

第 5 回計測法入門: 電磁気学

MKSA 単位から派生してよく使われる単位

- 静電ポテンシャルまたは電位差をあらわすボルト [V] や、電気抵抗の単位オーム Ω などは、電圧 [A] や長さ [m] あるいは時間 [s] と関係づけられる。微視的な視点で考えると分かりやすい。
- 電荷量はクーロン [C] で測る。アンペアは 1[C] が 1 [s] に流れたとき、それを 1 [A] として定義している。

静電気学

- 電荷は正負の両方が存在する。電荷は力 F を及ぼし合っている。
- 電荷が 2 つある系では、ともに正 (またはともに負) ならば斥力 $F > 0$ が働き、異なっている場合は引力 $F < 0$ が働く。2 つの電荷 Q_1, Q_2 があるときに働く力 F は

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

とかける。 ϵ_0 は真空の誘電率。誘電率とは電気のためやすさのことである。真空の透磁率と光速とが関係する量である (後述)。

- 電荷 Q があるだけで発生するのは、電気力線である。電気力線に垂直な方向に電場 E が発生している。真空中ではその動径方向の電場は

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

とかける。

- 電場を作り出しているポテンシャル Φ が存在する。

cf. 自由落下のときの、ポテンシャル U の存在

ポテンシャルに逆らって x だけ引きあげたとき、なされた仕事は位置エネルギーに変換される。位置エネルギーは力と距離をかけて、 $U = -mgx$ であった。

これを x で微分すると力が導ける。 $\frac{dU}{dx} = F = -mg$

x 座標の方向を上向きが + ととったためこのようなことが起こった。

電場を作り出すポテンシャルは、

$$\Phi = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$$

とかける。

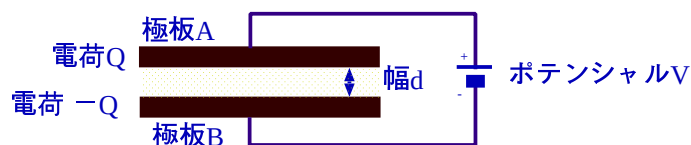
- ポテンシャルによって電荷に与えられる仕事 W [J] について求める。このポテンシャルの中で電荷 q が r だけ移動したとする。このとき、電荷になされた仕事は $W = q\Phi$ とかける。この $q\Phi$ を r で微分すると、

$$\frac{d\Phi}{dr} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} = F$$

2 つの電荷に働く力を導くことができる。

コンデンサーの物理

- コンデンサーにはファラッド [F] という単位を使う。1 [V] あたりにためることのできる電荷量 [C] で定義される。 $[F] = [C][V^{-1}]$

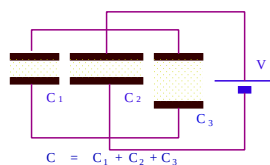


電気容量 $C[C]$ は、

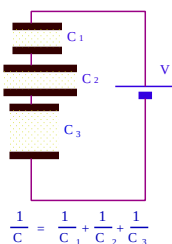
$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

ここで $\epsilon[F/m]$ は物質の誘電率。 S は金属板の面積、 d は金属板の間の距離。

- 合成容量 $C[C]$ は並列接続のとき、



- 合成容量 $C[C]$ は直列接続のとき、



静磁気学

- 2 つの磁荷 m, m' があるとその間に働く力は

$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{mm'}{r^2}$$

とあらわせる。 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Wb}^2/(\text{N} \cdot \text{m}^2)$ で、真空の透磁率。

$$\epsilon_0\mu_0 = \frac{1}{c^2}$$

c は光速。

$$c = 299792458[\text{m/s}]$$

定常電流

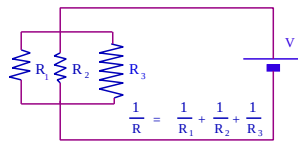
- 時間によって変化しない電流を定常電流と呼ぶ。単位はアンペア [A]。
- 電流が抵抗を通るとき、その両端では電位差が発生する。電位差の差を電圧とし、ボルト [V] であらわす。

$$V = RI$$

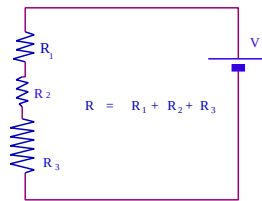
$R[\Omega]$ は抵抗。短い抵抗 $l[m]$ 、大きな断面積 $S[m^2]$ 、通しやすい金属 $\rho[\Omega \cdot m]$ であること、の条件から決まる量である。

$$R = \rho \frac{l}{S} [\Omega]$$

- 並列回路の合成抵抗 $R[\Omega]$



- 直列回路の合成抵抗 $R[\Omega]$



- キルヒホッフの法則

閉回路のある点に流れ込む電流の和と流れ出る電流の和は等しい。

$$I_1 + I_2 + \cdots = I'_1 + I'_2 \cdots$$

- 電力

ある点で電圧 $V[V]$ と電流 $I[A]$ が流れているときの電力は

$$P = VI[W]$$

とかける。

ソレノイドコイル

- 半径 r で鉛直方向に巻いたコイルのこと。電流 i を流すと、巻き数に応じて磁束密度が発生する。
- 電流 $i[\text{A}]$ が流れるときに作られる磁束密度 B は、 $n[\text{巻}]$ のソレノイドコイルでは、

$$B = \mu_0 n i$$

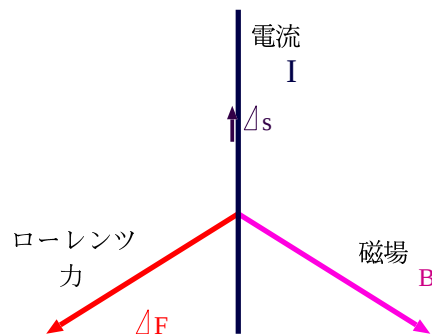
電磁誘導の法則

- 磁束密度 B の磁場中の電荷 q が速さ v で横切ると、力 F を受ける。その方向は右ねじの法則。

$$F = qvB \sin \theta$$

ベクトル解析風には、

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$



- フレミングの左手の法則として解いても同じ。親指が力で、中指から順に、電磁力と覚える。

自己誘導

- コイルに流れる電流 i と、コイルを貫く磁束 Φ とは、インダクタンス L と $\Phi = Li$ のような関係がある。
- 磁束の変化を妨げる向きに、誘導起電力 $V[\text{V}]$ が発生する。

$$V = -\frac{d\Phi}{dt} = -L\frac{di}{dt}$$

磁束密度 B と磁束との関係は、コイルの断面積 S を用いて $\Phi = BS$ とあらわされる。

電磁波

- 時間で変動する電磁場は、波の振る舞いをする。

物理によく出て来るギリシャ文字や単位について

- 対応する英語の頭文字をギリシャ文字として物理量を表すことが多い。
- 外国では 10^3 ごとに桁の名前を変更する。
- 物理量に 0 をつけて表すものは初期値や不変なもの (光速と関係する量など) が多い。
- 同じような物理量を表すのに筆記体や花文字を使うこともある。それぞれ異なる物理量を表す。

α	alpha	κ	kappa	ς	varsigma	Ξ	Xi
β	beta	λ	lambda	τ	tau	Π	Pi
γ	gamma	μ	mu	υ	upsilon	Σ	Sigma
δ	delta	ω	omega	ϕ	phi	Υ	Upsilon
ϵ	epsilon	ν	nu	φ	varphi	Φ	Phi
ε	varepsilon	ξ	xi	χ	chi	Ψ	Psi
ζ	zeta	π	pi	ψ	psi	Ω	Omega
η	eta	ϖ	varpi	Γ	Gamma		
θ	theta	ρ	rho	Δ	Delta		
ϑ	varthetaeta	ϱ	varrho	Θ	Theta		
ι	iota	σ	sigma	Λ	Lambda		

var がつくものは、筆記体を表す。桁を表す単位についてまとめておく。

10^{15}	peta	[P]	10^{-15}	femto	[f]
10^{12}	tera	[T]	10^{-12}	pico	[p]
10^9	giga	[G]	10^{-9}	nano	[n]
10^6	mega	[M]	10^{-6}	micro	$[\mu]$
10^3	kilo	[k]	10^{-3}	milli	[m]
10^2	hecto	[h]	10^{-2}	centi	[c]
10^1	deca	[da]	10^{-1}	deci	[d]

物理でよく使うのは 3 の巾乗の数。