

1. 等価ダイポール法

実効輻射電力は、空中線に供給される電力と空中線の利得(厳密には空中線効率も考慮)から算出する。しかし、空中線と送信機とが一体化されている方式では、空中線に供給される電力を測定することが出来ない。

そこで、空中線一体化送信機を半波長ダイポールに置き換え、一定距離 $d[m]$ 離れた位置の電界強度を空中線一体化送信機と半波長ダイポールとが同一となるようにする。このとき半波長ダイポールに供給する電力を空中線一体化送信機の等価ダイポール実効輻射電力という。この方法を等価ダイポール法という。

いま、空中線一体化送信機の実効輻射電力を $P_x [W]$ 、距離 $d[m]$ における最大輻射方向の電界強度を $E_r [V/m]$ 、とすると、自由空間、もしくは6面電波暗室、遠方界という条件下では次式が成立する。

$$E_r = \frac{K_1 \sqrt{P_x}}{d} \quad (1)$$

ここに K_1 : 比例定数

電界強度 E_r の位置に置いた受信空中線出力の終端電圧を $V_r [V]$ とする。

次に送信機を信号発生器 SG と、半波長ダイポール空中線に置き換え、 SG の出力レベルを調整して、受信空中線の出力終端電圧を V_r とすれば、受信空中線のある位置の電界強度は E_r となるから、

$$E_r = \frac{K_2 \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}}}{d} \quad (2)$$

ここに K_2 : 比例定数

Γ_{ct} : 送信側給電線損失

P_s : SG 出力レベル

(1)式と(2)式の E_r は等しいから次式が成立する。

$$E_r = \frac{K_1 \sqrt{P_x}}{d} = \frac{K_2 \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}}}{d} \quad (3)$$

空中線一体化送信機からの輻射は半波長ダイポールからの輻射に等しいとするから、

$$K_1 = K_2 \quad (4)$$

よって、

$$\frac{\sqrt{P_x}}{d} = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} \quad (5)$$

従って

$$P_x = \frac{P_s}{\Gamma_{ct}} \quad (6)$$

(6)式を dBm で表すと

$$P_x = P_s [dBm] - \Gamma_{ct} [dB] \quad [dBm] \quad (7)$$

(7)式は置換法による実効輻射電力の測定結果を示す。

2. 一方テストサイトでは、受信空中線、フィーダー等の諸値は既知であるから、これらを用いて P_x を測定する方法を検討する。

テストサイト測定系の受信レベル V_r は、

$$V_r = \frac{\lambda}{2\pi} E_r \sqrt{\frac{R_0}{73.13}} \sqrt{\frac{G_r}{\Gamma_{cr}}} \quad (8)$$

ここに V_r : 受信側測定器入力レベル
 G_r : 受信空中線利得
 Γ_{cr} : 受信側給電線損失

(8)式に(3)式を代入すると

$$V_r = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{K_2}{d} \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} \sqrt{\frac{R_0}{73.13}} \sqrt{\frac{G_r}{\Gamma_{cr}}} \quad (9)$$

テストサイトは、6面電波暗室とすると、自由空間の電波伝播と等価と考えられるから、 $K_2 = 7$ となり、また半波長ダイポールは $R_0 = 50 [\Omega]$ とするから、(9)式はつぎのようになる。

$$V_r = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{7}{d} \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} \sqrt{\frac{50}{73.13}} \sqrt{\frac{G_r}{\Gamma_{cr}}} \quad (10)$$

ここで、受信空中線のアンテナファクター A_{fr} は

$$A_{fr} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{73.13}{50}} \sqrt{\frac{1}{G_r}} \quad (11)$$

で表されるので、(11)式を(10)式に用いて次式を得る。

$$A_{fr} V_r = \frac{7}{d} \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} \left(\sqrt{\frac{1}{\Gamma_{cr}}} \right) \quad (12)$$

置換法では測定距離を 3m にとるから、(12)式は

$$A_{fr} V_r = \frac{7}{3} \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} \left(\sqrt{\frac{1}{\Gamma_{cr}}} \right) \quad (13)$$

(6)式を(13)式に代入すると

$$A_{fr} V_r = \frac{7}{3} \sqrt{P_x} \left(\sqrt{\frac{1}{\Gamma_{cr}}} \right) \quad (14)$$

(14)式を変形して P_x を求める。

$$P_x = \frac{P_s}{\Gamma_{ct}} = \left\{ \frac{3}{7} \right\}^2 (A_{fr} V_r)^2 \Gamma_{cr} \quad (15)$$

P_x を [mW]、 V_r を [μ V] で表すと、(15)式は次のようになる。

$$P_x [mW] \times 10^{-3} = \left\{ \frac{3}{7} \right\}^2 (A_{fr} V_r [\mu V] \times 10^{-6})^2 \Gamma_{cr} \quad (16)$$

デシベルで表すと

$$10 \log_{10}(P_x) - 30 = 10 \log_{10}(3^2) - 10 \log_{10}(7^2) + 20 \log_{10}(A_{fr}) + 20 \log_{10}(V_r) + 20 \log_{10}(10^{-6}) + 10 \log_{10}(\Gamma_{cr}) \quad (17)$$

$$P_x [dBm] = 9.5424 - 16.9020 + A_{fr}[dB/m] + V_r[dB\mu V] - 120 + \Gamma_{cr}[dB] + 30 \quad (18)$$

$$P_x = V_r [dB\mu V] + A_{fr}[dB/m] + \Gamma_{cr}[dB] - 97.3596 [dBm] \quad (19)$$

$$\text{または} \quad = E_r - 97.3596 \quad [dBm] \quad (20)$$

(19) 式の検証

周波数 : 100MHz 、送信空中線: 半波長ダイポール、測定空中線: 半波長ダイポール、受信給電線損失: 1dB

送信空中線電力: 1mW、距離: 3m 、6面暗室(自由空間と等価)

送信空中線から距離3m離れた点の電界強度 E_r は、自由空間においては

$$E_r = \frac{7\sqrt{P}}{d} \quad (21)$$

$$= 73.7865 \quad [mV/m] \quad (22)$$

$$= 97.3595 \quad [dB\mu V/m] \quad (23)$$

測定空中線のアンテナファクター A_{fr} は

$$A_{fr} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{73.13}{50}} \quad (24)$$

$$= \frac{2 \times 3.14159}{3} \sqrt{\frac{73.13}{50}}$$

$$= 2.5329 \quad [1/m]$$

$$= 8.0724 \quad [dB/m] \quad (25)$$

測定用空中線の終端出力電圧 V_{r0} は

$$\begin{aligned} V_{r0} &= \frac{E_r}{A_{fr}} \\ &= 97.3595 - 8.0724 \\ &= 89.2781 \quad [dB\mu V] \quad (26) \end{aligned}$$

測定用受信機の測定値 V_r は給電線損失 Γ_{cr} であるから

$$\begin{aligned} V_r &= V_{r0} - \Gamma_{cr} \\ &= 89.2781 - 1 \\ &= 88.2791 \quad [dB\mu V] \quad (27) \end{aligned}$$

テストサイトの測定用受信機の読みは(27)式の V_r である。この V_r を(19)式に用いて、送信空中線の空中線電力を確認する。(19)式から

$$P_x = V_r [dB\mu V] + A_{fr} [dB/m] + \Gamma_{cr} [dB] - 97.3596 \quad [dBm] \quad (19)'$$

$$= 88.2791 + 8.0724 + 1 - 97.3596$$

$$= -0.008$$

$$\cong 0 \quad [dBm] \quad (28)$$

$$= 1 \quad [mW] \quad (29)$$

となり、送信空中線電力を知ることができる。

 3. コレクトファクター C_f による方法

コレクトファクター C_f を導入する。

(9)式から

$$V_r = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{K_2}{d} \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} \sqrt{\frac{R_0}{73.13}} \sqrt{\frac{G_r}{\Gamma_{cr}}} \quad (9)'$$

$$= \frac{\lambda}{2\pi} \frac{K_2}{d} \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} \sqrt{\frac{R_0}{73.13}} \sqrt{\frac{Gr}{\Gamma_{cr}}} \quad (30)$$

(11) 式を用いると

$$= \frac{K_2}{d} \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} \left\{ \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{R_0}{73.13}} \sqrt{Gr} \right\} \frac{1}{\sqrt{\Gamma_{cr}}} \quad (31)$$

$$= \frac{K_2}{d} \sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} \frac{1}{\sqrt{\Gamma_{cr}}} \frac{1}{A_{fr}} \quad (32)$$

(32) 式を変形して

$$\sqrt{\frac{P_s}{\Gamma_{ct}}} = \frac{d}{K_2} V_r A_{fr} \sqrt{\Gamma_{cr}} \quad (33)$$

$$\frac{P_s}{\Gamma_{ct}} = (C_f A_{fr} V_r)^2 \Gamma_{cr} \quad (34)$$

$$\text{ここで } C_f = \frac{d}{K_2} \quad (35)$$

C_f はコレクトファクターである。

(34) 式は P_x でもあるから、

$$P_x = \frac{P_s}{\Gamma_{ct}} = (C_f A_{fr} V_r)^2 \Gamma_{cr}$$

ここで、

$$P_s = S P_{ref} \quad (36)$$

を満足する信号発生器の基準出力レベル P_{ref} を考えると

$$P_x = \frac{S P_{ref}}{\Gamma_{ct}} = (C_f A_{fr} V_r)^2 \Gamma_{cr} \quad (37)$$

(37) 式を変形して C_f を求めると

$$C_f = \frac{1}{A_{fr} V_r} \sqrt{\frac{S P_{ref}}{\Gamma_{ct} \Gamma_{cr}}} = \frac{\sqrt{S}}{A_{fr} V_r} \sqrt{\frac{P_{ref}}{\Gamma_{ct} \Gamma_{cr}}} \quad (38)$$

ここで $V_r = V_{ref} \sqrt{S}$ となるから

$$C_f = \frac{1}{A_{fr} V_{ref}} \sqrt{\frac{P_{ref}}{\Gamma_{ct}} \frac{1}{\Gamma_{cr}}} \quad (39)$$

$$= \frac{1}{A_{fr} V_{ref} \sqrt{\Gamma_{cr}}} \sqrt{\frac{P_{ref}}{\Gamma_{ct}}} \quad (40)$$

$$\text{ここで、} E_{ref} = A_{fr} V_{ref} \sqrt{\Gamma_{cr}} \quad \text{と置けるから} \quad (41)$$

$$C_f = \frac{1}{E_{ref}} \sqrt{\frac{P_{ref}}{\Gamma_{ct}}} \quad (42)$$

E_{ref} は信号発生器出力を P_{ref} としたときの受信空中線のある場所の電界強度であり、 V_{ref} は測定器入力電圧である。

(37) 式と (42) 式とから

$$P_x = \left\{ \frac{1}{E_{ref}} \sqrt{\frac{P_{ref}}{\Gamma_{ct}}} \right\}^2 (A_{fr} V_r)^2 \Gamma_{cr} \quad (43)$$

$$= \left\{ \frac{E_r}{E_{ref}} \sqrt{\frac{P_{ref}}{\Gamma_{ct}}} \right\}^2 \quad (44)$$

ここに E_r は空中線一体化送信機による電界強度であり、

$$E_r = A_{fr} V_r \sqrt{\Gamma_{cr}} \quad (45)$$

(44)式に(41)式(45)式を用いると

$$P_x = \left\{ \frac{V_r}{V_{ref}} \right\}^2 \frac{P_{ref}}{\Gamma_{ct}} \quad (46)$$

また、(37)式から

$$P_x = (C_f A_{fr} V_r)^2 \Gamma_{cr} \quad (37)$$

$$= (C_f E_r)^2 \quad (47)$$

P_x を[mW]、 E_r を[μ V]で表すと

$$P_x [\text{mW}] \times 10^{-3} = (C_f E_r [\mu\text{V}] \times 10^{-6})^2 \quad (48)$$

P_x を[dBm]で表すと

$$10 \log_{10} P_x - 30 = 20 \log_{10} C_f + 20 \log_{10} E_r - 120 \quad (49)$$

$$\therefore P_x [\text{dBm}] = E_r [\text{dB}\mu\text{V/m}] + C_f [\text{dB}] - 90 \quad (50)$$

として P_x を知ることが出来る。

実際には次のようにして C_f 、 P_x を求める。

- 1) 供試する空中線一体化送信機の位置に半波長ダイポールを設置し、 $P_{ref} = 0$ [dBm]を供給する。
- 2) テストサイトの測定システムで電界強度 E_{ref} [dB μ V/m]を測定する。
- 3) (41)式から

$$C_f = (P_{ref} [\text{dBm}] - 30) - (E_{ref} [\text{dB}\mu\text{V/m}] - 120) - \Gamma_{ct} [\text{dB}] \quad (51)$$

$P_{ref} = 0$ [dBm]であるから

$$C_f = 90 - E_{ref} - \Gamma_{ct} \quad [\text{dB}] \quad (52)$$

として C_f を求める。

- 4) テストサイトの測定システムで空中線一体化送信機からの輻射電界強度 E_r を測定する。

(52)式と(50)式とから

$$P_x = E_r + C_f - 90 \quad (53)$$

として P_x を求める。

参考資料

一般的事項 基礎電磁波工学 虫明康人 協立出版
 テレコムドキュメント テュフオータマ株式会社編