１．実験目的

電界中に置かれた導体がもとからある電界に対しどのような影響を与えるかを直感的に理解する。それを理解する過程として、等電位線や電気力線を引き、そのそれぞれに対する理解も深める。また、同時にデジタルメーターにふれ、その操作になれることも目的にふくまれる。

２－１．実験原理

空気中に導体を置き、そこに電位をあたえると、静電界が生じる。このとき、そして、電界中の各点は位置によって決まる電位φと、電場Ｅをもつ、このとき、Ｅとφの関係は

Ｅ＝－gradφ

として表記される。このことからもわかるように、φはスカラー量であり、Eはベクトル量である。

　この電界Eの様子を知ることがこの実験の目的となるのだが、それを知るために、φ＝一定　の点の集合である、等電位面を調べることによってこれをおこなう。なぜ、等電位面からこの電界Eのことがわかるかというのは、定義からEはφの勾配を示しているから、φ＝一定つまり、勾配が存在しない等電位面からみれば、φとEは直行しているということがわかる。

　このことを利用して、等間隔の等電位面をとれば、それを貫く電気力線の向きは等電位面に垂直だということがわかる。またその強さは、勾配なので、等電位面の間隔に反比例していることこら創造することができ、電界の様子が大体つかめることになる。

　実際の電界は３次元であるが、この場合は単純化のためｚ軸方向に一様な電界がかかる（＝等電位面の間隔がどこでもおなじ）状態として扱っている。このため、等電位面はｚ軸方向に平行なこととなり、どこを切っても合同な形をえられるものとして考え、２次元へと単純化している。

２－２.実験方法

　１．導電紙をクッションをはさみペークライト紙の上に置いた。それから、電極板を対辺に置き四つのクリップでペークライト紙の上に固定した。電源と電極板を接続し、それぞれが＋極、－極になるように設置した。

　２．デジタルメーターのダイヤルをVに合わせ、COMの端子と電源のー極を、Vの端子には測定用プロープのつないだリード線をつないだ。そして、電源をほぼ１０ｖに設定し、プロープを＋極にあて、その値がだいたい１０Vになるようにかける電圧を調整した。

　３．１Vごとに等電位線をしらべていき、まずそれが電極板に対して平行になっているのを確かめた。

　４．導電紙の中央に適当な図形を鉛筆でかき、それを導電ペイントでなぞった。それにドライヤをあて、熱風で２～３分乾かした。

　５．電極間に１０Vの電圧をかけ、図形状の周囲、内側でほぼ電位が等しくなるのを確かめ、その値を記録した。

　６．電位が0.5V～9.5V間での等電位線を0.5Vごとに引いた。

　７．リード線をはずし、導電紙の紙の図形の部分をカッターナイフで切りとった。そして、それを１、２と同様にセットするが、このとき、電極板をさっきとは別の対辺につけるようにした。

　８．６と同様に0.5Vごとに等電位線を引いた。

　９．６、８でひいたそれぞれの等電位線をトレーシングペーパーにうつしとった。

以上がこの実験のあらましである。

３．実験結果

　トレーシングペーパーにうつしとった、最小的な様子はこのレポートの最後に添付する。以下にはその観察の結果を箇条書きで示す。

1. ９でひいた等電位線（６に対する電気力線）は図中の出っ張っているところで、密度が多くなっているようだ。ぎゃくに、滑らかに見えるところではそれほど多い本数は集まっていない。
2. ６の等電位線は図形に近づけば近づくほど、密度が大きくなっているようだ。そのため、大きく外側に出ているところでは、その周辺の等電位線の密度が大きくなっている。
3. ９で引いた等電位線は図形に引きこもられるように変化している。逆に６で引いた電気力線は図形を避けるようにして変化している。
4. ６でひいた等電位線は図形を横切るところでその密度は最低になっている。逆に９で引いたものは、どちらかといえば密度が高くなっているところがやや多くみられる。この場合（つまり、９のとき）に限れば密度がすくなっている点もみられる。

　次に、５でもって調べた値を書く。

4.900.01

として、と測定した数をもちいて、表せられる。

４．検討および考察

1. 電気力線と等電位線が直交する理由

　まず、平面上の任意のところの電位は場所の関数としてあらわせられる。つまり、

φ（ｘ、ｙ）

として表記されるということになる。

このとき、ある点(a,b)での電界は

E=ｇｒａｄφ

なので

Ｅ＝（

として表記されることになる。

　一方、（ａ，ｂ）を通る等電位線は

φ（ｘ、ｙ）＝ｋ　（ただしｋは任意実数ｋ）

として表記されるはずである。ここで必要なのはこの線で表せる直線の（ａ，ｂ）での接線であるからｙをｘの陰関数として表して（または、ｘをｙの陰関数として表す。この場合は下の計算はすべて逆になる）それを

ｙ＝ψ（ｘ）

として、表記する。このとき陰関数定理から



が成立しているはずである。このときの（ａ，ｂ）における接線のかたむきはこれを利用して

1. ｙ’）

として、表記されるはずである。これがＥと直交することを示せばいいのであるからこの二つの内積を取ってみればいいわけである。

　すると、この二つの内積が０になるのはあきらかであるから、よって、電気力線と等電位線が直交することが数学的に示せた。

1. 導体内が等電位の理由

　これは、空間上に孤立しておかれた金属をｚ軸方向から輪切りにした様子として考えれれる。このことから、電界が金属の周りに生じているので、（空間から電子が供給されたとしても同じだけでていかなければならないうえに、伝導性がいいために電子の移動速度が、周りに比べて以上に早いから（ｉ＝Ｅ/ｐ　ｐは金属は非常に少ない）与えられた電界により、＋、－のそれぞれの電荷を持つものがそれぞれにひきつけられ、与えられた電界を打ち消し合うような形でたまっていく。

　電界がこのようにして弱められていくにつれ、たまっていく単位時間あたりの量も小さくなっていくが、これが０になるのは両方向の電界が0になったときである。そして、こうなるまでの時間は十分に小さい。（そうしないと、Ｉが流れるときにｅがたまっていってしまうという不可解な現象が大量に起こってしまうことになる）

　このときをみると、両端の電界が０なのであるから電位差が０つまり、等電面である。ということになる。

３．上を利用したこと

　上の（２）の内容をりようすることによって、電界が極板に向かってとがっているところでやたら強くなっているということを説明することができると思う。

　上の考えでいくと、両端の間の電界を０にするようにはたらくので、とがっている、つまりそう働く面が小さいところは、そのとき生ずる電界を強く発せなければならない。そのため、その外側に大して発する電界も必然的に強くなり、大量に電気力線が出ることになる。

４．実験６と９が直交するわけ

　これは、それぞれが逆の役割を果たしているからである。６における実験の電気力線の生成の理由は上で示した通りである。こんどは９の場合に対して考えてみる。

　まず、これは導体の中に不導体を入れたということに値する。このとき、電流は仕方なくこれを避けるような方向で流れるはずである。電流の向きと電界の向きは（符号はともかくとして）同じであるから、この不導体を避けるようにして電界が生じるであろう。

　このことはつまり、これが６における等電位線に等しいことを示している。このことにより、この実験６、９は等電位線と電気力線の関係をまったく逆にしたものとして生じるということがわかった

５．感想

　大量に点を打ってそれをつないでいかなければならないため、非常に疲れそして大変な実験だった。この実験においては、トレーシングペーパーにうつしたり、太いマジックで線をなぞったりなど誤差を多く含んでしまいかねない操作を行う上に、必要なものは大体の概形をつかんだ図になるため、さほど大きな精度はいらないのだが、やたら細かくはかってやっていたので、無駄が多かったかなと感じるところが多い実験であった。

　スピードを上げるためにももっと効率よく作業を行うべきだろう。という点が反省として残った実験であった。

６．参考文献

　自然化学実験～物理編　慶応義塾大学理工部　レポートの書き方、電界の項

　物理学Ｂ＆Ｄ　　　　　慶応義塾大学理工部　ｐ１５、１６、３１

　数学Ａ１・Ｂ１　　　　慶応義塾大学理工部　ｐ４１～　陰関数およびその導関数の項