

2.6 導体と静電場

2.6.1 導体とは

“電場がかかると電流が自由に流れるような物質” (金属など)

導体中には 自由な電荷 が存在して、電流の担い手となっている。
この電荷は物体中を自由に動けるが表面から外に出ることはない。

金属の場合: イオンは結晶格子を作っていて、一部の電子はイオンに束縛されない 自由電子 となっている。

2.6.2 導体中の静電場

- 静的な状態では導体中で $\underline{E} = 0$. (電場がない.)
← もし, $\underline{E} \neq 0$ なら, 電荷の移動が起こり電流が流れるので, 静的な状態でなくなる.

孤立した導体であれば (外部から電流を流しつづけたりしなければ), もし $\underline{E} \neq 0$ としても, 電荷の移動によりこの電場が “中和” され, ごく短い時間で $\underline{E} = 0$ となる.

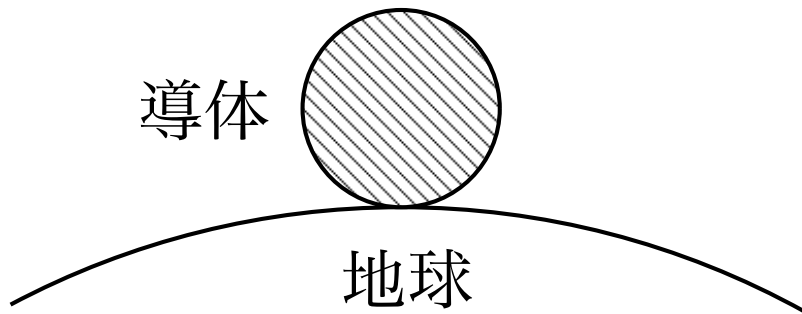
- $\underline{E} = 0 \Rightarrow \nabla \cdot \underline{E} = 0$
よって, 静的な状態 (静電場) では導体中に電荷はない. $\underline{\rho} = 0$.
- $\underline{E} = 0$, $\underline{E} = -\nabla\phi$ より, $\underline{\phi} = \text{const.}$.

導体は等ポテンシャル.

○ 地球は (あまりよい導体ではないが) 導体といえる。
従って、地球は等ポテンシャル。

導体を地球に接するように置けば (あるいは導体と地球を導線などでつなげば) その導体は地球と同じポテンシャルになる。

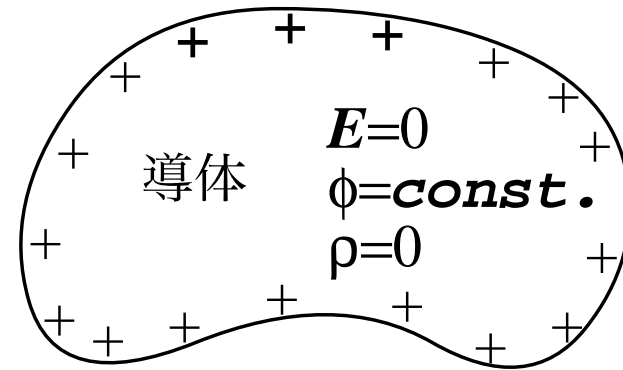
⇒ 接地 (アース)



通常、接地された導体について $\phi = 0$ と選ぶ。

2.6.3 帯電した導体

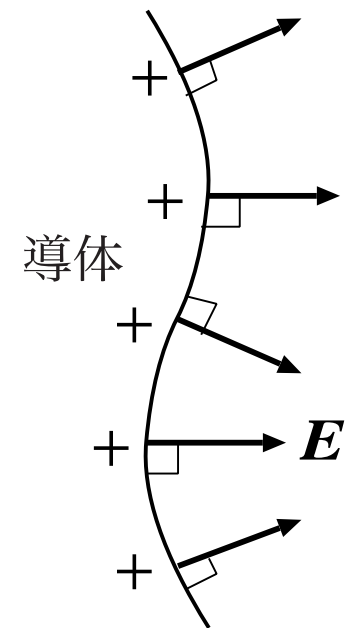
- 導体に電荷を与えると (内部では $\rho = 0$ ゆえ), 電荷は表面に分布する.



- 導体表面のすぐ外側の電場は表面に垂直. (法線成分のみ.)

← 導体表面は等ポテンシャル面 (等電位面) で, 電場 (電気力線) は等ポテンシャル面に垂直. (§§2.4.6)

もし接線成分があれば, 電荷が表面に沿って移動し電流が流れる. (静的状態でなくなる.)



- 帯電した導体の表面付近の電場の大きさ.

導体表面の小さな薄い円筒にガウスの法則を適用すると,

$$(1) \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{\sigma \Delta S}{\epsilon_0}, \quad \sigma = \text{表面の電荷面密度}, \quad \Delta S = \text{底面積}.$$

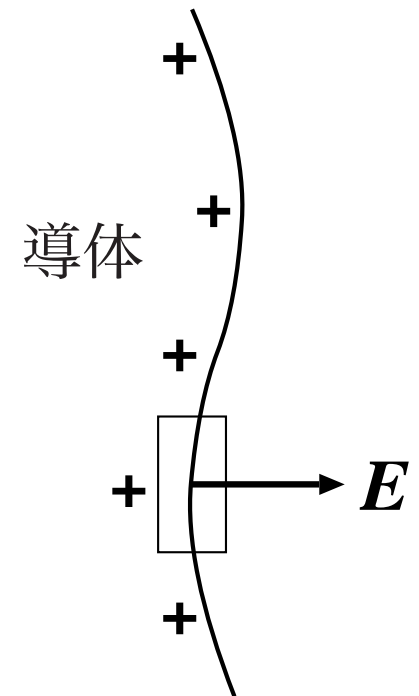
導体内部では $\mathbf{E} = 0$ ゆえ,

$$(2) \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = E \Delta S.$$

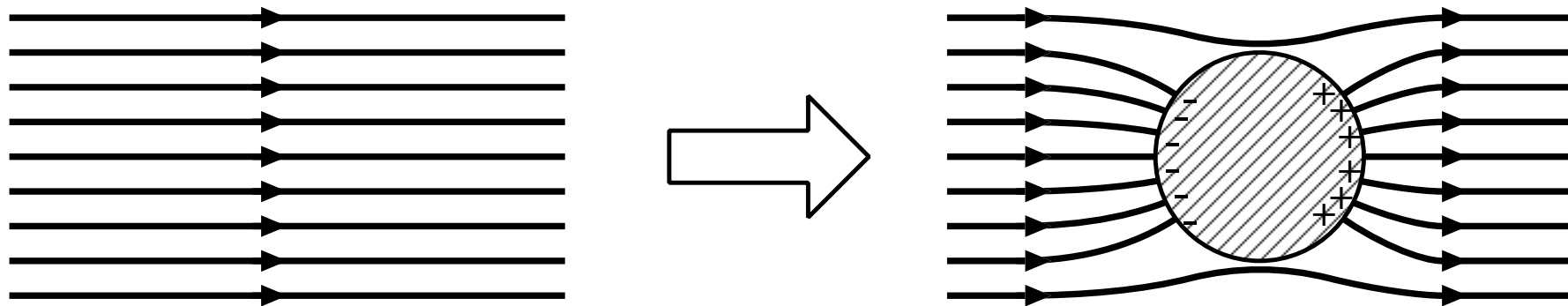
よって, 導体のすぐ外側の電場の大きさ (E) は,

$$(3) \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}.$$

(cf. §§2. 5. 2 例 3, 式 (2. 5. 33))



- 導体の全電荷がゼロでも，導体を電場中に置くと表面に電荷が現われる． ⇒ 誘導電荷



上の議論 (式 (3) など) はそのまま使える。

2.6.4 導体中の空洞

導体は等ポテンシャルゆえ、
空洞 V の表面 S は等ポテンシャル面。

§§2.5.2 の釣り合いの議論
「電荷のない領域ではポテンシャルは極小値も極大値もとらない」から、

空洞内に電荷がないとすれば、 S で $\phi = \text{const.}$ で、 V でも $\phi = \text{const.}$ 。すなわち、 $\mathbf{E} = -\nabla\phi = 0$ 、空洞中の電場はゼロ。

⇒ 静電遮蔽

これは導体の種類、空洞の形状、導体の電荷、導体外部の電場に依らず成り立つ。逆に、例えば、導体の電荷をゆっくり変化させて、空洞に電場が生じるかどうかを調べれば、ガウスの法則、つまり $1/r^2$ 則の検証ができる。この原理を用いた実験により、 $F \propto 1/r^{2+\delta}$ とすれば、 $|\delta| < 3 \times 10^{-16}$ (1971) と分かっている。

