

HS-2 型日立電子顕微鏡について

大 沼 嘉 郎*

Type HS-2 Hitachi Electron Microscope

By Yoshirō Ōnuma

Taga Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The electron microscope has made a rapid progress in recent years, and today no specific knowledge or skill is needed to operate the newest types.

Hitachi's Type HS-2 electron microscope is a product that has been improved to make a proud example to add to them, and, being developed with a primary purpose of simplification of operating with no sacrifice of its high efficiency, has been finding a wider frontier of applications in metallurgy, chemistry, medical field, etc.

In this paper, the writer describes the construction of this Type HS-2 microscope, giving at the same time some electron micrographs obtained by it.

〔I〕 緒 言

電子顕微鏡は未だ 30 年に満たない歴史の浅いものであるがその間の研究進歩は実に目覚ましく、欧米は勿論日本に於ても日進月歩その止る所を知らない状況にある。然しその主眼とする所は性能の向上にむけられ、従来未知の顕微の世界の開拓に主力が注がれて現在に至っている。

然るに最近に至りその応用方面が急速に拡大され、金属、医学、化学等に実用化されんとするに至り、大多数の研究者は電子顕微鏡を研究の手軽な一道具と考えるようになった。その結果電子顕微鏡自体に関する専門的知識や熟練無しに、又据付場所等に拘束されない電子顕微鏡の必要が生じて来た。

茲に於て日立製作所は従来の高性能型の HU-7 型、HU-8 型と併せて上記要望に応えるため普及を目的として HS-2 型日立電子顕微鏡を製作した。この計画に当つては性能と取扱いの簡易化との相反する条件を如何に調和するか苦心し、結局次の如き仕様に基いて製作し成果を収めている。

仕 様

分解能.....	100Å
電子光学的倍率.....	4,000×, 2,000×, 800×
最高引伸倍率.....	50,000×
電子加速電圧.....	50 kV
乾板.....	50 mm 角 3 枚撮り
電子廻折.....	透過、反射撮影可能
電 源.....	A.C. 100V で総ての操作可能
	各種安全装置附属

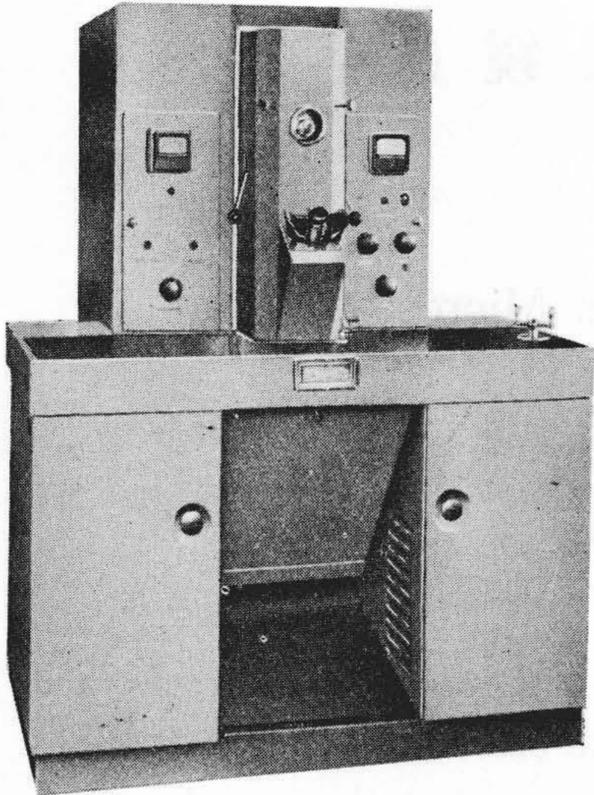
本稿に於てはその構造の大要と実験資料の一部を述べる。

〔II〕 構 造

全体の装置を写真第 1 図より第 3 図に示す。第 4 図に各部の名称、第 5 図に本体の断面図を示す。本装置は次の四つの主なる部分より出来ている。

- (1) 本 体 電子銃部、試料室部、電子レンズ系、カメラボックス
- (2) 真空排気装置
- (3) 電子加速用高圧電源
- (4) 電子レンズ励磁用直流電源
- (5) 安全装置

* 日立製作所多賀工場

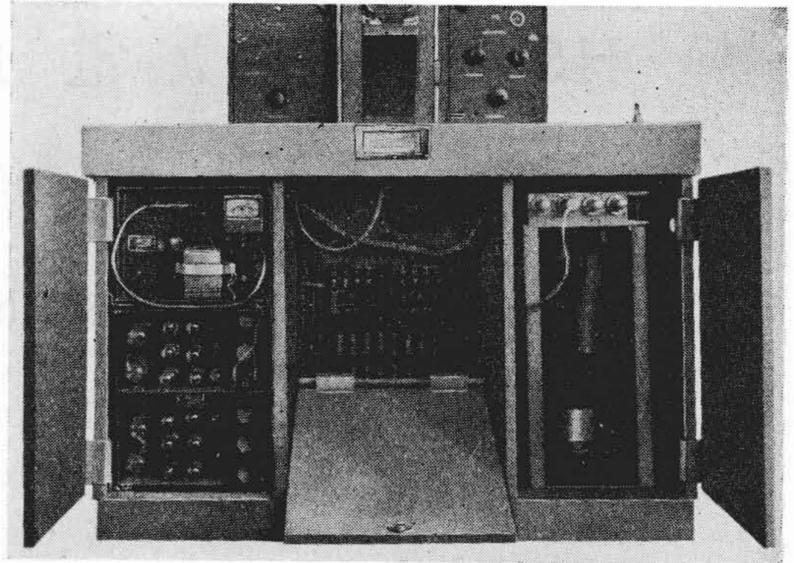


第1図 HS-2型日立電子顕微鏡外観
Fig. 1. General View of Hitachi Electron Microscope HS-2

油廻転ポンプ以外は全部が1箇のキャビネット内に納められ坐つたまゝの姿勢で少しの危険や面倒なしに総ての操作が出来る。

(1) 本体

従来の調整式を止めて総ての部分を精密工作に切換えてゴムパッキング類は単なる真空保持に用い、各部を完

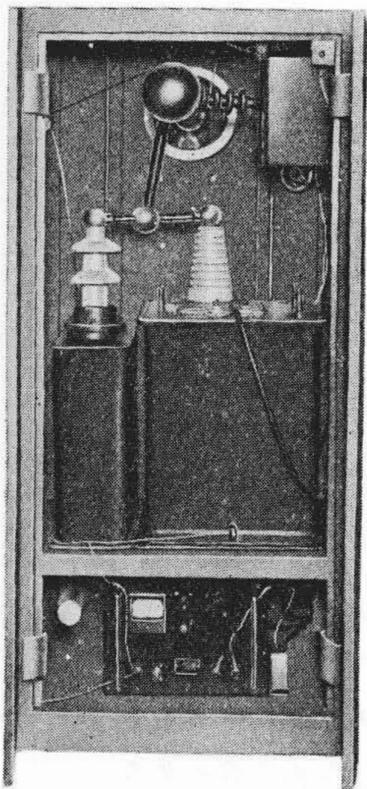


第2図 配電盤その他
Fig. 2. Panel and Others

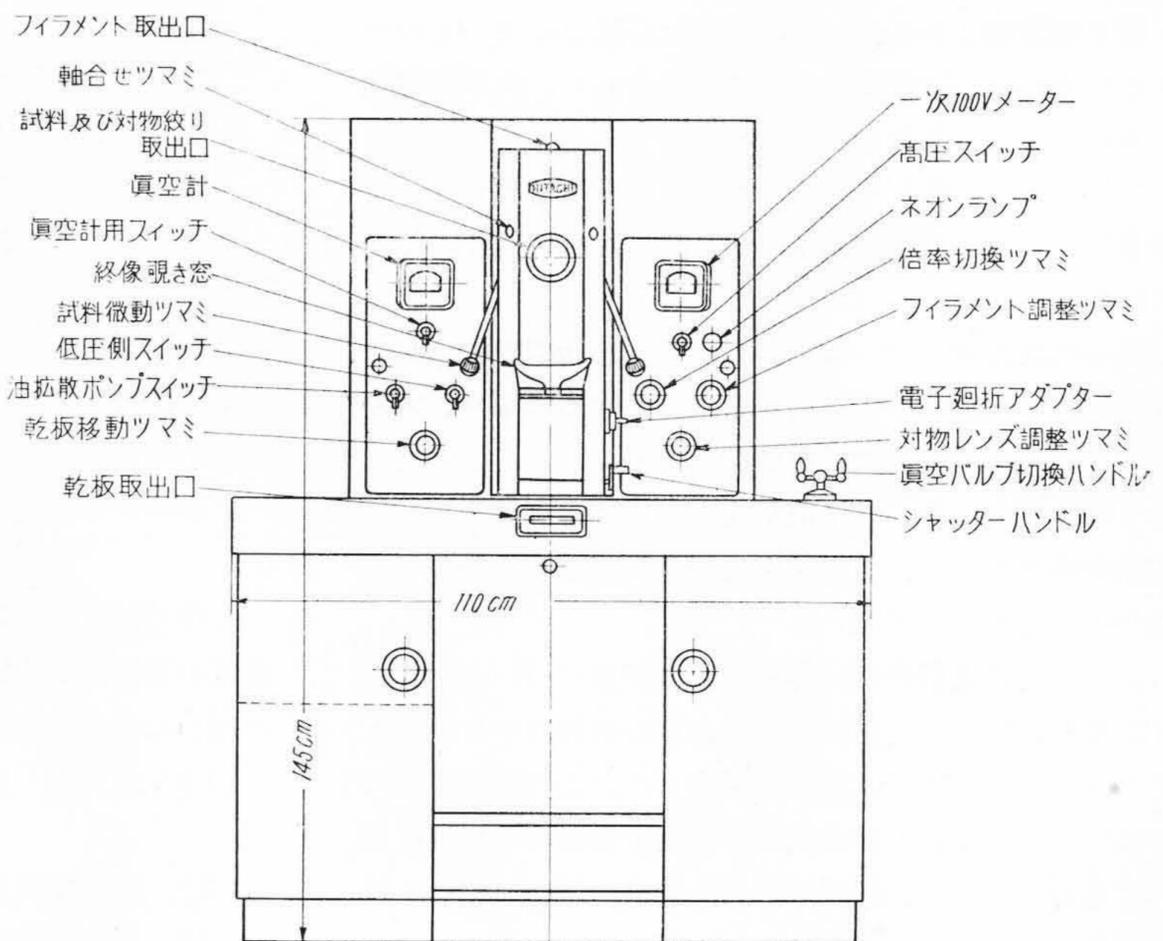
全な金属結合による締付けにしたことにより本体が1箇の剛体と看做し得られ耐振性を強めている。今肉眼の分解能を0.2mm, 終像の倍率を4,000×とし拡大鏡を通して覗いて眼に感ずる試料の振動による動きの量を*l*とすると

$$l = 0.2 \times \frac{1}{4,000} \times \frac{1}{2.5} \times 1,000 = \frac{1}{50} \mu$$

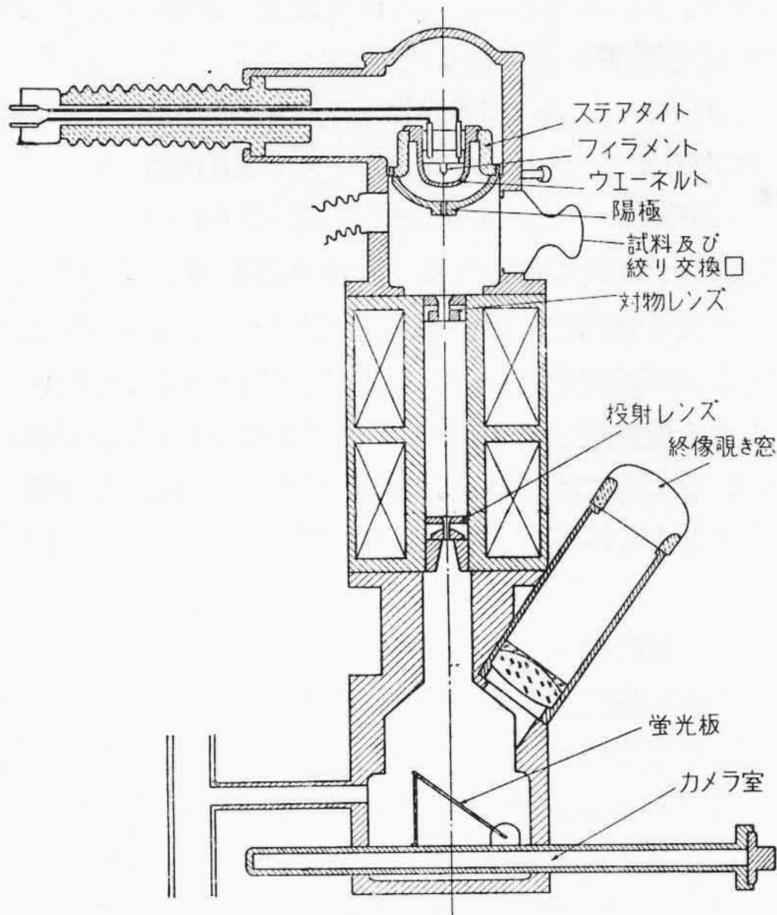
即ち試料は電子レンズに対して $\frac{1}{50} \mu$ 以内に動きを止めなくてはならない。HS-2型はこの限界内に納めるように出来ている。若し振動があると像に方向性を持つようになる。



第3図 高圧発生装置
Fig. 3. Transformer for High Voltage Supply



第4図 正面図
Fig. 4. Front View of HS-2

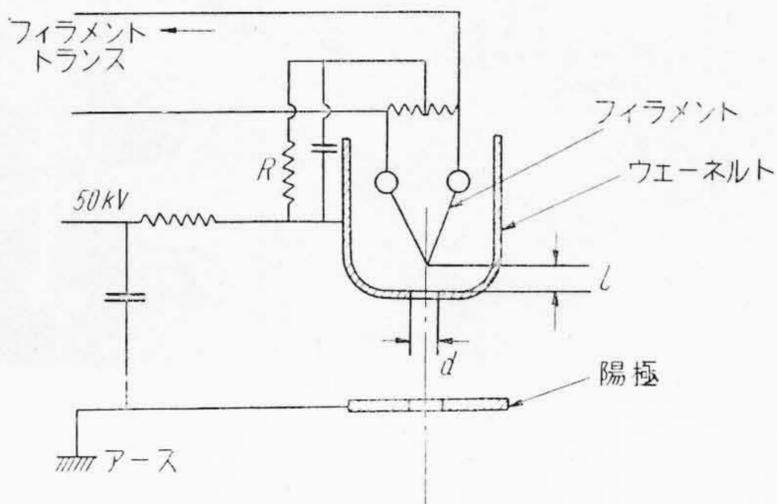


第5図 本体断面図
Fig. 5. Section of Principal Part of Microscope

(A) 電子銃部

フィラメントウェーネルト円筒はステアタイト絶縁物を介して陽極と一体になっている。このように三者同時に対物レンズに対して軸調整が出来るのは本装置の新規軸で、又唯一箇所調節箇所である。高圧及びフィラメントリード線は横ブッシング方式を採用することにより全体の高さを低くし、又フィラメントは従来のタンガステン線を曲げて取付けるのを止め、予め精密工作したヘヤーピン型のものをフィラメントの足に取付ければ芯が出るようになってくる。

フィラメントは第6図の如く組立てられセルフバイアス方式を用いてある。終像の明るさ即ちエミッション電



第6図 電子銃
Fig. 6. Electron Gun

流はウェーネルト円筒孔径 d , 間隔 l , 抵坑 R によつて支配され最も良い条件を選ばなくてはならない。本装置に於てはこれらの最適条件のものを撰定しエミッション $100\mu A$ を得て使用している。

(B) 電子レンズ系

対物レンズ、投射レンズ系はそれぞれ別箇に製作し電子光学的に軸合わせを行つた従来の方式を止め、1箇の磁路の中に両レンズを挿入して軸の合うよう徹底的な精密工作を行い無調整とした。対物レンズは磁氣的に廻転対称でないといふ非点に類する収差が甚しく、一点より出た電子線は一点に結ばず直角方向で異なる距離に焦線を作ることになる。故にこのようなレンズで像を結ぶと或るレンズの強さの位置では一方向に鮮明でそれと直角方向ではぼける。これは投射レンズで更に拡大されるので顕著に現われて来る。対物レンズの製作には特に注意を要する。対物レンズによりこのような現象の現われる原因として実験的に下記の点が考えられる。

- (a) 対物レンズの工作不良又は材質的に方向性を有する場合
- (b) 対物レンズと磁路の接触不完全な場合
- (c) レンズの端面接触不完全のため対物レンズより出た電子線が曲げられて投射レンズに入る場合
- (d) 対物レンズ絞りの汚れ、偏心があり、又真円でない場合

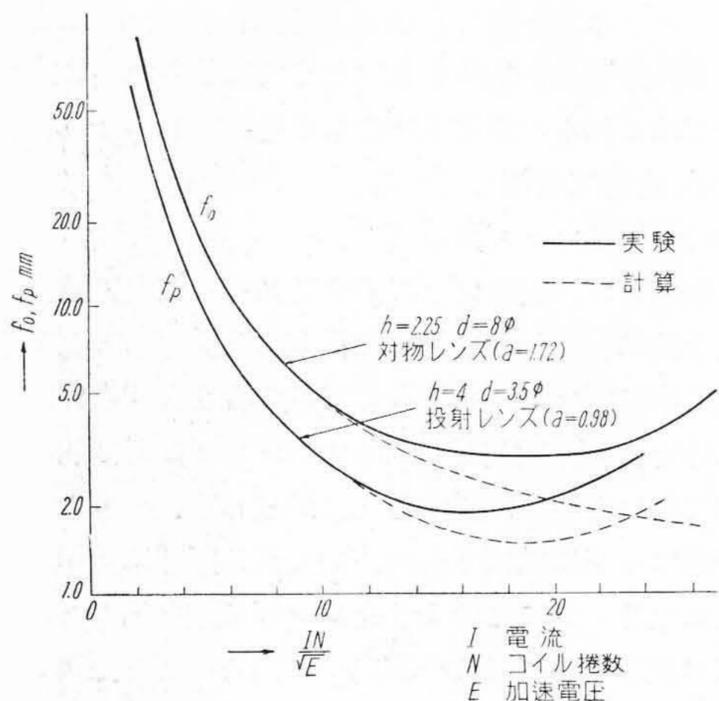
以上の諸条件を満足させるためには下記のような点に特に注意を要する。

- (a) 対物レンズの孔の真円度
- (b) 磁路、継鉄、電子レンズ間の接触方法
- (c) 嵌合程度と工作、材質の選定
- (d) 電子レンズの上下ポールピースの平行度及び孔のズレ

これ等は一樣に重視される可きではなく、実験結果よりそれぞれの製作誤差とレンズの収差との間には或る関連性があることが確められており、それ従つて対物レンズ製作規格を決めている。又若し漏洩磁束が対物、磁路、投射レンズ系にあると、その部分で磁束が浪費されて電子線に悪影響を及ぼすばかりでなく、倍率低下の原因となり、一定のアンペアターンに対して或る一定の接触面積と或る一定の磁路の絶縁した部分の間隔が必要である。各レンズに就いての焦点距離は一般に次式にて示される。

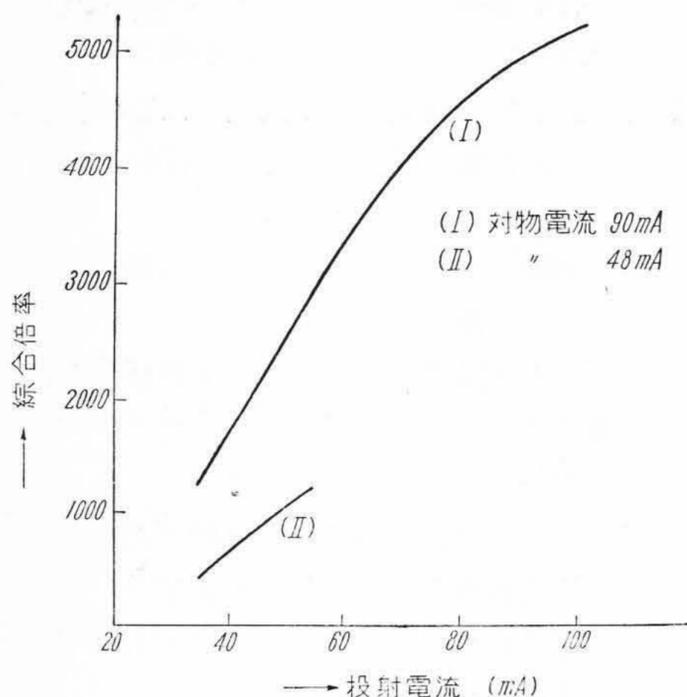
$$f_0 = \frac{a}{\sin \frac{\pi}{\omega}} \frac{IN}{\sqrt{E}} = 16.81 \sqrt{\omega^2 - 1}$$

$$f_p = -\frac{\omega \times a}{\sin \omega \pi}$$



第7図 f_o, f_p と $\frac{IN}{\sqrt{E}}$ の関係

Fig. 7. f_o, f_p $\frac{IN}{\sqrt{E}}$ Curves



第8図 投射電流と倍率の関係
Fig. 8. Characteristic Curves of Projector Lens
(Magnifying Power-Exciting Current)

a は電子レンズの磁場の強さを鐘形と仮定した時最大強さの $\frac{1}{2}$ になるような軸方向の距離で HS-2 型の場合は対物レンズ $a=1.72$ mm, 投射レンズ $a=0.98$ mm である。第7図に各レンズの焦点距離と $\frac{IN}{\sqrt{E}}$ の関係を示す。 $\frac{IN}{\sqrt{E}}$ の値が12附近より計算値と実験値に差の出るものは磁気飽和現象によるものと思われるが純鉄材を用いた場合には16,000 Gauss附近にこの現象が現われる。第8図は使用状態に於ける各電流値とその総合倍率の曲線を示すもので連続的に600×より5,500×迄撮影可能である。第7図より対物レンズ焦点距離 $f_{c1} =$

3.8 mm, $f_{o2}=9.0$ mm, 投射レンズは5.0 mmより2.5 mm迄を選び下記の如く決定した。

4,000× $f_{c1}=3.8$ mm $f_p=2.5$ mm

2,000× $f_{c1}=3.8$ mm $f_p=5.0$ mm

800× $f_{o2}=9.0$ mm $f_p=5.0$ mm

投射レンズは歪像収差により中央部と周辺部で倍率が異なり試料の正確な大きさが不明となる。普通の場合は半径方向の歪像収差を3%以下にするためには投射レンズによる最高最低倍率比を4:1以下にせねばならない。HS-2型に於てはこの比を2:1にとつてはいるが、800×に於ても1%以下で、若し3%迄許せば600×迄使用出来る。

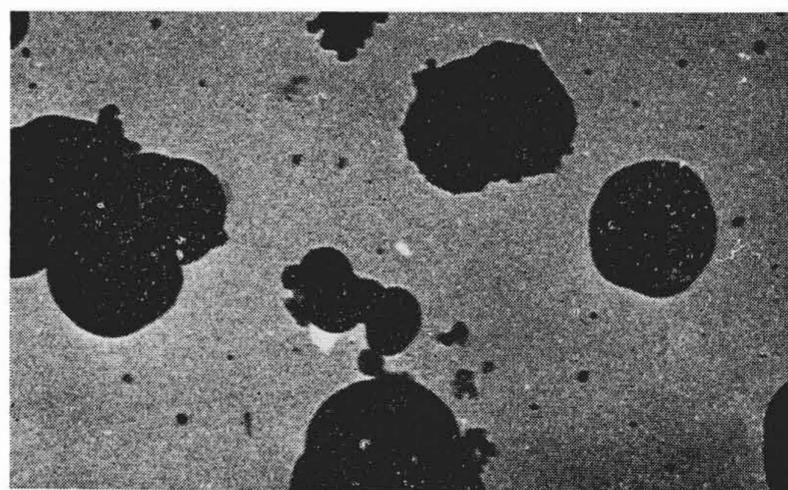
(C) 試料室及びカメラ部

操作の簡易化と故障の絶無を期してエアーロックを無くし、排気容積を極度に小さくして排気時間の短縮を図つた。試料を円滑に動かし、しかも撮影中動かずに固定しておくことは仲々困難である。例えば露出を4 secとし、20,000×の写真で眼の分解能を0.2 mmとすると試料の移動は $\frac{0.2}{4 \times 20,000}$ mm/sec = $\frac{1}{400}$ μ/sec 以内の流れに止めなくてはならない。そのため1 min間隔の2重露出撮影を行い、その時の像の移動距離と倍率とから判断している。又4,000×で撮影し、それを第11図の如く3.6倍に引伸すためには $\frac{1}{400}$ μ/sec × 60 × 4,000 × 3.6 = 2.1 mm/min 以内に止めなくてはならない。

試料支持台は従来銅板に設けた0.1φ程度の単孔のものを用いていたがHS-2型にあつては銅製のシートメッシュを製作することに成功したので試料製作が非常に容易にできるようになつた。

(D) 真空排気装置

電子顕微鏡に於ける真空はその生命といえるものである。電子銃部は三極真空管と同様の働きをするので 10^{-4}



動きの方向
カーボンブラック 40,000 X

第9図 流れによる写真
Fig. 9. Micrograph on Image Drift



カーボンブラック 40,000×

第10図 流れのない写真
Fig. 10. Micrograph of Normal Image

mmHg の真空度が常に必要である。真空が不完全の時は高圧による内部放電を起し高圧トランスを破壊し、又電子線が残留空気分子に衝突散乱して像が不鮮明となる。実験的に低真空の場合のパイプの真空排気抵抗を W とすると次の関係が成立する。

$$\frac{1}{W} = G = 2,180 \frac{a^4 p}{l} + 96,300 \frac{a^3}{l} \cdot \frac{1 + 0.382 p a}{1 + 0.472 p a} \text{ cc/sec}$$

p : 圧力 dyne/cm²

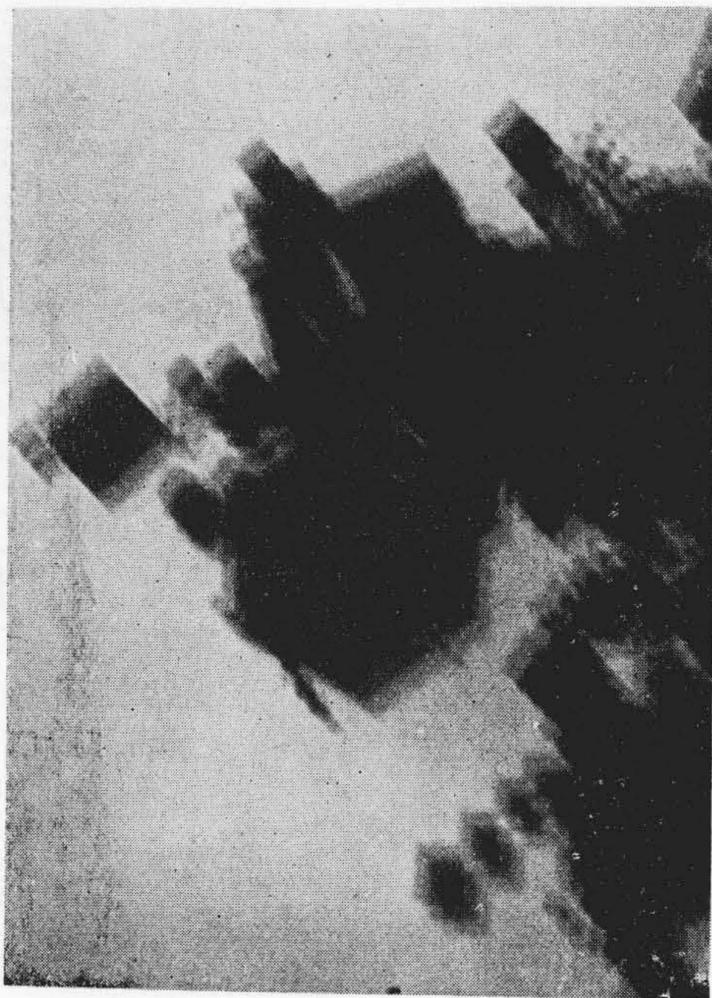
l : 長さ cm

a : 太さ cm

G : コンダクタンス

上式より明らかな如くコンダクタンス G を大きくするためには l を短くすることが必要であるが、又一方パイプの太さ a を大きくすることが最も重要である。HS-2 型に於てはこれ等の点を考慮して次のような対策を施して予期の成果を収め得た。

- (a) 太い排管により放射管部より直接排気している。



倍率 4,000×3.6 (14,400 倍)

第11図 30 sec 間隔 3 重露出写真
Fig. 11. Triply Exposed Micrograph
(30 Seconds Interval)

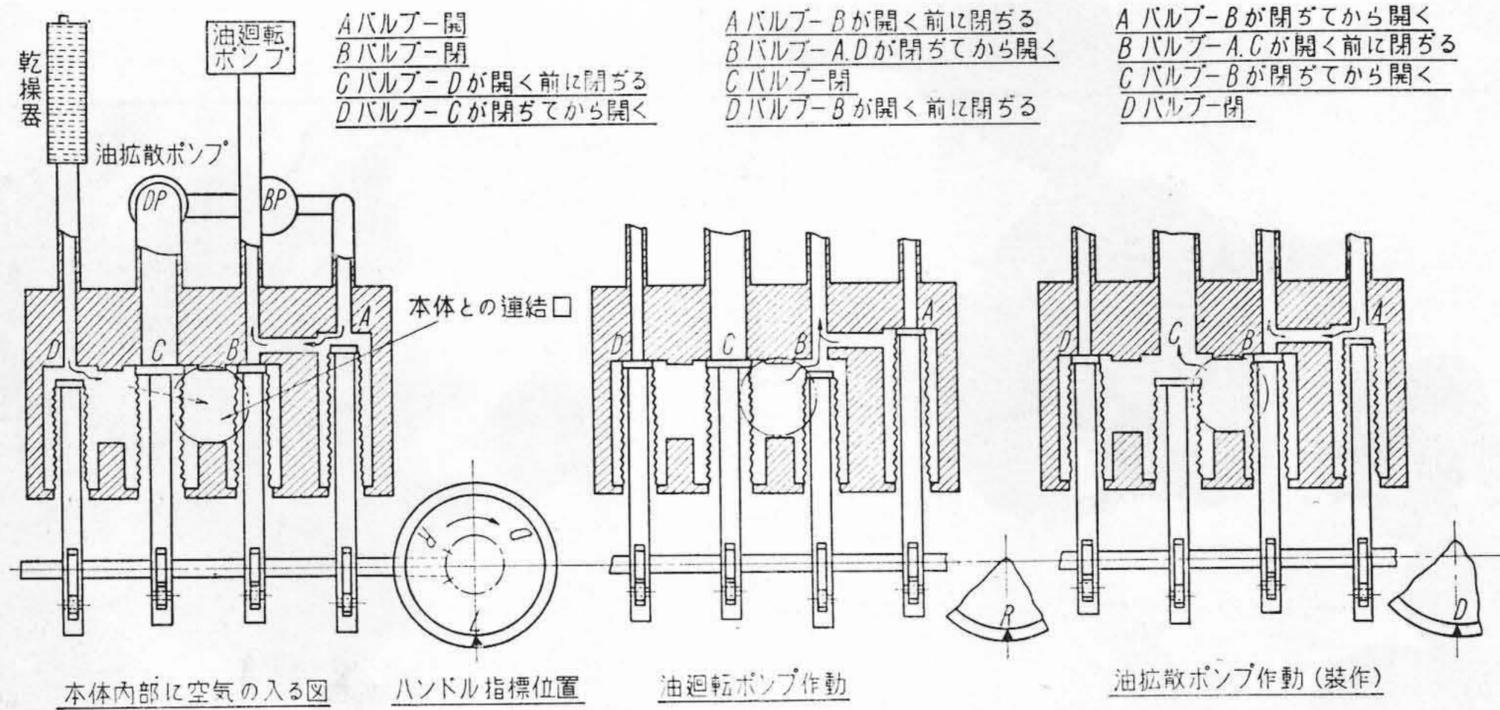
- (b) 真空度 10^{-4} mmHg で 50 kV の高圧に対しては一定以上の間隔と、各部は或る曲率を持たせるようにした。
- (c) 高圧に曝されるステアタイトや真空ゴムパッキン類の組立て取扱いには殊に注意を払った。
- (d) 対物レンズと投射レンズの間は排気し難い所であるが特に真空排気に留意した。

スリ合せコックを全廃し総てWilsonシール方式を用いたので保守上も容易となつた。又真空操作は総て1箇のハンドルを廻すだけで良く、同時に高圧の放電も連動で作動するようになっている。

真空測定装置としては従来のガイスラー管を止めて熱電対真空計による直読式を用いた。これは真空度により熱電対の冷却効果が異なるので、それによつて生ずる熱起電力も異なり、直流電流計の針の振れにより逆にその時の真空度を直読出来るようにしたものである。真空排気速度の一例を第14図に示した。

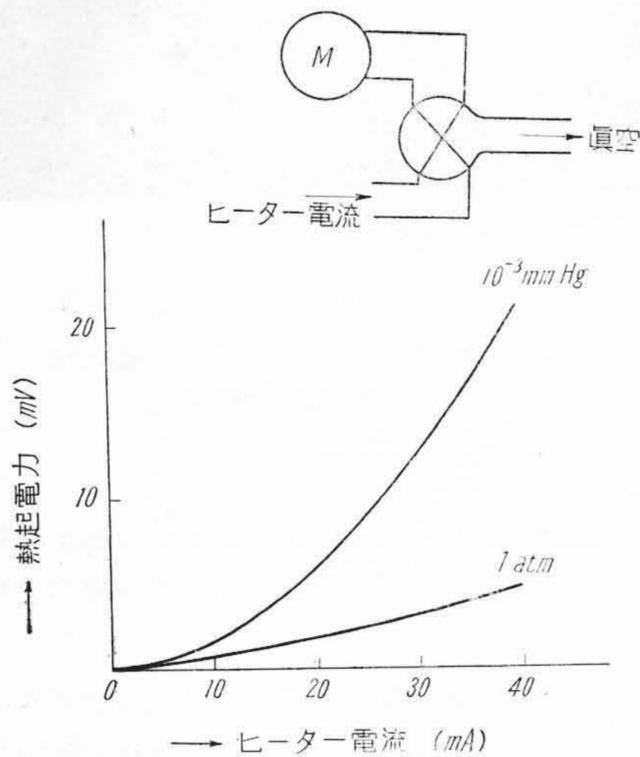
(3) 電子加速用高圧電源

電子顕微鏡の高圧安定度は写真引伸倍率 50,000× が満足されるように設計され、トランスダクター型電圧安定装置を使用している。その性能と特長を述べると次の通りである。

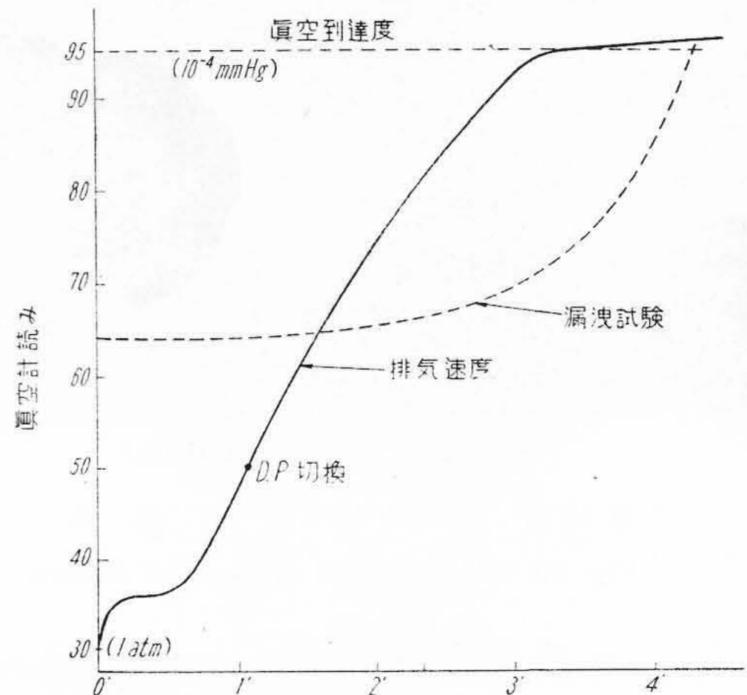


第12図 バルブ作動図

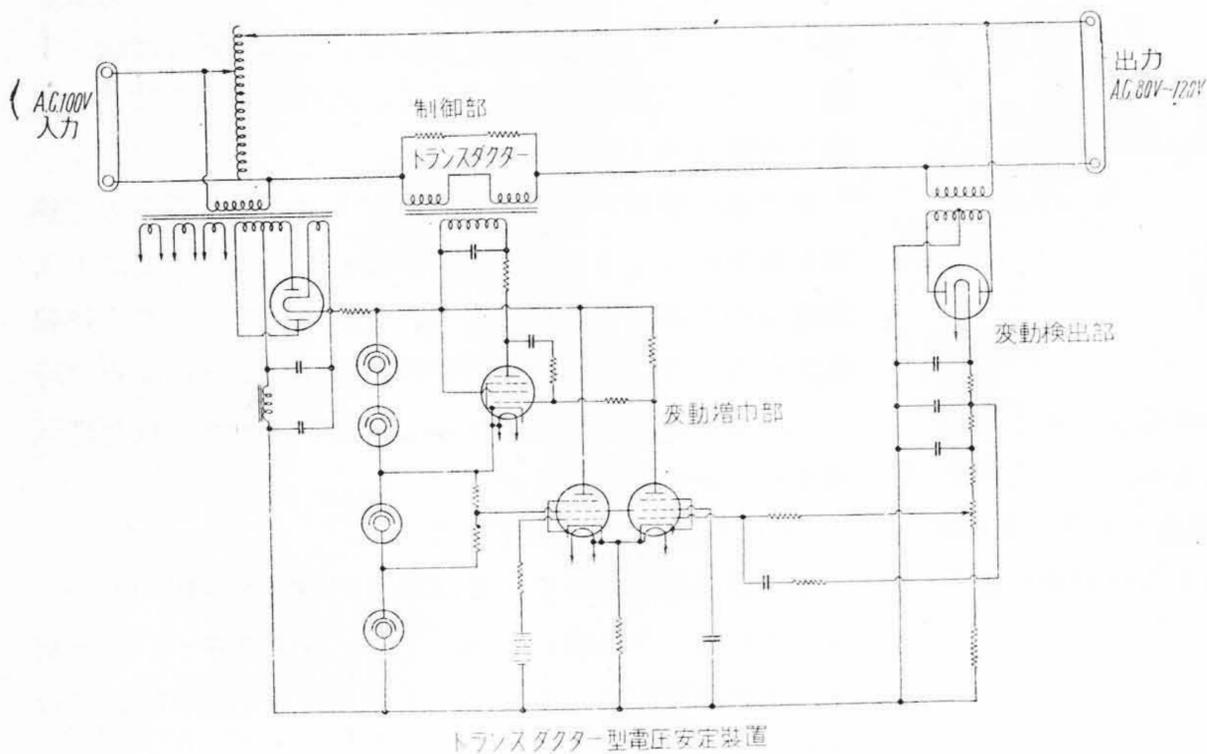
Fig. 12. Valve Operating Mechanism



第13図 ヒーター電流と起電力
Fig. 13. Characteristic Curves of Thermocouple



第14図 真空排気速度曲線
Fig. 14. Pumping Curves



第15図 電圧安定回路
Fig. 15. Circuit Diagram for Voltage Stabilizer

第 1 表 ケノトロンの比較
Table 1. Contrasting Table of Kenotrons

型 式	外形寸法		冷却法 (kV)	最大尖頭 逆耐電圧 (kV)	許容最大尖頭電流		フィラメント 電圧 (V)	フィラメント 電流 (A)
	全長 (cm)	外径 (cm)			連続値 (mA)	30 秒間 (mA)		
KO-60	14	4.1	油 浸	60	4	30	1.4~2.5	3.5~4.5
KOM-60	18.5	4.1	油 浸	75	10	30以下	3.8	3.75±0.25

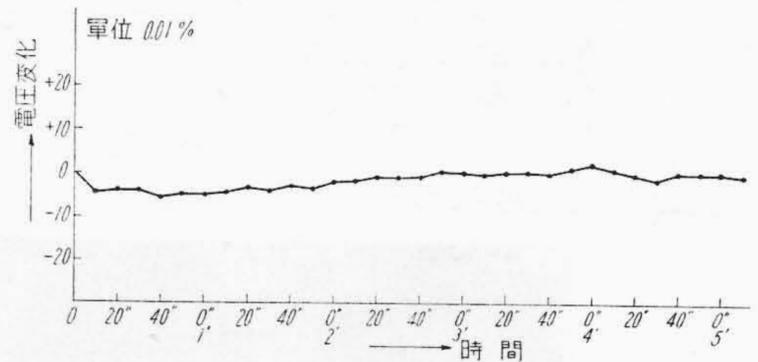
KO-60 は電流基準 KOM-60 は電圧基準

- (a) 電圧制御範囲として 95V~105V の出力波高電圧の変動は極めて小さい。
- (b) 周波数の変化 47~61 \rightarrow に対して出力波高電圧の変化 0.1% 以下である。
- (c) 入力電圧の急激な変化に対する速応性は 0.1sec 以下である。

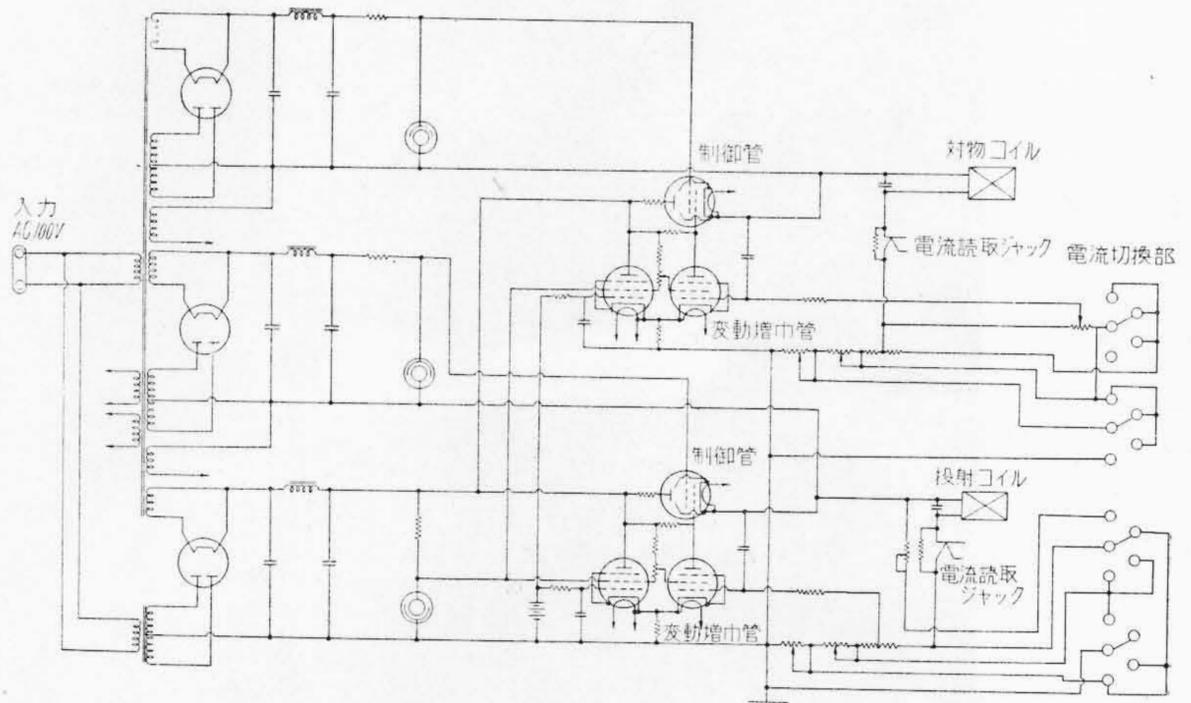
第 15 図にその配線図を示した。上記方式により 50kV 油浸倍電圧方式トランスの入力電圧を安定にし 50kV を発生させる。試作当初の油浸トランスの整流管には KO-60 ケノトロンを使用した。KO-60 はニッケルプレート

のものであつてプレートが赤熱溶解することが屢々起つた。その原因は過渡現象時に生ずる陽極損にプレートが耐え得ないためであつた。その防止対策として高圧発生中に於ける過渡現象の時間を少なくするか陽極損を小さくするようにケノトン保護抵抗を入れるか、又はケノトロンを陽極損に耐え得るように改めるかである。この内前の 2 件は高圧発生回路を複雑にするか又電流の二次側より見たインピーダンスを非常に大きくして負荷変動による変動率を悪くし、又リップルの大小にも

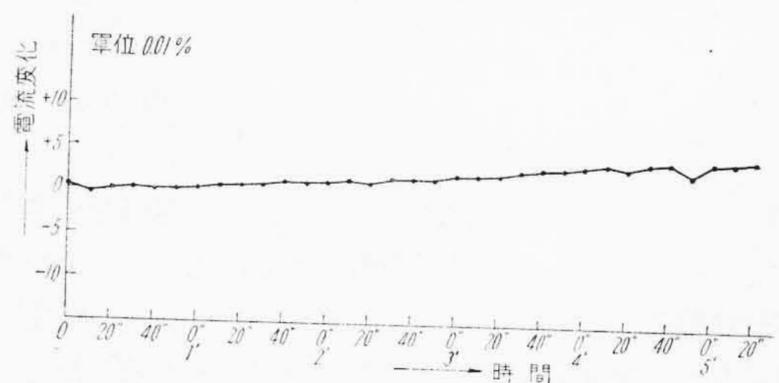
関係するので何れにしても電子顕微鏡の像を悪くする。そのため電子顕微鏡電源用として過渡現象に耐える日立製作所製の KOM-60 を使用することにした。KOM-60 は飽和電流を 30~60 sec 流しても、又鏡体内に於ける連続グロー放電時に発生する異状時にも耐えるような極構造になつている。第 1 表に KO-60 と KOM-60 との比較を示す。全体の容積は従来に比し遙かに小さく 40×39×45cm で高周波発生による同電圧発生装置より尙小さくすることが出来た。又写真にも示すようにゴムケーブル方式の 50kV 常用フィラメントトランスを製作取



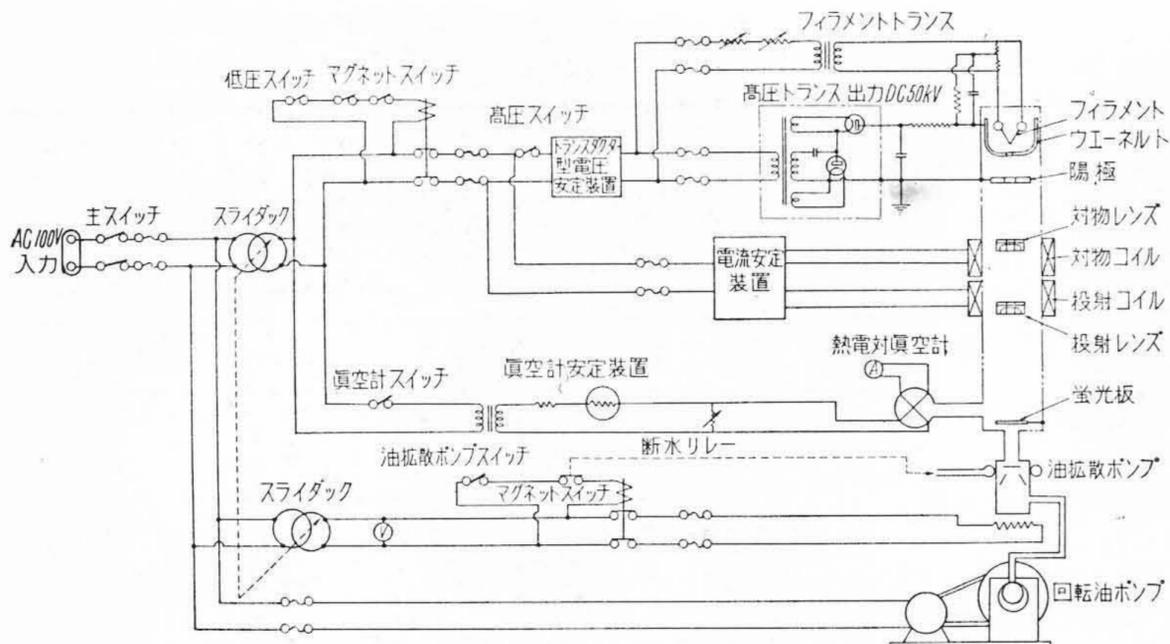
第 16 図 電圧安定度曲線
Fig. 16. Voltage Stabilizing Curve



第 17 図 電流安定回路
Fig. 17. Circuit Diagram for Current Stabilizer

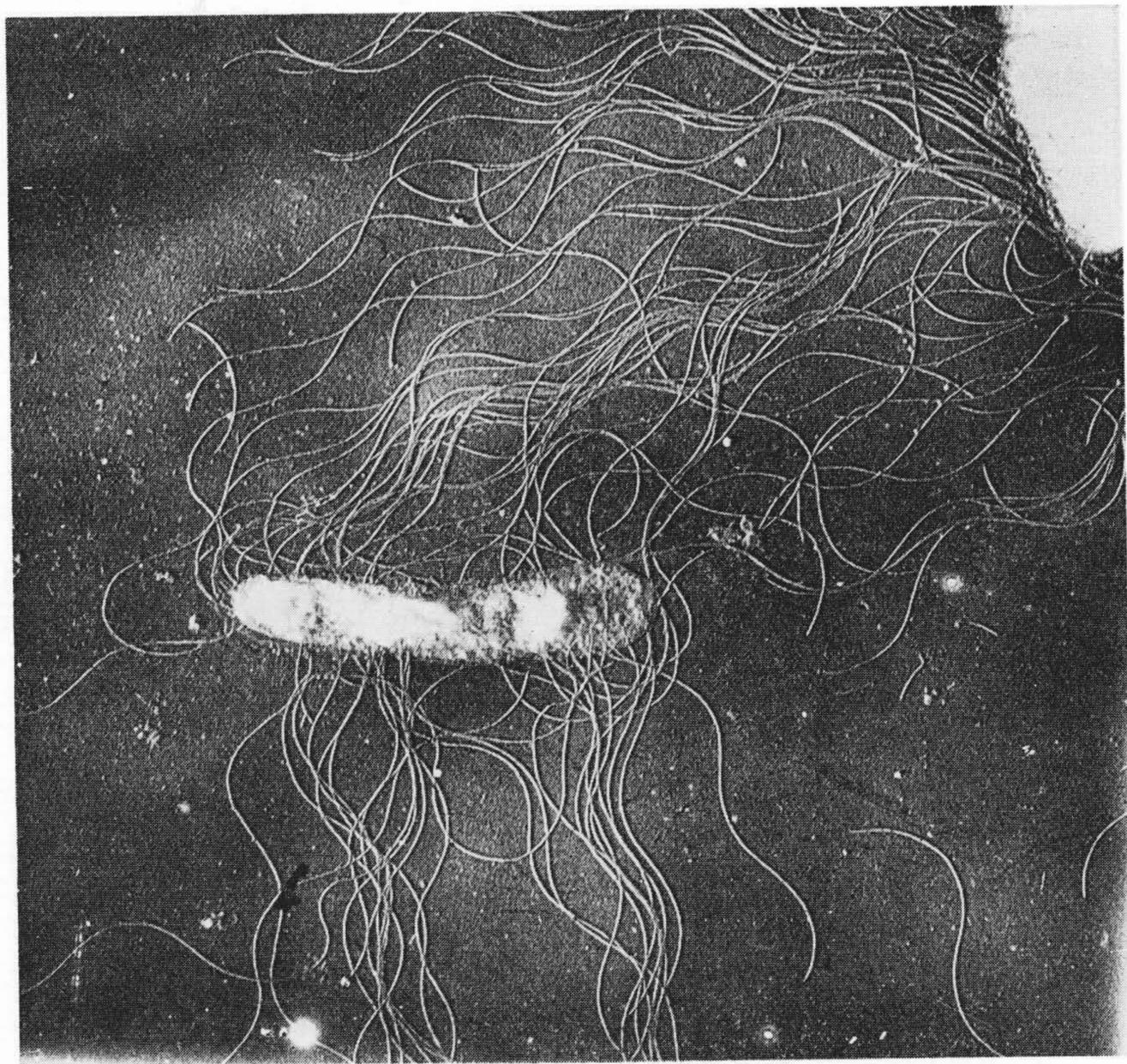


第 18 図 電流安定曲線
Fig. 18. Current Stabilizing Curve



第19図 総合配線図

Fig. 19. Complete Circuit



第20図 プロテウス菌 20,000× (Cr-シャドウ)

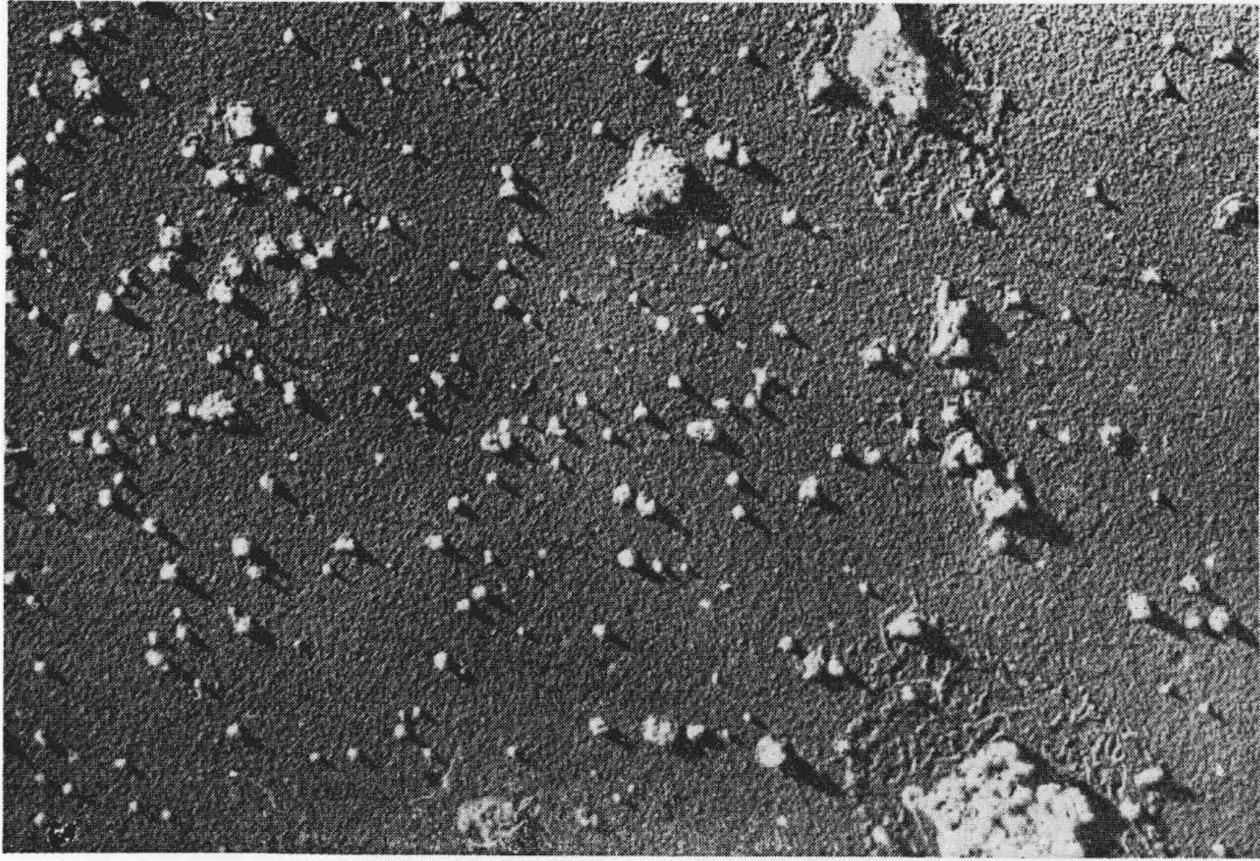
Fig. 20. Proteus ×20,000 (Cr-Shadow)

付けることにより漏洩電流を少くし、且つ容積を小さくすることが出来る。猶電圧分布を考え球状ターミナル及び球状整電箱に設計することによりコロナ放電の発生を無くした。第16図に電子加速電圧の安定度を示した。

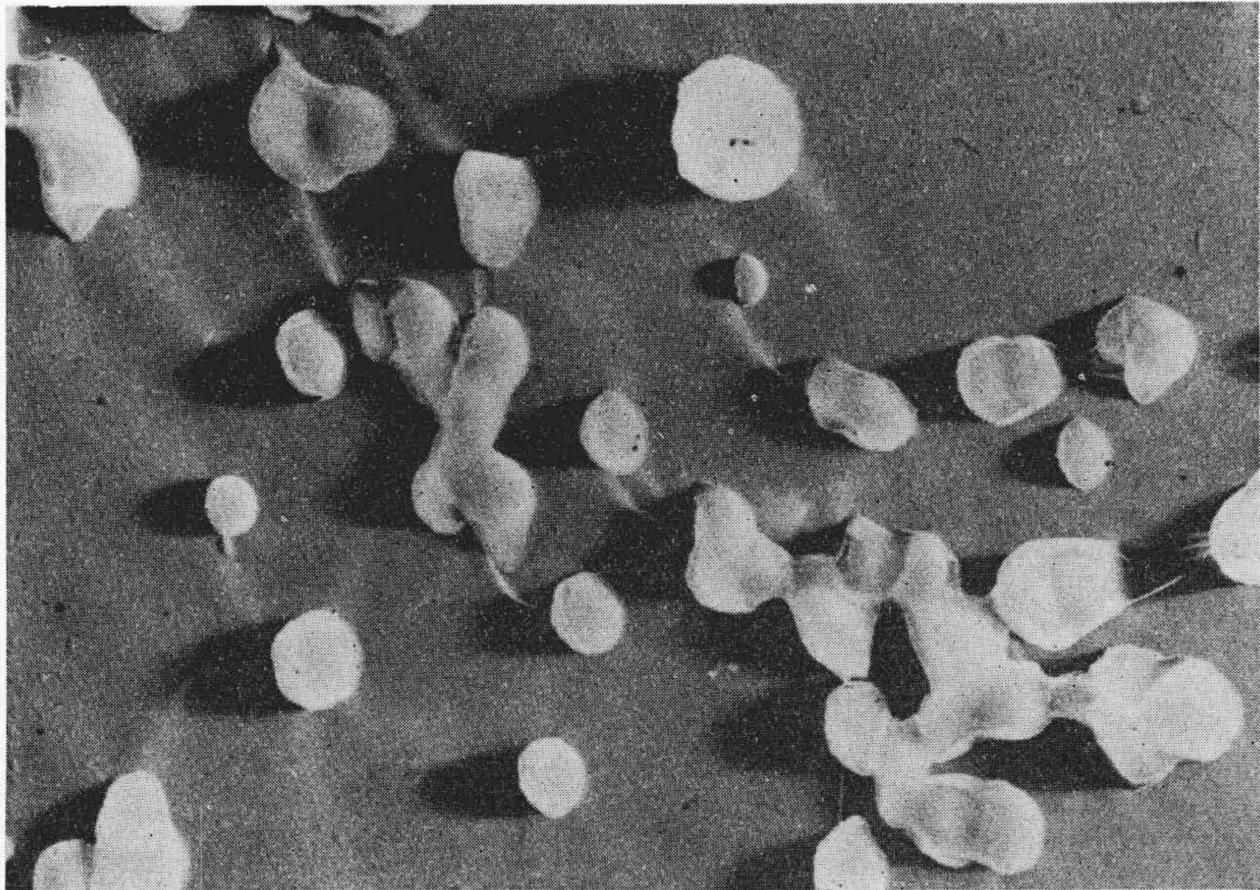
(4) 電子レンズ励磁用直流電源

レンズ励磁用電源としては極めて変動の少ない直流が

必要である。幾段にも入力電圧を安定にして求めているのが普通であるが本装置に於ては単純逆再生回路と差動増幅回路とを使用して一般の配電線により直接A.C. 100Vを取り、十分所定の安定度を得ている。第17図にその配線図を示す。基準電圧には市販のBL-145の積層乾電池を用いて増幅制御管に5極管を使用し、安定度を極め



第21図 シリカゾル 20,000× (Cr-シャドウ)
Fig. 21. Silica-sol ×20,000 (Cr-Shadow)



第22図 醋酸ポリヴィニール 20,000× (Cr-シャドウ)
Fig. 22. Polyvinyl Acetate ×20,000 (Cr-Shadow)

て高く保っている。第18図はその安定度の一例である。

このような電圧、電流の安定装置は第19図の配線図より明らかな如く A.C. 100V を使用し、スライダックを通して常に最良の入力電圧に調整することが出来る。即ち電気知識にとぼしい素人でも十分に使用出来る構造になつている。

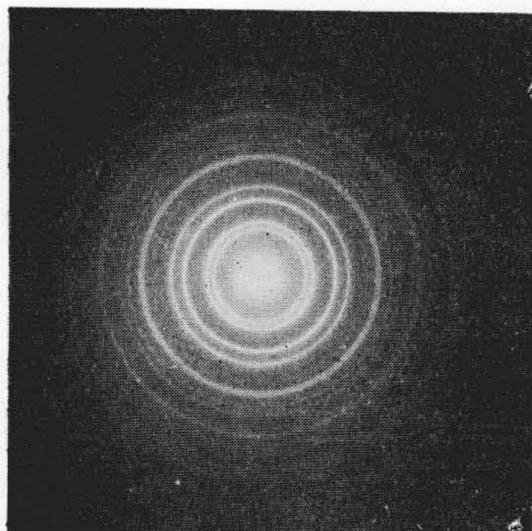
(5) 安全装置

HS-2 型はその計画時の目的から操作者が他に神経を用いずに撮影出来るように次のような安全装置が設けられている。

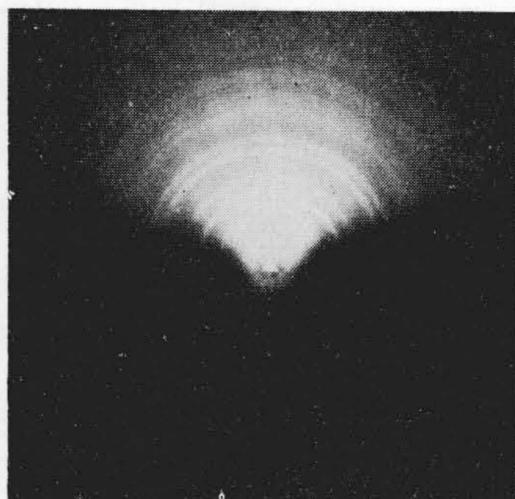
- (a) 高圧部は完全防電撃として横ブッシングを用い、電子銃部は高圧部と共にキャビネット内に入っているため頭や手の触れるようなことが絶対にない。



第23図 耐熱鋼 6,000× (25 Cr)
Fig. 23. Heat Resisting Steel ×6,000 (25 Cr)



透過 (Au)



反射 (MgO)

第24図 電子廻折像
Fig. 24. Diffraction Pattern

- (b) 高圧部等を点検する時キャビネット裏扉を開けた時ドアスイッチが働き高圧が切れ自動的にコンデンサーが放電する。
- (c) 試料交換、乾板交換、フィラメント交換の時には本体にリークさせる直前にバルブハンドルと連動で高圧が切れ、コンデンサーが放電する。
- (d) 油拡散ポンプの冷却水が止つた時には自動的に加熱回路が切れ、又流水すると自動的に通電される。

〔III〕 HS-2 型による撮影例

第20図より第24図迄に HS-2 型電子顕微鏡による撮影例を示す。

〔IV〕 結 言

HS-2 型電子顕微鏡は取扱いに於ける極度の簡易化を主目的として製作したもので従来に比し次のような特長を持っている。

- (a) 本体軸合せの極めて簡単なこと
- (b) フィラメント、試料、対物絞り、陽極絞り、乾板交換等が簡単なこと
- (c) 高圧による危険がなく、各部に安全装置のあること
- (d) 真空排気操作が簡単で排気時間の短いこと
- (e) 振動に強く、外部磁界の影響の少ないこと
- (f) 据付場所の拘束なく、操作に熟練が要らぬこと
- (g) 視野が大きくて見易く、撮影の失敗が少ないこと

以上の特長をもつために専門的知識を持たぬ素人でも操作が楽に出来るので、今や医学、金属、紡績、窯業等凡ゆる方面に於て HS-2 型が利用され、その成果が認められて来た。吾々の当初の計画は時宜を得たものであり予期通りの実績を収め得たものと思う。今後は更に生産工程の中の一測定器に迄進出することを望むものである。又一方性能的にも幾多の改良を加え最近漸く落ち着いた性能を保ち 50Å 程度の撮影は左程困難なしに出来るようになり、各方面に喜ばれているのは幸いとする所で

あると共に今後尙一層の改良に心掛ける積りである。

参 考 文 献

- (1) アルデンネ：超電子顕微鏡
- (2) 中研報告：電子顕微鏡操作法の研究（第6報）
- (3) 中研報告：電子顕微鏡電源の研究（第12報）
- (4) 中研報告：倍電圧方式による油浸型高圧電源の試験
- (5) 中研報告：電子レンズの製作研究



(その3)

創刊号(大正7年1月)～第34巻第12号(昭和27年12月)

534.15 振動の観察並びに記録

- 1) レーヨンモーターの振動
佐野健次：日立評論 19 7 (昭 11. 7) 429
- 2) ガントリ起重機の振動に就いて
荒井勉：日立評論 22 4 (昭 14. 4) 255
- 3) 光電式微小変位計と天井走行起重機の振動
福井清：日立評論 27 5 (昭 19. 5) 256～263

534.44 音の分析

- 1) 音量分析器
山田昇、藤原勝喜、高橋雄太郎：日立評論 31 3 (昭 24. 8) 107～111
- 2) 電話器ベルの音響分析
前田庸：日立評論 33 5 (昭 26. 6) 374

534.647.082.14 振動計(振子型)

顕微鏡式振動計 SIP Type
松田正彦：日立評論 33 5 (昭 26. 6) 325～328

534.647.082.72 振動計(静電型)

H型振動計について(水晶発振子式静電容量型変換装置による振動計とその応用)
松田正彦、高林乍人、小堀与一：日立評論 33 5 (昭 26. 6) 319～324

535.245.082.52 光電現象を用いた光の測定

日立光電光度計によるタングステン中の微量モリブデンの定量
小林馨、長岡為行、松本健一：日立評論 34 8 (昭 27. 8) 993～997

535.336.2 質量分析

- 1) 60° 型単収斂質量譜分析器
神原豊三、好本寛、島史朗：日立評論 26 12 (昭 18. 12) 691～696

- 2) ガス分析用質量分析計とその応用(その1)記録式質量分析計の概要
神原豊三：日立評論 33 10 (昭 26. 10) 885～890
- 3) ガス分析用質量分析計とその応用(その2)
神原豊三：日立評論 33 12 (昭 26. 12) 1067～1074
- 4) 直視型質量分析計
神原豊三、川口千天：日立評論 34 12 (昭 27. 12) 1391～1394

536.5 温度の測定

- 1) 複針丸型温度計
桂越夫：日立評論 15 2 (昭 7. 2) 115
- 2) 複針丸型温度計
(紹介)：日立評論 16 3 (昭 8. 3) 200

536.5/6 温度及び熱量の測定

熱計器盤
山本英四郎：日立評論 22 8 (昭 14. 8) 491

536.512 水銀寒暖計

エナメル線焼付炉に於けるL型寒暖計の利用
間瀬喜好：日立評論 29 3 (昭 22. 6) 81～84

536.52 高温の測定

- 1) 指示及び記録パイロメーター並びに抵抗温度計
(紹介)：日立評論 18 5 (昭 10. 5) 335
- 2) パイロメーター及び抵抗温度計
北川栄：日立評論 18 7 (昭 10. 7) 415

536.53 温度計(電気式)

- 1) 直流電源用日立温度指示計
T. H. 生：日立評論 7 5 (大 13. 5) 169
- 2) 交流温度指示計
和島藤助：日立評論 8 4 (大 14. 4) 240
- 3) 交流温度指示計
(紹介)：日立評論 12 5 (昭 4. 5) 367

創刊号(大正7年1月)～第34巻第12号(昭和27年12月)

- 4) 指示及び記録パイロメーター並びに抵抗温度計
(紹介): 日立評論 18 5 (昭 10. 5) 335
- 5) パイロメーター及び抵抗温度計
北川栄: 日立評論 18 7 (昭 10. 7) 415
- 6) 吸入温度計とボイラーに於けるガス温度の測定
河原誠二: 日立評論 34 7 (昭 22. 7) 879~885
- 536.629.7 熱伝導の測定**
電気冷蔵庫の熱絶縁試験
広瀬弘: 日立機械評論 16 (昭 9. 4) 75
- 537.523.5 電 弧**
電弧痕路温度の測定
中野義映: 日論集 2 9 (昭 24. 12) 169~175
- 537.533.73 電子廻折**
電子廻折の応用
光石知国: 日立評論 33 11 (昭 26. 11) 953~959
- 539.16.08 放射性能の測定**
- 1) ガイガ・ミュラ計数管の性能
橋本一二、高野静夫: 日立評論 25 7 (昭 17. 7) 390~394
 - 2) 計数管に関する二三の改良
今井宗丸、荻原平一、米谷冠治、橋本一二: 日立評論 32 10 (昭 25. 10) 889~898
- 539.214.07 可塑性計**
塩化ビニル樹脂の物理的性質
久本方、吉川充雄、川和田七郎: 日立評論 34 2 (昭 27. 2) 415~420
- 539.215.4.082.52 粒度組成の光学的測定**
タンゲステン粉末の粒度分布の研究(第1報) 光電管を用いた光学的粉末度測定法
伊地山昇: 日立評論 33 7 (昭 26. 8) 585~593
- 539.38.082.52 変形の光学的測定**
- 1) 光電式微小変位計と天井走行起重機の振動
福井清: 日立評論 27 5 (昭 19. 5) 256~263
 - 2) 光電管式歪計の試作
富田忠二: 日立評論 31 6 (昭 24. 12) 261~268
 - 3) 振動応力測定用の KA-II 型光電管式歪計
富田忠二: 日立評論 33 5 (昭 26. 6) 307~317
- 539.411.5.08 急激な圧縮抵抗の測定**
- 1) ガラスの冷熱抵抗に対する統計論的考察(第1報) 冷熱破損についての実験
宮城精吉: 日立評論 32 7 (昭 25. 7) 687~697
 - 2) ガラスの冷熱抵抗に対する統計論的考察(第2報) 冷熱抵抗試験法の検討
宮城精吉: 日立評論 32 8 (昭 25. 8) 786~795
- 539.557.08 可撓性の測定**
電線用塩化ビニル樹脂に関する二三の基礎的問題 熱安定性、低温可撓性と可塑剤の移行について
吉川充雄、鎌田長生、川和田七郎: 日立評論 34 11 (昭 27. 11) 1325~1334
- 539.57.08 緊着性の測定**
- 1) エナメル線皮膜の導体への接着性(その1)
間瀬喜好: 日立評論 34 3 (昭 27. 3) 499~503
 - 2) エナメル線皮膜の導体への接着性(その2)
間瀬喜好: 日立評論 34 6 (昭 27. 6) 785~789
- 541.24.08 分子量の測定**
超遠心機による分子量測定
須藤卓郎、黒崎重彦: 日立評論 34 11 (昭 27. 11) 1335~1341
- 541.8.08 溶解度の測定**
- 1) ガラス繊維の溶解度測定の一方法
宮城精吉: 日立評論 25 5 (昭 17. 5) 277~279
 - 2) 粉末法によるガラス溶解度測定 of 統計的考察
宮城精吉: 日立評論 33 4 (昭 26. 4) 293~300
- 545.1 重量分析**
軟性ゴム化合物遊離硫黄定量法
横田兼吉: 日立評論 1 8 (大 7. 10) 31
- 545.2 容量分析**
- 1) 鋼中ニッケル分析法の改良
富田正二: 日立評論 25 3 (昭 17. 3) 177~179
 - 2) 測容法による鋼中の磷迅速定量法
佐藤信次: 日立評論 26 8 (昭 18. 8) 458~461
 - 3) アルミニウム合金中の珪素迅速定量法
佐藤信次: 日立評論 27 4 (昭 19. 4) 230~232
- 545.373 ポーログラフ法**
ポーログラフ法による非鉄金属の定量分析
武藤徳平: 日立評論 33 3 (昭 26. 3) 219~225
- 545.7 ガス容量分析**
- 1) 指示及び記録炭酸ガス計
(紹介): 日立評論 19 9 (昭 11. 9) 603
 - 2) 熱経済計器としての炭酸ガス計
北川栄: 日立評論 19 10 (昭 11. 10) 629
 - 3) 指示及び記録 CO+H₂ 計
(紹介): 日立評論 20 8 (昭 12. 8) 549
 - 4) 燃料工業とガス分析計
山本英四郎、梅原保: 日立評論 24 9 (昭 16. 9) 377
 - 5) CO₂ メータによるキュボラ操業
池田滋: 日立評論 25 10 (昭 17. 10) 596~599