

伝送線路アンテナの発展形の話(その 2)

伝送線路アンテナの発展形の話をするため、今回はまず、いくつかの代表的な伝送線路アンテナの動作原理について説明を行いました。かなり前置きが長くなりましたが、今回はその発展形の話をしたしたいと思います。

前回、伝送線路 T 型アンテナの動作原理を説明するため、図 1 のような鏡像法を利用しました。鏡像法はアースより上の半空間における動作解析を行うに当たり、アースを取り去り、代わりにアンテナの実素子とその鏡像とで解析を行っても同じ結果が得られるというものです。とすると、鏡像を実素子で作っても同じ結果が得られるはずですが。この場合、アースより上の半空間だけでなく、全空間が対象になるという違いはありますが。

ということで鏡像を実素子で作ってしまう、謂わば鏡像実体化版伝送線路アンテナが、今回ご紹介する『伝送線路アンテナの発展形』です。

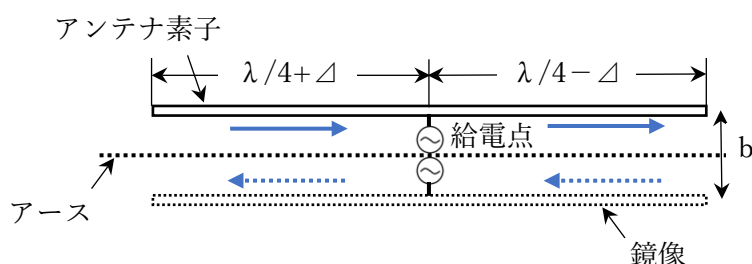


図 1 伝送線路 T 型アンテナとその鏡像

まず伝送線路 T 型の鏡像実体化版ですが、これを一般的な向きで配置すると図 2 のような外観になります。また指向性は図 3 の通りです。(E 面内は円形を少し絞った 8 の字、H 面内は円形の 8 の字) このアンテナは、図 1 を 90°回転させたときの形がアルファベットの H に見えるため、伝送線路 H 型アンテナという名称です。給電点のインピーダンスは、伝送線路 T 型と同じく給電点をずらすだけで整合させることができます。放射抵抗 R については、アンテナ素子の間隔を b、波数 $k=2\pi/\lambda$ とすると、 $R = 30(kb)^2$ となります。従って素子間隔を短くすると二乗オーダーで放射抵抗が下がり、その結果、前回の説明のように共振電流が増加します。このとき共振の尖鋭度、Q も上がるので、より狭帯域な特性になります。

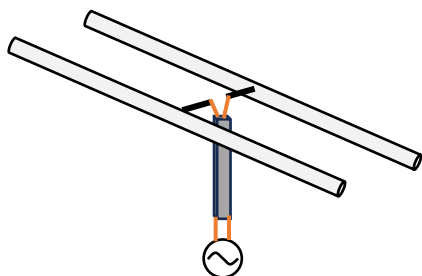


図 2 伝送線路 H 型アンテナの外観

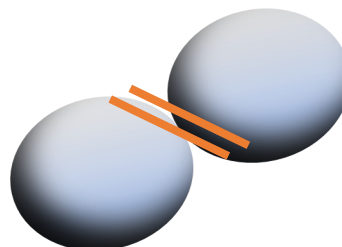


図 3 伝送線路 H 型アンテナの指向性

ところでこの2本のアンテナ素子の長さを変えてみる、即ち片側を $\lambda/2 - \Delta_1$ 、もう片方を $\lambda/2 + \Delta_2$ にするとどうなるでしょうか？そうすると対称だった指向性が、素子長の短い側に強い指向性を持つようになります(図4)。ちょうど短い方の素子が八木アンテナの導波器、長い方の素子が反射器のような働きをします。図5はその指向性パターンの実測結果の一例です。

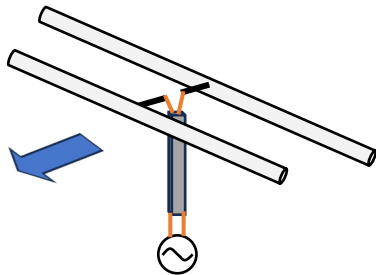


図4 非対称H型アンテナの外観

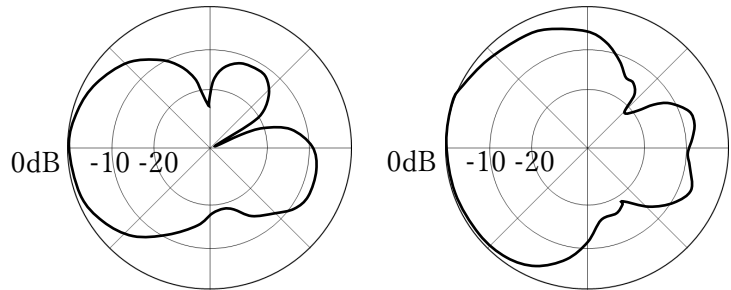


図5 E面内指向性(左)とH面内指向性(右)

このように素子長に差を付けるということは、鏡対称である鏡像の場合には絶対に出来ない行為ですが、鏡像実体化のお陰でこのような操作も可能になります。このように素子長が異なる伝送線路H型アンテナを非対称H型、また素子長が同じものは対称H型と呼びます。

伝送線路H型アンテナは他にも様々な変形バージョンが考えられます。

例えばローディングコンデンサによる素子長の短縮です。長さが $\lambda/4$ より短い先端オープン伝送線路は容量性リアクタンスを持つので、それと同じリアクタンスのコンデンサに置き換えれば素子長を短くすることが出来ます(図6)。この場合、素子の端とコンデンサを結ぶ線にも電流が流れるので、ここからの放射にも留意することが必要です。伝送線路構造で放射しにくいアンテナ素子部と異なり、この線は微小ダイポール構造なので、長さの割には放射抵抗が大きくなるからです。因みに給電線も微小ダイポール構造ですが、給電電流はアンテナ素子部を流れる共振電流よりずっと小さいため、ここからの放射は無視しても差し支えありません。

ところで素子の端とコンデンサを結ぶ線からの放射を積極的に利用し、偏波面を追加するということも考えられます。その点では、図7のように素子を曲げればさらに偏波面を追加して3方向にすることも可能です。この構造は、スマホ等の筐体のコーナー部分にぴったりと沿わせることも出来るでしょう。

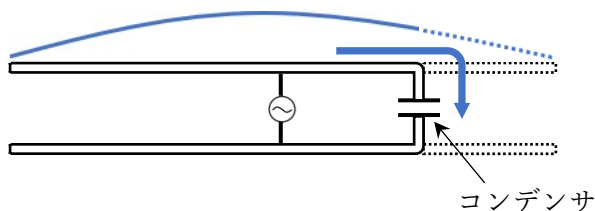


図6 コンデンサによるローディング

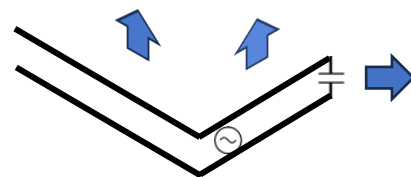


図7 伝送線路H型の折り曲げタイプ

このローディングコンデンサですが、ローディング目的だけでなくチューニングにも使えます。前回、伝送線路 T 型アンテナの、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と書きましたが、この性質は鏡像を実体化しただけである伝送線路 H 型アンテナでも同じです。そこでローディングコンデンサを可変容量タイプにすれば、容量を調整することでリアクタンスを変化させ、もっと広い帯域で良好なインピーダンス特性を保つことが可能になります(図 8)。素子間隔を狭くすると放射抵抗が小さくなるので Q が上がり、より狭帯域の特性になりますが、こうやってチューニングすれば大丈夫です。この場合はアンテナに、フィルタの機能も持たせられることになります。

その他、先端オープン伝送線路は「 $\lambda/4$ の奇数倍 $\pm \Delta$ 」の位置でも小さな正負のリアクタンスになるので、例えば図 9 のような連結接続で、コリニアアレイアンテナのように指向性を絞ることも可能です。連結する $\lambda/2$ 線路の個数は任意に増減出来ます。

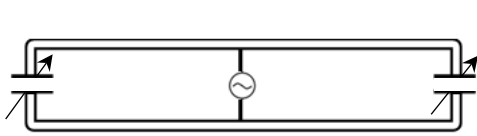


図 8 コンデンサによるチューニング

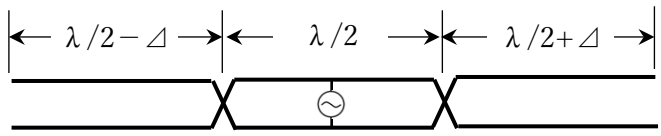


図 9 コリニアアレイ構造

次に伝送線路 F 型アンテナの鏡像実体化版について考えてみましょう。

その形状は図 10 のようになります。これと同形のアンテナには別の名称も付いていますが(注：次の項目参照)、ここでは他と同じ流れでアルファベット名を付けて、伝送線路 A 型アンテナとしておきます。(やや形に無理はありますが)

図 11 にこのアンテナの指向性を示します。赤い線が先端ショート短絡線部分からの放射、緑の線が $\lambda/4$ 平行線路部分からの放射です。(b)は(a)を左右方向から見たもの、(c)は(a)を上下方向から見たものです。

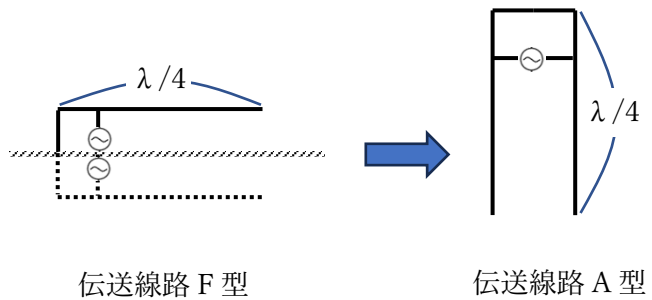


図 10 伝送線路 F 型の鏡像実体化

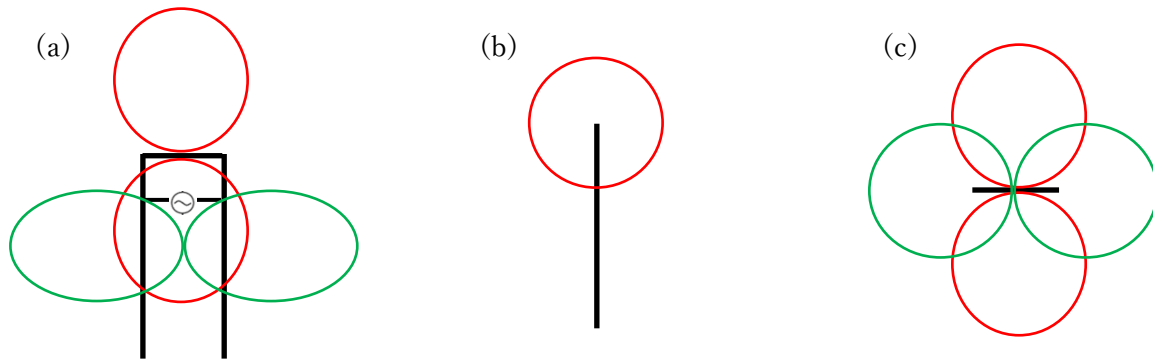


図 11 伝送線路 A 型の指向性

このアンテナも伝送線路 F 型と同じく指向性は 2 方向あるので、オムニ指向性の観点では良好な特性です。プリント板のパターン等で平面上にも実装出来るので、IC カードなどでも使えるのではないかと思います。

伝送線路 A 型でも伝送線路 H 型と同様にコンデンサでローディング、あるいはチューニングが可能です。また図 12 のように素子を曲げて多様な偏波面・指向性を持たせることも出来ます。

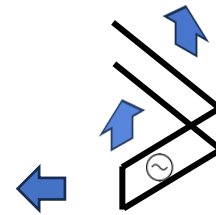


図 12 伝送線路 A 型の折り曲げタイプ

最後に伝送線路 M 型アンテナの鏡像実体化版ですが、その形状は図 13 のようになります。これを見てすぐにお分かりの方もおられるでしょうが、これは、アマチュア無線家の間でよく知られている、『ヘンテナ』と同じ形ですね。強いて違いを言えば、ヘンテナは短辺の長さが $\lambda/6$ というのが基本形であるのに対し、M 型の鏡像実体化版はそのような標準長が無いことでしょうか。また、ヘンテナの上半分を切り取った『フォークヘンテナ』というアンテナもありますが、これは伝送線路 A 型と同形になります。

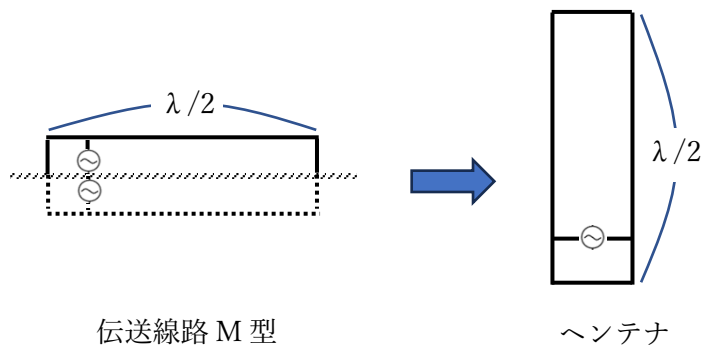


図 13 伝送線路 M 型の鏡像実体化

伝送線路 M 型の理論に従い、短辺の長さを短くして放射抵抗を下げたときはリアクタンスも下がるよう給電点を端の方にずらし、短辺を長くしたときは逆に中心方向にずらせばマッチングが取れるようになります。短辺を短くすると放射抵抗が下がりますが、それを補うだけ共振電流が増えるので放射電力は変わりません。気を付ける必要があるのは、短辺の長さがあまり短いと放射抵抗が大きく下がるので、共振電流が増大して導体損失が無視出来なくなることで、周波数特性が狭帯域になることでしょうか。

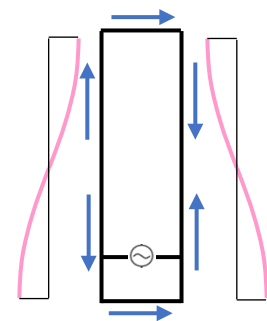


図 14 ヘンテナの電流分布

図 14 にヘンテナの、あるタイミングにおける電流定在波の振幅(ピンク)、及び電流の向き(ブルー)を示します。この図のように長辺を流れる電流は、中点を挟んで等振幅、逆極性のため、両者の放射は打ち消し合います。このため放射に寄与するのは主に上下の(微小)ダイポール部分です。指向性は、 $\lambda/2$ 離れた二つの(微小)ダイポールに同相給電したときの、2 素子アレーアンテナとしての指向性になります。

H 型や A 形のように長辺を曲げることも可能ですが、曲げると長辺からの放射が打ち消し合わなくなるので、ここからの放射も現れることに留意が必要です。

以上、伝送線路アンテナの発展形として鏡像実体化版伝送線路アンテナと、その様々なバリエーションをご紹介しました。この記事が何かの参考になれば幸いです。