

# 電磁気学 I

松村 年郎

2007 年 10 月 1 日

## 1 クーロンの法則，電界（電場）

### 1.1 クーロンの法則

古代ギリシャの時代，電気存在に気づく  
(コハクを毛皮などでこすると物を引きつける)

摩擦によって生じた電気による実験的研究から

1. 電気は導体を通して移動できる
2. 電気には 2 種類ある  
電荷という基本的な属性：同種の電気は反発 (斥力)，異種の電気は引き合う (引力)
3. 電気は不生不滅  
物体の電気量の代数和は変化しない  
電荷の保存則

### クーロンの法則

クーロン (C.A.coulomb) 1785 年 実験

大きさが無視できる点状の電荷 (点電荷) が二つある。二つの点電荷  $q_1$  と  $q_2$  とが距離  $R$  へだてて静止しているとき，二つの電荷の間に働く力は，両者を結ぶ直線の方法を向き，その大きさは電荷量の積  $q_1 q_2$  に比例し， $R^2$  に反比例する。

静電気力をクーロン力とも言う。

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^2}$$

## 単位系

### CGS 静電単位系

$h = 1$  して力学的な量に CGS 単位(長さ [cm], 質量 [g], 時間 [s]) を用いる.

$$\begin{array}{c} \downarrow \\ \text{電気量} \quad \text{cm}^{\frac{3}{2}} \cdot \text{g}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s}^{-1} \\ \text{実用的ではない} \end{array}$$

### MKSA 有理単位系

#### 実用的な単位系

力学的な量に MKS 単位

長さ [m], 質量 [kg], 時間 [s], 力 [N] = kg · m · s<sup>-2</sup>

電気量 クーロン [C]

1 アンペア [A] の電流が 1 秒 [s] 間に運ぶ電気量

$$1\text{C} = 1\text{A} \cdot \text{s}$$

- 比例定数

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 10^{-7}c^2 \doteq 9 \times 10^9 \quad [\text{Nm}^2\text{C}^{-2}] \text{ or } [\text{kgm}^3\text{C}^{-2}\text{s}^{-2}]$$

$\epsilon_0$ : 真空の誘電率

$c$ : MKS 単位系で表した光速

$$2.998 \times 10^8 \text{m/s}$$

$$\epsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2} = 8.854 \times 10^{-12} \quad [\text{C}^2\text{s}^2\text{kg}^{-1}\text{m}^{-3}]$$

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{R^2} \quad [\text{N}] \text{ ニュートン}$$

- ベクトル表示

$$\mathbf{F}_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{R^2} \frac{\mathbf{R}}{R} \quad [\text{N}]$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2$$

クーロン力には重ね合わせの理が成立する

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{qq_1}{R_1^2} \frac{\mathbf{R}_1}{R_1} + \frac{qq_2}{R_2^2} \frac{\mathbf{R}_2}{R_2} \right]$$

- 電気素量...電気量 (電荷量) の最小単位

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \quad [\text{C}]$$

電気量 (電荷量) はこの整数倍

## 1.2 電場 (電界)

クーロンの法則を 2 段階に分けて考える

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq' \mathbf{R}}{R^2 R} = q\mathbf{E}$$
$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q' \mathbf{R}}{R^2 R} \quad (\mathbf{R} = \mathbf{r} - \mathbf{r}')$$

電場、電界 electric field

- 一つの点電荷  $q'$  によって位置  $\mathbf{r}$  に生じる電界

「力学の質点に働く力の場 (重力場)」

静電気力  $\Leftrightarrow$  万有引力

$\mathbf{E}(\mathbf{r})$ : その点に単位電荷 (1C) をもってきたときに働く力

- 複数電荷による電界

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \sum_i \left( \frac{q_i \mathbf{R}_i}{R_i^2 R_i} \right)$$
$$\mathbf{R}_i = \mathbf{r} - \mathbf{r}_i$$

電荷が空間的に連続的に分布電荷密度

$$\rho(\mathbf{r}') \quad [\text{C}/\text{m}^3]$$
$$\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \int \frac{\rho(\mathbf{r}') \mathbf{R}}{R^2 R} dV'$$

$\mathbf{E}$  の単位

N/C (ニュートン/クーロン) となるが, 通常 V/m (ボルト/メートル) を用いる.  
(後に示される)

「電荷分布が電場 (電界) を作り, その電場がその中に置かれた別の電荷に力を及ぼす」

## 小テスト

$x$  軸上に点電荷  $q_1 = 4 \times 10^{-6} [\text{C}]$ ,  $q_2 = -1 \times 10^{-6} [\text{C}]$  がそれぞれ  $x = 0.1 \text{ m}$  および  $x = -0.1 \text{ m}$  にある.  $q_1$  が受ける力の大きさと方向を求めよ

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-6} \times (-1 \times 10^{-6})}{(0.2)^2} = -9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-12}}{0.04} = 0.9 \quad [\text{N}]$$

方向は引力  $\therefore x$  の正方向