程度とした。

事実据付後 40,000 A の遮断を実施したときにはわずかに #3 程度に納まることが明らかとなった。

エ. 構成機器の結線方式は2図の回路図に示す。

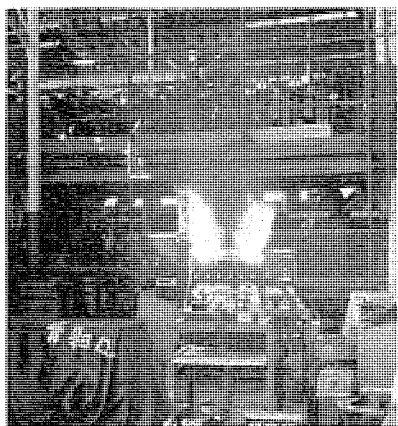
### 4. 遮断試験およびその回路

#### ア. 結 線

遮断試験のための回路は3図の結線図に示す。

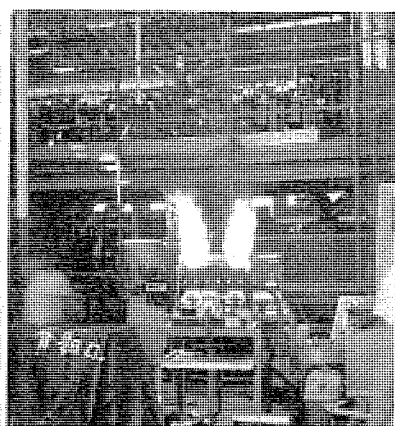
#### イ. 遮断試験

NK の第5種の型式承認をうるために実施した際の一例をとって遮断試験の状況を説明する。



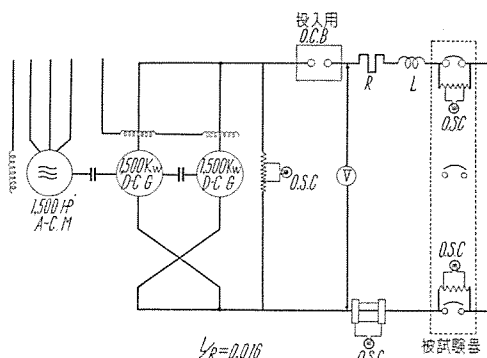
4 図 (a) DB-50 ACB 短絡試験 250 V 40,000 A 1st O の電弧写真

Fig 4-(a) Interruption of 40,000A.



4 図 (b) DB-50 ACB 短絡試験 250 V 40,000 A 2nd CO 電弧写真

Fig. 4-(b). Successive interruption of 40,000 A one minute later.



3 図 遮断試験回路

Fig. 3. Connection diagram of interruption test.

1 表

D-C	250 V	1,500 A	3 極
D-C	100 V	電磁投入	電圧引外装置付

遮断時状況(b) が引続き1分後の 250 V 40,000 A 「CO」 の遮断時状況を示している。その遮断時の各測定値は 5 図のオシログラムでわかるとおり十分な遮断動作をしたことを示しており、型式承認に合格したわけである。

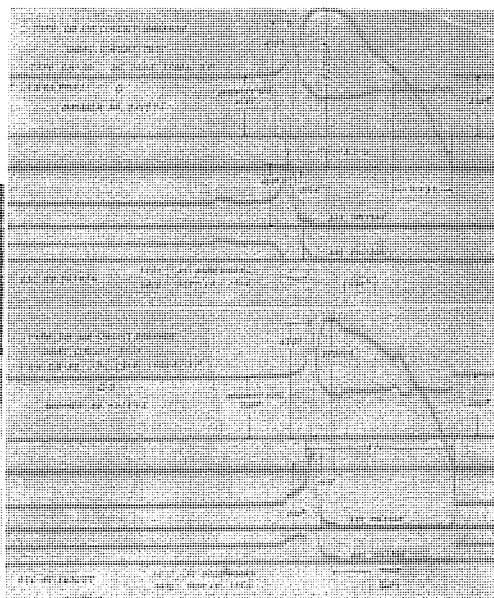
したがってこの遮断設備も第5種の DC 遮断には十分耐えうるものであるとの実証をうることができた。

### 5. む す び

250 V 50,000 A 位までは遮断時の実測値をうることができるようになったので、目下 DC 大電流の試験を続々と実施しているが、そのうところは非常に大きい。

このようにして設計上、工作上多大の参考資料が獲得できるようになったことはわれわれ技術者として無上の喜びである。

設計の任に当られた片岡課長以下、担当者、実際のテストに当られた白石技師以下、佐藤技師以下の各位に絶大な謝意を表する。



5 図 DB-50 ACB 短絡試験オシログラム

Fig. 5 Short circuit oscillogram test on type DB-50 air circuit breaker.



# 新型誘導円板型過電流継電器

神戸製作所 天 野 恒\*

## New Induction Disc Type Overcurrent Relays

Kobe Works Hisashi AMANO

A new induction disc type overcurrent relay has been completed recently. This is designed on entirely new concept and is featured with an ability of adjustment of time characteristics ranging from an ordinary time characteristic to strong inverse time one. This is made possible with a provision of an independent, adjustable part to each element. Added to this function the relay is taken care of reducing various errors as much as possible and is given radical changes to its mechanical parts.

### 1. ま え が き

誘導円板型過電流継電器は短絡および過負荷その他の保護に用いられているもっとも一般的な継電器である。この種継電器が最初に製作されたのは米国においては1910年代であり、わが国においても大正末期にはすでに現在のごとき形態がととのっていた。その後幾多の改良を経て現在に至ったものであるが根本的に著しく変わった点といえはほとんどみうけられない。

これに反し、わが国の電力システムの進歩はこの十数年間めざましいものがあり、これにつれ保護方式も高速度保護継電方式その他高度の技術を要するものが開発されてきた。したがってこれら高度の技術を要する保護方式に現在の誘導型継電器を適用することは非常に困難がともなうものである。たとえば、発電所内補機類の保護に対してヒューズ・遮断器の熱動引外線輪等の動作と、過電流継電器の時間協調 (Co-ordination) の問題、あるいは背後電力の大きな変電所出口で短絡故障が発生したときの継電器の動作<sup>(1)</sup>、その他発電機の逆相分電流に対する保護に用いる過電流継電器<sup>(2)</sup>等である。以上のごとく現在の固定した動作時間特性をもつ誘導型過電流継電器をそのまま用いることが多くのはあい不都合であることが痛感させられこの種継電器の飛躍的進歩が望まれていた。

最近、三菱電機において完成した新型誘導円板型過電流継電器はこれらの要望に答えるためのもので、その各部分の性能が

従来のものに比較して格段に進歩したこと以外に、とくに動作時間特性が反限時特性から強反限時特性までのあいだ任意に整定できることは従来の継電器ではまったく考えられなかったことである。これにより電気機器あるいは系統に対してもっとも適した動作時間特性のもので保護することが可能なわけである。

本文はこの新型継電器の概要をご紹介しますものでとくに構造および動作について述べてある。

### 2. 構造および動作

1 図はこの継電器の外観、2 図はこの継電器の要素を前方からみたもの、3 図は同じく後方からみたものを示している。これらの図からも明らかなようにこの継電器は当社において従来から製作している CO 型過電流継電器と相当異なっていることがわかる。原理的には、移動磁界を発生させるための特別な形状をした電磁石、その磁界により回転する誘導円板、制御スプリング、制動磁石などと通常の誘導円板型過電流継電器と特別変わったものはないが、特性を容易に変更することができるようにそのおのおのの要素に従来みられなかった調整装置を付加していることが本継電器の特長である。



1 図 FT-CO-S 型過電流継電器  
Fig. 1. Type FT-CO-S over-current relay.



2 図 FT-CO-S 型過電流継電器主要素  
Fig. 2. Type FT-CO-S over-current relay element (front view).



3 図 FT-CO-S 型過電流継電器主要素 (背面)  
Fig. 3. Type FT-CO-S over-current relay element (rear view).

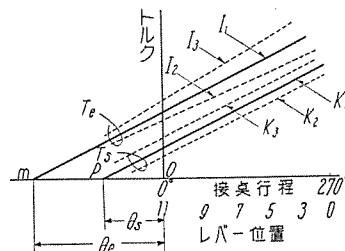
## ア. 円板および制御スプリング

誘導円板型継電器は円板が回転するにつれて制御スプリングが絞られこれと平衡する動作トルクの値が異なってくる。このことはレバー位置を変化させればあいにもいえることである。この現象を防ぐために従来のCO型過電流継電器では円板に適当な大きさの穴を適宜あけて保償していたが、この継電器は円板の周囲をスパイラル状にしている。このようにすれば円板が回転するにつれて制御スプリングトルクが連続的に変化しても電磁石による電氣的トルクはこの変化を十分に保償するようになる。

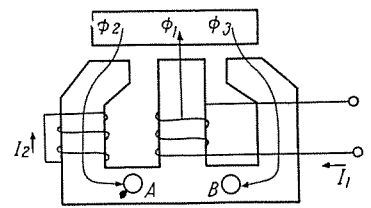
この状態を図に示したものが4図である。図において  $T_s$  はスプリングトルクを示し、 $T_e$  は電氣的トルクを示している。まず  $T_s$  について考えると直線  $K_1$  は標準のスプリングの特性で接点が0度から270度まですなわちレバー11の位置に開いたところから接点が閉じる0の位置までの間スプリングのトルクは直線的に変化することを示したものである。この直線を延長して水平軸と交わる点を  $P$  とすれば  $\overline{PO} = \theta_s$  は接点が0度の位置のときにすでに絞られていた角度であり、換言すればスプリングからすべての力を取り去ったとき戻りうる位置である。この  $P$  点の位置はスプリング調整板を回転することにより移動することができるような構造になっている。図についていえばスプリングトルクを強くするには  $P$  点を左に移動すればよく、弱くするには右へ移動させればよい。このような操作をすることにより直線  $K_1$  は完全に平行移動する。

つぎに電氣的トルクを考えてみる。電氣的トルクは円板が移動磁界の磁束と鎖交することにより発生するからこの円板の周囲をスパイラル状にすれば円板が回転するにつれ電磁石空隙の磁束鎖交数が変りトルクの大きさも変わってくる。これは動作方向へ回転するにつれ、すなわち図でいえば右へいくほど直線的に大きくなるようにしている。この直線も前と同じく左へのばして水平軸と交わる点を考えこの点を  $m$  とし  $\overline{mO} = \theta_e$  とすれば  $\theta_e$  は円板の周囲の形状、電磁石に対応する円板面積などにより固定された定数である。4図の直線  $I_1$  は電流がある基準のときに発生する電氣的トルクを示しており、これは故意に  $K_1$  なるスプリングトルクと平行に画いてある。

また、 $I_2$  と  $I_3$  は  $I_1$  よりも電流が小さいときおよび大きいときのトルク直線を示しており、これら  $I_1 I_2 I_3$  は全部  $m$  点を通っている。すなわち電流を変化して得られる電氣的トルクの直線は  $m$  点を通って無限に存在する。いま、スプリングトルクを調整して左によせて  $\theta_s = \theta_e$  とすれば、スプリングトルク自体がどんな傾斜であろうとも電氣的トルクの直線が一定点  $m$  から放射状に無数に並ぶということから、ある特定の電氣的トルクの直線と一致することは明らかである。スプリングトル



4 図 Fig 4.



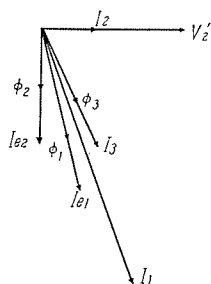
5 図 Fig 5.

クを調整するということは調整板により  $P$  点を左右に動かすことであり、電氣的トルクを調整するということは（調整方法は後で述べる）、 $m$  点を固定して傾斜を変えることである。したがってこれら2直線が一致すればスプリングトルクと電氣的トルクはレバー位置のいかなる点においても完全に一致するのである。換言すれば本継電器においては各レバー位置における始動電流の値はほとんど一定である。

## イ. 電磁石

この継電器の電磁石の大体の形状は5図に示してある。この下の部分の構造がローマ字のEに似ていることからE要素とも呼んでいる。中央の足はT型を逆にしたようなものであり、外側の2つの足はL型をしておりそれらが交互に積層されて電磁石を構成している。付勢電流  $I_1$  が中央の足に巻かれた主線輪を流れると、総磁束  $\phi_1$  は主線輪を抜けて機械的に分離した鉄心の空隙部分にある円板を横切り上部の積層鉄心を通り、帰路は2部分に分れ左側の足から  $\phi_2$ 、右側の足から  $\phi_3$  となって戻る。遅相線輪 (Lag coil) は左側の足に巻いてあり短絡線輪であるので  $\phi_3$  および  $\phi_1$  より  $\phi_2$  の位相を遅らせる作用をしている。したがって空隙の部分の磁束  $\phi_1 \phi_2$  および  $\phi_3$  の間に位相差ができてこの移動磁界により円板を回転させることができる。右側の足は電磁石のベクトルの説明を簡単にするために省略しているが実際には調整抵抗を接続した1ターンの線輪を巻いてある。この線輪は後に説明するタップ値調整のためのものである。図に示しているAおよびBの2つの穴は鉄心を貫通してこの位置にあり、磁気回路の飽和を調整するための円筒型の磁気プラグをこの穴に挿入して磁気回路の飽和の影響を変化させている。

この継電器の動作を6図のベクトル図により説明する。考え方としては2次回路を短絡した変流器の動作とし、2次回路は抵抗分のみとし<sup>(3)</sup>、またすべての磁束が5図に示した通路を通るものとする。まず短絡遅相線輪に継電器を動作させるに必要な最小の2次電流  $I_2$  を仮定する。2次回路が抵抗分のみと仮定してあるからこの電流と同相に  $V_2'$  なる電圧が誘起する。この電圧を誘起させるためには磁束  $\phi_2$  が必要である。この  $\phi_2$  の位相は6図では90度遅れて画いてあるがこれは、 $I_2$  および  $V_2'$  を1次に換算する手間ははぶくためのもので、 $I_2$  および  $V_2'$  を1次に換算したものと考えればよい。 $\phi_2$  が



6 図 Fig 6.

できるためには励磁電流  $I_{e2}$  による起磁力が必要で、これは鉄心の部分に比べて空隙の磁気抵抗が大であるから磁束と同位相と考えると差支えない。

この  $\phi_2$  と  $I_{e2}$  を含んだ磁気回路は 5 図の  $\phi_2$  中の矢印に示されたように上部鉄心中央から左側の足を通り下部鉄心底の中央までである。そしてこの間の起磁力は

$I_2$  と  $I_{e2}$  との和  $I_3$  に比例する。このように起磁力を規定すると右側の足に流れる  $\phi_3$  は  $I_3$  に比例して流れ、この関係は前述した  $I_{e2}$  と  $\phi_2$  の関係と同様であることがわかる。5 図において中央の足に示したこれら両側の磁束の和である総磁束  $\phi_1$  は 6 図にても  $\phi_2 + \phi_3$  に等しいことを現わしている。このベクトル図の  $\phi_1$  と同相に励磁電流  $I_{e1}$  を示しているが、これは上部鉄心中央から中央の足を通して底部に至る磁束  $\phi_1$  を駆動させるに必要な起磁力を供給するものである。この電流  $I_{e1}$  は前述の  $I_2$  および  $I_{e2}$  に加わって全電流となる。たとえば主線輪と遅相線輪とが同じ巻数と考えればこれらを加えたもの  $I_1$  となりこれが主線輪を流れる付勢電流である。

以上述べた 3 つの磁束は 6 図について位相の進んだものから順番に  $\phi_3, \phi_1, \phi_2$  となり 3 相の移動磁界として考えられる。これを 5 図に適用すれば円板は右から左へ動くという結論になりそうだがその前にベクトルの向きを考えなければならない。したがって磁束の方向を底から上部へと全部同方向に考えた  $\phi_a, \phi_b$  および  $\phi_c$  という 3 つの磁束を 7 図により考えることにする。この 7 図と 5 図を比較すると、

$$\phi_a = -\phi_2 \quad \phi_b = \phi_1 \quad \phi_c = -\phi_3$$

という関係になる。この関係より 6 図のベクトル図は磁束についてのみ考えれば 8 図として表わされる。この 8 図によれば磁束の相の順序は  $abc$  となり、この関係と 7 図により円板は左から右へ動くことが結論されて実際の動作と一致する。

この継電器の電磁石の部分のみの等価回路を 9 図に示している。本図は 2 次回路側の端子  $c$  および  $d$  を短絡した変流器として考え前述のベクトルの説明のときの仮定のもとに画いてある。この図の中で、抵抗  $R_2$  は遅相線輪の抵抗であり、インピーダンス  $Z_{e2}$  は磁束  $\phi_2$  による

磁気抵抗により決まるものである。リアクタンス  $X_L$  は漏洩リアクタンスでありその値は  $\phi_3$  が鎖交する磁気回路により決まる。インピーダンス  $Z_{e1}$  は同様に磁束  $\phi_1$  の通過による磁気抵抗によって決まり、抵抗  $R_1$  は主線輪の抵抗に相当し、最後に端子  $a$  および  $b$  は継電器の入力端子に相当する。この等価回路は簡単にするために巻数比 1:1 としているが実際のばあいは巻数比が異なっているのでこの点を考慮する必要がある。なお、本図からも前に示したベクトル図の電流を規定することができる。すなわち

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \dot{I}_2 + \dot{I}_{e2} + \dot{I}_{e1} = \dot{I}_3 + \dot{I}_{e1} \\ \dot{I}_3 &= \dot{I}_{e2} + \dot{I}_2 \end{aligned}$$

となる。

#### ウ. タップ値の調整

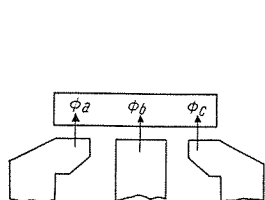
実際の電磁石はさきに簡単に示した電磁石と異なり、右側の足に調整抵抗を接続した 1 ターンの線輪を巻いている。もしこの調整抵抗の値が無限大であるとすれば、この線輪の影響はぜんぜんないことになり 5 図および 6 図に示した状態とまったく同じ考えになる。反対にもしこの線輪の巻数が左側の遅相線輪と同じで調整抵抗の値を零にしたばあいを考えれば、この線輪の影響は左側の遅相線輪の影響とまったく同じことになり、両側の磁束は同じ量だけ遅れることになって円板は回転しなくなる。この線輪の実際の作用は調整抵抗の値を加減して左側の磁束の位相を相対的に変化させ、これにより最小動作電流の値を調整することである。すなわち標準はこの抵抗値が大体中央にあるようにして、最小動作電流が高すぎるばあいは抵抗値を増すことにより最小動作電流を低くすることができ、また、最小動作電流が低すぎるばあいは抵抗値を減らすことによりそれぞれ補正することができる。

#### エ. 飽和度の調整

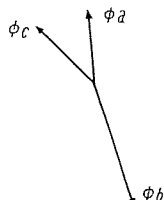
誘導型継電器は一般的にいて過電流域における鉄心の飽和の度合が高ければ動作時間特性の反限時性は少くなる。もちろんこの原因は電流が直線的に増加してもトルクを発生させる磁束の増加の割合が減少するからである。このとき、適当な手段で磁気回路を調整し飽和の度合を過電流域において変えることができれば動作時間特性の上にこの変化させた影響を表わすことができる。換言すれば 5 図に示した A および B の穴の調整プラグを設けたことにより動作時間特性の変化は調整プラグの函数として考えることができる。この特殊な構造による

影響は簡単には説明できないが大体の動作を述べてみる。

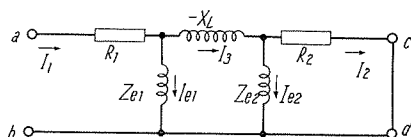
まず低電流域では磁束密度は十分に小さく飽和していないとすれば、この仮定により電磁石の右脚と左脚を通る磁束の透磁率は等しいことがいえる。そして付勢電流  $I_1$  が増加してもいざんと磁気回路



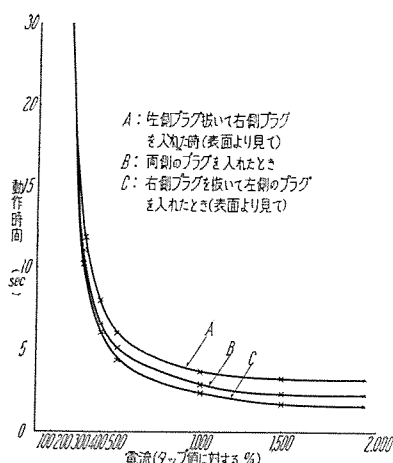
7 図 Fig 7.



8 図 Fig 8.



9 図 Fig 9.



10 図 新型誘導型過電流継電器

動作時間 電流特性  
Fig. 10. Operating time-current characteristic curves of new induction type over-current relay.

が非飽和であれば中央、左脚および右脚の3つの磁束のベクトルは直線的に比例して増加していく。いま、もし右側の B の穴のプラグを一部分あるいは全部抜いてしまったとすれば飽和の影響は左脚よりも右脚の方に早く現われてくる。このことは過電流域における3つの磁束の大きさを変えるだけでなく、それら3つの磁束の間の比例的な関係も変化するのである。比例的な関係とは位相差と大きさの両方でこれら3つのベクトルの対称分である正相および逆相分を考えればこの割合が変化することである。ただし正相分磁束は動作方向トルクを逆相分トルクは抑制方向トルクを発生すると考えられるものである。このことはプラグは一般的な飽和曲線のみでなく過電流域における電磁石の効率にも影響するのである。実際にこのプラグの動作時間特性におよぼす影響を示すと10図のごときものである。

8図が飽和していない状態の電磁石のベクトルを示すものとすれば、なぜこのベクトルをもっとバランスさせるように設計をやり直さないかという疑問がわいてくる。もし8図のベクトル図が120度ずつ位相差をもっているものであれば電磁石の効率ももっとよくなり負担も少くなるであろう。しかしそのようにすれば過電流域における飽和の調整はできなくなり、また、周波数、温度などの変化による誤差も大きくなる。したがって前述したように動作時間特性を可調整にするためには相当の逆相分を含むようなものにしなければならない。しかしながらこのような状態においても継電器の動作に必要な消費電力は各タップ値電流において2.5VA程度でよい。これは現在のCO型過電流継電器の消費電力16VAに比べて1/5以下の値である。

#### オ. 制動磁石

制動磁石は本継電器にもっとも適した強力な磁石 MK-5 型 (Co 24%, Ni 14%, Al 8%, Cu 3% その他) を使用している。この磁石の空隙の部分に回転円板の端が通るように取付けてあり、制動の調整にはスロットを切った磁気プラグを用いて空隙の長さを変更するようにしている。すなわち制動を大きくするには空隙の長さを短かくし、制動を小さくするにはその反対の操作を行えばよい。しかし永久磁石の空隙の長さを長くすれば磁化特性

が不安定になるが、この継電器では実際使用する空隙の長さ以上の空隙において安定なるように着磁している。MK-5 型永久磁石はこの安定化した後に磁気プラグをいかなる位置で使用しようと経年変化する心配はない。

このような強力な磁石を使うことにより継電器の復帰時間が長いという欠点が出てくるが、これは誘導円板型過電流継電器の復帰時間がある決まった値になるという理論<sup>(4)</sup>により納得されると思う。これによれば反限時特性をもった継電器の復帰時間はタップ値の $\sqrt{2}$ 倍の電流が流れたときの動作時間とほぼ等しくなる。復帰時間を早くしようと思えば制動を小さくすればよいが、その代り低電流域の動作時間も早くなり反限時性が少なくなるといえる。

### 3. む す び

このたび新しく完成した誘導円板型過電流継電器の一般的特性を明らかにするため、構造および動作等を述べたがその特長とするところを要約すればつぎのようなことがあげられる。

- (1) スパイラル状の回転円板と可調整の制御スプリングを組合せて、円板がいかなる位置にあらうとも始動電流の値が一定になるよう調整できる。
- (2) 電磁石の磁気回路に磁気プラグを設け、動作時間特性を反限時特性から強反限時特性まで任意に整定することができる。
- (3) E 型電磁石を使い通常の 2 次短絡線輪の外に可調整短絡線輪を設けたため最低動作電流の調整が容易になった。
- (4) 強力な MK-5 型永久磁石を使用しているから、慣性による誤動作は皆無であり、また、空隙長が調整できる構造になっているので制動の度合いが任意に変更できる。
- (5) 新しい理論の E 型電磁石を合理的設計のもとで使用しているから周波数誤差、温度誤差は非常に小さい。
- (6) 円板の回転角度が従来のものに比べて大きいから (最大回転角 270 度)、限時整定が正確にできる。また限時整定目盛はダイヤル状になっていて整定値がいつも正面にくるようになっている。
- (7) その他各部品にはモールド、ダイキャスト等を使用してコンパクトにまとめてあり、消費電力も各タップにおいてタップ値電流が流れたとき 60c/s で約 2.5 VA といずれも従来のものに比べてすぐれた性能となっている。

この継電器は以上のように数多くの特長を有しているから一般の過電流継電器以外に、この特長を利用して特別な仕様にも使うことができ、これらの実績の増加とともに広範な使用が期待される。

#### 参 考 文 献

- (1) 藤井, 森, 天野: 三菱電機, 30, 199 (昭 31-3)
- (2) 三菱電機昭和 31 年度回顧特集, 31, 29 (昭 32-1)
- (3) Blume 他: Transformer Engineering, 69~71 (1951)
- (4) W.E. Glassburn, W.K. Sonnemann: Principles of Induction Type Relay Design, AIEE Trans. Part III 23 (1953)



# 車両用過速度継電器装置

神戸製作所 渡 辺 宏\*

## Overspeed Relaying of Electric Cars

Kobe Works Hiroshi WATANABE

To prevent electric cars from overspeeding a device has been worked out to give warning to a motorman and conductor. The relay system consists of an inductor type tachometer generator, Type D-4 speed relay, auxiliary relay and alarm box. When the car runs, an inductor fitted to the rotating body, i.e., the shaft, generates a-c voltages in a pick up combined with the inductor in proportion to the speed in rotation. On reaching a speed exceeding a predetermined value, the increase in voltage actuates the relay and lights a signal lamp besides sounding a buzzer. In applying this scheme to a practical line, vibration tests have been recorded with cars, facilitating a good deal to the perfection of the function.

### 1. ま え が き

山陽電気鉄道株式会社向に車両用過速度継電器装置を製作し昭和31年10月納入したが、この装置は車両走行速度がある規定の速度をこえると、運転室および車掌室で警報ランプをともしとともにブザーを鳴らして、車両の過速度運転による危険を防止せんとする目的のものである。

以下、この新しい車両用過速度継電器装置について、その構造、動作を説明するとともに、実際の車両走行時の振動測定の結果を解析し、これに基づいて行った振動試験の結果について述べることにする。

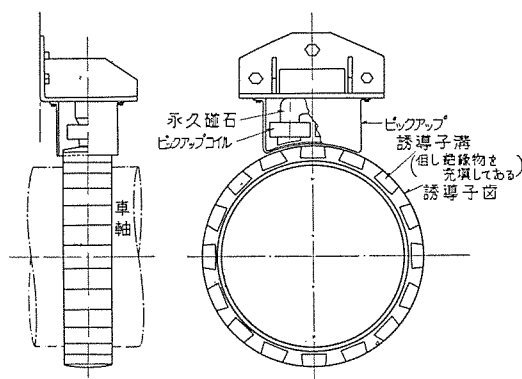
### 2. 構造および動作

この過速度継電器装置は、誘導子型回転計発電機、D-4型速度継電器、補助継電器および警報箱より成っているが、つぎにそのおののについて説明する。

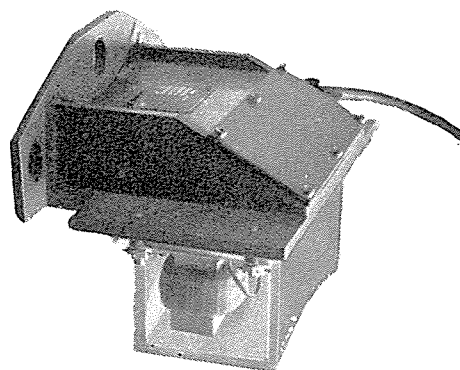
誘導子型回転計発電機は、1図に示すように誘導子とピックアップから成っており、誘導子を被測定物の回転体

すなわち車軸に、ピックアップを誘導子の周辺に固定する。ピックアップはコ字型をした永久磁石の両磁極端にコイルを巻いたもので、その外観を2図に示してある。誘導子は磁性材料の円筒状の回転体に溝を切ったものである。いま誘導子が回転するとピックアップの磁束が変化するが、その変化する速さは回転数に比例するからピックアップコイルには回転数に比例した交流電圧が発生する。

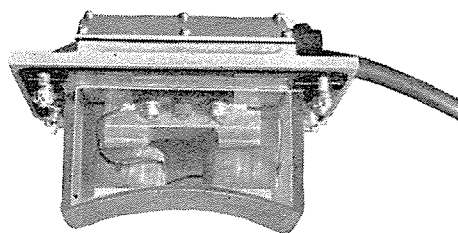
D-4型速度継電器は永久磁石、可動線輪型の直流継電器で、可動線輪の軸には可動接点がついており、また任意の位置に設定しうる固定接点がついていて、その外観



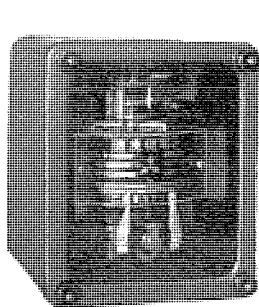
1 図 誘導子型回転計発電機概略図  
Fig. 1. Skelton diagram of inductor type tachometer generator.



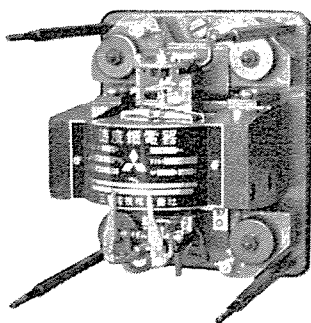
2 図 a. 誘導子型回転計発電機ピックアップ外観  
Fig. 2-a. Pick up of inductor type tachometer generator.



2 図 b. 誘導子型回転計発電機ピックアップ外観  
Fig. 2-b. Pick up of inductor type tachometer generator.



3 図 D-4 型速度継電器  
外観  
Fig. 3. Type D-4  
speed relay.



4 図 D-4 型速度継電器内部  
構造  
Fig. 4. Internal construction  
of type D-4 speed  
relay.

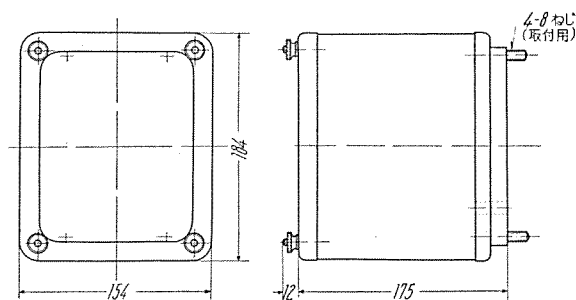
および内部の構造は 3 図、4 図に示すようなものである。また、外形寸法は 5 図のごとくである。この D-4 型速度継電器の可動線輪に前記の誘導子型回転計発電機のピックアップコイルに発生する回転数に比例した電圧を整流して加えている。

補助継電器はテレフォンリレーを装入したもので、6 図にその外形を示してある。

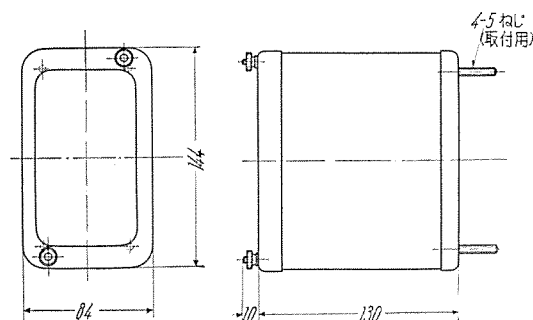
警報箱は、ブザー、ランプおよび押ボタンを装入したもので 7 図はその外形を示している。

以上、過速度継電器装置の各器具について、簡単に説明を加えたが、これらの器具間の接続は 8 図に示している。さてつぎにこの接続回路を簡単に説明すると、車両走行速度が上昇すれば誘導子型回転計発電機の発生電圧が増加し、D-4 型速度継電器の可動線輪が回転するがある走行速度以上になるとこの D-4 型速度継電器の接点が閉成されて、補助継電器のテレフォンリレーが付勢される。このテレフォンリレーは付勢されると自己保持されて、警報ランプおよび警報ブザーの回路がはいから運転室および車掌室にとりつけた警報箱の警報ランプがともり、また、警報ブザーが鳴る。この警報により運転手は車両走行速度がある規定の速度をこえたことを知ることができる。また、この警報ランプおよびブザー回路は押ボタンを押すことによるのみ開路される。したがって、運転手がこの警報により車両走行速度を下げて、押ボタンを押す、警報回路を切っても、車両がまだ規定走行速度以上の速度を出していれば直ちに再び警報が発せられるから、さらに車両走行速度を下げて過速度運転による危険を防止することができる。この警報速度は D-4 型速度継電器の固定接点の位置をレバーにより目盛板上に示された任意の速度位置に動かすことにより任意に変更することができる。山陽電鉄向のものは車両速度 80~120 km/h の範囲内の任意の速度に警報速度が調整できるようにになっている。

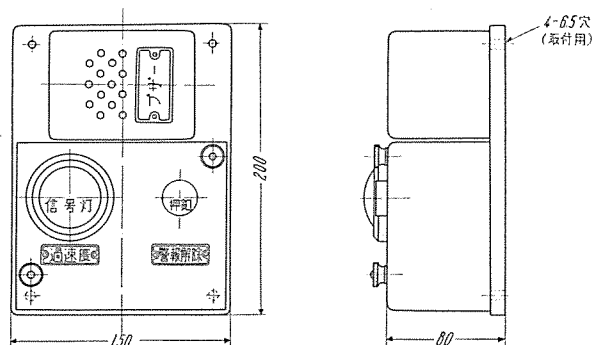
さてこの装置は車両内部にとりつけられるのであるから車両走行時に発生する振動により誤動作しないようにしておかなければならない。とくに D-4 型速度継電器はその構造上振動の影響を受け易いので、制動を十分大



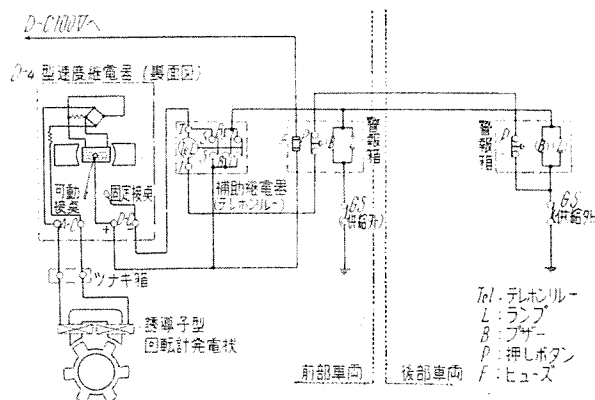
5 図 D-4 型速度継電器外形図  
Fig. 5. Outline of type D-4 speed relay.



6 図 補助継電器外形図  
Fig. 6. Outline of auxiliary relay.

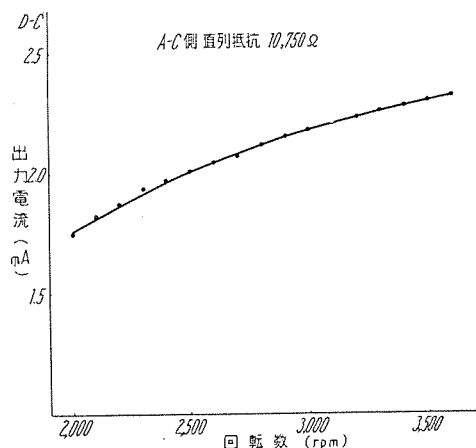


7 図 警報箱外形図  
Fig. 7. Outline of alarming box.



8 図 過速度継電器装置接続図  
Fig. 8. Connection diagram of over speed  
relaying system.

きくして車両走行時の振動による誤動作を防止するように設計した。すなわち、抗磁力の大きな永久磁石を用い、可動線輪をやや過制動とした可動線輪の軸受も制動ばねを入れて耐振型に設計してある。



9 図 誘導子型回転計発電機の回転数  
対出力電流特性

Fig. 9. R.P.M.-output current characteristics of  
inductor type tachometer generator.

本装置の誘導子型回転計発電機の回転数対出力電流特性は9図に示すごとくであり、警報速度調整用目盛板の目盛りは大体均一になっている。

さて、以上のように設計製作したのであるが、実際に車両走行時に発生する振動がいかほどのものであるかを実測し、その振動に対して本装置が誤動作しないかということを試験してみる必要がある。

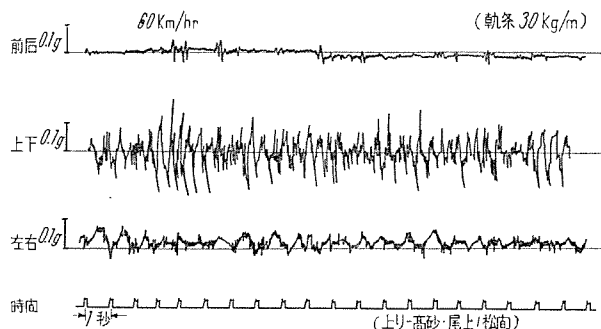
### 3. 車両走行時の振動実測

上述の過速度継電器装置をとりつける車両が走行時にいかなる振動を発生するか、昭和31年8月13日山陽電鉄2000号車運転台中央床面における走行時の振動を山陽電鉄に実測していただいた。振動測定器には梅北式振動記録計が使用され、その記録の一部が10～13図である。ただし、10, 11図は上り線路、12, 13図は下り線路において発生する車両の振動の一例である。なお2000号車は2001号車と常時連結運転されるので、この記録は両車両連結した場合の記録である。

さて、この振動測定記録の中から任意の数箇所をピックアップし、その振動数、振動加速度の全振幅、車両速度および線路状態を表にまとめたものが1～4表である。すなわち、1および2表は上り線路および下り線路における車両走行時の上下方向の振動であり、3および4表はそれぞれ上り線路および下り線路における左右方向の振動である。前後方向にはほとんど振動がないと考えて差支えない。この表から車両走行時に発生する振動の加速度全振幅は上下方向に0.4g、左右方向には0.2g位であることがわかる。ただし、ここでは振動測定記録中に表われているビビリ振動は考慮に入れていない。

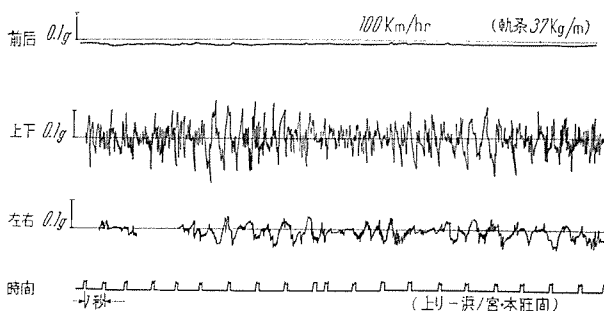
### 4. 車両振動の解析

上記の振動測定記録の振動加速度の波形を数式で表わすと非常に複雑になるから、振動加速度の波形を基本波のみについて解析することにし



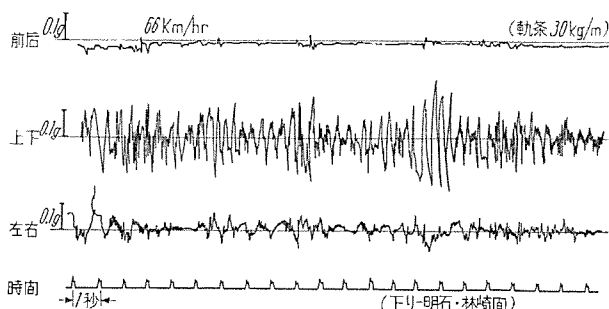
10 図 車両走行時振動測定記録

Fig. 10. Vibration measurement records of electric  
cars in running state.



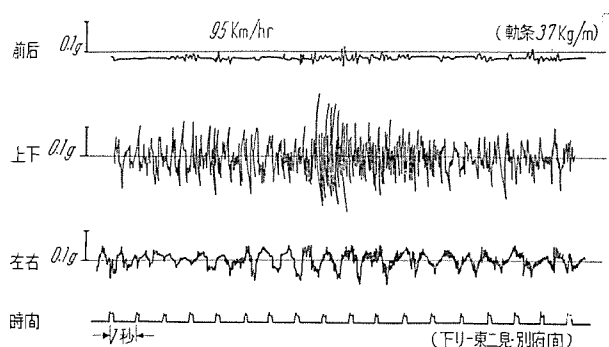
11 図 車両走行時振動測定記録

Fig. 11. Vibration measurement records of electric  
cars in running state.



12 図 車両走行時振動測定記録

Fig. 12. Vibration measurement records of electric  
cars in running state.



13 図 車両走行時振動測定記録

Fig. 13. Vibration measurement records of electric  
cars in running state.

$$g = \frac{d^2 x}{dt^2} = A \omega^2 \cos \omega t \dots \dots \dots (1)$$

ただし  $g$  = 振動の加速度

$\omega$  = 振動の周期

で表わすことにする。

いま、振動加速度の最大値  $Aw^2$  を  $g=9,800 \text{ mm/sec}^2$  の倍数として表わすと、

$$\text{振動加速度} = Aw^2 = 2A \times \frac{(2\pi f)^2}{2} \times \frac{1}{9,800} \\ \doteq 0.002 \times (\text{振動数 c/s})^2$$

1 表 上下振動（上り線路）

区 間	振動数 (c/s)	振動加 速度の 全振幅 (g)	軌条重量 (kg/m)	車 両 速 度 (km/h)	曲 線 半 径 (m)	備 考
高砂-尾上	3	0.312	30	60	—	
浜ノ宮-本荘	2.25	0.244	37	90	1,200	
	2	0.312	37	100	—	
	2	0.238	37	100	1,200	
	2	0.25	37	96	—	
西江井ヶ島 付近	2.5	0.262	30	65	—	
	2	0.294	30	60	—	
藤江付近	2.5	0.375	30	65	—	
西新町-明石	2	0.312	30	53	400	

2 表 上下振動（下り線路）

区 間	振動数 (c/s)	振動加 速度の 全振幅 (g)	軌条重量 (kg/m)	車 両 速 度 (km/h)	曲 線 半 径 (m)	備 考
明石-林崎	2.5	0.338	30	54	400	
	3.25	0.375	30	66	—	
藤江- 西江井ヶ島	2.25	0.306	30	60	—	
	2.25	0.356	37	75	—	
	2.25	0.312	37	70	1,200	
	2.25	0.3	30	64	—	
東二見-別府	2.5	0.325	30	20	—	ポイントあり
	2.0	0.3	37	70	1,200	
	3.0	0.3	37	75	—	
	2.5	0.344	37	75	—	
	7	0.369	37	95	—	
浜ノ宮付近	2.25	0.388	30	80	400	

3 表 車両の左右振動（上り線路）

区 間	振動数 (c/s)	振動加 速度の 全振幅 (g)	軌条重量 (kg/m)	車 両 速 度 (km/h)	曲 線 半 径 (m)	備 考
高砂-尾上	1	0.112	30	60	—	
浜ノ宮-本荘	1	0.138	37	100	1,200	
	1	0.15	37	100	1,200	
西江井ヶ島 付近	1.5	0.112	30	60	—	
	1	0.1	30	63	—	
藤江付近	1	0.1	30	不明	—	
	1.25	0.0875	30	—	—	
	1.25	0.0875	30	—	—	
	1.25	0.0875	30	—	—	
西新町-明石	1	0.094	30	—	—	
	1.5	0.15	30	50	—	
舞子-明石	1	0.112	30	30	—	

4 表 車両の左右振動（下り線路）

区 間	振動数 (c/s)	振動加 速度の 全振幅 (g)	軌条重量 (kg/m)	車 両 速 度 (km/h)	曲 線 半 径 (m)	備 考
明石-林崎	1	0.219	30	66	—	
藤江- 西江井ヶ島	1.25	0.156	30	65	—	
	1.5	0.15	30	65	—	
	1	0.125	37	80	—	
東二見-別府	1	0.106	37	80	—	
	1.25	0.137	37	85	—	
	0.5	0.1	37	100	1,200	

$$\times (\text{複振幅 mm}) \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{ゆえに 複振幅} = 500 \times \frac{\text{加速度}}{(\text{振動数})^2} \dots \dots \dots (3)$$

となる。以下、この式を用いて解析した。

なお、この文中で振動加速度の波形の全振幅を振動加速度全振幅と呼ぶことにする。

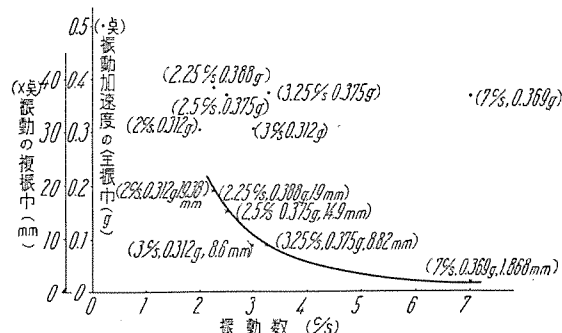
## ア. 上下振動

前述の車両走行時の上下方向の振動測定記録から各振動数に対する最大振動加速度の全振幅を図にプロットしたものが 14 図の・点である。ただし、( ) 内に記入した数字は振動数、および振動加速度の全振幅である。これを実際に生じている振動に換算すると、各振動数に対する振動の複振幅は×点で示したような値となる。ただし、( ) 内に記入した数字は振動数、振動加速度の全振幅および振動の複振幅である。この×点を結んだ曲線が実際の車両上下方向の最大振動曲線である。

## イ. 左右振動

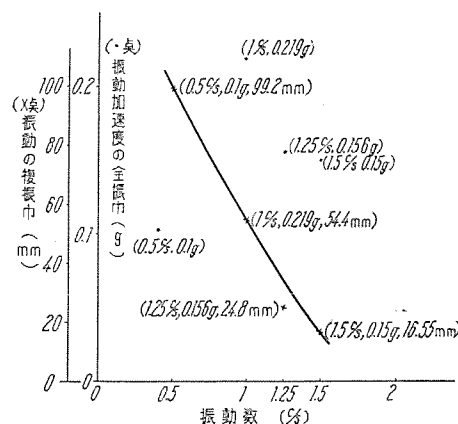
上下振動の場合と同様に、左右方向の振動測定記録から各振動数に対する最大振動加速度の全振幅を図にプロットしたものが 15 図の・点で示されるが、これを実際に生じている振動に換算すると各振動数に対する振動の複振幅は×点で示したような値となる。この×点を結んだ曲線が実際の車両左右方向の最大振動曲線である。

しかるに使用した振動発生機では振幅 0.2~5 mm、振動数 3~30 サイクルの振動しか発生できないので、上で



14 図 車両の上下振動曲線

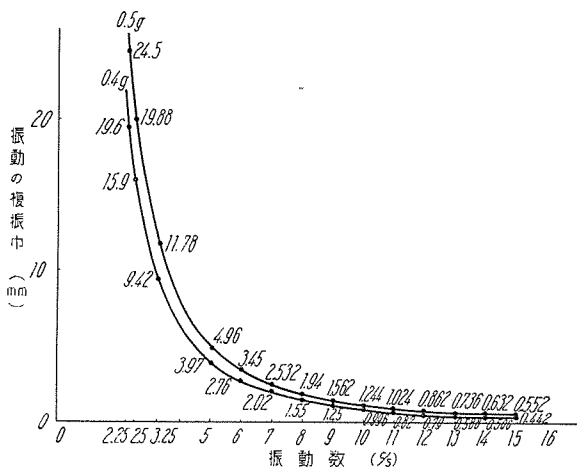
Fig. 14. Vertical vibration of cars.



15 図 車両の左右振動曲線

Fig. 15. Horizontal vibration of cars.





16 図 車両の上下振動曲線  
Fig. 16. Vertical vibration of cars.

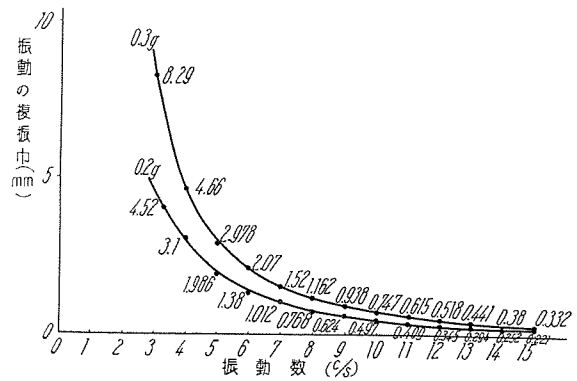
得た振動曲線を振動発生機にかかるように等価的に換算しなければならない。また、D-4 型速度継電器およびテレフォンリレーの振動試験を行うにあたって、実際に発生する振動の加速度以上の振動加速度で試験をしておく必要がある。そこで上下振動の振動加速度の全振幅を 0.5 g、左右方向の振動加速度の全振幅を 0.3 g として振動試験を行うこととし、上述の振動曲線を振動試験機にかかるよう等価的に換算したものが 16 図および 17 図である。上下方向には 16 図の 0.5 g の、また左右、前後方向には 17 図の 0.3 g の振動曲線上の任意の数点の振動数および振幅の振動を振動試験機にて発生させ、振動台にのせた D-4 型速度継電器が誤動作しないかを試験してみることにした。

## 5. 振動試験結果

D-4 型速度継電器および補助継電器を 8 図のように接続して振動試験機にとりつけ、上下、前後、左右各方向に振動加速度全振幅 0.5 g の振動を発生させて継電器接点の動作状態を調べた。ただし、本振動試験には回転計発電機の代りに交流 60 c/s の電源を使用した。左右、前後方向には 0.5 g の振動試験をしなくても前述のように 0.3 g 位で良いと思われるが、試験の都合上 0.5 g で全部行った。この 0.5 g の振動試験は 28 図の 0.5 g の曲線上の 3 点、すなわち振動振幅、振動周波数がそれぞれ 6 mm、4.6 c/s；2.5 mm、7 c/s；1 mm、11 c/s の 3 種の振動を発生させ、レバー位置（固定接点位置）2,000、2,500、3,000、3,600 rpm における継電器の作動電流を測定した。その結果は 5 表のごとくであった。この振動試験の結果を見ると継電器の動作は上下および前後方向の 0.5 g の振動に対してはぜんぜん影響がなく、ただ左右方向のみ動作電流がわずかに変化した。0.3 g の振動ではほとんど影響がないものと思われる。

## 6. む す び

以上、新しく製作した車両用過速度継電器装置の構造、



17 図 車両の左右振動曲線  
Fig. 17. Horizontal vibration of cars.

5 表 振動試験結果

### 1. 上下方向

レバー位置 (rpm)	動作電流 (mA)			
	無振 動時	振動振幅 6 mm 振動周波数 4.6 c/s	振動振幅 2.5 mm 振動周波数 7 c/s	振動振幅 1 mm 振動周波数 11 c/s
2,000	1.8	1.8	1.8	1.8
2,500	2.0	2.0	2.0	2.0
3,000	2.15	2.15	2.15	2.15
3,600	2.35	2.35	2.35	2.35

### 2. 右左方向

レバー位置 (rpm)	動作電流 (mA)			
	無振 動時	振動振幅 6 mm 振動周波数 4.6 c/s	振動振幅 2.5 mm 振動周波数 7 c/s	振動振幅 1 mm 振動周波数 11 c/s
2,000	1.8	1.8	1.8	1.79
2,500	2.0	1.95	1.98	1.98
3,000	2.15	2.1	2.15	2.15
3,600	2.35	2.32	2.32	2.33

### 3. 前後方向

レバー位置 (rpm)	動作電流 (mA)			
	無振 動時	振動振幅 6 mm 振動周波数 4.6 c/s	振動振幅 2.5 mm 振動周波数 7 c/s	振動振幅 1 mm 振動周波数 11 c/s
2,000	1.8	1.8	1.8	1.8
2,500	2.0	2.0	2.0	2.0
3,000	2.15	2.15	2.15	2.15
3,600	2.35	2.35	2.35	2.35

動作および振動試験結果について記述したが、この装置は近來ますます高速になりつつある電気車両の過速度運転による危険防止に寄与するところ大であると思う。なお、山陽電鉄に納入した本装置は現在好成績で使用されている。

最後に本装置をとりつける車両の走行時に発生する振動を測定して下さった山陽電鉄関係者各位に厚く感謝の意を表する。



グリースは金属石鹸の繊維が組合わさっていて、この間に毛細管現象で油を保持し、潤滑の際にはこの油がしみ出てきて軸受に薄い油膜を形成するといわれている。そして金属石鹸繊維の大きさは肉眼で見うるものから、電子顕微鏡的な大きさのものまであり最小のものは、長さ  $0.02\mu$ 、直径  $0.007\mu$  程度のものであって、このように繊維の大きさが、グリースによって異なることが、結合油および安定添加剤の特性とあわせて、グリースの特性に変化を与えていると考えられる。

### 3. グリースに必要な特性とその試験

近年電動機の応用はいちぢるしく拡大され、気候的にみれば熱帯地方から寒帯地方にまで及び、あるいは高湿度の雰囲気、塵埃の激しい場所に用いられる。また電動機自身高速度の回転をする。このような条件の下で電動機軸受は支障なくその機能を果さなければならない。グリースはこれら軸受を保護し、しかも有効にトルクを伝達しなければならない。電動機玉軸受用グリースとしてはこれらの理由から、つぎの諸特性が必要とされる

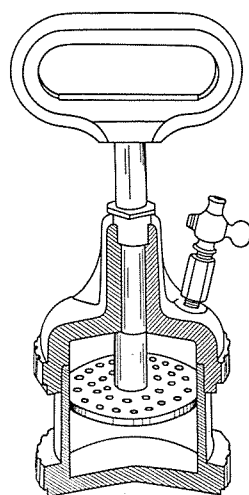
- a. 機械的安定性
- b. 熱的安定性
- c. 耐酸化性
- d. 潤滑性能
- e. 耐圧性
- f. 耐水性
- g. 防錆性
- h. その他

これら諸特性の説明と、その試験方法、試験結果について、数種のグリース、(とくにリチウム系グリースを中心として)を対象としてつぎに述べる。

#### ア. 機械的安定性

軸受内に充填されたグリースは、軸受の回転により、軸受内におしつけられ、球の回転によって混和され、その結果強い機械的剪断力を受ける。その結果軸受内のグリースは金属石鹸の繊維が回転方向に並び、はなはだしいときは流動性を呈する。この機械的剪断力にたいして抵抗し繊維の状態を、元のままに保とうとする性質を機械的安定性または構造的安定性と称している。この安定性がとぼしい場合は、グリースは長時間にわたる軸受の回転によって、流動性を呈し、軸受内より流出し、ついに潤滑剤としての機能を果すことができなくなる。

このような軟化は、グリースを構成する石鹸繊維の長さと直径の比が関係しているといわれている。金属石鹸繊維の長さを  $L$ 、直径を  $D$  とすれば、 $L/D$  が大なるほどグリースは固くなる。すなわち繊維は機械的剪断力によって、解きほぐされ、平行に並び、さらには切断されてしまうことが最近の研究により判明している。しかしながら金属石鹸の種類によっては剪断抵抗性が比較的強く、また一時軟化現象を示しても、一定時間放置すれば元の稠度に複元する性質、すなわち複元性を有している



1 図 グリース混和器  
Fig. 1. Motor-matic grease worker.

ものもある。

電動機用グリースとしては、比較的高速回転を受けるところから、機械的安定性の良好なものほど望ましいわけでの特性の試験方法としてつぎの2つがあげられる。

#### (1) ASTM D<sup>942-50</sup> グリース混和器

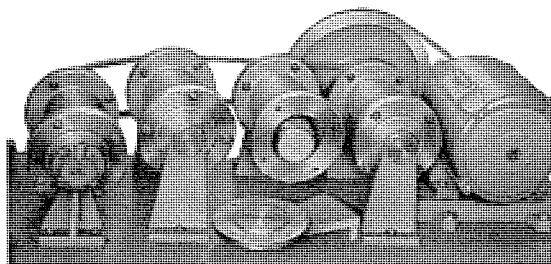
この試験方法は1図に掲げた装置の、グリース・カップ中にサンプルを入れ、1/4" または 1/16" の小穴を多数あけた円板を上下に往復させ、グリースを圧縮し、小穴を通過させることにより、剪断力を与えて稠度変化を稠度計により測定することにより、機械的安定性を観察する。最初60回往復の稠度を測定し、ついで50,000回または100,000回往復後の稠度を測定、これにより安定性を判定する。普通本試験機による判定基準としてはつぎのとおりである。

変化率	$\frac{100,000 \text{ 回後の稠度} - 60 \text{ 回後の稠度}}{60 \text{ 回後の稠度}} \times 100 = \%$	
変化率	5 % 以下	優秀
	5.1 % 以上～15 %	良
	15.1 % 以上～30 %	可
	30.1 % 以上	不可

#### (2) シェルロール試験

2図はその装置の外観を示す。図のような回転シリンダ内にグリースの試料を一定量充填し、ロール形の錘を入れて回転すれば、グリースはシリンダの内壁とロール外周面により圧力を受けて練られる。この方法は(1)の方法に比べ、機構が実用状態に類似している。グリース試料は回転時間の経過に対して稠度変化を測定する。

稠度測定には3図のような、微小稠度計とサンプルカップを用いた。この微小稠度計によれば、稠度測定用グリースサンプルは従来の稠度計に比べきわめて小量で十分である。微小稠度計による稠度は、従来の ASTM 稠度との換算係数をあらかじめ求めておいて換算する必要



2 図 シェルロール試験機  
Fig. 2. Shell roll test machine.

がある。

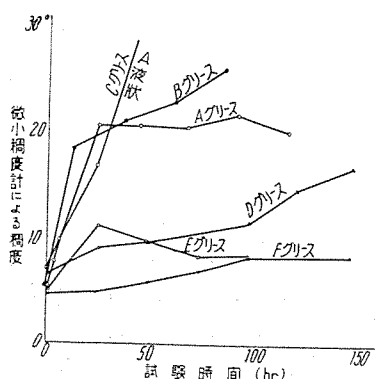
シェルロール試験の結果を4図に示す。ここに紹介するグリースはつぎの種類である。

- A グリース (国産 Na 系)
- B グリース (米国製 Na 系)
- C グリース (国産 Li 系)
- D グリース (米国製 Li 系)
- E グリース (米国製 Si-Li 系)
- F グリース (米国製 Li 系)

4図のように、グリースには3つの形があるように見受けられる。すなわち約50時間程度で液状を呈する形と、100時間以上の攪拌を受けても、ほとんど変化しない形と、その中間に位するものである。これらはさきに述べたようにグリースの金

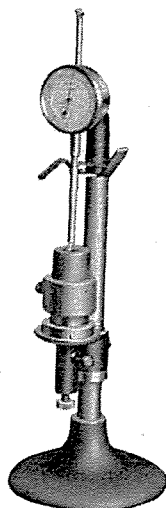
属石鹸の種類によるもので、同じNa系のA・B両グリースは稠度変化もほぼ同様の傾向を示している。また同じLi系でありながら、C・D・E・Fグリースの間で性質が異なるのは、添加剤および鉱油の影響も、もちろんあるが主としてリチウム石鹸そのものの相違によると考えられる。すなわち5図に示したように、リチウム石鹸がそれぞれ、リチウム・ハイドロオキサステアレート、リチウム・オレート、リチウム・ステアレートと異なるにつれて機械的安定性に相当の差があることがわかる。

この安定性は密封型玉軸受にグリースが充填されて使用されたときの、軸受からのグリースの洩れに影響する。参考のために、これらグリースを6305型密封型玉軸受に4g充填し、無負荷、雰囲気温度80°C、1,800rpmで回転した際の、軸受からのグリースの洩れ量を6図に示す。充填されたグリースは、回転とともにボール、またはリテナにより押出され、また回転による遠心力により軸受の外輪の端面の方へ押出され、回転の初期にはこの状態が続き、流出すべきものは流出してしまうので、グ



4図 シェルロール試験による稠度変化

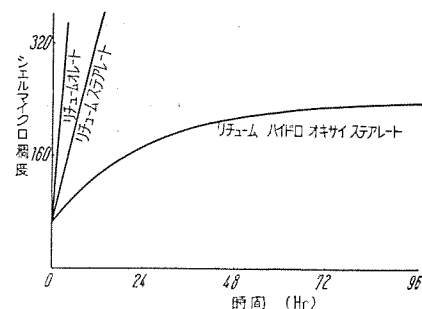
Fig. 4. Consistency on examination of shell roll test.



3図 微小稠度計  
Fig. 3. Micro penetrometer.

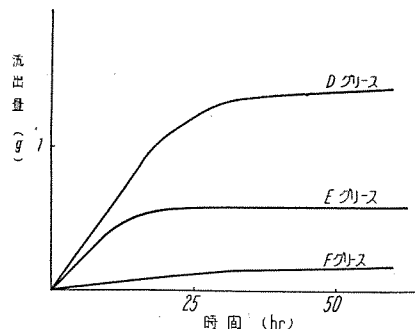
5図 各種リチウム石鹸グリースのシェルロール試験結果

Fig. 5. Shell roll test at room temperature.



6図 グリース洩れ量  
充填グリース量(4g)  
温度 80°C  
荷重 無荷重

Fig. 6. Grease leak test.



リースの洩れ量が多い。しかしながらある程度時間が経過すると洩れ量は次第に少くなり、だいたい70時間程度で飽和し以後は安定な回転状態を持続する。D・E・Fの各グリースについて洩れ量を比較すると、これらの中でシェルロール試験において稠度変化の大きいグリースほど洩れ量の大きいことが判明する。

もちろんグリースの軸受からの洩れは密封の型式により異なり、充填量によっても異なるが、同一条件下においては機械的安定性が良好なほど、グリースの残留性が良く、それだけ潤滑に供せられる量が多くなり、密封型玉軸受の寿命を伸ばすと考えられる。また当然軸受からのグリースの洩れは避けられず、このことから軸受にたいするグリースの経済的充填量というものがあるわけである。

#### 1. 熱的安定性

グリースはその構造により使用温度に制限がある。ベアリングメーカーのカatalogに記載されているグリース選定指針を1表にあげる。また各種グリースの最高使用温度を2表にあげる。これらの各表でも知られるように、カルシウム石鹸基のグリースは使用温度は70°C程度であって各種グリース中もっとも低い。これはカルシウム石鹸基グリースの製造には、石鹸と油の安定剤として水が使用されているので、高温では脱水が促進され、石鹸と油が分離し使用に堪えなくなる。その他のナトリウム、バリウム、リチウム、石鹸基グリースでは石鹸の相転移すなわち構造変化により使用温度が制限される。

グリースを加熱すれば稠度変化が起り、冷却すれば元にもどるが、この加熱冷却が繰返えされると、グリースは軟化し元にもどらなくなる。さらに石鹸繊維内に含まれている鉱油が加熱放冷の結果押出され、油と石鹸が分離し離しょう(Bleeding)が起きる。グリースの熱的安定性は温度にたいするグリースの稠度変化を調べるこ



1 表 グリース選択指針

軸受温度 (°C)	d・n	乾燥場所	水湿気のある場所
0~40	80,000 まで	310   ファイバーグ 250   リース 250   カップグリー ス	310   カップグリー 250   ス
	80,000 以上	250   190   ヌ	250   190   ヌ
40~80	80,000 まで	250   ファイバーグ 190   リース	—
	80,000 以上	190   ヌ	—
80 以上、0 以下	—	特殊グリース シリコングリース	—

2 表 グリース最高使用温度

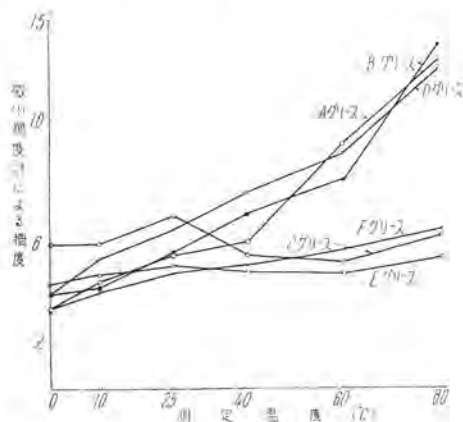
石 鹼 基	最高使用温度 (°C)	使えなくなる理由
水和石灰石鹼	60 ~ 80	石鹼の脱水
水和ソーダ石鹼	70 ~ 100	〃
アルミニウム石鹼	80 ~ 100	石鹼の相転移
水酸基物質を入れて安定化 した石灰石鹼	90 ~ 120	〃
バリウム石鹼と醋酸バリウ ム	110 ~ 120	〃
無水ソーダ石鹼	120 ~ 160	石鹼の相転移、油の揮発 酸化
石灰石鹼と醋酸石灰	120 ~ 150	〃
特殊バリウムとストロンチ ウム石鹼	140 ~ 170	〃
リチウム石鹼	130 ~ 160	〃

により良否を判定することができる。7 図に温度にたいする稠度変化の結果を示す。稠度測定は微小稠度計により行った。これらのグリース中では E グリースが熱的安定性にすぐれている。軸受運転中は、玉の攪拌と、温度上昇により、グリースの漏洩はますます大きくなるであろう。しかし軸受からの洩れにたいしては、熱的安定性は、機械的安定性に比較して 2 次的に影響すると考えられる。

#### ウ、耐酸化性

運転している軸受内のグリースは次第に汚れてくる。そして軸受の摩耗粉、塵埃、水分および熱などにより、汚れはますます激しくなり、この結果種々の化学反応が促進されて、グリースは老化し、潤滑機能を失うに至る。

とくに高温ではグリースの酸化が促進される。グリースの酸化は主として鉱油の酸化であって、空気中の酸素と反応して過酸化物を生じ、これが有機酸となり、また金属石鹼は摩耗粉、塵埃、または水分などと作用して分



7 図 温度による稠度変化  
Fig. 7. Thermal stability.

解して、グリースの変質をきたす。軸受に充填されて使用されたグリースはこれらの反応により変質し、変色し、異臭を帯びている。ときには軸受を腐食しているものもあるがこれらはすべて上記の反応の結果である。現在ではこれらの酸化反応を防止するために酸化防止剤として、アミン、フェノール、アルキルセレナイド、フォスファイトなどが用いられている。また鉱油の代りにさきに述べた、シリコン油、ジエステル油などの合成油を用いて酸化防止をはかっているものもある。

グリースの耐酸化性を測定する方法としては ASTM-D-942 による方法がある。これはグリースの酸素の吸収性により判定するものである。または玉軸受中に極微量のグリースを充填し高速で回転し、摩擦トルクが急激に増大するまでの時間の長短によって耐酸化性を判定するのである。グリースは最初起動時は摩擦トルクが大きい、やがてトルクは減小し、しばらく摩擦トルクは変化することがないが、グリースの酸化の進行により摩擦トルクは急激に増大する。耐酸化性良好なグリースほど摩擦トルクが増大するまでの時間が長いといえる。

#### エ、潤滑性能

潤滑剤としてのグリースはすでに述べてきた諸特性のほかに、潤滑性能の良いたが必要である。電動機の損失の 1 つとして機械的損失があるが、その要素として軸受の摩擦損失がある。摩擦損失の大小は軸受の温度上昇にも影響し、グリースの劣化、軸受の焼付にまで影響する。グリースの潤滑性能には主として鉱油の潤滑性能が影響しているといわれる。

一般にグリースの摩擦損失を測定するには、実際に電動機に組立て、その無負荷損失を測定する方法もあるが、ここでは機械的試験として曾田式振子式油性試験機と 4 球式試験機によって得た結果を述べる。

##### (1) 曾田式振子試験機による境界摩擦係数の測定

一般に軸受内の潤滑機構は境界潤滑が起っていると考えられている。境界潤滑においてはきわめて薄い油膜によった固体面間の摩擦がなされていて、このため軸受には摩耗を生ずる。完全潤滑が行われているならばこの摩耗現象は起らないはずである。曾田式振子試験機は境界層を現出してその摩擦係数を振子の減衰性により測定するもので試験条件はつぎのとおりである。

横軸上重錐	80 g × 34 cm
縦軸上重錐	40 g × 10 cm
接触圧力	74 kg/mm <sup>2</sup>
初期振幅	0.7 rad
温度	室温

##### (2) 曾田式 4 球試験機による摩擦力の測定

つぎに述べる油膜強度測定の際の、トーションバの振れ角により摩擦力を求めたもので 8 図にこの結果を示す。接触圧力に対する摩擦力を示してあって、E グリースのように特性曲線の勾配の大きいものほど摩擦係数が大きいといえる。これに反して、A・B・C・D・F の各グリース

3 表 グリース試験成績

グリース	境界摩擦係数	油膜強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	摩 耗 量 (mm)
A	0.144	7.0	0.89
B	0.16	7.0	0.59
C	0.14	9.5	0.92
D	0.14	6.5	0.59
E	0.16	4.5	2.29
F	0.17	6.5	0.89

は、ほぼ同じような摩擦特性をもっていると考えられる。

### オ. 耐 圧 性

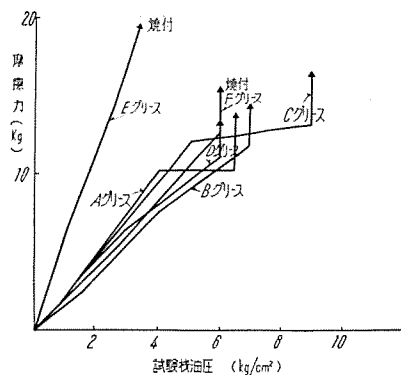
グリースには負荷能力が必要である。軸受部には当然荷重がかかり、玉軸受においては、とくに玉と転走面の接触面積が小さいために接触圧力はきわめて大きくなる。比較的軽荷重といわれる電動機でも接触圧力が 20,000 kg/cm<sup>2</sup> 前後に達することがあり、かかる高圧力の下でも、グリースの油膜が破断しないことが必要である。油膜が破断するようなことがあれば、金属間接触を起し、軸受温度は急激に上昇し、ひいては軸受の焼付を招くに至る。実際には軸受部の油膜はさきに述べたように、きわめて薄い吸着層であるが、これが存在すると否とでは摩擦ははなはだしく異なる。最近では耐圧性を増すために極圧添加剤などを加えているものもある。

耐圧性の試験機としては、古くからアルメン、チムケンなどの試験機があるが、最近では、シェル4球式、曾田4球式の試験機がある。

曾田式試験機では、下部固定3球と上部回転球の間にグリースをはさみ、油圧により圧力を加え焼付に至るときの圧力を測定する。試験結果を3表に示す。

試験条件	縦軸回転数	200 rpm
	鋼球直径	3/4 in
	滑り速度	11.4 cm/sec
	負荷速度	0.5 kg/cm <sup>2</sup> /min
	温 度	室 温

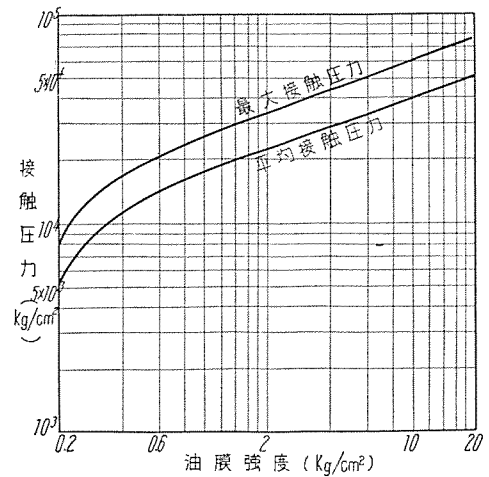
2 表の結果は試験機油圧で表わしてあるので、接触圧力をヘルツの弾性理論により求め9図に示す。実際の電動機に使用される玉軸受において、玉と転走面の間に生



8 図 摩 擦 力 線 図

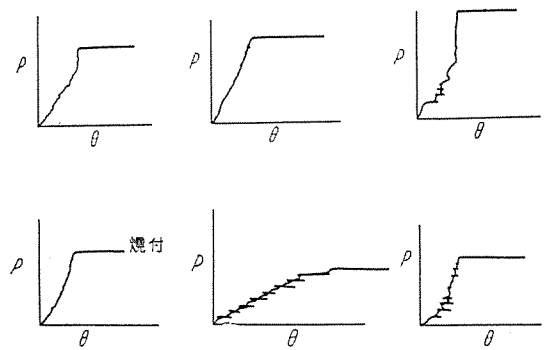
Fig. 8. Graphical representation of frictional force.

電動機軸受用グリースの試験と選別法・伊藤・今井・金山



9 図 油膜強度(試験機油圧)と接触圧力

Fig. 9. Herz contact pressure.



10 図 4 球式試験機記録線

左から A・B・C・D・E・F 各グリース

Fig. 10. Examination of four ball test.

ずる接触圧力も、ストリベックの負荷理論と、ヘルツ弾性理論により推定することができる。電動機用グリースとしては、軸受の取付状態、軸受の精度、運転状況などを考慮しても少くも 5kg/cm<sup>2</sup> 以上の耐圧性が望まれる。

耐圧性と同時に4球式試験機での試験で摩擦力の変動の少いこと、すなわち、粘着-こり (Stick-Slip) のないことが必要である。これは油膜の破断を意味し、10図においてとくにEグリースはこれがはなはだしく、軸受の金属間接触を招き、軸受の摩耗、摩擦損失の増大を来し、好ましくない。Bグリースのような特性がもっとも良好である。

### カ. 摩 耗

軸受の摩耗は機械の寿命を決定する。玉軸受においては遊隙が増加し、振動、騒音の原因となる。また摩耗粉はグリースの劣化を促進する一要因である。4球式試験機で、各種グリースの場合の下部固定3球の摩耗痕直径の平均を求め3表に示す。Eグリースはもっとも摩耗痕大きく、摩擦力、耐圧性、摩耗量などの結果からみて、境界潤滑に適さないことが推察される。

試験条件	縦軸回転数	200 rpm
	試験機油圧	2 kg/cm <sup>2</sup>
	試験時間	20 分



4 表 耐水性試験成績

グリース	気温 20° C 水中	30° C 温水中
A	溶解す	6.5 分溶解認め
B	〃	7 分 〃
C	変化なし	変化なし
D	〃	〃
E	〃	〃
F	〃	〃

温 度 室 温

## キ. 耐 水 性

軸受内のグリースは普通水が凝縮するとか、あるいはシールから浸入するとかで被害を受けるものである。耐水性は普通グリースが水をかぶっても性質を変えないという意味を表わしている。水のためにグリースが洗い流されたり、溶けて変質したりすると被害は大きい。グリースの耐水性はその金属石鹼によって左右される。たとえば Na 石鹼は水溶性であるために、容易に水に溶ける。これに反してカルシューム、バリウム、リチウム石鹼基のグリースは耐水性が良い。耐水性の試験は一定量のグリースを水中または温水中に投入して、その溶解度を観察する方法を用いた。試験状況および結果をそれぞれ 11 図、4 表に示す。

## ク. 防 錆 性

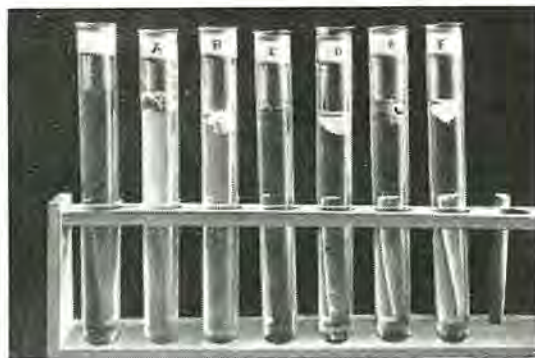
グリースは潤滑機能を果すばかりでなく、軸受を保護するために防錆の機能も果さねばならない。他の特性がいかにすぐれていても防錆性がなくては、実際に使用することはきわめて危険である。軸受の破損は焼付によるほかに使用中あるいは保管中水分のために軸受に錆を発生したことによる場合がある。とくにシリコン油などは吸着性がなく防錆性が劣り、防錆添加剤を加えなければならない。

## ケ. そ の 他

グリースはまたゴミの混入があってはならない。ゴミは大部分 0.01 mm 程度の大きさを持っている。これに反して油膜はきわめて薄く、しかもシリカ系のゴミはショア硬度 80~90 におよび軸受の転走面を傷つけ、騒音、焼付の原因となる。またグリース製造ロット間で、品質の差異がないことなど、きわめて必要な条件である。

## 4. 総合考察

グリースを金属石鹼別に各種の特性について考慮し 5 表にあげる。他の金属石鹼基のグリースに比較して、リチウムグリースは、あらゆる特性上においてすぐれ、信頼性がきわめて高い。もちろんリチウムグリース中でも、脂肪酸の相違によって機械的安定性などに変化が



11 図 耐 水 性 試 験

30° C 温水 30 分後の状態 左より清水 ABCDEF 各グリース A, B グリースは溶解しはじめている。

Fig. 11. Water resistance test.

5 表 各種グリースの特性比較

石 鹼 基	カルシューム	ナトリウム	アルミニウム	バリウム	リチウム
滴 点 (° F)	170~200	350~375	190~200	350~400	350~400
粘 着 力	Fair	Good	Fair	Fair	Good
耐 水 性	Good	Fair	Good	Good	Excellent
使用中の分解性	Excessive	Slight	Fair	Slight	Slight
ポンプ能(0° F)	Poor	Poor	Fair	Poor	Excellent
機械的安定性	Fair	Fair	Poor	Poor	Excellent
熱的安定性	Poor	Good	Fair	Good	Good

あり、さきに述べたように、リチウムに水酸化ステアリンをベースとするものをもっともすぐれている。ここに紹介した7種のグリースではFグリースが電動機密封型玉軸受潤滑用としてもっとも適していることが、いままでに述べてきた各特性の試験結果により明らかである。

## 5. む す び

ここに各種のグリースについての比較検討を行い、電動機玉軸受潤滑に要求される諸特性について説明し、選定についての指針を明らかにした。しかしながら軸受に対する要求とともに潤滑技術の進歩は止まることがないから、われわれはさらに高度のものを目指して研究を進めるつもりである。

## 参 考 文 献

- (1) R.C. Robinson: Characteristics of greases as related to antifriction bearing application. Mechanical Eng. 72 (1950).
- (2) J.L. Fikellmann: Lubricating Grease. Practical Lubrication Vol. 1.
- (3) 曾田宗範: 潤滑剤の機械的試験法 機械学会誌 Vol. 54 No. 388.
- (4) ASTM (American Society for Testing Materials) D 942-50.

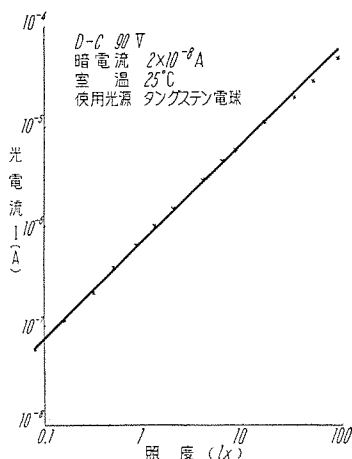




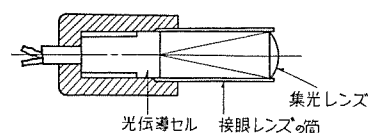
光電流は照度にほぼ比例している。また最少検出可能照度は約 0.01 lx であるが、レンズをつけたときは 0.001 lx は容易に検出できる。

ただ、このセルの分光波長感度の山が 520 m $\mu$  (緑) にあるので光源が変われば、この関係はやや異なってくる<sup>(2)</sup>。また、電源電圧の低下による感度の減少 (5 V の低下で約 5 % 減)、温度の変化による感度の変化 (室温付近で 10°C の増減で感度は約 5 % 減増) がある。

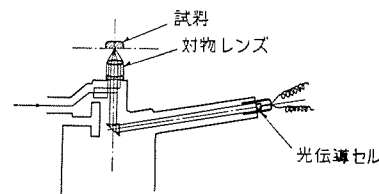
使用に要する時間はセルに光をあててから 0.01~1 lx の範囲では 30 秒、1 lx 以上では 15 秒間位で安定した指示を示す。また、この露出計の再現性については約 6 カ月の試用期間中、満足すべき結果が得られた。



2 図 CdS セル感度表 (レンズなし)  
Fig. 2. Sensitivity of cadmium sulphide cell.



4 図 受光部アタッチメント  
Fig. 4. Eye-piece attachment.



5 図 受光部アタッチメントの取り付け図  
Fig. 5. Fitting of eye-piece attachment.

### 3. 金属顕微鏡への応用

#### ア. 顕微鏡

顕微鏡は REICHERT 製 MeF 型金属顕微鏡で、その概略図を 3 図に示す。

この顕微鏡の写真撮影方法には乾板と 35 mm フィルムの 2 通りがあり、3 図はその乾板撮影の図である。35 mm フィルムの場合は撮影用アタッチメントを取り付けるが、露出計使用方法については乾板の場合と同様である。

#### イ. 受光部の取り付け方

5 倍の接眼レンズを利用して 4 図のように光伝導セルを納めたアタッチメントを作り、これを 3 図の接眼レンズを入れるところに装入して、光軸切換プリズムの移動により簡単に測光できるようにした。

集光レンズは、明視野のときはほとんど必要なく暗視野、偏光のときに利用するから普通は取りはずしておく。以下の実験も集光レンズははずした場合の結果である。

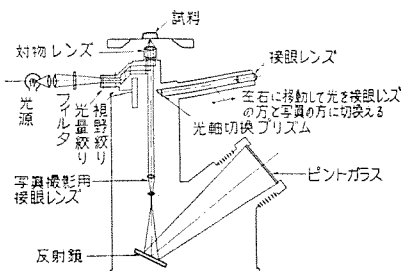
#### ウ. 露出時間決定の因子

露出時間は試料、光源、フィルタ、レンズ、倍率、感光材料などの因子により決定されるが、この露出計を使ったときに考えなければならないことを列記すると

- (1) 試料の光学的性質
- (2) 光源のスペクトル的性質

3 図 MeF 型金属顕微鏡

Fig. 3. MeF type microscope.



- (3) フィルタ
  - (4) 感光材料の分光感度、感度および現像条件
  - (5) 倍率
- となる。

#### (1) 試料の光学的性質

試料に色がついていると、セルの分光感度や、感光材料の分光感度との関係を考えなければならない。またピントを鮮鋭にするため色フィルタを使うが、これらの関係はフィルタおよび感光材料の項でのべる。

#### (2) 光源のスペクトル的性質

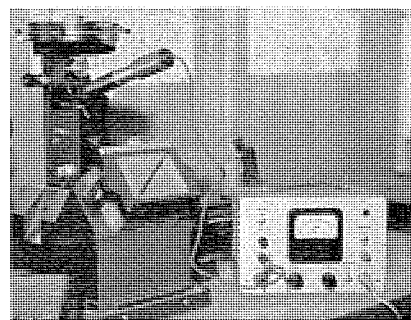
一般の顕微鏡の光源は電球または、炭素アークであるが、分光エネルギー分布が似ているので、とくに考慮しなくても露出時間にたいした誤りは生じない。

#### (3) フィルタと感光材料の分光感度

写真撮影のときに感光材料にはいる光はフィルタを通った光のうち感光材料が感ずるスペクトルの範囲のみである。これを図で表わすと 7 図のようになる。すなわ

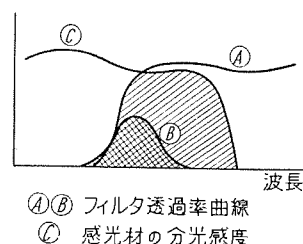
6 図 CdS 露出計と MeF 型顕微鏡

Fig. 6. Cadmium sulfide exposure meter and MeF type microscope.



7 図 フィルタ透過光の露光割合

Fig. 7. Exposure rate of light passing through filter.



ち、A, B フィルタ透過光の露光割合は、7 図で A, B フィルタの透過曲線と感光材料の分光感度曲線で囲まれた部分の比で表わされる。

また試料によりその反射光が分光特性曲線をもっていることも考えられ、この曲線を 7 図に加えて、これら 3 つの曲線で囲まれる部分が実際に感光に有効な光であるが、金属顕微鏡の場合は Al 合金、Cu 合金、鉄鋼について実験した結果、ほとんど考慮する必要のない程度であった。

#### (4) 感光材料の感光度

露出時間は感光材料の感度に反比例するから<sup>(3)</sup>、ASA あるいは NSG などの値を参考にすればよい。

#### (5) 倍率

フィルム面あるいは乾板面の露光量を直接測定するときは、倍率は考えないでよいが、3 図に示す本実験のような場合露出時間を決定するには倍率の平方が露出時間に比例することから計算で求める必要がある。すなわち、

総合倍率	$M$
対物レンズの単独倍率	$m$
接眼レンズの単独倍率	$n$
蛇腹の長さ	$l$ mm

とすれば

$$M = m \times n \times \frac{l}{250}$$

で示されるが、露出時間に影響する倍率は、本実験のように対物レンズを通過し接眼レンズに至る過程で光量を測定できる場合は、 $m$  に無関係であるから、 $m$  は一定と考えた場合の式

$$M' \propto \frac{n \times l}{250}$$

となる。

露出時間はある条件における適正露出がわかっている場合、他の条件は以下のように計算で求める。

露出時間を  $T$  秒とし、いま異なる 2 つの測定の場合を考え、各量を 1, 2 の付字により表わせば

$$\frac{T_2}{T_1} \propto \left( \frac{M'_2}{M'_1} \right)^2 \propto \left( \frac{\frac{n_2 \times l_2}{250}}{\frac{n_1 \times l_1}{250}} \right)^2 = \left( \frac{n_2 l_2}{n_1 l_1} \right)^2$$

対物レンズを出た光量を  $I$  とすれば、 $T$  は  $I$  に反比例するから

$$\frac{T_2}{T_1} \propto \left( \frac{n_2 l_2}{n_1 l_1} \right)^2 \times \frac{I_1}{I_2} \dots \dots \dots (1)$$

1 と 2 の測定の場合、変りうる量は前述のように光源、フィルタ、感光材料であるからこれらの係数をそれぞれ  $L, F, S$  とすると (1) 式は

$$\frac{T_2}{T_1} \propto \left( \frac{n_2 l_2}{n_1 l_1} \right)^2 \times \frac{I_1}{I_2} \times \frac{1}{L} \times F \times \frac{1}{S} \therefore T_2 \propto \frac{I_1 T_1}{n_1^2 l_1^2} \times \frac{n_2^2 l_2^2}{I_2} \times \frac{1}{L} \times F \times \frac{1}{S} \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式で  $\frac{I_1 T_1}{n_1^2 l_1^2}$  は多くの試料、倍率について実験し、もっとも適正な露出条件を求めて、定数を  $k$  とすれば

$$k = \frac{I_1 T_1}{n_1^2 l_1^2}$$

また (2) 式で、 $n_2^2 l_2^2$  は各倍率について定数であるから

$$k \times n_2^2 l_2^2 = K'$$

とすると

$$T_2 = \frac{K'}{I_2} \times \frac{1}{L} \times F \times \frac{1}{S} \dots \dots \dots (3)$$

となる。

普通は、光源、フィルタ、感光材料は一定の撮影が多いから (3) 式は

$$T_2 = \frac{K}{I_2}$$

で表わされ、 $T_2$  と  $I_2$  の表を作っておけば便利である。

## エ. 実 験

本来ならば乾板の面の露出量を直接測定して、それと露出時間の関係を見出せば、もっとも簡単で正確であるが、ピントガラス面上では光量不足の場合があり、集光レンズをつければ集光量はますが、光軸と直角にレンズ面を置かねばならず、したがって測光に際し方向性が問題となる。5 図で示したような装置が使用しやすい。

このため測定される露光量は平均値であるため、最明部と最暗部の差の極端な被写体には測定された値をそのまま利用することはできない。以下の実験結果は組織的に使用頻度のもっとも多い明部と暗部とがほぼ 50% ずつのもの（たとえば、0.3% 炭素鋼）を被写体として使った。

使用乾板および現像条件は

乾板……プロセス 硬調  $3\frac{1}{4} \times 4\frac{1}{4}$ "

現像条件 液温 18~20°C

現像液 メ ト ー ル 3g

無水亜硫酸ソーダ 45

ハイドロキノ 12

無水炭酸ソーダ 65

臭 素 カ リ 3

水 (全量が 1,000 cc になるように入れる)

現像時間 1~2 分

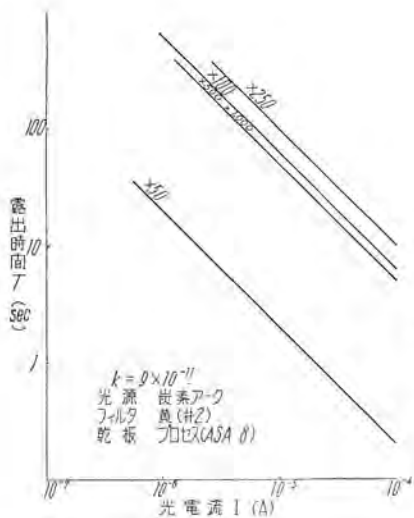
定着液 フジフィックス

## オ. 実験結果

以下の諸結果はプロセス乾板（非整色性）を使っているので、光源は炭素アーク（フランス、ローレン社製電極）、フィルタは黄を基準とした。

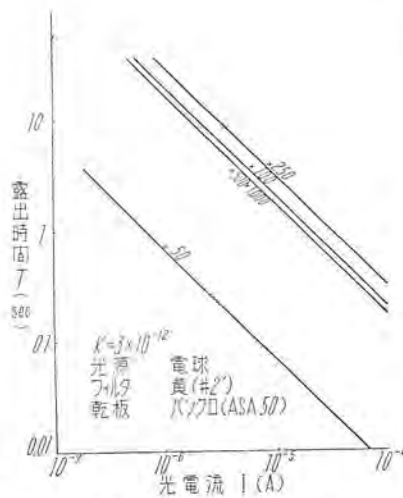
### (1) $k$ の決定

$k$  の値は乾板への適当な露光を示す数値であるから、実験的に求めた。ただし、この場合  $I$  の値は直接に光電流のよみ (A) を代入した。



8 図 光電流と露出時間図

Fig. 8. Relations between photo electric current and exposure time.



9 図 光電流と露出時間図

Fig. 9. Relations between photo electric current and exposure time.

実験データにて  $k$  の値はある程度のバラツキがあるが、 $8 \sim 10 \times 10^{-11}$  の範囲である。したがって  $k=9 \times 10^{-11}$  とする。

## (2) $K$ の決定

本顕微鏡の倍率表と  $K$  の計算値を 1 表に示す。

## (3) 光電流値による露出時間の決定

1 表 倍率表と  $K$  の値、炭素アーク光源、フィルタ黄、プロセス乾板

倍率	対物レンズ	接眼レンズ倍率 $n$	蛇腹長 $l$ (mm)	$n \times l$ (mm)	$(n \times l)^2$ (mm <sup>2</sup> )	$K' = k(nl)^2$
50	E 15	1	471	471	$2.2 \times 10^5$	$0.20 \times 10^{-4}$
100	E 8	5	530	2,650	70.2	6.32
250	E 15	8	415	3,320	110	9.99
500	E 45	5	480	2,400	57.6	5.31
1000	E 85	5	492	2,460	60.5	

注 対物レンズ記号 E.....Epulum  
8, 15, 45, 85.....単独倍率

2 表 光源係数  $L$  の値

感光材料	$L$
パシクロ	5
非整色性	10

3 表 フィルタ係数  $F$  の値

電球光源使用のとき

感光材料	フィルタ	なし	#1'	#2'	#3'	#4'
パシクロ		1	25	2	5	10
非整色性		1	15	40	25	10

炭素アーク光源使用のとき

感光材料	フィルタ	なし	#1	#2	#3	#4
パシクロ		1	40	2	8	2
非整色性		1	50	50	50	2

$k, K$  が求めれば露出時間は  $T_2 = \frac{K}{I_2}$  で示されるから、これを 8 図に示す。なお電球光源の場合を 9 図に示す。

## (4) 電源による光量の違い ( $L$ の値)

炭素アークおよび電球の分光エネルギー分布は、10, 11 図に示すようになっているので感光材料の違いにより有効な光量も当然違ってくるから、これをパシクロ非整色の 2 種の感光材料に対して求めた結果は 2 表のようになった。ただし電球の電圧は付属電圧調整器の上限 5 V にとった。

## (5) フィルタ係数 ( $F$ の値)

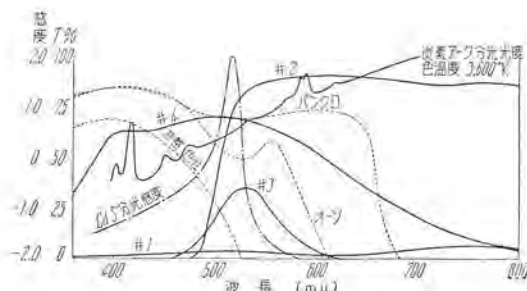
フィルタ係数も  $L$  と同様に感光材料により異なるので、パシクロ、非整色感光材料について実験の結果、3 表のようになった。

使用フィルタの透過率曲線を 10, 11 図に示す。参考のために各種感光材料の分光感度<sup>(4)</sup>を点線で付記した。また使用光源の分光エネルギー分布を示した。

つぎに、8 図より露出時間を算出する方法を例示すると:-

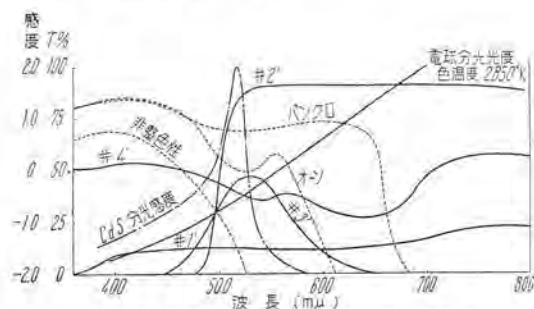
倍率 100, 黄フィルタ (#2), 炭素アーク光源使用で光電流  $30 \times 10^{-6}$  A であるものを、フィルタ緑 (#3) でパシクロ (ASA 50) でとりたい場合の露出時間は

$$T = T_0 \times \frac{F}{F_0} \times \frac{S_0}{S}$$



10 図 炭素アーク光源用フィルタ透過率曲線

Fig. 10. Transmittivity curves of filters for carbon arc light source.



11 図 電球光源用フィルタ透過率曲線

Fig. 11. Transmittivity curves of filters for electric light source.

$T_0=8$  図より求めた露出時間

$T=$ 求める露出時間

$F_0=8$  図のときの黄フィルタ係数

$F=$ パンクロのときの緑フィルタ係数

$S_0=8$  図のときのプロセスの ASA

$S=$ パンクロの ASA

$T_0$  は 8 図より 21 秒,  $F_0, F$  は 3 表 よりそれぞれ 50, 8,  $S_0, S$  は 8 および 50 の値を上式に代入して

$$T=21 \times \frac{8}{50} \times \frac{8}{50} \div \frac{1}{2} \text{ 秒}$$

となる。

#### (6) 集光レンズの換算係数 ( $G$ )

暗視野, 偏光のように露光量が極端に少いときは, 光電流が少ないために感度を最大にしても ( $10^{-9}$  A) 測光できないときがある。このときは CdS 結晶上に焦点を結ぶようにした集光レンズを取りつけて感度を上げて測光する。実験に使ったレンズの換算係数 (= 集光レンズを入れたときの光電流/集光レンズのないときの光電流) は 100 であった。  $G$  を使って換算する方法は, 集光レンズを入れたときの光電流から 8 図により  $T$  を求め, その  $T$  を  $G$  倍すればよい。

### カ. 考 察

#### (1) 本露出計の使用可能範囲について

照度については, 直接光線に当るように光伝導セルを置いた場合は 0.05~100 lx であるが, 集光レンズを付けることにより 0.001 lx まで測光可能である。ただし, 集光レンズをつけたときは光軸に対し, 直角にレンズ面を向けなければならない。

セルは CdS 結晶の性質により特有の分光感度を有するものがあるからこの場合はセルに当る光のスペクトルに留意しなければならない。また, 写真撮影の場合は感光材料の分光感度も関係するから, この 2 つの条件が同一のときはセルの光電流と露出時間は反比例の関係にあるが, これらの条件が変れば, あらかじめ実験より求め

たそれぞれの係数を考えねばならない。また, 赤外線の測光には適さない。

#### (2) 顕微鏡用の露出計として必要な感度

光源としてアーク光源を使い, 黄フィルタをかけた場合, 偏光や暗視野のときの対物レンズを通過した光の照度は 0.1 lx 程度で, もしピントガラス上で直接測光しようと思えば最高  $0.1 \div \left( \frac{nl}{250} \right)^2 = 0.1 \div \frac{1.10 \times 10^7}{(250)^2} \div 0.0005 \text{ lx}$  に感じる感度が必要である。

### 4. む す び

以上は乾板で写真撮影する場合について述べたが, 35 mm フィルムの場合でも同様な手段により露出時間が決定できる。その他, “MeF” 顕微鏡のみでなく, 一般の顕微鏡において受光部のとりつけ方を工夫すれば, 利用できるものである。

しかしながら, このような露出計を使うとしても, ある程度の経験は必要である。というのは露出計で示される平均輝度のみを頼りにすることは最暗部と最明部のコントラストや暗部の多い試料などでは, 明部が露出過度に陥り, ハレーションを起すことなど試料の性質により露出時間などの加減がある程度必要である点はもちろんである。

なお, 今後 CdS 単結晶の研究によりさらに感度, 感光分布曲線などの向上をはかり, 本露出計の改良を行って行くつもりである。

終りに本露出計の製作, 試用, 実験にご指導, で支援をいただいた材料研究室前田研究員, 整備課太田氏に深く感謝する次第である。

### 参 考 文 献

- (1) 技術メモ 13496 伊吹, 西岡
- (2) 三菱電機 Vol. 30, No. 2, 1956 硫化カドミウムの光伝導性: 伊吹
- (3) 写真感光材料と取扱法: 宮本五郎



# 誘導加熱用高周波発電機

神戸製作所 生駒 鋳 郎\*

## High Frequency Generators for Induction Heating

Kobe Works Tetsuro IKOMA

For induction heating of relatively large work or of forging, a power supply, as a general rule, is made from a high frequency rotating machines, 50 or 60 cycle commercial sources or a combination of them. Mitsubishi has built in the past 960 cycle (1,000 cycle) machines, the total capacity of which reaching about 23,000 kVA for high frequency induction furnaces. Recently new products have been developed in the form of 10,000 cycles 150 kVA and 2,500/3,000 cycles 150 kVA high frequency generators of totally enclosed multipole inductor type.

### 1. ま え が き

鍛造・熱処理・焼入・鍛付等に対し誘導加熱法は、加熱制御の容易なこと、加熱速度の早いこと、オートメーションに好適なこと、コスト低下に役立つこと等の外に比類ない諸利点のため近時ますます盛んに利用されている。

鋼の表面焼入（歯車・軸受・ジャーナル・ピストンピン・ミシン針・クランク軸・車軸・砲弾頭・油井管端部など）、鍛造・焼鈍・焼炭・金属の溶融・金属の鍛付・金属のホー引などの用途には高周波発電機による比較的低い高周波を用いるのが適当である。

三菱電機においては従来からおもに高周波誘導炉用として 960 c/s (1,000 c/s) 機を合計約 23,000 kVA 製作してきたが、このほど新型式の発電機として1表の標準定格を定め、10,000 c/s 150 kVA および 2,500 c/s/3,000 c/s 150 kVA 高周波発電機を製作した。以下一般高周波発電機につき略述し、今回製作の高周波発電機につきその概要を述べることにする。

### 2. 高周波発電機の諸型式

#### ア. 凸 極 型

通常の型式の発電機で極数を多くしただけであって、100~500 c/s 程度の比較的低い周波数のものに用いられる。わが国ではポットモートル用電源とか電鉄蛍光灯用

電源などに用いられている。これは回転子に巻線を有し、高速度で回転したり、多極にしたりすることは困難である。

#### イ. 円筒回転子型

タービン発電機の回転子と同様の構造をもち、凸極型よりも高速多極にできるが回転子に巻線を有するため周波数に制限があり、500~2,000 c/s 程度のものがある。

#### ウ. 誘導子型

回転子は巻線がなく、表面に凸凹のみを有する鉄の塊りである。これを回転すれば電機子巻線に対して鎖交する磁束が脈動するから電機子巻線には交流起電力が発生する。この型は回転子に巻線をもたない凸凹の表面の鉄塊であるから多極にすることも容易であり、機械的にじょうぶで高速回転に適するから、前項の型に比し高い周波数の発生が容易である。誘導加熱用高周波発電機はすべてこの型式である。

誘導子型は界磁の極数によりつぎの2型式に分類できる。

#### (1) 単極型 (1 図)

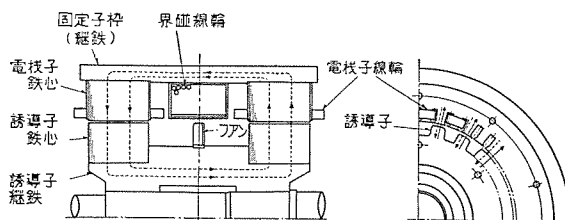
磁束は回転軸をとりまいて巻かれた1個の界磁線輪により発生し、固定子継鉄より電機子鉄心・空隙・誘導子鉄心を通り、他の経路を経てふたたび固定子継鉄にもどる。

1 表 誘導加熱用高周波発電機標準定格表

c/s	kVA	V
960/1,000	50, 100, 150, 175, 250, 300, 350, 600, 700, 1,000, 1,250, 1,500	400/800
3,000/2,500	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 1,000, 1,250, 1,500	400/800
10,000/8,330	30, 50, 75, 100, 150, 350, 700	200/400/800

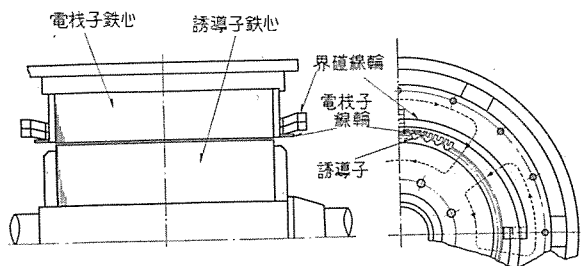
注: c/s の欄で左側は電源周波数 60 c/s のとき、右側は同じく 50 c/s のときである。

\* 技術部



1 図 単極誘導子型高周波発電機構造図

Fig. 1. Construction of unipole inductor type high frequency generator.



2 図 多極誘導子型高周波発電機構造図  
Fig. 2. Construction of multipole inductor type high frequency generator.

つまり磁束は電機子，誘導子間を放射状に通過し，電機子，誘導子は円周上どの箇所でも同一極性を有する。磁束の帰路としては，ただ鉄心のみを設けて磁路とすることもがあるが，通常この帰りの磁束を利用してさらに1組の誘導子と電機子を設けて，同じ磁束で2組の電機子線輪に電圧を発生している。このとき磁束は2組の電機子誘導子間を放射状に互に逆方向に通過し，このため2組の電機子線輪には互に逆極性の起電力を発生する。

### (2) 多極型 (2 図)

誘導子および電機子は1組であるが電機子鉄心の円周方向に N, S の極性に励磁された複数の界磁線輪を有し，磁束は N 極に励磁された電機子鉄心より空隙を経て誘導子にはいり誘導子鉄心を円周方向に通って再び誘導子，空隙を経て S 極に励磁された電機子鉄心にもどる。この型式は電機子，誘導子が1組だけあればよいので構造簡単で軸長も短くなり高速，軽量小形とすることができ，また磁束が固定子継鉄や誘導子スパイク等の鉄塊部を通らず，磁路長が短いため急速励磁，減磁を要するときに適している。

## 3. 誘導子型高周波発電機の発生起電力

3 図のような磁束分布があり， $B_{\max}$  の位置と  $B_{\min}$  の位置とにそれぞれ電機子導体が存在しているとき発生起電力は

$$E = \beta (1 - \alpha) B_{\max} Z l S v \times 10^{-8} \text{ V} \quad (1)$$

ここに  $E = \frac{B_{\max}}{\sqrt{2}}$  ..... 基本波起電力の実効値

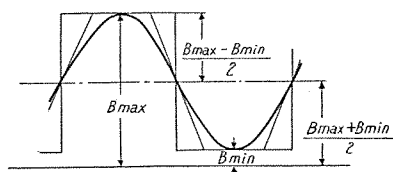
$E_{\max}$  ..... 基本波起電力の最大値

$\alpha = \frac{B_{\min}}{B_{\max}}$  ..... 磁束密度の疎密の比

$B_{\max}$  ..... 最大磁束密度 line/cm<sup>2</sup>

$B_{\min}$  ..... 最小磁束密度 line/cm<sup>2</sup>

$$\beta_1 = \frac{E_{\max}}{E_{0\max}}$$



3 図 空隙磁束密度分布  
Fig. 3. Distribution of air gap flux density.

$E_{\max}$  ..... 基本波起電力の最大値

$E_{0\max}$  ..... 高調波分をも含んだ実際の起電力の最大値

$\beta = \frac{E}{E_{0\max}} = \frac{\beta_1}{\sqrt{2}}$  基本波起電力の実効値と実際の起電力の最大値との比

$Z$  ..... 毎溝導体数

$l$  ..... 電機子鉄心長 cm

$S$  ..... 直列線輪数

$v$  ..... 周速 cm/s

3 図の矩形波の場合には基本波起電力は最大で (2) となる。

$$\beta_1 = \frac{4}{\pi} = 1.27 \quad \text{すなわち} \quad \beta = \frac{4}{\pi\sqrt{2}} = 0.905 \dots (2)$$

3 図の正弦波の場合には基本波起電力は最小で (3) となる。

$$\beta_1 = 1.0 \quad \text{すなわち} \quad \beta = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707 \dots (3)$$

実際はこの中間にあるため

$$1 < \beta_1 < 1.27 \quad \text{すなわち} \quad 0.707 < \beta < 0.905 \dots (4)$$

梯形波の場合は

$$\beta = 0.8 \sim 0.9 \quad (\text{平均 } 0.85) \dots (5)$$

通常の高周波発電機（とくに誘導子の歯の両肩にわずかの丸味をもったもの），では波形はほとんど正弦波で

$$\beta = 0.707 \sim 0.8 \quad (\text{平均 } 0.75) \dots (6)$$

また電機子反作用は通常の型式の高周波発電機では，一般の発電機に比しはるかに小さく，電機子磁束は事実上ほとんど漏洩磁束となるが，磁束数に比し誘起起電力が小さいので，単位電圧当りの線輪が長くなるため，自己インダクタンスが大となり ((9) 式参照)，また周波数が高いので漏洩リアクタンスははなはだ大きく，100% 前後にも達することは珍らしいことではない。電機子反作用がほとんど無視できるから，同期リアクタンスは静止時外部の他の電源から適当な周波数の電流を流して測定することができる。また電機子端子につないだ直列蓄電器との直列共振時の蓄電器容量  $c$  を求むれば同期リアクタンスは  $1/\omega c$  となる。運転中に測定するには界磁電流を定格値に保ち，無負荷誘起起電力と短絡電流との比を求むればよい。

Oboukhoff によれば

$$Sl = \frac{1}{\sigma^2(1 - \frac{1}{\gamma})^2} \cdot \frac{\Delta}{L} \cdot \frac{E^2 \times 10^8}{v^2 B_{\max}^2} \dots (7)$$

$$\gamma = 1 + \left[ \frac{\left\{ (1 + \gamma) - \gamma \frac{2a_r}{P_r} \right\} \frac{2a_r}{P_r} \left\{ (1 + \gamma) - \gamma \frac{a_s}{P_s} \right\} \frac{a_s}{P_s}}{A\delta + CB_{\max}^q} \right] \quad (8)$$

ここに  $\sigma = 0.913 \sim 1.0$  (平均 0.955)

$\Delta$  ... 毎電機子線輪，毎電機子鉄心単位長，

毎電機子溝アンペアターンの鎖交磁束

$\Delta \doteq 14$  (半閉溝に対して)

$\Delta \doteq 10$  (開溝に対して)

$L = \Delta Z^2 / S \times 10^{-8} \text{ H} \dots$  電機子 1 回路の自己  
インダクタンス ……(9)

$$\gamma = \frac{\Phi_{\max}}{\Phi_{\min}}$$

$\Phi_{\max}$  ……誘導子歯中の全磁束

$\Phi_{\min}$  ……誘導子溝中の全磁束

$P_r$  ……誘導子歯のピッチ mm

$a_r$  ……誘導子歯の幅 mm

$P_s$  ……電機子溝のピッチ mm

$a_s$  ……電機子歯の幅 (電機子内径表面にて) mm

$c$  ……発電機型式による定数  
通常  $c = 1 \times 10^{-7}$

$q$  ……発電機型式による定数  
通常  $q = 2$

$\delta$  ……空隙長 mm

$$A = 12 \left( \frac{\delta}{P_r} \leq 0.01 \right)$$

$$= 11 \left( 0.01 < \frac{\delta}{P_r} \leq 0.025 \right)$$

$$= 10 \left( \frac{\delta}{P_r} > 0.025 \right)$$

$$y = 1.0 \left( \frac{\delta}{P_r} \leq 0.01 \right)$$

$$= 1.5 \left( 0.01 < \frac{\delta}{P_r} \leq 0.05 \right)$$

$$= 2.25 \left( 0.05 < \frac{\delta}{P_r} \leq 0.08 \right)$$

$$= 3.0 \left( \frac{\delta}{P_r} > 0.08 \right)$$

(8) より  $\frac{a_r}{P_r}$  (誘導子歯幅とピッチとの比) は  $\frac{y+1}{4y}$  にとることが最適である。

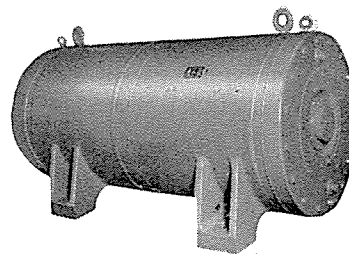
#### 4. 定 格

今回製作した 150 kVA 10,000 c/s および 2,500 c/s / 3,000 c/s 機の定格は 2 表のとおりである。

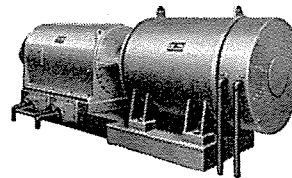
外形写真を 4 図および 5 図に示す。

2 表 150 kVA 10,000 c/s および 2,500 c/s / 3,000 c/s  
高周波発電機定格表

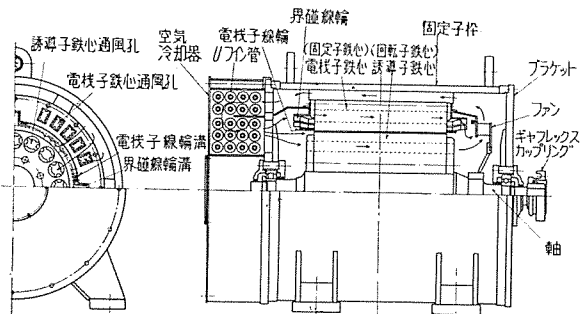
容 量 (kVA)	150	150
周 波 数 (c/s)	10,000	2,500/3,000
電 圧 (V)	440	400/800
電 流 (A)	341	375/187.5
力 率	1.0	1.0
相 数	1	1
回 転 数 (rpm)	3,600	3,000/3,600
励 磁 電 力 (W)	200	200
型 式	SJM 多極誘導子型	SJM 多極誘導子型
電動機定格馬力 (HP)	250	250
電 動 機 電 圧 (V)	3,300	3,300
電 動 機 周 波 数 (c/s)	60	50/60
電 動 機 型 式	MK カゴ形回転子	巻線型回転子
冷 却 方 式	全閉水冷式	全閉水冷式



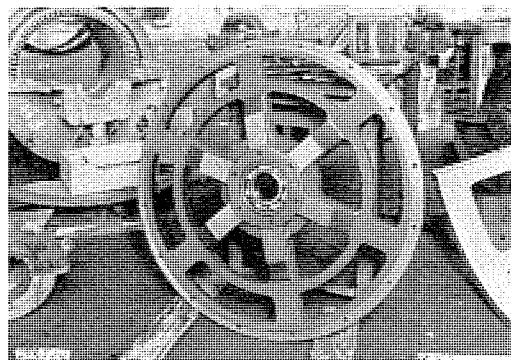
4 図 10,000 c/s, 150  
kVA 高周波発電機  
Fig. 4. 10,000 c/s, 150  
kVA high frequency  
generator.



5 図 2,500 c/s/3,000 c/s,  
150 kVA 高周波発電機  
Fig. 5. 2,500 c/s/3,000  
c/s, 150 kVA high  
frequency generator.



6 図 2,500 c/s / 3,000 c/s, 150 kVA 高周波発電機組立断面図  
Fig. 6. Sectional view of 2,500 c/s / 3,000 c/s, 150 kVA  
high frequency generator.



7 図 ブラケット  
Fig. 7. Bracket.

#### 5. 構 造 (6 図)

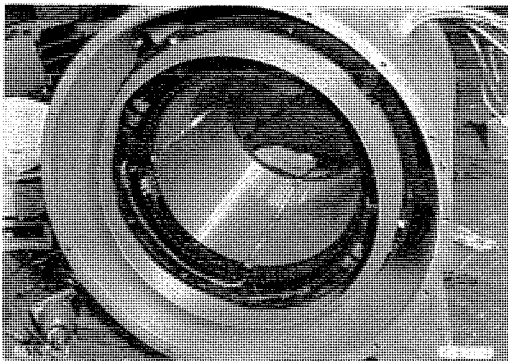
##### A. 固定子枠, ブラケット (7 図)

固定子枠は厚鋼板溶接製でリブにより固定子鉄心を支え、リブによって区切られた空間は冷却空気の帰路を提供する。電動機と共通軸のものは中央部に取外しのできるカバーがあり、これを金網と取替え、空気冷却器を取除くことによって容易に開放型となしうる。

底部にはドレン抜用の小穴を設けてある。

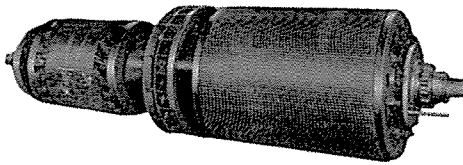
ブラケットは非常に厚い鋼板を溶接して成り、十分な剛性を有しており、軸受部を完全に支持する。通気孔として大きな開孔をもっている。

固定子枠もブラケットも溶接後十分歪取焼鈍を行って



8 図 発電機巻線

Fig. 8. Generator windings.



9 図 10,000 c/s 高周波発電機の回転子

Fig. 9. Rotor of 10,000 c/s high frequency generator.

溶接内部応力を完全に除去している。

#### イ. 発電機巻線 (8 図)

電機子巻線はU字型で電機子溝に挿入される前に絶縁処理および熱固めされる。素線は H 種 2 重ガラス巻銅線で、H 種ガラスマイカラップ、ガラステープ、H 種ワニスを用いた完全 H 種絶縁である。

界磁巻線は型巻で電機子鉄心に作られた 4 個の溝に納められ絶縁処理をなされる。絶縁は電機子巻線同様の完全 H 種絶縁である。界磁巻線溝には温度測定用として 2 個のサーコイルを設けている。界磁巻線には高周波耐圧試験を行いターン間絶縁耐力を確かめてある。

すべての結線箇所には特殊鋲付を行い、接合の完全を期した。

結線後ワニス処理、加熱乾燥を数回繰り返す。このため高温、高湿によく耐え、異常高電圧に対しても非常に強い。

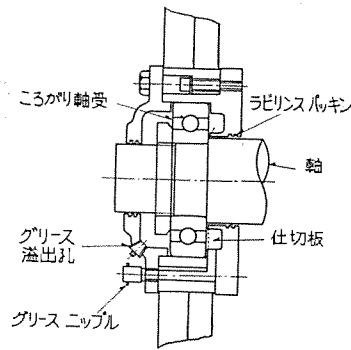
#### ウ. 電動機巻線

巻線は A 種または B 種絶縁で型巻線輪である。回転子巻線は標準としてはカゴ形であって発電機の大きな慣性を起動するため特殊設計となっている。要求によっては巻線型回転子にすることもできる。結線後ワニス処理、加熱乾燥を数回繰り返して行う。

#### エ. 発電機鉄心

電機子溝部近傍には商用周波数の 50~200 倍の高周波磁束が流れ、また誘導子は固定子鉄心表面の凸凹による高周波脈動磁束と、界磁線輪により生ずる低周波交番磁束、および僅少ではあるが電機子反作用による 2 倍周波数磁束の影響を受けながら秒速 100~150 m/sec におよぶ高い周速で回転する。このゆえに鉄心材料は高周波用としてとくに鉄損が少く、また機械的性質のすぐれた特

誘導加熱用高周波発電機・生駒



10 図 軸受部詳細

Fig. 10. Detail of bearing part.

殊珪素鋼板を製作せしめて回転子、固定子ともに使用し、型拔後不活性雰囲気焼鈍を行った。この結果鉄損は非常に少く設計値どおりの良好な成績を収めた。

回転子、固定子鉄心の両端を十分厚い鋼板で挟み、太い鉄心ボルトで締めて強固に組立てたものをそれぞれ軸、固定子枠に焼嵌してある。

固定子鉄心、回転子鉄心にはそれぞれ特殊形状の通気孔が設けられ、鉄心内部の高温部を冷却している。

#### オ. 回転子 (9 図)

カゴ形誘導電動機を使用したものは高周波発電機と共通軸となっており、その軸は非常に太く両端に設けた強固なブラケット式軸受と相まって軸の臨界速度を十分高くし、軸系の剛性を大としている。回転子の中央部、誘導電動機と高周波発電機との間には遠心ファンがある。巻線型誘導電動機と直結したものは、接手にギアフレックスカップリングを使用し 4 軸受型として、発電機、電動機とも両軸受型とする。発電機通風用ファンは誘導子と接手側軸受との間に設けられる。

組立前に回転子は精密動的平衡試験機で完全に平衡を取り、また固定子枠と組立後運転バランス試験を行いできる限り振動を減少せしめている。

#### カ. 軸 受 (10 図)

高周波発電機側にはコロ軸受、誘導電動機側には球軸受の H 級品で、磷青銅リテーナのものを使用している。電動機と共通軸のものは軸受が両端に 2 個あるのみで芯出が完全にでき、振動が少くなりしたがって軸受の寿命の点からも有利である。

この軸受は DN 値が 29 万にもなるが、潤滑油を使用して飛沫、あるいは滴下給油などを採用すれば構造上からも保守上からも複雑かつ不便となるのでグリス潤滑を採用した。グリスの注入は機械を回転しつつブラケット下部のニップルより行い、このグリスはベアリング下部の内側空所に至る。この空所には仕切板があり、注入されたグリスが下方約 1/3 のみ充填され過充填を防止し、またグリスが軸受と一緒に回転することを防ぐ。グリス溢出口より新しいグリスが出てきたら充填をやめて、なお運転を約 1 時間継続して余分のグリスを排出させて後、溢出口を閉じる。このグリス補給は約 1,000 運転時間ごとに行うのみでよい。グリスには稠度変化少く、耐水性、高温特性なども優秀なリチウム系グリスを使用する。

本機には整流子も集電環もなくまたカゴ形電動機を用いるときは回転子に巻線をも有しないため、保守を要す





11 図 空気冷却器

Fig. 11. Water-cooled heat exchanger.

る箇所は軸受部だけとなり、その保守も簡単であるので電動発電機式はこの点において他の高周波発生装置に比し非常に有利となる。

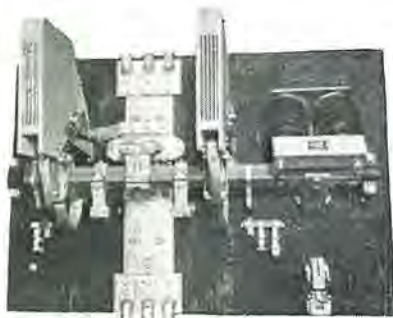
#### キ、空気冷却器 (11 図)

ブラケットの外側に水冷式空気冷却器が設けられる。これには耐食性 U フィン管を使用しているためきわめて効率よく、少ない水量で最高の冷却効果をあげており、また海水の使用も差支えない。この取付はブラケットに数本のボルトを用いてなされ、取付、取外しは非常に簡単で、発電機本体の運転になんら支障を与えることなく行うことができるので、冷却器の掃除や取換は発電機を一時的に開放型として運転しながら、ゆっくり行うことができる。底部にはドレン抜用小穴がある。

### 6. 自動制御装置

被加熱体が温度によって導磁率を変化し、または抵抗係数が変化する等のためインピーダンスマッチングが破れるから、並列蓄電器を変化させて再整合を行わなければ被加熱体に負荷を与えることができなくなる。また真空炉等では電圧がある値を超過すると炉中に放電を生じ大電流が流れるのでこれを制限する必要を生ずる。繰り返し作業にはプログラム制御を採用することが望まれる。また加熱効率を最大にするには発電機は加熱工程中つねに一定最大出力を保持することがよい。

以上のような種々の要求に対して発電機制御方式としては定電圧方式、定電流方式、定出力方式またはそれらの組合せ、プログラム制御などが採用され、励磁機とし



12 図 主電磁接触器

Fig. 12. Main electromagnetic contactor.

ては電動発電機励磁機、ロートロール励磁機、サイラトロン励磁機、磁気増幅器型励磁機などが用いられる。

これを論ずるのは本稿の目的でないので詳細は省略するが、今回製作のものにはもっとも簡単な定電圧方式とし、シルバスタット型自動電圧調整器を使用して良好な成績を収めた。

### 7. 付属装置

#### (1) 主電磁接触器 (12 図)

高周波発電機出力電流遮断投入用、定格電流 500 A (10,000 c/s において)、750 A (3,000 c/s において)、2 極であり、高周波全負荷電流を容易に遮断することができる。

#### (2) 電流計、電圧計

電流計は熱電対型、電圧計は整流型である。

#### (3) 電力計、無効電力計

電力計および無効電力計は電流計型である。

#### (4) 力率計

#### (5) 界磁電流計

#### (6) 高周波発電機内部リアクタンス補償用直列蓄電器

高周波用水冷式蓄電器である。

### 8. 保護装置

基本的保護装置としてつぎのものが付属している。

#### (1) 過電流保護

高周波出力電流が限度以上にあれば発電機出力側遮断器をトリップさせ、励磁機を停止せしめる。

#### (2) 過電圧保護

高周波出力電圧が過高になれば機器の性能を害するので限度以内に上昇を制限する。

#### (3) 発電機界磁保護

8~20  $\mu$ F 耐圧 440 V 以上の蓄電器を発電機界磁端子に結んで、界磁巻線に誘起される異常高周波起電力に対して短絡作用をし、界磁巻線の絶縁を保護する。

#### (4) 過負荷保護

数台の高周波発電機が並列運転をするとき、どれか 1 台の電動機が過負荷すればすべての電動機は停止する。

#### (5) 水量不足保護

冷却水量が不足すれば電動機および励磁機を停止せしめる。

#### (6) 発電機過温度保護

固定子界磁線輪溝に納められたサーチコイルにより、発電機過温度となれば発電機出力側遮断器をトリップさせ、励磁機を停止せしめる。

#### (7) 冷却水温保護

冷却水温が過高となったとき電動機および励磁機を停止せしめる。

#### (8) 発電機界磁過電流保護

過電流を制限する。

3 表 温度試験成績

150 kVA $\rho f=1.0$	界磁線論	電機子線論	固定子鉄心	回転子鉄心	軸 受	冷却水温(°C)	
						入口	出口
10,000 c/s	76	75	74	93	40(外部)にて	22	24.5
2,500 c/s	64	47	45.5 (外周)	—	50 (外輪)	20	22

4 表 同期リアクタンス

150 kVA $\rho f=1.0$	定格負荷時の 界磁電流 (A)	誘起起電力 (V)	短絡時の電流 (A)	同期リアクタンス ( $\Omega$ )	直列蓄電器容量 ( $\mu F$ )
10,000 c/s	7.5	440	390	1.13	14.1
2,500 c/s	5.4	400	435	0.92	69.2

## (9) 接地保護

接地継電器を設け接地のときは電動機および励磁機を停止せしめる。

## 9. 出力変圧器

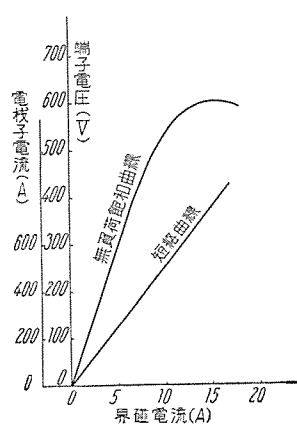
1 または 2 回巻の作業コイルを使用する急速加熱等の用途には空心の水冷却出力変圧器が用いられ、その他のときは特殊鉄心使用の出力変圧器を使用する。これは水冷却でまた鉄心使用のため軽量、小形となる。

出力変圧器は一定巻線比のもの、あるいはタップ付のオートトランス型のもの、可変変圧比のもの等が用いられる。

## 10. 試験成績

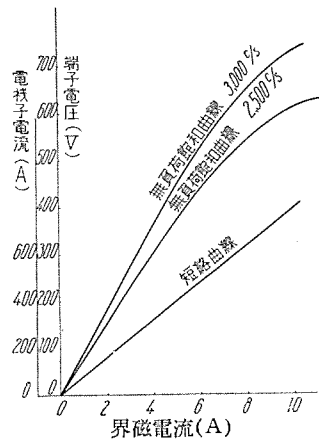
## ア. 無負荷飽和曲線、短絡曲線

界磁電流を増加して行くと、磁束密度がだんだん上昇して行き、 $B_{\max}$  と  $B_{\min}$  との差は大きくなり発生電圧は



13 図 10,000 c/s, 150 kVA 高周波発電機無負荷飽和曲線、短絡曲線

Fig. 13. No-load saturation curve and short-circuit characteristic of 10,000 c/s, 150 kVA high frequency generator.



14 図 2,500 c/s / 3,000 c/s, 150 kVA 高周波発電機無負荷飽和曲線、短絡曲線

Fig. 14. No-load saturation curve and short-circuit characteristic of 2,500 c/s / 3,000 c/s, 150 kVA high frequency generator.

上昇して行くが、ある限度を越すと誘導子歯部鉄心および電機子歯部鉄心の磁束密度が飽和してきて、ついには逆に  $B_{\max}$  と  $B_{\min}$  との差が減少しはじめる。ここに高周波発電機の発生しうる最大起電力が定められ、無負荷飽和曲線は特異な形となる。

13 図、14 図はそれぞれ 10,000 c/s 機および 2,500 c/s / 3,000 c/s 機に対するものである。

## イ. 温度試験

3 表に示すとおりである。

## ウ. 同期リアクタンス

4 表に示すように定格負荷界磁電流のときの端子開放電圧および端子短絡電流より求め、直列蓄電器容量を決定した。

## エ. 効 率

10,000 c/s HFG 定格負荷時の誘導電動機をも含めた総合効率は 77.2% で、2,500 c/s / 3,000 c/s HFG 定格負荷時の発電機のみ効率は 85.0% (2,500 c/s) および 79.5% (3,000 c/s) であった。

## 11. む す び

三菱電機では従来より真空管発振器をラジオヒータという名称で製作し、また 960 c/s (1,000 c/s) 高周波発電機をおもに誘導炉用として多数製作してきたが今回 10,000 c/s および 2,500 c/s / 3,000 c/s 機の開発によりなお一層ヴァエティに富んだものとなった。とくに今回開発の周波数は真空溶解や特殊金属精錬、連続鋳メッキ、あるいは原理的に非常に興味のある Electromagnetic float melting 等に応用されるもので、高周波ならではできぬ新分野を開拓するものと思われ、関係各位のご検討を得て一層応用面を広めることができれば筆者の喜びとするところである。

最後に、本機開発にご指導、ご協力を賜った当所技術部、工作部関係各位、とくに各種調整、試験に献身的努力を払われた村上技師、山脇技師、平井技師に紙上より厚く御礼申し上げる。

## 文 献

- (1) E. May: Industrial High Frequency Electric Power (1949)
- (2) N. M. Oboukhoff: Archiv für Elektrotechnik (Vol. XXV, 5, 1931)
- (3) 石田制一: 高周波熱処理 (昭 32)
- (4) D. Wroughton 他: Journal of Applied Physics, Journal of Electrochemical Society. May, 1952
- (5) G. Seulen 他: AEG Mittl. Vol. 46 (1956) 9/10



# MG 型高周波誘導加熱装置の負荷回路調整ならびにその応用

無線機製作所 馬場文夫\*・渡辺文明\*\*

## Load Circuit Adjustment of Type MG High Frequency Induction Heaters

Electronics Works Fumio BABA・Fumiaki WATANABE

In the induction heating of industrial products, a high frequency heater of below 1,000 cycles operation has been in practical use. The company's latest achievement is a 10,000 cycle induction heater, which has greatly enlarged the field of application. To operate it with the best efficiency, however, needs various considerations depending on the kind of heated objects. That means, the adjustment of load circuits is to be taken into account. The writers have made careful analysis of load circuits and concluded with methods of adjustment referred to as well as various applications.

### 1. ま え が き

従来MG型の誘導加熱装置としては主として1,000c/s以下の周波数のものが製作されていたが、最近10,000c/sの装置が完成されたのでその利用範囲は非常に広がってきた。本稿においては最初に負荷回路の解析をなしその調整方法について記述し、つぎに各種の応用例ならびにそのばあいの周波数、出力電力の定める方法について記述した。MG型の誘導加熱装置を利用するにあたって参考資料となれば筆者らの望外の喜びである。

### 2. 負荷回路の調整方法

#### ア. 回路の概要

負荷回路の結線は1図のとおりである。MGの出力端子に補償用コンデンサ  $C_s$  を配置する。この  $C_s$  によりMG内部のインダクタンス  $L_M$  およびA点までのリード線のインダクタンス  $L_s$  を補償してA点よりMG側を見たインピーダンスを常に純抵抗となるようにする。

MGより最大の出力をとるためには、コンデンサ電流  $\vec{I}_C$  とコイル電流  $\vec{I}_L$  とのベクトル和が  $\vec{V}_A$  と同位相であること、すなわち Power factor が1であることが必要であるので、タンクコンデンサ  $C_p$  を調整して  $W_j = V_A I_0 \sin \phi$  が0になるように加減するを要す。またこのときの共振インピーダンスがちょうどMGの出力インピーダンスに等しくなるようにコイルの大きさ、形状および巻数を調整することも必要である。

イ. 補償用コンデンサ  $C_s$  の容量決定方法  
MGの内部インダクタンス  $L_M$ 、MG出力よりA点までのインダクタンス  $L_s$ 、アーマチュア起電力を  $e$  Volt とする。1図においてA点に負荷を接続しないときのA点の電圧を  $V_{A0}$ 、A点を短絡したときの電流を  $I_{A0}$  とする。A点を開放しても短絡してもMGのフィルド電流を一定にすればアーマチュア起電力  $e$  はほぼ一定であるのでつぎのような関係が成立する。

#### イ. 補償用コンデンサ $C_s$ の容量決定方法

MGの内部インダクタンス  $L_M$ 、MG出力よりA点までのインダクタンス  $L_s$ 、アーマチュア起電力を  $e$  Volt とする。1図においてA点に負荷を接続しないときのA点の電圧を  $V_{A0}$ 、A点を短絡したときの電流を  $I_{A0}$  とする。A点を開放しても短絡してもMGのフィルド電流を一定にすればアーマチュア起電力  $e$  はほぼ一定であるのでつぎのような関係が成立する。

$$I_{A0} = \frac{e}{2\pi f(L_M + L_s)} \quad (1)$$

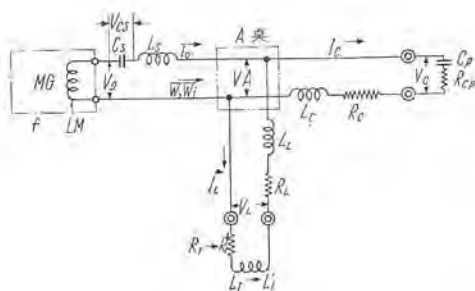
(1) 式より

$$L_M + L_s = \frac{V_{A0}}{2\pi f I_{A0}} \quad (2)$$

補償用コンデンサの容量は  $L_M + L_s$  と共振する容量でなければならないので(2)式よりつぎの値であればよい。

$$C_s = \frac{I_{A0}}{2\pi f V_{A0}} \quad (3)$$

コンデンサ必要kVAを  $W_{csj}$  とすると(3)式より



1 図 負荷回路結線図

Fig. 1. Connection diagram of load circuits.

記号	名 称	単 位
$f$	MG の出力周波数	c/s
$V_A$	MG の出力電圧	V
$I_0$	MG の出力電流	A
$W$	MG の出力実効電力	$W = V_A I_0 \cos \phi$
$W_i$	MG の出力無効電力	$W_i = V_A I_0 \sin \phi$
$V_{cs}$	補償用コンデンサに印加する電圧	V
$C_s$	補償用コンデンサの容量	F
$L_M$	MG の内部インダクタンス	H
$L_s$	MG 出力より A 点までのインダクタンス	H
$V_A$	A 点の電圧	V
$V_L$	コイルの電圧	V
$I_L$	コイルの電流	A
$L_L$	コイルリードのインダクタンス	H
$R_L$	コイルリードの抵抗	$\Omega$
$L_I$	コイルのインダクタンス	H
$L'I$	コイルの入力インダクタンス (加熱物を入れた時)	H
$R_I$	コイルの抵抗	$\Omega$
$R'I$	コイルの入力抵抗 (加熱物を入れた時)	$\Omega$
$V_C$	同調コンデンサの電圧	V
$I_C$	同調コンデンサの電流	A
$C_p$	同調コンデンサの容量	F
$R_C$	同調コンデンサの抵抗	$\Omega$
$L_C$	コンデンサリード線のインダクタンス	H
$R_C$	コンデンサリード線の抵抗	$\Omega$

$$W_{csj} = \frac{I_0^2 \max}{2\pi f C_s} = \frac{V_{A0} I_0^2 \max}{I_{A0}} \dots (4)$$

( $I_0 \max$  は MG の出力最大電流)

リード線インダクタンス  $L_s$  は幅  $A$  cm, 間隙  $g$  cm, 長さ  $l$  cm の平行板誘電線を使用するときにはつぎのようになる。

$$L_s = \frac{12.6 g l}{A} \times 10^{-9} \text{ H} \dots (5)$$

つぎに以上の計算式により 150 kW, 10,000 c/s の MG についての検討結果を示す。

このばあいの  $I_{A0}$ ,  $V_{A0}$  を実測した結果  $I_{A0} = 180 \text{ A}$ ,  $V_{A0} = 200 \text{ V}$  (フィード電流 4.1 A) であった。

したがって (2) 式より

$$L_M + L_s = \frac{200}{2 \times 3.14 \times 10^4 \times 180} = 17.7 \mu\text{H}$$

また (3) 式より

$$C_s = \frac{180}{2 \times 3.14 \times 10^4 \times 200} = 14.3 \mu\text{F}$$

MG の最大電流は 341 A であるので (4) 式より

$$W_{csj} = \frac{200 \times 341^2}{180} = 129.2 \text{ kVA}$$

リード線は幅  $A = 15 \text{ cm}$ , 間隙  $g = 0.6 \text{ cm}$ , 長さ  $l = 600 \text{ cm}$  としたので (5) 式より

$$L_s = \frac{12.6 \times 0.6 \times 600}{15} \times 10^{-9} = 0.3 \mu\text{H}$$

上記結果より補償用コンデンサは約  $14 \mu\text{F}$ ,  $130 \text{ kVA}$  のものを使用すればよいことになり, またリード線インダクタンスは  $0.3 \mu\text{H}$  であるのでリード線の長さは少々変化させてもコンデンサの値はほとんど一定でよいこととなる。

#### ウ. Power factor の調整

1 図においてタンクコンデンサ  $C_p$  に流れる電流  $I_c$  は

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{V_A}{\left(L_c \omega - \frac{1}{C_p \omega}\right)j + R_c + R_{cp}} \\ &= \frac{-V_A}{L_c \omega - \frac{1}{C_p \omega}} j \\ &= V_A C_p \omega \left(1 - \frac{L_c}{L_{cp}}\right) j \dots (6) \end{aligned}$$

( $L_{cp}$  は  $C_p$  と共振するインダクタンス,  $L_{cp} = \frac{1}{C_p \omega^2}$  とす)

加熱コイル  $L_l$  に流れる電流  $I_L$  は

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{V_A}{(L_L + L_l') \omega j + R_l' + R_L} \\ &= \frac{-V_A}{(L_L + L_l') \omega \left(1 + \frac{1}{Q^2}\right)} j + \frac{V_A}{(R_l' + R_L)(Q^2 + 1)} \dots (7) \\ &\quad \left(Q = \frac{(L_L + L_l') \omega}{R_l' + R_L} \text{ とす}\right) \end{aligned}$$

Power factor が 1 であるためには  $I_c + I_L$  が  $V_A$  と同位相であることが必要であるから (6) 式 (7) 式の  $j$  の項の和が 0 である条件を求めると

$$C_p L_l' \left(1 - \frac{L_c}{L_{cp}}\right) \left(1 + \frac{L_L}{L_l'}\right) \left(1 + \frac{1}{Q^2}\right) = \frac{1}{\omega^2} \dots (8)$$

(8) 式よりつぎのことがわかる。

a. コンデンサのリード線, コイルのリード線が短く,  $Q$  が比較的大であるときは (8) 式はつぎのようになる。

$$C_p L_l' = \frac{1}{\omega^2} \dots (8)'$$

(8)' 式はコイルの入力インダクタンス  $L_l'$  に共振するようなタンクコンデンサの値を選べばよいことを示している。

b. コンデンサのリード線, 加熱コイルのリードのインダクタンス  $L_c$ ,  $L_L$  を大きくすると  $C_p$  を小にして補正せねばならない。

c.  $Q$  の変化によっても Power factor を 1 にするためには  $C_p$  を補正せねばならない。

一般に銅などの強磁性体を加熱するときは磁気変体点で導磁率が 1 となり  $L_l'$  が減少し, そのときの  $Q$  の増大よりも影響が大きいため  $C_p$  は増加させねばならない。非磁性体を加熱するときは逆に導磁率の変化なく, 加熱物の抵抗の増大による  $Q$  の減少を補正するために  $C_p$  を減少させねばならない。

また Power factor 1 である条件より  $C_p$  を  $\Delta C_p$  だけ微少変化したときの  $I_c$  の変化  $\Delta I_c$  は近似的につぎのようになる。

$$\Delta I_c = V_A \Delta C_p \omega$$

したがってこのばあいの無効電力  $W_j$  は

$$W_j = V_A \Delta I_c = V_A^2 \Delta C_p \omega \dots (9)$$

(9) 式より  $W_j$  の最大許容値, MG の電圧および周波数が定まれば  $C_p$  の最小タップを定めうる。この値は周波数に逆比例し, 電圧の自乗に逆比例し, 許容最大の  $W_j$  に比例する。たとえば  $W_j = 20 \text{ kVA}$ ,  $V_A = 440 \text{ V}$ ,  $f = 10,000 \text{ c/s}$  のときは

$$\Delta C_p = \frac{20 \times 10^3}{440^2 \times 2\pi \times 10^4} = 1.65 \mu\text{F}$$

となる。

#### エ. コンデンサ回路

コンデンサ回路においてとくに注意すべき点はコンデンサのリード線のインダクタンス  $L_c$  を小にしないとコンデンサが過負荷になることである。1 図においてコンデンサ両端子の電圧  $V_c$  と A 点の電圧  $V_A$  との比はつぎのようになる。

$$\frac{V_c}{V_A} = \frac{-1/C_p \omega}{L_c \omega - 1/C_p \omega} = \frac{1}{1 - L_c/L_{cp}} \dots (10)$$

( $L_{cp}$  は  $C_p$  と共振するインダクタンス)

(10) 式を数値計算すると 2 図のようになる。

2 図より  $f = 10,000 \text{ c/s}$   $C_p = 150 \mu\text{F}$  のとき  $\frac{V_c}{V_A} \leq 1.5$  にするためには  $L_c$  を  $0.6 \mu\text{H}$  以下にせねばならない。

このように  $L_c$  を減少させるためにはリード線の幅  $A$  を広くしその間隙  $g$  を小とし長さ  $l$  を短くすることが

2 図

$\frac{V_c}{V_A}$  と  $\frac{L_c}{L_{cp}}$  との関係

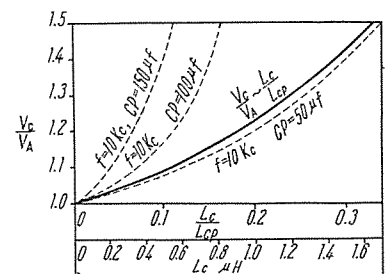
$f = 10 \text{ kc}$  のときの  $\frac{V_c}{V_A}$

と  $L_c$  との関係

Fig. 2.

Relations between

$\frac{V_c}{V_A}$  and  $\frac{L_c}{L_{cp}}$ .





必要であり、このばあいのインダクタンスは(5)式に示したようになる。

$$L_0 = \frac{12.6g'}{A} \times 10^{-9} \text{ H} \dots (5)'$$

具体的に示せば 3 図 a. のようにすればよい。3 図 b. のようにすると  $L_c$  は増大する。また 3 図 c. のようにコンデンサを配置するときは、コンデンサは過負荷にならないが、コイル部の電圧が低下するのでコンデンサリード線は同様の考慮が必要である。

#### オ. 加熱コイル回路

コイル電流  $I_L$  のとき A 点の電圧およびコイル回路の実効電力  $W$  はつぎようになる。

$$\left. \begin{aligned} W &= I_L^2 (R_L + R_L') \\ V_A &= I_L (L_L + L_L') \omega \end{aligned} \right\} \dots (11)$$

$R_L'$  は加熱コイルに加熱物を入れたときの実効抵抗である。いまほぼ同じ場所を加熱するときコイルの巻数を変化したばあいについて考慮すると

$$\left. \begin{aligned} R_L' &= N^2 R_{L'}' \quad (R_{L'}' \text{ は 1 ターンコイルの入力抵抗, } N \text{ は巻数}) \\ L_L' &= N^2 L_{L'}' \quad (L_{L'}' \text{ は 1 ターンコイルの入力インダクタンス}) \end{aligned} \right\}$$

実効電力  $W$  は

$$W = \frac{V_A^2 R_L'}{(L_L + L_L')^2 \omega^2} = \frac{V_A^2 N^2 R_{L'}'}{(L_L + N^2 L_{L'}')^2 \omega^2} \dots (12)$$

$L_{L'}', R_{L'}'$  を一定として  $W$  が最大なるための  $N$  の値は、(12) 式より  $\frac{\partial W}{\partial N} = 0$  を満足する値を求めればよい。

これを計算すると

$$L_L = N^2 L_{L'}' \quad N = \sqrt{\frac{L_L}{L_{L'}'}} \dots (13)$$

そのときの  $W$  は

$$W = \frac{V_A R_L'}{4 L_{L'}'^2 \omega^2} \dots (14)$$

(13) 式 (14) 式よりコイルの入力インダクタンスが、リード線のインダクタンスに等しいような巻数のとき最大電力が得られることになる。

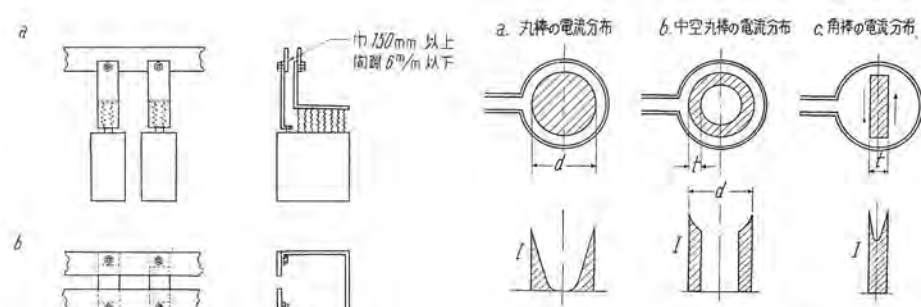
銅など非磁性金属を加熱するときは十分な電力を MG より引き出すことができぬばあいが起り、かかるときは上記のような条件を満たすようにコイルの設計を考慮するを要す。

鋼の焼入などのばあいはその導磁率、抵抗が大であるので上記のような特別な注意をばあわずとも所定の電力を得るばあいが多い。

### 3. 周波数および必要電力の計算方法

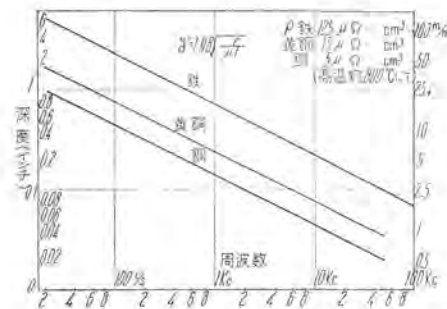
#### ア. 最低周波数の計算

4 図 a. のような丸棒にコイルを巻いて高周波電流を流すと、丸棒には図のような電流が誘導される。このと



4 図 高周波電流分布図

Fig. 4. High frequency current distribution.



5 図 周波数と電流深度

Fig. 5. Relations between frequency and depth of penetration.

き表面より  $x$  cm の所の電流を  $I_x$  とすれば

$$\left. \begin{aligned} I_x &= I_0 e^{-\frac{x}{\delta}} \\ \delta &= 1.98 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \end{aligned} \right\} \dots (15)$$

ただし  $I_0$  表面の電流 A

$\rho$  丸棒の抵抗  $\mu\Omega$  cm

$\mu$  丸棒の実効導磁率

$\delta$  電流深度 (depth of penetration) inches

(15) 式より明かなように周波数が高くなるにしたがって電流は表面に集中し  $\delta$  は小となる。各種材質の  $f$  と  $\delta$  との関係は 5 図のとおりである。

丸棒の中央部まで加熱するばあいは直径  $d$  と  $\delta$  との比  $d/\delta$  が約 3.5 以上であれば能率はよく、3.5 以下となると急激に能率が低下する。この限界の周波数を最低周波数  $f_m$  とすると (15) 式を入れて

$$f_m = 48 \frac{\rho}{\mu d^2} \text{ c/s} \dots (16)$$

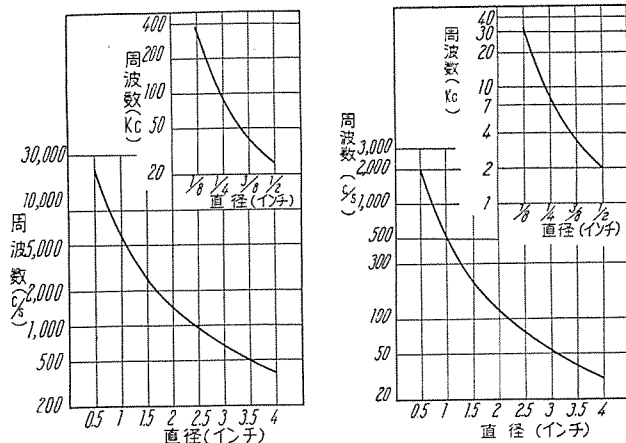
中空丸棒のばあいは、肉厚を  $t$  in とすれば  $\delta'/t \sim 1.4$

1 表 最低周波数  $f_m$  算出表

	非磁性金属	磁性金属
丸棒	$48 \frac{\rho}{d^2} \text{ c/s}$	$0.5 \sqrt{\frac{\rho \mu}{d}} \text{ c/s}$
中空丸棒	$7.85 \frac{\rho}{t^2} \text{ c/s}$	$1.23 \sqrt{\frac{\rho \mu}{t^3}} \text{ c/s}$
角棒	$20.7 \frac{\rho}{t^2} \text{ c/s}$	$0.38 \sqrt{\frac{\rho \mu}{t}} \text{ c/s}$

$\rho$  抵抗  $\mu\Omega$  cm  
 $d$  直径 in  
 $t$  厚さ in  
 $P_0$  電力密度 (加熱物 1 in<sup>3</sup> 当) W/in<sup>3</sup>  
 実効導磁率  $\mu = 28,800/H_0$  として計算した





a.  $\mu f_m = 48 \frac{\rho}{d^2}$   $\rho = 125 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^3$   $\mu = 1$  となるとき

b.  $\mu f_m = 48 \frac{\rho}{d^2}$   $\rho = 10 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^3$   $\mu = 1$  となるとき

6 図 a. b. 丸棒の直径と最小周波数との関係

Fig. 6. a. b. Relations between diameter and minimum frequency.

肉厚  $t$  in の板のばあいは  $\delta/t = 2.5$  となるような周波数が  $f_m$  となる。

これらの結果より磁性金属、非磁性金属の  $f_m$  は 1 表のようになる。

6 図は丸棒の直径と最小周波数との関係を示したものであり、7 図は  $f/f_m$  と能率との関係を示したものである。以上は内部まで一様に加熱するときであるが、表面より  $\Delta$  だけ加熱するようなときは  $\Delta/\delta \geq 0.5$  となるような周波数を選ばないと非常に大きな電力を要することになる。

#### 1. 必要電力の計算方法

全体をある一定の温度まで加熱するに要する電力を計算するには、8 図の熱容量計算図表により必要電力を計算して、9 図、10 図より輻射損、対流損、伝導損を計算してこれに加えて、さらに伝送能率を考慮して発電機の容量を定める。

つぎに一例として直径 3", 肉厚 0.5" の鋼管の先端 3" を 15 秒で 900°C まで加熱するときの必要電力を求める。

このばあいの重量は 3.33 lb, 輻射対流表面積は 42.4 in<sup>2</sup>, 伝導断面積は 3.9 in<sup>2</sup> となるので、8 図より鋼 1 lb, 900°C まで上昇するには 0.08 kWh を要するから

$$3.33 \times 0.08 = 0.267 \text{ kWh}$$

9 図より 900°C における輻射対流損は 60 W/in<sup>2</sup> であるから

$$42.4 \times 0.06 = 2.54 \text{ kW}$$

10 図より伝導損失は 3,100 W/in<sup>2</sup> であるから

$$3.9 \times 3.1 = 12.1 \text{ kW}$$

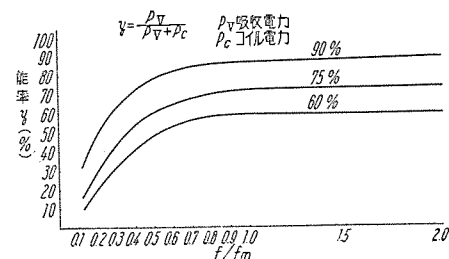
実効電力  $W_{eff}$  kW, 加熱時間  $t$  sec とすれば

$$W_{eff} t = 0.267 \times 3,600 + 2.54 t + 12.1 t$$

$$t = 15 \text{ sec とすれば}$$

$$W_{eff} = \frac{0.267 \times 3,600 + 2.54 \times 15 + 12.1 \times 15}{15} = 79 \text{ kW}$$

7 図  
伝送能率と  
 $f/f_m$  との関係  
Fig. 7.  
Relation between transfer efficiency and  $f/f_m$ .

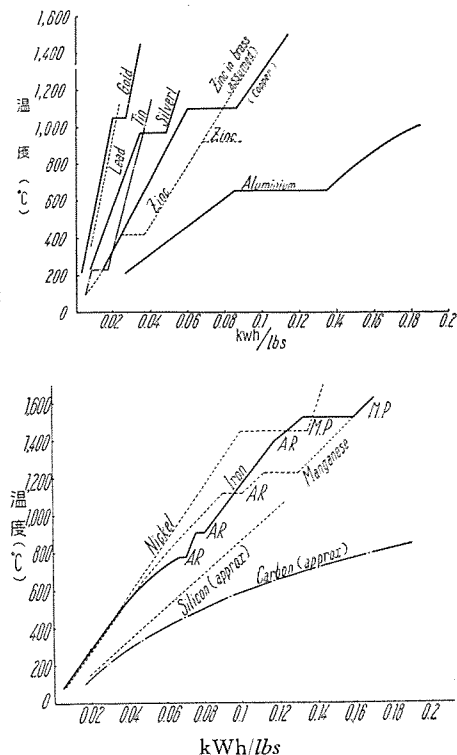


a. 非鉄金属

8 図 a. b.  
各種金属の熱容量計算図表  
various metals.

Fig. 8. a. b.  
Heat capacity of

b. 鉄金属



伝送能率を 60% とすれば必要発電機容量は

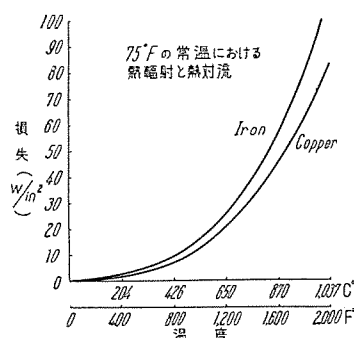
$$\frac{79}{0.6} = 132 \text{ kW}$$

となり 150 kW のものを使用すれば十分である。

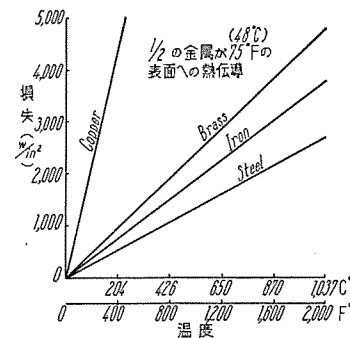
#### 4. 高周波加熱の応用

##### A. 金属の溶解

11 図のような構造の溶解炉に高周波電流を流して、その誘導電流によって溶解する。このばあい図に示すよ



9 図 熱輻射、熱対流の損失曲線  
Fig. 9. Curves of radiation and convection loss.



10 図 熱伝導の損失曲線  
Fig. 10. Curves of conduction loss.

うな溶湯の流れが起り自動攪拌が行われ組成、温度を均一化することができる。

また燃焼炉でのようなガスの影響、アーク炉のような電極材料の混入などはないから高級金属材料の溶解に利用できる。

そのほか温度制御が容易であること、簡単に加炭など組成変更ができるなどの特長がある。

鋼材溶解のばあいの所要時間は 2 表に示す。

2 表 鋼材溶解炉の性能

MG の大きさ (kW)	炉の大きさ (lb)	溶解所要時間 (min)	必要電力 (kW/h/t)	処理量 (lb/h)
50	50	25	850	125
50	100	50	850	125
50	150	75	850	125
50	200	110	850	125
100	100	20	800	300
100	200	35	800	300
100	300	60	800	300
100	500	120	825	300
175	300	35	750	500
175	600	75	750	500
175	1,000	135	775	450
250	600	50	700	750
250	1,000	80	700	750
350	600	35	700	1,000
350	1,000	60	700	1,000
350	2,000	135	725	900
700	1,000	30	675	2,000
700	2,000	60	675	2,000
700	4,000	135	700	1,800
1,250	2,000	30	650	4,000
1,250	4,000	60	650	4,000
1,250	8,000	135	675	3,500

## イ. 鍛 造

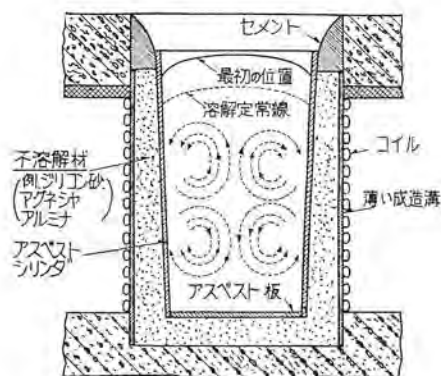
誘導加熱を鍛造に利用するとつぎのような利点がある。

- (1) スケールのでない加熱ができること。
- (2) 必要部分のみ急速に加熱できること。
- (3) 温度分布を一様にでき、かつ温度を自由に制御できること。
- (4) 作業に熟練を要せず容易に再現できること。
- (5) 作業床面積が少く、かつ清潔となる。
- (6) 炉の予熱など不要で必要時に働かせられること。
- (7) アブセット機などの鍛造機などと組合せて作業工程を合理的に設置できること。

以上のような特長があり、品物の直径と加熱の最小時間との関係は 3 表のようになる。

## ウ. 表面焼入

誘導加熱を表面焼入に利用するとつぎのような利点がある。



11 図 溶解炉の断面図

Fig. 11. Sectional view of an induction furnace.

3 表 鍛造における加熱物直径と最小加熱時間

直 径 (in)	最少加熱時間 (sec)
1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	8
1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	20
3	110
5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	420

(1) 耐磨耗に必要な表面層のみ硬化させ内部に強靱な部分を残すことができるので、高価な特殊鋼に代って炭素鋼が利用できる。

(2) 硬化層の厚さを任意に変えることができる。

(3) 加熱時間が短いので、作業行程が便利となり他の自動機器と併用すると品質を均一化できまたコストを低下させる。

使用する周波数、電力などは、焼入材の材質、硬化深度、大きさ、形状などにより適当に選択せねばならない。

硬化深度 0.03~0.09 in のときは 500 kc/s,

0.08~0.12 in のときは 10,000 c/s,

0.1~0.25 in のときは 3,000 c/s

程度の周波数を用いるのが適当である。また同じ周波数でも電力密度を大として加熱時間を短くすると硬化深度は小となり、逆に小電力密度で長時間加熱すると硬化深度は大となる。4 表は 1/2 in の鋼材を 500 kc, 10 kc, 3 kc の 3 種類の周波数で電力密度を 5, 10, 15 kW/in<sup>2</sup> にし

4 表 表面焼入の周波数、電力密度、硬化深度の関係

周波数 (kc/s)	電力密度 (kW/in <sup>2</sup> )	組織変化した深さ (in)	R=50 の深さ (in)	加 熱 時 間 (sec)
500	5	0.126	0.016	10.5
500	10	0.063	0.057	3.5
10	5	0.152	0.125	7.6
10	10	0.125	0.104	2.6
10	15	0.109	0.094	1.4
3	5	0.178	0.143	6.4
3	10	0.157	0.114	3.3
3	15	0.148	0.110	2.5

材質 SAE-1045 をアニールしたもの

5 表 用 途 別 最 適 周 波 数 表

用 途	仕 様	25~60 c/s	使 用 1,000 c/s	周 波 数 3,000 c/s	10,000 c/s	100~500 kc/s
溶 解	1lb~30lb	—	—	B	B	B
	30lb~300lb	—	B	A	B	—
	300lb~4t	—	A	B	—	—
鍛 造 (鉄, 鋼)	1/4"~1/2" 直径	—	—	—	C	A
	1/2"~1" "	—	—	C	A	B
	1"~2" "	—	C	A	A	C
	2" 以上 "	—	A	B	C	—
全 体 加 熱 (鉄, 鋼)	薄肉厚の管	—	—	—	B	A
	1/16"~1/4" 直径	—	—	—	—	A
	1/4"~1/2" "	—	—	—	B	A
	1/2"~1" "	—	—	B	A	B
	1"~2" "	—	B	A	A	—
	2" 以上 "	—	A	B	C	—
表 面 焼 入	硬化層 0.025"~0.05" 凹凸なし 3/16" 以上	—	—	—	—	A
	" あり 1/16" 以上	—	—	—	—	B
	硬化層 0.05"~0.10" 凹凸なし 1/2" 以上	—	—	—	C-B	A
	" あり 1/2" 以上	—	—	—	C	B
	硬化層 0.10"~0.15" 凹凸なし 1/2" 以上	—	—	C-B	A	—
	" あり 3/4" 以上	—	—	C	B	—
ギヤ歯の全面焼入	1~10 D. P	—	—	—	A	—
	1~5 D. P	—	—	A	A	—
	10~64 D. P	—	—	—	—	A
ギヤ歯の表面焼入	10,000 c/s で処熱する	—	—	—	—	A
鐵 付	1/16" 以下の2枚の薄い断面の鐵付 アルミニウム 黄銅 銅 鋼 ステンレス	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	B
		—	—	—	—	C
		—	—	—	A	A
		—	—	—	—	B
		—	—	—	—	—
	薄板と厚板との鐵付 アルミニウム 黄銅 銅 鋼 ステンレス	—	—	—	—	—
		—	—	—	B	B
		—	—	—	C	C
		—	—	A	A	A
		—	—	—	B	B
		—	—	—	—	—
	厚板の鐵付 アルミニウム 黄銅 銅 鋼 ステンレス	—	—	—	—	—
		—	—	—	B	B
		—	—	—	C	C
		—	—	A	A	A
		—	—	—	B	B
		—	—	—	—	—
そ の 他 の 応 用	グラフィドの加熱	—	A	A	A	C
	真空管のガス抜き応用	—	—	—	—	A
	磁性金属の薄板の加熱	—	—	—	B	A
	アニールリング	A	B	B	B	B
備 考	A	きわめて適当である				
	B	適当である				
	C	可能である				

たときの硬化深度を示したものである。

## エ. 鐵 付

誘導加熱により鐵付すれば鐵付必要部分のみ短時間で加熱できるので、スケールの発生、変形などが生ぜず理想的な鐵付が熟練を要せず可能となる。

またとくに表面硬化が問題となるようなときは不活性ガス炉の中で誘導加熱すればぜんぜん酸化の心配はない。

応用例としてはバイトのチップ、自転車のフレーム、など一般機械に広く利用され、当社においては 150 kW, 10,000 c/s の発電機で誘導電動機のエンドリングの鐵付を実施して良好な成績を収めている。

## オ. 各種応用の周波数選択表

以上記述した各種の応用につき、適当な周波数は 5 表のとおりである。

## 5. む す び

MG 式高周波誘導加熱装置の負荷調整方法、使用目的に応じた周波数、電力の選択方法につき記述したが、誘導加熱装置を利用するにあたってはまず以上の結果を十分に参照して適正なる周波数、電力を定め、つぎにもっとも能率のよいように負荷回路を調整することにより、最大の効果を収めることができる。



## 鑄鉄鑄物組織の研究 第6報

## イソライト型使用の場合の組織に及ぼす酸素量と冷速の関連性

名古屋製作所 鈴木 一郎\*

## Study on the Structure of Cast Iron. Part 6

## Mutual Effect of Oxygen Content and Cooling Velocity on the Structure When Isolite Moulds are Used

Nagoya Works Ichiro SUZUKI

There is a rare case in which casting of extremely large volume is to be made. In another words, it means casting of very low cooling velocity is to be produced. In connection with it, changes of structure has been studied according to the writer's conception by treating cast iron having a composition of C 3.11 %, Si 1.11 %, Mn 0.65 %, P 0.090 % and S 0.018 % with two kinds of reducing and oxidizing slag. Three kinds of melts, each slightly differing in its oxygen content, were cast in Isolite moulds. Three kinds of test pieces have been given microscopic investigation to prove that some thing unusual from the conventional concept occurs in this condition.

## 1. ま え が き

第1, 2報においては現場においてつねに経験する冷却速度範囲における鑄鉄組織に及ぼす酸素と冷却速度の相互関連性について報告したのであるが、ごくまれには特別の目的のために著しく体積の大きい、いい換えれば、著しく冷却速度の小さい鑄物を製作する場合がある。したがってかような冷却速度の遅い場合、組織がどのように変化するかを本報告で調べることにした。なおかような著しい徐冷実験を行って組織を調べたのは、つぎの目的もあった。すなわち、第1, 2報において実験に供した組成範囲の鑄鉄には、逆転現象（逆チルを含む）の存在することを新たに確認したのである。それは一般合金においては、冷速が小となるほど結晶が大となるのであるが、単鉄組織における黒鉛結晶においては、ある冷速まではこのような傾向を示すが、さらに冷速が小となるとかえって結晶が小さくなる現象のことである。第1, 2報より冷速の小さい場合にこの逆転現象がどのようになるかは、現象の原因を検討する上において必要であるからである。

上述のごとく、本研究のねらいとするところは組織に対する酸素量と冷速の影響が、冷速範囲の相違によりいかように変化するかを明らかにすることを目的にするので、組成においては第1, 2報とほとんど変りのない組成を選び、冷却速度を著しく小ならしめる目的で、鑄型材料としてはイソライトを使用することにした。

## 2. 実験条件

実験方法、すなわち溶解方法、成分調整法、脱酸素および加酸素の方法、鑄造法、鑄型の内側寸法などはすべて第1報と同じであるが、鑄型材料のみは前諸報とはまったく異なりイソライトを使用し、かつ鑄型外壁および

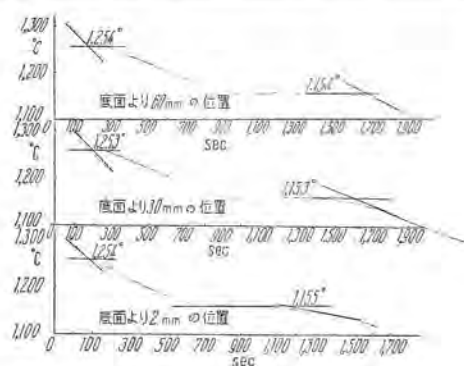
底の厚さはすべて63 mmとした。（冷し金使用せず）また、後述するように組織の対比の必要上第2報と同一の乾燥油砂鑄型鑄造試験片も作った。

溶湯の組成は前記理由に基いて第1, 2報とほとんど同じとみなされる1表に示されているものを選んだ。（Pのみは0.02%ほど多い）。表中の $a_s$ , A,  $b_s$ の記号は前記諸報と同様に酸素含有量の程度を示すものである。

インゴットの作成には、鑄型内側寸法は前記諸報とまったく同じであるが、外側寸法が異なり、かつ型材としてはイソライトを使用した。このイソライト型中の溶湯各部の冷却曲線を酸素含量A級のものについてとった。これを1図に示す。これから算出された冷却速度は2表に示すごとくである。対照用に作った乾燥油砂鑄型は第

1表 試験片の組成

成分 \ 処理	$a_s$	A	$b_s$
C	3.05	3.11	3.00
Si	1.07	1.11	1.03
Mn	0.70	0.65	0.65
P	0.084	0.090	0.090
S	0.015	0.018	0.017



1図 底面より2, 30, 60 mmの位置における冷却曲線  
Fig. 1. Cooling curve at the position of 2, 30 and 60 mm from bottom of ingot.

\* 工作部鑄造課長

2 表 A 試験片各部における初晶および共晶の晶出温度，ならびに冷却速度

位置	初晶晶出温度 $\alpha(^{\circ}\text{C})$	凝固終了温度 $\beta(^{\circ}\text{C})$	凝固所要時間 $\gamma(\text{sec})$	冷却速度 $\frac{\alpha-\beta}{\gamma} \times 60 (^{\circ}\text{C}/\text{min})$
2 mm	1,254	1,155	1,075	5.5
30	1,253	1,153	1,400	4.3
60	1,254	1,154	1,500	4.0

2 報とまったく同様であるから，組成上の微量の差異からくる影響を無視しうるものとすれば，その冷却曲線，冷却速度図は，ほぼ第2報のそれとみなすことができる。

1 図に示す冷却曲線上，初晶晶出までの曲線の傾斜は溶湯が均一融体のまま冷却された割合，すなわち，インゴットの中心線上底面より 2, 30, 60 mm の3箇所における湯に対して，鑄型の脱熱効果を示しているものであるが，これを第2報1図に示す冷却曲線に見られる初晶晶出までの傾きと比較するならば，明らかに著しく小さい傾きを示している。すなわち，イソライト型の脱熱効果は乾燥油砂鑄型のそれに比して著しく小さいことを示している。つぎに，1 図に示す冷却曲線上，初晶晶出開始より共晶晶出開始までの経過時間，共晶晶出開始より共晶終了までの経過時間，およびそれらの合計の経過時間を第2報1図と比較するならば，いずれも著しく大となっており，結果として冷却速度の表現法を第1, 2報と同様にして示すならば，2 表に示すようになり，第1, 2報の冷却速度に比較して著しく小さくなったことを示している。また，1 図における共晶晶出完了後の曲線の傾きを第2報1図の共晶晶出完了後の曲線の傾きと比較してみれば，その傾斜は著しく小さい，すなわち凝固完了後の冷却速度も著しく小さくなっていることを示している。また，インゴットの中心線上の各位置における冷却速度を示す2図と第2報の2図とを比較してみるならば，前者において底面より 2 mm の位置と，60 mm の位置の冷速の差はわずかに  $1.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  に過ぎないが，後者の場合は  $14^{\circ}\text{C}/\text{min}$  となっている。

上記，鑄型の条件を総括するならば，イソライト型は乾燥油砂鑄型に比較して，初晶晶出までの脱熱効果も，初晶晶出より共晶晶出完了までの冷却速度も，共晶晶出終了後の冷却曲線の傾斜も，鑄型に接している箇所と中心部との冷却速度の差も，前者が後者より著しく小さく，全体として，イソライト型は乾燥油砂鑄型に比し鑄込後の冷却の仕方が著しく小さいことを示している。

上記のごとき差異のある乾燥油砂鑄型とイソライト型に，その他の条件は第2報とまったく同一にして，鑄造して得られたインゴットについて，その中心線上で底面から 0, 30, 60 mm の各位置の検鏡写真を 3, 4 図に示す。すなわち，これが本実験の結果である。

イソライト型使用の場合の組織に及ぼす酸素量と冷速の関連性・鈴木

### 3. 結果とその考察

3, 4 図に示す組織を第3報とまったく同様に分類区分することとする。すなわち，

$U$ : 初晶と黒鉛共

晶よりなるものを指す。共晶の2相が小

さく共存していれば，その部分のみを見れば共晶であることがわかる。

$U_F$ :  $U$  の中で，太長い黒鉛が彎曲度少なくフレキ状のものを指す。この場合，初晶部分と共晶部分と区別しうるもの。

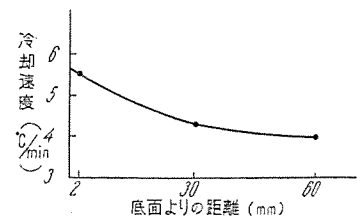
$F_U$ :  $U_F$  より初晶部分が不明瞭ではあるが  $F$  とは見難いもの。

$F$ : フレーキ状黒鉛の分布が初晶を初晶らしく見せていないもの。

$L+U$ : レーデブライト共晶組織  $L$  と  $U$  の混合組織。

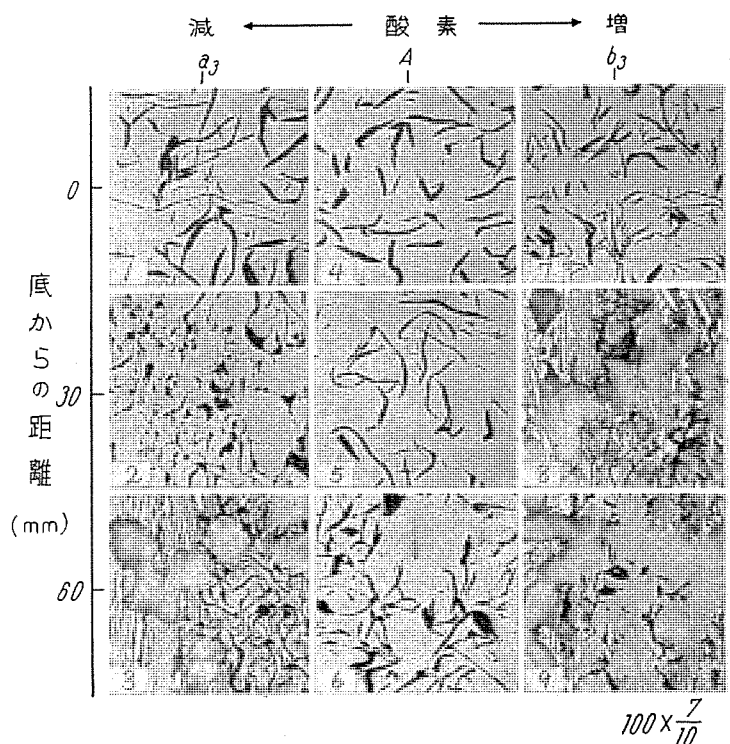
#### ア. 乾燥油砂鑄型試験片の組織分類

上記のような組織分類にしたがって，3 図の顕微鏡写真図を分類すると，5 図のようになる。A 系において写真 No. 4 は  $F$  であり，No. 5 は  $F_U$ ，No. 6 は  $U_F$  で逆転現象が明瞭に見られる。A 系より微量酸素の少ない  $a_3$  系においては，写真 No. 1 は  $F$  または  $F_U$  と見られ，No. 2 は  $U_F$ ，No. 3 は  $L+U$  であり逆転現象が



2 図 冷速対距離図

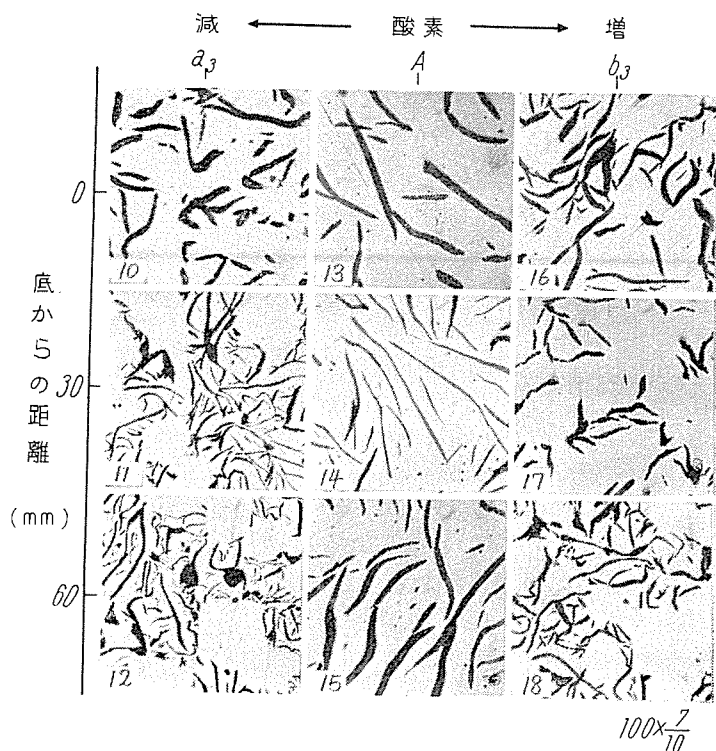
Fig. 2. Curve of cooling velocity versus distance of melt from bottom of ingot.



3 図 酸素と冷却速度による変化組織（乾燥油砂型）

Fig. 3. Change of micro-structure with oxygen and cooling velocity. (dry oil sand mould)





4 図 酸素と冷却速度による変化組織 (イソライト型)

Fig. 4. Change of micro-structure with oxygen and cooling velocity (isolate mould)

処理 距離	$a_3$	A	$b_3$
0 mm	$F_{or} F_u$ 1	F 4	$F_u$ 7
30	$U_F$ 2	$F_u$ 5	$L+U$ 8
60	$L+U$ 3	$U_F$ 6	$L+U$ 9

5 図 乾燥油砂型試験片の組織分布図

Fig. 5. Structure diagram of oil sand mould test pieces.

処理 距離	$a_3$	A	$b_3$
0 mm	F 10	F 13	$F_u$ 16
30	$U_F$ 11	F 14	$F_u$ 17
60	$U_F$ 12	F 15	$U_F$ 18

6 図 イソライト型試験片の組織

Fig. 6. Structure diagram of isolate mould test pieces.

見られる。A 系より微量酸素の多い  $b_3$  系においては、写真 No. 7 は  $F_u$  であり、No. 8, No. 9 ともに  $L+U$  で逆転現象が見られ、全体として変化組織の傾向はまったく第2報同様で、特筆すべきことがらは見当らない。

#### イ. イソライト型試験片の組織分類

A と同様に4図の顕微鏡写真を分類すると6図のようになる。すなわち、A 系においては写真 No. 13, 14, 15 ともに F であるが、詳細に黒鉛の分布状態を見るならば、No. 13 の黒鉛の均等な分布に比較して、No. 14, No. 15 はともに多少凝集気味である。すなわち、逆転気味と見ることができる。A 系より微量酸素の少ない  $a_3$  系においては、写真 No. 10 は F であるが、No. 11, No. 12 共に  $U_F$  で、明らかに逆転現象を示している。A 系より微量酸素の多い  $b_3$  系においては、写真 No. 16 は  $F_u$

であり、No. 17 も  $F_u$ 、No. 18 は  $U_F$  であり、 $a_3$  系ほど明瞭ではないがやはり逆転している。すなわち、このように冷却速度の著しく遅い場合にも逆転現象の起ることを示している。

#### ウ. 乾燥油砂型試験片組織とイソライト型試験片組織の比較

まず黒鉛の形状を比較してみる。乾燥油砂型 A 級試験片の写真 No. 4, 5, 6 とイソライト型 A 級試験片の写真 No. 13, 14, 15 とにおいて、同じ位置の組織の黒鉛の形状を比較してみると、明らかにイソライト型の方が太長いか、細長く大きくなっていることがわかる。 $a_3$ ,  $b_3$  級の比較においても A 級ほど著しくはないが、同じ傾向が明らかに見られる。この事実から本実験に供した程度の化学組成を有する鑄鉄の黒鉛形状は、その冷却速度  $4.0 \sim 5.5^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合には冷却速度  $10 \sim 24^\circ\text{C}/\text{min}$  の場合に比較して著しく大きくなると結論される。このことは同一組成の鑄鉄においては冷却速度が大となれば黒鉛の形状は小さくなり、逆に冷却速度が

小となれば黒鉛の形状が大となる一般通念と同じである。ただし、この事柄は比較すべき2つの試験片各部の冷却速度の平均値の比較においていいうことで、個々の試験片内の組織については前諸報において明らかにしたように逆転現象を伴うものである。

つぎに逆転現象 (逆チルも含む) を観察してみる。乾燥油砂型 A 級試験片には逆転現象が明らかに認められるが、イソライト型 A 級試験片においては前述したように、わずかに逆転気味が認められるのみである。乾燥油砂型  $a_3$  級および  $b_3$  級試験片には逆チルが認められるが、イソライト型  $a_3$  級および  $b_3$  級試験片には、逆転はしているがチルはまったく認められない。このことからは、イソライト型のように著しく冷却速度の小さい場合には、逆転はするが逆チルは現れ難いことを示している。これらのことからは著しく遅い冷却速度範囲においては逆転現象の現れ難くなる傾向を示している。著者は前論文第2報において、組織の逆転から正常化への復帰について述べておいたが、本報告のイソライト型試験片に見られる逆転現象の現れ難くなることがらと、なんらかの関連があるように思考されるのではあるが、第2報の冷却速度範囲は  $10 \sim 24^\circ\text{C}/\text{min}$  で、イソライト型の冷却速度範囲は  $4 \sim 5.5^\circ\text{C}/\text{min}$  であり、冷却速度のみからみても断点ができており、実験資料の不十分な現在においてはなんとも推論を下すことはできない。このことについては後日報告する機会を得たく考えている。

終りに臨み、終始ご指導を戴いた岩瀬教授に厚く感謝の意を表し、また実験に協力下さった本社星野技師、今井技師、小川技手に感謝の意を表す。

## 電鉄事故時の選択遮断装置の改良 (続)

本社 迎 久 雄\*

## Improvement on Selective Protective Devices of Faults of Electric Railroad Circuits (Continued)

Head Office Hisao MUKAE

To elevate the selective sensitivity of the selective protective device for arcing faults, Mitsubishi has built a new removing device of noises in ordinary times occurring on feeder lines. Experimental results obtained at a certain section of the National Railways were very satisfactory, but seemingly different records were observed in other section, which induced more elaborate tests to make clear the real causes of these discrepancies. The results were successful to prove that the new device works all right and dubious points were due to some misapprehensions.

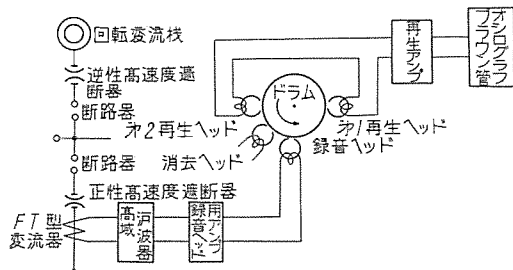
## 1. ま え が き

さきに「電鉄事故時の選択遮断装置の改良」によってご報告申し上げたとおり<sup>(1),(2)</sup>, 三菱電機では電弧型事故選択遮断装置の選択感度を高めるために, 新装置として, 饋電線に発生している常時雑音の除去装置を作成, 東鉄大船変電区において常時雑音除去特性の実測を行い, 良好な成績を取めたが, そのときの記録で, 湘南電車負荷の場合, 他の負荷に比べて除去しがたい雑音が多い傾向が認められたので, これを検討するため, 東鉄のご好意により, 同一条件の下で横須賀線電車, 湘南電車および電気機関車牽引列車負荷の得られる横浜変電区において, 大船変電区で行ったと同様に, 常時雑音除去特性の実測を行った。

その結果, 本装置はいずれの負荷に対しても, 同じように良好な成績を示すことが確認されたので, ここに続報としてご報告する次第である。

## 2. 実 測 結 果

- (1) 日 時 昭和 32 年 2 月 1 日 (金)
- (2) 場 所 国鉄横浜変電区機械室
- (3) 使 用 装 置
  - a. FT 型選択遮断装置
  - b. 雑音除去装置機構部および増幅部



1 図 測定回路

Fig. 1. Measurement circuit.

- c. ブラウン管オシログラフおよび波形記録装置
- (4) 測 定 回 路

1 図のとおり

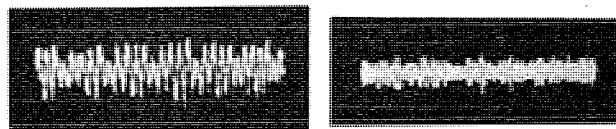
- (5) 実 測 項 目

- a. 横須賀線電車負荷雑音除去効果記録
- b. 湘南電車負荷雑音除去効果記録
- c. 電気機関車牽引列車 (旅客用) 負荷雑音除去効果記録

- (6) 測定記録整理結果

FT 型選択遮断装置を東海道本線下り横浜～戸塚間 (客-13) に入れ, おもに横浜駅発車時の負荷電流変動について観測した。

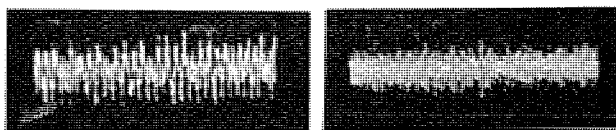
## ア. 横須賀線電車 (7 両編成)



不除去 (I) 12 Not eliminated. 除去 (i) 4.5 Eliminated.  
(1) 負荷電流 0 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 4.5/12 = 37.5\%$$

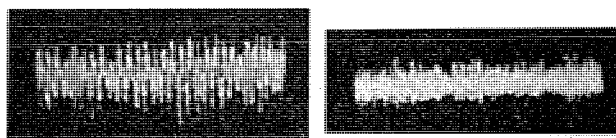
$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 62.5\%$$



不除去 (I) 15 Not eliminated. 除去 (i) 6 Eliminated.  
(2) 負荷電流 500 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 6/15 = 40\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 60\%$$



不除去 (I) 15 Not eliminated. 除去 (i) 5 Eliminated.  
(3) 負荷電流 700 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 5/15 = 33.3\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 66.7\%$$



不除去 ( $I$ ) 13 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 6 Eliminated.  
(4) 負荷電流 800 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 6/13 = 46\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 54\%$$



不除去 ( $I$ ) 16 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 4 Eliminated.  
(2) 負荷電流 1,000 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 4/16 = 25\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 75\%$$



不除去 ( $I$ ) 14 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 6 Eliminated.  
(5) 負荷電流 1,000 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 6/14 = 42.9\%$$

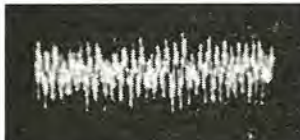
$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 57.1\%$$



不除去 ( $I$ ) 11 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 6 Eliminated.  
(3) 負荷電流 1,100 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 6/11 = 54.5\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 45.5\%$$



不除去 ( $I$ ) 15 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 5.5 Eliminated.  
(6) 負荷電流 1,100 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 5.5/15 = 36.6\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 63.4\%$$



不除去 ( $I$ ) 12 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 6 Eliminated.  
(4) 負荷電流 1,200 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 6/12 = 50\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 50\%$$



不除去 ( $I$ ) 14 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 5 Eliminated.  
(7) 負荷電流 1,200 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 5/14 = 35.6\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 64.4\%$$



不除去 ( $I$ ) 12 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 4 Eliminated.  
(5) 負荷電流 1,300 A

$$\text{雑音減少率} = 4/12 = 33.3\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 66.7\%$$



不除去 ( $I$ ) 15 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 6 Eliminated.  
(8) 負荷電流 1,300 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 6/15 = 40\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 60\%$$



不除去 ( $I$ ) 14 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 5 Eliminated.  
(6) 負荷電流 1,800 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 5/14 = 35.7\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 64.3\%$$



(除去時の記録なし)

不除去 ( $I$ ) 14 Not eliminated.  
(9) 負荷電流 2,000 A



不除去 ( $I$ ) 13 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 7 Eliminated.  
(7) 負荷電流 2,000 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 7/13 = 53.8\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 46.2\%$$

# 1. 湘南電車 (11 両編成)



不除去 ( $I$ ) 17 Not eliminated. 除去 ( $i$ ) 5 Eliminated.  
(1) 負荷電流 0 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 5/17 = 29.4\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 70.6\%$$

不除去  
(8) 負荷電流 2,500 A

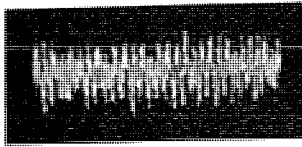
(不除去時の記録なし)



除去 ( $i$ ) 5 Eliminated.



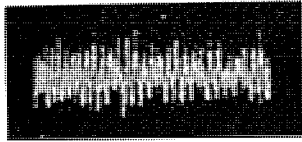
## ウ. 列車



不除去 (I) 12 Not eliminated. 除去 (i) 3 Eliminated.  
(1) 負荷電流 0 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 3/12 = 25\%$$

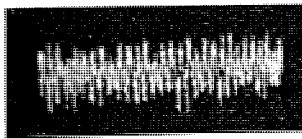
$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 75\%$$



不除去 (I) 14 Not eliminated. 除去 (i) 3 Eliminated.  
(2) 負荷電流 100 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 3/14 = 21.4\%$$

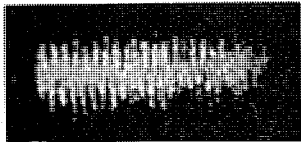
$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 78.6\%$$



不除去 (I) 14 Not eliminated. 除去 (i) 3 Eliminated.  
(3) 負荷電流 300 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 3/14 = 21.4\%$$

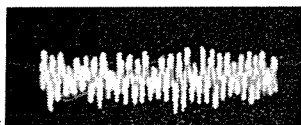
$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 78.6\%$$



不除去 (I) 14 Not eliminated. 除去 (i) 4 Eliminated.  
(4) 負荷電流 500 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 4/14 = 28.5\%$$

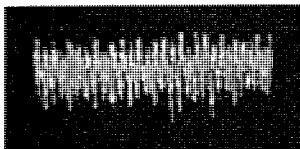
$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 71.5\%$$



不除去 (I) 14 Not eliminated. 除去 (i) 3 Eliminated.  
(5) 負荷電流 800 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 21.4\%$$

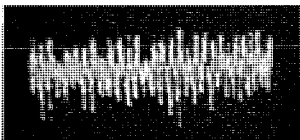
$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 78.6\%$$



不除去 (I) 14 Not eliminated. 除去 (i) 3 Eliminated.  
(6) 負荷電流 1,000 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 3/14 = 21.4\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 78.6\%$$

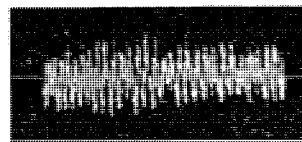


不除去 (I) 16 Not eliminated. 除去 (i) 5 Eliminated.  
(7) 負荷電流 1,200 A

$$\text{雑音減少率} = i/I = 5/16 = 31.2\%$$

$$\text{雑音除去率} = (I-i)/I = 68.8\%$$

電鉄事故時の選択遮断装置の改良(続)・迎



不除去 (I) 14 Not eliminated. 不除去 (I) 12 Not eliminated.  
(8) 負荷電流 1,500 A (9) 負荷電流 2,100 A

注 1. 雑音減少率および雑音除去率を求めた数値は、ブラウン管オシログラフ波形記録写真の振幅の最大値をスケールで測った長さである。  
注 2. 測定条件は、試験中一定としてある。

以上の結果をまとめると、1 表～3 表となりこれをグラフに表わせば、2 図～4 図となる。

1 表 横須賀線電車負荷における雑音除去効果整理結果  
32-2-1

負荷電流 (A)	雑音減少率 (%) $i/I$	雑音除去率 (%) $(I-i)/I$	備 考
0	37.5	62.5	東海道本線客-13 にて測定
500	40.0	60.0	
700	33.3	66.7	
800	46.0	54.0	
1,000	42.9	57.1	
1,100	36.6	63.4	
1,200	35.6	64.4	
1,300	40.0	60.0	

2 表 湘南電車負荷における雑音除去効果整理結果  
32-2-1

負荷電流 (A)	雑音減少率 (%) $i/I$	雑音除去率 (%) $(I-i)/I$	備 考
0	29.4	70.6	東海道本線客-13 にて測定
1,000	25.0	75.0	
1,100	54.5	45.5	
1,200	50.0	50.0	
1,300	33.3	66.7	
1,800	35.7	64.3	
2,000	53.8	46.2	

3 表 列車負荷における雑音除去効果整理結果  
32-2-1

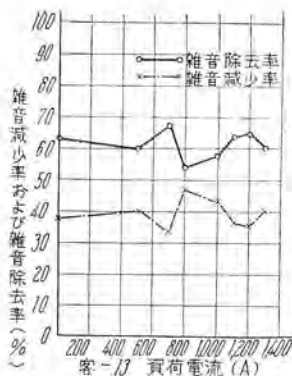
負荷電流 (A)	雑音減少率 (%) $i/I$	雑音除去率 (%) $(I-i)/I$	備 考
0	25.0	75.0	東海道本線客-13 にて測定
100	21.4	78.6	
300	21.4	78.6	
500	28.5	71.5	
800	21.4	78.6	
1,000	21.4	78.6	
1,200	31.2	68.8	

4 表 横須賀線電車負荷における発振性雑音と共振性雑音の割合  
32-2-1

負荷電流 (A)	共振性雑音 (%) $N_r$	発振性雑音 (%) $N_o$
0	81.2	18.8
500	80.0	20.0
700	83.3	16.7
800	77.0	23.0
1,000	78.6	21.4
1,100	81.7	18.3
1,200	82.1	17.9
1,300	80.0	20.0

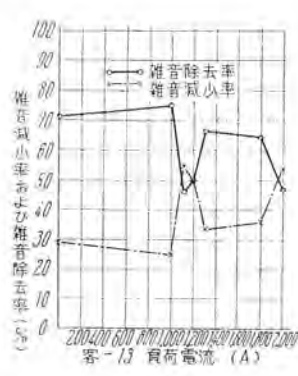
## エ. 発振性雑音と共振性雑音の分離

三菱電機. Vol. 31. 4 月臨時増刊“電鉄事故時の選択遮断装置の改良” 6. 実測結果の解析に述べた方法により、負荷種類別に発振性雑音と共振雑音を分離すれば、4~6 表となり、グラフに示せば 5~7 図となる。



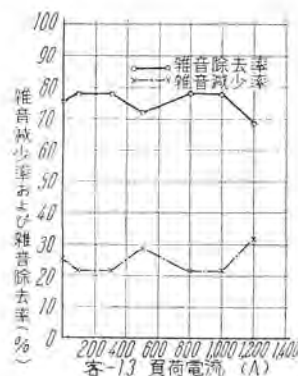
2 図 横須賀線電車負荷における雑音除去効果

Fig. 2. Effects of noise removing at 7 car load.



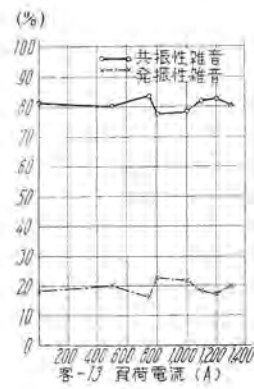
3 図 湘南電車負荷における雑音除去効果

Fig. 3. Effects of noise removing at 11 car load.



4 図 列車負荷に於ける雑音除去効果

Fig. 4. Effect of noise removing at train load.



5 図 横須賀線電車負荷における発振性雑音と共振性雑音の割合

Fig. 5. Ratio of oscillating noise to resonance noise at 7 car load.

5 表 湘南電車負荷における発振性雑音と共振性雑音の割合

32-2-1

負荷電流 (A)	共振性雑音 (%) Nr	発振性雑音 (%) No
0	85.3	14.7
1,000	87.5	12.5
1,100	72.7	27.3
1,200	75.0	25.0
1,300	83.0	16.7
1,800	82.1	17.9
2,000	73.1	26.9

6 表 列車負荷における発振性雑音と共振性雑音の割合

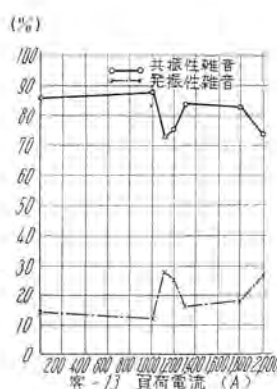
32-2-1

負荷電流 (A)	共振性雑音 (%) Nr	発振性雑音 (%) No
0	87.5	12.5
100	89.3	10.7
300	89.3	10.7
500	85.7	14.3
800	89.3	10.7
1,000	89.3	10.7
1,200	84.4	15.6

### 3. む す び

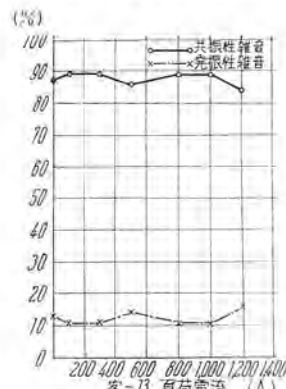
各種負荷が同一条件の下で測定できる横浜変電区を選んで、各種負荷種別ごとに測定した常時雑音除去特性は以上のごとくであるが、これによって、湘南電車負荷でもどの負荷の場合でも雑音除去性能には大差なく、よく常時雑音を抑えうることが明らかとなった。さきの、大船変電区における実測記録では、大船変電区の整流電源が水銀整流器であったために、6 相転流時のアークで大きな雑音が発生していたが、今回の横浜変電区の記録は、横浜変電区の整流電源が回転変流器のため、この6 相転流時の雑音は発生していない。したがって、一見雑音除去率は大船の場合に比し悪いように見えるが、平均 60~70% に達しており、常時雑音のうち 80% に及ぶ発振性雑音を除去していることがわかる。

本装置を通した後、残る雑音は、回転変流器の整流子面に発生する小電弧によるものと、その饋電区間内の負荷列車の発生する雑音による、かなり不規則な雑音成分であろうと思われる。横須賀線電車の場合は 7 両編成で 700~800 A 付近に、また湘南電車の場合は、11 両編成で 1,100 A 付近に、雑音除去率の低下する部分、すなわち、電源と高調波関係のないアーク性の雑音が増加す



6 図 湘南電車負荷における発振性雑音と共振性雑音の割合

Fig. 6. Ratio of oscillating noise to resonance noise at 11 car load.



7 図 列車負荷における発振性雑音と共振性雑音の割合

Fig. 7. Ratio of oscillating noise to resonance noise at train load.

る部分がある。

これは、検討してみると大抵シリースノッチからパラノッチへの切換え時に当り、この主回路つなぎ変更時に異常雑音が発生することがわかる。さらに、横須賀線電車と湘南電車とでは、シリースノッチからパラノッチへの切換え方式が異なるか、湘南電車の方が雑音が多く発生する。

また、湘南電車に限りきわめて大きな負荷電流が流れ、横須賀線電車および列車負荷では、1,400 A 程度の負荷電流であるに対し、2,500~3,000 A 流れることがわかった。

2,000 A 以上の負荷電流が流れると、発振性雑音が増加する傾向を示している。

常時雑音除去装置がきわめてよく理論どおりに動作し、常時雑音を除去することは、大船変電区より横浜変電区における実測の結果明らかとなった。

終りに臨み、本実測に当り、種々協力を賜った村山横濱変電区長、藤原助役以下横浜変電区員の方々ならびに本社電鉄部大河原囑託、田淵技師の諸氏に対し、深甚なる謝意を表する次第ある。

### 文 献

- (1) 迎・田淵・木村; 電学誌 77, 387 (昭 32).
- (2) 迎; 三菱電機 Vol. 31, 4 臨時増刊, 44 (昭 32).



### 第3章 ウォーターボイラ

#### 1. ま え が き

第2章において濃縮ウランを燃料とし、減速材、冷却材および反射材として軽水をもちいるスウィミングプール型の原子炉についてのべたが、本章では大学、研究所における研究用、原子炉運転の訓練用につかわれるウォーターボイラ（以下WBと略す）型原子炉についてのべる。この型の原子炉は濃縮ウランを燃料とし、軽水を減速材とするが、燃料と減速材とが一緒に混っているいわゆる均質型原子炉である点是非均質型のスウィミングプール型と本質的にことなる。

この型の最初のものは1944年5月、ロスアラモスの研究所で運転をはじめた。炉心容器は直径1'のステンレススチールの球で、14.7%濃縮ウランの硫酸ウラニル（6 kg,  $U^{235}$  0.57 kg）の水溶液13リットルが含まれ、出力0.05 W, 102°Fで運転された。炉心中の温度は沸点よりはるかに低く、冷却も別におこなわれなかったが、これにたいして Water Boiler（湯沸し）とよび名がつけられたのは、核分裂生成物による軽水の  $H_2$  および  $O_2$  への分解のために生ずる泡に由来する。（それゆえこのよび名はあまり適当なものとはいえない）。この最初のWBは Low Power Water Boiler (LOPO) といわれるが1944年12月に改造がおこなわれた。これは High Power Water Boiler (HYPO) といわれるが、燃料溶液は約10 kgの硝酸ウラニル（ $U^{235}$  0.87 kg）を含む13リットルの水溶液で、出力6 kW, 185°Fで冷却用コイルが炉心につけられた。これはさらに1951年 Super Power Water Boiler (SUPO) とよばれるものに改造された。SUPOは90%濃縮ウランの硝酸ウラニル1.5 kgを含む水溶液（ $U^{235}$  0.87 kg）で、出力45 kW, max 185°F, 平均熱中性子束は LOPO の  $2 \times 10^6$ ,

HYPO の  $\sim 10^{10}$  に対し SUPO は  $\sim 10^{12}$  である。

North Carolina State Reactor (NCSR) は North Carolina State University にあり、大学につくられたこの型の最初の炉である。これは93%濃縮ウランの硫酸ウラニルの水溶液約13リットル（ $U^{235}$  0.86 kg）をもち、10 kW, 平均熱中性子束は  $\sim 10^{11}$  である。

比較的低い熱中性子束で満足する場合に適するものとしては Water Boiler Neutron Source (WBNS, Atomics International) があり、また  $10^{12}$  を要求する場合には Armour Research Reactor (ARR, Atomics International) がある。日本原子力研究所に輸入されるのはこの型に近い。この外に同じ Atomics International により Medical Research Reactor も設計されている。以下においては主として上の Armour Research Reactor を中心に WB 型原子炉の説明をしたいと思う。

#### 2. 原子炉設備の概要

Armour Research Reactor では炉心が直径約1'のステンレススチールの球からなり、濃縮ウランの硫酸ウラニルの軽水溶液を入れ、設計出力50 kW, 炉心の中央で最大  $1.7 \times 10^{12}$

Table 1. Armour Research Reactor の運転特性  
(\* のついた項の数値は近似的な値である)

設計出力	50 kW
ゼロ出力の臨界質量*	850 g. $U^{235}$
最大熱中性子束	$1.7 \times 10^{12}$ n/cm <sup>2</sup> sec
反応度の質量係数*	0.031% 1 g.
反応度の温度係数*	-0.029% 1°C
反応度の出力係数*	-0.006% 1 kW
50 kW における燃料溶液温度*	80°C
ゼロ出力, 20°C における超過反応度*	3%
制御安全棒の反応度*	全部(4本)で8%
H : $U^{235}$ 原子比*	350
$U^{235}$ 濃度*	75 g/liter
最大出力密度	5.5 W/cm <sup>3</sup>
平均出力密度	3.85 W/cm <sup>3</sup>

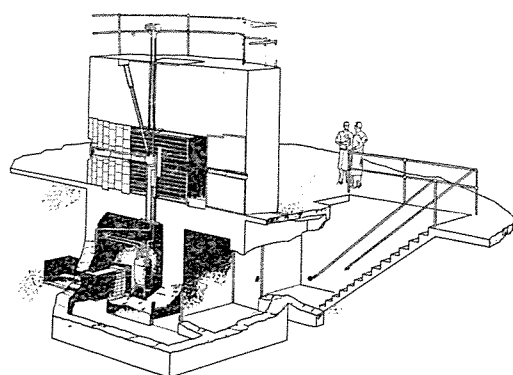


Fig. 1 Armour research reactor の概観図

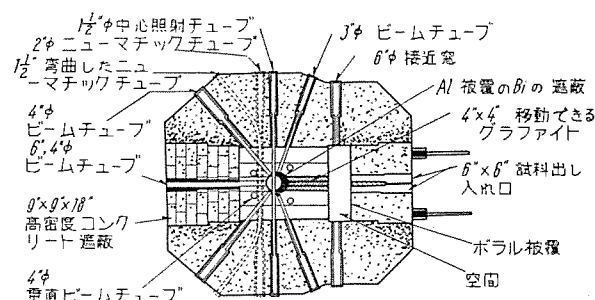


Fig. 2 Armour research reactor の平面図

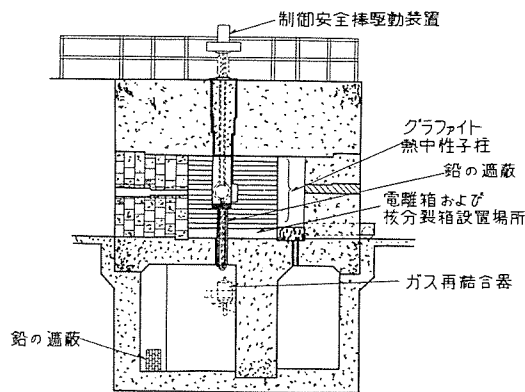


Fig. 3 Armour research reactor の立面図

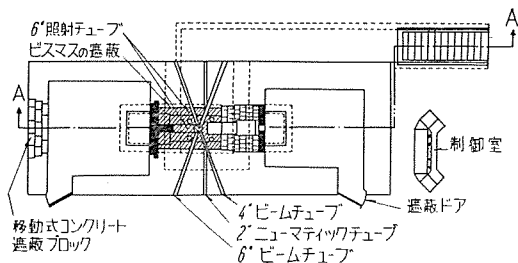


Fig. 4 Medical research reactor の平面図

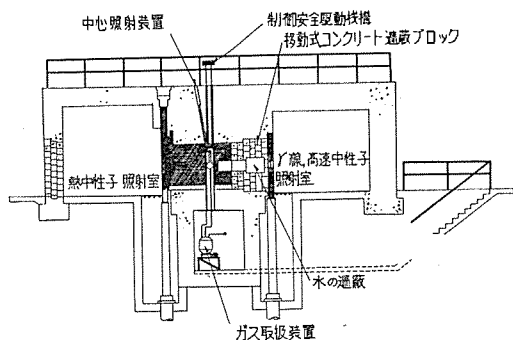


Fig. 5 Medical research reactor の立面図

$n/cm^2/sec$  の熱中性子束を与える。中性子の照射装置があり、実験目的によりいろいろの強さの中性子束にあてることができる。その概観図は Fig. 1 に示す。また運転特性は Table 1 に掲げる。(ARR と同じく Atomics International で設計された Medical Research Reactor も運転特性は Table 1 とほとんど同じである。) 出力レベルは垂直な制御棒により手動または自動的に制御される。運転中に好ましくない事情が起きたときは自動的に炉を停止させるようになっている。原子炉の平面図および立面図を Fig. 2, Fig. 3 に示す。(Fig. 4 および Fig. 5 は Medical Research Reactor, また Fig. 6 は WBNS の断面図を示す)。ステンレススティールの球形の炉心容器は長方形のグラファイトの反射材に囲まれており、それはまたスティールのタンクに入れられ、全体は重コンクリートの遮蔽に囲まれる。

原子炉は炉心タンクの外に燃料溶液を出し入れする燃料取扱装置 (Fuel Handling System), 炉心に発生するガスを処理し気圧を一定に保つガス取扱装置 (Gas Handling System), 炉

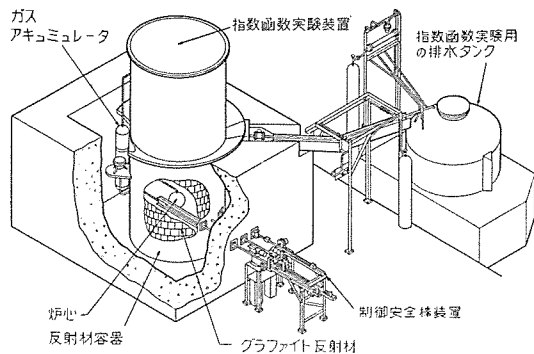


Fig. 6 WBNS (Water Boiler Neutron Source) の断面図 (出力 1 W)

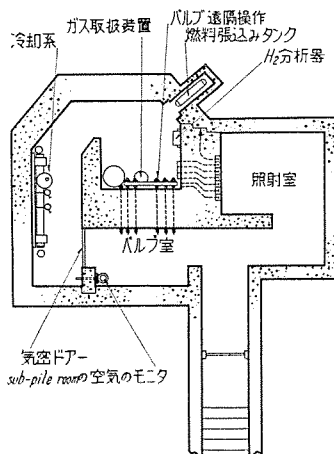


Fig. 7 Armour research reactor の地下室の平面図

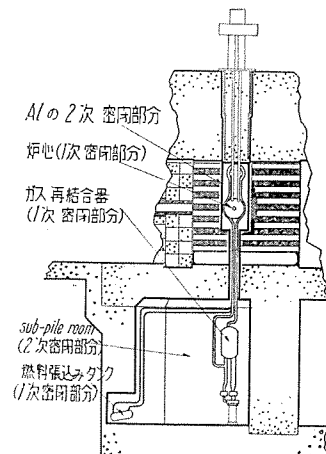


Fig. 8 Armour research reactor の2重の密閉を示す

心およびガス取扱装置を冷却する冷却装置 (Cooling System) からなり、これらの装置はすべて気密の (gas-tight) sub-pile room (炉心の下にある部屋) に入れられ、それらはバルブ室 (valve room), γ線照射室 (gamma-exposure room) とともに地下にある (Fig. 7 参照)。sub-pile room にあるガス取扱装置には Xe その他の放射性物質がはいっているから炉の運転中または運転停止後しばらくはこの部屋にはいることはできない。sub-pile room の気密ドアが開いているときは炉は起動することができないようになっている。また地下室で働く人を保護するために run-safe スイッチがバルブ室にあり、safe の場合にはやはり炉は起動されない。Fig. 7 の左の上の方にあるコンクリートの壁は冷却系をガス取扱装置からの放射線に対して遮蔽する。この壁の右方にある燃料取扱装置およびガス取扱装置のバルブはバルブ室から遠隔操作により開閉される。ガス取扱装置の中の核分裂生成物は中性子を含まない純粋のγ線を出すから、バルブ室および照射室から壁を通してγ線照射装置が設けられている。

原子炉内の放射性物質は2重に密封されている (Fig. 8 参照)。1次密閉部分 (primary enclosure) は直接燃料溶液または放射性ガスと接する部分で、炉心関係、燃料取扱装置、ガス取扱装置からなり、その内部はすべてステンレススティールがも

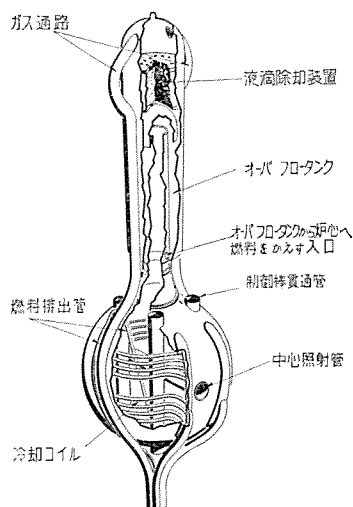


Fig. 9 Armour research reactor の炉心タンク

### 3. 原子炉の各部分の説明

#### ア. 炉心

燃料は濃縮ウランの硫酸ウラニル  $\text{UO}_2\text{SO}_4$  の軽水溶液で、ゼロ出力の臨界質量 ( $\text{U}^{235}$ ) は大体 850 g、運転のためにはさらに 100 g の  $\text{U}^{235}$  が付け加えられる。これは温度係数、出力係数、炉心内の泡、炉心の内部または近くにおかれる吸収物の影響に打撃するためである。100 g はゼロ出力、室温において大体 3% 超過反応度に相当する。

炉心タンクは Fig. 9 に示してあるが、これは 12.5" OD のステンレススティールの球である。

中心照射管 (Central exposure tube)....炉心タンクの中心を水平に貫通しており、中心部の最高中性子束のところで物質を照射することができる。

制御棒貫通管 (Control rod thimble)....4 本垂直に炉心タンクを貫通している。

炉心冷却コイル.....1/4" OD のステンレススティールの管が 10 本並行に通されている。

オーバーフロータンク (Overflow tank)....炉心タンクの上にある、出力の急増により生じた  $\text{H}_2$  および  $\text{O}_2$  ガスのために

ちいてある。これらは 300 psig でテストされている。2 次密閉部分 (secondary enclosure) は Fig. 8 で太い線で囲まれた部分でアルミニウムが張ってある。2 次密閉部分の空気はバルブ室の隅にある電離箱 (ionization chamber) に小さいポンプで送られ、放射線に対して連続的にモニタされている。もし空気が放射性物質により汚染されるとそこから信号が送られ警報が鳴る。

押出された燃料溶液を受入れ (容積は 2 リットル)、その底から徐々にまた炉心タンクに返す。オーバーフロータンクの最上部には燃料溶液の液滴がガス取扱装置に運ばれるのを防ぐために液滴除却装置 (entrainment eliminator) がつけられている。

#### イ. ガス取扱装置 (Gas Handling System)

燃料溶液の上部には水蒸気、核分裂生成物のガス、分裂生成物により水が分解されて生ずる  $\text{H}_2$  および  $\text{O}_2$  ガスが出るが、ガス取扱装置は放射性的な分裂生成物のガスを処理し、また  $\text{H}_2$  と  $\text{O}_2$  とを再結合して再び水にして炉心タンクに返す役目をする (Fig. 10 参照)。この系には最初に  $\text{O}_2$  ガスが入れてあり、運転中大気圧より少し低く保たれる。(前述のように試験圧力は 300 psig。) これは漏洩の際ガスが流出しないでもむしろ外部から流入するように配慮されたものである。系は本質的にはガス再結合器 (Recombiner) および炉心とこれを連結する配管よりなり、外部との連絡は照射室から遠隔操作で行なわれる。

圧力、温度および流量の測定は系の必要な点 (Fig. 10 参照) でおこなわれ、異常な現象が起った場合には自動的に炉は停止される。ガスの循環は再結合器の入口でノズルから流出されることにより生ずる圧力差によって起される。再結合器タンク中の水はタンクから熱交換器、ポンプ、ノズルを通して再結合器にかえってくる。熱交換器により  $\text{H}_2$  と  $\text{O}_2$  の結合の際発生する熱が除かれ、 $50^\circ\text{C}$  に保たれる。ポンプはキャンドモータ型で酸化アルミ木潤滑ベアリングである。炉心タンクで発生したガスは上に述べたように再結合器の入口から吸い込まれ、この中にある液滴除却装置を通して触媒室 (Catalyst Chamber) にはいる。触媒室は炉を起動する際はヒータで熱して結合を促進し、温度が  $100\sim 150^\circ\text{C}$  に達すると自動的にヒータはきられる。以後は温度は結合反応により維持される。かくして生じた水蒸気は運搬ガス (carrier gas、ここでは主として  $\text{O}_2$ ) により 8 cfm (cubic feet per minute) の割で炉心に送られる。このサイクルの際その一部分の水は炉心から再結合器に移されることになり、系全体の水のバランスをとるために再結合器の中の水が一定のレベルをこすと溢れて炉心にもどされる仕組みになっている。ガス取扱装置の全容積は約 30 リットルで再結合器中の水は 10~15 リットルである。

#### ウ. 燃料取扱装置 (Fuel Handling System)

燃料張込みタンク (Fill and Drain Tank) は 2 次密閉部分

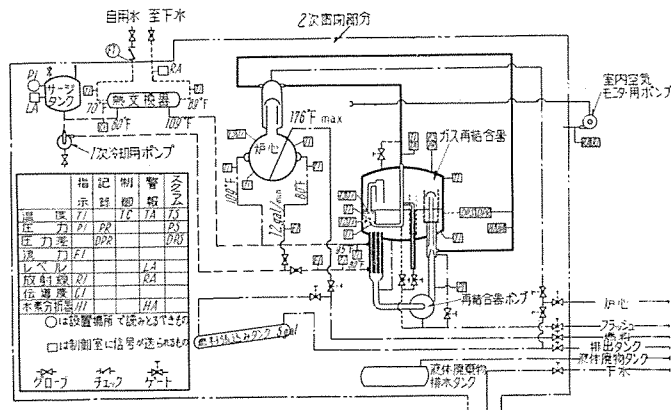


Fig. 10 Armour research reactor の flow diagram

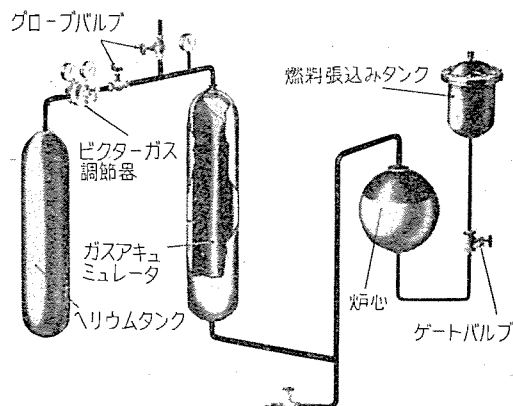


Fig. 11 WBNS の燃料およびガス取扱装置 (出力 1 W)

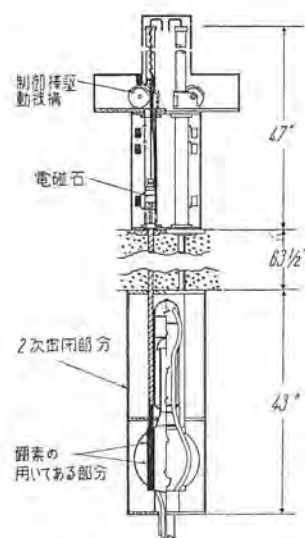


Fig. 12 Armour research reactor の制御棒

の内部で sub-pile room の一隅の凹所に置かれ、室に面して鉛の遮蔽がある。このタンクは炉心中の燃料を全部収容できるに十分な大きさを持ち、形状は球でなく長い円筒形にして臨界にならないようにしてある。炉心およびこのタンクと外部との連結は照射室を通しておこなわれ、sub-pile room 中のバルブはバルブ室から遠隔操作される。燃料溶液をタンクから炉心に入れるにはポンプなどを用いなくてタンクを加圧することによりおこなわれる。逆に溶液を移すにはタンクを真空にし、必要ならば炉心を加圧する。出力 1 W の WBNS では燃料およびガス取扱装置は Fig. 11 に示すようにきわめて簡単である。炉心から発生したガスは中央のアクキュムレータ (Accumulator) に集められる (〜40 リットル)。このタンク内にネオプレンゴムの袋があり、袋がふくらむとタンク内いっばいにひろがり袋とタンクの間のガスを押出すことができる。袋はタンクの上部から He の圧力タンクに連結されている。押し出されたガスはガス処理タンク (Gas Disposal Tank) に入れて持ち去り処理される。

### エ. 冷却系 (Cooling System)

冷却系統は Fig. 10 に示されている。1 次冷却水には蒸留水を用い、モータで駆動される一定速度の遠心力ポンプで循環され、流量は 14 gpm である。中 12 gpm は炉心を冷却し (1/4" OD の SS 冷却管)、2 gpm は再結合器の熱交換器中を流れる。2 次冷却系は 1 次冷却水を冷却するがその水には普通の用水を用いる。流量は約 20 gpm である。外部に排出する水は常にモニタされている。サージタンク (Surge Tank) の容積は 5 ガロンである。1 次冷却水の流量は炉心および再結合器への通路にあるスロットルバルブを手動で動かして調節される。1 次冷却水の温度は 2 次側の流量により調節され、2 次系のスロットルバルブは制御室にある。

### オ. 制御棒 (Control Rod)

4 本あり垂直に炉心を通している。(WBNS では制御棒は水平に炉心タンクの外を通っている)。各棒の反応度は大体 2% である。棒の主要部分はボロンカーバイド  $B_4C$  の円筒で 9/8"φ

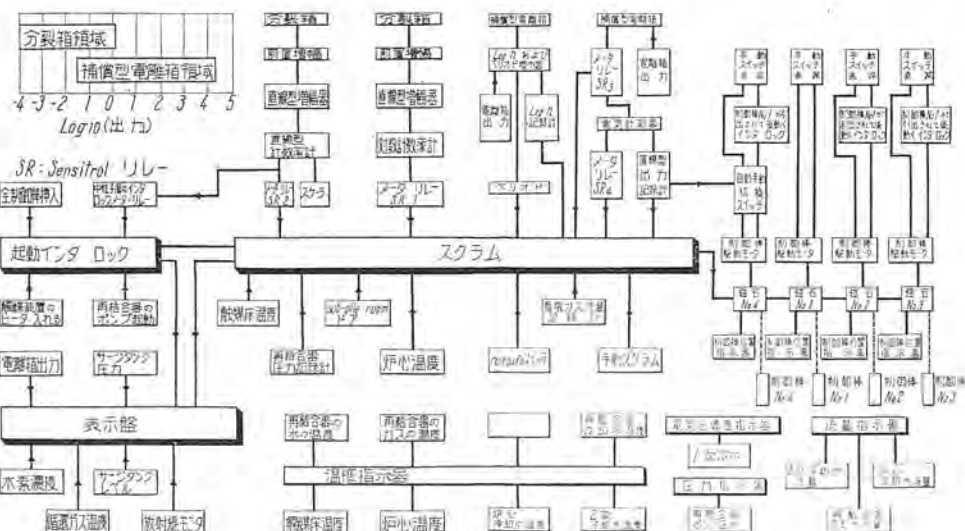


Fig. 13 計測装置のブロックダイアグラム (Armour research reactor)

×16", Fig. 12 に示されているように垂直な導管の中を動く。駆動機構はラックピニオン型で電動機により駆動される。棒の動く距離は約 12", 引き抜く速度は 0.1"/sec である。制御棒は駆動機構の下部にある直流電磁石により保持される。スクラムのときは磁石から離れて棒は約 10" 自由落下し、最後の 2" は空気緩衝装置により減速される。棒は 10" 落下したときすでに 85% 有効である。4 本の制御棒のうち 1 本だけはサーボ制御電動機により駆動され自動制御棒としてもいられる。各制御棒の位置は制御室に指示される。

### カ. 反射材 (Reflector)

反射材としては密度 1.67 g/cm<sup>3</sup>、硼素含有量 0.1 ppm (part per million, 10<sup>-6</sup>) 以下の AGOT-grade のグラファイトがつかわれている。

### キ. 計測装置 (Instrumentation)

前章で述べたスウィミングプール型の場合と本質的な相違はなくただスウィミングプールの際なかったガス取扱装置がつけ加わり、それに伴って計測装置も幾分付加されるものがあるだけであるから簡単に述べることにする。

計測装置のブロックダイアグラム Fig. 13 は炉の安全な運転に必要なつぎの要求を満足するものである。

- (1) 炉の出力を制御し、指示し、記録する。
  - (2) ガス取扱装置および冷却系の圧力・温度・流量を測定し、指示する。
  - (3) 安全性に必要なインターロック (たとえば sub pile room のドアを開けたままでは炉は起動できないようなインターロック)
  - (4) 放射性物質のモニタリング
  - (5) 上に述べたような機能に関連したスクラム回路。
- ガス取扱装置および冷却系の圧力・温度・流量の測定装置は 2 種類に分けられる。

- (1) 第 1 のグループ……その異常の指示は直ちに炉のスクラムを必要とするものである。炉心に発生するガスを同伴して運搬するガスの流量・炉心の温度・触媒床の温度および再結合



器のガス圧力はこのグループに属する。これらは Fig. 13 でスクラム回路と連結されている。

(2) 第2のグループ...その異常の指示が炉の停止を必要とするほど重大でなく、制御室のオペレータに警報を鳴らして訂正すればよい程度のもので、 $H_2$  ガスの濃度・循環ガスの温度・サージタンクのレベル・圧力および放射線レベルはこれに属する。

ガス取扱装置および冷却系においていろいろの測定がおこなわれる場所は Fig. 10 に示されている。

起動ないし通常運転中つぎのような場合には炉はスクラムされる。

- (1) 燃料溶液の温度が 80 度よりはるかに高くなったとき
- (2) 触媒床の温度が設定値より過度に高くなったとき
- (3) 出力レベルが異常に高いとき
- (4) 原子炉時間 (Reactor Period) が短かすぎるとき
- (5) 再結合器のガス圧が高すぎるとき
- (6) sub-pile room のドアが閉ってないとき
- (7) run-safe スイッチが safe の位置にあるとき
- (8) ガスの流量が min. 以下のとき ( $\leq 6$  cfm)

スクラムが起ると電磁石への電流は切れて制御棒は落下し、炉は停止すると同時に警報が鳴り、またスクラムの原因になった条件が表示盤 (annunciator panel) の上に点燈されて示される。

なおスクラム回路の応答時間(電磁石の電流が切れるまで)は約  $\frac{1}{2}$  秒またはそれ以下であり、これは普通の出力の増加に対しては十分短かく、また非常に急激な出力の増加に対しては炉心の燃料溶液がオーバフロータンクに溢れて反応度が減少する。このことについては前にのべた。

#### ク. 実験装置

Armour Research Reactor はつぎにのべるような実験装置をもっている。(Fig. 2, 3 参照)

水平ビームチューブ, 4"φ (遮蔽コンクリート中では6"φ)...	1本
水平ビームチューブ, 4"φ	....2本
垂直ビームチューブ, 4"φ	....4本
水平ビームチューブ, 3"φ	....2本
直線ニューマチックチューブ, 2"φ	....1本
彎曲したニューマチックチューブ 1 1/2"φ	....1本
中心照射管, 1 1/2"φ	....1本
水平熱中性子柱 5' 平方	....1本
4 熱中性子柱接近窓 (thermal column access ports), 6"φ	

各チューブは使用されないときはグラファイト (反射) プラグ, 高密度コンクリートプラグ, スティール (遮蔽) プラグがはめられる。

水平な熱中性子柱は 5'×5' のグラファイト柱で、中心には9つの移動できるグラファイトがある。熱中性子柱の端と回転式のコンクリートのドアとの間には空間があり被照射物を入れることができる。2つの正方形の出入れ口 (access port) がドアについているが、これが上の空間に通じている。

sub-pile room にある再結合器からえられる  $\gamma$  線を照射する装置が照射室およびバルブ室にある。

照射室には

4"φ の  $\gamma$  線照射口 2

8"φ の  $\gamma$  線照射口 2

6"×18" の  $\gamma$  線照射口 1

バルブ室には

4"φ の  $\gamma$  線照射口 2

前に述べたビームチューブと同じく使用されないときはプラグがはめられる。

医学研究、治療用として Fig. 4, 5 のようなものも考えられている。図の左側は熱中性子を照射する部屋で硼素と併用して癌の治療をするなどいろいろ治療、研究に利用される。右側は  $\gamma$  線または高速中性子を照射する部屋である。 $\gamma$  線を利用したいときは

$\gamma$ ...1.3 reb/min. kW; 高速中性子...0.086reb/min. kW  
にまた高速中性子を照射したいときは

$\gamma$ ...0.002 reb/min kW; 高速中性子...10 reb/min kW  
の割合でとり出すことができる。(reb: roentgen equivalent biological)

#### 4. そ の 他

WB は均質炉に共通なことであるが炉心に中性子経済に不利な材料を使う必要がないため臨界質量は小さい。通常のものでは炉心の直径は大体 1' でこれも他の研究用原子炉にくらべわめて小さい。温度係数はスウィミングプール型のせいぜい  $-1.1 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  であるのにくらべて、WB では絶対値が  $2 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  より大きい。燃料が液体であるから非均質炉のときのように燃料体の成型加工が不必要であることも1つの特長であろう。さらにも1つこの型の炉の魅力は低出力(したがって低い中性子束)で満足する限り建設費が安いということである。たとえば WBNS では出力 1 W, 最大熱中性子束は  $4 \times 10^7$  n/cm<sup>2</sup> secであるがその建設費は\$75,000 (燃料費および建屋は含まず)である。

また今年運転を開始する予定のわが国最初の原子炉は原子力研究所が Atomics International から買ったものであるが、これは本章で説明したものに指数函数炉実験のための改良を加えたもので、そのために少し一般にいられている価格より高くなっているが、出力 50k W, 熱中性子束は  $\sim 10^{12}$  で価格は \$258,000 である。

#### 参 考 文 献

- (1) Research Reactors, Mc Graw Hill (1955).
- (2) Solution type research reactor for Armour Research Foundation AI-1599.
- (3) Nuclear Reactor for medical research, NAA-AER-1180



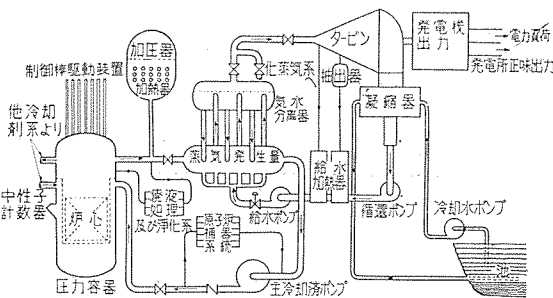
## ヤンキー原子力発電プラント

G.A. Reed, R.J. Cregan and W.C. Woodman (The Yankee Atomic Electric Plant. ASME Annual Meeting, Nov. 1956)

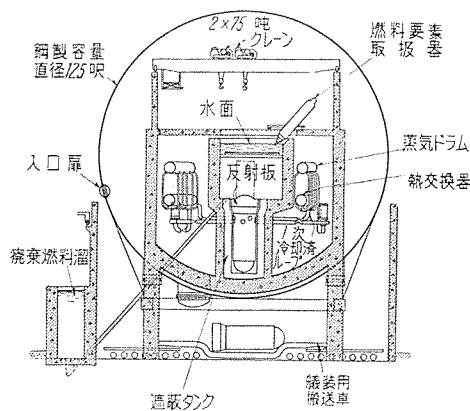
ヤンキー原子力発電プラントは W 社と Stone & Webster 社が共同開発し、Yankee Atomic Electric 社が操業にあたる熱出力 48 万 kW、電気出力 13.4 万 kW の加圧軽水減速冷却炉プラントで、1960 年、Massachusetts 州 Rowe において運転開始の予定である。

燃料にはシタした  $UO_2$  ペレット（濃縮度 2.6%， $0.3'' \phi \times 0.3''$ ）340 個を厚さ  $0.015''$  の不銹鋼管に詰めて棒状にしたものを  $0.42''$  の正格子に並べて用いる。それぞれ 305、306 の燃料棒束からなる集合体 76 個で径  $74''$  高さ約  $100''$  の炉心を作り集合体の隅にハイネス-25 合金製十字型制御棒 24 本と吸収型または燃焼型の粗調整棒 8 本を納める。炉心とそれを囲む 3 枚の熱遮蔽は内径  $109''$  高さ  $30'$  厚さ  $8''$  の容器に納め、2,000 psi の加圧水は熱遮蔽部を流下し反転して炉心を上向に流れ減速冷却を行う。炉の入口温度  $487^\circ F$ 、出口温度  $628^\circ F$ 、流量  $37 \times 10^6$  lb/hr である。炉の停止は 5 硼酸アンモニウム溶液をまぜることで行う。

蒸気条件は 520 psi 飽和乾きで排圧  $1.5''$  Hg、段圧双流型



ヤンキープラント系統図



ヤンキープラント コンテナ略図

タービンを 11,500 Btu/kWh の熱量率で 1,800 rpm に駆動する。

炉と 1 次冷却系 4 ループはコンテナに納められ  $8'$  のコンクリートで遮蔽される。

この炉の特長は燃料に酸化ウランを用いて動作温度を高めたこと、燃料棒表面に局部沸騰を許したことなどである。

(研究所 明石克寛訳)

## 原子力の船舶推進への利用

Nuclear Power for Ship Propulsion (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1 Jan. 1957, p. 2~3)

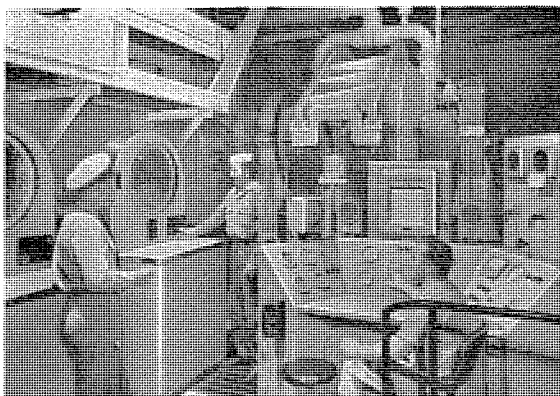
1956 年に米国原子力委員会および米海軍当局から、原子力の船舶推進への利用の驚異的發展が劇的に発表された。その第一は米海軍が公表した原子力潜水艦ノーチラス号の巡航記録である。Westinghouse の原子力プラントを装備したノーチラス号は 9 月頃までに燃料の補給なしで 47,000 カイリ以上を航行し、その半ばをこえる約 27,000 カイリは潜航であった。1955 年の処女航海でノーチラス号は New London から Puerto Rico の San Juan に至る 1,300 カイリを平均水中速力 16 ノット以上で完全に潜航したが、これは従来の潜水艦の潜航距離の 10 倍におよびまたその速力も従来のものでは 1 時間以上継続できない数字である。

これに続いて 8 月には原子力委員会が「船舶推進用原子力リアクトルの測り知れない力を立証することに成功した」と公表した。このリアクトルは最初 Mark I と呼ばれ現在では S1W と称されている。ノーチラス号用プラントの陸上用モデルである。1956 年 8 月 8 日に運転を休止するまでにこのリアクトルは、現在までの陸・海・空の推進プラントの最長全負荷運転日数を記録した。その日数は実に 66 昼夜におよびしかもそのウラン燃料の一部を使用したにすぎなかった。この試験は加圧水型リアクトル (PWR) の船舶推進への利用の信頼性と精力を証明するために行われたもので、この結果からリアクトルの動作の貴重なデータが得られた。これによれば、ノーチラス号が上記の運転時間—約 1,600 時間—中航行したとすれば全速力で世界を一周し、なお数千カイリの間潜航できることになる。同程度の大きさのジーゼル機関駆動の潜水艦がこれと同じ航海をするためには約 1,600,000 ガロンの油（油送用車両約 160 台分）を要する。

この成功により現在、さらに幾つかの原子力潜水艦の計画が進められているがその中の 1 つとして、5 隻の fleet 型潜水艦のリアクトルプラントの設計、製作が Westinghouse で進行中である。この計画は SFR と呼ばれている。

また海軍の新型高速艦に装備される完全な原子力プラントを製作中である。このプラントは S5W と呼ばれ、アルバコアと同型の試験的潜水艦に搭載される予定である。

原子力利用の水上航行船もまた注目を浴びている。A1W と称せられる大形船用リアクトル計画が進んでおり Westinghouse の Pittsburgh にある Bettis 工場で設計および開発が



Idaho 試験設備における運転試験

行われつつある。本年中にはこの計画のモデルプラントの建設が Idaho の海軍リアクトル工場で始められるはずである。

原子力航空母艦の計画は 1956 年末に海軍当局から公表された。リアクトル室の部品一切は Westinghouse から設計、供給されるもので、8 基の加圧水型リアクトルで推進される。

水上航行船の第 2 の計画も 1956 年に海軍当局から公表されたもので、誘導弾搭載の最新鋭原子力軽巡洋艦である。リアクトル室は Westinghouse が担当する。

ノーチラス号がテムズ河口に姿を現わして、「原子力による地下道」という歴史的通信を行ってから僅々 2 年の間に非常な進歩が行われた。その価値はすでに劇的に証明されており、AEC および米国海軍による多くの計画によって、原子力の船舶推進への利用はさらに顕著な成果を収めるであろう。

(長崎製作所 甲斐 高訳)

## 原子力発電所機器

Equipment for Atomic Power Plants (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1 Jan. 1957, p. 4~5)

原子力利用の発展により機器設計者は数多くの新しい問題に直面した。原子炉用のいろいろな機器類は機能的にはたとえば pumping とかバルブの制御とかのように従来から知られているものが多いが、使用条件や動作規格に関してはまったく新しい設計と研究を必要としている。

たとえば、PWR の 1 次冷却システムの pumping の問題を考えて見ると、冷却材たる高温の水はきわめて腐食を起しやすいものであるため、これに接触する部分はすべて十分な安定性耐食性を要し、また 100% 無漏洩でなければならないから通常の packing や gasketing を使用することはできず、さらにポンプは長時間無点検の運転を必要とする。

この目的のため W 社は数年前 “canned” motor pump を開発した。この密閉型のポンプは系統配管に溶接せられ、電動機固定子ならびに回転子は耐食性の can によって保護せられ、空隙を系統流体が浸し、循環する。今までに作られた最大の canned motor pump は Shippingport の PWR に使用せられ

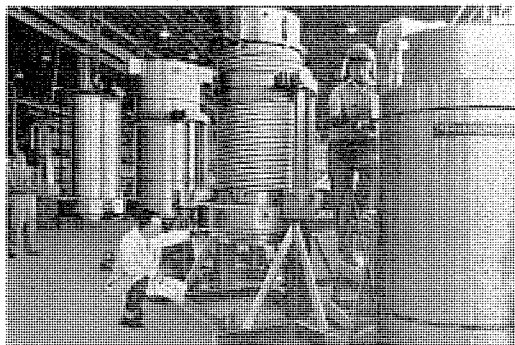
る 1,600 HP のもので 2,000 psi, 500°F の 1 次冷却水を 18,300 gpm 完全無漏洩で pumping する能力がある。

さらに密閉型の液体金属ポンプが昨年開発された。これは高温の熱交換材としての液体 Na または Na・K を循環せしめるもので 1,500°F, 4,000 gpm までのものが開発され生産が開始されている。電動機部分とくに巻線の加熱は十分な熱遮蔽によって保護せられ、2 次冷却により巻線の温度上昇は押えられる。

原子炉系に用いられるバルブもまた特殊な設計が必要である通常の packing によるものは不可であって、完全無漏洩のものとしなければならない。これには 2 つの型が用いられる。第 1 はピストンの水圧動作によるもので小形の canned pump により制御流体を加圧し、小形のソレノイド動作の補助バルブによって制御される。補助バルブを使用せず高速度逆転可能なポンプを使用することも考慮されている。第 2 は電磁制御によるもので、高温のコイルにより密閉中のブランジャを駆動し、これによりバルブを直接動かしあるいはこれをパイロットとして系統流体圧力によりバルブを動かす。これら両種のバルブは 3,000 psig 600°F で  $\frac{1}{2}$ ~18 インチのものが開発されている。

原子炉に使用される機器において解決しなければならない問題は列挙するだけでも甚大であり、ここに示した 2 つの例(ポンプとバルブ)はその片鱗を示唆するものである。

(研究所 潮 恒郎訳)



Shippingport 発電所向けの世界最大の canned motor, 1,600 HP, 14t

## 内部冷却発電機における進歩

Progress in Inner Cooling (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1. Jan. 1957, p. 6)

最初の 5,000 psi 超高压タービン発電機の部分として最初の 4 極 1,800 rpm 内部冷却発電機が製作される。この利点についてはすでに 3,600 rpm 2 極機で立証されているが 1,800 rpm 機でも再認識できる。すなわち、単位重量当り電氣的出力の大きいことでこれは重量の軽い信頼度の高い鍛造軸を意味する。また普通構造機より高いガス圧でより大きな電氣的出力を示すこれは普通構造機では外部表面だけで冷却されるが、内部冷却機では熱は巻線の熱源から直接外に取り出されるからである。

たとえば、内部冷却機においては、ガス圧を 30 psig から 60 psig に上げると 25% 容量を増す。クロスコンパウンド 5,000 psig 超高压タービン発電機の全容量は 416,000 kVA でその内 1,800 rpm 機は 0.85 p.f. で 231,000 kVA を発生する。

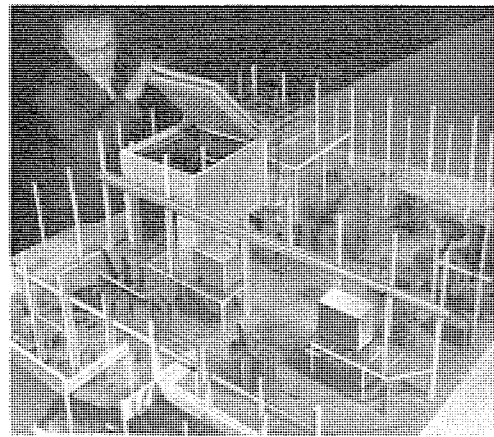
もっと大きな 1,800 rpm 機も Consolidated Edison 社の注文で製作中である。これは 45 psig で 330,000 kVA の定格であり、1,800 rpm 機として現在までの最大容量となるであろう。この機械は New York 州 Indiana Point に据付けられる Consolidated Edison 社の原子力発電所のものである。

2 極 3,600 rpm 内部冷却機は、その兄弟分 1,800 rpm 機の容量を引きずり上げるように動いている。TVA の Gallatin 発電所の 3, 4 号機は 60 psig ガス圧で 364,000 kVA であり、1, 2 号機の容量の 10% 増しである。

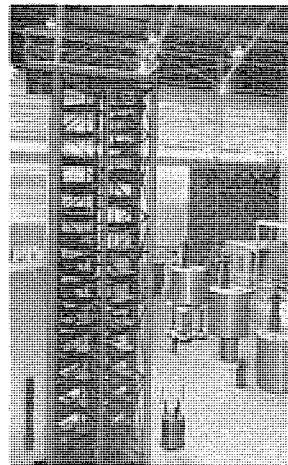
現在までに 13 台の 3,600 rpm 内部冷却機が出荷され 12 台が運転中である。Niagara-Mohawk に据付けられた最初の内部冷却機は約 3 年間運転され、世界最大容量の Gallatin 発電所 1 号機は数カ月運転した。

高いガス圧使用に伴い、密封部の新しい構造が開発された。密封部分は、水素を内側に空気を外側に密封油で遮断するが従来のものでは、密封油は連続的に真空処理して、油中に飽和せる水素を除いた。新密封構造では、両側におおの圧油系統を有し、一方は水素を内側に閉じ込め他方は空気を外側に締め出す働きをする。2 つの密封油系統を使用するので水素側密封油には水素が飽和しても差支えない。結果的には水素ガス消費量中密封油に溶け込んで逃げる水素の部分はないうことになる。

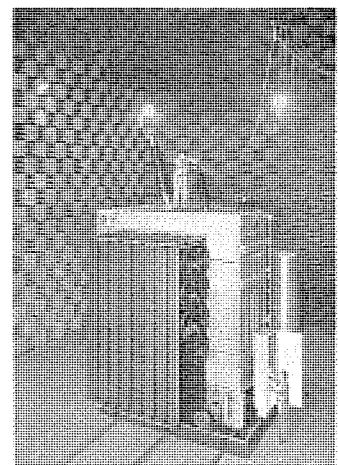
(長崎製作所 志岐守哉訳)



シャロン工場テストセンタの模型



手前 520 万ボルト衝撃電圧  
発生装置  
向う側 105 万ボルト交流高  
圧発生装置



変圧器を収納し測定中の  
無響室

## W 社シャロン変圧器工場のテストセンタ

Test Center for Transformers. (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 1, Jan. 1957, p.9~10)

近年の電力用変圧器は、単器で大容量のものがますます要求される傾向にあるため、シャロン工場ではこれら大容量変圧器の需要に応ずるため、設備の強化を進めているが、ここに紹介するテストセンタもこの一環として 1956 年に完成したものである。

テストセンタのおもな目的は、工場で完成した変圧器に対するあらゆる試験を行うことはもちろん、さらに今後の大容量高電圧の変圧器の設計製作に資するための基礎的研究、実験の機関としても大いに活躍を始めている。

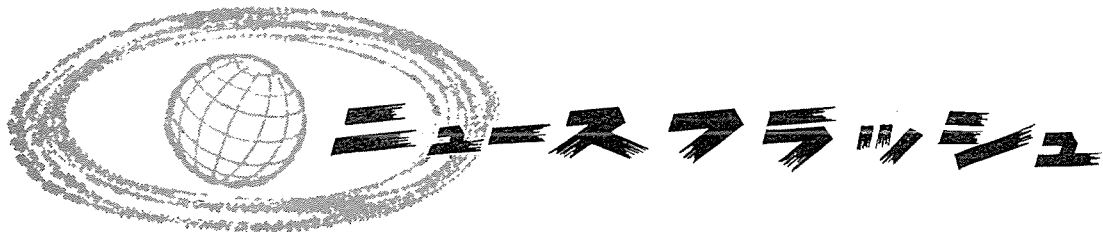
テストセンタのうちもっとも記録的な設備はここに新設された無響室である。この無響室は周囲を完全な防音壁で囲んだもので、間口 56 ft、奥行 70 ft、高さ 57 ft の大きさを持ち 50 万 kVA 以上の容量をもつ変圧器の騒音測定がこの中で容易に行えるものであって、今後 10 年間のうちに出現すると予想される大容量変圧器の騒音測定には、十分間に合うであろうといわれている。この無響室の完成によって、変圧器の騒音のおもな発生源である鉄心の磁歪現象の研究からさらに進んでは、鉄心

材料・鉄心の組み方・変圧器外箱の共振の影響など従来困難視されていた種々の実験、測定が容易に遂行できるようになった。

その他のおもな設備としては、2 万 kVA 電動発電機、105 万 V 交流高圧発生装置、520 万 V 衝撃電圧発生装置、18 万 A 衝撃電流発生装置、高周波障害測定室などがある。交流高圧発生装置、衝撃電圧発生装置などは、工場で完成した変圧器の試験に用いられるほかに、これらの装置を自由に駆使することによって、絶縁材料のサンプルテストや、等大模型による絶縁配置の研究などが可能となり、超高压変圧器の絶縁の合理化に資するところはまことに大きいと考えられる。高周波障害測定室は、超高压変圧器において、コロナによる高周波障害波の発生を極力押えた構造の研究を目的として、設けられたものであって、今後電力系統の高圧化にともなう超高压変圧器の設計にあたって必要欠くべからざる資料を提供している。

これらテストセンタの設備の総合的な活躍により合理的な材料、構造の開発が進められれば、今後の変圧器はさほど容積が増加することなく大容量のものの製作が可能だといわれており画期的進歩をみせた大容量変圧器の出現も間近いことであろう

(伊丹製作所 嶋 裕史訳)



## ■ 読売会館の総合電気設備完成

読売新聞社の計画により三菱電機と清水建設の協同で昭和29年8月起工した読売会館は、近代建築の粋を集めて去る5月20日竣工した。

この外観ならびに諸設備、意匠、設計上に幾多の新しい試みがなされ、有楽町駅頭にそびえ建つその偉観は人々の眼をうばっているが、つぎに当社が納入、施工したものを簡単に紹介する。

### 特高変電設備

- (1) 特高 22 kV 側の受電方式はループ方式で、遮断器は 100 万 kVA の 20-C 100 型電気遮断器を使用、断路器、計器用変流器その他配電器具と共にキュービクルに収納している。
- (2) 主変圧器は 3 相 2,000 kVA 22/3.3 kV 50 c/s 油入自冷式窒素封入装置 2 台である。
- (3) 3.3 kV 遮断器は遮断性能もよく、油のいらない 3-DH-15 A 型磁気遮断器を採用し、WH 型メタルクラッドに収納した。
- (4) 配電盤は縮小型机型監視制御盤とし、計器は広角度半埋込 120 mm 角、全体の系統を明示する模擬母線を取付けて中央監視制御できる。
- (5) 低圧動力および電燈盤はヒューズ取換えが不要で、安全なデットフロント方式である。外に遮断容量の大きい NF 型ノーヒューズ遮断器を採用した。
- (6) ビル変電所にコントロールセンタを使用したのは初めてであるが、送風機・電動機・電磁開閉器・信号装置などを集団運転するに必要なものをユニットごとにまとめている。
- (7) 予備電源としては 125 kVA 非常用ジーゼル発電機が設置されている。

### 昇降機設備

わが国最初の全機 2 人乗りエスカレータ 14 台による本格的

複列交叉型配置で上下共に乗り継ぎ距離が少く、据付面積も経済的である。

エレベータは客用 3 台を始め大小 11 台が設置され非常のばあいに備えテレコールインタフォンシステムを採用し、中央監視室、各エレベータのケージ内および機械室の間に指示伝達ができる。

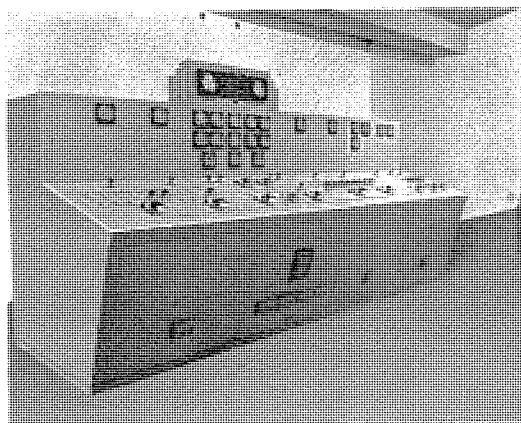
### そ の 他

照明設備としては大劇場ホール、デパート売場の近代的な様式にふさわしい照明器具を使用し、デラックス蛍光ランプを約 7,000 本、とくに読売ホールの照明には両側面と天井周囲に調光装置を設備した。

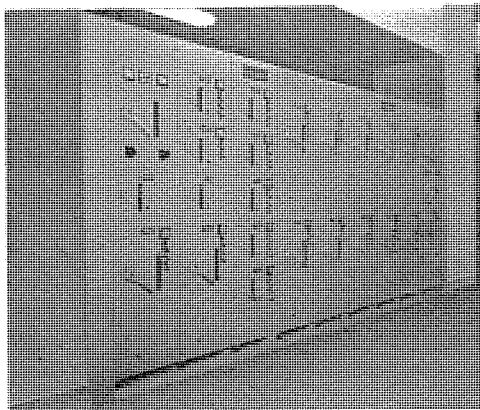
音響設備は大劇場の演芸、舞踏の伴奏効果と放送中継、録音やテレビ、ラジオ放送用の各種設備、デパートのレコード演奏設備など音響効果に苦心を払った。

冷暖房、換気および食品売場設備としては、通風機 12 台、送風機 19 台、冷凍機 6 台、各種ポンプ 24 台、冷凍食品ケース 14 台を納入しているが、わが国として珍しい設備にエアー・ドアーがある。

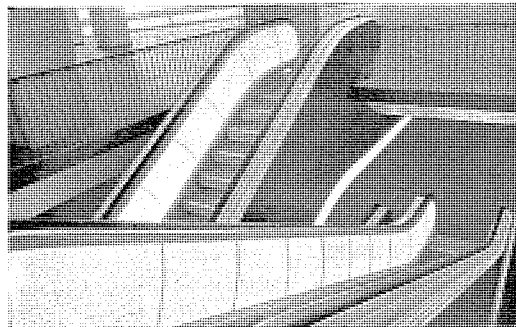
これはデパートなどの客の出入の激しいところでは、ドアを



2 図 縮小型机型監視制御盤

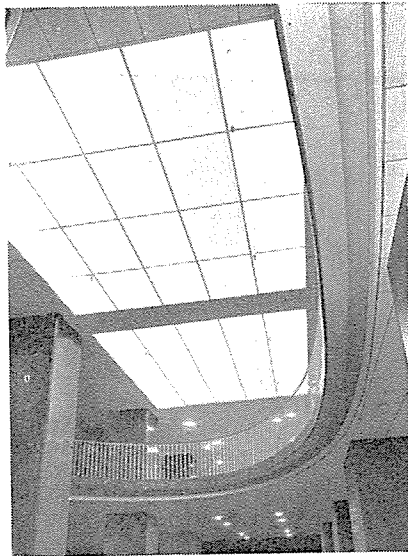


1 図 コントロール センタ



3 図 エスカレータ 1200-L 型





4 図 2 階 デパート吹抜部 光天井蛍光灯照明

開放しておくことが理想であるが、冷暖房の効果の減退や外からの塵埃、風雨の浸入があるので、普通ドアを半開したり衝立を設けている。この不便を除くために考案されたのがエアー・ドアであり、上から下に吹き出す空気によって気流の幕を作りドアの代用をする試みで満都の注目を集めている。

## ■ 東京、大阪において 日米原子力産業展催さる

原子力平和利用に関する日米両国のもっとも新しい機械、器具を展示し、さらに基礎的、原理的なものを加えた総合的な原子力産業展覧会が東京白木屋デパート（5月9日から10間）大阪そごうデパート（5月24日から8日間）において開催されたが、これは原子力時代の動向とその将来を一望に集め、原子力に関心を持つ一般大衆とくに原子力平和利用に今後活躍する人々のための啓蒙を目的としたものである。

三菱電機においては原子炉研究会が発足してから2年半余の歳月を費やし、原子炉に関する核計算および熱計算、制御関係、材料関係、容器関係などの研究成果をあげているので、この展覧会の2部門にわたって出品参加を行ったが、当社が出陳した主なるものはつぎのようなものである。

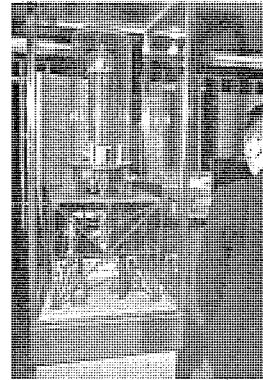
### 第1部門

1. 電子線加速用ベルト起電機模型
2. 加圧水型原子炉模型
3. 加圧水型原子力発電所模型

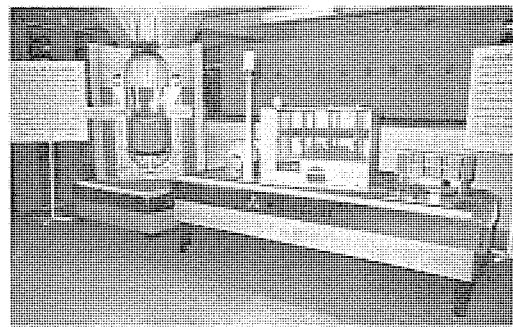
### 第2部門

1. シンチレーション型放射能計数装置

2. 原子炉用高圧密閉電動ポンプ
3. MS 型真空漏洩検知器
4. DS-T 2 型 1,000 進法放射能測定装置
5. デカトロン放射能測定装置



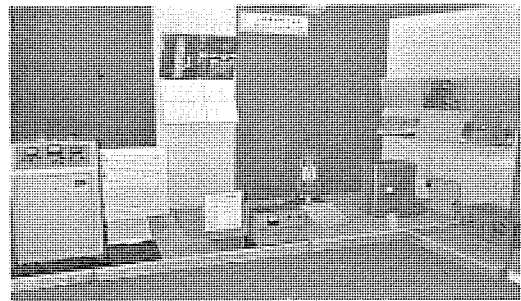
1 図 原子線加速用ベルト起電機の模型



2 図 加圧水型原子炉と原子力発電所の模型



3 図 CP-5 型 実験炉の模型

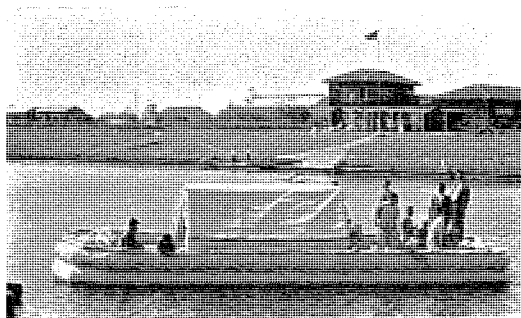


4 図 デカトロン放射測定装置とその他の測定器陳列場

## ■ 魚群調査用のゴムイカダ試験

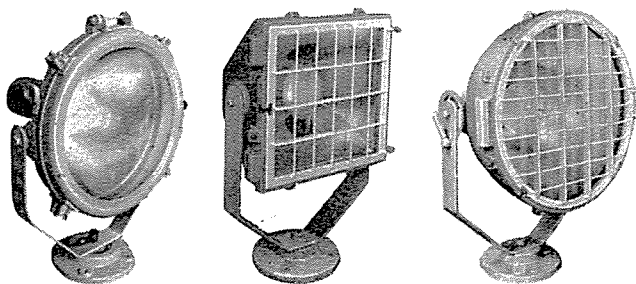
三菱電機では「日本海新漁場開発調査会」の発注によって、南極探検でおなじみのゴム・イカダの約4倍ほどの大きさの観測用合成ゴム布製イカダを完成した。

5月15日東京郊外の戸田橋ポートコースにおいて関係者を招待し披露をかねた性能および機構試験が行われた。全長10m幅5m、積載量3tというもので、特殊ビニールテントを張れば風速25mにおける大浪にも耐え、復元力も上々のものである。



1 図 戸田橋ポートコースにおける試験状況

このイカダは本年7月6日8名の研究員が寝具設備、測量用具を積んで乗り込み、能登半島を出発して波荒き対馬海流に乗って北進し、7月下旬青森に着くまで約500マイルを漂流しながら海流、微生物、魚群分布の調査を行うもので世界でも初めての試みとしてその成果が注目されている。



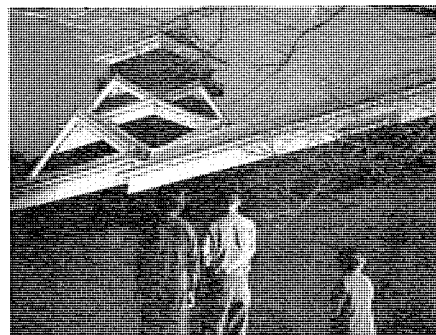
1 図 300~400 W 用投光器

2 図 300~400 W 用保護ガード付投光器

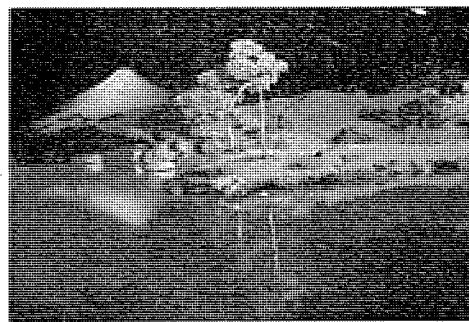
3 図 1kW 用保護ガード付投光器

しては絶対安全な構造を具備している。

4, 5 図は蛍光高圧水銀燈による投光照明の実施例である。前者は、熊本城を300 W ランプ2個でクローズアップしたもの。後者は、熊本市木前寺公園の照明で、400 W ランプ6個を投光用に使用してあり、別にポールを建てて当社の MP-303 型器具2台(400 W ランプ使用)でヤード照明をして20~50ルクスの高照度を保っている。



4 図 蛍光高圧水銀燈による投光照明



5 図 蛍光高圧水銀燈による投光照明

## ■ 屋外照明に最適……高圧水銀燈投光器

広場の照明や建造物の投光照明に、ぼう大な光束を有する三菱電機製高圧水銀燈の性能が認識され、需要が急増しつつある。とくに蛍光高圧水銀燈で投光するばあいは従来の白熱電燈、水銀燈では不可能であった自然光に近い光色が得られるため非常に歓迎されている。これらに用いられる投光器のうち最近当社が納入したものを2, 3紹介する。

1 図は北海道電力室蘭変電所、明治乳業、中山機械などに納められた標準的タイプの投光器で300~400 W 用である。前面ガラスは透明平板または点刻ガラスを使用しており、反射面はアルミニウムを電解研磨して鏡面に仕上げてある。400 W 高圧水銀ランプ(DH-400)を使用して前面点刻ガラスのときは光軸中心で24,000 cd、透明平板ガラスのときは140,000 cdの高光度を得られる。垂直水平に回転自在で水平方向の回転には素手で楽にできるハンドルがあり、角度目盛盤をつけてある。

2, 3 図は保護ガード付で、前者は300~400 W 用の角型投光器、後者は1 kW 用である。これらは日本ナショナル金銭登録機大蔵工場に建物投光照明用として納入された。前面ガラスは硬質ガラスを使用しており、ガードと保護ガラスわくは別個に開閉できるため、ガードを開いてガラス面の清掃が簡単に行なえる。反射面はイルミナイト梨地仕上げで垂直水平回転自由。なお投光器は屋外で使用されるため、以上3者とも風雨に対

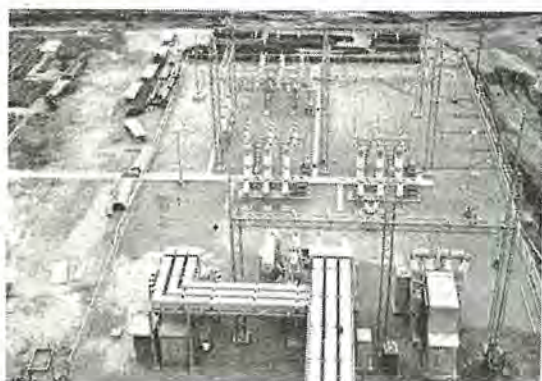
## ■ 三重火力屋外式発電所の照明

大工場または火力発電所のような高天井の建物の照明に蛍光燈を用いると多数のランプを必要とする。照度の一様性からみればこの方が良いが一方光の利用率が悪かったり配線工事や燈具の費用がかさむ欠点がある。最大の欠点はランプの取付位置

が高く、本数が多いために保守が困難な点であり、非常に手間がかかると云うことである。

このような場合に高能率、大容量、長寿命でしかも黄色性も良く小形で保守に便利なのは蛍光水銀燈である。

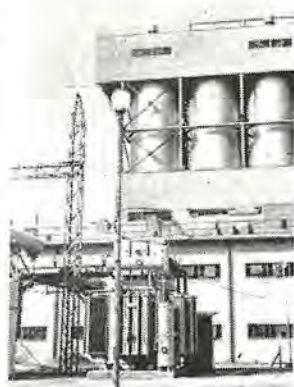
つぎに最近水銀燈の施設工事を行った中部電力三重火力発電所を紹介するが、これはわが国唯一の屋外式発電所であり、海岸に隣接しているため燈具の防食をとくに考慮し、ポール塔などすべて金属部はアエンメッキを施している。なお必要によっては投光器を上下、左右に旋回できるようにしたものもある。



1 図 2 号機用屋外変電設備で四隅に RH-300 W 2 燈用投光器 (ポール 5.5 m 付) 4 基および中間に MP-301 型街路燈 (FH-400 ポール 5.5 m 付) 2 基を使用し平均照度 20~25 lx を保っている。



2 図 2 号機屋外変電設備四隅に取付けられた RH-300 W 2 燈用投光器 (ポール 5.5 m 付)



3 図 2 号機屋外変電設備に設けられた MP-301 型街路燈 (FH-400 ポール 5.5 m 付)

## ■ 山陽線 5 変電所向機器を受注す

国鉄山陽線電化の第 1 期工事である、大阪・姫路間の新設 5 変電所 (大久保・加古川・曾根・姫路・英賀保) 向の機器を当

社は一括受注し、来る 10 月末までに納入することになった。主要機器とその特色は下記のとおりである。

1. イグナイトロン整流器 5 組  
1,500 V 3,000 kW 風冷式 封じ切り 6 タンク  
国鉄 E 種定格 60 c/s
2. 同上用変圧器 5 組  
3 相星形/6 相 2 重星形 相間リアクトル付  
定格 1 次電圧 70 kV 60 c/s  
屋外用窒素封入・油入自冷式
3. 湧 波 器 5 組  
定格直流電流 2,400 A
4. 送・配・き電器具 1 式  
碍子型遮断器 80.5 kV 600 A 1,500 MVA 5 台をはじめとする 70 kV 用器具と 直流高速度遮断器  
54 P 3,000 A 3 台 54 F 2,000 A 23 台  
54 FI 600 A 5 台 をはじめとする直流 1,500 V 用器具
5. 配 電 盤 45 面
6. 遠方制御装置 1 組

つぎに特色とするところは

1. 国鉄がはじめて採用したユニットサブ式で、無人変電所用の機器である。
2. 姫路制御所から 5 変電所を遠方制御するいわゆる集中制御方式で、わが国最初の試みである。制御方式は国鉄技研式を採用している。
3. 遠方制御装置用継電器は通信型を改良した、耐圧 2,500 V の挿込型継電器で、保守点検に便利である。

なお今年末のダイヤ改正による東海道、山陽線の輸送力増強のための新設尼崎電室向機器も一括当社が受注した。同電室は無人で直流高速度遮断器 3,000 A 8 台、き電引出用直流断路器 8 台は大阪変電所から遠方制御される。

## ■ 西武鉄道向移動変電所を受注

今回西武鉄道より受注した移動変電所は、さきに製作した南海納 600 V 1,500 kW をさらに上回る連続定格 1,500 V 2,000 kW であり、受電端子から主変圧器を経て整流器より給電端子までの変電設備に必要な機器の一切を車両に乗せている。要目は下記のとおりである

- |       |                                                     |
|-------|-----------------------------------------------------|
| 重 量   | 運転整備総重量 51 トン<br>(軸重 12.8 トン)                       |
| 車 体   | 連結器面間 19,600 mm<br>(南海 2 車体連結全長 23,600)             |
| 車輪配置  | B-B<br>2 軸ボギー台車、車輪径 840 φ                           |
| 性 能   | 受電電圧 3 相交流 50~22/3.3 kV<br>直流出力 直流 1,500 V 2,000 kW |
| 整 流 器 | 風冷式密封型イグナイトロン整流器<br>6 タンク                           |



90%の集塵効率  
換気用空気清浄装置の決定版

# 三菱クリネヤ

従来電気式空気清浄装置としてはコットレル装置が使われ、これは1ミクロン以上の微小塵埃を大部分除去することができました。しかしながらコットレル装置はオゾンや窒素酸化物あるいは電離空気が多量に発生し、これが人体に有害なほど、濃度が高いために、そのまま換気用空気として使用することができません。

三菱クリネヤは換気用空気の清浄用として計画されたものですから、コットレル装置とは異なり有害ガスの発生は無視しうる程度に止められており、かつ0.1ミクロン以上の塵埃に対して90%という高い集塵効率を保証しております。



CH-880型クリネヤ

## 三菱クリネヤは

勤労者の保健

繊維品・調度品・食料品の汚損防止 精密機械・薬品類の製造保管

酸酵工業の品質向上に卓抜した性能を示しております。

三菱クリネヤは風量と据付場所に応じ、種々の形式、容量のものがありますが、最近繊維工場向として、100,000~150,000 ft<sup>3</sup>/minの大容量品を日清紡績、鐘淵紡績、敷島紡績などに納入し、製品の汚損防止に優秀な成績をあげ、好評を得ております。

## CH-880型クリネヤ

型 式	洗浄管走行型 CH-880	構 成	8段8列
風 量	3620 m <sup>3</sup> /min (123,000 ft <sup>3</sup> /min)	電 源	3相 A-C 220V
集塵効率	90%以上	入 力	2,900W

## 塵効率測定結果 ブラックネス テスト)



A = クリネヤ入口にて9分間  
B = クリネヤ入口にて1分間  
C = クリネヤ出口にて10分間

昭和 32 年 7 月 8 日 印刷 昭和 32 年 7 月 10 日 発行  
「禁無断転載」 定価 1 部 金 60 円 (送料別)

## 雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	大久保 謙	常任委員	宗 村 平
副委員長	石川 辰雄	委 員	石 橋 英
常任委員	浅井 徳次	"	岡 進 精
"	荒井 安二	"	立 津 芳
"	菅野 正雄	"	津 村 尾
"	木村 武雄	"	松 尾 上
"	小堀 富次郎	"	井 市 村
"	高井 得一郎	幹 事	
"	中野 光雄	"	
"	馬場 文夫		
"	松田 新市		

(以上 50 音順)

編集兼発行人	東京都千代田区丸の内2丁目3番地	市 村 宗 明
印 刷 所	東京都新宿区市谷加賀町1丁目	大日本印刷株式会社
印 刷 者	東京都新宿区市谷加賀町1丁目	長 久 保 慶 一
発 行 所	三菱電機株式会社内	「三菱電機」編集部
		電話 和田倉 (20) 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 20015