

受信アンテナの出力電力 P_r [dBm] から電界強度を計算する方法について

芦川試験所 小林武信

EMC試験所では、電界強度 E_r は、測定用アンテナの出力電圧 V_r [dB μ V] と、アンテナファクター A_f [dB/m] を用いて算出する。しかし、異業種から試験依頼されたとき、参考データとして受信アンテナ出力値を dBm で示され、これを電界強度に換算する必要に迫られることがある。今回 dBm で示された受信アンテナ出力値を、アンテナファクターを用いて電界強度に変換する方法を検討した。

電波の輻射源から充分離れた場所では、その空間の電界強度 E_r と、同一空間の単位面積を通過する電磁エネルギー密度 P_U との間には、ポインティングの定理から、

$$P_U = \frac{(E_r)^2}{120\pi} \quad [W/m^2] \quad (1)$$

の関係がある。ここで E_r [V/m] は実効値で表した電界強度である。

一方、電界強度 E_r [V/m] の空間に、有効開口面積 A_e [m²] のアンテナを置いたとき、アンテナが吸収できる最大有効電力 P_r [W] は、

$$P_r = A_e P_U \quad [W] \quad (2)$$

また、有効開口面積 A_e は、

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_a \quad [m^2] \quad (3)$$

ここに、 λ : 波長
 G_a : アンテナ利得

で表されるから、(3)式、(2)式、(1)式から、 P_r は、

$$P_r = \left(\frac{\lambda^2 G_a}{4\pi} \right) \left(\frac{(E_r)^2}{120\pi} \right) \quad (4)$$

アンテナ出力に接続された整合負荷 R_l の端子電圧を V_r とすると、有能電力 P_o は、

$$P_o = \frac{(V_r)^2}{R_l} \quad (5)$$

$$P_r = P_o \quad (6)$$

でなければならないから、(5)式と、(4)式とから

$$\frac{(V_r)^2}{R_l} = \left(\frac{\lambda^2 G_a}{4\pi} \right) \left(\frac{(E_r)^2}{120\pi} \right) \quad (7)$$

(7)式を変形して

$$\left\{ \frac{V_r}{E_r} \right\}^2 = \left\{ \frac{\lambda^2 G_a}{4\pi} \right\} \left\{ \frac{R_l}{120\pi} \right\} \quad (8)$$

(8)式の平方根の逆数は、

$$\frac{E_r}{V_r} = \frac{\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{480}{G_a R_l}} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{120}{G_a R_l}} \quad (9)$$

(9)式はアンテナファクター A_f を表しているから

$$A_f = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{120}{G_a R_l}} \quad (10)$$

(10)式を変形してアンテナ利得 G_a を求める式は

$$G_a = \left\{ \frac{2\pi}{\lambda A_f} \right\}^2 \left\{ \frac{120}{R_l} \right\} \quad (11)$$

(11) 式を(4) 式に代入すると、

$$P_r = \left(\frac{\lambda^2 G_a}{4\pi} \right) \left(\frac{E_r}{120\pi} \right)^2 \quad (4)'$$

$$= \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \left(\frac{E_r}{120\pi} \right)^2 \left\{ \frac{2\pi}{\lambda A_f} \right\}^2 \left\{ \frac{120}{R_l} \right\} = \frac{E_r^2}{A_f^2 R_l} \quad (12)$$

$$= \left\{ \frac{E_r}{A_f} \right\}^2 \frac{1}{R_l} \quad (13)$$

$$E_r = A_f \sqrt{R_l P_r} \quad (14)$$

E_r をデシベルで表すと、

$$E_r = 20 \log_{10}(A_f) + 10 \log_{10}(P_r) + 10 \log_{10}(R_l) \quad [\text{dBV/m}] \quad (15)$$

$R_l = 50[\Omega]$ として、 $P_r [\text{dBm}]$ 、 $E_r [\text{dB}\mu\text{V/m}]$ で表すと、(15) 式は次のようになる。

$$\begin{aligned} E_r [\text{dB}\mu\text{V/m}] &= A_f [\text{dB}] + P_r [\text{dBm}] + 16.9897 - 30 + 120 \\ &= P_r [\text{dBm}] + A_f [\text{dB/m}] + 106.9897 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\therefore E_r \approx P_r [\text{dBm}] + A_f [\text{dB/m}] + 107 \quad [\text{dB}\mu\text{V/m}] \quad (17)$$

(17) 式が受信アンテナ出力電力を電界強度に変換する式である。

例題

周波数1500[MHz] で、利得12dBi のアンテナがある。

損失5[dB]の同軸ケーブルで測定用受信機に接続した。測定用受信機の指示値が -40[dBm] であるとき電界強度はいくらか。

(10) 式からアンテナファクターを求める。

$$A_f = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{120}{G_a R_l}} \quad (10)'$$

波長 を計算する。

$$\begin{aligned} &= \frac{3.0 \times 10^8}{1500 \times 10^6} \\ &= 0.2 \end{aligned} \quad (18)$$

デシベル表示されている利得を真数に直す。

$$\begin{aligned} G_a &= 10^{\left(\frac{12}{10}\right)} = 15.8489319246111 \\ &\approx 15.8489 \end{aligned} \quad (19)$$

(10) 式、(18) 式、(19) 式とから、アンテナファクター A_f は

$$A_f = \frac{2 \times \pi}{0.2} \sqrt{\frac{120}{15.8489 \times 50}} = 12.2252$$

$$= 21.7451 \quad [dB/m] \quad (20)$$

(20)の結果を(17)式に代入すると

$$E_r = (-40 [dBm] + 5.0) + 21.7451 [dB/m] + 107 \quad [dB\mu V/m] \quad (21)$$

$$\approx 93.75 \quad [dB\mu V/m] \quad (22)$$

答 電界強度は 93.75 [dB μ V/m] である。

参考資料

基礎電波工学	虫明康人、安達三郎 著	共立出版
マイクロウェーブ伝播回折	渋谷茂一 著	コロナ社
高周波の基礎	三輪進 著	東京電機大学出版局