

# 第一級陸上無線技術士 公式

## 基礎

### 波長と周波数の換算

$$\text{波長 } \lambda = \frac{3 \times 10^8}{\text{周波数[Hz]}}$$

### 対数と真数

$$\begin{aligned} \log 2 &= 0.3 \\ \log 3 &= 0.4771 \\ \log \pi &= 0.5 \\ \log 5 &= 0.7 \\ \log 10 &= 1 \\ x &= \log 10^x \\ G[\text{dB}] &= 10 \log G (\text{真数}) \\ P[\text{dB}] &= 10 \log P (\text{真数}) \\ E[\text{dB}] &= 20 \log E (\text{真数}) \end{aligned}$$

### 三角関数

$$\begin{aligned} \cot \theta &= \frac{1}{\tan \theta} \\ \theta \leq 0.5[\text{rad}] \text{ の時 } \quad \sin \theta &\cong \theta \end{aligned}$$

### 弧度法

$$\begin{aligned} \theta[\text{度}] &= \theta_{\text{rad}}[\text{rad}] \times \frac{\pi}{180} \\ \theta_{\text{rad}}[\text{rad}] &= \frac{d(\text{弧の長さ})}{r(\text{半径})} \end{aligned}$$

### 絶対利得と相対利得

等方性アンテナを基準とした利得を絶対利得  
半波長ダイポールを基準とした利得を相対利得  
絶対利得  $G_a =$  相対利得  $G_b + 2.15$  [dB]  
絶対利得  $G_a =$  相対利得  $G_b \times 1.64$  (真数)

微小ダイポールアンテナの絶対利得  $G_s$  は 1.5 (真数)  
半波長ダイポールアンテナの絶対利得  $G_D$  は 1.64 (真数)

## 空間の特性 (固有) インピーダンス

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \cong 120\pi \cong 377[\Omega]$$

## アンテナの基礎理論

### マクスウェルの方程式(1.2)

$$\begin{aligned} \text{rot}\mathbf{H} &= \sigma\mathbf{E} + \epsilon\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t} & / & \quad \nabla \times \mathbf{H} = \sigma\mathbf{E} + \epsilon\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t} & / & \quad \nabla \times \mathbf{H} = (\sigma + j\omega\epsilon)\mathbf{E} \\ \text{rot}\mathbf{E} &= -\mu\frac{\partial\mathbf{H}}{\partial t} & / & \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\mu\frac{\partial\mathbf{H}}{\partial t} & / & \quad \nabla \times \mathbf{E} = -j\omega\mu\mathbf{H} \\ \nabla^2\mathbf{E} + \gamma^2\mathbf{E} &= 0 & / & \quad \nabla^2\mathbf{H} + \gamma^2\mathbf{H} = 0 & / & \quad \gamma^2 = -j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon) \end{aligned}$$

H22-7 A-1・H24-1 A-1・H25-7 A-1・H26-1 A-1・H26-7 A-1・H27-1 A-1

### 放射抵抗(1.7)

$$R_H = \frac{80\pi^2 l^2}{\lambda^2} [\Omega]$$

H22-7 A-3・H26-7 A-4

### 電界強度(1.8)

アンテナの放射電力が P[W] のとき、最大放射方向に距離 d[m] 離れた点の電界強度 E[V/m] は、

$$\begin{aligned} \text{等方性アンテナ} \quad E &\cong \frac{\sqrt{30P}}{d} [\text{V/m}] \\ \text{半波長ダイポールアンテナ} \quad E_D &\cong \frac{7\sqrt{P}}{d} [\text{V/m}] \\ \text{微小ダイポールアンテナ} \quad E_H &\cong \frac{\sqrt{45P}}{d} [\text{V/m}] \\ \text{絶対利得 } G_t \text{ のアンテナ} \quad E &\cong \frac{\sqrt{30G_t P}}{d} [\text{V/m}] \quad \text{※パラボラなど。等方性アンテナに } \sqrt{G_t} \text{ 掛ける} \\ \text{相対利得 } G_t \text{ のアンテナ} \quad E &\cong \frac{7\sqrt{G_t P}}{d} [\text{V/m}] \quad \text{※半波長ダイポールアンテナに } \sqrt{G_t} \text{ 掛ける} \end{aligned}$$

H22-7 A-12・H23-1 B-3・H23-7 A-14・H23-7 A-17・H26-7 A-3・H27-1 A-2・H27-1 A-17

### 線状アンテナの所定数(1.10)

$$\begin{aligned} l &= \frac{\lambda}{4}(1 - \delta) \\ \text{短縮率} \quad \delta &= \frac{4255}{\pi Z_0} \end{aligned}$$

H25-7 A-4

## 受信アンテナの所定数(1.11)

$$\text{微小ダイポールアンテナの実効面積} \quad A_H = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_I = \frac{\lambda^2}{4\pi} 1.5 \cong 0.08\lambda^2 \times 1.5 = 0.12\lambda^2 [m^2]$$

$$\text{半波長ダイポールアンテナの実効面積} \quad A_H = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_I = \frac{\lambda^2}{4\pi} 1.64 \cong 0.08\lambda^2 \times 1.64 = 0.13\lambda^2 [m^2]$$

H23-1 A-3

## 実効面積(1.13)

絶対利得 $G_I$ (真数)、開口率 $\eta$ の任意のアンテナの実効面積 $A_e [m^2]$ は、

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_I \eta \cong 0.08\lambda^2 G_I [m^2]$$

H22-7 A-4

## フリスの伝達公式(1.14)

送受信アンテナを対抗して $d [m]$ 離して置いたとき、送信アンテナの絶対利得および放射電力を $G_T$ 、 $P_T [W]$ とすると受信点の電力密度 $W_R [W/m^2]$ は、

$$W_R = \frac{G_T P_T}{4\pi d^2} [W/m^2]$$

実効面積を $A_R [W]$ とすると、取り出せる最大電力 $P_r [W]$ は、

$$P_r = W_R A_R = \frac{G_T P_T A_R}{4\pi d^2} [W]$$

H27-1 A-3

また受信アンテナの利得を $G_R$ 、実効面積を $A_R [W]$ とすると、受信電力 $P_R [W]$ は、

$$P_R = W_R A_R = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 G_T G_R P_T [W]$$

H22-7 A-2・H24-1 A-2

自由空間伝送損

$$\Gamma_0 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$$
$$\Gamma_{0dB} = 32.44 + 20 \log f [MHz] + 20 \log d [km]$$

H23-7 A-2・H26-1 A-2・H26-7 A-16

## アンテナの実例

### ダイポールアンテナ(2.9)

$$n \text{ 線式折り返しダイポールアンテナの実効長} \quad l_D = \frac{\lambda}{\pi} \times n [m]$$

## パラボラアンテナ(2.19)

指向性のビーム幅  $\theta$  は、開口面積の直径を  $D$  [m]、波長を  $\lambda$  [m] とすると次式で表される。

$$\theta \cong \frac{70\lambda}{D}$$

開口面積  $A$  [ $m^2$ ]、開口効率  $\eta$ 、開口面の直径を  $D$  [m] の開口面アンテナの絶対利得  $G_I$  は、

$$G_I = \frac{4\pi}{\lambda^2} \eta A = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

H23-1 A-2・H23-7 A-5・H25-1 A-12・H26-7 A-3

## 給電線と整合回路

### 分布定数回路(3.1)

特性インピーダンスを  $Z_0$  [ $\Omega$ ]、自由空間中の伝播の伝搬速度を  $c$  [m/s]、平行 2 線式線路の単位辺りの静電容量を  $C$  [F/m] とすると平行 2 線式線路上の伝播の伝搬速度  $\nu$  [m/s] は、

$$\nu = \frac{Z_0}{0.9c} [H/m]$$

H25-7 A-6

### 線路のインピーダンス(3.3)

1/4 波長線路の整合用給電線の特性インピーダンス  $Z = \sqrt{Z_0 R}$  [ $\Omega$ ]

H23-1 A-7・H24-1 A-8・H24-7 A-8・H26-1 A-6・H26-7 A-7・H26-7 A-18

### 反射係数(3.5)

$$\begin{aligned} \text{電圧反射係数 } \Gamma_V &= \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} \\ \text{電圧透過係数 } T_V &= \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} + 1 \end{aligned}$$

$$\text{電圧波節から負荷側をみたインピーダンス } Z = \left( \frac{|V_I| - |V_R|}{|V_I| + |V_R|} \right) \times Z_0$$

H22-7 A-6・H26-7 A-6

### 供給電力(3.7)

$$\text{動作利得 } G_W = \frac{4SG}{(1+S)^2}$$

H24-1 A-18・H25-7 A-18

### 平行 2 線式給電線(3.8)

平行 2 線式給電線の特性インピーダンス  $Z_0 = 276 \log \frac{2D}{d}$

自由空間に張られた単線式給電線の特性インピーダンス  $Z_0 = 138 \log \frac{2l}{d}$

H24-1 A-8・H24-7 A-8・H25-1 A-2・H25-7 A-4・H26-7 A-7

### 同軸給電線(3.9)

同軸給電線の特性インピーダンス  $Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{D}{d}$

H22-7 A-9・H23-7 A-6・H27-1 A-6

### 整合回路(3.12)

平衡線路  $Z_0 > R$  のとき

$$C = \frac{1}{\omega Z_0} \sqrt{\frac{Z_0 - R}{R}}$$

H22-7 A-8・H24-1 A-8

### 垂直接地アンテナの延長コイル(整合)

アンテナ導線の特性インピーダンス  $Z_0$  [ $\Omega$ ] とすると長さ  $l$  [m] の垂直設置アンテナの入力インピーダンス  $Z$  [ $\Omega$ ] は、

$$Z = -jZ_0 \cot \frac{2\pi l}{\lambda}$$

H23-1 A-10・H26-1 A-10

## 電波伝搬

### 直接波と大地反射波(4.3)

直接波と大地反射波の合成電界の大きさ  $E$  [V/m] は、

$$E = 2E_0 \left| \sin \frac{2\pi h_1 h_0}{\lambda d_1} \right| \times 2E_0 \left| \sin \frac{2\pi h_2 h_0}{\lambda d_2} \right|$$

H23-7 A-14・H25-1 A-19

送受信転換の距離が十分遠方にあり  $d \gg h_1$ 、 $d \gg h_2$  で  $\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} < 0.5$  の条件が成り立つとき、

$$\left| \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \right| \cong \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d}$$

このとき直接波と大地反射波の合成電界強度  $E$  [V/m] は、

$$E = E_0 \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d} [V/m]$$

相対利得 $G_D$ (真数)の送信アンテナに放射電力  $P$ [W]を供給したとき、

$$E = \frac{7\sqrt{G_D P}}{d} \times \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d} \cong \frac{88 h_1 h_2 \sqrt{G_D P}}{\lambda d^2} [V/m]$$

H24-7 A-16

### 見通し距離外の伝搬(4.7)

$$\text{送信アンテナの高さ } h \cong \frac{d^2}{2KR}$$

H24-1 A-15

### 臨界周波数(4.11)

$$n = \sqrt{1 - \frac{81N}{f^2}}$$