

# 日立 HM-2 型 卓上用電子顕微鏡

木村 博一\*      藤岡 健夫\*\*

## Type HM-2 Hitachi Electron Microscope

By Hirokazu Kimura  
Central Research Laboratory  
Takeo Fujioka  
Taga Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

This is an introduction of a new electron microscope of Hitachi, which employs a permanent magnet for energizing the magnetic lenses. The writers describe first the design, resolution and stability of various permanent magnet lens systems they have investigated.

The Type HM-2 Hitachi Electron Microscope has a resolution over 100 Å and accelerating voltage of 40 kV. Direct magnification of 1,500, 3,000 or 4,000 times is available by changing the pole piece to be coupled. Image can be viewed through a two-time magnified optical lens, and photographed on 60×55 mm plate. Electron lens system is energized in parallel by a cylindrical magnet with a high stability. By the use of the permanent magnet lens system, a complicated constant current apparatus which is essential in usual units is eliminated, and being freed from the unstability of the exciting current, it maintains such a high resolution as exceeding 100 Å.

### 〔I〕 緒 言

電子顕微鏡が、光学顕微鏡では到底達しえられない極微の世界を開拓し始めてから、僅か 20 年たらずであるが、理論的研究の発展と、製作技術の進歩により長足の発達を遂げ、最近では単に高度の学術研究用のみにとどまらず、工場現場における生産管理用として、また医学臨床用、学校教材用として使用される傾向にある。しかしながら、取扱いの簡便さや価格の面で改善が要望され、最近数年間数種の小型電子顕微鏡が日本および諸外国において商品化されているが、なお未しの感がある。

本電子顕微鏡はかかる要請に応じて設計製作されたもので、その著しい特長は電子レンズの励磁に永久磁石を使用し、励磁電源をはぶいて故障の原因をなくし、保守を簡便にすると同時に、励磁電流の不安定による分解能

の低下を完全に除いた点にある。永久磁石を使用した電子顕微鏡としては、我国において最初のものであつて、我国が誇る最優秀磁石鋼を使用しており、設計上その性能を活用するとともに経年変化に対する安全係数も十分考慮されている。

さらにまた各部機構についても、検討を加えるとともに、高圧電源も完全防電撃となつているので取扱いに際しては簡便でなんらの危険もない。

以下永久磁石励磁電子光学系について、その概要を述べるとともに、HM-2型電子顕微鏡の構造大要と性能について詳述する。

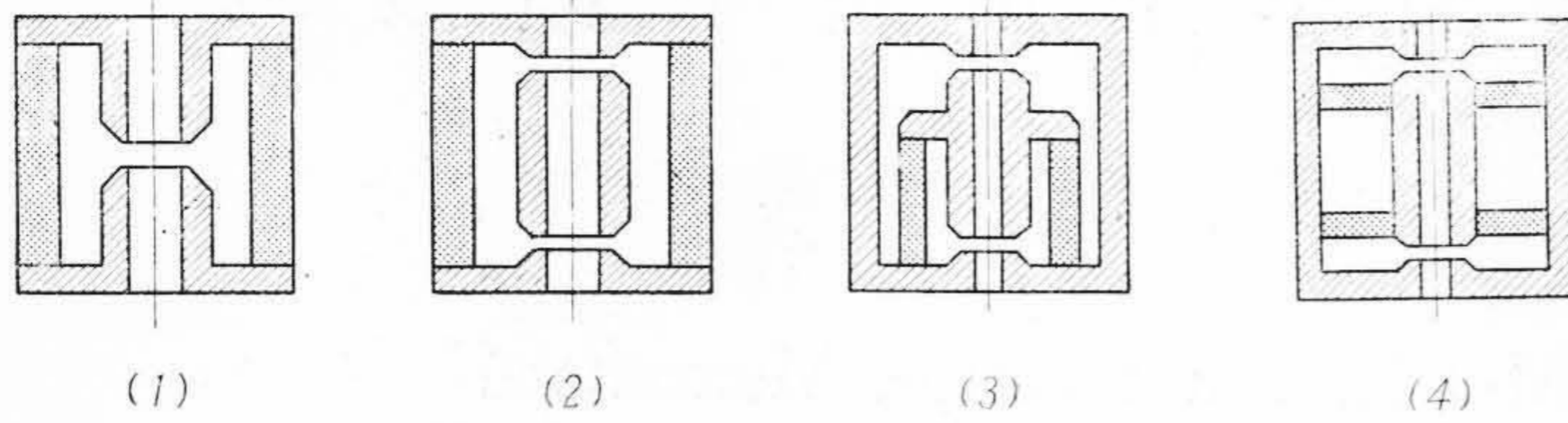
### 〔II〕 永久磁石励磁電子光学系

永久磁石を電子レンズの励磁に使用することは、新しいことではなく、1940年 B.V. Borries, E. Ruska<sup>(1)</sup>氏等により対物レンズの励磁に使用され、また1945年 E. G. Ramberg 氏等は組合せレンズ系に応用している。ま

\* 日立製作所中央研究所

\*\* 日立製作所多賀工場





第 1 図 永久磁石励磁電子光学系の諸型式

Fig. 1. Permanent Magnet Lens Systems

た最近 J. H. Reisner<sup>(2)(3)</sup> 氏の定性的な報告があるが、いずれも実験結果を記したもので、理論的な設計値との比較を示したものはない。これに対しわれわれは理論値と実測値の比較を行い、その一部はすでに発表した<sup>(4)</sup>。

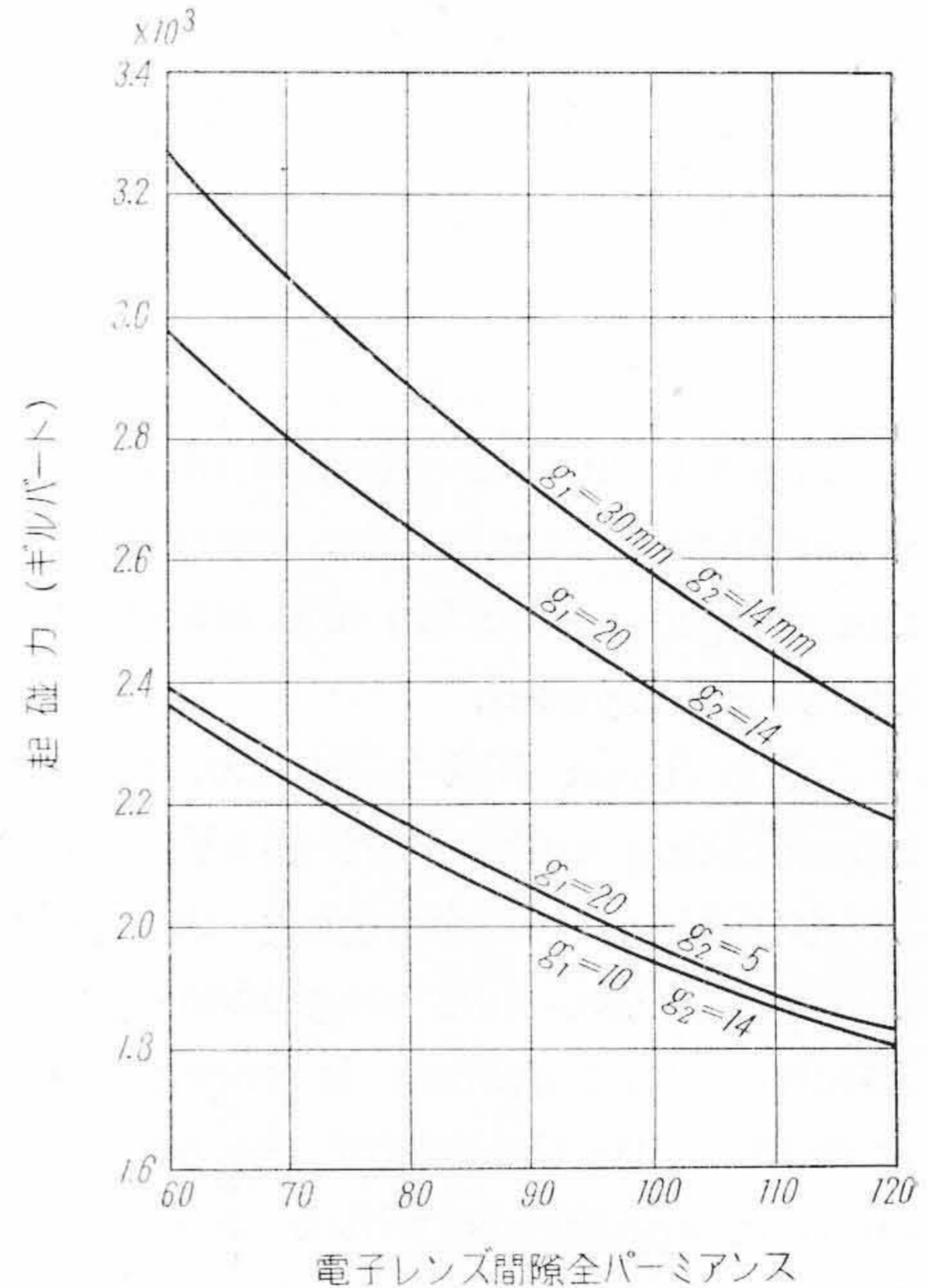
(1) 構成および設計

一般に電子レンズを永久磁石で励磁する場合に種々の方式が考えられる。第 1 図はその諸方式を示すもので、従来主として磁石鋼の製作上から数箇の棒状磁石を並列に使用していたが、最近では製作技術の発達とともに 1 箇の比較的大きい円筒状磁石をうることも困難でなく、棒状磁石を数多く並列に使用することはむしろ取付上から困難があり、また性能上からも円筒状磁石が望ましい。

電子光学系における漏洩磁場は像の歪曲偏倚を生じ、これはあたかも光学顕微鏡において歪んだ光学面が光学系に影響する場合と同様である。コイル励磁電子光学系においてコイルを単に永久磁石でおきかえるならば、漏洩磁場を生じ、電子線の集束を不可能にする。理論的には遮蔽して漏洩磁場をある限度以下にすればよいが、実際にははなはだ不利な設計となる。したがって第 1 図<sup>(1)</sup>に示すごとく 1 箇の電子レンズを 1 箇または 1 組の永久磁石で励磁することは、外部漏洩磁場の遮蔽が困難であるのみならず、内部電子線に擾乱を与えるので望ましくなく、初期の B. V. Borries, E. Ruska<sup>(4)</sup> 氏のものにみられるにすぎない。同図 (2) に示す 2 箇の電子レンズを直列に励磁する方式は上述と同様の欠点のある他、2 箇の電子レンズの形、材質などによりおのおのにかゝる起磁力が変るので実用性に乏しい。同図 (3) に示す 2 箇の電子レンズを並列に励磁する方式は外部漏洩磁束を巧みに利用したもので、すでに利用されている。B. V. Borries<sup>(5)</sup> 氏はこの型式のものについて発表しており、いわゆる簡易型として重量寸法を小さくするのに適しているが、後述のごとくパーミアンスの変化を利用して焦点距離を変化させる目的には適しない。また同図 (4) のごとき形も提案されている<sup>(3)</sup>。

なおその他新しい型式あるいはこれらの組合せが考えられる。

永久磁石を電子光学系の励磁に使用する場合、本質的には一般計器用その他の磁石の設計と異るところはな



第 2 図 電子レンズ間隙の全パーミアンスと起磁力の関係

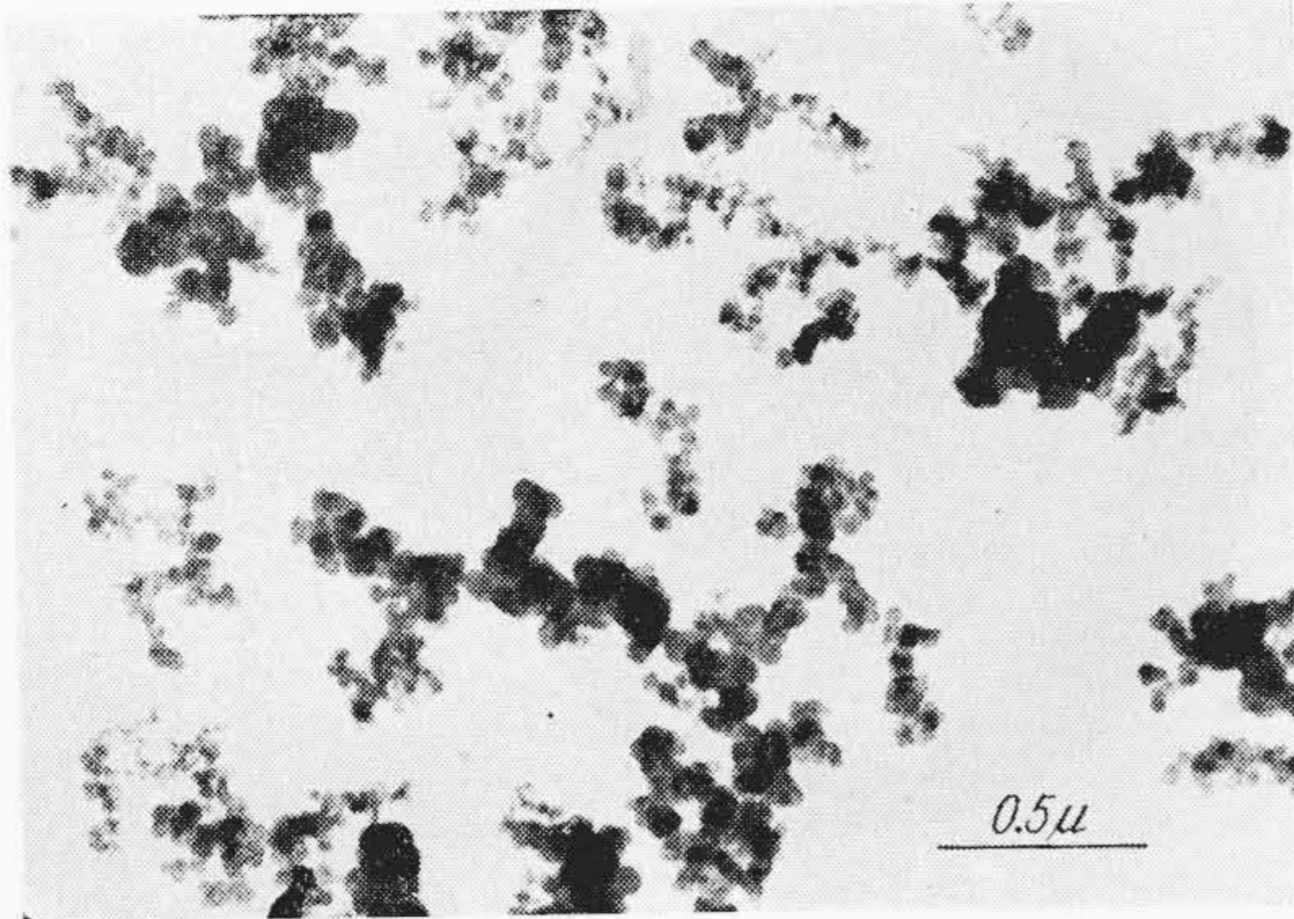
Fig. 2. Curves for Relation between M. M.F. and the Total Permeance of Electron Lens Gaps

い。たゞ電子レンズの場合、目的により異なるが、所要起磁力として 1,000 ないし 4,000 アンペアターンを要し、相当大型となり、また上述のごとく性能上漏洩磁束を十分遮蔽する必要があるので、全漏洩パーミアンスは大きい値をとり、その漏洩磁束分布の算定は十分考慮しなければならない。その設計についてはここで詳細に述べることを省略するが、設計の一例を示せば第 2 図のごとくである。第 2 図は第 1 図 (3) の並列励磁方式の場合の電子レンズ間隙の全パーミアンスと起磁力の関係を示す一計算例で、外部および内部磁鉄と磁石の間隙  $g_1, g_2$  をパラメータとしてとっている。われわれの実測では計算結果と比較的よい一致をみている。

(2) 分解能および経年変化に関する考察

永久磁石励磁電子光学系は従来の電磁石励磁方式に比べて高度の安定度を有しているから、同じレンズ構造お





第3図 耐久磁石励磁電子光学系による撮影例 (試料カーボンブラック)

Fig. 3. Micrograph by the Permanent Magnet Lens System (Carbon Black)

よび起磁力の場合に電子光学系自体としてはすぐれた性能を示すことが期待される。

事実耐久磁石励磁電子光学系で普通の大型電子顕微鏡の分解能は約  $30 \text{ \AA}$  程度をうることは困難でなく、従来の小型電子顕微鏡のもつ分解能  $70$  ないし  $100 \text{ \AA}$  程度をうることはきわめて容易である。第3図は並列励磁電子光学系による撮影の一例である。

また経年変化に関しては辻田氏の実測および理論<sup>(6)</sup>によれば、耐久磁石の安全係数と自然減磁率(究極の減磁量と最初の磁束との比)の間には一定の関係があり、われわれはこれを基礎として設計を行つているので経年変化に対しては十分安全である。

また地磁気を含む外部磁場による耐久磁石の減磁について考えると、最近の優秀磁石鋼は著しく安定で  $100$  エルステッドの交流磁場中に  $1$  分間放置した後も、その減磁率を  $0.5\%$  程度以下にとることができる。耐久磁石励磁電子光学系では、耐久磁石は一般に外部継鉄により遮蔽された形になつているためその減磁率はさらに低く、特別の場合を除き問題とする必要はない。

### (3) 焦点合せおよび倍率変化について

耐久磁石励磁電子光学系において、対物レンズの焦点合せには3つの方法が考えられる。第1の方法は試料を機械的に光軸に沿つて動かし、焦点位置にもつていく方法で、数ミクロン程度の微細な調整を要するために一般には採用されない。第2の方法は加速電圧を変化させる方法で普通使用されている。また第3の方法は機械的に耐久磁石のパーミアンスを変化させる方法で、対物レンズの焦点合せ程度であれば第1図(3)の並列励磁方式でも耐久磁石と継鉄間あるいは磁石両極間に磁気側路を設けることにより、漏洩磁束を制御し他に大きい影響を与えることなく行うことができる。焦点距離にして数  $100$



第4図 HM-2型卓上用電子顕微鏡

Fig. 4. Type HM-2 Desk Electron Microscope

ミクロン程度の調整は容易である。またある種のレンズ方式を使用すれば一方に大きい変化を与えても他への影響はきわめて少くすることができる。この際耐久磁石の動作点は減磁曲線上から小ヒステレシス環線上を動くが、磁石鋼によつては可逆導磁率が十分小さく、それによる減磁効果は無視できる。したがつて電磁石励磁の場合と同様、投射レンズの焦点距離を大きく変化させ、終像倍率を可変とすることができる。

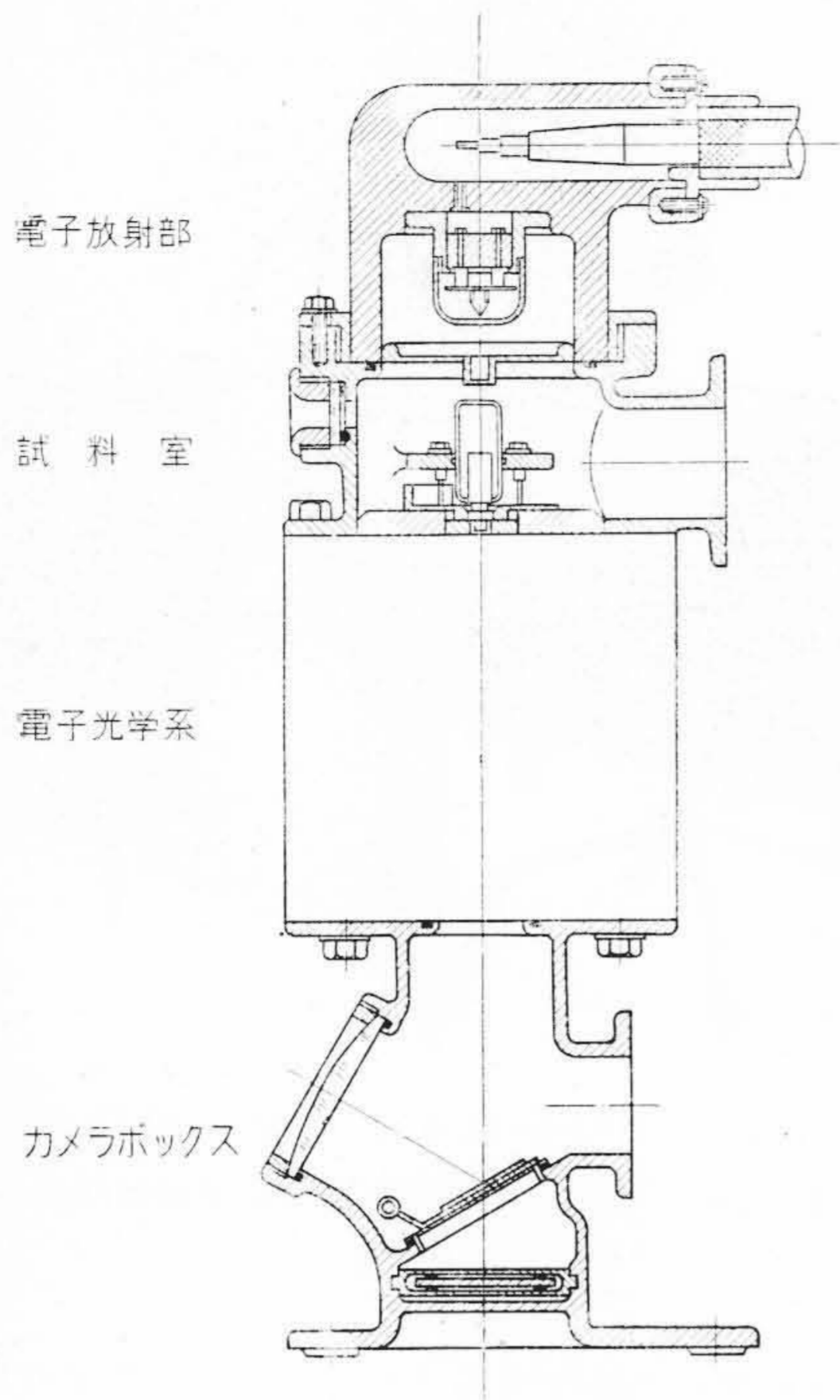
## [III] HM-2型電子顕微鏡

### (1) 構造大要

本電子顕微鏡は第4図に示す外観写真のごとく卓上用であつて使用者が机の上に適当に置いて使用でき、また任意の場所に簡単に移動できる特長がある。全装置は机上の本体および床下の油回転ポンプ、電圧安定装置および高圧電源からなり、それぞれ真空ゴム管、高圧ケーブルで接続されている。

本体構造は第5図(次頁参照)に示すごとく上部に電子放射部を、中間に試料室ならびに耐久磁石を使用した電子光学系を、下部に観察用蛍光板および視き窓、カメラボックスをもち、全装置は鋳物製の台に固定されている。全体的に耐震構造をとり、外部振動による分解能の低下を避けている。本体に附属したパネルに操作のスイッチおよびつまみが取付けられ、使用者はすべての操作を腰かけたままで行うことができる。本体寸法は操作パネルを含めて高さ  $645 \text{ mm}$ 、幅  $540 \text{ mm}$ 、奥行  $540 \text{ mm}$  であり、重量は約  $70 \text{ kg}$  である。



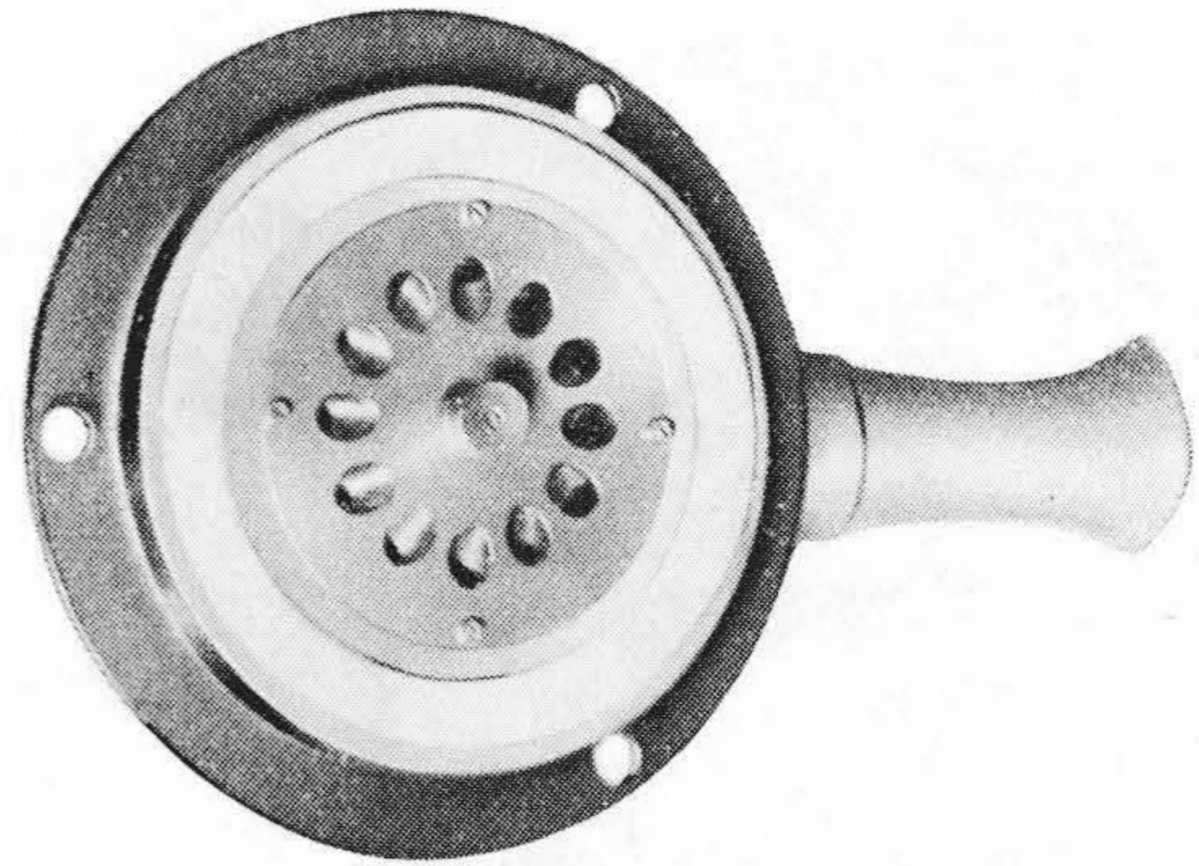


第 5 図 HM-2 型卓上用電子顕微鏡体  
Fig.5. Section of Principal Parts of Type Hitachi HM-2 Electron Microscope

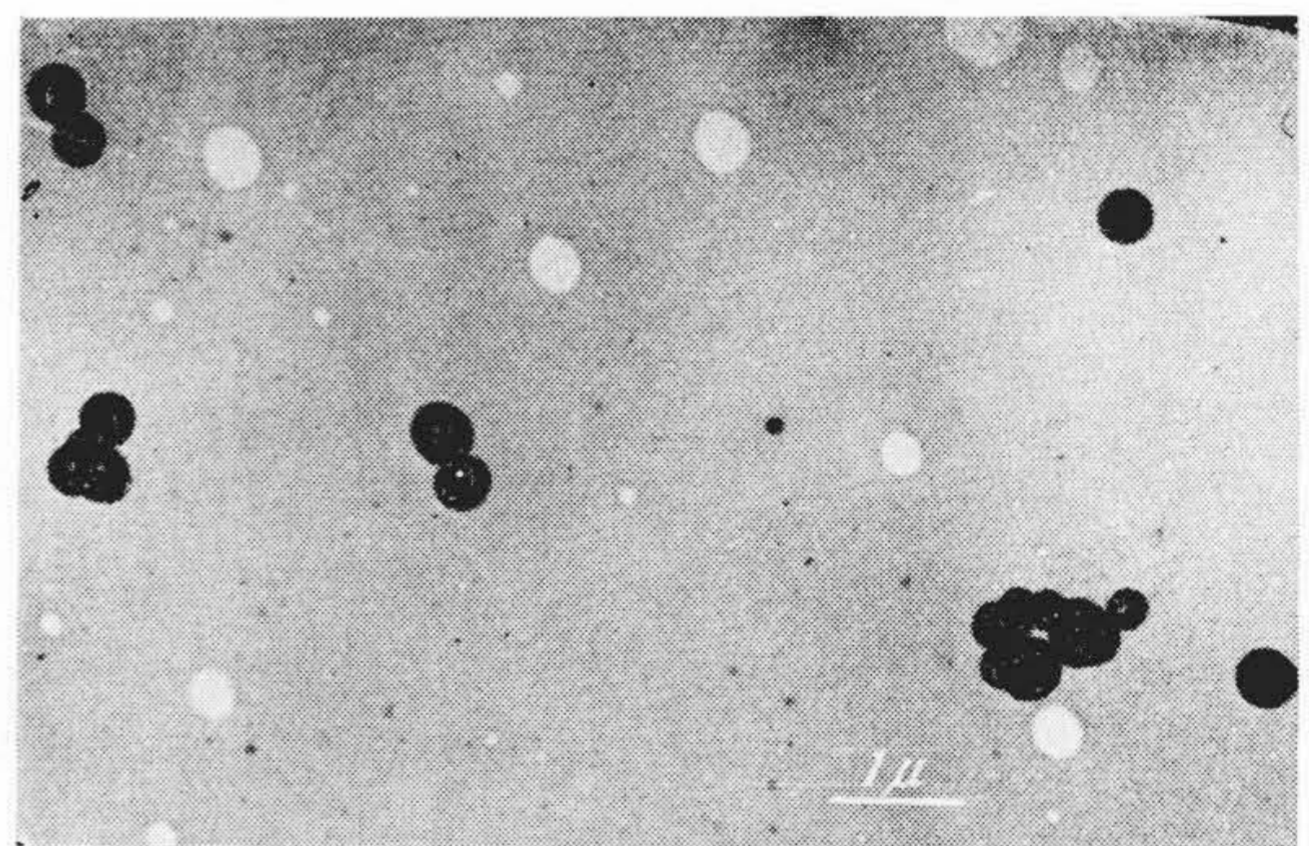
(2) 電子放射部

電子放射部は上部碍子に絶縁された高圧ケーブルにより高圧電源、フィラメントおよびバイアス電源を導入し、碍子および高圧ケーブルの外側は遮蔽の上接地されている。すなわち完全防電撃方式となつているので使用者に高圧に対する危険を与えず、また湿気、空気中の塵埃、風などによる高圧の変動を防止している。加速電圧は 40 kV、フィラメント電圧は 4 V である。第 6 図に下部より見た写真を示す。碍子内部にフィラメントおよびウェーネルト円筒が納められており、下部の接地された陽極板と機械的に中心合せができています。陽極板下部には陽極絞りが付付けられている。この絞りは対物絞りと同じ構造のものであつて共用、交換できる。一般に陽極絞りは電子線により汚れるが、汚れた絞りは本体を分解することなく、試料室の窓から陽極絞り取出具によつて簡単に交換ができる。ウェーネルト円筒の中心と陽極絞りの中心は機械的に一致するように工作されている。フィラメントは雲母板に取付けたタングステンフィラメントを用い、交換は容易である。

電子線の調整箇所は電子放射部だけである。電子放射部はつぎの試料室上部にゴムパッキングを介して取付けられ、第 8 図に示す試料室の 4 箇のネジにより電子放射

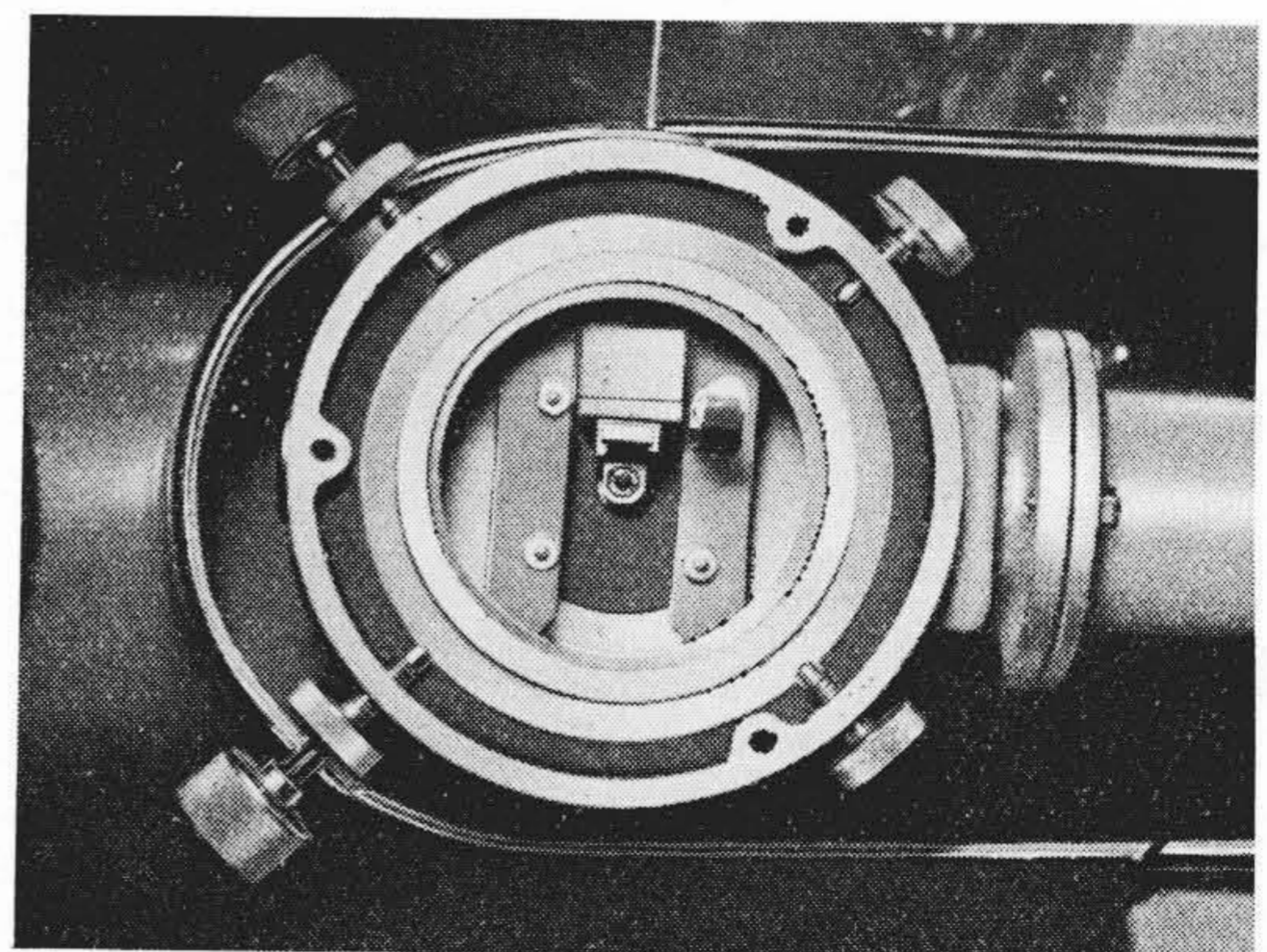


第 6 図 電 子 放 射 部  
Fig.6. Electron Gun



第 7 図 振動している机上での撮影例  
(試料カーボンブラック)

Fig.7. Micrograph on the Vibrating Table (Carbon Black)



第 8 図 試 料 室  
Fig.8. Specimen Stage

部を移動して電子線を対物レンズと投射レンズの光軸に一致させる構造となつている。

(3) 試料室

試料室の構造は試料交換に際して時間を短縮し、かつ油拡散ポンプの油を劣化させないために、いわゆるエアロック式をとり、全体の真空を破ることなく試料部分



のみを小容積の試料交換室に入れて行うようになってい  
る。試料は試料台の先につけられ、この試料台は左側よ  
り挿入された棒の先に取り付けられ、その棒の回転により  
対物レンズ内に挿入される。この場合試料は特殊機構に  
より試料微動装置に装着され、従来のごとく振動により  
対物レンズに対して試料が移動し、像の流れることはな  
い。第7図は卓上で電気ドリルを回しながら撮影したも  
のである。振動に対し非常に安定であるため、本電子顕  
微鏡を使用する場合、特殊な基礎工事を要せず普通建物  
のどこでも使用できる。微動装置は鏡体外より2箇の微  
動棒により操作され、外部の2箇の微動用つまみにより  
それぞれ直角の2方向に動かすことができる。また試料  
室は前方に鉛ガラスを用いた覗き窓があり、フィラメン  
トの点火状態を観察できる。第8図は試料室を上方から  
みた写真である。

試料交換室の容積はきわめて小さく、約1分間で排気  
され、蓋は透明な樹脂製で内部の状況を観察できる。

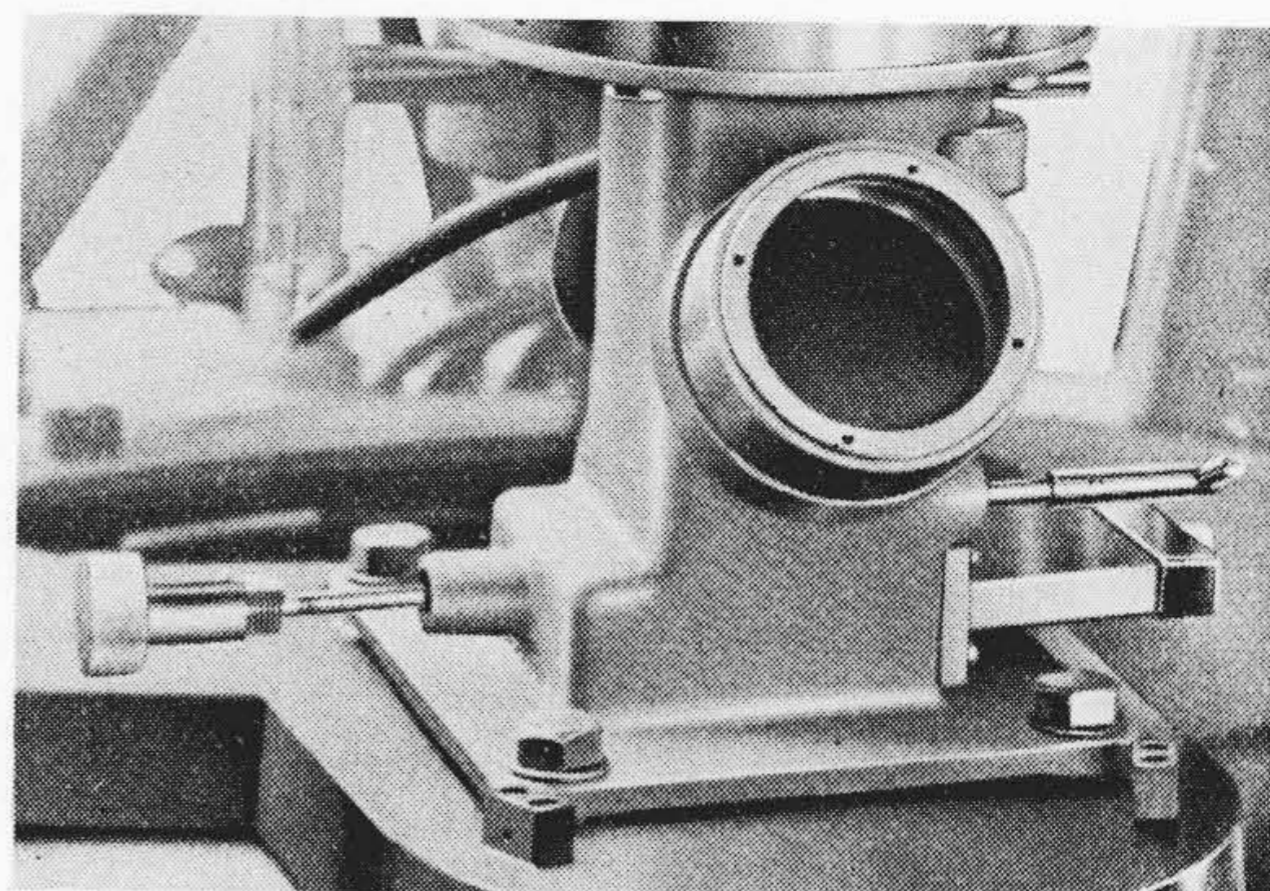
(4) 電子光学系

対物レンズと投射レンズからなる二段電子レンズ系  
で、1箇の耐久磁石による並列励磁方式をとっている。  
対物レンズおよび投射レンズの製作は工作上最高の精度  
で行われており、さらに精密なレンズ試験の後非点隔差  
数ミクロン以下の電子レンズを選定し使用している。試  
料は対物レンズ主面より上方に位置するよう試料室の機  
構により挿入され、試料の下方に対物絞りが挿入されて  
いる。対物絞りは像のコントラストを調節するためおよ  
び絞りを清浄に保つために随時交換の必要がある。この  
顕微鏡は本体を分解することなく簡単に外部から絞りの  
取出しができ、しかも対物レンズ孔に対し中心は最高の  
精度で位置する構造となっている。

また総合倍率の変化は投射レンズを交換して行うよ  
うになっている。これはあたかも光学顕微鏡における接眼  
レンズの交換と同様であつて、直接倍率は1,500ないし  
4,000倍の固定倍率となっている。

(5) カメラボックス

拡大された電子像は下部の蛍光板で観察される。第5  
図に示すごとく蛍光板は光軸に対し約67度傾斜してお  
り、終像観察を容易にしている。第9図にその外観を示  
す。観察用覗き窓には凸レンズを使用し、その拡大率は  
約2.5倍で、レンズにはコーティングが施されて増透効  
果をあげている。覗き窓を通し100×100mmの蛍光板  
上の像を観測できる。これはまたシャッターを兼用して  
おり、開閉のつまみが右側に出ている。写真乾板はキャ  
ビネの1/6の寸法でカセット内に納められ、蛍光板の下に  
横から挿入される。乾板交換も操作能率の向上のために  
試料室同様エアロック式である。すなわちカセットは



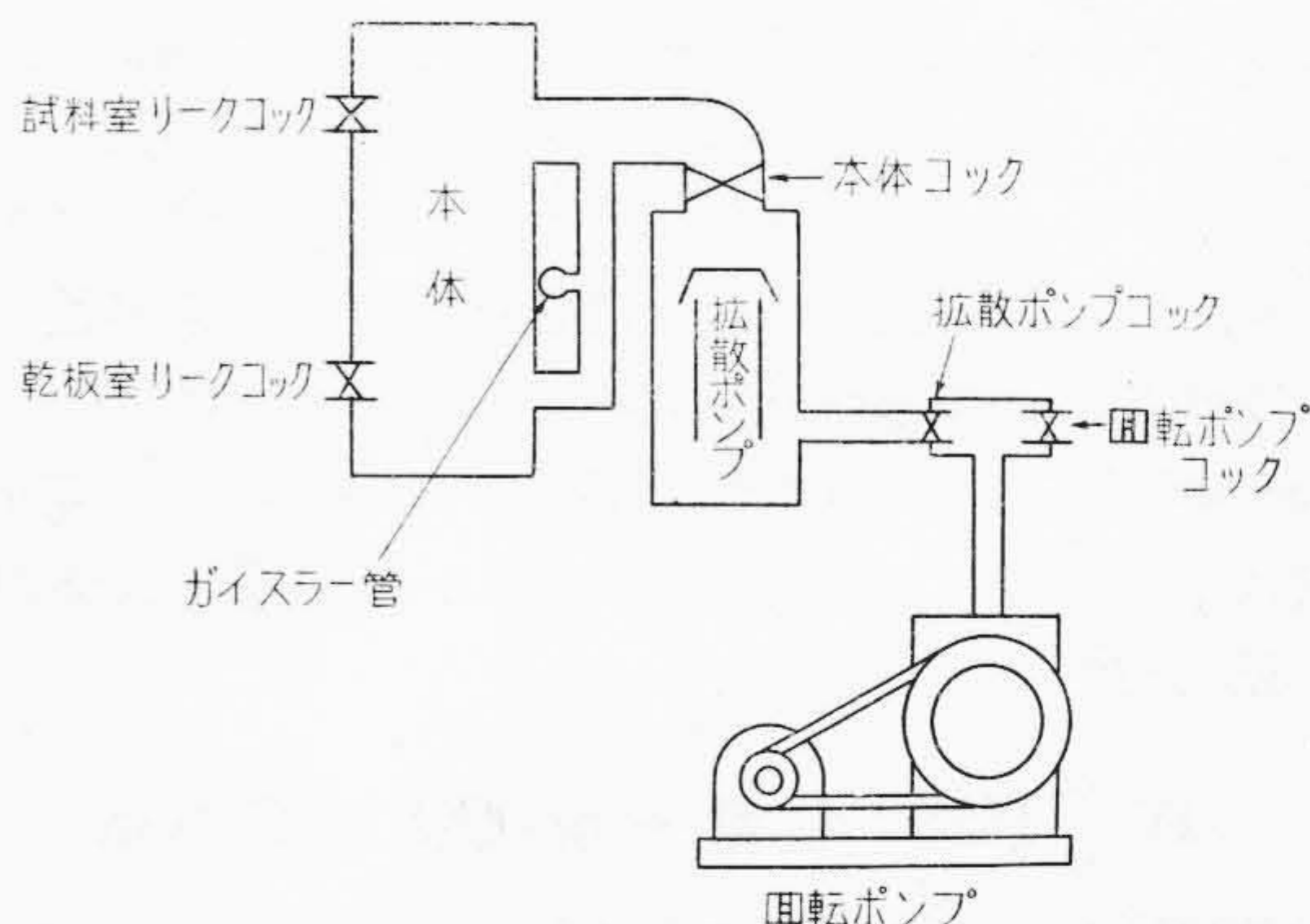
第9図 カメラボックス

Fig.9. Photographic Chamber

カセット受の中に納められ、カセット受はカセット移動  
棒の先につき、この棒を左方より圧着し、右側のカセッ  
ト交換室と本体を気密に隔離する。交換室の蓋には簡単  
なリークコックがついており、これを引くことにより蓋  
が外れ、乾板交換ができる。カセットはカセット受のス  
プリングにより、カセット移動棒の動きにつれて動き、  
撮影位置におかれる。カセットの蓋はこの場合交換室に  
残り、自動的に乾板は露出する。撮影終了後逆の動作に  
よりカセットの蓋は閉じられ交換室へ送りこまれる。乾  
板交換室の容量もまたきわめて小さく、約2分以内で乾  
板の交換ができる。

(6) 真空排気系

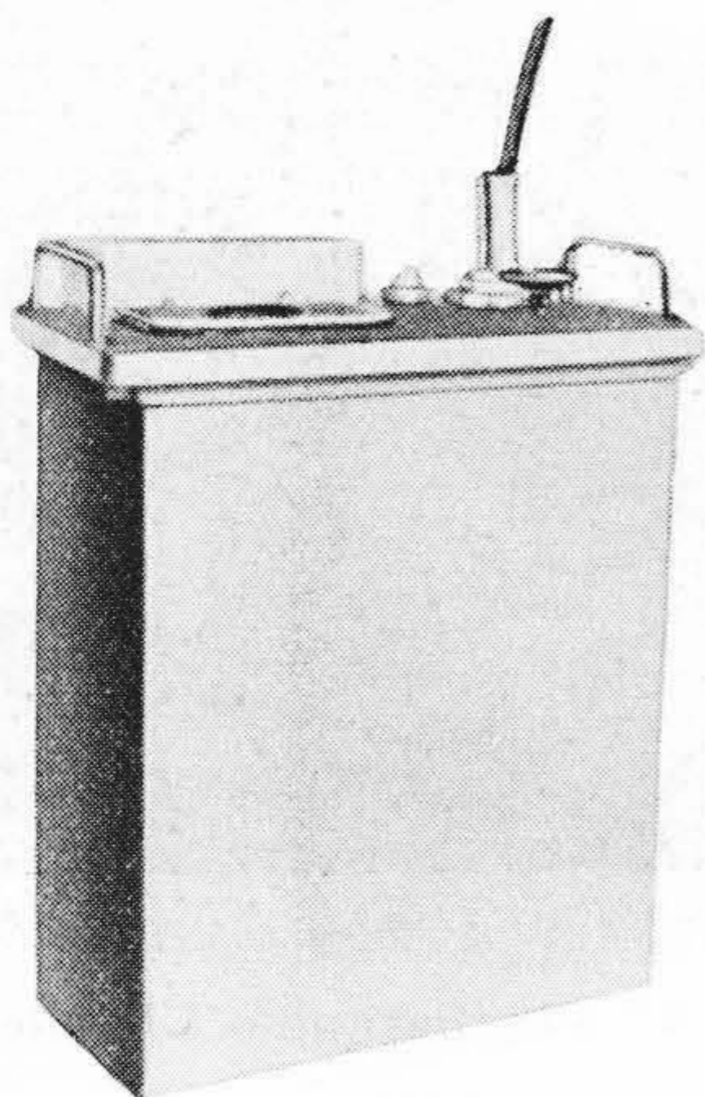
磁界型電子顕微鏡では内部真空度を $10^{-4}$ mmHg以上  
にする必要がある。このため油拡散ポンプと油回転ポン  
プを直列に使用している。本電子顕微鏡では油拡散ポン  
プにシリコンオイルを使用し油が高温で空気に曝され  
た場合の劣化を避けている。したがって従来のごとく本  
体と油回転ポンプの間に予備排気の回路を設ける必要が  
なく、それだけ操作が簡易化されている。油拡散ポンプ



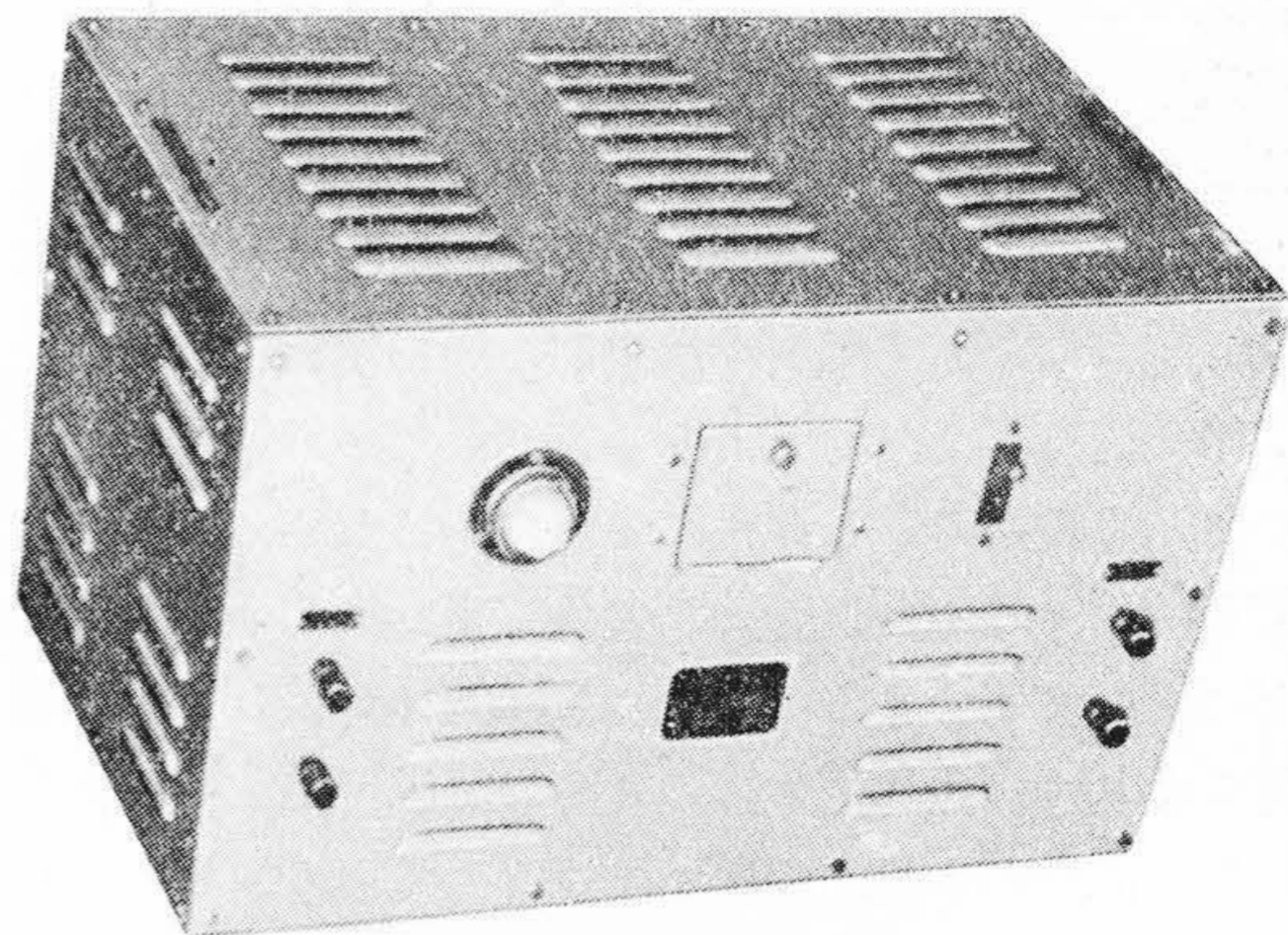
第10図 真空排気系統図

Fig.10. Schematic Diagram of the Vacuum System





第 11 図 防 電 撃 型 高 圧 電 源  
Fig.11. Shock Proof High Tension Unit



第 12 図 定 電 圧 装 置  
Fig.12. Voltage Stabilizer

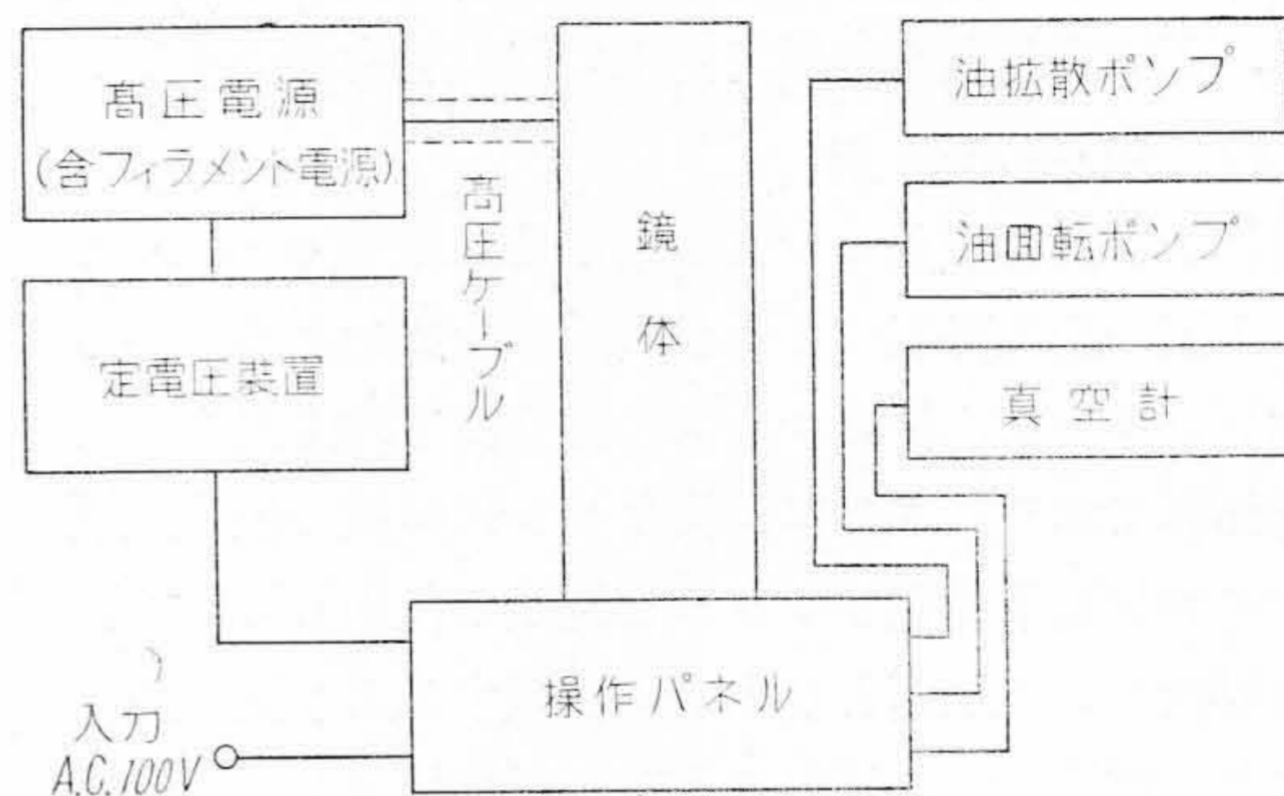
は本体の背後に取付けられ、また油回転ポンプは床上におかれ、その間を真空ゴム管で接続している。第10図に真空排気系統図を示す。

真空設計にあたっては排気抵抗を考慮して十分の太さの排管を使用し、特に電子放射部の真空度に留意してある。

真空度測定は簡便で故障のないガイスラー管を使用した。

(7) 電 源 部

高圧電源は第11図に外観を示すごとく商用周波数倍電圧整流方式で、一つの油タンク中にフィラメント電源、バイアス電源とともに納められており、絶縁された高圧ケーブルにより本体に接続されている。電圧は40kVである。バイアスは電源タンクの外部のつまみにより5段階に変化できる。使用後充電された平滑コンデンサの放電に際して油中での放電を避けるために特殊の装置が考案されて付けられている。高圧電源の入力は定電圧装置を経て供給される。定電圧装置は特に周波数の補償を行つてあり、電圧および周波数の変動による加速電圧の変動を避けている。本定電圧装置は変圧器、過飽和リアクトル、セレン整流器からなり構造堅牢である。第12図にその外観を示す。安定度は50~用のものが、48~51~、95~105Vにおいて0.6%以下であり、加速電圧の安定度は30秒間に約0.01%以下である。第13図に全装置の配線系統図を示す。



第 13 図 配 線 系 統 図  
Fig.13. Complete Circuit



第 14 図 パ ル プ 表 面  
Fig.14. Surface of the Pulp

〔IV〕 HM-2 型 電 子 顕 微 鏡 の 撮 影 例

第14図ないし第20図に本顕微鏡による撮影例を示す。

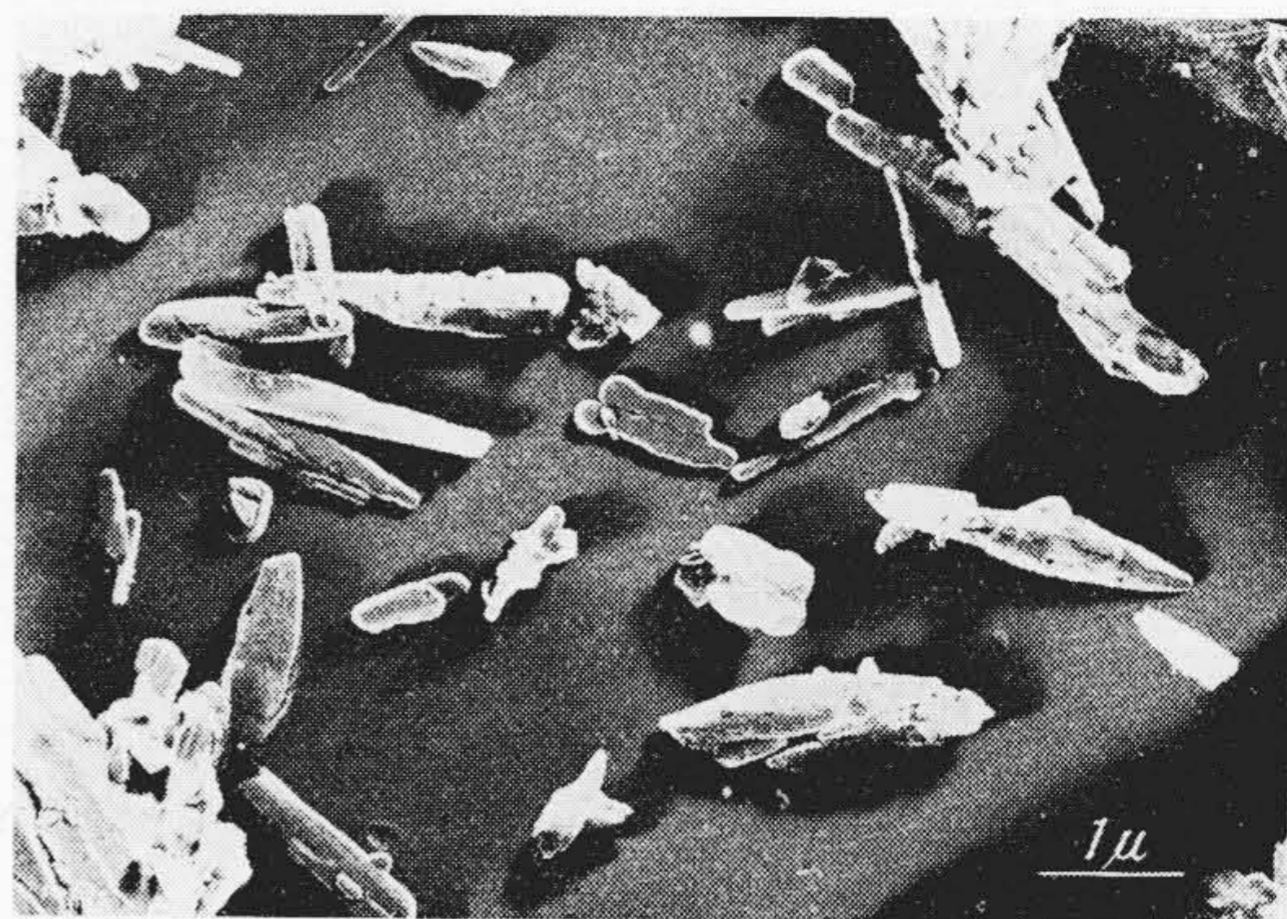
第14図の pulp 表面および第15図のフェライトの表面は試料をいずれもエチルメタクリル・レプリカ法で作製しクロームシャドウイングを施したものである。第16図

のスピロヘータは水に懸濁したものにクロームシャドウイングを行つたものである。第17図の人糞丸はマイクロームによる切片を試料としたものである。第18図の酸化カルシウム、第19図のべんがらはそれぞれ俗にぬけがら法、ペースト法と呼ばれる作成法により検鏡した。第20

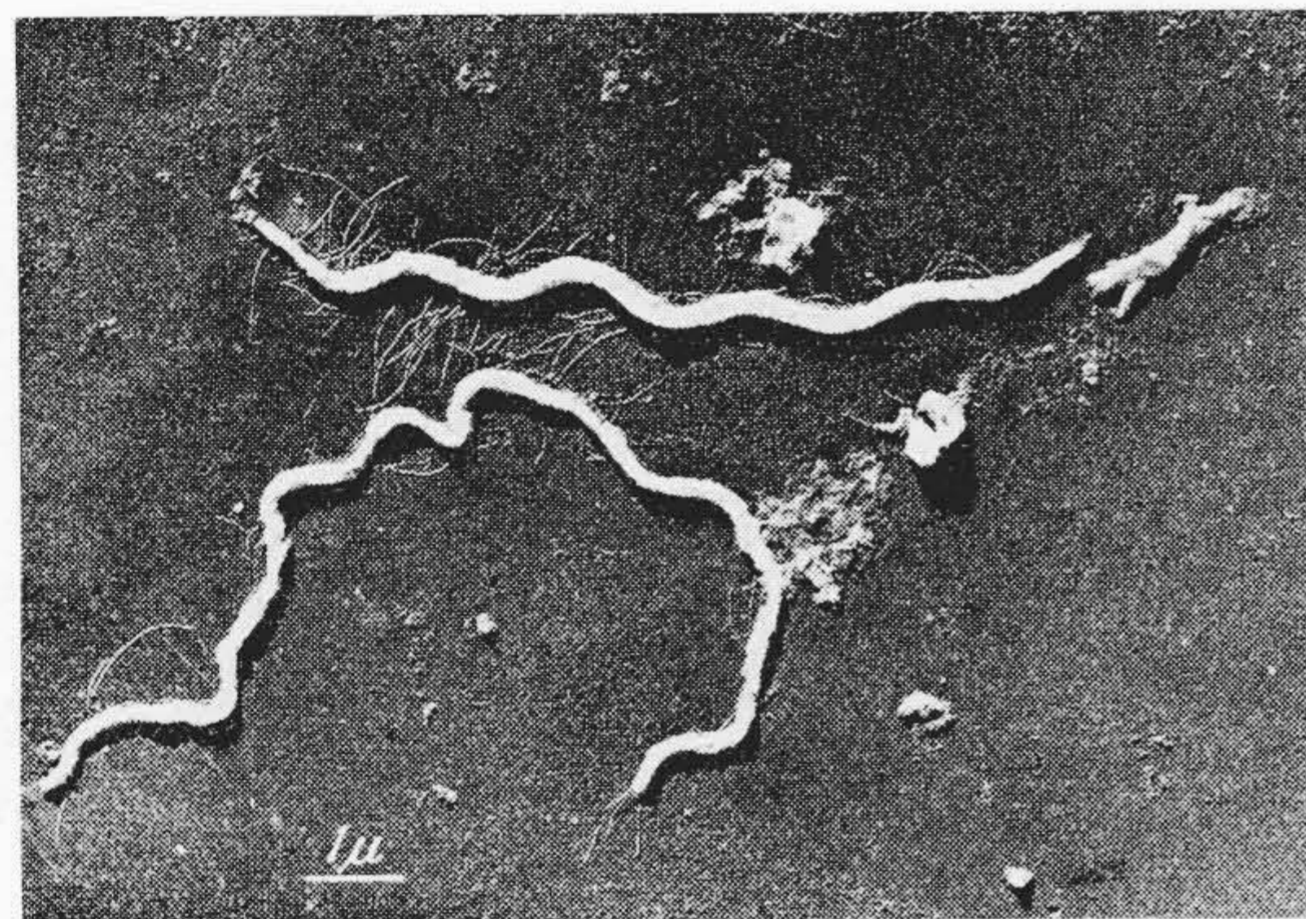




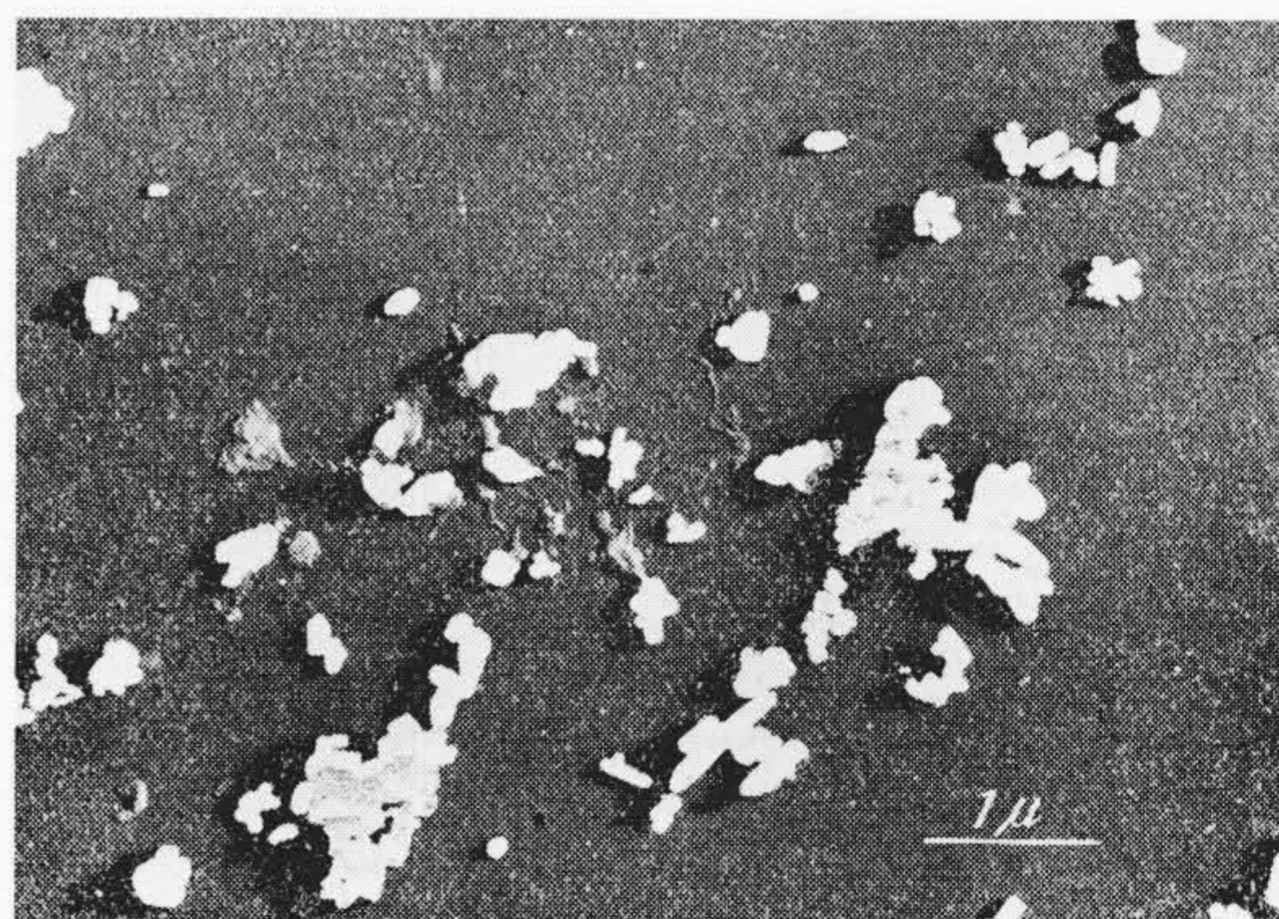
第15図 フェライトの表面  
Fig.15. Surface of Ferrite



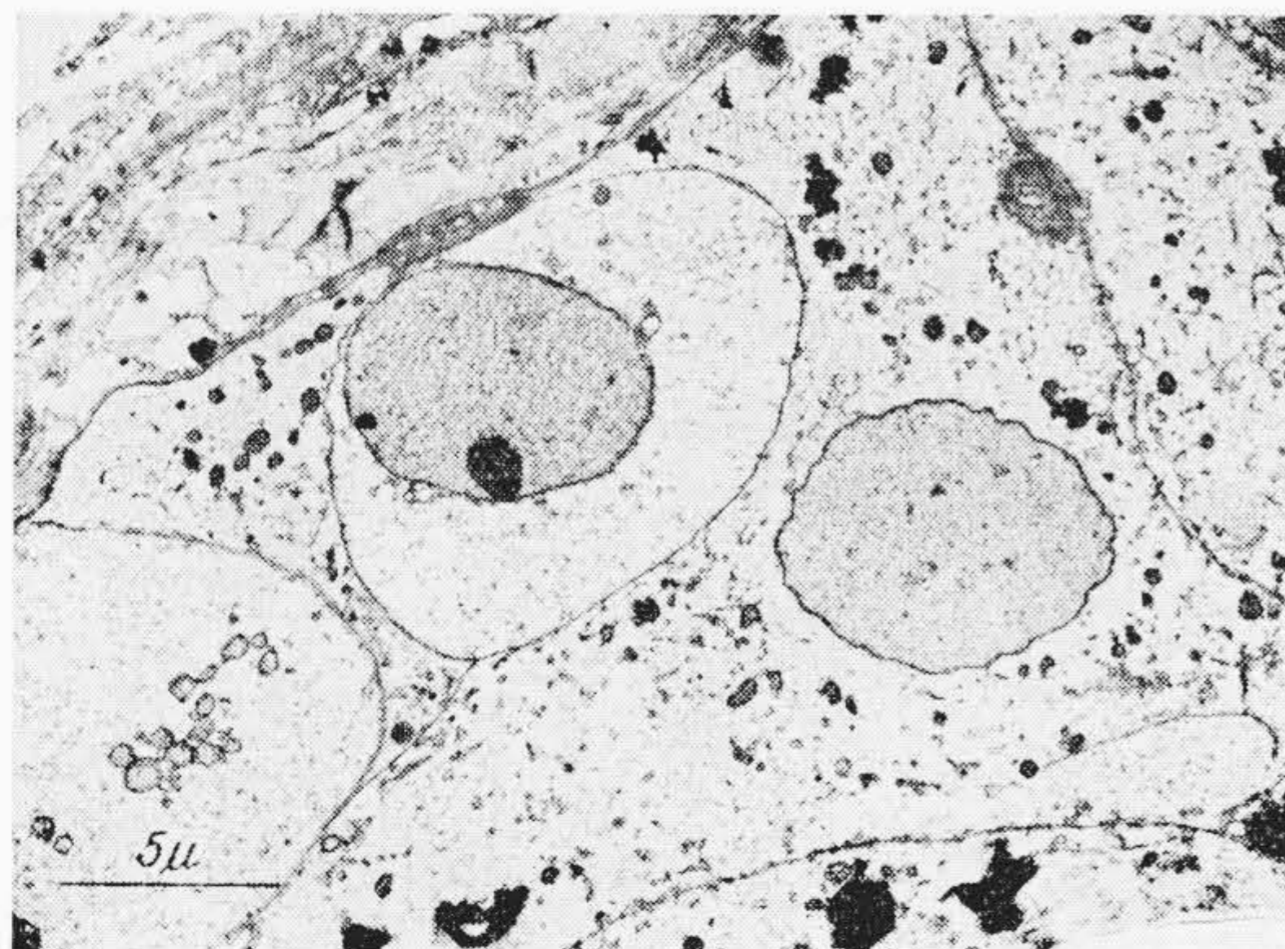
第18図 酸化カルシウム  
Fig.18. Calcium Oxide



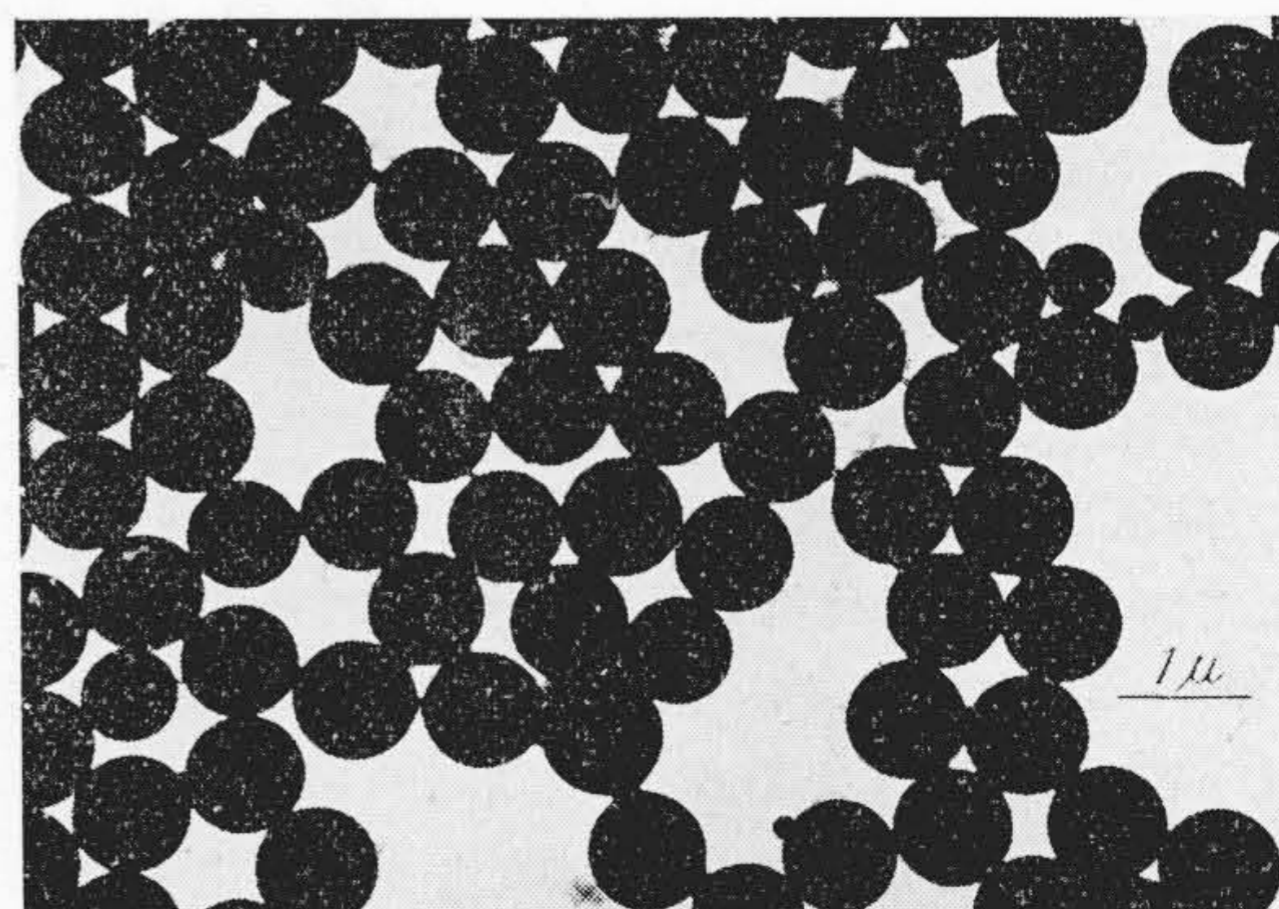
第16図 スピロヘータ  
Fig.16. Spirochaeta



第19図 べんがら  
Fig.19. Rouge Powder



第17図 人睪丸 (試料慶応大学電子顕微鏡研究室)  
Fig.17. Testis of Man



第20図 ポリスチロール  
Fig.20. Polystyrol

図のポリスチロールは蒸留水に懸濁して作製したものである。

### 〔V〕 結 言

HM-2型電子顕微鏡は上述のごとくであるがおもなる特長および性能をあげればつぎの通りである。

- (1) 特長
  - (i) 卓上型で小型軽量，場所をとらず簡単に移動できる。
  - (ii) 耐久磁石励磁電子光学系を使用している。従来電流により励磁する場合に安定度は1万分の1以下を要求され，複雑な定電流装置を使用したか、



本電子顕微鏡では耐久磁石を使用したために安定度をうんぬんする必要がない。

- (iii) 完全防電撃方式を採用し高圧部分が全く外部に露出しないため、高圧に対する危険のないことは勿論、湿気、塵埃などの影響を除くことができた。
- (iv) 真空排気系の単純化を図り、試料室、カメラボックスのエアロック式と相まつて、複雑な真空切替の操作を除いた。
- (v) 乾板、試料交換はエアロック式で操作時間の短縮を図り、試料、乾板の交換は1分ないし2分で行うことができる。
- (vi) 耐震構造であつて据付場所に制限されない。

(2) 性能

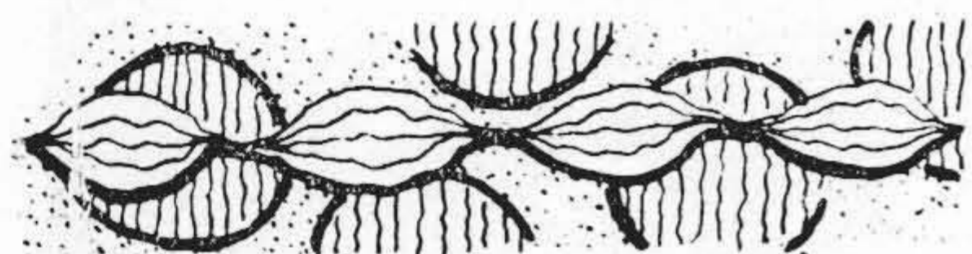
分解能.....	100 Å
加速電圧.....	40 kV
電子光学的倍率.....	3,000 倍
	(他に 1,500 倍, 4,000 倍)
最高引伸倍率.....	30,000 倍以上

乾板.....	60×55 mm (キャビネ 6 分の 1)
電源.....	A.C. 100 V, 800 W
寸法.....	本体 645×540×540 mm
	電源 700×700×500 mm

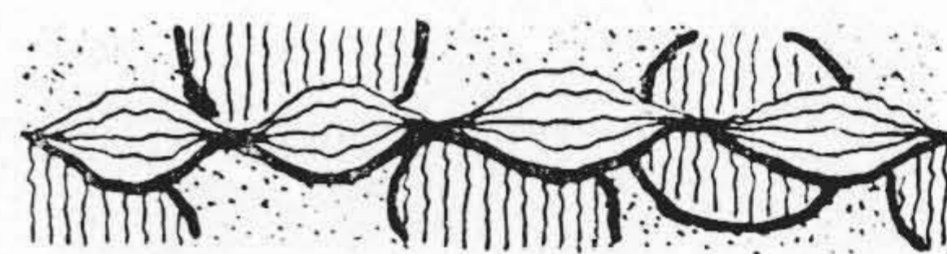
以上の特長および性能をもつため専門的知識をもたない人でも操作が容易にできる。撮影例として数例かゝげたとく、製紙、金属、医学、窯業、化学、紡績などあらゆる分野に、特に工場における品質管理、病院における臨床用、学校における教材用に適していると信ぜられる。

参考文献

- (1) Borries: Naturwiss. 22, 350 (1940)
- (2) Reisner, Dornfeld: J. A. Phys. 21, 1131 (1950-11)
- (3) Reisner: J.A. Phys. 22, 561 (1951-5)
- (4) 木村: 電学大会 47 (昭 28-5), 35 (昭 28-10)
- (5) Borris: K.Z. 114, 164 (1949-3)
- (6) 辻田: 日立評論 30, 114 (1948-3)



新案の紹介

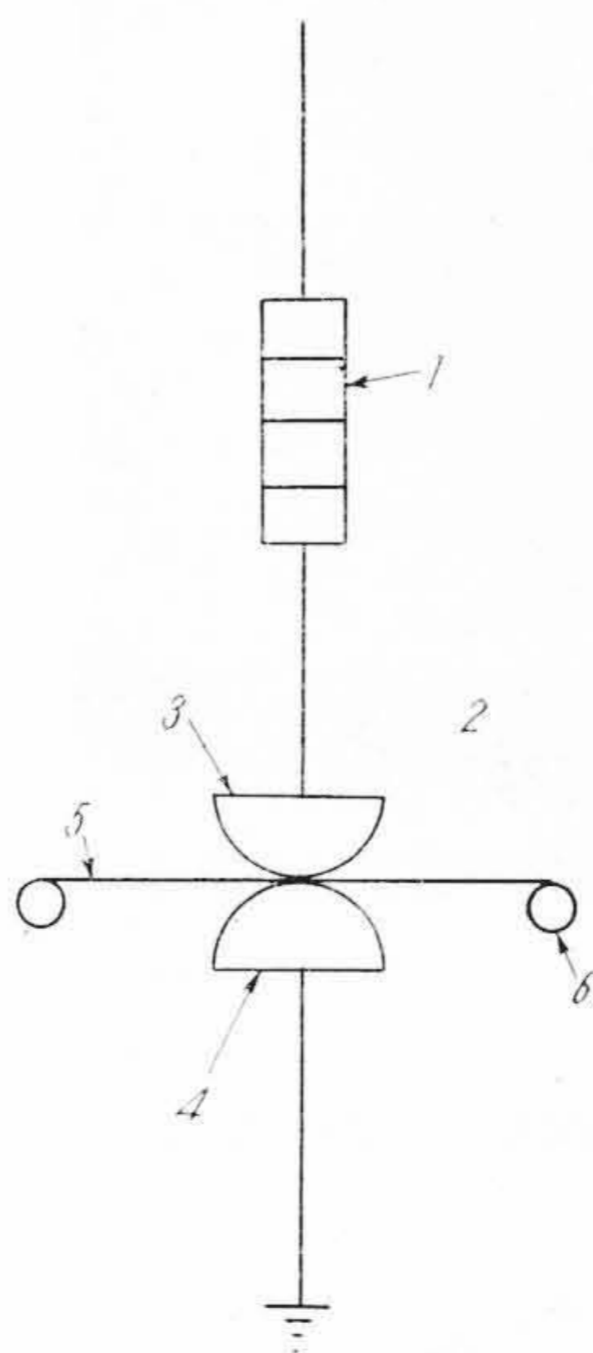


実用新案 第 405930 号

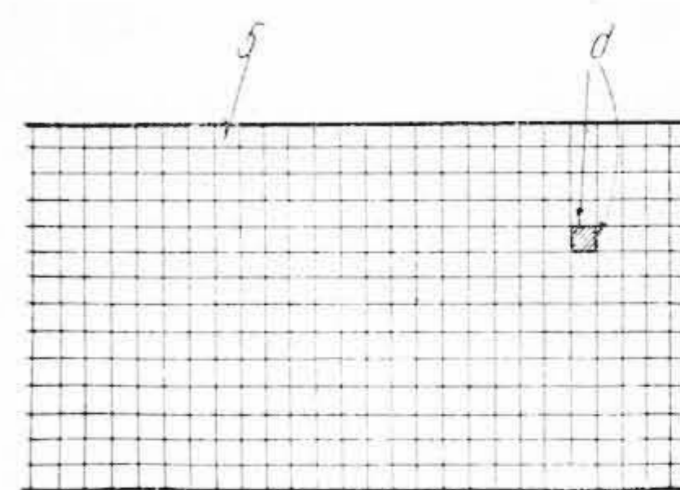
桑山正俊・落清

避雷器動作記録装置

避雷器の動作記録として特性要素と直列な放電電極の間に記録紙を通し、動作毎に生ずる穿孔によつて記録となし、穿孔の大きさによつて放電電流の大きさを測る種類のものは色々提案されているところであるが、本案はこの種の記録装置における記録紙を方眼紙にしたことが特長である。方眼紙は第 2 図に示すごとくその d 寸法を 0.1 mm~3 mm とした。しかして多くの実験結果を総合すると、放電電流 500 A の孔は約 1 mm であり、電流値の増大にしたがつて孔の大きさを増大し最大は約 3 mm, 最小は約 0.1 mm 位である。であるから上記のような方眼紙を使うと一々測定用器具を使用することなしに破れた方眼の数から一見して放電電流の大きさを知ることができ、その実益は非常に大きい。(宮崎)



第 1 図



第 2 図