

2.6 導体と静電場

電磁気学詳論 I (2022)

田中担当クラス

<http://www-het.phys.sci.osaka-u.ac.jp/~tanaka/teaching.html>

第 2 章 静電場

2.6.1 導体とは

導体

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。

cf. 絶縁体

2.6.2 導体中の静電場

- 静的な状態では導体中で $\mathbf{E} = 0$. 電場がない.
∴ もし, $\mathbf{E} \neq 0$ 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 $\mathbf{E} \neq 0$ 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 $\mathbf{E} = 0$ となる.

- $\mathbf{E} = 0 \Rightarrow \nabla \cdot \mathbf{E} = 0$

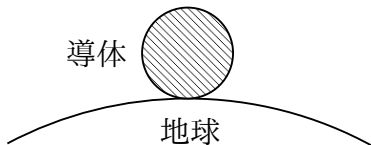
よって, 静的な状態 (静電場) では導体内部に電荷は存在しない. $\rho = 0$.

- $\mathbf{E} = 0$, $\mathbf{E} = -\nabla\phi$ より, $\phi = \text{const.}$. 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.

導体中の静電場のまとめ

$$\mathbf{E} = 0, \rho = 0, \phi = \text{const.}$$

2.6.3 帯電した導体

電荷

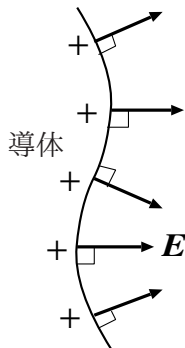
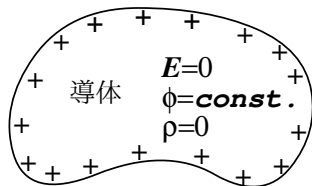
導体に電荷を与えると、内部では $\rho = 0$ ゆえ、電荷は表面に分布する。

電場の向き

導体表面のすぐ外側の電場は表面に垂直。(法線成分のみ。)

∴ 導体表面は等電位面で、電場(電気力線)は等電位面に垂直。(§§2.4.7)

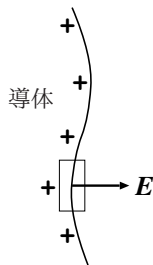
もし接線成分があれば、電荷が表面に沿って移動し電流が流れる。(静的状態でなくなる。)



電場の大きさ

帯電した導体の表面付近の電場の大きさは、

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}, \quad \sigma = \text{表面の電荷面密度.} \quad (1)$$



証明のアイデア: 積分形のガウスの法則を用いる.

証明: 導体表面の小さな薄い円筒 (底面積 ΔS) にガウスの法則を適用すると、

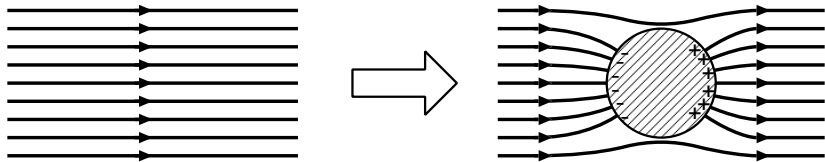
$$\int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{\sigma \Delta S}{\epsilon_0}, \quad (2)$$

導体内部では $\mathbf{E} = 0$ ゆえ、左辺は、

$$\int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = E \Delta S. \quad (3)$$

式 (2),(3) から式 (1) を得る. ($\sigma < 0$ のときは、導体に入る向き.)
cf. §§2. 5. 2 例 3, 式 (2. 5. 32)

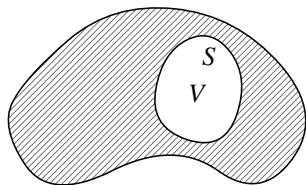
導体の全電荷がゼロでも，導体を電場中に置くと表面に電荷が現れる． \Rightarrow 誘導電荷



上の議論 (式 (1) など) はそのまま使える.

2.6.4 静電遮蔽

空洞のある導体を考える．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 のアーンショーの定理「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」より，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**．これを**静電遮蔽**という



静電遮蔽は導体の種類，空洞の形状，導体の電荷，導体外部の電場によらず成り立つ．逆に，例えば，導体の電荷を変化させて，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， $E \propto 1/r^{2+\delta}$ とすれば， $\delta = (2.7 \pm 3.1) \times 10^{-16}$ (Williams et al., 1971) という制限が得られている．