

< 建造物障害予測技術 その 10 : 予測技術の基礎 4 >

(自由空間におけるしゃへい電界のフレネル積分による解析 2)

今回は、電波が種々のしゃへい状況にあるときの電界強度をフレネル積分による解析により求める方法について解説します。

☆ ナイフエッジによるしゃへい電界のフレネル積分

図 1 のように送・受信点間を十分長いナイフエッジでしゃへいたときの受信電界は、ナイフエッジを越えてくるすべての電波の合成ですので次式となります。

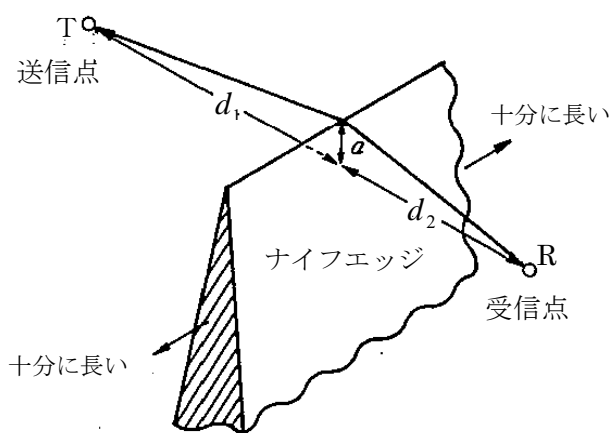


図 1 ナイフエッジによるしゃへい

$$\dot{E}_L = \sqrt{\frac{j}{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-jt_y^2} dt_y \cdot \sqrt{\frac{j}{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-jt_x^2} dt_x \dot{E}_0 = \sqrt{\frac{j}{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-jt_x^2} dt_x \dot{E}_0 = \Psi(x) \dot{E}_0 \dots (150-1)$$

なお、y ならびに x は、No149 の図 3 に示す座標です。

$\Psi(x)$  は、電界と同様、大きさ  $S(x)$  と位相  $e^{-j\phi(x)}$  をもつベクトルで一般に次式で表わされます。

$$\Psi(x) = S(x)e^{-j\phi(x)} \dots (150-2)$$

受信点に到達する電波の強さは、図 1 に示すように送信点と受信点間において直線的に到来する電波と回り込みながら到来する複数の電波の合成で示されます。この電波の合成計算はフレネル積分で求められ、図 2 に示すフレネル積分軌跡の積分区間を結ぶベクトルで表わされます。

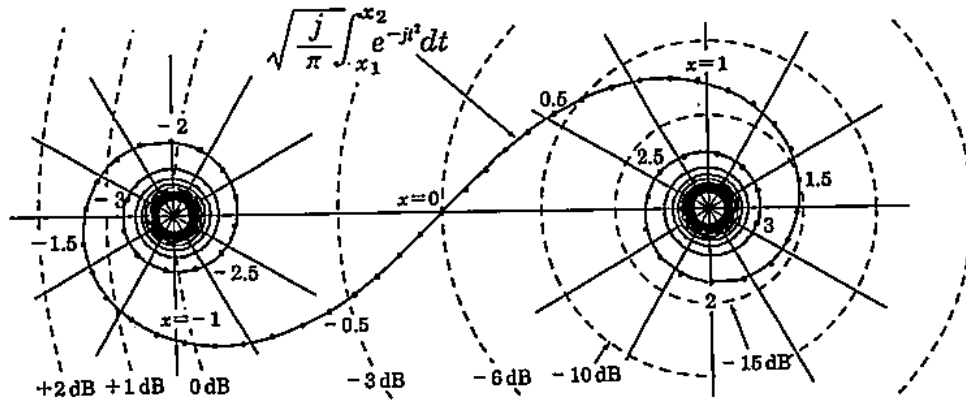


図2 フレネル積分軌跡

この図2より、しゃへい係数  $x$  に対するしゃへい率  $S(x)$ 、位相  $\phi(x)$  の変化を求めたものが図3になります。

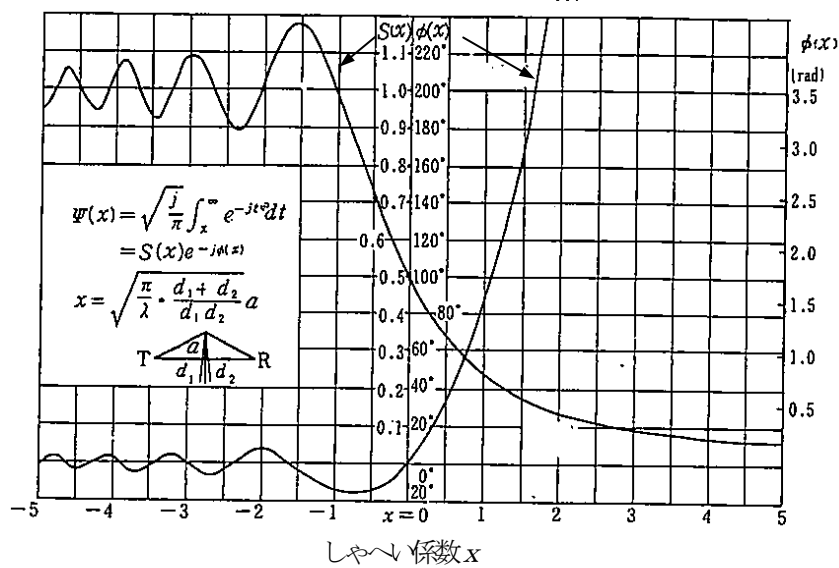


図3 ナイフエッジによるしゃへい係数  $x$  としゃへい率  $S(x)$ ・位相  $\phi(x)$  の関係

$\Psi(x)$  の特定解としては、次のようなものがあります。

$$\Psi(\infty) = 0 \quad \Psi(0) = \frac{1}{2} \quad \Psi(-\infty) = 1 \quad \Psi(x) + \Psi(-x) = 1$$

$$\left| \Psi\left(-\frac{\sqrt{\pi}}{2}\right) - \Psi\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}\right) \right| \doteq 1 \quad \left| \Psi(0) - \Psi\left(\frac{\sqrt{\pi}}{2}\right) \right| \doteq \frac{1}{2}$$

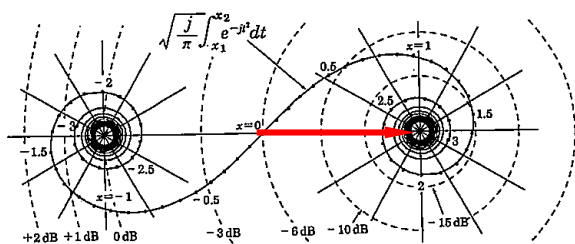
☆ フレネル積分によるしゃへい電界の解析の事例

図4は、3種のしゃへい状況があるときの電界強度を求めるためのしゃへい率あるいはしゃへい損の算出例です。矢印の長さがしゃへい損、また、その向きが位相を表わします。電界強度は、しゃへい物がないときの自由空間電界強度に求めたしゃへい率あるいはしゃへい損を補正して求めます。電界強度が真値(V/m)の場合はしゃへい率を掛けます。デシベル(dB)表示の場合はしゃへい損を減算することになります。

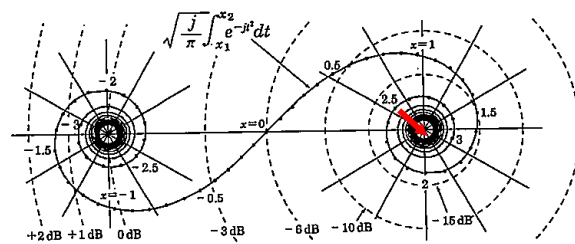
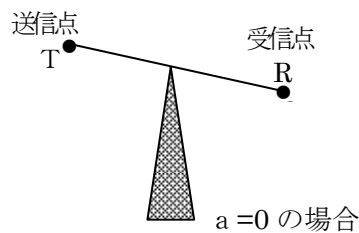
この事例での主要パラメータは次の通りです。

計算のパラメータ  $d_1 = 10\text{km}, d_2 = 100\text{m}, \lambda = 0.5\text{m}(600\text{MHz})$

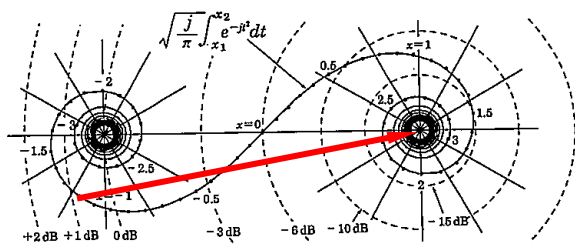
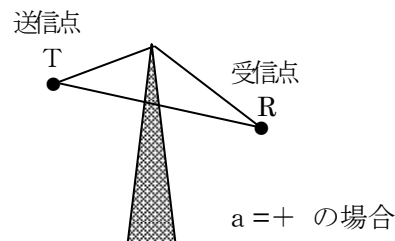
しゃへい係数の計算  $x_a = \sqrt{\frac{\pi(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}} \times a = \sqrt{\frac{\pi(10 \times 10^3 + 0.1 \times 10^3)}{0.5 \times 10 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^3}} \times a = 0.252a$



$a = 0$   
 $x_a = 0$   
 しゃへい率0.5  
 しゃへい損 6dB  
 位相:  $0^\circ$



$a = +10$   
 $x_a = 2.52$   
 しゃへい率0.11  
 しゃへい損 20dB  
 位相:  $420^\circ$



$a = -5$   
 $x_a = -1.26$   
 しゃへい率1.1  
 しゃへい損 -0.8dB  
 位相:  $-10^\circ$

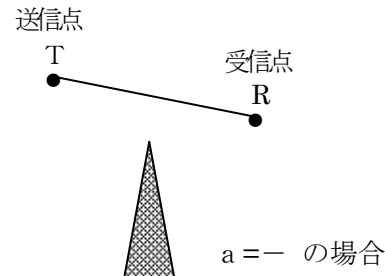
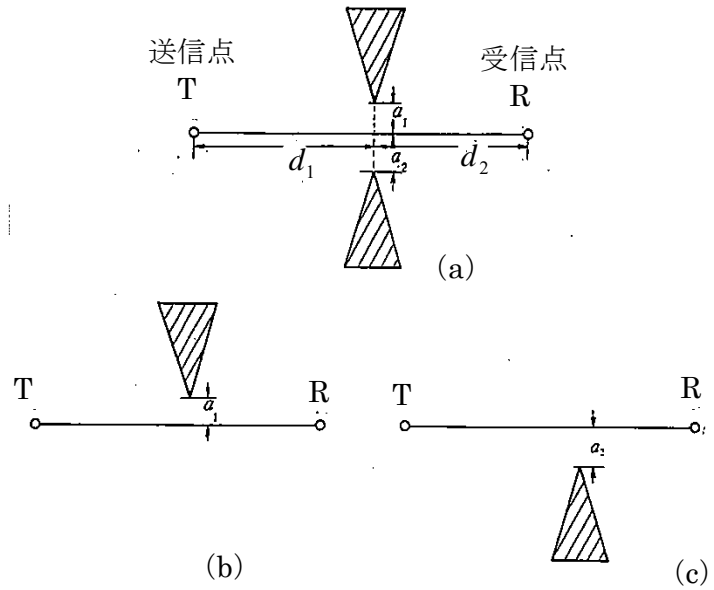


図4 フレネル積分軌跡によるしゃへい損計算例

☆ スリットによるしゃへい電界のフレネル積分解析

図 5(a) に示す上下のナイフエッジ(スリット)によりしゃへいされた受信点での電界を考えてみます。送・受信点を結ぶ最短経路を TR として、上下のナイフエッジまでの距離を  $a_1$ 、 $a_2$  とすると、上側ナイフエッジのみによる



受信電界  $\dot{E}_{a_1}$  は図 5 (b)

図 5 スリットによるしゃへい電界

より次式で与えられます。

$$\dot{E}_{a_1} = \Psi(-x_{a_1}) \dot{E}_0 = \left\{ 1 - \Psi(x_{a_1}) \right\} \dot{E}_0 \quad \dots \dots \dots (150-3)$$

ただし

$$x_{a_1} = \sqrt{\frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}} \quad a_1 = ka_1$$

一方、下側ナイフエッジのみによる受信電界  $\dot{E}_{a_2}$  は、図 3 (c) より次式で与えられます、

$$\dot{E}_{a_2} = \left\{ 1 - \Psi(x_{a_2}) \right\} \dot{E}_0 \quad \dots \dots \dots (150-4)$$

ただし  $x_{a_2} = ka_2$

よってスリットを通過してくる電波による受信電界  $\dot{E}_s$  は、次式になります。

$$\dot{E}_s = \left( \dot{E}_{a_1} + \dot{E}_{a_2} \right) - \dot{E}_0 = \left\{ 1 - \Psi(x_{a_1}) - \Psi(x_{a_2}) \right\} \dot{E}_0 \quad \dots \dots (150-5)$$

なお、図 5 (a) で  $a_1 = a_2$  とすると (150-5) 式は次式になります。

$$\dot{E}_s = \left\{ 1 - 2\Psi(x) \right\} \dot{E}_0 \quad \dots \dots \dots (150-6)$$

ただし、 $x = ka_1 = ka_2 = ka$

(150-6) 式において  $x$  に対する  $|1 - 2\Psi(x)|$  の変化を図 6 に示します。この図より、 $x$  を 0 より増加していくと、

$$x = \frac{\sqrt{\pi}}{2}$$

で  $\{1 - 2\Psi(x)\}$  は 1 となり、しゃへい物のない自由空間の電界強度  $E_0$  とほぼ一致します。

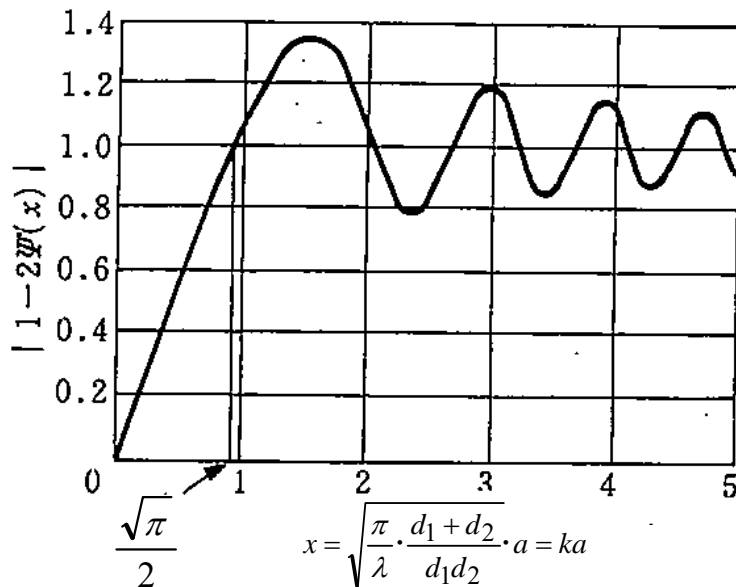


図 6 スリットによるしゃへい

$x$  をそれ以上大きくすると電界強度は振動しながら  $E_0$  に収れんします。この振動している  $x$  の範囲をフレネルゾーンといい、一般的に  $x$  が 5 以上になれば、自由空間電界  $E_0$  として扱うことができます。

スリットによるしゃへいの考え方は、ナイフエッジと同様、しゃへい障害や反射障害の解析において重要です。