

車輛用電気式速度計の信頼度と耐久力について

篠原清之助*

Reliability and Durability of Electric Speedometer for Rolling Stock

By Seinosuke Shinohara
Taga Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Following the recent speed-up of railway service and shortened intervals of running schedule the greater stress has been placed on the function of electric speedometers in view of the accident prevention.

For these several years Hitachi, Ltd. has been devoted to the manufacture of electric speedometers featuring high reliability and durability.

The writer introduces herein the operational principle and construction of these speedometers, discussing at the same time some problems concerning the pointer oscillation, determination of compensation resistance value which guarantees the freedom from indicating error in case of wheel wear, interchangeability of selenium rectifier, etc.

〔I〕 緒 言

近時列車のスピードアップと運転間隔の縮小化に伴って、事故防止の見地から車輛用速度計の必要性が強調されてきた。しかし従来の速度計は種々な原理による各種のものが用いられてきたが、いずれも信頼度と耐久力が十分でなく満足すべきものがなかつたようである。

日立製作所においては斯界の要望に応じて、去る昭和25年に電気式速度計を完成し、現在までに国鉄初め私鉄のほとんどに多数納入してきたが、これらはいずれも各種車輛に使用されて好評を博している。その実績についてはすでに発表⁽¹⁾⁽²⁾されているのでここでは速度計に関する二、三の特性を述べてみたいと思う。

〔II〕 原理および構造

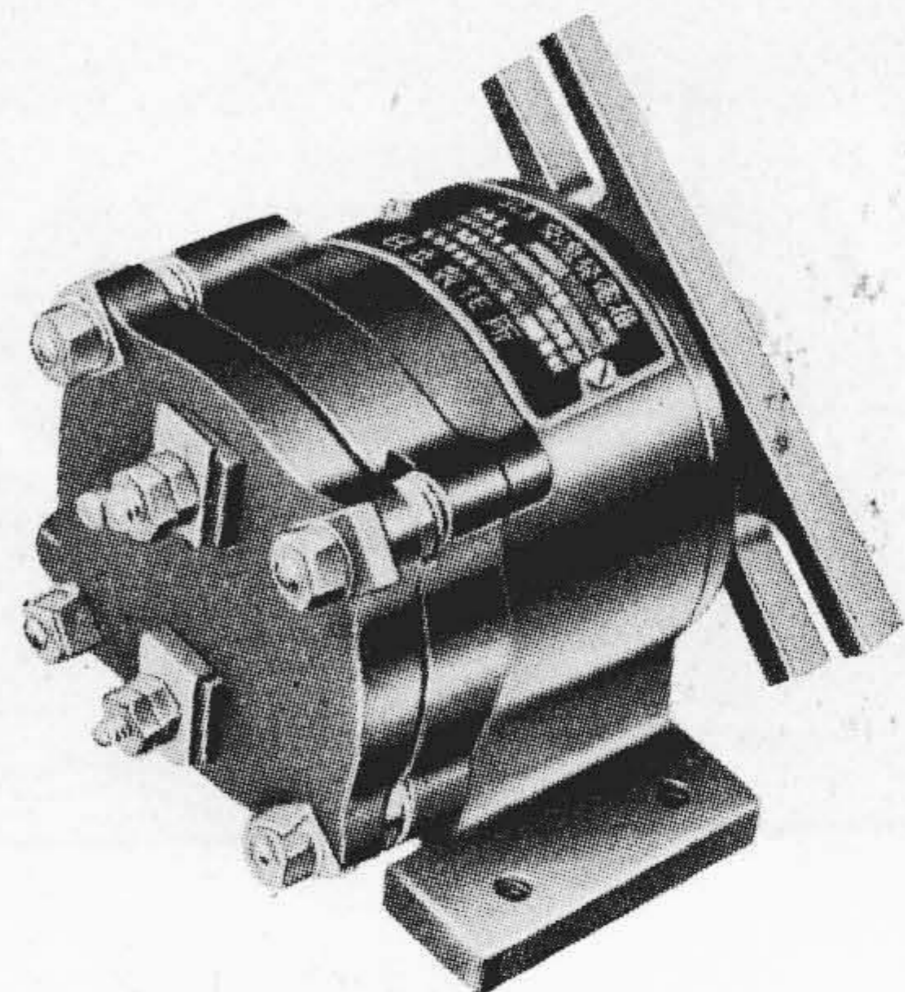
日立速度計は FAC 型発電機、S₂₄ 型速度計および X-FAC 型補償器とからなり、第1図、第2図(次頁参照)および第3図(次頁参照)はその外観である。本器は車輪の回転数を測定し、これを速度に換算して指示させるものである。すなわち FAC 型発電機を車輛に取り付けてその回転数に比例する単相交流電圧を発生し、これを整流して速度で目盛りされた S₂₄ 型速度計で読む方式である。全体の電氣的接続は第4図(次頁参照)に示してある。

FAC 型発電機は単相交流磁石発電機で発電子巻線を

施した固定子と、強力な MK 鋼の4極永久磁石回転子からできている。

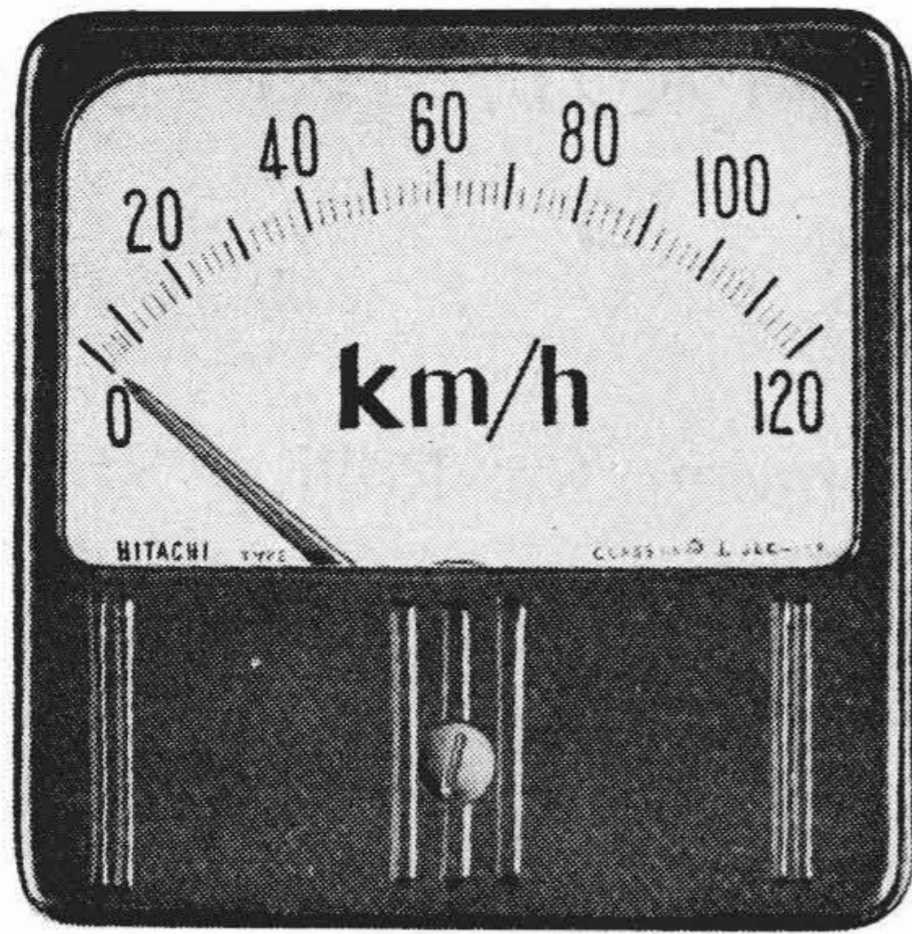
S₂₄ 型速度計は可動コイル型直流ミリアンペア計で、形状寸法は JIS-C 1103 KS2a (140角) である。しかし S₂₄ 型を標準とするが市電その他でこれでは大き過ぎる場合は S₆₂ 型 (100角, JIS-C 1103 KS5型) および S₇₂ 型 (80角, KS6型) も製作する。

X-FAC 型補償器には発電機の交流電圧を直流に整流するためのセレン整流器と、車輪磨耗による指示の変化を補償するタップ抵抗とを収めてある。

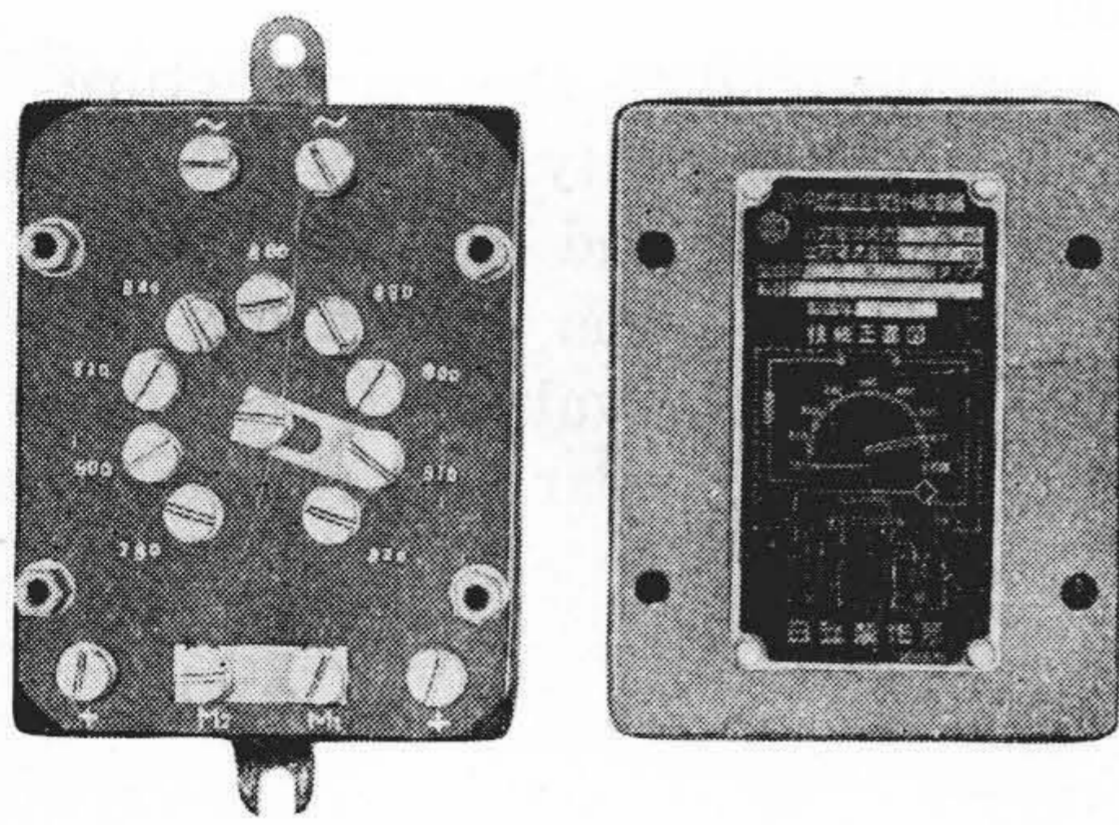


第1図 FAC 型 発 電 機
Fig.1. Type FAC Generator

* 日立製作所多賀工場

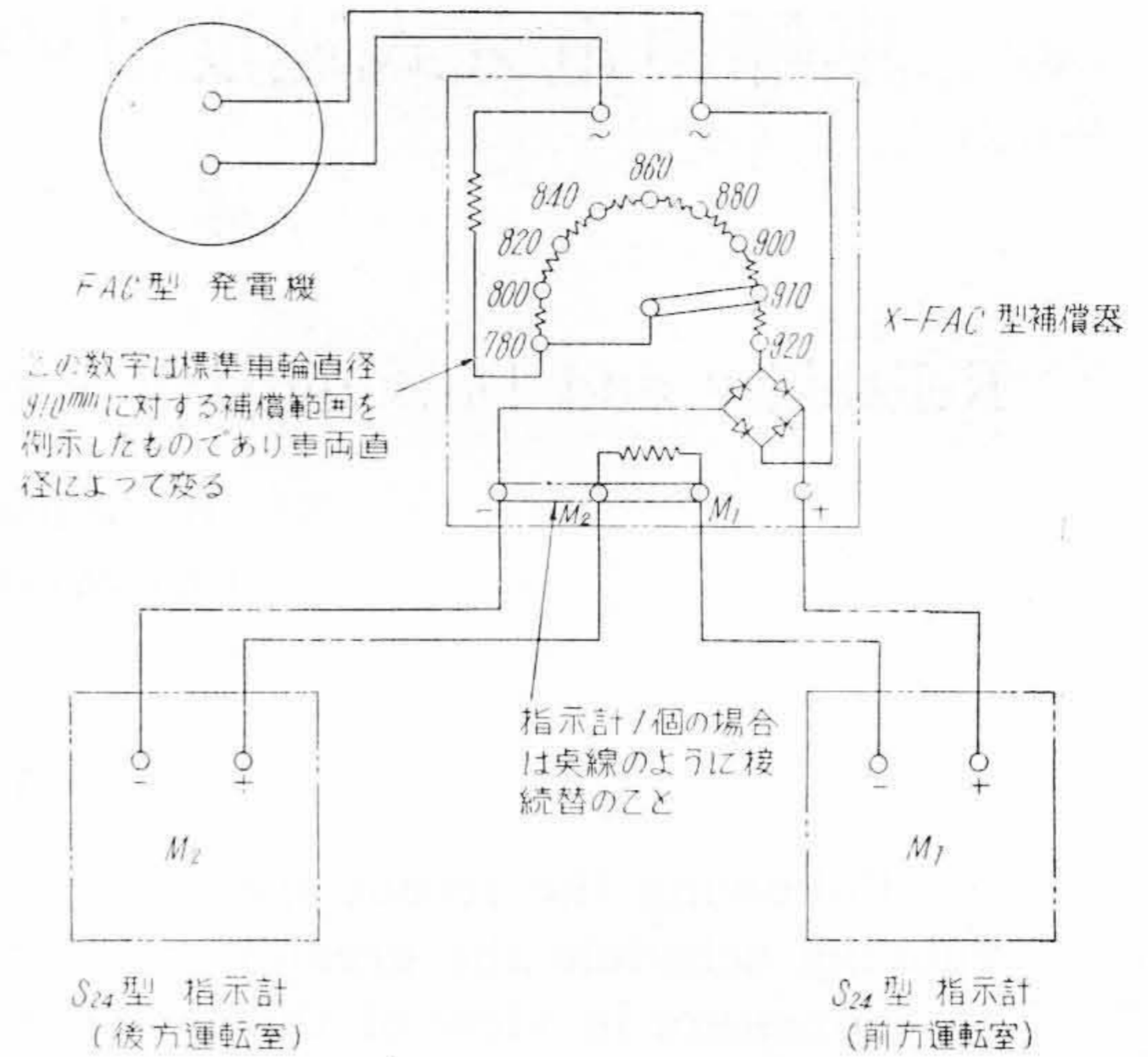


第2図 S₂₄ 型速度計
Fig.2. S₂₄ Electric Speedometer



第3図 X-FAC型補償器
Fig.3. Type X-FAC Compensator

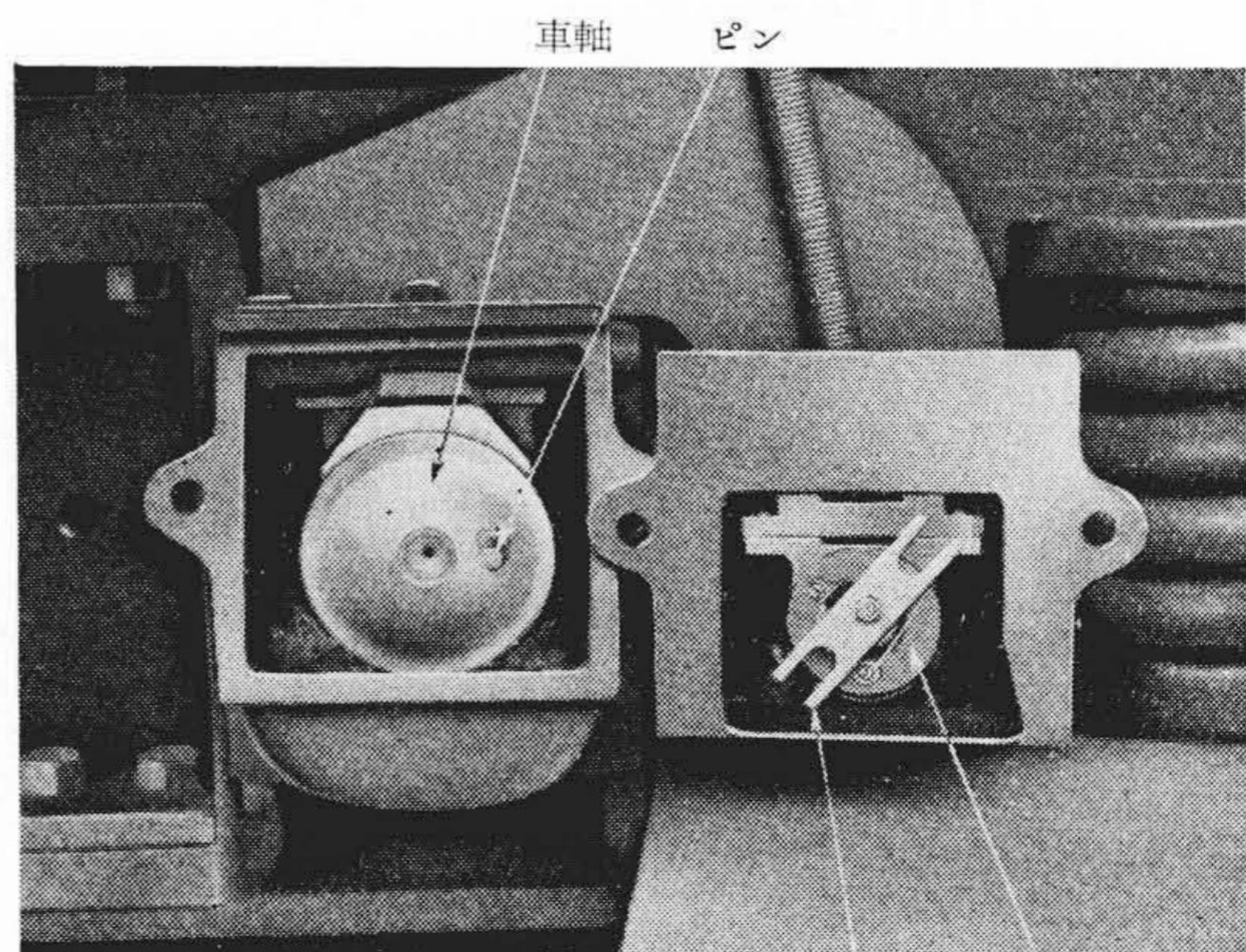
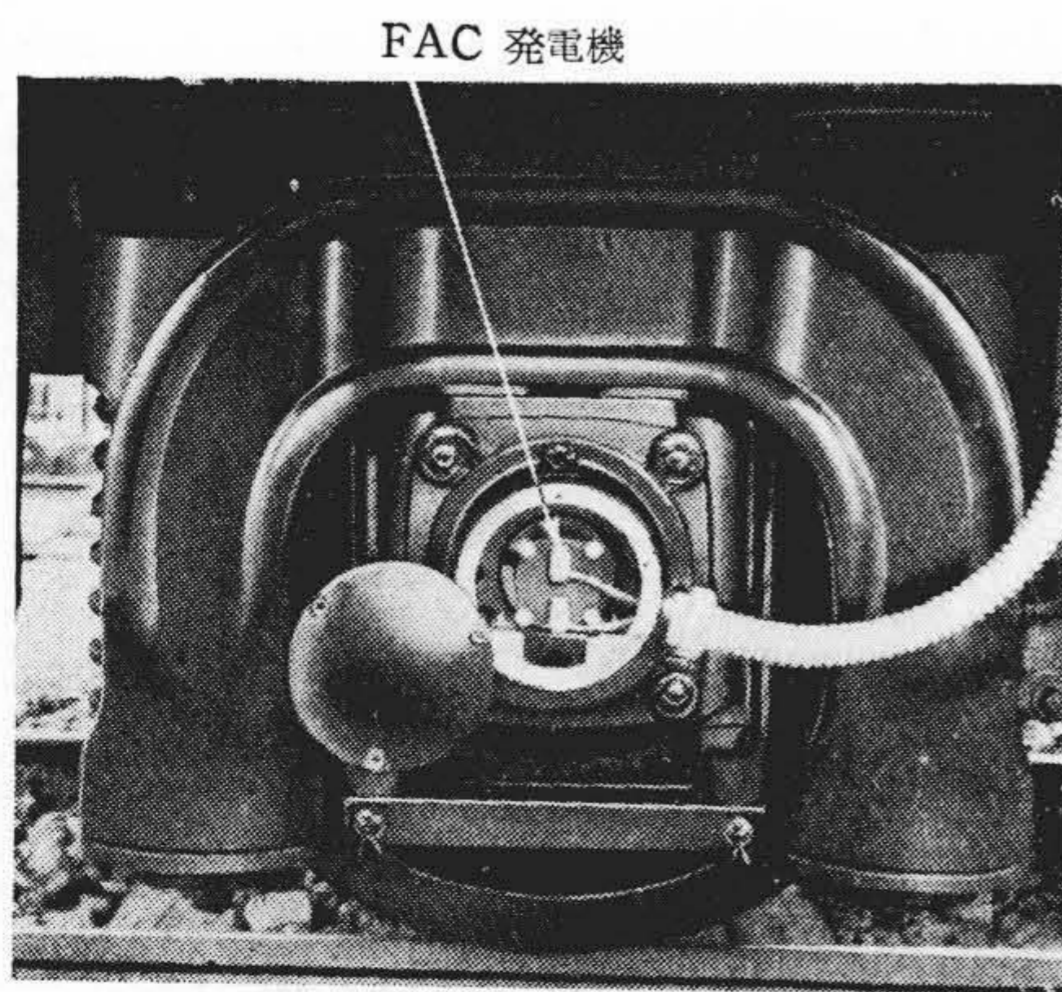
発電機の駆動法は第5図のようなピンとフォーク式による直接駆動とし、これにより難しい場合はプーリとベルトとによる間接駆動とする(第6図)。



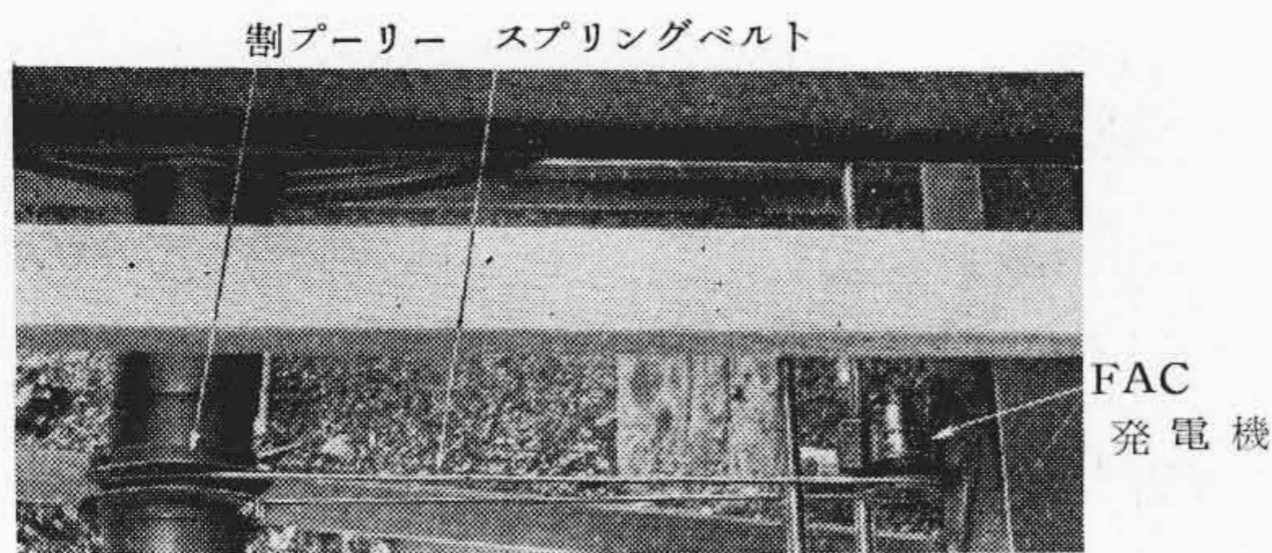
第4図 速度計接続図
Fig.4. Connection Diagram of Speedometer

〔III〕 針振れの問題

電車の標準車輪径は車輛により種々雑多であるが、大体 910mm (例：京浜、山手、中央、横須賀線など) と 860mm (湘南電動列車、ディーゼルカーなど) が圧倒的に多いようである。そこで速度計としては標準車輪径を 910mm として設計し、補償タップの切換によつて 860mm にも共用できるようになっている。したがつて目盛を 120km/h にとれば車輪の回転数は 700rpm となり、これを発電機の標準回転数に定める。この場合発電機の発生電圧の周波数は 23 サイクルという低周波のため、下部目盛において針振れを生ずるのは原理上やむをえない。国鉄規格によれば針振れは最大目盛 120km/h の 1/10



第5図 ピンとフォークとによる直接駆動の一例
Fig.5. An Example of Direct Driving Mechanism Using Pin and Fork



第6図 プーリとベルトによる間接駆動の一例
Fig.6. An Example of Indirect Driving Mechanism Using Pulley and Belt

すなわち 2.3 サイクルの点で 2km/h 以下と規定されている。問題はいかにしてこの針振れを少なくするかであつて、一般には可動部の慣性モーメントを大きくし、駆動回転力を小さくしてその固有周期を長くする方法が採られているが、これは可動部の平衡が失われやすく摩擦もでやすいので指示狂いの原因となり、計器の寿命を短くする。特に車輛用として耐震性を要求されるものにあつては、両者を満足させるために設計上の考慮が払われなければならない。S₂₄ 型速度計の内部機構は日立の開発による独特の内部磁石方式ゆえ、構造が簡単で重量が軽く、しかも電気的および機械的の諸特性が甚だ優秀であり、車輛用として最適のものであるといえる。

計器は最初いかに優秀な特性を持つものでも短時日使用ただけで劣化して来るようでは困るので、そうならぬためには計器の機械的特性が必要な条件を備えておらなければならない。今計器の駆動回転力を τ g-cm, 可動重量を Wg とすれば

$$r = \frac{\tau}{W^{1.5}} \times 10 \dots \dots \dots (1)$$

この r を機械的良度と称して計器の耐久力を判定する目安としているが、この値は 1 以上であることが望ましい。よつて設計の方針としてはこの値をまず $r > 1$ に押え、この範囲内で針振れを僅少にする方策を採つた。その結果を示すとつぎの通りである。

発電機の交流電圧を全波整流し、これを指示計で測定して速度を指示するが、実際の負荷状態におけるこの整流波形をブラウン管で観測した結果を解析すると、指示計に流れる電流はほぼ次式で表わされる。

$$y = \frac{2I_m}{\pi} \left(1 - \frac{2 \cos 2\omega t}{3} - \frac{2 \cos 4\omega t}{15} \dots - \frac{2 \cos 2n\omega t}{4n^2 - 1} \right) \dots \dots (2)$$

可動部は第1項の直流分により一定の指示が与えられる指針をふらつかせるのは第2項以下の交流分であるが、第3項以下は高次周波でかつ振幅も小さいので省略しうるので第2項のみについて考えてみる。

一般に可動部の運動方程式は次式で与えられる。

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + K \frac{d\theta}{dt} + \tau\theta = ci \dots \dots \dots (3)$$

- ここに θ : 任意の時刻における可動部の振れ
- I : 慣性能率
- K : 制動常数
- τ : 単位回転角に対する復帰能率
- c : 駆動回転力定数
- i : 可動コイルに流れる電流の瞬時値

(3) 式において $i = \alpha I_m \cos 2\omega t$ とおけばこの微分方程式の一般解はつぎのようになる。

$$\theta = F(t) + \frac{\alpha c I_m}{\sqrt{K^2 \cdot 4\omega^2 + (I \cdot 4\omega^2 - \tau)^2}} \times \sin \left(2\omega t - \tan^{-1} \frac{I \cdot 4\omega^2 - \tau}{K \cdot 2\omega} \right) \dots \dots \dots (4)$$

この第1項は過渡分で $t = \infty$ のとき減衰して $F(t) = 0$ になる。したがつて定常状態における θ は第2項のみを考えればよいから、指針の振れを検討する場合の振幅は全幅において

$$\frac{2\alpha c I_m}{\sqrt{K^2 \cdot 4\omega^2 + (I \cdot 4\omega^2 - \tau)^2}} \dots \dots \dots (5)$$

振動数は $2f$

また可動部の固有振動数は一般に

$$\frac{\sqrt{4\tau I - K^2}}{4\pi I}$$

で表わされるからこれが 2.3 サイクルの偶数倍のときはそれに近い共振をするが以下の例では $4\tau I < K^2$, すなわち過制動に設計してあるから共振の心配はない。

(5) 式に S₂₄ 型速度計の定数を代入して最大目盛の 1/10 の点の針振れを求めてみると

$$I = 8.4 \text{ g-cm}^2$$

$$K = 192 \text{ dyne-cm/radian/s}$$

$$\tau = 388 \text{ dyne-cm/radian}$$

$$2\omega = 4\pi \times 2.3 = 28.8$$

$$\alpha c I_m = 45.2 \text{ dyne-cm} \quad \left(\text{定格値の } \frac{1}{10} \text{ における交流分による回転力の最大値} \right)$$

上記の数値より 0.0105 radian をうる。ゆえに 72 mm の指針先端では 0.75 mm となる。これは前述の通り最大目盛の 1/10 における針振れの全振幅であつて、現品についての実測値は 0.5~0.6 mm で計算値より多少よくなつてゐる。国鉄規格の針振れ 2km/h 以下に対し、上記 0.75 mm は 0.8km/h となり優に満足している。

20km/h では針振れは微小となり 30km/h 以上では静止状態となる。

[IV] 補償抵抗値の決定

車輪は使用するにしたがい磨耗してゆくからこの磨耗した後の新しい車輪径に対しては、当然速度計発電機の回転数、したがつて発生電圧も変化する。一方計器は与

えられた車輪速度を車輪径に関係なく指示せねばならぬゆえ、計器の動作電流は常に一定となるように抵抗値を車輪径に対応して変化させねばならない。従来一定抵抗値をもって格付区分してゆく方法が簡便法として用いられてきたが、これでは誤差を生ずる場合があり、速度計の互換性を持たせるためにはこのタップ区分も正確に行わねばならない。

同一の速度で走行している場合の指示計の電流は、

$$\frac{E}{R_0} = I \quad \frac{E \times \frac{\phi_0}{\phi}}{R} = I$$

で表わされるから、これより

$$\frac{R_0}{R} = \frac{\phi}{\phi_0} \dots \dots \dots (6)$$

なる関係がえられる。

ここに R_0 : 車輪径 ϕ_0 に対する計器を含む全回路の抵抗

R : 車輪径 ϕ に対する計器を含む全回路の抵抗

E : 発電機の発生電圧 (実効値)

I : 発電機の負荷電流 (実効値)

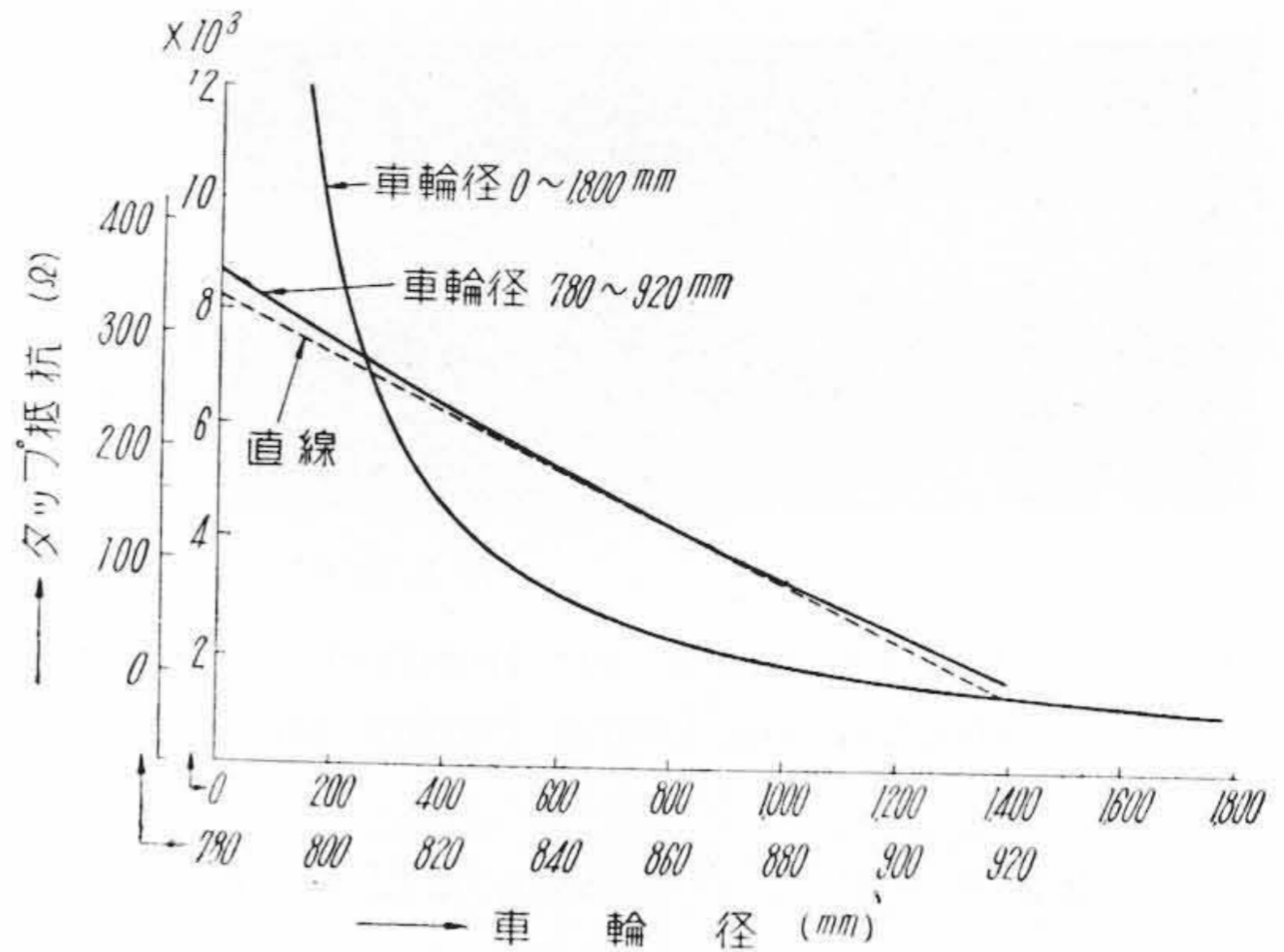
すなわち車輪径と抵抗との関係は直角双曲線となる。したがって補償範囲が十分狭いかまたは車輪径が十分大きい場合には一定抵抗で補償しうが、一般には誤差を生ずるゆえ注意を要する。

標準補償タップ 920~780 mm のものについて、与えられた数値をもって計算したタップ抵抗値の一例は第7図の通りである。

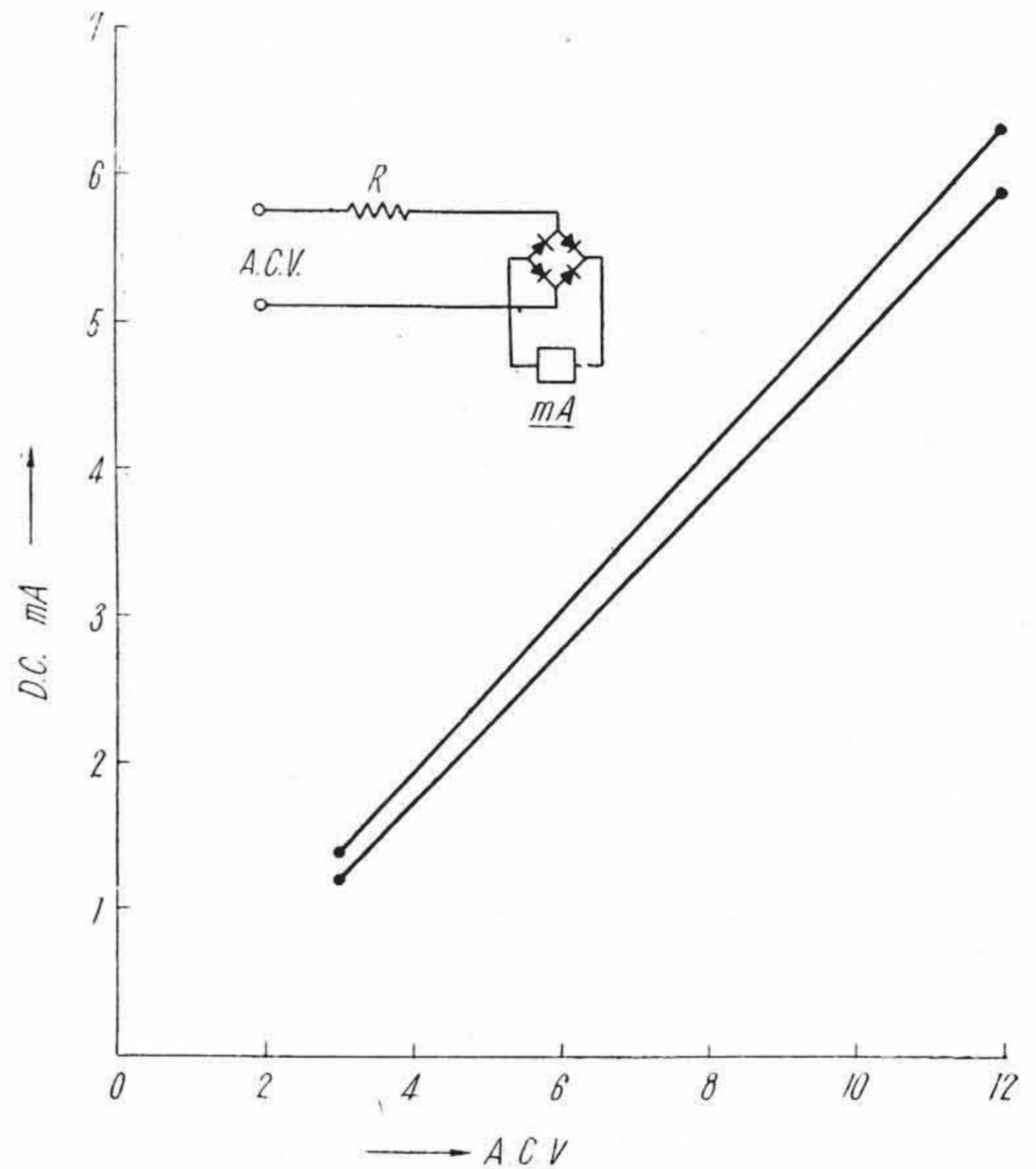
[V] 整流器の特性と互換性

発電機、指示計および補償器の三者に対し互換性を持たせることは、整流器の動特性からみてその直線性および傾斜が問題となりきわめて困難なこととされていたが、これらはセレンメーカーの協力をえて改良され、満足すべきものがえられるようになった。第8図は交流入力電圧に対する直流出力電流の実測値で、図示バンド内にバラツキている。これを交流側の直列抵抗を加減して直流出力電流を定格値の点で±1%以内に調整するとバンドは一直線となり、傾斜も一致して各点における誤差は±1%以内に収まる。かくして発電機の端子電圧、指示計の入力電流および補償器の直流出力電流を各1%以内に調整することにより、この三者の組合せによつて起りうる誤差の最大値は最小自乗法により1.7%となる。

つぎにセレン整流器の特性はまた補償タップ抵抗の決定に対しても考慮する必要がある。たとえば直流出力電流は負荷抵抗を $200\Omega \pm 1\%$ とした場合に $6.5\text{mA} \pm 1\%$ に調整されるが、これは交流側の直列抵抗を加減して行

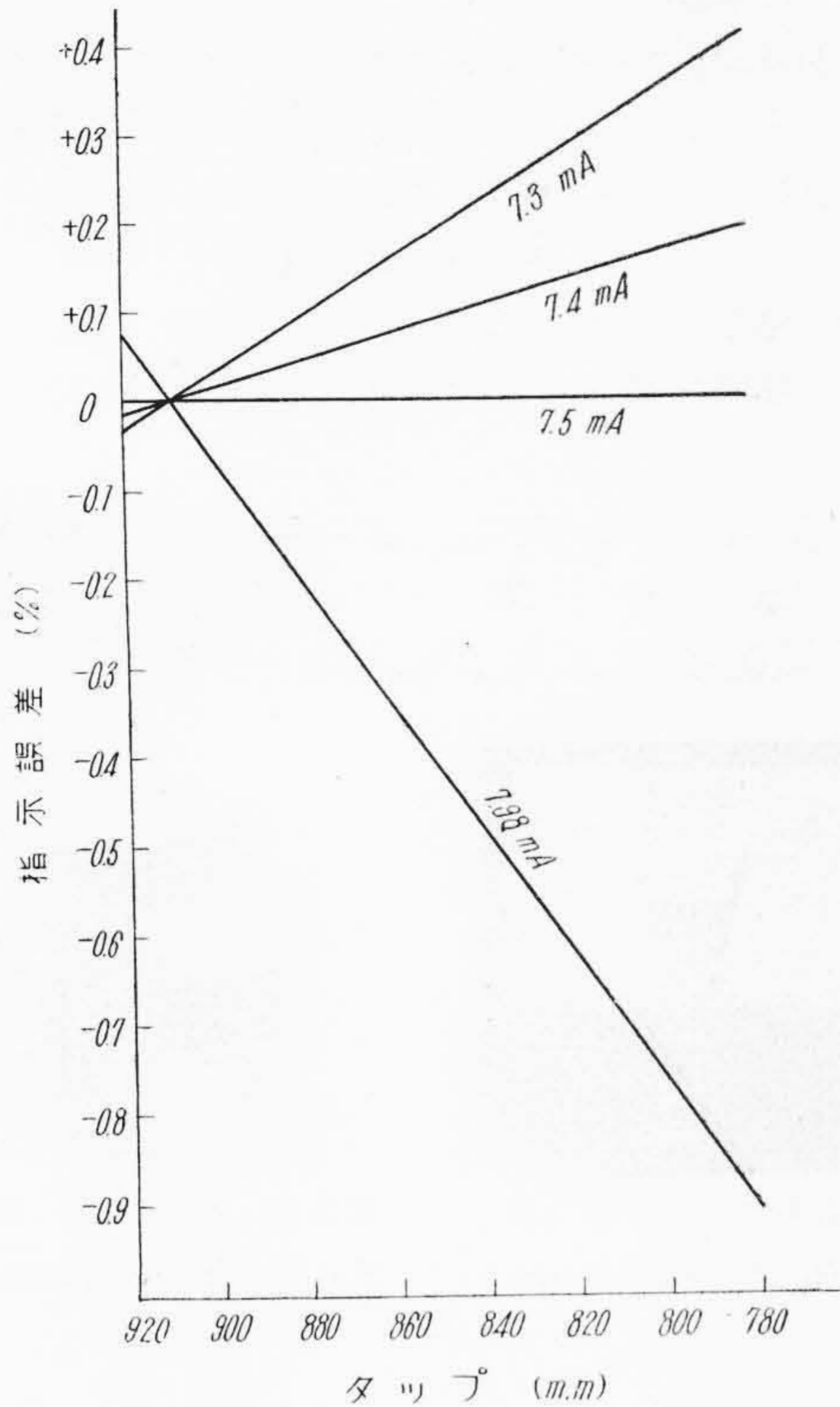


第7図 車輪径と補償タップ抵抗との関係
Fig.7. Relation between Wheel Diameter and Compensating Tap Resistance



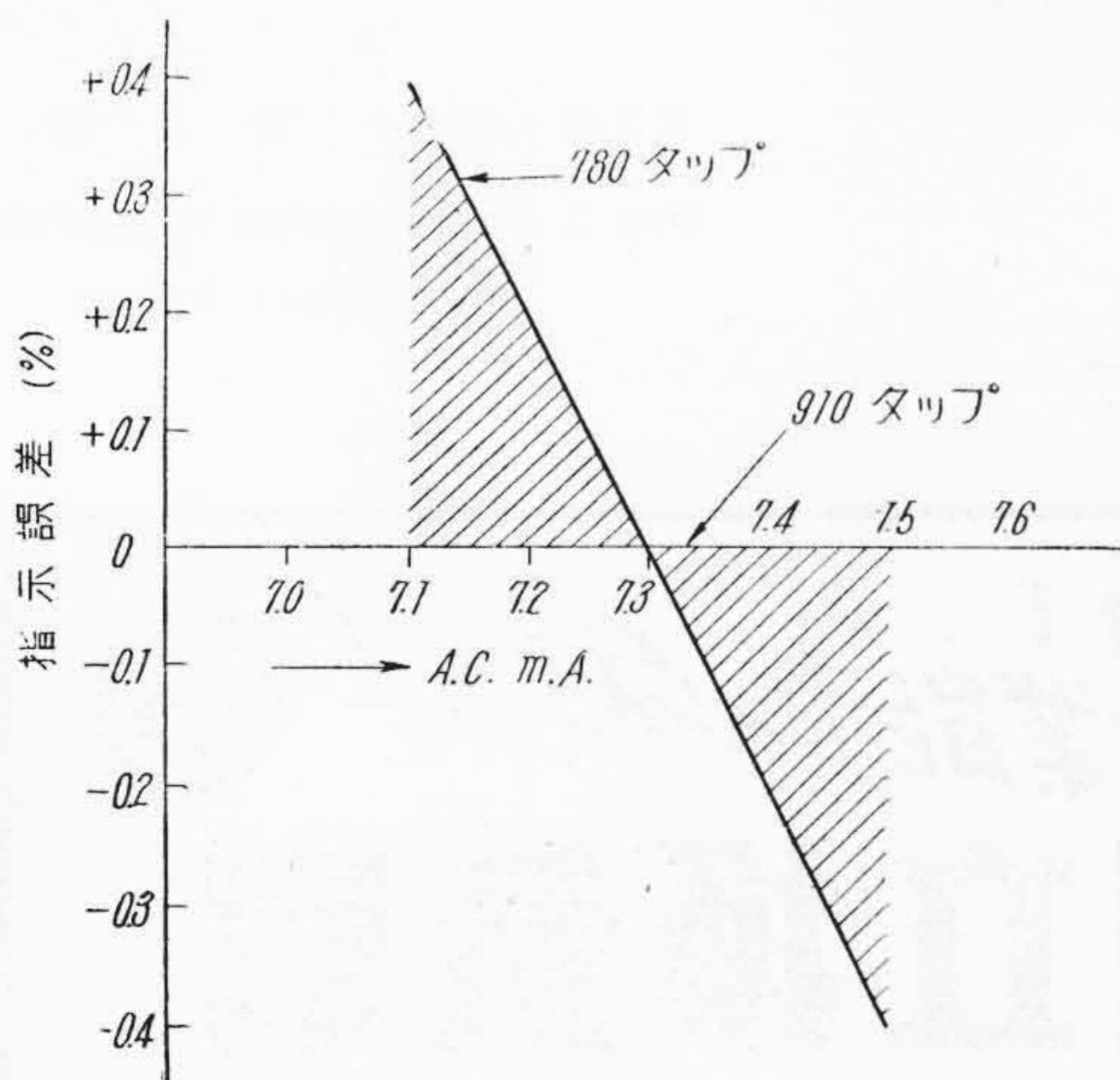
第8図 セレン整流器の動特性
Fig.8. Dynamic Characteristics of Selenium Rectifier

われるものであるから当然交流側の入力電流を変化させる。100 箇のうちから任意の 10 箇を抜取り試験した結果は 7.3~7.98 mA にバラツキている。今これを規定電流 7.5mA として算出したタップ抵抗値をもって、入力電流 7.98 mA の整流器と組合せられた場合に生ずる速度計の定格値における指示誤差は第9図の通り 780 タップにおいて最大で -0.91% に達する。よつて 7.98 mA および 7.4 mA の 2 箇を除き比較的均一な残り 8 箇の平均値を取ると 7.3 mA となり偏差は +0.07~-0.03 mA の範囲にある。故にタップ抵抗を 7.3 mA で算出し電流のバラツキにより指示誤差がいかに変化するかを示すと



第9図 補償器入力電流の相違と各タップにおける指示誤差の関係

Fig.9. Relation between Change of Input Current for Compensator and Indication Error at Each Tap



第10図 補償器入力電流と指示誤差の関係
Fig.10. Relation between Input Current for Compensator and Indicating Error

第10図のようになる。この場合最大指示誤差を生ずるのは 780mm タップであり 910mm より 780mm までの中間タップの指示誤差は図示のハッチングを施した部分にあることは勿論である。指示誤差は次式により算出される。

$$\epsilon = \left(\frac{R}{R'} - 1 \right) \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

ここに

ϵ : 指示誤差

R : 整流器の入力電流と一致した値で算出した誤差零のタップ抵抗と交流側よりみた全抵抗との和

R' : 規定入力電流 (たとえば 7.3 mA) により算出したタップ抵抗と交流側よりみた全抵抗との和

現在の速度計の規格にはセレン整流器の動特性として、交流入力電圧に対する直流出力電流の値およびその偏差が規定されているが、以上のことより交流入力電圧に対する入力電流の値および偏差も同様に規定する必要がある。しかしその偏差は比較的大であつてもよいことがわかる。

[VI] 標準仕様

参考までに速度計の標準仕様を記載しておく。

(1) FAC 型発電機

- (A) 標準回転数..... 700 rpm
- (B) 端子電圧....12V±1% ただし負荷電流 A.C. 7.5 mA
- (C) 内部抵抗..... 400Ω±1% (20°C)

(2) S₂₄ 型速度計 (S₆₂ 型, S₇₂ 型も同様)

- (A) 定格目盛..120 km/h または 60 km/h
- (B) 有効指示範囲....10~120 km/h および 5~60 km/h
- (C) 入力電流.....6.5 mA±1% (D.C.)
- (D) 内部抵抗..... 100Ω±1% (20°C)
- (E) 指示計単独としての許容誤差
....定格目盛の ±1.5% 以内

(3) X-FAC 型補償器

- (A) 入力電流.....約 7.3 mA (A.C.)
- (B) 出力電流.....6.5 mA±1% (D.C.)
- (C) 車輪直径の磨耗に対する
速度指示の補償範囲..... 9 タップ以下

(4) 総合 (組合せた状態で)

- (A) 指示の許容誤差..定格目盛の ±2.5% 以内
- (B) 指示値に対す....±0.1%/°C 以内 (ただし温度の影響 定格目盛において)
- (C) 針 振 れ..定格目盛の 1/10 においても
定格目盛の 1.66% 以内 (ただし国鉄規格)

〔VII〕 結 言

以上車輛用として考えてみた場合の速度計の一般的特性について説明した。しかしながら今後の問題としてセレン整流器の経年変化，特殊用途としての低速度低回転のものや，輸出車輛用に対する処置などなお研究すべき点が多いので種々試験し検討中である。

終りに本器を製作するに当つては国鉄本庁ならびに製作監督員諸氏の御指導，御鞭撻を辱うし，ここに深甚な謝意を表するとともに御協力を戴いた新電元工業株式会社の各位に厚く御礼申上げる次第である。

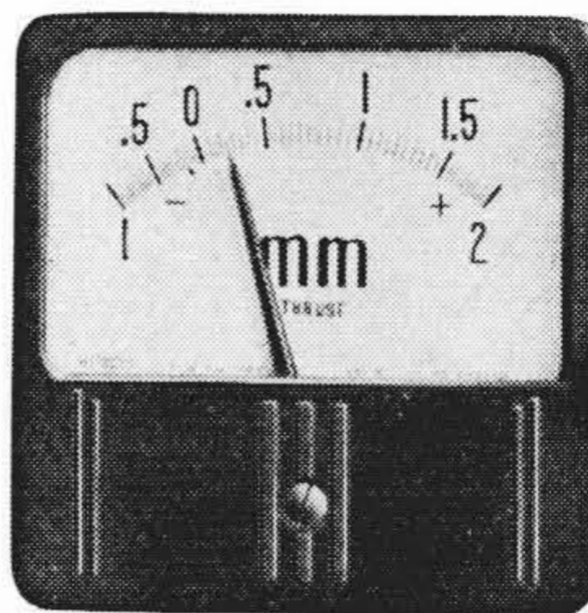
参 考 文 献

- (1) 篠原：日立 16, 13 (昭和 29-10)
- (2) 篠原：電氣車の科学 8, 55 (昭和 30-1)

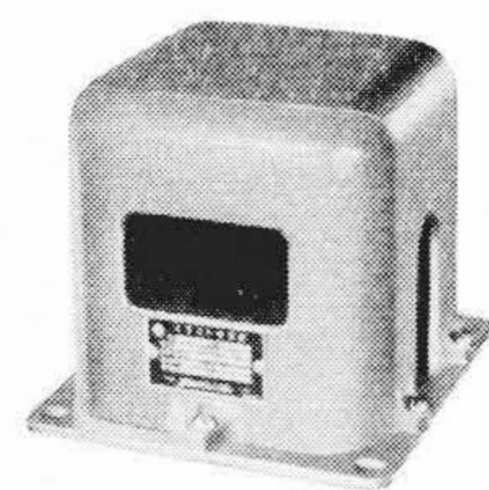


タービン軸位置指示計 (スラストメータ)
Thrust Indicators

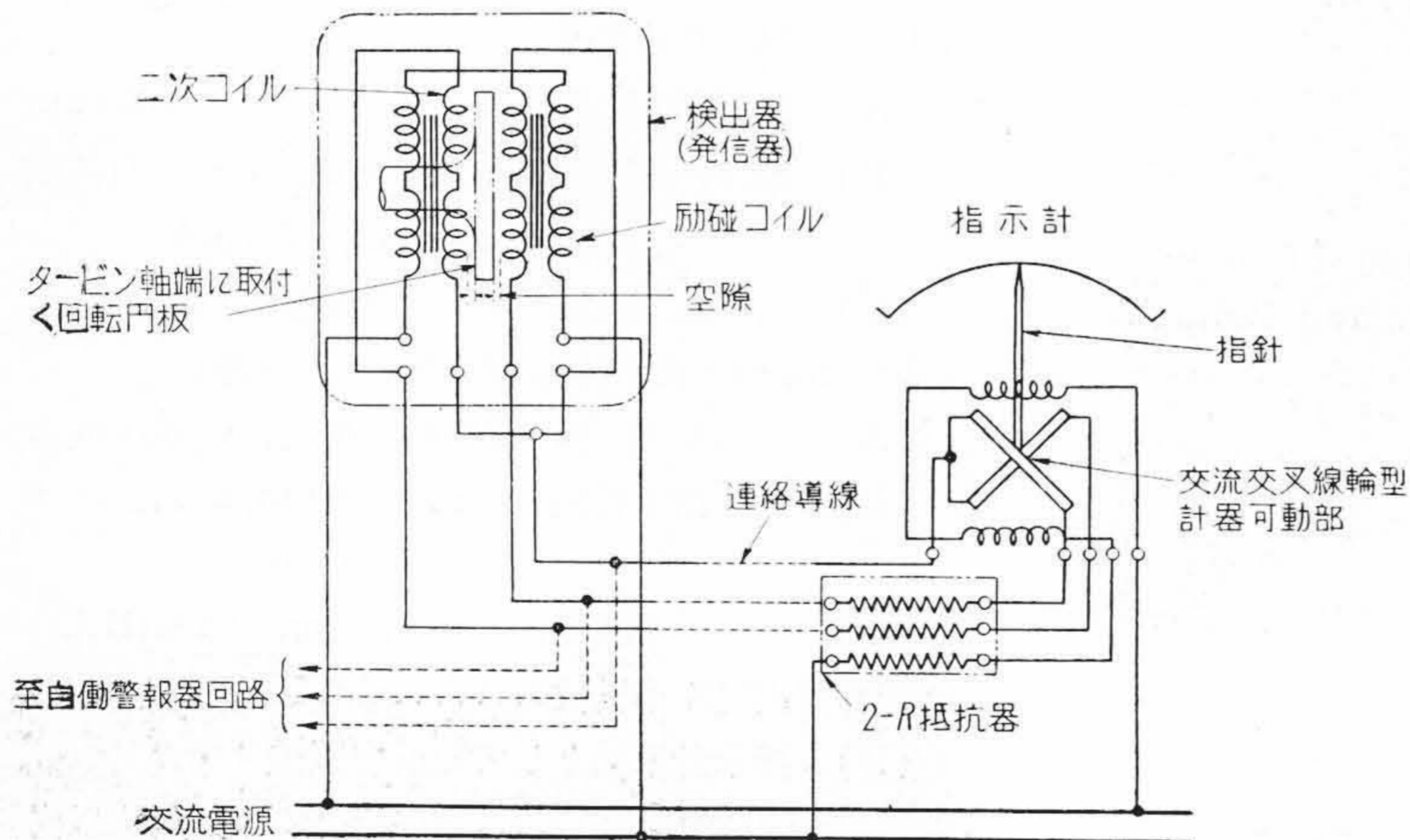
スラストの監視はタービンの運転，保守上必要欠くべからざるものである。本器は純電気式であり，簡単にして耐久的な構造を有し，操作電源変動の影響を受けない。また特殊構造の比率作動継電器と組合せて，警報および自動停止用装置として動作させることができる。




第1図 指示計
Fig. 1. Indicator



第2図 発信器
Fig. 2. Transmitter



第3図 接 続 図
Fig. 3. Connection Diagram of Thrust Indicator



清浄な空気で
作業能率の向上を!

日立換気扇

清浄な空気は衛生上よいばかりでなく，すべての能率を幾倍にも高めることができます。日立換気扇には単相用と三相用との二種類があり，さらに三相用には大きさのことなつたものを用意いたしております。汚れた空気や悪ガスの籠つた室には日立換気扇の御使用をお勧めいたします。

日立製作所

日立 HU-9 型電子顕微鏡

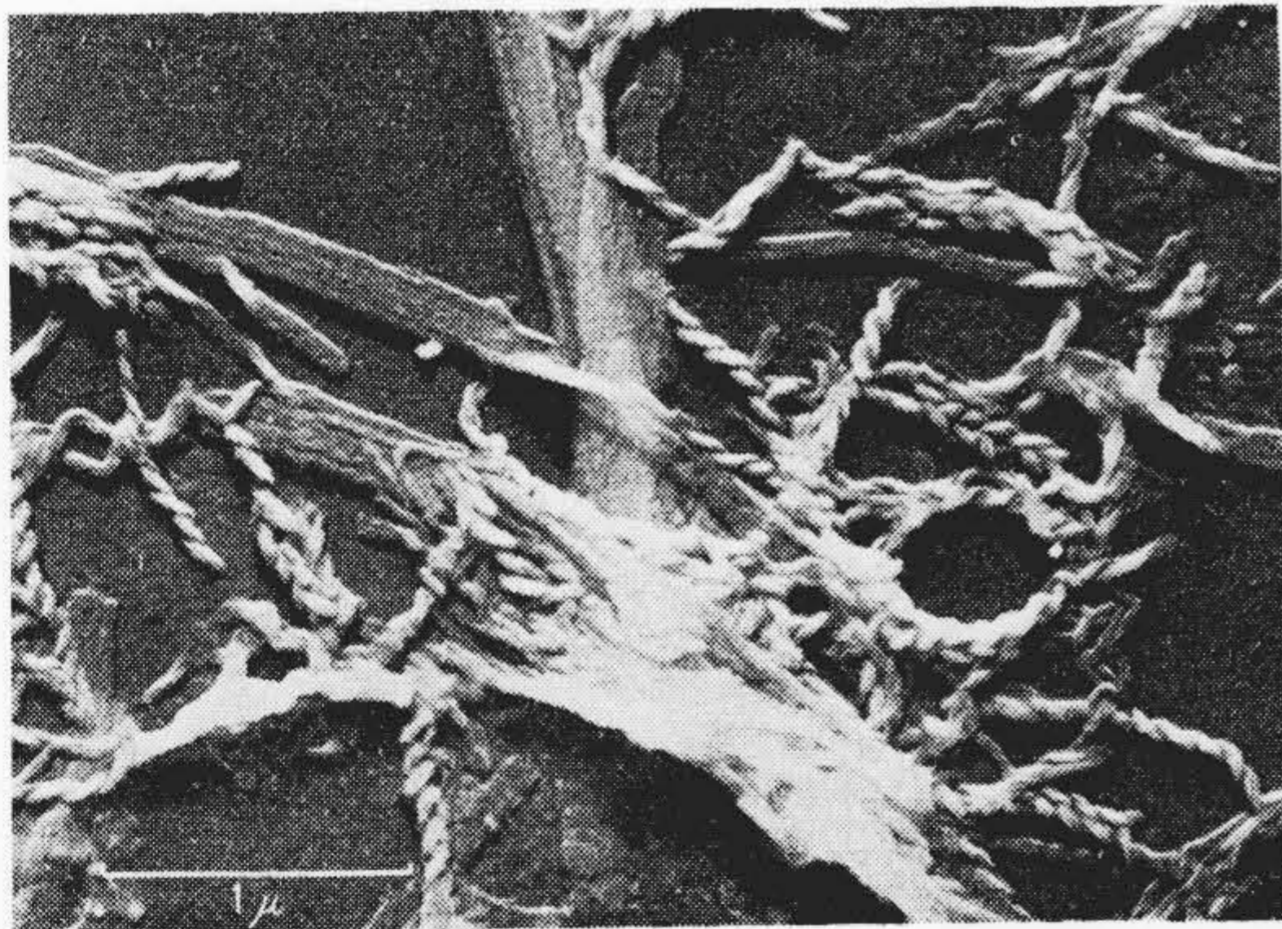
Type HU-9 Hitachi Electron Microscope

日立 HU-9 型は全く欧米の模倣を脱して日立独自の多くの研究、実験成果を取り入れて製品化した高性能電子顕微鏡で、すでに 10 台近くを世に送り、漸くその真価が認められ、また近く米国にも送られることになっている。従来の製品に比べ種々の特長を有しているがそのおもなものはつぎの通りである (第 1 図)。

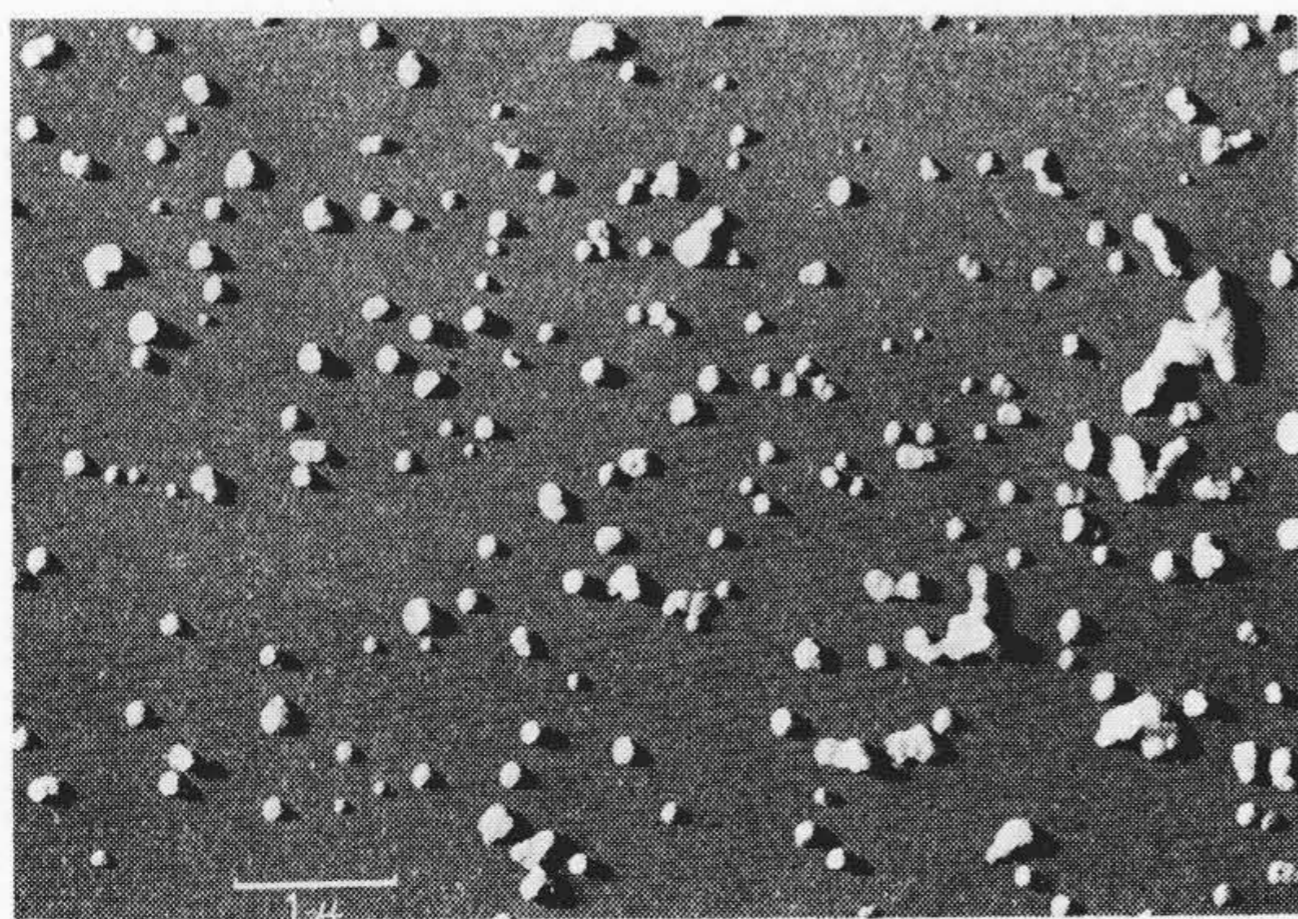
(1) 日立独自の研究成果たる色収差補償を取り入れることにより、従来高性能電子顕微鏡に要求されていた高度の電圧安定度への負担を軽くし、従来より厚い試料の内部構造の観察に便利で明視野、暗視野、2 段レンズ、3 段レンズの像が容易にえられる。

(2) 3 段レンズ系として電子顕微鏡像に対応した最少 1μ 視野の電子廻折像による結晶構造が見られる。

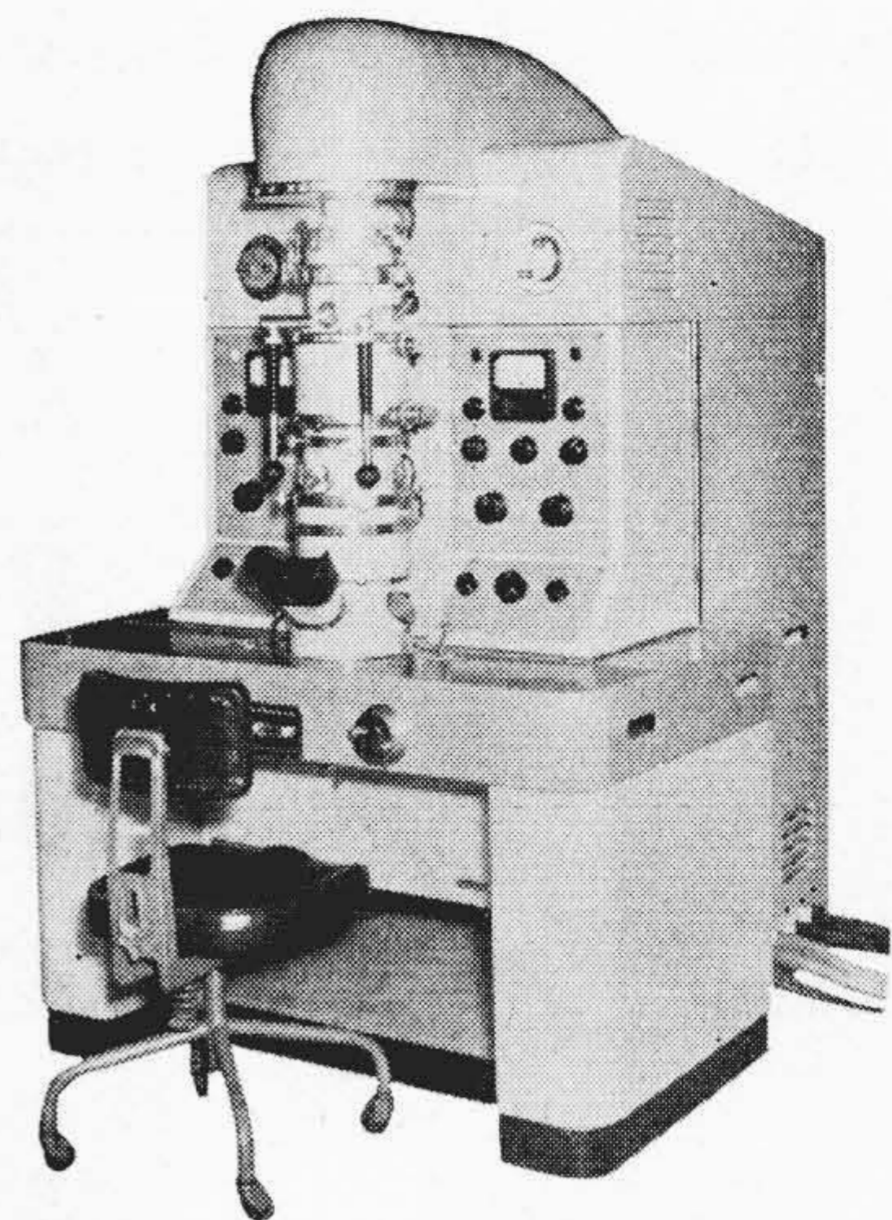
(3) 投射レンズにレボルバー方式を用いたので広範



第 2 図 グリース
Fig. 2. Grease



第 3 図 ラテックス (ゴムの原料)
Fig. 3. Latex

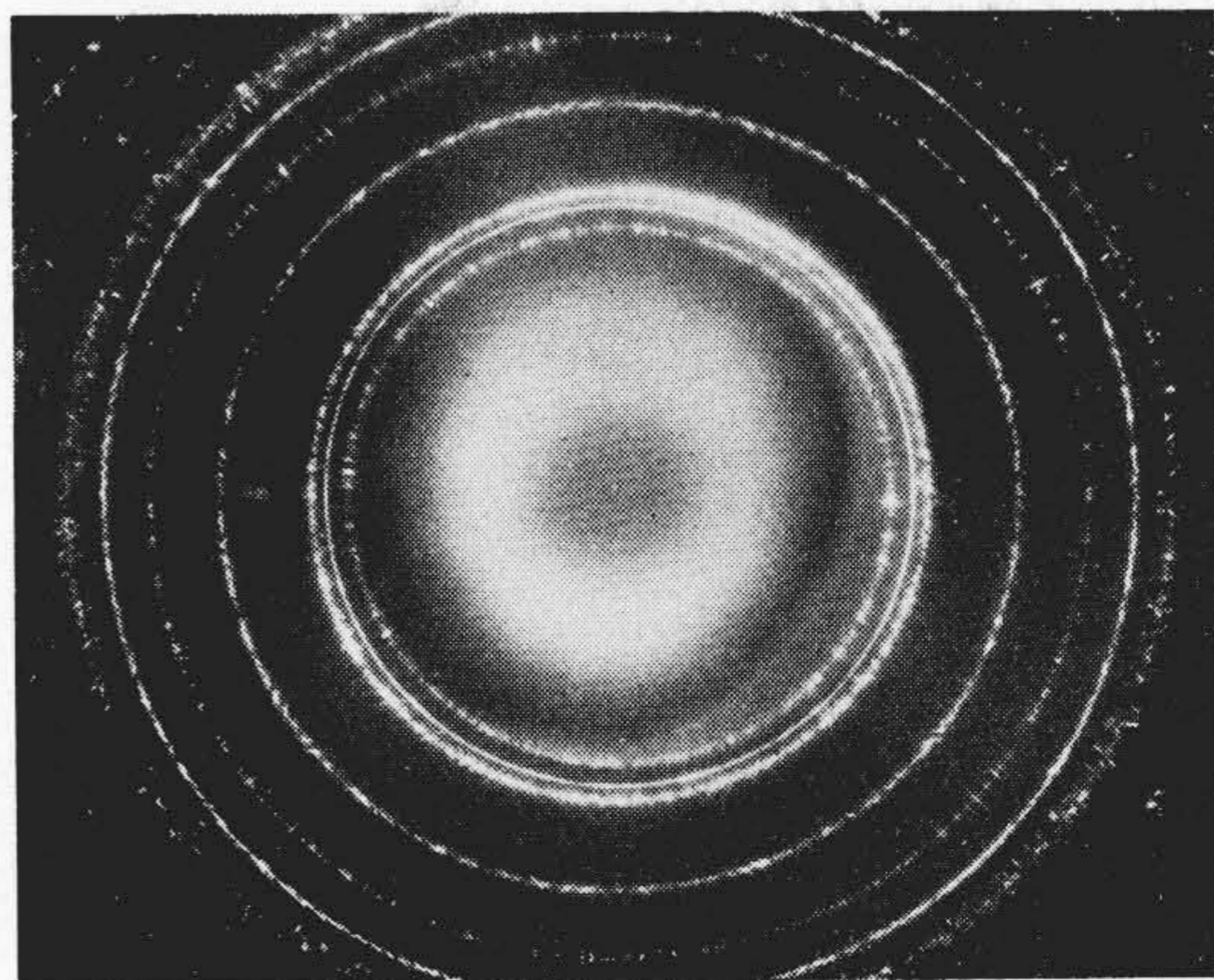


第 1 図 HU-9 型電子顕微鏡
Fig. 1. General View of the Type HU-9 Hitachi Electron Microscope

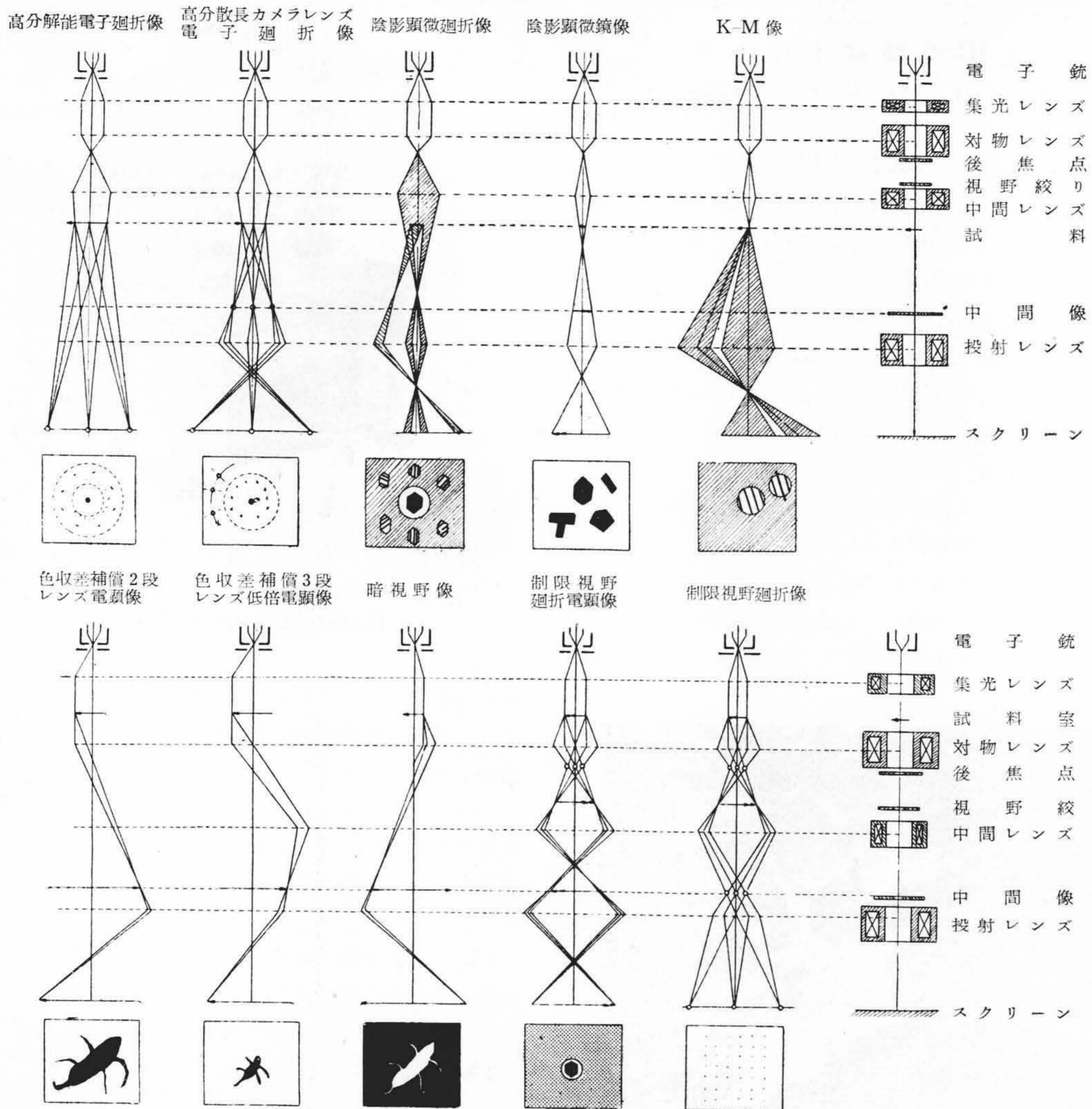
圍の連続変倍ができる。また高性能分散可変電子廻折装置として高分解能廻折、陰影顕微廻折、陰影顕微鏡、収斂電子線廻折ができる。

(4) カメラ室、レンズ系、耐振構造、高圧電源、軸調整などに関して多くの新工夫を取り入れてその確実性を保ち、また外観などに対しても深い注意が払われている。

(5) 高性能電子顕微鏡および電子廻折装置として 10 種類の多能的な電子光学系を持つ電子顕微鏡として将来その研究用途がさらに拡大開発されるものと期待できる (第 5 図参照)。



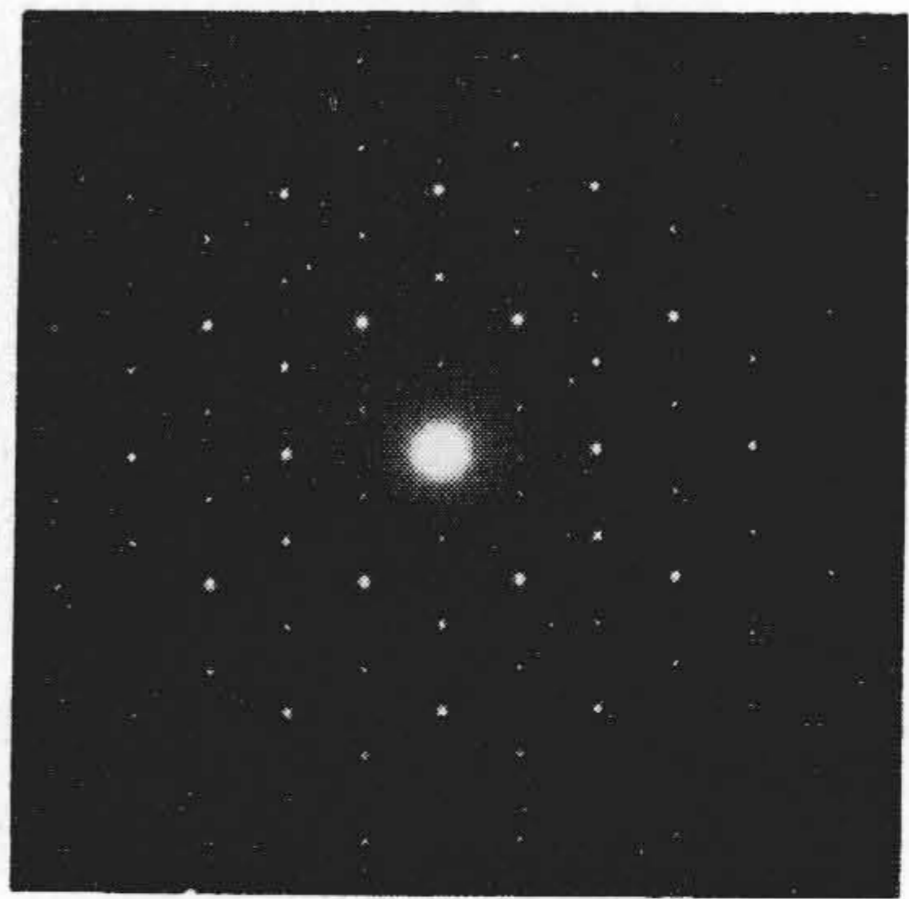
第 4 図 高分解能電子廻折像 (酸化亜鉛)
Fig. 4. High Resolving Diffraction Camera Image of ZnO



第5図 電子光学系
Fig. 5. Representation of Electron Path in the HU-9 Electron Microscope

おもなる仕様

- (1) 加速電圧..... 50 kV
- (2) 分解能..... 20Å
- (3) 分解能指数..... 1×10^{-5}
- (4) 最少廻折視野..... 1μ
- (5) 倍率.... 直接 $\times 400 \sim \times 30,000$
引伸 $\times 300,000$
- (6) カメラ室.... 36 視野または 72 視野連続撮影可能
- (7) 周波数補償電源装置および各種安全装置付き



第6図 マイカの電子廻折像
Fig. 6. Diffraction Pattern of Mica