

# 3.5/7MHz用 垂直アンテナの 検討, 試作

JE3HFU 田辺 謙造 Kenzo Tanabe

垂直モノポール・アンテナは、HFローバンド帯では構造が簡単で作りやすく魅力のあるアンテナですが、良好なグラウンドを準備することがきわめて重要です。ここでは、わが家の軽量鉄骨フレームに2階ベランダの外壁からスクリュー釘を打ち込み、この鉄骨フレームをグラウンドとし10mのグラスファイバ・ポールを利用した7MHz用垂直アンテナと同じアンテナ・ワイヤを用いた50%短縮の3.5MHz用垂直アンテナについて検討、試作を進めました。

## 1 はじめに

これまで自作アンテナにより3.5MHz、1.9MHzバンドに出たいと思いつつ敷地の制約から実現できませんでした。しかし今回、わが家の2階ベランダの補修を行っている際に職人の方をお願いして、家の骨格である鉄骨フレームにスクリュー釘を打ち込み、鉄骨フレームをアンテナのグラウンドとして利用することを試みました。

2階ベランダに10mのグラスファイバ・ポール

は簡単に設置できるため、まず7MHz用垂直アンテナを製作し動作確認から始めました。7MHzバンドでは良好なSWR特性が得られたので、鉄骨フレームのグラウンドが狙いどおり機能しているものと考え、次にこのアンテナ・ワイヤを利用して給電部に対しLC型マッチング回路を設計・製作し、動作確認と運用テストを進めました。

以下に、検討経過と得られたアンテナの特性、運用経過などを報告します。

## 3.5MHz用垂直アンテナの検討・試作

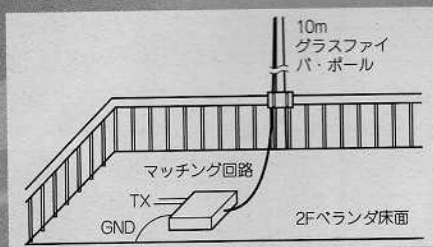
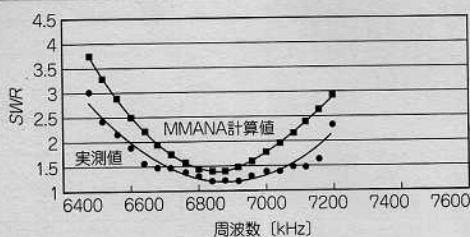


図1 アンテナの設置状況



注: SWR MMANA計算条件 垂直アンテナの長さ: 10.6m, アンテナの線径: 1.0mm, 地上高: 0m リアル・グラウンド

図2 7MHz 垂直1/4λアンテナのSWR特性

### 2 7MHz垂直1/4λアンテナの特性

アンテナ設置状況の概要を図1に示します。2階ベランダの外壁に鉄骨フレームに接続されたアース端子を設け、すぐそばに試作マッチング回路を設置していますが、7MHzの場合マッチング回路は使用せずスルーとします。

図2にSWR特性を示します。ここではSWRアナライザMFJ259Bによる実測値と、MMANAによるシミュレーション計算値を示します。シミュレーションではアンテナ・ワイヤの線径を1mm、長さを10.6m、地上高0m、デフォルト値を用いたリアル・グラウンドとしています。実測値と計算値では若干実測値のほうが特性が良くなっていますが大差はなく、7MHzではフルバンドにおいて良好なSWR特性が得られています。

この結果、鉄骨フレーム・グラウンドは良好なグラウンド機能を持っているものと判断できます。なお、運用結果については3.5MHzの短縮アンテナと合わせて別項にて説明します。

### 3 3.5MHz用50%短縮垂直アンテナの検討

#### 1) マッチング回路の設計

前項で示した7MHz用アンテナ・ワイヤを利用したマッチング回路の設計をするため、まず、3.5MHzにおけるアンテナ・インピーダンスにつきMMANAを用いてシミュレーションを行いました。

シミュレーションに際してはアンテナ・ワイヤの線径は0.7SQのビニル線(等価線径1mm)の使用を前提とし1mm、長さを10.6m、地上高0m、グラウンドはリアル・グラウンドとしました。

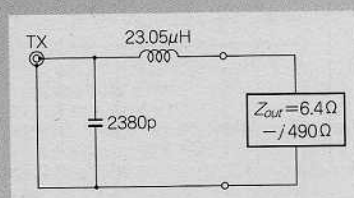


図3 LCマッチング回路

その結果、アンテナ・インピーダンス( $R, jX$ )は3.510MHzにおいて、およそ $R = 6.4\Omega$ ,  $X = -490\Omega$ となりました。

LCマッチング回路の設計に関しては参考文献(1)を始め多くの参考資料がありますが、設計の手順はまず、

- ① アンテナと直列にインダクタンス $X$ を有するコイルを挿入。
- ② インピーダンスの $R$ 成分を $50\Omega$ に持ち上げるためさらに直列にコイルを挿入。
- ③ このコイルのインダクタンスと $R$ の直列回路を並列変換し(変換された抵抗成分は $50\Omega$ となる)。
- ④ 並列変換されたインダクタンス成分を打ち消すためのキャパシタを並列に挿入する。

となります。

この手順により設計したLC型マッチング回路図を図3に示します。

ここに示すLCマッチング回路ではコイルの $Q$ は考慮せず、いわば無限大の $Q$ が前提ですが、アンテナ・インピーダンスの $R$ 成分(輻射抵抗成分)が $6.4\Omega$ と低く、コイルの $Q$ を例えば100と仮定すると、コイルの損失抵抗は3.5MHzにおいて $5\Omega$ となり、輻射に際してのパワー・ロス50%近

図4  
マッチング・コイルのQと  
パワー・ロス ( $L = 23 \mu\text{H}$ ,  
 $f = 3.5\text{MHz}$ ,  $R_{\text{ant}} = 6.4 \Omega$ )

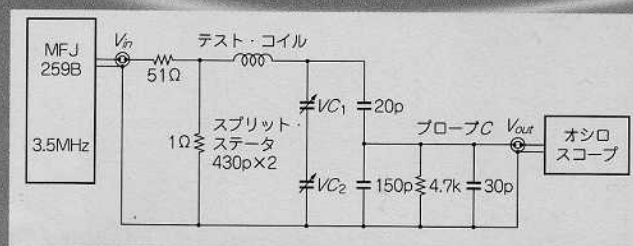
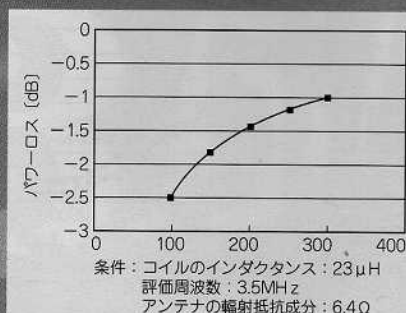


図5 コイルのQの測定回路

くになります。

図4はこのコイルのQとパワー・ロスの関係を計算により求めたものですが、MMANAを用いてコイルのQを変化させアンテナ利得を求めても同様の結果が得られます。この図からコイルのQは300少なくとも200以上は欲しくなります。マッチング回路に使用するコイルのQを200と仮定しLCマッチング回路の再設計を行うと、図3に

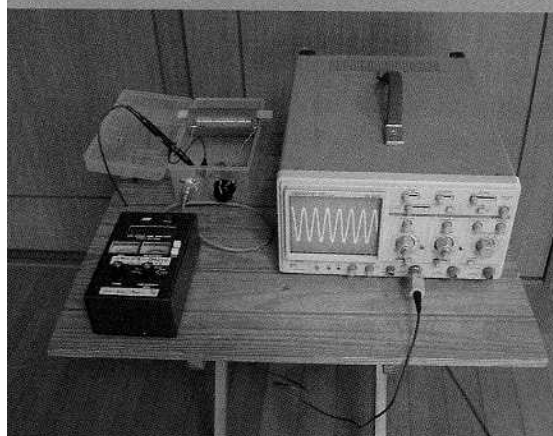


写真1 コイルのQを測定

示すインダクタンス $L$ はほとんど変わりませんが、入力部キャパシタの容量 $C$ は1960pFとなります。

## 2) 実際のコイルのQ評価

コイルのQはLC直列共振回路を構成し、その回路に正弦波入力を加えることにより評価することができます。図5は今回使用したQ評価回路ですが、回路では共振用キャパシタとして昔のAMラジオ用2連バリコンをスプリット・ステータ・バリコンとして用い、できるだけ共振回路に含まれる不安定な接触抵抗成分を排除しました。信号ソースとしてはMFJ259BをR-X

SWR測定モードで使用し、共振回路の出力レベルは、良質なマイカ・コンデンサを用いたC分割によりそのレベルを $1/10$ にした後でオシロスコープにより測定しました。オシロスコープ入力に並列に接続している4.7kΩの抵抗はAC電源誘導ハムの除去用であり、オシロスコープにて波形をモニターすることにより中波放送などの悪影響を監視することができます。写真1に測定の様子を示します。

この回路による正確なQの絶対値測定は無理ですが、いくつかのコイルのQに関する相対値比較は十分に可能と考えます。

この回路によりコイルのQは次の二つの方法のいずれかにより評価できますが、今回の実験では二つの方法を併用しその平均値をとりました。

### ● -3dB帯域法

MFJ259Bの出力周波数を3.5MHzに設定し、バリコンを調整して3.5MHzに共振させます。そのときの出力レベルを記録し、MFJ259Bの出力周波数を共振周波数の上下で変化させ、この回路の-3dB帯域幅を測定します。このときコイルのQは、

$$Q = \frac{\text{共振周波数}}{-3\text{dB帯域幅}}$$



## 3.5MHz用垂直アンテナの検討、試作

となります。

### ● 電圧増倍法 (仮称)

MFJ259Bの出力周波数を3.5MHzに設定し、バリコンを調整して3.5MHzに共振させそのときの出力レベルを測定し、LC共振回路の出力電圧と入力電圧の比がQ倍であることからQを算出します。

図5の回路では、信号ソースのインピーダンスを極力低くするため入力部で入力電圧 $V_{in}$ は $1/2$ に減衰され、出力部でもオシロスコプの入力容量の影響を軽減するためC分割により $1/10$ に減衰されるため、オシロスコプで測定される出力電圧を $V_{out}$ とすると、

$$Q = 520 \times \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

となります。

図3に示す23 $\mu$ Hのマッチング回路用コイルとして、4種の単層ソレノイドを試作しQ評価を行いました。4種のコイルの仕様とインダクタンスおよびQの評価結果を表1に示します。評価に際しては抵抗分割により低減された信号ソースのインピーダンス1 $\Omega$ がコイルの損失抵抗に含まれるため、この影響も補正しました。この結果、Qが200以上取れそうなコイルは比較的容易に作れることがわかり、以下のマッチング回路実験では表1に示すコイル1(線径1mm、コイル径50mm、巻数32回)を用いることとしました。

### 3) 実験に使用したマッチング回路と

#### 3.5MHz短縮アンテナの特性

図6は実験に使用したマッチング回路です。SWRの調整を容易にするため、コイル1に中間タップを設け変形 $\pi$ 型マッチング回路とし、入力部に設けたコンデンサは良質のマイカ・コンデンサを用いました。コンデンサの電流容量を考えると、いくつかのコンデンサを並列に用いるほうがベターですが、実験では手持ちの680pFを2個並列に使用し、50W運用で支障は出ていません。また、 $VC_1$ には手持ちのやや大型の430pF 2連バリコンを用いました。写真2はマッチング回路の2階ベランダへの設置状況と、ベランダ外壁に設けたグラウンド端子への接続状況を示します。

図6における中間タップとバリコン $VC_2$ を除去

表1 各種マッチング・コイルのインダクタンスとQ評価

|                          | コイル1 | コイル2 | コイル3 | コイル4 |
|--------------------------|------|------|------|------|
| コイルの線径(mm) *1            | 1.0  | 1.2  | 0.8  | 1.0  |
| コイルの直径D(mm)              | 50   | 50   | 50   | 60   |
| コイルの巻線長さl(mm)            | 80   | 90   | 70   | 62   |
| コイルの巻数N(Turns)           | 32   | 32   | 30   | 17   |
| 実測インダクタンスL( $\mu$ H) *2  | 23.4 | 21.3 | 23.0 | 25.4 |
| Q <sub>1</sub> (-3dB帯域法) | 152  | 141  | 140  | 146  |
| Q <sub>2</sub> (電圧増倍法)   | 162  | 173  | 159  | 165  |
| Q(平均値)                   | 157  | 157  | 150  | 155  |
| 損失抵抗( $\Omega$ ) *3      | 3.28 | 2.98 | 3.37 | 3.60 |
| 補正後の損失抵抗( $\Omega$ ) *4  | 2.28 | 1.98 | 2.37 | 2.60 |
| 補正後のQ *5                 | 226  | 236  | 185  | 202  |

評価周波数: 3.5MHz

\*1: コイルはスズ・メッキ線使用

\*2: インダクタンスの測定はDigital Dip Meter (DMC-230S2) と共振用に100pFを使用し、約3.5MHzにて測定

\*3: 損失抵抗 $=2\pi fL/Q$

\*4: 3.5MHzにて実測データより計算された損失抵抗から信号ソースの抵抗1 $\Omega$ を減算

\*5: 補正後の損失抵抗から3.5MHzにおける実際のコイルのQを算出(コイルの実際のQ)

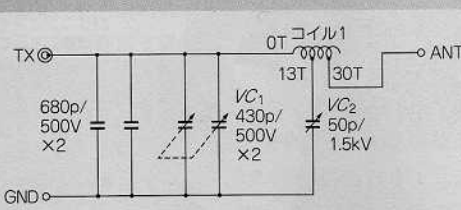


図6 実験に使用したマッチング回路

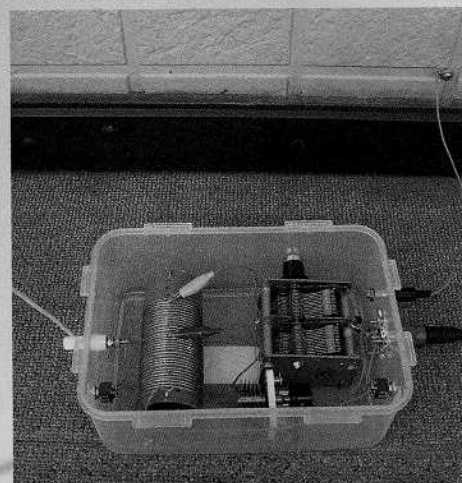


写真2 でき上がったマッチング部

図7  
マッチング・コイルの巻き数と  
SWR特性

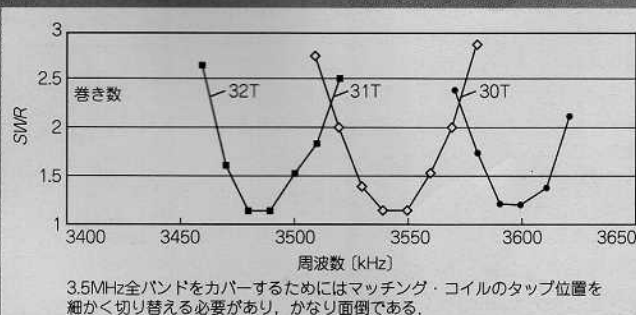
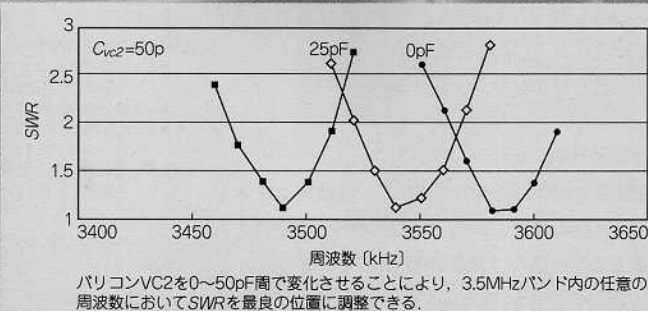


図8  
 $VC_2$ を変化させたときのSWR  
(マッチング・コイル30T,  $VC_2$ 用  
タップ位置はコイルの給電部より  
13T)



した図3の基本マッチング回路にてコイル1にタップを設け、巻数を30, 31, 32 (フルタップ)としたときのSWR特性を図7に示します。以下、SWRの測定はMFJ259Bによります。

図7ではSWRが2以下の周波数帯域は40kHz程度ですが、3.5MHzバンドの任意の周波数においてSWRを低く維持したいときには、コイルのタップを1ターンより細く取る必要があります、とても面倒です。代替手段として $\pi$ 型マッチング回路とするためアンテナ端子に新たに小容量のバリコンを追加することが考えられますが、この部分はハイ・インピーダンスで高耐压のバリコンが必要です。図6にて追加したバリコン $VC_2$ はより耐压の低いバリコンで同様の効果を期待するもので、変形 $\pi$ 型マッチング回路になります。

図8はバリコン $VC_2$ の容量を変化させSWR特性を求めたものですが、 $VC_2$ の容量を0から50pFまで変化させたときSWRが1.1程度に調整できる周波数範囲が100kHz近くあることがわかります。

この変化範囲は $VC_2$ に接続するコイルのタップ位置により調整することができます。実際には運

用したい周波数に合わせSWRアナライザを持ち出し調整する必要がありますが、それほどやっかいなことではありません。

## 4 運用結果と評価

### 1) 7MHzバンド

7MHzバンドでは、これまで別の短縮型デルタ・ループ<sup>(2)</sup>を用いたので、比較テストも含め50Wにて運用しました。二つのアンテナの使用時の設置状況がタイトル・カット部分の写真です。

無信号時の受信ノイズでは水平系の短縮型デルタ・ループと比べS一つほど劣化します。交信テストでは、近距離で垂直系のアンテナを使用中の局とは今回の垂直アンテナで、より良いシグナル・レポートの交換ができますが、電離層反射による国内交信では、短縮デルタ・ループのほうが良い結果が得られる場合が多くありました。

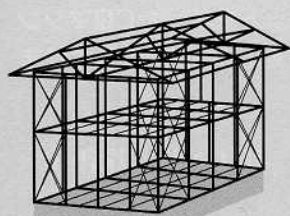
しかし、今回の $\frac{1}{4}\lambda$ 垂直アンテナは図2に示すように広帯域でフルバンド無調整にて使用できるため使い勝手は優れており、簡単な1本のグラスファイバ・ボールのみにて実現でき、トップ・ヘビ

## 住宅の構造材をグラウンドとして使う

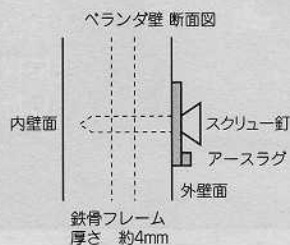
私の住いは13年ほど前に建てたバナホームの軽量鉄骨住宅（プレハブ）です。

近年多くなっているこのタイプの住宅は、柱や梁は鉄骨で構成されています。この鉄骨の枠に壁材のパネルを貼って建物が構成されています。

一般的に軽量鉄骨構造の住宅では、図Aのように構造



図A 軽量鉄骨住宅の柱構造



図B アース用ボルトの工作

材の鉄製梁、柱はボルトで連結されており、建物の大きさから考えても全体がHFにおける良好なアースとして働きそうです。

わが家の建物では、壁面の裏側に、垂直に15cm幅（ちょうど壁タイルの1割分）程度の鉄骨が入っているので、ここに図Bのように穴を空けタッピング・ビスをつかって写真Aのようにグラウンドを取れるように加工してもらいました。



写真A 壁面に打ったアース用ボルト

一でないだけに風にも強く、安心感があります。

なお、3.5MHzマッチング回路の入出力部にリレー、あるいはトグル・スイッチを設ければ、簡単に7MHzと共用できますが、写真2ではこのためにトグル・スイッチも取り付けられています。

### 2) 3.5MHzバンド

主としてCWによる運用テストを行いました。あらかじめバリコンによりCWバンドの中央付近にてSWRが最小になるようセッティングし運用しました。運用地が交野市という若干QRVの少ない地域でしたので、交信終了後よく呼ばれ、多いときには1時間に30局以上と交信できました。SSBでの運用テストではSWR最小点で運用するためにはバリコンの再調整が必要ですが、やはり交信終了後に呼ばれることも多くありました。

## 5 まとめ

今回は、わが家2階のベランダ外壁から鉄骨フレームにスクリュー釘を打ち込みグラウンドとしての使用の可能性を検討するため、7MHz用1/4λ垂直アンテナと、同じアンテナ・ワイヤを用いた3.5MHzの短縮垂直アンテナを検討、試作しました。SWR評価、交信テストの状況から判断して、鉄骨フレーム・グラウンドは良好なグラウンドとして機能していることが確認できました。3.5MHz

用マッチング回路の製作にあたってはコイルのQとマッチング回路の損失について検討し、Qの簡単な評価回路を製作し、いくつかのコイルのQ評価なども進めました。また、SWR調整の簡単な変形π型マッチング回路についてもその動作が確認できました。

今回試作したマッチング回路は、機能的には市販のアンテナ・チューナ、あるいはオート・アンテナ・チューナと同じですが、簡単に自作でき、特にアンテナ・インピーダンスが低いときにQの高いマッチング・コイルを自作し損失を低く抑えることができます。また、何よりも自作マッチング回路によるオン・エアという満足感があります。

今後はこれらの経験を活用し、3.5MHz短縮アンテナについてはアンテナの頂部にキャパシテイ・ハットとして水平バーを導入し、アンテナ・エレメントへのローディング・コイルの採用などによりアンテナ輻射電流をアンテナ・エレメントの上部にできるだけ多く流すような改良実験、同様な構成によるトップバンドへの展開などを図りたく検討中です。

### ■参考文献■

- (1) アンテナのチューニング技術、別冊CQ ham radio, p8, 1994年, CQ出版社。
- (2) JE3HFU 田辺謙造：7MHz用0.4λ短縮ループ・アンテナの検討、試作, CQ ham radio, 2007年4月, p.92, CQ出版社。

ham operation series 161冊で今日から使える！『ハムログ入門』好評発売中！