

2.6 導体と静電場

電磁気学詳論Ⅰ(2019)

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 $E = 0$. 電場がない.
∴もし、 $E \neq 0$ 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 $E \neq 0$ 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 $E = 0$ となる.

- $E = 0 \Rightarrow \nabla \cdot E = 0$

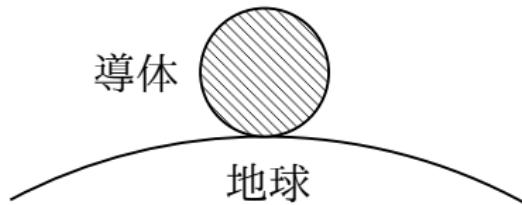
よって, 静的な状態(静電場)では導体内部に電荷は存在しない. $\rho = 0$.

- $E = 0$, $E = -\nabla\phi$ 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

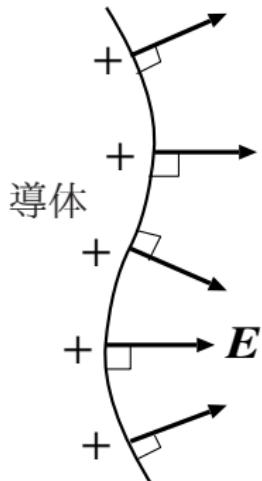
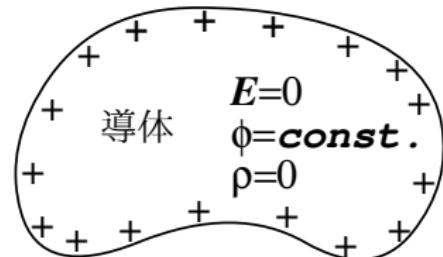
導体に電荷を与えると、内部では $\rho = 0$ ゆえ、電荷は表面に分布する。

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)

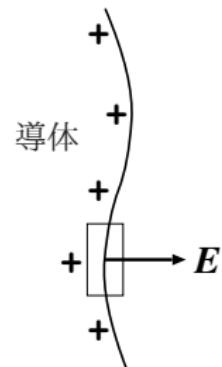
もし接線成分があれば、電荷が表面に沿って移動し電流が流れる。(静的状態でなくなる。)



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、

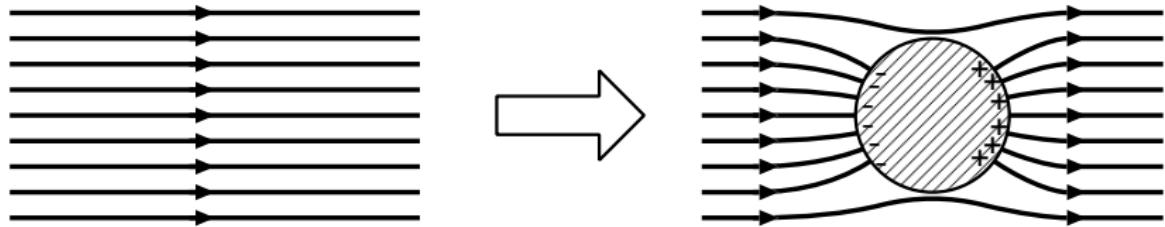
$$\int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{\sigma \Delta S}{\epsilon_0}, \quad (2)$$

導体内部では $E = 0$ 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。 ⇒ 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。 $\S\S 2.5.2$ 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、 $E = -\nabla\phi = 0$ 、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。

