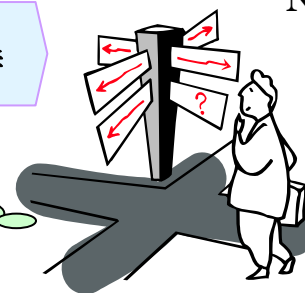


Shu-chan の

放送ネットワーク 道しるべ

東海道(牧方宿)

テレビ放送



<送電線鉄塔や導線（電線）からの受信障害の概要>

送電線路には 150kV 級以下の単導体電線路をはじめ、270kV から 500kV 級送電線路のように 2 導体から 6 導体の多導体電線路もあり、さらに、将来の UHV (Ultra High Voltage) 送電線路として 8 導体から 12 導体も検討されています。また、単導体や多導体電線による 3 回線以上の多回線送電線路も数多く建設されています。

写真 1 に 2 導体、写真 2 に 4 導体電線路を示します。



写真 1 2 導体送電線路



写真 2 4 導体送電線路

このような多導体や多回線電線による大型送電線路に水平偏波のテレビ電波が入射する場合は、主として、電線によってテレビ電波がしゃへいされたり反射されたりしてテレビ電波障害を発生することが多くなります。

ちなみに、図 1 においてテレビ電波が垂直偏波の場合には、電線からの不要波は水平偏波に比べて極端に少なく、電波障害は発生しないと考えて差し支えありません。

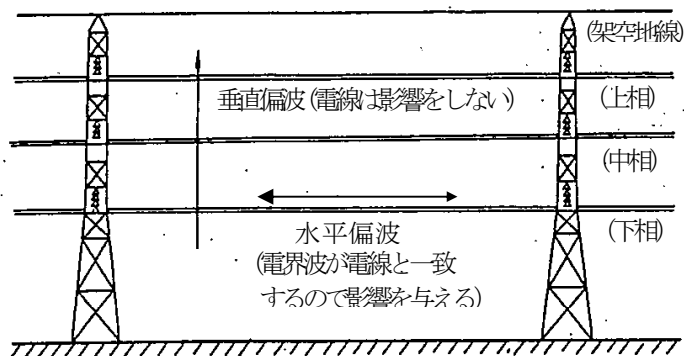


図 1 架線と偏波面との関係

鉄塔については、両偏波とも最大障害範囲と同じ程度になりますが、水平偏波の場合には一般的には電線の障害範囲よりやや狭くなります。

これからは、水平偏波の電波が送電線路に入射する場合発生する不要波（再放射波）の状況を電線と鉄塔に分けて解説します。

☆ 送電線路による受信障害発生メカニズム

一本の電線が大地面に対し水平に架線されており、その太さは入射するテレビ電波の波長に対して $1/10$ 以下とします。この細い電線にこのような波長の水平偏波のテレビ電波が入射すると、電線にその周波数の電流が誘起され、この電流によって同じ周波数の電波が入射波と 180° の位相遅れで空間に再放射されます。この電流が不要電波であり、散乱波とか再放射波ともいいます。ここでは、今後、再放射波と呼びます。

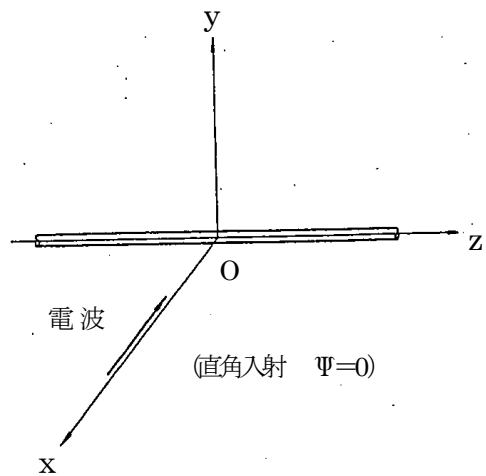


図2 x軸に平行な入射波 入射角: $\Psi=0$
(電線に直角に入射する角度から反時計方向に+として表示している)

図2には、電線がz軸上にあり、xz面上をx軸に平行に、すなわち、電線に直角に入射する(入射角 Ψ (プサイと読みます。)が 0°)電波を軸上の1本の線で代表して示してあります。この電波によって発生する再放射波の主成分は、図3のように電線のz軸(紙面の前の方から後方への座標)に対してxy面上の各方向に同じ強さで散乱され、その等しい電界面は電線である原点を中心とする同心

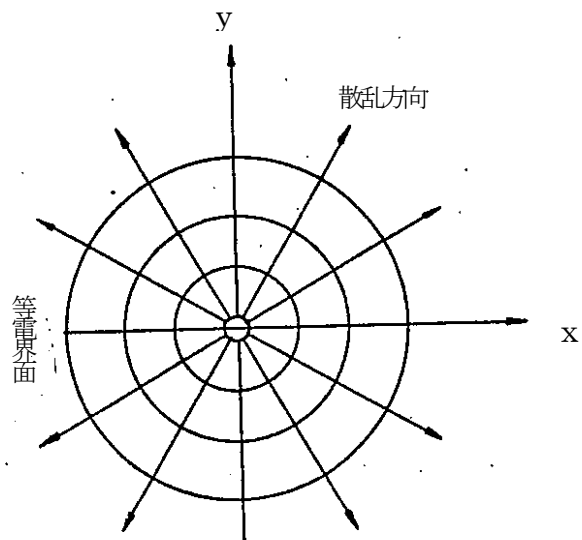


図3 不要波の散乱方向と等電界面

円となります。

☆ DU 比の距離特性

送電線から再放射波の距離特性は、図 4 のようになります。

距離 γ_1 のところで距離に対する減衰傾向が急に大きくなるのが特筆されます。

受信アンテナに入射する希望波の強さ D は

$$D = 2E_0 \left| \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda} \right|$$

$$= \frac{14\sqrt{P}}{d} \left| \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda} \right| \quad (\text{V/m})$$

ただし $E_0 = \frac{7\sqrt{P}}{d}$

また、電線に入射する電波の平均値 D' は、 h_2 を電線平均地上高の h_3 、 d を送信点

から計算しようとする送電線までの距離 L に変え、さらに、散乱係数というファクターを素導体数、電線の半径、導体間隔、入射角、電波の波長から計算します。

一般に、電線による再放射波は、送電線の近傍では距離の $\gamma^{\frac{1}{2}}$ で減衰します。

$U_{(\gamma)}$ を電線からの離隔距離 γ における再放射波の強さとすれば、再放射波 U は

$$U = 2U_{(\gamma)} \left| \sin \frac{2\pi h_2 h_3}{\lambda \gamma} \right| \quad (\text{V/m}) \quad \text{で表されます。}$$

\sin 項が $\frac{\pi}{6}$ (rad : ラジアンと呼びます。角度でいうと 30 度) より小さくなると (言い換えると γ が大きくなると) 大地反射波の影響が加わります。したがって、

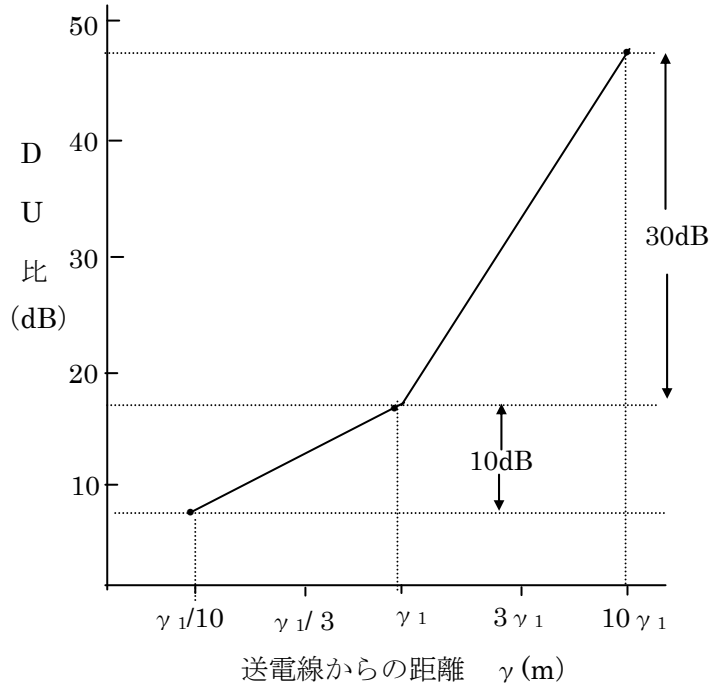


図 4 DU 比の距離特性

$$\sin \frac{2\pi h_2 h_3}{\lambda \gamma} \doteq \frac{2\pi h_2 h_3}{\lambda \gamma} = \frac{\pi}{6} \quad (\text{rad}) \quad \text{より}$$

DU 比の減衰傾向が大きく変わる γ_1 は $\gamma_1 = \frac{12h_2 h_3}{\lambda}$ と求められます。
 前述の $U_{(\gamma)}$ を $\gamma = 1\text{m}$ における $U_{(\gamma)}$ とし、 H [V/m] とおけば

$$U_{(\gamma)} = \frac{H}{\gamma^2} \quad \text{と表すことが出来ます。}$$

DU 比の距離特性が \sin 項の $\frac{\pi}{6}$ を下回る離隔距離においては γ に反比例 (γ^{-1}) して減衰するので

$U = H \times \gamma^{-\frac{1}{2}} \times \gamma^{-1} = H \times \gamma^{-\frac{3}{2}}$ となり、大地反射波が完全反射のときは電線からの再放射波は $\gamma^{\frac{3}{2}}$ で減衰していきます。

従って、図 4 に示すように減衰特性の変化前の γ の領域においては、 γ が 10 倍変化しても DU 比の変化は 10dB の変化にとどまりますが、DU 比変化後の領域においては γ が 10 倍変化すると DU 比は 30dB と大きく変化することがわかります。

なお、 γ_1 は電線からの再放射波のみではなく、前方散乱波に対しても成立します。前方散乱波方向とは、電波到来方向に対し送電線を越えた受信者の側からみた前方からの散乱波を意味します。

☆ 電線に斜め方向から電波が入射する場合の再放射波

つぎに図 5 のように xz 面上を x 軸に対し角度 $-\Psi$ で斜め方向から電線に電波が入射すると、再放射波の主成分は、 xz 面上では光が

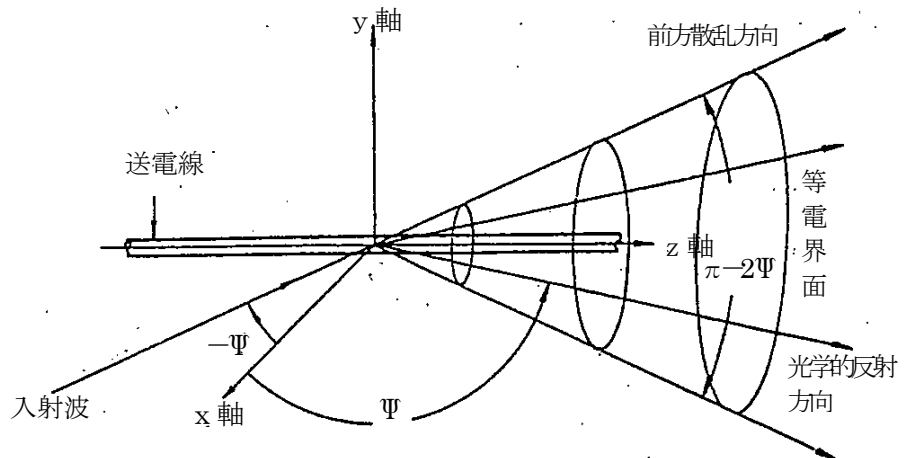


図 5 不要波の散乱方向と等電界面 (斜入射の立体図)

鏡の面で入射角に等しい角度で反射されると同じように(+) Ψ 方向と、入射角がそのまま電線の裏側に直進する方向($\pi - \Psi$)に散乱されます。

立体図では分りにくいので xz 平面上で表示すると図 6 ようになります。

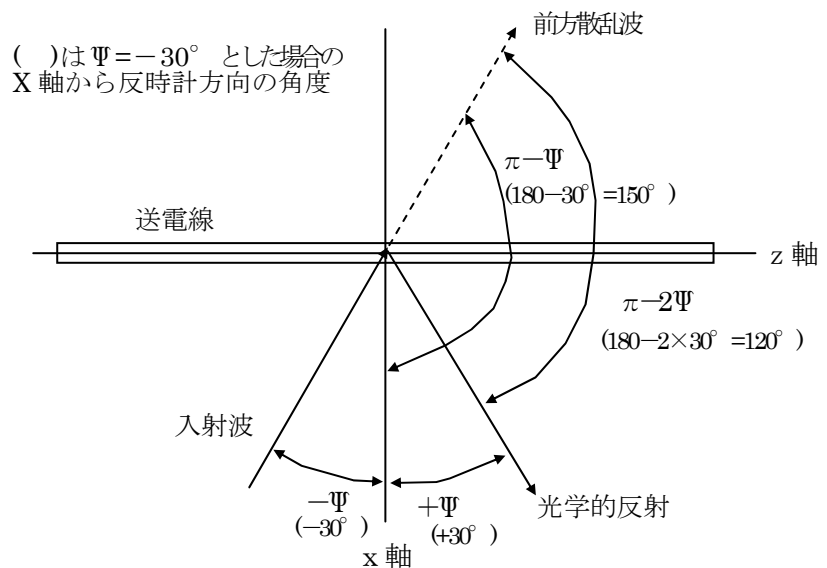


図 6 不要波の散乱方向 (斜入射の xz 平面図)

さらに、直角入射の場合と同じで、 xz 面を含む全ての方向にも散乱するので、斜め入射の場合は、再放射波は z 軸を原点に各反射点を頂角($\pi - 2\Psi$)とする円錐形となって散乱されることとなります。従ってその等電界面は頂点から等しい距離にある円錐表面上の円で示されます。図 5 に斜入射電波に対する再放射波の散乱方向と等電界面を示します。このようなことから図 2 の電線への直角入射という条件は、図 5 の斜入射の特殊な場合に相当します。

以上の説明では、入射波を 1 本の線で表し、かつ、光学的反射方向と前方散乱波方向に強い再放射波が発生すると述べましたが、実際には、電線の各部に電波が入射することになります。特に、入射電波の波長に対してかなり長い電線の各部に同じ強さの電波が $-\Psi$ の角度で斜め入射する場合は、送信点—電線各部—受信点の通路が等しくなって位相が揃う方向、とくに光学的反射方向や前方散乱波方向に強い再放射波が発生することになります。

結果として、 z 軸上の各点を頂点として($\pi - 2\Psi$)を立体角とする方向に強い指向性を持った再放射波が発生することになります。この再放射波は、図 7 に示すように円筒波になります。電線の近傍では、減衰特

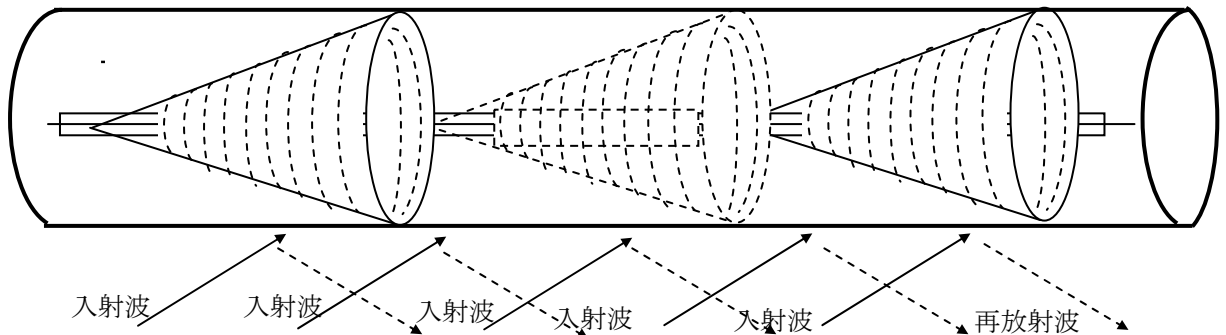


図7 直線送電線に連続して斜め入射する場合の散乱波の状況

性は入射点からの距離 γ の $1/2$ 乗に比例して減衰となります。また、斜入射になればなる程、再放射波は強くなっていきます。さらに、波長に対して $1/10$ 以下の半径をもった電線では、線径が太くなるほど強い再放射波を発生します。

結局、図8のように電線の表面の再放射波は、希望波との路長差 Δd だけ遅れ受信点に到達する遅延波となります。

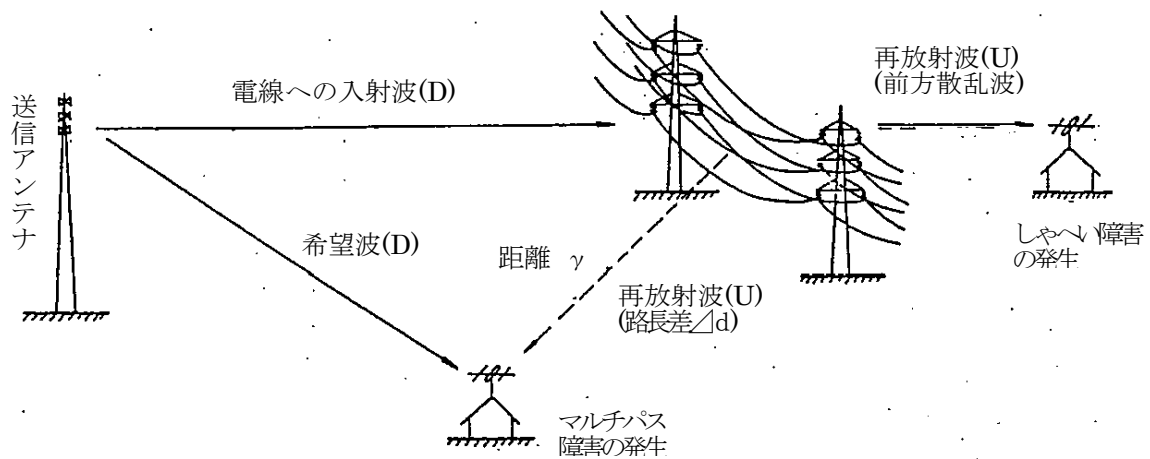


図8 送電線路によるテレビ電波障害の概要

電線のごく近傍から裏側への前方散乱波方向の再放射波は希望波との路長差がほとんどないので遅延波は発生しませんが、希望波との位相干渉によってしゃへい障害を起こす原因になります。また、送電線路が屈曲して建設される際には、電線への入射角が変わってくるので反射波の

発生方向も変わり、直線状に架線された径間ごとに障害発生区域を予測しなければならなくなります。しゃへい損失は、前方散乱波と希望波とのベクトル差により発生するので、どのように線路が曲がっていても、線路の裏側ではしゃへい障害の有無を検討することが必要になります。

☆ 電線が多導体電線や多回線送電線の場合の再放射波

[多導体電線]

まず、2導体電線について再放射波を調べてみます。大地面と平行に架線された写真1のような電線間の素導体間隔を μ とすると、 xz 面上を x 軸に対して Ψ の角度で斜入射した電波は、それぞれの電線から再放射波を発生します。その2本からの再放射波が同相のときは2本分の強さになり、逆相のときは相殺しあって0となります。2導体からの再放射波が同相になったり逆相になったりするの、表側に反射される場合で、前方散乱波は各素導体からの再放射波どうしが同相であるので同じ導体の単導体に比べ2倍の強さになると考えられます。

写真2に示すような4導体電線の場合は、垂直に並ぶ表側および裏側の2本ずつの電線から同相の再放射波が出ますが、水平に並ぶ表側と裏側の素導体からの再放射波が同相になったり逆相になったりして2導体電線とほぼ同じ様相を示します。同相のときの反射波は単導体電線の約4倍、2導体電線の約2倍の強さとなります。また、前方散乱波方向では、同相で散乱されますので、単導体電線の約4倍と2倍になります。

[回線数の影響]

相間や回線の間隔は、素導体間隔に比べて極めて広くなります。このため、写真3に示すような送電線で各相電線から合成された再放射波は、電線からの距離、相間距離および入射波の入射角によって位相が変化するので、送電線路近傍では複雑に変化することになります。

送電線からの距離によっても大幅に変化し、また、周波数が高くなったり、2回線以上に回線数が増加したりすると、反射波は非常に複雑に変化します。

☆ 鉄塔による受信障害

大型送電線路の鉄塔は部材も太く地上高も非常に高くなります。しかし、地上高 70m級の 500kV 級 4 導体 2 回線用鉄塔では、水平偏波、垂直偏波とも鉄塔から離隔距離が等しい地点での反射波の最大値が両偏波ともほぼ同じ程度になります。また、500kV 級以外の各電圧階級の鉄塔でもこの値は大きく変わりません。

しかし、マルチパス障害を発生させる送電線鉄塔からの離隔距離は、電線の障害範囲に比べてかなり狭い範囲になります。これは、鉄塔により発生する再放射波は離隔距離の 1 乗に比例して減衰するからです。

一方、鉄塔と受信点とが同一平面上のある裏側では、受信アンテナの地上高によっては大きなしゃへい損失があり、鉄塔よりはなれるに従いしゃへい損失は増減を繰り返しながら減少していきます。そして鉄塔の高さとほぼ等しい距離以上離れるとしゃへい損失は 5dB 以下に減少し、単調に減少していきます。テレビ電波の到来方向が鉄塔の主脚部分より少し外側にずれるとほとんどしゃへい損失を受けなくなります。



写真 3 多回線電線路(単導線 6 回線)