

自由空間損失 L [dB]は？	$L = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ (真値)}$ $L[\text{dB}] = 32.4 + 20\log f[\text{MHz}] + 20\log d[\text{km}]$
半波長ダイポールの自由空間損失 L [dB]は？	$L = \frac{5.9\pi^2 d^2}{\lambda^2} \text{ (真値)}$
アンテナの実効面積 $A_e$ [m <sup>2</sup> ]は？	$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \text{ [m}^2\text{]} \rightarrow 0.08G\lambda^2 \text{ [m}^2\text{]}$
絶対利得Gのアンテナの電界強度	$E = \frac{\sqrt{30GP}}{d} \text{ [V/m]}$
絶対利得(真値) G	$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$
電力密度 $P_d$ [W/m <sup>2</sup> ]	$P_d = \frac{P_t G}{4\pi d^2} \text{ [W/m}^2\text{]}$
受信電力 $P_r$ [W]	$P_r = \frac{P_t G A_e}{4\pi d^2} \text{ [W]}$
電界強度	$E =  2E_0  \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \text{ [V/m]}$
開口面アンテナの絶対利得	$\frac{\text{開口面アンテナの実効面積}}{\text{等方性アンテナの実効面積}}$
電界が零となる距離は？	$d = 2h_1 h_2 / \lambda$
Eが極大になる電界強度	$d = 4h_1 h_2 / \lambda$
角錐ホーンアンテナの絶対利得は？	$G = \frac{4\pi ab \eta_e \eta_h}{\lambda^2}$
相対利得Gのアンテナの電界強度	$E_0 = \frac{7\sqrt{GP}}{d} \text{ [V/m]}$
半波長ダイポールの電界強度	$E = \frac{7\sqrt{P}}{d} \text{ [V/m]}$
三線式折返し半波長ダイポールの実効長	$\ell = \sqrt{G} \times \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{R}{73.13}} \text{ [m]}$
半波長ダイポールアンテナ特性インピーダンス	$Z_0 = 138 \log \frac{2\ell}{d} \text{ [\Omega]}$
短縮率 $\delta$	$\delta = \frac{42.55}{\pi Z_0}$
微小ダイポールの放射抵抗 $R_r$ [Ω]	$R_r = \frac{80\pi^2 \ell^2}{\lambda^2} \text{ [\Omega]} \quad (\ell = \frac{\lambda}{4})$
終端から長さ $\ell$ [m]のところから見たインピーダンス $Z_i$ [Ω]	$Z_i = jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi \ell}{\lambda}\right) \text{ [\Omega]}$
平行2線式給電線の実効インピーダンス $Z_0$ [Ω]	$Z_0 = 277 \log \frac{2D}{d} \text{ [\Omega]}$

遮蔽平行2線式給電線の特性インピーダンス $Z_0$ [ $\Omega$ ]	$Z_0 = \frac{277}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{2SK}{d} \quad [\Omega]$
整合回路の静電容量 $C$ [pF]は?	$C = \frac{1}{Z_0 \omega} \times \sqrt{\frac{Z_0 - Z}{Z}} \quad [\text{pF}]$
臨界周波数 $f_c$ [Hz]	$f_c = 9\sqrt{N_{\text{MAX}}} \quad [\text{Hz}]$
アンテナの指向性利得 $G_d$ [dB]は?	$\frac{41253}{\theta_{\text{ED}} \theta_{\text{HD}}}$
群速度 $\nu_g$ [m/s]	$c \times \sqrt{1 - \left( \frac{\lambda}{\text{遮断波長}2a} \right)^2} \quad [\text{m/s}]$
整合用給電線のインピーダンス $Q$	$Q = \sqrt{Z_0 \times R} \quad [\Omega]$
平行4線式給電線の特性インピーダンスは?	$Z_0 = 138 \log \frac{\sqrt{2} D}{d} \quad [\Omega]$
対地速度 $\nu$ は?	$\nu = \frac{Cf_d}{2f \cos \theta} \quad [\text{m/s}]$
電力の変調度 $m$	$\text{変調度} m = \sqrt{\left( \frac{P_m}{P_c} - 1 \right)} \times 2$
ネットワークアナライザの $S_{11}$	$S_{11} = \frac{Z_1 - R_1}{Z_1 + R_1}$
PAの効率 $\eta_T$	$\eta_T = \frac{1}{\frac{1}{\eta_i} + \frac{1}{G_p \eta_e}}$
影像周波数	$\begin{aligned} f_L > f \cdots f_L - f_{IF} = f, f_L + f_{IF} = f_u \\ f_L < f \cdots f_L - f_{IF} = f_u, f_L + f_{IF} = f \end{aligned}$
レーダー方程式	$R_{\text{max}} = \left( \frac{PGA \sigma}{(4\pi)^2 S_{\text{min}}} \right)^{\frac{1}{4}} \quad R_{\text{max}} = \left( \frac{PG^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{\text{min}}} \right)^{\frac{1}{4}}$
雑音指数	$F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2}$
開口面アンテナ誤差を2%以下に抑える最小距離 $R$ は	$R = 2(D_1 + D_2)^2 / \lambda$
同軸のインピーダンス	$Z = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \log \frac{b}{a} \quad [\Omega]$
微小ダイポールの実効面積	$\frac{3\lambda^2}{8\pi} \quad [\text{m}^2]$
微小ダイポールの電界強度	$E = \frac{\sqrt{45P}}{d} \quad [\text{V/m}]$
等方性アンテナの電界強度	$E = \frac{\sqrt{30P}}{d} \quad [\text{V/m}]$

半波長スロットアンテナの入力インピーダンスの最大値 (半波長ダイポールのインピーダンスを73Ω)	$\frac{(60\pi)^2}{73} [\Omega] = 490$		
1/4波長垂直接地アンテナの実効静電容量 (アンテナの静電定数: $C_0$ )	$C_e = \frac{8C_0}{\pi^2} [F]$		
平行平板のインピーダンス	$Z = \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \frac{d}{W} [\Omega]$		
自由空間のインピーダンス	$Z_0 = 120 \pi = 377 [\Omega]$		
半波長ダイポール	相対利得	絶対利得	指向性利得
等方性アンテナ	0dB	2.15dB 1.64	2.15dB 1.64
微小ダイポール	-2.15dB 0.6	0dB	0dB
	-0.39dB 0.9	1.76dB 1.5	
1/4波長よりはるかに小さい垂直接地アンテナの電界強度	$E = \frac{\sqrt{90\eta P}}{d} [V/m]$		
受信機に誘起する電圧	$V = \frac{E \ell_e}{2} [V]$		
アンテナに誘起する電圧	$V = E \ell_e [V]$		
折り返し半波長ダイポールの実効長 ↑の $\ell_e$	$\ell_e = \frac{\lambda}{\pi} \times 2 [m]$		
誘電体レンズのゾーニングの深さ	$z = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r} - 1} [m]$		
パラボラの指向性を測定する最小測定距離	$R_{min} = \frac{2D^2}{\lambda} [m], R_{min} = \frac{2\lambda G}{\pi^2 \eta} [m]$		
メートルアンペア、給電線電流で実効長は？	実効長 = $\frac{\text{メートルアンペア}}{\text{給電線電流}} [m]$		
平行2線式給電線の減衰定数 $\alpha$	$\alpha = \frac{0.00832\sqrt{f}}{dZ_0} [Np/m]$		
屈折がある電界強度	$E = 4E_0 \times S \times \sin \frac{2\pi h_1 h_0}{\lambda d_1} \times \sin \frac{2\pi h_0 h_2}{\lambda d_2} [V/m]$		
反射損M、アンテナ利得G の動作利得	動作利得 = $\frac{G}{M}$		
VSWRをS、の反射損	反射損 = $\frac{(1+S)^2}{4S}$		
VSWRをS、アンテナ利得G の動作利得	動作利得 = $\frac{4SG}{(1+S)^2}$		
$Z_0=50\Omega$ 、 $Z_L=40+j30\Omega$ の時の 電圧透過係数は？	$\frac{2(Z_L)}{(Z_0+Z_L)} = \frac{2(40+j30)}{(50+40+j30)}$		

周波数 4 [GHz]  
 送信電力 100 [W]  
 送信アンテナ絶対利得 30 [dB]  
 送受信点間距離 5 [km]  
 最小受信入力レベル 1 [dBm]

1 [mW]を0 [dBm]、 $\log 7 \doteq 0.85$

自由空間損失 L [dB]は？  
 受信アンテナの絶対利得  $G_r$  [dB]は？

$$L = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ (真値)}$$

$$L = 7 \times 10^{11}$$

dB換算して  
 $8.5 + 110 = 118.5$  [dB]

$$100\text{W} \rightarrow 50\text{dBm}$$

$$+50 + 30 - 118.5 + G_r = 1$$
 [dBm]
$$G_r = 39.5$$
 [dB]

周波数 300 [MHz]  
 相対利得 31.4 (真値)

このアンテナの実効面積  $A_e$  [m<sup>2</sup>]は？

$$A_e = \frac{G \lambda^2}{4\pi} \text{ [m}^2\text{]} \rightarrow 0.08 G \lambda^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{絶対利得} = \text{相対利得} \times 1.64$$

$$\text{約 } 2.15 \text{ [dBi]} \text{ (真数では約1.64倍)}$$

$$4\pi = 12.56$$

$$\pi^2 = 10$$

$$A_e = 31.4 \times 1.64 \times 1^2 / 4 \times 3.14$$

$$= 51.496 / 12.56$$

$$= 4.1 \text{ [m}^2\text{]}$$

周波数 3 [GHz]  
 送信電力 10 [W]  
 パラボラアンテナ直径 2 [m]  
 アンテナ開口効率 0.6  
 最大放射距離 5 [km]  
 $\sqrt{7.2} \doteq 2.68$

電界強度 E [mV/m]は？  
 絶対利得G  
 のアンテナ  $E = \frac{\sqrt{30GP}}{d} \text{ [V/m]}$

$$E = \sqrt{(30 \times 240 \times \pi^2 \times 10)} / 5 \times 10^3$$

$$= \sqrt{(72000 \times \pi^2)} / 5 \times 10^3$$

$$= \sqrt{(7.2 \times 10^4 \times \pi^2)} / 5 \times 10^3$$

$$= 2.68 \times 10^2 \times \pi / 5 \times 10^3$$

$$= 0.168 \text{ [V/m]}$$

$$\doteq 170 \text{ [mV/m]}$$

パラボラの絶対利得(真値) G  
 開口面積 A [m<sup>2</sup>]  
 波長  $\lambda$  [m]  
 開口効率  $\eta$

$$G = \frac{4\pi A \eta}{\lambda^2}$$

$$G = 4 \times \pi \times \pi \times 0.6 / 0.12$$

$$= 2.4 \times \pi^2 / 0.01$$

$$= 240 \times \pi^2$$

送信電力  $P_t$  [W]  
 電力密度  $P_d$  [W/m<sup>2</sup>]  
 送信アンテナ絶対利得 G  
 送受信点間距離 d [m]

$$P_d = \frac{P_t G}{4\pi d^2} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

受信電力  $P_r$  [W]  
 受信アンテナ実効面積  $A_e$  [m<sup>2</sup>]

$$P_r = P_d A_e = \frac{P_t G A_e}{4\pi d^2} \text{ [W]}$$



$$P_r = \frac{P_t G A_e}{4\pi d^2} \text{ [W]}$$

周波数  $f$  150 [MHz]  
 送信アンテナ高  $h_1$  100 [m]  
 送信点から受信点までの距離  $d$  5 [km]  
 受信アンテナ高  $h_2$  10 [m]  
 大地の反射係数  $-1$

受信アンテナを送信点へ向かって移動し、電界が零となる距離は？

$$\text{電界強度 } E = |2E_0| \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \quad [\text{V/m}]$$

$\sin(2\pi h_1 h_2 / \lambda d) = 0$  の時に  $E$  が零になる、  
 最初に零になるのは  $\pi = 1$  の時

$$\begin{aligned} d &= 2h_1 h_2 / \lambda \\ &= 2 \times 100 \times 10 / 2 \\ &= 1000 \quad [\text{m}] \end{aligned}$$

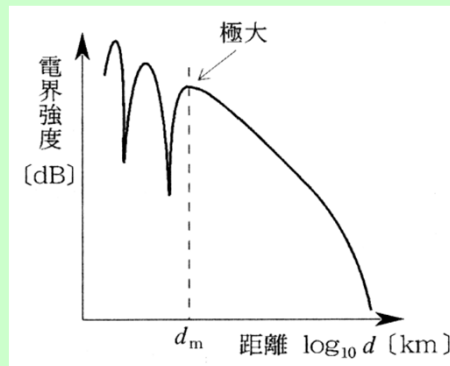
$$\text{開口面アンテナ(パラボラ)の絶対利得} = \frac{\text{開口面アンテナの実効面積}}{\text{等方性アンテナの実効面積}}$$

送信アンテナ高 200 [m]  
 周波数 200 [MHz]  
 受信アンテナ高 30 [m]  
 大地の反射係数  $-1$

距離  $d$  [km] は？

$\sin(2\pi h_1 h_2 / \lambda d) = 1$  の時に  $E$  が極大になる、  
 極大になるのは  $\sin 90^\circ = 1 \rightarrow \pi/2$  の時  
 $2\pi h_1 h_2 / d \lambda = \pi/2$

$$\begin{aligned} d &= 4h_1 h_2 / \lambda \\ &= 4 \times 200 \times 30 / 1.5 \\ &= 16000 \\ &= 16 \quad [\text{km}] \end{aligned}$$



送信アンテナ高 50 [m]  
 受信アンテナ高 10 [m]  
 最大放射方向距離 20 [km]  
 送信電力 100 [W]  
 周波数 150 [MHz]  
 送信アンテナの相対利得 6 [dB]

相対利得  $G$  のアンテナの電界強度

$$E_0 = \frac{7\sqrt{GP}}{d} \quad [\text{V/m}]$$

受信点の電界強度は？ [mV/m]

$$E = 2 \times \frac{7\sqrt{GP}}{d} \times \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda d} \quad [\text{V/m}] \rightarrow \frac{88\sqrt{GP}h_1 h_2}{\lambda d^2}$$

$$\begin{aligned} E &= 88 \times \sqrt{(400) \times 50 \times 10} / 2 \times 400 \times 10^6 \\ &= 88 \times 10^4 / 8 \times 10^8 \\ &= 11 \times 10^{-4} \\ &= 1.1 \times 10^{-3} \\ &= 1.1 \quad [\text{mV/m}] \end{aligned}$$

角錐ホーンアンテナの絶対利得は？

開口面の縦 80 [cm]  
 // の横 166 [cm]  
 周波数 3 [GHz]  
 電界(E)面の開口効率 0.75  
 磁界(H)面の開口効率 0.8

$$G = 4\pi \times 0.8 \times 1.66 \times 0.75 \times 0.8 / 0.01 = 10^3 \rightarrow 30 \text{ [dB]}$$

角錐ホーンアンテナ

開口面の縦 a [m]  
 // の横 b [m]  
 E面の開口効率  $\eta_e$   
 H面の開口効率  $\eta_h$   
 波長  $\lambda$  [m]

とすれば絶対利得 G (真数)は

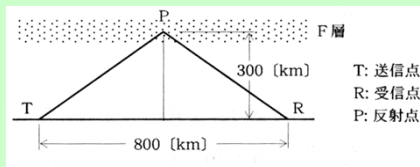
$$G = \frac{4\pi ab \eta_e \eta_h}{\lambda^2}$$

- 相対利得は、絶対利得より **約2.15 [dB] (1/1.64倍)** 低い
- 等方性アンテナの相対利得は **約0.6 (1/1.64倍)**
- 微小ダイポールアンテナの相対利得は半波長ダイポールアンテナの相対利得に比べて **約0.39 [dB] (1/1.09倍)** 低い
- 放射効率が 1 のアンテナの **絶対利得** は、指向性利得に等しい
- アンテナと給電回路と整合の時のアンテナ利得を G (真数)、不整合の時の反射損を M (真数)とすれば、アンテナの動作利得は **G/M**。  

$$M = \frac{1}{1 - \Gamma^2}$$
 ただし、 $\Gamma$ を反射係数とすれば、

	相対利得	絶対利得	指向性利得
半波長ダイポール	0dB	2.15dB 1.64	2.15dB 1.64
等方性アンテナ	-2.15dB 1/1.64 = 0.6	0dB	0dB
微小ダイポール	-0.39dB 1/1.09 = 0.9	1.76dB 1.5	
アンテナ効率0.8、 相対利得10dBのアンテナ	10dB	12.15dB	?

送受信点間距離 800 [km]  
 半波長ダイポールアンテナの放射電力 2.5 [kW]  
 F層1回反射伝搬でF層の高さ 300 [km]  
 第1種減衰は無し  
 第2種減衰 6 [dB]  
 電界強度 1 [ $\mu\text{V/m}$ ]を 0 [dB]とする  
 $\log 7 \doteq 0.85$



最大放射方向の受信点の電界強度は [dB]？  
 電波の通路長  $d = \sqrt{(400^2 + 300^2)} \times 2 = 1000$  [km]  
 $E = 7\sqrt{(2500)} / 1000 \times 10^3$   
 $= 350 / 1000 \times 10^3$   
 $= 350 \times 10^{-6} = 350$  [ $\mu\text{V/m}$ ]

半波長ダイポールの電界強度

$$E = \frac{7\sqrt{P}}{d} \text{ [V/m]}$$

$20\log 350 \doteq 51$  [dB]  
 $51 - 6 = 45$  [dB]

微小ダイポールの実効面積について

受信アンテナから取り出す事のできる **最大電力** は...

微小ダイポールの利得Gは **1.5倍 (+1.76dB)** なので

$$A_e \doteq 0.08G \lambda^2$$

$$\doteq 0.08 \times 1.5 \times \lambda^2$$

$$\doteq 0.12 \lambda^2$$

$a=23$  [mm]、 $b=10$  [mm] の方形導波管  
 周波数 10 [GHz]  
 基本モード  $TE_{10}$  の電波が伝搬するときの群速度は ? [m/s]  
 $\sqrt{0.575} \doteq 0.76$  とする。

波長  $\lambda$  [m]  
 電波の速度  $c$  [m/s]  
 位相速度  $\nu_p$  [m/s]  
 群速度  $\nu_g$  [m/s]

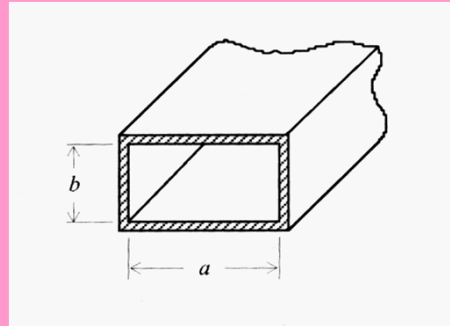
$$\text{位相速度 } \nu_p = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} \text{ [m/s]}$$

$$\text{群速度 } \nu_g = \frac{c^2}{\nu_p} \text{ [m/s]}$$

$$= c \times \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2} \text{ [m/s]}$$

●群速度は位相速度より **遅い**

$$\begin{aligned} \text{群速度 } \nu_g &= 300 \times 10^6 \times \sqrt{1 - (0.03/2 \times 23 \times 10^{-3})^2} \\ &= 300 \times 10^6 \times \sqrt{0.575} \\ &= 300 \times 0.76 \times 10^6 \\ &= 228 \times 10^6 \text{ [m/s]} \end{aligned}$$



微小ダイポールの長さ 2 [m] に高周波電流 3 [A] を加える  
 周波数 10 [MHz]  
 アンテナの電流分布は三角形状に分布する

放射される電力は？

実効長  
 $l = 2/2$   
 $= 1$  [m]

放射電力  
 $P = I^2 R_r$   
 $= 3^2 \times 80 \times \pi^2 \times 1^2 / 30^2$   
 $= 9 \times 80 \times 10 / 900$   
 $= 8$  [W]

実効長  $l$  [m]  
 波長  $\lambda$  [m]  
 とすれば

微小ダイポールの放射抵抗  $R_r$  [ $\Omega$ ]

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

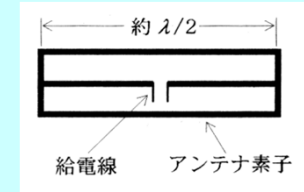
アンテナの長さ  $L$  [m]  
 実効長  $l = \frac{L}{2}$  [m]

三線式折返し半波長ダイポール

受信周波数 200 [MHz]  
 波長  $\lambda$  [m]

受信した時の実効長は？

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{1} \times 1.5/3.14 \times \sqrt{9} \\ &\doteq 1.4 \text{ [m]} \end{aligned}$$



実効長  $l$  [m]  
 相対利得  $G$  (真値)  
 放射抵抗  $R$  [ $\Omega$ ]  
 波長  $\lambda$  [m]

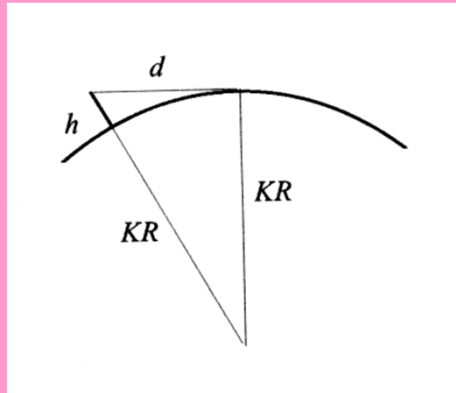
$$l = \sqrt{G} \times \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{R}{73.13}} \text{ [m]}$$

三線式折返し半波長ダイポール  
 ・放射抵抗は半波長ダイポール73.13の9倍

球面大地の伝搬

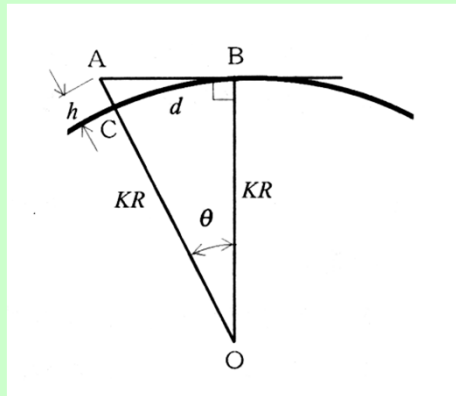
送信アンテナ高 100 [m]  
 地球の半径 6370 [km]  
 地球の等価半径係数 2  
 ただし  $\cos x \doteq 1 - x^2/2 (x \ll 1)$   
 見通しの距離は？

dを求めればよい  
 $(KR+h)^2 = d^2 + KR^2$   
 $KR^2 + 2hKR + h^2 = d^2 + KR^2$   
 $KR \gg h$  なので、 $h^2$ は無視する？  
 $d^2 = 2hKR$   
 $= 2 \times 100 \times 6370 \times 10^3 \times 2$   
 $= 2548000 \times 10^3$   
 $= 2548 \times 10^6$   
 $d = 50.5 \times 10^3$   
 $= 50$  [km]



$$d \doteq \sqrt{2KRh} \text{ [m]}$$

$$\theta = \frac{d}{KR} \text{ [rad]}$$



• 相対利得1(真値)

電界面内の電力半値幅 3.5 度  
 磁界面内の電力半値幅 4.0 度 のビームを持つアンテナの  
 指向性利得  $G_d$  [dB]は？  
 $\log 3 \doteq 0.48$

$$G_d(\text{真値}) = \frac{4\pi}{\theta_E \theta_H} = \frac{4\pi}{\theta_{ED} \theta_{HD} (\pi/180)^2}$$

$$= \frac{41253}{\theta_{ED} \theta_{HD}}$$

$$G_d(\text{真値}) = 41253 / 3.5 \times 4.0$$

$$= 2974$$

$$\doteq 3000$$

$$G_d = 34.8 \text{ [dB]}$$

電離層の最大電子密度が  $8.1 \times 10^{11}$  [個/m<sup>3</sup>]  
 臨界周波数は ? [MHz]

電離層の最大電子密度が  $N$  [個/m<sup>3</sup>] の時、  
 電波を電離層へ垂直に入射した時の反射は 0 であり、  
 $N$  が最大電子密度  $N_{MAX}$  の高さで反射条件が成り立つ周波数が  
 臨界周波数  $f_c$  [Hz] である。

$$f_c = 9\sqrt{N_{MAX}} \text{ [Hz]}$$

$$f_c = 9\sqrt{8.1 \times 10^{11}}$$

$$= 9\sqrt{81 \times 10^{10}}$$

$$= 9 \times 9 \times 10^5$$

$$= 8.1 \times 10^6 \text{ [Hz]}$$

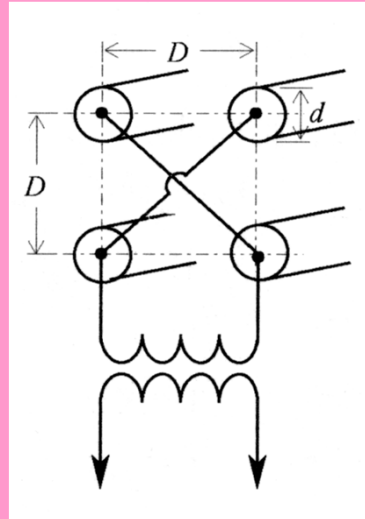
$$= 8.1 \text{ [MHz]}$$



直径  $d = 2$  [mm]  
 距離  $D = 3$  [cm]  
 平行4線式給電線の特性インピーダンスは？  
 $\log 3 = 0.48$ として。

$$Z_0 = 138 \log \frac{\sqrt{2} D}{d} \quad [\Omega]$$

$$\begin{aligned} Z_0 &= 138 \log \sqrt{2} \times 0.03 / 0.002 \\ &= 138 \times \log(1.414 \times 0.03 / 0.002) \\ &= 138 \times \log(21.21) \\ &= 138 \times 1.33 \\ &= 183.5 \quad [\Omega] \end{aligned}$$



直径 4 [mm]  
 線間隔 20 [cm]  
 周波数 20 [MHz]  
 終端からの長さ 2.5 [m]のところから終端を見たインピーダンスと等価となる  
 平行2線式給電線のコイルのインダクタンスは？

インピーダンス、インダクタンス、角周波数

$$Z = L \omega \quad [\Omega] \quad \omega = 2\pi f \quad [\text{rad/s}]$$

波長  $\lambda$  [m]

終端から長さ  $l$  [m]のところから見たインピーダンス  $Z_i$  [ $\Omega$ ]

$$Z_i = jZ_0 \tan\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right) \quad [\Omega]$$

直径  $d$  [m]

線間隔  $D$  [m]

平行2線式給電線の特性インピーダンス  $Z_0$  [ $\Omega$ ]

$$Z_0 = 277 \log \frac{D}{d} \quad [\Omega]$$

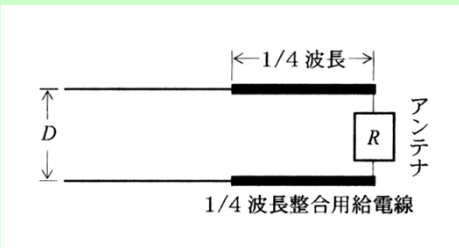
平行2線式給電線の特性インピーダンス

$$\begin{aligned} Z_0 &= 277 \log(2D/d) \\ &= 277 \times \log(2 \times 0.2 / 0.004) \\ &= 277 \times \log 10^2 \\ &= 277 \times 2 \\ &= 554 \quad [\Omega] \end{aligned}$$

終端からの長さ 2.5 [m]のところから終端を見たインピーダンス

$$\begin{aligned} Z_i &= j554 \tan(2\pi \times 2.5 / 15) \\ &= j554 \tan(\pi / 3) \\ & \quad \pi / 3 \text{は} 60^\circ \text{だから} \tan 60^\circ = \sqrt{3} \\ &= j554 \times \sqrt{3} \\ &= j958 \quad [\Omega] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_i &= L \omega \\ L &= 958 / (2\pi \times 20 \times 10^6) \\ &= 958 / 125.6 \times 10^{-6} \\ &= 7.6 \quad [\mu\text{H}] \end{aligned}$$



平行2線式給電線  
 直径 2 [mm]  
 線間 100 [mm]

アンテナのR 135 [ $\Omega$ ]

整合用給電線  
 直径 ? [mm]  
 線間 100 [mm]

整合用給電線の直径は？

$$Q = \sqrt{Z_0 \times R} \quad [\Omega]$$

平行2線式給電線のインピーダンス  $Z_0$

$$\begin{aligned} Z_0 &= 270 \log(2 \times 0.1 / 0.002) \\ &= 540 \quad [\Omega] \end{aligned}$$

整合用給電線のインピーダンスQ

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{Z_0 \times R} \\ &= \sqrt{540 \times 135} \\ &= 270 \quad [\Omega] \end{aligned}$$

整合用給電線のインピーダンスQに代入

$$\begin{aligned} Q &= 270 = 270 \log(2D/d) \\ 1 &= \log(0.2/d) \\ d &= 0.02 \quad [\text{m}] \\ &= 20 \quad [\text{mm}] \end{aligned}$$

$Z_0=270\log(2D/d)$  [Ω] を使う事

半波長ダイポール

周波数 15 [MHz]

アンテナの入力インピーダンスを純抵抗  
素子の直径 10 [mm]

素子の長さ  $\ell$  [m]は？

$\lambda=20$  [m]だから全波長は20 [m]

半波長は10 [m]

素子の長さは5 [m]になる

アンテナ特性インピーダンス

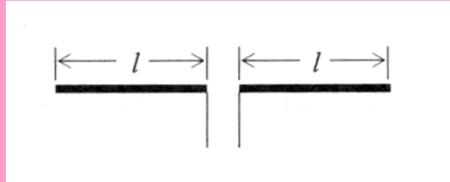
$$Z_0=138\log(2 \times 5/0.01) \\ =414 \text{ [}\Omega\text{]}$$

短縮率

$$\delta=42.55/\pi 414 \\ \doteq 0.0327$$

短縮率を考慮した素子長さ $\ell$  [m]

$$\ell=5*(1-0.0327) \\ =4.8365 \\ \doteq 4.84 \text{ [m]}$$



素子直径  $d$  [m]  
素子長さ  $\ell$  [m] の時  
半波長ダイポールアンテナ特性インピーダンス

$$Z_0 = 138\log\frac{2\ell}{d} \text{ [}\Omega\text{]}$$

短縮率  $\delta = \frac{42.55}{\pi Z_0}$

短縮率を考慮した素子長さ = 1 - 短縮率

特性インピーダンス 50 [Ω]

平行2線式線路の伝搬速度が自由空間の0.83倍  
1m当たりのインダクタンスLは？

特性インピーダンス  $Z_0$  [Ω]

自由空間の伝搬速度  $c$  [m/s]  $\rightarrow 3 \times 10^8$

平行2線式の伝搬速度  $u$  [m/s]

平行2線式線路の単位長当たりの静電容量  $C$  [F/m]  
としたとき、

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ [}\Omega\text{]} \quad u = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ [m/s]}$$

$$Z_0^2=L/C \rightarrow C=L/Z_0^2$$

$$u=1/\sqrt{L \times L/Z_0^2} \rightarrow 1/\sqrt{L^2/Z_0^2} \rightarrow 1/L/Z_0 \rightarrow Z_0/L=0.83c \rightarrow$$

$$L=Z_0/0.83c \rightarrow L=50/0.83 \times 3 \times 10^8$$

$$L \doteq 20.08 \times 10^{-8} \doteq 0.20 \text{ [}\mu\text{H/m]}$$

アンテナ特性インピーダンス 628 [Ω]

垂直接地アンテナ長 25 [m]

周波数 1.5 [MHz]

挿入すべきコイルのインダクタンスは？

$$Z=-j628 \cot(2\pi 25/200)$$

$$=-j628 \cot(\pi/4)$$

$$=-j628 \text{ [}\Omega\text{]}$$

Zが容量性なので、誘導性リアクタンス $X_L$ が次式のインダクタンスL [H]の延長に  
コイルを付加すれば良い

$$X_L=2\pi fL=628$$

$$L=628/2\pi f$$

$$=628/2\pi \times 1.5 \times 10^6$$

$$=66.67 \times 10^{-6}$$

$$=66.7 \text{ [}\mu\text{H]}$$

垂直接地アンテナ長  $\ell$  [m]

アンテナの特性インピーダンス  $Z_0$  [Ω]

入力インピーダンス  $Z$  [Ω]

とすると

$$Z = -jZ_0 \cot \frac{2\pi \ell}{\lambda} \text{ [}\Omega\text{]}$$

アンテナ特性インピーダンス  $Z$  [Ω]

$$Z = 2\pi fL = L\omega = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{C\omega} \text{ [}\Omega\text{]}$$

周波数 10 [MHz]

特性インピーダンス  $Z_0$  365 [ $\Omega$ ]

入力インピーダンス  $Z$  73 [ $\Omega$ ]の半波長ダイポールアンテナとを  
整合させるための静電容量  $C$  [pF]は？

$$C = \frac{1}{Z_0 \omega} \times \sqrt{\frac{Z_0 - Z}{Z}} \quad [\text{pF}]$$

$$\omega = 2\pi f$$

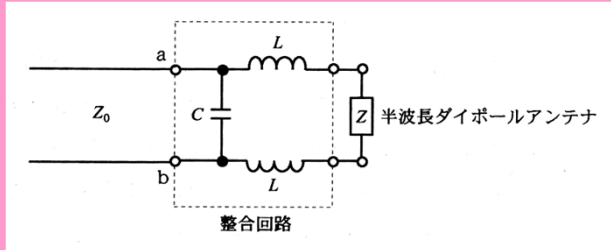
$$= 6.28 \times 10 \times 10^6$$

$$= 62.8 \times 10^6$$

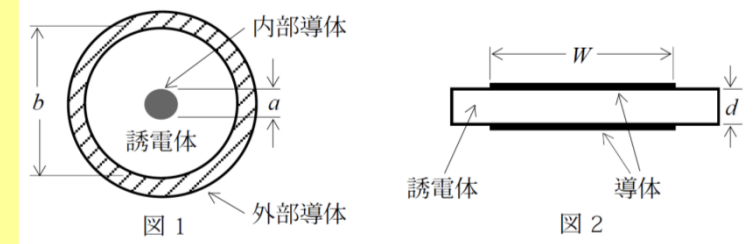
$$C = 1 / (365 \times 62.8 \times 10^6) \times \sqrt{(365 - 73) / 73}$$

$$= 43.6 \times 10^{-12} \times \sqrt{4}$$

$$= 87.2 \text{ [pF]}$$



00.7 (A.1)



同軸と平行平板のインピーダンスが等しい

比誘電率  $\epsilon_r$

$b/a = 5$  のときの  $d/W = 0.26$

同軸のインピーダンス

$$Z = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \log \frac{b}{a} \quad [\Omega]$$

自由空間のインピーダンス

$$Z_0 = 120\pi \quad [\Omega]$$

平行平板のインピーダンス

$$Z = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \times \frac{d}{W} \quad [\Omega]$$

微小ダイポールの実効面積

$$\frac{3\lambda^2}{8\pi} \quad [\text{m}^2]$$

共振周波数 2.5 [MHz]

給電線電流 2 [A]

メートル・アンペア 10 [m·A] にする為の  $l_1, l_2$  は？

実効長  $h_e$  [m]

給電線電流  $I_0$  [A]

メートル・アンペア  $S$  [m·A]

$$h_e = \frac{S}{I_0} \quad [\text{m}]$$

アンテナ全体の長さは  $\lambda/4$  [m]

実効長=10/2

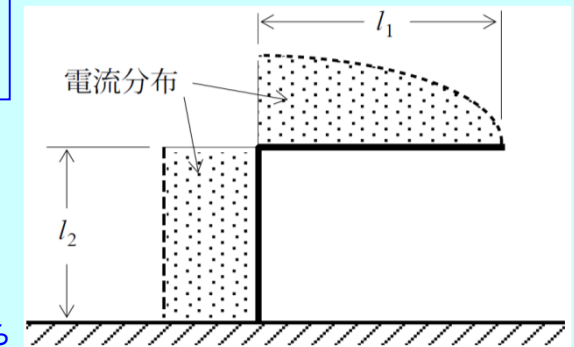
$$= 5 \text{ [m]}$$

垂直部は電流分布が一様なので

$$l_2 = 5 \text{ [m]}$$

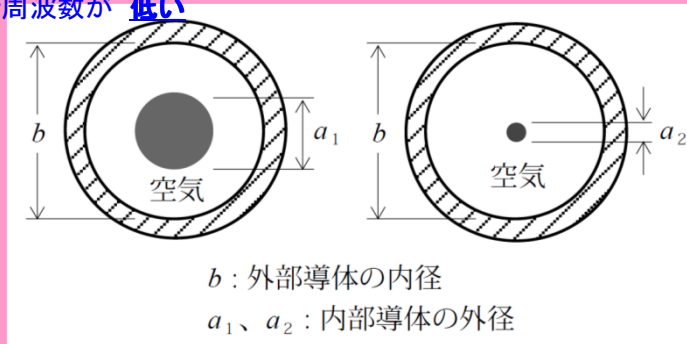
アンテナ全体の長さは  $\lambda/4$  だから

$$0 = (120/4) - 5 = 25 \text{ [m]}$$



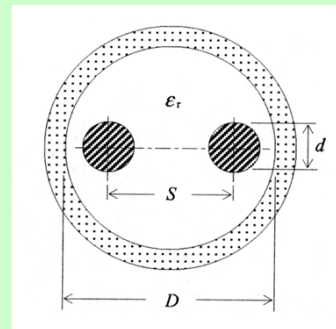
特性インピーダンス 200 [Ω] の同軸ケーブルと比べて  
 特性インピーダンス 50 [Ω] は？

- 内部導体が **大きい**
- 減衰定数が **小さい**
- 伝送できる電力容量が **大きい**
- 耐電圧が **大きい**
- TE<sub>11</sub>モードの遮断周波数が **低い**



### 同軸線路

- TEM波** のみ使用
- TE<sub>11</sub>波より高い周波数は **使用しない**
- 比誘電率  $\epsilon_s$  が1の時の **位相定数は  $\sqrt{\epsilon_s}$ 倍**



- 比誘電率  $\epsilon_r$  の誘電体で囲まれたS、dが等しい平行2線式線路と比べると抵抗損失は **大きい**
- 遮蔽物を取り除いて、dは変えずにSのみが **K倍** された平行2線式線路の特性インピーダンスと等しい

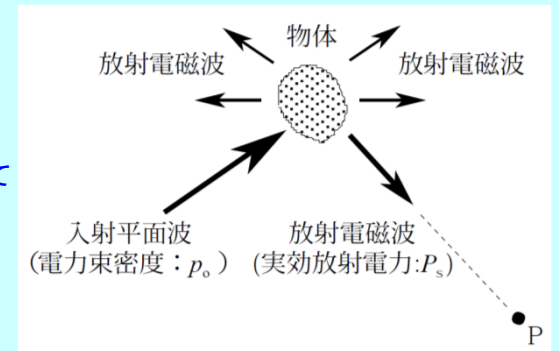
### 散乱波について

- 図の物体に平面波が入射すると **導電電流** 又は **変位電流** が誘起して電磁波が **再放射** される

- P方向の散乱断面積  $\sigma_p$  [m<sup>2</sup>] は  **$\sigma_p = P_s/P_0$  [m<sup>2</sup>]**

遠方の距離 D [m]の  
 電力束密度 P [W/m<sup>2</sup>] は  
 **$P = P_0 \sigma_p / (4\pi D^2)$  [W/m<sup>2</sup>]**

- 散乱方向が入射波と一致するときの  $\sigma_p$  を **レーダー断面積** 又は **後方散乱断面積**



- 全散乱電力と入射波の電力束密度の比 **全散乱断面積**
- 吸収電力と全散乱電力の和の断面積 **全断面積**

## 定在波比

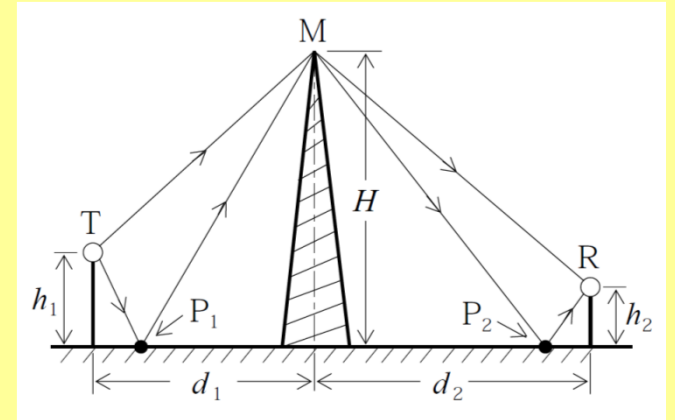
- 位相関係によっては **伝送品質の劣化** の原因となる

$$\eta = \eta_0 \frac{1 - \left(\frac{X-1}{X+1}\right)^2}{1 - \left(\frac{X-1}{X+1}\right)^2 \eta_0^2} \quad \eta_0 = e^{-2b\ell}$$

- $X$  は **定在波比**
- $\ell$  は **給電線路の長さ**
- $b$  は **減衰定数**

## 交差偏波識別度

- 降雨時は雨滴の変形は雨滴が **大きいほど高い**
- 1つの周波数で2つの偏波2つの信号を送れば効率は2倍になるが偏波間干渉が問題となる
- 風の降雨時は雨滴が長軸の電界が **短軸の電界よりも大きく** なるため交差偏波が発生する
- $20\log(\text{主偏波電界}/\text{交差偏波電界})$
- 降雨が強い** ほど、また雨滴の **傾きが大きい** ほど **劣化** する
- 電波の位相回転の大きさが偏波の方向によって異なることと **関係する**



- 回折係数
- $E = E_0 (S_1 + R_1 S_2 + R_2 S_3 + R_1 R_2 S_4)$  [V/m]
- $E = E_0 \times S \times (1 - e^{-j\phi_1} - e^{-j\phi_2} + e^{-j(\phi_1 + \phi_2)})$  [V/m]
- $E = E_0 \times S \times (1 - e^{-j\phi_1}) (e^{-j\phi_2})$  [V/m]

## SHF帯の降雨

- 22 [GHz]** に **水蒸気分子** の共鳴周波数
- 60 [GHz]** に **酸素分子** の共鳴周波数
- 降雨による減衰は **10 [GHz]** 以上で顕著になり、**200 [GHz]** までは降雨強度が多いほど減衰量が増える
- 2つの電波が **交差** している領域に降雨があると **干渉** が起きる事がある

## 電波伝搬

- 電波は建物等に反射、回折され **半波長** の定在波を路上に生ずる
- 上記は受信波にフェージングが発生する周波数が **高い** ほど、移動速度が速いほど変動が **速いフェージング** となる
- 広帯域伝送では **周波数選択性フェージング** を生じ **スペクトルが変形し歪みを生ずる**

## 電波伝搬

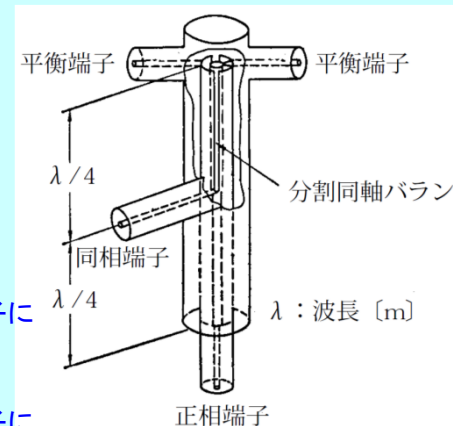
- 対流圏散乱波は **屈折率の揺らぎ** で生じ、見通し外遠距離通信に利用
- ラジオダクト波** は気温逆転現象で屈折率が **高さ方向** に変化見通し外の遠距離まで伝わる

## 衛星の 대기、電離圏の影響

- 晴天時の水滴を含まない場合、衛星の仰角が **低い** ほど減衰する
- 大気の屈折率は **常時変動** しているので電波の到来方向も変動し **シンチレーション** の原因となる
- VHF帯の **高い** 周波数以上は電離圏での減衰は **無視出来る**
- 電離圏の屈折率は周波数が **高く** になると 1 に近づく
- 電離圏の位相について、VHF帯では偏波面の回転( **ファラデー回転** )となるが、 **UHF帯以上** では問題にならない
- 対流圏シンチレーションは低仰角の場合変動幅が **大きい** 電離圏シンチレーションと比べて周期が **長い**

## ブリッジダイプレクサ

- 異なる2つの高周波は **相互作用が無く** 1つのアンテナへ給電できる
- 正相端子から入力した波は、2つの平衡端子に同振幅で  **$\pi$  [rad]** の位相差ができる **同相端子には出力されない**
- 同相端子から入力した波は、2つの平衡端子に同振幅で **0 [rad]** の位相差ができる **正相端子には出力されない**
- 2つの平衡端子から同振幅で  $\pi$  [rad] の位相差で入力すると **正相端子のみ** 出力される
- 同相端子より周波数特性の **広い** 正相端子に **fv** 同相端子に **fa** を接続する



## 電界や磁界のシールド

- **静電遮蔽** は **電界** が存在しない事を用いる
- **磁気遮蔽** は **静磁界** を遮蔽する事であり、磁界が **透磁率** の大きな材料を通り、外部からの磁界が **小さく** なることを用いる
- **電磁遮蔽** は **高周波電流** が遮蔽の作用をする。  
遮蔽材は、**銅** や **アルミ**  
網の場合は、網がアンテナになるので波長より **小さく** しなければならない

## ILS

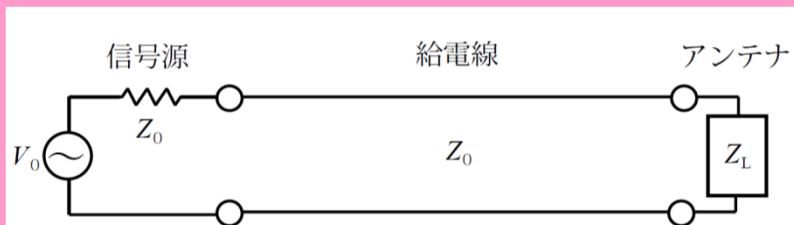
- グランドパスには2個又は3個の **コーナレフレクタアンテナ** を垂直に配列  
直接波と反射波の合成のヌルを航空機に **上下** 方向として与える
- ローカライザは複数のコーナレフレクタアンテナ等を **横に配列** したものの  
大きさの等しい2つの **ローブ** で、航空機に **上下** 方向として与える
- マーカは **2素子の半波長ダイポール** で放射パターンは **ファンビーム**

## 利得と指向性

- 受信アンテナの利得と指向性が送信アンテナに等しいのは **可逆定理**
- 同じアンテナを複数並べた指向性は、単体の指向性に **配列指向係数** を掛けたもの

## 偏波

- 直線偏波は **電界** の位相差が **0 [rad]** 又は  **$\pi$  [rad]**
- 円偏波は振幅の等しい2つの **電界** の位相差が  **$\pi/2$  [rad]**
- 時計回りに回転する楕円偏波を **右旋楕円偏波**



$V_0$  : 信号源の起電力  
 $Z_0$  : 信号源の内部インピーダンス及び  
 給電線の特性インピーダンス

- アンテナ側を見たインピーダンスが最大値  $Z_{max}$  [Ω] の時の電力  $P_t$

$$P_t = \left( \frac{V_0}{Z_0 + Z_{max}} \right)^2 Z_{max} \text{ [W]}$$

- VSWRを  $S$  とすると  $Z_{max} = SZ_0$  [Ω] だから

$$P_t = \frac{V_0^2 S}{Z_0 (1+S)^2} \text{ [W]}$$

- アンテナと給電線が整合している時の電力  $P_0$

$$P_0 = \frac{V_0^2}{4Z_0} \text{ [W]}$$

- 不整合による反射損  $M$  は

$$M = \frac{P_0}{P_t} = \frac{(1+S)^2}{4S} \text{ [W]}$$

- アンテナ利得  $G_w$  (真数) は

$$G_w = \frac{G}{M} = \frac{4SG}{(1+S)^2} \text{ [W]}$$

## 偏波

- 反射係数は垂直偏波より **水平偏波** の方が **大きい**  
 入射角が  $90^\circ$  に近いときはどちらも **1** になる
- 垂直偏波は反射係数が最小となる入射角 **ブルースター角** がある
- 垂直偏波では、ブルースター角以下のとき、反射波の位相が **水平偏波** に対して **逆位相** となる  
 円偏波を入射すると逆回りの円偏波になる

## 電離層伝搬

- 位相速度は **周波数によって異なる**
- 自由空間の電波速度より **大きい**
- 減衰量は周波数が **小さく** なるほど大きい
- 直線偏波が **楕円偏波** になる
- 跳躍距離付近で日出、日没時に電子密度が変化し電離層を突き抜ける **跳躍フェージング**



### 航空監視レーダー(ASR)

- アンテナの利得は  $\text{cosec}^2 \theta$  に比例する
- 等高度で飛行していれば、反射強度は航空機の距離に **無関係に一定**
- 水平面内のビーム幅は、非常に **狭い**

### 表皮厚さ (導電率の導体中へ浸透する深さ)

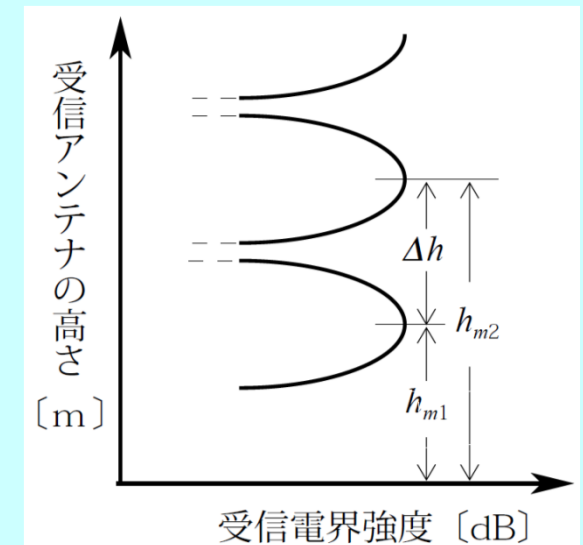
- 導体表面の電磁界強度が  $1/e$  に減衰する時の距離 (eは自然対数の底)
- 導電率が **大きく** なるほど薄くなる
- 表皮厚さが厚くなるほど減衰定数は **小さく** なる

### ダイバーシティ

- 空間ダイバーシティ** は **干渉性フェージング** を軽減する
- 空間ダイバーシティの効果は異なる受信点の電界強度変動が **小さい** ほど **大きい**
- 周波数ダイバーシティ** は **選択性フェージング** を軽減
- 偏波ダイバーシティ** は **偏波性フェージング** を軽減
- 偏波ダイバーシティの効果は同じ受信点に **直交する偏波面のアンテナ2つ** を設置してもよい

- 受信レベルが極大

$$h_{m1} \text{ の時は } \sin 90^\circ = \pi/2$$
$$\Delta h \text{ の時は } \sin 270^\circ = 3\pi/2$$



## アンテナの測定

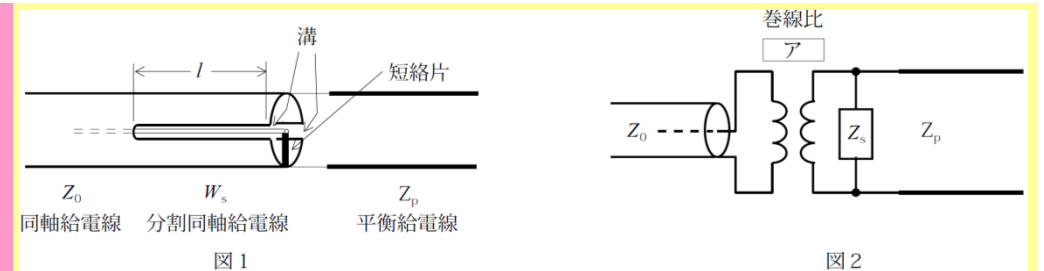
- ダイポールで **300 [MHz]**で測定する場合は、送信アンテナから3波長以上離さなければならないので、波長は 1 [m] だから **3 [m]** 以上離す
- 屋外で測定する場合、送受信アンテナ高を測定距離に比べて **低く** 設定する事で大地反射波を利用できる

## マクスウェル方程式

$$\text{rot}H = \sigma E + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t}$$

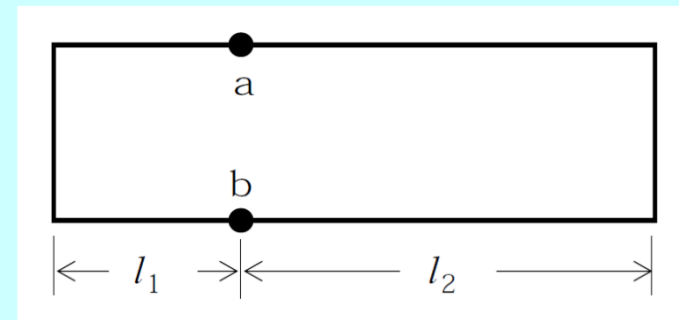
$$\text{rot}E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t}$$

- 第1項 **導電流**  
第2項 **変位電流** で **アンペアの法則**
- コイルが無い空間 といえば **ファラデーの法則**



## 分割同軸バルン

- 巻線比 **1:2**
- $Z_s$ が無限大になる  $l$  は  **$\lambda/4$  [m]**  
 $\tan(\pi/2)$
- 同軸給電線には  **$Z_p/4$  [Ω]** が接続され、インピーダンスの整合がとれ、平衡と不平衡の変換が出来る
- $l$  は  $\lambda/4$  [m]以外の時も平衡と不平衡は維持 **される**



**答え  $\infty$**

## 開口面アンテナ

### ●領域

- ・**フレネル領域(近傍)** 電界強度が距離に **対して振動的に変化する**
- ・**フラウンホーファ領域(遠方)** 距離によって **変化しない**
- ・フレネル領域とフラウンホーファ領域の距離  
開口面  $D$  [m]、波長  $\lambda$  [m] とすると、 **$2D^2/\lambda$**
- ・アンテナのごく近傍 **リアクティブ近傍界**

### ●サイドローブ

- ・反射鏡アンテナの **鏡面の精度を高める** とサイドローブは低減できる
- ・パラボラの主反射鏡に **遮蔽板を取り付ける** と広角サイドローブを低減できる
- ・カセグレンアンテナは主反射鏡に対する **副反射鏡が大きい** ほど **近軸サイドローブが増加** する
- ・レンズアンテナの **照度分布を周辺を弱く** すると広角サイドローブを低減できる
- ・ホーンリフレクタアンテナは電波通路が無いのでサイドローブ特性が良い

### ●特性

- ・開口効率は電界の **振幅分布**、**位相分布** によって最大値 1 になる

### ●注意事項

開口面アンテナの送信アンテナの直径を  $D_1$  [m]

受信アンテナの直径を  $D_2$  [m]

波長  $\lambda$  [m]

の誤差を2%以下に抑える最小距離  $R$  は

$$R = 2(D_1 + D_2)^2 / \lambda$$

屋外で測定する場合 **オープンサイト** で実施する

## ホーンリフレクタアンテナ

- 反射鏡からの反射波が **ほとんど戻らない** から広帯域にわたってインピーダンスの不整合が生じにくい
- 開口面以外は **導体** で覆われているので、不要発射が少なく前方後方比、前方側方比が高い
- 角すいホーンリフレクタアンテナは多周波数帯の共用、偏波の共用が **出来る**

## カセグレンアンテナ

### ●副反射鏡

1つの焦点は **一次放射器** と一致し、もう一つの焦点は **主反射鏡** と一致

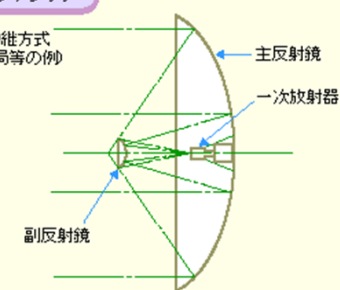
- 主反射鏡の中心に **一次放射器** を置くから給電路を短く出来る

- 主反射鏡と副反射鏡の表面を **修正** すると、サイドローブが良好になる

- 放射特性の乱れは **オフセットカセグレンアンテナより大きい**

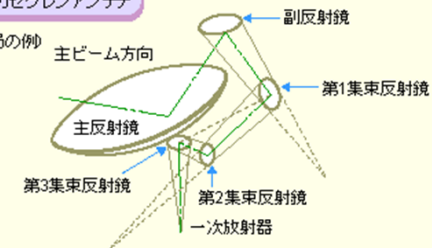
軸対称カセグレンアンテナ

(地上マイクロ波中継方式および衛星用地球局等の例)



オフセットカセグレンアンテナ

(衛星地球局の例)



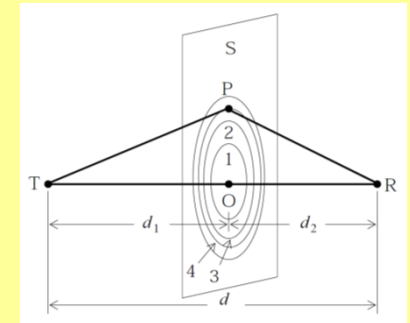
## グレゴリアンアンテナ

- 主反射鏡に **回転放物面**、副反射鏡に **回転楕円面**
- 焦点を1次反射器の **位相中心** と一致させる
- 副反射鏡** による **ブロッキングノイズ** を無くして、サイドローブを良好にする為オフセット型が用いられる

- 点Pの軌跡  
TP+PR と  $d_1+d_2$  との通路差が  $\lambda/2$  の整数倍

- 回転楕円体をフレネルゾーンといい、内側から第1、第2、第3、第n フレネルゾーンという  
第nフレネルゾーンの半径は

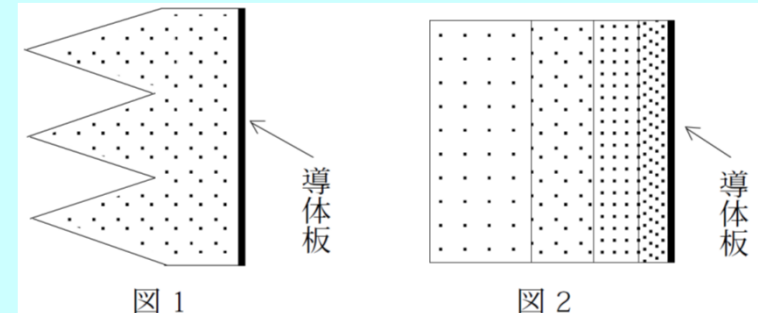
$$\sqrt{n \lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad [\text{m}]$$



- 障害物が第1フレネルゾーンに入らない様に **クリアランス** を設ける

## 角錐ホーンアンテナ

- 開口面上で電磁界の **位相** が一様である事
- ホーンの **開き角** を大きくしすぎると利得があがらない  
(位相が周辺部より中心部の方が速く進む為)
- 位相を揃える為には **パラボラ形反射鏡**、**電波レンズ** を用いる

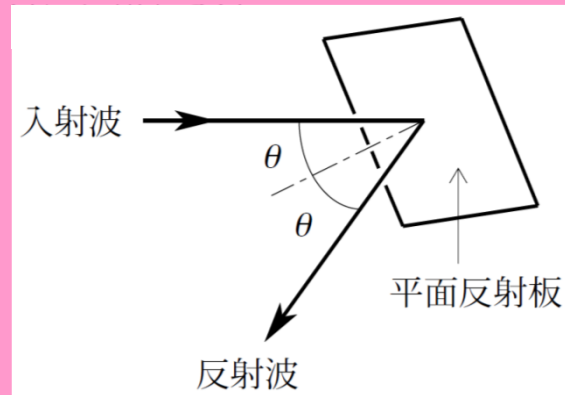


## 電波暗室の電波吸収体

- 誘電材料に **黒鉛粉末** を使用する
- 図1 自由空間と **整合** する為にテーパ状にする
- 図2 種々の誘電率の材料を重ねて **広帯域** 特性にしたりする
- フェライトコア** を粉末にして使用したものは誘電材料の電波吸収体より  
体積損失係数が大きい

## 無給電アンテナ(反射板)

- 反射板は **遠隔形平面反射板** と **近接形辺面反射板** がある
- 遠隔形平面反射板は励振アンテナの **フラウンホーファ領域** にある
- 有効投影面積  $S_e$  [m<sup>2</sup>]  
実際の面積  $S$  [m<sup>2</sup>]  
開口効率  $\alpha$   
 $S_e = \alpha S \cos \theta$  [m<sup>2</sup>]
- $2\theta$  が **鈍角** になる場合、  
平行反射板を2枚用いれば  
開口効率の低下を少なくできる



## 使用周波数が低い

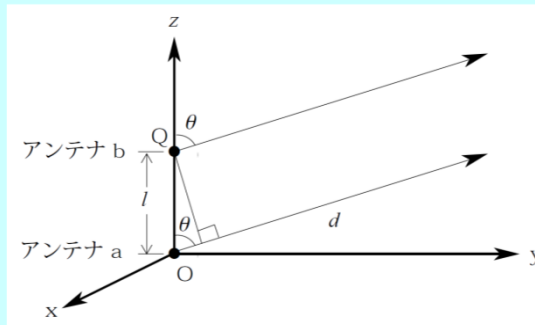
A-12 次の記述は、放送用アンテナについて述べたものである。このうち誤っているものを下の番号から選べ。

- 1 中波放送に用いられている高さが0.53波長の垂直地アンテナは、低仰角方向への放射を抑えることにより電離層 (E層) の反射波により発生するフェージングを軽減している。
- 2 短波放送に用いられているビームアンテナ (カーテンアンテナ) は、各素子へ供給する電流の位相を調整することにより送信ビームを目的方向に向けることができる。
- 3 主に VHF 帯テレビジョン放送に用いられているスーパースタイルアンテナは、バットウイングアンテナ2面を直交させて支持柱に取り付けたものである。
- 4 FM 放送及び VHF 帯テレビジョン放送に用いられているスーパーゲインアンテナは、反射板付きダイポールアンテナを鉄塔の各面に取り付けたものである。
- 5 FM 放送から UHF 帯のテレビジョン放送まで広く用いられている双ループアンテナは、周の長さが約1波長のループアンテナ2個を一定距離だけ離して給電線で結び、反射板と組み合わせたものを基本構成として、これらを鉄塔の各面に取り付けたものである。

0.53波長垂直地アンテナは高仰角

## アンテナの周波数特性

- 周波数の変化に対して敏感な **入力インピーダンス**
- **半波長ダイポール** はアンテナ素子が **太い** 方が帯域幅が **広い**
- 自己補対アンテナは **定インピーダンス** なので、帯域幅が **広い**



- 指向性が同じ複数のアンテナの合成指向性は  
アンテナ素子の指向性と **無指向性点放射源** との **積**
- 位相係数  $K = e^{jBd \cos \theta}$
- 合成電界強度  $E = A (e^{-jBd/d}) D (1 + KM)$

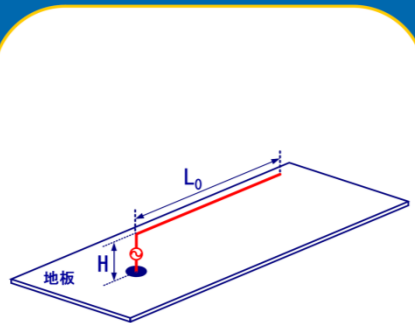


図4 線状逆L形アンテナ

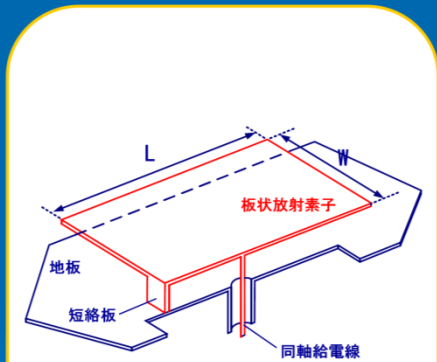


図5 板状逆F形アンテナ

携帯電話の逆F形アンテナ

●線状逆L形アンテナ

・小型の為1/4波長モノポールアンテナを **逆L形アンテナ** の給電点に...

・**逆L形アンテナ** の容量性リアクタンスに対し、誘導性リアクタンスで共振させ、**放射抵抗分** を増加して整合をとる

・周波数帯域幅が **狭い**

●板状逆F形アンテナ

・短絡板の **幅** を調整して整合

・周波数帯域幅が **広い**

●アンテナ1個の場合

$P_t$  [W] を送信し、反射してきた電波を同じアンテナで受信した電力を  $P_r$  [W]

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi(2d)^2} \times \frac{G \lambda^2}{4\pi} \quad [W]$$

$$= \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(8\pi d)^2} \quad [W] \quad \rightarrow \quad G = \frac{8\pi d}{\lambda} \times \sqrt{\frac{P_r}{P_t}}$$

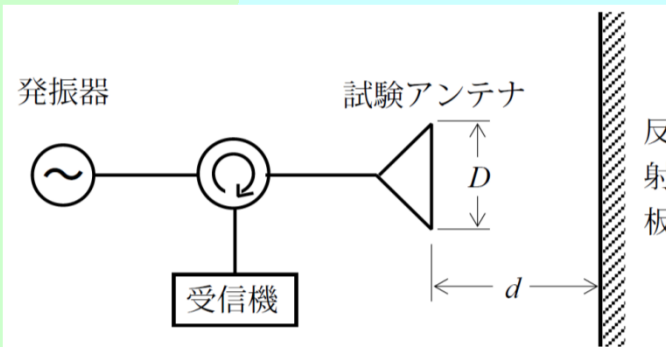
・反射波を受信したときの電圧定在波比を  $S$  とすれば、

$$\frac{P_r}{P_t} = \left( \frac{S - 1}{S + 1} \right)^2$$

●アンテナ2個の場合

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi d^2} \times \frac{G \lambda^2}{4\pi} \quad [W]$$

$$= \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad [W] \quad \rightarrow \quad G = \frac{4\pi d}{\lambda} \times \sqrt{\frac{P_r}{P_t}}$$

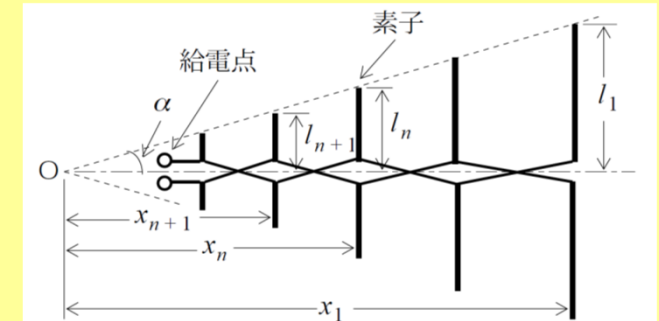


## 模型を使用したアンテナ測定の注意事項

●媒体の **誘電率及び導電率** は模型の縮尺率に **依存しない** (自由空間と同じ)、  
材料の **導電率** は模型の縮尺率に **依存する**

●周波数  $f$  [Hz]、模型の縮尺率  $p$  ( $p < 1$ )、測定周波数  $f_m$  は？  
 **$f_m = f/p$  [Hz]**

測定周波数は **周波数を短縮率で割った 高い周波数** を使用する



## 対数周期ダイポールアレーアンテナ

- 1, 対数周期比  $\tau = X_{n+1}/X_n$   
 $\alpha = \tan^{-1}l_n/X_n$
- 2, 隣接するダイポールごとに **逆位相** で給電
- 3, アンテナの中心軸の **O方向** に単一指向性を得る
- 4, **周波数** は最も **長い素子** と **短い素子** で決まる
- 5, 周波数の **対数** に対して周期的に小さな変化を繰り返す

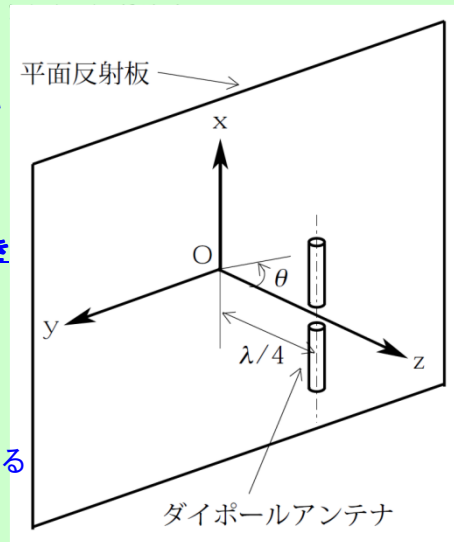
## 平面反射板付ダイポール

●平面反射板を取り除いても指向性が等しい  
イメージアンテナのz軸上の距離は  
 **$-\lambda/4$  [m]**

イメージアンテナにはダイポールと **逆向き**  
の電流が流れる

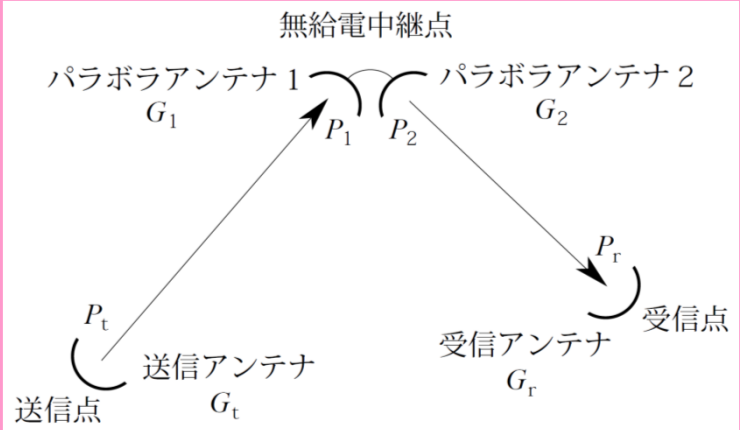
●指向性はz軸上に **最大放射方向** を持つ  
**単一** 指向性が得られる

反射板が小さいと **回折波** の影響を受ける



## 八木アンテナの帯域幅

- 半波長ダイポールより帯域幅は **狭い**
- 放射器、導波器、反射器の導体が太いほど帯域幅は **広い**
- 導波器は中心周波数より短い方が帯域幅は **広い**
- 反射器は中心周波数より長い方が帯域幅は **広い**
- 利得が最大になる寸法だと帯域幅が **狭くなる**



$$P_1 = \frac{G_t G_1}{\Gamma_1} \times P_t \text{ [ W ]}$$

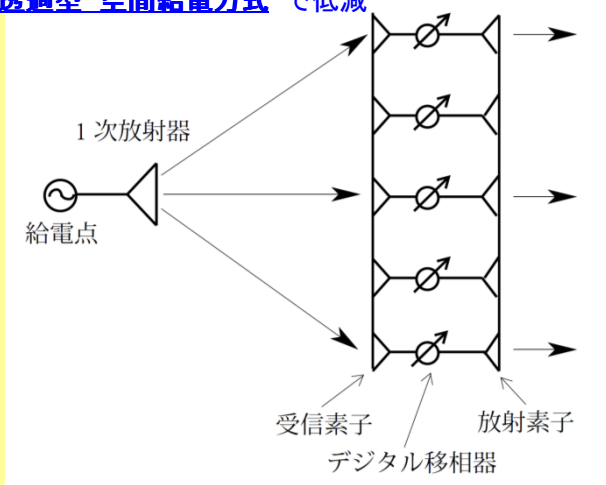
$$P_1 = P_2 \text{ [ W ]}$$

$$\text{区間ロス } L_{tr} = \frac{P_t}{P_r} = L_1 L_2$$

$$\text{区間伝搬ロス } \Gamma = \frac{\Gamma_1 \Gamma_2}{G_1 G_2}$$

### フェーズドアレーアンテナ

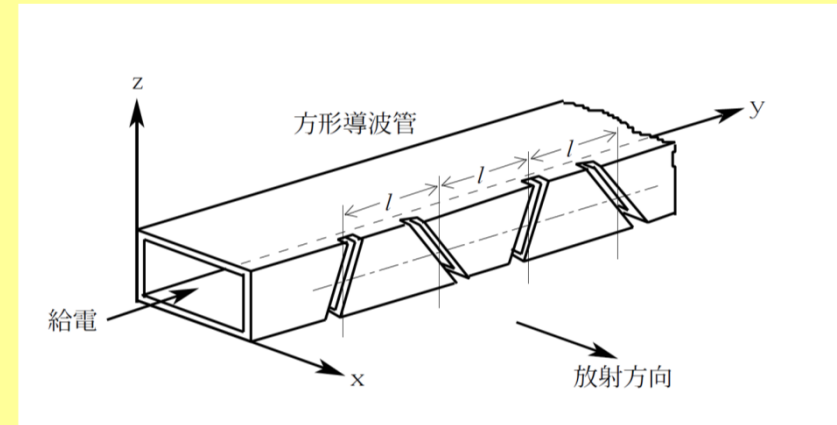
- デジタル移相器の位相角  $2\pi/2_n$
- サイドローブ が生じたとき、透過型 空間給電方式 で低減





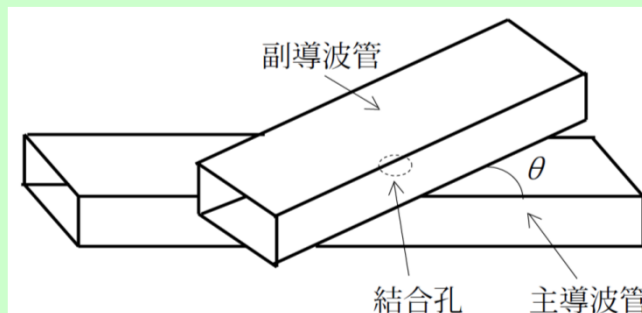
## 導波管の伝送モード

- 円形導波管は **TE<sub>11</sub>モード**、**TE<sub>01</sub>モード**  
周波数が **高く** なるほど減衰定数が **低下**
- 同軸線路は **TEMモード**
- 方形導波管 **TE<sub>10</sub>モード**
  - ・TEMモードが存在 **しない**
  - ・ $a = 2b$
  - ・ $a < \lambda < 2a$
- TM<sub>m</sub>モードには、**m=0** あるいは **n=0** に対応するモードは存在 **しない**



## ベータ孔方向性結合器

- 電界結合** した電波が副導波管を **両方向** に進む
- 磁界結合** した電波が副導波管を **1方向** に進む
- 磁界結合** した電波の大きさは  $\cos \theta$  に比例
- 方向性が **周波数** に **無関係** な特徴



## スロットアレーアンテナの偏波

- yz面はz軸に **平行** な電流が流れている
  - y軸の電界分布は、管内波長の **1/2** の間隔で反転  
 $l$  [m] 間隔のスロットから放射される電波の **電界** の方向はスロットに垂直
  - 隣り合うスロットからの電波の電界をy成分とz成分に分解すると、  
**z成分** は互いに **逆向き**  
**y成分** は **同じ向き**
- だからz成分が打ち消されるので **水平偏波** となる

## ラットレース回路

●導波管の **E面** を環状にした

●4本の **E面分岐** を設けた

●① から入力した場合

② へは  $\lambda_g$  だから **出力あり**

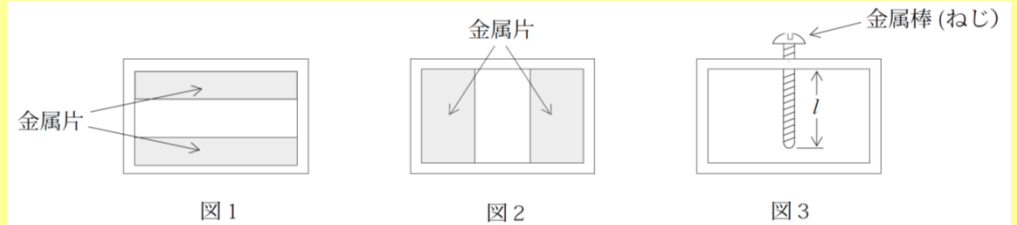
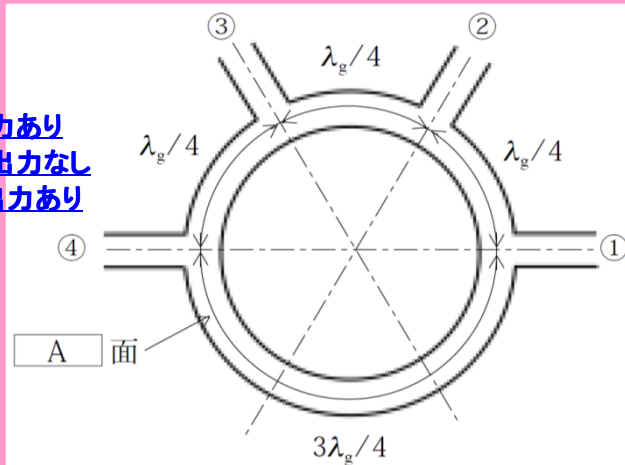
③ へは  $\lambda_g/2$  だから **出力なし**

④ へは **同相** だから **出力あり**

●② から入力した場合

① と ③ へは **出力あり**

④ へは **出力なし**



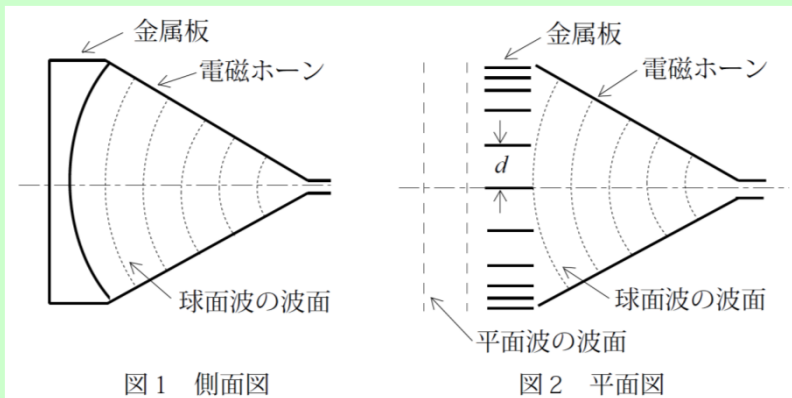
## 方形導波管

●金属片、金属棒は平行2線式給電線にリアクタンス素子を **並列** にしたのと同じ働きをする

●図1 金属片は **キャパシタンス** の働きをする

●図2 金属片は **インダクタンス** の働きをする

●図3 挿入長  $l$  [m] は  $\lambda/4$  [m] より **長いとインダクタンス**、**短いとキャパシタンス**



## メタルレンズ

●導波管内では **位相速度** が自由空間より速くなる性質を応用したもの

●図1 電界に **平行** な金属板で凹レンズで、波面を揃えて平面波にする

●図2 金属板間隔  $d$  で **位相速度** を **速く** する場合は外側に近いほど狭くする  
金属板間隔  $d$  が  $\lambda/2$  より **小さい** 時は遮断領域となって電波が減衰する