

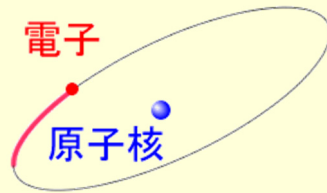
第10章 静電気の力とその表し方



電荷と摩擦電気

原子のつくりと電荷

水素原子は、+の性質をもつ陽子1つが原子核をつくり、そのまわりに-の性質をもつ電子1つがあり、互いに引き合っています。



電気の性質を考えるときは、+や-の電氣的な性質をもった粒を考えるとわかりやすい。そこで、電気を持つ大きさのない最小単位として**点電荷**(電荷)を考えます。異なる符号の電荷は引き合い、同じものは反発する性質を持ちます。

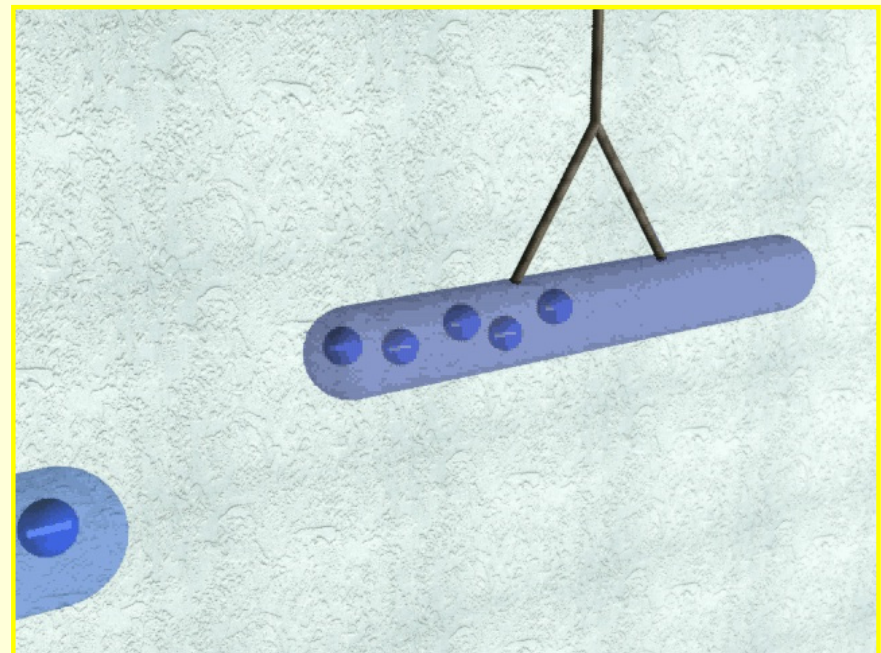


摩擦電気

物質は原子や分子から出来ています。2つの物体を摩擦し合うと、その間で電子の移動が起こり、摩擦電気が生じます。

+ 毛布、ガラス、綿、紙、絹、金属、

ゴム、こはく、エボナイト、セルロイド -

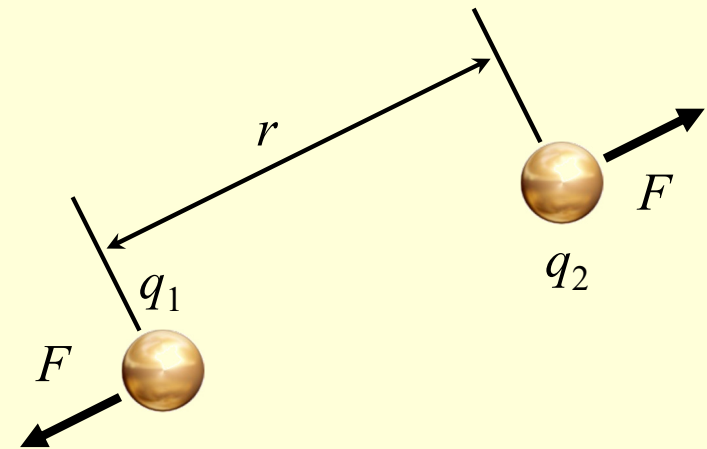


2つの電荷にはたらく力

2つの点電荷をある距離に置くと、2つの電気量に比例して、距離の2乗に反比例した電気力が働きます。これを**クーロン(Coulomb)の法則**といいます。電気量の単位を[C(クーロン)]で表し、2つの電荷にはたらく力を F [N]、2つの電荷の電気量を q_1 [C]、 q_2 [C]、距離を r [m]とすると、クーロンの法則は、

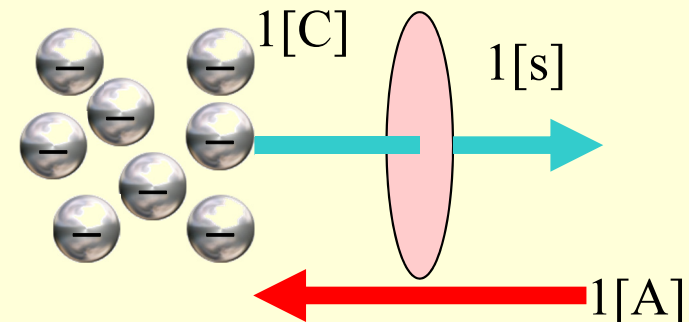
$$\begin{aligned} & \text{クーロン力 } F[\text{N}] \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\text{電気量 } q_1[\text{C}] \times \text{電気量 } q_2[\text{C}]}{(\text{距離 } r[\text{m}])^2} \end{aligned}$$

と表すことが出来ます。ここで、 ϵ_0 は真空の誘電率と呼ばれる定数です。 q_1 、 q_2 が+と+、-と-のときは $q_1 q_2$ が+になり反発する力(斥力)に、+と-、-と+のときは $q_1 q_2$ が-になり引き合う力(引力)になります。



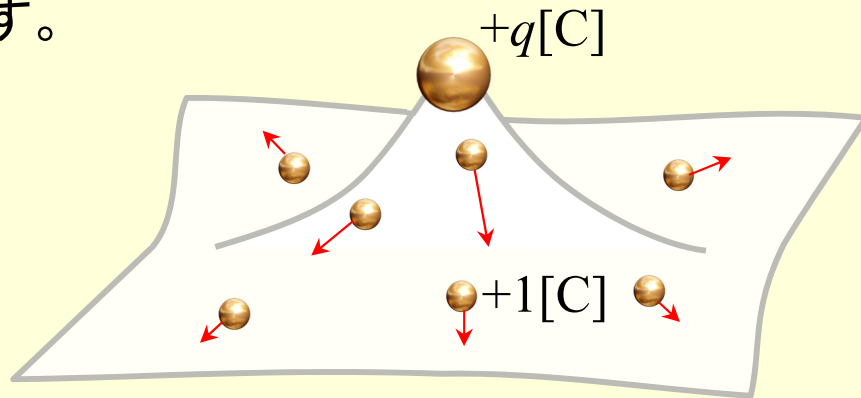
※1[C]とは？

電流の単位には[A(アンペア)]が用いられます。1[A]とは、ある面を1[s]に1[C]の電荷が流れたことを表します。導体内を流れる電子は-の性質を持っているので、自由電子の流れる向きと電流の向きは逆になります。



静電気力のはたらく空間と電気力線

ある位置に電気量 $q[\text{C}]$ の電荷を置いて、そのまわりに $1[\text{C}]$ の電荷を置くと、電気量 $q[\text{C}]$ の電荷がまわりにどのような電氣的な空間を作っているかを調べることが出来ます。この電氣的空間のことを、**電場**(: 理学系。電界: 工学系)といいます。



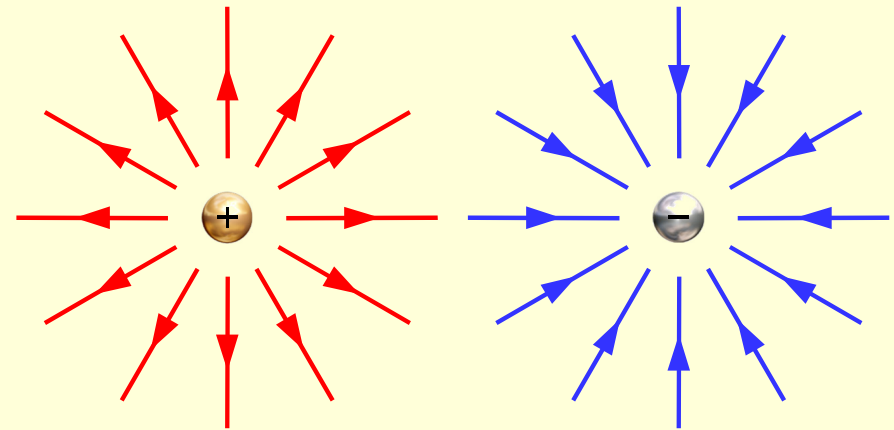
シーツの中央を持ち上げたイメージ。電気量が大いほど中心を持ち上げたと考えれば良い。

電場(電界)の強さは $1[\text{C}]$ に対する力 $[\text{N}]$ と考えられる(ただし、 $[\text{N}/\text{C}] = [\text{V}/\text{m}]$)ので、

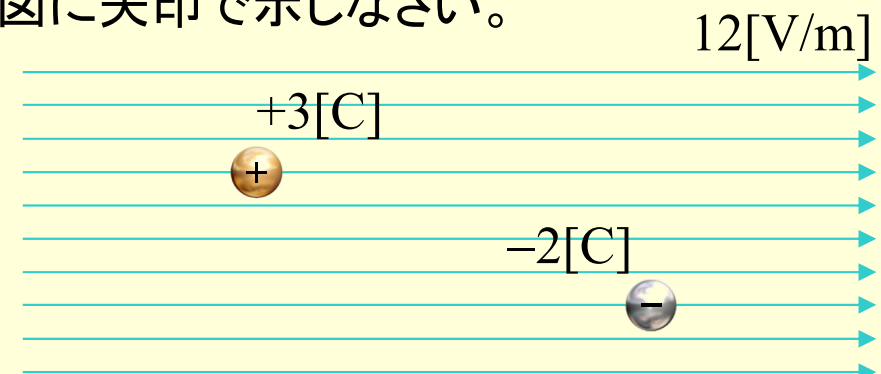
電場(電界)の強さ $E[\text{V}/\text{m}]$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\text{電気量 } q[\text{C}]}{(\text{距離 } r[\text{m}])^2}$$

電場(電界)の向きに沿って線を描くと、その位置での電場(電界)の方向をイメージで理解することが出来ます。このように描いた線を**電気力線**といいます。

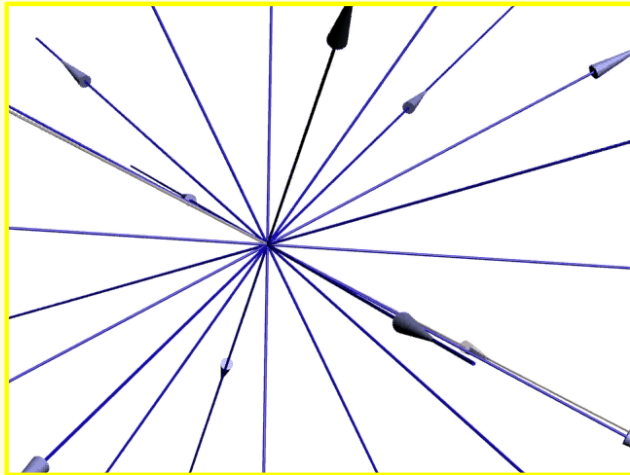


図のように $12[\text{V}/\text{m}]$ の静電場(電界)が分布している。 $+3[\text{C}]$ 、 $-2[\text{C}]$ の点電荷を置いたときにはたらく静電気力を求め、図に矢印で示しなさい。

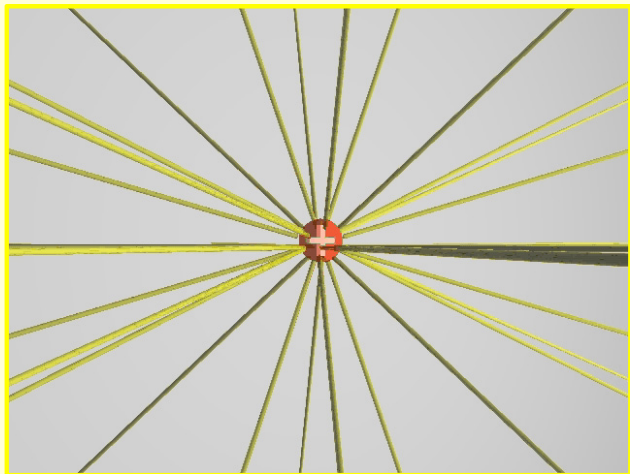


電気力線とガウスの法則

3次元なので、実際はすべての方向に電気力線は広がっている。



電気力線を曲面で囲んだとき、貫く本数は形が変わっても変化しない。



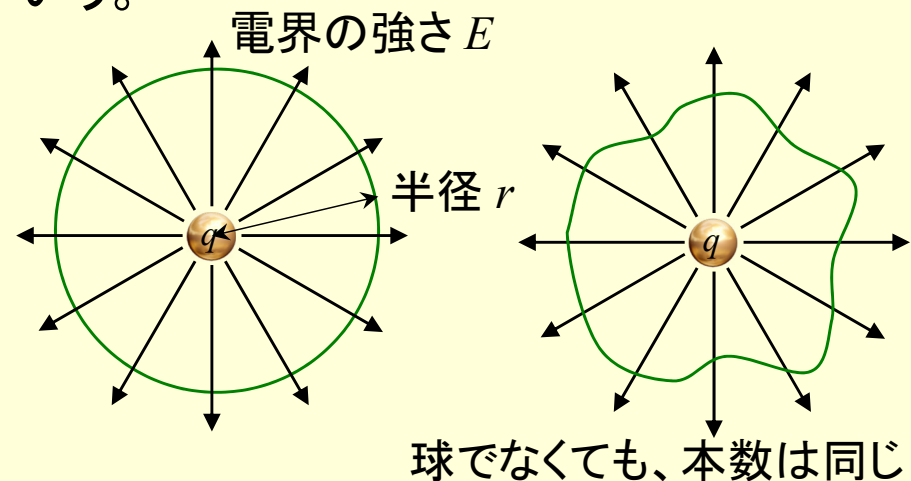
点電荷 $q[\text{C}]$ を中心とする半径 $r[\text{m}]$ の球面を考えると、この球面上での電場(電界)の強さ $E[\text{V/m}]$ は、

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$$

となる。球の表面積 $S[\text{m}^2]$ は $4\pi r^2$ なので、球の表面を貫く電気力線の本数 $N[\text{本}]$ は、

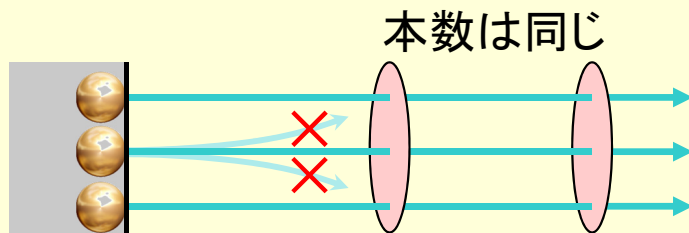
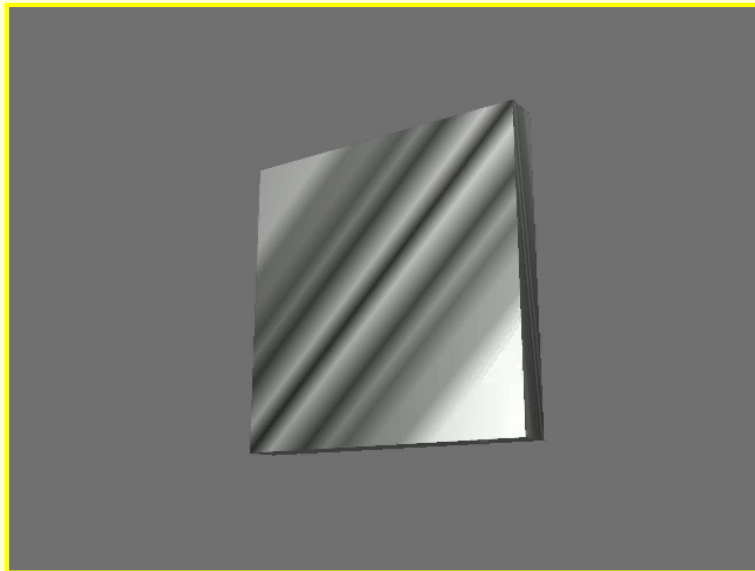
$$N = ES = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \times 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

となる。これはまわりを囲む形が変化しても変わらない。これをガウスの法則という。



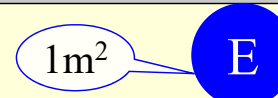
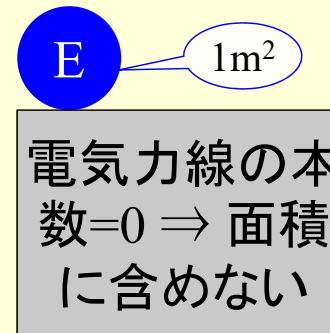
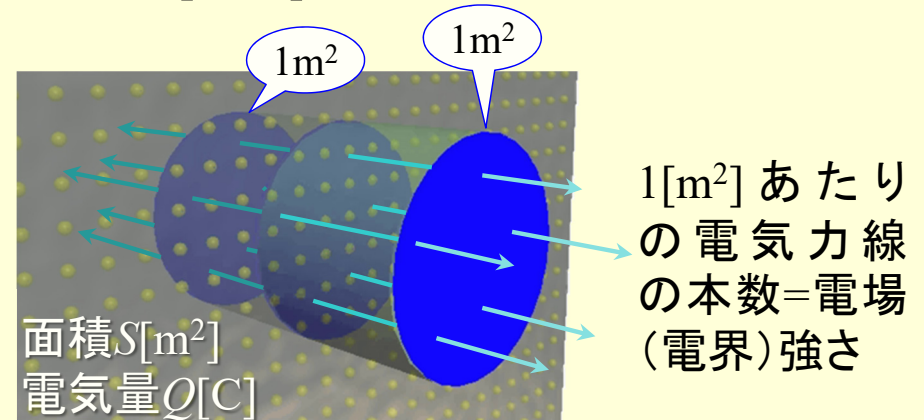
平面板の電気力線

点電荷ではなく、平面板に電荷が分布しているとき、そのまわりの電場（電界）はどうなるだろう？



板から出た電気力線は左右から挟まれる形になり、面に垂直に伸びる。そのため、距離が変わっても電場（電界）の強さは変化しない。

平面板全体の電気量 $Q[C]$ 、面積を $S[m^2]$ とすると、 $1[m^2]$ あたりの電気量は、 $Q \div S$ になる。このときの電場（電界）の強さを $E[V/m]$ とすると、



展開図の $2[m^2]$ だけが電気力線の貫く面積となるので、

より、

位置エネルギーと電気エネルギー

力学の重力(重力場)と電磁気学の電界(電場)は似ている。

では、位置エネルギーと電気エネルギーは？



質量 m

電荷 q

重力加速度
(重力場) g

電界
(電場) E

高さ h

距離 d



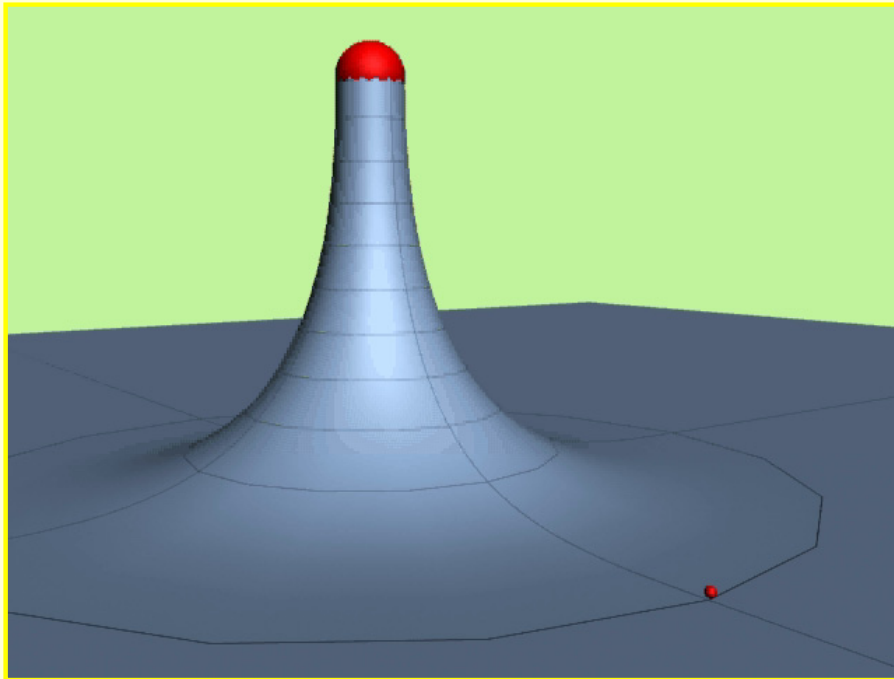
位置
エネルギー
 mgh

電気
エネルギー
 qEd

電気の世界では1[C]を基準にすることが多いです。電気エネルギーについても、電気量1[C]の電荷に対する電気エネルギーを考え、これを**電位**といいます。つまり、電位はある電場(電界)の強さ $E[\text{V/m}]$ の中で1[C]の電荷を動かす仕事と同じになります。

電位の基準と電位差(電圧)

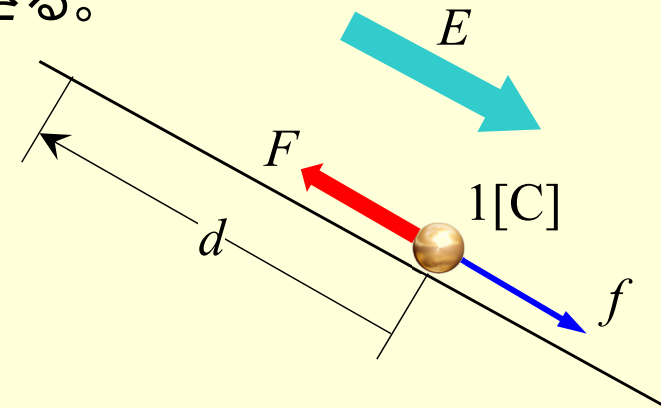
点電荷の作る電場(電界)は図のように広がっている。斜面に逆らってボールを転がす仕事を考えると、その基準は点電荷から無限遠となる。しかし、それでは考えにくいので、適当なところ(一般的には地面)を基準にして、その電位の差を用いる。これを**電位差(電圧)**という。



※点電荷の作る電場(電界)は一様ではないので、ここでは点電荷の電位は扱わない。

<http://applied.bpe.agr.hokudai.ac.jp/education/physics2/220.pdf>

平板に一様に分布した電荷が作る電場(電界)は距離によらず一定で一様に広がる。この中で点電荷を動かす仕事は、摩擦のない斜面の上でボールを持ち上げる仕事と同じように考えることができる。



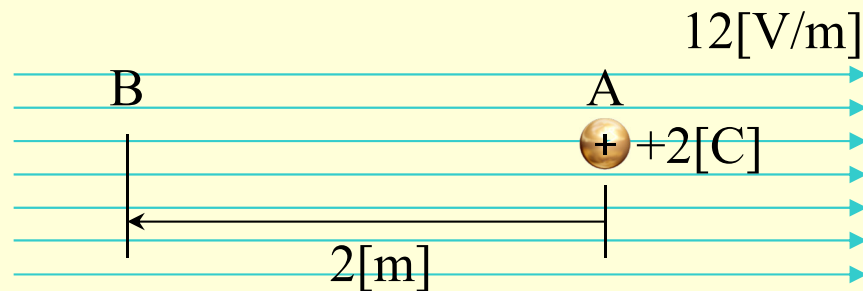
電場(電界)によって落ちようとする力 $f = 1[\text{C}] \times E[\text{V/m}] = E$ に対して、持ち上げる力 F の大きさは f と同じなので、 E となる。この力で距離 $d[\text{m}]$ だけ移動する仕事が $1[\text{C}]$ に対する仕事つまり電位差 V となるので、

電位差 $V[\text{V}]$

$= \text{電場(電界)} E[\text{V/m}] \times \text{距離 } d[\text{m}]$

電位の基準と電位差(電圧)

12[V/m]の静電場(電界)が分布している。2点ABの距離が2[m]であったとき、電位差(電圧)を求めなさい。また、AからBまで+2[C]の点電荷を移動させたときの仕事を求めなさい。

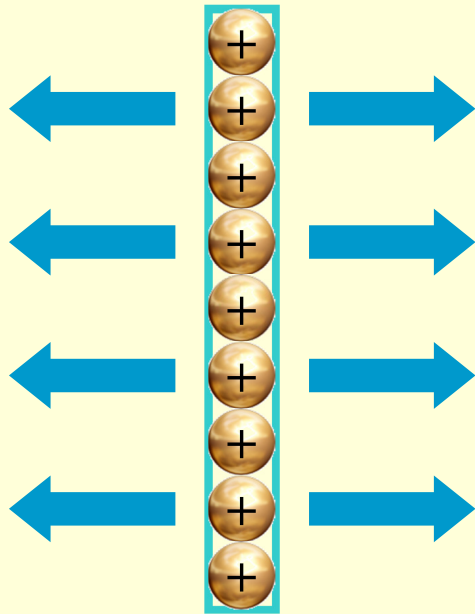


電位差

仕事

2枚の平行板による電位

1枚の平板による電界は、

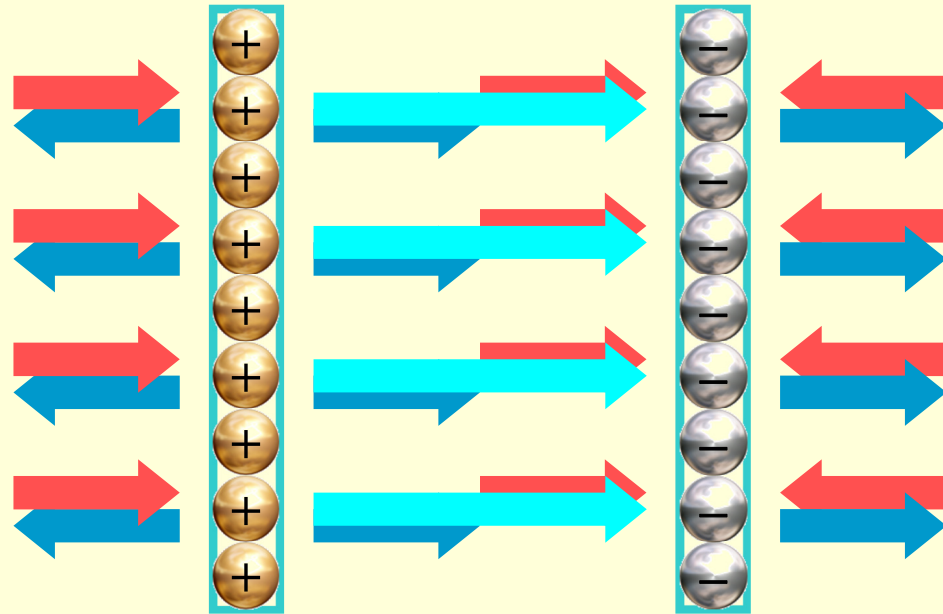


電荷 Q
面積 S

ガウスの法則より、

$$E = \frac{Q}{2\varepsilon_0 S}$$

2枚の平板による電界は、



電荷 Q
面積 S

電荷 $-Q$
面積 S

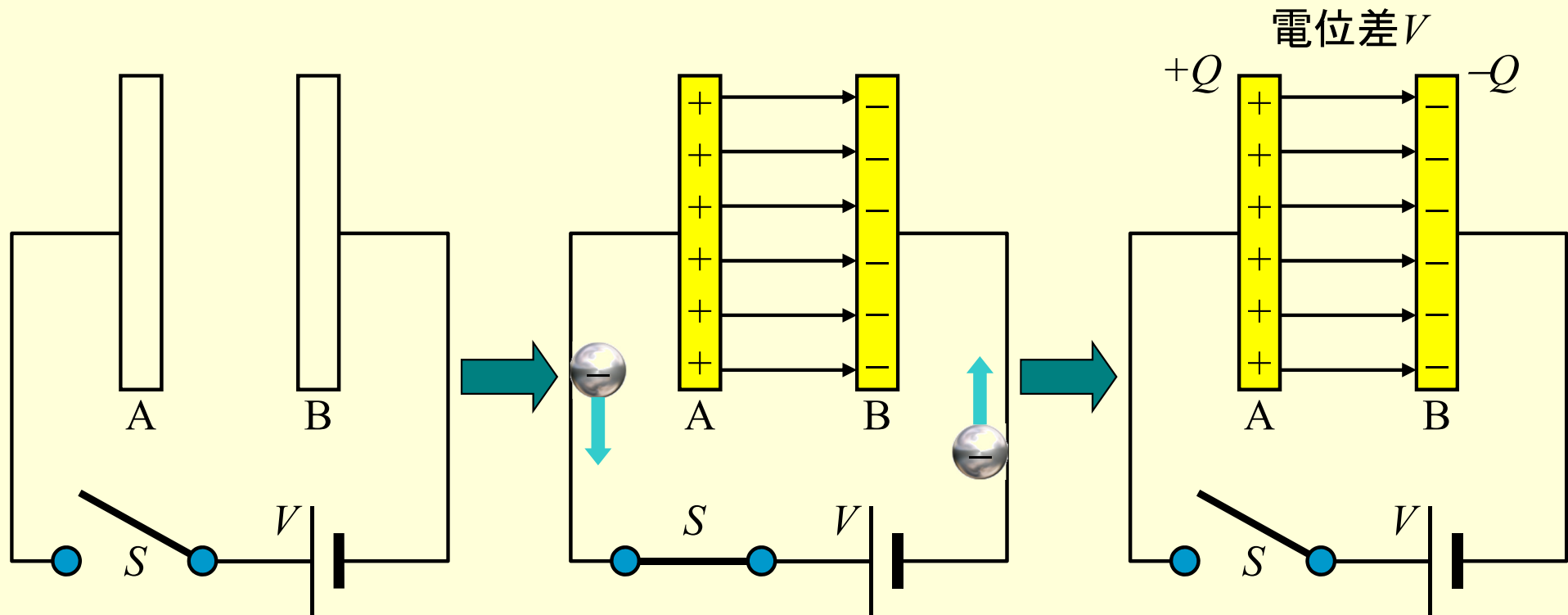
板の外側では打ち消しあい0になる。

板の内側では、

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 S}$$

となる、このような電気部品をコンデンサーという。

コンデンサーへの充電



(a)
結線直後(充電前)

(b)
スイッチを閉じて充電中

(c)
充電後にスイッチを開く

電池の-極からBに、Aから電池の+極に向かって電子が流れる。

2つの平行板に電荷が蓄積され、その間の電位差は電池と同じ V になる。

コンデンサーの電気容量

蓄えられる電気量と電位差の関係は？

電気量と電界は比例する

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 S}$$

電界と電位差は比例する

$$V = Ed$$

なら、

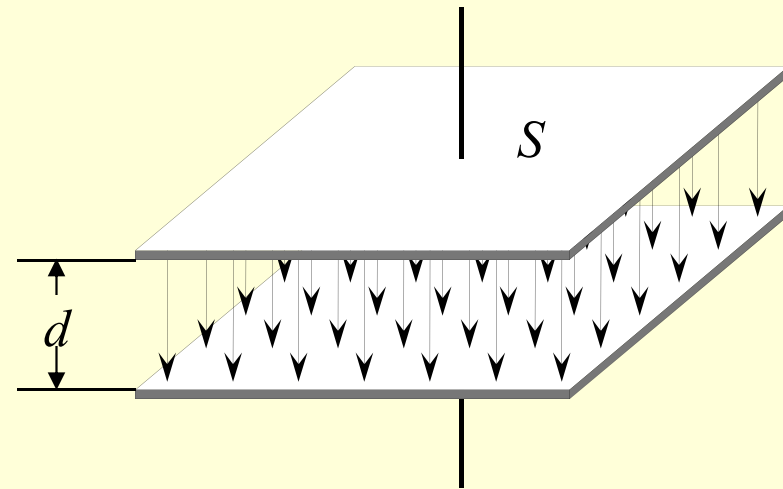
電気量と電位差も比例する

電気量 $Q[\text{C}]$

= 電気容量 $C[\text{F}] \times$ 電位差 $V[\text{V}]$

電気容量(静電容量):

1[V]を与えたときに、どれだけ多くの電気量を貯められるかを表す。大きいほど電気を貯めやすい。1[V]の電圧で1[C]の電気量を貯められる電気容量を1[F(ファラド)]という。



S : 極板の面積

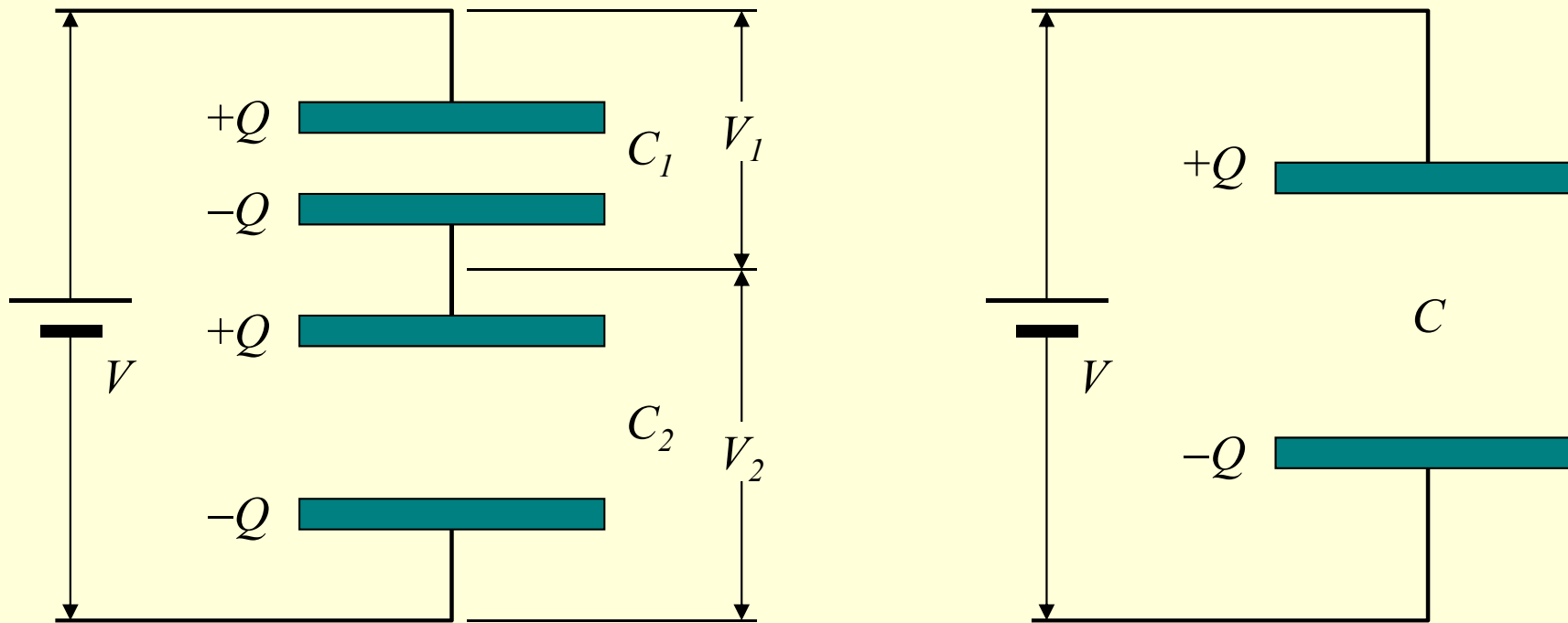
d : 極板間の距離

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 S} \quad \text{と} \quad V = Ed \quad \text{より、}$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_0 ES}{Ed} = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

となる。すなわち、極板の面積が大きいほど、極板間の距離が短いほど、静電容量は大きくなる。

コンデンサーの直列接続



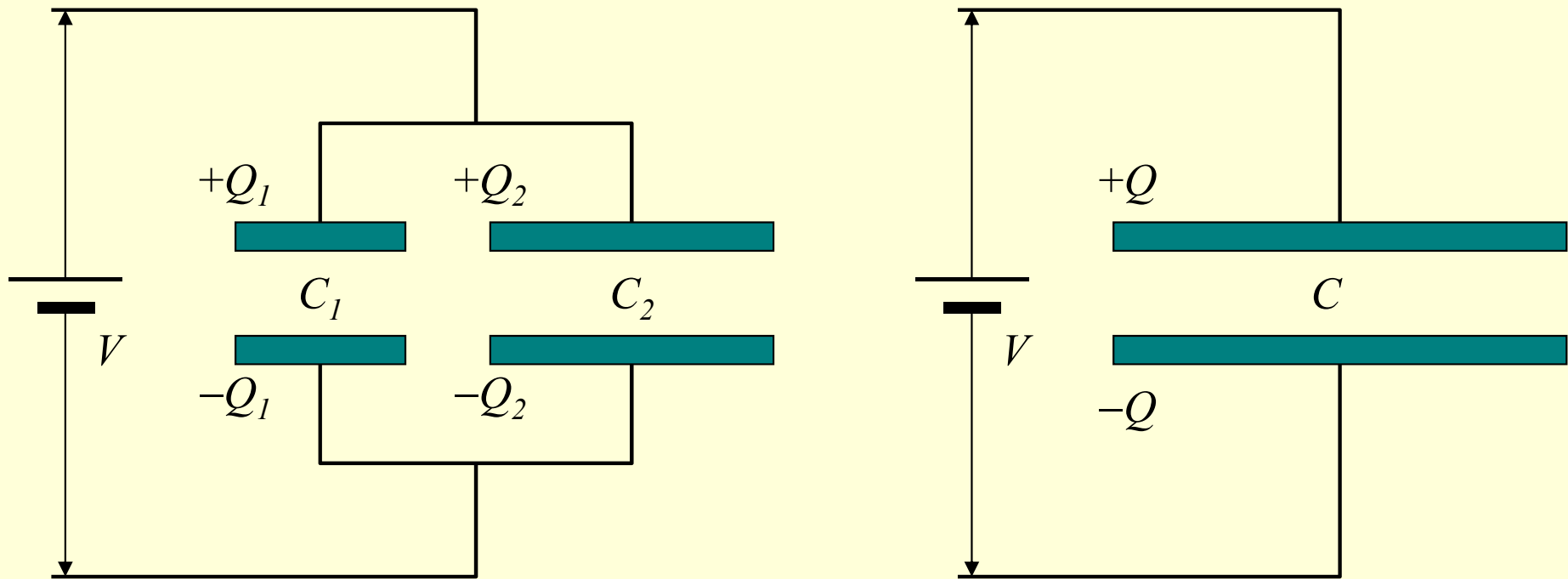
C_1 と C_2 のコンデンサーが直列に接続され、外から電圧 V を加えるとき、

$V_1 = \frac{Q}{C_1}$ 、 $V_2 = \frac{Q}{C_2}$ の関係式と、 $V = V_1 + V_2$ の関係式より、

$V = \frac{Q}{C} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)$ となり、直列接続の電気容量 C は、

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}$$

コンデンサーの並列接続



並列接続時には、コンデンサーに加えられる電圧 V が一定となり、それぞれに蓄えられる電荷は Q_1 と Q_2 に分けられる。したがって、

$$C_1 = \frac{Q_1}{V} \quad C_2 = \frac{Q_2}{V} \quad C = \frac{Q}{V} = \frac{Q_1 + Q_2}{V} = C_1 + C_2$$

から、並列接続時の電気容量 C は、接続した全電気容量を加算し、

$$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n$$

コンデンサーの応用

マイクの種類



ダイナミックマイク
コイルを使った一般的なマイク



コンデンサーマイク
小型軽量だが、扱いがデリケート



コンデンサーマイクの原理

