

0 1. アンテナの利得

(1) 利得とその表記

何を基準にするか、で異なる表記。まずはその基準となるアンテナについて調べる。

アンテナ	絶対利得	相対利得	実効長	実効面積
等方性アンテナ	1 (0dB)	0.609 (-2.15dB)	(*2)	$0.0796 \lambda^2$
微小ダイポール	1.50 (1.76dB)	0.914 (-0.39dB)	(*1)	$0.119 \lambda^2$
$\lambda/2$ ダイポール	1.64 (2.15dB)	1 (0dB)	λ/π	$0.130 \lambda^2$
任意のアンテナ	G (10logG dB)	絶対利得-2.15dB	(*2)	$G \lambda^2 / 4\pi$

(*1), (*2) →実効長の項で説明

(2) 実効長

・実効長と受信開放端電圧（実効長の意味）

電界強度Eの中に実効長 l_e のアンテナを置いた時、発生する開放端電圧 V_o は、

$$V_o = E l_e$$

で求められる。

微小ダイポールの実効長 l_e は、実長を l 、波長を λ として下記の式で表される。

$$l_e = \lambda \tan(\pi l / 2\lambda) / \pi \quad \text{この値は、} l/\lambda \rightarrow 0 \quad \text{の時、} l_e \rightarrow l/2$$

つまり、波長に比べて十分短いアンテナの実効長は実長 l の半分、ということ。

0 1. アンテナの利得

(2) 実効長 (続き)

絶対利得がGのアンテナの実効長 l_e は、放射抵抗を R_r 、波長を λ 、真空の特性インピーダンスを Z_0 として下記の式で表される。G=1とすれば等方性アンテナの「実効長 $l_{eG=1}$ 」が仮想的に求められる。

$$l_e = \lambda \sqrt{\frac{R_r G}{\pi Z_0}} \quad G=1 \text{ で、} \quad l_{eG=1} = \lambda \sqrt{\frac{R_r}{\pi Z_0}}$$

(3) 実効面積

アンテナのある位置で、電波のエネルギーをどの程度の面積で捉えているか、が実効面積。開口形アンテナに主に用いられるが、線状アンテナにも使える。

- ・ 開口面アンテナの利得と実効面積の対応

実効面積 A_e はそのアンテナの絶対利得をG、波長を λ として、次式で表される。

$$A_e = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \quad \text{物理的な面積がAの時、開口効率 } \eta \text{ を導入して、} \quad \eta = \frac{A_e}{A} = \frac{\lambda^2 G}{4\pi A}$$

- ・ 線状アンテナの実効面積

線状アンテナの実効面積 A_e を求めるには、実効長 l_e と放射抵抗Rが必要になる

$$A_e = \frac{30\pi l_e^2}{R}$$

02. アンテナ係数と指向性

(1) アンテナ電流と電界強度

・微小ダイポールアンテナ

長さ l の微小ダイポールに一樣電流 I が流れている時、真空中の十分離れた距離 R の点 P で、ダイポールの軸と距離ベクトルがなす角を θ とし、波長を λ とすると、点 P での電界強度 E_θ 及び磁界の強度 H_ψ は、

$$E_\theta = j60\pi I l \frac{\exp(-j2\pi R/\lambda)}{R\lambda} \sin\theta$$

$$H_\psi = jI l \frac{\exp(-j2\pi R/\lambda)}{2R\lambda} \sin\theta \quad \left(\left| \frac{E_\theta}{H_\psi} \right| = 120\pi = Z_0 \right)$$

・完全半波長ダイポールアンテナ

完全半波長ダイポールを給電電流 I で励振する時、真空中の十分離れた距離 R の点 P で、ダイポールの軸と距離ベクトルがなす角を θ とし、波長を λ とすると、点 P での電界強度 E_θ は、

$$E_\theta = j60I \frac{\exp(-j2\pi R/\lambda)}{R} \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\theta\right)}{\sin\theta}$$

(1) アンテナ電流と電界強度 (続き)

・微小ループアンテナ

面積 S の微小ループに一様電流 I が流れている時、真空中で十分離れた距離 R の点 P で、面積 S に垂直な軸と距離ベクトルがなす角を θ とし、波長を λ とすると、点 P での電界強度 E_ψ 及び磁界の強度 H_θ は、

$$E_\psi = n\omega\mu_0 IS \frac{\exp(-j2\pi R/\lambda)}{2R\lambda} \sin\theta$$

$$H_\theta = -n\pi IS \frac{\exp(-j2\pi R/\lambda)}{R\lambda^2} \sin\theta$$

$$\left| \frac{E_\psi}{H_\theta} \right| = \frac{R\lambda^2}{n\pi IS} \cdot \frac{n\omega\mu_0 IS}{2R\lambda} = \frac{\mu_0\omega\lambda}{2\pi} = \mu_0 c = \frac{\mu_0}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = Z_0$$

02. アンテナ係数と指向性

(2) アンテナ係数

・ アンテナ係数の意味

電界強度が E [V/m] のとき、レシーバの読み値 V [V] から E を求めるための係数。 $E = \kappa V$ とすれば、 κ の単位は [1/m]。通常はデシベル値 [dB/m] で示すが、**対数に変換する時の係数は20**なので注意。

・ アンテナ係数の計算

系は全要素がインピーダンス Z_s で整合されているとする。波長を λ 、アンテナの絶対利得を G 、真空の特性インピーダンスを Z_0 とすると、求めるアンテナ係数 A_f は、

$$A_f = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{\pi Z_0}{G Z_s}} \quad \text{アンテナの放射抵抗 } R_r \text{ が } Z_s \text{ と整合していれば、} \ell_e \text{ でも表せて、} \quad A_f = \frac{2}{\ell_e}$$

ここで、周波数 f_{MHz} を MHz 単位の周波数、 $Z_0 = 120\pi$ で式を整理すると、

$$A_f = \frac{2f_{\text{MHz}}}{8.72\sqrt{G Z_s}} \quad G \text{ が相対利得 } G_h \text{ で表記されている場合は、} \quad A_f = \frac{2f_{\text{MHz}}}{11.16\sqrt{G_h Z_s}}$$

となる。上記で、アンテナと系が整合していない場合は、分子の2を下記の値に変更する。但し、 Z_a はアンテナインピーダンス（放射抵抗ではない）。

02. アンテナ係数と指向性

(2) アンテナ係数 (続き)

$$2 \rightarrow \left| \frac{Z_a + Z_s}{Z_s} \right|$$

(3) 指向性

- ・ダイポールアンテナの指向性
微小ダイポールは指向性関数 $D(\theta, \phi)$ が、

$$D(\theta, \phi) = \sin \theta \quad (\text{立てた場合、水平面は無指向性})$$

- ・半波長ダイポールアンテナの指向性

$$D(\theta, \phi) = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \quad (\text{立てた場合、水平面は無指向性})$$

- ・半値角

放射電力の最大方向から $1/2$ (3dB落ち) の電力になる角度。電界で規定する場合は $1/\sqrt{2}$ 。

- ・開口アンテナの指向性

開口面アンテナの半値角 θ_h [deg] は、波長を λ 、開口直径を D として、

$$\theta_h \doteq 70 \lambda / D$$

(1) 放射抵抗

放射抵抗 R_r は、アンテナから放射される電力を、抵抗分での損失と見立てた仮想的な抵抗。熱になる損失が無視できる場合は、アンテナの入カインピーダンスの実数部。以下、アンテナに流れている（一様）電流を I 、波長を λ 、実効長を ℓ_e 、円形ループの半径を a 、円形以外のループの面積を S 、巻数を n とすれば、

$$\text{微小ダイポール} \quad R_r \cong 80\pi^2 \left(\frac{\ell_e}{\lambda} \right)^2$$

$$\text{微小円形ループ} \quad R_r \cong 320\pi^6 n^2 \left(\frac{a}{\lambda} \right)^4$$

$$\text{微小ループ} \quad R_r \cong 320\pi^4 \left(\frac{nS}{\lambda^2} \right)^2$$

(2) フリスの伝達公式

送受信アンテナの絶対利得をそれぞれ G_t , G_r 、送信電力を P_t 、使用波長を λ 、送受点間の距離を d とすれば、受信最大有効電力 P_r は、

$$P_r = \frac{\lambda^2 G_t G_r}{16\pi^2 d^2} P_t$$

利得でなく実効面積 A_t , A_r で表記されている時は、

$$P_r = \frac{A_t A_r}{\lambda^2 d^2} P_t$$

と表せる。

03. アンテナ測定

(3) 折返しダイポール

右図のような折返しダイポールアンテナで、各エレメントの太さを r_1 , r_2 、エレメント間隔を d とする。このアンテナのインピーダンス Z_f は、元のダイポールのインピーダンスを Z_d として、

$$Z_f = (1 + a)^2 Z_d$$

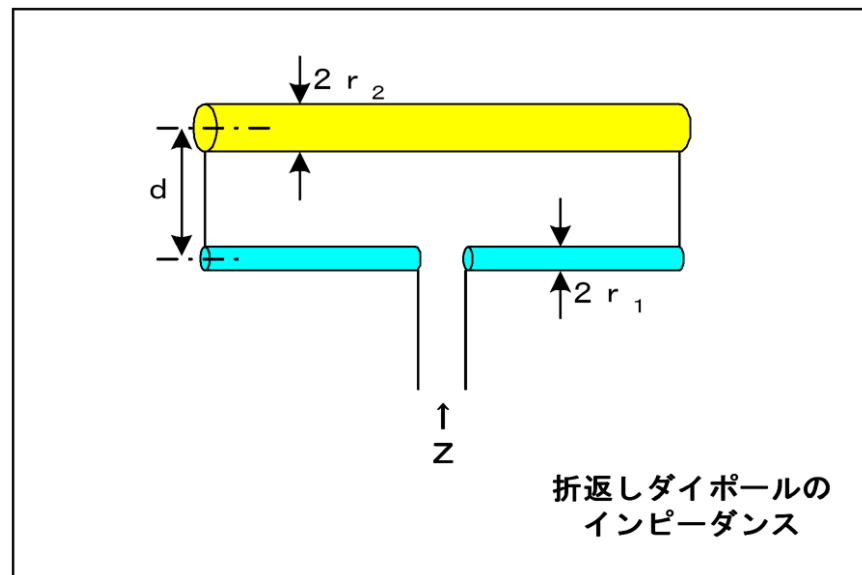
で表せる。ここで、 a は変換比というパラメータで、以下のように表せる。

$$a = \frac{\cosh^{-1}\left(\frac{\nu^2 - \mu^2 + 1}{2\nu}\right)}{\cosh^{-1}\left(\frac{\nu^2 + \mu^2 - 1}{2\mu\nu}\right)} \cong \frac{\ln \nu}{\ln \nu - \ln \mu} \quad \text{ここで、} \quad \mu = \frac{r_2}{r_1}, \quad \nu = \frac{d}{r_1}$$

特に $r_1 = r_2$ なら、 $\ln \mu = 0$ だから、 d に関係なく $a \cong 1$ で、

$$Z_f = (1 + a)^2 Z_d \cong 4Z_d$$

となる。



03. アンテナ測定

(4) 開口面アンテナと測定距離

被測定アンテナを送信に用い、受信アンテナを測定点に使う時、位相誤差が $\pi/8$ 以下となるようにする。

→図の $R-d$ が $\lambda/16$ より短くなる条件

送信アンテナの直径を $2D_t$ 、受信アンテナの直径を $2D_r$ 、使用波長を λ とすると、

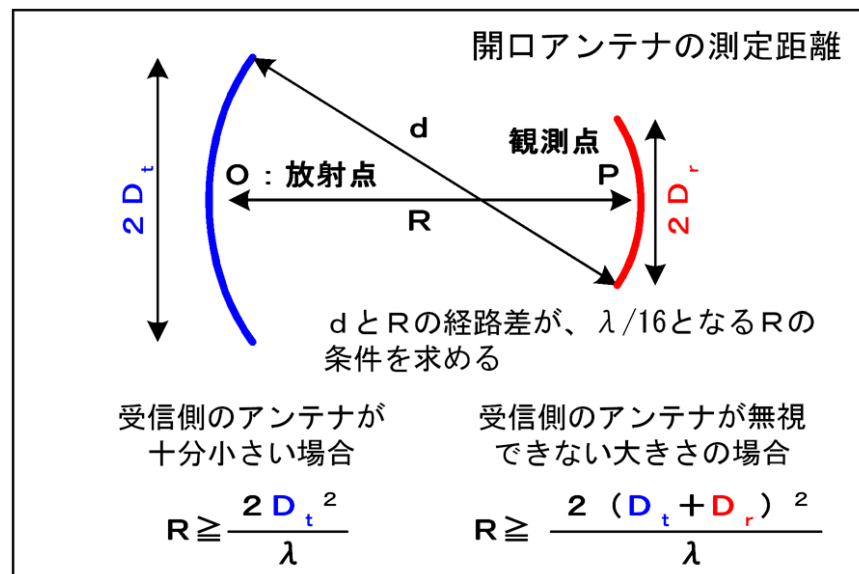
受信アンテナ（の開口）が十分小さい（ $D_t \gg D_r$ ）時

$$R \geq \frac{2D_t^2}{\lambda}$$

受信アンテナ（の開口）が無視できない大きさ（ $D_t \sim D_r$ ）の時

$$R \geq \frac{2(D_t + D_r)^2}{\lambda}$$

を満たせばよい。



04. アンテナアレー

(1) 指向性積の原理

同一特性のアンテナをアレイにした場合の指向性は、1つのアンテナの指向性関数とアレイの指向性関数（配列指向性係数）の積で表される。

アンテナの指向性： $D_a(\theta, \psi)$

配列指向性係数： $D_s(\theta, \psi)$

とすると、このアレイ全体の指向性関数 $D(\theta, \psi)$ は、

$$D(\theta, \varphi) = D_a(\theta, \varphi) \cdot D_s(\theta, \varphi)$$

で表される。

(2) エンドファイヤアレイとサイドファイヤアレイ

