

難しいことをやさしく、やさしいことを面白く、面白いことを深く探求する

## 楽しい自作電子回路雑誌

# Cirq



### CONTENTS

- |                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 2 原点 理屈の混乱                 | 10 地面アンテナについての<br>一人プレーンストーミング      |
| 2 135kHzにおける地面アンテナ<br>聞き比べ | 11 地面アンテナのHFローパン<br>ドにおけるインピーダンス    |
| 3 ノイズを低減する                 | 15 136kHzを運用すJA1CNM<br>金子さんのシャック訪問記 |
| 3 地面アンテナで3.5MHzの交<br>信成功   | 18 雑記帖 どんと焼きと富士山<br>播の考察            |
| 4 地面アンテナにおける近傍<br>モードの考察   |                                     |
| 7 地面アンテナの受信実験と伝<br>播の考察    |                                     |

# 037

FEB.2010

135kHzにおける (#011)

# 地面アンテナ 聴き比べ

JA5FP 間 幸久 (c) 2010

これまで実験を重ねてきた、地面アンテナですが、この動作原理はまだはっきりしていません。しかし、実用面では着実に成果を上げてきました。

ここではJA5FP 間さんによるさまざまなレポートを御紹介します。

これまでの記録はバックナンバーを参照してください。

## 1. 実験目的

地面アンテナの実力を計ることを意図して、JA1CNM 金子さんのご協力を得て、136kHz帯の電波を逆L型

アンテナおよびフェライトアンテナと簡易比較しました。

## 2. 測定諸元

JA1CNM 送信局:10m のトップロード線付き20m 高垂直アンテナ+100W

伝播距離:1.8km

周波数:136.719kHz

日時:2010年01月03日 09:10JST

JA5FP 受信局:アンテナ

(1)間隔23mの地面アンテナ

(2)70cm長のフェライトアンテナ

(3)10m 高の逆L型アンテナ(インピーダンス整合回路付き)

受信機:TS870S CW モード フィルタ帯域幅 400kHz

評価:S メータおよび聴感

## 3. 比較データ

次表のとおり、S メータが目的信号により振れる程度に着目すると、地面アンテナが最も高性能です。(次ページに示す)

## 4. 総合評価

地面アンテナの受信特性を初めて他の代表的な

## 理屈の混乱

地面アンテナの理屈の混乱が続いています。はじめは面白半分て始めた地中通信でしたが、厚木の田園地帯での実験で490mの記録を作ったものの、40kHzのJJYの混信を受けたことからこの混乱は始まりました。

以前、HFのJJYが無くなり、40kHzにQSYするというので是非一度なまの電波を聞いてみようと思いましたが、(The F.C.Z誌285,286,289,290号)この40kHzの電波を聞くということは凄く難しいことでした。

それが、地中通信の実験では、RST599+の、邪魔な混信として入ってきたのです。「JJYがこんなに強く受かるはずは無い」ということからJJY以外の信号を疑いましたがどう考えてもJJY以外には考えられないことになりました。この辺の事情については、本誌035号の原点で述べて居ります。



その後、このアンテナの受信指向性が2つのアースの向いている方向である「軸方向」にあることが分かり、そのことを利用することによって九州のJJY(60kHz)の受信も成功しました。

その辺からこのアンテナの動作に関わる理屈について考えるようになりました。しかしそれは混迷に陥ってしまい、今日まで確定に至っていません。

本号では、JA5FPの間さんによる解明に関する論文を載せましたが、私としてはまだどこかスッキリしていません。

でも地面アンテナが新しいアンテナであることに違いはな

く、その動作の理屈に近い将来きれいな形に解明されることを期待しています。

本誌のキャッチフレーズである「難しいことをやさしく・・・」という主旨とは逆に「簡単なことを難しく・・・」になるかも知れませんが、産みの苦しみと考えると御つきあい頂きたいと思えます。

アンテナと比較してみたが、このアンテナがLF/VLF帯で優れた受信性能を示すことを確認できました。

LF ユーザの間でビバレージアンテナまたはEWEアンテナの評価が高いのですが、この動作原理につ

いて明快地解説された文献がありません。地面アンテナもこれらのアンテナと同様の動作をしていると考えられます。つまり、動作原理をウェーブ(波)アンテナに求めることができます。

今後地面アンテナの実験を行いその特徴を調べること、これらウェーブアンテナの実用性の向上に寄与できるでしょう。

2010年1月3日

受信アンテナ型式	S	N	ATT(dB)	評価
地面アンテナ	7	2-3	0	S/Nも比較的良く、感度適当
フェライトアンテナ	2	1	0	S/N良いが、やや感度不足
逆L型アンテナ	9	8	18	ATTを挿入しても強力で、低S/N

## ノイズを低減する

JA5FP 間 幸久 (c) 2010 (012)

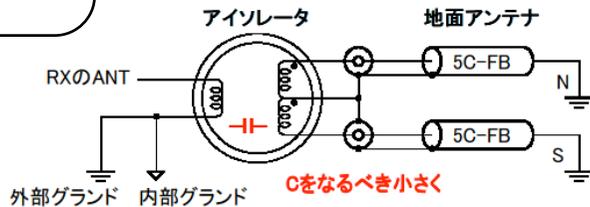
地面アンテナがいわゆる「アースアンテナ」になってしまうことへの対策をしました。

図のような差動トランスを入れると効果がありました。

現在受信機のSメータがノイズでS=3程度、信号が様々に入ってきているのが

区別できるようになりました。

1次と2次のコイル間の静電結合を少なくするために、トリファイラー巻ではなくトランス式にしました。2次側は結合を良くするためによっています。



## 地面アンテナで3.5MHzの交信に成功 (013)

JA5FP 間 幸久 (c) 2010

地面アンテナを1.8MHz、3.5MHz、7MHzの受信に使っておりますが、3.5や7では我が庭の23m長でも適当な長さですので、指向性によっては逆Lと同じ位のレベルで受信できます。

1.8や136kHzでは逆Lがレベルが高いです。

先ほど3.5MHzで送信にも使ってみました。(50W送信)

JA7000 QTHいわき市 UR/MY 599/539

JA5CHM QTH観音寺市 UR/MY 599/579

このQSO結果のように送信も動いていますね。

JA7000は「グランドアンテナ」が和文モルルスで理解できず、ついに怒り出して一方的に「73」を打って引っこめました。地上高ゼロメートル、アース2本と打ったのが、頭にきたのでしょうか。

「地面アンテナ」で人を面食らわすのも面白いです。



JA5FP 間さんの地面アンテナ、塀の角で下に下がっている先が1つのアース。

このようなアースが3本あり、相手局に合わせて組み合わせを切り替える。

ノイズの低減を測るためにフィーダーは同軸ケーブルを使っている。

# 地面アンテナにおける近傍モードの考察

(015) JA5FP 間 幸久 (c) (2010)

## 1. 地面アンテナ間通信の問題

地面アンテナを送信と受信の双方に用いるとどのような特性になるかも興味が湧きます。

筆者らが行った簡単な実験では、送信側と受信側のアースA およびアースB の配置具合により、図1の通信可否が確認されました。

図1 上でマゼンタ色で示したような送受信間アースの配置方向が一致している場合の伝播について考えます。地面アンテナが地面にダイポールアンテナを構成しているとすれば、送信側と受信側で偏

波面が一致してきますから、伝播することが常識的に理解できます。

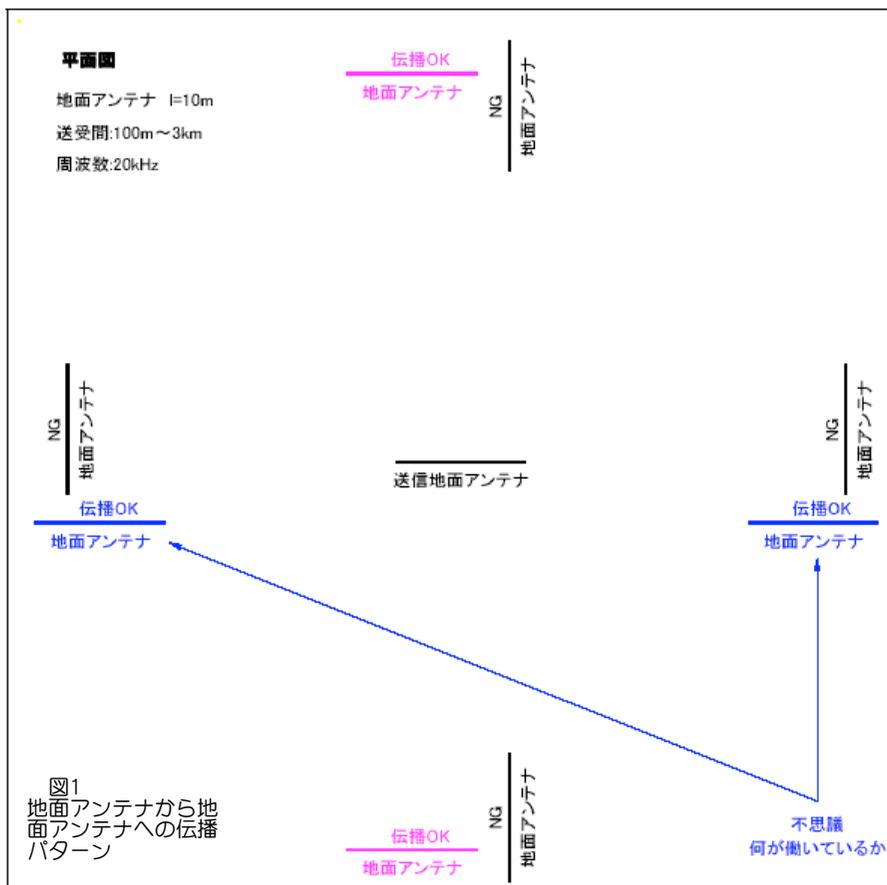
図1 上の青色で示した方向には電気力線はありませんので、伝播しないはずですが、実際に伝播しているのですから、そこには別の理由がありそうです。以下に、その伝播モードを探ります。

## 2. 微小ダイポールと短小ダイポール

地面アンテナの電気的な構成を考えます。

地面アンテナの2 極アースを、図2 のような微小ダイポールおよび短小ダイポールの並列接続と見ることができます。ここで微小ダイポールは長さを持たない仮想的なアンテナであり、短小アンテナは1=2波長ダイポールよりも短い長さの要素のダイポールアンテナを言います。

実験に使った標準地面アンテナは10m 間隔ですから、僅かに $10/15,000 = 6.7 \times 10^{-4}$ 波長の長さにしかなりません。これはまさに仮想的な微小ダイポールに近いもので、電気的振舞いも微小ダイポールに相似してくるでしょう。一方では、地面アンテナの2



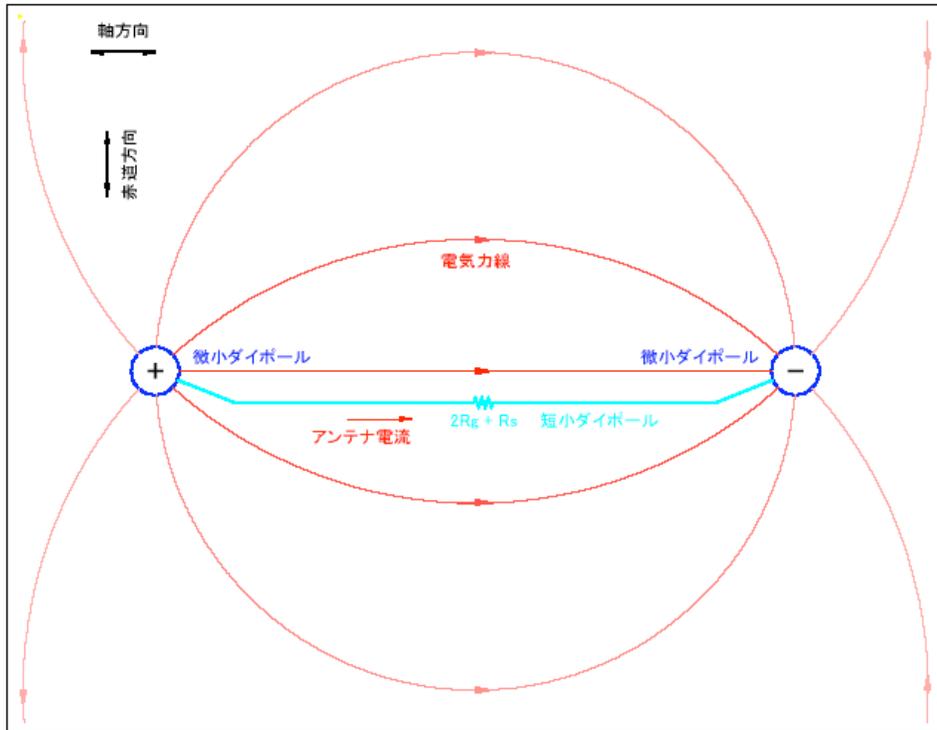


図2: 地面アンテナは微小ダイポールと短小ダイポールの並列接続

極間には各アースの接地抵抗 $R_g$ と土壤抵抗 $R_s$ がつながっていますから、これが微小ダイポールへの並列抵抗となり損失を与えることになります。しかし、その抵抗に流れる電流はアンテナ電流となってアース間にダイポールを形成することになり、電波の放射に役立ちます。その放射特性は微小ダイポールと同じ偏波面を持ちますので、両者は相補関係にあります。ただ、標準地面アンテナの間隔が $10/15,000 = 6.7 \times 10^{-4}$ 波長比である短小ダイポールなので、完全な1/2波長ダイポールと比べると放射効率が大幅に下がるでしょう。

アース間抵抗の大小は、微小ダイポールの絶縁不良として働くかそれとも短小ダイポールの電流上昇として働くかの違いを生むでしょう。なお、自由空間での微小ダイポールのインピーダンスは $377\Omega$ とされています。地面アンテナの実測値は100~500程度です。

これらを総合すると、地面アンテナは微小ダイポールと短小ダイポールの合体とみなすことができます。

### 3. 軸方向の電磁界の大きさ

地面アンテナの各アースを結ぶ方向を軸方向と呼び、それと直角方向を赤道方向と呼ぶことにします。

微小ダイポールでも短小ダイポールでも軸方向への電波放射はないのが常識ですが、実際の地面通信では3kmの距離での軸方向への伝播が確認されています。

ここで改めて、 $3\text{km} = 2 \times 10^{-4}$ であることに着目します。この通信はいわゆる近傍界での通信です。微小ダイポールや短小ダイポールで軸方向への放射がないのは遠方界での理論ですから、直ちにこれを適用してはいけません。

残念ながら、微小ダイポールの近傍界での軸方向への放射の大きさを説明した文献は見つかりませんでした。しかしながら、ダイポールからの近傍界への放射を類推できる資料があります。それは「相並んだ状態におかれた平行な空中線の相互インピーダンス」(Kraus 著谷村功訳「空中線」)です。

相互抵抗 $R_{21}$ とはエレメント2が存在することによるエレメント1の自己抵抗 $R_{11}$ に与える影響のことです。実際のエレメント1の給電点抵抗は $R_{11} - R_{21}$ で計算されます。 $R_{21} = R_{11}$ であれば二つのエレメントの結合度が最も高く、 $R_{21} = 0$ であれば全く結合していないことになります。

1=2波長ダイポールを互いに軸方向においた場合の相互抵抗を図3に示します。

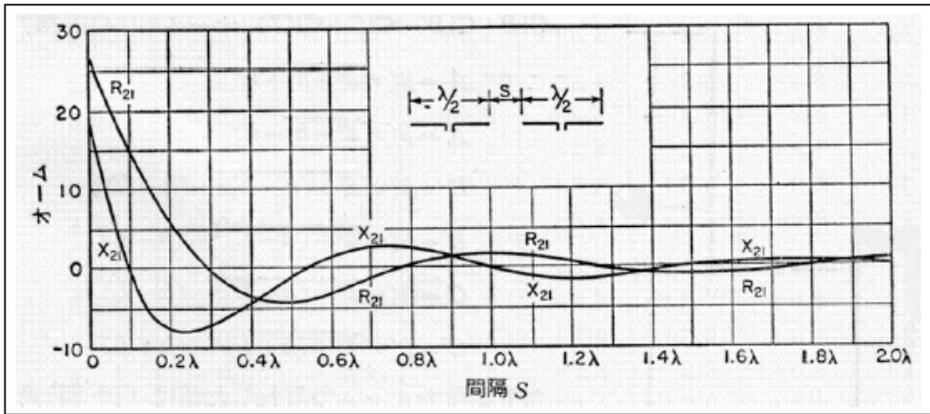


図3: 1/2 波長ダイポールとその軸方向にある1=2 波長ダイポールの相互インピーダンス — 「空中線」 p313 より複写

図3 を読みますと、間隔  $S = 0:0$  のところで  $R_{21} = 26$  から始まり、 $S = 1:0\lambda$  辺りまでは  $R_{21} > 3$  以上になっていることに気がつきます。つまり、単独では  $R_{11} = 73.13$  である給電点抵抗が、他のエレメントの影響で  $R_{11} - R_{21} < 70$  となることです。これは何を物語っているかという、両エレメント間でエネルギーの伝達があったことを示しています。

ついでに、1/2波長ダイポールを互いに赤道方向においた場合の相互インピーダンスを図4 に示します。当然ながら、 $d < 2\lambda$  の範囲では  $R_{21} > 10$  であ

り、軸方向よりももっと結合が密であることを示しています。

以上の解釈は、エレメント長が1=2 の場合でした。しかし、その場合の相互抵抗に由来する両エレメントの結合とエネルギーの伝達の理屈は、短小ダイポールにあてはめても同じ傾向を持つと考えられます。したがって、両エレメントが結合し合い、近傍界では軸方向にも電磁界が伝播することを証明しています。ただし、その強さは赤道方向よりも弱いと推定できます。

以上 2010.1.24 記

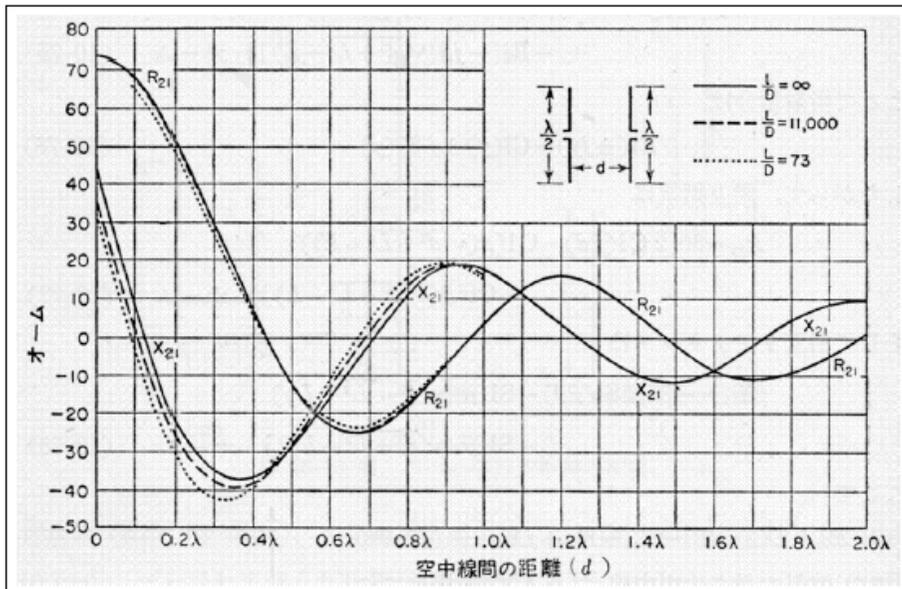


図4: 1/2 波長ダイポールとその赤道方向にある1=2 波長ダイポールの相互インピーダンス — 「空中線」 P310 より複写

# 地面アンテナ受信実験 と伝播モードの考察

(これまでのまとめ)

(016) JA5FP 間 幸久 (c) 2010

## 1. 地面アンテナの定義

地面アンテナとは、地表浅く打ち込んだ複数の接地極間に誘起する高周波信号を検出し、および信号を地表を通じて地中または空間に放射する仕組みを言います。地面アンテナは筆者らの命名です。

当面の実験および論議を、アース棒の深度を数メートル以下アース極間の距離を数十メートル以下アース極数を2 信号の周波数は1MHz 以下の条件で行います。

地面アンテナの基本的な構成を、図1 に示します。両極と受信機または送信機を接続する被覆導線は、これが空間波を直接受信しないように、地面に這わせませす。

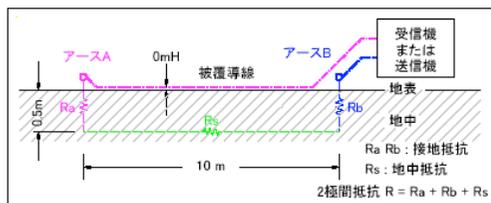


図1 地面アンテナの標準的構成

空間に置かれたダイポールアンテナとは形状が大きく異なる「スネークアンテナ」、「ビバレージアンテナまたは波アンテナ」あるいは「EWE アンテナ」が考案され、それらを受信専用とした実用例は多く報告されていますが、動作原理を十分説明した文献は見られません。

そこで筆者らは、既成概念を排して、その受信特性および伝播特性を実験によって取得し、動作原理と応用範囲を検討してきました。

本稿では、実験の中間総括を行い、さらなる実験の方向を探ります。

〈この後、前号までの記述と重複する部分、2~4を省略します。〉

これまでの結果から判る事実は次のとおりです。

1 アンテナ動作 アースA またはアースB の一方を引き抜くと受信不能になるので、地面アンテナはアンテナとして働いている。

2 指向性 図2 が示すように、電力利得が典型的な8 字特性になる。ただし、ダイポールアンテナがエレメントの直角方向に最大利得を持つのに対して、地面アンテナ受信では2 極を結ぶ方向に向く。

3 場所による利得 湿地よりも乾燥地に設置した方が数dB レベルが上昇する。

4 間隔利得 地面アンテナ間隔を3 倍(9.5dB) にすると8dB レベルが上昇した。つまり、受信レベルはほぼアース間隔に比例する。

5 周波数選択性 VLF/LF は九州などの遠距離電波でも受信できるが、MF/HF は感度が比較的良くない。

## 5. 動作原理についての検討

さてこの珍奇な受信方法の動作原理はどうなっているのでしょうか。

関心のある識者から様々な疑問や解釈が寄せられています。ある人は、地中に置かれたダイポールアンテナではないかと推論します。別の人は、ループアンテナではないかと言います。地中探知器のユーザは地面アンテナが地中電流を検出をしているのではないかと注釈します。あるいは、(ビバレージやK9AY アンテナを含む)EWE アンテナあるいは波アンテナの類だろうと推定する人もいます。

これは自然現象ですから、事実認識を基本にして理論構成をすることが大事です。

筆者は前項の地面アンテナ受信の特性から判断して各論拠を取捨選択し、次のように考えます。各位の検討とご批判、助言を望みます。

〈実と論の矛盾〉

まず受信実験報告に見られる事実と明らかに矛盾する2 説を排除します。地面アンテナが地中ダイポールであるとすると、その指向性は地面アンテナと直角方向にあるはずですが、図2 で見たとおり地面アンテナの方向に明らかに向かっていますから、ダイポール論は当たりません。地上高0m である地面アンテナではループの面積がないので実効高が極めて低くなり、ループアンテナ論も妥当ではありません。地中電流論の前提として電波が地中電流に変わる過程を説明しなければならず、また100km 以上の距離まで地中電流が現れるのも不合理で、これも論拠となりえないようです。

間の仮説 地面屈折論

空間を伝わる光は直進性を持ちますが、水などの別の媒質に当たるとその進行方向を変えます。進行方向のうち空間に向かうものを反射と呼び、別の媒質を透過するものを屈折と呼びます。電波の場合も光と同様に反射または透過をしますが、ここでは土壌への透過(進入)をとりあげます。

空中での電波の速度を $c_0$ は、  
 真空中の透磁率  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [H/m]$   
 真空中の誘電率  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} [F/m]$   
 として、次式で表されます。

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 2.997 \times 10^8 [m/s]$$

ここでは $c_0$ の概算値として、次式を用います。

$$c_0 = 3.0 \times 10^8 [m/s] \quad (1)$$

ある媒質中を電波が通過する場合の伝播速度は、比透磁率  $r$  および比誘電率 $r$  から、次式で計算されます。

$$\frac{c_0}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

物理定数表によると  $r$  は空気では1:0000004 水で0:999991 と大差ありませんから、いずれの媒質でも  $r = 1:0$  とみなします。同じく、 $\mu_r$  は空気では1:0 乾燥土壌では3:0 水では81 です。

地面アンテナが比較的乾燥している土壌に設置しているとして  $\epsilon_r = 4:0$  であると仮定します。そこで、電波の土壌中の伝播速度 $c_g$  は、次式で表されます。

$$c_g = \frac{3.0 \times 10^8}{\sqrt{4}} = 1.5 \times 10^8 [m/s] \quad (2)$$

つまり、比較的乾燥している土壌での電波伝搬は空中でのその半分程度に遅くなるのです。この事実は電波の土壌への透過(進入)を調べる上で大事な現象です。

隣り合って存在する異なる媒質の界面での波の通過には、スネルの法則が適用されます。空中から地面への入射角を  $i$ 、土壌中を電波が透過する場合の地面に対する屈折角を  $g$  とすると、次の関係式になります。

$$c_g \sin \theta_g = c_0 \sin \theta_i$$

従って  $\theta_g$  は次の通り求められます。

$$\theta_g = \sin^{-1} \frac{c_0}{c_g} \sin \theta_i \quad (3)$$

式3 から、代表的な媒質での入射角対屈折角の関係を図3に示します。

$\epsilon_r$  が大きく、従って $c_r$  が小さい水では  $\theta_g$  が大きく、乾燥地では  $\epsilon_r$  が小さいので  $\theta_g$  が小さくなります。

さてここで、LF/VLF 電波が垂直偏波であることとし、それが空中にある場合と地中に進入した時の状態を図4に示します。ここで、電波が反射または屈折によって電界のベクトルが変わるか否かが問題になりますが、垂直偏波の場合は入射波のベクトルをそのまま維持し、水平偏波の場合の反射波に限って逆極性になります(戸田盛和訳「ファインマン物理学」pp190-195)。つまり、地中に屈折した電波は依

然として垂直偏波であり、単に電波の進行方向が傾いただけとなります。

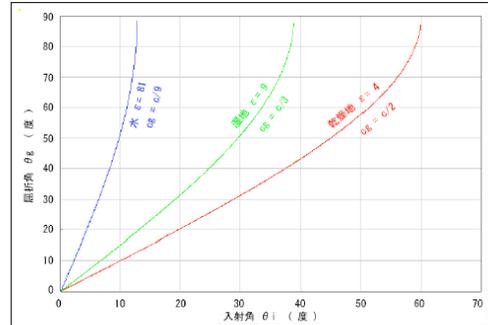


図3: 水や土壌へ電波の透過(進入)した場合の屈折角度

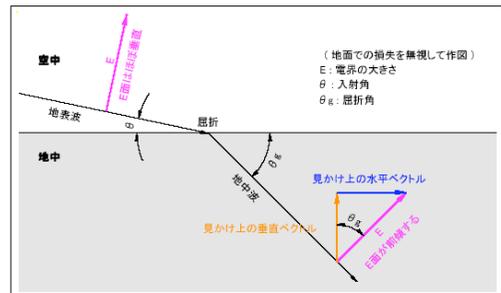


図4: 土壌への電波の屈折進入(偏波面の前方への傾斜)

進行方向が傾いた電波を地面アンテナ側から見ると、見かけ上の水平成分が生じたこととなります。電界強度 $E$  が損失無く地中を伝播するとし屈折角  $g$  ならば、地面アンテナが置かれている水平方向への電界強度 $E_h$  は次式になります。

$$E_h = E \sin g \quad (4)$$

要するに、空気中と土壌中での誘電率(電波の伝播速度でも同様)の違いにより電波の進行方向が屈折し、これに伴って電波の見かけ上の偏波面が前傾するのです。(電波自体は土壌中にあっても、その進行方向と電界の方向と磁界の方向はすべて直交しています。)

水平偏波の電波の場合は、電波の進行方向が屈折されたとしても電界の軸が回転するだけで電界の向きは変わりませんから、電波の進行方向には水平成分が生じません。また、水平偏波の電波は地中での減衰が大きく、直ぐに消滅します。

次に、地中波になった電波が地面アンテナで検出される状況を説明します。図5に示したように、各

アースはあたかも微小ダイポールの双電極のようにその周辺の土壌における電位を検出するものとしませす。

空中における電波の波長  $\lambda_0$ 、その地中における波長  $\lambda_g$  は、電波の周波数  $f$  として次式で定義します。

$$\lambda_0 = \frac{c_0}{f} \quad \lambda_g = \frac{c_g}{f}$$

また地中での電界強度は地面における屈折による損失がないものと仮定して、 $E$  であると置きます。

アースA 点とアースB 点間の電極間距離  $l$  での電位差は次式で表され、これが地面アンテナの感度係数  $g_g$  となります。

$$e_a - e_b = \frac{2\pi l \sin \theta_g}{\lambda_g \cos \theta_g} = \frac{2\pi l}{\lambda_g} \tan \theta_g$$

なお、 $l$  の電波到来方向からの見かけ上の距離は方向角  $d$  の関数  $\cos d$  です。これが地面アンテナが8

字指向性を持つことを表しています。総合的な地面アンテナの感度係数  $g_t$  は、次式になります。

$$g_t = l \cos \theta_d \frac{2\pi l}{\lambda_g} \tan \theta_g \quad (5)$$

以上の解析によって、地面アンテナが受信できるのは垂直偏波である地表波の地中への進入電波の内の水平ベクトル成分  $e_h$  です。

## 6. 地面アンテナ間通信の問題

地面アンテナを送信と受信の双方に用いるとどのような特性になるかも興味が沸きます。

筆者らが行った簡単な実験では、送信側と受信側のアースA およびアースB の配置具合により、図6の通信可否が確認されました。(図6は「p.4 図1: 地面アンテナから地面アンテナへの伝播パターン」と同じ図面のため省略)

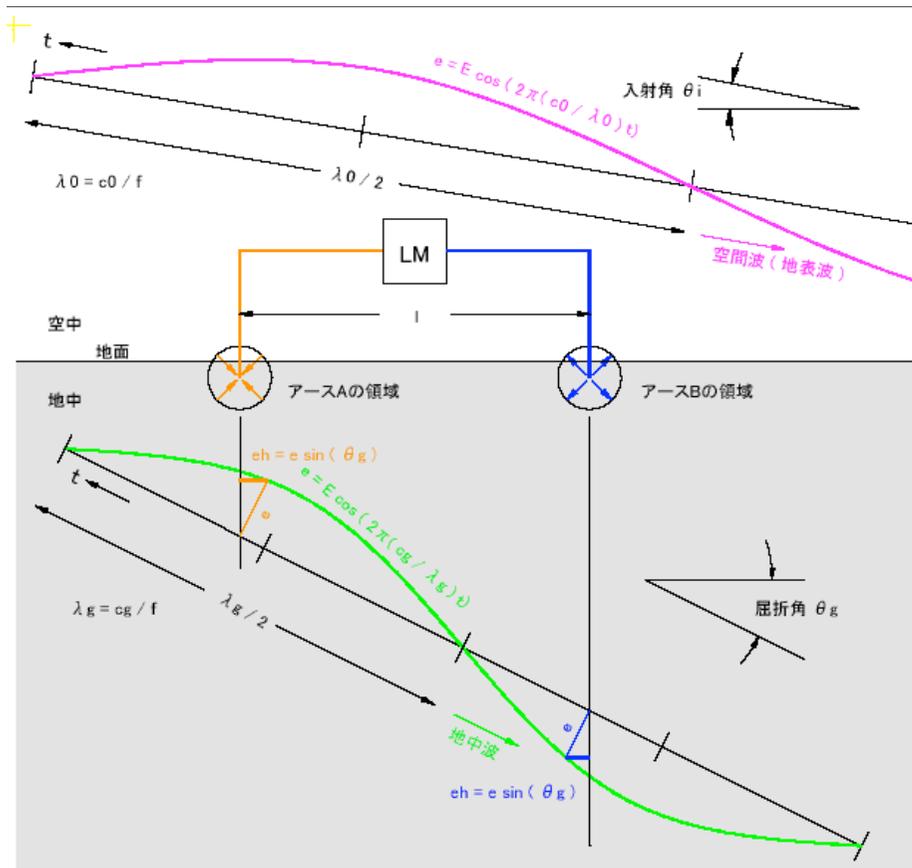


図5

地面アンテナによる水平成分の検知

図6 上でマゼンタ色で示したような送受信間でアースの配置方向が一致している場合の伝播について考えます。地面アンテナが地面にダイポールアンテナを構成しているとして、送信側と受信側で電気力線の方向と偏波面が一致してきますから、伝播することが常識的に理解できます。

しかし、図6 上の青色で示した方向には電気力線はありませんので、実際に伝播しているのは別の理由がありそうです。

仮にこの地面通信が電波伝搬ではなく誘導通信であるとすると、誘導界に置かれたエレメントにも誘導電界および誘導磁界が発生しますから、伝播が可能であることとなります。送受信間でアース方向が一致していれば、平面方向については無指向性であることとなります。

この特性と伝播距離が(空中で15km、地中で7km 程度と想定される) 波長にくらべて十分小さいことから、誘導現象が原因である可能性が大きいです。

更に必要な実験を行い、この原理を解明したいと考えます。

## 7.LF/VLF 帯の受信アンテナ等への可能性

LF 帯用低雑音・高利得アンテナとして実用化できそうです。

40kHz または60kHz JJY 受信、潜水艦等での海中通信、136kHz 帯アマチュア無線などの他に、短距離の地面通信に適しているでしょう。

以上 2010.2.04 記

## 地面アンテナについての 一人ブレストーミング

JH1FCZ 大久保 忠 (017)

地面アンテナに関するこれまでの実験で、このアンテナがどのようにして働いているかという疑問は解消すること無く、むしろ実験をやる度に大きくなって来ました。そこで今回は初心に還ってその動作について考えてみることにしてみました。

この原稿はこの地面アンテナについて私なりに考えた、いわば一人で行ったブレストーミングの議事録です。

ここに記されているものは、あくまでも私の頭の中を吹き荒れていた思考の軌跡です。 そのつもりで読んでください。

### 今までに分かったこと

それでは今まで分かったことを整理してみることになります。(括弧内の数字は地中通信と地面アンテナに関するレポートの整理番号です)

(1) 地面に打こんだ2つのアースからJJY等のVLFの電波を受信することが出来た。このことは電波が何らかの理由により、地面に潜り込んだと云える。(001,002,003)

(2) これはかなりS/Nも良<136kHzの実験でも実用化の見込み大である。(011)

(3) JJY等の垂直偏波の信号を受信する場合、その指向性は電波の到来方向(軸方向)を最高とする8の字特性を示した。しかし、このアンテナを送・受信するのに使う場合は(8)を考慮すること。(004)

(4) この2点のアースの延長方向に感度が高いということは電波におけるダイポール等ではあり得ないことである。(007)

(5) 2極のアース間抵抗は比較的高い方が受信感度が高かった。(004)

(6) VLFの受信では、2つのアース間の距離は長い方が感度が高く、受信レベルは大体、アース間の距離に比例した。

(7) 2極のアース間で受信する信号のレベルは当初、「地中を走る電気信号の2極間の位相差から発生する(\*後述)と考えたが実験の結果否定された。(009,010) なお、036号p.11(009)の「位操作」は「位相差」の誤りです。訂正してください)

(8) このアンテナを送受信に使った場合、送信アンテナの2つの極の延長方向に3km(20kHz 0.01波長)と、直角方向(赤道方向)にも信号は伝搬した(150mまでは確認、それ以上は未確認)。

(9) 上記の場合、どちらも受信アンテナは送信アンテナの向いている方向を向いていた。つまり、電波の場合の垂直偏波と水平偏波の関係に似ていて、直線偏波と直角偏波とも云える。

\*注 まずここでは当初考えた、地面アンテナがどうして信号(この場合はJJY等の電波)を検出することが出来るかという疑問に付いてどう考えたかを述べておく。ことわっておくがこれはそのときに考えたことであって最終的な結論ではない。

実験者の間では電波が地面に接する段階で地表付近に電界が発生することについてはこのときすでに共通の認識がされていた。問題は「その電界がどのようなプロセスで地面アンテナの2つのアースの間に生じるか?」ということであった。

その段階で私はこう考えた。

電波は地表付近を丁度進行波のように走って行く。当然のこととして、その進行波には先端部とそれに続く部分がある。そして電波は地面に取り込まれて行く。

その先行部とそれに続く部分では位相に差があることになる。地面アンテナの2つの電極はこの位相差を検出しているのではないかと考えた。

また、2極の距離を離すと受信レベルが向上することも両者間の位相差が大きくなることから妥当であると考えた。

当然のことではあるが、2極の出力に間の位相差は180°より大幅に小さいものであると考える。

この考え方が真実であるなら、電波の進行方向から見て後方の電極からの出力を何らかの方法で遅くしてやれば両極間の位相差が大きくなり、出力がおおきくなるものと考え、(009)の実験を行った。(このことを考えるとき頭の中で、時間の経過と位相の間で混乱が起き易いので落ち着いて考えて欲しい)

同じ考えで、アースを1点として、そこからの出力の一つはそのまま、もう一つは同じ所から時間差を設けて取り出せば、それら2つの出力の間に位相差が生じて信号を取り出すことが出来るのではないかと考えた。

しかし、このどちらも信号の増加、検出ともできなかった。つまりこの仮説は否定された。これが今まで分かったことの(7)である。

\*\*\*\*\*

\*注は、以上であるが、一方でいままで分からなかったことを上げてみると・・・

(1) なぜ送信アンテナの延長方向に信号が伝搬したかということ。(これが一番の疑問点)

(2) 2つのアースの間の位相差から信号が検出されたのではないということ(それでは原因は?)

(3) 2つのアース間抵抗が高い方が受信感度が高かった(これには限度があると思われるが・・・)

この3点の説明が可能になればこのアンテナの解明にかなりの進展が考えられます。この点に付いて考察することにした。

まず地面アンテナは3つの顔を持っていると考える。

(1) 垂直偏波の電波を受ける (直角方向では水平偏波の信号も受けることが出来ると考えている)

(2) 地中通信の信号を放射する

(3) 地中通信の信号を受ける

私はこの3つの顔は同じ屈屈で成り立つはずだと思っていて、地面アンテナの動作説明はこの3つの顔を満足するものでなければならぬという気がしていた。

そこで、2対の地面アンテナを送信用、受信用として一線上にならべた場合に送受信が成り立つという理由について考えてみた。

電波の場合のダイポールとこの地面アンテナを比較してみよう。

まず電波の場合は媒体が空気である。空気は不良導体である。

一方地面は良導体ではないが一応導体である(半導体)。

地面アンテナは信号の波長に対して、地面に設置された2極間の距離は非常に短縮された短小ダイポールのように見える。

ダイポールアンテナは共振型アンテナであるが、短小ダイポールは非共振型アンテナである。

共振型アンテナのダイポールの電流が多く流れる部分はエレメントの中央部であり先端部では電圧は高いものの電流はそれほど多くは流れない。

このことはダイポールは給電点のインピーダンスは低い、共振時における先端部のインピーダンスは高いことを意味している。

一方の地面アンテナは非共振型アンテナである。

地面アンテナの両極のインピーダンスは比較的高かった。

つまり地面アンテナに関しては給電インピーダンスと、アンテナのインピーダンスが最高になる場所のインピーダンスは同じである。

ダイポールと地面アンテナの比較をする場合はインピーダンスの高い部分、すなわちダイポールの先端部と地面アンテナの両極間の電圧の動向を比べるのが良いと思われる。

地面アンテナで発生する「2つのアースの延長線上に信号が伝搬するという現象は電波においては起きることは無い。

これがこのアンテナの最大の謎の部分である。この謎を解明することで地面アンテナの動作原理がたしかなものになるであろう。

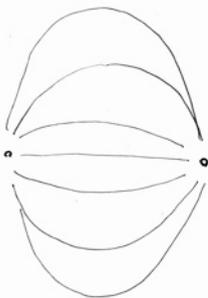
いろいろ考えてみるが、電波において起こらないと思われることが地面アンテナでは起きている。

このことは電波におけるダイポールと地面アンテナを単純な意味で比較することは適切でないと思われる。

地面アンテナで流れる電流(あるいは電気力線と考えても良い)を立体的に考えてみる必要があるようだ。最近流行の3Dである。

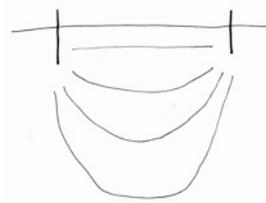
地面アンテナでは2つのアースの間での電流の流れ方はどうなっているのだろうか?  
(あるいは電気力線はどう発生するのだろうか?)

地面アンテナを上から見ればその電流分布は第1図のようになるだろう。



そして断面から見たら、多分第2図のようになるだろう。この場合、果たしてその影響は地面の奥、どのくらい深さまで届くのだろうか。

JE10YV 遠山さんによれば地中探査の場合、アース間距離を20mから30mにしたとき、地下200m程度の探査が可能であるとのことだ。この数字は地下かなり深いことを意味している。



つまり信号は飛ばないのではないだろうか。(実証する必要がある)

その磁力線が信号の周波数によって変化すれば電磁波の発生になるはずだ。

やっぱり地中通信の場合も電磁波は発生しているのか?

JE10YV 遠山さんから示唆されたことに、1970年CQ出版発行の「アンテナハンドブック」p.163にあるVE7BSによって書かれた「水中伝搬のヒント」の中で、ダイポールのように2つの電極を持つアンテナを水の中に沈めた場合、今回の地面アンテナと同じ

ある程度深くまでその影響が届くとしたら、電極の付近では電流の束はほぼ上下になるのではないかなと思われる。

と、すれば、そこから発生する磁力線は第1図の電気力線を磁力線に換えた様な感じになるはずである。

もし二つのアースが独立して地中深くに存在すると電流は電極の下部だけでなく、上部から逆方向にも流れることになり、磁力線の発生はキャンセルされる。

### 水中伝搬のヒント

VE7BS

ここに述べる Hydronics、つまり水中伝搬について聞いたことのない人もいますので、その概要について説明しましょう。

あるアンテナを2個、数mくらい離して水中に沈めた場合、片方のアンテナからAM信号を送信し、他方で受信できることはすでに知られています。ところがこのアンテナを水面に近づけた場合、信号は強くなりますが、水面上に出るとほとんど受信できなくなっています。

実験に使う代表的なアンテナは、両端に平らな板を接続した短いダイポールのようなもので、両極板は絶縁物で支え、同様に絶縁されたバランス形フィードで給電します。極板が大きいほど、その間隔が広いほど放射は強くなります。

水中においてこのアンテナを使うと、一直線上に並べたとき信号が最大になり、水上に引き上げると普通のダイポールのように向き合った位置で信号が最大になるといわれます。水平偏波は水面の短絡効果によりすぐ減衰してしまいますが、垂直偏波は減衰することなく放射されるからです。

ある実験によると6kHzの電波は100mの水深の中で250dBもの減衰をうけるといわれ、これは10<sup>-4</sup>Wの感度を持った受信機を使用しても、10<sup>4</sup>Wの送信電力が必要になるわけです。

水中における伝播経路は光線の屈折現象とほとんど同じで、水中より水面への入射角がある値(臨界角)をこえると全反射され、その臨界角では光線と同じように水面にそって進むとされます。

いずれにしてもこの方面での実験は少ないようです。

163

第1・297図 水中アンテナの概念図

ようにそのアンテナの電極の向いている方向に信号が伝搬することが書かれている。

また、「このアンテナを水面上に近づけた場合、信号は強くなりますが海面上にでるとほとんど受信出来なくなっています」があり、さらに「水上に上げた場合、普通のダイポールのように向き合った位置で信号が最大になる」ことが書かれている。

先に述べたように、空気は「不良導体」であり、地面は「半導体」、そして水中は「導体」と考えると、地面アンテナは空気中と水中の中間的な存在と云える。

そのため、直線方向と直角方向に信号の伝搬があると考えることができる。

話は2極のアース間抵抗の問題に移る。

地面アンテナの場合、2極間抵抗の値がある程度高い方が能率が良いという結果を見た。このことは「アースの抵抗は低い程よい」と云う電波における常識がここでは揺らいでいる。

2極間抵抗の高低はどのような条件でおこるか？  
地面が水分を多く含むとき、2極間抵抗が低くなることが予想される。

その場合、地表面の比抵抗値と地中深くの比抵抗値の割合にそれほど大きな差が無くなり、その結果、2極間を流れる電流は地中深くよりも2極間の距離の短い地表面に集中することになるだろう。

極端な場合、アース抵抗が極端に低ければ電流は地表面だけに電極間を直線的に流れる。そしてこの場合には磁力線は2極間を軸としてその直角方向に発生して直線方向には何も発生しない。つまり信号の伝搬は無いことになる。

「エーッ？」  
これでは水中で直線方向にのみ信号が伝搬するという話と矛盾してしまい、正反対の話だ。  
どうしよう？

今までの話と反対に2極間のアース抵抗が高い場合はどうだろう。  
この場合、地表付近の比抵抗値と地面深くの比抵抗値を比べた場合、地中深くの非抵抗値の方が低いと考えるのが妥当と思われる。

と、すればこの場合2極間に流れる電流は地表よりは地面の奥深くを多く流れることが考えられる。

地面アンテナに同じ電力を供給した場合、2極のアース間抵抗が高ければ電極間電圧は高くなるので信号は遠くへ届く。又、低ければ電圧は低くなるが電流は大きくなり、磁力線が強く発生して信号は遠くへ届く。

このことは供給する電力が同じであるのに何か矛盾している。実際にはどうなるか？、どのような伝搬が起こるか興味のある所である。

もしかするとこの矛盾に見えることは空気中と水中の伝搬の中間的な伝搬によって、2つのモードが同時に起きていることによるものかもしれない。

こう考えることはできないだろうか？

2極間抵抗が低い場合は、電流は地表付近に多く流れ、その結果信号は赤道方向に強く伝搬する。一方2極間抵抗が高い場合の電流は地面の深くに多く流れ、電極付近の電流束は上下の方向となり、その結果磁力線は軸方向に広がって行くと考えてみるのだ。

しかし、2極のアース間抵抗の値が高いときと低いときで伝搬する信号の強さが、直線方向と直角方向でどう変化するかということに関するデータは現在無い。

近いうちにこれらのデータを取る必要があると考えられる。しかも先に述べた水中通信の話とも矛盾する。まだまだ実験をやらないと分からないことばかりだ。

ここまでの考え方で、信号の伝播が磁力線の主体とするものとなってきた。

ここまで送信に関することを書いたが次に受信に関することを記す。

原則的には、受信も送信の場合と同じに考えるべきだと思う。

垂直偏波の電磁波は地表部で地中に存在する架空のエレメント(送信の場合存在した電流束の通る場)を横切ることにより電極に電圧を発生させる。  
このとき、反対側の電極には反対位相の電圧が発生する。この位相差は180°である。

したがって2つの電極の間に180°以外の位相差を検出しようとしたが失敗に終わったことが証明される。

ここで今回のブレーストローミングはとりあえず一段落したかに思ったのですが、思わぬ追い風がありました。それは間さん経由で聞いた次の様な話です。

JA7NI富樫さん(現在のJAにおける 136kHzのDX保持者)からの、「ビバレージでは終端アース又はオープンするとき指向性が両方向になります。大地が悪いほうが、ビバの性能が上がり、良い大地では使い物になりません。」という情報と、

後藤尚久先生(電波伝播関する権威者)からの、「被覆導体線の両端のアース棒および2本のアース棒間の伝導性をもつ地面で構成するループです。ループの大きさが波長に比較して非常に小さいときは直流と同じですから、ループの面に垂直な小さい棒磁石と同じ磁界を作ります。」 -中略- 「以上の磁力線はループからの距離の3乗で減少する磁界によるものです。遠方界による磁界は距離の1乗で減少するもので、これが8の字の指向性になります。3乗で減少する磁界は遠方では減衰してゼロになります。」

これらの情報から、ビバレージアンテナで「終端をアースすれば指向性が両方向になる」というのはまさに地面アンテナと同じですね。

後藤先生の「ループの大きさが波長に比較して非常に小さいときは直流と同じですから・・・」というのはまさに目から鱗でした。それまでなんとなく一つのループアンテナを意識してきましたが、私が考えていたVLFのループの大きさは漠然と全長1波長という大きなものになっていて、何となくすっきりしなかったのですが、なるほど1波長が15,000mというものと考えれば、10mという長さはそのごく一部で、直流と同じなんだということを感じさせていただきました。

このように割りきつて考えると今回のブレーストローミングで考えてきたことはそんなに間違っていないのではないかと思えてくるのでした。

以上、これまでの実験の結果に付いてまとめてみますが、まだ結論にはほど遠い様な気がしています。今後不明な部分を埋める実験を沢山重ねる必要があるだろうと考えています。

## 地面アンテナのHFローバンドにおけるインピーダンス (014)

我が家に設置している地面アンテナ3面のシャックでのインピーダンスを測ってみました。

偶然ですが、この間隔で1.8MHzや3.5MHzにおいて

50~100Ωになっていますので、インピーダンス変換なしでTRXから直接給電できます。

7MHz以上では1/4波長以上になるので、インピーダンスが高止まり(100Ω以上)です。

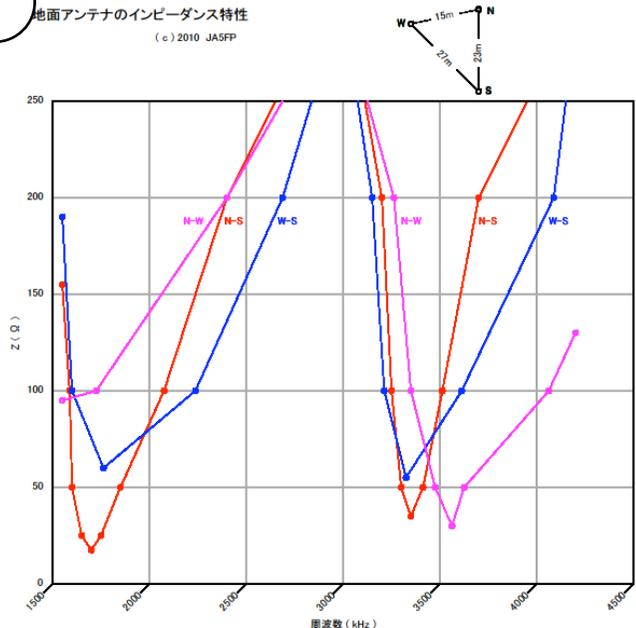
これが、1.8MHzや3.5MHzでのアンテナとして使えることが分かりました。打ち上げ角は不明です。(シミュレータがこのタイプに対応していないので、予測もできません。)

設置状況を再度書きますと、

- (1) 3点のアースはアース棒0.4m程度のもの
- (2) アースからシャックまでの引き込みは、5C-FB同軸ケーブルの芯線

- (3) 同軸の外皮はアースのところで芯線(つまりアース)と接続
- (4) トランシーバ側は2線の差動をとる(アースアンテナとならないようにする。)

地面アンテナのインピーダンス特性  
(c) 2010 JASFP



# 136kHzを運用する JA1CNM 金子さん の シャック訪問記

136kHzがアマチュアバンドとして開放されて約半年経ちました。その間先駆的なOM達が新しくリグを作りオンエアを始めました。

今回はそんな活動をしているJA1CNM金子さんのシャックにJA5FP間さんと御邪魔しました。

まずは金子さんお顔です。



彼のシャックはJR総武線四街道駅の南約1kmの所にあり、その近所まで行ったところ、高さ27mの鉄塔がランドマークになっていて、まずその豪快さにびっくりしました。

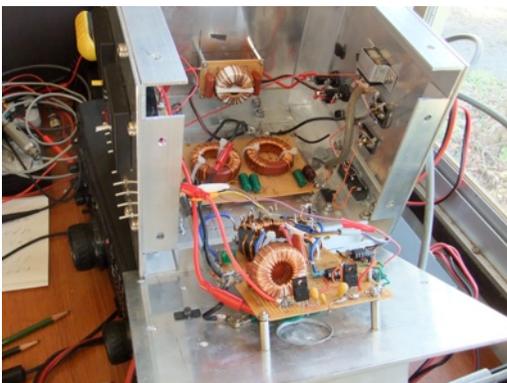
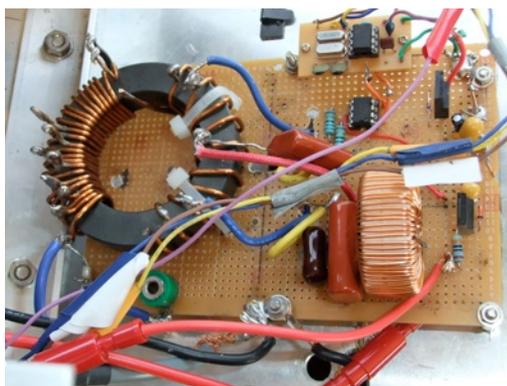


前置きはそのくらいにして早速、136kHz関係のリグについて見せてもらいました。その状況を写真を中心にして紹介したいと思います。

まず、送信機の全景です。100Wの機械というのでもっとゴツイ感じのものかと思っていましたが以外にコンパクトに出来ていました。

送信機の構成はJA5FP間さんの開発されたピックによるゼネレータ(下の写真の右上の基板、水晶が2個見える)によって136kHzの2波を発生させ、FET 2個で増幅するという至って簡単な構造です。

なお、この送信機の製作にあたってはJA5FPの協力が大きかったと金子さんは云って居られました。



設計時には相当の発熱を予想して大きな放熱器を付けましたが、実際にはほとんど発熱は無く、極端なことを言えばケースによる放熱でも間にあいそうだとのことでした。

出力100Wということで大きな部品もありました。コイル類です。これは後からも紹介しますが、送信機内部だけでなくアンテナのまわりでも大きなコイルが要求されているようでした。

電源は14Vで、電流は10Aでしたから電源効率是非常に良いものになっているようです。この出力を真空管で取り出そうとするとヒーターの電力だけでも相当なものになるでしょう。まさにD級アンプの威力だと思います。



受信機はYAESUのFT-920をお使いになって居ります。



さて、こうして作られた信号はどんなアンテナで送り出されるのでしょうか？ シャックの外へ出てみましょう。



アンテナのカップラ(下)とローディングコイル(上)です。

アンテナは傘型アンテナで、鉄塔のほぼ頂上付近まで持ち上げられ、そこでハット部に2つに分けられます。



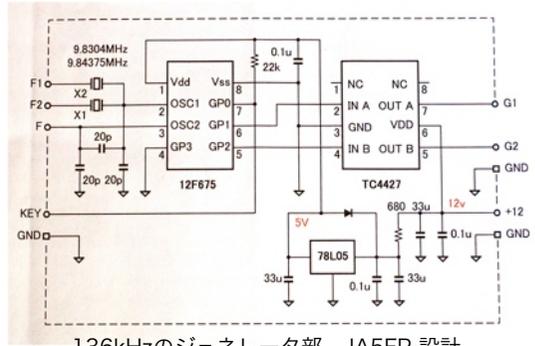
金子さんの運用記録の多くは、JH1GVY森岡さんとの交信によって作られて居ります。現在の記録は、1月24日、森岡さんが福島県双葉郡広野町に移動されたとき交信されたもので、信号強度は579(JH1GVY339)でした。その距離約200kmです。



金子さんはDXの記録を是非1000km(四街道から北海道、九州)までは伸ばしたいと云って居られました。



そのため、今使っているローディングコイルを移動用にして、固定用としては新しいコイルを作るべく、現在プラスチック製の漬け物樽を用意していました。



136kHzのジェネレータ部 JA5FP 設計

いつも小さなパワーの送信機ばかり作っている私にとってはびっくりする様なことの連続でしたがパイオニアスピリットを大いに感じた訪問でした。

100W class D 1/2 ページ

## A 100 Watt 13.8 Volt Amplifier for LF

David Bowman - June 99

This Class D switching amplifier was designed to enable anyone with an interest in LF to get onto the band quickly and without the need to invest in a separate higher voltage power supply.

The circuit is very simple and can be built in a couple of hours "dead bug style" on a small piece of copper clad board. The circuit operates in class D and has an onboard divide by two stage. Therefore the input to the circuit from a VFO or other signal source should be at twice the required output frequency. Suitable drivers could be a LC based VFO, A single crystal for fixed frequency operation, a VXO mixed to give 272kHz out, or a source based on a synthesiser or DDS.

As the input stage is a CMOS 4013 dual D-type flip flop, the input signal can be at logic levels or at a minimum of 4 Volts peak to peak

### CIRCUIT DIAGRAM

**Notes:**

The TC4426 is a dual inverting MOSFET gate driver. Only half of the 4013 is used.  
 D1 and D2 are MBR150, or equivalent, Schottky diodes  
 T1 = 8 bifilar turns 1mm dia on 25mm 3C85 ferrite core  
 T2 = Primary 6 t 1mm. Secondary 21 t @ 8mm on 40mm dia 3C85 ferrite (Phillips)  
 C1 / C3 - 10n and 2.2n polypropylene in parallel  
 C2 22n and 4n7 polypropylene in parallel  
 L1 64t 0.8mm on T-157-2. L2. As L1, or same inductance on T-130-2 core

Misc. The decoupling capacitor shown nr T1 is 470nF. Not shown for clarity are a 10uF which decouples the supply pin of the 4013 and a 220nF at the supply pin of the 4426.

⇐ 136kHz送信部の回路

### 表紙の言葉

岩富のどんと焼きの雰囲気  
を描きました。

最近どんと焼きの風習がなくなりつつありますが、正月のお飾りを「燃えるゴミ」として出してしまふのはなんとしても味気ないものです。幸い佐倉にはまだどんと焼きの習慣の残っている所がありました。長くこの文化を残したいものです。

雑誌帖欄にこの参加記を記載しました。

### 今月のギャラリー

今月はJH1FCZの  
「カミキリムシ」  
です。

<http://kazenonakama.net/>  
から御覧下さい。



## どんど焼きと富士山

1/14、岩富(川村美術館のそば)のどんど焼きがあるというので朝の7時半に出掛けようと思ったら車のフロントガラスが凍っていました。

やかんの水を一杯撒いてどうやら氷が融けたというので出発。ところがワイパーをかけたとたん全面で凍り付いてしまいました。

そこで今度はお風呂の残り湯をかけて何とかフロントが透明になったので改めて出発。

暫く走っているうちにフロントが波を打ったように歪んできました。ガラスが波状に凍り始めたのです。段々と視界が怪しくなってきました。仕方なくガソリンスタンドに入りフロントを太陽に向けて駐車しました。

ソーラーエネルギーは大したものです。ほんの少しの時間で窓もきれいになったのでついでにガソリンを入れて3度目の出発です。

長野にはスキーで何回も出掛けていましたがこんなに冷えたのは初めてです。このときの気温は-5℃でした。

ようやく会場に着きましたが人は誰もでていません。私は、夜ではないかといったのですがXYLが朝だ、というので出てきたのですが、近所の人に聞くとやっぱり夕方6時だそうです。

家に帰ってきて、「そうだと富士山を見に行こう」ということになり、城址公園にいった富士山を見ました。かすんでいて良くは分からなかったですが、雪をまとった富士山が雲に巻かれていた感じでした。佐倉でも富士山が見えるのです。

その夜、再びどんど焼きに行きました。

国道51号線のQVCの配送センターの所を左に折れ、一寸分かりにくだですが、佐倉第3工業団地に向

う道を左に折れ、暫くいくと右側に小さく佐倉市の運動場の看板のある所で右に入ります。そこは1車線の狭い農道です。

突き当たりが野球場になっています。その北側が岩富のどんど焼きの会場です。

会場に着いたとき、丁度火が付けられた所でした。

やぐら状に10m以上に竹を組み(すごく高い)、その中にすすきを山と積んだ中に火をつけるのです。

すごい早さで火がやぐらのてっぺんまで登りました。その火の勢はものすごく、炎は20m、火の粉はおそらく50m以上まで上がったでしょう。

新月で真っ暗な空に燃え上がる炎と、さらにその上に上がる火の粉は壮大なものでした。時々爆発する様に竹の割れる音も原始の響きです。

かなりこの状態がつづいた後、空高くそびえていた竹が燃え尽きますが、下に積んだすすきの山がすごい勢いで燃えています。役員の方が長い竹の棒を使ってすすきの山を崩しながらよく燃えるように風を通します。

気がついてみるとまわりで見ていた人達が手に手に5m位ある細い篠竹を立てて火を見守っていました。さらによく見るとその竹の先には丸いお餅が3つとか5つとかついていました。

やがて火が落ち着いてくると人々はその竹を火にかざして、お餅を焼き始めたのです。

当然、私達は竹の棒もお餅も持つてはいませんでした。

ところが、その地区のおばさんが「お餅、持ってきていないの?」と声をかけてきてから、「二人だったら3つでいいよね」と云って竹の棒の先にお餅が3つ付いたものを分けてくれました。

私達もそのお餅を火にかざしたのち、砂糖醤油まで付けさせてもらって頂きました。美味しかったです。

お餅をくださった家の子供がお母さんに「この人どこのひと?」と聞いたのに、

「御近所様よ」と答えたのですが、その子供も「ご近所さまかー」と納得していたのはうれしかったです。

どんど焼きはまだまだ続いていましたが私達はこの辺で失礼しました。

家に帰った後、あの火が燃え上がる光景を絵にしてみたいと考えましたが、それには100号位のキャンパスが必要になり、私の技量ではどうにもならない大きさだと思いました。気持ちだけ表紙の絵を描きました。

これで今年も風邪を引かないで過ごすことが出来そうです。

佐倉は良い所ですね。

CirQ (サーク) 037号

購読無料 2010年2月15日発行

発行者 JH1FCZ 大久保 忠 285-0016 千葉県佐倉市宮小路町56-12 TEL:043-309-5738