

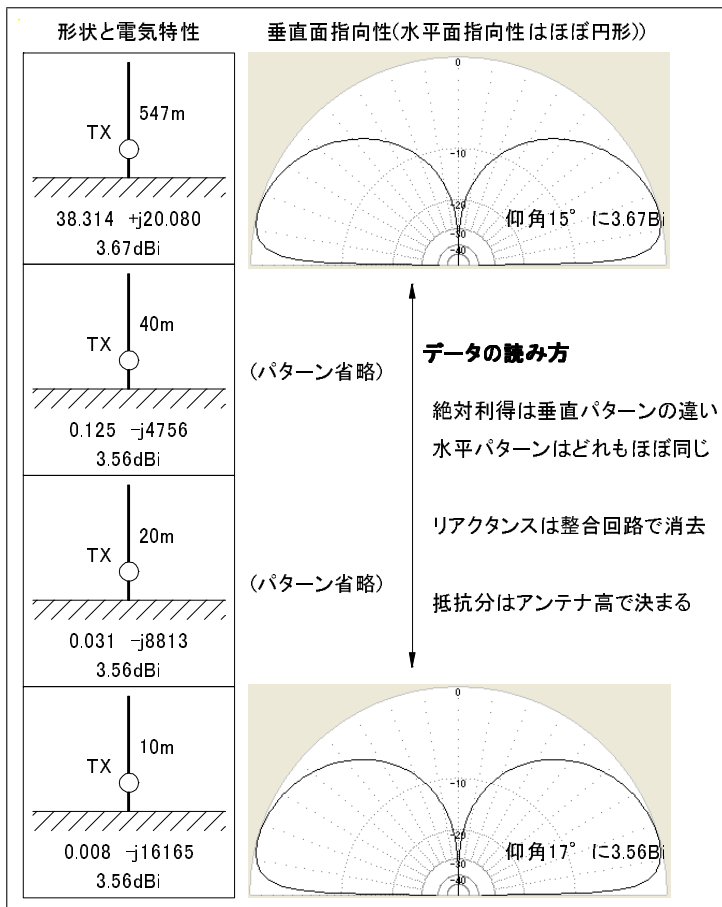
1. 短小垂直アンテナの進化

136kHz 帯のアンテナとして一般的に使われるのは、波長に比べて非常に短いエレメントの垂直アンテナ、つまり短小垂直アンテナです。この場合輻射抵抗が極めて小さいので、それを高めるためのアンテナ形状の工夫や接地抵抗の低減などに相応の努力をしなければ、必要な電力輻射を望むことができません。

具体的な改善策は、(1) 天頂エレメントの付加、(2) カウンターポイズの追加、(3) アースの改良などですが、本稿では(4) 垂直エレメントの延長を含めて、どの対策がどの程度の性能向上に寄与するかをシミュレーションで確認します。その結果を評価して努力対効果の傾向を見つけ、無駄のないアンテナ改善に利用します。

2. 標準となる垂直アンテナの特性.....改善の到達目標値

長さ(高さ)が 547m である基本型 $\lambda/4$ 垂直アンテナの定数を計算し、それが現実的な短小垂直アンテナの定数とどの程度離れているかを図 1 に示します。シミュレーションは MMAN



A に拠りました。

$\lambda/4$ 垂直アンテナのインピーダンスが、 $38.314 + j20.080\Omega$ となることを確認します。この基本アンテナの電気特性を他のアンテナの評価基準にします。

具体的に言いますと、エレメント 10m 長の場合のインピーダンスは $0.008 - j16,165\Omega$ ですから (リアクタンスを消去したとして)、基本アンテナに対するアンテナ輻射効率 η_a は $0.008/38.314 = 0.02\%$ となります。20m 長では、 $\eta_a = 0.031/38.314 = 0.08\%$ です。40m 長は $\eta_a = 0.125/38.314 = 0.32\%$ です。

なお、垂直面指向性図で示されているとおり 3.6dBi 程度の利得がありますが、エレメント長による違いは少ないです。

図 1: $\lambda/4$ 垂直アンテナと短小垂直アンテナの基本的特性 (誘電率=10.0 導電率=5mS/m のリアルグランド)

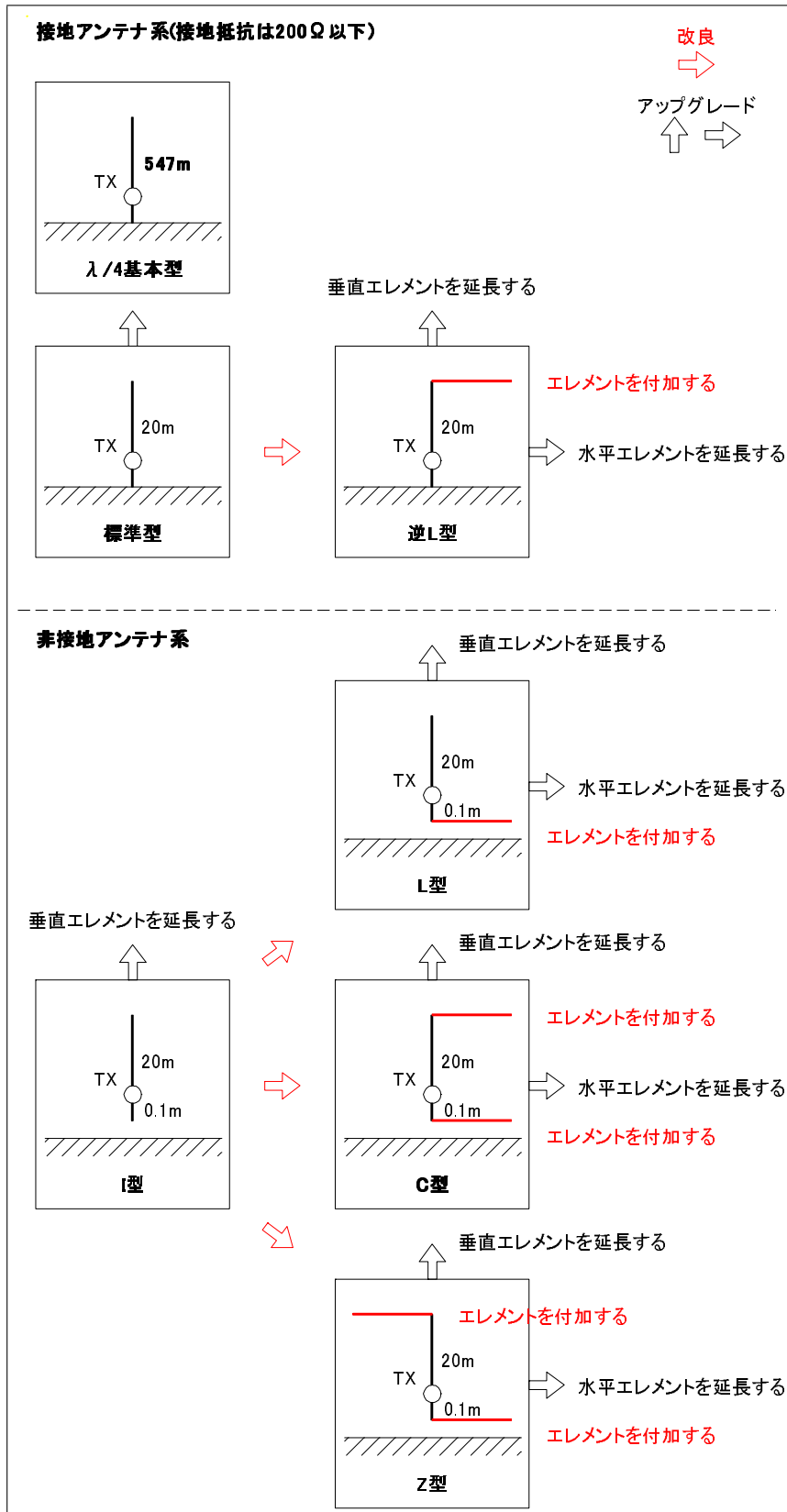


図 2: 短小垂直アンテナのトポロジーと改良の方向

3. 短小垂直系アンテナを改良する.....付加エレメントの効果

前頁の図2は、短小垂直アンテナに別のエレメント(具体的にはトップロード、カウンターポイズまたはその両者)を付加した場合の形状を表しています。

短小垂直アンテナの電気特性を改良する方向としては3つあります。トップロードを付加する逆L型、カウンターポイズを付加するL型と全ての付加エレメントを持つC型とZ型です。ここでは、 $\lambda/4$ 垂直アンテナを基本型と呼び、垂直エレメント20m長を標準型として、垂直エレメントと水平エレメントをそれぞれ10m長、20m長および40m長とした場合についてシミュレーションした結果を表1にまとめました。なお、標準型から接地を外した形状すなわちI型についても検討しました。

表1: 短小垂直アンテナの電気特性と基本型に対する効率

形状	垂直長	インピーダンス	効率 %	インピーダンスの単位: Ω 効率 = インピーダンスの実数部 / 38.314 \times 100%
基本	547m	38.314 +j20.080	100.0	
標準	10m	0.008 -j16,165	0.02	
	20m	0.031 -j8,813	0.08	
	40m	0.125 -j4,756	0.33	
I型	10m	0.005 -j851,071	0.01	
	20m	0.024 -j490,254	0.06	
	40m	0.104 -j277,160	0.27	

形状	垂直長	水平長					
		10m		20m		40m	
		インピーダンス	効率	インピーダンス	効率	インピーダンス	効率
逆L	10m	0.012 -j845,809	0.03	0.015 -j843,844	0.04	0.018 -j842,197	0.05
	20m	0.054 -j6,248	0.14	0.070 -j4,824	0.18	0.087 -j3,311	0.23
	40m	0.147 -j276,486	0.38	0.181 -j275,975	0.47	0.230 -j275,325	0.60
L型	10m	0.008 -j26,567	0.02	0.008 -j21,645	0.02	0.008 -j19,155	0.02
	20m	0.032 -j18,937	0.08	0.032 -j14,025	0.08	0.032 -j11,523	0.08
	40m	0.127 -j14,680	0.33	0.128 -j9,848	0.33	0.128 -j7,358	0.33
C型	10m	0.017 -j19,099	0.04	0.021 -j11,313	0.05	0.025 -j6,416	0.07
	20m	0.055 -j16,315	0.14	0.070 -j9,929	0.18	0.087 -j5,871	0.23
	40m	0.179 -j13,850	0.47	0.222 -j8,403	0.58	0.284 -j5,710	0.74
Z型	10m	0.017 -j19,108	0.04	0.021 -j11,325	0.05	0.025 -j6,427	0.06
	20m	0.055 -j16,315	0.14	0.070 -j9,931	0.18	0.087 -j5,874	0.23
	40m	0.179 -j13,843	0.47	0.222 -j8,402	0.58	0.284 -j5,711	0.74

このデータを使って各型アンテナを評価してみます。

(a) 標準型の評価

標準型アンテナはエレメント1本だけの最もシンプルな短小垂直アンテナです。何しろ波長に対してエレメント長が極端に短いのですから、輻射インピーダンスは極めて低く、垂直長10mでは0.008 Ω しかありません。従って、垂直エレメント長 $\lambda/4$ である基本型に対する輻射効率は $\eta_a = 0.008/38.314 = 0.0002 = 0.02\%$ です。

垂直エレメントを延長した場合の電気特性の向上は大きく、それが20mでは $\eta_a =$

0.08%、40m とすると $\eta_a = 0.33\%$ と飛躍的に効率化が図れます。短小垂直アンテナでは何よりも高さが大事です。

(b) 逆 L 型の効果

標準型を改良する手法として直感的に思いつくのは、トップローディングです。形状としてはリング状や傘状のエレメントを標準型アンテナの頂部に付加するのですが、付加エレメントは対地キャパシタンスを増加させる働きをします。そこで線状エレメントを付加した逆 L 型でシミュレーションします。

例えば 10m 長の水平エレメントを付加した場合には、垂直エレメントが 20m 長以下であれば効率がおおよそ標準型の 1.5 倍になりますが、垂直エレメントが 40m 長あると水平付加エレメントの効果が目立たなくなります。水平エレメントは 20m 長、40m 長と長くするに従って、それなりの効果があります。

(c) I 型でもアンテナ

I 型アンテナとは標準型アンテナの接地を取り除いた形です。実際にはわざわざそんな形状にする馬鹿はいませんが、その電気特性をシミュレーションして接地抵抗の意味を知ることができます。

接地抵抗無限大である I 型アンテナであっても、(リアクタンス分を別にすると)標準型アンテナの電気特性と大きくは変わらないことが分かります。このような電気特性を示す理由は、この種のアンテナのインピーダンス (特にリアクタンス) が極めて大きいので小レベルにある輻射抵抗は影響を受けないと考えられます。

I 型は非接地ですが、これを同じく非接地系の逆 L 型、C 型および Z 型に発展させます。

(d) L 型は簡単で効果大

接地抵抗が十分低い場合には、I 型にカウンターポーズを付加した形である L 型アンテナが有効です。

L 型の出来特性を標準型と比較してみると、水平長すなわちカウンターポイズの長さを問わずにほぼ両者が同じです。水平長 10m あれば十分な接地効果を持つようです。

(e) C 型または Z 型が有効

I 型を更に発展させて、頂部および底部に付加エレメントを持つ形状を C 型および Z 型とします。

C 型 Z 型ともに電気特性が高まり、効率が標準型より 1.5 倍程度向上していることが分かります。つまり、非接地型ですが接地型の逆 L 型と同等です。水平長の増加はそれに対応する特性向上を伴っています。

面白いことに、C 型でも Z 型でも同じ垂直長と水平長であれば電気特性が等しくなります。従って、トップロードエレメントとカウンターポイズの展張方向は拘る必要がないことです。両者の平面形状を適宜の角度にしても良いことを示しています。

4. 実地に合ったアンテナ形状の選択

以上のシミュレーション結果を参考にして、実際の土地や家屋との関係で短小垂直アンテナの展張方法を考えましょう。

垂直長の効果は絶大ですが、比較的建設しやすい水平長のこととも考慮して、もともと低効率である LF 用短小垂直アンテナに工夫を加え少しでも効率アップを図ることが求められています。