電磁気学 I, II 公式集

v4.7 Jun.2018　　　　＿＿＿＿ 科 ＿＿＿ 年 ＿＿＿ 番　氏名:＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

1. ベクトル解析

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

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

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

$\vec{F}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Qq}{r^2}\hat{r}$ [N]，$\vec{E}=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{r^2}\hat{r}$ [N/C]，$\hat{r}$: 単位ベクトル　(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

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

4. ビオ-サバールの法則

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

5. 電磁気力（クーロン力とローレンツ力）

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

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

6. 流束 (電場の流束と磁場の流束)

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

7. ガウスの法則

$\displaystyle\oint_S\vec{E}\bullet d\vec{s}=\frac{Q}{\varepsilon_0},$　誘電体を含まない（導体のみ）　(10)

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

8. アンペアの法則

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

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

♠ 変位電流を含む場合（拡張アンペアの法則），

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

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

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

10. 分極ベクトルと分極電流

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

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

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

11. 分極と分極電荷，比誘電率

$\vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}+\vec{P}$，or　$\vec{E}=\dfrac{1}{\varepsilon_0}(\vec{D}-\vec{P})=\dfrac{\vec{D}}{\varepsilon_0}-\dfrac{\vec{P}}{\varepsilon_0}=\vec{E}_e-\vec{E}_m,$　(20)

$\vec{P}=\varepsilon_0\chi_e\vec{E}$，（$P$ と E が比例関係とみなせる線形媒質の場合）　(21)

$\vec{D}=\varepsilon_0\left(\vec{E}+\chi_e\vec{E}\right)=\varepsilon_0\left(1+\chi_e\right)\vec{E}=\varepsilon_0\varepsilon_r\vec{E}=\varepsilon\vec{E},$　(22)

$Q_b=\sigma_b S=\displaystyle\oint_S\vec{P}\bullet d\vec{s},$　束縛電荷 [C]，　ε_r : 比誘電率　(23)

12. フレミング左手則（磁気力，ローレンツ力の巨視版）

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

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

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

14. ダイポールが作る電界または磁界

$E_r=\dfrac{p}{2\pi\varepsilon_0}\dfrac{\cos\theta}{r^3},$　$E_\theta=\dfrac{p}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{\sin\theta}{r^3},$　$E_\varphi=0,$　[V/m]　(27)

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

15. 磁化ベクトルと磁化電流

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

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

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

16. 磁化と磁極，比透磁率

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

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

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

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

17. 磁気回路に関するオームの法則

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

18. 電気抵抗，移動度と伝導電流

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

$\bar{v}=\dfrac{e}{k}E=\mu E,\ \ I=enS\bar{v}=enS\dfrac{e}{k}\dfrac{V}{l}=\dfrac{e^2nS}{kl}V=\dfrac{1}{R}V$ [A],　(38)

19. 磁束鎖交数

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

20. ファラデーの法則

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

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

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

21. フレミング右手則

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

22. キャパシタンス

$C=\dfrac{Q}{V},$　キャパシタンス [F]　(43)

23. 自己インダクタンスと相互インダクタンス

$L=\dfrac{\varphi}{I}$　[H],　$M=\dfrac{\varphi_{21}}{I_1}=k\sqrt{L_1L_2},$　k : 結合係数　(44)

24. 電気エネルギー

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

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

25. 磁気エネルギー

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

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

26. 静電界の基本方程式

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

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

27. 静磁界の基本方程式

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

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

28. 電磁界の基本方程式（マクスウェルの方程式）

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

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

$\displaystyle\oint_S\vec{D}\bullet d\vec{s}=Q,$　or　$\nabla\bullet\vec{D}=\rho,$　(55)

$\displaystyle\oint_S\vec{B}\bullet d\vec{s}=0,$　or　$\nabla\bullet\vec{B}=0,$　(56)

29. 構成方程式（補助方程式）

$\vec{J}=\sigma\vec{E},$　$\vec{D}=\varepsilon\vec{E}=\varepsilon_0\varepsilon_r\vec{E},$　$\vec{B}=\mu\vec{H}=\mu_0\mu_r\vec{H},$　(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 $\vec{E}_1,\vec{H}_1$, 領域 II の電磁界を $\vec{E}_2,\vec{H}_2$ とし，境界面に面電流 $\vec{J}_S$ [A/m] と真電荷 ρ [C/m^3] が存在しないとき，

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

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