1. 実験目的

一様な電界中に導体を置いた場合の等電位線と電気力線を導電紙に描くことによって、静電界の様子を直感的に理解する。

1. 実験原理および方法

* 原理

空気中に導体を配置し、これらにある電位を与えると静電界が生じ、空間の点はその位置によって定まる電位Φを持つ。電界EとΦとの関係は

E=－gradΦ

または

Ex=－∂Φ/∂x, Ey=－∂Φ/∂y, Ez=－∂Φ/∂z

で与えられる。

しかし、これでは電界Eが理解しにくいので、電界Eを直感的に理解するために等電位面を描く。等電位面とは、Φ＝（一定）の点の集合であり、一般に曲面になる。Φの定義からわかるように、Eは等電位面に沿った方向に成分を持たないから電気力線に垂直になる。いま、Φの値を一定の間隔で取ってそれぞれの値に対する等電位面を描くと、上式より等電位面の間隔と電界の大きさが反比例することがわかる。電気力線は等電位面を垂直に貫いて走るから、この等電位面の形状により、静電界の様子を直感的に理解することができる。

本実験では、3次元的に等電位面を求めることは困難なので、簡略化し、2次元の問題として取り扱った。すなわち、z方向に一様な電極配置のときには等電位面は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面を得られることになる。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。よって、本実験では導電紙を用いて一様な電界中に導体を置いた場合の等電位線と電気力線を求めた。

1. 方法

電源

－＋

導電紙

ﾃﾞｼﾞﾀﾙﾏﾙﾁﾒｰﾀｰ

図1

comV

1. 図1のように導電紙をベークライト板の上に置いて2枚の電極板を対辺につける。ABに－電極、CDに＋電極をつないだ。電極と導電紙板の接触をよくするために、ベークライト板と導電紙の間にクッションを挟み、さらにクリップで固定した。
2. 直流電源の出力端子と2つの電極をリード線で結んだ。デジタルメーターのダイヤルをVに合わせ測定端子のCOM.をリード線（黒）で電源の－側に、またV端子には測定用のプローブ（赤）に取り付けたリード線に接続した。
3. 電源のスイッチを入れ、プローブを＋電極側に接触させてボルトメーターの読みが10.00Vを示すように調節した。
4. プローブを導電紙の任意の場所に当てることによって、ボルトメーターが－極を基準とするその点の電位を示すかどうかを確かめた。
5. 導電紙の中央に、図2のような図形を赤鉛筆で描きその上に１０㎜ぐらいの幅でよく混ぜた導伝ペイントを塗った。ドライヤーの熱風を用いてペイントをよく乾燥させてから図形上の任意の点の電位がだいたい同じであることを確かめた。（4.98V～5.01Vの間であった。）

図2

（直線と曲線が混じっているほうが面白いデータが得られると思えたのでこの図形を選んだ。）

1. 再び先ほどと同じやり方で、ボルトメーターの読みを10.00Vになるように調節した後、電位が1.00V、2.00V、…、4.00V、4.50V、5.00V、5.50V、6.00V、7.00V、…となる等電位線をトレーシングペーパーの上に書いた。（等電位線の曲がり方が激しいと思われる点の電位を密に測った。）
2. 電源を切った後、書いた図形を導伝ペイントの外側に沿って切り取った。再び導電紙を下敷きの上にのせ、今度はAC、BDの対辺に①の場合と同じように取り付けた。
3. ⑥と同じ要領で⑥と同じトレーシングペーパーに等電位線を描いた。（次ページにトレーシングペーパーを添付。）
4. 実験結果

(1) ⑥と⑧で描いた等電位面

青線；⑥で描いた等電位線 黒線；⑧で描いた後の等電位線

〈実験操作上で注意したこと〉

* 導電紙の導電性にできるだけ影響を与えないように、等電位線を描くときに直接導電紙を触らないようにした。
* すこしでも導電性をよくするために導伝ペイントはよくかき混ぜてむらが出ないようにしてから使用した。
* 面白い実験結果を得るために、図形は直線と曲線の混じったものを描いた。
* 等電位線の曲がり方が激しいと思われた部分では密に電位の測定を行った。

(2) －電極からの距離とその点での電位との関係

1. 検討および考察

〈本実験の各段階における検討〉

* 導電紙に何も描いていない（導体がない）場合

導電紙にプローブを軽く当てると、－電極側から＋電極側に向かって１V、２V、…と等しい間隔で電位が変化し、等電位線はすべて電極に平行な直線になった。これは、電流が導電紙の上を一様に電極に垂直に流れていることを示している。

* 導電紙に図形を描いた（導体を置いた）場合

等電位線は導伝ペイントで描いた図形に近づくほど密になり、図形を避けるような形となった。これは導伝ペイント内部の自由電子が電界と反対向きの力を受け、図のように静電誘導をして導体表面に正電荷・負電荷が現れたためである。これによって外部の電界は影響を受け、等電位線に歪みが出た。

また、導体内部には正電荷から負電荷へ向かう向きに電界が生じている。これは外部の電界と反対向きであるので外部の電界を打ち消し、その結果、導体内部の電界は0となる。これが導体全体が等電位になっている理由である。

* 導電紙に描いた図形を切り抜いた場合

電極を付け替えた後に先ほどと同じように等電位線を描くと、⑥で描いた等電位線と今描いた等電位線がすべての交点において垂直に交わることがわかる。これから今描いた等電位線が⑥の等電位線の電気力線となっているのではないかと容易に予測できる。ではなぜ等電位線と電気力線は直行するのだろうか。

〈等電位線と電気力線が直行する理由〉

電気力線と直角な方向には静電気力の成分がないので、その方向に試験電荷を移動しても静電気力のする仕事は0である。したがって、電気力線と直角な方向の電位は等しいことになるので等電位面と電気力線は常に直行する。

もう少し詳しく検討してみることにする。電位がVで一定な等電位面上の一点Pから、この等電位面に沿って他の点Qまで試験電荷（単位正電荷）を動かすとき、電場Eのなす仕事Wは

よって等電位面に沿って電荷を動かすのには仕事を要しない。

一般に、電場の強さEの向きと大きさが一様でない電場の中を曲線Cす仕事dwはdsとEのなす角をθとし、Ａ点の電位ＶＡよりＢ点の電位ＶＢがdVだけ大きいとすると、

dw<Eds cosθ=ＶB－ＶA=dＶ

等電位面に沿って微小距離dsを考えると、dV=0

であるから上式よりcosθ=0であるから、電場Ｅ

は等電位面に垂直である。電界ベクトルを接線と

するような曲線が電気力線であるから、よって等

電位線は電気力線と直行する。

〈なぜ図形の切り口に等電位線は垂直となったのか〉

トレーシングペーパーを注意深く見てみると、等電位線は図形の切り口にも垂直になっていることに気がついた。そこで理由を検討してみた。

電気力線は切り抜いた部分を通り抜けることができないのでその部分を避けることになる。次で述べるように電気力線は途中で切れたり折れ曲がったりしないので、＋極から出て、途中切り抜いた図形に平行に進み、そして－極へと入る。等電位線と電気力線が直行することから考えると、等電位線が切り口に垂直となることが分かる。

〈電気力線の性質〉

* 電気力線は交わったり折れ曲がったり枝分かれしたりしない。なぜなら交差したり折れ曲がったり枝分かれしていると、その点で接線が2本引けることになり電場内の１点では電場は1つに定まっていることと矛盾するからだ。
* 電気力線はその方向に縮まろうとする力を持ち、隣り合う電気力線は互いに押し合う反発力を持つ。よって、異種の電荷間に働く静電気力の引力は、電気力線がその向きに縮もうとする性質によるものであり、また同種の電荷間に働く斥力は隣り合う電気力線どうしが反発する性質によるものだ。

1. 実験後の感想

等電位線を書き移すだけという単純な実験で初めレポートを書くのに戸惑ったが、注意深く実験結果を見ていくことでいろいろ考察することができたと思う。次の実験からは、もう少し集中して実験をしてその実験の中で疑問を見つけていけたらいいと思う。