

伝送線路アンテナの発展形の話(その 1)

伝送線路アンテナは、発想を変えて工夫することにより、バラエティーに富んだとても面白い発展形を作ることが出来ます。といきなり言っても、「伝送線路アンテナなんて聞いたこともない」という方が多いかと思うので、まずはその形状・簡単な動作原理を今回説明した上で、伝送線路アンテナの様々な発展形について、次回ご紹介したいと思います。

まず代表的な伝送線路アンテナの例として表 1 の、伝送線路 F 型、伝送線路 T 型、伝送線路 M 型を取り上げます。これらはそれぞれアルファベットの F, T, M の字に似た形状をしています。いずれもアースのすぐ近くに、この図では水平方向のアンテナ素子が置かれ、そのアンテナ素子とアースの間に給電するというタイプです。この動作原理を、まずは分かり易い伝送線路 T 型について説明します。

表 1 代表的な伝送線路アンテナ

伝送線路 F 型	伝送線路 T 型	伝送線路 M 型

図 1 は伝送線路 T 型アンテナを、その鏡像も含めて図示したもので、動作説明は鏡像法を使って行います。従ってアースを取り去り、代わりに実素子と鏡像によって動作を解析します。図 1 を見ると、実素子と鏡像は、給電点の左右に延びる平行二線線路と見なせることが分かるかと思います。

ところで伝送線路 T 型は、一見アンテナ素子の中心点に給電しているよう見えるかもしれませんが、実は図 1 のように中心から僅かに外れた箇所が給電点です。伝送線路 T 型は給電点を中心から少しずらすことで、以下に説明するような巧妙なインピーダンスマッチングを行っているのです。

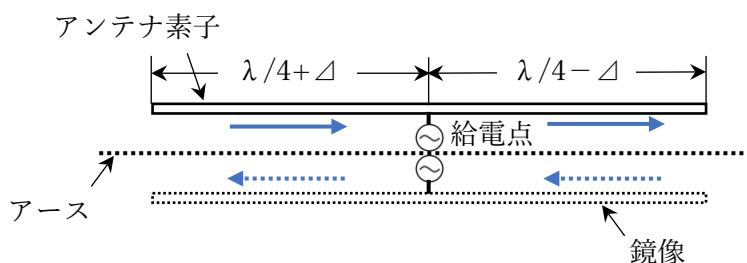


図 1 伝送線路 T 型アンテナとその鏡像

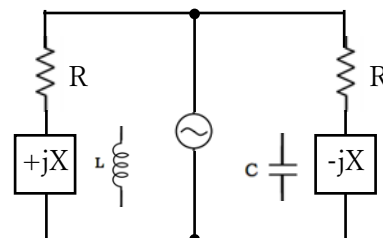


図 2 伝送線路 T 型の等価回路

まず給電点の左側ですが、これは先端オープンの平行二線線路で  $\lambda/4$  より僅かに長いので、図 3 の④の通り、値の小さな正のリアクタンスになります。このリアクタンスを  $X$  と置きます。また、平行二線

線路なのでここからの放射は少ないとは言え 0 ではなく、放射抵抗が数Ω程度にはなりません。その放射抵抗を  $R$  と置きます。

次に給電点の右側は  $\lambda/4$  より僅かに短いので、図 3 の③の通り、小さな負のリアクタンスになります。そのリアクタンスは、中心からのずれが同じ  $\Delta$  なので、 $-X$  と置けます。また放射抵抗は、線路長が左側とほぼ同じなので、これも  $R$  とします。

以上から伝送線路 T 型の鏡像法による等価回路は図 2 のように書くことが出来ます。

このアンテナの給電点インピーダンスを  $Z$  とすると  $Z$  は、図 2 の並列インピーダンスを計算して、以下のように求められます。

$$Z = \frac{(R+jX) \times (R-jX)}{(R+jX) + (R-jX)} = \frac{R^2+X^2}{2R} \dots\dots\dots (1)$$

$X$  の値は中心からのずれの距離によって大きく変化させることが出来るので、(1)式の結果から  $Z$  は、給電点の位置をずらして  $X$  を調整すれば任意の給電線インピーダンスに整合させられることが分かります。例えば放射抵抗  $R$  が  $3\Omega$  だとすると、 $X=17\Omega$  に調整すれば  $Z=50\Omega$  になります。このように給電点を微調整するだけでインピーダンスマッチングを取れることが伝送線路 T 型アンテナの特長です。その代わり  $X$  は周波数の変化で値が大きく変わるので、インピーダンスマッチングが良好な周波数範囲は比較的狭い方です。

さて図 2 の等価回路は並列共振回路の共振状態と同じなので、左側の回路と右側の回路の間で大きな共振電流が流れます。給電電流の何倍もの共振電流が流れることで、放射抵抗が数Ωしかなくても供給した電力がしっかり放射されるということです。アンテナ素子をアースに近付けるほど伝送線路の間隔が狭くなり放射抵抗が下がるので、さらに共振電流が増えることとなります。このため電流の大きさによってはアンテナ素子の導体損失にも注意が必要です。

伝送線路 T 型の電流定在波は、半波長ダイポールアンテナのように、図 4 の青の弧で示した形状になります。また指向性については緑の楕円線のように、紙面に垂直な方向から見た場合も紙面の左右方向から見た場合も、8 の字特性の上半分になります。但し、見る方向によって半値幅は異なります。

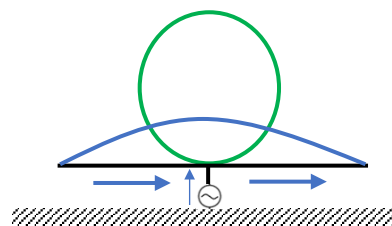


図 4 伝送線路 T 型の定在波・指向性

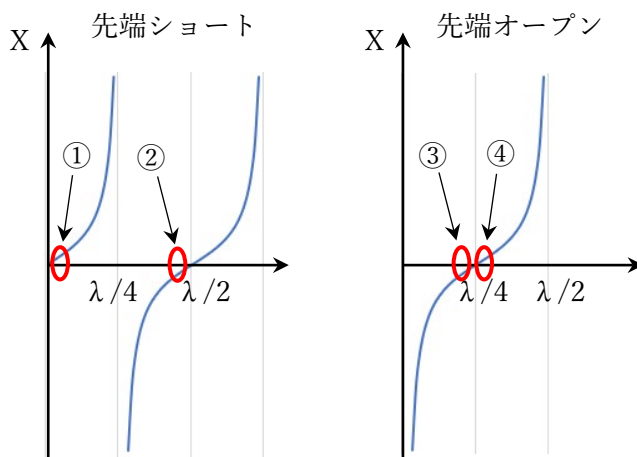


図 3 平行二線線路の線路長とリアクタンス

ところで素子長が  $\lambda/2$  以下でこのようにプラス or マイナスの小さな  $X$  の値を取る伝送線路の長さは、伝送線路 T 型アンテナの  $\lambda/4 \pm \Delta$  (③と④) だけでなく、図 3 の①と②でも同じ性質を示します。そして①と③を組み合わせると伝送線路 F 型アンテナ、①と②を組み合わせると伝送線路 M 型アンテナが出来ます。このため伝送線路 T 型と同様に図 2 のような平行二線線路の並列インピーダンスを求める

ことで給電点インピーダンスが求まります。給電点インピーダンスを特定の値に整合させるには給電点の位置をずらせばよいことも同じです。

一つ注意点としては、図3の①と②の先端ショート短絡線部分は短いとは言え、微小モノポールアンテナの構造になっていることです。このため放射抵抗は、水平方向の $\lambda/4$ 線路の数 $\Omega$ 程度とほぼ同じです。しかもこの部分にも給電電流ではなく、水平方向の素子と同じだけの大きな共振電流が流れるため、放射電力についても同等のレベルになります。

従って伝送線路F型アンテナの指向性は、図5のように2方向に現れます。赤い指向性が短絡線からの放射で、紙面に垂直な方向から見ると横に寝かせた8の字の上半分という形状ですが、短絡線の周囲では無指向性になります。緑の指向性は伝送線路T型に類似の、やや変形した8の字特性の上半分という形状です。電流定在波は $\lambda/4$ モノポールアンテナと同じ半弧と、短絡線を流れる成分です。

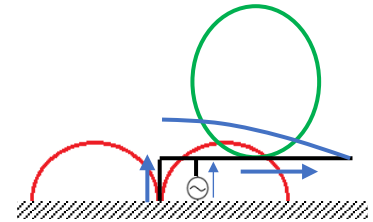


図5 伝送線路F型の定在波・指向性

伝送線路F型はこのように二つの指向性があるので、より広い方向をカバー出来ること、またアースに近接して設置出来、高さが低い(ロープロファイル)ので空気抵抗を受けにくいことなどから、ロケットのテレメータ用などに使われます。

因みに携帯電話などでよく使われる逆F型アンテナも、伝送線路F型と基本的には同じものと思います。ただ、逆F型アンテナと呼ぶ場合は、伝送線路F型の弱点である狭帯域特性を改善すべく素子の幅を広げて広帯域化を図ったものが多いように思います。

最後に伝送線路M型ですが、その電流定在波は図6のように、中央で向き合う極性の異なる半弧と、短絡線を流れる成分です。アースに平行な素子には等振幅・逆極性の電流定在波が立つためここからの放射は僅かで、放射はもっぱら短絡線から行われます。

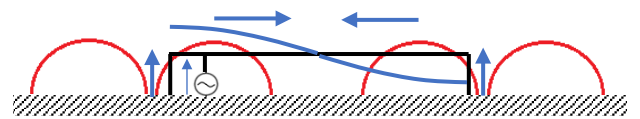


図6 伝送線路M型の定在波・指向性

その指向性は、微小モノポールアンテナが間隔 $\lambda/2$ 、同相で2個並ぶため、図の左右方向では電波が打ち消し合い、紙面に垂直な方向では電波が加算されて大きくなります。

以上、伝送線路T型、F型、M型アンテナについて説明を行いました。次回はこのタイプを使った、伝送線路アンテナの抜本的変形バージョンについてご紹介したいと思います。