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．

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

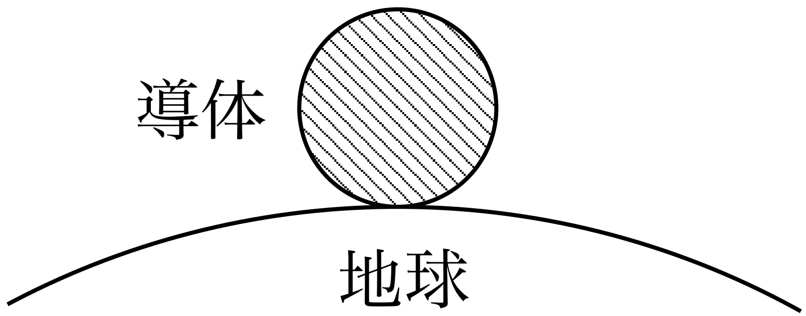
  よって，静的な状態 (静電場) では導体中に電荷はない．$\underline{\rho=0}$．

- $\boldsymbol{E}=0$，$\boldsymbol{E}=-\boldsymbol{\nabla}\phi$ 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．

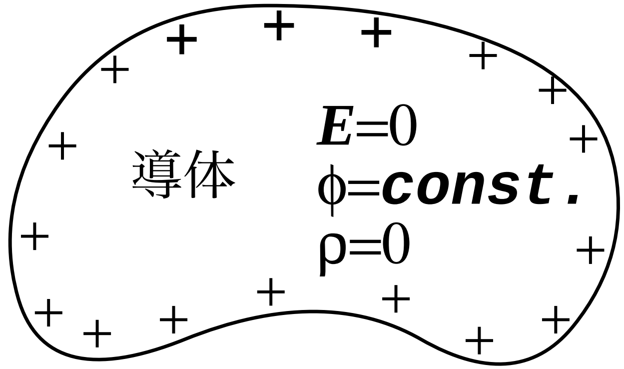
導体を地球に接するように置けば (あるいは導体と地球を導線などでつなげば) その導体は地球と同じポテンシャルになる．
$\Rightarrow$ 接地 (アース)



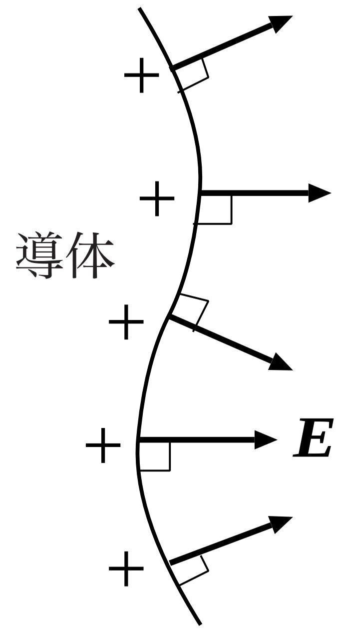
通常，接地された導体について $\phi = 0$ と選ぶ．

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.

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,

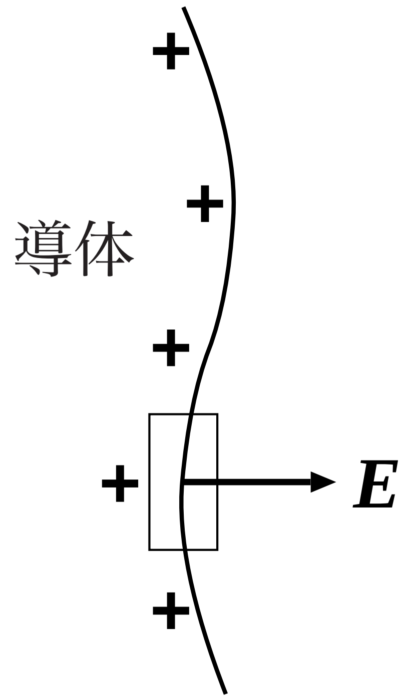
(1) $\displaystyle\int_S \boldsymbol{E}\cdot d\boldsymbol{S} = \frac{\sigma\Delta S}{\varepsilon_0}$, $\quad\sigma =$ 表面の電荷面密度, $\Delta S =$ 底面積.

導体内部では $\boldsymbol{E}=0$ ゆえ,

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

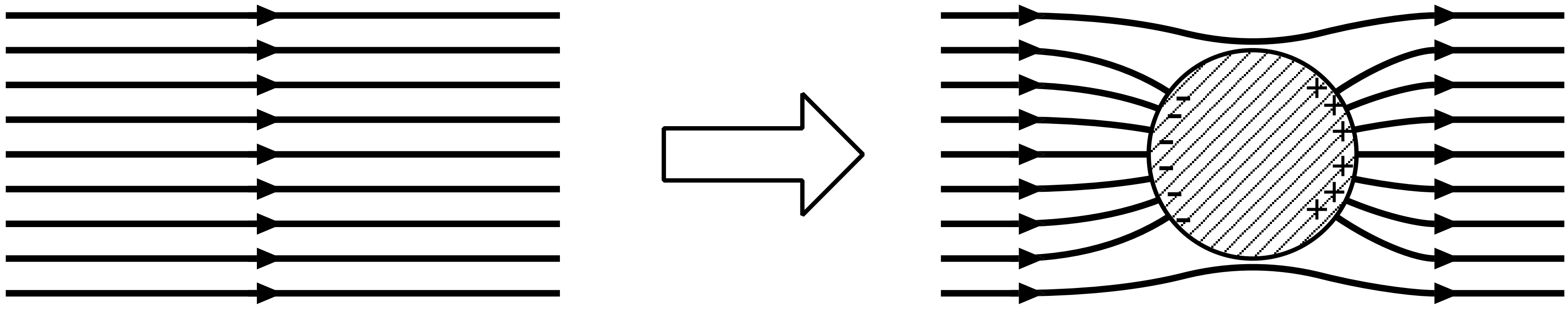
よって, 導体のすぐ外側の電場の大きさ (E) は,

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



(cf. §§2. 5. 2 例 3, 式 (2. 5. 33))

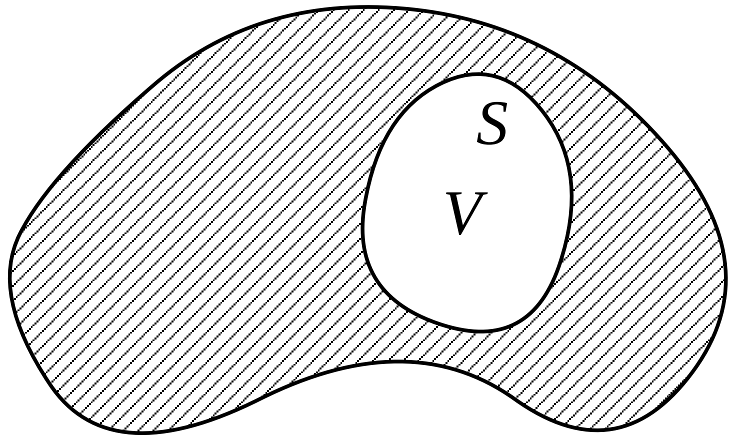
● 導体の全電荷がゼロでも，導体を電場中に置くと表面に電荷が現われる．⇒ 誘導電荷



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，$\boldsymbol{E} = -\boldsymbol{\nabla}\phi = 0$，空洞中の電場はゼロ．

$\Rightarrow$ 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．