自然科学実験(物理)・電界

一年ニ組　学籍番号　60204719　奥平裕一郎

* 実験目的

一言で言ってしまえばこの実験は静電界の様子を直感的に理解するために行う。電界を目に見える形として表すため電気力線という概念を用いるわけだが、電気力線を書くためにもまず等電位面を書く必要がある。

等電位面とは字のとおり電位が等しい面である。ちなみに１クーロンの電荷を持つ物質に１ワットの仕事を加えたとき、一ボルトの電位差があると定義したとき、ある基準からの電位差を電位として表す。また電位φは一個の量によって定まるスカラー量であり位置の関数でもある。この電位というものはで表される。この式より一定の電界内の電位が分かり、また等電位面は電気力線と直交するということから、電界は電気力線を用いることにより視覚的に理解されうるのだ。

* 概要、理論的背景

一様な導電性を持つ媒質（抵抗体）に導体の電極を接続し、これらの電極に電位を与えると、媒質中には電位差と抵抗により決められた電流が流れる。このとき電極の伝導度を媒質に比べて充分に高くしておくと、電極は真空中の静電界の場合と同じようにそれぞれ等電位と見なすことができ、空間の各点はその位置によって定まる電位を持つ。さらにそれぞれの電極の形、配置、与える電位を静電界の場合と等しくしておくと、空間の各点の電位分布は静電界の場合と全く等しくなる。ただし媒質は非常に広範囲に広がり周囲における電流のゆがみは無視できるものとする。この場合には充分に内部抵抗の高い電圧計を用いれば、空間の各点の電位を正確に求めることができる。さらにここでは三次元的に等電位面を求めることは手数をかけるので、簡略化して二次元として考える。すなわち、ｚ軸方向には一様な電極は位置の時には等電位面はｚ軸に平行な曲面となるので、ｚ軸に垂直な平面で切って考えると、どこを切っても合同な曲線を得ることになる。したがってこの場合には１つの断面で考えると、等電位面と平面の交線すなわち等電位線が求まる。この場合には平面上に等電位線を求める問題となるので、実験も用意に行うことができる。本実験では導電紙を用いて一様な電界中に導体をおいた場合の等電位線と電気力線を求める。

* 実験手順
  1. 導電紙と導電クリームの抵抗を測定する。

まず導電子の切れ端に導電クリームをつけ、ドライヤーを使ってしっかりと乾かす。そしてデジタルメータをクリーム付着部と付着していないところにあてる。クリームをつけていないところは抵抗値がおよそ1KΩほどだが、クリームをつけた部分は1Ω程度の値を示す。もしクリームをつけた部分の抵抗値が1KΩを超えるほどの値が出たならばそれは不良品である。またクリームは固まりやすいので使用した筆は水につけておくこと。

* 1. 実験器具のセッティングを行う。

ベークライト版の上にクッションと導電紙を置き、２枚の電極板をクリップをもちいて導電紙の対辺に取り付ける。  
次に直流電源の出力端子と２つの電極をリード線で結ぶ。デジタルメーターはダイヤルをＶに合わせて測定端子のＣＯＭ．をリード線（黒）で電源の－側に、またＶ端子には測定用プローブ（赤）に取り付けたリード線に接続する。

* 1. 電源のスイッチを入れ出力電圧を約１０Ｖにする。

プローブを＋電極側に接触させて電源の電圧を変化させ、ボルトメーターの読みが、１０、００Ｖになるように注意深く調節する。±０、２Ｖ程度のエラーは差し支えない。

* 1. プローブを任意の場所に当て、電位がどのように分布しているのかを調べる。

プローブを紙の任意の場所に軽く当てるとボルトメーターはただちに－極を基準としたその点の電位を示す。３、００Ｖ，２、００Ｖなど、きりのよい電位になる点を紙面の縁上で探し、その点から出発してボルトメーターの読みが一定となる点を探しながら、プローブを動かし紙の上を横断させる。紙上に何もおかないで等電位線を調べると、これらはすべて電極に平行な直線になることが分かる。

* 1. 導電紙に図形を書く。

導電紙の中央やや上に図形を赤鉛筆で描き、その周囲を内側に１０㎜ぐらいの幅で導電クリームを塗る。そしてドライヤーで熱風を吹きかけ乾かす。充分に乾いたら両電極間の電位差が１０Ｖになるように調節する。このとき図形上の任意の点の電位がだいたい一定になるのを確かめる。ただしくれぐれも図形を塗りつぶしてはいけない。

* 1. 等電位線を書く

導電紙上をボルトメーターで０、５Ｖずつ調べ、プローブの先で印を付ける。そしてその印を通るようにホワイトマーカーで等電位線を導電紙上に直接書く。

* 1. ＋から－極へ、図形を横断する直線（直線Ａとする）と横断しない直線（直線Ｂとする）の二つを赤鉛筆で引く。この二つの直線上の電位を－極から１㎝ごとに測定する。ここで測定値は表にしてグラフにする。直線Ａに関しては図形が電極から何㎝の場所にあるのかも明記しておく。
  2. 電源を切り、電極につないであるリード線をはずす。

そして書いた図形を周辺の外側に沿って正確にカッター・ナイフで丁寧に切り抜く。

* 1. 紙を９０°回転させ、先ほどと同じように電極、リード線をつなぐ。

手順６と全く同じ方法で等電位線を書く。このとき１０、００Ｖに調節するのを忘れない。

* 1. 図形切り抜き前、切り抜き語の等電位線を重ねてトレーシングペーパーに書き写す。
* 結果

1. 手順７で行った直線Ａ，Ｂの電位の測定結果（表）

ただし図形は－極から８．００～１２．８㎝のところにある。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| －極からの距離 | 直線Ａ上の電位（Ｖ） | 直線Ｂ上の電位（Ｖ） |
| １㎝ | 0.65 | 0.57 |
| ２㎝ | 1.22 | 1.06 |
| ３㎝ | 1.75 | 1.55 |
| ４㎝ | 2.29 | 2.05 |
| ５㎝ | 2.85 | 2.53 |
| ６㎝ | 3.47 | 2.99 |
| ７㎝ | 4.16 | 3.50 |
| ８㎝ | 5.07 | 3.98 |
| ９㎝ | 5.07 | 4.48 |
| １０㎝ | 5.07 | 4.96 |
| １１㎝ | 5.08 | 5.44 |
| １２㎝ | 5.09 | 5.88 |
| １３㎝ | 5.41 | 6.34 |
| １４㎝ | 6.18 | 6.82 |
| １５㎝ | 6.87 | 7.28 |
| １６㎝ | 7.49 | 7.76 |
| １７㎝ | 8.02 | 8.24 |
| １８㎝ | 8.56 | 8.70 |
| １９㎝ | 9.10 | 9.18 |
| ２０㎝ | 9.65 | 9.64 |

1. 手順７で行った直線Ａ，Ｂの電位の測定結果（グラフ）

この結果を表したグラフはこのレポートの最後から２枚目に張り付けてある。

1. 等電位線を写したトレーシングペーパー

トレーシングペーパーはこのレポートの最後のページに張り付けてある。

* 考察

（１）導電クリーム上の任意の点での電位はなぜ等しいのか

そもそも導体とはその内部に自由電子という電子を保持している。これはその物質内を自由に動けるものと考えてよく、これが流れることにより電流も流れる。

この実験で導体板上には一定の電界（ここでは＋極から－極方向）がかかっている。これにより導体クリーム内部の自由電子は電荷が－のため＋電極側に引き寄せられる。よって見かけ上導体クリーム内部は＋電極側がーに、－電極側が＋の電荷に帯電したと考えられる。またこの自由電子の動きはいつまでも続くわけではなく、動いたことにより二次的に発生した電界（向きは導体板の電界とは逆向き）の大きさが導体板上の電界と等しくなったとき、電界はベクトルであることからこの二つの合成ベクトルを調べるとこの導体上は電界が０ということになる。先に示したように電位と電界はという関係式で結ばれているわけであり、電界が０ならば常に電位も一定ということになる。

よって導体クリーム上の任意の点での電位が等しいと考えられる。（この現象を静電誘導という）

（２）図形内部の電位はなぜ等しいのか

（１）により導電クリーム上には見かけ上電界がかかっていないことになる。またこのときに動いたことによりできる電荷の偏りはあくまで導体の表面上に起こる。よって中が導体で詰まっていようと空であろうと関係なく、その内部も合成電界は０になると考えられる。

（３）等電位面と電界はなぜ直交しているのか

電界と電位の式はで表されるが、これを各ｘｙｚ成分で表そうとすると、　　、　　

と表される。

上の式から分かるように電界とは電位の変化量とその方向によって決まっている。つまりｘ方向の電位の増減の大きさと向きは直接電界のｘ方向に関わってくるし、ｙ方向ならｙ方向、ｚ方向ならｚ方向といったようにそれぞれに対応して電界とは決まっている。また等電位面とは電位の等しいところをつないだ面、つまり電位の増減が０のところをつないだ面のため電界とは垂直に交わると考えられる。

（４）図形切り抜き前の等電位線の形状について

まず導体クリームを塗る前の等電位線の様子を調べてみたところ、ほぼ電極と平行だった。そして導体クリームを塗って等電位線を調べてみたところ、導体クリームに近づくにつれて等電位線のゆがみは大きくなっていき、導体クリームと電位がほぼ等しい５．０Ｖの等電位線以外は導電クリームから離れていっていた。これは（１）、（２）で示したように導体上では電位が等しいから図にするとそのような結果が得られる。またあえて電気力線で考えると導体クリームの表面には電荷の偏りができていたため－の電極の方には＋、＋の電極の方には－の電荷がたまっていたため、導体クリームに吸い込まれていくような形になるだろう。電気力線とは必ず＋の電荷から生まれ－の電荷に吸収されていくものだからだ。

（５）図形切り抜き後の等電位線の形状について

図形を切り抜く、ということはそこにはなんの電荷もなくなってしまうことである。つまり電気力線で考えれば何もないところから生まれることもまた吸い込まれていくこともあり得ないのである。また等電位面の間隔と電界の大きさは反比例の関係にあり、一部が切り取られたということにより距離が短くなり、必然的に電界も強くなる。よって切り取られたところの周辺はねじ曲がっていることに加え間隔も他より狭くなっていると考えられる。

（６）図形切り抜き前と後の等電位線の形状の差異について、また関係について

まとめとして、切り抜き前は図形を避けるように等電位線が並び、切り抜き後は図形に吸い込まれるように等電位線は並んだ。これは導体が存在するとその導体上では電位が等しいため等電位線の間隔は広がるからだ。切り抜いてしまうとその分を埋めるために等電位線の間隔は短くなった。よって図形の近くに行くほど等電位線は密集してきた。

また切り抜く前の状況で電気力線を考えてみると、もちろん等電位線とは垂直に交わり、また導体に吸い込まれていくと考えられる。ここで、切り抜き後は導電板を９０°回転しているので、結果として切り抜く前の等電位線とは垂直に交わっていることになる。

こうして考えると切り抜いた後の等電位線は切り抜く前の電気力線と同じものを表していると考えられる。

（７）表、グラフから言えること

直線Ａについて：だいたい８㎝までと１２㎝の後は同じくらいの傾きの直線になり、８㎝から１２．８㎝までは導体があるので一定の電位を示している。また８㎝の手前で傾きが全然違っているのは自分の線の書き方が間違っているのかもしれないが、自分はここの電位差が大きいのは実験中の誤差ではないか、と考えた。それは今までの点はあまりにもほぼ一直線上にあるのに対し、この部分だけは明らかにそれているからだ。

直線Ｂについて：こちらも一直線上に並んでいる。このことは導体など電界を曲げるものが無く、一定の電界を保ち続けるときに成り立つ式、（ｄは電界内での距離）が公式どおりに現れたものだと考えられる。

両方の直線から：途中導体があり、その間電界が無くなってしまう直線Ａの方が、電界の無い部分では直線Ｂよりも傾きが大きくなっている。またＡ，Ｂ共に導体の近く（１０㎝前後の部分）で測定値と予想値（グラフ上の直線から与えられる値）の間に一番大きな差が出ている。これは導体に近いＡだけでなく、より離れた位置にあるＢでも導体による電界の歪みが発生したのではないか、と考えられる。