

# 物理 授業プリント⑨

## <電磁気学 第1章 電界と電位>

○静電気

静電気（移動しない電気）は、\_\_\_\_\_ などによって生じる。

- ・物体が電気を持つ = \_\_\_\_\_ する
- ・物体が持つ電気 = \_\_\_\_\_
- ・電荷の単位：C

物体 A と B が接触して電荷が移動するとき、

物体 A の電荷の増加量 \_\_\_\_\_ 物体 B の電荷の減少量

という関係が成り立つ。

電荷の移動は、\_\_\_\_\_ の移動によって起こる。

(練習) 同じ材質、同じ大きさの金属球 A、B があり、A は  $+8.0 \times 10^{-7}$  C、B は  $-1.6 \times 10^{-7}$  C に帯電している。A と B を接触させた後、再び離すと、それぞれの金属球に帯電する電気量は何 C になるか。

○導体・不導体・半導体

- ・電気をよく通すもの = \_\_\_\_\_ (代表は金属)  

\_\_\_\_\_ が電気を通す
- ・電気をほとんど通さないもの = \_\_\_\_\_  

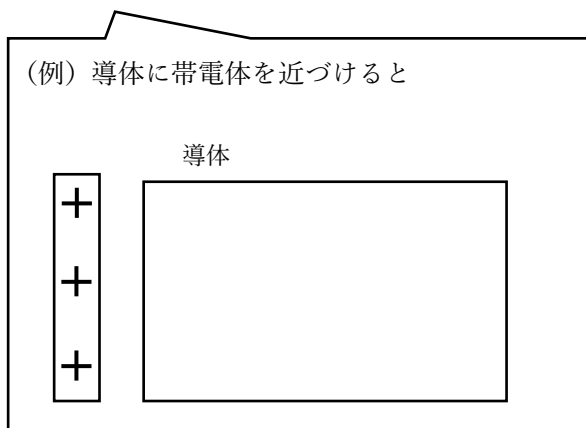
\_\_\_\_\_ がない
- ・電気の通しやすさが導体と不導体の中間程度のもの = \_\_\_\_\_

○静電誘導

静電誘導 = 外部の電荷の影響で、物体に電荷の分布の偏りが生じること

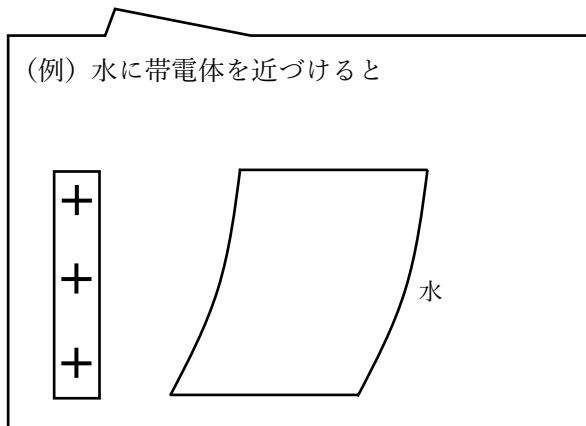
- ・導体の場合： \_\_\_\_\_ の移動によって静電誘導が起こる。

(例) 導体に帯電体を近づけると



- ・不導体の場合：不導体の静電誘導は、特に \_\_\_\_\_ と呼ばれる。

(例) 水に帯電体を近づけると



○電気力（静電気力）

距離  $r$  (m) 離れた2つの点電荷 ( $q_1$  (C) と  $q_2$  (C) ) が及ぼしあう  
電気力の大きさ  $F$  (N) は

$$F = \underline{\hspace{2cm}}$$

と求められる。

電気力の向きは、

+と+ : 斥力（反発力）

-と- : 斥力（反発力）

+と- : 引力

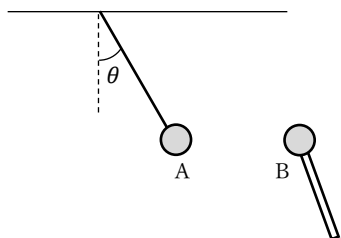
と求められる。

(練習) 真空中に、電気量がそれぞれ  $2.0 \times 10^{-7}$  C、 $-4.0 \times 10^{-7}$  C の点電荷が、0.030 m  
だけ離れて置かれている。クーロンの法則の比例定数を  $9.0 \times 10^9$  N·m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup> と  
して、これらが及ぼしあう電気力の大きさを求めよ。

(練習) 水素原子において、原子核（陽子）の電気量は $+1.6 \times 10^{-19}$  C、電子の電気量は $-1.6 \times 10^{-19}$  Cであり、原子核（陽子）の質量は $1.67 \times 10^{-27}$  kg、電子の質量は $9.1 \times 10^{-31}$  kgである。原子核（陽子）と電子の間にはたらく電気力の大きさは、両者の間にはたらく万有引力の大きさの何倍か。ただし、クーロンの法則の比例定数を $9.0 \times 10^9$  N $\cdot$ m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>、万有引力定数を $6.7 \times 10^{-11}$  N $\cdot$ m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>とする。

(練習) 長さ 6.0 cm の 2 本の軽い糸の一端を天井に固定し、それぞれの下端に質量 $1.0 \times 10^{-4}$  kg の小球をつるす。2 つの小球に等しい正の電気量  $q$  (C) を与えたところ、小球は反発しあい、2 本の糸が  $90^\circ$  の角度を保って静止した。重力加速度の大きさを  $9.8$  m/s<sup>2</sup>、クーロンの法則の比例定数を  $9.0 \times 10^9$  N $\cdot$ m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup> として、 $q$  を求めよ。

(練習) 図のような電気量  $q$  の正電荷をもつ質量  $m$  の小球 A を糸で天井からつるし、水平方向から電気量  $-Q$  の負電荷をもつ小球 B を近づけたところ、糸が鉛直方向と角  $\theta$  をなしてつりあった。重力加速度の大きさを  $g$ 、クーロンの法則の比例定数を  $k$  として、AB 間の距離を求めよ。



○電界（電場）

電気力についての2つの考え方

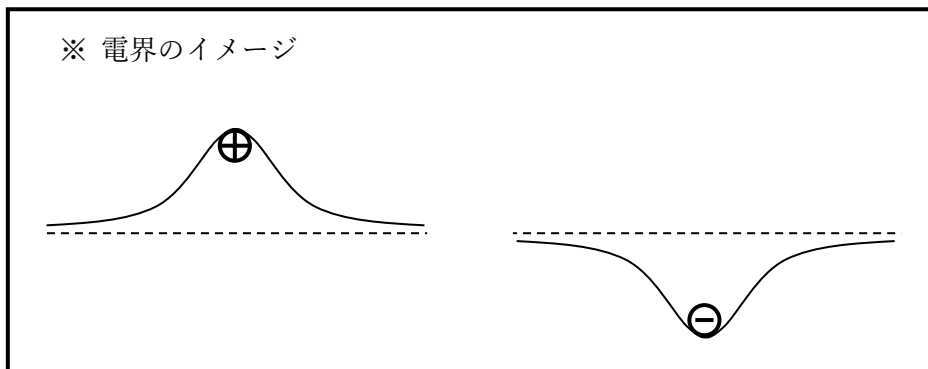
- ・遠隔作用の考え方：接していない2つの物体どうしが力を及ぼしあう。

魔力のようなものと考えられていた。  
(万有引力なども同じ。)

- ・近接作用の考え方：まず1つの電荷がその周りの空間を\_\_\_\_\_に変え、  
もう1つの電荷はその\_\_\_\_\_から力を受ける。

電界 = 電気力がはたらく空間

※ 電界のイメージ



電界には、強さと向きがある。

- ・電界の強さ (N/C)：そこに電荷 1 C が置かれたときに受ける力の大きさ
- ・電界の向き :そこに正電荷が置かれたときに受ける力の向き



$E$  (N/C) の電界に置かれた  $q$  (C) の電荷が受ける力の大きさ  $F$  (N) は

$$F = \underline{\hspace{2cm}}$$

となる。

(練習) ある場所に、 $-2.0 \times 10^{-10}$  C の点電荷を置いたところ、右向きに  $8.0 \times 10^{-8}$  N の電気力を受けた。この場所の電界の向きと強さを求めよ。

○点電荷の周りの電界

$q$ (C) の点電荷から距離  $r$ (m) 離れた点の電界の強さ  $E$ (N/C) は

$$E = \underline{\hspace{2cm}}$$

となる。

※  $q_1$  (C) の点電荷から距離  $r$  (m) 離れた  $q_2$  (C) の点電荷が受ける電気力の大きさ  $F$  (N) を

・  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$  で求める： \_\_\_\_\_ 作用の考え方

・  $\left( \begin{array}{l} E = k \frac{q_1}{r^2} \\ F = q_2 E \end{array} \right)$  で求める： \_\_\_\_\_ 作用の考え方

(練習) 電気量  $5.0 \times 10^{-8}$  C の点電荷から 0.30 m だけ離れた点での電界の強さを求めよ。ただし、クーロンの法則の比例定数を  $9.0 \times 10^9$  N・m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup> とする。



○電界の重ね合わせ

複数の電荷が作る電界を重ね合わせるときには、電界は\_\_\_\_\_  
である（向きがある）ことに注意する必要がある。

(練習)  $xy$  平面上の点  $A(a, 0)$  に電気量  $q$  の正の点電荷を固定し、点  $B(-a, 0)$  に電気量  $-q$  の負の点電荷を固定した。点  $C(0, a)$  における電界の向きと強さを求めよ。ただし、クーロンの法則の比例定数を  $k$  とする。

(練習) 直線上で距離  $a$  だけ離れた 2 点  $A, B$  に正の点電荷を固定する。点  $A$  の点電荷の電気量を  $q$ 、点  $B$  の点電荷の電気量を  $4q$  とする。線分  $AB$  上で電界が 0 になる点は、点  $A$  からどれだけ離れたところか。

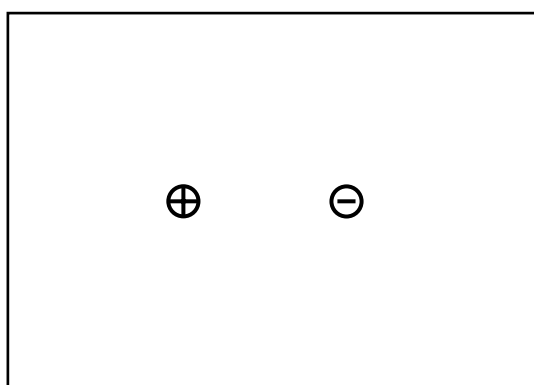
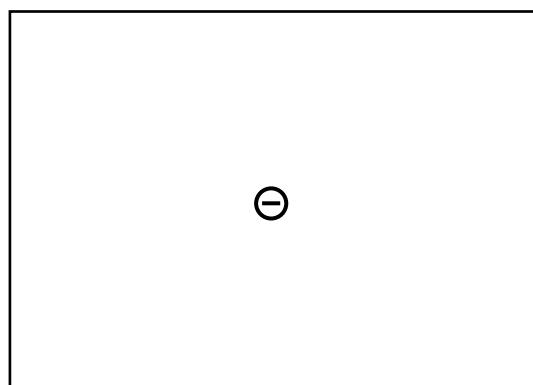
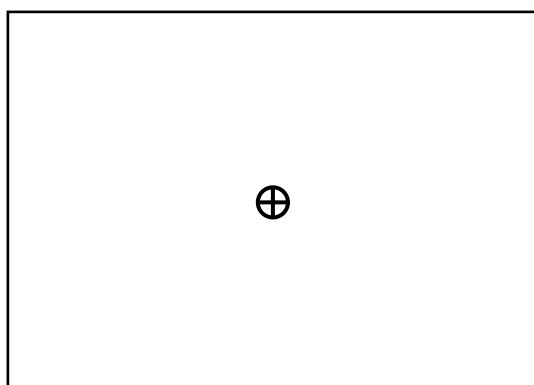
○電気力線

電気力線：電界の様子を表す

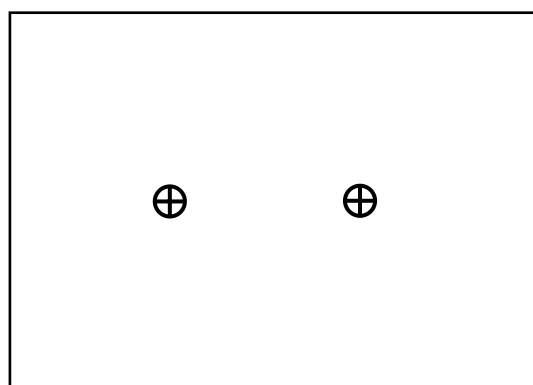
- ・電気力線の向き = 電界の向き
- ・電気力線の密度 = 電界の \_\_\_\_\_

電界の強さが  $E$  (N/C) の場所で、  
電界に垂直な面  $1 \text{ m}^2$  を \_\_\_\_\_ 本の電気力線が通るように描く。

※ 電気力線の様子



(2つの電気量の絶対値が等しい場合)



(2つの電気量が等しい場合)

○電気力線の本数

電気量  $Q$  の正の点電荷から出る電気力線は \_\_\_\_\_ 本となる。

点電荷を中心とする半径  $r$  の球面を考える。

・球面上の電界の強さ = \_\_\_\_\_

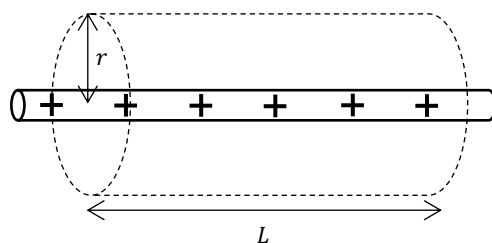
・球面の面積 = \_\_\_\_\_

↓

球面を貫く電気力線の本数 = \_\_\_\_\_ 本

(練習) 真空中で、十分に細く無限に長い棒に、単位長さあたり  $Q$  の正電荷が均等に帯電している。真空中でのクーロンの法則の比例定数を  $k_0$  とする。

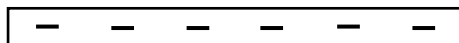
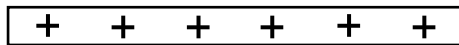
- (1) 図のように、長さ  $L$ 、半径  $r$  の円筒を考える。円筒の側面を貫く電気力線の本数を求めよ。
- (2) 電気力線の密度が電界の強さに等しいことから、円筒の側面上での電界の強さを求めよ。



○一様な電界

(例) 次のような2枚の金属板の間の電界の向きと強さは、一様になる。

⇒ 電気力線は、互いに \_\_\_\_\_ で \_\_\_\_\_ となる。



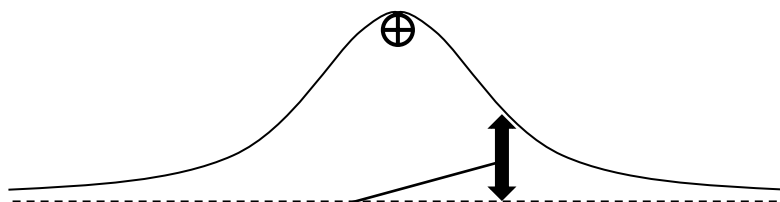
2つの電気量の絶対値は等しい。

○電位

電界の中にある電荷は、\_\_\_\_\_ による位置エネルギーを持っている。

… 電界中のある点に  $+1\text{ C}$  の電荷があるとき、その電荷が  $V\text{ (J)}$  の位置エネルギーを持つとする。

→  $V$  をその点の \_\_\_\_\_ という。



電位  $V =$  この位置の \_\_\_\_\_

置かれた電荷  $+q$  が無限遠まで移動する間に  
電気力がする仕事

$=$  \_\_\_\_\_

これが、電荷  $+q$  が持つ電気力による位置エネルギー

※ 電位の単位 = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

○点電荷の周りの電位

電気量  $Q$  (C) の点電荷から距離  $r$  (m) の位置の電位  $V$  (V) は

$$V = \underline{\hspace{2cm}}$$

となる。



電気量  $q$  (C) の電荷が、 $Q$  (C) の点電荷から距離  $r$  (m) の位置に置かれているとき、 $q$  (C) の電荷が持つ電気力による位置エネルギー  $U$  (J) は

$$U = \underline{\hspace{2cm}}$$

となる。

○電位差

2点間の電位の差 = 電位差 =  $\underline{\hspace{2cm}}$

電気量  $q$  (C) の電荷を、電位  $V_A$  (V) の点から  $V_B$  (V) の点まで移動させるのに必要な仕事  $W$  (J) は

$$W = \underline{\hspace{2cm}}$$

となる。



電気量  $q$  (C) の電荷を、電位差  $V$  (V) に逆らって移動させるのに必要な仕事  $W$  (J) は

$$W = \underline{\hspace{2cm}}$$

と求められる。

(練習) 電気量  $1.5 \times 10^{-9}$  C の点電荷を、電位が 10 V の点から 20 V の点まで外力を加えてゆっくりと動かしたとき、外力がした仕事を求めよ。

(練習)  $xy$  平面上の点 A ( $a$ 、 $0$ ) に電気量  $+Q$  の正の点電荷、点 B ( $-a$ 、 $0$ ) に電気量  $-Q$  の負の点電荷を固定した。クーロンの法則の比例定数を  $k$  とする。

(1) 点 C ( $0$ 、 $a$ ) および点 D ( $a$ 、 $\frac{3}{2}a$ ) の電位をそれぞれ求めよ。

電位はベクトルではないので、数値だけ足しあわせればよい。

(2) 電気量  $q$  の点電荷を C から D までゆっくりと動かすのに必要な仕事を求めよ。

○一様な電界と電位

$E$  (N/C) の一様な電界中を、電気量  $q$  の電荷が距離  $d$  (m) だけ離れている点 A から B まで動くとき、電気力がする仕事  $W$  (J) は

$$W = \underline{\hspace{2cm}}$$

となる。



点 A と B との電位差  $V$  (V) は

$$V = \underline{\hspace{2cm}}$$

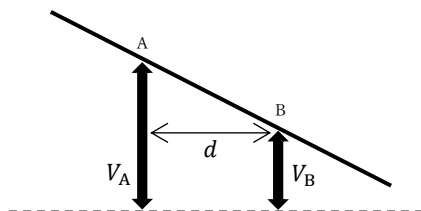
であることが分かる。



$$E = \underline{\hspace{2cm}}$$

なので、電界の強さは N/C だけでなく  $\underline{\hspace{2cm}}$  という単位を使って表すこともできる。

※ 一様な電界のイメージ



電界の強さ  $E = \text{傾き} = \underline{\hspace{2cm}}$



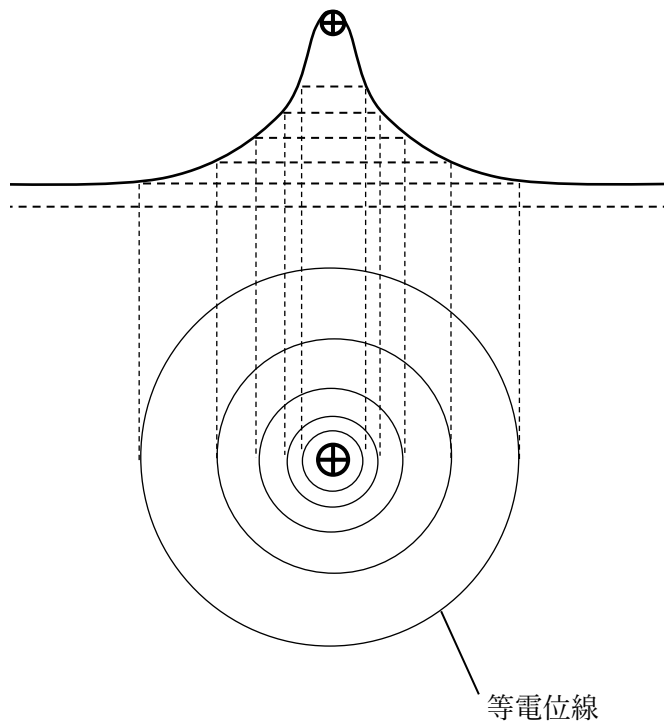
(練習) 一様な電界中で  $2.0\text{ cm}$  だけ離れた 2 点間の電位差が  $500\text{ V}$  であるとき、この電界の強さを求めよ。

(練習) 電界の強さの単位  $\text{N/C}$  が  $\text{V/m}$  と等しいことを示せ。

○等電位面（等電位線）

等電位面 = 電位の等しい点をつないだ面（平面上では、等電位線）

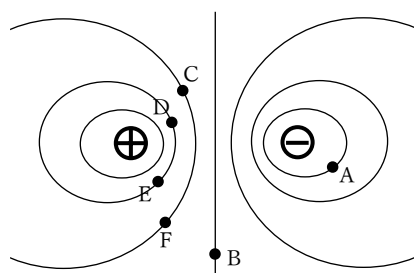
（例）正の点電荷の周りの等電位線



- ・電界が強いところほど、等電位線は \_\_\_\_\_ になる。
- ・電気力線は、等電位線に \_\_\_\_\_ する。

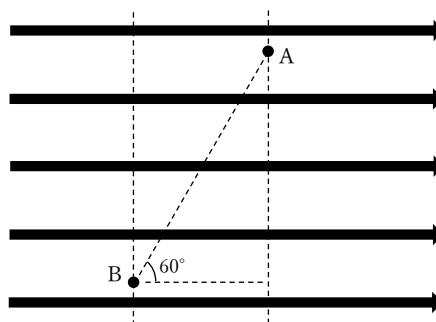
(練習) 図は、2つの点電荷が作る等電位線の様子を示す。点Bを通る等電位線が電位0Vであり、1.0Vごとの等電位線が描かれている。いま、 $2.0 \times 10^{-8}$  Cの電荷を、図のA→B→C→D→E→Fの順にゆっくりと移動させた。

- (1) 最も大きな仕事を要する区間はどこか (A→B、B→C、C→D、D→E、E→Fの中から1つ選べ)。
- (2) AからFまで移動させるのに必要な仕事を求めよ。



(練習) 図のような一様な電界中で、点Aから0.30 mだけ離れた点Bまで電気量  $2.0 \times 10^{-10}$  Cの電荷を運ぶのに必要な仕事が  $2.4 \times 10^{-8}$  Jであった。

- (1) 点Aの電位を0Vとして、点Bの電位を求めよ。
- (2) この一様な電界の強さを求めよ。



○電界中での荷電粒子の運動

荷電粒子が電界中で電気力を受けて運動するとき、力学的エネルギーが保存される。

電気力は \_\_\_\_\_ だから。

(例) 質量  $m$ 、電気量  $q$  の電荷が、点 A (電位  $V_A$ ) を速さ  $v_A$  で通過し、点 B (電位  $V_B$ ) へ達したときの速さを  $v_B$  とすると、

$$\underline{\hspace{10em}} = \underline{\hspace{10em}}$$

という関係が成り立つ。

(練習) 電界中の電位  $8.0\text{ V}$  の点 A に、電気量が  $1.6 \times 10^{-7}\text{ C}$  で質量が  $3.0 \times 10^{-6}\text{ kg}$  の荷電粒子を静かに置いたところ、粒子は動きはじめ、電位  $2.0\text{ V}$  の点 B を通過した。点 B を通過するときの荷電粒子の速さを求めよ。

○導体に生じる静電誘導の詳細

静電誘導が起こっている導体の内部は、次のようになっている。

- ・導体内部は \_\_\_\_\_ となり、電界は \_\_\_\_\_ となる。

電界が0でなければ、 \_\_\_\_\_ がさらに移動するはずである。

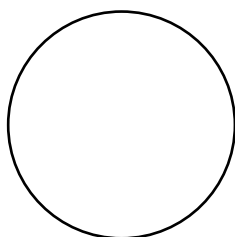
- ・電荷は \_\_\_\_\_ にだけ分布する。

内部に電荷があったとすると、そこから \_\_\_\_\_ が出て電界が0でなくなってしまう。

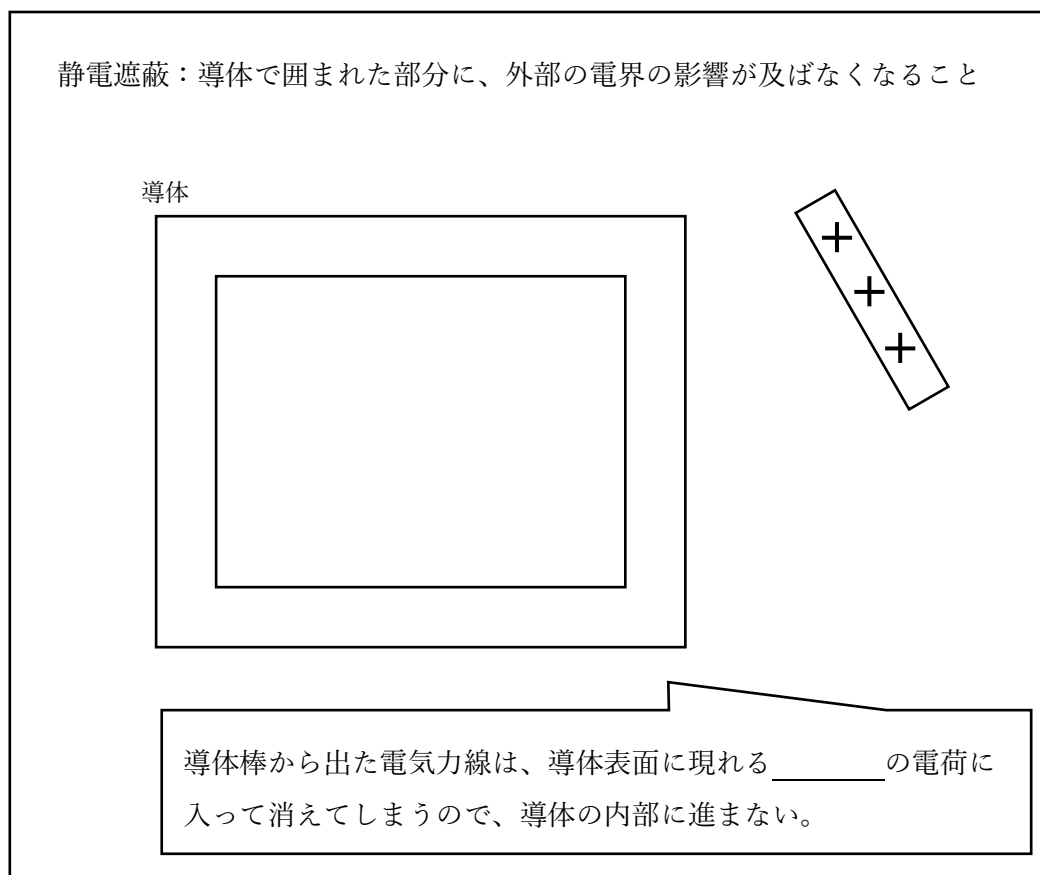
- ・導体に入入りする電気力線は、導体の表面に \_\_\_\_\_ になる。

導体表面は \_\_\_\_\_ 面なので、電気力線と直交する。

(例) 右向きの電界の中に導体が置かれたときの電気力線の様子



○静電遮蔽



○接地（アース）

