MKS 単位系 について

2020Jul 改訂（宮川）

基本単位

- ・距離 m (メートル)
- ・質量 kg (キロ・グラム)
- ・時間 s (秒、セカンド)
- ・電流 A (アンペア)

速度 $v\,[\mathrm{m/s}]$

加速度 $a\,[\mathrm{m/s^2}]$

力 $F\,[\mathrm{N}]$

$1\,\mathrm{N} = 1\ \mathrm{J/m} = 1\ \mathrm{kg\cdot m/s^2}$

$\because\ F = ma$

エネルギー $W\,[\mathrm{J}]$

$1\,\mathrm{J} = 1\ \mathrm{N\cdot m}$

$\because\ W = Fs$

（仕事量=力×距離）

$= 1\ \mathrm{V\cdot C} = 1\ \mathrm{Wb\cdot A}$

$= 1\ \mathrm{V\cdot A\cdot s}$

$\because\ W = IVt$

（電力量=電流×電圧×時間）

$= 1\ \mathrm{kg\cdot m^2/s^2}$

$\because\ W = \dfrac{1}{2}mv^2$

運動量 $p\,[\mathrm{kg\cdot m/s}]$

$p = mv$

$1\ \mathrm{kg\cdot m/s} = 1\ \mathrm{N\cdot s}$

$\because\ p = F\cdot\Delta t$

角度 $\theta\,[\,rad\,]\ or\ [\,deg\,]$

$2\pi = 180^\circ$

※ 一般に 角度の単位 *rad* はつけない

角運動量 $l\,[\mathrm{J\cdot s}]$

$l = mvr$

$1\ \mathrm{kg\cdot m^2/s} = 1\ \mathrm{J\cdot s}$

$= 1\ \mathrm{Wb\cdot C}$（磁極電極積）

電極（電荷） $q\,[\mathrm{C}]$

$1\,\mathrm{C} = 1\ \mathrm{A\cdot s}$

$= 1\ \mathrm{F\cdot V}$

$\because\ \mathrm{Q}[C] = \mathrm{C}[F]\,\mathrm{V}[\mathrm{V}]$

電流 $I\,[\mathrm{A}]$

$1\ \mathrm{A} = 1\ C/s$

電束密度（電界） $D\,[\mathrm{C/m^2}]$

$D = \varepsilon_0 E$

$[\mathrm{F/m}][\mathrm{V/m}]$

$1\ \mathrm{C/m^2} = 1\ \mathrm{s\cdot A/m^2}$

Gauss's Law: $div\ \boldsymbol{D} = \rho\ \ [\mathrm{C/m^3}]$

電場 $E\,[\mathrm{V/m}]$

$1\ \mathrm{V}/m = 1\ \mathrm{N/C}$

$\because\ F[\mathrm{N}] = q\,[\mathrm{C}]\,E\,[\mathrm{V/m}]$

$= 1\ \dfrac{\mathrm{kg\cdot m}}{\mathrm{s^2\cdot C}} = 1\ \dfrac{\mathrm{kg\cdot m}}{\mathrm{s^3\cdot A}}$

電位（電圧） $\mathrm{V}\,[\mathrm{V}]$

$\phi\,[\mathrm{V}]$（スカラー・ポテンシャル）

$\boldsymbol{E}\,[\mathrm{V/m}] = -grad\ \phi$

$div\cdot grad\ \phi = \nabla^2\phi = \Delta\phi = -\dfrac{\rho}{\varepsilon_0}$

$1\ \mathrm{V} = 1\ \mathrm{J/C}$

$W\,[\,\mathrm{J}\,] = q\ [\mathrm{C}]\ \ \phi\ \ [\mathrm{V}]$

$= 1\ \mathrm{Wb/s}$

$= 1\ \dfrac{\mathrm{kg\cdot m^2}}{\mathrm{s^2\cdot C}} = 1\ \dfrac{\mathrm{kg\cdot m^2}}{\mathrm{s^3\cdot A}}$

電気モーメント $p\,[\mathrm{C\cdot m}]$

$p = q\,d$

$1\ \mathrm{C\cdot m} = 1\ \mathrm{m\cdot s\cdot A}$

電気分極 $P\,[\mathrm{C/m^2}]$

$P = \sum p_i / V$

$1\ \mathrm{C/m^2} = 1\ \dfrac{\mathrm{s\cdot A}}{\mathrm{m^2}}$

（電束密度と同じ単位）

磁極（磁荷） $q_m\,[\mathrm{Wb}]$

$1\ \mathrm{Wb} = 1\ \mathrm{V\cdot s}$

$\because$ *Faraday's Law*:

$\phi_V\,[\mathrm{V}] = -\dfrac{d(BS)}{dt}\,[\mathrm{Wb/s}]$

$or\quad rot\ \boldsymbol{E} = -\dfrac{d\boldsymbol{B}}{dt}$

$= 1\ \mathrm{H\cdot A}$

$\because$ *Lentz's Law*:

$\phi_V\,[\mathrm{V}] = -L\,[H]\ \dfrac{dI}{dt}\,[\mathrm{A}/s]$

$= 1 \ \dfrac{\mathrm{kg \cdot m^2}}{\mathrm{s^2 \cdot A}}$

磁束密度（磁界）　$B\,[\mathrm{Wb/m^2}]$

$$B = \mu_0 H$$

$[\mathrm{H/m}][\mathrm{A/m}]$

$1\ \mathrm{Wb/m^2} = 1\ \mathrm{s \cdot V/m^2}$

$= 1\ \dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s^2 \cdot A}}$

Gauss's Law: $\mathrm{div}\, B = 0\,[\mathrm{Wb/m^3}]$

注意：$[\mathrm{Wb/m^2}] = [\mathrm{T}]$ tesla

磁場　$H\,[\mathrm{A/m}]$

Ampère's Law:　$rot\, \boldsymbol{H} = \boldsymbol{i}$

直線電流周りの磁場　$H = \dfrac{I[\mathrm{A}]}{2\pi r[m]}$

磁位　$\phi_m\,[\mathrm{A}]$　**（磁気ポテンシャル）**

$$H\,[\mathrm{A/m}] = -grad\ \phi_m$$

$1\,\mathrm{A} = 1\ \mathrm{J/A}$

$$W\,[\mathrm{J}] = q_m[\mathrm{Wb}]\ \phi_m\,[\mathrm{A}]$$

$\boldsymbol{A}$　$[\mathrm{H \cdot A/m}]$　**（ベクトル・ポテンシャル）**

$$div \cdot grad\ \boldsymbol{A} = \nabla^2 \boldsymbol{A} = \Delta \boldsymbol{A} = -\mu_0 \boldsymbol{i}$$

$1\ \mathrm{H \cdot A/m} = 1\ \mathrm{Wb/m} = 1\ \dfrac{\mathrm{kg \cdot m}}{\mathrm{s^2 \cdot A}}$

$$\boldsymbol{B} = rot\, \boldsymbol{A}$$

$$rot\, \boldsymbol{B} = rot\, rot\, \boldsymbol{A} = grad\ div\, \boldsymbol{A} - \nabla^2 \boldsymbol{A} = -\nabla^2 \boldsymbol{A} = \mu_0 \boldsymbol{i}$$

すなはち、$rot\, \boldsymbol{H} = \boldsymbol{i}$

磁気モーメント　μ　$[\mathrm{Wb \cdot m}]$

$$\mu = q_m d$$

$1\ \mathrm{Wb \cdot m} = 1\ \mathrm{m \cdot s \cdot V}$

$= 1\ \dfrac{\mathrm{kg \cdot m^3}}{\mathrm{s^2 \cdot A}}$

磁気モーメント：磁場形式　$m\,[\mathrm{J/T}]$

$$\mu = \mu_o m$$

$[\mathrm{Wb \cdot m}] = [\mathrm{H/m}][\mathrm{A\,m^2}]$

$1\ \mathrm{J/T} = 1\ \mathrm{A\,m^2}$

Zeeman's Law :

$$U = -\boldsymbol{m} \cdot \boldsymbol{B} = -\mu_0 \boldsymbol{m} \cdot \boldsymbol{H} = -\boldsymbol{\mu} \cdot \boldsymbol{H}$$

磁気分極（磁化）　$I\,[\mathrm{Wb/m^2}]$

$$I = \sum \mu_i \Big/ V$$

$1\ \mathrm{Wb/m^2} = 1\ \dfrac{\mathrm{s \cdot V}}{\mathrm{m^2}} = 1\ \dfrac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s^2 \cdot A}}$

（磁束密度と同じ単位）

磁気分極（磁化）：磁場形式　$M\,[\mathrm{A/m}]$

$$M = \sum m_i \Big/ V$$

$$B = \mu_0 H + I = \mu_0(H + M) = \mu_0(1 + \chi_m)H$$

電気容量　$C\,[\mathrm{F}]$

$$C = \varepsilon_0 \frac{S\,[\mathrm{m^2}]}{d\,[\mathrm{m}]}$$

$1\ \mathrm{F} = 1\ \mathrm{C/V}$

$\because\ \mathrm{Q\,[C] = C\,[F]\,V\,[V]}$

$= 1\ \dfrac{\mathrm{s^4 \cdot A^2}}{\mathrm{kg \cdot m^2}} = 1\ H^{-1} \cdot \mathrm{s^2}$

インダクタンス　$L\,[\mathrm{H}]$

$1\ \mathrm{H} = 1\ \mathrm{V \cdot s/A}$

$\because$ *Lentz's Law*:

$$\phi_V\,[\mathrm{V}] = -L\,[\mathrm{H}]\ \frac{dI}{dt}[\mathrm{A}/s]$$

$= 1\ \mathrm{Wb/A}$

$= 1\ \dfrac{\mathrm{kg \cdot m}}{\mathrm{s^2 \cdot A^2}} = 1\ \mathrm{F^{-1} \cdot s^2}$

注意：$[\mathrm{H}][\mathrm{F}] = [\mathrm{s^2}]$

誘電率　ε　$[\mathrm{F/m}]$

$$\mathrm{C\,[F]} = \varepsilon\ \frac{S\,[\mathrm{m^2}]}{d\,[\mathrm{m}]}$$

$1\ \mathrm{F/m} = 1\ \mathrm{C/V \cdot m}$

$$D\ [\mathrm{C/m^2}] = \varepsilon\,\mathrm{E}\ [\mathrm{V/m}]$$

$= 1\ \dfrac{\mathrm{A^2 s^2}}{\mathrm{Nm^2}} = 1\ \dfrac{\mathrm{s^4 \cdot A^2}}{\mathrm{kg \cdot m^3}}$

透磁率　μ　$[\mathrm{H/m}]$

$$B\,[Wb/m^2] = \mu H\,[\mathrm{A}/m]$$

$1\ \mathrm{H/m} = 1\ \mathrm{Wb/A \cdot m}$

$= 1\ \mathrm{N/A^2} = 1\ \dfrac{\mathrm{kg \cdot m}}{\mathrm{C^2}} = 1\ \dfrac{\mathrm{kg \cdot m}}{\mathrm{s^2 A^2}}$

２本の直流電流間の引力　$\mathrm{F}\ [N/m] = \dfrac{\mu_0}{2\pi d} I_1 I_2$

光速との関係　$\varepsilon_0 \cdot \mu_0 = \dfrac{1}{C^2}$　$[\mathrm{s^2/m^2}]$

真空誘電率 permittivity of free space

$$\varepsilon_0 = 10^7 / 4\pi C^2 \quad \mathrm{F/m}$$

真空透磁率 permeability of free space

$$\mu_0 = 4\pi / 10^7 \quad \mathrm{H/m}$$