輪講会での質疑応答

(2008 年 7 月 22 日)

1.1　(p.2)(p.15) 式 (1.4) や式 (3.1) は電磁界が時間的に変化しないときの式だが、時間的に変化する場合は?

「基礎電磁気学」[1]p.197 の式 (16.4) のように、ベクトルポテンシャル $\boldsymbol{A}$ を使って、

$$\boldsymbol{E} = -\nabla\phi - \frac{\partial \boldsymbol{A}}{\partial t} \tag{1}$$

となる。

1.2　(p.3) 式 (1.10) で、正イオンの時は電荷だけ符号を変えればよいのでは?

正イオン時、電荷の符号と電位の符号の両方を変えると、$\boldsymbol{E}$ の符号が反転するから式 (1.3) は質量と価数と $\boldsymbol{B}$ による影響を除いて電子と同じ式になるから、同じ軌道になる。

$$m\frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2} = -e[\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}] = Ne[-\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}] \tag{2}$$

1.3　(p.3) 式 (1.13) では $\phi = \phi_0$ のとき、$v_0 = 0$ を仮定していますか?

式 (1.6) との整合性を考えると yes である。初速度はゼロ。

2.1　(p.9) 式 (2.15) に相対論が入ったときは?

質量 m が相対論を考慮した値。すなわち

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \tag{1}$$

と考えればよい。これは均一磁界に入る電子の速度が高速に近づくと、サイクロトロン周波数 w_c が小さくなる事を意味している。式 (2.19) で決まる半径 R も大きくなっていく。$v \to c$ では $R \to \infty$ となる。すなわち電子軌道は曲がらない。

2.2　(p.11) 8 行目で、「$\alpha \ll 1$ のとき z 方向の速度は同じとみてよいから同じ z 面に戻る。」ということは、$\alpha \ll 1$ でないときは同じ z 面に戻らないということか?

Yes.

3.1　(p.18) 式 (3.10) の意味は?

被積分関数は $E_x^2 + E_y^2 + E_z^2$ であり、これに $\varepsilon/2$(ε は誘電率) を乗ずると静電エネルギー密度となる。静電エネルギーが最小ということはテキスト式 (3.10) の $\phi \to \phi + \delta\phi$ に対して変分がゼロを意味し、式 (3.10) となる。

3.2　(p.19) 式 (3.18) の近似式はどこから?

テキスト式 (3.18) は軸上電位を好く近似する半経験的公式。理論的に導出されたものもではない。

4.1　(p.28) 式 (4.7) は、電界変化が急激なところでも成り立つか?

FE エミッタのように尖ったところ (カド) では電界変化を急峻にできるが、α が小さいところのみを考える範囲で式 (4.7) は成り立つ。平面では急激な電界変化は作れない。

電界変化が急激な領域では、電位あるいは磁位をべき級数展開したとき、高次の項の寄与が急速に増大する。従って近軸と言える範囲が急速に狭くなる。

4.2　(p.30) 式 (4.25) の m_0 は m でしょうか?

ここでは、相対論は問題にしていない。m_0 でも m でも同じ意味。p.4 11 行参照

4.3　(p.31) Q: 式 (4.33) で $\sqrt{\Phi}X'$ の物理的な意味は?

$$\frac{d}{dz}(\sqrt{\Phi}X') + X\left[\frac{\Phi''}{4\sqrt{\Phi}} + \frac{e/m}{8\sqrt{8\sqrt{\Phi}}}\right] = 0 \tag{1}$$

$\sqrt{\Phi}X'$ は X 方向の運動量成分に比例する量である。式 (4.49) にも同じ形 $\mathbf{p}X'$ が出てくる。エミッタンス図の縦軸も同じ形になっている。

4.4　(p.32) ガウス結像系とは?

下から 9 行目から 6 行目までの「この性質は近軸方程式が 2 階線形であること、および X 軌道と Y 軌道が同じ方程式に従うことによる。この性質を持つ結像形をガウス結像系という。回転対称系はこの性質を持っている。レンズとして回転対称系が主として用いられる最大の理由である。」に関して、

(1)「近軸方程式が 2 階線形であること、および X 軌道と Y 軌道が同じ方程式に従う」は「ガウス結像系」であるための必要十分条件。回転対称系の定義は、p.251　6 行目にもあるように、軸の周りの任意の角度の回転変化に対して同じ特性を示すこと。

近軸に関して式 (4.19)、式 (4.20) が成立すれば、任意の角度の回転ただし時間的に変わらない回転をしても、式 (4.13) から分かるように同じ方程式になる。同じ初期条件であれば同じ方程式を満たせば同じ軌道となる。

(2)「2 階線形でかつ X 軌道と Y 軌道が同じ方程式に従う」は「回転対称系」の必要十分条件であるか？

「回転対称系」なら「2 階線形でかつ X 軌道と Y 軌道が同じ方程式に従う」を満たしているが、逆は正しくない。収差に関して近軸軌道方程式が無電界・無磁界のときと、6 極子、8 極子のときとで同じであることから。

4.5　(p.33) z_{hi}, z_{h0} の添え字 h の由来は？

主面のドイツ語が Hauptfläche

4.6　(p.33) 式 (4.42) で $\dfrac{l_0 - f_i}{f_0} < 0$ となることがあるか?

z_0, z_i はレンズ界の外を仮定しているので、(集束レンズでは) 負になることはない。 発散レンズでは負になる。

4.7　(p.34) f_0, z_{h0} を導く時に使う関係式は?

$$\frac{M}{f_0} = G_{\mathrm{I}}'(z_0),\ (z_0 - z_{h0})G_{\mathrm{I}}'(z_0) - G_{\mathrm{I}}(z_0) = -M \tag{2}$$

4.8　(p.37) 図 4.8 の像側の図形は楕円 $(-\pi \le \alpha \le \pi)$ か？

ρ が小さいとき近似的に成り立つ。ρ が大きいときは α の絶対値の小さい領域で楕円の一部になる。

5.1　(p.63) 「幾何収差は u, u' の高次項」とは?

式 (3.15) の r の 2 次の項は、近軸であるので、収差には効かない。それ以上の項のことを高次項という。

5.2　(p.65) **コマ収差では、$e^{2j\phi_a}$ の項があるから ϕ_a を 0 から 2π まで変えると、2 回転する**?

yes。

5.3　(p.68) **式 (5.21) の絞り面位置依存性はある**?

テキスト式 (5.21) で、

$$C_s = \frac{B}{(h_0')^3} = \text{一定？} \tag{1}$$

最下行で、「上記のことから」とあるが、これは絞り面の位置が変わっても上式が一定、すなわち B は絞り面の位置に依存しないことを意味しているわけではなく、式 (16.7) に示されているように B は $w_a^2\bar{w}_a$ の係数に依存するから絞り面の位置に依存する。B には絞り面位置依存性がある。ただしゼロにはならない。

5.4　(p.75) **式 (5.39) において、C_c の符号は負でいいか**?

yes. 式 (5.39) において、C_M や C_R は絞りを焦点面においたときの式。

式 (5.43) や式 (5.53) では C_c の符号は負であるが、図 5.18(a) や式 (5.44) は正であるので、C_c の符号が正なのか負なのかはっきりしないようだが、p.282 の 10 行目を参照すると、「色収差係数の定義は負符号を含むが、収差補正分野では、この負符号を外して議論することが慣習であり、この章ではそれに従う。」とある。

5.5　(p.78) **式 (5.53) は C_c、では $\tilde{C}_c$ は**?

Hawkes-Kasper "Principal of electron optics" Vol.1 [4] の 26.2 節を参照。文献の変数のまま引用すると次になる。積分範囲が $-\infty$ から ∞ となる。

$$C_c = \hat{\phi}^{1/2} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\gamma(3 + 2\epsilon\phi'^2)H^2}{8\hat{\phi}^{5/2}} \tag{2}$$

5.6　(p.86) **式 (5.72) の係数 a_{10} や a_{01} の意味は**?

式 (5.72) の係数 a_{10} や a_{01} などの添え字は x や y の次数を示しているだけ。a は係数という意味で式 (3.22) とは直接関係がない。

5.7　(p.86) **式 (5.75) の下の数値例では $M = 1$ とおいているのか**?

No. ΔU_i は像面だから数値例に M は要らない。式 (5.16) より $d_a = \Delta z^{\mathrm{III}} - \Delta z^{\mathrm{II}}$。

6.1　(p.91) **式 (6.2) に入っている仮定は**?

式 (6.2) では空間電荷による Φ の変化は 0 とおいている。つまり、Φ' や Φ'' は空間電荷があってもなくても同じと仮定している。従って、陰極近傍では空間電荷によって Φ' や Φ'' が変わるので、式 (6.2) は誤差が大きい。

6.2　(p.94) R と R_0 と R^* **の変数の意味**?

- Z: 軸上距離の規格化変数
- R: ビーム半径で Z の関数
- R_0: $Z = 0$ での R
- Φ も Z の関数
- $R = R^*\Phi^{-1/4}$

6.3　(p.94) **入射条件は軸に平行か**?

$R' = 0$ より、平行と考えられる。

6.4　(p.102) **式 (6.35) で相対論補正はどこに入る**?

相対論効果は文献 4)[5] 参照のこと。

7.1　(p.110) **式 (7.15) の意味は**?

式 (7.13) から

$$\frac{dN}{dtdxdy} = \frac{fdxdydz}{dtdxdy}d\boldsymbol{v} = f\frac{dz}{dt}\boldsymbol{v} = f\dot{z}d\boldsymbol{v} \tag{1}$$

よって

$$dJ = \frac{-edN}{dtdxdy} = -ef\dot{z}d\boldsymbol{v} \tag{2}$$

8.1　(p.119) **式 (8.3) は収差のあるときにも成立するのか?すなわち、エミッタンスは収差があるときにも保存されるのか**?

yes. 式 (4.35) は近軸不変量の式であるから、2 階線系微分方程式の性質から出ているが、リウビルの定理より、位相空間の体積 $d\boldsymbol{p}d\boldsymbol{q}$ は保存される。これはエミッタンスの面積に相当するので、結局面積を表している式 (8.3) は常に成立すると考えられる。すなわちエミッタンスは収差があるときにも保存される。

8.2　(p.123) **図 8.11(a) のエミッタンス図が交差しているのはなぜか**?

実際にはエミッタンスは交差しない。全ての収差を考えたときエミッタンスは交差しない。

図 8.11(a) では軸上位置が違った面の図形を重ねて画いてあるだけで、見かけ上のもの。

8.3　(p.123) **式 (8.25) は初速度分布のある点光源の時にも成り立つか**?

点光源のエミッタンスは 0 だから、$\varepsilon \to 0$ とすれば良い。

8.4　(p.123) **式 (8.27) の左辺の分母 R_0 はいらないのでは**?

ディメンションを考えると必要。

8.5　(p.127) 1 **行目で、「$\varepsilon^* = 0$ 初速度分布がない」とは**?

電界に垂直な方向にしか電子が出ていない状況。すなわち各場所から出ている電子は平行か交差せず拡がるように出ているとき。図 1 を参照。

8.6　(p.129) **式 (8.32) で、第 2 項の m は m^2 ではないか**?

式 (8.16) で $q_0 = G,\ p_0 = H, A = r_c,\ B = v_c$ とすると、$q = r_cG + v_cH$ となり、$R^2 = r_c^2G^2 + v_c^2H^2$ であり、v_c に $(v_c)_{max} = \sqrt{2kT/m}$ を代入する。

変換行列として、

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G & \frac{H}{m} \\ C & D \end{pmatrix} \tag{1}$$

ととる。すなわち、

$$\begin{pmatrix} q \\ p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}\begin{pmatrix} q_0 \\ p_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G & \frac{H}{m} \\ C & D \end{pmatrix}\begin{pmatrix} r_c \\ v_c \end{pmatrix} \tag{2}$$

と、式 (8.32) になる。拘束条件は $AD - BC = 1$ なので $C,\ D$ の取り方で条件を満たすことができる。

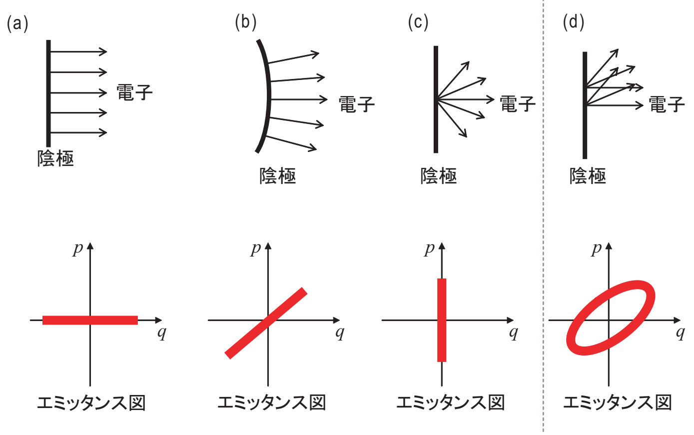

図 1 $\epsilon^* = 0$ 初速度分布がないとは? (a)～(c) のとき $\epsilon^* = 0$、(d) のとき $\epsilon^* \neq 0$。(a)～(c) では電子は陰極から電界に引っ張られて、互いに交わらずに走る。

9.1 (p.131) 下から 11 行目で、「式 (3.19) を多重極展開すると、$\underline{m = 2}$ が基本成分 となる。$\phi = \pi/2$ で電位が等量逆符号になるので、高調波成分は m の奇数倍項が残る。従って、$\underline{m = 2 \times 3 = 6}$ すなわち 12 極子界が最低次高調波成分となる。」となっている部分で、アンダーラインを付けた箇所の意味は?

図 9.1(a) の場合、電極電位が $\varphi = 0, \pi$ で正、$\varphi = \pi/2, 3\pi/2$ で負であるから、電位変化の最低次は 2 である。

多極子界に偶数次数、例えば $m = 4$ が残れば $\varphi = \pi, 3\pi/2$ で正となり、図 9.1(a) と合わなくなる。

9.2 (p.132) 式 (9.3) や式 (9.4) の $\mathbf{E}$, $\mathbf{B}$ は?

$a_{20} = \dfrac{\mathbf{E}(z)}{2}$ や $a_{11} = -\mathbf{B}(z)$ に対する E, B は任意定数と見ればよく、これと電極電位 V_1 と磁極磁位と関係づければ式 (9.7) となる。

10.1 (p.142) 式 (10.2) や (10.3) において $\ddot{z} = \frac{e}{m}\boldsymbol{E}_0'(z)y$ や $\boldsymbol{B}_0'(z)$ は 2 次微少量?

x, y, x', y' は 1 次微少量とみなすのが近軸仮定。$\boldsymbol{E}_0'(z)$ や $\boldsymbol{B}_0'(z)$ は落とすことができない。z 方向には変化しうる。

10.2 (p.142) 5 行目にある多重極展開というのは $m = 1$ が基本成分で、つぎの高調波成分が $m = 3$ とは?

図 10.3 で、$x = \cos\theta$, $y = \sin\theta$ とおくと、電位は $\theta = 0, \pi$ でゼロ、$\pi/2$ で正、$3\pi/2$ で負となるから、基本成分が $m = 1$ で奇数次成分だけで表現できる。

10.3 (p.144) 周波数が高くなるときは、走行時間効果のため感度低下し、加速電圧が高くなると相対論の項も入ってくる?

yes.

10.4 (p.145) 表 10.2 で $\dot{z}$ は一定と考える?

x 方向は一様とみなす。

10.5 (p.153) 17 行目、「蛍光面の手前で中心軌道を横切ることになる」は「蛍光面の手前で R の軌道は中心軌道を横切ることになる」の意味?

図 10.17 で G の軌道が中心軌道。R および B の軌道が蛍光面の手前で G の軌道を横切ることを意味している。すなわち、「蛍光面の手前で R と B の軌道が中心軌道 G を横切ることになる」

10.6 (p.153) 図 10.18 の矩形穴電極は 1 枚の電極?全面が同じ電圧?

yes.

11.1 (p.158) 下 5 行で、「通常はスリットを源の像面におく」とありますが、図 11.1 の QQ' 面でしょうか?それとも QQ'' 面でしょうか?

11.3.H 節を参照。QQ' 面に垂直。Q' がある運動量の電子が集まる点。

11.2 (p.164) 界面の形を 4 極子以外、曲線にしたら高次の収差項を消せる?

適切に選べば消せる可能性がある。§11.3D 参照。

11.3 (p.164) $\psi = -\boldsymbol{B}_0(z + yz\tan\alpha)$ は 4 極子の式 (9.4) と等価ということであるが、実際の分布はどうなっているか?

図 2 参照。$y - z$ 平面に 4 極子。第 1 象限と第 3 象限に N 極。第 2 象限と第 4 象限に S 極を配置する。x 方向の長さは $y\tan\alpha$ に比例。

11.4 (p.170) 式 (11.46) の第 1 式中の y_3?

座標の取り方は図 11.16 のように、軸に垂直に $\bar{y}$ 偏向基準軌道に垂直に y ととっている。したがって、y_3 は $\bar{z} = \bar{z}_3$ のときの x 軸に垂直にとられた y 座標の値。

12.1 (p.190) 図 12.23 の計算条件は?

熱電子銃では輝度を一定として計算。一方、FE 電子銃では $dI/d\Omega$ を一定として計算。

14.1 (p.223) (14.31) の第 2 式の意味?

式 (14.30) を式 (14.29) に代入し、τ を一次微少量としてべき級数展開し、一次項をとったもの。

14.2 (p.224) (14.33) 式の運動方程式で、$\frac{e(\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{v})}{c^2}$ はどうして付加されているのでしょうか?

運動方程式式は式 (1.11)。左辺は

$$\frac{d\boldsymbol{p}}{dt} = \boldsymbol{v}\frac{d}{dt}\left(\frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\right) + \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \boldsymbol{v}\frac{dm}{dt} + m\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}, \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \tag{1}$$

式 (1.13) の両辺の微分をとると

$$d\left(\frac{m_0c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\right) = ed\phi = -e\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{v}dt. \tag{2}$$

これを上式に代入すれば式 (14.33) となる。

詳細には、(2) は、式 (1.13)

$$mc^2 - m_0c^2 = e(\phi - \phi_0) \tag{3}$$

の両辺を t で微分すると

$$c^2\frac{dm}{dt} = e\frac{d\phi}{dt} = \frac{d\phi}{d\boldsymbol{r}}\frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = -e\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{v}, \quad \therefore \frac{dm}{dt} = -\frac{e\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{v}}{c^2} \tag{4}$$

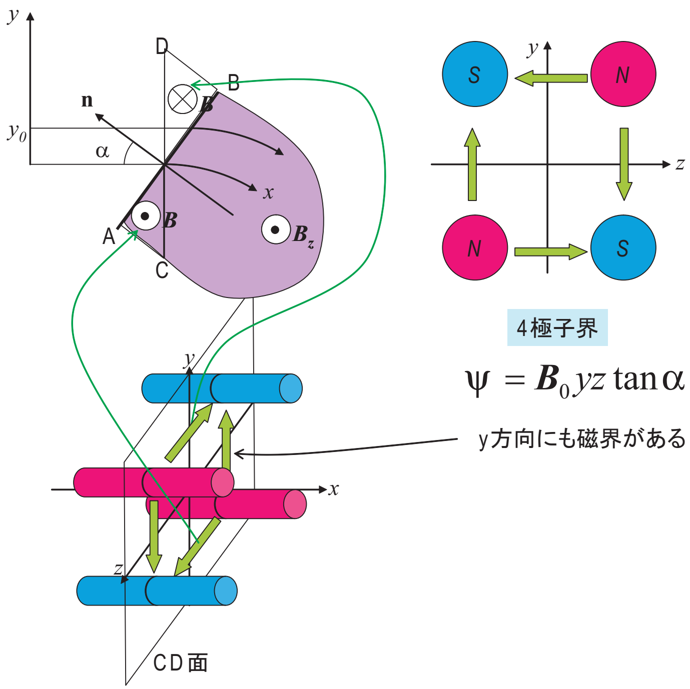

図 2　テキスト図 11.10 の拡張。斜入射プリズムの場合 4 極子界が重畳される。

これを上式 (1) に代入すると、

$$-\frac{e\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{v}}{c^2}\boldsymbol{v}+m\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}=-e(\boldsymbol{E}+\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}) \tag{5}$$

$$m\frac{d\boldsymbol{v}}{dt}=m\frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2}=\frac{e\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{v}}{c^2}\boldsymbol{v}-e(\boldsymbol{E}+\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B}) \tag{6}$$

15.1　(p.234) 式 (15.31)$gdz \to dz$?

式 (15.31) では g が消えているのは、回転対称系ですから、式 (15.29) を代入するとき $gdz \to dz$ に戻して考えているから。

15.2　(p.234) 下から 3 行目の式に抜け?

$$\begin{aligned}x'A_x+y'A_y&=-x'g\frac{\partial}{\partial y}\int\phi dz-y'g\frac{\partial}{\partial x}\int\phi dz &(1)\\&=-x'(1-\kappa x)\left(\int\Phi_1dz+2x\int\Phi_2dz\right)+2yy'(1-\kappa x)\int\Phi_2dz &(2)\\&=-x'(1-\kappa x)\left(\int\Phi_1dz+2x\int\Phi_2dz\right)+2yy'\int\Phi_2dz &(3)\end{aligned}$$

(2) において、$yy'\kappa x$ の項は 3 次項なので、(3) では省略されている。また、(3) には省略されていないが、$x'\kappa x^2$ 項も 3 次項になるので省略して良い。

15.3　(p.237) 2 行目の「→ は部分積分による変換」?

$$-\mathbf{P}^{-1}\mathbf{P}'X^*X*'=-\frac{1}{2}\frac{\mathbf{P}'}{\mathbf{P}}(X^{*2})'=-\frac{1}{2}\left(\frac{\mathbf{P}'}{\mathbf{P}}(X^{*2})\right)'+\frac{1}{2}\left(\frac{\mathbf{P}'}{\mathbf{P}}\right)'(X^{*2}) \tag{4}$$

であるが、右辺の第 1 項は全微分で変分の積分の外に出るから消せる。p.235 の 1 行目から 7 行目までを参照。

15.4　(p.239) 式 (15.53) で、左辺第 1 項が $\frac{d}{dz}(\mathbf{P}X'^{\mathrm{I}})-\Gamma_xX^{\mathrm{I}}$ となっていますが、$X'^{(2)}$や $X^{(2)}$ の項ではないのはなぜか?

式 (15.53) の上の式の左辺に式 (15.39) を代入する。

$$\frac{\partial F^{(2)}}{\partial X'}=\mathbf{P}X'=\mathbf{P}(X'^{(2)}+X'^{\mathrm{I}}),\ \ \frac{\partial F^{(2)}}{\partial X}=-\Gamma_XX=-\Gamma_X(X^{(2)}+X^I) \tag{5}$$

$X^{(2)}$ に関する項は近軸方程式によってゼロ。よって式 (15.53) の左辺が残る。

15.5　(p.243) 「流通面」とは?

流通面は current plane の訳。現在問題にしている面のこと。

15.6　(p.243) 式 (15.77) の上の式で F^0 は?

$$\frac{\partial F^0}{\partial X'}=\frac{X'\sqrt{\Phi^*}}{(1+X'^2+Y'^2)^{1/2}} \tag{6}$$

において、回転対称系なので $F^0=\sqrt{\Phi^*}\sqrt{1+X'^2+Y'^2}$ である。

16.1　(p.257) 組合せ収差の次数が式 (15.85) から $2(n-1)$ になる?

上から 5 行目、組合せ収差の次数が式 (15.85) から $2(n-1)$ になるのはなぜ?

r^{I} が n 次、$\partial F^{\mathrm{I}}/\partial r'$ が $(n-1)$ 次、この積を X で微分するから $n\times(n-1)-1=2(n-1)$ 次。

16.2　(p.260) 式 (16.18) で、$U_0\to U_0e^{j\phi}$ の置換に対して不変?

式 (16.18) で、$U_0\to U_0e^{j\phi}$ の置換に対して不変ということは、単なる座標回転であり　$U_o\to U_oe^{j\phi}$ ということ。

$U_0'\bar{U}_0\to U_0'\bar{U}_0'+j\phi'(U_0\bar{U}_0'-U_0'\bar{U}_0)+U_0\bar{U}_0(\phi')^2$ で、$\bar{U}_0U_0'\to(\cos\phi+\phi'\sin\phi)\bar{U}_0U_0'-j(\sin\phi+\phi'\cos\phi)\bar{U}_0U_0'$ と考えるわけではない。

16.3　(p.260) 式 (16.19) の係数 (2000) などは何に対するべきの係数を表しているのでしょうか?

$r,\ s,\ u,\ v$ のべきを表現している。

16.4　(p.271) 式 (16.65) の下の「x_0 に関するテイラー展開を ${}_3D_1$ で計算する。x の初期値は x_0 であるから、x を x_0 でテイラー展開すると次式のように $x_0=0$ の時の値は 0 である。」という部分の意味は?

「x_0 のゼロ次項が無い」という意味である。

16.5　(p.269, p.271) $[x]$ の定義はどうなるのでしょうか?

$[f(x)]$ の定義は式 (16.50) で $[f(x)]=(f(x),f'(x))$ と与えられているときにその変数である x に対して式 (16.54) で、

$$[x]=x+d_1,\ d_1=(0,1) \tag{1}$$

となっています。

同じく、式 (16.55) で $f(x)$ の ${}_nD_1$ を $[f(x)]$ で表し、

$$[f(x)] = (f(x), f'(x), \cdots, (1/k)!f^{(k)}(x), \cdots, (1/n!)f^{(n)}(x)) \tag{2}$$

となっていますが、p.271 の式 (16.65) の 4 行下では、

$$[x_0] = (0, x_0, 0, 0, 0, 0) \tag{3}$$

となっています。式 (16.55) で、x_0 は関数 $x(z)$ の $z = 0$ の時の値 $x(0) = x_0$ と与えています。式 (16.50) で $f(x) = x$ とおいたときには、$[f(x)] = [x] = (x, dx/dx) = (x, 1) = x + (0, 1) = x + d_1$ となるので、(1) と合いますが、式 (16.55) の定義を使ったときには、$[f(x)] = [x] = (x, dx/dx, (1/2!)d^2x/dx^2, (1/3!)d^3x/dx^3, \cdots, (1/n!)d^nx/dx^n) = (x, 1, 0, \cdots, 0)$ となり、(3) と合わないようですが、変数 x に対して、$[x]$ の定義はどうなるのでしょうか?

$[x_0]$ は式 (16.65) の下の式にあるように、x のテイラー展開微分ではなく、その初期値 x_0 でのテイラー展開である。

式 (16.50) の x は座標変数ではなく、一般の変数である。

本来目的とする展開は式 (16.42) です。混同しないように。

17.1 (p.279) **$\Delta z^* = 1.19$ の選び方?**

CTF の変動が余り大きくならないという基準で選ばれている。$\Delta z^* = 1.20$ の時の方が $B(q^*) = 0$ となる q^* の値は大きくなるが、ここでは一例として。

17.2 (p.297) **式 (17.32) の $(1/4)(w_a^2 + \bar{w}_a^2)\{A_s(H_x^2 - H_y^2) + A_a(H_x^2 + H_y^2)\}$ が二重項になるのでしょうか?**

w_a^2 は w_a の位相が $0 \to \pi$ 変わるとき、$0 \to \pi$ 変わり、0 とπ の位置が対称になるから。

17.3 (p.297) **式 (17.32) で二重項が $(1/4)(w_a^3\bar{w}_a + w_a\bar{w}_a^3)\{A_{s1}(H_x^4 - H_y^4) + A_a(H_x^4 + H_y^4)$ となっていますが、どうしてでしょうか?**

$w_a^3\bar{w}_a$ も w_a の位相が $0 \to \pi$ 変わるとき、$0 \to \pi$ 変わるので、0 とπ の位置が対称になるから。

17.4 (p.297)(p.332) **演習 17.10 の解答で、二重項が $-2\{w_0\bar{w}_0(w_a^2 + \bar{w}_a^2) - w_a\bar{w}_a(w_0^2 + \bar{w}_0^2)\}$ となっていますが、どうしてでしょうか?**

$w_0^2, \bar{w}_0^2$ が二重項。

17.5 (p.300) **式 (17.39) で (3000) や (1200) は?**

(3000) などは収差に寄与しない。

参考文献

[1] 裏　克己, 基礎電磁気学, 共立出版 (1997)

[2] 裏　克己, 進行波管の動作理論に関する研究, 学位論文 (1961) 付録 B

[3] W. Glaser, Elecktronen-Ionen Physik, Handbuch d. Physik, XXXIII, Springer (1956)

[4] P. W. Hawkes and E. Kasper, “Principal of electron optics” Vol. 1, Academic Press, London (1989)

[5] G. H. Jansen, Adv. Electronics and Electron Physics, Suppl, **21**, Chap. 11, Academic Press, London (1989)

[6] 森口繁一, 宇田川銈久, 一松信, 岩波数学公式 I, 岩波書店 (1992)

[7] 森口繁一, 宇田川銈久, 一松信, 岩波数学公式 II, 岩波書店 (1992)

[8] 森口繁一, 宇田川銈久, 一松信, 岩波数学公式 III, 岩波書店 (1991)