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 $\underline{\boldsymbol{E}=0}$.（電場がない．）
  $\Leftarrow$ もし，$\boldsymbol{E}\neq 0$ 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 $\boldsymbol{E}\neq 0$ 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 $\boldsymbol{E}=0$ となる．

- $\boldsymbol{E}=0 \quad \Rightarrow \quad \nabla\cdot\boldsymbol{E}=0$

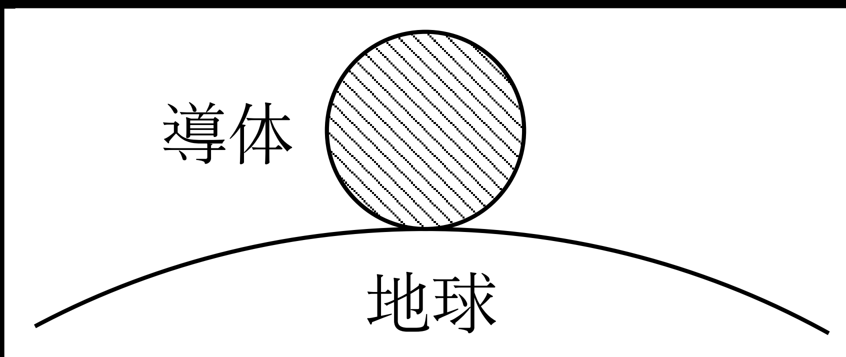
  よって，静的な状態 (静電場) では導体中に電荷はない．$\underline{\rho=0}$.

- $\boldsymbol{E}=0$，$\boldsymbol{E}=-\nabla\phi$ より，$\underline{\phi=\mathrm{const.}}$.

  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．

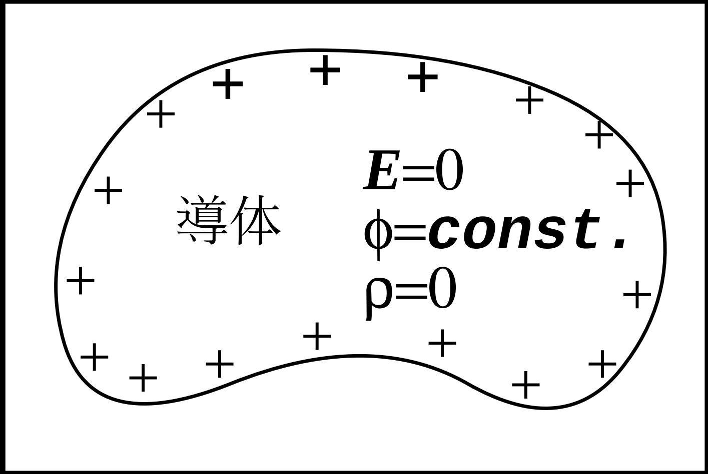
導体を地球に接するように置けば (あるいは導体と地球を導線などでつなげれば) その導体は地球と同じポテンシャルになる．
⇒ 接地 (アース)



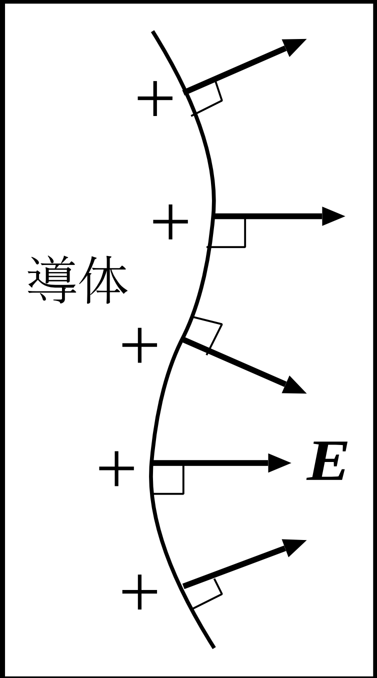
通常，接地された導体について $\phi = 0$ と選ぶ．

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．)



$\Leftarrow$ 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 (E).

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) $$\int_S \boldsymbol{E}\cdot d\boldsymbol{S} = \frac{\sigma \Delta S}{\varepsilon_0}, \quad \sigma = \text{表面の電荷面密度},\ \Delta S = \text{底面積}.$$

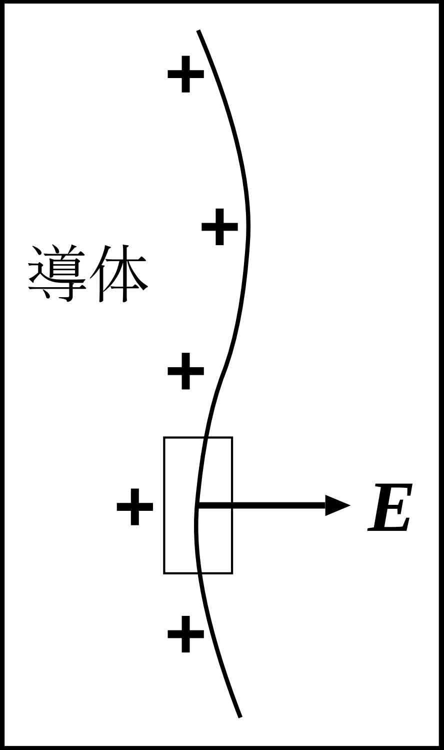
導体内部では $\boldsymbol{E} = 0$ ゆえ，

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

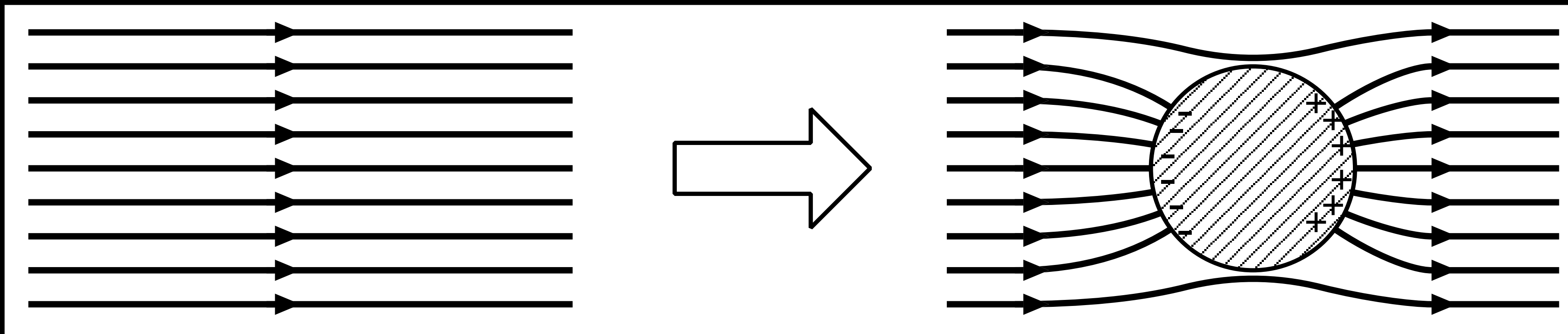
よって，導体のすぐ外側の電場の大きさは，

(3) $$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}.$$

(cf. §§2. 5. 2 例 3，式 (2. 5. 33))

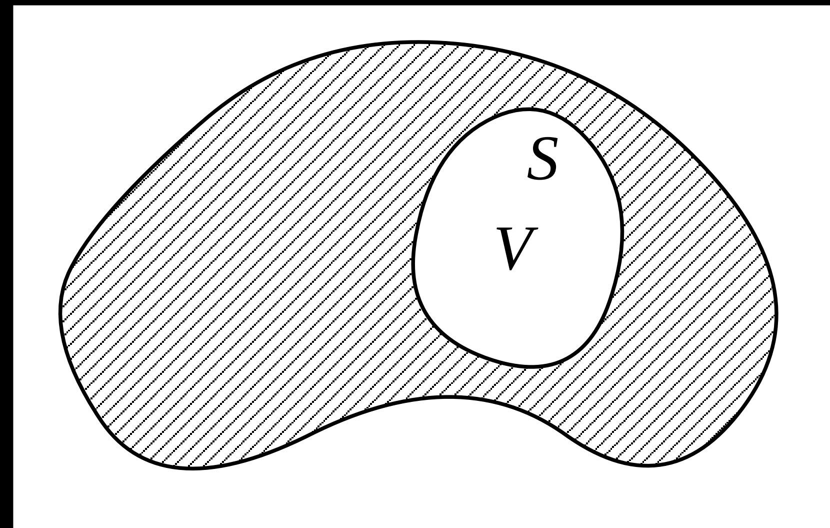


● 導体の全電荷がゼロでも，導体を電場中に置くと表面に電荷が現われる．⇒ 誘導電荷



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 $\phi = \mathrm{const.}$ で，V でも $\phi = \mathrm{const.}$. すなわち，$\boldsymbol{E} = -\nabla\phi = 0$，空洞中の電場はゼロ.

$\Rightarrow$ 静電遮蔽

これは導体，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.