Example 10.2

$$R=\sqrt{z^2+s^2}$$

$I(t_r)$ は $t_r=t-\dfrac{R}{c}=t-\dfrac{\sqrt{z^2+s^2}}{c}>0$ のみで 0 でない $[I(t_r)=I_0]$.

$ct>\sqrt{z^2+s^2}$ $\quad \sqrt{(ct)^2-s^2}>|z|$ $\quad$ (10.25)

$$\boldsymbol{A}(s,t)=\frac{\mu_0 I_0}{4\pi}\hat{\boldsymbol{z}}\int_{-\sqrt{(ct)^2-s^2}}^{\sqrt{(ct)^2-s^2}}\frac{dz}{R}=2\frac{\mu_0 I_0}{4\pi}\hat{\boldsymbol{z}}\int_0^{\sqrt{(ct)^2-s^2}}\frac{dz}{\sqrt{z^2+s^2}}=\frac{\mu_0 I_0}{2\pi}\hat{\boldsymbol{z}}\Big[\ln(\sqrt{z^2+s^2}+z)\Big]_0^{\sqrt{(ct)^2-s^2}}$$

$$=\frac{\mu_0 I_0}{2\pi}\ln\left(\frac{ct+\sqrt{(ct)^2-s^2}}{s}\right)\hat{\boldsymbol{z}}$$

$$\boldsymbol{E}(s,t)=-\frac{\partial \boldsymbol{A}}{\partial t}=-\frac{\mu_0 I_0}{2\pi}\hat{\boldsymbol{z}}\frac{\partial}{\partial t}\ln\left(\frac{ct+\sqrt{(ct)^2-s^2}}{s}\right)=-\frac{\mu_0 I_0}{2\pi}\hat{\boldsymbol{z}}\frac{\frac{1}{s}\left(c+\frac{ct\cdot c}{\sqrt{(ct)^2-s^2}}\right)}{\frac{ct+\sqrt{(ct)^2-s^2}}{s}}$$

$$=-\frac{\mu_0 I_0}{2\pi}\hat{\boldsymbol{z}}\frac{c(\sqrt{(ct)^2-s^2}+ct)}{(ct+\sqrt{(ct)^2-s^2})\sqrt{(ct)^2-s^2}}=-\frac{\mu_0 I_0}{2\pi}\hat{\boldsymbol{z}}\frac{c}{\sqrt{(ct)^2-s^2}}$$

$\boldsymbol{B}(s,t)=\nabla\times\boldsymbol{A}=-\dfrac{\partial A_z}{\partial s}\hat{\boldsymbol{\varphi}}$ $\quad$ 円柱座標p.44(1.81)より

Prob.10.12 **準静的、準定常電流**　p.308 **も参照**

$$\nabla\times\boldsymbol{B}=\mu_0\boldsymbol{J}+\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial\boldsymbol{E}}{\partial t}$$ **右辺第１項に対して第２項を無視できるという近似**

***J*が時間変化するときも静磁場を求める式を使える（$\boldsymbol{J}\to\boldsymbol{J}(t)$の置き換えのみでよい）**

その根拠

$$f(x)=f(x=a)+\frac{\partial f}{\partial x}(x=a)(x-a)+\cdots$$

$$J(t_r)=J(t_r=t)+\frac{\partial J}{\partial t_r}(t_r=t)(t_r-t)+\cdots\cong J(t)+\frac{\partial J(t)}{\partial t}(t_r-t)=J(t)+\dot{J}(t)(t_r-t)=J(t)-\dot{J}(t)\frac{R}{c}\quad\because t_r=t-\frac{R}{c}$$

$$\dot{J}(t_r)=\dot{J}(t)-\ddot{J}(t)\frac{R}{c}+\cdots\cong\dot{J}(t)$$ **(第2項を無視)**

$$(10.31)\quad \boldsymbol{B}\cong\frac{\mu_0}{4\pi}\int\left\{\frac{1}{R^2}\left[\boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}',t)-\dot{\boldsymbol{J}}(\boldsymbol{r}',t)\frac{R}{c}\right]+\frac{\dot{\boldsymbol{J}}(\boldsymbol{r}',t)}{cR}\right\}\times\hat{\boldsymbol{R}}d\tau'=\frac{\mu_0}{4\pi}\int\frac{\boldsymbol{J}(\boldsymbol{r}',t)\times\hat{\boldsymbol{R}}}{R^2}d\tau'$$

$$\nabla\times\boldsymbol{B}=\mu_0(\boldsymbol{J}+\varepsilon_0\frac{\partial\boldsymbol{E}}{\partial t})$$

導体内 $\boldsymbol{J}=\sigma\boldsymbol{E}$　**変位電流** $\boldsymbol{J}_d=\varepsilon\frac{\partial\boldsymbol{E}}{\partial t}$

$$\left|\frac{\boldsymbol{J}_d}{\boldsymbol{J}}\right|=\frac{\varepsilon\left|\frac{\partial\boldsymbol{E}}{\partial t}\right|}{\sigma|\boldsymbol{E}|}=\frac{\varepsilon}{\sigma}\omega\quad\text{for } \boldsymbol{E}=\boldsymbol{E}_0e^{i\omega t}$$

$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\approx 1-10$　　$\sigma\approx 10^8\,/(\Omega\cdot\mathrm{m})=10^8\,\mathrm{C}^2/(\mathrm{J}\cdot\mathrm{s}\cdot\mathrm{m})$　　$\varepsilon_0=8.85\times10^{-12}\,\mathrm{C}^2/(\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}^2)\approx10^{-11}$　　$\frac{\varepsilon}{\sigma}\approx10^{-18}-10^{-19}\,\mathrm{s}$

$\omega<<10^{18}\,\mathrm{s}^{-1}$**で成り立つ**　**波長**100nm**の紫外線**$\omega\approx1.9\times10^{16}\,\mathrm{s}^{-1}$　↓

交流回路では非常によい近似　p.393**脚注も参照**