

# 日本電子顕微鏡学会第20回学術講演会

## 講演予稿集

昭和39年5月16、17日

於 徳島市

### 目次

#### 会長講演

核タンパクの多糖類への転換の細胞化学的ならびに電子顕微鏡的研究

安澄 権八郎 (奈良医科大学) ..... 1

#### (A) 電子顕微鏡鏡体および電子光学

A-1) 電子レンズの電子線偏向について ..... A-1

谷中 隆志 (日本電子)

A-2) 電子顕微鏡の電磁偏向系について ..... A-4

谷中隆志、渡辺 勝、奥村昌温 (日本電子)、別所順吉 (NHK技研)

A-3) 4極電子銃のビーム集束機構 ..... A-7

松井重夫、川勝久三、金谷光一 (電気試験所)

A-4) イオンビーム加工機の集束機構 ..... A-9

金谷光一、川勝久三、山崎博敏、松井重夫 (電気試験所)

A-5) 空間電荷による収差と最小錯乱円について ..... A-11

金谷光一、川勝久三、松井重夫、山崎博敏 (電気試験所)

A-6) イオンビームカラーレコーディング ..... A-15

金谷光一、川勝久三、松井重夫、山崎博敏 (電気試験所)

A-7) 電子顕微鏡の分解測定法について ..... A-20

孤田 孜、大槻三男 (日立中研)

A-8) ポイント陰極と非点収差除去装置を使った電顕の解像度 ..... A-20

日比忠俊、矢田慶治 (東北大計測研)

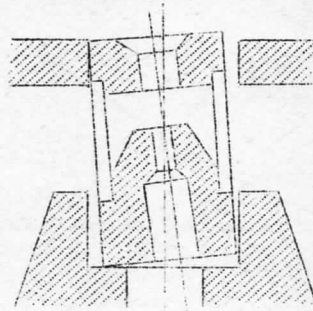
## (A) 電子顕微鏡鏡体および電子光学

### A-1) 電子レンズの電子線偏向について

谷 中 隆 志 (日本電子)

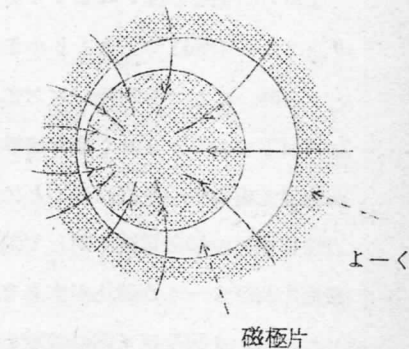
レンズの軸対称磁場の乱れは、光軸の曲り及び非点収差を生ずる。ここでは磁気回路の結合法、特に嵌合に固有な磁場乱れを扱う。光軸曲りは主にこの種乱れによるものである。

1 図は一般に行なわれている、磁極片とよーくの結合法である。この場合磁極片外径とよーく内径の間には数 $10\mu$ の差がある。真空と鉄では導磁率に大きな差があるから、空隙は大きな磁気抵抗をもつ。この結合法では、磁極片は宙に浮いてるわけではないから、外径の何れかの1点でよーくに接する。接点では磁気抵抗は零であるから、磁束が集中し飽和状態に近いと考えられる。他方、接点に関し反対側の空隙の大きい部分は磁気抵抗が大きく磁束は分散するので、全体として磁束の流れは非対称となる(2図)。

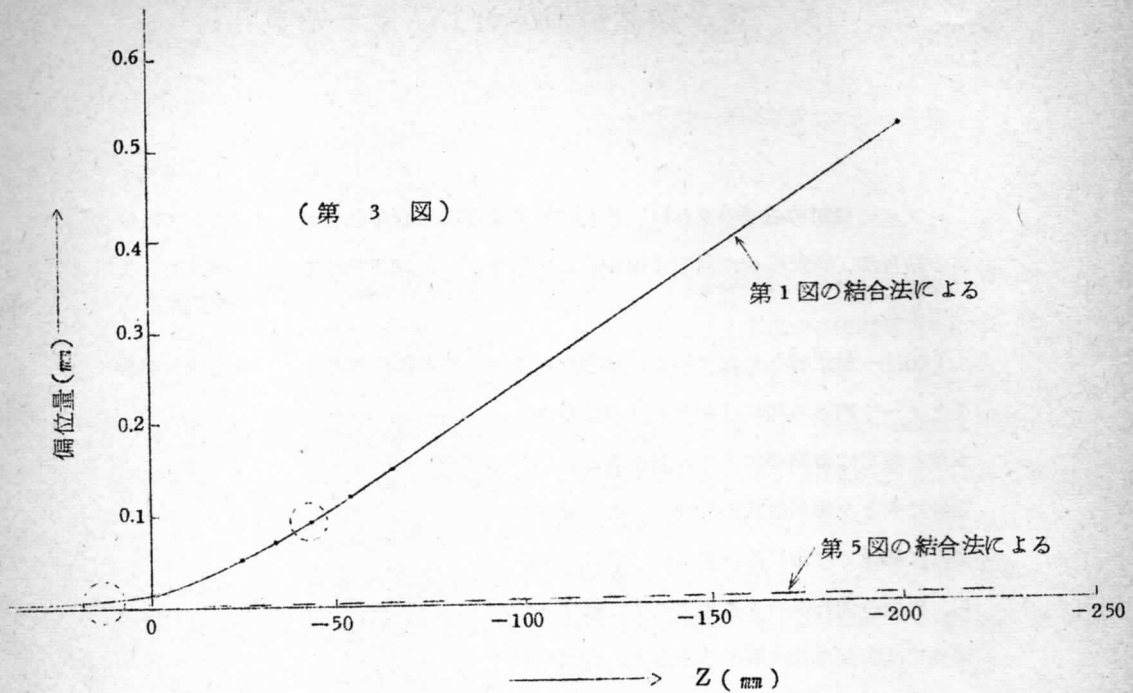


(第 1 図)

導磁率は無限大でないから、磁極片及びよーくの内部で磁束の流線に沿って静磁ポテンシャルが変化し、磁束の流れ模様が非対称であれば等ポテンシャル面は歪み、軸対称でなくなる。磁極片周囲の磁場分布は、静磁ポテンシャルに対するラプラス方程式の境界値問題として定まるから、磁極片上で等ポテンシャル面が歪んでいれば磁場分布は軸対称性を失い、光軸に垂直な偏向磁場成分が現れる筈である。3図は1図のレンズを対物レンズとし、レンズの幾何学的軸に沿って電子を入



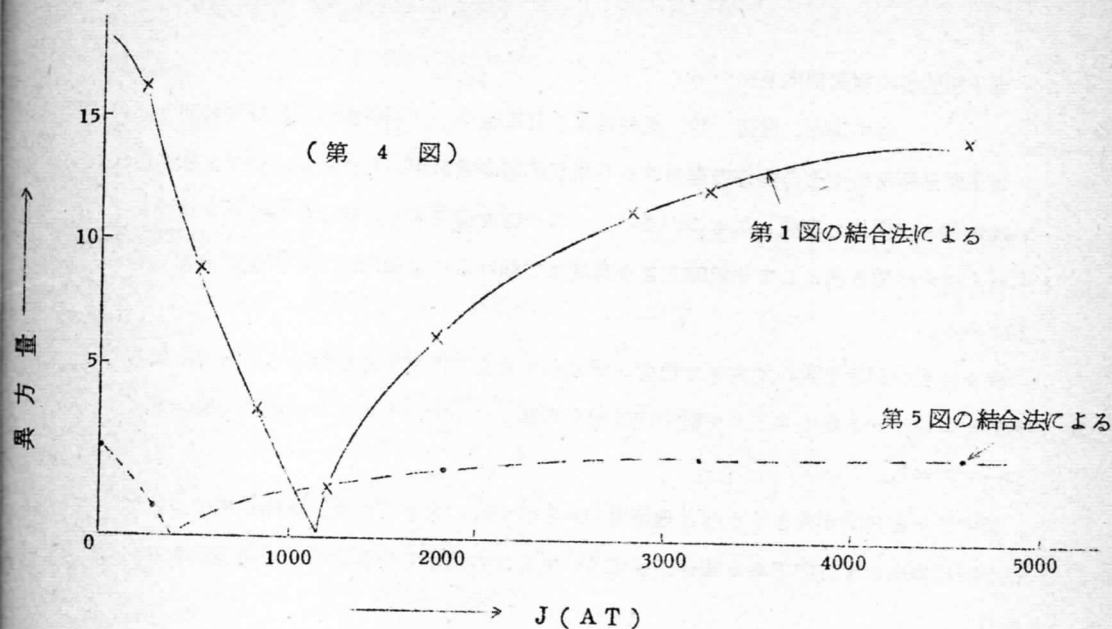
(第 2 図)



れた時の軌道で、レンズは5,000 ATで励磁してから励磁を切った状態である。磁極片上面をZ軸の原点にとつている。磁極片の上面及び下面附近に明らかな偏向が見られ、極間隙には見られない。

図から光軸曲りは $\theta = 2.5 \times 10^{-3}(\text{rad})$ である。一般に、1図の結合法では、 $\theta \geq 10^{-3}(\text{rad})$ でこれより小さく抑えられない、従つて $Z = 200$ を中間レンズ位置とする時、ここでの対物レンズ光軸の偏位は(0.2~0.5)mm程度であるから、中間レンズ以下で1,000×(総合倍率約1万倍)の拡大を行うと光軸は(200~500)mm位置蛍光板の中心を外れることになる。4図は磁極片を外にとりだし、残留磁気の異方性を種々の励磁電流に対して測定したもので、これは実際にレンズを励磁している時磁極片及びよーくの磁化が大きな軸非対称をもつという考え方を裏づける。

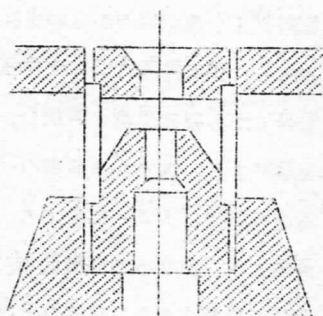
ここで、3図及び4図の実験を、5図に示すように磁極片外径を0.5mmだけ小さくし、隔離片でのみ、よーくに対する磁極片の心出しをする結合法について行くと、それぞれ3, 4図の点線で示す曲線のように異方量及び偏向が減衰し、平均して前の結合法の $\frac{1}{6}$



$\sim \frac{1}{10}$ 程度に抑えうる事がわかる。

隔離片外径とよ一く内径の差を  $2\Delta$ 、磁極片外径とよ一く内径のそれを  $2a$  とし、 $\Delta$  を任意の一定値とし、 $a$  をいろいろに変え偏向磁場成分を測定すると、 $\Delta$ 一定では  $\Delta/a$  の小さい程偏向成分が小さく、 $\Delta$  が小さくても、 $\Delta/a$  が大きいと偏向成分は大きくなる。

偏向磁場の軸上分布は上極片について言うとこの上面で最大となり、上方に向け減衰する、



(第 5 図)

指数関数で表わせ、大いさは励磁電流の小さいところで linear に増加し励磁電流がある大いさになると急激に増加し、励磁電流に対し linear でなくなる。linear な範囲は  $\Delta$ 一定では、 $\Delta/a$  の小さい程広くとれる。結論として、一般に行われている嵌合の方法は  $10^{-3}$  rad. 単位の光軸曲りを生ずる、これを 5 図の結合法にすると、光軸

曲りを  $10^{-4}$  rad. 単位の大いさに抑えうる。

## A-2) 電子顕微鏡の電磁偏向系について

谷中隆志、渡辺 勝、奥村昌温(日本電子) 別所順吉(NHK技研)

電子顕微鏡に於てその操作の容易さから電氣的偏向系が用いられるが、従来2個あるいは4個の磁極片を配置したものが多し。この様な偏向系では単なる軸合わせに用いられる場合は兎も角として比較的大きな角度まで傾けるには偏向による収差が大きく不利である。

我々は軸合わせを含めて大きな角度まで偏向収差なしに電子線を傾けることが出来る極めてコンパクトなトロイダル型偏向装置を考案したので、それらの装置の実験結果について述べる。

偏向させる角度が大きくなると理想偏向からのずれが大きくなり、偏向磁場については例えば偏向がY方向である場合、yについて2次の項までの展開をとる必要がある。

即ち

$$B_x = G - \left( \frac{1}{2} G'' + G_1 \right) x^2 + G_1 y^2$$

$$B_y = 2 G_1 x y$$

偏向収差(理想偏向からのずれ)については既にGlasser等により詳しく報告されているから、偏向装置について精密な磁場分布の測定を行い、 $G(Z)$ 及び $G_1(Z)$ の分布函数を得てから収差係数を算出し、最後に収差のパターンを導けばよい。然しここでは、実験により、大まかな収差のパターンを追求する。電子顕微鏡の偏向装置であるから、偏向収差は、大きい場合でも、コンデンサーレンズの電流調節及び非点補正の2つの手段により、数 $\mu\Phi$ の照射面積にまとめたいから、それ相当に小さくする必要がある。収差の計算式から、 $G_1(Z)$ 及び $G'(Z)$ を小さくすればよいことがわかる、即ち磁場が正立である程、収差を小さく期待できる。このため我々はトロイダル型偏向装置1図につき、その形状と収差の関係を実験的に追究した。コアの材質均一度、入射電子ビームに対するコアの配置の対称性、及び捲線均一度に問題なければ、収差はコアの外径(D)、高さ(H)、コアと試料面の距離(L)、磁場がないと考えた場合の試料照射角( $\alpha_B$ )及び偏向角( $\alpha$ )にのみ関係して定まる。ここでは、電子軌道に関する相似則を考慮に入れ、D、H、L、 $\alpha_B$ 及び $\alpha$ の全部は変えず、Dを一定として残りの4



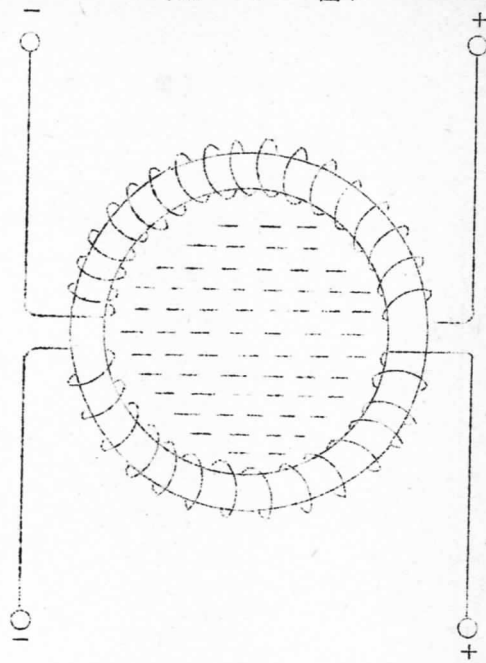
つをパラメータとした。実験からD、Hを一定とする時はLの減少とともに急激に収差が減少することがわかるから、Lを一定とする場合は十分にコアの外径を大きくする必要のあることがわかる。

2図は偏向角とそれに必要なアンペア・ターンをいろいろな形状のコアに対して測定したものである。所要アンペア・ターンは形の相似なものについては変らないから $H/D$ をパラメータとした。電子を任意の方向に偏向させねばならないが、3図のようにすると、各電流の調節で任意方向の磁場を作ること

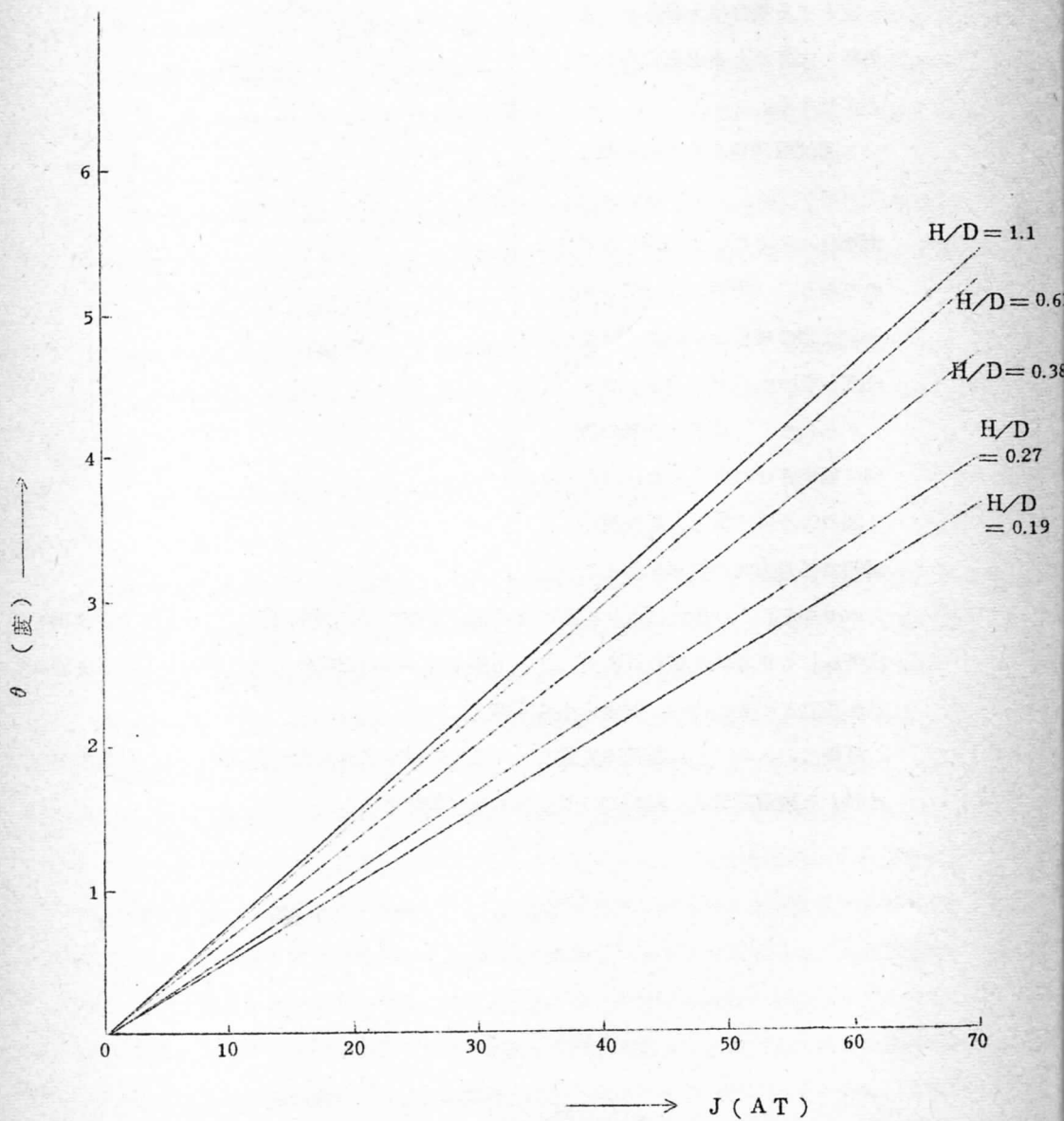
とができる。一般にはこれを行うために、2組の偏向極を直交しておくので合成磁場は著るしく正立性が損われるが、この方法では3図の磁場は1図の磁場をそのまま回転した正立な磁場を作り、収差を小さく抑えている。

最後に、トロイダル型偏向装置はコアの中の磁束密度が比較的近く、 $3^\circ$ 位迄の偏向に対する残留磁気は、試料面の偏位数 $10\mu$ 程度である。

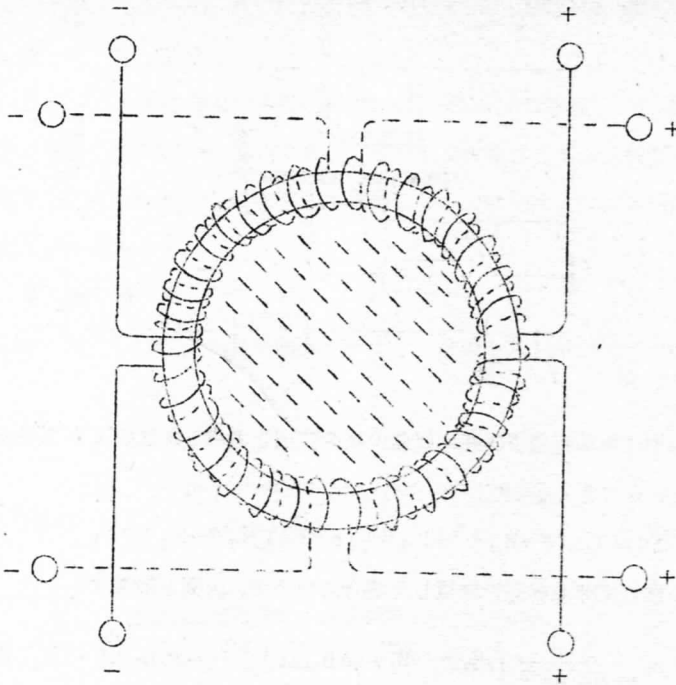
(第 1 図)



(第 2 圖)



( 第 3 図 )



A-3) 4極電子銃のビーム集束機構

松井重夫、川勝久三、金谷光一(電気試験所)

電子銃の集束機構は一般に球面収差、非点収差をもつた複雑なレンズとみなすことができ、電子銃より発生したビームはこれら収差による火面を生じる。

従つて長焦点電子銃ではこの火面を直接観察することにより、集束状態を実験的に正確に知ることができる。

第1図のように2個の制御電極を用い、フィラメントを両制御電極の間に置いた電子銃では、フィラメントより放射された電子ビームを抑制することなく、長焦点に集束することができ、電子流密度の高いビームを得る条件を見出すことができる。このような電極配置をもつた4極電子銃より発生したビームの火面は、従来の3極電子銃の場合の3次球面収差及び非点収差の火面とは異なり、第2図に示すようなコースチック図形が観察される。