

エンジニアの素朴なギモン

第9回 電気量はどのように決められたのか

小暮裕明

測定器の表示に慣れてしまうと、電圧の値そのものに何のギモンも感じなくなる。そもそも電荷は見えないので、「これは1.5Vの電池」だといわれても、「どれだけの電荷が詰まっているのだろう」などとは考えない。測定値を信じてひたすら設計を続けるわけである。そこで一息入れ、電気の「実体」を明らかにしてみる。

(筆者)

● 電気量とは

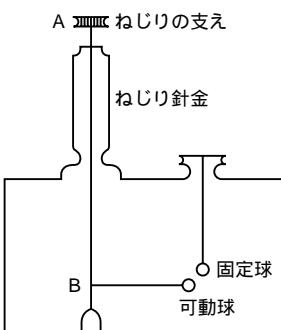
新人：電気は、電池や発電所で新たに作り出されるものとばかり思っていました。しかし「電荷保存の法則」（本誌2008年3月号、pp.95-98の連載第8回を参照）によれば、宇宙の誕生とともに存在していた電荷の一部をうまく取り出して集めているだけですね。

先輩：その意味でも、日々の生活は電気抜きでは考えられない。

照明をつけたり、モータを回せば、電気がそこに存在しているということが分かります。電気に仕事をさせた結果として、電気を感じることはできます。

図1
クーロンが考案した「ねじり秤」の概念図¹⁾

密閉された箱の中に、二つの帶電した球が少し離れて置いてある。一つは器具に固定されており、もう一つはB点でねじり針金に取り付けられている。A点にねじりの支えがあり、ねじり針金は回転する。CGS単位系は、ガウス(1777~1855年)の時代から使われてきたが、クーロンが測定で使った距離の単位は、ブス(1pouce 2.7cm)やリーニュ(1ligune = 1/12pouce)だった。



私はラジオ少年世代¹⁾だから、子供のころ電気工作でビリビリ感電して、いつも電気を体感していたが……。

タレスの摩擦電気はともかく、クーロン²⁾の時代にも計測器はありません。どのようにして、最初に電気の大きさを決めたのでしょうか。

感電の強さで「電気量」を決めるわけにはいかないね。そこで、われわれが測定できる物理的に明らかな量を使って規定したんだ。

それは「力」ですね。

そのとおり。図1と図2は、クーロンが考案したねじり秤だ。両方の球を同じ符号で帶電して反発させ、さまざまな距離でねじりの量、すなわち反発力を測定するという仕組みだ。

● クーロンの法則とは

クーロンは、この測定で電気の量と力の関係を数学的な理論式にまとめた。

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad \dots (1)$$

ここで F は力、 Q_1 と Q_2 は電気量(または電荷)、 r は二つの帶電体の距離

注1：昭和20年代から30年代、真空管の全盛期に部品を一つ一つ買い集めてラジオを組み立てる少年たちを「ラジオ少年」と呼んでいた。受信だけでは飽き足らず、電波が出せるアマチュア無線の国家試験を目指して、独学で勉強する少年たちもいた。

注2：フランスの技師、クーロン(1736~1806年)は、フックの原理(バネのように復元力のある物体である弾性体は、変形量と復元力が比例する)を電気に適用することを思いつき、「ねじり秤」を考案した。

Keyword

電気量、クーロンの法則、逆二乗の法則、MKS単位系、CGS単位系、エネルギー、仕事

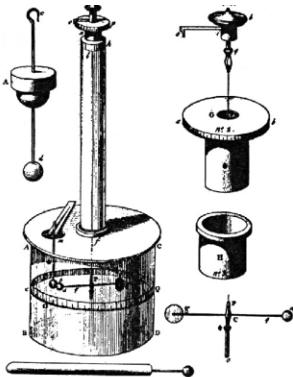


図2
当時のスケッチ⁽²⁾

ここで k は比例定数だから、力と電気量がどのように比例するかを示している。つまり、電気量が「力」というはつきりした量として測定できることを意味している。

でも k をいくつにするかで、電気量も自動的に決まってしまいます。

そこで、力を N (ニュートン)、距離を m (メートル) で表したときの k を 9×10^9 として、このときの電気量(または電荷)の単位を C (クーロン)と呼ぶ。式(1)は、ニュートンの「逆二乗の法則^{注3}」と同じ形をしていることに気付くだろう。電気的な力も、ニュートンの式にうまく当てはまることが分かった。

● 電気量の単位—CGS 単位系と MKS 単位系

なぜ k が 9×10^9 なのかが分かりません。

これは M (メートル), K (キロ・グラム), S (秒) を基本単位とする MKS 単位系だ。クーロンの法則では、 C (センチ・メートル), G (グラム), S (秒) を基本単位とする CGS 単位系を使った方がシンプルになる。

両者は単にけた数が違うだけのように思いますが……。

1cm の距離にある相等しい電荷の間に、1 ダインの力が働く場合、これを 1CGS 静電単位の電気量(1esu と略す)と名付けた。1esu は、 F と r が 1 のとき、 Q_1 と Q_2 を 1 と取ることだから、比例定数の k は 1 となり、

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2} [\text{ダイン}] \quad \dots \dots \dots (2)$$

と書ける。1 クーロンは、1esu の電気量の 3×10^9 倍なので、 Q_1 と Q_2 を クーロンで測って上式に代入すれば、

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \times (3 \times 10^9)^2 = \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \times 9 \times 10^{18} [\text{ダイン}] \quad \dots \dots \dots (3)$$

となる。

彼の時代は、現在に比べると実験器具の精度が悪かったと考えられます⁽¹⁾。

ギモンに思う気持ちは分かるが、その後の追試で、現在 クーロンの法則は厳密に成り立つとされている(図3, 図4)。実は、電荷に働く力の法則はこれが一つあるだけで、静電気学のあらゆる法則はすべて クーロンの法則で説明できる。考えてみれば、一つの法則だけですべての現象を説明できるというのは不思議だ……。

ではここで、CGS 単位系と MKS 単位系の関係を調べてみます。エネルギーの単位は力 × 長さなので、MKS 単位系では $(\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) \times \text{m}$ となり、これは CGS 単位系では、

$$\begin{aligned} \text{エネルギー} &= (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) \times \text{m} \\ &= (\text{g} \cdot \text{cm/s}^2) \times 10^5 \times \text{cm} \times 10^2 \\ &= (\text{g} \cdot \text{cm/s}^2) \times \text{cm} \times 10^7 \end{aligned}$$

となります。ここで $(\text{g} \cdot \text{cm/s}^2)$ は CGS 単位系の ダイン なので、

$$\begin{aligned} \text{エネルギー} &= (\text{ダイン}) \times \text{cm} \times 10^7 \\ &= (\text{エルグ}) \times 10^7 \\ &= \text{ジュール} \end{aligned}$$

となって、この式から、単位時間当たりのエネルギーの単位は J (ジュール)/s(秒)、つまり、いつも使っている電力の単位 W (ワット)になりました。

力の単位である $(\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)$ は「1kg の質量の物体が 加速度 1m/s^2 で加速された時に生じる力」という意味で、これが 1N(ニュートン) だね。

上式から分かるように、1 ダイン = 10^{-5}N ですから、

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{r^2 (10^2)^2} \times 9 \times 10^{18} \times 10^{-5} = \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \times 9 \times 10^9 [\text{N}] \quad \dots \dots \dots (4)$$

がようやく得られました(ヤレヤレ)。

このように、クーロンの式に限っていえば、MKS 単位系よりも CGS 単位系の方がシンプルだ。しかし電気の世界全体では、MKS 単位系の方が扱いやすい。古くは CGS 単位系だったが、20世紀中頃までには MKS 単位系が主流になりました。

注3：ニュートンの万有引力の法則は、万有引力の大きさを F 、物体の質量を M 、 m 、物体間の距離を r として、

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

G は比例定数で、万有引力定数。逆二乗とは、距離の二乗に反比例することを指している。