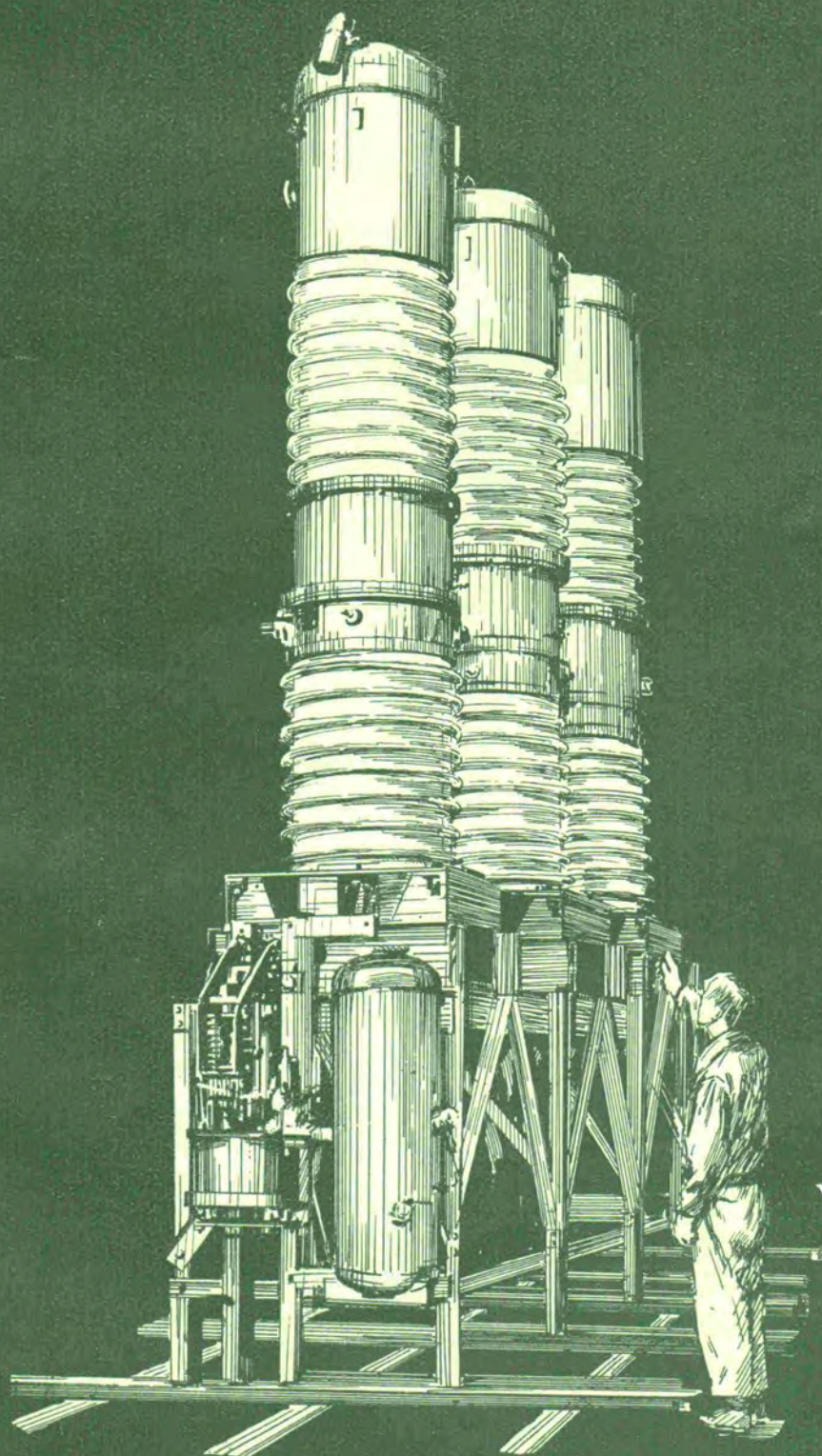


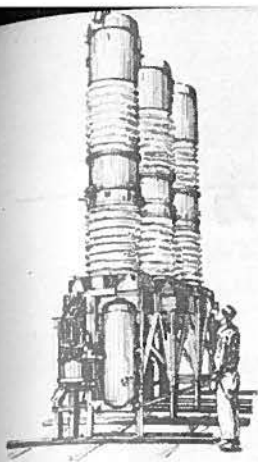
*MITSUBISHI DENKI*

# 三菱電機



Vol. 27 1953  
3





MITSUBISHI DENKI

三菱電機

## 表紙説明

これは関西電力古川橋変電所納入  
70-M-350 M型碍子型高速度遮断器  
のペン画であり 本器は  
定格電圧電流 80.5kV 800A  
定格遮断容量 3,500MVA  
全遮断時間 3サイクル以内  
単相再閉路方式 (三相再閉路方式も可能)  
遮断試験成績は卓越した性能であります。

昭和28年 第27巻 第3号

## 目次

同期調相機の一起動方式	梅名茂男… 2
市街電車用制御装置	待島 正… 7
トッピング・ウインチ	和田義勝… 14
新型単相積算電力計 MD型	佐藤貞雄・上野 弘… 17
特殊鋼の高周波焼入性	佐々静男… 25

## 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 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町  
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町  
伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水  
長崎製作所 長崎市長崎市平戸小戸町  
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 福島県郡山市字境橋町  
福岡工場 福岡市沖野上町  
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  
札幌修理工場 札幌市北二条東12  
大阪営業所 大阪府北区堂島北町8番地1  
(電) 福島 (45) 5251-9  
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通  
(電) 本局 (23) 6231-5  
福岡営業所 福岡市天神町(三菱ビル)  
(電) 西 (2) 5821-5825  
札幌営業所 札幌市南一条西5の14  
(電) (2) 3378・3911  
仙台事務所 仙台市東一番丁63  
(電) 仙台 2573・8057  
富山事務所 富山市安住町23の2  
(電) 富山 4692・5273  
広島事務所 広島市袋町1(明治生命ビル)  
(電) 中 1069・4824

品質奉仕の三菱電機

# 同期調相機の一起動方式

神戸製作所

梅名 茂 男\*

## Starting Method of Synchronous Condensers

By Shigeo UМЕНA

Kobe Works

To 20,000 kVA synchronous condenser supplied to Delhi Grid Substation, Nangal Power Project in East Punjab are adopted tandem connected starting method, a rare actual application in Japan. In this method, proper selection of a coupling angle between the synchronous condenser and its starting induction synchronous motor and of its direct current excitation enable to put the machine into synchronism and parallel operation. This article describes about the mutual relation between various constants of mechanical systems as well as electrical systems and the coupling angle.

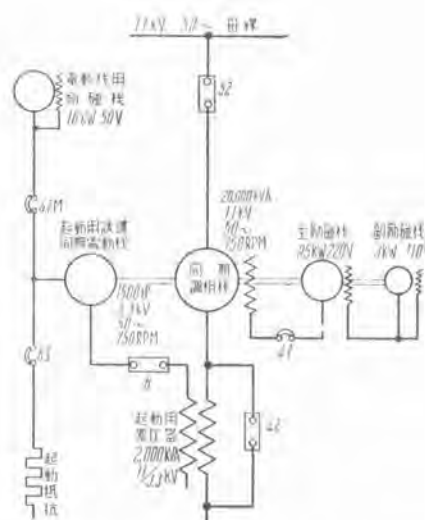
### 1. ま え が き

同期調相機の起動方式を大別すれば、自己起動法と起動電動機法の2種類となる。前者は起動用変圧器によつて起動時低電圧を供給し、調相機制動巻線の起動トルクで同期調相機を誘導起動する方法であり、後者は調相機に直結された起動用電動機によつて起動する方法で、起動電動機としては一般に誘導電動機、または誘導同期電動機が採用される。起動電動機法をその回路接続方式から大別すれば、並列接続法と継続接続法の2種類となる。前者は起動電動機を同期調相機に対して並列に電源に接続する方式であり、後者は起動電動機を同期調相機に直列接続する方式である。

最近当社が、印度、東パンジャブ州、デリー変電所に納入した 20,000 kVA, 11,000 V, 50 $\sim$ , 750 rpm 一人制御式同期調相機の起動方式は、継続接続誘導同期電動機起動法によるもので、わが国における本方式の実施例は比較的少く、従来の並列接続法に比較して装置は簡単、かつ経済的となり、電源系統に与える擾乱をも低減することができるなどの特長を有するものである。同期調相機系の主機および補助機の設備、運転制御、保護装置、配電盤については、すでに本誌昭和27年第26巻第7号に紹介されているところであるから、ここでは起動順序を略述し、合せてその動作原理、試験結果について概要をのべることにする。

### 2. 起動順序の概要

1 図は主回路単線接続図および主要機器の定格を示すもので、同図において同期調相機の起動順序は大略次のとおりである。



1 図 主回路単線接続図  
Fig. 1. Skelton diagram.

- (1) 潤滑油ポンプ、冷却水ポンプ、起動電動機用励磁機を起動する。
- (2) 電動機二次側起動用遮断器 #6S を閉じる。
- (3) 主遮断器 #52 を閉じる。
- (4) オイルリフト用圧油ポンプを起動する。
- (5) 電動機一次側起動用遮断器 #6 を閉じ、電動機を誘導起動する。
- (6) 加速電流継電器により速度の上昇を確認しながら順次起動抵抗を短絡し、電動機速度を次第に上昇させる。
- (7) 最終段階にて #6S を開き、同期化用遮断器 #41M を閉じて電動機二次側に直流励磁を加える。圧油ポンプは停止する。
- (8) 界磁遮断器 #41 を閉じて調相機に加励し、界磁電流が無負荷規定値に上昇した時 #6 を開いて運転用遮断器 #42 を閉じれば調相機は同期投入される。電動機用励磁機は停止する。

同期時突入電流を制し、衝撃なく調相機を同期運転させるためには、運転用遮断器 #42 が閉合した瞬間の同期調相機誘起電圧と、電源電圧とを、位相、大き、共に等しくすることが必要で、後述するように、同期調相機と起動電動機との結合角およびその直流励磁を適当に整定すれば同期検定の必要なく調相機を同期運転にいらることができる。

### 3. 結合位相角

考察を簡単にするために、起動用変圧器の励磁アドミタンスは省略し、電圧・電流・インピーダンスはすべて同期調相機側または起動電動機側のいずれか一方に換算して考えることとすれば、起動最終段階同期投入前の電圧・電流の関係は2図のようなベクトル図にて示すことができる。

同図 (a) は遅れ力率の場合、(b) は進み力率の場合を示し

$V_a$ : 電源電圧

$V_s$ : 同期調相機端子電圧

$V_t$ : 起動用変圧器端子電圧

$I$ : 負荷電流

$\varphi$ : 力率角

$E_c$ : 同期調相機誘起電圧

$E_m$ : 起動電動機誘起電圧

$\theta$ : 結合位相角

$Ix_c$ : 同期調相機の同期リアクタンスによる電圧降下

$Ir_c$ : 同期調相機の電機子抵抗による電圧降下

$Ix_t$ : 起動用変圧器の漏洩リアクタンスによる電圧降下

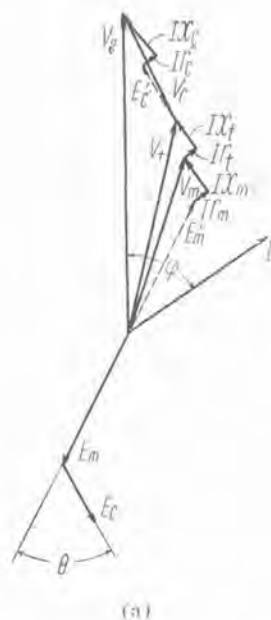
$Ir_t$ : 起動用変圧器の巻線抵抗による電圧降下

$Ix_m$ : 起動電動機の同期リアクタンスによる電圧降下

$Ir_m$ : 起動電動機の電機子抵抗による電圧降下

$E_s^j$ : 同期調相機端子電圧より同期インピーダンスに

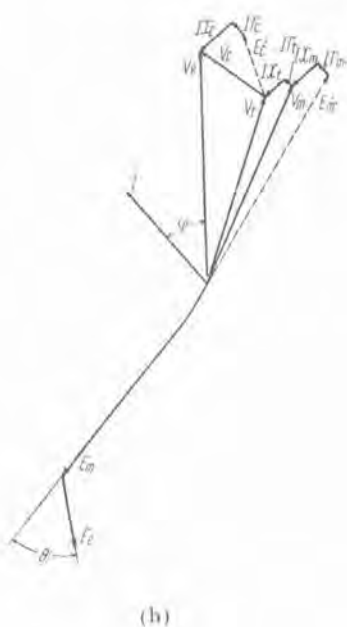
同期調相機の一起動方式・梅名



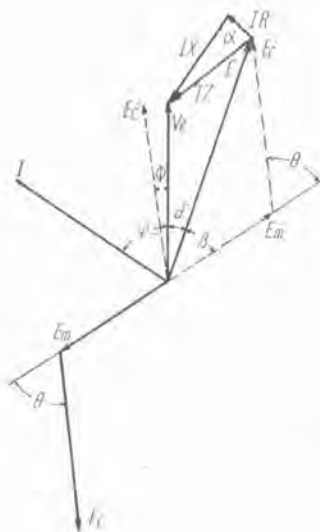
2 図 ベクトル図

Fig. 2.

Vector diagram under lagging current.



(b)



3 図 ベクトル図

Fig. 3.

Vector diagram.



よる電圧降下をベクトルの的に差引いたもの  
 $E_m'$ : 起動電動機端子電圧より同期インピーダンスに  
 よる電圧降下をベクトルの的に差引いたもの  
 である。

同期調相機の制動巻線によるトルク・回転子が凸極であるために生ずるリアクショントルクを考えないならば図より明かなように、同期調相機・起動用変圧器・同期電動機と継続接続された調相機系の運転状態は、各インピーダンスの総和を同期インピーダンスとし、 $E_m$  と  $E_c$  とのベクトル和を誘起電圧とする一台の同期電動機の運転状態に他ならない。2 図 (b) を書き改めると 3 図のようになる。同図において

$$\begin{aligned} R &= r_c + r_t + r_m \\ X &= x_c + x_t + x_m \\ Z &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ \dot{E} &= \dot{E}_c' + \dot{E}_m' \\ \delta &= \angle \dot{V}_c \dot{E}_c' \quad \phi = \angle \dot{E}_c' \dot{V}_c \\ \beta &= \angle \dot{E}_c \dot{E}_m', \quad \alpha = \cos^{-1} \frac{R}{Z} \end{aligned} \quad \text{とし、}$$

$P$  を調相機系無負荷運転に必要な電力とすれば

$$\begin{aligned} P &= 3V_c I \cos \varphi \\ &= 3 \left[ \frac{V_c^2}{Z} \cos \alpha - \frac{V_c E}{Z} \cos(\alpha + \delta) \right] \end{aligned} \quad (1)$$

が成立する。

一方、 $\dot{E}$ 、 $\dot{E}_m'$ 、 $\dot{E}_c'$  の 3 ベクトルの間には

$$\begin{aligned} E^2 &= E_m'^2 + E_c'^2 + 2E_m' E_c' \cos \theta \\ &= E_m'^2 + E_c'^2 + 2E_m E_c \cos \theta \quad \dots (2) \\ E \sin \beta &= E_c' \sin \theta \\ &= E_c \sin \theta \\ E \cos \beta &= E_m' + E_c' \cos \theta \\ &= E_m + E_c \cos \theta \\ \tan \beta &= \frac{E_c \sin \theta}{E_m + E_c \cos \theta} \quad \dots (3) \end{aligned}$$

なる関係がある。

また、起動用遮断器 #6 が開路してから #42 が閉合する迄には遮断器固有の閉合時間があり、この間に調相機に流入する電流は変圧器の励磁電流であつて同期調相機はトルクを発生しないから、回転子磁極は固定子回転磁界に対して位相が遅れることになる。

いま、調相機系の慣性率を  $M$ 、回転角速度を  $\omega$  とすれば遮断器閉合時間 ( $\tau$ ) 中の回転系の運動方程式は

$$M \frac{d\omega}{dt} + T_1 \omega + T_2 = 0 \quad \dots (4)$$

ただし ( $T_1 \omega + T_2$ ): 逆回転力

となる。(4) 式の一般解は、時刻  $t=0$  における初期角速度を  $\omega_0$  として

$$\omega = \left( \omega_0 + \frac{T_2}{T_1} \right) e^{-\frac{T_1}{M} t} - \frac{T_2}{T_1} \quad \dots (5)$$

にて与えられるから、閉合時間 ( $\tau$ ) 中の偏位角  $\phi_0$  は

$$\begin{aligned} \phi_0 &= \int_0^\tau (\omega_0 - \omega) dt \\ &= \left( \omega_0 + \frac{T_2}{T_1} \right) \int_0^\tau (1 - e^{-\frac{T_1}{M} t}) dt \\ &= \left( \omega_0 + \frac{T_2}{T_1} \right) \left[ t + \frac{M}{T_1} e^{-\frac{T_1}{M} t} \right]_0^\tau \\ &= \left( \omega_0 + \frac{T_2}{T_1} \right) \left( \frac{T_1}{2M} \tau^2 - \frac{1}{6} \cdot \frac{T_1^2}{M^2} \tau^3 + \dots \right) \end{aligned} \quad \dots (6)$$

となる。 $\tau$  は通常 0.5 秒以下の値であるから  $\tau$  の三次以上の項を省略すれば (6) 式は

$$\begin{aligned} \phi_0 &= \left( \omega_0 + \frac{T_2}{T_1} \right) \frac{T_1}{2M} \tau^2 \\ &= \frac{\omega_0 T_1 + T_2}{2M} \tau^2 \end{aligned} \quad \dots (7)$$

となる。

したがつて、同期調相機誘起電圧  $E_c$  を電源電圧  $V_c$  に等しくした時、 $\dot{E}_c'$  が  $\dot{V}_c$  より進む位相角  $\phi$  が  $\phi_0$  となるように結合角  $\theta$ 、起動電動機誘起電圧  $E_m$  の値を整定すれば運転用遮断器 #42 閉合時間中に偏位角を生じても同期投入条件を満足させることができる。この場合は

$$\theta = \phi_0 + \delta + \beta \quad \dots (8)$$

となるから (1), (2), (3), (7), (8) 式を用いて

$$\begin{aligned} P &= 3 \left[ \frac{V_c^2 R}{Z} - \frac{V_c E}{Z} \cos(\alpha + \theta - \phi_0 - \beta) \right] \\ &= \dots \dots \dots (9) \end{aligned}$$

ただし

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{E_m^2 + V_c^2 + 2E_m V_c \cos \theta} \\ \alpha &= \cos^{-1} \frac{R}{Z} \\ \phi_0 &= \frac{\omega_0 T_1 + T_2}{2M} \tau^2 \\ \beta &= \tan^{-1} \frac{V_c \sin \theta}{E_m + V_c \cos \theta} \end{aligned}$$

を満足するよう  $\theta$ 、 $E_m$  の値を選べばよい。換言すれば、 $\theta$  の任意の値  $\theta = \theta_0$  に対して (9) 式より一つの  $P-E_m$  曲線が定まり、 $\theta$  の他の値  $\theta = \theta_1, \theta_2, \dots$  に対応してそれぞれ (9) 式より  $P-E_m$  曲線が定まるからこれらの曲線と  $P$  一定 (無負荷運転に必要な電力の値) なる直線との交点が、求むる  $\theta$ 、 $E_m$  を与えることになる。種々の  $\theta$ 、 $E_m$  の値に対し、どの一組の ( $\theta$ ,  $E_m$ ) を選ぶかは、起動電動機の同期率引き、負荷電流などを考慮して決定すべき問題であつて、したがつて継続接続起動法が如何なる特性の同期調相機、起動電動機に対しても適用可能であるとは断言できない。

一般にインピーダンス  $Z$  中の抵抗分  $R$  はきわめて小さく

$$\begin{aligned} R &= 0, \quad Z = X \\ \alpha &= \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

と考へて差支えないから、この場合 (9) 式は

$$P=3 \frac{V_a E}{X} \sin (\theta-\beta-\phi_0)$$

$$=3 \frac{V_a}{X}[E \sin (\theta-\beta) \cos \phi_0$$

$$-E \cos (\theta-\beta) \sin \phi_0]$$

となる。しかるに  $\phi_0$  も極めて小さく

$$\sin \phi_0=0$$

とすれば、上式は

$$P=3 \frac{V_a}{X} E \sin (\theta-\beta) \cos \phi_0$$

$$=3 \frac{V_a}{X} E_m \sin \theta \cos \phi_0 \cdots \cdots (10)$$

ただし

$$\phi_0=\frac{\omega_0 T_1+T_2}{2 M} \tau$$

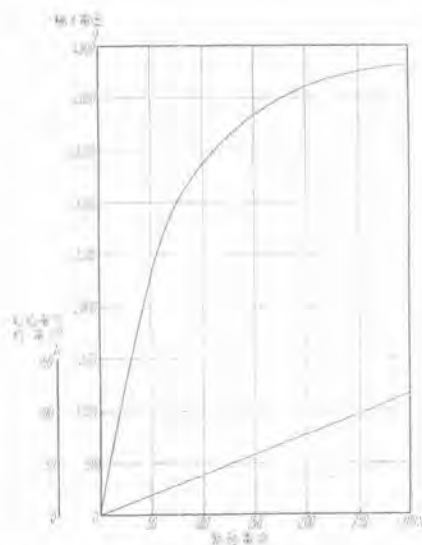
となる。(10) 式は  $\theta$ 、 $E_m$  を決定する近似式であつて、これを書き改めると

$$\theta=\sin ^{-1} \frac{P X}{3 V_a E_m \cos \phi_0} \cdots \cdots (11)$$

となり、適当な  $E_m$  を与えれば  $\theta$  を求めることができる。

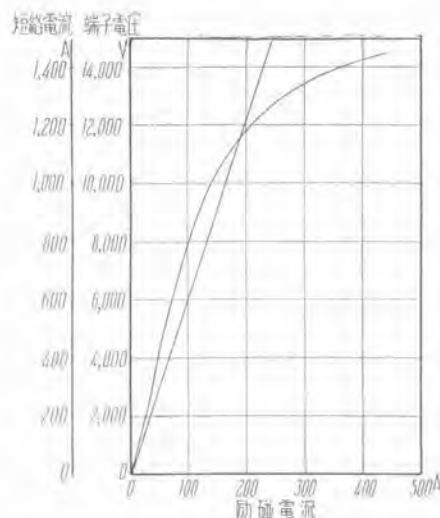
## 4. 試験結果

4 図は起動用誘導同期電動機の無負荷飽和曲線および三相短絡曲線を示し、5 図は同期調相機の無負荷飽和曲線および三相短絡曲線を示すものである。6 図は同期調相機の鉄損および界磁損曲線を示し、起動電動機の鉄損は 25 kW、同期調相機系の機械損は 72 kW である。7 図は起動最終段階にいたる起動電動機端子電圧、電動機負荷電流、電動機入力、同期調相機端子電圧を同期調相機励磁電流に対して示したもので、起動電動機の励磁電流は 90 A、結合角は機械で  $13.7^\circ$  である。図より明かなように調相機に加励してゆけば、調相機は電圧を発生し

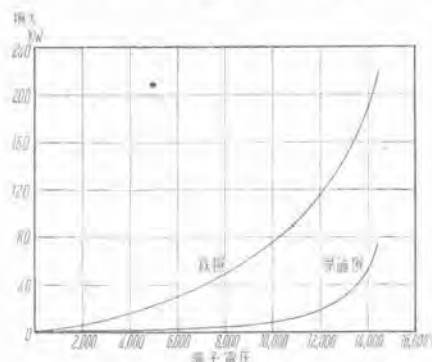


4 図 起動電動機無負荷飽和曲線  
および三相短絡曲線

Fig. 4. No-load saturation and short circuit characteristics of shorting motor.

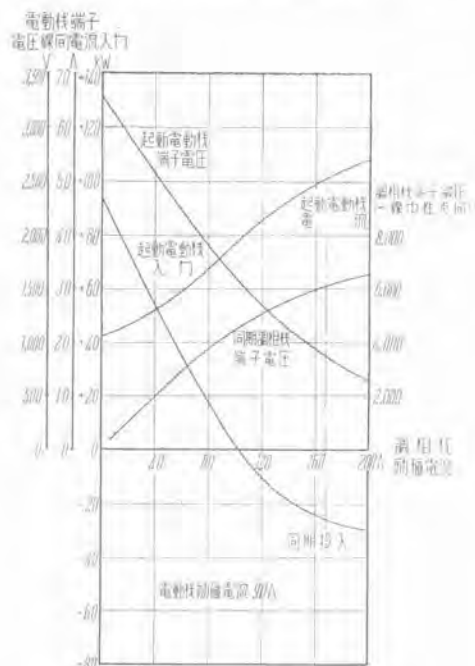


5 図 同期調相機無負荷飽和曲線および短絡電流曲線  
Fig. 5 No-load saturation and short circuit characteristics of synchronous condenser.



6 図 鉄損、界磁損曲線

Fig. 6 Core and excitation losses of synchronous condenser.



7 図 電圧、電流、入力曲線

Fig. 7. Voltage, current, and input characteristics of synchronous condenser.



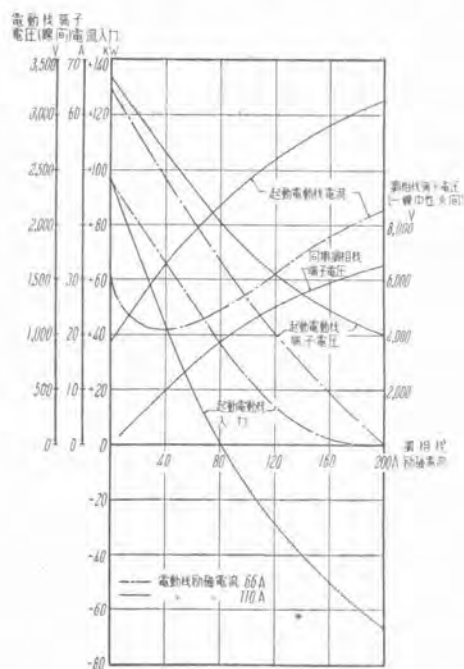
起動電動機入力は減少して同期調相機運転に必要な回転力は電動機より調相機に移行し、ついに電圧電流の位

相関係より起動電動機の運転状態は発電機となるのが見られる。同期投入はこの状態で調相機励磁電流 168 A、調相機誘起電圧 11,000 V の時に行われるよう調整してある。8 図は起動電動機の励磁電流を 66 A (鎖線にて示す) および 110 A (実線にて示す) とした場合の電圧、電流、入力を調相機励磁電流に対して示したものである。なお電源電圧と同期調相機誘起電圧との位相差は電源電圧によつても変化するが、その値は電圧変動  $\pm 10\%$  に対し電気角にて  $5^\circ$  でほとんど問題にならない。9 図は起動、運転状態を示すオシログラムで、10 図は同期投入時のオシログラムである。いずれも同期投入は円滑に行われ、短時間の動揺状態をへて運転にはいることを示している。

以上、要するに本方式は

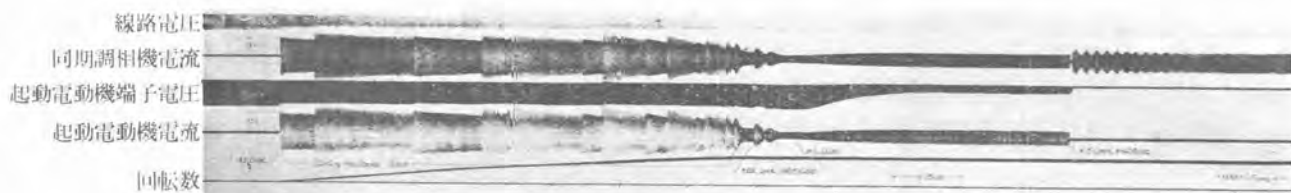
- (1) 同期調相機系の起動および運転回路が同期調相機の主遮断器に集約され
- (2) 同期調相機も起動トルクを発生し
- (3) 同期検定の必要はなく
- (4) 従来の並列接続方式の起動電動機用高圧主回路遮断器に置換される運転用遮断器の遮断容量は小さくて済み、この種遮断器は安価となる

などの利点を有している。



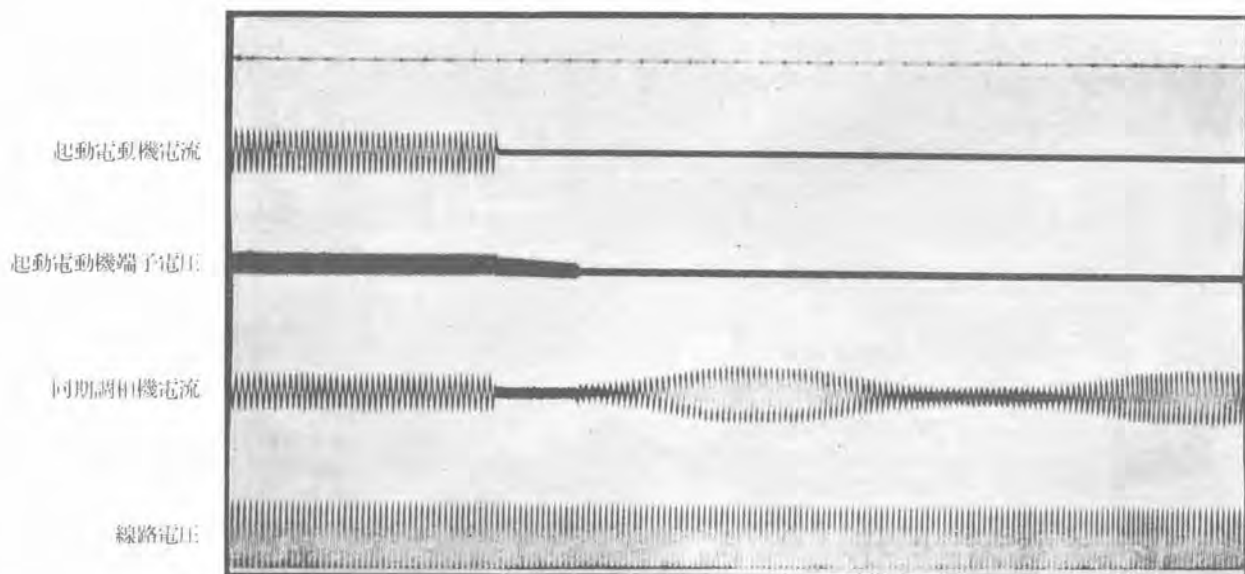
8 図 電圧、電流、入力曲線

Fig. 8. Voltage, current, and input characteristics of synchronous condenser.



9 図 起動運転試験オシログラム

Fig. 9. Oscillogram of starting and running at factory test.



10 図 同期投入時オシログラム

Fig. 10. Oscillogram at running.

# 市 街 電 車 用 制 御 装 置

伊 丹 製 作 所

待 鳥 正\*

## Controlling Equipment for Street Railway

By Tadashi MACHIDORI

Itami Works

The controller extensively used for street railways at present is of direct system, while Type AB controller has been developed in our company by taking in a strong point of indirect system adopted in suburban railways of large capacity. This paper describes the specification of this new type together with the test result at the factory and the field test in the Osaka Municipal Railway in last April.

### 1. ま え が き

従来市街電車に広く使用されている直接式制御器の欠点を補うために、大容量の郊外電車に使用されている間接式制御装置の長所を取入れたものが、ここに述べる AB 型制御装置であつて、その簡単な仕様および工場試験、大阪市電における試運転の結果について説明する。

### 2. AB 型制御装置概要

従来の直接式制御器は運転台に備えた大型の制御器中に主回路電流を直接開閉するドラム型接触器および電弧吹消機構を備えている。これによつて制御される電動機の起動および制動電流は、運転手の取扱ひによつては過大になることもあり得る。このときには電動機が過負荷になることはもちろん、制御器による電流遮断も困難となり、焼損事故の原因となる。

この制御装置においては間接制御として電流遮断装置を別箱として床下におき、自動加速、自動減速方式として、運転方法により起る過電流を防止し、さらに可変加減速度方式、すなわち主幹制御器の把手位置に応じて加速、減速電流をある範囲内において変更し得るようにしたもので、乗客の多寡によつて加速度、減速度を一定にし、乗心地のよい円滑な起動、停止を行うことができる。

さらにこの制御装置は郊外電車の単位スイッチのような圧縮空気を使用せず、全電気式の米國 PCC 車に相通するものがある。

1 図にこの制御装置のツナギを示す。従来の直接式制御器においては、2 個の電動機は直列、並列のツナギ替えを行い、電力の節約と中間速度を得るには便利であつたが、直並列渡りの衝撃、回路の複雑等の欠点を有していた。この装置においては電動機は常時並列ツナギとして回路を簡単にし、制御段数を増すことによつて加速、減速の電流を上げ、加減速時間を短縮して電力を節約し、また中間速度を得るために全抵抗が入つた 1 ノッチを設けている。

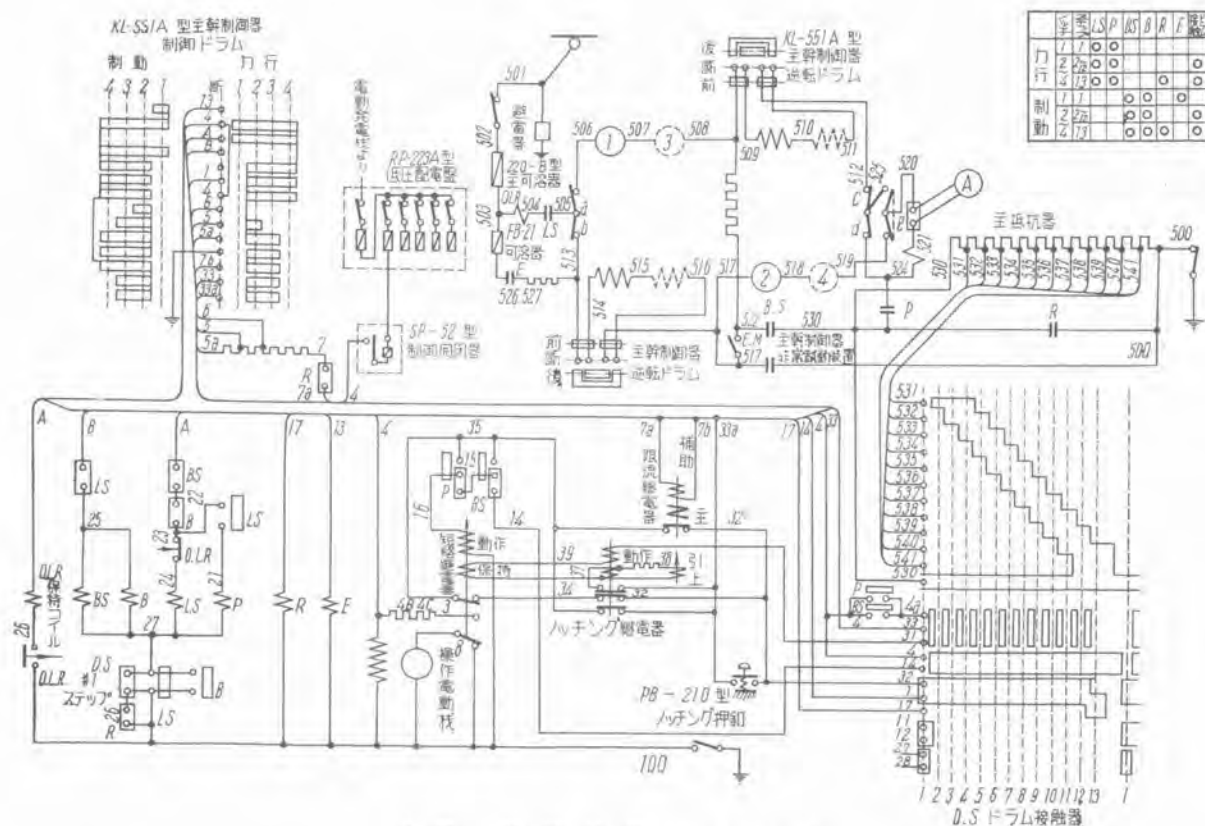
2 図 (a), (b) に直接式制御器 KR-8 型のそれぞれ力行、制動のノッチング曲線を示す。3 図 (a), (b) に本制御装置のそれぞれ力行、制動のノッチング曲線を示す。これらの曲線はすべて 50 馬力電動機 2 個のものであつて、1 個の電動機は 1 時間定格 600 V, 73 A である。各曲線において力行、制動のピーク電流を定格電流のそれぞれ 2 倍および 1.7 倍に抑え、図の太線に添うて階段刻みが行われる。これらの曲線に車重 25 トンのときの粘着系数 22% および勾配 50% の釣合速度を指示する線を引けば、この制御装置は従来のものに比し次の長所があることが判る。

ア. ピーク電流を同じに抑え、加速および制動の平均電流が増加する。すなわち滑りの限界内で加減速度を増加することができる。

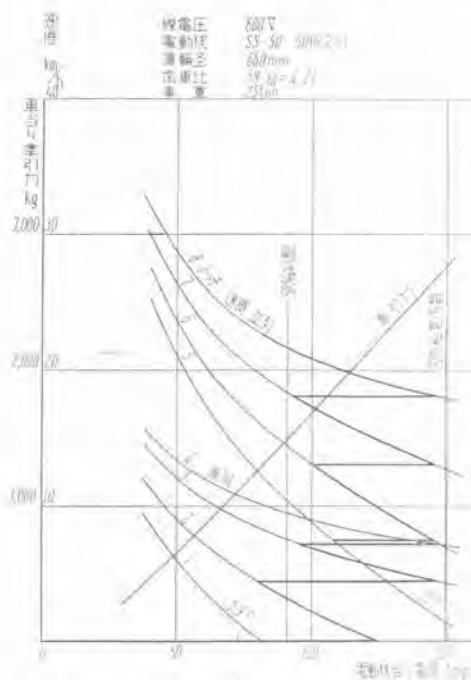
イ. ノッチ間の突流は KR-8 型力行 66 A, 制動 80 A, AB 型力行 26 A, 制動 24 A が最大値であつて、この装置の方が加速、減速が滑らかである。

ウ. 勾配起動または制動のとき、すなわち図の 50% の

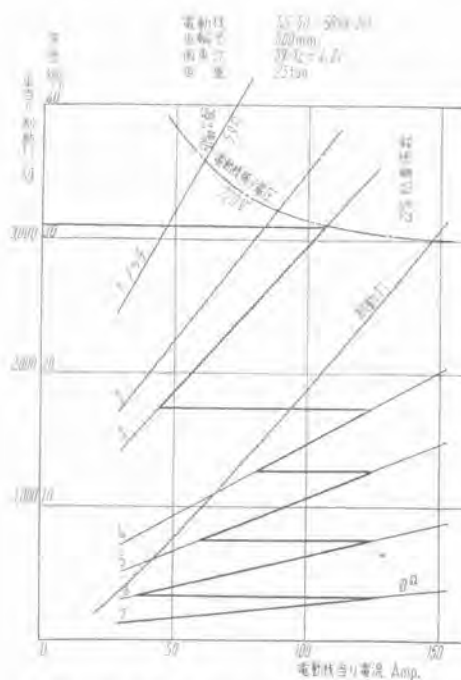




1 図 制御装置ツナギ図  
Fig. 1. Connection diagram of controlling equipment.



2 図 (a) KR-8 型ノッチング曲線 (力行)  
Fig. 2. (a) Notching curves for type KR-8. (powering)



2 図 (b) KR-8 型ノッチング曲線 (制動)  
Fig. 2. (b) Notching curves for type KR-8. (braking)

釣合点以上の電流値でノッチを進めると、KR-8 型においては必ず定格電流の 2 倍を超えるピーク電流が生ずる。すなわち過電流の機会が多い。

と両方の重量はほとんど等しくなる。しかしながら AB 型においては制御電源として電動発電機 (約 100 瓩) を備えることが望ましい。

エ. 直並列制御を行う KR-8 型においては比較的大電流で加速するとき、並列始めノッチは捨ノッチとなる。すなわち有効ノッチが減ることになる。

### 3. 主要制御器具

直接式制御器と比較して AB 型制御装置用器具を説明すれば 1 表の如くである。この表で抵抗器は KR-8 型ではグリッド、AB 型では縁巻である。主要器具を比較すれば AB 型が 77 kg 重い。現在主幹制御器は KL-553 型として 1 両当り約 90 kg のものを製作中であるので、これを考え

## ア、主制御器

### MU-5-111 型

4 図に蓋を外した主制御器の写真を示す。電磁接触器 DH-300 型 1 個 (LS 用)、電磁接触器 DH-150 型 4 個 (P, B, BS, R 用)、過負荷継電器 YA-601 型 1 個、限流継電器 LA-21C 型 1 個、電動機開放器 1 組を納めている。過負荷継電器と LS, P の電磁接触器が直接式の自動遮断器に相当する役目をなし、誘導負荷 20 mH 空心、直流 600 V において、遮断容量は大型の K-3-D 型自動

遮断器で 900 A であるが、AB 型では 1500 A 以上の容量を有する。工場試験においては 2150 A を遮断した。

限流継電器は起動または制動電流を予定された電流に制限するものであつて、その限流点は主幹制御器の把子位置によつてある範囲内を変更することができる。従つて直接式において起り得た電動機の過負荷は起らない。

#### 4. ドラム接触器 XC-12-511 型

5 図、6 図にそれぞれ接触指側および操作電動機側から見た写真を示す。KR-8 型制御器の抵抗短絡用ドラム接触器を操作電動機によつて操作するものであつて、一方回転するため電流の遮断は行わないで、KR-8 型制御器にあるような吹消機構は備えていない。操作電動機は直流 100 V, 100 W, 1700 rpm, ウォームギヤー 2 段減速、減速比 117:1 である。

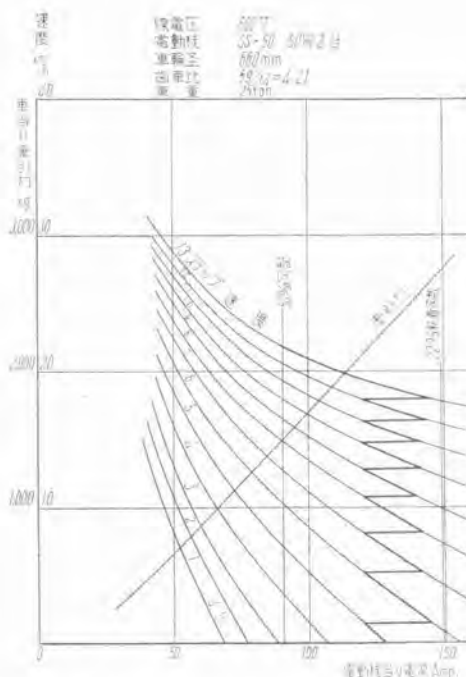
#### ウ、主幹制御器 KL-551A 型

7 図に蓋を外した写真を示す。力行、制動を掌る制御ドラム、車の前後進を選択する逆転ドラム、および非常制動装置を納める。制御ドラムは 100 V 制御回路で、容量は小さく、逆転ドラムは電流遮断は行わず、通電容量のみは大きい、いずれも吹消機構は不要である。

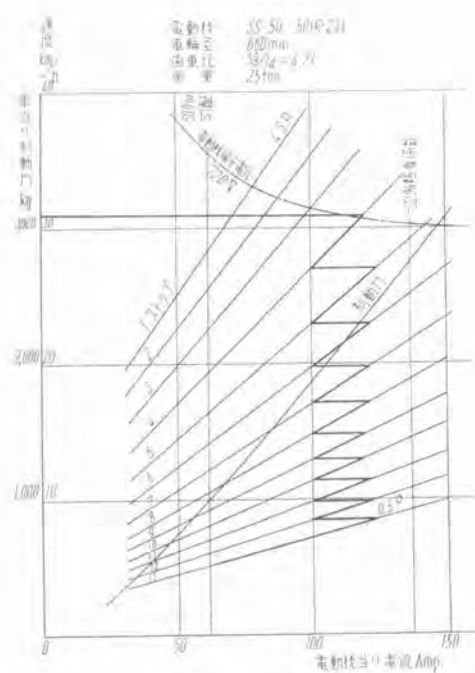
非常制動装置は制御電源および空気ブレーキ故障のとき、手動で非常電気制動が掛け得るようにした装置であつて、非常制動を途中で中止する場合に備えて、吹消機構を有している。

#### エ、継電器箱 NR-202 A 型

8 図に蓋を外した写真を示す。ドラム接触器の操作電動機の電機子電流を閉閉する短絡継電器、確実なノッチ刻みを行わせるノッチング継電器、電気制動の始めに制動電圧の誘起を速めるために行う電動機界磁の予備励磁



3 図 (a) AB 型ノッチング曲線 (力行)  
Fig. 3. (a) Notching curves for type AB.  
(powering)



3 図 (b) AB 型ノッチング曲線 (制動)  
Fig. 3. (b) Notching curves for type AB.  
(braking)

1 表 両制御装置対称表

直接式制御器 KR-8 型				間接式制御装置 AB 型			
器具名称	型名	個数	重量 kg	器具名称	型名	個数	重量 kg
		1 両	1 両			1 両	1 両
自動遮断器	K-2-F	1	11	主制御器	MU-5-111	1	152
制御器	KR-8	2	290	ドラム接触器	XC-12-511	1	108
抵抗器	RB-2 A	1 組	132	主幹制御器	KL-551 A	2	160
				継電器箱	NR-202 A	1	26
				主抵抗器	EW-1-36	1 組	64
計			433	計			510



4 図 MU-5-型主制御器  
Fig. 4. Main controller type MU-5-111



5 図 XC-12-511 型ドラム接触器  
Fig. 5. Drum contactor type XC-12-511



を掌る DV-20 型電磁接触器および V チューブを納めている。

#### 4. 試験記録

##### ア. ノッチ刻み試験

1 図ツナギによつて判るように限流継電器は力行、制動とも 2, 3 ノッチにおいては引上コイルが動作するが、4 ノッチにおいては引上コイルは動作しない。すなわち限流点の低い 2, 3 ノッチにおいては 1~13 ステップの各々は強制的に確実に刻むが、4 ノッチにおいては限流点に達して限流継電器が動作するまでは操作電動機は回転し続ける。主回路電流を通電しないいわゆる空ノッチ試験において、1 図線番号 4-3 の抵抗値  $12\Omega$ 、制御電源 100 V のときのドラムの 1→13 ステップまでの回転時間は

2, 3 ノッチ——5.75 秒

4 ノッチ——4.10 秒

であつた。なお 2, 3 ノッチにおける空ノッチ試験のオシログラムを 9 図に示す。オシロ測定位置は次のとおりである。

No. 1 線 31 回路 (送りセグメント通過時間)

No. 2 線 8 回路 (操作電動機電機子電流)



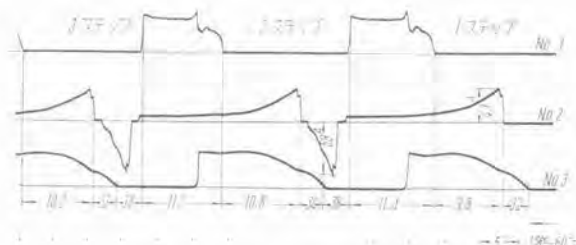
6 図 XC-12-511 型ドラム接触器  
Fig. 6. Drum contactor type XC 12-511.



7 図  
KL-551 型主幹制御器  
Fig. 7.  
Main controller  
type KL-551.



8 図 NR-202 A 型継電器箱  
Fig. 8. Relay box type NR-202 A.



9 図 ノッチ刻み試験  
Fig. 9. Notching test.

No. 3 線 16 回路 (短絡継電器コイル電流)

##### イ. 現車試験

昭和 27 年 4 月 15, 16 日大阪市電現車試験によつて得られた代表的なオシログラムを 10 図 (a), (b), 11 図 (a), (b), 12 図, 13 図に示す。試験車は空車 17 トン、荷重 7 トン、試験員および試験器具を含み総重量約 25 トン、主電動機は A. E. G. 製 USL-253 A, 50 馬力 2 個、車輪径 660 mm、歯車比 62:13=4.77 であつた。

オシログラムの測定箇所は 1 図において架線電圧 (制動時には 517-518 間の誘起電圧)、送りセグメント電流 (31 線)、操作電動機電機子電流 (8 線)、予備励磁接触器コイル電流 (13 線)、主回路電流 (516 線)、速度および時間である。速度は車軸よりベルトによつて小型発電機を回転し、その周波数から換算した。時間は梅北式電接時計によつて測定した。

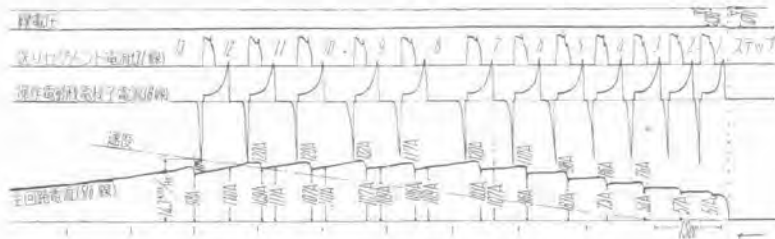
試験中制御電源は 95~100 V であつて、限流継電器は 140 A 目盛に調整した。

13 図の勾配逆行制動は勾配上昇中停車して、逆転器そのままの状態で行き始めたとき、2 個の電動機の不平衡により電気制動が掛る状況を試験したものである。その他のオシログラムは平坦線における起動・制動・非常制動の試験である。

#### 5. 試験記録の検討

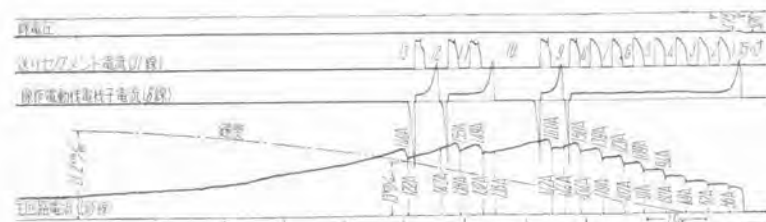
##### ア. ドラム接触器回転速度

主幹制御器 2, 3 ノッチにおいては最終ステップまで 5.75 秒かつた。最終ステップに移つたとき 18 km/h であるとすればその加速度は  $18/5.75=3.12$  km/h/sec



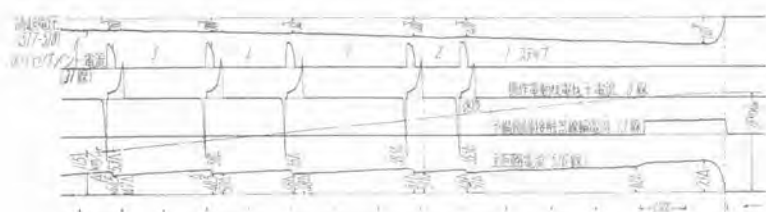
10 図 (a) 平坦起動 3 ノッチ (27-4-15)

Fig. 10. (a) Level starting 3 notches.



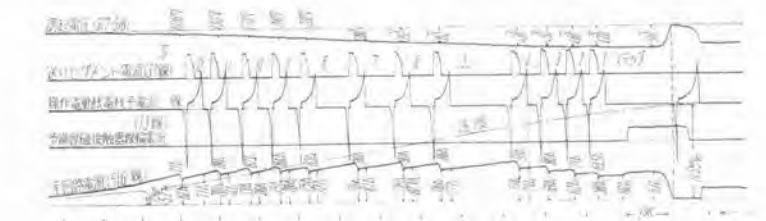
10 図 (b) 平坦起動 4 ノッチ (27-4-15)

Fig. 10. (b) Level starting 4 notches.



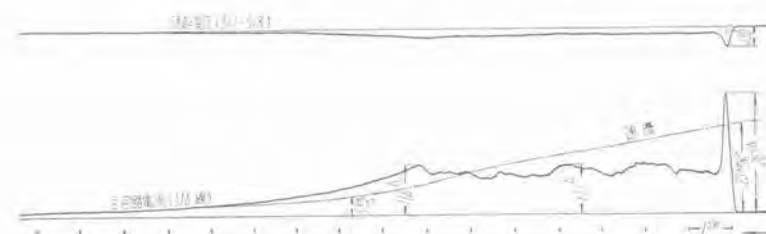
11 図 (a) 平坦制動 2 ノッチ (27-4-15)

Fig. 11. (a) Level breaking 2 notches.



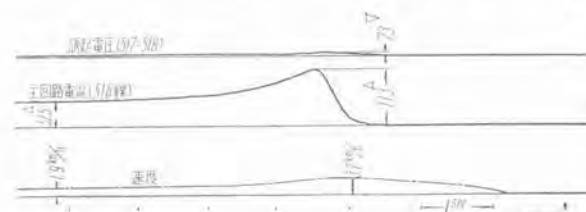
11 図 (b) 平坦制動 3 ノッチ (27-4-15)

Fig. 11. (b) Level breaking 3 notches.



12 図 平坦非常制動 (27-4-26)

Fig. 12. Level emergency breaking.



13 図  
勾配逆行制動  
(27-4-16)

である。主幹制御器 4 ノッチにおいて最終ステップまで 4.1 秒かゝつた。同様に加速度は  $18.4.1 \sim 4.4 \text{ km/h sec}$  である。いずれも実際に得られる加速度より大きい値であるから始めのステップはドラム接触器の回転特性によつて加速し、後半のステップは限流継電器の動作によつて加速するものであることが判る。したがつて滑かな起動を行うことができる。同様に電気制動の際にもドラムの回転特性によつて始めのステップにおける過電圧、過電流を防止することができる。従つてドラム 1 回転時間 4~6 秒は適当な値である。

各ステップの通過時間は 1~13 ステップの所要時間を 12 で割れば 2, 3 ノッチで 0.48 秒, 4 ノッチでは 0.34 秒となる。また 9 図から操作電動機起動間の時間を読めば 1→2 ステップ  $28.4 \text{ sec} = 0.47 \text{ sec}$ , 2→3 ステップ  $29.1 \text{ sec} = 0.48 \text{ sec}$  となつて、現車試験の記録と合致する。

#### イ. 加減速度

起動試験・制御試験の記録から加速度・減速度を求めて表示すれば 2 表, 3 表のようになる。加減速度は全体のもの、限流点以上の部分的なものとを求めて見た。限流点の平均値および加減速度を 4 表に表示した。

限流点の変更は約 30 A の差で四つのノッチが得られ、したがつて加減速度も 0.7 (全体では 0.6)  $\text{km/h sec}$  の差が表われて大体予期したものが得られた。

この試験は満員車重において行われたので、とくに限流点を電動機には無理な 140 A に調整したので起動において捨ノッチが多く表われている。制動 3 ノッチにおいて終りのステップは限流点が下つてゐるが、これは車の減速が早くステップの刻みが遅れ気味であるので、終りステップの間隔はもう少し拡げた方がよかつた。12 ステップの谷の値が低いのは 13 ステップのみ電磁接触器で抵抗が短絡されるからである。

#### ウ. 非常制動

12 図によれば始めの突流によつて車は滑りを起し、誘起電圧が急減し、ついで滑りの限界点を上下しつつ車は減速することが認められる。記録から初速 23  $\text{km/h}$ , 終速 5  $\text{km/h}$ , 時間 9 秒であるから減速度は  $2 \text{ km/h sec}$  である。したが



2 表 起 動 試 験

3 ノッチ [10 図 (a)]							4 ノッチ [10 図 (b)]								
ステップ	限流点 A	各ステップ電流 A			終速度 km/h	時間 sec	加速度 km/h/sec	ステップ	限流点 A	各ステップ電流 A			終速度 km/h	時間 sec	加速度 km/h/sec
		山	谷	突流						山	谷	突流			
1	—	51	—	51		0.25	全 14.3 8.2 =1.75	1	—	56	—	56		0.25	全 13 5.55 =2.35
2	—	57	—	6		0.5		2	—	62	—	6		0.35	
3	—	64	—	7		0.5		3	—	69	—	7		0.35	
4	—	76	73	12	1.8	0.5		4	—	80	—	11	起動	0.35	
5	—	86	83	13		0.6	9.3 4.45 =2.1	5	—	94	91	14		0.35	8 2.85 =2.8
6	—	98	96	15		0.65		6	—	109	107	18		0.35	
7	107	110	103	14	5.0	0.75		7	—	123	119	16		0.35	
8	109	120	106	17		1.0		8	—	139	134	20	5.0	0.35	
9	109	117	107	11		0.75	=2.8	9	144	150	142	16		0.5	
10	110	122	107	15		0.85		10	135	160	132	18		1.15	
11	111	120	109	13		0.75		11	—	149	138	17		0.35	
12	110	120	98	11	14.3	1.1		12	142	153	122	15	13.0	0.85	
13	—	111	—	13				13	—	140	—	18			
平均 109±2						計 8.2		平均 139.5±4.5						計 5.55	

3 表 制 動 試 験

2 ノッチ [11 図 (a)]									3 ノッチ [11 図 (b)]								
ステップ	限流点 A	各ステップ電流 A			電圧 V	初速度 km/h	時間 sec	減速度 km/h/sec	ステップ	限流点 A	各ステップ電流 A			電圧 V	初速度 km/h	時間 sec	減速度 km/h/sec
		山	谷	突流							山	谷	突流				
予励	—	73	—	—	620	26	2.1	$\frac{14.5}{14.1}$ =1.025	予励	—	67	—	—	510	24.5	1.1	全 $\frac{19.3}{12.2}$ =1.58
1	51	62	49	—	420		3.8		1	—	60	58	—	470		0.6	
2	51	55.5	51	6.5	400		1.2		2	—	63.5	62	5.5	460		0.6	
3	48	58.5	48	7.5	340		2.8		3	—	71	69	9	450		0.6	
4	50	55	48.5	7.0	300		1.9	$\frac{14.8}{8.5}$ =1.73	4	79	80	77	11	430		0.8	=1.73
5	47	58	44.5	9.5	260		2.3		5	77	91	76	14	430	20	1.9	
6	—	53	—	8.5		11.5	—		6	81	86	78	10	352		0.9	
7									7	81	90	78	12	325		1.1	
8								$\frac{14.8}{8.5}$ =1.73	8	77	90	75	12	280		1.2	=1.73
9									9	78	83	75	8	220		0.8	
10									10	76	84	73	9	200		0.8	
11									11	74	82	70	9	170		0.8	
12									12	71	78	62	8	130		1.0	
13									13	—	71	—		108	5.2	—	
平均 49±2							計 14.1		平均 76±5							計 12.2	

4 表 加 減 速 度

	制動2ノッチ 制動3ノッチ		力行3ノッチ	力行4ノッチ
限流点A	49	76	109	139.5
加速度 km/h/sec			2.1(1.75)	2.8(2.35)
減速度 km/h/sec	1.025	1.73(1.58)		

ただし ( ) 内は全ステップの加減速度を示す。

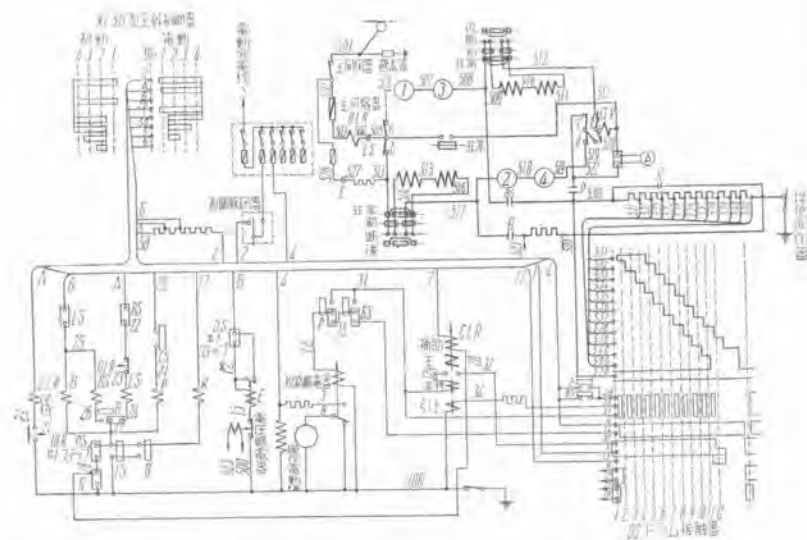
つて非常制動も滑りの限界内での最高の減速度しか得られないので、2個電動機では2~3 km/h/sec程度の非常制動しか掛らない。

このときの滑りは約110 A で起つていると考えられるが、これに対する1個電動機当りの制動力は1200 kgであるから、粘着系数は $1200/25/4=0.19$  すなわち19%であつた。

1 図ツナギにおいて非常制動回路に抵抗が入つているが、その値は $0.5 \Omega$ であつた。制動初期の電圧誘起の遅れと車の滑りによつて、制動始めの突流は試験中最大330 A であつた。低速度まで電気制動を効かせるために外部の抵抗なしでも差支えないと思われる。

#### エ. 勾配逆行制動

2 個の電動機が閉回路となり、電機子の逆転と界磁コイルの残留磁気によつて電圧が誘起され両電動機の不均衡により、強い方向の電流が流れて、急制動が掛るのであるが、このとき33.7% 下り勾配において速度零から出発して3.5秒にして2 km/h の釣合速度となつた。すなわち勾配上昇中停電し、圧縮空気もないときでも車は危険速度で逆行することはない。



14 図 AB 型制御装置ツナギ

Fig. 14. Connection diagram of type AB controlling equipment.

#### オ. 電気制動予備励磁効果

電気制動初期の電圧誘起は1~2秒を要するのが普通であるが、11 図で判るように予備励磁を行つたことにより電圧誘起は約1/3秒であつて、制動の空走時間の短縮に有効である。

#### カ. 各ステップ突流

各ステップ突流は最大値で起動20 A, 制動14 A であつた。これに相当する車当りの牽引力または制動力の変化は430 kg である。すなわちこのステップにおける加速度または減速度は $430/31 \times 25 = 0.56 \text{ km/h/sec}$  であつて、各ノッチ間の変化 $0.7 \text{ km/h/sec}$  に比べても、通常1ノッチの加速度1 km/h/sec 前後の値に比べても、円滑なステップの刻みには13ステップで十分である。

#### キ. 加減速度の向上

前述したように満員車重25トンにおいては2 図、3 図で判るように電動機当り電流は起動約150 A, 制動約135 A が限度であるので、現状のまま加減速度をこの記録以上に上げることは、いかに制御段数を増加しても無理である。したがつて現在4 km/h/sec 以上の加速度を得るために4個電動機の市街電車が計画されつつある。上述した制御装置は70馬力2個の容量を有していたが、さらに300 V, 55馬力4個の電動機を制御する容量を有し、高加減速制御に適した制御装置に1部改造して製作しつづけるツナギを14 図に示す。この改造の要点は力行回路の電流容量を増し、ノッチング押釦回路を取止め、主幹制御器を小型にしたことである。

## 6. む す び

以上述べたように米国式PCC車に移行する段階として、間接式自動加減速制御装置の試作・試験は一応の成果を取めたのであるが、本格的な採用までにはなお種々

問題が残っている。市街電車に対しては何分にも新方式であるため、大方のご批判と叱正を仰ぎ、設計ならびに工作に益々安全なものと思いたい所存である。

終りに当つてこの装置の製作ならびに試験に当つて終始ご支援を賜つた大阪市交通局の関係者各位に厚く御礼申上げる次第である。

# ト ッ ヒ ン グ ・ ウ イ ン チ

長崎製作所

和田 義 勝\*

## Topping Winches

By Yoshikatsu WADA

Nagasaki Works

Topping winches, a new type of cargo handling equipment in the ship, are discussed of their effect on improving loading efficiency and on safety. Concrete descriptions are also made about the specification, distinctive features, construction and controlling system of the product now under trial manufacture.

### 1. ま え が き

船舶における荷役能率を向上せしめるには、揚貨機自体の荷役能率の向上は、もとより必要であるが、荷役時間の短縮、ブームの昇降や移動の容易など、荷役装置全体としての総合能率の向上を計らなければ、その目的を十分に達成することはできない。

また荷役作業は、船舶における各種作業中でも、最も危険を含む作業であるから安全な作業ができるように、その装置を計画する必要がある。

貨物船が、その名の示す如く貨物の運搬を目的とするものであれば、もつと荷役装置の改善に重点がおかれるべきであつたと思われる。たとえば、操舵室に最新式の、レーダ装置を有する船舶の荷役設備が、何十年もの間使用されたものと、根本的には同じ型式のものであるとしたならば、甚だ不合理なことであり、十分に検討を要する筈である。

現在、試作を進めつつある、トッピング・ウインチの設置は、この検討の結果の一方であり、上記の荷役能率の向上と安全作業とを目的としたものである。

トッピング・ウインチは、外国船においては、最近すでに設置されているものがあり、Lake Shore Engineering Co., American Hoist & Derrick Co., Sunderland Forge Co. の各社で製品化されている。

### 2. 効 果

トッピング・ウインチは、ブーム1本毎にそれぞれ1

台宛普通、ホストに取付けられ、ブームの昇降を行うもので装置全体を通視できる場所から遠隔操作をする方法がとられる。

従来の方では、ブームの昇降には、その都度、トッピング・リフト・ワイヤのクリートへの固縛をゆるめたり、あるいはしめたり、とくにブームをたてる時には、揚貨機の主巻胴あるいは副巻胴に、リフト・ワイヤを巻きとつて、揚貨機を使用してこれを行う必要があり、その手順もきわめて非能率であるし、また甚だ危険な作業であつて、荷役事故の多くは、ブームの昇降作業中の不注意に原因するといわれる。

さらにいわゆる喧嘩巻において、船内側のブームの先端の投影位置を、ハッチの開口部の任意の位置に移動できれば、荷役時間が短縮されて荷役能率が向上することになる。従来の方では、ブームの降下は、リフト・ワイヤのクリートへの巻数を減じて、ワイヤを滑らすことにより危険ではあるが、ある程度可能であるが、ブームをたてることは、両舷の揚貨機の主巻胴が使用されているから、カーゴ・フオール・ワイヤを解かないかぎり不可能となる。したがつてブームの位置を、最初に一旦固定したならば、その状態のまま荷役を継続するのが、普通行われる荷役である。

しかし、トッピング・ウインチを設置すれば、揚貨機とは全く無関係にブームの昇降が可能となり、従来の方の非能率と非安全を解消することができる。

もちろん、ブーム1本につき、トッピング・ウインチ1台を要するから、ある程度の設備費のかさむことは当



然であるが、就航後の荷役能率の増進・人件費の節約・事故の減少などを総合して考えれば、初設備費の高価は十分に償いうるものと思われる。

### 3. 仕様および特性

試作中のものの仕様は1図付表の示すものであり、その計画速度特性を2図に示す。

### 4. 構造および特長

電動機・巻胴・減速装置・電磁制動機を一体にまとめたもので、電動機・機械部分の各部構造の簡易化をはかり、極力小形軽量化につとめ、電動機は15分間定格を採用した。(1図)

ブームに加わる負荷は、これを電磁制動機のみによつて保持せず、セルフ・ロックのウオーム装置にも制動作用を行わせて、充分安全に保持するようにしている。

#### ア. 巻胴

巻胴には硬質鋳鉄を用い、またロープ止金は取付、取はずしが容易で、ロープを巻き重ねても、その部分がじやまにならないような構造としている。ロープがたるんだとき、下方にたれ下るのを防ぐために、ロープ受板を、またドラム外へロープが外れて巻き付くのを防止するために、ドラム・カバーを設けている。

#### イ. 減速装置

減速には斜歯ギヤ装置とウオーム装置とを用いている。

電動機軸端に取付けられている斜歯ビニオンは、ウオーム軸端の斜歯ギヤと噛合つて第一段の減速を行っている。歯車には、ニッケルクローム鋼に高周波焼入を施して、充分な耐摩耗性を與えている。

ウオーム装置には、進み角の充分小さな、セルフ・ロックのウオームを用いている。ウオームはニッケル・クローム鋼を使用し、歯の部分には表面焼入を行つて適当な硬度に調質している。ウオーム・ホイールの歯部には、アームス・ブロンズ鍛造品を用い、車体に焼炭するとともに、ハメアイ部分はネジ止めて強固な一体としている。

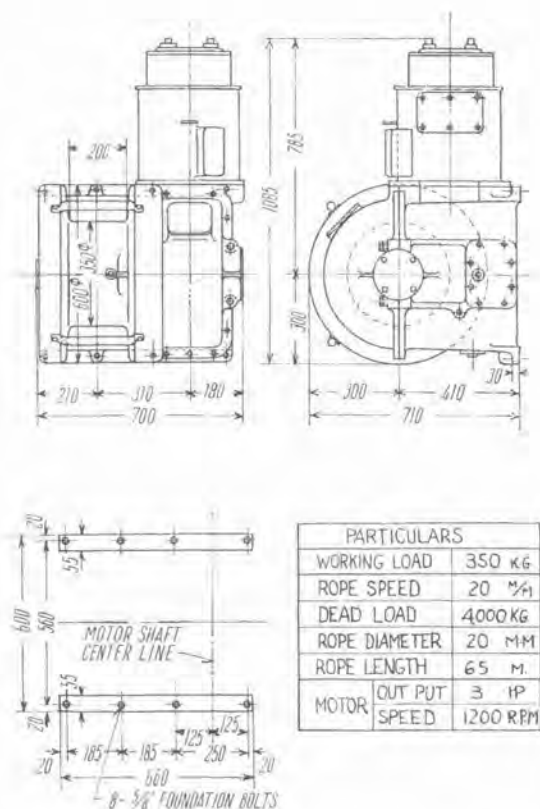
歯車はすべて一体の鋳鉄製歯車箱内におさまリ、各軸受と同時に箱内の油によつて潤滑される。

#### ウ. 電動機と制動機

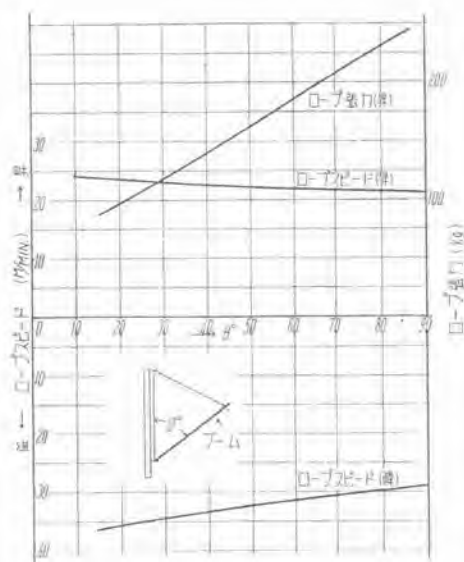
電動機は、フランジにより機械部分に直結して一体構造としている。直結側球軸受は歯車箱の油を利用する給油方式を採用し、この油の電動機部内部への侵入防止にはとくに意を用い、また反直結側軸受には自己密封式球軸受を使用した。

円盤型電磁制動機は、電動機の反直結側に電動機と一体になっている。当社の甲板補機用電動機に使用しているものと同一型式であるが、調整方式を簡易化し、各部の改良を行つた。

この装置は、縦・横いずれにも据付けられるものである。電動機の各部構造とくに軸受部分に特殊な考慮を払い、いずれの方向の据付けに対しても満足な機能を発揮するようになっている。



1 図 トッピングウインチ外形図  
Fig. 1. Topping winch outline.



2 図 特性曲線 (ブーム角に対するロープ速度及びロープ張力)

Fig. 2. Characteristic curves (Relation between boom angle and rope speed or rope tension)

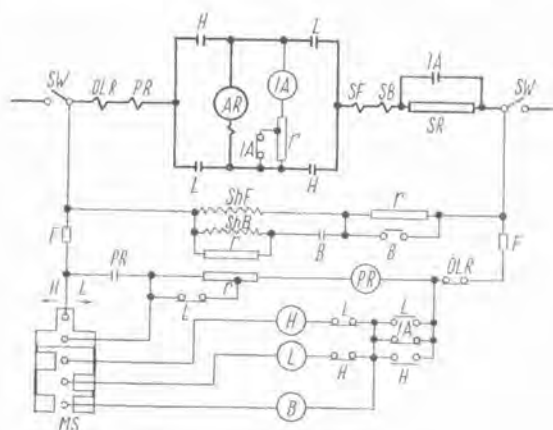
ブームの角度によるロープ速度の変動を避け、しかも起動特性を満足ならしめるため、電動機的设计をよく考慮してある。

## エ. 制御装置

逆起電力加速による二段起動とし、2回の特性曲線に見られるように昇降共速度制御は行わない。

保護装置としては a. 過負荷保護 b. 無電圧保護 c. ブラッキング保護 d. ブーム降下の場合の過速度保護、を備えている。

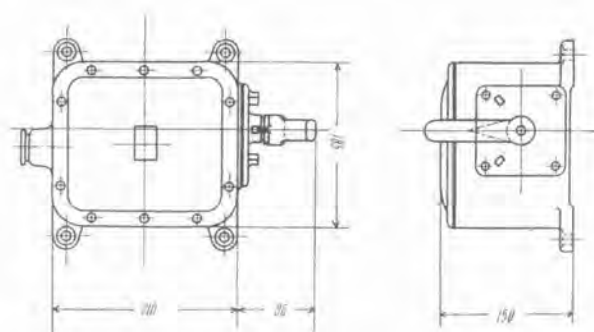
ブラッキング保護は、昇より降または降より昇に急激に操作した場合に電動機の回転が定められた値以下



3 図 接続図 (実用新案出願中)

Fig. 3. Connection diagram

符号	名 称	符号	名 称
AR	電機子	PR	無電圧兼過速保護継電器
IA	加速接触器	r	抵抗
B	制動機用接触器	SF	直巻界磁線輪
F	ヒューズ	ShF	分巻 //
H	電磁接触器(昇)	SB	電磁制動機直巻線輪
L	// (降)	ShB	// 分巻線輪
MS	マスタ・スイッチ	SR	起動抵抗
OLR	過負荷継電器	SW	電源開閉器



4 図 マスタスイッチ

Fig. 4. Master switch.

となつた場合に降または昇の主接触器が投入され、川滑な逆転ができるようにしたものであり、過速度保護は、ブーム降下するとき、たとえば荷重を吊つたまま、降した場合、ブームが加速して電動機が発電機となり、その電流値が定められた予定値に達した場合に装置を停止せしめるものである。(3 図接続図参照)

マスタ・スイッチは水防型で、左右対称のものを一組とし、停止位置にハンドルを固定する装置を備え、不用意にハンドルが動くことを防ぎ、また発条復帰式として、さらに前記のように無電圧保護を設けて、安全を期している。(4 図)

自動起動器は、防滴壁掛型で室内に別置されるものである。

## 5. む す び

以上現在試作中のトッピング・ウインチにつき、その効果および製品の概要につき説明した。トッピング・ウインチはそのまま、ガイ・ウインチとしても使用し得るもので、その場合には1本のブームに、トッピング・ウインチおよびガイ・ウインチ各1台宛が設備されるわけである。当社製トッピング・ウインチ2台が近く長崎造船所建造の NYK 有田丸に搭載され試用されるので、その結果を期待している。

このウインチの開発に際しては、長崎造船所、溝越忠男参事のご助力を得たことおよび本文の一部を、当所、平野敏也・熊本永両技師が担当された事を付記する。

# 新 型 の 単 相 積 算 電 力 計 MD 型

福 山 工 場

佐 藤 貞 雄\*・上 野 弘\*\*

## Type MD New Single Phase Watthour Meters

By Sadao SATO, Hiroshi UENO

Fukuyama Factory

Type MD new single phase watthour meters, now on a regular production at a large scale, has been developed and approved of their type and form already aside from the Type MA which has been produced for a long time. They are intended for outdoor use and serviceable in a wide range, being good for continuous use at 200% overload and provided with compensation for error at 300% overload. In this paper are described about the development of this meter, why wide range of application is necessary and the construction and characteristic of the Type MD.

### 1. ま え が き

当社の単相積算電力計は、昭和6年型式第139号をもつて出発したMA型に始まる。

この型の生産期間はすこぶる長く、戦争中および終戦直後に材料逼迫のため一部代用材使用というような憂目をみたこともあつたが、本質的にはほとんど原型式を変えることなく終戦後もしばらくはそのまま続けてきた。しかるに昭和24年末頃から電力会社の計器にたいする品質向上の要求はしだいに高まり、当社も昭和25年6月にいたり、過負荷特性改良のため電磁石構造の一部を変更したものの追加型式承認を得た。(MA改2型)。その後計器は屋外に取付けられる機運となり、したがって周囲温度の変化は屋内取付の場合よりも大きくなり温度補償の必要を生じてきた。また始動電流の減少、電圧線輪の損失の低下も大きく取り上げられるにいたつたので、ついにMA改2型の過負荷特性を多少犠牲にして、温度補償を施し、その計器に要求される諸特性を改良したものを製作し、昭和27年4月追加型式第139-4号として承認され、現在はこの型を量産中である。(MA改3型)

MA改3型は一般特性の点において改2型に比し勝つてはいるが、過負荷特性の点が劣っているのは、止むを得ないこととはいえ遺憾なことであり、ここにおいてさらに一步を進めて旧来の型にとらわれることなく、まったく新しい設計方針にもとづいて2倍負荷連続使用、

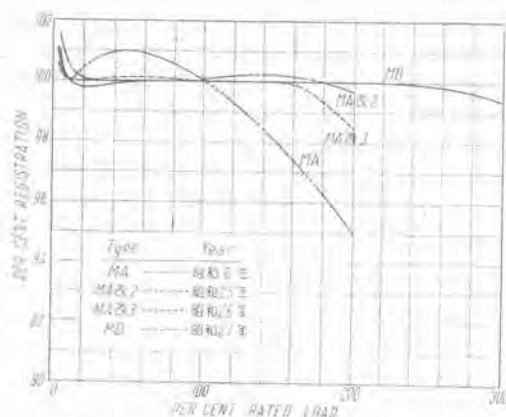
3倍過負荷まで誤差補償を目標として試作を進めることにした。これは第2項で述べる諸外国の情勢とも関連し、東洋市場で外国品と競争するためにも必然的に要求される事柄であつた。

構造的な点でも色々の新しい企てをした。このMD型は型式番号第183号をもつて、昭和27年9月認可された。1図はその外形図であり、2図は当社品の負荷特性曲線の変遷を示す。

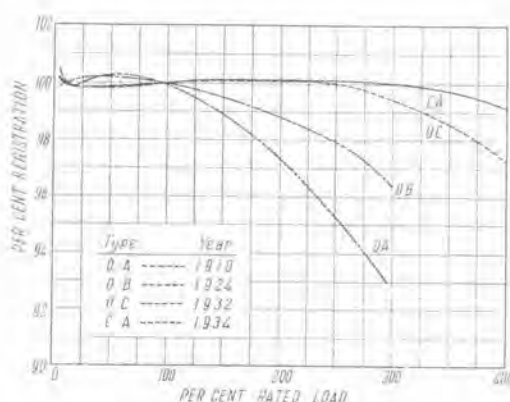


1 図 MD 型単相交流積算電力計 100 V 10 A 50~  
Fig. 1. Type MD single phase AC watthour meter.  
100 V 10 A 50~





2 図 当社単相積算電力計の負荷特性の変遷  
Fig. 2. Change of load characteristic curves of Mitsubishi watt-hour meter.



3 図 ウェスチングハウス社の負荷特性の変遷  
Fig. 3. Change of load characteristic curves of Westinghouse watt-hour meter.

## 2. 外国の計器と MD 型の比較

米国製単相積算電力計の進歩状況は大体各社とも、(Westinghouse, G. E., Duncan, Sangamo) 同様な過程を経て最近特性も同程度になつている。その一例として Westinghouse 社製計器の負荷特性向上の跡をたどつてみると 3 図の如くである。

ドイツの戦後の状況はよく知られなかつたが最近文献が入るようになり、その広告欄その他より推測して戦前に比し相当進歩していることが明かとなつた。すなわちドイツでは、国内向け計器と輸出向け計器とを区別しており、国内向けのものは大して良くないものを使い、輸出向けは高級品とし、しかもそれをさらに主として東洋向けは 3 倍過負荷まで誤差補償、南米向けは 4 倍まで補償というように区別しているようである。たとえば AEG 社の J6H 型は 3 倍過負荷まで、J6G 型は 4 倍過負荷まで誤差補償をしているし、Siemens 社においても同様のことをしているようである。

英国においても、従来は 1937 年度 B. S. S. 広範囲計器として 2 倍過負荷連続使用、誤差  $\pm 2\%$  というのであつたが、最近 1952 年度 B. S. S. として 3 倍過負荷連続

使用でしかも誤差  $\pm 20\%$  というように変更したところを見ると、それに十分合格する計器を作り得るし、また海外市場獲得のためには、従来の製品では相当困難になつてきたという状況を示しているものと判断される。

MD 型をこれら外国の製品と比較すれば、米国の 1934 年頃の製品に、またドイツの AEG 社の J6H 型に相当し英国の 1952 年度規格をも充たしている。

なお米国の 1934 年頃の製品と特性が似てはいるが、その点だけをもつては、わが国の計器が約 18 年の遅れがあるということにはならない。計器は過負荷耐量を増すほど価格も高くなり、電圧線輪の損失も増す傾向にあるので、これをどの程度にするかは技術の問題よりもむしろ、計器の購買力、一般家庭における電力使用量、国民の生活水準というような経済問題に、より多く結びついているからである。

## 3. 広範囲計器の必要性

前項で述べたとおり、積算電力計を広範囲型とすることは世界的な風潮である。広範囲計器というのは、ある定格の計器がその定格の普通型計器に要求されるすべての特性を満足させるだけでなく、その定格の 2 倍、3 倍または 4 倍——この数字は国状によつて異なる——の過負荷のままで連続使用ができる計器をいう。

計器をこのように広い範囲に使用できるようにするためには、計器定数を下げる必要があり、材料を多量に要し、構造も多少複雑となり、製造原価も無算上昇する。しかもなお計器が広範囲型となりつつあるのは、主としてつぎの理由による。

ア。家庭で使用される電気が電灯や、電気アイロン位のかぎられた種類であるときは、計器は広範囲型のものでなくてもよい。しかるに近年一般の家庭の電気使用法は多岐になりつつある。

将来電気の使用量がさらに増えると、この傾向はますます甚だしくなる。このようになると積算電力計は広い範囲の負荷を精密に測定するものでなければ電気の公正取引が期せられない。

イ。新規取付、検満時の取外しおよび故障等に備えるため、電力会社は相当数の計器をランニング・ストックとして持つておく必要がある。広範囲計器であれば、ストックの機種を減らし得、したがつて総数も少なくてすむことになる。

ウ。積算電力計のように毎月の生産台数が非常に多いものでは、部品および材料のストックを減らすことは製造者にとって大きな関心である。広範囲計器は機種を減らし得るという点でこの目的にそう。

エ。計器の数が著しく多いだけに検満時における修理および再検定は膨大な費用と時間を要する。もし検満の期間を延長することができれば非常な節約となる。そしてこの期間を延ばすというようなことは技術的な立場からいえば広範囲計器でなければ達成されない事柄である。

したがって計器を広範囲型とすることは、公正な取引に必要であるばかりでなく、増大してゆく計器を円滑に運営してゆくために欠くべからざる手段である。

#### 4. 特 長

この計器の特長としてつぎの 10 項目をあげることができる。

(1) 二重補償による広範囲特性

負荷特性は 300% までほとんど変化なく、200% まで連続使用が可能である。

(2) 長い寿命

機械的良度が大きく、摩擦トルクおよび無負荷時の円板の振動が少ない構造になっており、永年使用してもほとんど特性の変化がない。

(3) 検針能率向上

計量器の文字を大きくしてあり、検針が容易である。

(4) 組立容易

計器の分解および組立は、熟練を要せず迅速、確実に行なえる。

(5) 機械的ならびに電気的強度大

各部品は堅牢・精密で、振動・衝撃にたいして誤差の変化がない。制御磁石は銅メッキにより減磁を防ぎ、巻線・端子等の絶縁協調に十分考慮を払つてある。

(6) 温度補償

第一種・第二種の温度補償をしてあり、 $-10 \sim +40^{\circ}\text{C}$  間において誤差変化がきわめて少い。

(7) 始動電流小

定格負荷の 0.5% 以下で始動する。

(8) 電力損失小

電圧回路損失少く、電流回路も太線使用により損失は小さくなっている。

(9) 調整容易

相互干渉が少なく、操作が容易かつ確実である。

(10) 品質保証

品質の均一性が保たれる構造であることと、徹底的な品質管理の実施により、品質にばらつきがない。

#### 5. 構 造

「長い寿命、少ない維持費」というのは、積算電力計の広告の文句として、米国の雑誌でもつと頻繁に見られる言葉の一つであるが、MD 型の構造もまたまさにこの点を目標とした、前項「特長」のうち、(1) (6) (7) (8)、以外はすべてこの言葉に関連がある。

計器をしてこの目的に沿わせるためには

ア、構成部分の各々が頑丈であること。

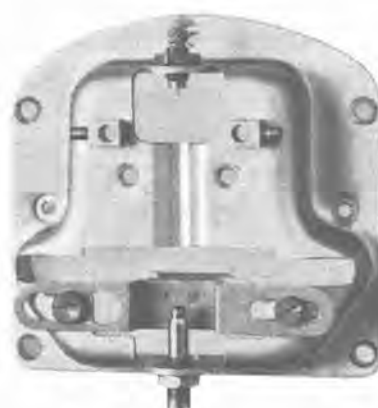
イ、各部分があまり細目に分解できないこと。

ウ、部品の位置決めが簡単で、組立に熟練を要しないこと。

のような事柄が必要である。

フレームは計器の構造上はなほだ大切であるが、これ

新型の単相積算電力計 MD 型・佐藤・土野



4 図 MD 型用フレーム  
Fig. 4. Frame for type MD.



5 図 MD 型用回転子部分  
Fig. 5. Revolving disc for type MD.

を強靱で永久に変形しないようにするために、2 mm 厚の高級仕上鋼板の絞り物を使用することにした。フレームの 2 カ所を直角に起して、上下軸受を取りつけるようにしているがこの軸受の中心線は、フレームの上面と同一平面であり、したがって検測時に計器を修理するような場合、フレームをどのように取扱つても上下軸受の相互関係は少しも変化することがない。

フレームには電磁石・制動磁石組立・計量器・回転子等が取付けられるが、その操作はいずれも簡単で熟練を要せず、しかも堅牢に行なえるので運搬や振動による特性の変化はない。

4 図はフレームの写真である。

回転子の円板は直径 82 mm、厚さ 1 mm の A7 板であり、円板軸には黄銅のウォームを圧入してあるが、ウォームは径を小にして、摩擦トルクが僅少なようにしてある。上部軸受のピンは発音の原因を除くため十分長く細くしてある。5 図は回転子および軸受の写真である。

現字型計量器は検針を便にするために、文字を大きくしてある。またその歯車は計量器をはずした場合どのような方向においても、歯車が保護される構造にしてある。通常の計器では回転子のウォームと計量器のウォーム・ホイールの噛み合はデリケートなものであるが、この計器では、計量器フレームの 2 本のスタッドを計器フレームのスタッド穴に差込めば、自動的に良好な噛み合がで

きる構造である。

6 図、7 図は計量器の写真である。

ベースおよびカバーは従来の MA 型に比し、やや大型である。ベースと端子ガードは溶接しているが、両者はよく密着してスキマがなく、接ぎ目は十分塗装されているので、屋外取付の場合にもこの部から雨水の浸入することはない。ベースとカバー間、ベースと端子モールド間には、合成ゴムのパッキンを挿入してある。

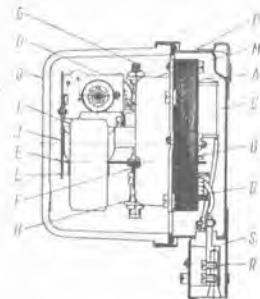
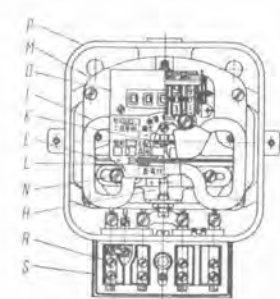
8 図はこの計器の構造図を示す。



6 図 MD 型用計量器  
Fig. 6. Resistor for  
type MD.



7 図 MD 型用計量器  
Fig. 7. Resistor for  
type MD.



記号	名 称	記号	名 称
A	電 圧 線 輪 鉄 心	K	定格負荷調整用可動板
B	電 流 線 輪 鉄 心	L	温度補償用特殊合金板
C	電 圧 線 輪	M	支 持 枠
D	電 流 線 輪	N	軽負荷調整用ネジ
E	回 転 円 板	O	計 量 装 置
F	円 板 軸	P	外 箱
G	上 部 軸 受	Q	外 蓋 子
H	下 部 軸 受	R	端 子 箱
I	制 御 磁 石	S	端 子 箱
J	マ グ ネ ッ ト 支 え		

8 図 構 造 図

構造部分中、駆動素子と制動素子は記述することが多いので項を改めることとする。

## 6. 駆動素子（電磁石）

設計に当り考慮した駆動素子として必要な条件を列挙すると、

ア. 全負荷における回転力が 36~40 gr mm の間にあること。

イ. 計器定数 100 V, 10 A において 1200~1500 (MA 型は 2000) とすること。

ウ. 機械的良度 0.2 以上たること (JIS 精密級規格 0.2 以上)。

エ. 電圧回路損を 0.8 W 以下程度とすること。

オ. 200% 過負荷連続使用, 300% 過負荷補償できる構造寸法たること。

カ. 電流線輪は量産的に型巻ができ、後から鉄心へ挿入するような設計とすること。

以上の条件を満足するために種々の試作検討を行なった結果、1 表に示す特性定数のものを MD 型として採用したわけで 9 図はその写真である。MA 型と MD 型の電磁石を比較した場合、大きな相違は従来の MA では計器全体の原価構成中、電磁石の占める % が割合少なかったのを、MD 型においては計器全体の原価構成中、電磁石の占める割合が相当大きくなったことで、これは特性向上のために避けられない必然的な成行である。

比較のため MA 型の特性定数を 2 表に、その写真を 10 図に示す。

MD 型電磁石の特長は

ア. 電流特性を良くするため、電流線輪を 80 AT とし過負荷補償として特殊の 2 段補償装置を施したこと。

イ. 電圧特性を良くするため、電圧特性補償孔および電圧飽和磁束回路へ磁気分路を設けて、2 段に補償を施したこと。

ウ. 第二種温度誤差を補償するため電圧磁束遅相板として黄銅板を使用し、電流磁束遅相コイルへ挿入する直列抵抗として純ニッケル線を使用していること。

エ. 回転力が多くしかも過負荷特性の良い割に電圧回路損の少いこと。

オ. 電圧側、電流側を一体にかしめ付けしているため、円板空隙の不同による特性のバラツキが少いこと。なお鉄心を数枚毎にプレス抜方向に対して反転して組立てるようにしたため、抜型の左右不同による特性のバラツキのないこと。

カ. 円板の入る空隙は 2.8 mm とし、余裕を十分取っており、したがって電磁石側で不回転等トラブルの起る原因をなくしたこと。

キ. 電流鉄心と電圧鉄心は管鉄でかしめてあるため、分離して修理することが可能なこと。

以上のうち特性に関係ある事項については後程特性の項で記述する。



特性定数表  
(定格 100 V 10 A 1500 Rev/kWh)

計器 良度	全負荷速度 25 rpm	電圧 素子	電力損失 0.7 W
	全負荷回転力 3.7 g-cm		励磁電流 { 49 mA (50~) 45 mA (60~)
	回転子重量 16.8 g		皮相電力 { 4.9 VA (50~) 4.5 VA (60~)
	回転力 / 回転子重量 0.22		抵抗 約 135 Ω
始動 潜動	機械的良度 0.21	電流 素子	電力損失 0.3 W 抵抗 0.003 Ω
	始動電流 全負荷の 0.5% 以下		
調整 範囲	電圧潜動 110% 電圧	絶縁	絶縁抵抗 15 MΩ 以上 耐電圧 2000 V 1 分間
	全負荷調整 -10% ~ +10%		
	軽負荷調整 -7% ~ +7%		
	力率負荷調整 -3% ~ +3%		



9 図 MD 型用電磁石  
Fig. 9. Electro magnet for type MD.

特性定数表  
(定格 100 V 10 A 200 Rev/kWh)

計器 良度	全負荷速度 0.55 rpm	電圧 素子	電力損失 0.8 W
	全負荷回転力 3.3 g-cm		励磁電流 { 43 mA (60~) 45 mA (50~)
	回転子重量 17.5 g		皮相電力 { 4.3 VA (60~) 4.5 VA (50~)
	回転力 / 回転子重量 0.189		抵抗 約 160 Ω
始動 潜動	機械的良度 0.13	電流 素子	電力損失 0.4 W 電圧降下 0.06 V 皮相電力 0.6 VA 抵抗 0.0035 Ω
	始動電流 全負荷の 0.5% 以下		
調整 範囲	電圧潜動 110% 電圧	絶縁	絶縁抵抗 15 MΩ 以上 耐電圧 2000 V 1 分間
	全負荷調整 ± 15%		
	軽負荷調整 ± 7% 力率負荷調整 ± 2%		



10 図 MA 改 3  
型用電磁石  
Fig. 10. Electro  
magnet for  
type MA 3  
improved.

## 7. 制動素子 (永久磁石)

計器定数を小さくすること、すなわち定格負荷における円板回転速度を下げることは、電流特性・電圧特性を改良するために必要であるとともに、軸受部・計量器等摩擦回転部分の摩擦損を減らすのにも有効な方法である。またこのことは同時に

機械的良度 =  $\frac{\text{定格における回転力}}{(\text{回転子重量})^{1/3} \times (\text{定格における回転子速度})}$  を大にするためにも有用な手段である。

機械的良度は従来の MA 型は 0.13 であったが、これを 0.2 以上とするためには、MA 型に比して回転子速度を小とし、回転力を大にせねばならぬ。これら二つの変更は制動素子である永久磁石にとつては、相加わつてその制動回転力を大にせねばならぬ原因となる。

いま MD の回転力: MA の回転力 = 1:1.2

MD の回転子速度: MA の回転子速度 = 1500:2000 = 3:4 とすれば、制動回転力の比はほぼ

$$MD:MA = 1.2 \times \frac{4}{3} = 1.6$$

とならねばならぬ。

材質としては MA 型では、はじめ Cr 鋼、つぎに Cr-Co 鋼を使用、Co が入手難になつたので、Cr 鋼に再転した。MD 型の場合も材料入手の点で Cr 鋼としたが、1.6 倍の制動回転力を得る方法として、磁石を 1 個使うか、2 個使うかの問題があり、それぞれの長所はつきのごとく考えられた。

### 1 個の場合

ア. 磁石部分の構造が簡単で原価が安くなる見込がある。

イ. 磁石部分の占める空間が狭くてすむ。

ウ. 2 個の磁石では、その空隙が完全に平行でないと円板に対する有効空隙が減つたことになり、円板に異物がはさまつたときなどは、不回転の原因となることがあるが、1 個ならばそれによる故障の可能性が少い。

### 2 個の場合

ア. 磁石の能率が 1 個の場合に比し約 20% 良くなるので、磁石の総重量を減らすことができる。

イ. 回転部の振動が減り、したがつて発音の原因が少なくなる。

ウ. 温度補償装置が付けやすい。

エ. 全負荷調整機構もやりやすい。

後者の長所の方が大きいので、これによることにしたが、この場合考慮したのは、1 個の場合の(ウ)の項の長所を持たせることであつた。

このため Westinghouse 社の構造の特長であるところの 2 個の磁石をクランパでかきめる方法を採用した。クランパとしては、軽合金のダイキャストを使用した。この構造によれば、磁石は 2 個であつても相互の位置お

および円板に対する平行度・全負荷調整板または温度補償板との関係位置が一定になるので、全体として磁石2個の長所と1個の長所とを兼ね備えたことになる。ただ軽合金のかしめ作業が、なかなかうまくゆかず、成功するまでには、幾多の苦心があつた。

11 図は制動素子の写真である。

### 8. 電 流 特 性

電流特性は次に示す種々の原因により誤差を生ずる。

1. 計量器および回転子部の摩擦回転力
2. 電流鉄心の導磁率変化による駆動回転力の変化
3. 電流磁束による制動回転力の増加
4. 摩擦補償回転力
5. 潜動防止装置

その結果、過負荷補償装置のない従来の積算電力計の電流特性は 12 図に示すようになる。電流特性を改良し相当過負荷まで誤差補償を行なう方法として

ア. 計器定数を下げることで、すなわち定格負荷における円板の回転速度を下げることで、

イ. 電流鉄心へ初導磁率の大きな材料を使用して軽負荷における駆動回転力の変化を少なくする。

ウ. 電流磁束通路へ磁気シャントを挿入し、この磁気シャントの飽和を利用して過負荷になるほど駆動回転力が急激に増大するようにする。

エ. 駆動回転力を大ならしめる。その方法として電圧有効磁束を大にする。もつともこの方法は電圧特性を悪化させ、電圧回路損を大きくするので限度がある。

MD 型計器においては、とくにこの電流特性の改良に重点をおき、これら 4 点に注意を払った設計になつている。今その方法を従来の MA 改 3 型と比較すると 3 表のごとくである。

このうちとくに重要な点は、(3) の磁気シャントで、従来の一段補償のものでは、過負荷補償を広い範囲に行なおうとすると、軽負荷の方が負誤差になるので、おのずからその範囲が制限された。

MD 型においては互に磁気飽和点をずらせた 2 個の磁気シャントを黄銅板を介して 2 枚上下に組合せて使用するので、軽負荷における特性の悪化をきたすことなく、300% 過負荷まで補償することができた。

また駆動回転力を増す方法として電圧磁束を増す方法を取り、電流線輪のアンペアターンは従来通り 80 AT を基準とした。しかも 37 gr mm の回転力を有し、電圧回路損は 0.8 W に押えた点に大きな特長がある。

13 図は力率 1.0 および 0.5 における MD 型計器の電流特性を示す。比較のために 14 図に MA 改 3 型のそれを示す。

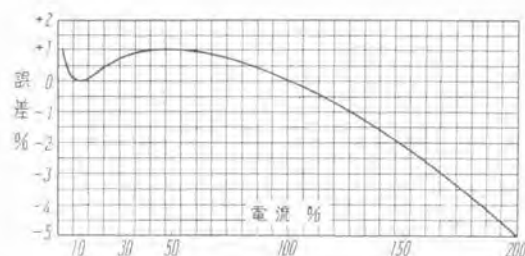
### 9. 温 度 特 性

積算電力計の温度変化による誤差の変化、すなわち温



図 11 MD 型用マグネット

Fig. 11. Magnet for type MD.

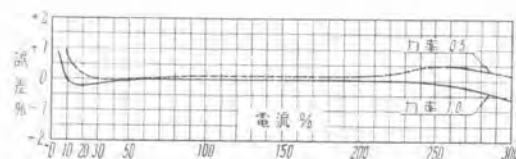


12 図 MA 型負荷特性曲線

Fig. 12. Load characteristic curve of type MD.

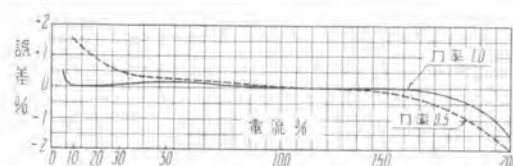
3 表

	MA 改 3 型	MD 型
(1) 計器定数 (100 V 10 A)	2000	1500
(2) 電流鉄心材料	B 級	T 級
(3) 磁気シャント	一段補償	二段補償
(4) 回転力 gr mm	33	37



13 図 MD 型負荷特性曲線

Fig. 13. Load characteristic curve of type MD.



14 図 MA 改 3 型負荷特性曲線

Fig. 14. Load characteristic curve of type MA 3 revised.

度誤差はつぎの二つに分けることができる。

(1) 第一種温度誤差：電圧磁束および電流磁束の大きさおよび永久磁石の制動磁束の大きさが温度によって変わることが原因で、電圧磁束および電流磁束の温度係数は、ともに(+)で温度にたいし直線的に変化し、永久磁石の温度上昇による導磁率低下に起因する磁力低下も大抵温度にたいし直線的に変化する。これは負荷の力率に関係なく平等に影響を与える。

(2) 第二種温度誤差：有効電圧磁束と有効電流磁束との間の位相関係が温度により変わることが原因で、電圧とその磁束、電流とその磁束との位相角の温度係数はともに(-)で温度にたいし直線的に変化し電圧線輪の抵抗変化がそのうちの大部分を占め、位相調整装置の影響が残りの若干を占める。これは力率 1.0 負荷にたいしては影響少く負荷の力率が低くなるほどその影響が大である。通常温度補償のない積算電力計では、力率 1.0 負荷においては第一種温度誤差のため、(+)の温度係数となり、力率 0.5 負荷においては第一種温度誤差と第二種温度誤差とが合成されて(相殺されて)少量の(+)または(-)の温度係数となる。

積算電力計の温度特性を改善するためには上述の二種類の誤差を同時に補償しないと意味がない。MD 型計器においてはこれらの誤差を補償するためつぎの方法によつた。

(1) 第一種温度誤差補償：前述のごとく制動用永久磁石は 2 個使用しているの、それらの有効制動磁束にたいし並列に整磁合金を挿入して磁気分路を作り、温度上昇にともなつて有効制動磁束を大にしてやるという一般に広く行なわれている方法をとつた。

従来の MA 型では電磁石の電流有効磁束通路へ直列に整磁合金を挿入し、温度上昇にともなつて電流有効磁束が減少するようにしていた。この方法では作動電流の如何により整磁合金の使用される磁気特性が異なるため、低温から高温まで(-10~+40°C)完全に補償することはなかなか難問題であつた。MD 型の場合のように永久磁石側に補償する場合は、作動電流・電圧の如何に関係なく一定の磁気特性上で使用されるため、整磁合金としても作りやすく、広い温度範囲にわたつて完全に補償することができる。

(2) 第二種温度誤差補償：電圧磁極に挿入する遅相板すなわち電圧有効磁束の位相を遅らせる短絡金属板に抵抗の温度係数の小さいもの(黄銅板)を使用し、電流磁極に挿入する力率コイルすなわち電流有効磁束の位相を遅らせる力率調整用コイルの直列抵抗として抵抗の温度係数の大きいもの(Ni 線)を使用し、温度上昇にともなつて内部位相角の(-)となるのを防ぐ方法を採用した。この方法は公知のとおり、実用上効果が著しい。

15 図は MD 型計器の温度特性を示し、曲線 a は全然温度補償をしない場合、曲線 b は第一種温度誤差のみを補償した場合、曲線 c は第一種、第二種共誤差補償を行なつた場合である。

## 10. 電 圧 特 性

電圧の変動による誤差の変化は電圧有効磁束の制動回転力の変化、鉄心の導磁率変化および摩擦補償回転力の変化等の原因により一般に電圧上昇とともに(-)誤差となる。とくに過負荷特性に重点をおくこの計器のような場合、電流特性の項に述べたごとく回転力を出す要素の分配において電圧磁束を大にして、電流磁束を小とした方法をとるため、一層電圧有効磁束の制動回転力の影響が大となり、電圧が上昇した場合誤差は(-)へ悪化しがちとなる。

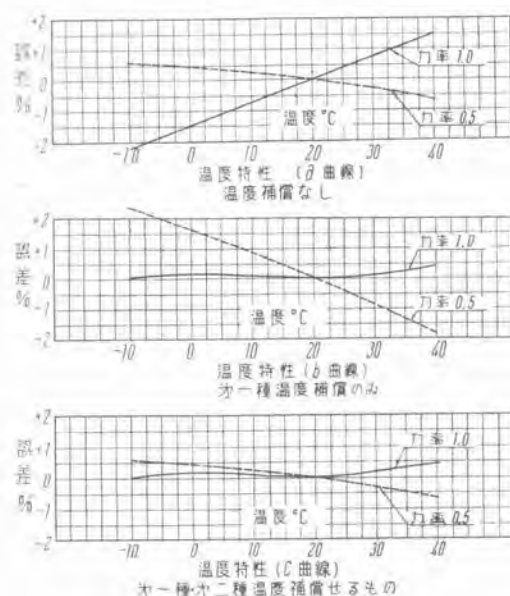
電圧特性を改善するためには上記三原因をできるだけ小さくすればよいのであるが、その手段として MD 型計器ではつぎの 3 方法を実施した。

(1) 計器定数を小にしたこと、すなわち永久磁石の制動を大にし電圧有効磁束の制動回転力の影響を少なくしたこと。

(2) 鉄心の導磁率変化を逆に利用して電圧が上昇した場合、駆動回転力が比例以上に大になるよう補償する。すなわち電圧飽和磁束回路へ直列に飽和孔および並列に飽和鉄片(シャント)を挿入して、電圧が上昇した場合、相呼応して電圧飽和空隙が等価的に大になつたと同様の効果を与え、有効電圧磁束を急激に増大するのである。

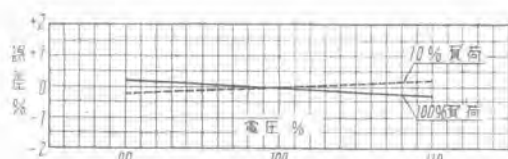
(3) 定格負荷時の駆動回転力を大にしてあるため、摩擦補償回転力が軽負荷時の駆動回転力へおよぼす影響は少ない。なお電流特性の補償を二段補償として、軽負荷部分の特性の悪化を防いであり、有害な摩擦補償回転力が少く、したがつて軽負荷時の電圧特性も改良されている。

16 図は MD 型計器の電圧特性を示す。

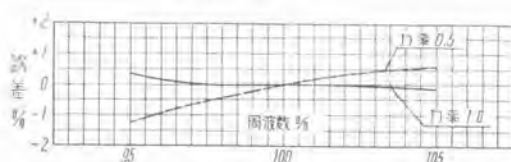


15 図 MD 型諸温度特性曲線  
Fig. 15. Various load characteristic curves of type MD.





16 図 MD 型電圧特性曲線  
Fig. 16. Voltage characteristic curves  
of type MD.



17 図 MD 型周波数特性曲線  
Fig. 17. Frequency characteristic curves  
of type MD.

## 11. 周波数特性

積算電力計の周波数特性すなわち周波数が変化した場合の誤差変化の原因は、周波数の変化により電圧磁束が変化しそれによる制動回転力が変化すること；遅相板、力率線輪、円板のリアクタンスが変化すること；電圧線輪のインピーダンス角が変化することなどが考えられる。温度特性の場合と同様に第一種誤差、第二種誤差が考えられる。

第一種誤差： 負荷力率の如何に関係なく存在する誤差で、電圧制動回転力の変化、遅相板・力率線輪・円板のリアクタンスの変化に原因する電圧磁束の大きさの変化および円板のリアクタンスの変化に原因する電流磁束の大きさの変化、電圧線輪の内部インピーダンス角の変化による電圧磁束の大きさの変化などにより起る。

第二種誤差： 電圧磁束と電流磁束との間の位相角が変化するために起る誤差で、力率 1.0 負荷における影響は少なく、力率が低くなる程その影響が大である。原因は、遅相板・力率線輪のリアクタンス変化、円板のリアクタンス変化、電圧線輪の内部インピーダンス角の変化による。力率 0.5 負荷の場合は第一種、第二種誤差が合成されて現われる。

これらの誤差を少なくするためには、力率板、力率線輪、円板、電圧線輪などの時定数を小さくすればよい。その為には円板をできるだけ薄くし、遅相板、力率線輪のインダクタンスを小とし抵抗を大とする。電圧線輪の時定数は、力率 1.0 誤差にたいしては小さく、力率 0.5 誤差にたいしては大きくする必要がある。MD 型計器においては実用的見地から力率 1.0 誤差改善に重点をおき電圧線輪の時定数は小さくなるように太線を数少く巻いてある。

17 図は MD 型計器の周波数特性を示す。

## 12. その他の特性

以上で重要な特性を説明したが、そのほか実用的見地

から必要な二、三の特性について記す。

ア. 始動電流： 全負荷における駆動回転力を大にしてあることと、回転子および計量器の摩擦回転力が少ないために始動電流は少なく、全負荷電流の 0.3~0.4% になっている。

イ. 電圧潜動： 電磁石鉄心の抜方向にたいし数枚ごと交互に反転して抜型の左右非対称を防止したため、構造の非対称による有害な潜動回転力が出ないように組立てられ、電圧 120% においても 1 回転以上の潜動のないようにしてある。

ウ. 耐久度： 耐久度の設計の因子である機械的良度が大であり、摩擦回転部の摩擦が少なくしかも変化のないよう十分な仕上を施してあり、制動磁石の安全率を十分にとり、工作的に十分な枯化を施した銅メッキをしてあること、屋外用として必要な処理を施してあること、無負荷時の振動の少いようダブルマグネット型制動の構造としてあることなど、耐久度は従来の計器に比し相当改良されている。

エ. 自己加熱の影響： 電圧回路損・電流回路損が少くしかも従来のものに比し電磁石自体の容積が大きく計器全体の容積もやや大きくなっているため、自己加熱の影響は非常に少ない。

オ. 絶縁性能： 最近の当社製計器は耐衝撃電圧・電流性能が相当高まつてきている上に各部絶縁材料としてビニールを使用し、絶縁リニスとして高性能の W 28 を使用し、その工作仕様に十分注意をはらっているため、絶縁レベルは相当改良されている。

## 13. む す び

新型積算電力計 MD 型について、その開発されるに到つた経過、特長および特性等を述べたが、この計器の目的とするところは現在 JIS で審議中の広範囲屋外用に適合するという点にあり、軽負荷(連続使用電流 20 A まで)のものはこれを十分満足する。重負荷(連続使用電流 60 A、または 120 A 等)のものも JIS の線に沿ひ、引続いて開発していく予定である。

積算電力計は戦争末期および直後のような例外的な時代の製品を除いては、一般には寿命がきて廃棄されるよりは、むしろつぎのような原因で取り換えられる機会が多いと考えられる。

ア. 新型の積算電力計に非常に大きな改良が施された時。

イ. 需用家の負荷が増大し、旧来の計器ではこのため負誤差を生ずる機会が多くなり、それによる収入減が相当な額となる時。

電源開発が進んで将来電力が豊富となり、家計が潤い電気の使用量が著しく増え、イ項の現象がしばしば現われ始め、旧来の計器を MD 型程度に高めることが必須になる日のくることを衷心から期待したい。

# 特殊鋼の高周波焼入性

福岡工場

佐々静男\*

## Hardenability of Alloy Steel by means of Induction Surface Hardening

By Shizuo SASA

Fukuoka Factory

A report has been made in the previous issue, Vol. 26 1952, about the influence of heat treatment of special alloy steel intended for induction surface hardening on the hardness after the process. The influence of heat treatment prior to the hardening seems to be generally admitted of late. The experiment on this subject may be found in the paper by Mr. Takase and Mr. Mitani that the heat treatment prior to the induction surface hardening is necessary for the hardening of thin layer, whereas for the hardening of the thick layer and also of carbon steel with carbon 0.5% or over the treatment is not required. But in the case where better hardening effect on the surface is desired or special alloy steel is used, the above treatment is deemed to be very necessary, which is the point the writer wants to report. In his study, Cr-Mo-steel was taken up the same as in the previous issue and the heat treatment prior to the quenching as well as the hardenability by means of induction surface hardening are described herein. Furthermore, stress is laid on the importance of the original hardness of material in order to obtain hardened products of much more uniform quality.

### 1. 鋼の焼入性

一般に熱処理される構造用鋼材に対し、その機械的性質を決定する特性の一つに鋼の焼入性 (Hardenability of Steel) がある。そしてこの焼入性をよくするために、特殊元素を用いた特殊鋼がある。熱処理される部品が焼入のまま使用されるものであれば、焼入性のよい鋼は内部まで深く硬化されるし、焼戻して使用される部品であれば、内部まで最良の機械的性質を得ることができる。そしてこの焼入性を試験する方法に<sup>(2)</sup>Jominy Test がある。この試験は試験片を一定の条件で加熱冷却し、その冷却面より 1/16" の間隔で外周面の硬度を測定するのであるが、鋼を高周波焼入してその表面より内部に硬度を測定すると、Jominy Test と同じような硬度—距離曲線を得る。この曲線は高周波焼入部品の焼入硬化層を決定するもので、Jominy Test が一般の鋼の焼入性を決定するのと同様に、鋼の高周波焼入性を決定する重

要な曲線である。もちろんこの二つの焼入性は本質的には別のものである。高周波焼入では、内部はすでに選定された最良の組織をもっている部品の、表面のみを完全に硬化すればよいのであるから、その焼入性は部品の種類、高周波焼入機械の特性によつて種々のものが選ばれてよい。鋼の高周波焼入性は鋼種によつて異なるのはもちろんであるが、同種材料でも大いに異なり、多量生産を特長とする高周波焼入生産方式では焼入後の部品の焼入硬度・焼入深さ等の特性が問題になつてくる。

高周波焼入では、加熱時間が短かいために充分拡散が行われず不完全焼入になりやすい。この拡散の問題はより専門的になるが、常識的な鋼の変態に関する説明によつても、高周波焼入性に関する問題の核心を推測することができる。一般の熱処理における鋼の変態点については次のようなことが述べられている。<sup>(3)</sup>Albert Sauveur によると鋼を臨界温度以上より冷却するとき、冷却速度が大きいほど  $A_{r1}$  変態点は低く、(極度に冷却速度が大

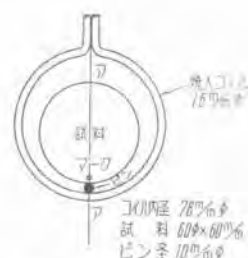
きくなると、 $A_{r1}$  変態は阻止され鋼は焼入される) 加熱速度が大きいほど  $A_{c1}$  変態点は高くなる。すなわち冷却および加熱速度の大きいほど、可逆点  $A_1$  の対立相である  $A_{r1}$ 、 $A_{c1}$  との差が大きくなる。そこで加熱冷却が緩やかであるほど、この二つの点は互いに接近し無限に遅い冷却、加熱をもつてすれば、両者は正確に同一温度で起るだろうとしている。さて以上のことから推論すると、高周波加熱のように非常に速く鋼が加熱される場合、鋼の加熱変態点は、加熱速度の増加につれて高温度に移行し、また極限の加熱速度では常温での鋼の組織構造が高温度においてもそのまま残留し得るのではないか、ということが考えられる。実際に高周波焼入した経験では加熱電力密度(入力)  $1 \text{ kW/cm}^2$  程度で加熱時間が3秒以下になると、 $0.3 \text{ kW/cm}^2$  程度で若干長く加熱した場合、加熱された温度は同程度にもかかわらず常に焼入硬化されない。以上のことから高周波焼入性のよい鋼というのは加熱速度に比して加熱変態点の上昇率が低い鋼ということになる。

すなわち均質なオーステナイト固溶体を得るための、鋼の各元素の拡散速度の問題になると考えられる。鋼の種類と高周波焼入性の研究は<sup>(9)</sup>石田博士も発表されているが、高周波焼入性の差は鋼種にのみよるのではなく、同種の鋼についても焼入前の処理によつてその差が生ずるのはいうまでもない。以下この問題について述べてみよう。

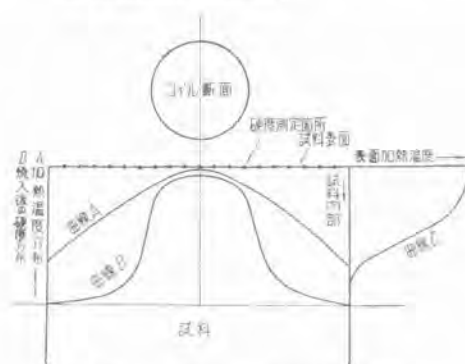
- (1) 日本金属学会誌, 第16巻第2号
- (2) A. S. T. M. A 255-46T Tentative Method of End Quench Test for Hardenability of Steel.
- (3) 鉄鋼の組織学と熱処理 ノーバー
- (4) 金属表面技術 Vol. 1 No. 2 1950

## 2. 鋼の高周波焼入性の試験方法

従来硬度—距離曲線を得るために、外周部を焼入した円筒形試料の中央部を軸に、直角に切断しその断面の硬度を測定していたが、筆者は1図に示すような方法を採用した。鋼丸棒で作られた一巻のコイルの内に円筒形試料を偏心した位置に据え、コイルと試料とのギャップ調整にはピンを挿入することにした。また冷却は大径のゴムパイプを試料の斜め上方に近接させ冷却水を噴射するようにした。2図は1図のアーア断面を示している。これは定性的な説明になるが、実際の場合表面よりの加熱温度分布曲線Cと、この試験による加熱温度分布曲線Aは、同じ性質の曲線であるから鋼の高周波焼入性を比較実験する分にはさしつかえないと考える。なおこの場合の電力密度と実際のそれとの問題は、実験的に等価値を求めることができる。この方法によれば、切断する手数をはぶき硬度の測定が容易になった。



1 図 高周波焼入性試験用コイルと試験片  
Fig. 1. Coil and test piece for testing hardenability of induction hardening.



2 図 試験片の高周波加熱状態  
Fig. 2. Composition of induction heating coil and test piece, relation between characteristic of heated temp. and quenching hardness.

## 3. 鋼の焼入性の試験

### ア. 焼戻し曲線と高周波焼入性

鋼を焼戻・焼鈍することによつて種々の組織と硬度を得て、その高周波焼入性を試験した。

試験に使用した材料は JIS クロムモリブデン鋼である。

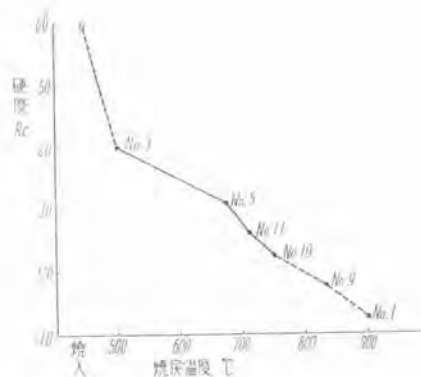
化学成分(%)	C	Si	Mn	P, S	Cr	Mo
	0.38	0.15	0.60		0.90	0.15
	~0.43	~0.35	~0.85	0.035	~1.20	~0.35

以下

1図に示した円筒形試料を6個作り、これを普通処理で焼入焼戻しを行い、その結果を3図に示した。試料 No. 3, 5, 11, 10 の4個は焼戻し品であり、臨界域以上の温度より徐冷してえた試料 No. 9, 1. は焼鈍品とする。さて以上の6個を2章に示した試験方法により同一条件(入力=100 kW 加熱時間=10秒)で高周波焼入を行いその結果を4図に示した。これにより高周波焼入性に相当の差のあることが判るけれども、なお便宜上素材硬度と焼入硬度の関係を5図に示した。さて、4図において距離0点は2図からも明らかのように、焼入コイルと試料とのギャップが最小であるから、最も早く、最も高い温度で加熱されるところと考える。

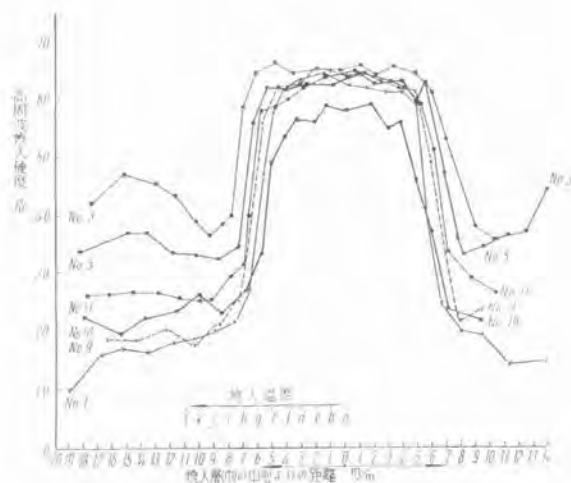
2図の加熱温度分布曲線Aは、加熱コイルの断面が円形であるから、当然温度勾配をもっている。

ゆえに、4図における距離0点より、等差距離にある点1, 2, 3, ……は、0点を最高温度 $a$ としたとき、順次に低い温度 $b, c, d, ……$ なる加熱温度を持つたと仮定でき

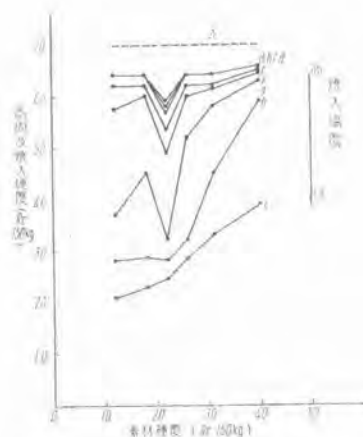


3 図 クロモモリブデン鋼の焼戻曲線

Fig. 3. Relation between tempering temperature and tempering hardness for Cr-Mo steel.



4 図 高周波焼入性試験方法による試験結果  
Fig. 4. Induction hardening hardenability test curve for Cr-Mo steel.



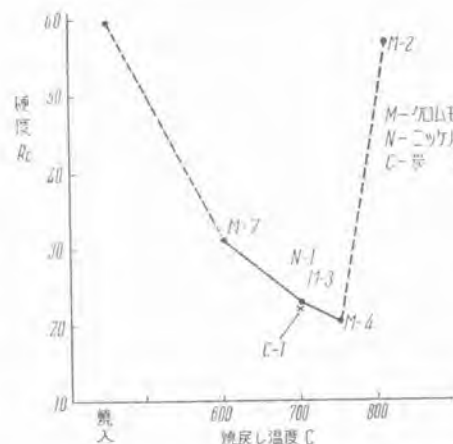
5 図 焼入条件  $a_{ri}$  における素材硬度と焼入硬度の関係

Fig. 5. Relation between original hardness and quenching hardness and quenching temperature.

る。さて、5 図において、4 図より素材硬度と高周波焼入硬度の関係を求めると、高周波加熱温度  $a, b, c, d, e, f, \dots$  によつて異なり、焼入温度の低い場合 ( $i, h$ )、硬度の関係は比例しているが、焼入温度が高くなるにつれて、素材硬度 22° の点、すなわち最高焼戻点 (750°C) は異常に低い焼入硬度を示している。さらに焼入温度が高く、すなわち焼入時間が長くなると異常点は小さくなり、遂には仮想線 A の如きものが考えられてくる。素材硬度とは無関係にその鋼のもつ最高の硬度が得られるのである。6 図は高周波焼入後の試料を強腐蝕したもので、目で見ただけでも腐蝕層の中の差を見分けることができる。以上の試験で大体素材硬度に関する焼入性の傾向を知ることができたが、なお試験材クロモモリブデン鋼の  $A_{c1}$  の見当をつけることと、焼入温度および時間が比較的小さい場合を考えるために、5 図に示した焼入条件  $f$  程度の電力密度と加熱時間を推測して再び同様な試験をおこなった。7 図に示した焼入材料の焼戻し曲線図の中で、N-1 は JES ニッケルクロム鋼 2 種類品、C-1 は JES 55 炭素鋼である。この二つの試料は参考にする意味で本試験中に挿入した。さて冷却はすべて油冷としたので焼戻温度が  $A_{c1}$  をこえると鋼は硬化される。ゆえに試料 M-2 が硬化された結果からみて、 $A_{c1}$  点は大体 750°C と 800°C の間にあると考えられる。8 図はクロモモリブデン鋼、ニッケルクロム鋼、炭素鋼の高周波焼入試験の結果である。9 図はこの素材焼入硬度曲線を示した。



6 図 強腐蝕して得た高周波焼入層  
Fig. 6. Induction hardening zone was macro-etched.



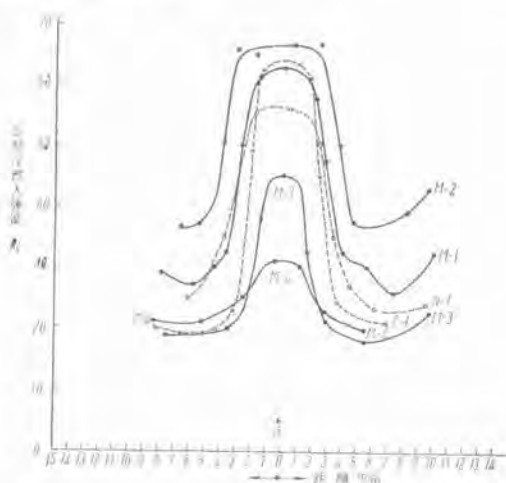
7 図 クロモモリブデン鋼の焼戻曲線

Fig. 7. Relation between tempering temperature and tempering hardness for Cr-Mo, Ni-Cr C steel.

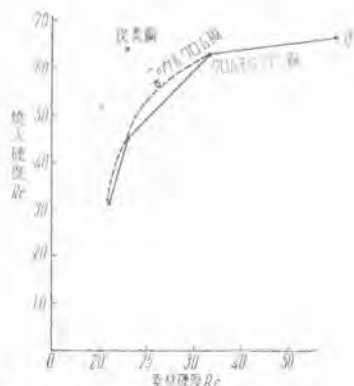


5 図に示した焼入条件  $\alpha$  の曲線と、9 図の曲線とは同一傾向である。すなわち非常に曲線が急峻であつて、このような焼入条件では素材硬度が 30 以下では満足な焼入硬度は得られないことが確かめられた。ニッケルクローム鋼、炭素鋼の高周波焼入性について、この程度の実験で詳しく論ずることはできないけれども、ニッケルクローム鋼とクロムモリブデン鋼とは大差ないが、炭素鋼と比較すると著しい差があるといえよう。さて、クロムモリブデン鋼について同一条件(入力、時間)で高周波焼入してこのように焼入性に差があるということは焼入条件は変わらなくとも、実際に加熱される温度が違ふのではないか、(たとえば材料の電気抵抗、導磁率等の差により)との疑問があるが、少なくとも熱処理熟練者が判断した温度には、明確な差がなかつたことを付記しておく。

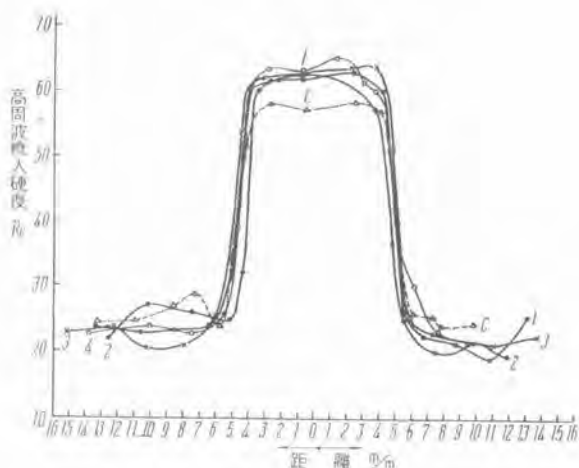
鋼材の専門メーカーから購入された、多数の熱処理クロムモリブデン鋼より、同程度の硬度を持つものを選び、高周波焼入試験をした結果を 10 図に示した。もちろん焼入性には大差ない。



8 図 高周波焼入性試験方法による試験結果  
Fig. 8. Induction hardening hardenability test curve for Cr-Mo, Na-Cr, C steel.



9 図 焼入条件  $\alpha$  における素材硬度と焼入硬度の関係  
Fig. 9. Relation between original hardness and quenching hardness and quenching temperature.



10 図 高周波焼入性試験方法による試験結果  
Fig. 10. Induction hardening hardenability test curve for Cr-Mo, C steel.

#### イ. 高周波焼入生産途上に生じた高周波焼入性の問題

以上の試験結果より、クロムモリブデン鋼の素材鋼度(本質的には組織である)が、高周波焼入性を大巾に左右することが判つた。この高周波焼入性の問題が、実際の生産に種々の不都合を生じる。次に述べる例は、鋼の高周波焼入性が、一般の熱処理における焼入性とは、別に考えねばならぬことを示した適例であろう。

高周波焼入したあるロットの歯車のうち 50%以上が、焼入硬度不足であつた。そこで種々調査した結果、焼入条件には問題ないことが判つたので硬度不足の歯車をそのまま再焼入したが、やはり硬度不足であつた。11 図は歯車の歯先から内部にむかつて測定した距離硬度曲線である。いまここに硬度不足歯車を A、他の歯車を B とする。

##### (1) 分析

化学成分(%)	C	Mn	Cr	Mo
A.	0.43	0.62	1.02	0.24
B.	0.38	0.65	0.91	0.21

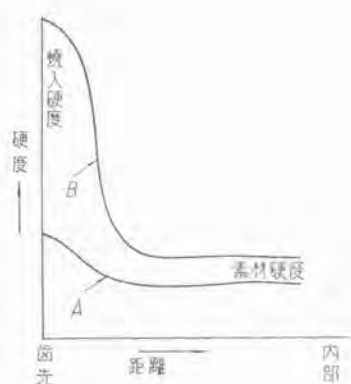
##### (2) 普通焼入試験

歯車 A, B を 880°C 空冷後、860°C 水焼入した断面の硬度分布を測定し、その結果を 12 図に示した。分析試験の結果が示すように A は B より、C, Cr ともいくらか高いので普通焼入試験の結果は、A の方が高い硬度を示した。なお以上の分析および焼入試験は、日本特殊鋼株式会社のご協力を得たものである。

##### (3) 顕微鏡試験

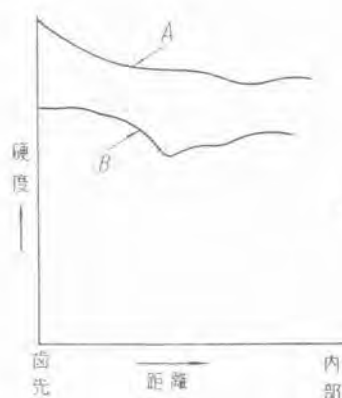
さらに顕微鏡にて歯部の組織を観察した結果を 13 図(A 歯車)、14 図(B 歯車)に示した。A 歯車は拡散不充分なことが判る。

さて以上の結果について検討してみると、それは全く素材硬度の差に帰着すると考えられる。つまり 11 図に示したように、高周波加熱の影響を受けない内部、すなわち素材硬度は、A 歯車は B 歯車より低いのであるが、



11 図

Fig. 11. Hardness distribution of induction hardened gears.



12 図

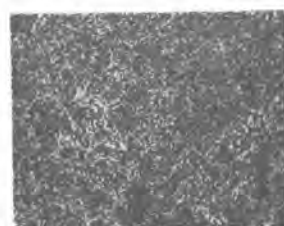
Fig. 12. Hardness distribution of standard heat treatment gears.

A, B 両歯車を再び普通熱処理(焼入, 焼戻)して, 同じ硬度とし, これを最初と同じ条件で高周波焼入した結果, 両者とも充分高い焼入硬度を得ることができたからである。これによつて C, Cr 等の化学成分に相当の差があつても, この差だけが高周波焼入硬度を決定するものでないことを充分証明できる。

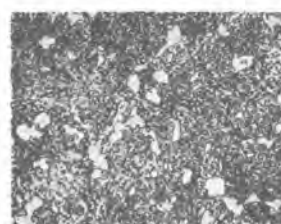
#### 4. 試験結果の検討

以上の試験の結果から, クロモモリブデン鋼の素材硬度は, 鋼の高周波焼入性を決定する大きな素因であることが判つた。本質的には硬度ではなく, 鋼の組織であるけれども, 焼戻しの場合, 大体硬度は組織の代表値であると考えることができる。1 章に述べたように, 高周波加熱で鋼が焼入されるためには, 高周波加熱条件の範囲内で, 焼入したいと考える部分の組織が均一なオーステナイト固溶体を作るにある。しかしながら, 短時間急速加熱という特殊な加熱条件では, すべての鋼が同じように, 均質オーステナイト固溶体を作らないのである。鋼種によつては, そのおのおのの臨界域が違うのはいうまでもないが, 同種の鋼についても, 各元素の結晶構造および機械的な構成を異にする組織が, 一様なオーステナイトへの拡散速度を持たないことも当然考えられる。

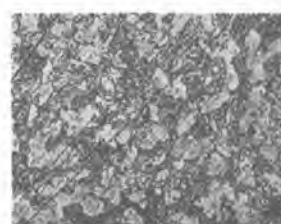
特殊鋼の高周波焼入性・佐々



コア部 ×500



中間部 ×500



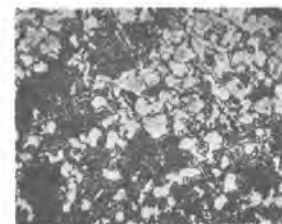
表面 ×500 A歯車

13 図

Fig. 13. Micro-structure of case and unhardened gear.



コア部 ×500



中間部 ×500



表面 ×500 B歯車

14 図

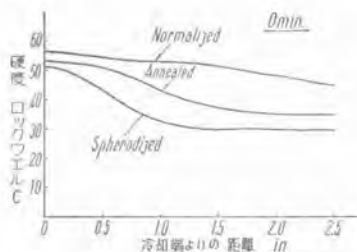
Fig. 14. Micro-structure of case and hardened gear.

ここに実験したクロモモリブデン鋼については, 炭素以外の特殊元素は, それ自身遊離した化合物としての役目を持つほどの量でない故に, 焼入性を大略決定するものとして炭素原子およびその化合物の形状について考えればよいのである。とくに焼戻状態の鋼では, 炭化鉄の形状が決定的なものではあるまいか。<sup>(6)</sup>Cecil H. Desch によれば, セメントライト粒子が, 固溶体を形成しつつ, 再溶解してゆく速度は, その質量に対する表面積の比によつて異なるべきで, その形状によつて溶解機構も違っているとし, また<sup>(6)</sup>Walter Crafts, John L. Lamont は焼入温度におけるセメントライトの溶解は粗い (coarse) セメントライトより, 細かい (fine) セメントライトの方が速く, 層状のものは, 球状のものより速いとしている。15 図は SAE 4340 の時間を考慮した Jominy Test の結果を示した。球状化したものは最も焼入性が悪いことを示している。一般に焼入した鋼はマルテンサイト組織を持っている。焼入クロモモリブデン鋼ではマルテンサイト中にオーステナイトが若干残留しているだろうがこれを焼戻, すなわち再加熱すると, マルテンサイト→ソルバイトなる組織変化を起し, 再加熱温度が  $A_{c1}$  をこえて徐冷されると パーライト→フェライトの焼鈍組織となる。これらの組織における炭化の形状は, パーライト組織はセメントライトとフェライトとが層状をな

した機械的混合組織であり、この組織がさらに緻密になつた組織がソルバイト、さらにこの程度が増して光学顕微鏡では判別し難くなつた組織がトルースタイトであると云われている。上述の論旨よりすれば、組織と短時間加熱焼入性はトルースタイトが最もよく、以下ソルバイトパーライトの順になり、これは異常点（5図の素材硬度22°付近の曲線）を除けば大体実験結果と一致している。5図によると焼鈍試料は最高温度の焼戻試料に比べて、よい焼入性を示している。この異常点については炭化鉄の球状化を説明すればよいのである。一般に<sup>(3)</sup>鋼をAC<sub>1</sub>直下の温度で長時間加熱すると炭化鉄は球状化する。この場合長時間加熱していないにしても、5図の試料 No. 10 の炭化鉄は球状化の傾向にあるといえるだろう。16図はクロムモリブデン鋼を焼準したときの、焼準硬度と高周波焼入硬度の関係についての実験結果である。この結果は焼戻の場合と同様に両者には相関関係があることを示している。これはやはりパーライト組織の粗さの度合によると考えられる。すなわち鋼を徐冷するとき冷却速度を幾分早めると結晶粒子は細くなり、従つて素材硬度も幾分高く、高周波焼入性もよくなつていられるのである。

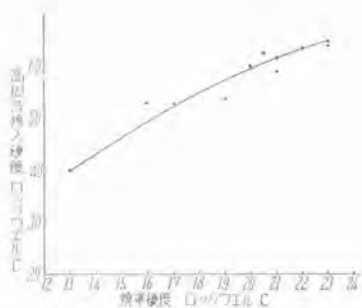
(5) デッシュ 金属組織学 吉岡正三訳

(6) Craft & Lamont Hardenability and Steel Selection.



15 図 前処理の違つた SAE 4340 鋼の  
ジョミニテストカーブ

Fig. 15. Influence of initial structure and time at 1550°F (845°C) on jominy hardenability characteristics of SAE 4340.

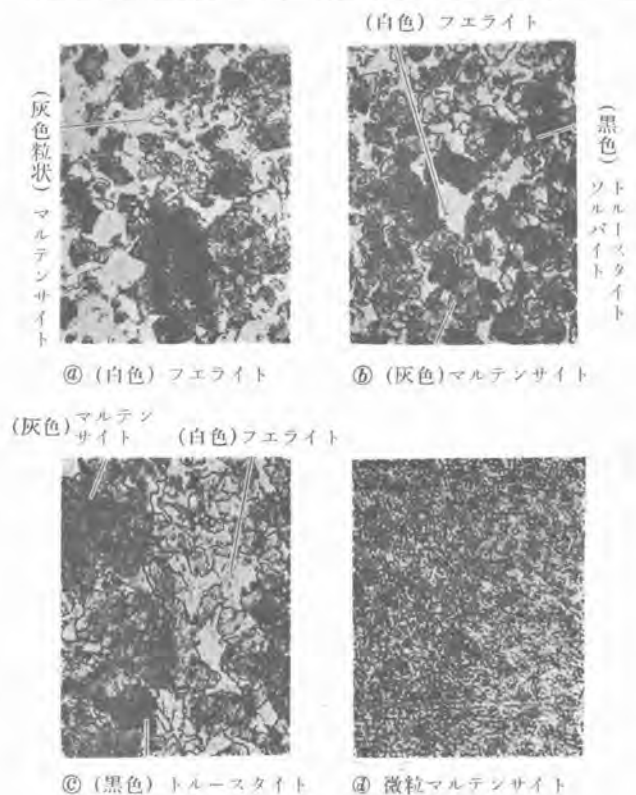


16 図 焼準クロムモリブデン鋼の素材硬度と  
焼入硬度の関係

Fig. 16. Relation between original hardness and quenching hardness for normalized Cr-Mo steel.

## 5. 高周波焼入層の顕微鏡写真

3 章で述べた高周波焼入性試験試料 No. 1 について観察した顕微鏡写真を 17 図に示した。これによつて各種組織の混合状態を明瞭に観察することができる。



17 図 高周波焼入性試験を行つた試験片の  
顕微鏡組織

Fig. 17. Micro-structure of induction hardening test piece.

## 6. む す び

歯車の生産には非常に広い分野の技術が要求される。強靱な耐摩耗性ある歯車の生産は、われわれの切望するところであるが、高周波焼入方式はそれを、ある程度満たし得るものと私は信じている。しかしながら優秀なしかも経済的な歯車生産に対して問題なしとはいえない。冶金学的な材料の選定がそれである。より優れた高周波焼入鋼なるものが出現してもよい筈である。

はなはだ纏りなく2回に亘つてクロムモリブデン鋼の高周波焼入性について述べてきたが本実験が何かのご参考になれば幸いである。