

でんば でんい 電場と電位

1 導入

この講義で最重要なのは、電場や電位の定義を、「なぜ 1 C あたりで割るのか」という理由から理解することです。

電磁気で混乱しやすいのは、力、仕事、電圧、電位差がばらばらの量に見えることです。しかし本質は、試験電荷の大きさの違いを取り除いて、その場所そのものの性質を表したい、ということです。

2 用語と定義

電場とは、単位電荷あたりに働く力です。

Electric field

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

電位とは、単位電荷あたりの位置エネルギーです。

Electric potential

$$V = \frac{U}{q}$$

3 方針

まず電場の定義がなぜ自然かを見ます。そのあと仕事と位置エネルギーの関係から電位差を導き、一様電場の例で式を具体化します。

→ [講義](#) [仕事と力学的エネルギー](#) [lecture](#) [physics](#) [mechanics](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/mechanics/仕事と力学的エネルギー-講義/>

4 直感的な説明

重力場では、質量が違って「1 kg あたり」で見れば、その場所の重力の強さを共通に比べられます。電場も同じで、「1 C あたり」で見るから、電荷を置く場所そのものの性質が見えるようになります。電位も同様で、「その電荷が何 J のエネルギーをもつか」ではなく、「1 C あたりで何 J か」と見るから、場所の高低として比較できます。

5 厳密な説明

5.1 1. 電場の定義の理由

試験電荷 q を置いたとき、受ける力 \vec{F} は q に比例します。したがって \vec{F} そのままでは、「場所が違うから力が違う」のか、「置いた電荷が違うから力が違う」のかが分かりません。そこで q で割って

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

と定義すると、試験電荷の大きさによらない場そのものの強さが表せます。よって

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

です。

さらに、点電荷 Q がつくる電場を考えると、クーロンの法則

$$F = k \frac{|Qq|}{r^2}$$

より、試験電荷 q に働く力を q で割って

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}$$

を得ます。ここでも、場の強さが試験電荷の大きさによらないことがはっきり見えます。

5.2 2. 電位の定義の理由

静電場では電気力は保存力なので、

$$W = -\Delta U$$

です。しかし U は置いた電荷 q が大きいほど大きくなります。ここでも場所そのものの性質を見るために、

$$V = \frac{U}{q}$$

と定義します。すると $U = qV$ だから、

$$W = -\Delta U = -q\Delta V$$

です。

ここで大事なのは、位置エネルギーそのものは基準の取り方で定数分だけ変えられることです。だから物理的に意味を持つのは電位差 ΔV のほうで、電位 V は「差を取れば観測可能な量になるような補助的な関数」として導入されます。

5.3 3. 一様電場での電位差

一様電場で、電場の向きに距離 d だけ進むとします。このとき力の大きさは qE で一定なので、

$$W = qEd$$

です。一方で

$$W = -q\Delta V$$

だから、

$$\Delta V = -Ed$$

です。絶対値だけ見れば $|\Delta V| = Ed$ です。

この式を少し一般化すると、電位差は電場の向きに沿った仕事から

$$\Delta V = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r}$$

と書けます。一様電場では \vec{E} が一定なので、この式がそのまま $\Delta V = -Ed$ に戻ります。したがって電位差は、「電場を線に沿って積分したもの」として理解できます。

5.4 4. ガウスの法則とのつながり

ここでは電場を $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ で定義しましたが、電荷分布から電場を求めるときにはガウスの法則

→ 講義 ガウスの法則の基本 [lecture](https://study.bem130.com/lecture/physics/electromagnetism/) [physics](#) [electromagnetism](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/electromagnetism/ガウスの法則の基本-講義/>

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

が重要です。これは「閉曲面を貫く電場の総量は、その中にある電荷だけで決まる」という法則です。た

とえば平面に近い対称性をもつ場合には、この式から一様電場の強さを出せます。

具体的には、面積 S の薄い円柱をガウス面に取り、電場が面に垂直で一定だとすると、側面からの流束は 0 で、上下面からの寄与だけが残ります。したがって

$$2ES = \frac{\sigma S}{\epsilon_0}$$

となり、

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

です。ここで σ は面電荷密度です。このように強い対称性があるとき、ガウスの法則は非常に強力です。この意味で、電場の定義は「1Cあたりの力」ですが、実際に場を求める道具としては、クーロンの法則やガウスの法則が後から結びつきます。

したがって、ガウスの法則は「いつでも正しい基本法則」ですが、「いつでもすぐに E を解ける計算公式」ではありません。対称性が足りない場合は、閉曲面を取っても電場の大きさを面の外へ出せないの、そのままでは計算に使えません。

6 見分け方

- 力を直接問うなら電場です。
- 電圧、位置エネルギー、加速された粒子の運動を問うなら電位です。
- 電位差の式を忘れたら、仕事 $W = qEd$ と $W = -q\Delta V$ へ戻ります。

7 どこまで成り立つか

静電場では電場は保存力場なので電位が定義できます。しかし時間変化する磁場があると、単純な静電位だけでは記述できません。またガウスの法則はいつでも正しいですが、実際に電場を簡単に求められるのは、球対称、円筒対称、平面对称のような強い対称性がある場合です。

8 最終形

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$V = \frac{U}{q}$$

$$W = -q\Delta V$$

$$\Delta V = -Ed \text{ (一様電場)}$$

9 一言でいうと

- 電場と電位は、電荷量の違いを除いて、その場所そのものの性質を表すための定義です。

10 関連リンク

→ [講義](#) 仕事と力学的エネルギー [lecture](#) [physics](#) [mechanics](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/mechanics/仕事と力学的エネルギー-講義/>

→ [講義](#) ガウスの法則の基本 [lecture](#) [physics](#) [electromagnetism](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/electromagnetism/ガウスの法則の基本-講義/>

→ [講義](#) コンデンサー [lecture](#) [physics](#) [electromagnetism](#)
<https://study.bem130.com/lecture/physics/electromagnetism/コンデンサー-講義/>