

## 電子顕微鏡像の電圧中心および電流中心について

森 戸 望\*

## The Voltage and Current Centers of the Electron Microscope Image

By Nozomu Morito

Hitachi Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

## Abstract

The writer carried out a theoretical research on the voltage and current centers of the electron-microscope image.

In case of an ideal illumination, the voltage center of a lens exists upon its optical axis, while in case of an oblique illumination, the center deviates from the axial point. The writer calculated the effect of oblique illumination on the positions of the voltage center. The effect of oblique illumination can be ignored so far as the projection lens is concerned.

The resultant voltage center does not necessarily agree with the one of projection lens, which usually comes in the vicinity of the final screen center due to disagreement between voltage centers of the objective and projection lenses. When the projection lens is excited in the polarity opposite to that of the objective, the deviation becomes greater than when excited in the same polarity. From the standpoint of image defects, however, the opposite polarity excitation has proved better.

The voltage center of a lens coincides with the current center, but the resultant voltage center does not coincide with the current center of individual lens.

## 〔I〕 緒 言

電子顕微鏡においては周知のごとく色収差が像の良否を左右する最も大きな因子の一つである。色収差は軸上色収差と軸外色収差にわけて考えられるが、一般的にいつて軸外色収差（これは磁界型ではさらに倍率色収差と回転色収差とにわけられる）の方が問題になっており、電圧中心が終像の中心付近に出ているか否かが像の劣下に直接大きな影響をおよぼしている。さらに対物レンズの電流中心が終像の中央付近に出ないとピント合せの際像が移動してしまう欠点も現れ、操作上はなほ不便を生じる。

一般に電圧中心は対物および投射レンズ（こゝでは3段レンズ電子顕微鏡については述べないことにする）の総合として現れ、両レンズの箇々の中心はかならずしも一致していない。むしろ多かれ少かれかならず一致していないという方が妥当である。また電圧中心が照射方向によって移動することが実験的に知られており、一つのレンズの電圧中心が軸点にあると簡単に考えるわけに行かない。

そこで筆者は1つのレンズの電圧中心と照射方向との関係および2つのレンズの電圧中心が一致していない場合の総合中心の問題について計算し、あわせて電圧中心と電流中心の差について考察した。

## 〔II〕 照射方向と電圧中心との関係

## (1) 対物レンズの電圧中心

電圧中心を取扱うに際して像面で考えても物面に換算してもどちらでもよいわけであるが、特に優劣もないので物面に換算して取扱うことにした。

## (A) 試料が光軸に対称的に照射された場合

試料が光軸に対称的に照射されている場合には電圧中心は当然軸点すなわち物面と光軸の交点にある。

いま試料面に軸点を原点とする極座標  $(\rho, \psi)$  をとり、試料に丁度ピントが合っている加速電圧を  $\phi$  とすれば、任意の試料点  $P(\rho, \psi)$  の像は物面に換算して加速電圧の変化  $\Delta\phi$  に対して  $P'(\rho', \psi')$  に偏倚する。しかして  $\rho, \rho', \psi, \psi'$  の間には

$$\left. \begin{aligned} \Delta\rho = \rho' - \rho &= (C_{Fm})_o \cdot \rho \Delta\phi / \phi \\ \Delta\psi = \psi' - \psi &= (C_{Fr})_o \cdot \Delta\phi / \phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

の関係がある。こゝに  $(C_{Fm})_o$  および  $(C_{Fr})_o$  はそれぞれ

\* 日立製作所中央研究所

れ対物レンズの倍率および回転色収差係数であり、 $\phi$  はレンズによる像の回転方向を正にとるものとする。点の移動の様子を平易に図示すれば第 1 図のごとくなる。厳密にいえば移動は曲線的になるが、 $\Delta\phi/\phi$  が小さければ大略直線的で、図は簡単のため直線で示した。

(B) 試料が光軸に対して斜に照射された場合

(その 1)

斜照射の場合、まず簡単に第 2 図のごとく考えれば倍率変化の中心が軸点に来ないことがわかる。一方回転変化の中心は依然軸点にあると考えられる。このように倍率変化の中心と回転変化の中心が異なるとき、任意の点の偏倚がどのようになるかについて計算をすゝめて行くことにする。

試料面に軸点すなわち回転変化の中心  $P_{r_o}(0,0)$  を原点とする直角座標をとる。 $x$  軸、 $y$  軸は倍率変化の中心  $P_{m_o}(d,0)$  が  $x$  軸上来て、 $x$  軸の正方向を  $y$  軸の正方向に一致させる回転方向がレンズによる像の回転方向と同じになるように選ぶものとする。 $P_{m_o}$  と  $P_{r_o}$  との距離  $d$  は対物レンズの焦点距離を  $f_o$ 、照射方向と光軸とのなす角を  $\theta$  ( $\theta$  は一般に小さい) としたときに

$$d \approx -f_o \tan \theta \approx -f_o \cdot \theta \dots\dots\dots (2)$$

となる。これらの近似は対物レンズが弱いときほどよく、強くなるにしたがつて悪くなると考えられる。

任意の点  $P(x, y)$  の電圧変化  $\Delta\phi$  に応じる偏倚  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  は  $\Delta\phi/\phi$  が小さいとき

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= \{ (C_{Fm})_o \cdot (x-d) - (C_{Fr})_o \cdot y \} \cdot \Delta\phi/\phi \\ \Delta y &= \{ (C_{Fm})_o \cdot y + (C_{Fr})_o \cdot x \} \cdot \Delta\phi/\phi \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

で表わされる。電圧変化に対する不動点すなわち電圧中心は (3) 式で  $\Delta\phi$  のいかんにかゝらず  $\Delta x=0, \Delta y=0$  が成り立つ点である。この点を  $P_{r_o m_o}(x_{r_o m_o}, y_{r_o m_o})$  とすれば

$$\left. \begin{aligned} x_{r_o m_o} &= \frac{(C_{Fm})_o^2}{(C_{Fr})_o^2 + (C_{Fm})_o^2} \cdot d \\ y_{r_o m_o} &= -\frac{(C_{Fr})_o \cdot (C_{Fm})_o}{(C_{Fr})_o^2 + (C_{Fm})_o^2} \cdot d \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

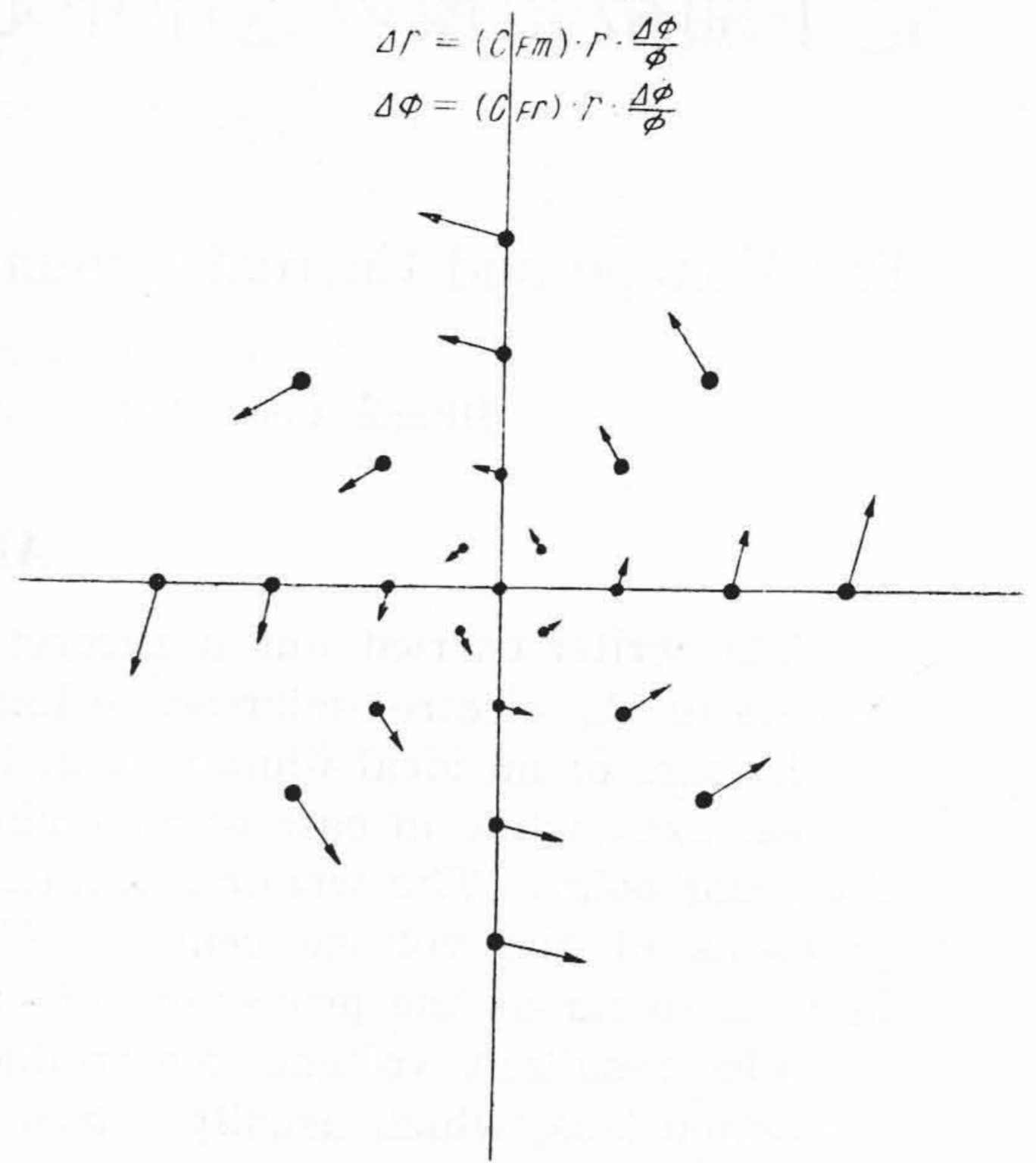
となる。 $d$  が与えられたとき  $P_{r_o m_o}$  はレンズの軸外色収差係数で決まり、その軌跡は  $P_{r_o} P_{m_o}$  を直径とする円である。Glaser の鐘形磁場分布<sup>(1)</sup>

$$\left. \begin{aligned} H(z) &= \frac{H(0)}{1+(z/a)^2} \\ \omega^2 &= 1 + e \cdot H^2(0) \cdot a^2 / 8m\phi \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

を仮定した磁界レンズの色収差係数<sup>(2)</sup>

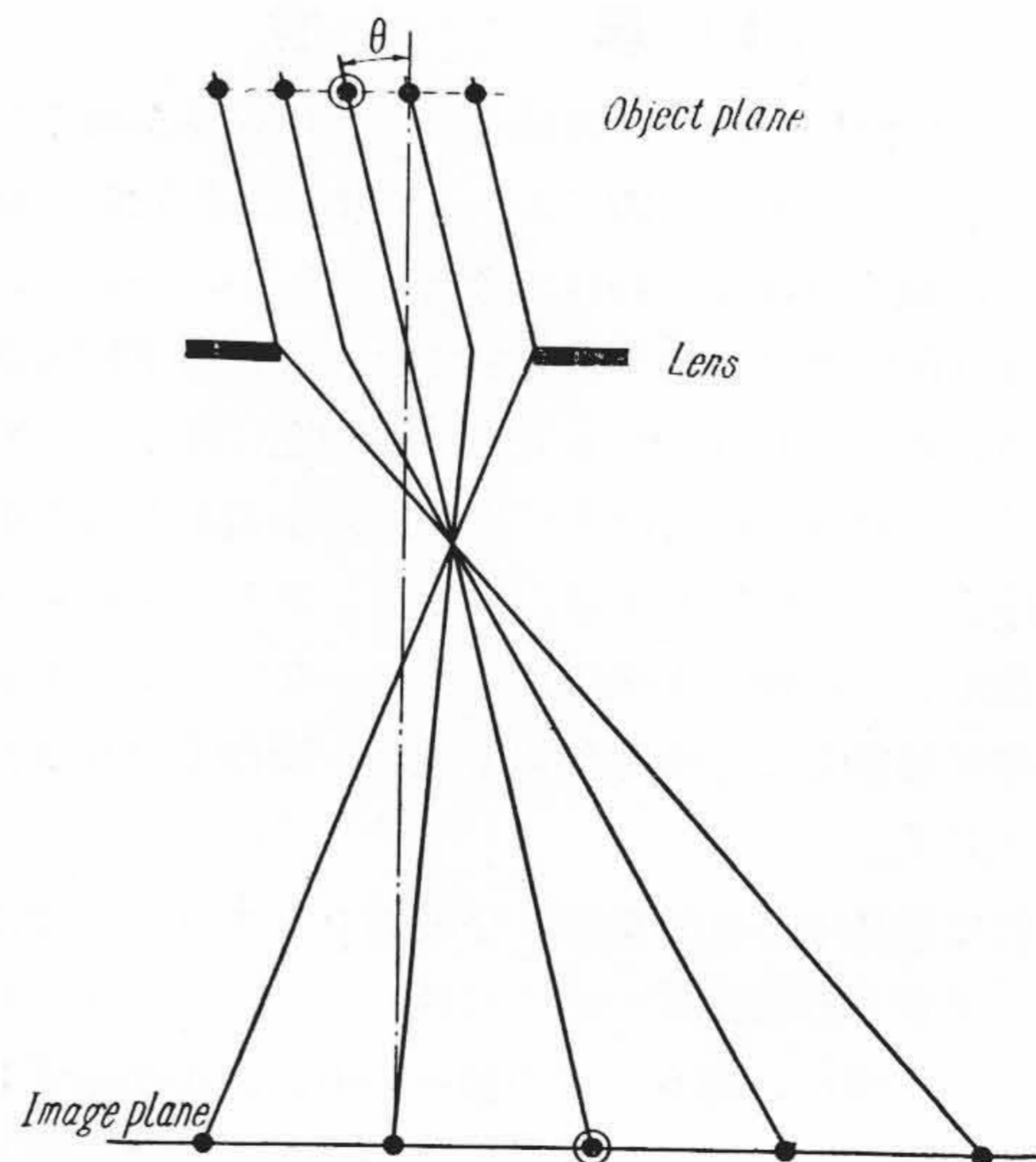
$$\left. \begin{aligned} (C_{Fr})_o &= -\frac{\pi\sqrt{\omega_o^2-1}}{2\omega_o} \\ (C_{Fm})_o &= -\frac{\pi(\omega_o^2-1)\cos \omega_o\pi}{2\omega_o^2 \sin \omega_o\pi} \end{aligned} \right\} \dots\dots (6)$$

を用いて計算した電圧中心の位置(物面換算)と  $\omega_o$  との関係を示す。



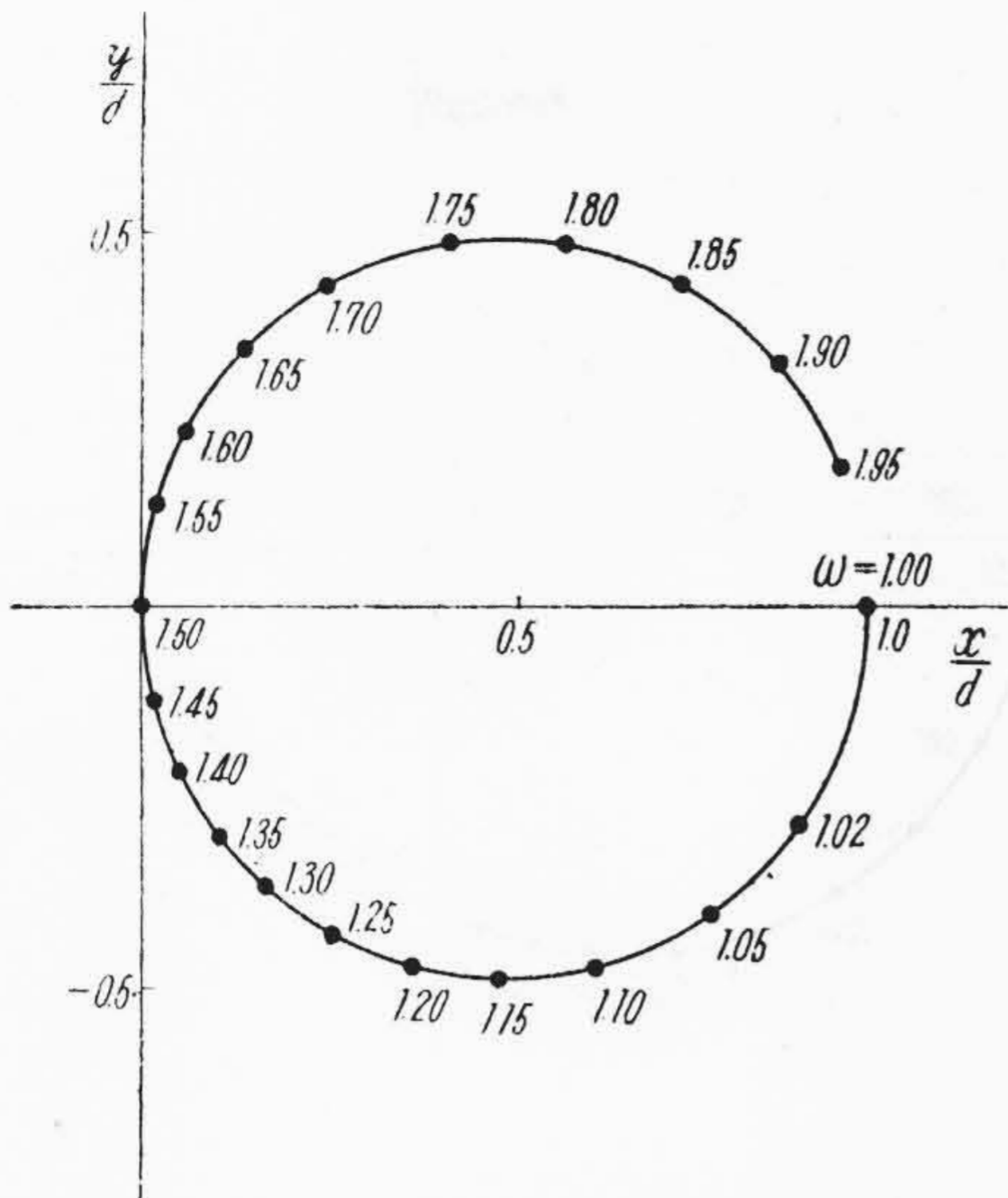
第 1 図 軸対称照射の場合の軸外色収差による像点偏倚

Fig.1. Schematic Diagram of Chromatic Image Displacement in the Case of Ideal Illumination



第 2 図 斜照射の場合の倍率変化の中心説明図

Fig.2. Schematic Diagram of the Voltage Center in Magnification in the Case of Oblique Illumination



(4) および (6) 式より計算

第3図 斜照射の場合の対物レンズ電圧中心の位置とレンズの強さの関係 (I)

Fig. 3. Voltage Center of the Objective (I) (Referred to Object Plane)

座標を変えて  $P_{r_o m_o}$  を原点とする極座標  $(\rho, \phi)$  をとって (3) 式の偏倚を書けば

$$\left. \begin{aligned} \Delta\rho &= (C_{Fm})_o \cdot \rho \cdot \Delta\phi/\phi \\ \Delta\phi &= (C_{Fr})_o \cdot \Delta\phi/\phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

となり、(1) 式と全く同形になる。すなわち斜照射の場合には電圧中心が (4) 式のごとく移動するだけで、ほかは対称照射の場合と全く同様である。

(C) 試料が光軸に対して斜に照射された場合 (その 2)

以上述べた近似はレンズが弱いときに適するものであるが、レンズが強いきまでのことを求めるには軌道方程式より出発すればよい。

まず簡単のため回転色収差を度外視することにする。軌道方程式は

$$\frac{d^2u}{dz^2} + \frac{eH^2}{8m\phi} u = 0 \dots\dots\dots (8)$$

で表わされ、二つの独立な特解

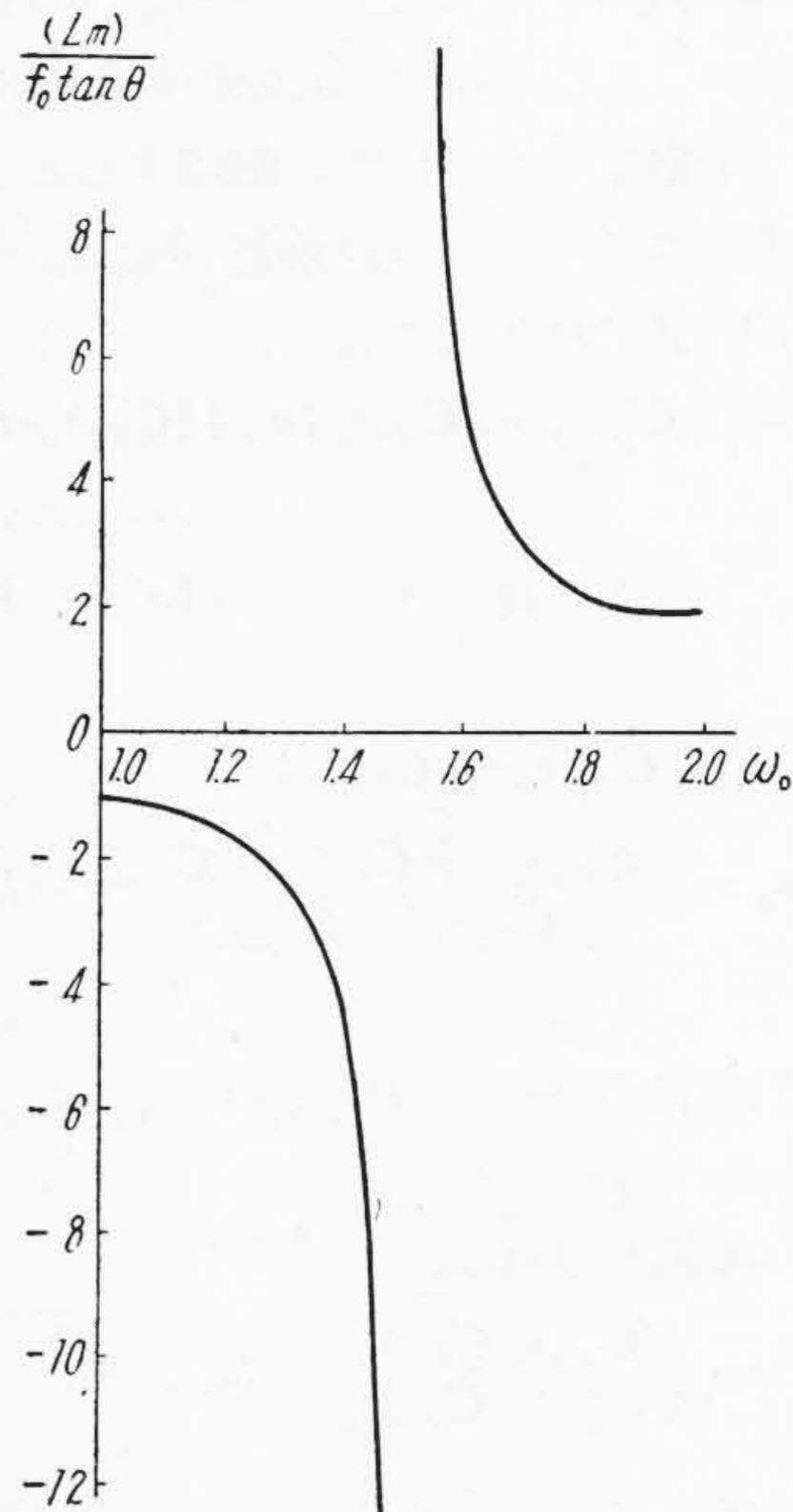
$$\left. \begin{aligned} r_\alpha (r_{\alpha g} = 0; \dot{r}_{\alpha g} = 1) \\ r_\beta (\alpha_{\beta g} = 1; \dot{r}_{\beta g} = 1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

を用いて物面に換算した収差量  $(\delta_{Fm})_o = (\Delta u)_o / M_o$  を求めると

$$(\delta_{Fm})_o = \{ (C_{Fm}^{\alpha\beta})_o \cdot u_g + (C_{Fa})_o \cdot \dot{u}_g \} \cdot \Delta\phi/\phi \dots\dots (10)$$

$$(C_{Fm}^{\alpha\beta})_o = - \int_{z_g}^{z_b} \frac{eH^2}{8m\phi} r_\alpha r_\beta dz \dots\dots\dots (11)$$

$$(C_{Fa})_o = - \int_{z_g}^{z_b} \frac{eH^2}{8m\phi} r_\alpha^2 dz \dots\dots\dots (12)$$



(15) 式より計算

第4図 斜照射による対物レンズの倍率変化の中心の偏倚とレンズの強さの関係

Fig. 4. Deviation of Voltage Center in Magnification of the Objective from the Axial Point due to Oblique Illumination (Referred to Object Plane)

がえられる。ここに  $M$  は倍率、 $u$  および  $r$  は電子の軸から離れている距離、添字  $g$  および  $b$  はそれぞれ物面および像面に関する量を示すためつけたものである。無限遠 ( $z \rightarrow -\infty$ ) で軸に平行な電子線  $u^*$  を主電子線に選んで求めた (6) 式の  $(C_{Fm})_o$  と (11), (12) 式の  $(C_{Fm}^{\alpha\beta})_o$  と  $(C_{Fa})_b$  との間には

$$(C_{Fm})_o = (C_{Fm}^{\alpha\beta})_o + (C_{Fa})_o \cdot \dot{u}_g^* / u_g \dots\dots\dots (13)$$

の関係がある。 $u^*$  のかわりに無限遠で軸に対して  $\theta$  の角をなす電子線  $u^{**}$  を主電子線として用いれば物面に換算した倍率色収差量  $(\delta_{Fm})_o$  は

$$(\delta_{Fm})_o = \{ (C_{Fm}^{\alpha\beta})_o + (C_{Fa})_o \cdot \dot{u}_g^{**} / u_g \} \cdot u_g \cdot \Delta\phi/\phi \dots\dots (14)$$

となり<sup>(2)</sup>、(5) 式の鐘形磁場および (13) 式を考慮して計算すれば

$$\left. \begin{aligned} (\delta_{Fm})_o &= (C_{Fm})_o \{ u_g - (L_m)_o \} \Delta\phi/\phi \\ (L_m)_o &= \frac{\omega_o}{\cos \omega_o \pi} \cdot f_o \tan \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

がえられる。すなわち係数は  $\theta$  に関係せず、倍率変化の中心が軸点から  $(L_m)_o$  だけ偏倚することを示している。 $(L_m)_o$  は前節の  $d$  に相当するもので、第4図は  $(L_m)_o$  と  $\omega_o$  との関係を示している。 $(L_m)_o$  が  $\omega_o \rightarrow 1.5$  で発散することは奇異に思われるが、たとえ  $(L_m)_o$  が無限大になつ

ても同時に  $(C_{Fm})_o \rightarrow 0$  になるので  $(\delta_{Fm})_o$  が発散することにはならない。また実際には回転色収差があるので以下述べるように電圧中心が無限に偏倚することはない。

回転色収差を考慮した場合収差量  $(\delta_{Fmr})_o$  を複素数と考えると (10) 式に相当して

$$(\delta_{Fmr})_o = \{[(C_{Fm}^{\alpha\beta})_o + i(C_{Fr})_o]u_g + (C_{Fa})_o \cdot \dot{u}_g\} \Delta\phi/\phi \dots\dots\dots (16)$$

がえられる。これから出発すれば、(15)式に相当する式は

$$(\delta_{Fmr})_o = \{[(C_{Fm})_o + i(C_{Fr})_o] \times [u_g - \frac{\{(C_{Fm})_o - i(C_{Fr})_o\} \cdot (C_{Fm})_o \cdot (L_m)_o}{(C_{Fr})_o^2 + (C_{Fm})_o^2}] \Delta\phi/\phi \dots\dots\dots (17)$$

となる。(17)式は電圧中心  $P_{r_o m_o}(x_{r_o m_o}, y_{r_o m_o})$  が

$$\left. \begin{aligned} x_{r_o m_o} &= \frac{(C_{Fm})_o^2}{(C_{Fr})_o^2 + (C_{Fm})_o^2} \cdot (L_m)_o \\ y_{r_o m_o} &= -\frac{(C_{Fr})_o (C_{Fm})_o}{(C_{Fr})_o^2 + (C_{Fm})_o^2} \cdot (L_m)_o \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (18)$$

で与えられる点にあることを示している。また(18)式は(4)式と全く同形である。第5図は収差係数に(6)式、 $(L_m)_o$ に(15)式を用いて電圧中心の位置と  $\omega_o$ との関係を示したもので、第3図とは  $\omega_o$ の大きい、すなわちレンズの強い範囲で喰い違つて来ている。

(2) 投射レンズの電圧中心

投射レンズの電圧中心も対物レンズの場合と全く同様にして軌道方程式から求めることができる。結果だけを示せば対物レンズの場合と全く同形の

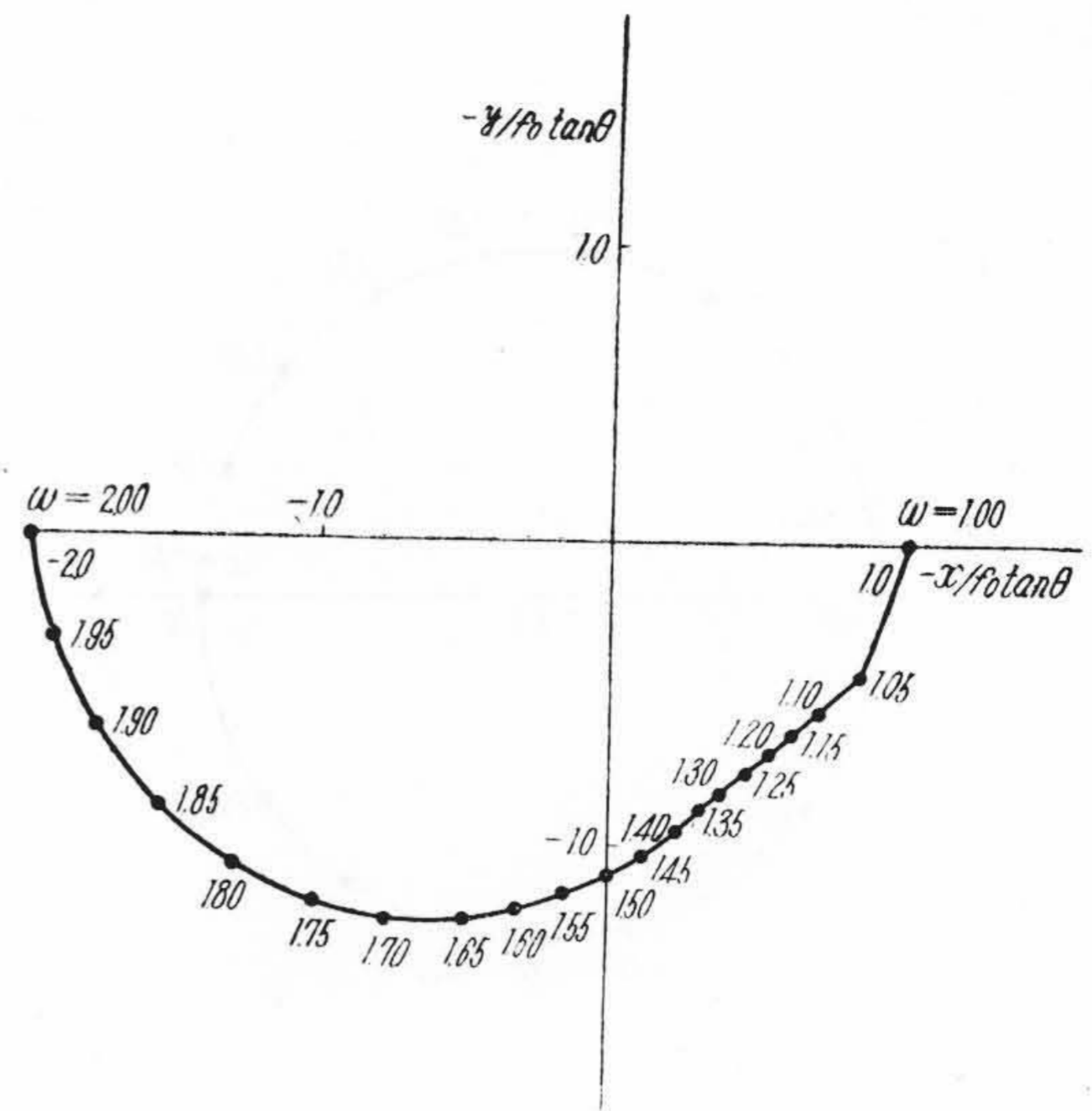
$$\left. \begin{aligned} x_{r_p m_p} &= \frac{(C_{Fm})_p^2}{(C_{Fr})_p^2 + (C_{Fm})_p^2} \cdot (L_m)_p \\ y_{r_p m_p} &= -\frac{(C_{Fr})_p (C_{Fm})_p}{(C_{Fr})_p^2 + (C_{Fm})_p^2} \cdot (L_m)_p \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (19)$$

で表わされる。なお(5)式の鐘形磁場を仮定すれば

$$\left. \begin{aligned} (C_{Fr})_p &= -\frac{\pi\sqrt{\omega_p^2 - 1}}{2} \\ (C_{Fm})_p &= \frac{(\omega_p^2 - 1)(1 - \omega_p \pi \cot \omega_p \pi)}{(2\omega_p^2)} \\ (L_m)_p &= -\frac{\omega_p \pi - \sin \omega_p \pi \cos \omega_p \pi}{\sin \omega_p \pi - \omega_p \pi \cos \omega_p \pi} \cdot f_p \tan \theta \end{aligned} \right\} (20)$$

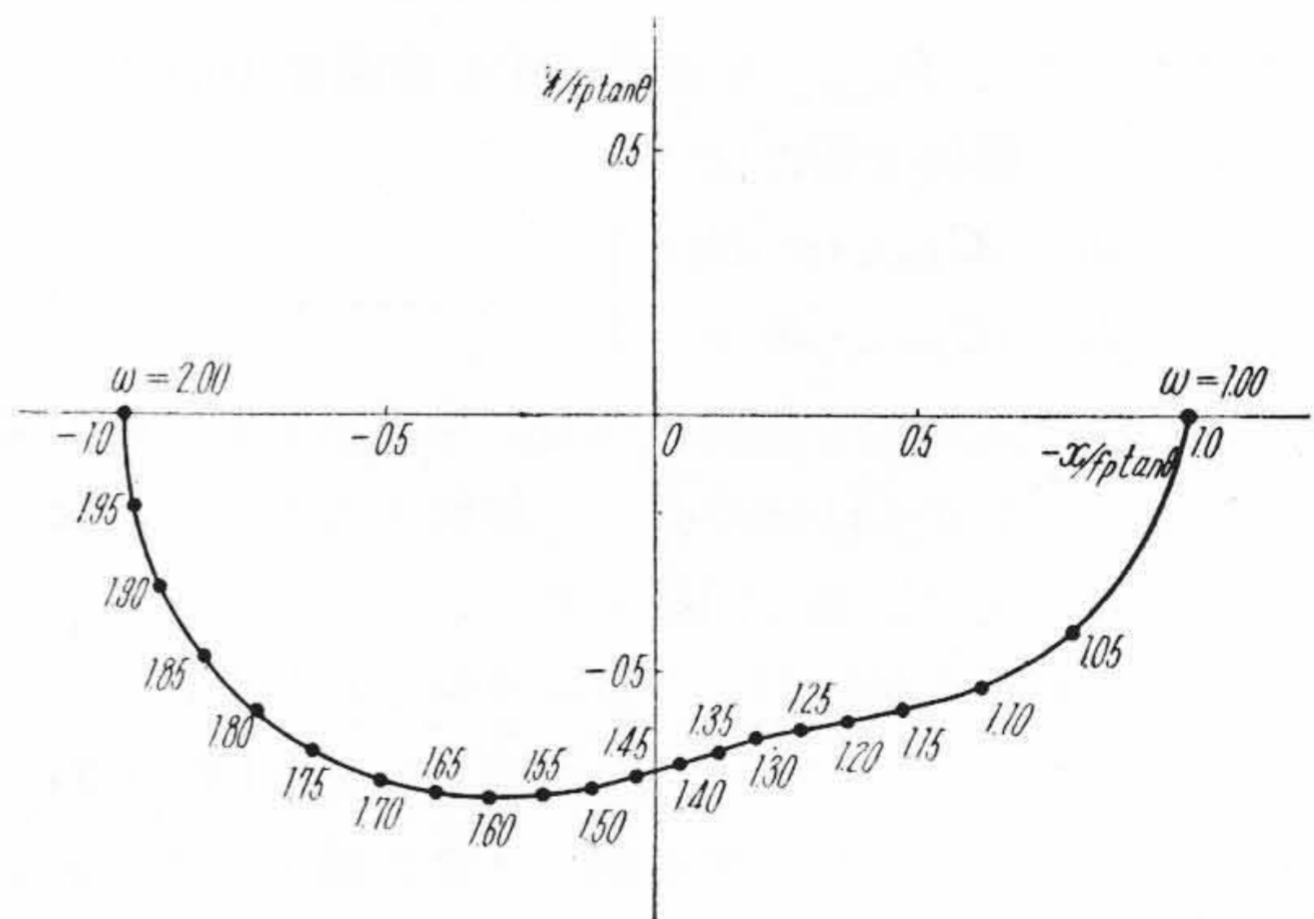
の関係を求めることができる。第6図は(19),(20)式から電圧中心の位置と  $\omega_p$ との関係を示したものである。

投射レンズの電圧中心の軸点からの偏倚の大きさは像面で  $|M_p \cdot f_p \cdot \tan \theta|$  より大きくなることはない。 $|M_p \cdot f_p|$ は大略投射レンズから終像面までの距離  $l_{ps}$ で、 $l_{ps} = 500 \text{ mm}$ ,  $\tan \theta = 1 \cdot 10^{-2}$  としても 5 mm を越えることがなく、投射レンズの像はさらに拡大されることがないので、実用上問題はない。むしろ対物レンズとの中心不一致の方が問題である。



(6), (15) および (18) 式より計算  
第5図 斜照射の場合の対物レンズ電圧中心の位置とレンズの強さの関係 (II)

Fig. 5. Voltage Center of the Objective (II) (Referred to Object Plane)



(19) および (20) 式より計算  
第6図 斜照射の場合の投射レンズの電圧中心の位置とレンズの強さの関係

Fig. 6. Voltage Center of the Projection Lens (Referred to Object Plane)

〔III〕 総合電圧中心

対物レンズと投射レンズ双方による総合電圧中心を考える場合には終像面で取扱う方がわかりやすいと思われるので、こゝでは終像面で取扱うことにする。

投射レンズの電圧中心は前節で述べたように終像面の中央近傍にあるので、終像面において投射レンズの電圧中心  $P_{r_o m_o}$  を原点とする直角座標を考える。その際対物レンズの電圧中心  $P_{r_o m_o}$  が  $x$  軸上に来て、 $x$  軸の正方向を  $y$  軸の正方向に一致させる回転方向が対物レンズによる像の回転方向と同じになるように選ぶものとする。

任意の像点  $P(x, y)$  の電圧変化に応じる偏倚  $\Delta x, \Delta y$  は

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= [-\{(C_{Fr})_o \pm (C_{Fr})_p\}y \\ &\quad + \{(C_{Fm})_o + (C_{Fm})_p\}x - (C_{Fm})_o \cdot S] \cdot \Delta\phi/\phi \\ \Delta y &= [\{(C_{Fr})_o \pm (C_{Fr})_p\}x \\ &\quad + \{(C_{Fm})_o + (C_{Fm})_p\}y - (C_{Fm})_o S] \cdot \Delta\phi/\phi \end{aligned} \right\} (21)$$

となる。ここに  $S$  は  $P_{r_o m_o}$  の  $x$  座標、複号は投射レンズの励磁極性が対物レンズと同じときは正、異なるときは負をとるものである。(21)式から総合電圧中心

$$\begin{aligned} &P_{r_o m_o r_p m_p}(x_{r_o m_o r_p m_p}, y_{r_o m_o r_p m_p}) \text{ を求めれば} \\ &x_{r_o m_o r_p m_p}/S \\ &= \frac{(C_{Fr})_o \{(C_{Fr})_o \pm (C_{Fr})_p\} + (C_{Fm})_o \{(C_{Fm})_o + (C_{Fm})_p\}}{\{(C_{Fr})_o \pm (C_{Fr})_p\}^2 + \{(C_{Fm})_o + (C_{Fm})_p\}^2} \\ &y_{r_o m_o r_p m_p}/S \\ &= \frac{(C_{Fr})_o \{(C_{Fm})_o + (C_{Fm})_p\} - (C_{Fm})_o \{(C_{Fr})_o \pm (C_{Fr})_p\}}{\{(C_{Fr})_o \pm (C_{Fr})_p\}^2 + \{(C_{Fm})_o + (C_{Fm})_p\}^2} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (22)$$

がえられる。第7図は(6)式、(20)式の収差係数を用い(22)式から計算した  $\omega_o, \omega_p$  と総合電圧中心の関係の一例を示したものである。原点が  $P_{r_o m_o r_p m_p}$  にある極座標  $(\rho, \phi)$  をとって偏倚を示せば

$$\left. \begin{aligned} \Delta\rho &= \{(C_{Fm})_o + (C_{Fm})_p\} \cdot \rho \Delta\phi/\phi \\ \Delta\phi &= \{(C_{Fr})_o \pm (C_{Fr})_p\} \Delta\phi/\phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (23)$$

となり、今までの場合と全く似た形になって、一つのレンズと同様に考えることができる。

$P_{r_p m_p}(0, 0)$  を中心とする半径  $R$  の円周上における最上偏倚の大きさ  $D_{max}$  は

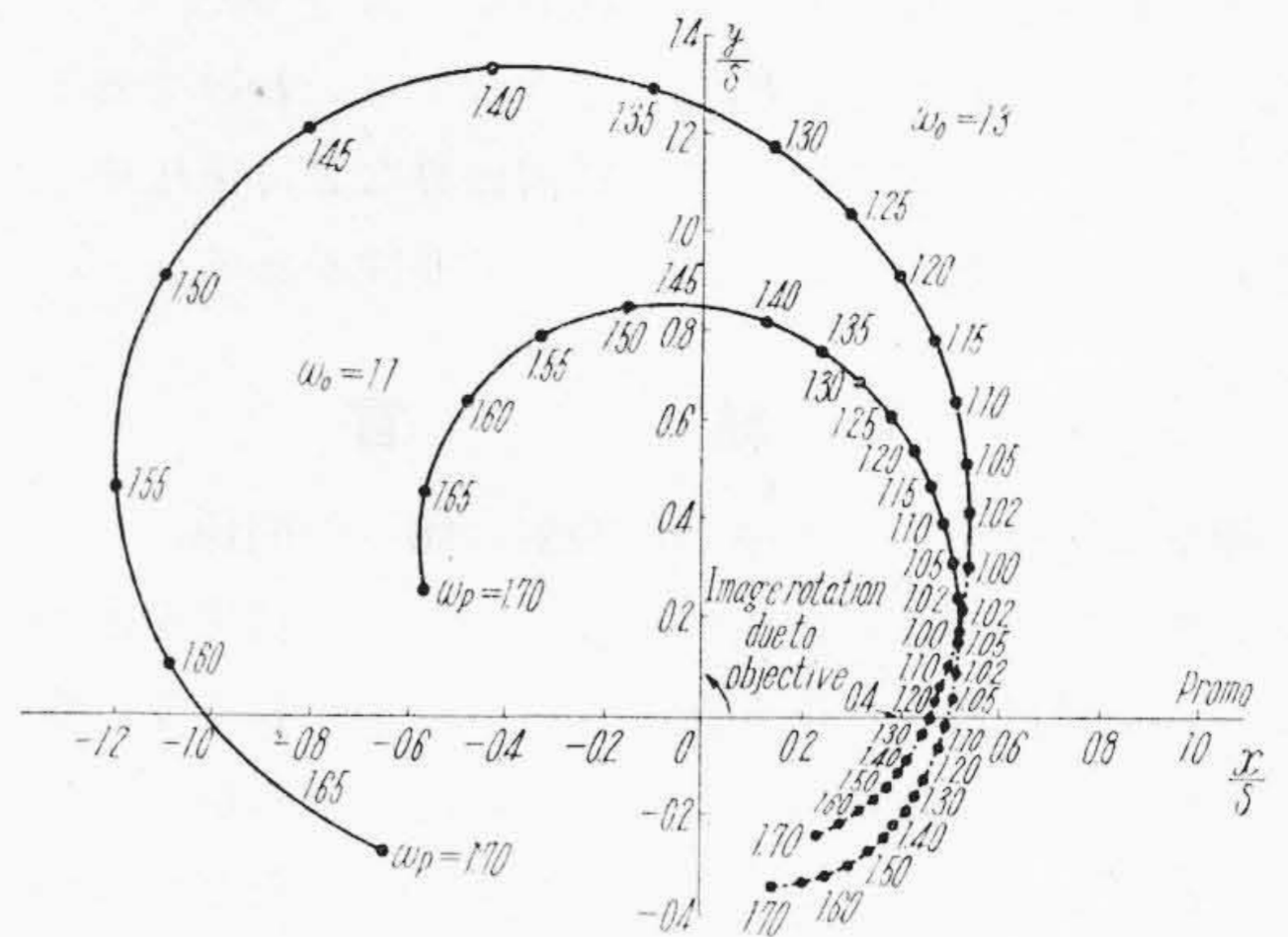
$$\begin{aligned} D_{max} \cdot \phi/\Delta\phi &= |[\{(C_{Fr})_o \pm (C_{Fr})_p\}^2 \\ &\quad + \{(C_{Fm})_o + (C_{Fm})_p\}^2]^{1/2} + |[\{(C_{Fm})_o\}^2 + \{(C_{Fm})_p\}^2]^{1/2} S| \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (24)$$

となる。 $R=30\text{mm}$ ,  $\Delta\phi/\phi=1 \times 10^{-3}$ ,  $S=10\text{mm}$  および  $30\text{mm}$ ,  $\omega_o=1.1$  および  $1.3$  として  $D_{max}$  と  $\omega_p$  との関係を図8に示した。なお収差係数は前と同様(6)および(20)式を用いた。第7図および第8図から異極性の場合の方が同極性の場合より総合電圧中心が原点より離れるが、原点を中心とする円周上の最大偏倚は小さいことを示している。したがって異極性励磁の方が実用上有利である。

〔IV〕 電圧中心と電流中心

一つのレンズの場合の電圧中心と電流中心とは一致する筈である。一般に電圧中心と電流中心と一致しないのは電圧中心は対物、投射(中間レンズのある場合はこれも含まれる)両レンズの総合として終像に現れるが、電流中心は一つのレンズのものがあらわれるためである。

第8図について対物レンズの電流中心は  $P_{r_o m_o}$  の点にあ

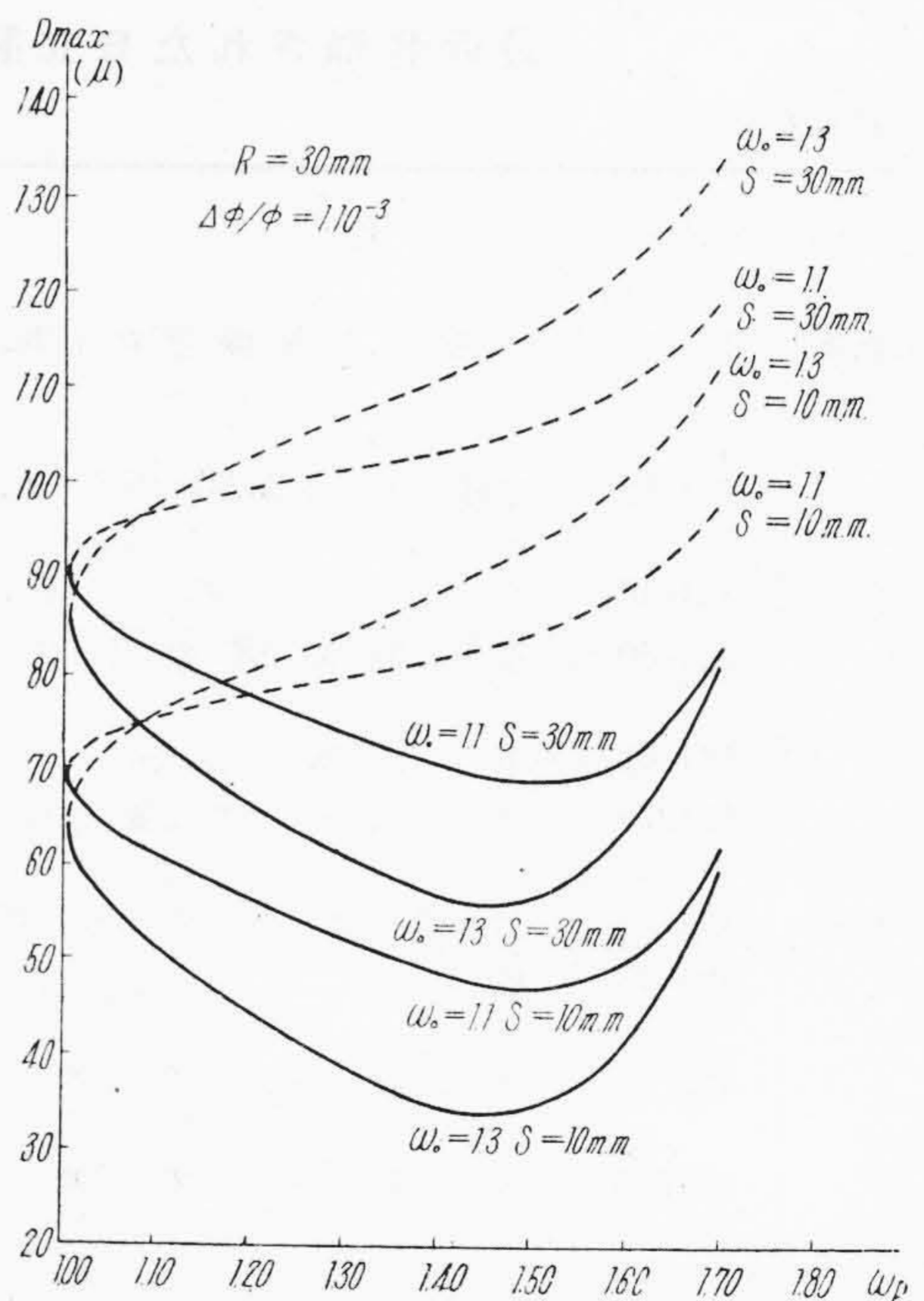


(6), (20) および (22) 式より計算

第7図 対物、投射面レンズの総合電圧中心と投射レンズの強さとの関係 (実線——異極性励磁) (点線——同極性励磁)

Fig.7. Resultant Voltage Center in a Two-Lens System

(Full line: Opposite Polarity Excitation) (Dotted line: Same Polarity Excitation)



(6), (20) および (24) 式より計算

第8図 投射レンズの電圧中心を中心とする円周上における像偏倚の最大量と投射レンズの強さとの関係 (実線——異極性励磁) (点線——同極性励磁)

Fig.8. Maximum Image Displacement on the Circle Whose Center is at the Voltage Center of the Projection Lens

(Full line: Opposite Polarity Excitation) (Dotted line: Same Polarity Excitation)

るが、総合電圧中心はたとえ投射レンズを弱くしても  $\omega_p=1$  の点に近ずき、 $P_{r_{om}}$  と一致しないわけである。また一つのレンズについても妨害磁界などは電圧中心と電流中心と一致しない原因となる可能性がある。

〔V〕 結 言

簡単な計算から電圧中心に照射の傾きの関係、二つのレンズの場合の総合電圧中心などについて結果を求めたが、電子顕微鏡の実際問題としてはいかにしてよい像がえられるか、また電源の安定度を節減できるかということであるから、このような問題を考えるに際しては他の収差のことも念頭に置かねばならない。例えば総合電圧中心を終像面中央附近にもつて行くために両レンズの励磁極性を同じにしてこれを達成しようとすることは真の

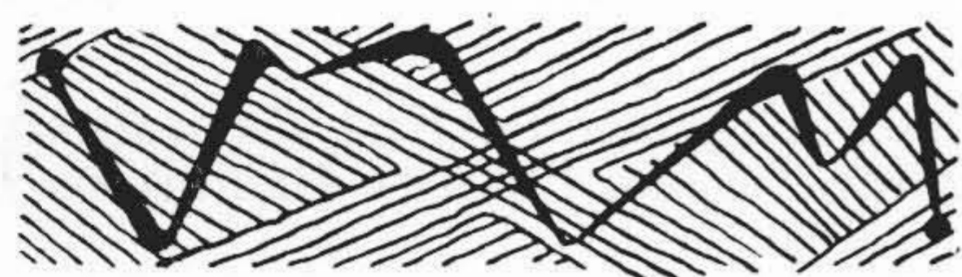
目的を見失っていることになる。また対物レンズへの照射の傾きを変化させて電圧中心の調整をはかることも他の収差の面から問題である。

一方収差係数の測定を行う場合、あるいは軸外色収差の補償などのみを考える場合にはたとえ照射の傾きなどで電圧中心が軸から偏倚しても作用は全く同じであつて、なんら問題がないことは本報告の結果からあきらかである。

終りに種々御指導を賜つた日立製作所中央研究所只野文哉博士に厚く御礼申上げる。

参 考 文 献

- (1) W. Glaser: Z.f. Phys. 117 285 (1941)
- (2) N. Morito: J. Appl. Phys. 25 986 (1954)



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その4)

(第44頁から続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	424717	二重焦点 X 線管の小焦点保護装置	亀戸工場	和田正脩 小林長平 市川義三	30. 2. 22
〃	424718	絶縁モールド製品に対する軸の回り止め装置	亀戸工場	千原錦吾	〃
〃	424746	タ ッ プ 切 換 器	亀戸工場	池田宣幸	〃
〃	424760	電磁制動機の手動弛め装置	亀戸工場	山崎栄次郎 鈴木幸治	〃
〃	424761	電 気 接 触 子	亀戸工場	山崎栄次郎	〃
〃	424778	カバ ー 付 螢 光 灯 器 具	亀戸工場	西岡博夫 寛 貞 夫	〃
〃	424734	折 畳 み 型 放 射 状 空 中 線	戸塚工場	古谷勝美	〃
〃	424735	軸 の 結 合 装 置	戸塚工場	古高橋勝美 政次郎	〃
〃	424739	ス リ ー プ ア ン テ ナ	戸塚工場	古高橋勝美 政次郎	〃
〃	424740	ス リ ー プ ア ン テ ナ	戸塚工場	家形秀夫 古高橋勝美 高木寿夫	〃
〃	424756	ド ラ ム ス イ ッ チ	戸塚工場	角鈴木七男孝	〃
〃	424762	嵌合ケースの自動着脱装置	戸塚工場	波多野泰吉 落合俊男	〃
〃	424727	硝球内面反射膜形成装置	茂原工場	今村好信	〃
〃	424728	硝球内面反射膜形成装置における加熱体	茂原工場	柳原智	〃
実用新案	424772	熱 陰 極 放 電 管	中央研究所	井上純之助	30. 2. 22

# 朝日 日立 ビック

## 日立 30 万ボルト電子顕微鏡完成 300,000 V Electron Microscope, Completed

かねて朝日科学奨励金および文部省試験研究費の援助と高性能電子顕微鏡委員会の協力により日立製作所中央研究所で試作研究していた超高压電子顕微鏡が、このほど完成したので、瀬藤象二、山下英男、谷安正ほか委員会のメンバーおよび奥田朝日記者の諸氏を招き発表報告会を行った。当日は超高压電子顕微鏡で撮影した電顕像および廻折像を多数展示して、その偉力を目のあたりに見せることができた。

電子顕微鏡の電子加速電圧は5万ボルトが普通であるが、この程度の電圧では検鏡試料に対する電子線の透過能力が低く、生物試料などで内部構造をよく見ることのできる厚さは僅かに0.2 ミクロン ( $0.2 \times 10^{-3} \text{mm}$ ) 程度であり、厚さ1 ミクロンになると、内部はほとんど見えず、外形の影絵だけになる。また電圧が低いと電子線の照射を受けて試料の温度が上昇し、これを変質、変形させ、甚しい場合には焼損に至ることがある。これらは電子顕微鏡の最大の欠点とみられているが、根本的には電圧を上げることで解決できる。しかしこれを実現するためには、つぎのような問題を克服しなければならない。すなわち

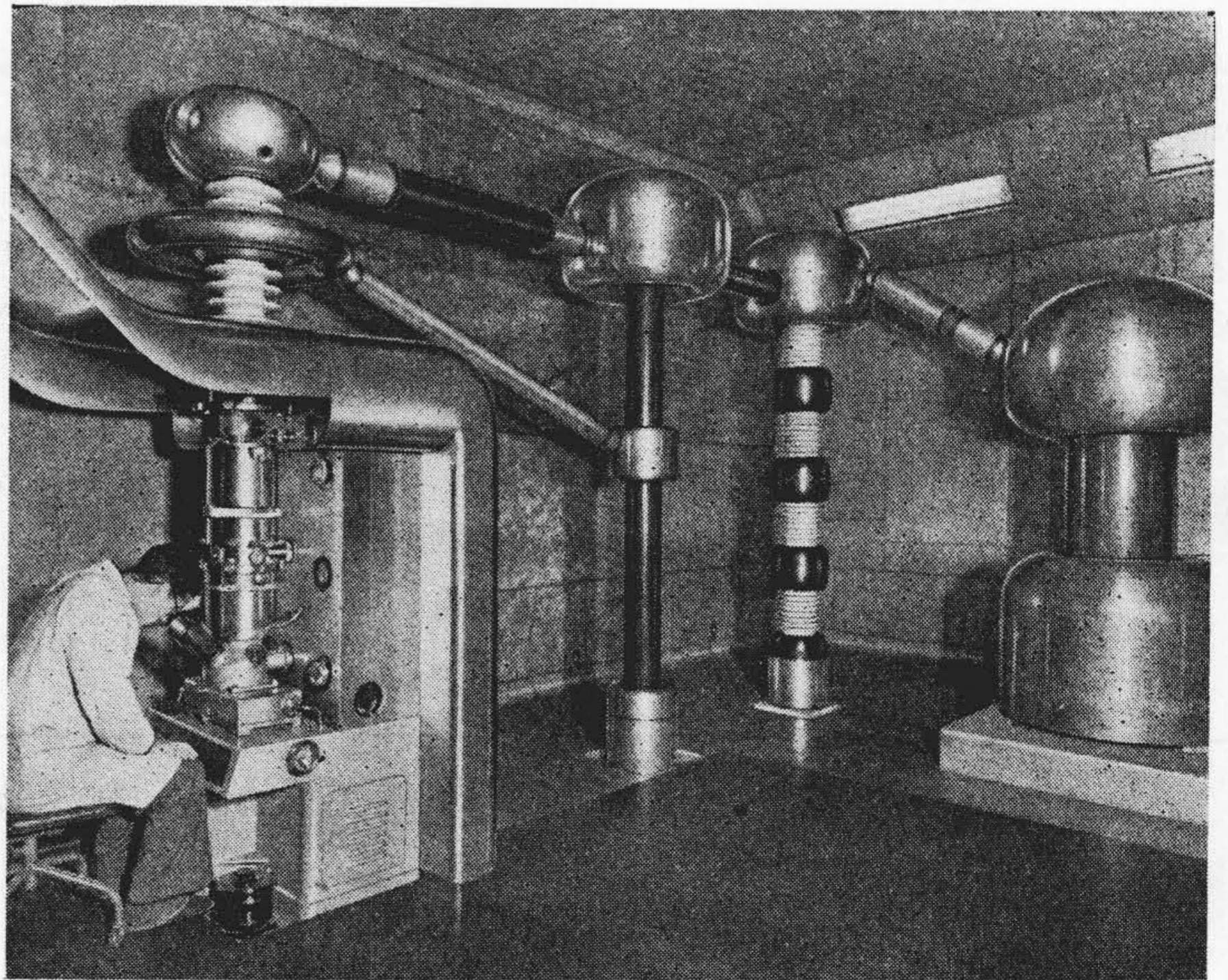
- (1) 数十万ボルトの高圧直流電源を製作および電圧の安定
- (2) 多段加速電子銃の設計および製作
- (3) 磁気飽和を起さない短焦点磁

気レンズの設計および製作

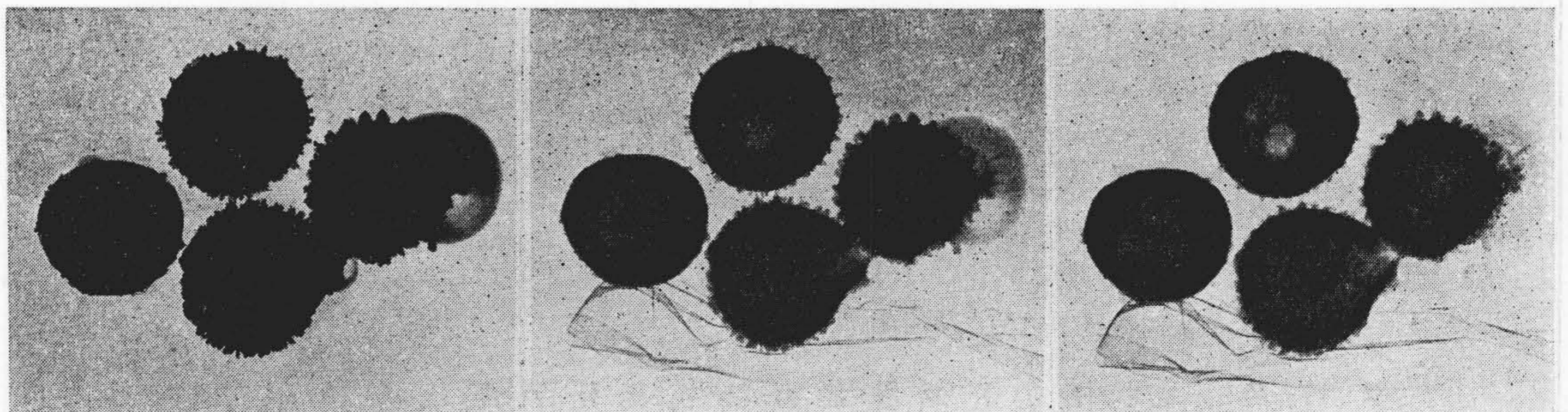
(4) X線対策

などである。

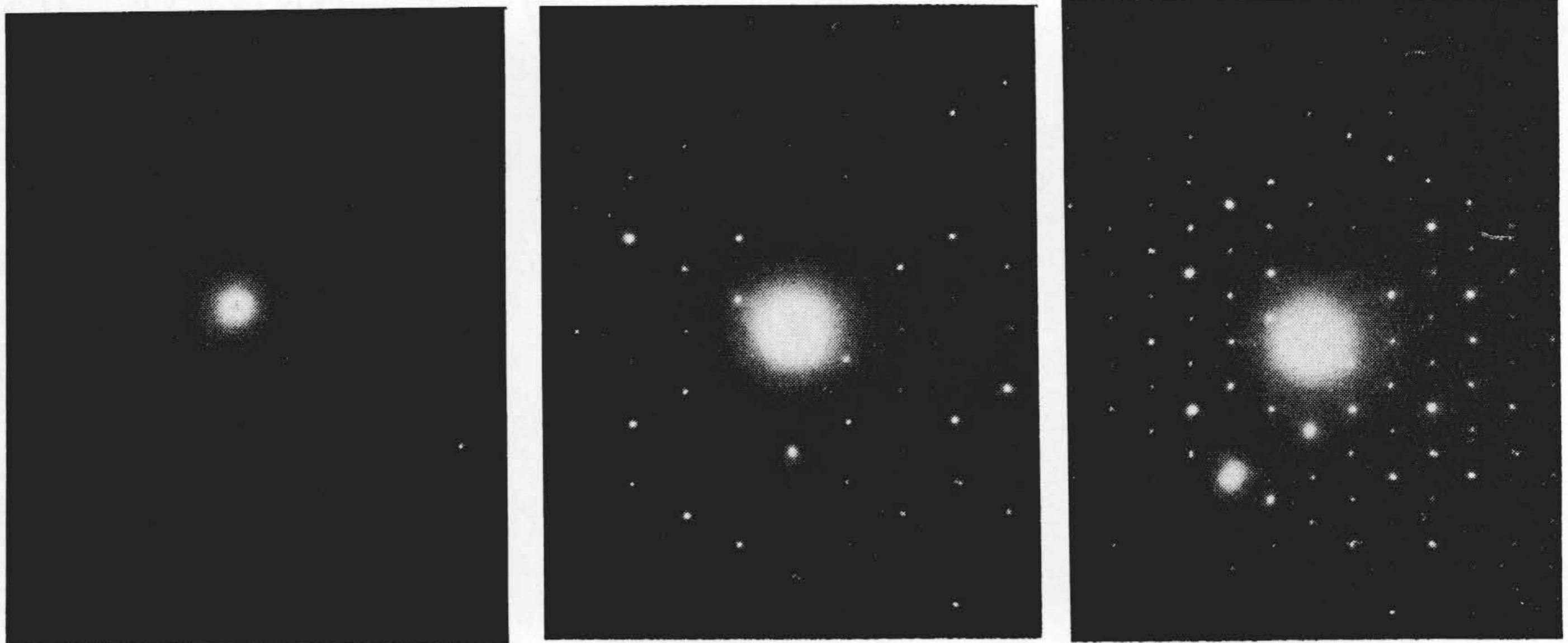
さて、われわれの第一目標は30万ボルト多能電子顕微鏡の試作にあつたが、将来50万ボルトまたはそれ以上の電圧に上げて、設計構想をあまり変えないで済むようにはじめから考えた。それにはまず高压電源になにを使うかが問題となる。われわれは低周波あるいは高周波多段昇圧などの常識的方法によらず、Van de Graaff ベルト起電機をとり上げた。それには色収差係数のきわめて小さい電子レンズ(色収差補償電子レンズ)の完成が裏付けとなる。色収差補償レンズ系が従来の許容電圧変動率  $\Delta E/E = (1 \sim 2) \times 10^{-4}$  の10倍ぐらいまで許せる



第1図 日立 30 万ボルト電子顕微鏡  
Fig.1. 300,000 V Electron Microscope



5 万ボルト                      15 万ボルト                      25 万ボルト  
第2図 透過法による電子顕微鏡像(試料: 麴菌の孢子 倍率 3,000)  
Fig.2. Conidia of *Aspergillus Sojae* Taken with Various Accelerating Voltages



8万ボルト  
15万ボルト  
24万ボルト  
第3図 電子線廻折像 (試料: 雲母 厚さ約 4,000 Å)  
Fig.3. Electron Diffraction Image (Specimen: Mica Thickness about 4,000 Å)

ことからベルト起電機の使用が可能になったのである。かくして小型軽量の高圧電源がえられた。

電子顕微鏡本体は最上部より2段加速電子銃, コンデンサレンズ, 試料室, 対物レンズ, 中間レンズ, 廻折試料室, レポルバー式投射レンズ, 終像覗き窓およびカメラボックスより成っている。これまで諸外国で試作された超高压電子顕微鏡はいずれも顕微鏡像のみよりえられない単能型であつたのに対し, われわれは3段レンズ系とレポ

ルバー投射レンズを利用して普通の透過像は勿論のこと, 暗視野像, 制限視野電子廻折像および各種電子廻折像が撮影できる多能型のものとした。X-ray 対策については覗き窓を鉛ガラスとするのは勿論のこと, 電子線射突部はX線の放射方向が観測者に当らぬよう考慮した。

30万ボルト電子顕微鏡はすでに試作の段階を終り, 製品化の準備が整っている。また各種の試料を検鏡中であるがその成果は追つて発表の予定である。

Vol. 16 日立造船技報 No. 1

◇目次◇

溶接による収縮変形ひずみの研究 (1).....	{ 山内俊平	.....(1)
30 kg/cm <sup>2</sup> スチームトラップの試作ならびに試験研究.....	{ 中井恒男	.....(7)
電磁型測微計とその応用.....	{ 野上美章	.....(11)
ディーゼル機関車用コイルばねの強度について.....	{ 鈴木美実	.....(16)
全溶接合成桁覆橋の製作について.....	{ 長畑康夫	.....(21)
船体上部構造物の空気抵抗に関する研究.....	{ 安田益一	.....(24)
製品紹介.....	{ 坂本勲	.....(32)
特許・新案紹介 (24).....	{ 野上二士	.....(34)
	{ 吉村夫繁	
	{ 木下昌雄	
	{ 岡田正次郎	

本誌につきましての御照会は下記発行所へ御願致します。

発行所 日立造船株式会社技術研究所  
大阪市此花区桜島北之島町60