

1. ベクトル解析

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \cos \theta = AB \cos \theta, \quad \text{内積} \quad (1)$$

$$\vec{A} \times \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \sin \theta \odot = AB \sin \theta \odot, \quad \text{外積 (ベクトル積)} \quad (2)$$

$$\vec{B} \times \vec{A} = |\vec{A}||\vec{B}| \sin \theta \otimes = AB \sin \theta \otimes, \quad \text{外積 (ベクトル積)} \quad (3)$$

2. クーロンの法則, 電界 (同種電荷は吸引力, 異種電荷は反発力)

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} \hat{r} \quad [\text{N}], \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad [\text{N/C}], \quad \hat{r}: \text{単位ベクトル} \quad (4)$$

3. 電位 (単位電荷を動かすのに必要な仕事: ポテンシャル) と電界

$$V = -\int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad [\text{V}], \quad \vec{E} = -\nabla V \quad [\text{V/m}], \quad \nabla: \text{ベクトル偏微分演算子} \quad (5)$$

4. ビオ-サバールの法則

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad [\text{T}], \quad Id\vec{l}: \text{微小電流素, } r: \text{磁場の観測点} \quad (6)$$

5. 電磁気力 (クーロン力とローレンツ力)

$$\vec{F}_e = q\vec{E}, \quad \text{電気力 (クーロン力)}, \quad \vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}, \quad \text{磁気力} \quad (7)$$

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}), \quad \text{ローレンツ力} \quad (8)$$

6. 流束 (電場の流束と磁場の流束)

$$\Phi_e = \int_S \vec{D} \cdot d\vec{s}, \quad \text{電束 [C]} \quad \Phi_m = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}, \quad \text{磁束 [Wb]} \quad (9)$$

7. ガウスの法則

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q}{\epsilon_0}, \quad \text{誘電体を含まない (導体のみ)} \quad (10)$$

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q, \quad \text{誘電体を含む (分極電荷を考慮)} \quad (11)$$

8. アンペアの法則

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I, \quad \text{磁性体を含まない (導体のみ)} \quad (12)$$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I, \quad \text{磁性体を含む (磁化電流を考慮)} \quad (13)$$

♠ 変位電流を含む場合 (拡張アンペアの法則),

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{s}, \quad (\text{分極} \cdot \text{磁化} \cdot \text{変位電流を考慮}) \quad (14)$$

9. 電気ダイポールモーメントとトルク (力のモーメント)

$$\vec{p} = Q\vec{l}, \quad \text{電気ダイポールモーメント [C} \cdot \text{m]} \quad (15)$$

$$\vec{N} = \vec{p} \times \vec{E}, \quad \text{トルク [N} \cdot \text{m]} \quad (16)$$

10. 分極ベクトルと分極電流

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{V}, \quad \text{分極ベクトル (単位体積あたりの平均 } \vec{p}) \quad [\text{C/m}^2] \quad (17)$$

$$\vec{J}_b = \frac{\partial \vec{P}}{\partial t}, \quad \text{分極電流密度 [A/m}^2] \quad (18)$$

$$I_b = \int_S \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} \cdot d\vec{s}, \quad \text{分極電流 [A]} \quad (19)$$

11. 分極と分極電荷, 比誘電率

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \quad \text{or } \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_0} (\vec{D} - \vec{P}) = \frac{\vec{D}}{\epsilon_0} - \frac{\vec{P}}{\epsilon_0} = \vec{E}_e - \vec{E}_m, \quad (20)$$

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E}, \quad (P \text{ と } E \text{ が比例関係とみなせる線形媒質の場合}) \quad (21)$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 (\vec{E} + \chi_e \vec{E}) = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} = \epsilon \vec{E}, \quad (22)$$

$$Q_b = \sigma_b S = \oint_S \vec{P} \cdot d\vec{s}, \quad \text{束縛電荷 [C]}, \quad \epsilon_r: \text{比誘電率} \quad (23)$$

12. フレミング左手則 (磁気力, ローレンツ力の巨視版)

$$\vec{F} = \vec{I} \times \vec{B}l, \quad \text{モータの原理 [N]} \quad (24)$$

13. 磁気ダイポールモーメントとトルク (力のモーメント)

$$\vec{m} = I\vec{S}, \quad \text{磁気ダイポールモーメント [A} \cdot \text{m}^2] \quad (25)$$

$$\vec{N} = \vec{m} \times \vec{B}, \quad \text{トルク [N} \cdot \text{m]} \quad (26)$$

14. ダイポールが作る電界または磁界

$$E_r = \frac{p \cos \theta}{2\pi\epsilon_0 r^3}, \quad E_\theta = \frac{p \sin \theta}{4\pi\epsilon_0 r^3}, \quad E_\phi = 0, \quad [\text{V/m}] \quad (27)$$

$$H_r = \frac{m \cos \theta}{2\pi r^3}, \quad H_\theta = \frac{m \sin \theta}{4\pi r^3}, \quad H_\phi = 0, \quad [\text{A/m}] \quad (28)$$

15. 磁化ベクトルと磁化電流

$$\vec{M} = \frac{\sum \vec{m}_i}{V}, \quad \text{磁化ベクトル (単位体積あたりの平均 } \vec{m}) \quad [\text{A/m}] \quad (29)$$

$$\vec{J}_{Sm} = \vec{M} \times \hat{n}, \quad \text{磁化面電流密度 [A/m]} \quad (30)$$

$$I_m = \int_C \vec{M} \cdot d\vec{l}, \quad \text{磁化電流 [A]} \quad (31)$$

16. 磁化と磁極, 比透磁率

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}, \quad \vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} = \vec{B}_e + \vec{B}_m, \quad (32)$$

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H}, \quad (M \text{ と } H \text{ が比例関係とみなせる線形媒質の場合}) \quad (33)$$

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \chi_m \vec{H}) = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu \vec{H}, \quad (34)$$

$$Q_m = MS = \sigma_m S, \quad \text{磁極の強さ [A} \cdot \text{m]} \quad \mu_r: \text{比透磁率} \quad (35)$$

17. 磁気回路に関するオームの法則

$$NI = \Phi R_m, \quad R_m = \oint_C \frac{1}{\mu S} dl = \frac{l}{\mu S}, \quad \text{磁気抵抗 [1/H]} \quad (36)$$

18. 電気抵抗, 移動度と伝導電流

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma S} \quad [\Omega], \quad R_2 = R_1 (1 + \alpha_{t1} (t_2 - t_1)), \quad \alpha_{t1}: \text{温度係数} \quad (37)$$

$$\vec{v} = \frac{e}{k} E = \mu E, \quad I = enS\vec{v} = enS \frac{e}{k} V = \frac{e^2 n S}{k l} V = \frac{1}{R} V \quad [\text{A}], \quad (38)$$

19. 磁束鎖交数

$$\varphi = N\Phi \quad [\text{Wb}], \quad N = nl: \text{巻数}, \quad n: \text{単位長さあたりの巻数} \quad (39)$$

20. ファラデーの法則

$$e = -\frac{d\varphi}{dt} \quad [\text{V}], \quad \text{or } \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s} \quad [\text{V}], \quad (40)$$

♠ 磁場の変化がない場合, 即ち $\partial/\partial t = 0$ のときは

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0, \quad \text{保存場 (する仕事=される仕事) の性質 [J]} \quad (41)$$

21. フレミング右手則

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}, \quad \text{発電機の原理 [V/m]} \quad (42)$$

22. キャパシタンス

$$C = \frac{Q}{V}, \quad \text{キャパシタンス [F]} \quad (43)$$

23. 自己インダクタンスと相互インダクタンス

$$L = \frac{\varphi}{I} \quad [\text{H}], \quad M = \frac{\varphi_{21}}{I_1} = k\sqrt{L_1 L_2}, \quad k: \text{結合係数} \quad (44)$$

24. 電気エネルギー

$$W_e = \int_0^V C v dv = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV \quad [\text{J}], \quad (\text{回路素子の場合}) \quad (45)$$

$$u_e = \int_0^D E dD = \frac{1}{2} ED = \frac{1}{2} \epsilon E^2 = \frac{1}{2} \frac{D^2}{\epsilon} \quad [\text{J/m}^3] \text{ or } [\text{N/m}^2], \quad (46)$$

25. 磁気エネルギー

$$W_m = \int_0^I L i di = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \varphi I \quad [\text{J}], \quad (\text{回路素子の場合}) \quad (47)$$

$$u_m = \int_0^B H dB = \frac{1}{2} HB = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} \quad [\text{J/m}^3] \text{ or } [\text{N/m}^2], \quad (48)$$

26. 静電界の基本方程式

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0, \quad \text{or } \nabla \times \vec{E} = 0, \quad \text{保存場の性質} \quad (49)$$

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q, \quad \text{or } \nabla \cdot \vec{D} = \rho, \quad \text{ガウスの法則} \quad (50)$$

27. 静磁界の基本方程式

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I, \quad \text{or } \nabla \times \vec{H} = \vec{J}, \quad \text{アンペアの法則} \quad (51)$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0, \quad \text{or } \nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad \text{磁束密度ガウスの法則} \quad (52)$$

28. 電磁界の基本方程式 (マクスウェルの方程式)

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{s}, \quad \text{or } \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (53)$$

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{s}, \quad \text{or } \nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (54)$$

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{s} = Q, \quad \text{or } \nabla \cdot \vec{D} = \rho, \quad (55)$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0, \quad \text{or } \nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad (56)$$

29. 構成方程式 (補助方程式)

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}, \quad \vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_0 \mu_r \vec{H}, \quad (57)$$

30. 境界条件 (マクスウェルの方程式の境界版) ♠ 領域 I の電磁界を

E_1, H_1 , 領域 II の電磁界を E_2, H_2 とし, 境界面に面電流 \vec{J}_S [A/m] と真電荷 ρ [C/m³] が存在しないとき,

$$E_{1t} = E_{2t}, \quad H_{1t} = H_{2t}, \quad \text{接線 (tangential) 成分の連続性} \quad (58)$$

$$D_{1n} = D_{2n}, \quad B_{1n} = B_{2n}, \quad \text{法線 (normal) 成分の連続性} \quad (59)$$