# 公務員試験
# 専門試験問題
# 演習講座

2019　国総　2次記述

No.7(1)

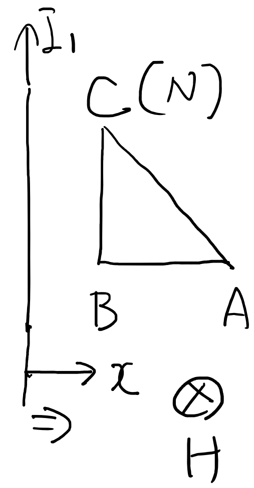
## 電磁気学

## (1)(a)

コイルに対して$I_1$が作る磁界はアンペールの法則より

$$H = \frac{I_1}{2\pi x}$$

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x}$$

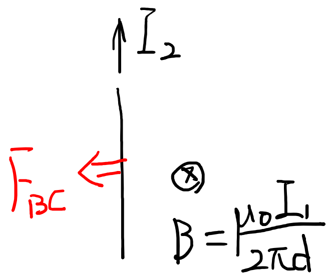



* $( F = N I_2 B l )$

① 辺BC

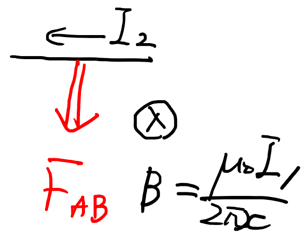
$$F_{BC} = N I_2 \times \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d} \times h$$

$$= \frac{\mu_0 N I_1 I_2 h}{2\pi d} \quad //$$

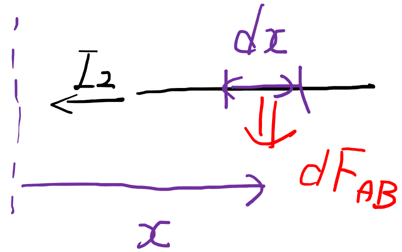



② 辺AB

$$\int dF_{AB} = \int_d^{d+w} \frac{\mu_0 N I_1 I_2 dx}{2\pi x}$$



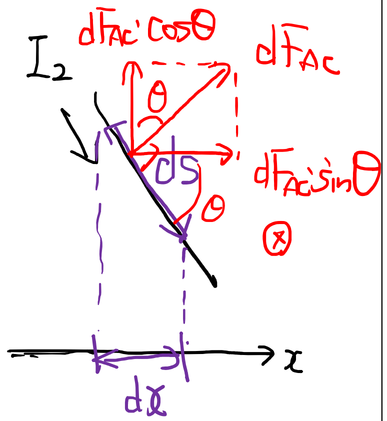

$$F_{AB} = \frac{\mu_0 N I_1 I_2}{2\pi} \log \frac{d+w}{d}$$



## ③ 辺AC

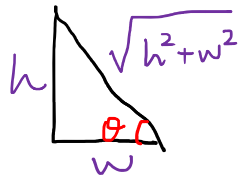
$$\int dF_{AC} = NI_2 \times B \times ds$$

$$= \int_d^{d+w} NI_2 \times \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x} \times \frac{\sqrt{h^2+w^2}}{w}\, dx$$




$$\cos\theta = \frac{w}{\sqrt{h^2+w^2}}$$

$$= \frac{\mu_0 N I_1 I_2 \sqrt{h^2+w^2}}{2\pi w} \times \int_d^{d+w} \frac{dx}{x}$$




$$\sin\theta = \frac{h}{\sqrt{h^2+w^2}}$$

$$= \frac{\mu_0 N I_1 I_2 \sqrt{h^2+w^2}}{2\pi w} \log\frac{d+w}{d}$$

$$ds = \frac{\sqrt{h^2+w^2}}{w}\, dx$$

$$F_{AC}\cos\theta = \frac{\mu_0 N I_1 I_2}{2\pi} \log\frac{d+w}{d}$$

$$F_{AC}\sin\theta = \frac{\mu_0 N I_1 I_2 h}{2\pi w} \log\frac{d+w}{d}$$

以上より

$$F_x = F_{AC}\sin\theta - F_{BC}$$

$$= \frac{\mu_0 N I_1 I_2 h}{2\pi}\left(\frac{1}{w}\log\frac{d+w}{d} - 1\right)$$

$$F_y = F_{AC}\cos\theta - F_{AB} = 0$$

(b)

$$\overbrace{-\frac{d}{dt}}^{\text{減少する}}\overbrace{\left(\frac{1}{2}\mathbb{E}\cdot\mathbb{D}+\frac{1}{2}\mathbb{H}\cdot\mathbb{B}\right)}^{\text{場のエネルギー}}=\overbrace{\nabla\cdot(\mathbb{E}\times\mathbb{H})}^{\text{電磁波が流出}}+\overbrace{\mathbb{E}\cdot\mathbb{i}}^{\text{ジュール熱}}$$

div

$\frac{1}{2}\mathbb{E}\cdot\mathbb{D}$ ……電界のエネルギー

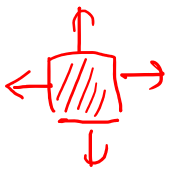
$\frac{1}{2}\mathbb{H}\cdot\mathbb{B}$ …… 磁界のエネルギー

$\mathbb{E}\times\mathbb{H}$ …… ポインティングベクトル

→電磁波で運ばれるエネルギー

$\mathbb{E}\cdot\mathbb{i}$ …… ジュール熱

。場の電界、磁界のエネルギーは、電磁波の流出分及びジュール熱の分だけ減少する

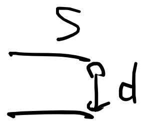


。

$$U=\frac{1}{2}CV^2$$

$$=\frac{\varepsilon_0 S}{2d}V^2 \quad \leftarrow V=Ed$$

$$=\frac{1}{2}\varepsilon_0(Sd)E^2$$




体積あたり $\frac{U}{Sd}=\frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2=\frac{1}{2}ED$ //

$$P=VI=E\times d\times I \leftarrow d=1$$

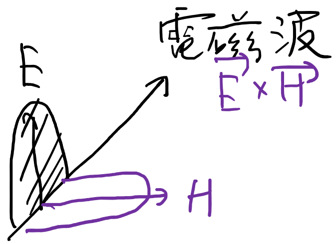
$$=EI$$ //

(c)(i)

① E, H, 波にフレミングの左手

② エネルギー $|\vec{S}| = |\vec{E}\times\vec{H}|$

$= EH$




左手

電 磁 波

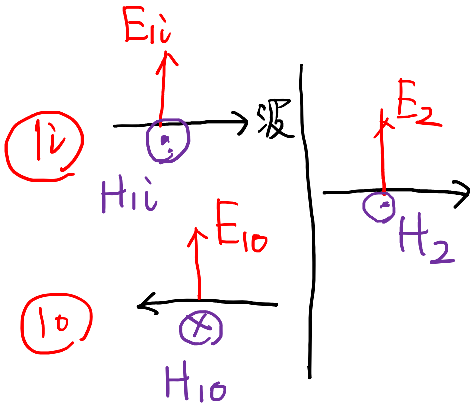
E H E×H

Eの連続性

$E_{1i} + E_{10} = E_2 \cdots (1)$

Hの連続性

$H_{1i} - H_{10} = H_2$




$\therefore \alpha E_{1i} - \alpha E_{10} = \beta E_2 \cdots (2)$

$(1)\times\alpha + (2)$ より

$$2\alpha E_{1i} = (\alpha+\beta)E_2$$

$$\therefore E_2 = \frac{2\alpha}{\alpha+\beta}E_{1i}$$

$$\text{エネルギー} = \frac{E_2H_2}{E_{1i}H_{1i}} = \frac{\beta}{\alpha}\frac{E_2^2}{E_{1i}^2}$$

$$= \frac{4\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2}$$

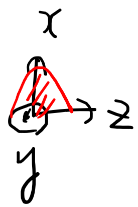
(ii) $\left|\frac{E}{H}\right| = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$

$\frac{E_1}{H_1} = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\frac{\mu_1}{\varepsilon_1}}$ // , $\frac{1}{\beta} = \sqrt{\frac{\mu_2}{\varepsilon_2}}$ //

---

・Eの振幅方向 → x

波の進行方向 → z




$$\begin{cases} E_x = E f(z-ct) \\ E_y = E_z = 0 \end{cases}$$

$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}$

今 $H_y = H f(z-ct)$ とおく。

$(H_x = H_z = 0)$

ファラデーの法則

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

y成分

$\frac{\partial E_x}{\partial z} = E f'(z-ct)$

右辺 $= -\mu H \frac{\partial f(z-ct)}{\partial t}$

$= \mu c H f'(z-ct)$

$E = \mu c H = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} H$

$\therefore \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$ //