# 実験目的 　一様でない電界に状態を等電位線により調べ、電界について直感的に理解する。

# 実験原理 　真空中に導体を配置して電界を与えると、静電界が生じて空間の任意の点はその位置によって決まる電位φ〔V〕を持つようになる。このときの電界と電位との関係は 　　　**E**＝－gradφ　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　 （式１） である。 　本実験では電界の様子を直感的に理解することが目的であるが、そのためには等電位線をひくことが有用である。等電位線は電位が一定の点の集合で、一般に曲線になる。（式１）からもわかるように、等電位線に沿った電界線分は存在し得ないので、等電位線は電界の様子を示す電気力線と直交する。 　空気中に電極を置いて空間の各点の電位を測定することは容易ではないが、一様な導電性を持つ媒質の中に導体の電極を配置し、これらの電極に電位を与えると、媒質中には電流が流れる。このとき、電極の伝導度を媒質に比べて十分に高くしておくと、電極は真空中の静電界の場合と同様にそれぞれ等電位とみなすことができ、空間の各点はその位置によって定まる電位を持つことは静電界の場合と同様である。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けば、空間の各点の電位分布は静電界の場合と全く同等になる。ただし、媒質は十分に広い範囲に広がり、周辺における電流の歪みは無視できるものとする。この場合、十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十分に正確に求めることができる。

# 実験方法

## 導電紙をベークライト板の上に置いて２枚の導電板を対辺（ABおよびCD）に取り付け、図１のように実験系を組み立てた。電極と導電紙との接触を良くするためにベークライト版と導電紙の間にクッションをはさみ、クリップでそれぞれ４ヶ所しっかりと押さえた。このとき、ABは＋電極、BCは－電極である。デジタルメーターはダイヤルをVにあわせ、COM端子をGND（電源の－端子）と接続した。 電界実験図 　　　　　　　　　　　　　　　　　図１

## 電源のスイッチを入れて出力電圧を１０Vに設定した。

## プローブを導電紙に当てて、等電位線が電極に平行な直線になり、導電紙は有限な大きさであるが横幅が無限な一様電界の一部の挙動を導電紙上に発見できることを確認した。

## 導電紙上の中央に縦横それぞれ導電紙全体の1/3程度の大きさに幅10mmくらいの図形を導電ペイントで描き、ドライヤーの熱風を利用して乾かした。電極板間に１０Vの電圧をかけ、図形上で同じ電位を示すことを確認した。

## 実験１

## 再び図１のように実験系を組み立て、極板間に１０Vの電圧をかけ、①導電紙の一番上、②描いた図形の一番上、③描いた図形の内部（とがった部分を通る）の三ヶ所で左端から①は４cmおき②および③は１cmおきに電位を測定した。

## さらに１Vおきの等電位線を導電紙上に書き込んだ。

## 実験２

## 再び電源を切り、リード線を外した後、書いた図形を外側の線に沿って正確にカッターナイフを使って切り抜いた。

## 再び、今度は導電紙を９０°回転させて実験系（図１）を組み立て、電源を入れ、（６）の要領で等電位線を書き込んだ。

## 導電紙に描かれた図形をトレーシングペーパーに書き写した（別途添付）。

# 実験結果

## 実験１

### 表１　導電紙の一番上での左端からの距離ｄと電位φの関係

### グラフは表１から表３までの結果をまとめて図２として別載。

### 表２　図形の一番上の左端からの距離ｄと電位φの関係

### 

### 表３　図形内部での左端からの距離ｄと電位φの関係

### 

### 気づいたこと ・等電位線は図形を避けるように描かれた。

## 実験２

### 気づいたこと ・等電位線はくりぬいた図形に集まるように描かれ、特に図形のとがった部分に集まるように描かれた。 ・実験２で描かれた等電位線は、実験１で描かれた等電位線と互いに直交しており、実験１の等電位線は実験２での磁界中での電気力線を示すものとなった。

# 考察

## 導電ペイント上および内部が等電位になる理由 　まず、導電ペイント上の電位が任意の点でほぼ等しくなる理由を考える。前提として導電ペイントは導電性粒子の銅やニッケルを含む良導体であり、導電ペイントで描かれた図形は導体とみなせる。電界中に導体を置くと、導体中の自由電子が電荷と反対の方向に移動する静電誘導がおこり、導体内に外部電界と反対向きの電界をつくる。静電誘導は導体内の電界が外部に電界と大きさが等しくなったときに止まるので、導体内で外部電界を静電誘導による電界が打ち消しあって、導体内部は電界がなくなる。このため、導体内部（ここでは導電ペイント上）は任意の点で等電位となる。 　次に導体ペイントの内部も等電位になる理由を考える。導体が静電誘導を起こしている状態を静電状態というが、静電状態の導体の表面は等電位になっているので、電気力線は表面に対して垂直に伸びており、導体内部（ここでは図形の内部）には電気力線は入りこまず、電界は生じない。これを一般に静電遮蔽という。

## 導電ペイントで描いた図形上の任意の点での電位に微妙な誤差の生まれる理由 　先に導体内部では等電位であると書いたが、実際の実験では微妙な誤差が含まれていた。導体ペイントがよく混ざってなかったということも考えられなくないが、よくかき混ぜたはずなのでその他の理由も考えてみる。 　電圧をかけた導電紙には電流が流れており、測定場所により異なった値を示すことからも導電紙が抵抗を持っていることがわかる。導体内部での電位の微小差は導体の抵抗値に由来するものとも考えられなくない。事実、実験結果（表３）では微小であるが、－電極側において電位が低くなっている。

## 電界の大きい場所や小さい場所について 　二次元で電界Eと電圧Vの関係は、V=Edであるから、V∝E、つまり本末転倒であるが、電位差の大きいところには大きな電界が存在することがわかる。これをグラフで読み取る場合、電圧差が大きいことは距離に対する電圧の変化が大きいところ、言い換えると図２において傾きの大きいところで電界が大きい。同様のことをトレーシングペーパーの等電位線の様子から探るときは、等電位線の間隔が狭くなっているところがこれに対応している。 　トレーシングペーパーをみると、図形を描いた周りで等電位線の間隔が狭くなっている。これは、図形がなかったときの状態から考えればわかりやすい。もともと等間隔に並んでいた等電位線の５Vから６Vの間に、強制的に等電位にされた導体がおかれ、周囲の等電位線が追いやられたと考えれば、導電紙の両端にかけた電圧は一定なので、図形の周りで問う電位線が狭くなっている理由は明らかである。このため、図形周辺では大きな電界が存在したのである。

## 実験１と実験２の等電位線が直交する理由について 　実験１では図形に向かって電流が流れ込んでおり、電流が流れ込む点について十分に微視的に考えれば、垂直に入射しているとしか考えられないので、電流は図形に対して垂直に入射している。ここで電界の向きと電流の流れの向きは一致し、電気力線が電界の様子をあらわしたものであるのを考えると、電気力線は図形に対して垂直に入射している。 　一方、実験２で図形を切り取ってしまうと、図形のあった部分は真空とみなせ、抵抗値は無限大であるから、電流は図形の部分に達すると導電紙と真空の部分との境界上を沿うように流れるものと考えられる。したがって導電紙と真空の部分との境界上で電位は変化していく。ここでも微視的な思考をすれば、等電位線が図形に対して垂直に入射することは容易に理解できる。 　以上のことから、実験１で電気力線が、実験２では等電位線が図形に垂直に入射することがわかった。このことを拡張して考えて、実験１における電気力線と実験２における等電位線が同様の論法でうまく説明できたことより、両者は同様の挙動を示すとすれば、実験１と実験２の等電位線が直交することの説明がつく。

## 誤差について 　今回の実験では、その目的と結果から考えて、特に問題となるような誤差は確認されなかった。

# 参考文献 　実験書

# 実験を終えて 　この実験で、知識だけでしっていた電界についての知識を直感的に体感し、論理的な考察をすることができてよかった。また、今までの実験に比べて失敗しにくい実験だったと思うので、１年の締めくくりとしては失敗して終わるよりよかったと思う。