マイクロウエーブ　プログレス　レポート　２０１６

目次

２０１６マイクロウエーブミーティング
2016 All Japan Microwave Meeting

２０１６年１１月２０日
於　全国家電会館　５階　講堂

後援
一般社団法人　日本アマチュア無線連盟

協賛（五十音順）
アンテナテクノロジー株式会社
神奈川マイクロウエーブ
株式会社コスモウェーブ
斉藤電気商会
ＣＱ出版
セブロン電子
三協特殊無線
ＴＳＳ
JE7XCJ☆しまくら
横浜ナイトウエーブラジオHC

２０１６マイクロウエーブミーティング開催委員会
http://www.microwavemeeting.org/
ＪＧ１ＴＦＦ　坂巻　亨
ＪＦ１ＷＫＸ　勝間伸雄
ＪＡ６ＸＫＱ　武安義幸
ＪＡ１ＣＵＹ　菱木　豊
ＪＦ１ＸＰＦ　三浦哲郎
ＪＮ１ＱＫＵ　宮原良一
ＪＳ１ＧＯＲ　木村正勝
ＪＲ１ＤＩＩ　野口和義
ＪＡ８ＧＹ　川村和男

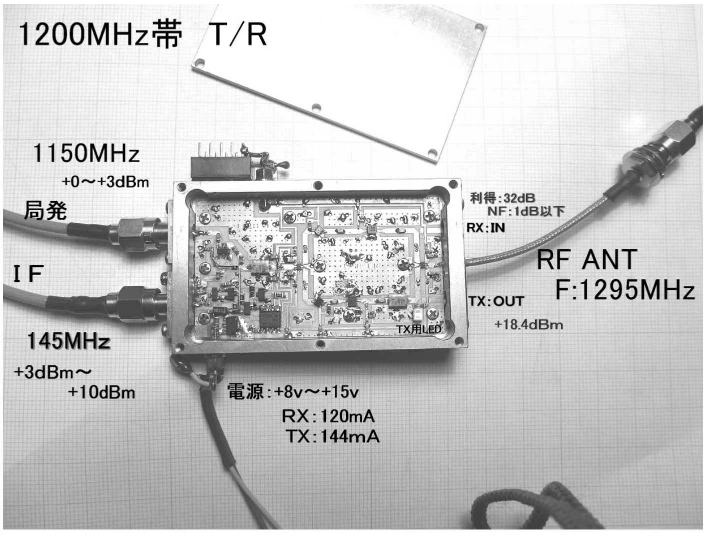
1200MHz帯トランスバーター試作機 50mWタイプ （局発(VCO-PLL)付）

JA0DFR　2016 年 9 月 30 日

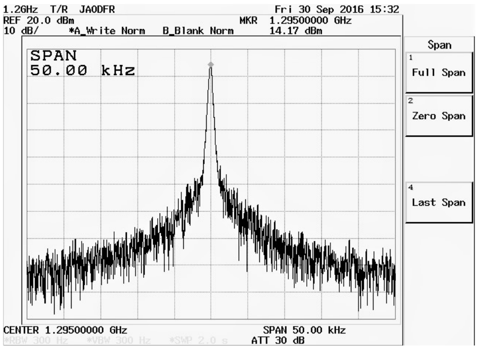
1200MHz帯 T/R の実験機、移動機としてトランスバーターを試作しました。構成は送受兼用Mixを使い、RF スイッチで送受切り替えを行いました。送受のアンプは、入手しやすい単電源の MMIC を使い、出力センターにケーブル付き SMA コネクターで ANT 出力としました。又 パワーアンプ・プリアンプ用を追加する為に、各単独に取り出せるよう 送信・受信を別々に取り出せます。

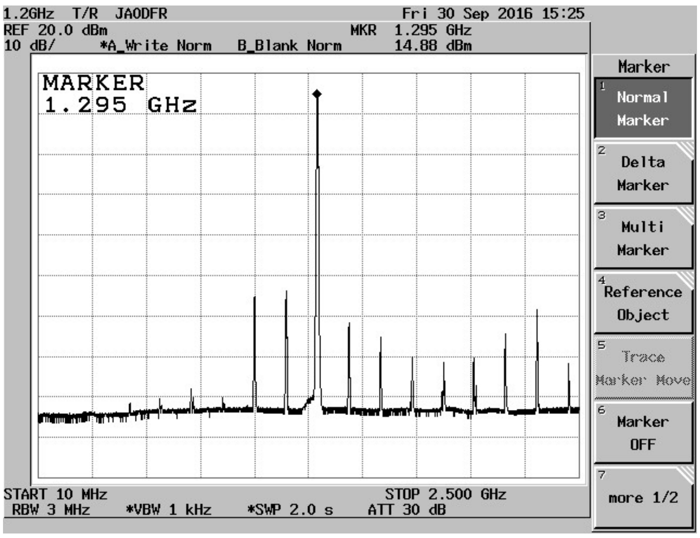
IF(145MHz)最適レベルが+5dBm 前後で 局発注入最適レベルが+0～+3dBm。送信 RF 出力 1295MHz で+18dBm の出力を得ています。送信・受信切り替え用 RF スイッチは uPG2422TK-A を 2 個使い、+3vで切り替えています。RF アンプに送信・受信に MMIC の uPC2709TB と TQP3M9036 を使い回路を簡略化しました。スプリアス対策として、Mix と RF スイッチ①の間に 1 個、送信部 MMIC と RF スイッチ②の間に 1 個を村田製 BPF を付けて−50dBc ぐらいは取れました。しかし 2 倍波(−30dBc)等の高調波が出ていますので外付けの BPF 又は LPF が必要と思われます。これは次回の検討課題としました。

受信系：NF1.0dB 以下・利得： 30dB 以上
送信出力レベル： +18dBm
電源電圧： +8v ～ +15v
消費電流 ：TX ：144mA（LED 表示付き）
RX ： 120mA
基板サイズ ： 60mm×34mm ×0.5t
自作スルーホール加工両面基板
IF：145MHz in ： +5dBm（最適レベル）
Lo：1150MHz IN ： +0dBm（F:1295MHz）
OUT ： +18dBm （ANT OUT）



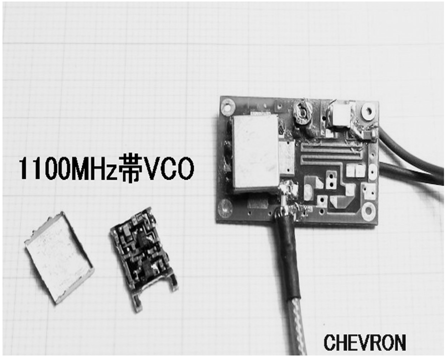
＝IF 親機が 145MHzで使用の場合＝
RF:1296MHz、 局発周波数:1151MHz
RF:1295MHz、 局発周波数:1150MHz
RF:1280MHz、 局発周波数:1135MHz
RF:1260MHz、 局発周波数:1115MHz





周波数帯域 ： 10MHz～～2500MHz

1100MHz帯 4 チャンネル局 発 （VCO−PLL）付き



VCO ： 1013MHz～～1107MHz ・ 20.4mA ：

サイズ：7.0×9.0×2.5tmm （CHEVRON）

PLL IC ： 富士通 MB15E07SL（Chip One Stop,Inc.）

Pic IC ： PIC12F629－I/P（Akizuki Denshi Tsusho Co.Ltd.）

PLL 回路設計・Pic 書き込み・調整 …… JH1GYE 局

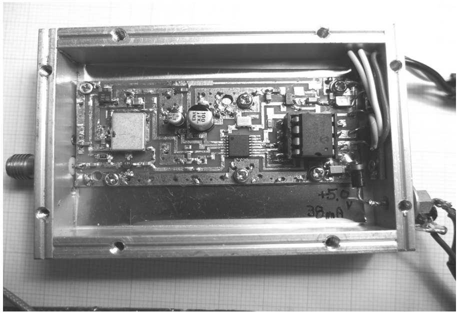
基準 ： 10.00MHz（TCXO）（Akizuki Denshi Tsusho Co.Ltd.）

基板 ： 0.5t ガラエポ両面基板 サイズ：60mm×24mm

前面パネルスイッチ ： ロータリー切り替え 4 チャンネルスイッチ

VCO 改造前：1013MHz～1107MHz ＝＝＝＝＝＞＞ 改造後：1098MHz～1162MHz

（ 0 ｖ ～ ＋5.0 ｖ ： 1 ヶ所チップコン（3.5p）に交換）



0 チャンネル ： 1115MHz：+0.767v

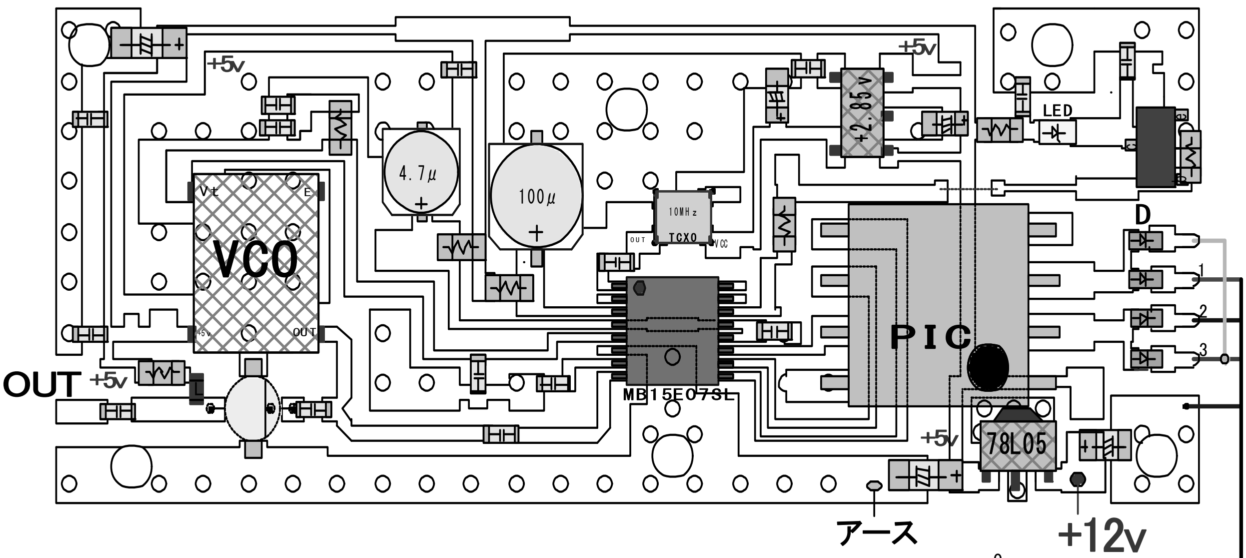
1 チャンネル ： 1135MHz：+2.289v

2 チャンネル ： 1150MHz：+3.60v

3 チャンネル ： 1151MHz：+3.68v

（VCO+MMIC で消費電流：38mA）

1100MHｚ帯　PLL局発　配置図

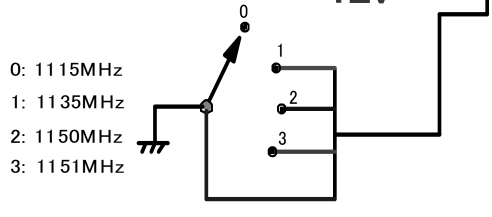


PLL回路、Pic書き込み提供、調整：JH1GYE局

部品提供：JA3BMH局

PCBパターン作成：JA0DFR局

パーツ等問い合わせ先：YQP事務局：JA0BQU局



今回の TR 試作機を作るに当たり、部品入手等に大変お世話になりました JA3BMH 局、JA3UMZ 局、及び局発の PLL 回路設計及び Pic 書き込みをお願いしました 新井 泉さん(JH1GYE 局) に大変お世話になりました。

誌上をお借りしてお礼申し上げます。　JA0DFR

ＧａＮ　ＨＥＭＴを使用した５７６０ＭＨｚ１００Ｗ出力ＳＳＰＡ

ＪＡ４ＢＬＣ　又　賀　義　郎

１．はじめに

マイクロ波電力デバイスとして、ＧａＡｓＦＥＴが広く使われていますが、それより高利得、高効率のデバイスとして、ＧａＮ（ガリウム窒素）を使ったＨＥＭＴが開発されています。既に数年前から製造され、メーカーでは多数の機器に組み込まれて実用されています。１０ＧＨｚ１２０Ｗクラスのデバイスも存在します。

アマチュアでもＧ３ＷＤＧが試作例を第１５回ＥＭＥカンファレンス（２０１２年ケンブリッジ）で発表（資料１）、その後もＤＵＢＵＳ－ＴＥＣＨＮＩＫに発表しています。（資料２、３）

日本では（ＧａＡｓＦＥＴもそうですが）製造メーカーがアマチュア向け小売にまったく興味がないため、ジャンク機器から入手できるＧａＡｓＦＥＴにくらべてＧａＮＨＥＭＴはまったく入手の方法がありません。欧米の友人に購入してもらえないかと聞いてみたところ、米国製の場合輸出規制に抵触するとかで、話が進みませんでした。

あきらめていた２０１５年６月、米国商社がＣＲＥＥ社のデバイスを売ってくれるとの情報がスエーデンから舞い込みました（資料４）。デバイス単体で５７６０ＭＨｚ５０Ｗ、パラレルで１００Ｗを得ているとのこと。さっそく調べてみたら米国商社は日本からの小口注文を受け付けてくれました（資料５）。

初めて使うデバイスですので、まずは先駆者の真似から始めることにしてパラレルアンプを製作したところ、１００Ｗ出力を得ることができました（図１）。今回実験状況を報告します。

図１　ＧａＮアンプおよび４８Ｖ電源

２．ＧａＮ　ＨＥＭＴ

入手したデバイスはＣＲＥＥのＣＧＨ４００３５Ｆです（図２）。

図２　終段に使用した
GaN デバイス
(CGH40035F)

カタログでは
・４ＧＨｚまでの使用
・２ＧＨｚ小信号利得１５ｄＢ／４ＧＨｚ１３ｄＢ
・飽和出力４５Ｗ／効率６０％
・２８Ｖ電源
・内部整合無し
ということです。

ＧａＡｓＦＥＴではパワーデバイスは内部整合が当たり前で入出力５０Ωとして簡単に扱っていたのですが、このデバイスは使用周波数での整合回路を設ける必要があります。

指摘しておきたいのは、５７６０ＭＨｚ５０Ｗ、１００Ｗの先行製作例は、周波数、電源電圧ともオーバースペックである点です。あくまで使用者の責任においてやっているので、放熱上の工夫をした上で、ジャンクション温度上昇による平均故障時間短縮のリスクも覚悟してのことだそうです。

３．　回路及び基板製作

ＣＧＨ４００３５Ｆパラレルアンプの先達（設計ＳＭ６ＰＧＰ、製作ＳＭ６ＦＨＺ）から、アートワーク（図３）及び電源基板の回路（図４）を入手しました。基板はテフロン基板ＲＴ５８７０（０．８mm厚）で、基板の焼付、エッチングをＪＲ４ＡＥＰ渡部氏にお願いしました。

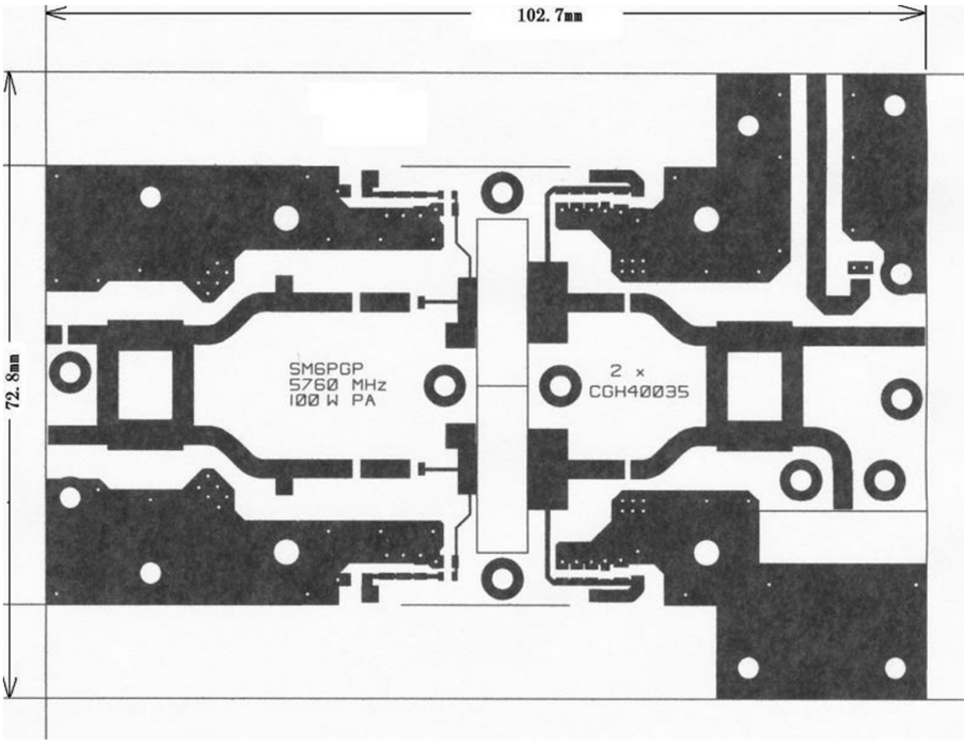


図３　　１００Ｗアンプ基板（ＳＭ６ＰＧＰ設計）

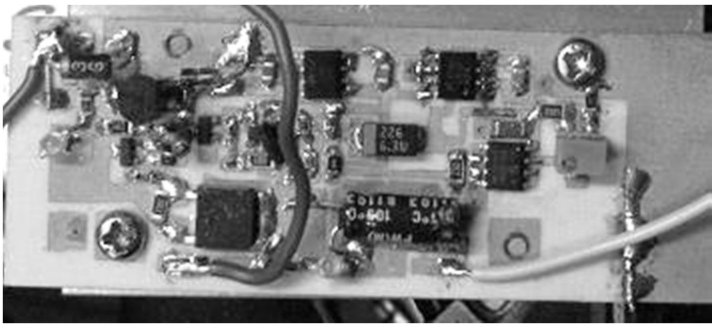


図４　GaN アンプ電源（SM6PGP 設計を修正）

両面プリント基板のスルーホール化は、これまでＲＯ４００３Ｃなどセラミック基板の場合穴に導電接着材を塗りこむ形で作ったことがあるのですが、テフロン基板の場合は同様の手法では加熱すると導電接着材が基板から剥がれるようで、スルーホールの導通が心もとない仕上がりになりました。そこで、スルーホール部を０．０３mm厚銅箔（０．８mm幅）で基板の両面を短絡することにしました。１つの穴（０．８mmφ）に２枚の銅箔を使いました。基板の裏側（放熱板接触面）は銅箔及び半田で突起を生じないよう、半田吸取り線で余分な半田をできるだけ除去しました。０．０３mm厚銅箔は銅箔テープの接着材をシンナーで取り除いたものです。このスルーホール手法は皆さんやっておられる方法と思います。

ＳＭ６ＰＧＰオリジナルのゲートバイアス回路はわずかでもゲート電流が流れると、ゲート電圧が変化します。設計者に問合わせたところ、ＧａＮは出力が飽和するまではゲート電流がほとんど流れないことを前提とした設計で、これで良いという返事でした。私は一部変更（図５）して使っています。

ＧａＮ　ＨＥＭＴ部分の部品定数はＳＭ６ＰＧＰ指定（図６）を使用しています。

アンプ電源回りの接続を図７に示します。ドレイン電圧４８ＶはＦＥＴを用いたスイッチで送信時のみ供給します。このＦＥＴスイッチは手持ちの基板（以前購入したＷ６ＰＱＬのキット：図８、資料６）を使用しました。

ＳＭ６ＦＨＺは６mm厚の銅板を基板の下に敷きデバイスをこの銅板に「半田付け」して熱拡散を図っています。私は８mm厚銅板を使いましたが、これにタップを立ててＨＥＭＴを２．６mmビスで取り付けています。試作で性能が確認できたら半田付けしようと思ったのですが、いまだにビス止めのままです。ＪＡ８CMY増田さんにグラファイトシートを敷くと良いと教えていただきました。グラファイトシートは銅の４倍の熱伝導率があるということです。

８mm厚銅板をアルミ放熱器（１００×１８０×３０mm）に取り付けて、この放熱器を１２ｃmファンで冷却します。ファンはＰＴＴ連動で送信時のみ回すようにしています。

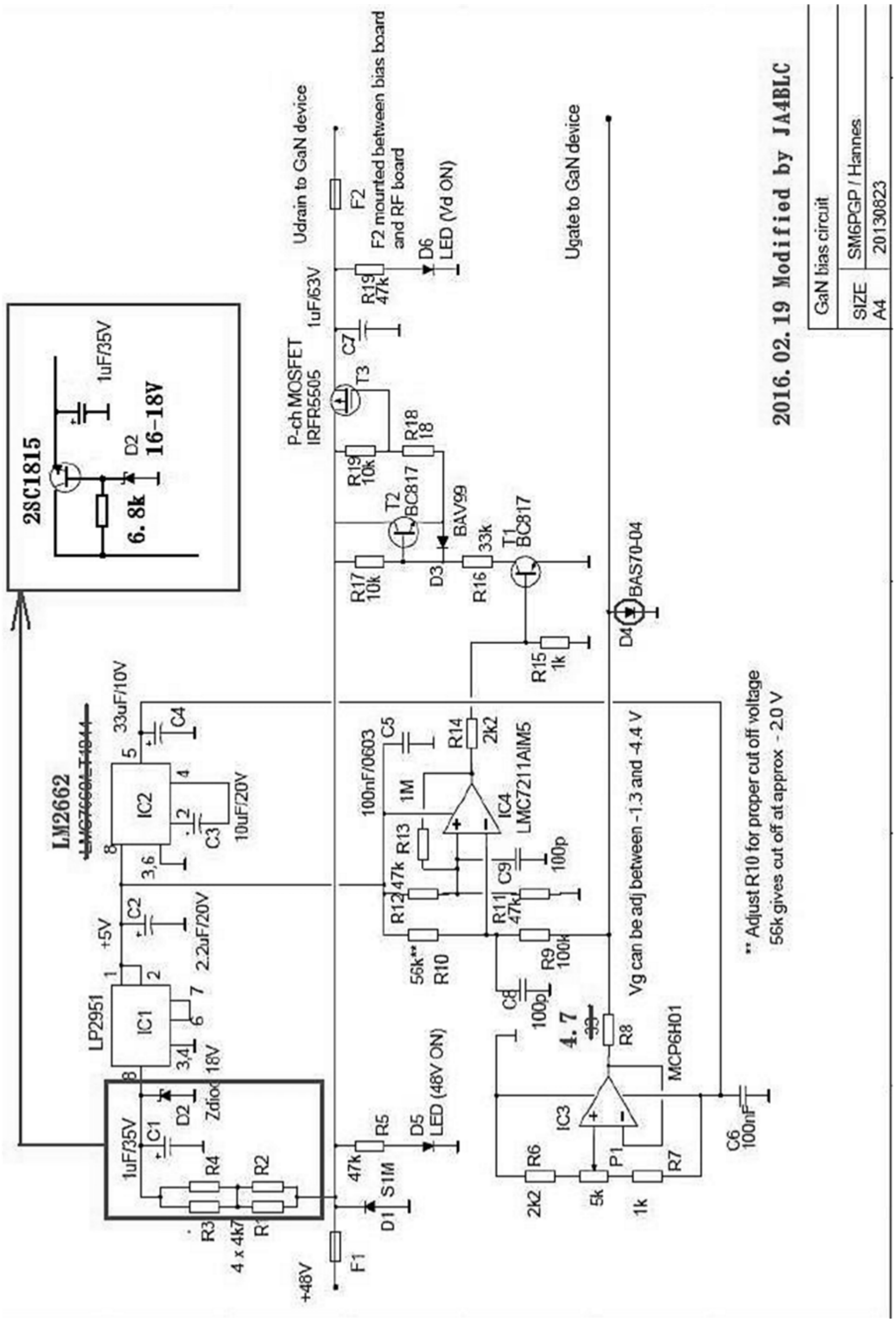


図５　　ＧａＮアンプ電源回路図（ＳＭ６ＰＧＰ設計を修正）

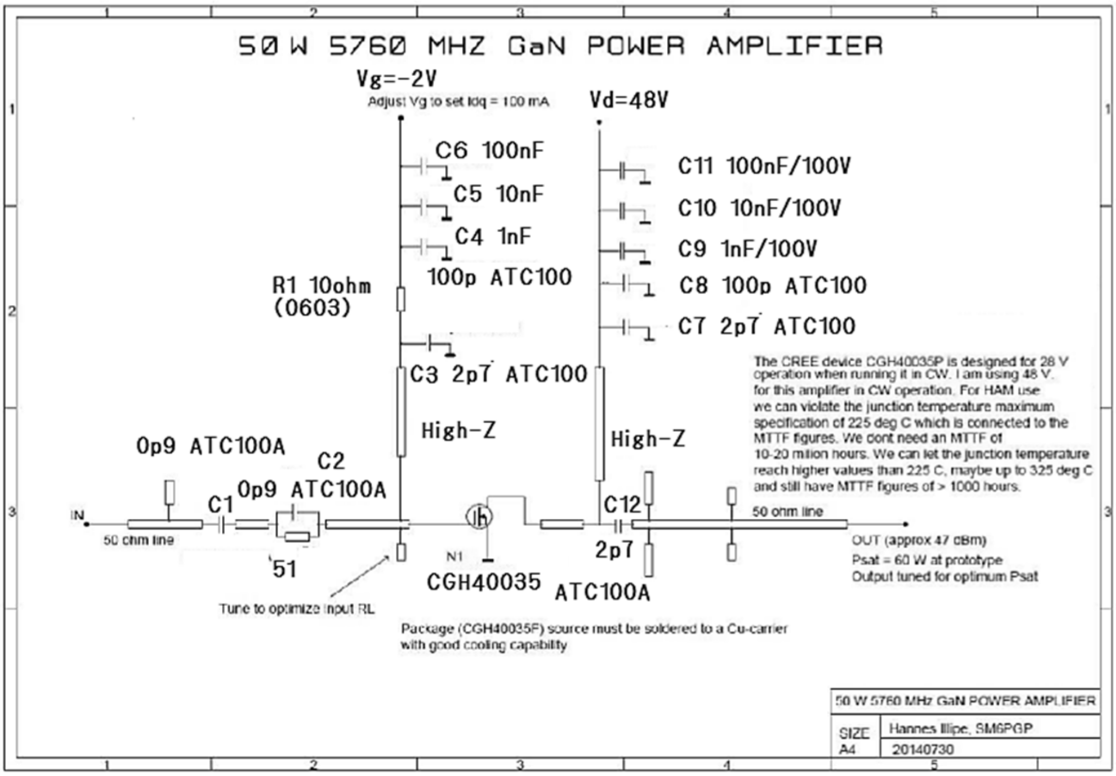


図６　　ＧａＮアンプ部品定数

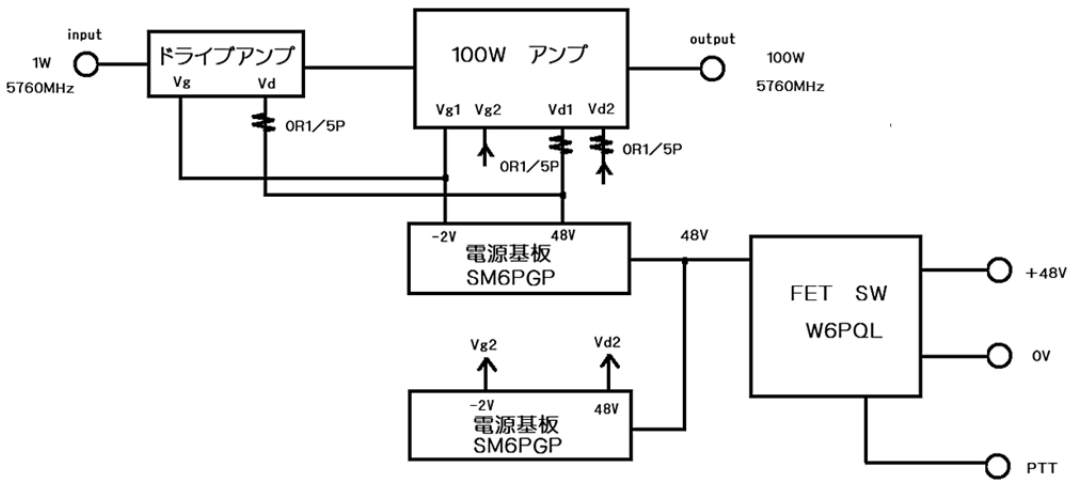


図７　GaN アンプ構成図

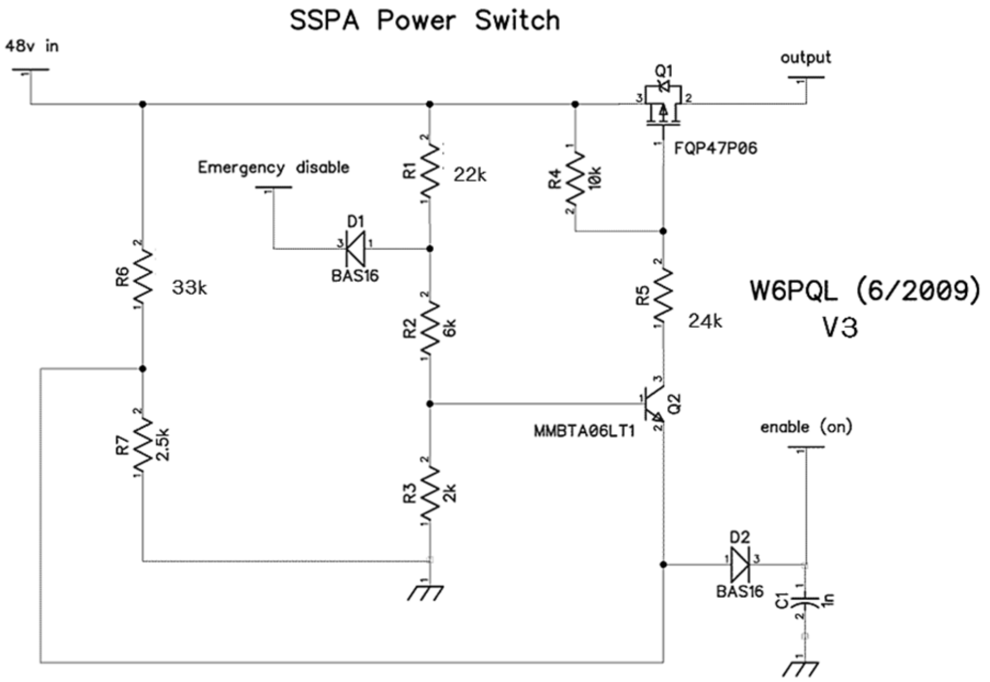


図８　　４８Ｖ制御スイッチ回路（Ｗ６ＰＱＬ基板）

４．調整

使用したＧａＮはこれまで使われてきたＧａＡｓパワーＦＥＴと違って、使用周波数で内部整合されたものではありません。実績ある基板を真似たとはいえ、やはり、パッチ作業が必要でした。電源電圧を３０Ｖに下げた状態で入力電力も数ワット以下として、入力反射最小、利得最大になるよう、パッチを付けていきます。１０ｄＢ近い利得が得られたら、入力電力を増やします。そして出力電力最大を目指してパッチ作業をします。電源電圧も少しづつ増やして出力電力が伸びるかを確認します。

図９　１号機飽和出力
（減衰器 30dB により+50.12dBm に相当）

パラレルで１００Ｗを目指したので、１石当たり５０Ｗの出力です。このレベルではとても１０ｄＢの利得は得られないので、７～８ｄＢと考えてレベル設計すると良いようです。

結局１００Ｗの大台に乗ったのは電源電圧４８Ｖに上げてからでした。(図９)

５．実は

ＧａＮ　ＨＥＭＴを使うのは初めてだったので、いきなりパラレルアンプを作るのでなく、ＣＧＨ４００３５Ｆシングルのアンプを作ってみました。シングルアンプ基板はＳＭ６ＰＧＰ テフロン基板をＲＯ４００３Ｃセラミック基板向けに寸法に変更したものです。

この初めてのＧａＮアンプは１６Ｗ出力を得たところで、ドレイン電源をショートするミスを犯してしまい、それ以降、そのアンプは利得０ｄＢ、出力２Ｗとなり、落胆しました。デバイスのゲート－ソース間の抵抗をテスタで計ると順方向６００Ω、逆方向１０ｋΩと明らかに異常でした。未使用デバイスに取り替えたところ、３５Ｗ出力（４０Ｖ、２．４Ａ）が得られたので、短絡したデバイスが損傷したことはあきらかでした。

落胆の数ヶ月を過ぎて気を取り直し、短絡したデバイスを使いパッチ整合をやり直したところ、小信号利得１０ｄＢ、最大出力２５Ｗ（飽和利得５ｄＢ、４０Ｖ、１．５Ａ）を得られました。

当初の目論見では１０ＷクラスのＧａＡｓＦＥＴをドライブに使用するつもりでしたが、１００Ｗ出力ではドライブ１０Ｗでは足りないことがわかりました。壊したはずのデバイスでも出力２５Ｗの性能なら出番があると期待して、パラレルアンプ１号機のドライブアンプとして使うことになりました(図１０)。

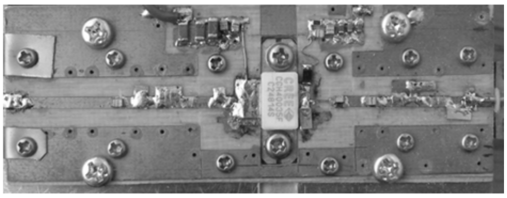


図１０　１号機ドライブアンプ(CGH40035F)

基板には出力電力モニタ用に方向性結合器を設けてあります。オリジナルは方向性結合器出力を筐体外にＳＭＡコネクタで引き出し、外部に検波器をつける構造でした。基板に検波器を実装しても良かろうと勝手に判断して作りこんだところ、筐体の上蓋を取り付けると検波用ダイオードが壊れる現象に遭遇しました。何度も検波器を壊したあげく、結合部と検波器の間に２０ｄＢ減衰器をチップ抵抗で設けること、検波器は筐体側板に近く配置することで解消しました。（図１１）

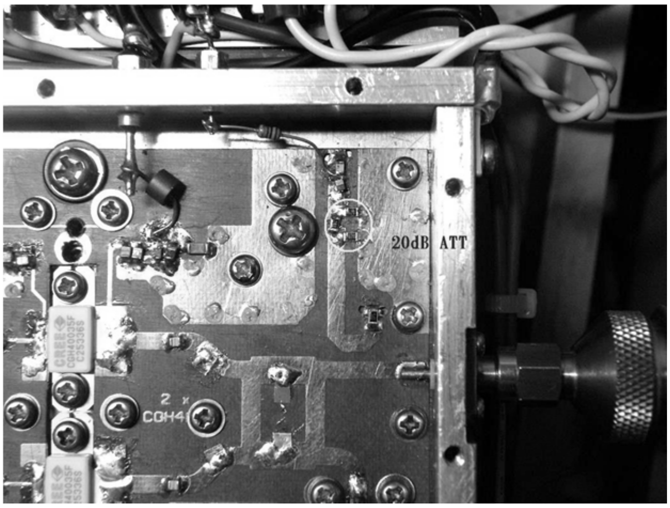


図１１　出力モニター回路の変更（１号機）

６．性能測定結果

ドライバを含めたアンプ（図１２）の動作データを取得しました。入出力特性、利得特性を図１３に示します。ＨＥＭＴ２段の構成なので、小信号利得は２４ｄＢありますが、１００W時の利得は２０ｄＢと、小信号利得より４ｄＢほど低下しています。このアンプ（ＧａＮデバイス３本）の４８Ｖ電源の消費電流は小信号時１．４Ａ、１００W出力時５．８Ａです。１００W時の電源効率は３６％でした。

１００W出力時のスペクトラムを図１４に示します。スプリアスは見当たりませんでした。

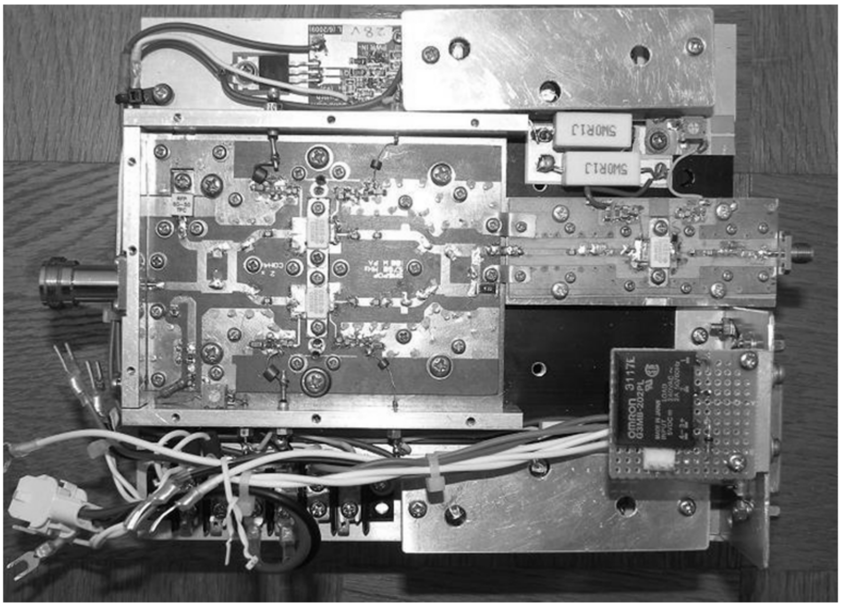
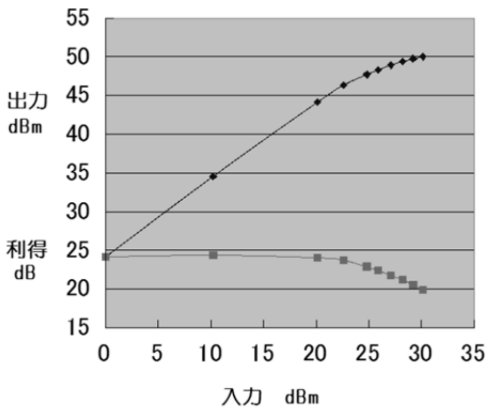


図１２　１号機全景



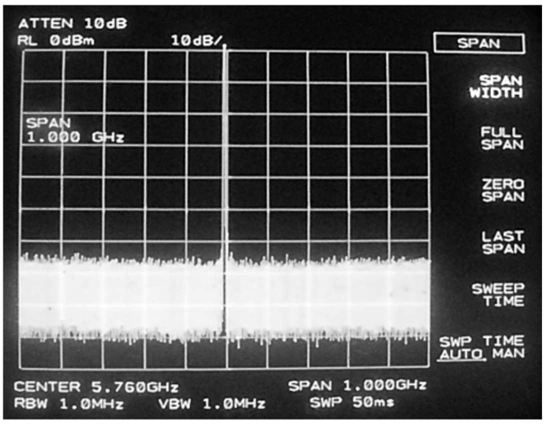


図１３　入出力特性・利得特性（１号機）　図１４ 出力スペクトラム（１号機 100W 出力）

７．２号機の製作

初めてＣＧＨ４００３５Ｆを購入したのは２０１５年７月でした。その後増田さんがマイクロウエーブ・プログレス・レポート２０１５にＣＧＨ４００４５Ｆを使用したパラレルアンプを発表（資料７）されました。増田さんによると、４００４５Ｆのほうが電力的

に余裕があると判断されたそうですが、その後私と同じデバイス４００３５Ｆのパラレルアンプも製作されたと聞き、お願いして基板を譲っていただきました。増田さんのアンプのゲート整合回路はＳＭ６ＰＧＰとは別の手法で設計されていました。（図１５）

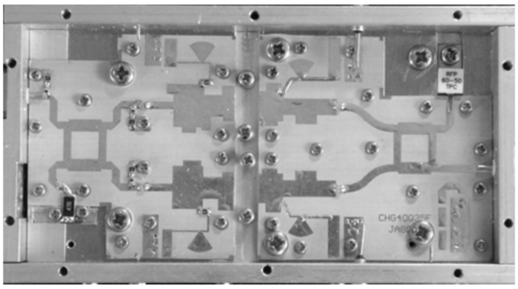


図１５　２号機基板（終段部：ＪＡ８ＣＭＹ設計製作基板）

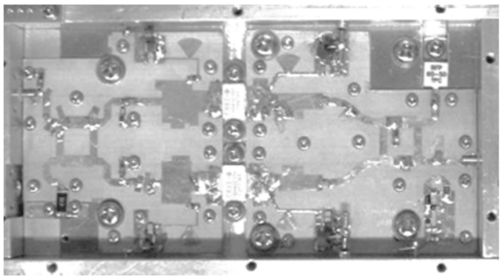


図１６　２号機完成図（終段部：ＪＡ８ＣＭＹ設計製作基板を使用）

１０ｍｍ厚のアルミ板を熱拡散に使って増田基板のアンプを製作（２号機、図１６）したところ、最終的に出力９６Ｗを得ることができました。今回製作した２台のアンプは遜色ないものと評価しています。

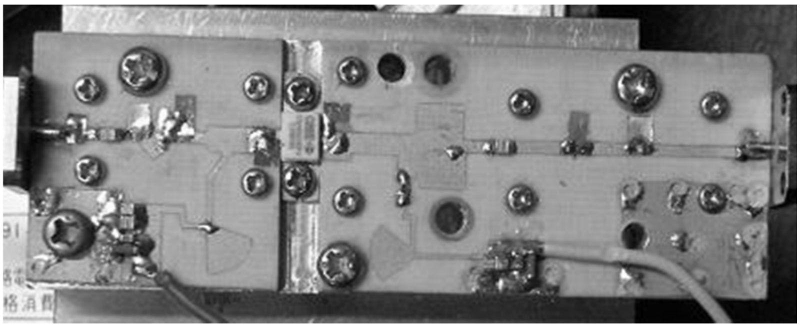


図１６　２号機完成図（終段部：JA8CMY 設計製作基板を使用）

なお、２号機のドライバには増田さんが発表されたアンプ（資料７）からＣＧＨ５５０３０Ｆ１の部分を切り取った基板を作り、デバイスにはＣＧＨ５５０３０Ｆ２を使用しました（図１７）。このドライブアンプは単体で最大出力３５Ｗ、利得１０ｄＢと、１号機ドライブアンプ（傷ものデバイス）より好成績を得られました。

８．電源

４８Ｖ電源には株式会社アコンのＡＫ４８０Ｗ－ＳＣ－４８（図１右、資料８）を使用しました。４８Ｖ１１Ａの負荷容量があり、本アンプには余裕の性能です。１ランク小さな製品ＡＫ３２０Ｗ－ＳＣ－４８は４８Ｖ６．７Ａの容量があるので、これでも十分な性能と思います。

９．終わりに

違う整合手法の基板を使って、ほぼ１００Ｗ出力の５７６０ＭＨｚアンプを製作しました。このバンドのＰＡとして、ＧａＮデバイスが性能面でもコスト面でも有利なことを実感しました。

最後に基板情報の提供、公開の許可をいただいたＳＭ６ＰＧＰハンネス、ＳＭ６ＦＨＺインゴルフ、１号機基板を製作していただいたＪＲ４ＡＥＰ渡部氏、ＧａＮアンプに関して教えていただき２号機基板を提供していただいたＪＡ８ＣＭＹ増田氏に感謝します。

資料１
Charlie Suckling G3WDG "GaN PAs for Microwave EME"
P.39-48 EME 2012 CONFERENCE PAPERS

資料２
Charlie Suckling G3WDG "GaN PAs for 3.4,5.7 and 10GHz"
P.130-145,DUBUS TECHNIK XIII

資料３
Charlie Suckling G3WDG "50W Solid State PA for 10GHz"
P.178-194,DUBUS TECHNIK XIV

資料４
http://www.illipe.se/EME_2015/GaN_SSPA_5760_20150602.pdf#search=%27SM6PGP%27

資料５
http://www.mouser.jp/ProductDetail/Wolfspeed-Cree/CGH40035F/?qs=sGAEpiMZZMso8HcRtnocGWlmmsMkNHTP

資料６
http://www.w6pql.com/high_current_solid-state_dc_switch.htm

資料７
ＪＡ８ＣＭＹ　”ＧａＮ　ＨＥＭＴを使った５．７ＧＨｚ１００W増幅器の製作”
P.41-42,　マイクロウエーブ　プログレス　レポート２０１５

資料８
http://akon.jp/?pid=73158013

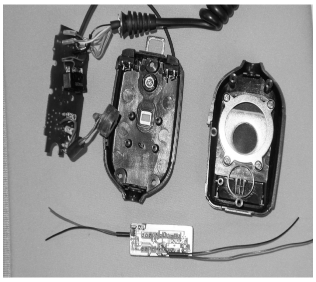
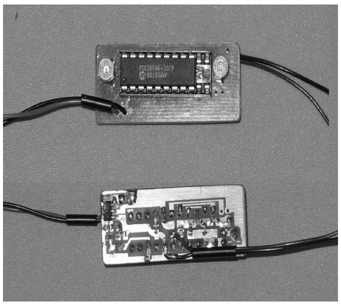
以上

（２０１６．０９．１０）

2016 年度製作記録　　JA0RGP　佐藤　和也

①　マイク(ICOM 製)に内蔵の IDer 器　　ja0rgp　2016 年 3 月

マイクに内蔵したら運用時に便利かなと思っていましたので製作しました。
IDer 基板装置は、YQP クラブでの配布品を使用。

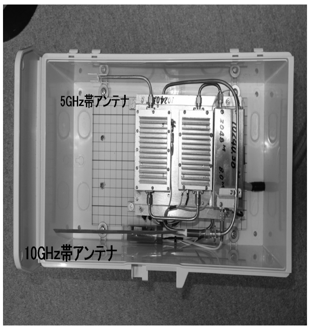



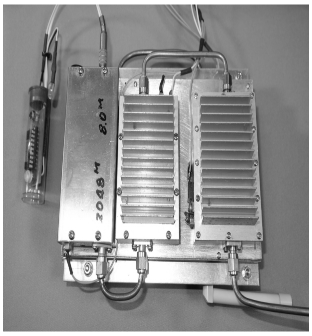

②　5GHz帯 ・ 10GHz帯 ビーコン装置設置　　ja0rgp　2016 年 3 月

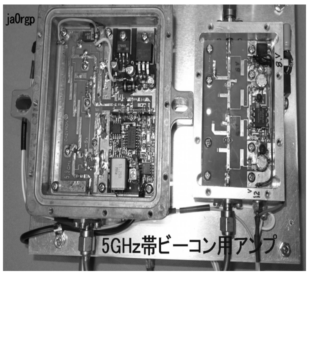
2016 年 3 月より当局タワーにアンテナ等の調整用として、省電力ビーコン装置を設置。
5GHz帯・10GHz帯共に約 250mW です。各アンプとアンテナはボックス内に収納しました。

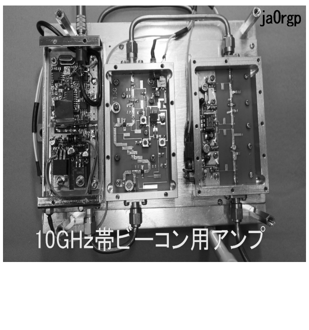
5GHz帯周波数 ・・・・・5760.60MHz± ・ 10GHz帯周波数 ・・・・・10240.40MHz±

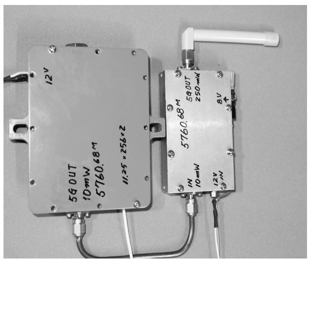
ID　・・・＞　vvv de　JH0ZHR/0







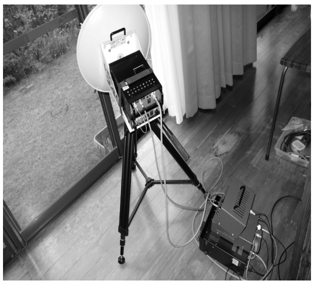




③ 3バンド共用移動アンテナ　　　ja0rgp　　2016年5月

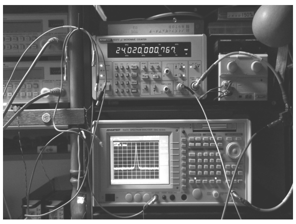
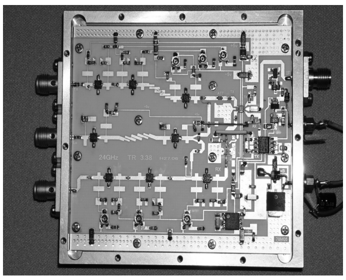
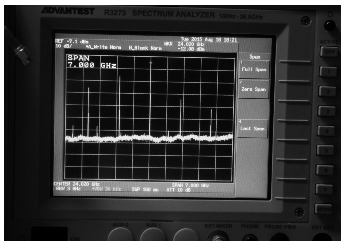
今回日本海縦断試験に合わせ5GHz帯・10GHz帯のアンテナを再調整しました。900φ用パラボラアンテナの5G・10G共用アンテナを作成調整をしましたら、5GHz、10GHzでは、最良給電位置が異なる事が分かりました。サンノイズを受け最良点が10mmほどの違いがありました。900Φは業務用です。面精度の問題かよくわかりません。トランスジュウサーに適当にホーンを付けて調整しました。現在 600Φを移動用に使用していますが、こちらは、24GHzに合わせ3バンド共用に使用していますがこちらも再調整しましたら、10GHzを基準に24GHｚは+5mm、5GHｚは−10mm が最良点でした。パラボラの面精度か、よくわかりません。こちらもホーンの長さで調整しました。






④ 24GHz帯トランスバーター Ver3 （IFアンプ内蔵タイプ）　　ja0rgp

受信感度は、24GHzLNAを入れてF3 −120dBかな。当局のTRと同等でした。
安定度は良好（上蓋前面に電波吸収材を張りました）です。スプリアス調整が面倒な為、1W（MMIC）パワーアンプを入れると、Loは−30dBまで下がり問題なし。

⑤ 全バンド共用局発 （Solilock-10G Ver2 JF1WKX 局設計局発使用） ja0rgp

周波数：

5GHz帯 ・・・・・・・・・4480MHz

10.20GHz帯 ・・・・・・ 8960MHz

10.40GHz帯 ・・・・・・ 9190MHz

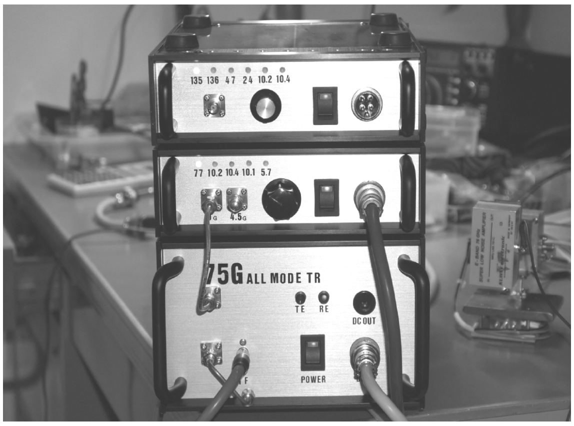
24.02GHz帯 ・・・・・・ 4548MHz × 5 逓倍 ＝22.740GHz

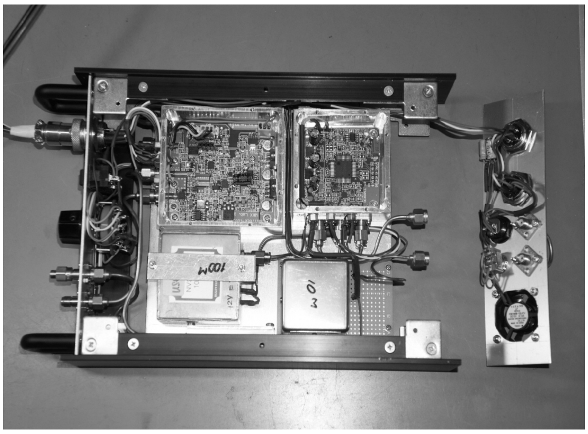
24.02GHz帯 ＋ ＊5MHz ・・・・・・ 4547MHz × 5 逓倍 ＝22.735GHz

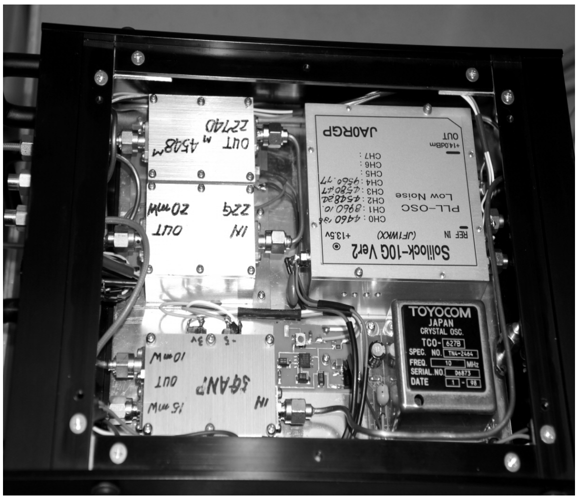
47GHz帯 ・・・・・・・・・ 4580MHz × 5 ＝22.900GHz

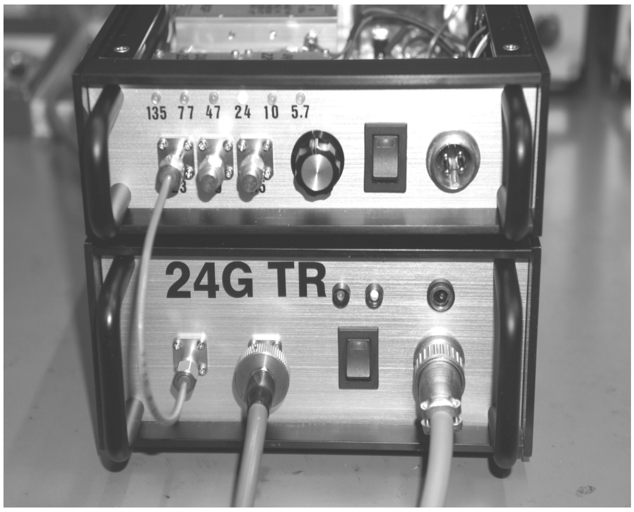
77GHz帯 ・・・・・・・・・・・ 9560MHz

Solilock-10G Ver2(JF1WKX 局設計)の局発周波数変更は、勝間氏の了解を得て
新潟地区 YQP クラブ内でも、自由に設定出来るようになりました。
＊5MHz シフトしたのは、数台同時に移動したとき、IF 回り込み回避のためです。









〒950-2002 新潟市西区青山 4 丁目 10-36 JA0RGP 佐藤 和也

2016 10 05

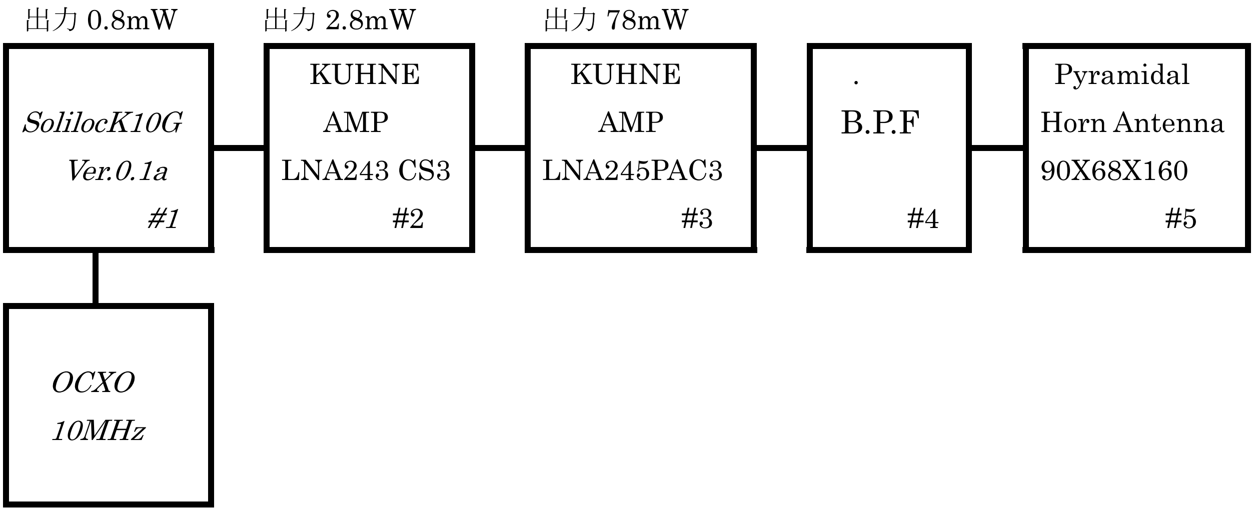
24GHz カセグレン式パラボラアンテナの調整用信号発生機

JA2JL　志賀尚達

はじめに

カセグレン式パラボラアンテナの焦点をアンテナゲインを最大にするために必要な送受間距離については、マイクロウエーブチャレンジ 2006(P134)に、逸見政武さん（JA1ATI）がその必要性を含めて周波数ごとに Dish の口径と必要な最小距離などについて詳しく発表・解説されております。図１にその必要な最小距離のグラフを再掲させていただきます。それによると、500mm のDish では、24GHz の場合 40m の距離が必要になります。焦点調整には軸方向の微細な移動が必要なカセグレン式アンテナではＴＲＶ本体に直結されたままのアンテナ機構ではその微妙な調整が難しいので、　アンテナ機構の出力を直接　パワー計で測定しながら焦点距離を最大出力に合わせることが１人ででもできるその目的のパイロット信号発生機を手元の在庫部品で作りましたので報告します。

構成ブロック図



構成の説明

この信号発生機は　目的がカセグレン式パラボラアンテナの焦点調整をする事なので長時間連続出力が前提になります。放熱が利かないと時間とともに出力が低下して何を測っているのかわからなくなりますので KUHNE の各ユニットはしっかり放熱させる必要があります。私は 80x70x25 の放熱器と PC 用 50m 角のファンモーターを使いました。

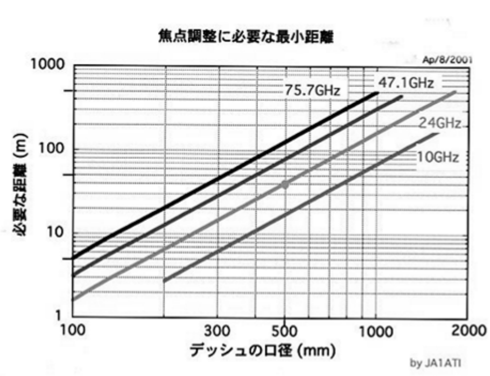


図１　焦点調整に必要な最小距離

写真１がそのテストスタンドとμW計、写真２がすでに製作済みのSolilock10Gによる３バンド（24G,47G,77GMHz）のパイロット信号機、　写真３が今回報告のその目的に合致するパワーを持つ 24GHz パイロット信号機ユニットを Solilock10G-3BANDS ユニットの上に 2 階建てして取り付けたものです。

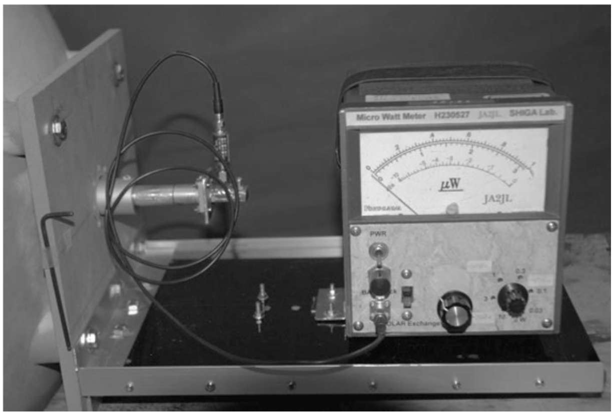


写真１　テストスタンドとμW計

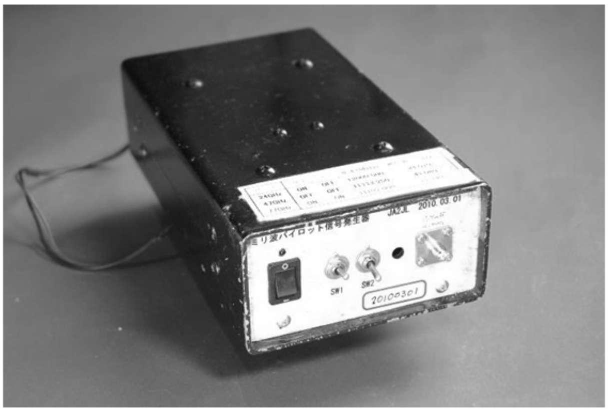


写真２　３バンドパイロット信号機

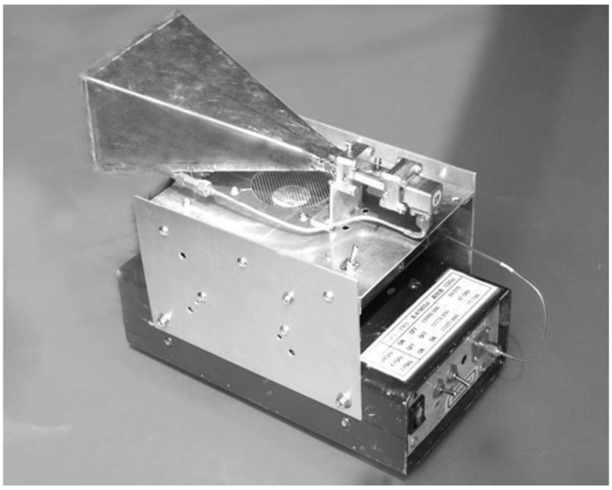


写真３
24GHz パイロット信号機ユニット

#1　Solilock10G の詳細仕様は著作者勝間さんの Solilock10G 説明書 20110124 をお読みいただくとして様々な周波数の出力をあらかじめ　設定できます。本機はアンテナ調整にため長時間連続出力の必要があるので solilock10Gh は 24GHz でよく使われている呼出し周波数 24.020GHz より１MHz 下の 24,019GHz が出せるようにその 1/2 の 12009.5MHz を設定しました。

#2 および#3　　このアンプは本来 12-24GHz 用の２逓倍アンプが出回っていますのでそれを使用すれば、１個で済むし、コスト的にも望ましいところですが有休部品の活用が眼目だったので、手持ちの部品 KUHNE の LNA の LNA243CS2 と LNA245PAC3 アンプを使いました。（＃２は 24Ghz TRV の受信プリアンプとして用意したものですがゲインが多すぎてＳメーターが右に張り付いてしまい,アンプのゲイン以上の ATT を入れるのは合理的でないので、これを撤去した事による遊休部品です。

少々強引な使い方ですが,#2のように 12,019GHz を入力させて24.019GHz を得る事が出来ました。注）ブロック図の上に書いた出力については　私はパワーセンサー H.P 8485Aを24GTRVの製作時に不注意で破壊してしまいましたのでこの測定は1995年にハムジャーナル紙９７号に発表された逸見さんの『クリスタルデテクターを使ったマイクロ波用〈超〉簡易型パワーメータ』を参考に自作したものでこのμW計に使われている 8474Cせんさーデテクター にATTをズラッと並べて測定したものです。12GHz 18GHz ,24GHz が混在しているエネルギーを計測しているのと、ＡＴＴの仕様が18GHz用 と26.5GHz用が混在

しているので,24GHzを含む全体エネルギーを観測している値ですので単なる目安としてみてください。余談ですがこのμW計は電池駆動なので24-77GHz ＴＲＶでの移動運用時に持参して出力の有る無しのチェックに便利に活用しています。(0-33GHz までのデテクターですが77GHzにも感応しています)

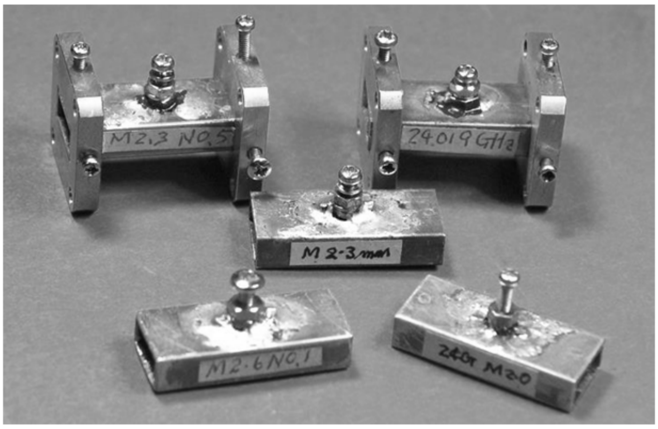


写真４　24GHz 用フイルター写真

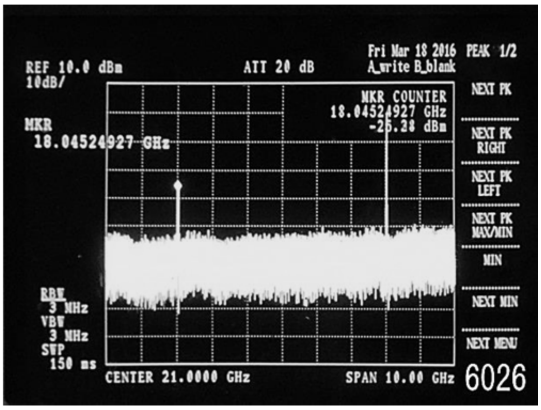
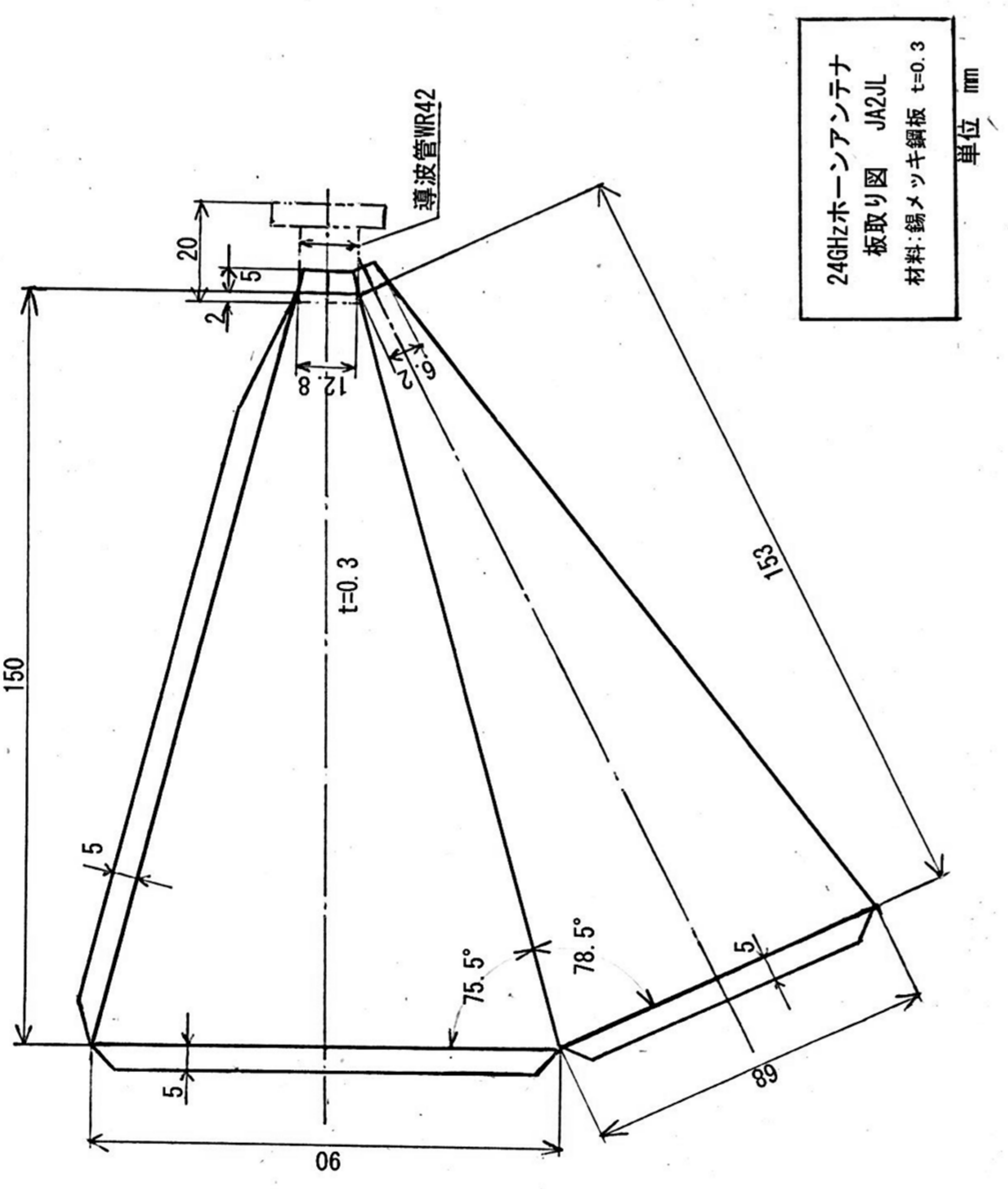


写真５　スペクトラム

#4　　BPF（写真 4）は写真 5 スペクトラムにあるように 24GHz に対して-20dB 程度の 18Ghz のスペクトルがあります（写真 No.4)。それを抑圧するために製作したフイルターですが 18GHz で-45dB ぐらいの抑圧が可能な特性を持っております。詳細については 2016 年版プログレスレポートに別稿として記載しておりますのでそちらをご覧ください。

#5　 アンテナは角ホーンアンテナを製作して使用しました。材料は錫メッキ鋼板（いわゆるブリキ板）の 0.3mm 厚ですが光沢もよく半田のノリも良いので簡単に作る事が出来ます。

その板取図を図-２として示します。200x300 ㎜の材料（約 400 円）で同図の寸法１台分の２枚が取れますので折り曲げて半田付けすれば１台 400 円で完成です。(導波管、フランジ半田、電気代は含まず)型紙は PC ショップなどで打っている裏面に糊の付いたＡ４紙(いつものラベル、PLUS 社 ME-500 に作図して前述のブリキ板に張り付けると金切挟みで簡単に材料取りが出来ます。)ゲインは測定しておりませんが、以前に業務用ホーンアンテナメーカーKEYCOM 社の内面金メッキのホーンアンテナのカタログに表示されている寸法で 24GHz アンテナを銅板製と上記錫メッキ鋼板製と 2 台作って、逸見さんからお借りした標準アンテナと性能の優劣を調べたことがありますが同社の 23dB より少し落ちますが 21,3dBi と 21.4dBi と 2 台の差はほとんどない結果でした。今回のアンテナのプロポーションはその寸法の 0.9 倍で作りましたので .20dBi 位のゲインは確保していると考えております。



図‐２　板取図

実際の運用結果

測定は地元の丹那盆地（静岡県田方郡函南町　箱根南麓）で行いましたが、人や車の往来はほとんどなく、さまざまな方向で平坦 100-500mｍ　あるいは近くの小山まで範囲を広げれば２－５Km の距離が採れるので　仲間と光実験やアンテナ調整　ゲイン測定に使っております。

（余談ですがその盆地にある牧場のステーキを実験の合間に賞味するのも一興です）

完全に調整を終えたこのパラボラアンテナは、逸見さんがご持参いただいた 24GHz 標準アンテナの受信起電力を同条件で測定して比較検討の結果　37,9dBi を得ました。ただこの測定値については以下の説明が必要です。
パラボラ用のカセグレン装置は多くの周波数やパラボラ形に対応する装置を逸見さんがかなり以前に各種　開発製作されておられ、私も利用させていただいておりましたが、私の 24GHzTRV のアンテナは、φ360mm でした。今回私はこれを、φ520 のパラボラにアンテナに換装するに際してφ520nn 用のカセグレン式装置の副反射器を求めたのですが、もう在庫がなくて副反射器のφ520 用正規品の採用は叶いませんでした。
そこで　φ360 パラボラ用の副反射器を承知で使用したわけですが、反射角度の関係でφ520mm の外周　周辺への入反射は当然少なくなりますので、本来の副反射器であれば、ゲインは 37.9dBi 以上のゲインが得られた筈であると愚考しております。


写真 6　方向あわせ中


写真 7　方向あわせ中

写真 6 は同地で方向あわせ中の逸見さん、(JA1ATI)と西川さん JF1PYE)で、写真 NO.7 は筆者が 100m 先でトランシーバーを使って本機の向きをあわせているところです。いずれも太田さん（JA１ELV）が撮影されました。
この、信号発生機で実際に 100m の距離で測定した折にＦφ520 ㎜のＴＤＫパラボラアンテナの誘起電力は上記のμW 計で 20DB の ATT（0-26.5GHz 用）を入れて、測った結果、アンテナは未調整の状態で 0.28μW でありこの試作パイロット信号機の出力は十分と判断しました。そして AC 電源のない移動運用でも使えるμW 計は便利な測定器であるとの実感とともに報告を終えます。

文末ですが　今回　ご指導とご協力をいただいたフォト温泉会の上記の、逸見さん（JA1ATI)、西川さん(JF1PYE),太田さん（JA1ELV）そして日頃、箱根等での実験会でご協力をいただいている同会の和田さん(JA1FS),大館さん（JH1JXY）のみなさんに,折に触れてサポートやご指導をいただいている謝意を申し上げます。

2016 10 03

24GHz 導波管による空洞共振型フイルターの試作

2018 年 10 月 3 日

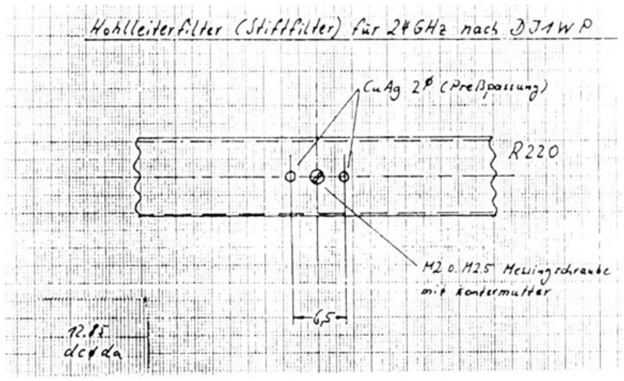
JA2JL　 志賀尚達

はじめに

本稿は　別稿『24GHz パラボラアンテナ焦点調整用パイロット信号機滑性機』の中で使ったフィルターですが、1985 年頃の書かれたドイツの技術レポート（Einfaches Hohlleiterfilter fur 24GHz by DJ9BV）を参考にしたフイルターです。

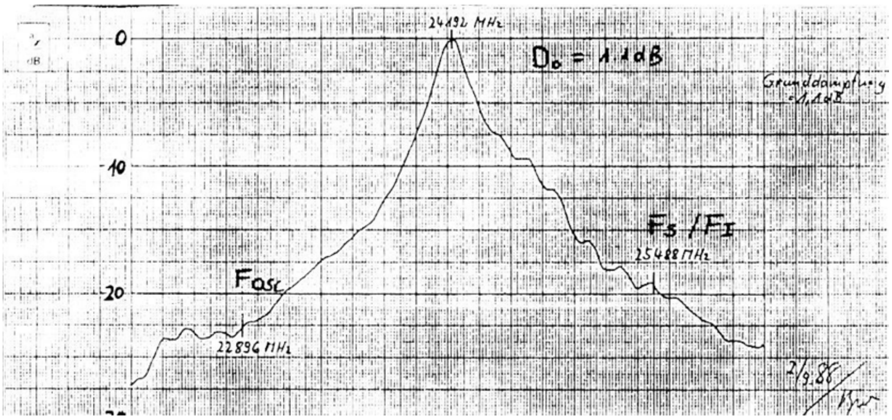
何本かのフイルターを試作測定して　知見が得られましたので報告いたします。

第 1 図に原典の寸法図を、第 2 図はその特性図です。これらを参考にしました。ただ古い資料で何回かコピーされたようでかなり見にくいですが、お許しを。



第 1 図　原典の寸法図

設計図に指定されているショートポストは Cu Ag 2ϕ　ポスト間長さは 6.5mm　調整用ねじは M2.0-M2.5,　導波管は R200(WR-42)と読めます。特性図から中心周波数は 24192MHz と読めます。特性図の左下文字は Fosc 22896MHz ,右下方の文字は Fs/FI 25488MHz で中心周波数 ＋ IF=24192+1296=25488MHz と判断できます。



第 2 図　 原典の特性図

従来ドイツで使われてきたＩＦ　144MＨz，432MHz を、IF1296MHz にする事で不要電波の抑圧がこのフイルターで出来るという意味のドキュメントがありましたが読みにくいので参考提示を省略しました。

私は追試に当たり、日本でよく使われている 24.020GHz より 1MHz 低い周波数　24.019MHz で特性調整をしました。小型に作りたかったので、導波管長さは 30mm としました。

私が別稿で書いた 24GHz のパイロット信号発生機はそのそのため、24.019GHz の 1/2 の周波数

12009.5MHz を出力させます。それを増幅器　Kuhne の LNA243CS２に・入力・増幅してその2 倍の 24019MHz の周波数を使用しますが,基本波　12009.5MHz の 1.5 倍の高調波が 2 逓倍出力の-20dBm ぐらいのレベルで出てきます。この抑圧のために製作が簡単なこのフイルターが使えるかなと考えて追試を行ったものです。尚、基本波の 12009.5MHz はフイルターで使った導波管 WR-42 のカット周波数以下なので、それはそれで　良しとしました。

ポストに使う銀メッキ銅線は手元になかったので純銅と思われる市販の銅線を使用しました。
ショートポスト間隔は共振周波数を決める大事な寸法なので、指定の 6.5ｍｍはノギスの目盛で慎重に決めてそのノギスの指示部で罫書を入れたうえ、ポンチで位置穴を打ってからドリル加工としました。調整ねじは M2.0,M2.3,M2.6 のねじで作ってみましたが肉厚が５㎜と薄い導波管の厚みでは手によるタップ立てでは　がたがたのねじ穴精度になってしまい、これが調整で共振周波数のピークを出そうとしても再現性の無い、挿入損がすごくばらつく結果となりました。（改善策は後述します。）

尚、この資料は 1885 年頃　発表された文献ですが、刊行物の発行者は著作物の権利を有していると思われますので　あくまで個人の実験にとどめて、商業的な目的での製造には、それなりの手続きが必要と思われますのでご留意ください。

写真 1 は自作したフイルターの写真です。導波管は萬世興業で扱っている丹銅製品の WR-42 です。銀メッキの銅線は入手が難しいので都合で約 2mm の表示がある市販銅線を使いました。

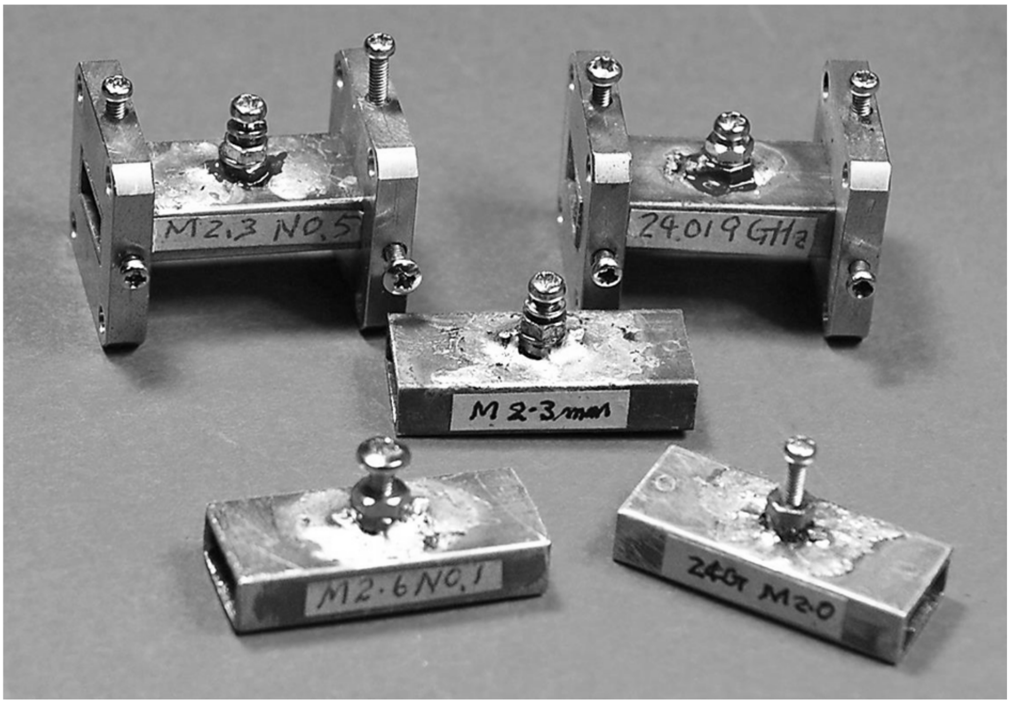


写真１　自作したフイルター

ショートポスト間隔は共振周波数を決める大事な寸法なので指定の 6.5mm をノギスで正確に罫書してポンチを打ってから穴あけしました。ねじのタップ立てはさきにふれた様にハンドタップに依ったので　特性を採った後、供試品はすべてダブルナット方式にして特性の安定化に成功しました。

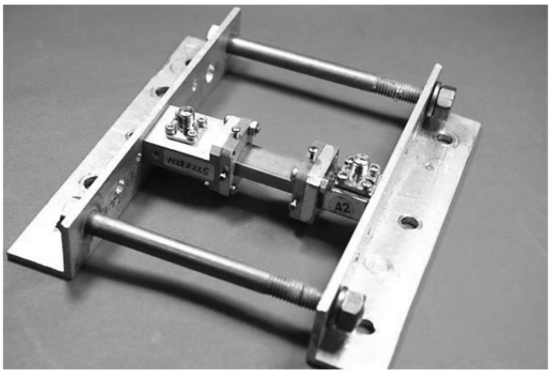


写真２　冶具

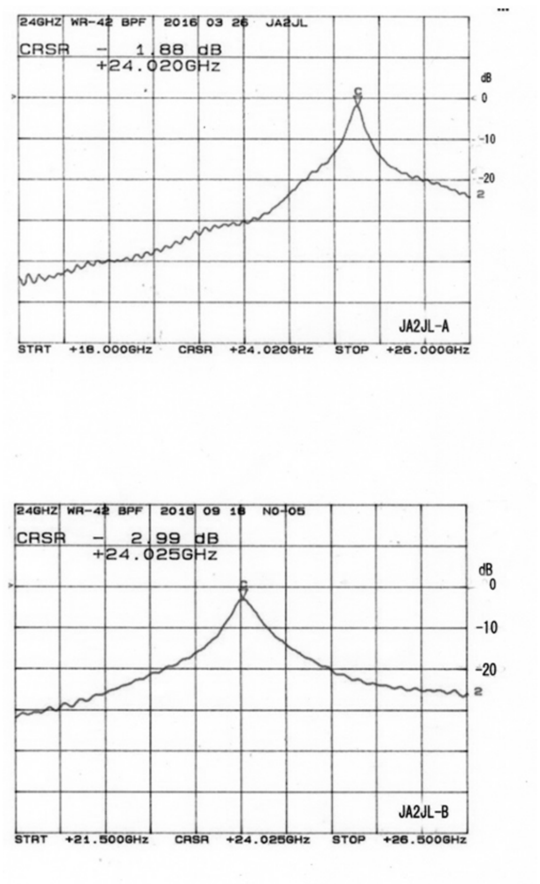
ショートポストの穴加工はいい加減な穴にすると、半田付けの際に半田が内部に浸潤して、特性、挿入損の再現に苦労します。導波管の仮面にあけるポストのための穴は使用する線材径より小さくして、ポストの先端は鉛筆の先のように（鈍角に）やすりでテーパーに仕上げてポストを打ち込みます。上面の穴は線材径と同じ呼び径のドリルで穴明けして少し大きなドリルで円錐形に座繰りを入れます。ポストを打ちこんだら　ほぼ面一に線材をカットしてから、調整ねじのタップを立てて、その後調整ねじにナットをつけて、ねじをねじ込んでからナットを締めこんで
全体をはんだ付けします。其の後　ねじはダブルナットにしておきます。

試作の初期には、タップ切りを調手で行い調整はフイルターを手で押さえての作業でしたが、調整がそのため、微妙で（まあいいか）の連続でした。挿入損にひどいばらつきが出て苦労しましたが、私の粗忽な性格に加えて気の短さもあったと思います。

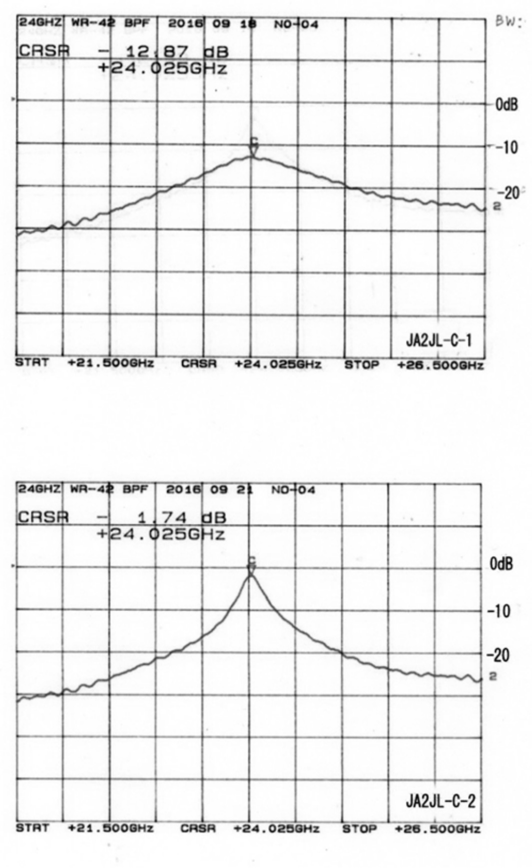
ダブルナット方式に改善して写真 N0.2 にしめす冶具のようにフランジをトランスジューサーに固定してフイルターをフランジに差し込み冶具にクランプする様にしてから格段に調整がしやすくなりホルダーの使用は品質の安定につながる思わぬ副次効果となりました。　信号源（24.019GHz ）の出力を同寸の導波管を通してスペアナで出力を読んでおき、その後供試フイルターに差し替えてねじを調節して出力最大にして、その値を先にブランク導波管を通した時の出力と比較する方法で挿入損を測りその後逸見さんのところに送り、出来上がったグラフ（特性図 1 及び特性図　2 ）より下表を作りました。

供試品等	挿入損(dB)	-3dB 巾(MHz)	-20 巾(MHz)	Date
オリジナル	-1.1	193	約 2000	第 2 図
JA2JL-A	-1.9	193	約 2700	20160903
JA2JL-B	-3.0	244	約 2200	20160918
JA2JL-C-1	-12.9	851	―	20160918
JA2JL-C-2	-1.7	201	約 2300	20160921

注）　C-1 までの特性は　タップ立ては手作業　C - 2 はダブルナット方式



特性図 1



特性図 2

この経験から挿入損が悪くなると-３dB 巾が広がる（Q値が悪くなる）ように思えました。
供試品JA2JL-Aで代表されるグループは本年3月に調整ねじのサイズが異なる試作品など３本測定しました結果ですが、挿入損は 2～4dB, -3dB 巾は 200MＨｚ、目的の 18GHz のリジェクションは-45dB ぐらい　とれておりました。冒頭に掲げた 1988 年のグラフの特性と比較して挿入損以外は概ね近い特性が得られたかなと思います。
JA2JL-C-1 は あまりにも挿入損特性が悪いので　ダブルナット方式に改良した JA2JL-C-2 と比較するために表示したものですがダブルナットの効果は大と言えそうです。

何が挿入損の値を悪くしているのか

１つは　銀メッキ銅のポストのせいかもしれません。材料が手に入れば再試験したいところです。

2 つは　導波管内部のきれいさで暑か。ポストとして使用した銅線は引き抜き加工されたきれいで光沢のある仕上がりでしたがそれをやすりで傷つけたりしてみましたがその程度では有意な差にならなかったように思います。しかし、半田を積極的に浸潤させたポストのフィルターはさすがに挿入損が大きくなりました。我が家での挿入損比較では他のそうでない供試品と比較してインサーションロスは 2.5db 位の差がありました。

3 つは　ねじのガタと接触不良が共振のピークを出しにくくしているようです。それと作業者の忍耐力 です。私はすぐに面倒になってしまういい加減な資格ですがそれが災いしているかも。

あとがき

特性測定をお願いして戻ってきた結果を見ると、製作上の反省しきりで特に挿入損の大きさのばらつきが気になって前述のように、調整部のタップ加工を精度の高い機械加工のねじにするために、すべてのフイルターを導波管にナットをはんだ付けとしたダブルナット方式に替えまた。ダブルナットを半締めにして最大共振点を出す作業は短時間で出力を最大にする作業が出来ました。また半田付は鏝を長時間当てていると膨張で 半田の浸潤が必ず起こるので大容量の鏝で短時間の作業をする事で防ぎました。こうした作業により手元の 3 本のフイルターを再度スペアナで調べてみた結果　挿入損は-1.2 ～1.5dB の範囲となりオリジナルの 1.1dB に近づける事が出来ました。

また半田の浸潤が以上に多かった評価用のフイルターの挿入損は-37dB でした。損がどこで発生するのかの試験でしたがコン供試品はポストの半田浸潤は浸潤と言うよりむしろ、垂れ流しで導波管の内部で肉盛りしたような状態で明らかなポスト間容積が変わったと言える状態でした。加えて M2.6mm でも試作しましたが　6.5mm のポスト間隔では　ナットが収まりきれないので避けた方が良いようです。

手元のスペアナで挿入損を測定するやり方は、上記の検討用として　簡便でネットアナでの測定とも相関があるように思いました。

結語として　上記の製作手順で作ったフイルターは挿入損も一定の良好な範囲に入り満足できる結果も得られました。

　文末になりましたが逸見政武さん（JA1ATI）には　製作に関するアドバイスなどをいただきお忙しい中　測定でも何回も　お世話になりました。深甚なる謝意を申し上げる次第です。

志賀尚達

小型YTOを使った77GHz帯実験用信号源

JA1ATI 逸見　政武
Oct 2016

この機器は77GHz帯用アンテナの調整や試験のための屋外で使用ができる周波数可変型の信号源です。受信側の高感度電力計についてはマイクロウエーブプログレスレポート2012. P112で報告しています。
＜ログ、リニア電力計の製作＞参照

構成：
Fig-1に全体構成を示します。信号源の出力は、CW（連続波）又は1000Hz振幅変調（DF:0.5のパルス）で、いずれも出力レベルの可変ができます。
1000Hzの振幅変調は微小信号の検出用に使用されます。この方式はスカラー形ネットワークアナライザーなどで使われている手法です。

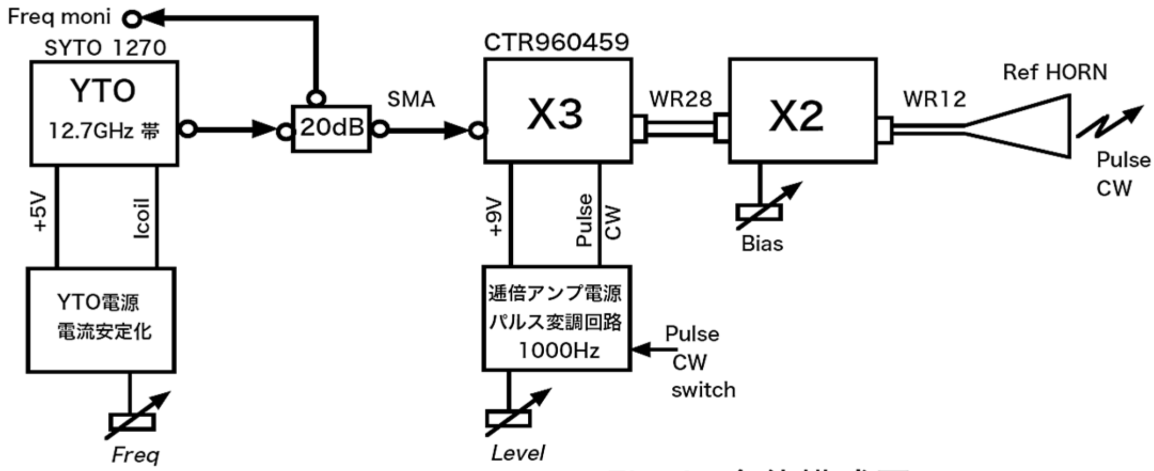


Fig-1　全体構成図

YTO:
磁場内に置かれたYIG球は磁場に比例した周波数で共振します。
これに発振回路を加えると自励発振し、YIG Tuned Oscillator (YTO)と呼ばれています。発振周波数は磁場に比例し、磁場は励磁用コイルに流される電流によって制御されます。一般にYTOは1：1.5～1：5位のきわめて広帯域で作動します。広帯域で動作させるには励磁電流を大幅に変えますが、周波数は磁場に比例し、磁場は電流に比例しますから励磁コイルの消費電力（発熱）は二乗になります。したがって高い周波数になると発熱量が急に増加します。ここでYTOを広範囲で使用しない使い方に沿った方式として、磁場が永久磁石によって

生成されたYTOがあります。原理的には磁場のための電力（発熱）はありませんから、小型化と共に省電力なので屋外の使用に適しています。実際には周波数を調整しなければなりませんので磁場補正用の電流コイルが付いています。今回使用した小型YTOは永久磁石のみではおよそ12.7GHzです。これに補正用コイルが加えられ、周波数が可変できるようになっています。永久磁石による磁場方向と補正用コイルによる磁場方向が同じ場合は磁場は加算され、逆方向では減算されます。Fig-2に補正コイルの励磁電流(Icoil)と周波数(ΔFreq)の関係を示しています。図から判る様に補正コイルの励磁電流を+/-30mA変化させると 12.7GHz 帯で、約 870MHz 変化する事が判ります。これは14.5MHz/mA に相当します。ここでのYTOは自励発振なので周波数精度

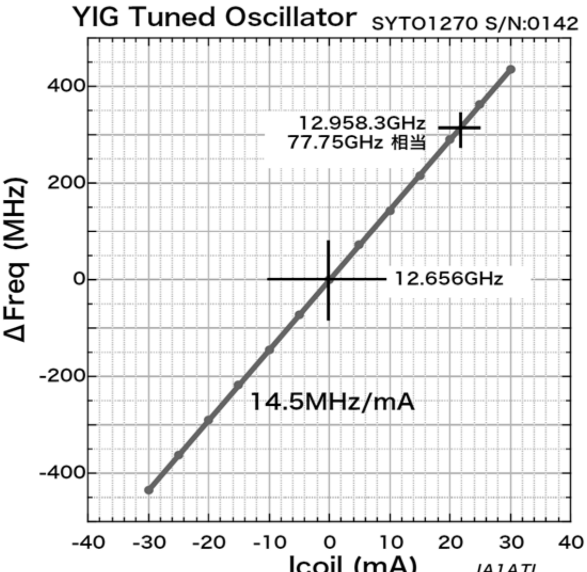


Fig-2

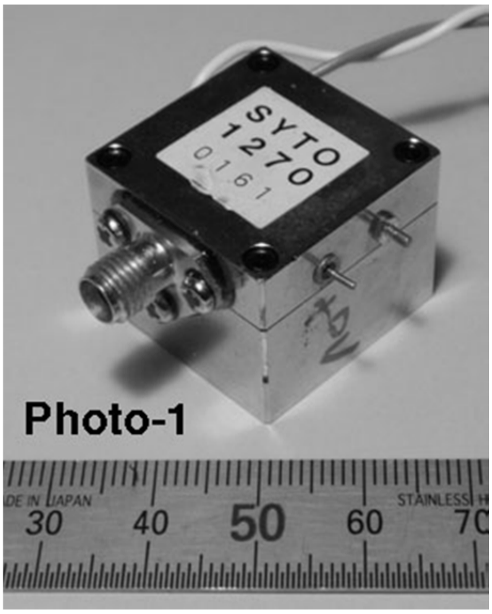


Photo-1

や安定度は良くありません。比較的に安定した室温状態では、立ち上がり10分の後、30分経過で1～2MHzのドリフトがありました。周波数安定化を図る場合は PLL回路と組み合わせて 補正用のコイル電流を制御します。アンテナの調整や特性調べでは周波数安定性はあまり求められません。むしろ周波数が連続に可変出来る機能が求められます。Photo-1は使用したYTOで、外形が25x25x20(mm)（コネクタ、端子を含まず）と小型化されています。
出力レベルは20dBカプラーの出口側で、 +13dBm でした。

励磁コイル用電源：

発振周波数を安定にするには、磁場を発生させる励磁コイルの電流を安定化する必要があります。Fig-3に電流安定化回路図を示します。この安定化回路は

+/-30mAの両極性を持っています。安定化は励磁コイルに流れる電流を基準抵抗(Rs)で電流ー電圧に変換し、約2.5Vの基準電圧と比較して安定化をさせる方法です。この方法では電流を安定化させるだけなので永久磁石や磁気回路などの温度特性による誤差についての補正は行っていません。したがって定電流回路の精度をあまり高くしても発振周波数の高安定化には寄与しません。ここでは1/100程度の電流安定度を維持しています。電流設定はダイアル付多回転可変抵抗器（ヘリポット）で行っています。また、この回路では、外部からの制御信号に従う事もできる様になっているので 周波数安定化信号や鋸歯状波スイープ を行う事もできます。

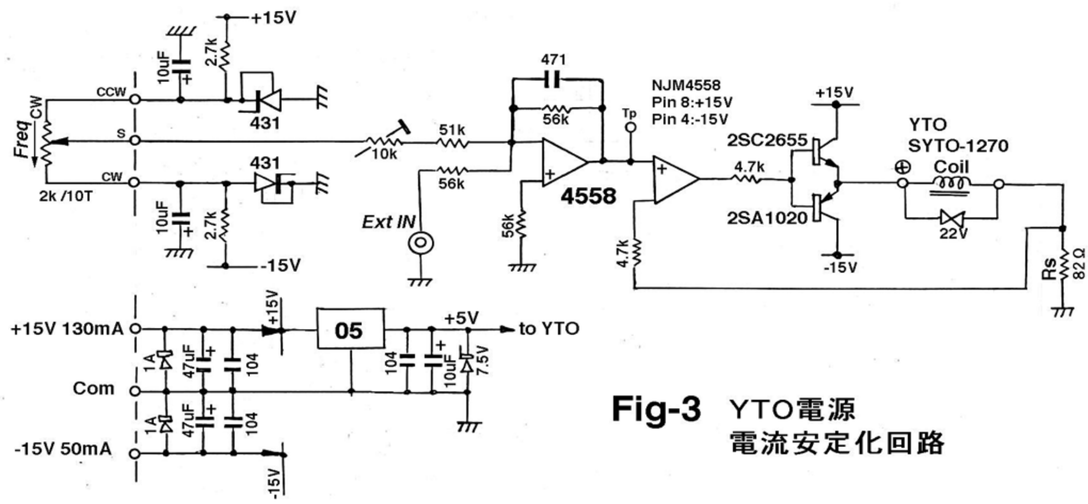


Fig-3 YTO電源
電流安定化回路

3逓倍とその電源：

3逓倍のモジュールは、入手しやすかった余剰放出品 ？ の、CTR960459(2,3逓倍)を使用しています。

同類のCMA382400AUP(3,4逓倍)でも良いのですが、電源仕様が異なります。この品種は個体バラツキが多いので注意が必要です。詳しくは

マイクロウエーブ プログレスレポート2014, P59、＜38GHz帯逓倍アンプの特性について＞、 を参照して下さい。このモジュールは出力の調整や、振幅変調ができる端子があるのでとても好都合です。+12Ｖ表示の端子に加える電圧を変化させると直線特性ではないのですが出力レベルを変化させることができます。また、1000Hzのパルス（DF：0.5）にも応答します。パルス変調付き電源回路をFig-4に示します。出力の制御ができる+12V端子は,+8V以上では飽和状態なので1.5～8Vの可変電圧が加えられる様にしています。電圧設定用ボリウムは多回転可変抵抗器を使いました。1000Hz(DF:0.5)のパルス変調用の信号源には水晶制御されたタイムクロックIC(京セラ製LQT-1KX)を使いました。

電源の出力はレベルの可変が出来るCW（連続波）および、レベルの可変ができる1000Hz振幅変調（パルス）になっています。
3逓倍器のCTR960459は個体に依っては出力が150mWぐらいの物もあるので次段の77GHz用2逓倍ミキサーが過大入力にならない様に注意が必要です。

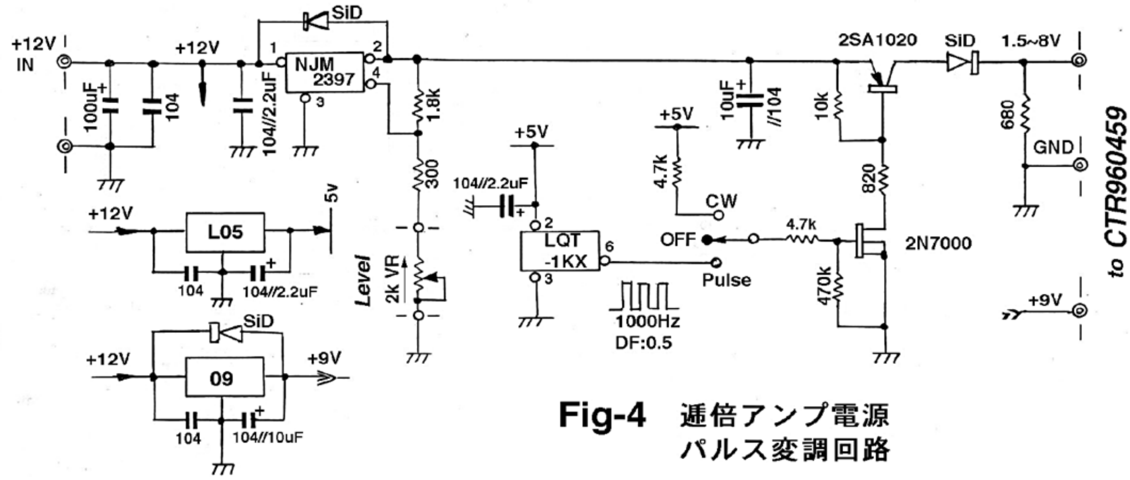


Fig-4 逓倍アンプ電源
パルス変調回路

2逓倍段：
　2逓倍のモジュールは市販の77GHz用2逓倍形ミキサー（セブロン電子製シングル ダイオード型）をそのまま使用しています。IFポートには2kΩの可変抵抗器を入れて、自己バイアスの最適値を調整をします。出力は、75GHz規格の電力計で測定した結果では-32dBm〜+3.6dBmでした。　　ーJA1ATIー

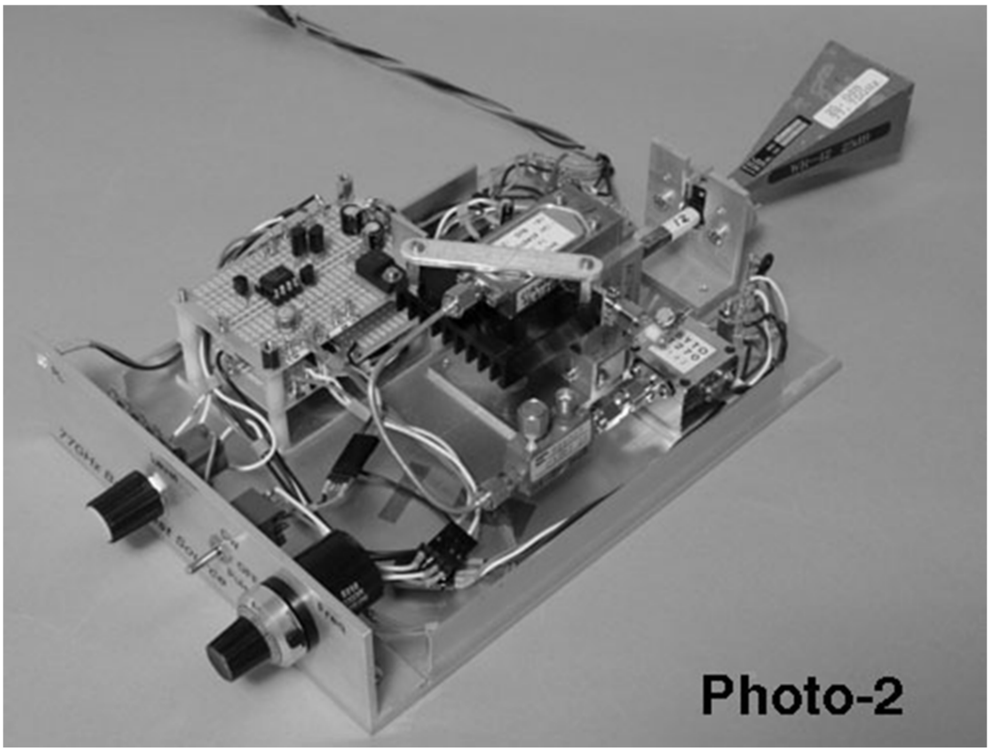


Photo-2

77GHzの225km交信チャレンジ (2014年11月15日)

2016/11/20　JA1OGZ　金子明

2013年5月に47GHzにおいて日本最遠距離を達成しておりましたが、77GHzでは2014年に入ってから5月に1回と10月は2回、計3回挑戦しましたが 100km 離れた局すら交信できない有様でした。そんなコンデションの中でも 47GHz については毎回楽に交信出来ておりますが波長 3.8mm ともなれば大気中の水蒸気の影響は更に大きい損失になります。

(注：この時点JA1ODA,JA7JJN局は4回挑戦)

過去3回は気温も10℃以上と高く富士山側からは雲や霧の影響を受けて眼下が見えないほどでした。 10月に挑戦した時と比べ気温の低下と晴れの間を狙う為、毎週末出発出来るよう準備しました。週末の天気予報を見ては GO-NO-GO を決めることとし、スタンバイ状態でした。

2014年最後の挑戦

11月に入ると富士山の山頂には雪が積もり、移動先の駐車場の標高は約 2000m もあり凍結とともに駐車場が来春の4月末まで閉鎖される可能性もありました。また、道路に積雪や凍結のおそれもあるため車のタイヤを早々に冬用タイヤに交換して機会を待ちました。 11月15日挙行予定日の山の天気は晴れ後曇り、標高2000m地点は風速10mを超え、登山には不向きとあり迷うところでした。その登山用の天気予報は一向に良くなってきませんでした。天気予報のニュースでは東北方面に積雪のおそれと週末大荒れと盛んに言っておりどうしたものかと判断に迷いました。天気図を見ると西からの等圧線の間隔が緩んで来ていたので、行くだけ行ってから機材を設置するかどうか判断することとし今年最後のチャンスとして出かけました。

天気予報は大はずれの最高の天気

幸い、中央自動車道富士吉田線から眺める富士山は山頂まで雲一つない快晴。山頂の風も穏やかで雪が風で舞うようには見えない。

写真１　須走口への道路

須走登山口駐車場に着くと、山の天気予報大外れ気温は4℃前後と低いものの2000m地点でも無風、快晴状態でした。

写真２　JA7JJN局設置済み

写真２のごとく既に同行のJA7JJN柳澤氏が到着し機材の設置が済んでいました。

相手局のJA1ODA横山氏も到着し、太陽方位を取り、アンテナを向け富士山からの信号を待っている状態でした。相手局の常陸太田市（里美牧場）の天候は晴れ時々薄曇り、富士山の山頂の冠雪がぼんやりと目視できる状態とのこと。

写真３　JA1ODA横山氏　里見牧場

写真４　須走登山口駐車場から里美牧場方位

過去３回の移動では、富士山から眼下を見ると雲がかかり東京湾も見えず山中湖が見える程度であり、水蒸気による大気吸収減衰が大きく約100km先の局とも交信が出来ないほどでした。今回は、始めて東京湾、筑波山、東京都心ビル群が見えるほど快晴に近い状態でした。

いきなり77GHzから開始

通常ミリ波の交信の場合低い周波数から交信を行いより高い周波数に移行し伝搬確認や機材の確認を行っていきますが、時間は9:20今回、JA7JJN局は77.75GHzからいきなり送信することになりました。しばらく送信していると幸先良く富士山側から送信した信号は相手局 JA1ODA にはかすかに確認できるとの連絡あり、しかし交信できるレベルにはなっていない。　最初から何らかからの信号が届けばチャンスありと高まる気持ちを抑え、今度は JA1ODA 局から送信したままにしてもらいコンディションが上昇するのを待つことにしました。

写真５　JA7JJN柳澤氏

続いて、当局JA1OGZの77GHzのリグの設置も終わり、OCXOが温まったころ受信開始したが中々つかまらない。外気温が 4℃と低いためかOCXO周波数がまだ合っていないか？アンテナ大きさが柳澤氏と比べ5cm小さいことが影響しているかもしれない。リグの内部のノイズが大きく、受信限界が高いレベルなのかなど考え ANT を上下、左右に振り聞こえないかじっと我慢であった。後で分かったことですが、外気が冷えている時はOCXOはダブルオーブンの構造で安定するまで約15分から20分要することがわかった。

写真 6　JA1OGZ やっと準備 OK

JA1ODA 局と JA7JJN 局 9 時 54 分交信成立

徐々にコンデションも上がって 9:54 には、柳澤氏と横山氏で SSB にて双方 53/53 で交信成立し、その後当局においても、受信可能となり 10:18 CW で 449/539 で交信ができました。連続して 10:25 SSB にても 58/55 とコンデションが良くなってきた。さらにコンデションが上がり始め 10:29 には柳澤氏により FM での交信もできるようになってきました。

これで、全モードの交信が成立したので休憩や千葉県富津市移動の JH1AOY 玉川氏と 47GHz にて交信しました。

写真 7　乾杯（ノンアルコール飲料）

引き続き、里美牧場側からは CW ビーコンを F2A のモードで送ってもらいコンデションの上昇を待ちました。 11:25 FM モードで受信しても QSB はあるもののクリアーに聞こえるほどにコンデションが更に上昇し柳澤氏とともに FM にて再度交信できました。この時の信号レベルは高く、58/55 で交信しました。

写真８　JA1ODA 里見牧場

77GHz の伝搬損失

伝搬損失＝自由空間損失＋大気吸収損失

・自由空間損失

L(dB)=32.4 +20log77750(MHz)+20log225(km) = 177.3dB(free space loss)

・大気吸収損失(dB)　Atmospheric Loss(dB)について当初聞え始めは信号強度 2 で-115dBm であり、逆算すると大気吸収損失 0.21dBm/km 程度でした。

コンデションが上昇し、S6 -91dBm 程度の信号になって来たときは大気吸収損失は 0.1dBm/km と良くなってきた。225(km) x 0.1(dB) =22.5dB がほぼ最良値として計算すると、　送信出力 17dBm(50mW)+送信アンテナ 47dBm – 177.3dBm – 22.5dBm + 受信アンテナ 46dBm= －89.8dBm(S メータ 6 程度)　大気吸収損失がほぼ最低値では十分な交信が成立することになりました。

76-80GHz World DX Records on Dec. 2014

76-80GHz Distance Record　2014 年 12 月時点

	km	yy/mm/dd	Mode	Call	Grid	Call	Grid
日本	219.5	2013/4/28	CW/SSB	JA1ELV	PM95JI	JA1KVN	QM06DW
日本	176.8	2014/3/29	FM	JA1ODA	PM95OK	JA1OGZ	QM06BU
日本　申請中	225.0	2014/11/15	CW/SSB	JA1OGZ	PM95JI	JA1ODA	QM06GT
日本　申請中	225.0	2014/11/15	FM	JA7JJN	PM95JI	JA1ODA	QM06GT
米国	252.5	2013/6/18	FM/SSB	KF6KVG	CM97DI	AD6IW	DM06MS
米国　申請中	**289.0**	2014/6/23	SSB	KF6KVG	CM97AV	AD6IW	CN90FL
ドイツ	224.0	2011/8/3	CW	DL2AM	JN57LK	DJ5AP	JN47AU
英国	129.0	2013/11/13	FM	G8ACE	IO82QL	G8CUB	IO83RO
チェコ	106.0	2014/6/7	CW	OK2M	JN69UN	OK1KAD	JO60LJ
オーストラリア	139.8	2014/5/15	-	VK3XPD	-	VK3HZ	-

＊オーストラリアではこれ以上の遠距離を望める場所はないそうです。

まとめ 計 4 回の挑戦で感じた事

- 77GHz ともなると、自作部分が多く構成も複雑であり整備は欠かせません。特に、ローカルオシレータの安定度と微弱信号を扱うため受信部のノイズ発生を抑えたものでなくてはなりません。
- 新たな記録を作ろうとすると、念入りな準備と双方スケジュールの優先度を上げないと難しい。
- 交信しようとする相手局の方位および仰角に如何に合わせられるか。移動先で運用時間帯の太陽方位を事前に確認しておき、太陽の位置に校正した後に相手局の方位に合わせておく。
- ミリ波帯の通信距離は空気中の水蒸気に大きく依存するので、乾燥する時期を狙うようになりますが、長距離が見通しできる移動場所は限られてしまう。世界記録の 289km を超え、車で行き機材を持ち上げられる場所は日本にはあるか。
- 今回、4 回目にして十分な信号強度での交信ができましたが、温度、湿度、酸素などの影響を受けるミリ波での交信の難しさについて先輩諸氏の皆様方からご教授を受けていましたがこれほどまで難しいのかと体感しました。

謝辞

77GHz の日本最遠距離を目指してチャレンジされていた故人横山氏に敬意を表し、CQ 誌 2015 年 2 月号に掲載された内容とほぼ同じですが、CQ 誌編集部の了解も得て本誌に投稿いたします。

また、77GHz のミキサーダイオードの取付けを快く引受けて戴きました、ここに居られます多くの諸先輩に御礼を申し上げます。

交信の様子は　Youtube にて 77GHz で検索すると出てきます。

https://www.youtube.com/watch?v=4LKIisIgtws　　JA1OGZ/JA1ODA SSB

https://www.youtube.com/watch?v=lGOzwAuccsA　　JA7JJN/JA1ODA FM

https://www.youtube.com/watch?v=gmOknExw94g　JA1ODA/JA7JJN FM

https://www.youtube.com/watch?v=tkp9v_QNwHM JA1ODA TX F2A /JA7JJN RX SSB

https://www.youtube.com/watch?v=aJjKzYDirfs　　JA1ODA/JA1OGZ FM

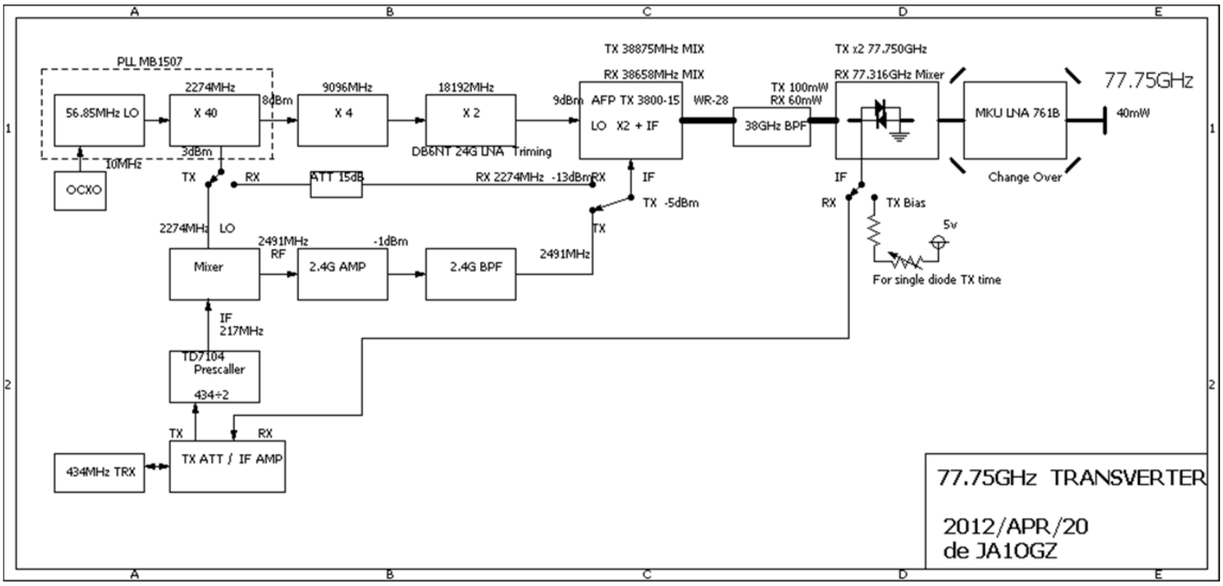
無線機の仕様

JA1ODA　ANT 45cm オフセットディッシュ　出力 50mW

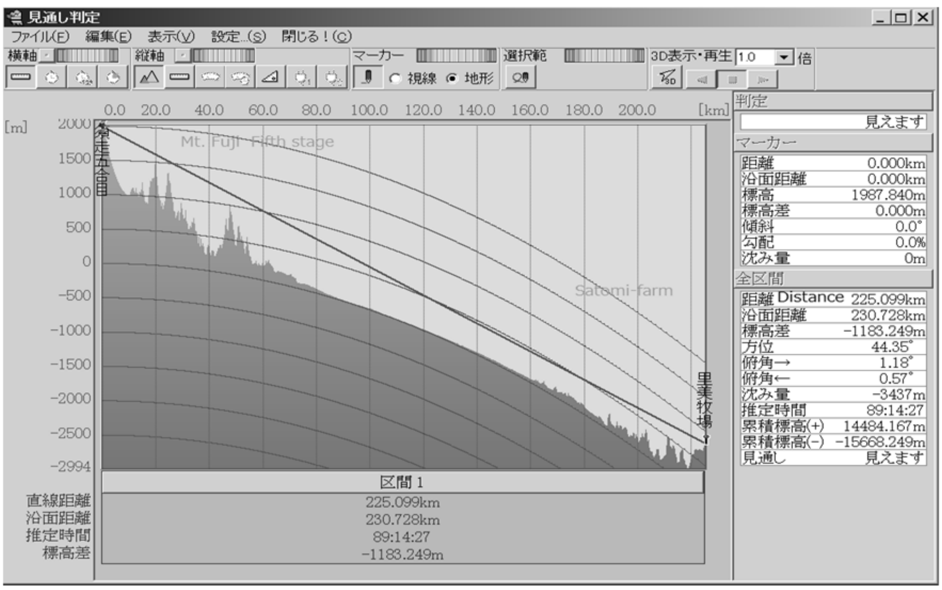
JA7JJN　 ANT 45cm オフセットディッシュ　出力 23mW

JA1OGZ　ANT 40cm オフセットディッシュ　出力 40mW

77GHz トランスバータの構成図



富士山須走登山口=>茨城県常陸太田市　里見牧場



77GHz トランスバータの製作

2016/11/20 JA1OGZ　金子明

はじめに

2012 年からローカル OSC や IF の 430MHz の 2 分周などの個別の製作や実験を繰り返し完成にこぎつけたのは 2013 年末になりました。ここに構成を含めご紹介します。なお、この基本構成は亡き JA1ODA 横山氏および JA7JJN 柳澤氏と同様な構成となっております。個々の工夫はそれぞれ違いますが、数年経過しても動作不安定は見当たらないようです。

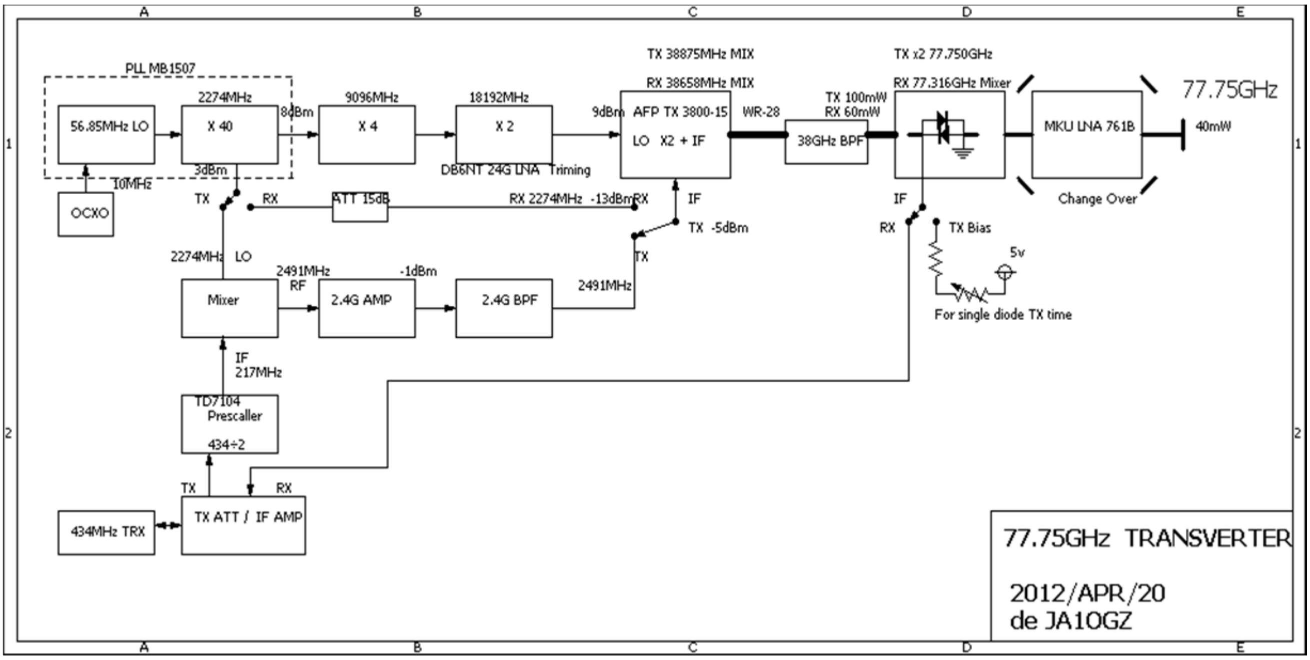
周波数構成

77GHz を生成するには、38GHz のローカル OSC と IF をハーモニックミキシングすれば 77GHz は出てきますが、- 10dBm 以下と微弱であり Kuhne の 76GHz AMP をドライブするには -3dBm 以上は欲しいところです。 それには微弱すぎ、ミキシングしたときに DSB となってしまうため、BPF を通す必要があります。この BPF も製作困難です。47GHz では BPF の市販品があり、AMP もあるため、アンプの前でミキシングすれば構成もシンプルになります。さて、77GHz に話を戻し、最終段にて IF とミキシングするのではなく、77GHz への逓倍前の前段階でミキシングし AMP の手前で 2 逓倍した構成のほうが出力が得られます。前の段の 38GHz の逓倍器は x2,x3,x4 で 100mW 近い出力の逓倍 AMP を手に入れることが可能です。IF を 430MHz 台で製作したほうが移動運用時には SSB も運用できる小型の FT-817 や FT-790mkⅡが使えますので好都合です。そうすると 77GHz の 1/4 の 19GHz 帯または 1/8 の 9GHz 帯での IF のそれぞれの 1/4 或いは 1/8 の分周したものとミックスすることになります。ミキシングした後に BPF を通して LSB と LO OSC 分を減衰させなくてはならないです。ここも BPF を製作したりジャンクを探すのは厄介になります。特に IF の分周が大きいほど、LO OSC の減衰も望めなくなりますので 430MHz 帯の 1/2 分周の 217MHz 程度が望ましいです。

部品の物色に eBay を眺めていると 38GHz 帯のジャンクはかなり出回っておりトランシーバと称する TX/RX ユニットまでも 100$近辺であります。また BPF も周波数が記載された導波管タイプもありました。TX ユニットと RX ユニットが分かれたものがあり、内部構造の詳細写真までも添付されていました。名前は TX-3800-15 というものですが、LO と IF 入力があり出力は WR-28 の導波管です。これらの内部構成を説明する文書がないか検索すると Eyal GAL Ltd からの資料が見つかりました。この資料を見ると IF に 2.4GHz　LO に 9GHz でした。LO に対しては 4 逓倍であることが分かり早速入手して実験しようということになり、JA1ODA 局にも紹介しました。どのような周波数から 9GHz 帯と IF 2.4GHz を作り出したらよいか、Excel とにらめっこになりました。数日後 JA1ODA 局と会話しているときに LO OSC の基本発振は 2274MHz にすれば良さそうだ言うことになり、どこかで聞いた周波数ではと思いだしました。この周波数はマキ電機さんの 24GHz の 1280 IF の 22.74GHz の LO OSC と同じ Xtal や PLL Lock も利用出来そうだということになりました。一気に周波数関係が解決し 38GHz の逓倍ミキサーの入手と手持ちの 24GHz のマキ電機さんの LO OSC を取り出し 11GHz への逓倍はせずに 2274MHz だけ出てくるように改造しました。

このハーモニックミキサー周波数関係は、送信時は 77.75GHz の半分の 2274M x 16 + 2491M=38.875GHz になり、受信時は IF の 434M 低い 2274M x (16+1) =38.658GHz になります。

図１　全体構成図



77GHz ミキサーの実験

JA1KVN 武藤氏にお願いしていた、77GHz のアンチパラレルのミキサーとシングルダイオードのダイオード取付けが出来上がり LO OSC や 38GHz の逓倍ミキサーの実験ベンチも出来上がったので真冬の雪の中　横山氏の別荘に飛びました。ここでのテストはアンチパラレルダイオードミキサーとシングルダイオードミキサーの比較でした。送信時は文句なしにシングルダイオードが有利でありますが、受信時は LO の注入レベルにより変換効率とノイズフロワーが微妙に上昇してしまうためシングルダイオードミキサーを使った受信には不利でした。

私の、47GHz の二号機は逓倍型を使ってますが、送信時はバラクターダイオードで 20mW の出力を得て、受信時はアンチパラレルダイオードミキサーを使用するようサーキュレータで切り替えています。ここで、77GHz のサーキュレータや導波管切り替えは厄介な話になるため、いろいろ検討していくうちに、マイクロウェーブ　プログレスレポートの中で JA3CVF 森本氏がアンチパラレルダイオードにバイアスをかけてシングルダイオードもどきにしてしまう記事があり、直接尋ねてみました。　早速採用することにして、受信時はアンチパラレル動作、送信時にはシングルダイオードもどきの 2 逓倍とするように+5V を 200 オームの抵抗を介してダイオードには最大 25mA 流れるように VR を取付けました。このように送受するたびに切り替えることが送信出力に優位でした。

ローカル OSC

私は手持ちの TRV から外した 2274MHz のローカル OSC はマキ電機さんの 24G 用を採用し、2274MHz だけ出力されるようにしました。

JA1ODA 局は 56.85MHz の 3rd Ovt.の Xtal だけ利用し 5th Ovt.として 94.75MHz に一挙に発振させて G8ACE 基板で 2274MHz を作り出しております。確かに、逓倍時に子ずれが少なくなっていました。その後、JA7JJN 柳澤氏は「ぴるる電子研」の PLL832 を使っています。この PLL は Ref が逓倍時について回ることもなく 2.274GHz

のC/N比を見ると10kHz　-105.4Bc/Hzと良さそうです。77.75GHzは34逓倍ですので20Log(34)から30.6dB悪化するので、-75.8dBc/Hzのはずです。その後 77GHz を組み立てる方へは「ぴるるのPLL」を紹介しております。

2274MHz　4逓倍器　9096MHz

　私の場合4逓倍はセブロン電子さんの5逓倍基板の逓倍段にある櫛形の BPF の素子を長くして調整しましたが、DG0VEから各種逓倍Ampが出されているので利用するのも良いでしょう。
Ver9g-10g-20mW というものです。TR が三段構成になっており、BPF2 段とスタブを使っているので安心です。

写真１　2.3G => 9G　逓倍Amp

9096MHz 2逓倍器 =>18.192GHz

　2逓倍には、DB6NTの24G LNAの入力側のエ

レメントがフォークの形になっているところを9GHz を通すように 1pF～2pF てカップリングしその後はトリミングします。また、Drain 電流を

写真２　4-12G => 8-24G 2逓倍器(セブロン電子)

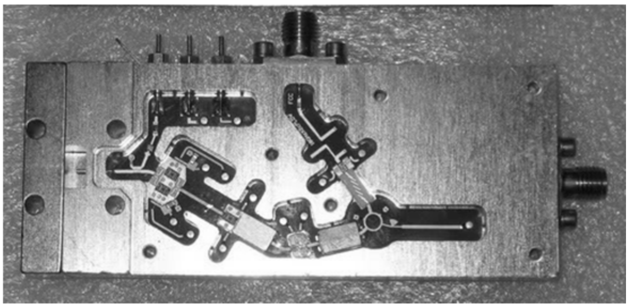
上記写真2を使えば LO OSC を 2.274GHz から18.192GHz まで既製品で作り上げることも可能です。このアンプは内部にバイアス調整がありますので、目的の周波数の出力を見ながら調整が必要です。

38GHzハーモニックミキサーアンプ

　3800TX-15の部品が到着し早速内部を眺めて見ると、インターネットの資料の9GHzとは違い写真3のLO OSCの入力は18GHzでした。入力には18GHz帯のBPFも入っていましたので、間違いないでしょう。

流すように終段の Drain に入っている抵抗 120Ω を 40Ω に交換し出力を上げます。出力レベルは13dBm程度あったほうが次段の38GHzハーモニックミキサーへの ATT を使いレベル設定が楽になるでしょう。この逓倍AmpはNFが思うように良くなかったものを使うとジャンク整理になります。　また、セブロン電子には4-12G to 8-24Gの便利なものもあります。

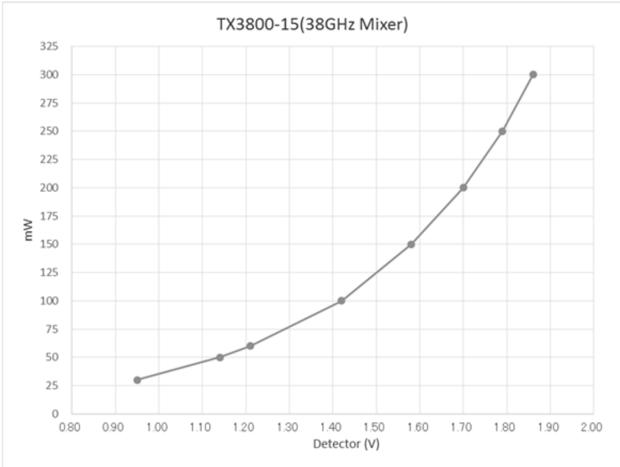
写真 3 38GHz ハーモニックミキサーアンプ内部



この 38GHz ハーモニックミキサーに加える電圧は-5V と+8V です。このまま電圧を加え LO OSC や IF 入力を入れるとなんと 300mW 以上も出てしまい、調整によっては 600mW も出てしまうほどです。 ユニットからの発熱も大きく、徐々に出力も低下してきます。 LO の入力レベルは 9dBm とし 2.4GHz 台の IF 入力は-13dBm から-5dBm 程度と大変少ない入力で 150mW 程度の出力は可能です。送信時と受信時での適正と思える電圧や入力レベルを実機をもって実験が必要になります。-5V のバイアス電圧は常にかかるようにしないとこのユニットを壊すことになります。+8V は送受信の時に電圧をそれぞれ適正にするように調整出来るようにしておきます。私の場合は 8V の電圧を運用時も監視しております。調整により送信時は約 6V 受信時は 4.5V になりました。また、38GHz の出力はこのユニットから出力されているデテクター電圧を監視することでおおよその出力が分かります。図 2 のように送信時ではデテクター電圧 1.6V では後で述べる BPF を通った後で 150mW でした。 受信時 1.2V で 60mW になりました。このミキサーの発熱により、出力の低下が見られますので、このユニットと同じかそれ以上に大きな銅またはアルミのブロックで挟んで発熱を抑えることやファンを回して発熱を抑えてください。申し遅れましたが 38GHz の出力の WR28 のバックショートの調整で出力を最良にすることをお勧めします。

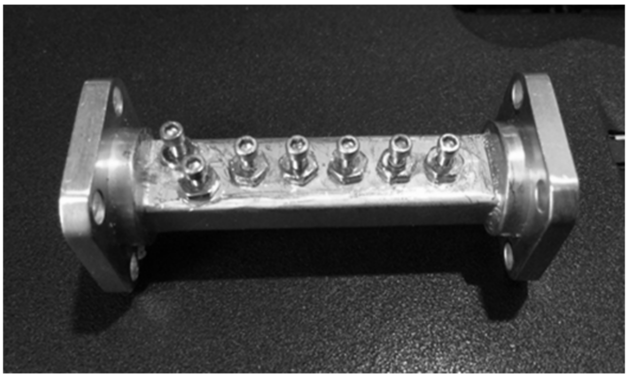
（内部回路図は最終添付図参照）

図 2 デテクター電圧と出力



38GHz BPF

写真 4 38GHz BPF



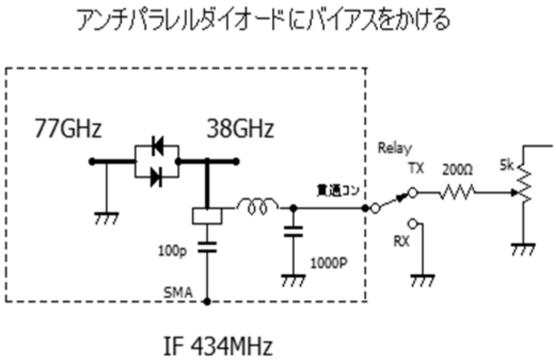
38GHz の BPF は eBay には色々とありますので迷うところです。送信時に 38.875GHz 受信時には 38.658GHz 通過するように、そして LO OSC の 36.384GHz が減衰するように調整します。 通過周波数 38GHz 帯とは LO OSC の 36.384GHz は 2GHz 以上離れているので 60dB 以上減衰が得られています。調整は、JA1ODA 横山氏にお願いしました。

77GHz ミキサー

内部構造は DB6NT の基板に IF OUT からチョークコイルを入れますが、コールド側には貫通端子を通して取り出し、送信時にはバイアスがかかるようにし、受信時は GND に落とすようにします。

バイアスのかけ方は、直列に 200Ωの抵抗を入れて可変出来る 5V を接続します。出力を見ながらバイアスを調整します。結果 Max 5V 25mA が最大出力になりました。これ以上はダイオードを壊すおそれもあり最大値は見つけてはいません。なお、JA1ODA 横山氏はチョークコイルにトリマーを抱かせて430MHzに共振させてコイルのセンタータップから100pFでIF Outを取り出すことで、1dB 受信が改善したとのことです。

図 2　77GHz ミキサーの概略図



77GHz 導波管

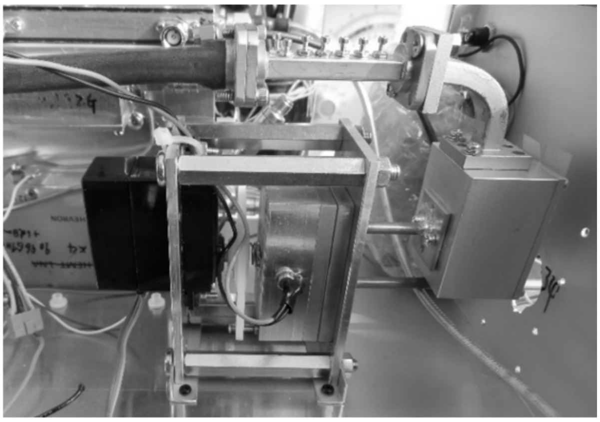
写真 6 に見られるように導波管はミキサーからAMPの間とAMPからアンテナフィードまでの間が必要です。あいにく、77GHz を使う WR-12 導波管はちょっと手に入らず、内径 3φの銅パイプを使いました。また、オフセットディシュまでの約 25 ㎝は内径 4φの 50MHz リニアアンプのタンク回路の巻き線を流用しております。

ファイナル送受信アンプ

アンプは Kuhne の U-Band Low Noise AMP MKU LNA 761B を使用しました。規格では76GHzで入力2mWで出力50mW　利得24dBの物ですが日本のBANDはさらに1.7GHzも高い周波数のため利得や出力は10%～20%の低下はあるでしょう。また、注意書きとして最大限の出力や低 NF を期待するには、出力側に導波管 Tuner を取り付けるようにと書かれていました。実験しましたが、出力をうまく測定もままならないので Tuner を取り付けるまでには至りませんでした。

ファイナルアンプは模型用のサーボモータで回転するようにしております。機構は秋月の PIC アクチュエータキット　通販コード K-01809 を使いました。サーボモータは GWS S03N 2BBMG を使いました。

写真 6　LNA 及びミキサー（BPF は 38GHz）



40 ㎝オフセットディッシュのフィードホーン

（SONY SAN-40DK3　f/D: 0.62）

西新潟クラブの MWCNT を使いデュアルモードホーンを計算してみました。

入力側は内径 3mm,

出力側は内径 5.6 ㎜　長さ 7.8 ㎜

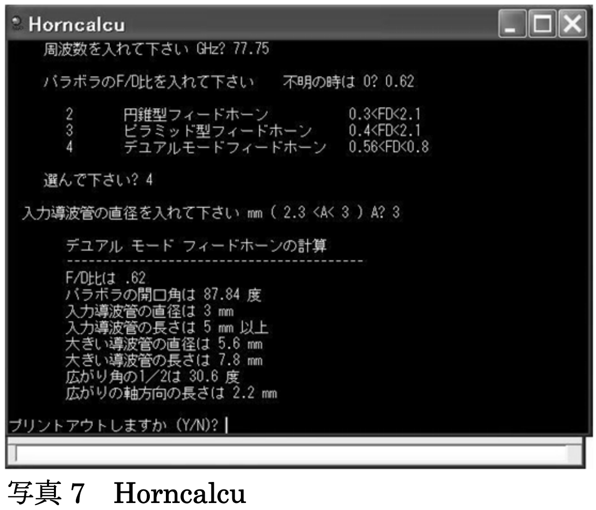


写真 7　Horncalcu

写真８デュアルモードホーンの内部円錐の計算

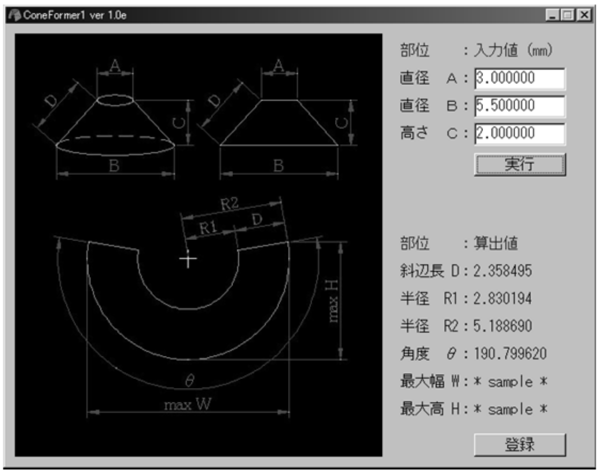


写真９　デュアルモードホーン

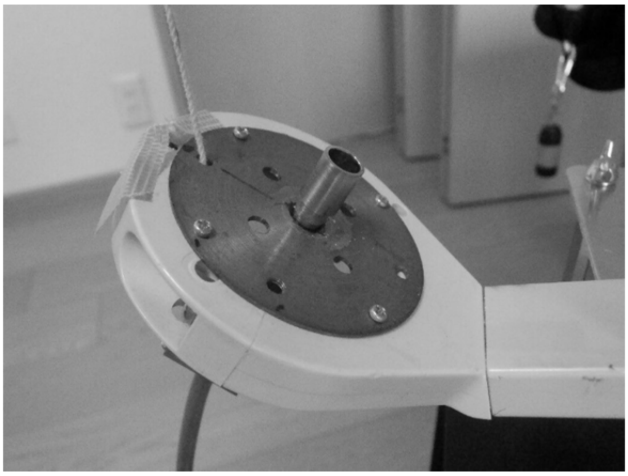
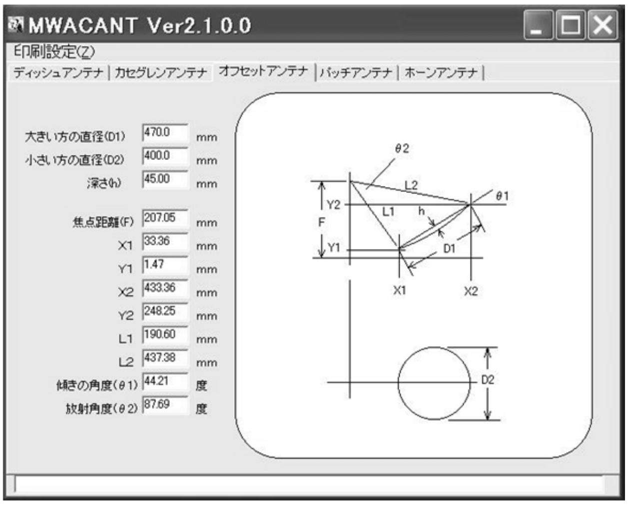


写真 10　SONY SAN-40DK3　f/D: 0.62



ここから先は、写真をご覧下さい。

写真 11　正面パネルと親機

写真 12　太陽方位　合わせの紐

写真 13　紐と太陽による投影

参考　図 3　77GHz の C/N

左の図：MAKI LO の 34 逓倍 10kHz -69.7dBc/Hz　右の図：ぴるる 34 逓倍　10kHz -76.8dBc/Hz　しかし、左の図ではインシデンタル FM ノイズがあり、1kHz を比較するとぴるるよりも 30dB 悪い。ぴるるの C/N は JH1PEF 局によって測定。左の図の FM ノイズは、PLL Lock によるものと思う。また、Xtal 3rd Ovt.から 4080 逓倍だからか？

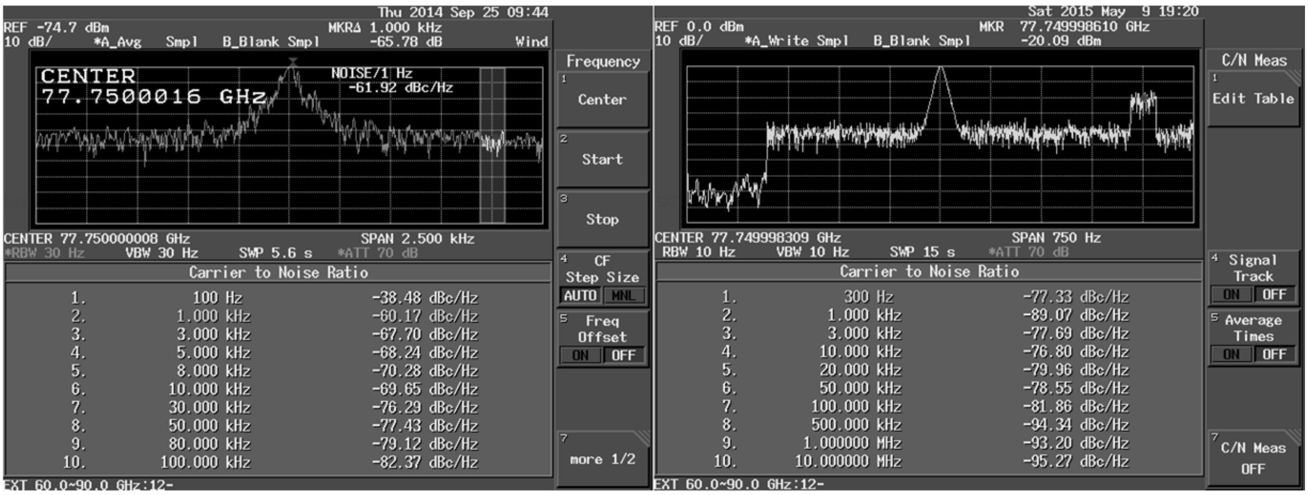
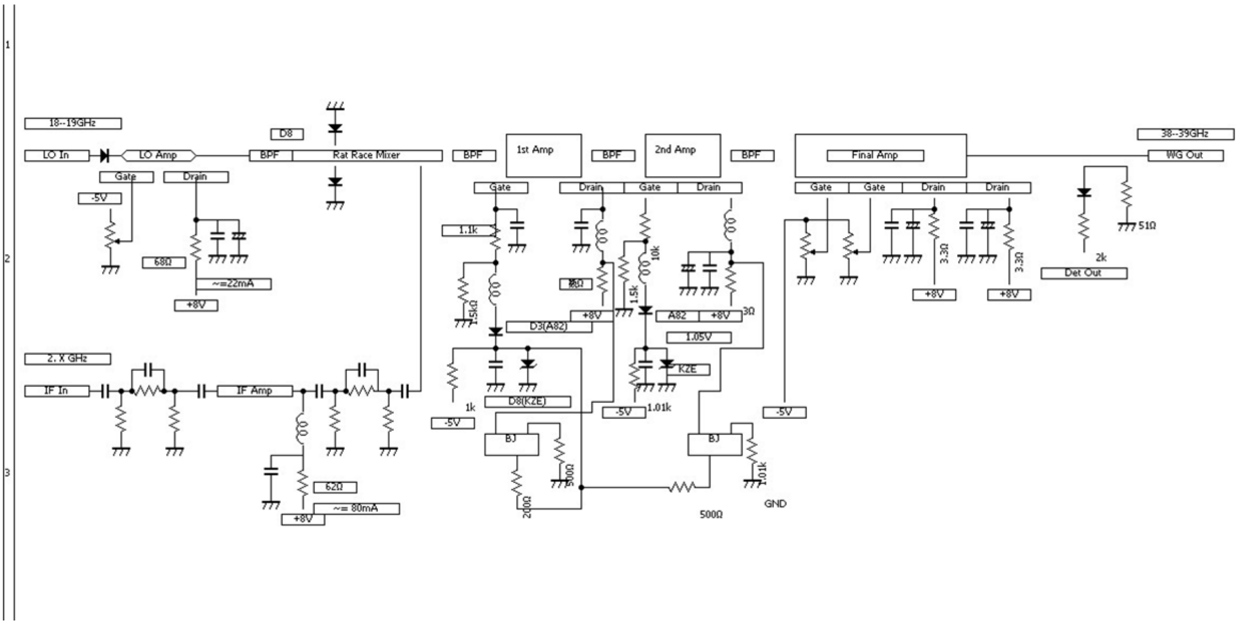


図 4　38GHz ハーモニックミキサーアンプ(JA1ODA 解析)



部品の入手先

PLL832E　 http://web.kyoto-inet.or.jp/people/kadoh/denshiken/PLLx/2016CAT832E.pdf

2.3G->9G　 http://www.dg0ve.de/ver9g_10g_20mw.htm

FM-0824　 広帯域アクティブ・ダブラー http://www.chevron-e.com/new/new.html

38G MixerAmp

http://www.ebay.com/itm/38GHz-16-TX-RX-MILLIMETER-WAVE-TRANSCEIVER-COMPONENTS-/280979999314?hash=item416bb68a52:m:mlCl8zmcMKzuMtq0MmNHqEw

MKU LNA 761C

https://www.kuhne-electronic.de/kuhne/en/shop/new/MKU+LNA+761+C++Low+noise+amplifier/?card=1546

図 5　434MHz　1/2 分周及び 2.4GHz ミキサー

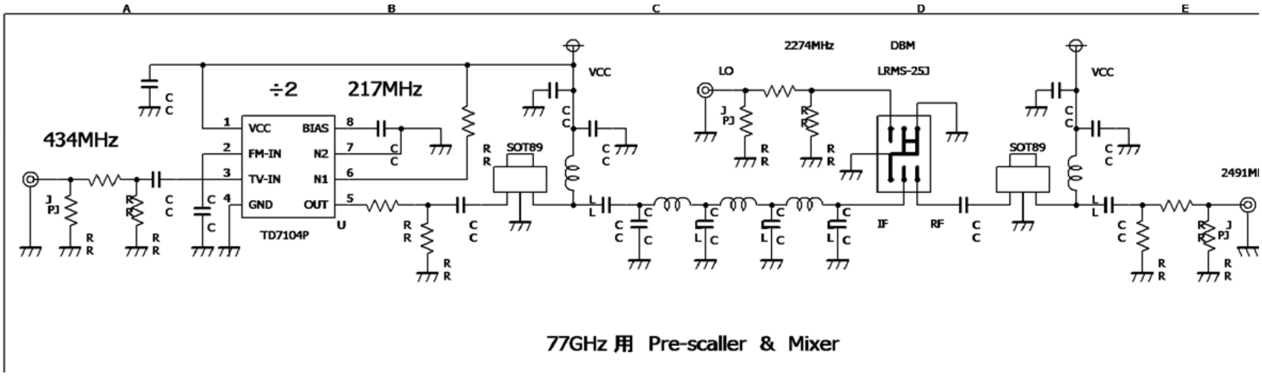
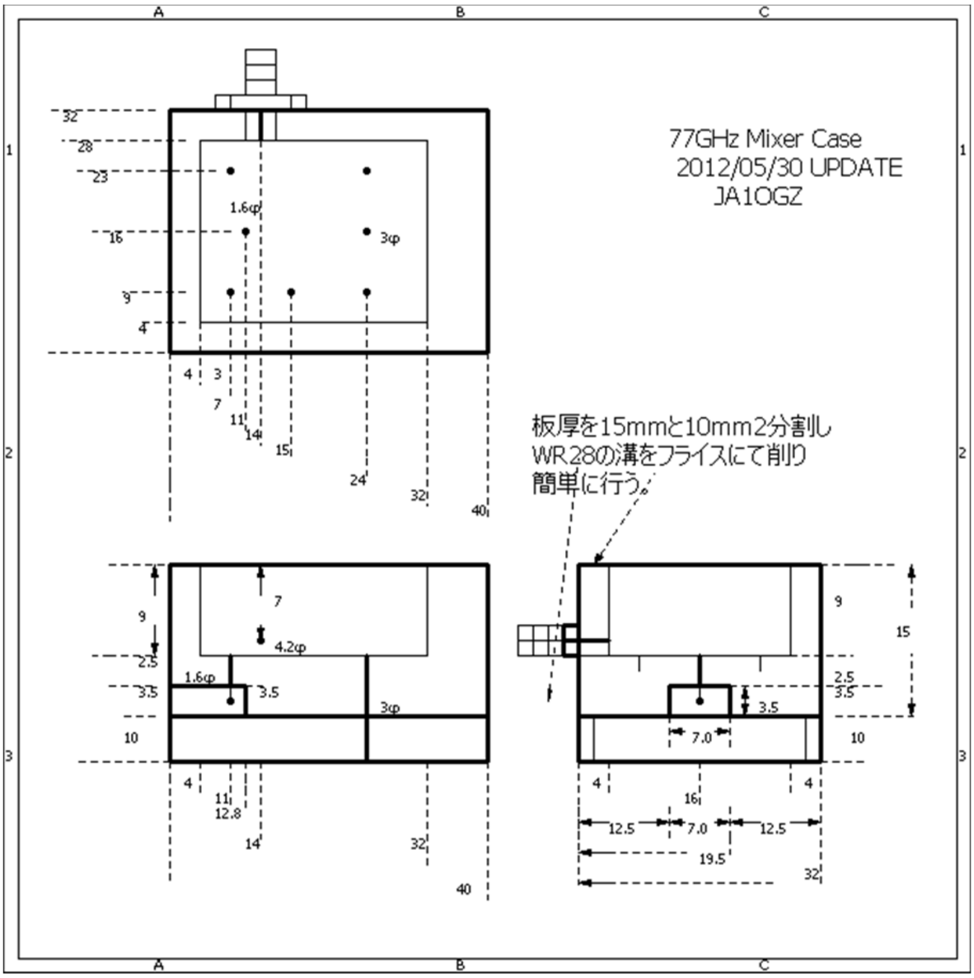


図６　77GHz ミキサーケース



まとめ

77GHz のトランスバータは幸い一度も故障せず動作しております。逓倍型の製作は構成要素が多く面倒ですが、出力増強する上で先輩諸氏が今まで培ってきた得策であることが分かりました。同時期に製作に取り組んだものの、JA1ODA 局が先に完成し、JA7JJN 局と当局が後を追う形になりました。先達者が居られたことで作業が捗りました。今回は、JA1ODA 故人を偲び製作記事にまとめました。今後皆さまのご参考になればと思います。

ミキサーの製作には JA1KVN 武藤氏ならびに諸先輩のお世話になりました。ここに御礼申し上げます。

83ＧＨｚ増幅器の試作と評価

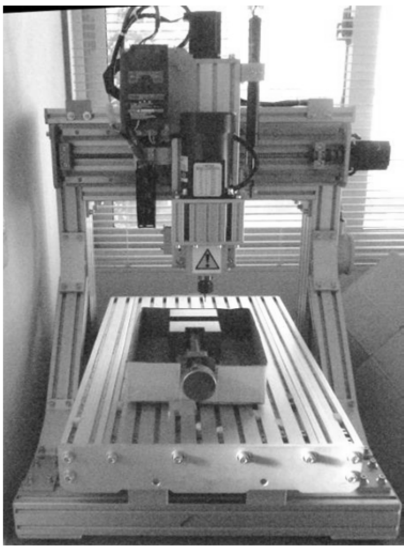
2016.09.21　ＪＡ8ＣＭＹ　増田幸雄

135ＧＨｚ帯以上の周波数で運用する機器で送受信共に増幅器を使うのはアマチュアにはほぼ不可能で、現在は逓倍方式しかありません。　逓倍方式においては、なるべく大きな送信出力と、受信ＭＩＸの損失低減が重要ですので、逓倍数を少なく、逓倍器の入力電力を大きく確保することがポイントになります。　249ＧＨｚの場合、2 逓倍では必要となる、125GHz 帯の信号を得ることは現状ではかなり困難ですので、3 逓倍以上の逓倍数となります。 3 逓倍の場合でも 83GHz で 100mW程度の電力を出せる増幅器もしくは逓倍器が望ましいのですが、増幅器は現在でも高額で、アマチュアにはなかなか手が出せない状況です。遁倍器では 80GHz 帯で 100mWの出力のパラクタダイオードを市販品で入手するのも困難な現状です。 249ＧＨｚの性能アップを図るため数年前に 83ＧＨｚ帯で 70mW級の増幅器を１台購入しました。価格は中古の高級スペアナよりもはるかに高額でした。249GHz 以上の機器性能向上のために 83ＧＨｚ帯 100mW程度の増幅器をさらに３台必要となり１年前から製作に向けて準備を進めてやっと試作が完成しましたので紹介します。

１．増幅器ケースの加工

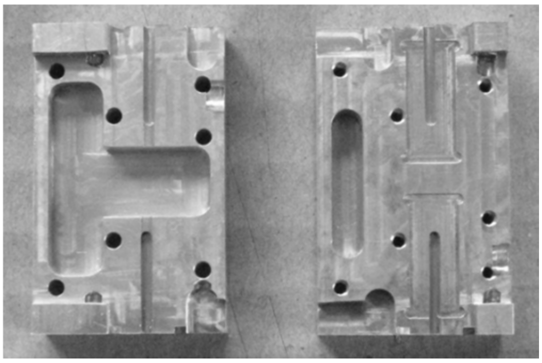
波長の短いミリ波ではケースの加工も精度が重要で、フライス加工は CNC フライスによることになります。
ケースの材質は加工のしやすいアルミ材とし、幅 25mｍ、厚さ 12mｍのフラットバーを必要な長さに切断して、加工しています。板材から切断加工しても良いのですが、正確に切りだし加工をするのが面倒なので、規格品を使って手間を省いています。
ＣＡＤで加工図面を書き、ＣAMソフトを使ってＮＣデータに変換する作業が必要です。　ＮＣデータが出来ればＣＮＣフライスが切削してくれますので、位置決めと切削工具の交換作業、時々切削油を噴霧するだけでケース加工が出来ます。　本格的なＣＮＣは位置決め、工具交換、切削油も自動で行ってくれますが手持ちの機械はこれらの機能を持っていないので手作業で行います。　少し手間はかかりますが、手動のフライスで加工するよりはるかに簡単で正確な切削が出来ます。

加工に使ったＣＮＣフライス盤

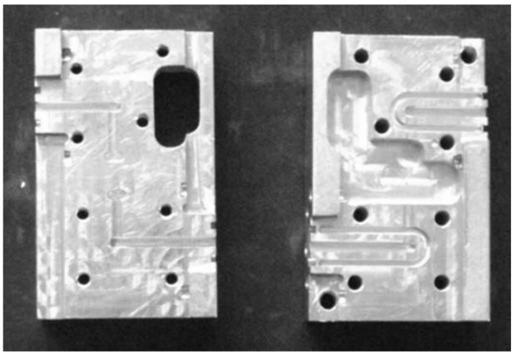


ケースは２種類製作しました。
最初はフインライン構造で基板を挟み込む形で作りました、２台目は 1/4λｇプローブ構造で作りました。プローブ構造ではケースからの漏れを防止するための 1/4λｇ チョークの溝を掘り込みましたが効果があるかは未検証です。

フインライン結合型ケース



１／４λgプローブ結合型ケース



２．ＭＭＩＣの実装

MMIC は MAICOM 社の MAAP-011106 を使いました。　外形は 3.78mm×2.5mm 厚さは 50μm と小さく極薄です。利得は 20ｄＢ、周波数帯域 71GHz～86GHz 飽和出力+25dBm の仕様です。 この仕様は MMIC 単体での特性なので、実際に実装すると基板との接続損失、入出力基板の損失、導波管との結合損失等が加算されて低下します。MMIC を正確に実装するにはダイボンダーを使いますが、真空ピンセットを使い慎重に行えば手での実装も可能かもしれません。ダイボンダーは新品はかなりの高額ですので中古で比較的安いものを入手しました。　中古でも結構な価格で出物は少ないです。

実装に使うダイボンダー

MMIC、単板コンデンサ、基板はエポキシ接着材を使ってケースに固定します。
使用したエポキシ接着材は米国のエポキシテクノロジー社のＨ20Ｅです。この接着材は二液混合の熱硬化型で、伝導抵抗が小さく、硬化した状態での体積変化率が極めて小さいのが特徴です。１オンス 35K 円程度と接着剤としては高額ですが、１回の使用量が微小なので、個人では使い切れないうちに使えなくなってしまいます、メーカでの補償期間は１０℃保管で６ケ月ですが、アマチュアが使うには３年ぐらいは大丈夫のようです。　古くなると成分が揮発して粘性が大きくなり MMIC の実装には使えなくなりますが、一般の基板の実装(LNA 等)では十分使うことが可能です。

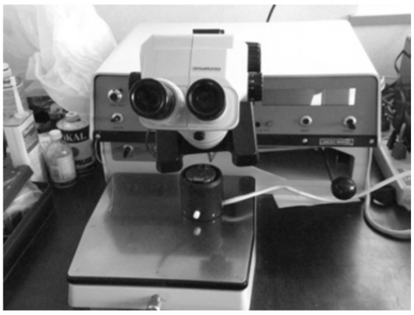
エポキシ接着剤Ｈ20Ｅ

３．ワイヤーボンディング

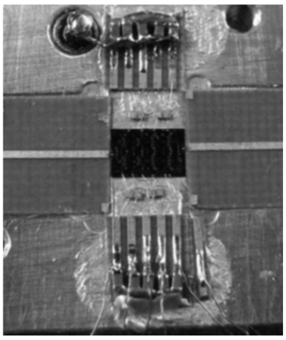
MMIC を使う場合で一番難しいのがボンディング作業です。MMIC の Pad の大きさは 100μm×100μm 程度と極小さくこの Pad に 30μm 径の金線を融着させます。マイクロウエーブ以上の周波数では 25μm 径の金線が推奨されていますが、最初に 30μm 径を購入してしまいましたので、その後も使っています。　金線は先端幅が 102μm のウェッジボンディングツールと呼ばれるタングステン製の極細い針先のようなツールの中を通り先端で Pad に押し付けるようにして融着します。融着には熱と超音波と圧力を利用しますが、最適な組み合わせに設定しなければうまく融着できません。また融着する面の状態にも左右されるので、最適値を見つけるのに手間がかかり、かなりの熟練を必要とします。

配線を行ったことによりゲートの絶縁低下が起きました。また実装後のゲート絶縁をデジタルテスタで行った事が原因と思われる損傷もありました。メーカによって違うかもしれませんが、デジタルテスタの抵抗値測定ではリードの+側に+の電圧がかかり、アナログテスタとは逆になるようです。確認でゲートに+の電圧がかかり損傷、さらに初期のデータシートに記載されていたドレン Pad の接続に誤りがあり（GND に接続）、ドレン電流過大で不良と判断してしまった物もありました。かなり高い授業料を払うこととなりました。この MMIC は４段の構成で出力モニタ回路も含めるとボンディングが１２ケ所あり、１ケ所でも失敗すれば修正はかなり困難な作業となります。この周波数帯の増幅器が高額であることに納得してしまいました。

ワイヤーボンダー

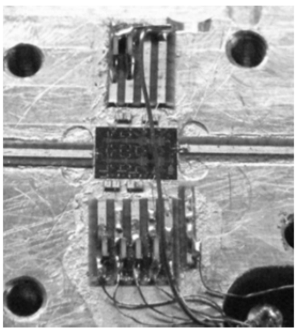


フインライン型のボンディング部分



80ＧＨｚ帯の MMIC は価格も高くボンディングの失敗はかなりの痛手になります。47GHz の場合は比較的失敗が少なかったのですが、80GHz 帯ではボンディングの失敗、その他の原因で合計 4 個も昇天させてしまいました。１個はハンダ鏝のリークによるものと思われます。うっかりしてハンダ鏝の GND 接続を忘れたままゲートの

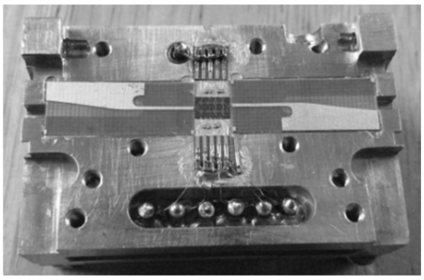
1/4 λgプローブ型のボンディング部分



４．バイアス回路

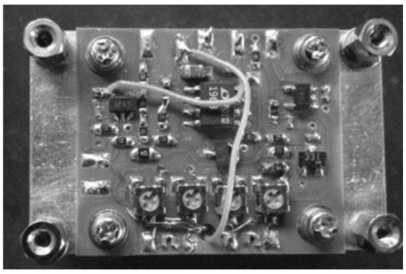
ゲートバイアスは各段個別に調整できるように小型のＶＲを配置するので、バイアス回路部分は別な基板で製作、ケースの外部に固定するようにしています。外部との接続には貫通用のフイルタ素子を使いケースの底穴に固定した基板にハンダで固定しました。

フインライン型のバイアスライン

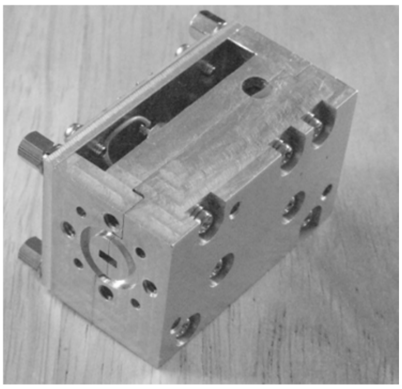


ドレン電源は４段をまとめてネジ止め式の貫通コンデンサで引出しています。

バイアス基板



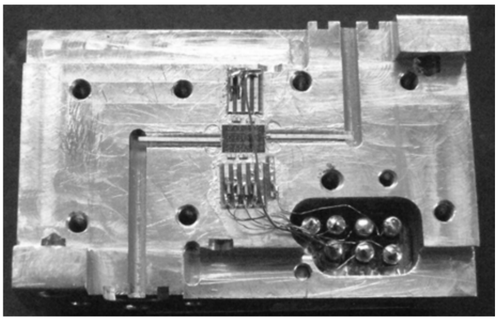
フインライン型増幅器外観



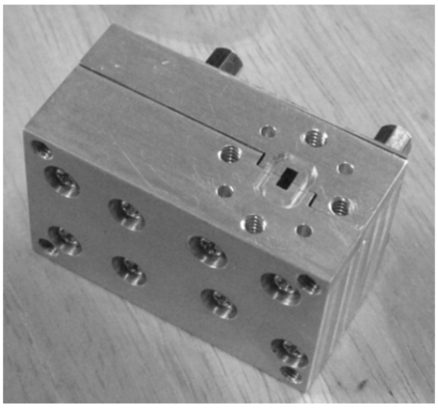
1/4 λｇプローブ結合方式ではドレン側の配線も MMIC 上をジャンプして貫通型フイルタで引き出す方法としています。

バイアス基板は同じものを使いケース外部に固定しました。

1/4 λｇプローブ結合方式バイアスライン



1/4 λｇプローブ結合方式増幅器外観

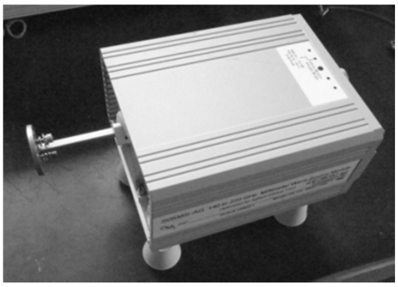


５．特性測定

完成した増幅器の評価はネットワークアナライザによるのが最適ですが、アマチュアでは極少数の方しかお持ちでは無いと思います。　私の場合は最近まで信号源やパワーセンサーなども持っておらずどうやって測定するかが大きな課題でした。　信号源については 41ＧＨｚ帯からのバラクタ逓倍で 30mＷ程度は可能なのですが、偶然にもある方の御好意により 140GHz～

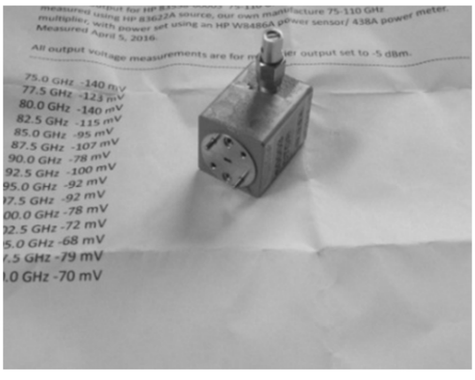
220GHz のミリ波モジュールＳ05ＭＳ‐ＡＧを提供していただきまして、このモジュールの途中から引き出すことで　70～110ＧＨｚの信号を得ることができました。83ＧＨｚ帯での出力は約+6ｄＢｍでした。

80ＧＨｚ帯の信号を出力させたミリ波モジュール S05MS-AG



Ｗバンド帯のパワーセンサは中古でも 80 万～100 万円以上と、パワーの測定器として投資するにはあまりにも高額です。
数年前にはebayに 30 万円程度で出品されておりましたが、やはり高額であきらめた経緯があります。パワーセンサの入手が難しかったことから、Ｗバンド用の検波器 COUPLER /DETECTOR(HP 製)がありましたので購入、76GHz～110GHz での特性を測定したものを添付してもらいパワー測定用として使えます。

COUPLER /DETECTOR(83558-60003)

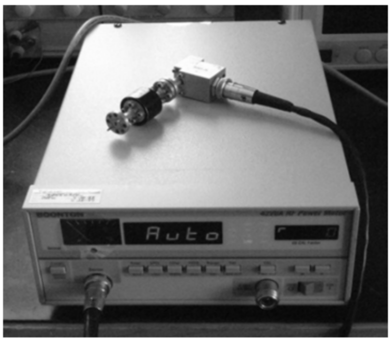


パワーと利得の測定には ATT も必要ですが、幸いにも 20 年ほど前に 75GHz 用に、Ｗバンド用の可変 ATT(0～50dB)を入手しており、これを使うことにしました。昔はミリ波帯の機器部品は現在と違い、あまりニーズが無く多く出回っておりました。

日立電子製可変 ATT(0～50dB)

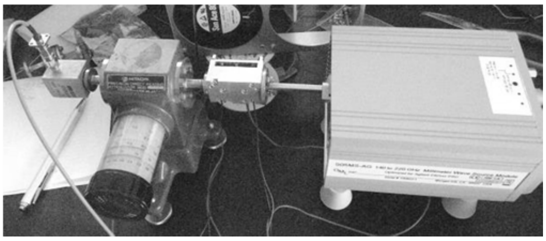
その後、ebay でパワーセンサを探し、Ｗバンド帯の BOONTON 用のパワーセンサがあり、価格も手頃でしたので落札しました。同時に POW 計本体も比較的新しいタイプの 4220A が出品されておりこちらも入手しました。測定器などの ebay 出品は国内よりは高めですが、BOONTON 社製は、ほとんど国内で出物が無く、少々高額でしたが落札しました。これにより、Ｗバンドでもある程度正確な利得とパワーを確認できるような環境が整いそうです。

Ebay で落札したパワーメータとセンサ



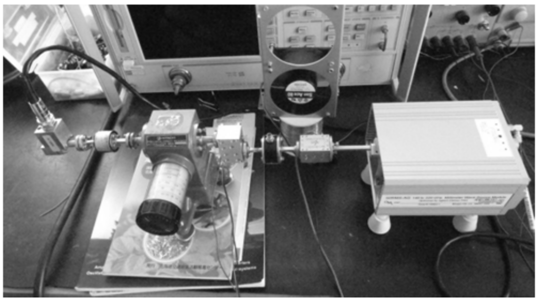
最初の段階ではパワ―計が無く、可変 ATT と検波器を使い、検波器の入力対出力電圧の表を使ってパワーと利得の測定を行いました。添付の換算表ではどうもパワーが 2～3dB 高く測定されてしまうようです。校正時の設定間違い、もしくは検波電圧測定に内部抵抗の小さいメータを使ってデータを取得した等が考えられます。

パワー計の入手前、検波器を使った測定



検波器では正確な測定が出来ず、結局パワー計とセンサも揃えることになりました。ところが、パワーセンサに CAL データが付属しておらず、これでは正確な測定が出来ません、何とか校正する方法を思案中です。　現状ではパワー計に付属していたマニュアルに記載の標準的な CAL FACTOR 値を使って測定を行っています。そのため誤差があるものと思われます。
パワー計を使っての測定で、QUINSTR 製の 83ＧＨｚ増幅器を測定した結果と増幅器に添付のデータを比較すると今度は 1dB 程度低く測定されるような感じで、この周波数帯で精度よくパワーを測定するのはなかなか難しいです。　試作増幅器の評価を進めていくうちに可変ＡＴＴの表示値と、パワー計の指示に微妙な差があることも判明し､結局評価したデータの信頼性は低く、誤差は大きいものと思っています。

パワーセンサーによる測定



２種類の増幅器を評価した結果では２台とも周波数の低い側に利得、パワーとも大きなところがありました。　フインライン型では 81GHz 付近が利得、パワーとも最大で、飽和出力+19.2dBm、　1/4λg プローブ型では 76ＧＨｚ近辺が利得もパワーも大きく飽和出力+20.7dBm と 100mw 以上です。　しかし目的とした 83GHz ではそれぞれ 40mW／50mW と目標の 100mW には届かず､まだまだといったところです。1/4λg プローブを短くトリミングしてみましたが高い周波数での特性改善はありませんでした。原因は他にありそうですが、構造上調整が難しいです。
簡易の測定環境なので、信号源とドライブ用に使った増幅器の特性にも左右され、測定機器の精度も低いことから、参考程度のデータです。測定系の精度を高めたいところですが、本来の目的はミリ波機器の製作ですので、測定系への投資は最小限としています。何とかボンディングまでは出来るレベルになりましたので、１歩前進です。今後は性能向上に向け構造を検討し試作を進めたいと考えています。
（次ページに試作増幅器の測定データを掲載しました）

出力特性　1/4λg プローブ型

1/4λg プローブ型		
周波数 GHz)	出力(dBm)	入力(dBm)
83	+15.9	+10.95
82	+18.8	+12.0
81	+19.4	+11.3
80	+19.4	+10.4
79	+18.5	+8.6
78	+18.4	+11
77	+19.6	+11.7
76	+20.7	+12.0
75	+19.5	+10.4
74	+17.2	+8.7
73	+18.5	+9.0
72	+16.5	+6.8
71	+13.2	+2.9
70	+14.1	+3.0

小信号利得

83GHz　8.3dB

77GHz　13.5dB

出力特性　フインライン型

フインライン型		
周波数 GHz)	出力(dBm)	入力(dBm)
83	+16.9	+10.95
82	+19.3	+12.0
81	+19.3	+11.3
80	+18.1	+10.4
79	+17.9	+8.6
78	+15.4	+11
77	+15.5	+11.7
76	+15.5	+12.0
75	+15.7	+10.4
74	+15.7	+8.7
73	+14.2	+9.0
72	+9.9	+6.8
71	+11.1	+2.9
70	+11.4	+3.0

小信号利得

83GHz　12.5dB

77GHz　6.4dB

2016.9.20

逓倍方式「135GHz トランスバーター」の製作

ＪＲ１ＦＲＨ　宇田川　康

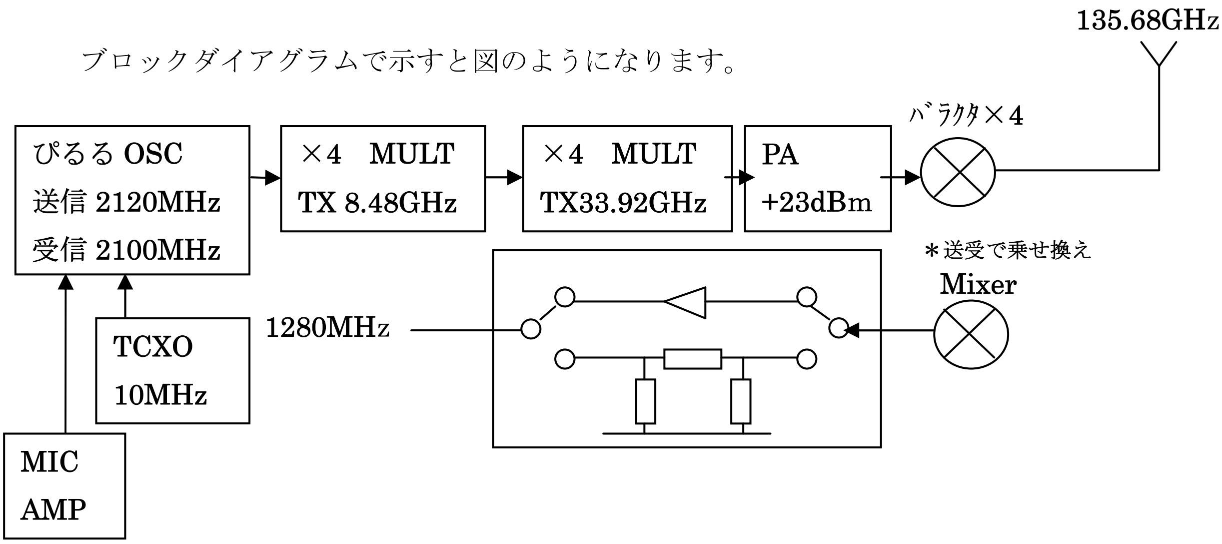
はじめに

北関東グループを中心とするミリ波グループでは 47GHz をはじめ 77GHz、135GHZ、249GHZ と実験を重ねて数々の結果を発表させていただきました。
近年、135GHz や 249GHZ のパワーアップなど実験を重ねていますが良い結果が出ず現状の Mixer だけのシステムでは限界と思っていました。実験を通して逓倍方式がパワーアップに有効であり飛距離を伸ばす可能性がある事は考えていました。しかし送受信の切り替えが難しく手付かずのまま思案していました。このままでは先に進みませんので出来る範囲で製作・実験したいと考えて見切り発車で挑戦しました。

構成図

受信はﾊｰﾓﾆｯｸ Mix 方式、送信は逓倍方式として切り替えは Mixer の交換にしました。今後、良い切り替え方法が見つかれば変更して行きますが現時点ではどの位のパワーアップが図れるか検証する為の実験機とします。

ブロックダイアグラムで示すと図のようになります。



LO　OSC

受信はﾊｰﾓﾆｯｸ Mix 方式、送信は逓倍方式と考えた場合、当然ですが LO 周波数が異なります。この二つの周波数を切り替える為に京都電子研の「ぴるる」を使用しました。
外部 REF:10MHz を注入しますとロックした OSC となり、10Ch のメモリー機能を使えば瞬時に希望の周波数に変更できます。出力も+5dbm ですので次段の逓倍 AMP に注入可能で変調機能も搭載されていて逓倍方式の TRV 製作には好都合です。

送信時

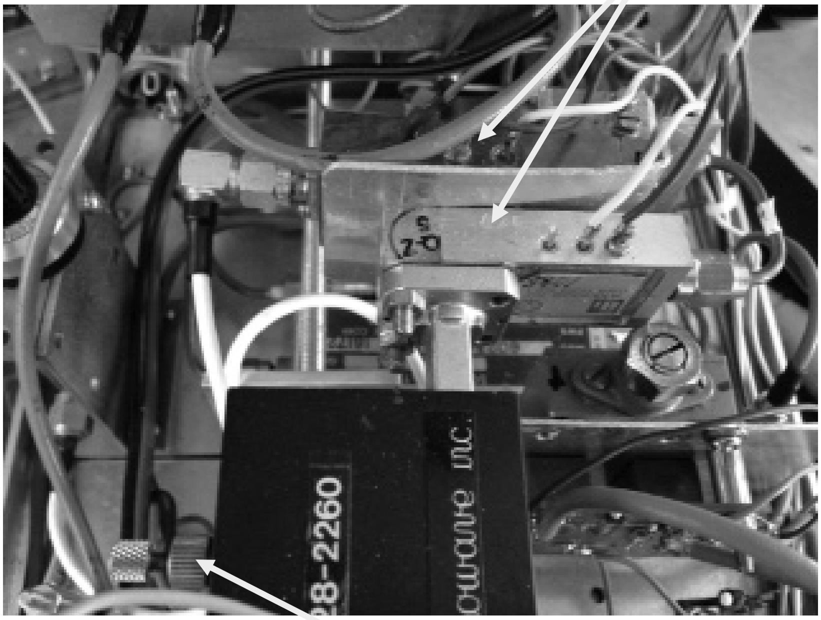
受信時

＊受信周波数 1280MHz に REF が混入
する為周波数をずらしてあります。

34GHz 帯 逓倍器

34GHz 帯の逓倍器はセブロン電子の CMA382400AUP（77GHz 帯の逓倍器でご存じのはず）を使ってみたのですが残念ながら 34GHz 帯は出てきませんでした。手持ちの逓倍器をテストした結果、ミリコム社から購入した 24GHz 帯の逓倍器で何とか 34GHz 帯が出てきました。結果、入力+16dBm で－6dBm でドライブには出力が足りない為、AMP を入れて＋3dBm にしています。

34GHz 逓倍器と AMP



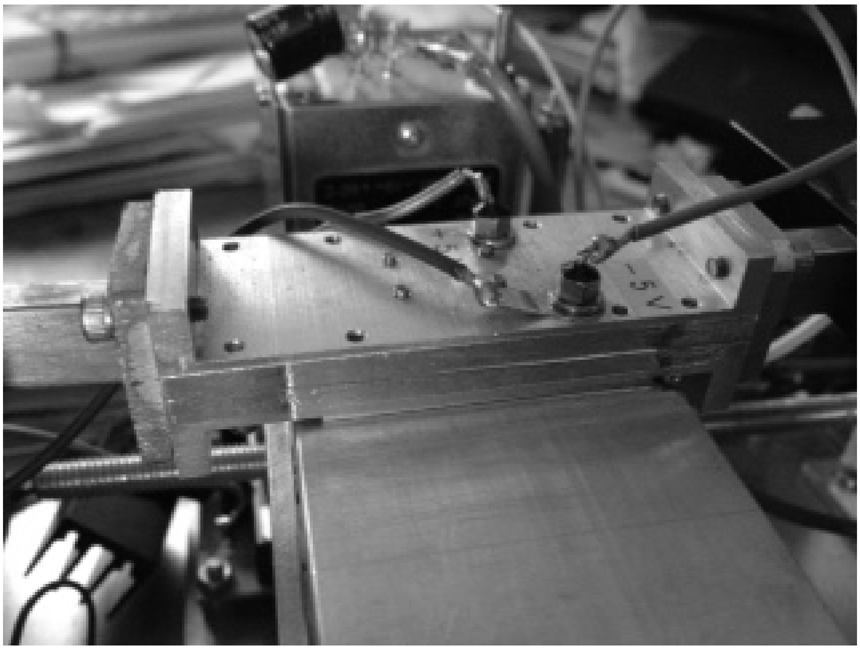
可変 ATT

34GHz 帯 HPA

バラクタダイオードで逓倍する為にはHPA出力は23dBm以上ほしいと考えていました。運よく増田 OM が 40GHz 帯の MMIC を使って 34GHz 帯で出力 25dBm の HPA を製作して頂きましたので早速く使用してみました。

入力＋3dBm 出力＋25dBm で電流 1.2 A です。この HPA の性能が良すぎて出力が出すぎでダイオードを破壊する可能性がありますので１Ａ以上流さないようにしています。

当然ですがアンチパラレルの Mixer には LO としては強すぎますのでパワー調整が必要な事は言うまでもありません。



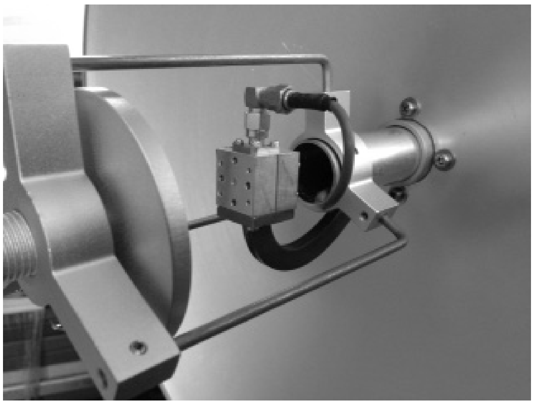
34GHz 帯 HPA

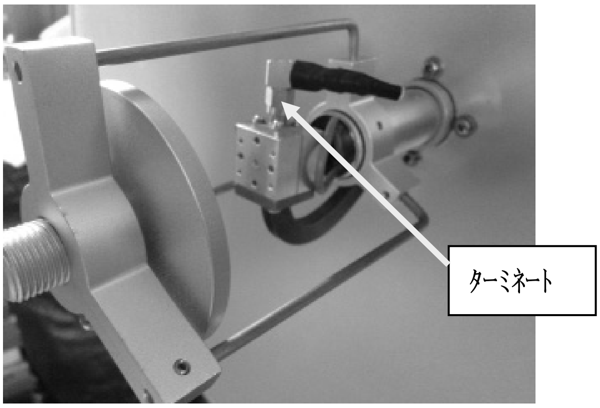
全体構成と組み立て

構成図のとおりですが追加項目として前記述のとおりバラクタとアンチパラレル Mixer が使用できるように HPA の入力に可変 ATT を挿入して Mixer 入力をコントロールしています。バラクタの場合 HPA の電流は１Ａ、アンチパラレルはアイドリング電流の 0.6A ですが電流の変化を見るより ATT 値を最大にして少しずつ抜いて行き、受信ノイズが若干変わった位置に設定します。いきなり電流が変化する位置まで持って行くとダイオードが破壊します。

Mixer の位置は 135GHz 帯の効率を勘案して 34GHz 帯の LO 信号を導波管にてカセグレン ANT の一次放射器の位置に導き Mixer から直接輻射することにしました。

送受信の Mixer は同じ基板にダイオードを装着しています。送信逓倍器のターミネートは送信出力が最大になるように抵抗値を変化させてバラクタダイオードの電流調整をした結果の値（個体によって違います）を設定しています。





受信用アンチパラレル Mixer　　　　　　　送信用ﾊﾞﾗｸﾀ逓倍器

交信結果

正確なパワー測定ができない為、旧型 TRV と比較で確認を行いました。

大平山⇔キャサリン公園　　21km	
旧型　JA1KVN　55 JR1FRH 55　FM ⇒ 新型　JA1KVN 59＋　JR1FRH 59＋ FM	
キャサリン公園⇔筑波山　　41km	
旧型　JA1KVN　ﾋﾞｰﾄ JR1FRH ﾋﾞｰﾄ　⇒ 新型　JA1KVN 59　　JR1FRH 59　FM	

以上のように旧型の出力は－12dBm（正確なパワー計の値）ですので 10dBm 以上の改善ができていると考えられます。

このＴＲＶ製作では北関東ミリ波実験グループのご助言をいただきました事に深く感謝いたします。

ミリ波実験グループ

ＪＡ１ＧＬＤ、ＪＡ１ＫＶＮ、ＪＨ１ＬＵＩ、ＪＧ１ＭＦＲ、ＪＦ１ＮＡＣ、
ＪＲ１ＦＲＨ　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　順位不同

２４９G帯６逓倍式トランスバーター廉価版

２０１６年１１月

ＪＡ３ＣＶＦ　森本　清

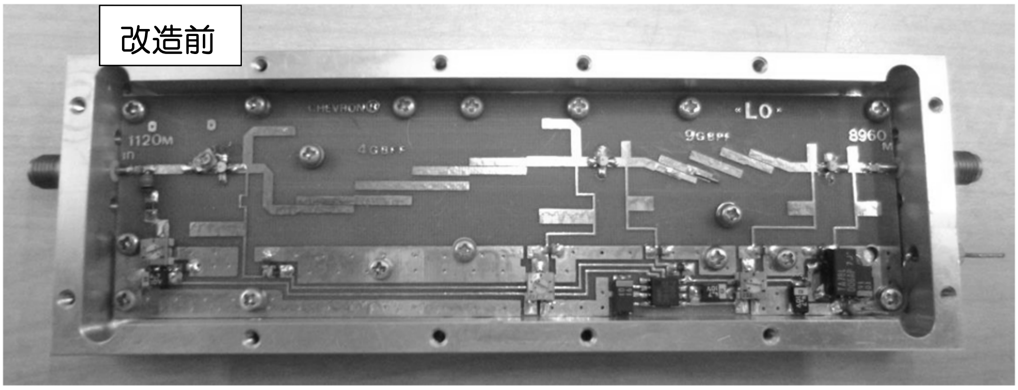
昨年発表したセットとの違い

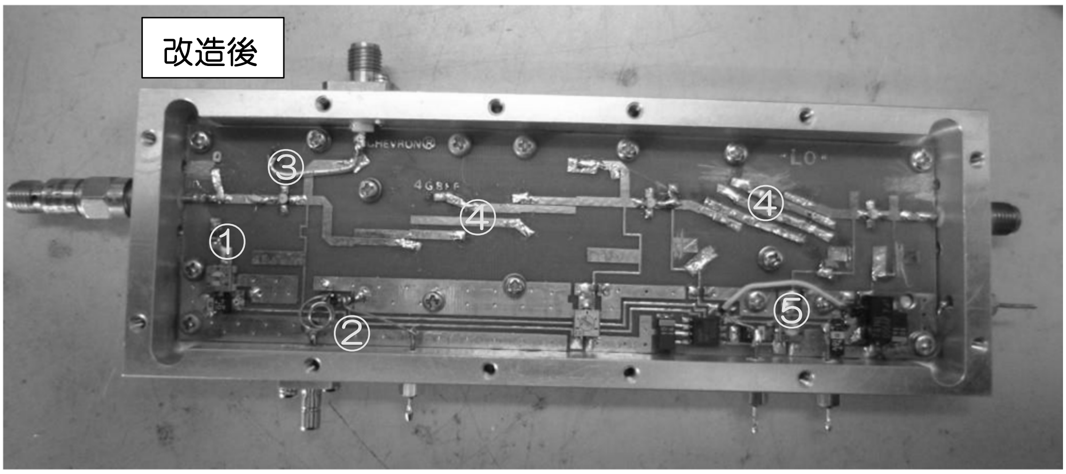
昨年は逓倍式で作る事が目的だったので部品点数を考えず作りました。
今回削減出来そうな所を省き作って見ました。

（１）送受信用に４１Ｇ帯コンバーター２個使いから１個に省略
　　アンプ含む全体の移動からアンプ固定、MIX、逓倍器のみ移動。
（２）４１Ｇ帯コンバータードライブ信号切り替え同軸リレー4 個使いから１個に省略。
（３）３．８Ｇ帯 MIX、BPF、アンプを個別外付けからワンボードユニットに省略。
（４）⑴～⑶によりセミリジッドケーブル大幅に削減。
（５）高価なＸ-Ｙ軸ステージから５００円ミニスライダーに変更。

３．８Ｇ帯ワンボードユニット

セブロン製１Ｇ帯から８逓倍して１０Ｇ用ＬＯを作るユニットを改造しました。





改造部分

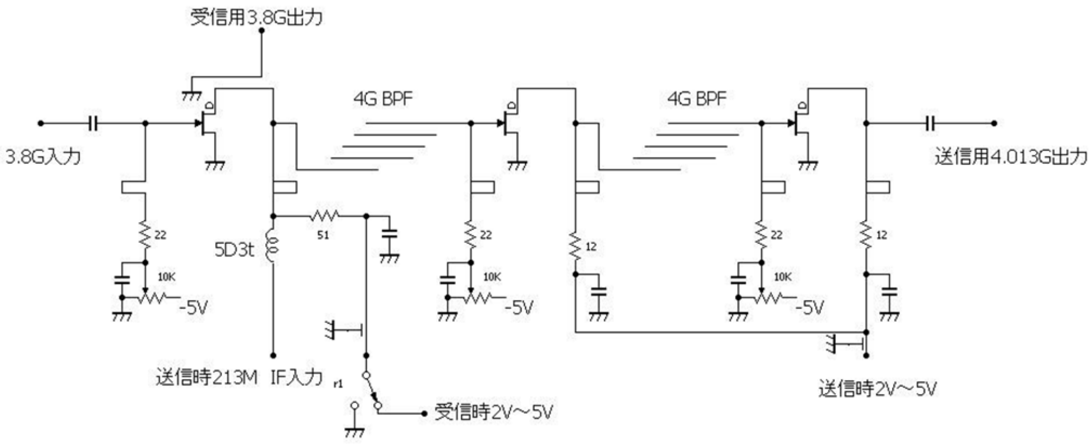
①入力 FET のバイアスラインチョークコイルを 0.1 φ線に変更

②ドレイン回路パターンカット、回路変更、コネクター及び貫通コン追加。
MIX&AMP 切り替え。

③コネクター及びカップリング線追加。

④BPF をトリミングしてセンター4.013G に調整。

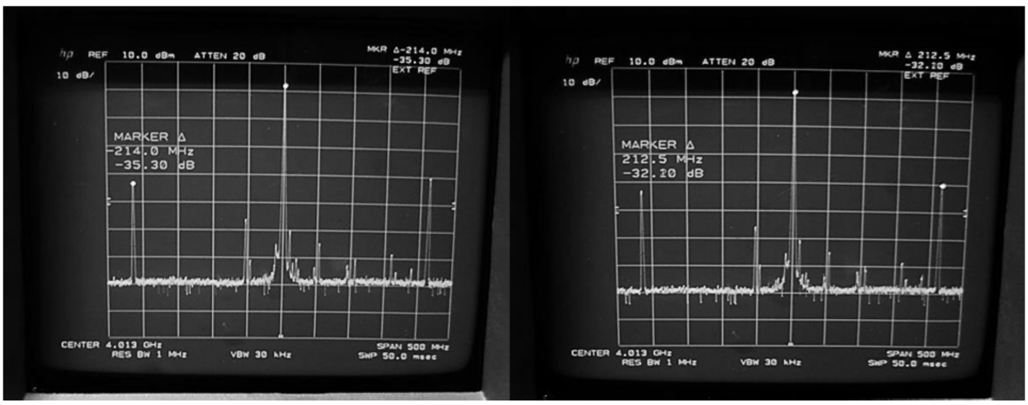
⑤二段目、三段目 FET ドレイン回路パターンカット、貫通コン追加、電圧を外部から供給する様に変更。(出力調整)



調整

① 3.8G 入力端子に SG から 4.013G を入力、全ての FET に電圧を掛けて出力が最大に成る様に BPF 及びバイアスライン等をトリミングしました。
原型では前の BPF は 4.9G 付近、後ろは 9.8G 付近に成っていました。

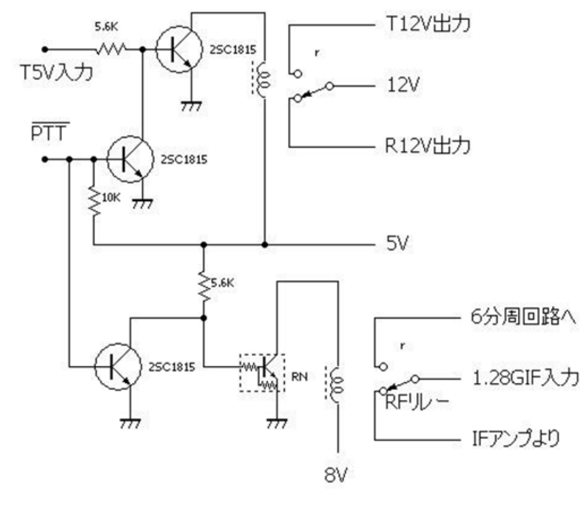
② 3.8G 入力、213M 入力を加えて一段目のドレイン回路をアースに落としてＬＯ及びＬＯ－ＩＦが最小、ＬＯ＋ＩＦが最大に成る様にトリミングしました。

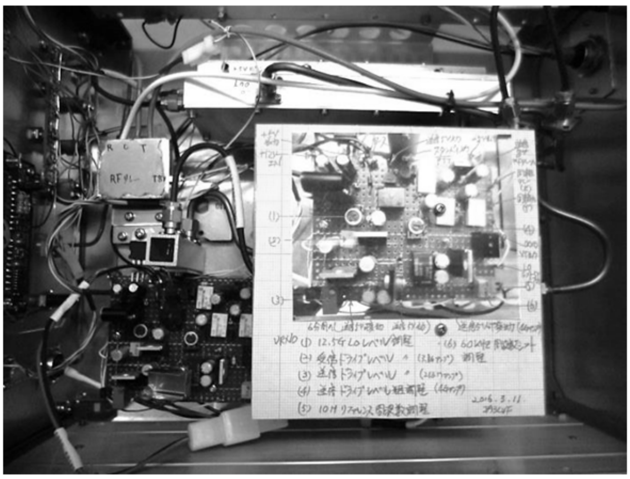


外付け BPF に比べてスプリアスは多いが 249G 帯では問題有りません。
３．８G 入力２～３dbm、２１３M 入力０dbm で４．０１３G は最大８dbm 出ました。受信時の３．８G は最大９dbm 出ました。
送受信時最適レベルにドレイン電圧で調整しました。

制御回路

今回気を付けたと所はスタンバイ回路です。
４１G アンプが送受兼用なので、受信位置では親機からのスタンバイ信号で送信モードに成らず、ＲＦリレーのみ送信側に切り替える。
これにより受信ＭＩＸ及び１．２８G　ＩＦアンプを保護しています。
送信モードは送受切り替えが送信位置に成っていて親機からスタンバイ信号が来た時に成ります。
親機からの IF 信号が無い時送信モードに成って６分周回路のノイズ信号を送信しない様にする為です。
送信５Ｖとスタンバイ信号をＡＮＤ回路で検出しています。

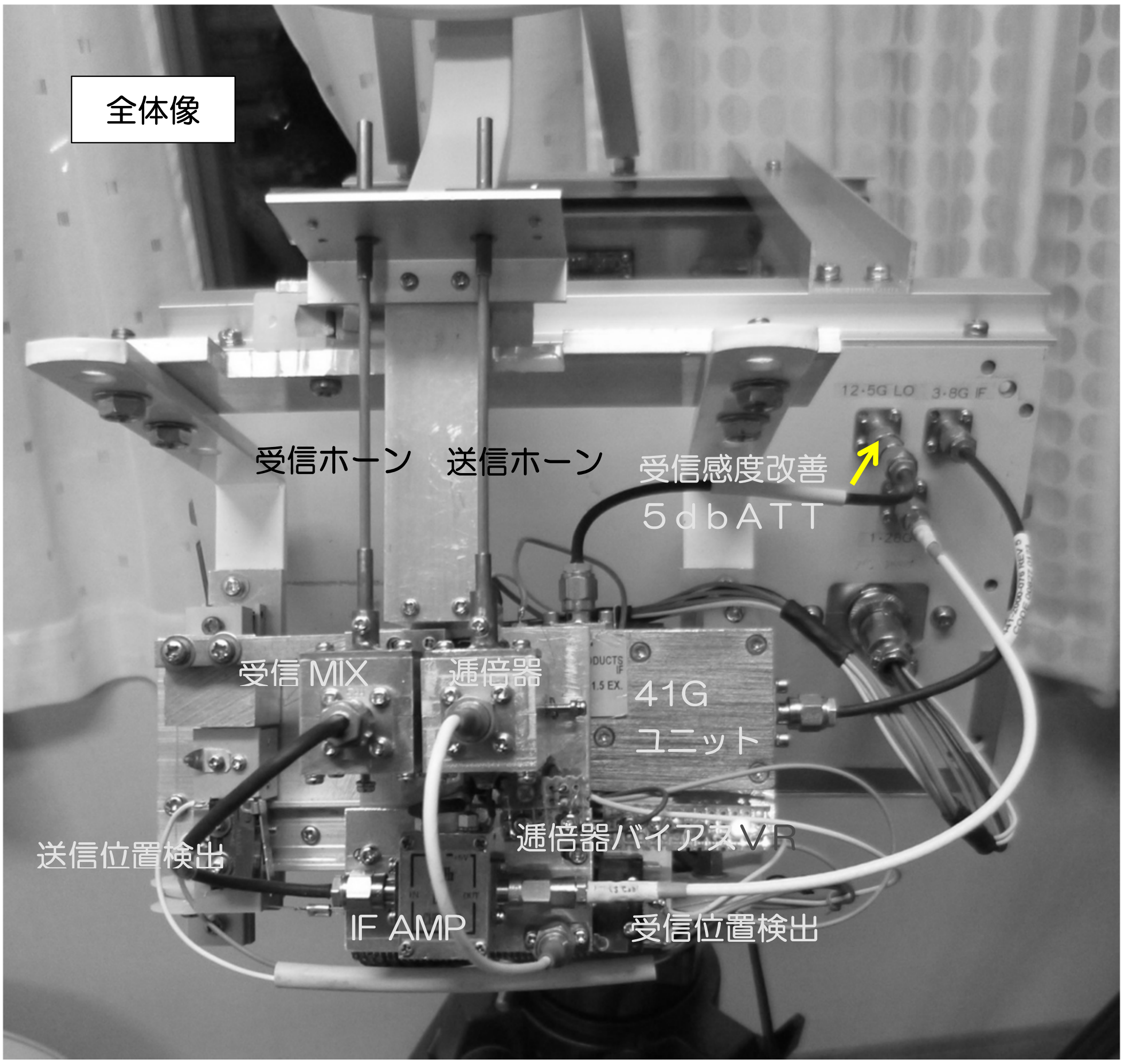




制御ユニットの近くに調整箇所及び配線の説明書を張り付けています。
メンテナンス時メモ帳を見なくても調整出来ます。

送受切り替えブロック

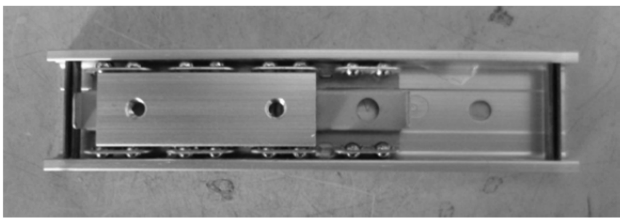
４１Ｇ帯ユニットの上をＭＩＸ、逓倍器をスライドしています。

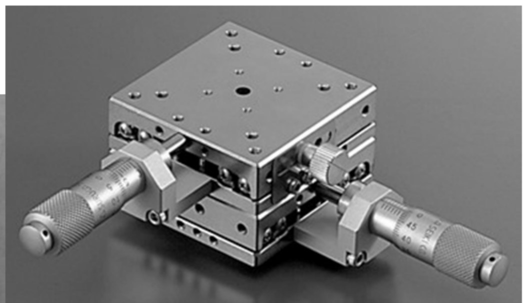


詳細説明

５００円ミニスライダーを利用して左右に２２mm 移動しています。

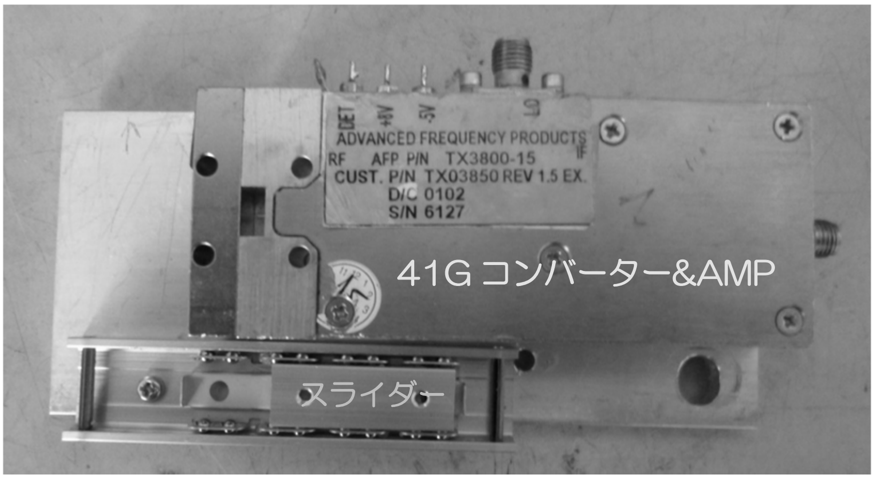
今回使ったミニスライダー

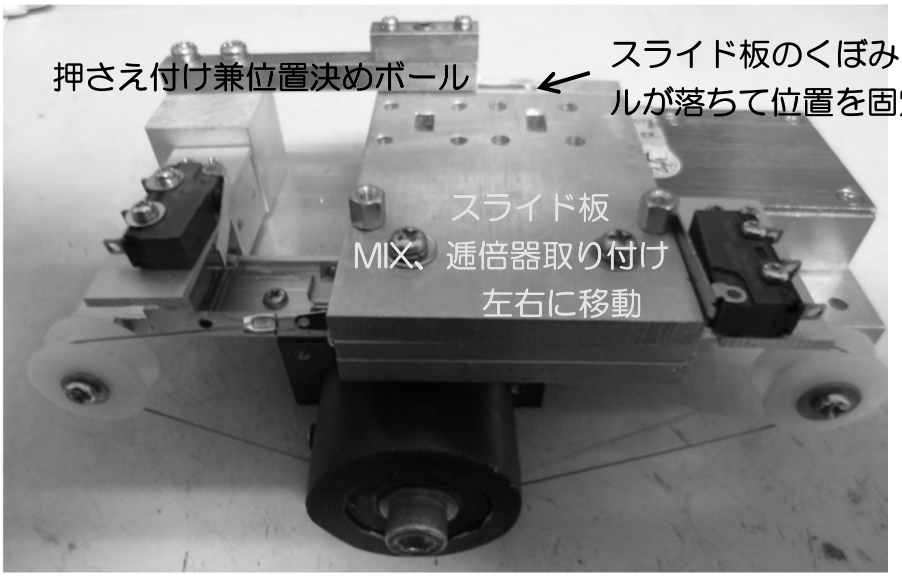




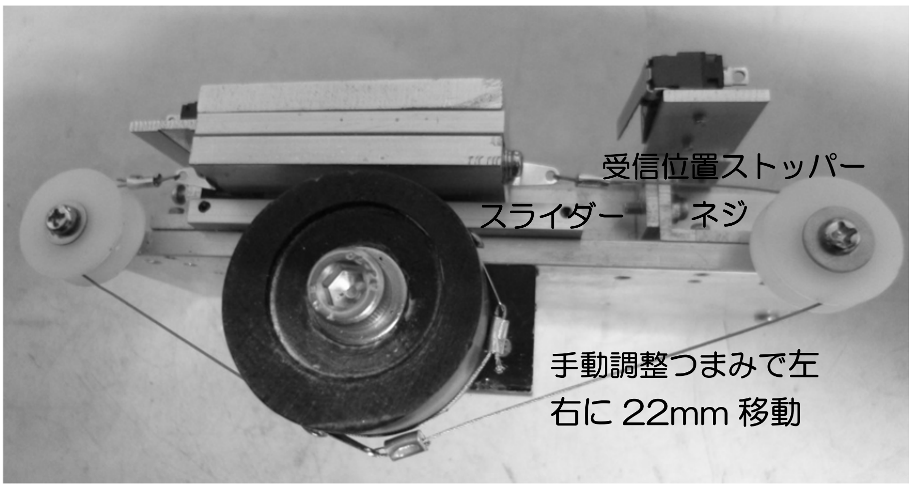
昨年使ったＸ-Ｙ軸ステージ

導波管出力の上をスライド板に３．５mm×7mm の穴を２箇所開けてスライドさせる。スライド板はコンバーターとの高さを合わせてスライダーに取り付けます。

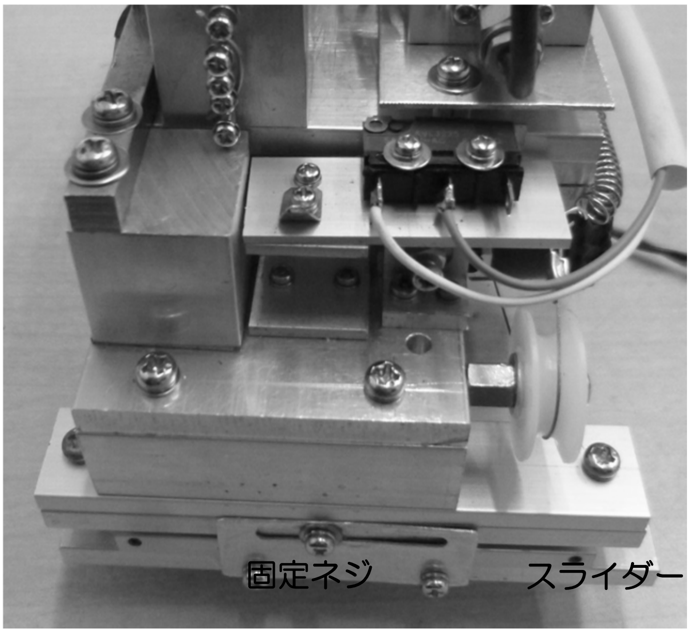




スライド板の上にボールをバネで抑え付けてテンションを掛けます。
バネの強さで圧接力が変わります。



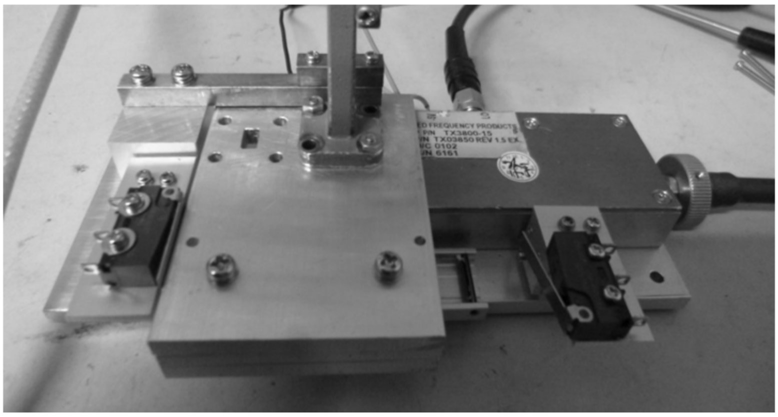
スライド板に園芸用ステンレスワイヤーを取り付け手動調整つまみに３／４巻き付け固定しました。

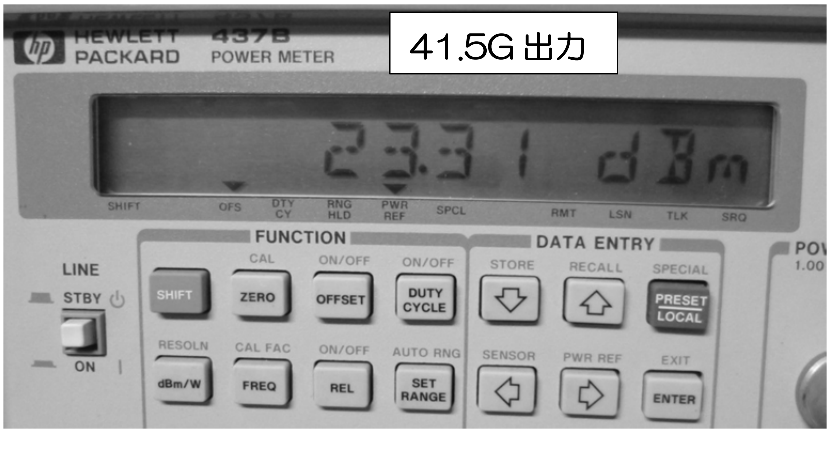


ブロック全体を前後に調整ミニスライダーを左右に配置して調整出来る様にしました。
ホーンを前後に合わせます。

送信位置、受信位置でパワー測定

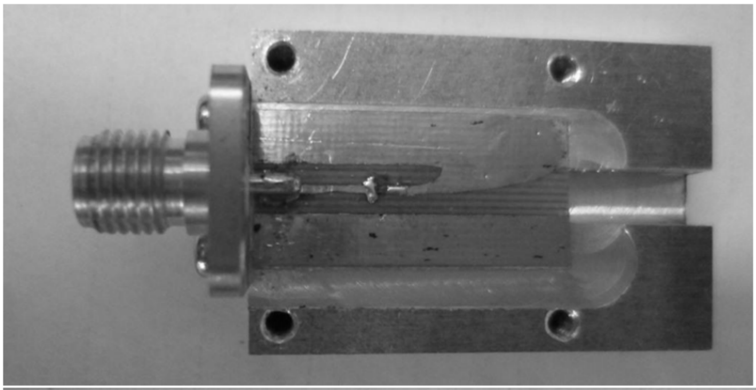
測定誤差範囲でアンプの上をスライドしても問題無い事が確認出来ました。



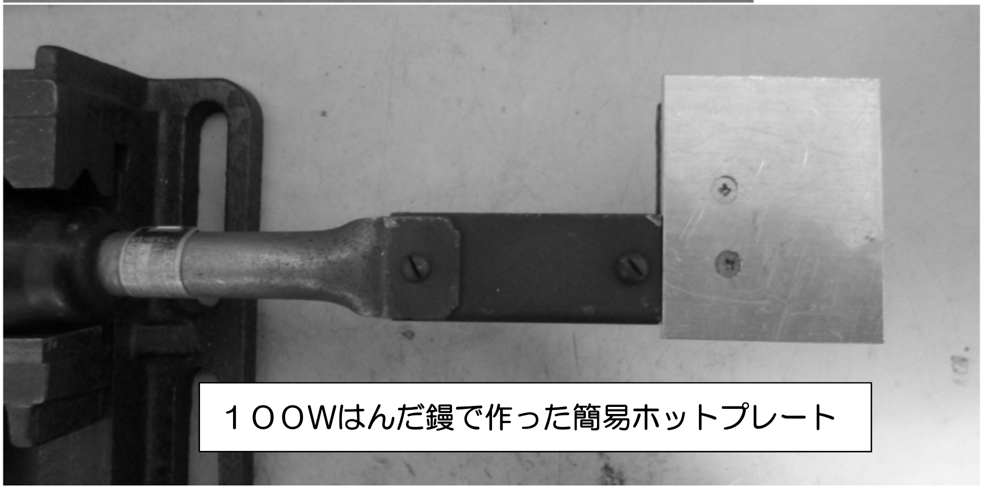


受信ＭＩＸの試作

０．１２７mm厚基板で作って見ました。



ダイオードはＭＡ４Ｅ１３１８アンチパラレルです。このダイオードは見た目大きく見えるので簡易ホットプレートではんだ付け出来ました。



１００Wはんだ鏝で作った簡易ホットプレート

受信テスト

ソニー４０ｃｍＣＳアンテナに取り付け受信テストしました。

組み上げ前から空Ｓが多くイマイチの状態、案の定感度が他のセットに比べ悪い。

ドライブレベルを変えるも良く成らず不安定な状態でした。

１．２８Ｇ　ＩＦをスペアナで見るとノイズが変動して不安定な信号も見えました。

４１Ｇ帯ユニットの１２．５ＧＬＯレベルで一連のノイズが大きく変わりました。

１２．５Ｇの出力をスペアナで見ても安定していて、アンプ出力と４１Ｇユニットの入力のマッチィングが悪くどちらかが不安定に成っている模様です。

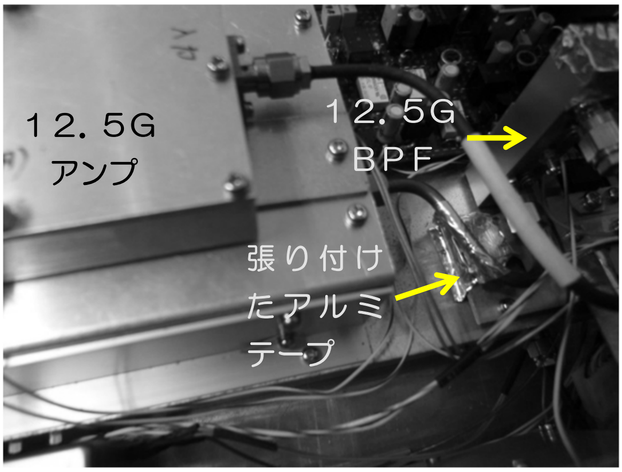
ドライブレベルに余裕が有ったので５ｄｂ　ＡＴＴを入れると安定し、空Ｓも少なくなりました。

試作したＭＩＸの性能が悪いと思っていたが落とし穴が有りました。

受信感度も大幅に良くなり一号機シングルダイオード２個使いのＭＩＸより１０ｄｂ位良くＩＦアンプもMMＩＣのＮＦ０．５ｄｂ以下の物ですが何か良すぎる気もします。

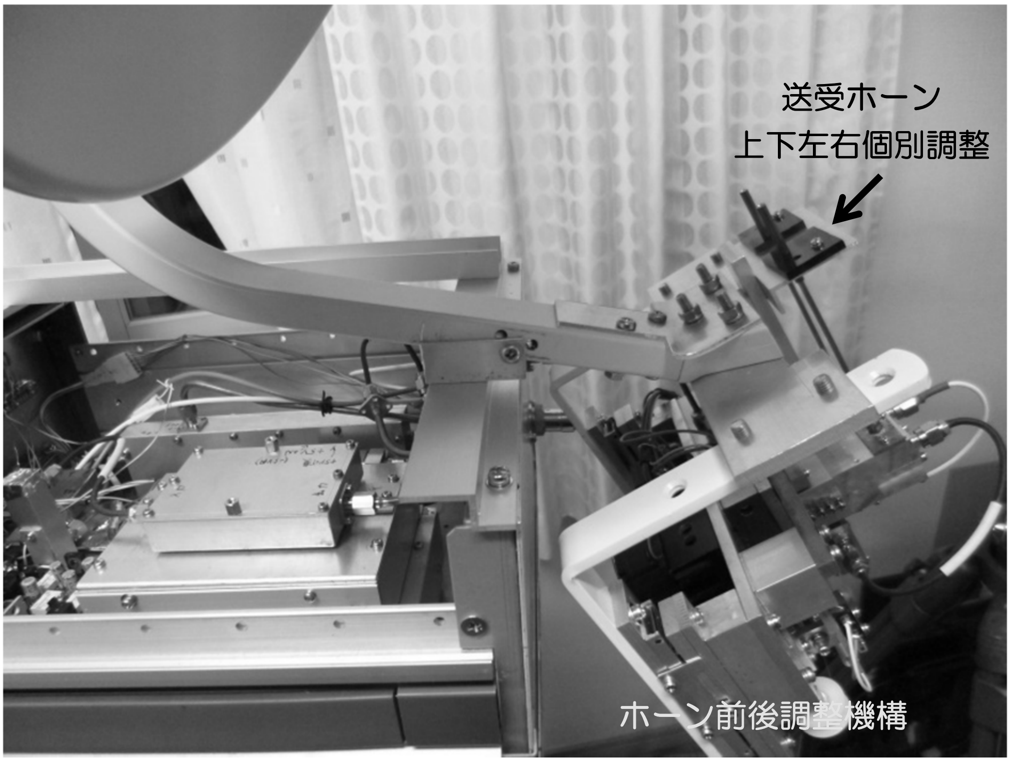
不思議な現象

５ｄｂＡＴＴで感度アップしましたが、写真の様に水晶発振ＬＯユニット出力と１２．５ＧＢＰＦの接続ケーブルにアルミテープを張ると空Ｓは変わらず受信レベルが上がっています。
最初手で触るとレベルが上がったので神の手かとも・・・
アルミテープでも同じ効果ですが原因は良く解っていません。



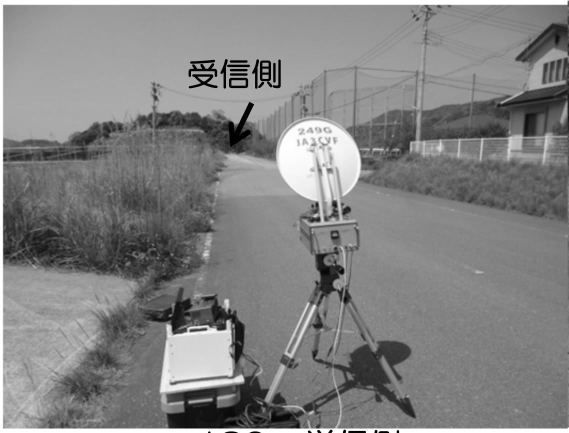
オフセットアンテナへの取り付けと調整

元のコンバーター取り付け位置を基本に放射器の位置を前後、上下、左右に調整し焦点調整と送受信のビーム方向を合わせます。
Test set の信号を受信して位置を合わせて、送信し Test set で受けてテレメーター機能で Test set 受信強度を送信側で監視、アンテナを少し動かして受信ピーク位置と送信ピーク位置で変わらない所に合わせましたが完全に合っていません。
根気の要る調整で、送受切り替えが手動つまみなので気を付けないとアンテナの方向を変えてしまう事も要因で改善が要るようです。



DATV 実験

免許が下りて信州ミーティングで 70m、自宅付近 180m の実験に成功しました。
翌日の 250m はコンディション悪く信号確認出来ず。



180m 送信側

180m 受信側

250m 受信側

180m 受信画像

今回のセットは受信側に使いました。

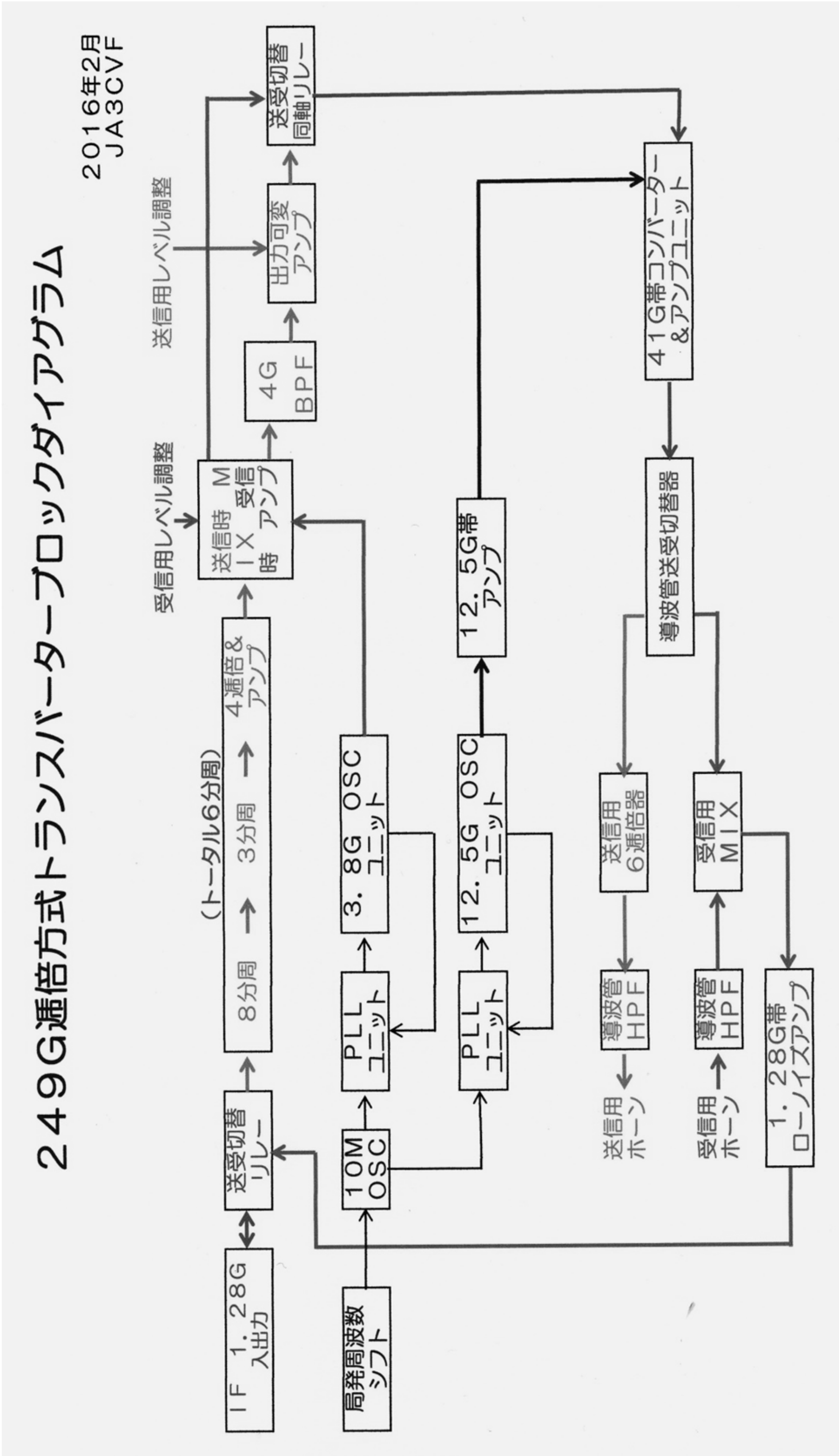
課題

（1）シンボルレートが 6000 の方が良くて 2000 では受信出来ない現象の究明。
信州ミーティング前の実験では 2000～9000 でも受信出来ていたので不思議です。BER の変化が大きく成って居る事も気になります。
2 号機の送信側かこの 3 号機が原因か？

（2）250m ではテレメーター信号の強さも弱くなって双方のビーム合わせが難しい。
テレメーターの送信信号が S メーターに回り込んで居る事も有ったので信号ケーブル、電源ケーブルにフェライトコアーを取り付け、FM 送信機も S メーターと分離して回り込みを軽減しました。

次回コンディションの良くなる時期までにシンボルレートの件を改善して再挑戦します。

以上


249G逓倍方式トランスバーターブロックダイアグラム
2016年2月
JA3CVF
IF 1．28G 入出力
送受切替 リレー
8分周
3分周
4逓倍＆アンプ
（トータル6分周）
受信用レベル調整
送信時 MIX 受信時 アンプ
4G BPF
送信用レベル調整
出力可変 アンプ
送受切替 同軸リレー
局発周波数 シフト
10M OSC
PLL ユニット
3．8G OSC ユニット
PLL ユニット
12．5G OSC ユニット
12．5G帯 アンプ
41G帯コンバーター ＆アンプユニット
導波管送受切替器
送信用 6逓倍器
受信用 MIX
導波管 HPF
導波管 HPF
送信用 ホーン
受信用 ホーン
1．28G帯 ローノイズアンプ

ミリ波送受切り替えモータードライブ品試作

２０１６年１１月　ＪＡ３ＣＶＦ

１３５Ｇ、２４９Ｇ用セットの送受切り替えはホーン位置をスライドさせています。
送受のビーム合わせに課題は有りますが、受信用にアンチパラレル、送信用にバラクターダイオードが使え送受に於いて最高の性能を引き出す事が出来ました。

実験したスライド方法

（１）マイクロメーターによる移動
　　精密移動で切り替えショックは無いが、５ｍｍ移動に１０回転が必要であった。

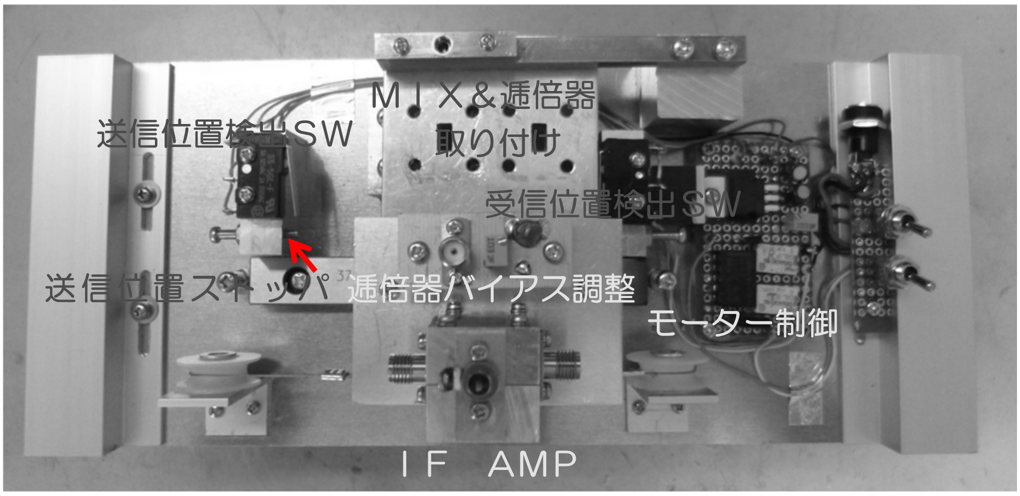
（２）プランジャーによる電動化
　　自動で切り替えが出来て便利だが切り替え時のショックが大きい。

（３）レバー又はダイヤルによるワンタッチ移動
　　切り替え時のショックは少ないがアンテナの前に回って操作が必要で注意しないとアンテナの方向を変える事がある。

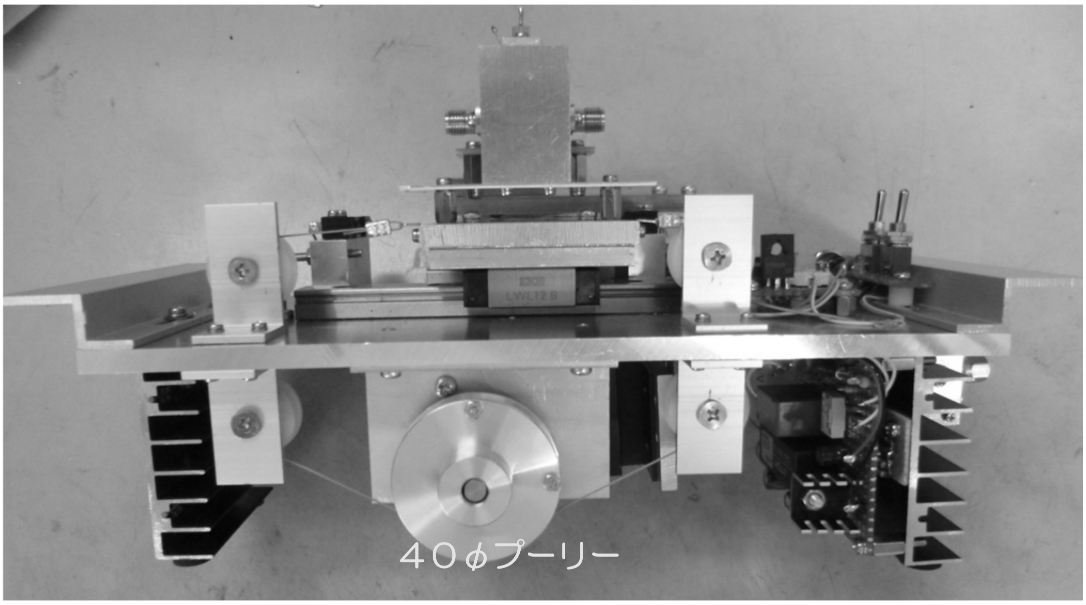
これらのメリット、デメリットを考えモーターによる電動化を試しました。
試作品を考えるきっかけは九州マイクロウエーブミーティングでＩＫＯ製の本格的並行スライダーを貰ったことです。
５００円ミニスライダーも便利ですが、上下のガタツキが少し有りました。
ＩＫＯ製スライダーのガタツキは手の感触では無い。
このスライダーを使ったものを作りたい、モータードライブ機構も試したいとの気持ちでいたところ模型用の低速回転ギャーモーターを店頭で見つけて本格的に考えました。
Ａｕｔｏ　ＣＡＤで全体の構造を色々図面化し、今まではアンプの上をスライドさせていたのを今回は曲がり導波管フランジの上をスライドさせる方法で試作しました。
導波管入出力タイプのアンプも使えるメリットが有ります。

試作品写真

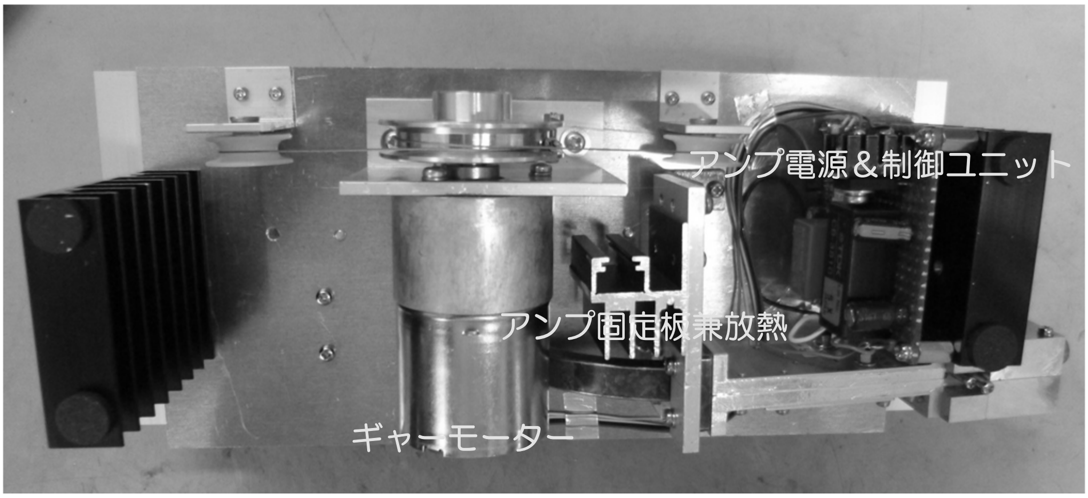
上面



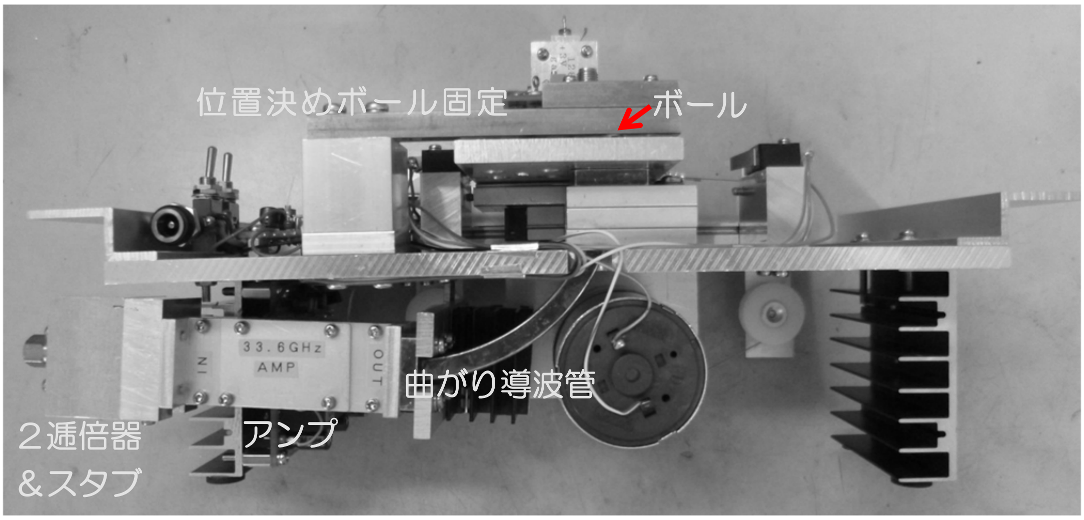
正面


４０φプーリー

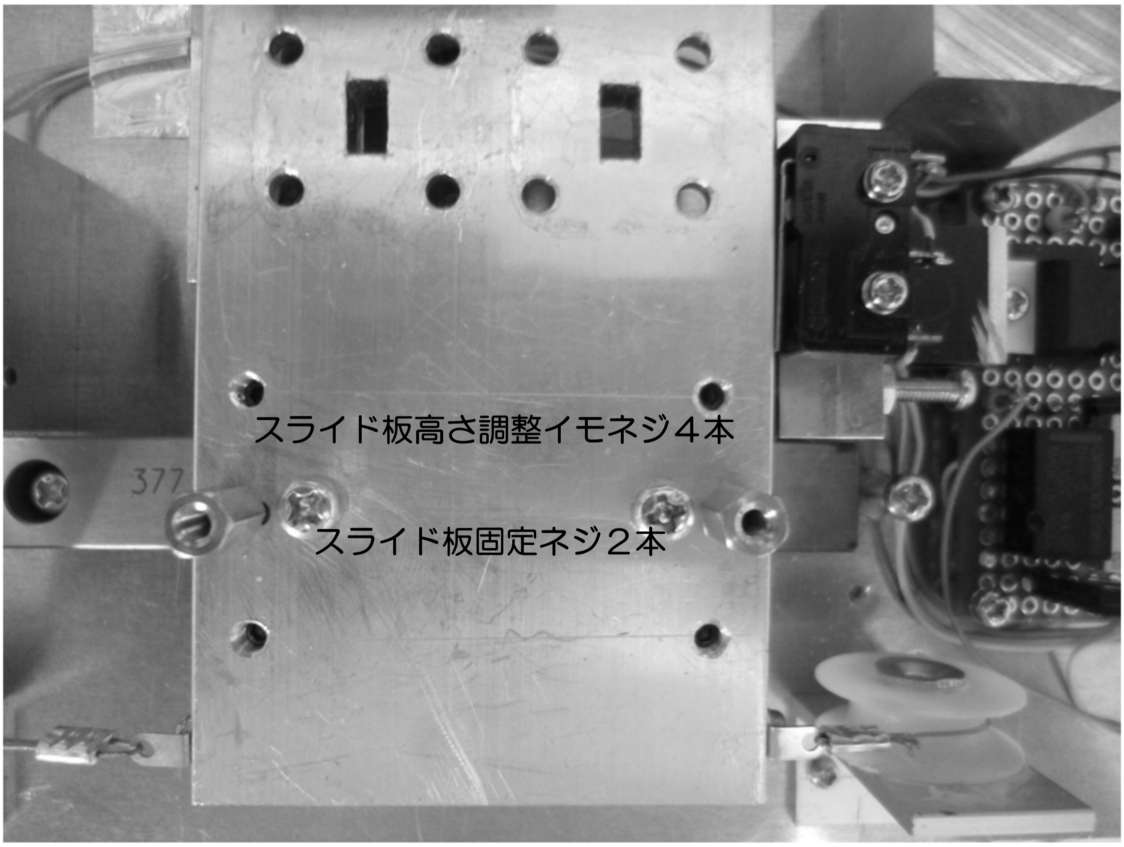
裏面


アンプ電源＆制御ユニット
アンプ固定板兼放熱
ギャーモーター

背面


位置決めボール固定
ボール
33.6GHz
AMP
IN
OUT
曲がり導波管
２逓倍器
＆スタブ
アンプ

高さ合わせの工夫



５００円ミニスライダーは上下に少しガタツキが有るのでスライド板を上からバネで押さえ付けると少しの誤差は吸収出来たがＩＫＯ製スライダーの上下ガタツキが殆ど

無いのでフランジの上面とスライド板の隙間を精密に合わせる必要が有りました。

スライダーとスライド板の間に大凧の高さ合わせ用兼取り付け用５mm厚アルミ板と１mmステンレス板を挟んでスライド板４箇所に３mmタップを立てイモネジで高さを微調整出来る様にしました。

これで精密に高さを合わせる事が出来ました。

上からの締め付けは２箇所として傾きも合わせられます。

下がステンレスなので強く押しても食い込む事は有りません。

また､フランジの方も角の部分をペーパーで少し磨いて穴の部分が少し盛り上がる感じにしています。

スライド板がアルミなのでかじりが出て動きが重く成って行くのを軽減しました。

スライド板を左右に動かして少し重く感じる所に高さを合わせています。

モーターとスライド板の連結

モーターをベースの下に取り付けたので４個の戸車を使って方向を変え園芸用ステンレスワイヤーで４０φプーリーの３／４周付近で固定しています。

モータードライブ回路

４７Gや７７Gのアンプ回転用モーター制御と同じです。

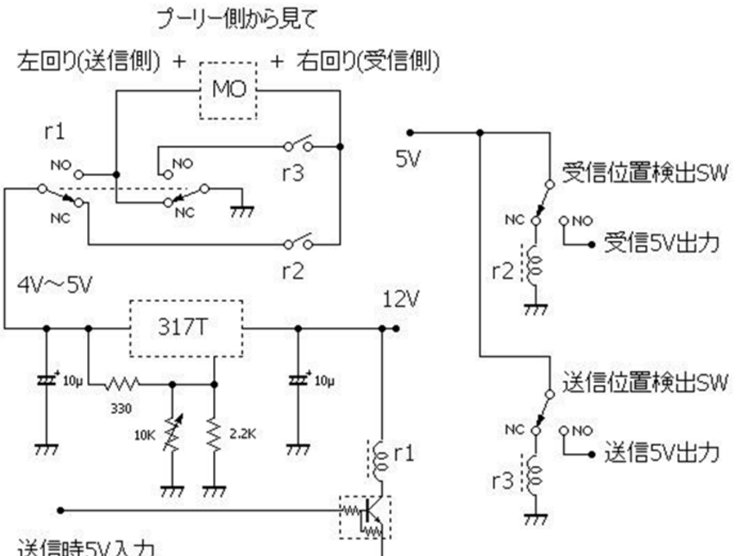
送受位置検出マイクロＳＷからの電圧とスタンバイ回路からの送信時電圧を利用しています。

モーター電圧を可変してスピード及びストップ時のショックを考え合わせています。

タミヤ製　型番８０１２　７．２V時９３ｒｐmのモーターで４V位です。

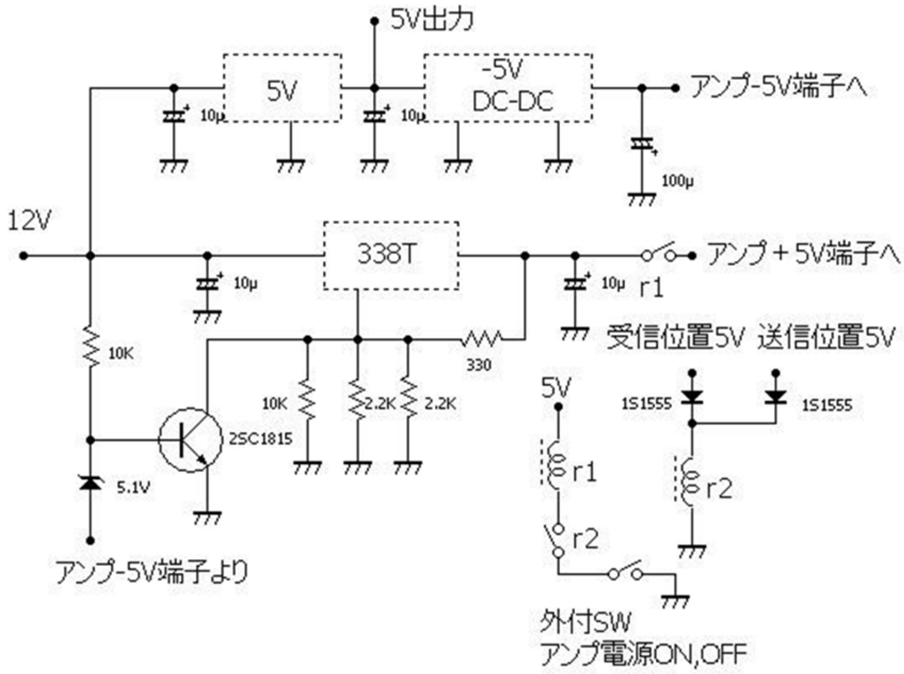
２３ｒｐmも試しましたが動きが遅いので９３ｒｐmに戻しました。

スムーズに動いています。



スタンバイ回路から出る電圧

アンプ電源



今回使ったアンプは＋５Ｖと－５Ｖが必要で－５Ｖが出ない時は１．２５Ｖ出力に制御しました。
０Ｖが理想ですが簡略化しました。
－５Ｖの検出は配線が増えますが、アンプ端子として断線によるトラブルにも対応しました。
トランスバーター等に取り付けた時アンプ電源の入り切りをパネル面から出来る様にしています。
モーターによる移動中はアンプ電源を切って保護しています。

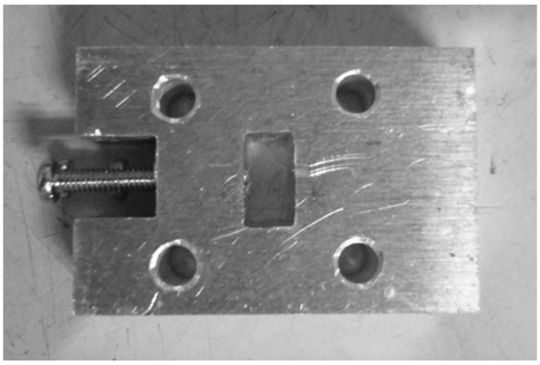
出力測定

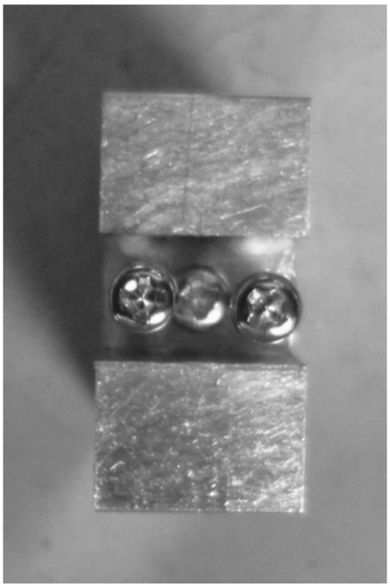
１３５Ｇ用アンプなので入力１６．９Ｇを二逓倍する逓倍器とマッチィング用のスタブを取り付けました。
20mm 厚スタブは出過ぎるので 10mm 厚で実験しました。
センターを中心に左右２本３本立てました。
逓倍器側の一本が良く効いて真ん中は少しアンプ側は無い方が良かったので抜いています。
アンプ入力のSWRが変わって発振する事も考えられたのでスペアナで33G～50Gの範囲を監視しながら調整しました。
出力が増えて 500mW を超えそうに成ったので 16G 帯のドライブを絞りながら合わせました。
スペアナに変な信号は現れなかったので上手く動作していると思われます。
300mW 有れば十分なので 16G 帯アンプの出力を絞り出さなくて良くなりました。

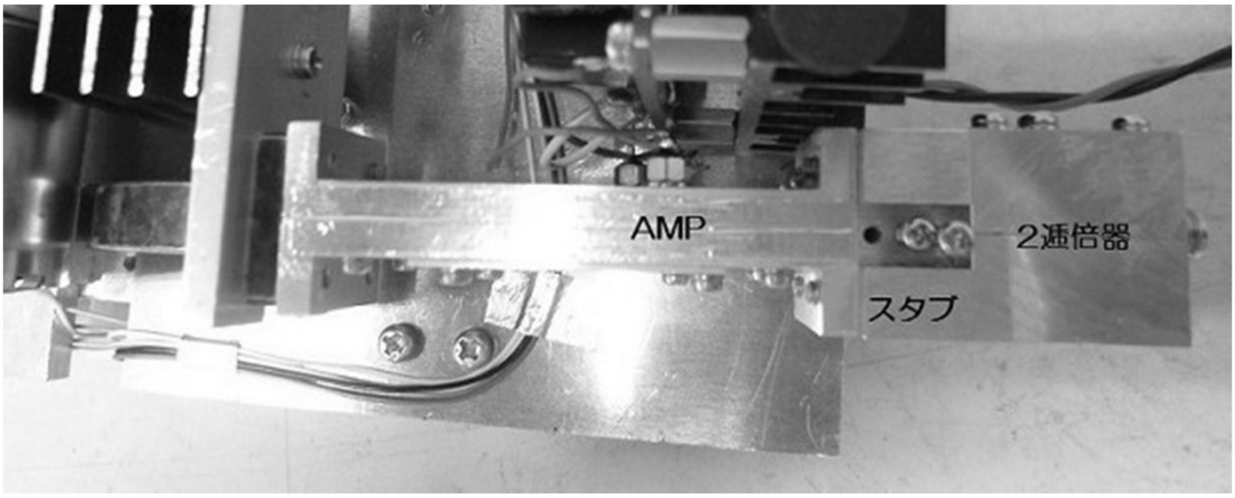
横幅３０mmスタブなのでタップが届くまで切り込みを入れました。

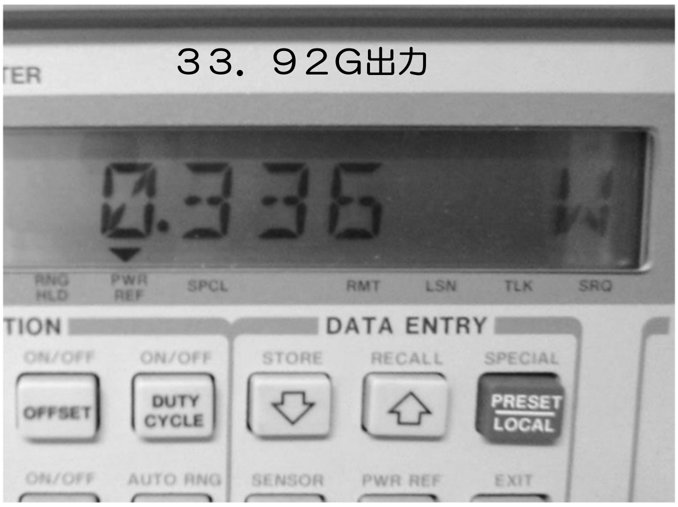
ネジの頭同士が当るので真ん中のネジを短くしています。

３３G帯スタブ









左右移動しても測定誤差程度の差で受信側は１００mW以下に調整するので問題なく使えそうです。

以上

ネットワークアナライザによる
マイクロストリップラインの特性インピーダンスの測定方法

JI1WHS　内田 俊男
(ji1whs@yahoo.co.jp)

はじめに

マイクロストリップラインの特性インピーダンスをネットワークアナライザの S11 測定によって求める方法が知られています。

本報では、この測定方法および計算方法を説明します。また、電磁界シミュレータによるシミュレーション結果および試作したマイクロストリップラインの測定結果を示します。

１．測定方法

１．１ セットアップおよび測定

測定系を以下に示します。

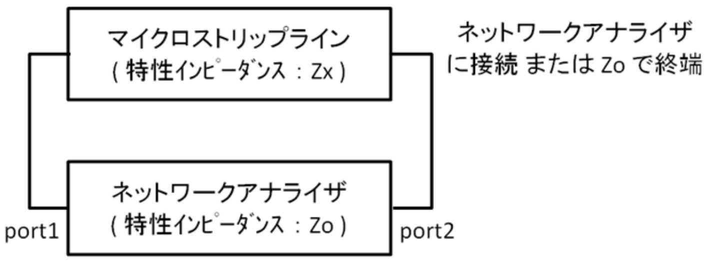


図 1.1.1　測定系

特性インピーダンスが Zx のマイクロストリップラインをネットワークアナライザに接続します。すなわちマイクロストリップラインの一端をネットワークアナライザのポート 1 に、他端をポート 2 に接続あるいは終端します。マイクロストリップラインの線路長はλ/2 程度が望ましいです。

周波数を低周波からλ/2 相当の周波数まで掃引し、このときの S11（R+jX）を測定します。

なお測定の前作業として、キャリブレーションのほかに線路長の補正（port extention）が必要になります。

１．２ スミスチャート上での軌跡

S11 の軌跡を以下に述べます。なお、ネットワークアナライザの特性インピーダンスを Zo とします。

(1)　低周波では、S11 はスミスチャートの中央になります。このときのインピーダンスは Zo となります。

(2) 周波数が高くなると、S11 はスミスチャートの中央から以下のように移動し、弧を描きます。
・Zx.>Zo のとき、S11 は上側に移動します
・Zx <Zo のとき、S11 は下側に移動します

(3) 線路長がλ/4 となる周波数にてS11 の値は実部のみとなり、その軌跡は半円となります。また、その時のインピーダンス：Zd は以下となります。

$$\mathrm{Zd} = \frac{\mathrm{Zx}^2}{\mathrm{Zo}} \qquad (1\text{-}1)$$

(4) 線路長がλ/2 となる周波数にてS11 はスミスチャートの中央に戻り、S11 の軌跡は円となります。

スミスチャート上のS11 の軌跡は以下の通りとなります。
・Zx ＝Zo のとき、S11 はスミスチャートの中央で点になります
・Zx ＞Zo のとき、S11 はスミスチャートの右半分にあらわれます
・Zx ＜Zo のとき、S11 はスミスチャートの左半分にあらわれます

１．３ 特性インピーダンスの計算方法

S11 の軌跡の中心がマイクロストリップラインの特性インピーダンス：Zx になります。
通常Zx の計算は、以下の近似式で計算することが多いようです。ここでは、近似解と厳密解の両方について述べていきます。

（１）近似解

Zx は、Zd と Zo の差の半分の値をZo に加えた値になります。例えば、Zd が 56Ω、Zo が 50Ωのときは以下となります。

$$\mathrm{Zx} = \left(\frac{\mathrm{Zd}-\mathrm{Zo}}{2}\right) + Zo \qquad (1\text{-}2)$$

$$= \left(\frac{56-50}{2}\right) + 50$$

$$= 53.0\ (\Omega)$$

（２）厳密解

式(1-1) から以下のようにして求めることができます。

$$\mathrm{Zx} = \sqrt{\mathrm{Zd} \times \mathrm{Zo}} \qquad (1\text{-}3)$$

上と同様、Zd が 56Ω、Zo が 50Ωのときは以下となります。

$$\mathrm{Zx} = \sqrt{56 \times 50}$$

$$= 52.9 \quad (\Omega)$$

近似解と厳密解との差すなわち誤差は、マイクロストリップラインの特性インピーダンスとネットワークアナライザの特性インピーダンスの差が小さいときには小さいものの、両者の差が大きい場合には誤差も大きくなります。次に、この誤差について定量的に述べます。

２．近似による誤差に関する考察

マイクロストリップラインの特性インピーダンス：Zx は、式(1-2)にて近似解が、式(1-3)にて厳密解が得られます。その差を次の図に示します。なお、誤差(Ω)および誤差(%)は、式(1-2)から得られる Zx を Zxa 、式(1-3)から得られる Zx を Zxe とすれば、次式で与えられるものとします。

$$誤差\ (\Omega) = \mathrm{Zxa} - \mathrm{Zxe}$$

$$誤差\ (\%) = \frac{\mathrm{Zxa} - \mathrm{Zxe}}{\mathrm{Zxe}} \times 100$$

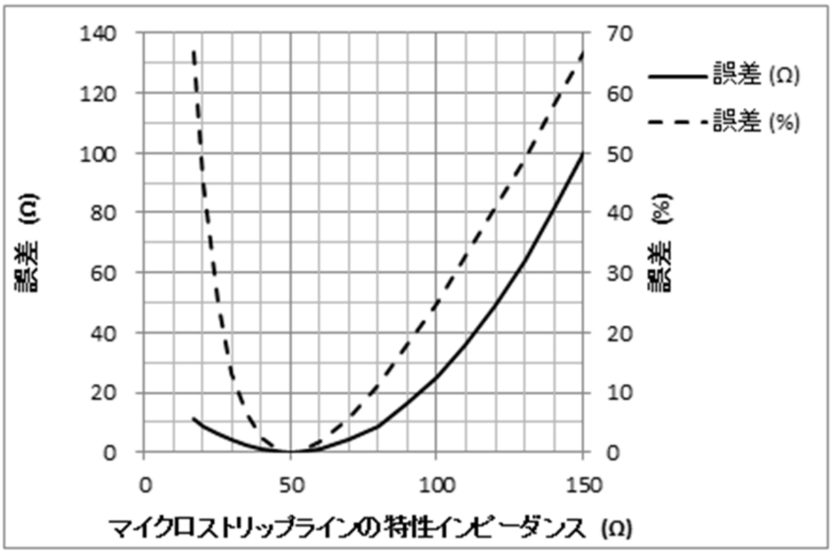


図 2.1.1　近似による誤差

上の図から、近似解は特性インピーダンスの値にかかわらず厳密値よりも大きくなること、そして特性インピーダンスが 34~75 Ω（VSWR で 1.5 以下）であれば誤差は 10%以下で、特性インピーダンスが 25~100 Ω（VSWR で 2 以下)であれば誤差は 25%以下であることがわかります。

３．電磁界シミュレーションと試作

特性を確認するために、Sonnet Lite により電磁界シミュレーションをおこないました。またシミュレーションのモデルを実際に製作し、ネットワークアナライザを使用して S11 を測定しました。

３．１ 基板および線路の情報

・材料 ： FR-4

・板厚 ： 1.0 mm

・寸法 ： 50 mm x 25 mm

なお、シミュレーションのための寸法は、ポートを設定する場所が必要なため、55 mm x 25 mm としました。シミュレーションの設定は後述します。

・線路長 ： 50mm としました。

特性インピーダンスをおよそ 100Ω、50Ω、25Ω となるように線路幅を計算した結果を 下表にまとめました。計算は参考文献（１）を参考にしました。

表 3.1.1 線路幅の設計値一覧表

No.	線路幅 mm	Zx Ω	実効比誘電率
1	0.4	101.2	3.04
2	1.8	51.0	3.34
3	5.0	25.4	3.67

３．２ 結果

シミュレーション結果および試作した基板の測定結果を以下に示します。

表 3.2.1 シミュレーション結果

No.	線路幅 mm	Zx Ω	
		式(1-2)	式(1-3)
1	0.4	132.7	103.8
2	1.8	51.5	51.5
3	5.0	31.5	25.4

表 3.2.2 試作結果

No.	線路幅 mm	Zx Ω	
		式(1-2)	式(1-2)
1	0.4	137.2	105.9
2	1.8	53.4	53.2
3	5.0	31.6	25.7

３． ３ シミュレーション結果

（１）No.1

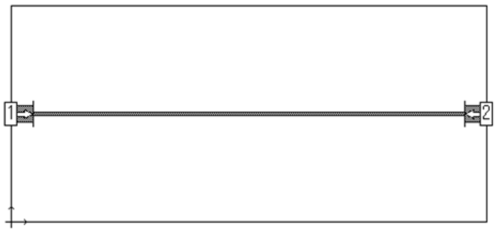


図 3.3.1(a)　 No.1 のモデル

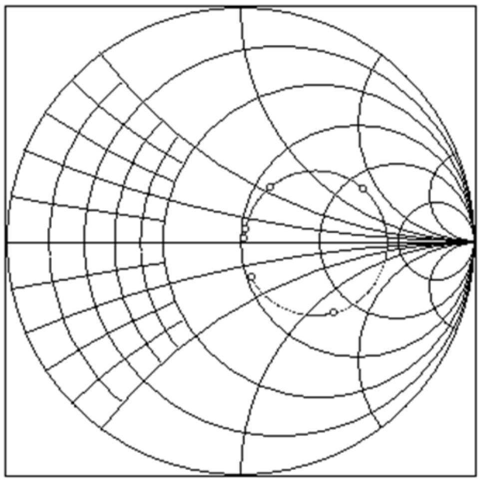


図 3.3.1(b)　 No.1 の結果

（２）No.2

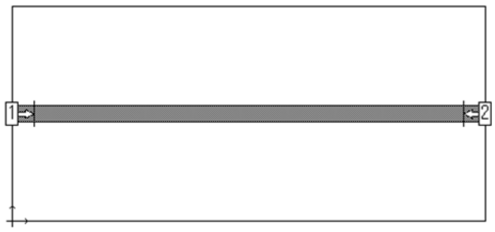


図 3.3.2(a)　 No.2 のモデル

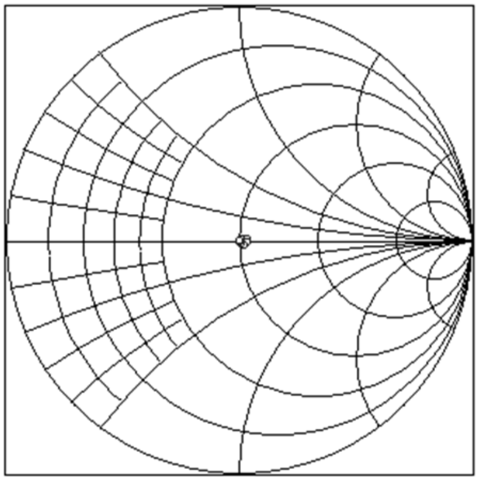


図 3.3.2(b)　 No.2 の結果

（３）No.3

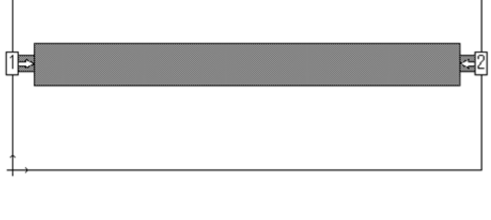


図 3.3.3(a)　 No.3 のモデル

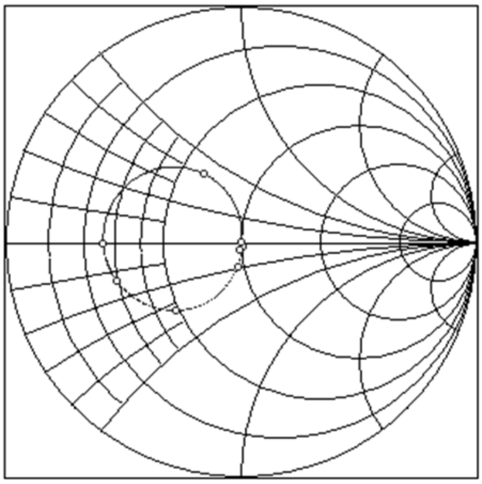
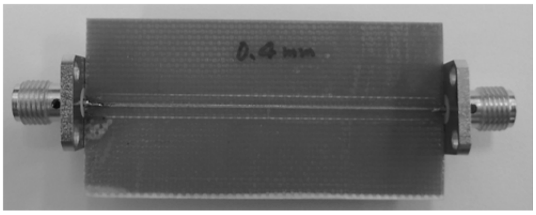


図 3.3.3(b)　 No.3 の結果

３．４ 試作品の測定結果

（１）No.1



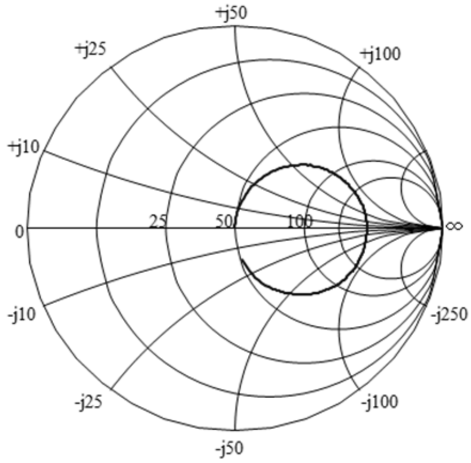
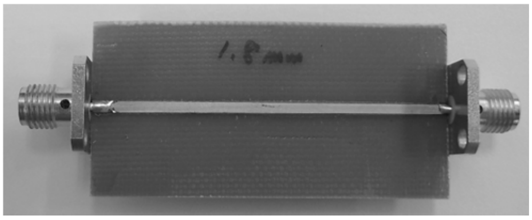


図 3.4.1(a)　No.1 の外観　　図 3.4.1(b)　No.1 の測定結果

（２）No.2



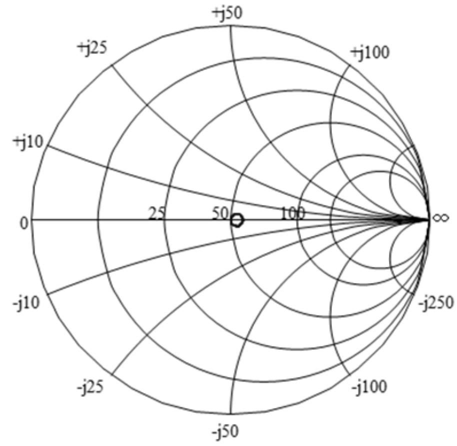
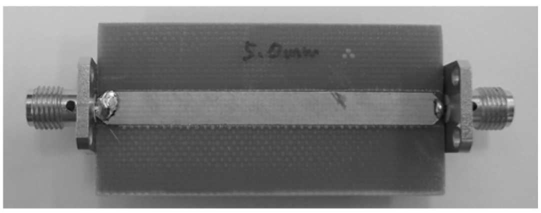


図 3.4.2(a)　No.2 の外観　　図 3.4.2(b)　No.2 の測定結果

（３）No.3



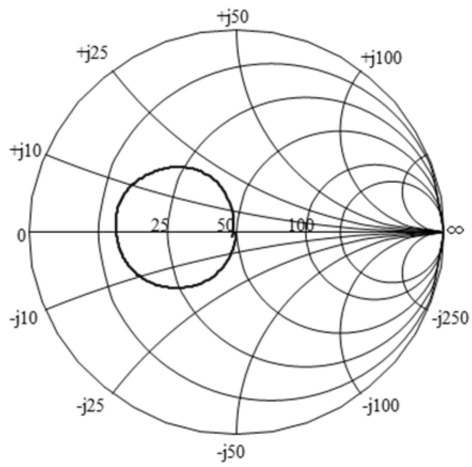


図 3.4.3(a)　No.3 の外観　　図 3.4.3(b)　No.3 の測定結果

４．シミュレーションの設定の概略

ここでは電磁界シミュレータ：Sonnet Lite の設定の概略を示します。

（１）Box

Box の設定を以下に示します。基板サイズは 55mm x 25 mm 、セルサイズは 0.1 mm x 0.1 mm としました。

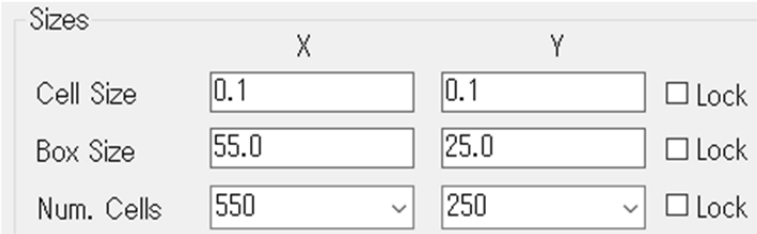


図 4.1.1　Box の設定

（２）Units

Units の設定を以下に示します。長さの単位は mm としました。

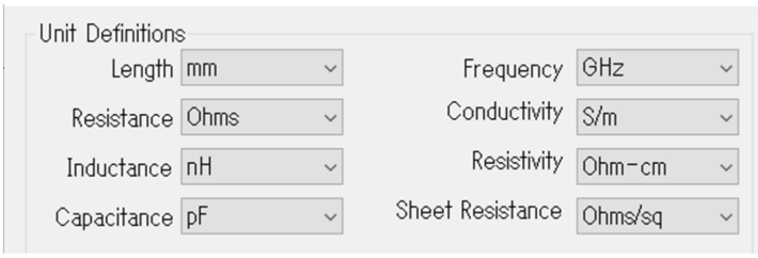


図 4.1.2　Units の設定

（３）Dielectric Layers

Dielectric Layers の設定を以下に示します。誘電体基板は比誘電率が 4.5 の FR-4 とし、厚さは 1.0 mm としました。導体損失および誘電体損失は、ともに 0 としました。

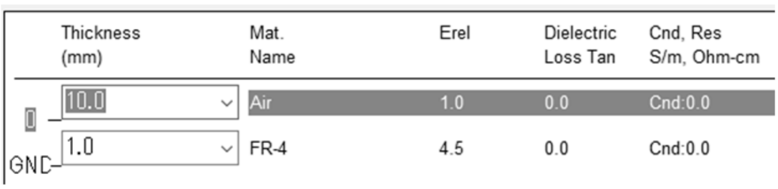


図 4.1.3　 Dielectric Layers の設定

（４）Metal Layers

Metal Layers の設定を以下に示します。Metal は LossLess としました。

図 4.1.4　 Metal Layers の設定

（5）Ports

Ports の設定を以下に示します。ポート 1、2 ともに 50Ω としました。

図 4.1.5　Ports の設定

（6）Setup

Setup の設定を以下に示します。スタート周波数は、線路長から計算される周波数と比較して十分小さい値である 10MHz としました。ストップ周波数は線路長が 1/2 波長となる周波数とし、スミスチャート上の軌跡が円の一周分となるようにしました。

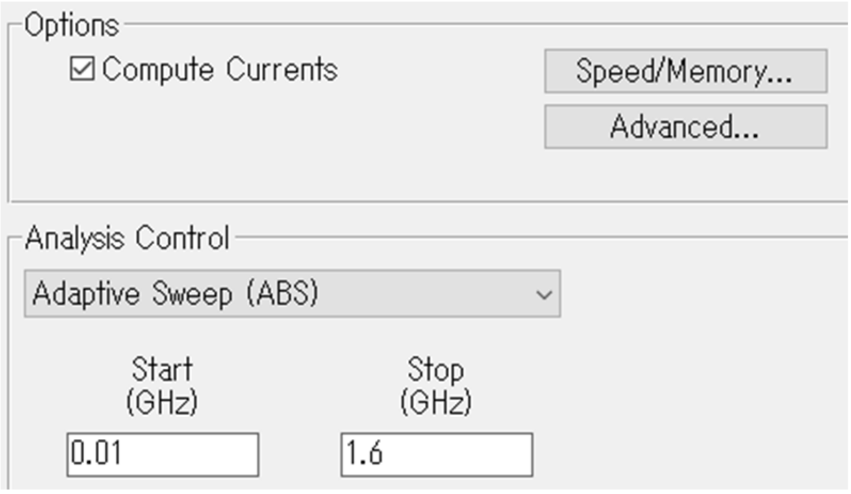


図 4.1.6　Setup の設定

５．おわりに

マイクロストリップラインの特性インピーダンスの測定は、最近では TDR 法によるのが一般的になっているように感じます。本報のようにネットワークアナライザを使用すれば、高価な測定器を買い足すことなく容易にマイクロストリップラインの特性インピーダンスの測定をおこなうことが可能です。

本測定方法は、私がマイクロ波の仕事を始めて間もない頃に有識者に教えて頂いたものです。まだ私の理解が不十分なところもありますが、皆様のお役にたてばうれしいです。

参考文献

（1）倉石源三郎著　：例題演習マイクロ波回路 ，東京電機大学出版 ，pp.186-188

OpenSCAD による NEC2 モデル生成

JA6XKQ / 武安 義幸

NEC2++ を用いて、対称型カセグレン・アンテナのシミュレーションを行った。[1] シミュレーション対象をオフセット型へ拡大するために、モデル生成方法の改善を図った。 既存の三次元 CAD である OpenSCAD を用いることで、非対称形モデルも容易に生成することが可能となった。

はじめに

反射型アンテナとそのフィード・ホーンを NEC2++ でシミュレーションするには、Surface Patch [2] を専ら使用してきた。これまでのシミュレーション対象は軸対称の回転形であったので、自前の単純なモデル・ジェネレータで Surface Patch を配置できた。しかし、シミュレーション対象を非対称形であるオフセット型へ拡大するにはモデル・ジェネレータが複雑化し、自前で賄っていたのでは本来の特性シミュレーションに注力するのは難しそうである。

立体物を対象とした電磁界解析や構造解析では、対象物をメッシュ（Mesh = 網目）状に分割するモデル化が常套手段であり、そのツールをメッシュ・ジェネレータと呼ぶ。既存のメッシュ・ジェネレータで流用できるものはないかと調査する過程で、本来の機能はメッシュ・ジェネレータではないが、三次元 CAD の出力ファイルを流用できることが分かった。

既存の三次元 CAD のうち、OpenSCAD [3] がオープンソースであり、使用事例と公開情報が多そうなことから流用することとした。

従来手法

従来手法ではシミュレーション対象が軸対称の回転形である特徴を生かして、回転形の基本部分を Surface Patch で記述するモデル・ジェネレータを GNU Octave で記述し、その基本部分を NEC2++ の GM（ Coordinate Transformation ）コマンド [2] で回転複製していた。

図-1 と **図-2** に回転形の基本部分を Surface Patch で記述した様子を示す。 **図-3** は **図-1** に示した基本部分を、GM コマンドで 14 個の回転複製を行った様子を示す。ここでは図示の便宜上、14 個の回転複製を示したが、実際には Surface Patch の大きさに応じた複製個数で、360 度にわたっての回転複製を行う。

非対称形モデル – オフセット型

シミュレーション対象が対称型のアンテナについては従来手法で簡単にモデルを生成することができた。一方、オフセット型のカセグレン・アンテナやグレゴリアン・アンテナは非対称形モデルとなるので、単純に GM コマンドでの回転複製を用いることができない。

オフセット型アンテナは、対称型のサブ・リフレクタとメイン・リフレクタの一部を切り取ったものである。したがって、最初に対称型のサブ・リフレクタとメイン・リフレクタの全てを Surface Patch で生成し、次にフィードからのビームで照射される Surface Patch のみを選び出す（ビームで切り取る）というモデル生成手順が考えられる。

この手順の最初の部分は、GM コマンドに相当する回転複製を自前で GNU Octave でプログラムすることは経験済みで、簡単である。手順の二番目の部分は、立体曲面から切り取られる部分の二次元投影が楕円となる性質を用いてプログラミングできそうである。ただし、三角関数の羅列と計算繰り返し数でかなり面倒だろうと想像される。それ

では、その概念を図示してみようと手書きではなくCAD を探すとともに、適用可能な既存のメッシュ・ジェネレータがないものかと探してみた。

OpenSCAD での概念図示

モデル生成の概念図示には 3D プリンタのモデル生成等に使用される OpenCAD [3] を用いた。**図-4** はモデル生成の概念図であり、双曲面のサブ・リフレクタを、円錐で表現したフィード・ホーンからのビームが照射している様子を示している。円錐の頂点は、双曲面の虚焦点に位置している。

図-4 において、双曲面と円錐との交わる面が、求めるオフセット型カセグレン・アンテナでのサブ・リフレクタとなる。OpenSCAD が持つ立体オブジェクト間の演算子を用いて双曲面と円錐の交わる面を切り取った様子を、**図-5** に示す。

OpenSCAD は、座標入力や演算操作をインタラクティブにマウスで行う CAD とは異なり、それらをプログラムのソースコードに記述することを特徴としている。この特徴がシミュレーションのモデル生成という目的に合致している。サブ・リフレクタの幾何学的パラメータのみで曲面を生成したいが、OpenSCAD が自動的に生成する基本的な立体は、立方体、球、円柱（円錐は円柱に含まれる）、三角形で構成される多面体等に限定される。そこで、曲面の幾何学的パラメータを用いて「三角形で構成される多面体」で目的の曲面を生成するプログラムを OpenSCAD で記述することになる。

そのようなプログラム例を検索すると、Chris Wallace 氏による poly_surface.scad [4] がヒットした。**図-4** と **図-5** は poly_surface.scad を改変して作図したものである。なお、poly_surface.scad の実行には、OpenSCAD の最新版 2015.03 が必要である。また、poly_surface.scad には軸対称に曲面を生成する部分にバグがあるので修整を要した。

NEC2++ 入力ファイルへの変換

図-5 に示される曲面は陰影の具合から、「三角形で構成される多面体」であることが見て取れる。つまり、OpenSCAD はシミュレーションのモデル生成に必要とするメッシュ・ジェネレータである。OpenSCAD は 3D プリンタのモデル生成に使用されるので、モデルのメッシュ情報を数値として出力する機能を有している。

OpenSCAD の出力機能のうち、ここでは STL フォーマットを用いる。STL フォーマットは、3D Sytems Inc. 社の stereolithography CAD を起源とするもので、下記のフォーマットで記述されている。[5]

facet normal n_i n_j n_k
　　outer loop
　　　　vertex $v1_x$ $v1_y$ $v1_z$
　　　　vertex $v2_x$ $v2_y$ $v2_z$
　　　　vertex $v3_x$ $v3_y$ $v3_z$
　　endloop
endfacet

このフォーマットは「三角形で構成される多面体」の一つの三角形メッシュを示したもので、出力ファイルには、このフォーマットが繰り返して記述される。“facet normal” は三角形メッシュの法線ベクトルを示す。続く “vertex” は三角形メッシュの頂点座標を示す。法線ベクトルと頂点座標が右手座標系に基づいている点は、NEC2++ の Surface Patch でモデルを記述する際に注意が必要である。[6]

NEC2++ の入力ファイルでは三角形メッシュを SP と SC コマンドを使って Surface Patch で記述するので、上記の STL フォーマットからの変換が必要である。上記の STL フォーマットの値を用いて SP と SC コマンドで記述すると下記のようにな

る。

SP 0 2 $v1_x$ $v1_y$ $v1_z$ $v2_x$ $v2_y$ $v2_z$
SC 0 2 $v3_x$ $v3_y$ $v3_z$

この記述を三角形メッシュの数だけ繰り返す。この変換を GNU Octave でプログラムする。OpenSCAD で作成した STL フォーマットから NEC2++ 入力ファイルへ変換した結果を、Xnecview を用いて **図-6** に示す。なお、**図-4** から **図-6** に示すものは、Surface Patch のサイズがシミュレーションとして有効か否かを検証したものではなく、シミュレーション・モデル生成の手順に主眼を置いたものである。**図-6** に示すように、Surface Patch サイズをあえて大きくして、メッシュ生成の様子を判りやすくした。メッシュ・サイズを小さく、すなわちメッシュ数を大きくすると OpenSCAD と STL/NEC2++ フォーマット変換プログラムの実行に時間を要するので、デバッグ効率の観点からもメッシュ・サイズを大きくしている。

OpenSCAD を使う際の注意点

NEC2++ での Surface Patch は厚みの無い完全導体として定義されたものである。一方、OpenSCAD は立体を記述する CAD であり、厚みの無い曲面を記述しようとすると、

WARNING: Object may not be a valid 2-manifold and may need repair!

なる警告が出る。しかし、目的とするメッシュは生成されるので、この警告は無視している。厚みの無い曲面を記述するには、前述の poly_surface.scd がオリジナルでは立体の上面/下面/側面を生成するところ、上面のみのルーチンを利用している。

厚みの無い双曲面を OpenSCAD で生成して、**図-4** と **図-5** に示すように OpenSCAD の intersection 演算子を用いて円錐で切り取った結果の STL ファイルには、厚みの無い双曲面の表と裏の二面分のメッシュ情報が含まれる。これは、OpenSCAD の仕様を超えた使い方なので、使う側での対応が必要となる。すなわち、STL フォーマットから NEC2++ 入力ファイルへ変換する際に STL フォーマットの "facet normal" が示す法線ベクトルを用いて双曲面の表裏を判断し、必要とする面のみを NEC2++ 入力ファイルへ変換する。

モデル生成例

前述の手順で OpenSCAD を用いて生成したオフセット型カセグレン・アンテナのモデルを**図-7** に示す。アンテナの設計パラメータと NEC2++ でのシミュレーション結果は別稿にて記載するが、ここではモデルの全体像を示すにとどめる。拡大率が小さいため、**図-7** では個々のメッシュを識別できないが、各リフレクタは細かい三角メッシュで構成されている。

サブ・リフレクタの虚焦点を、モデル全体の座標系の原点としている。フィード・ホーン、サブ・リフレクタ、そしてメイン・リフレクタの三つの部分毎に NEC2++ 入力ファイルを作成して、最後に三つのファイルをつなぎ合わせて一つの入力ファイルを作成する手順とした。フィード・ホーン単体は軸対称の回転体なので、モデルは従来手法を用いる。NEC2++ の GM (Coordinate Transformation) コマンドを用いてフィード・ホーンを傾けている。サブ・リフレクタは前述の例のとおり。メイン・リフレクタは母体となるパラボラ曲面を、主放射軸から見た円で切り抜いてモデルを生成している。

まとめ

OpenSCAD を用いることで、非対称型モデルを容易に生成することができた。OpenSCAD のプログラムではアンテナの設計パラメータで各リフレクタの反射曲面を記述すれば良く、オフセット型での非対称なリム形状を直接的に記述する必要が無

い点は、ひじょうに大きな利点である。このようなオープン・ソースとその応用例を公開されている先達に感謝する。

参考文献

[1] 武安義幸, JA6XKQ, “NEC2++ を用いたカセグレン・アンテナのシミュレーション,” 2015.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppMainRef_1.pdf

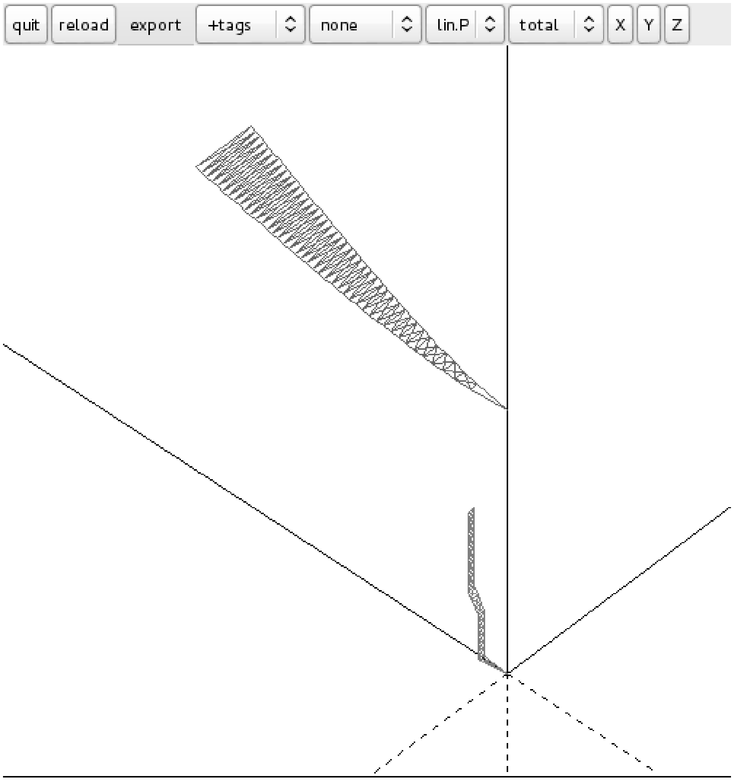
[2] Burke, B. J., and Poggio, A. J., “NUMERICAL ELECTROMAGNETICS CODE
(NEC) – METHOD OF MEMENTS, PART III: USER' S GUIDE,” 1981.

[3] OpenSCAD, The Programmers Solid 3D CAD Modeller
http://www.openscad.org

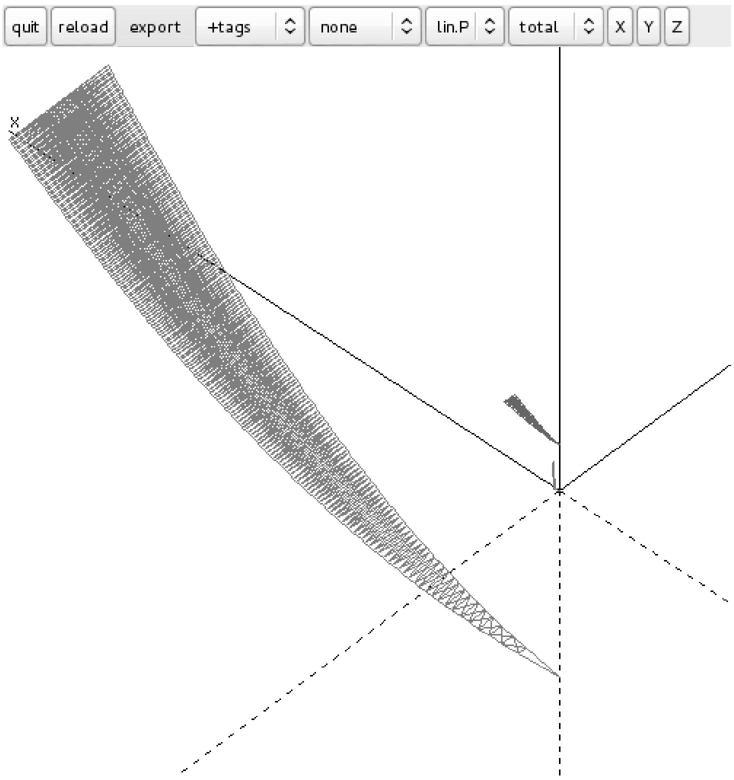
[4] Chris Wallace, “computed surface construction,” 24 Feb 2015.
https://github.com/KitWallace/openscad/blob/master/poly_surface.scad

[5] WIKIPEDIA, “STL(file format),” 19 November 2015.
https://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format)

[6] 武安義幸, JA6XKQ, “サブリフレクタからの放射パターン,” 2015.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppSubRef_2.pdf



図−1　Surface Patch　で記述した基本部分　−　ホーンとサブレフ



図−2　Surface Patch　で記述した基本部分　−　ホーン、サブレフ、メインレフ

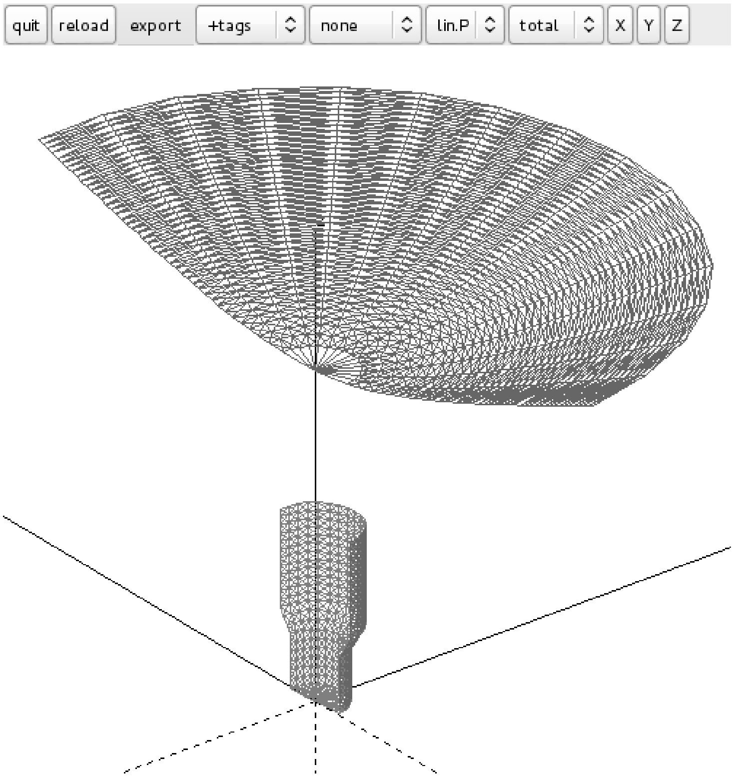


図-3 GM コマンドによる回転複製 – ホーンとサブレフ

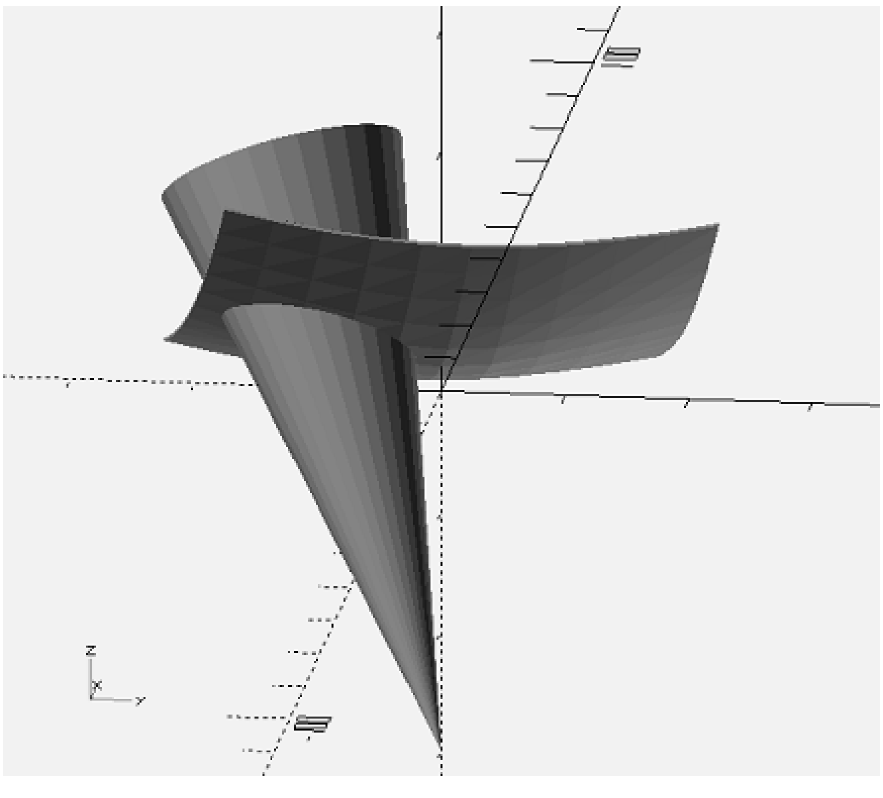


図-4 OpenSCAD によるモデル生成の概念図示

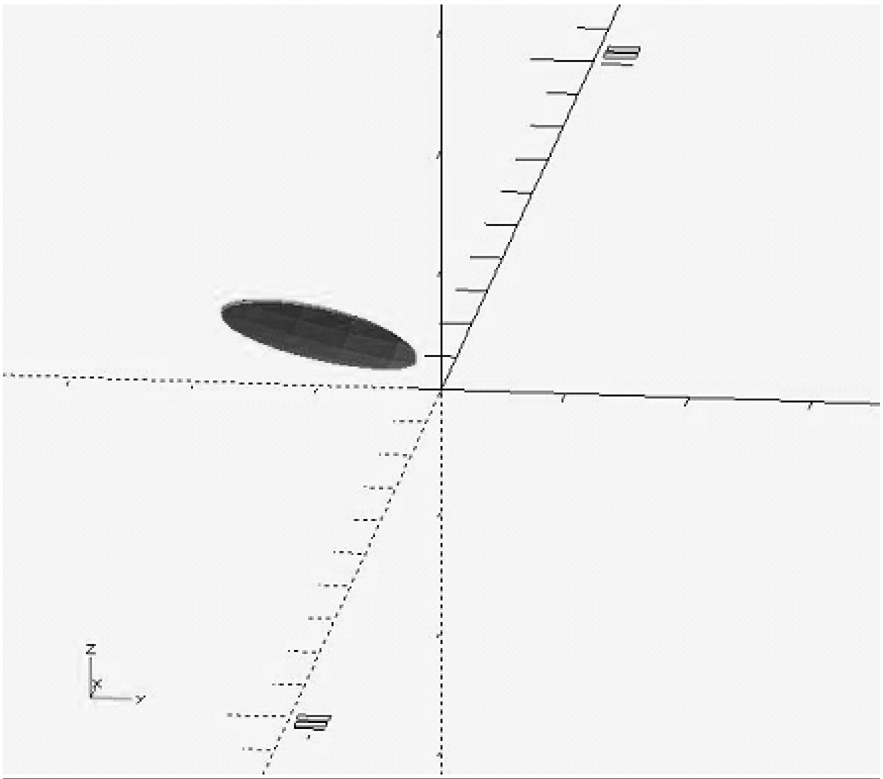


図-5　生成されたオフセット型カセグレン・アンテナのサブ・リフレクタ

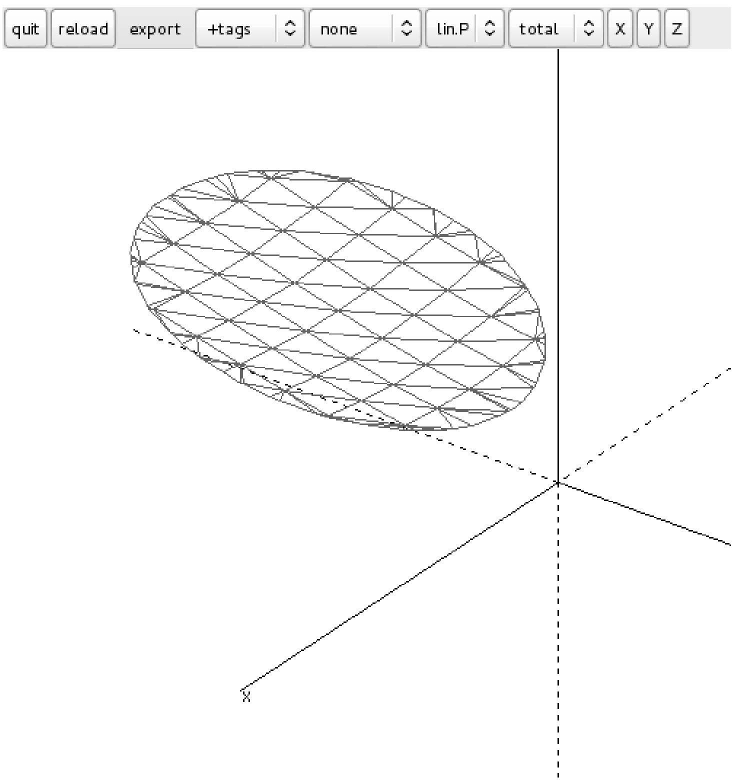


図-6　NEC2++ 入力ファイルへ変換されたサブ・リフレクタ

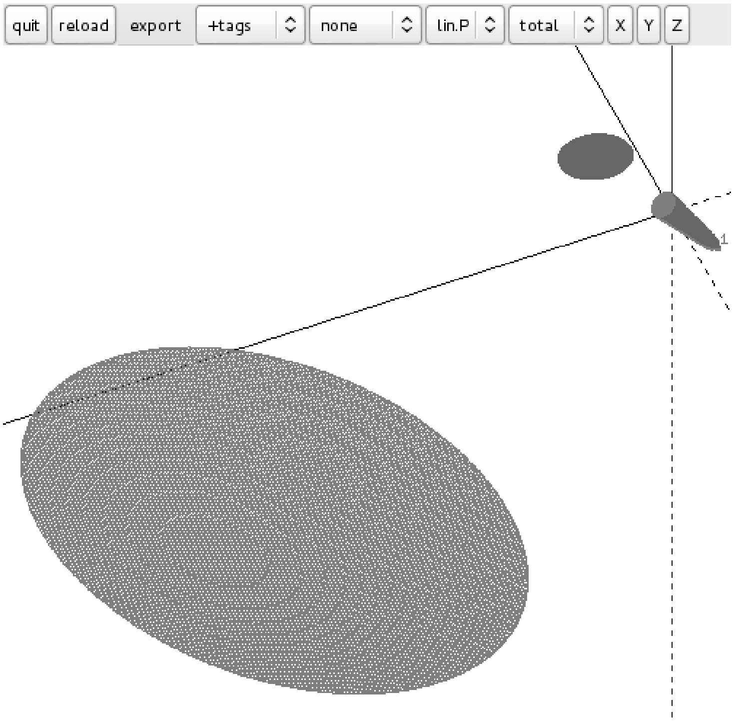


図-7 OpenSCAD で生成したオフセット型カセグレン・アンテナのモデル

NEC2++ を用いたオフセット型反射アンテナのシミュレーション

JA6XKQ / 武安 義幸

OpenSCAD を用いてオフセット型反射アンテナのモデルを容易に生成することが可能となったので [1] 、NEC2++ でその特性をシミュレーションする。

はじめに

アマチュアにとっては大型な直径 100 波長の対称型カセグレン・アンテナのシミュレーションを行った。[2] 反射効率を考慮すると直径 15 波長程度のサブ・リフレクタを採用したいところであるが、サブ・リフレクタに起因する遮蔽損失とのせめぎ合いとなってくる。それでは、サブ・リフレクタによる遮蔽の無いオフセット型の特性をシミュレーションで確認してみたい。

オフセット型反射アンテナの設計手順

数値例とともに設計手順が示されている文献 [3] を参照する。設計パラメータの定義をカセグレン型については **図-1** と **図-2** に、グレゴリアン型については **図-3** と **図-4** にそれぞれ示す。

設計条件として下記のパラメータを仮定する。

1. メイン・リフレクタの直径 D は 100 波長で、−10 dB の照射テーパーとする。
2. アンテナ全体の形状は、130 波長(高さ)×100 波長(幅)×100 波長(奥行き)とする。
3. メインとサブのリフレクタ間には少なくとも 10 波長の間隔 dc を設ける。
4. フィードからサブ・リフレクタ端を見込む角度 θe は 12 度とする。

サブ・リフレクタの直径 Vs は、第 1 ～ 3 項の関係から、130 − 100 − 10 = 20 波長以下となる。反射板として機能するには 10 波長以上が必要なので、ここでは Vs = 15 波長とする。また、第 2 項の奥行きの仮定から、L = 95 波長とする。

ステップ −1: メイン・リフレクタのオフセット位置 **do** を求める。

式 −(1)

式 −(1) において、σ はカセグレン型では −1 、グレゴリアン型では +1 とする。

ステップ −2: メイン・リフレクタの焦点距離 **F** を求める。

式 −(2)

ステップ −3: サブ・リフレクタのチルト角度 β を求める。

式 −(3)

ステップ −4: サブ・リフレクタの離心率 **e** を求める。

式 −(4)

式 −(4) において、カセグレン型では e>1 の双曲面、グレゴリアン型では 0<e<1 の楕円面となる。ここで、θo は、メイン・リフレクタの母体であるパラボラの焦点からメイン・リフレクタの中心を見た角度で、次式で与えられる。

式 −(5)

ステップ −5: サブ・リフレクタ面に対するフィード

のチルト角度 α を求める。

式 –(6)

ステップ -6: サブ･リフレクタの焦点間距離 2c を求める。

式 –(7)

式 –(7) において、θ_U と θ_L はメイン･リフレクタの母体であるパラボラの焦点からメイン・リフレクタの上端と下端を見た角度で、それぞれ次式で与えられる。

式 –(8)
式 –(9)

ステップ -7: フィードからサブ･リフレクタを見込んだ角度 θe を求める。

式 –(10)

当初、θe を 12 度と仮定したが、ここまでに求めた各パラメータから θe が正確に求められる。

ステップ -8: メイン･リフレクタの母体であるパラボラの曲面を求める。

式 –(11)

ステップ -9: サブ･リフレクタの母体である双曲面(カセグレン型)、または、楕円面(グレゴリアン型)を求める。

双曲面(カセグレン型)
式 –(12)

楕円面(グレゴリアン型)
式 –(15)

式 –(12) および 式 –(15) において、

式 –(13)
式 –(14)

フセット型反射アンテナの設計パラメータ

前述のステップ -1 ～ ステップ -7 で求めた設計パラメータを 表-1 にまとめる。

シミュレーション・モデル

表-1 に示す設計パラメータから生成したカセグレン型およびグレゴリアン型のシミュレーション・モデルを、図-5 と 図-6 にそれぞれ示す。モデルの生成には OpenSCAD を用いた。[1]

フィード・ホーン・アンテナには、設計パラメータに示すように、サブ・リフレクタを見込む約 12 度の角度で –10 dB の照射テーパーとなる特性を必要とする。本来であれば、そのような特性のフィード・ホーン・アンテナを準備すべきであるが、オフセット型反射アンテナのシミュレーションをまずは試してみたいという目的から、特性が近い既存の " 3 セクション・コニカル・ホーン " [4] を用いる。" 3 セクション・コニカル・ホーン " の照射テーパー特性は、約 13 度で –10 dB である。

図-5 および 図-6 に示すシミュレーション・モデルにおいて、サブ・リフレクタの焦点を座標原点としている。基本的には、フィード・ホーン・アンテナの位相中心(Phase Center)をその座標原点(サブ・リフレクタの焦点)に置く。しかし、図-5 および 図-6 では、総合でのゲインが最大となるようにフィード・ホーンを配置した様子を示している。結果として、フィード・ホーンの開口面が、座標原点よりもサブ・リフレクタに近づいたものとなっている。図-5 のカセグレン型で 120 mm、図-6 のグレゴリアン型で 75 mm 近づいている。

シミュレーション・モデルは、Surface Patch で構成

されている。シミュレーション・モデルの構成要素を**表-2** にまとめる。**表-2** において Number はパッチの概略数を示す。シミュレーション結果がパッチのサイズに依存することが解っているので、パッチのサイズはできるだけ小さくしてモデルのメッシュを細かく刻みたい。しかし、計算時間を短縮するために、PC の RAM メモリ （ 144 GB ） 内に収まるようにパッチ総数 （ パッチ・サイズ ） を調整した

シミュレーション結果

NEC2++ でのシミュレーション結果を、**図-7 ～ 図-10** に示す。シミュレーションの周波数は 10.45 GHz である。

シミュレーションに要したメモリは約 130 GB で、計算時間は約 4 時間 20 分であった。

考察

メイン・リフレクタの直径が 100 波長の場合、開口面積から推定されるゲインは 約 48 dBi であり、シミュレーション結果のゲインは概ね妥当と判断される。また、輻射パターンにチルトがないことと、その形状から判断して、シミュレーション・モデルに致命的な間違いは無いようである。

対称型カセグレン・アンテナのシミュレーション結果 [2] とゲイン等の数値を直接比較するのは、シミュレーション・モデルでの Surface Patch の形状、サイズ、メッシュ数が相異するので早計である。対称型カセグレン・アンテナについても OpenSCAD を用いてモデル生成してみることと、オフセット型については Surface Patch のサイズとメッシュ数の影響を検証することが必要である。

オフセット型反射アンテナの設計パラメータには、“ サブ・リフレクタ面に対するフィードのチルト角度 α “ と “ サブ・リフレクタのチルト角度 β “ なるパラメータが存在する。これらは、プライム・フォーカスのオフセット型反射アンテナには存在しないパラメータである。これらのチルト角度は “ 水口の条件 （ Mizuguchi Condition ）“ と呼ばれるもので、交差偏波を抑圧する手法である。[3] 交差偏波の発生具合については本シミュレーションでは検証していないので、今後の課題である。

本シミュレーションの所期の目的は “ サブ・リフレクタの反射効率と遮蔽損失のせめぎ合いの検証 “ であった。しかし、本稿ではモデル生成の有効性を確認したのみで、ようやく検証の緒に就いたばかりである。

まとめ

OpenSCAD を用いてオフセット型反射アンテナのモデルを容易に生成することが可能となったので、NEC2++ でその特性をシミュレーションした。生成したモデルの有効性を確認することができた。シミュレーションした特性の検証にはモデルのチューニングが課題である。

アマチュアにはサブ・リフレクタを持つオフセット型反射アンテナを製作することは容易ではない。サブ・リフレクタの無いプライム・フォーカスのオフセット型の実用例は多くあり、その最適化を行うにあたって、対称型とオフセット型のいずれをも含んで検証することは局所解に陥ることなく大局解に到達する解法だと考える。

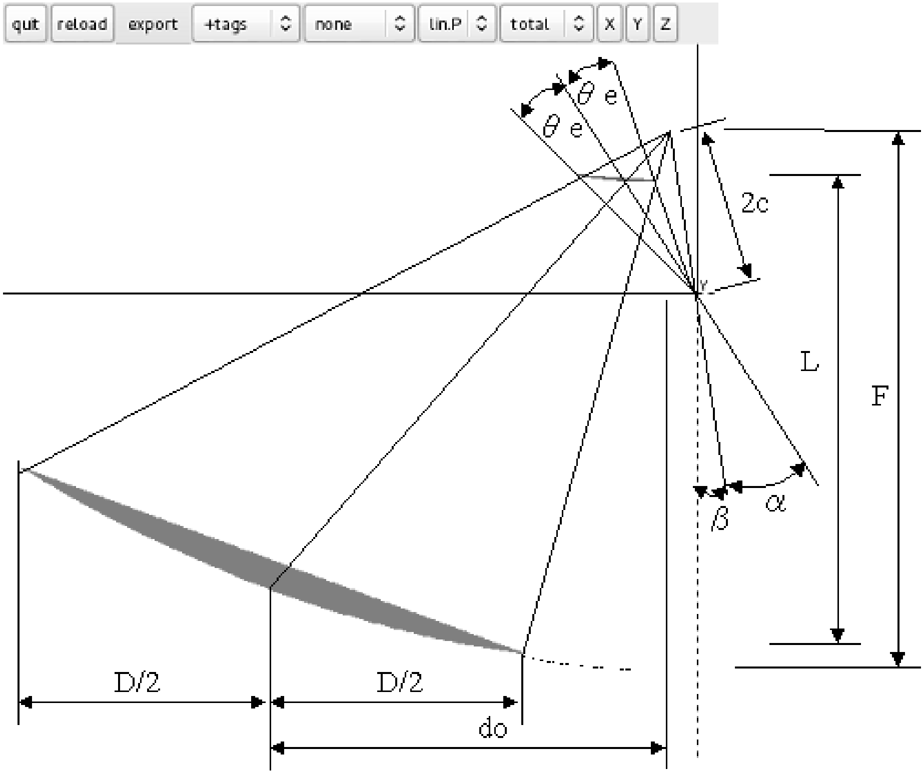
参考文献

[1] 武安義幸, JA6XKQ, “OpenSCAD による NEC2 モデル生成 ,” 2016.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/OpenScad_Nec2_2.pdf

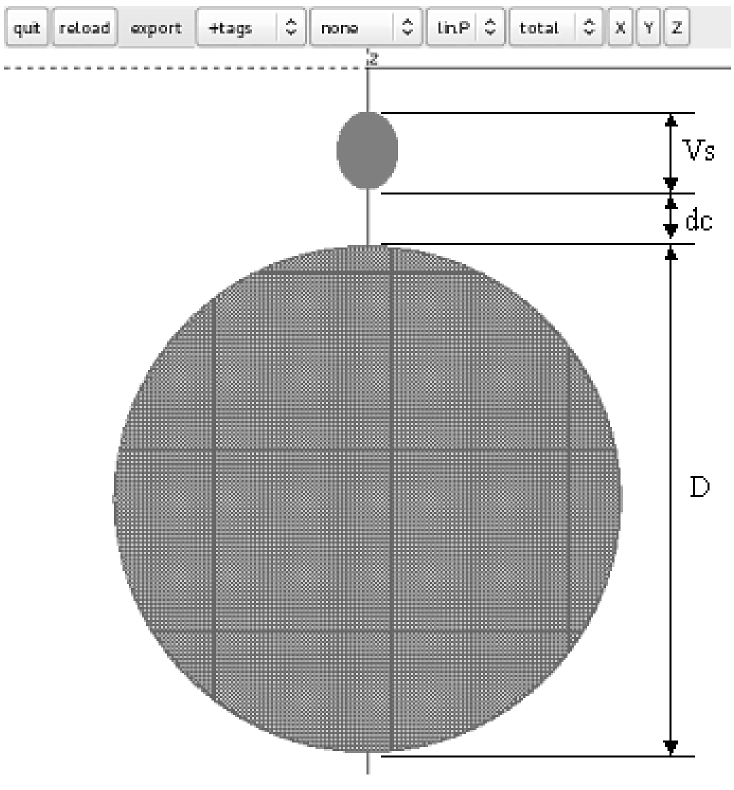
[2] 武安義幸, JA6XKQ, “NEC2++ を用いたカセグレン・アンテナのシミュレーション ,” 2015.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppMainRef_1.pdf

[3] Zaw, Zaw Oo, E-P. Li, and L-W. Li. ″Analysis and design on aperture antenna systems with large electrical size using multilevel fast multipole method.″ Journal of electromagnetic waves and applications 19.11 (2005): 1485-1500.
http://ie-uestc.org/lwli/Publications/Journals/J-240.pdf

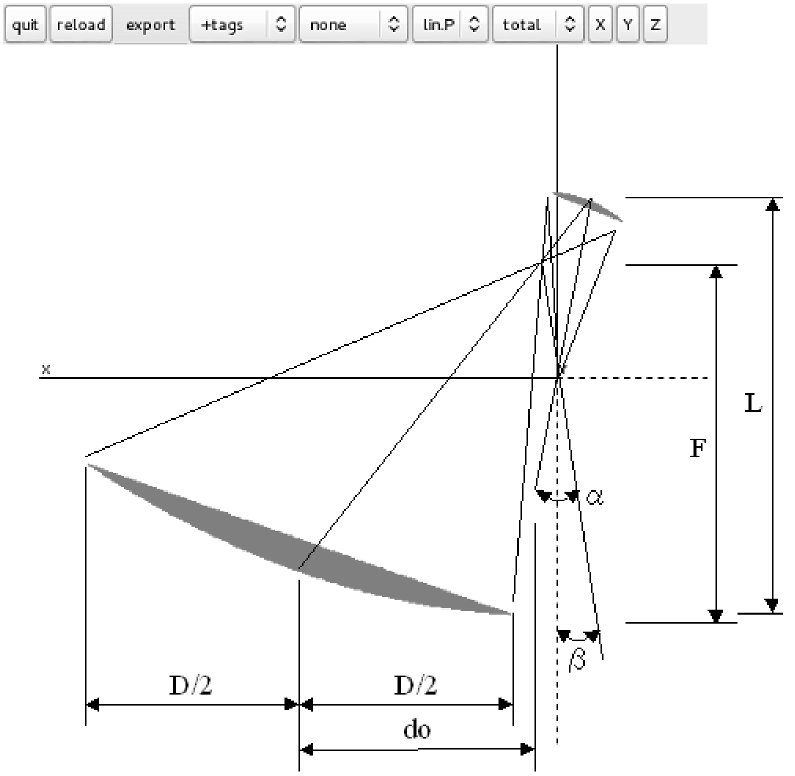
[4] 武安義幸, JA6XKQ, “NEC2++ によるホーン・アンテナのシミュレーション ,” 2011.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2pp3SecHorn.pdf



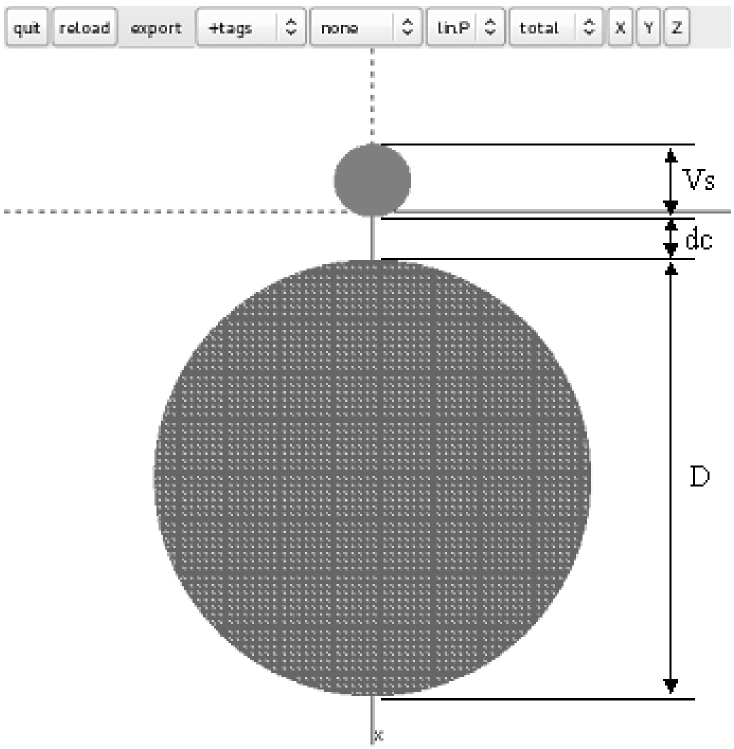
図−1　設計パラメータの定義（ Y 軸投影） − カセグレン型



図−2　設計パラメータの定義（ Z 軸投影） − カセグレン型



図−3 設計パラメータの定義（ Y 軸投影） − グレゴリアン型



図−4 OpenSCAD によるモデル生成の概念図示

Parameter	Cassegrain	Gregorian
D	100 λ	100 λ
Dc	10 λ	10 λ
Vs	15 λ	15 λ
do	79.41 λ	58.70 λ
σ	−1	+1
L	95 λ	95 λ
F	107.25 λ	82.84 λ
β	10.11 deg	5.44 deg
θ_O	40.63 deg	39.02 deg
e	2.52	0.49
α	23.15 deg	−15.87 deg
θ_U	62.21 deg	66.54 deg
θ_L	15.62 deg	6.01 deg
c	16.86 λ	13.39 λ
θ_e	11.89 deg	11.95 deg
a	6.69 λ	27.25 λ
b	15.48 λ	30.37 λ

表-1 オフセット型反射アンテナの設計パラメータ

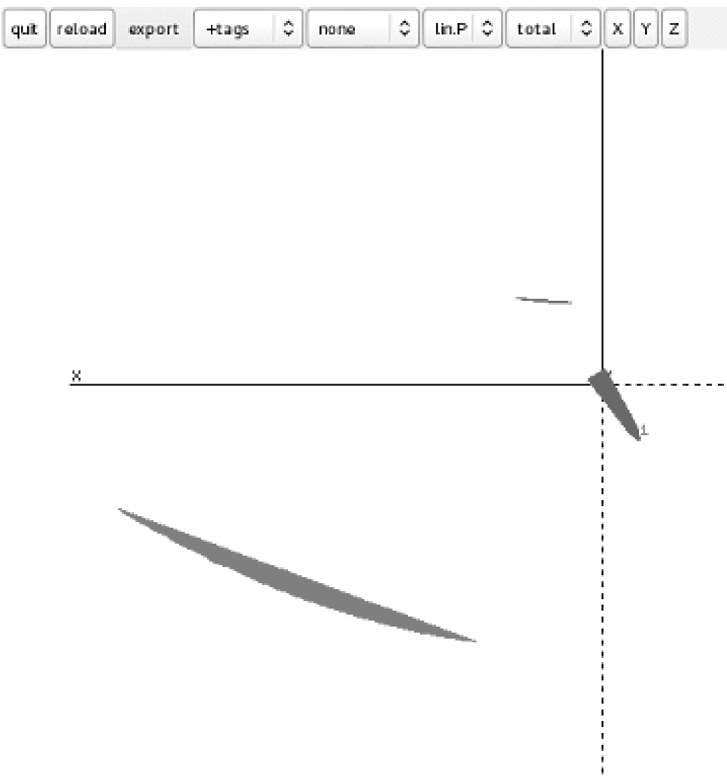


図-5 オフセット型カセグレン・アンテナのモデル

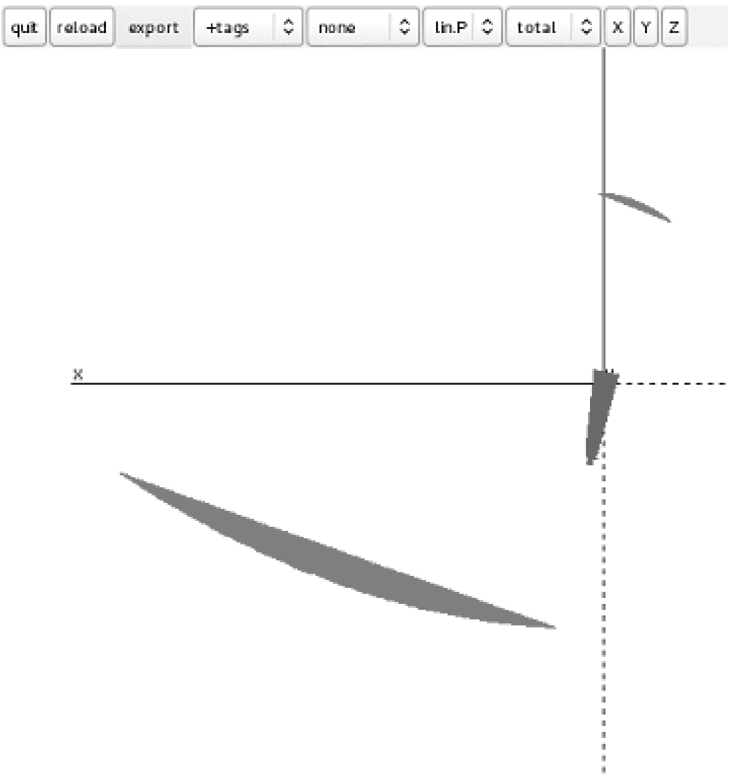


図-6 オフセット型グレゴリアン・アンテナのモデル

Sub System	Surface Patch	Cassegrain	Gregorian
Feed Horn	Shape	Quadrilateral	Quadrilateral
	Size	0.2 λ	0.2 λ
	Number	5,000	5,000
Sub Reflector	Shape	Triangular	Triangular
	Size	0.13 λ	0.18 λ
	Number	15,400	12,600
Main Reflector	Shape	Triangular	Triangular
	Size	0.82 λ	0.79 λ
	Number	22,900	24,600

表-2 シミュレーション・モデルの構成要素

$$d_o = \left(\frac{D}{2}\right)\frac{2d_c + D + V_s}{D + \sigma V_s} \quad \cdots(1)$$

$$F = \frac{L + \sqrt{L^2 + \left(1 + \sigma\frac{V_s}{D}\right)\left\{\left(d_o - \frac{D}{2}\right)^2 + \sigma\frac{V_s}{D}\left(d_0 - \sigma\frac{D}{2}\right)^2\right\}}}{2\left(1 + \sigma\frac{V_s}{D}\right)} \quad \cdots(2)$$

$$\tan\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{8d_oF}{D^2}\tan^2\left(\frac{\theta_e}{2}\right)\left[1 + \left(\frac{4F}{D}\right)^2\left\{1 - \left(\frac{d_o}{2F}\right)^2\right\}\tan^2\left(\frac{\theta_e}{2}\right)\right] \quad \cdots(3)$$

$$e = \frac{1 - \sigma\sqrt{\dfrac{\tan\left(\beta/2\right)}{\tan\left\{(\beta - \theta_o)/2\right\}}}}{1 + \sigma\sqrt{\dfrac{\tan\left(\beta/2\right)}{\tan\left\{(\beta - \theta_o)/2\right\}}}} \quad \cdots(4)$$

$$\theta_O = -2\tan^{-1}\left(\frac{d_O}{2F}\right) \quad \cdots(5)$$

$$\alpha = 2\tan^{-1}\left\{\left(\frac{e+1}{e-1}\right)\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)\right\} \quad \cdots(6)$$

$$2c = \frac{-2\sigma e V_s}{\left(e^2 - 1\right)\left\{\dfrac{\sin\theta_L}{e\cos(\theta_L - \beta) + 1} - \dfrac{\sin\theta_U}{e\cos(\theta_U - \beta) + 1}\right\}} \quad \cdots(7)$$

$$\theta_U = -2\tan^{-1}\left(\frac{d_O + \frac{D}{2}}{2F}\right) \quad \cdots(8)$$

$$\theta_L = -2\tan^{-1}\left(\frac{d_O - \frac{D}{2}}{2F}\right) \quad \cdots(9)$$

$$\theta_e = -\sigma\left[2\tan^{-1}\left\{\left(\frac{1-e}{1+e}\right)\tan\left(\frac{\theta_U - \beta}{2}\right)\right\} - \alpha\right] \quad \cdots(10)$$

$$z = \frac{x^2 + y^2}{4F} \quad \cdots(11)$$

$$z = \sqrt{\left(\frac{b}{a}x\right)^2 + \left(\frac{b}{a}y\right)^2 + b^2} \quad \cdots(12)$$

$$z = \sqrt{-\left(\frac{b}{a}x\right)^2 - \left(\frac{b}{a}y\right)^2 + b^2} \quad \cdots(15)$$

$$a = \frac{c}{e} \quad \cdots(13)$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} \quad \cdots(14)$$

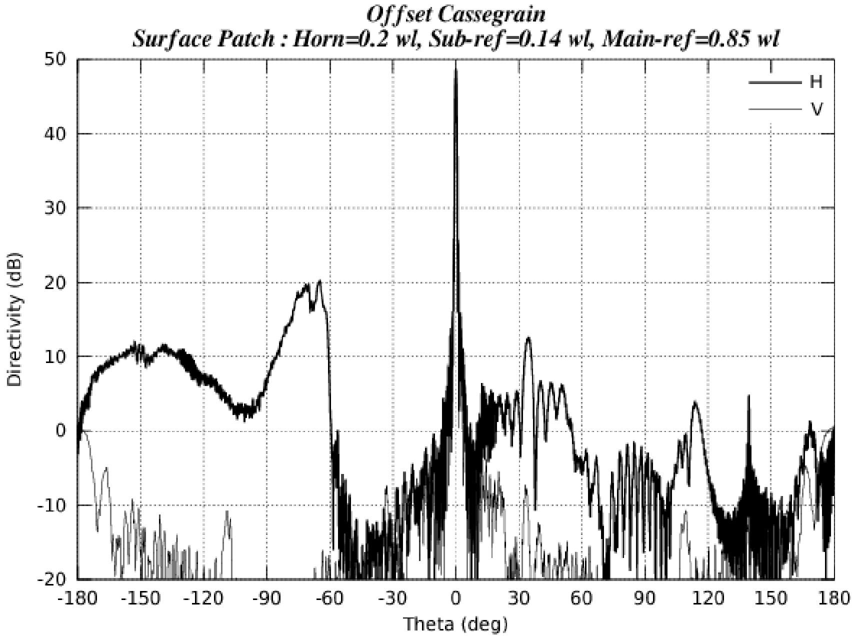


図-7 オフセット型カセグレン・アンテナの輻射パターン（ θ=±180 deg. ）

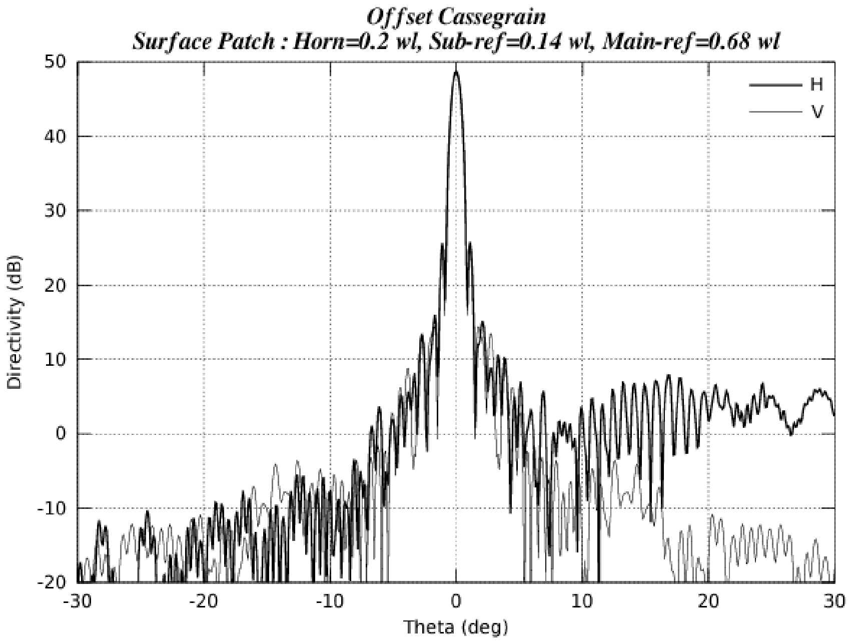


図-8 オフセット型カセグレン・アンテナの輻射パターン （ θ=±30 deg. ）

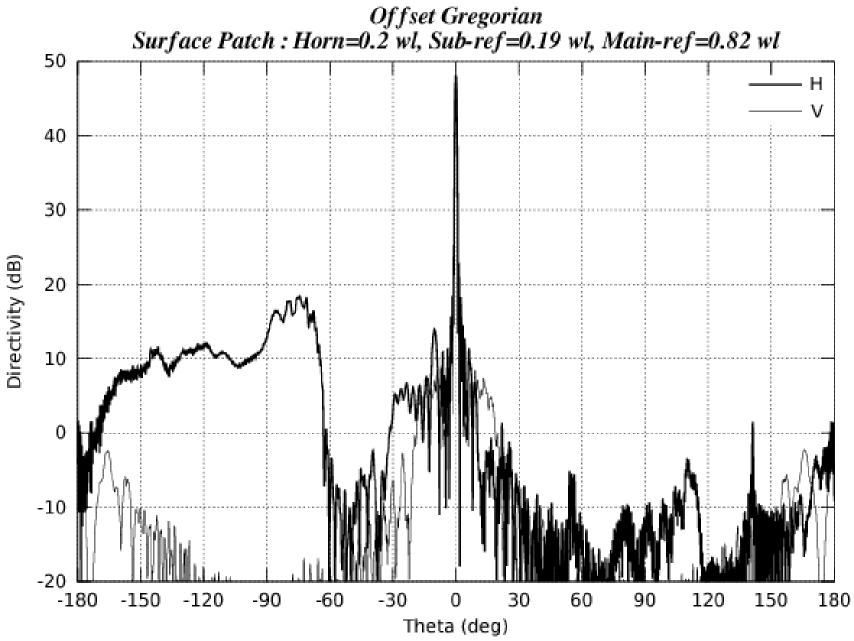


図-9 オフセット型グレゴリアン・アンテナの輻射パターン （ θ=±180 deg. ）

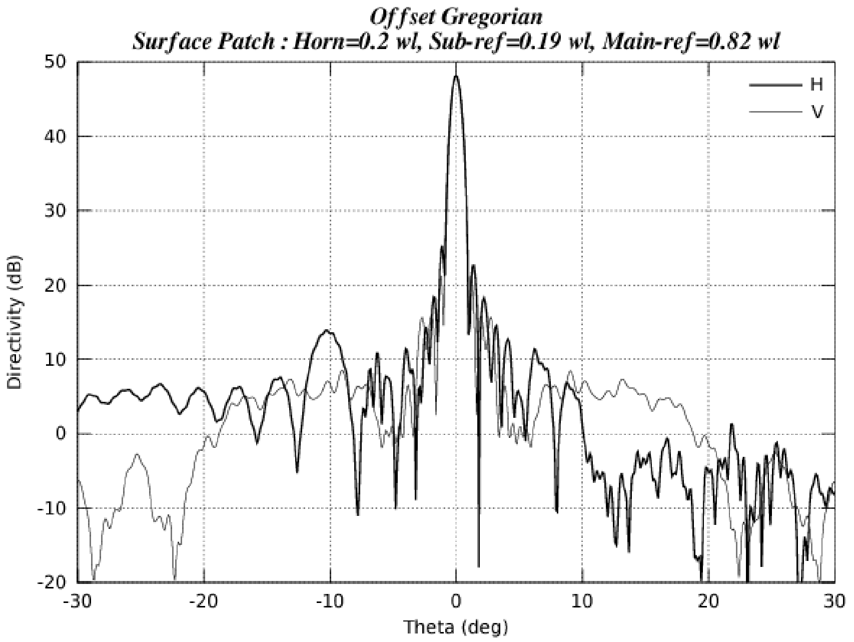


図-10 オフセット型グレゴリアン・アンテナの輻射パターン （ θ=±30 deg. ）

NEC2++ を用いたオフセット型反射アンテナのシミュレーション
サーフェス・パッチのサイズについての考察

JA6XKQ / 武安 義幸

OpenSCAD を用いてオフセット型反射アンテナのモデルを作成し、NEC2++ でその特性をシミュレーションした。[1] 課題であったモデルの Surface Patch のサイズについて考察する。

はじめに

OpenSCAD を用いてオフセット型反射アンテナのモデルを作成し、NEC2++ でその特性をシミュレーションした。[1] コンピュータに搭載したメモリ容量の制限のために、モデルの Surface Patch を十分に細かくすることができなかった。 NEC2++ で Surface Patch を用いたシミュレーションでは、その結果が Surface Patch のサイズに依存することを経験してきた [2] [3] ので、先のシミュレーション結果についても Surface Patch に関わるモデルの有効性を確認することが課題として残っていた。

CPU と メモリ容量のアップグレードを図り、これまでよりも更に大規模なモデルのシミュレーションが可能となったので、オフセット型反射アンテナのシミュレーションでの Surface Patch のサイズについて考察する。

オフセット型反射アンテナの設計パラメータ

カセグレン型とグレゴリアン型の設計パラメータを **表-1** にまとめる。 設計パラメータの定義と数値は先のシミュレーション [1] と同じである。

シミュレーション・モデル

フィード・ホーン・アンテナには“3 セクション・コニカル・ホーン“ [2] を用い、そのモデルは GNU Octave で記述した自前のプログラムにより Surface Patch で構成する。 また、 サブ・リフレクタとメイン・リフレクタは OpenSCAD [4] により、同様に Surface Patch で構成する。

先のシミュレーションでの構成要素を **表-2** にまとめる。 Surface Patch のサイズは 1/5 λ （0.2 λ） 以下であることがモデル生成の指針であるが [5] 、**表-2** ではメイン・リフレクタがその指針を満足していない。 そこで今回は、メイン・リフレクタの Surface Patch のサイズをより小さくしてシミュレーションを行う。

CPU を 12 コアから 24 コアへ、メモリ容量を 144 GB から 384 GB へアップグレードを図ったが、100 λ のメイン・リフレクタを 0.2 λ 刻みの Surface Patch で構成すると 384 GB のメモリでは計算できない。 そこで、384 GB のメモリ容量に収まる範囲で、できるだけ細かい Surface Patch となるようにモデルを生成した。 今回試したシミュレーション・モデルの構成要素を **表-3** にまとめる。 **表-2** と **表-3** において数値に若干の差異があるが、**表-2** では丸めた数値を用いたことが理由である。

シミュレーション結果

NEC2++ でのシミュレーション結果のうち指向特性を、**図-1** ～ **図-6** に示す。シミュレーションの周波数は 10.45 GHz である。

シミュレーションに要した最大のメモリは Cassegrain の Case-3 で約 345 GB で、その計算時間は約 4 時間 57 分であった。

考察

メイン・リフレクタを構成する Surface Patch のサイズを変えてシミュレーションを行った。

ゲインの変化を、**表-4** にまとめる。 オフセット・カセグレンでのゲイン変化は 0.01 dB、オフセット・グレゴリアンでは 0.06 dB である。 いずれにおいても、 メイン・リフレクタを構成する Surface Patch のサイズ変化に対する依存性は小さい。

一方、**図-1** ～ **図-6** に示す指向特性においては H 面のサイドローブの変化が著しく、 30 dB 以上の変化に及ぶ部分もある。 サイドローブの変化は大きいが、メインローブの変化は小さい。 カセグレンとグレゴリアンのいずれにおいても、Theta = −60 ～ −180 deg. の領域でサイドローブの変化が大きい。

メイン・リフレクタの Surface Patch のサイズに対して変化が著しい Theta = −60 ～ −180 deg. のサイドローブの発生理由は何であろうか？ 解析のために、サブ・リフレクタからのラジエーションの様子をプロットする。 オフセット・カセグレンのサブ・リフレクタからのラジエーションを、**図-7** に極座標で、 **図-8** に直交座標で示す。

図-7 において約 +35 度の方向にある輻射はサブ・リフレクタから後方へ回折/散乱するものであり、約 +140 度の方向にある輻射はサブ・リフレクタからメイン・リフレクタへ反射されたものである。極座標の **図-7** と直交座標の **図-8** を対比させつつ、サブ・リフレクタの **図-8** とメイン・リフレクタの **図-1** を比較すると、サブ・リフレクタからの 約 +140 度の輻射がメイン・リフレクタで反射されてメインローブを形成していること、また、約 +35 度のサブ・リフレクタ越しの輻射が残っていることが解る。一方、−60 度から −180 度のサイドローブはメイン・リフレクタで生成されていると判断される。

それでは、メイン・リフレクタに対して −60 度から −180 度へ輻射するメカニズムは何であろうか？ **図-9** に示すオフセット・カセグレンの配置図に −60 度の定規を当てて関係しそうな位置を探してみると、メイン・リフレクタのエッジからサブ・リフレクタが −62 度から −66 度の範囲に位置することが解る。 **図-1** の約 −70 度近辺のサイドローブは、メイン・リフレクタのエッジ近辺からの輻射がサブ・リフレクタ越しに回折/散乱しているものと考えられる。 さらに **図-9** においてメイン・リフレクタのエッジ近辺からの輻射がサブ・リフレクタで反射する様子をトレースすると、約 −120 度から後方へ輻射が生じることが解る。 同様のトレースを考えると、サブ・リフレクタでの反射がフィード・ホーンで回折/散乱する可能性もある。 サブ・リフレクタとフィード・ホーンの位置関係は約 −150 度であり、**図-1** の当該部分のラジエーション・パターンのリップルがフィード・ホーンでの回折/散乱に相当するのではないかと考えられる。

上記の考察は、メイン・リフレクタのエッジ近辺からの輻射を想定したものである。 メイン・リフレクタの Surface Patch のサイズを変えると、その輻射に起因したサイドローブの発生量が変化するということは、メイン・リフレクタのエッジ近辺からの輻射を正しくシミュレーションできていないことを意味している。

NEC2++ での Surface Patch の使用は、本来、閉じた面に限定される [5] ところを開放端のある反射板に適用しているので、シミュレーションでの近似精度の確認が必須である。 これまでのフィード・ホーンのシミュレーション [2] 、サブ・リフレクタと組み合わせた対称型カセグレン・アンテナのシミュレーション [3] においては、Surface Patch のサイズと計算結果の検証を行ってきた。 ホーン・アンテナでは開放端である開口面の Surface Patch のサイズを、また、サブ・リフレクタでも反射板のエッジでの Surface Patch のサイズを、目安の 0.2 λ よりも可能な限り小さいサイズとして近似精度を確保してきた。 なお、開放端のある反射板への Surface Patch の適用については、文献

[6] が参考となる。

反射板のエッジでは Surface Patch の境界条件が、本来は連続であるべきところ、不連続となっているため近似が破綻する。 Surface Patch のサイズを小さくすることで、「穏やかな破綻」が得られるのだろう。

まとめ

今回のメイン・リフレクタの Surface Patch のサイズは目安である 0.2 λ よりも大きなものではあるが、 Surface Patch のサイズと近似精度の傾向を把握することができた。 ゲインの評価だけであれば、現状の Surface Patch のサイズでも良いかもしれない。 しかし、全体のラジエーション・パターンに依存する G/T の評価や、サブ・リフレクタとフィード・ホーンによる回折/散乱を評価する際には、Surface Patch のサイズの上限を見極めることが重要であろう。 しかし、MoM (Method of Moment) である NEC2++ を用いて Surface Patch を単純に小さくすることで近似精度を上げるには、計算機リソースとのイタチごっこで際限が無い。 計算機リソースとシミュレーションの近似精度のバランスについては多くの研究が発表されているので、先達の成果をトレースしてみたい。

参考文献

[1] 武安義幸, JA6XKQ, "NEC2++ を用いたオフセット型反射アンテナのシミュレーション ," 2016.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Offset_Cas_Greg_1.pdf

[2] 武安義幸, JA6XKQ, "NEC2++ によるホーン・アンテナのシミュレーション ," 2011.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2pp3SecHorn.pdf

[3] 武安義幸, JA6XKQ, "NEC2++ を用いたカセグレン・アンテナのシミュレーション ," 2015.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/Nec2ppMainRef_1.pdf

[4] 武安義幸, JA6XKQ, "OpenSCAD による NEC2 モデル生成 ," 2016.
http://www.terra.dti.ne.jp/~takeyasu/OpenScad_Nec2_2.pdf

[5] Burke, B. J., and Poggio, A. J., "NUMERICAL ELECTROMAGNETICS CODE (NEC) – METHOD OF MEMENTS, PART III: USER'S GUIDE," 1981.

[6] L. B. Cebik, W4RNL, "Planar Reflectors: Wire Grid vs. SM Patches."
https://www.antennex.com/w4rnl/col0406/amod98.html

Parameter	Cassegrain	Gregorian
D	100 λ	100 λ
Dc	10 λ	10 λ
Vs	15 λ	15 λ
do	79.41 λ	58.70 λ
σ	−1	+1
L	95 λ	95 λ
F	107.25 λ	82.84 λ
β	10.11 deg	5.44 deg
θ_O	40.63 deg	39.02 deg
e	2.52	0.49
α	23.15 deg	−15.87 deg
θ_U	62.21 deg	66.54 deg
θ_L	15.62 deg	6.01 deg
c	16.86 λ	13.39 λ
θ_e	11.89 deg	11.95 deg
a	6.69 λ	27.25 λ
b	15.48 λ	30.37 λ

表−1 オフセット型反射アンテナの設計パラメータ

Sub System	Surface Patch	Cassegrain	Gregorian
Feed Horn	Shape	Quadrilateral	Quadrilateral
	Size	0.2 λ	0.2 λ
	Number	5,000	5,000
Sub Reflector	Shape	Triangular	Triangular
	Size	0.13 λ	0.18 λ
	Number	15,400	12,600
Main Reflector	Shape	Triangular	Triangular
	Size	0.82 λ	0.79 λ
	Number	22,900	24,600

表−2 シミュレーション・モデル(前回)の構成要素

Sub System	Surface Patch	Cassegrain			Gregorian		
		Case−1	Case−2	Case−3	Case−1	Case−2	Case−3
Feed Horn	Shape	Quadrilateral			Quadrilateral		
	Size	0.2 λ			0.2 λ		
	Number	5,000			5,000		
Sub Reflector	Shape	Triangular			Triangular		
	Size	0.14 λ			0.19 λ		
	Number	15,496			12,624		
Main Reflector	Shape	Triangular			Triangular		
	Size	0.85 λ	0.68 λ	0.57 λ	0.82 λ	0.66 λ	0.60 λ
	Number	22,931	36,063	50,557	24,604	37,573	45,929

表−3 シミュレーション・モデル(今回)の構成要素

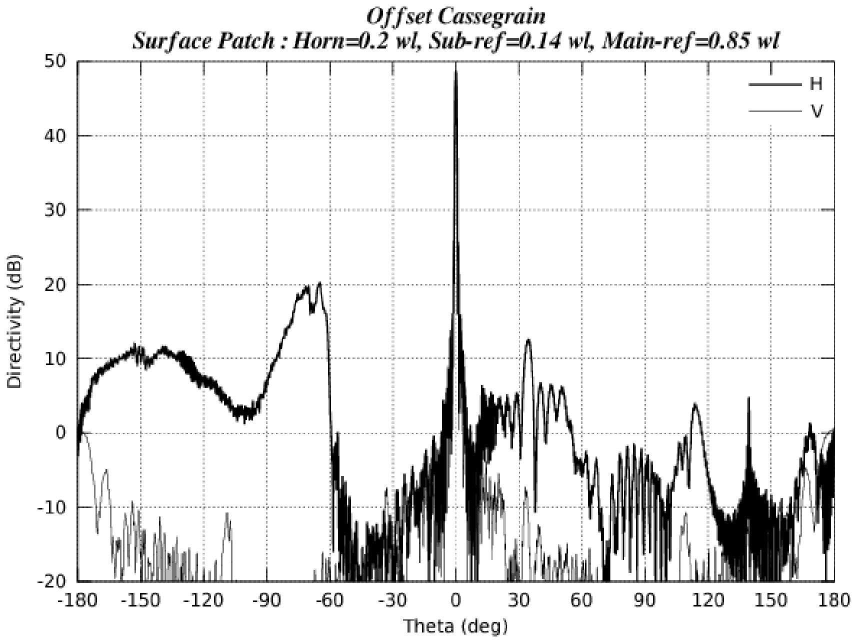


図-1 オフセット型カセグレン・アンテナの輻射パターン（ Case-1: 0.85 λ ）

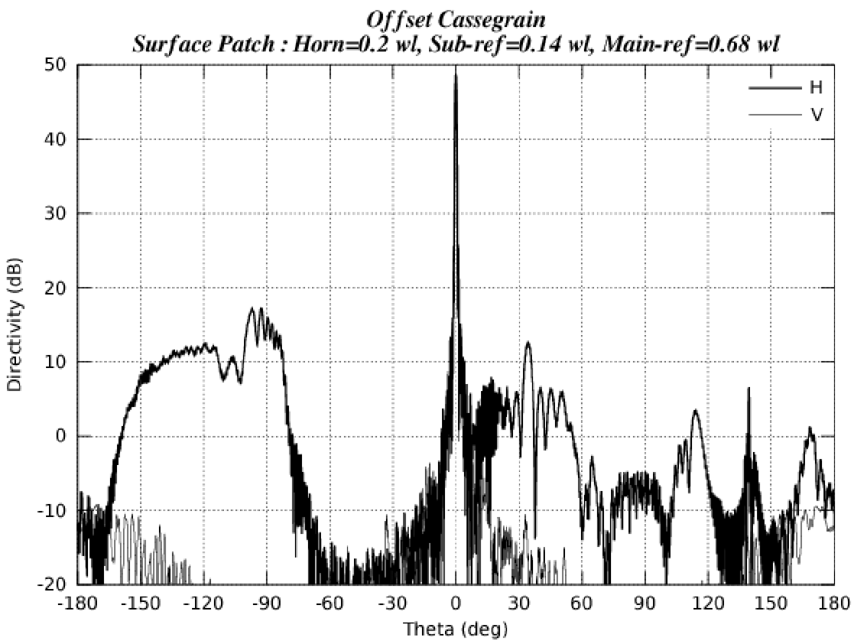


図-2 オフセット型カセグレン・アンテナの輻射パターン（ Case-2: 0.68 λ ）

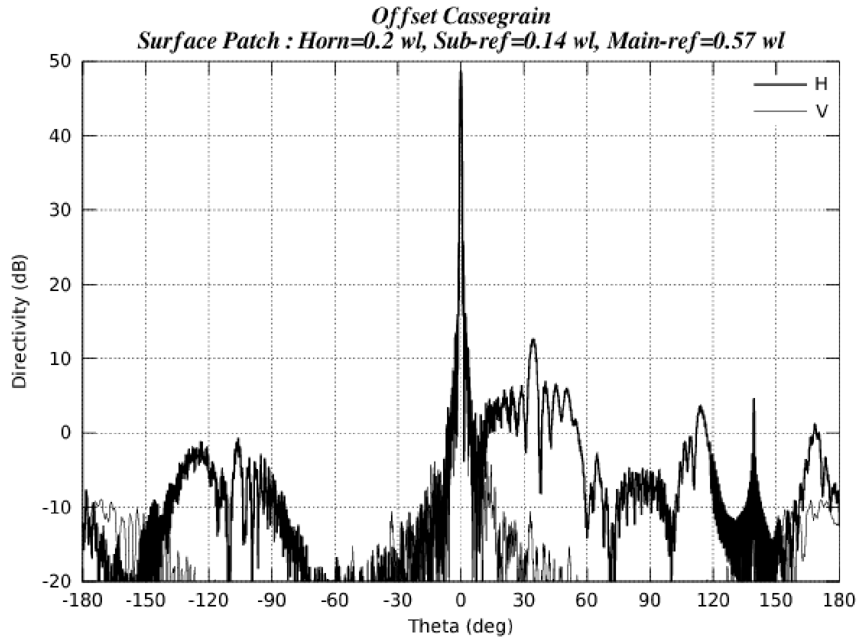


図-3 オフセット型カセグレン・アンテナの輻射パターン （ Case-3: 0.57 λ ）

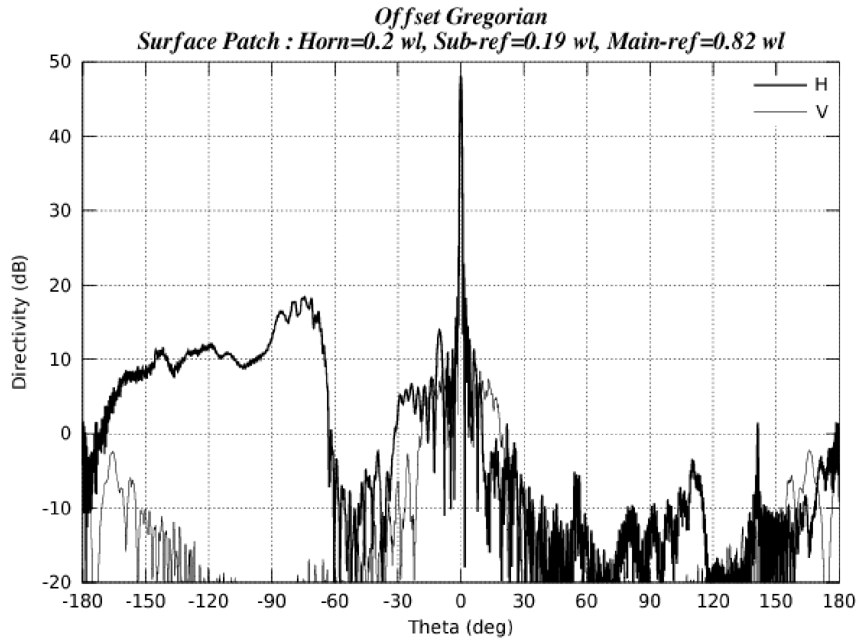
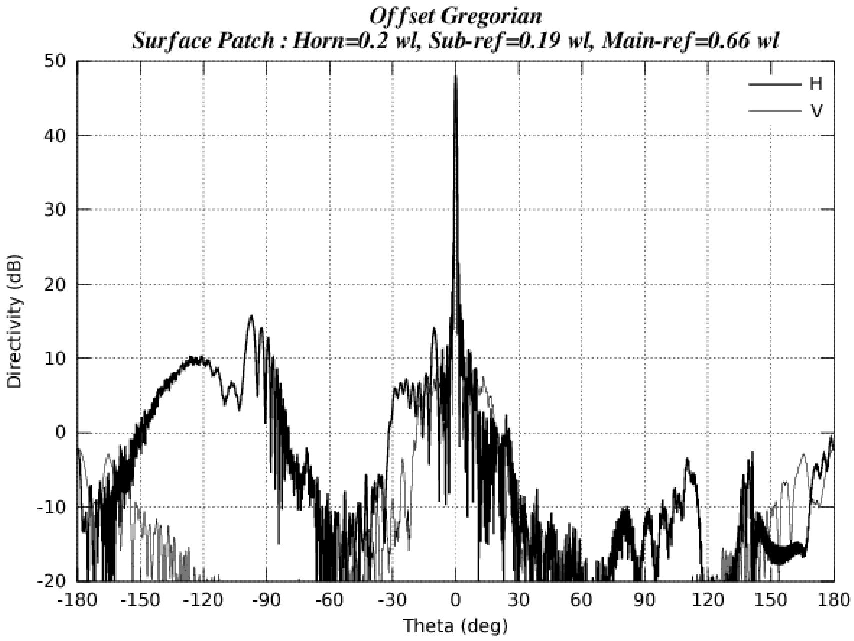
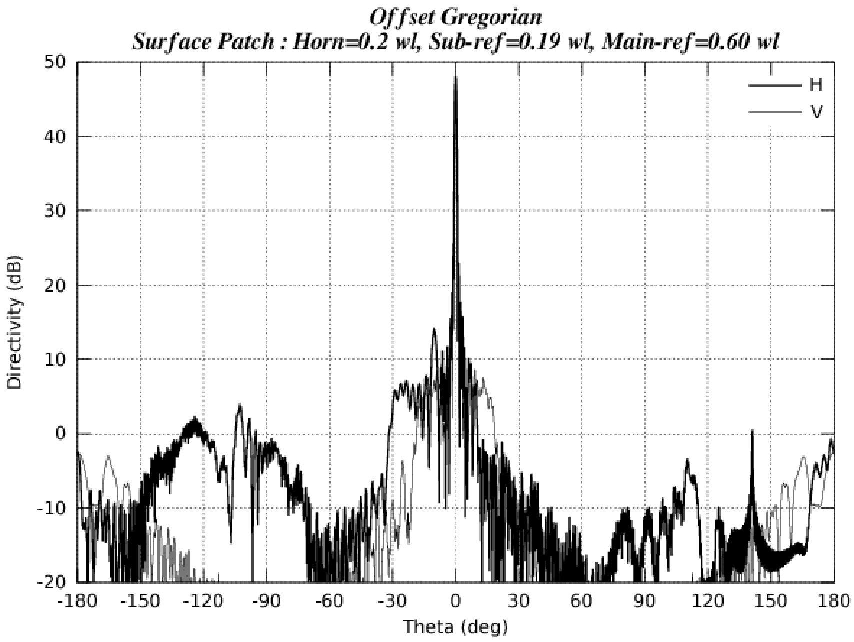


図-4 オフセット型グレゴリアン・アンテナの輻射パターン （ Case-1: 0.85 λ ）



図−5 オフセット型グレゴリアン・アンテナの輻射パターン （ Case−2: 0.66 λ ）



図−6 オフセット型グレゴリアン・アンテナの輻射パターン （ Case−3: 0.60 λ ）

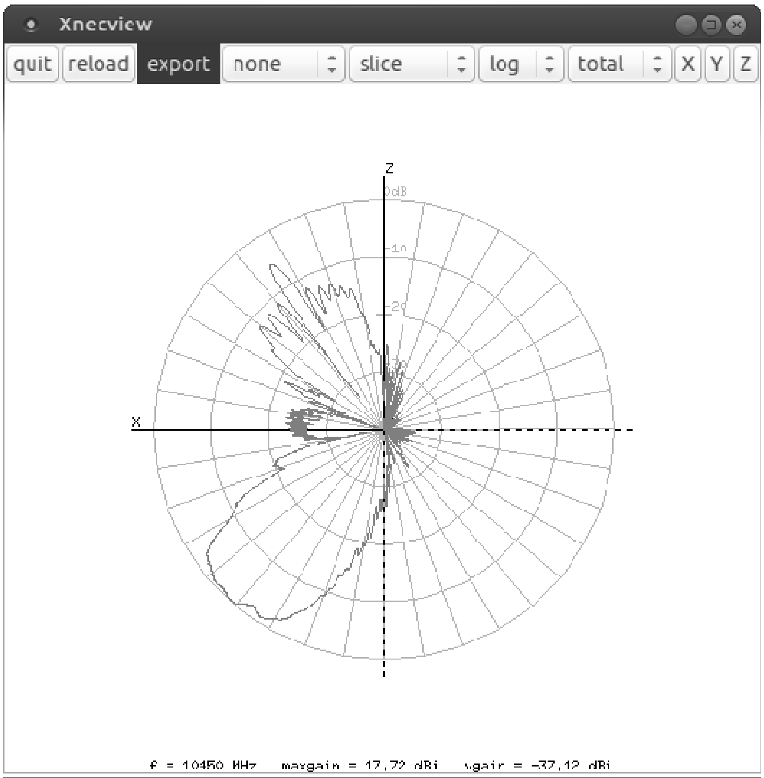


図-7 サブ・リフレクタからのラジエーション（ 極座標 ）

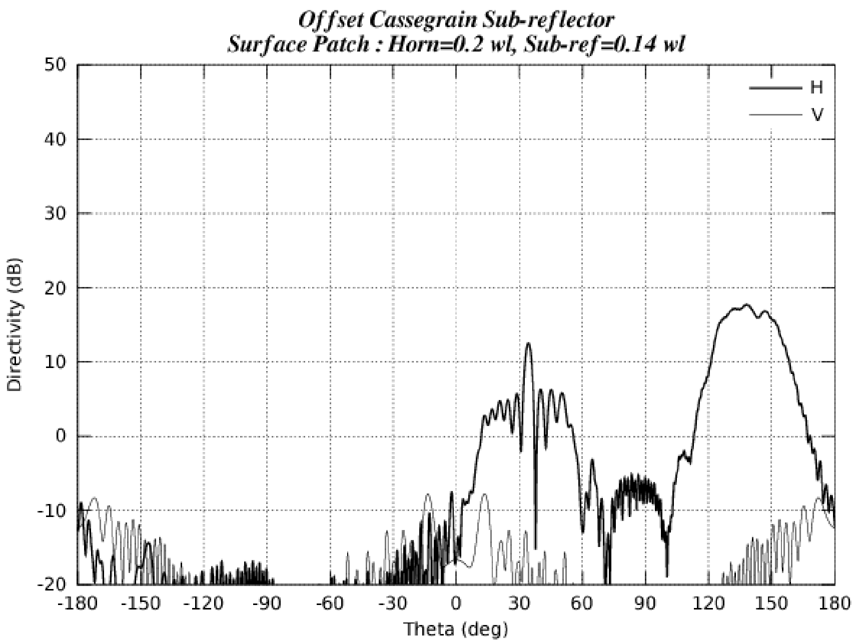
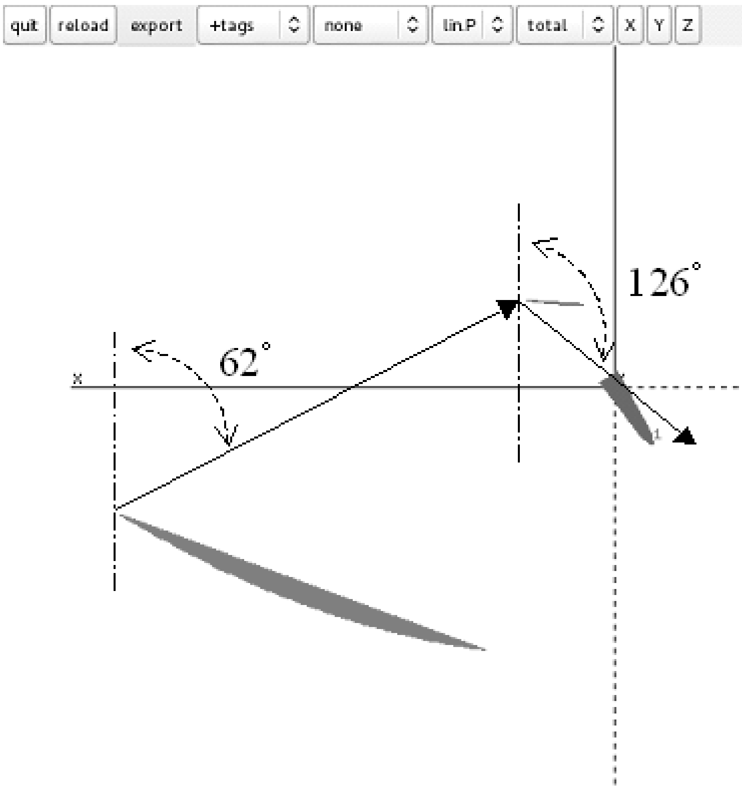


図-8 サブ・リフレクタからのラジエーション（ 直交座標 ）

	Cassegrain			Gregorian		
	Case−1	Case−2	Case−3	Case−1	Case−2	Case−3
Gain (dBi)	48.73	48.74	48.74	48.14	48.08	48.08

表−4 ゲインの変化



図−9 メイン・リフレクタからのレイ・トレース

アンテナ給電部交換の電動化

2016年10月14日　ＪＦ３ＨＵＣ　高橋祥高

これをお読みの皆様はあまり大きな口径のDISHはお使いでないかもしれませんが、私は20年来この６ｍ径のDISHでＥＭＥを楽しんでいます。

これまで運用周波数に応じて様々な給電部を取り付けて運用してきました。アンテナは２段のクランクアップタワーの乗せていて、クランクダウン状態でも給電部は地上高８ｍ以上あり、高い周波数での運用に伴い、給電部の重量が重くなり、これの交換が大変になってきました。

５７６０ＭＨｚ以上の給電部は送信ケーブルなどの電力ロス軽減のためＳＳＰＡやＴＷＴを給電部の直近に置くケースが一般的です。そのようなわけで給電部はますます重くなり、給電部交換が大変になります。

そこで短時間に楽に給電部が上下できるように電動化しましたので簡単に紹介いたします。

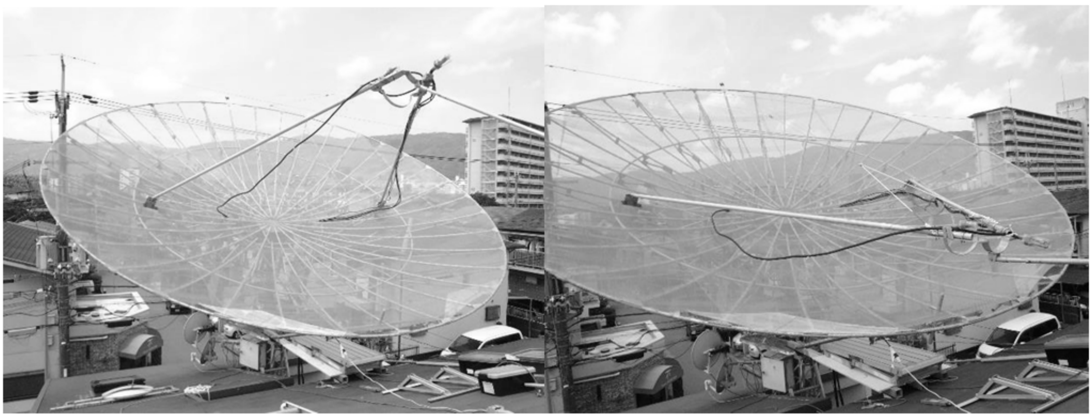
現用アンテナはＦＤ比０.５の一般的なDISHですが、給電部を支える３本のポールの１本を外すと残りの２本のポールの根本がヒンジになっていて、給電部が下りてくる構造です。

バンドチェンジに伴う給電部交換のたびに１本のポールを外して上げ下げするのですが、これが重くて結構大変です。
　そこで給電部をワイヤーで吊り上げて、上げ下げする機構にしました。

巻き上げウインチはネットショップで適当なものを探しました。

これをディッシュ背面に取り付けます。付属のワイヤーは太いので、３ｍｍ径のＳＵＳワイヤーに交換しました。

Ｄｉｓｈ背面から上端の滑車を介して給電部を吊り上げます。
ワイヤーが細くて見えにくいですがお分かりになりますでしょうか。



実際の交換は１本のポールを外して、ウインチを緩めていきます。
ここまで下げて給電部の交換を行います。

これで作業は終了です。
　最近、反射面の１０ｍｍ目の網の上に３ｍｍ目の平織網を張った所、１０ＧＨｚまでは実用的にＥＭＥ通信に使えるようになりました。

　今年で２０年を経過する古いアンテナですが、もう少し活躍しそうです。
　簡単ですが皆様のアンテナ工作の参考になれば幸いです。

ＪＦ３ＨＵＣ　高橋祥高

マイクロウエーブ EME 用アンテナコントロール装置の製作

2016 年 3 月 3 日　JA1WQF　笠井三男

暫く前に製作し使用していた EME 用コントローラーを不注意で故障させてしまい修理に少々時間が掛かりましたので「予備にもう一台作ろう」と決定。以前ある方からこのコントローラーに関し質問を頂いた事もあり自身のメモを兼ね今回の製作を文書として纏める事に致しました。

すでに追跡装置をお持ちの方にも、別系統のマイクロウェーブ用などに参考として頂ければ幸いです。

1）コントローラー概要

A　マイクロウェーブ EME 対応とし、方位・仰角共に追跡精度 0.2 度（以上）を目標とし、運用中のトラッキング補正機能も考慮する。

B　特殊な部品や入手、加工が困難なものを使用せずに誰にでも簡単に製作する事が出来る。

C　コントローラー本体以外に動力部や角度検出部分も同様に考える。

これらを検討し

＊コントローラー

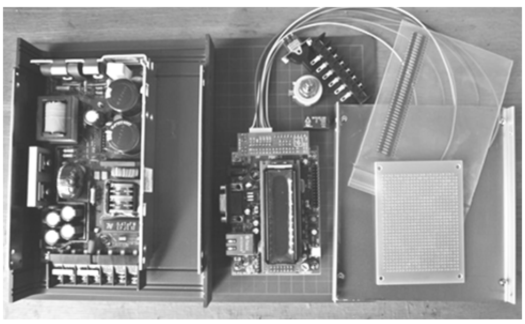
秋月電子（Tri State 製)のマイコンキット「PICNIC」を使用しコントロールソフト CALSAT32 で動かすことに決定。

＊機構部分

取扱いの簡易さと精度から方位・仰角制御共に電動アクチュエーターを採用。角度検出に通販などで簡単に手に入る市販の小型プーリーやベルト、そしてポテンションメーターには導電性プラスチック型の物を使用しています。

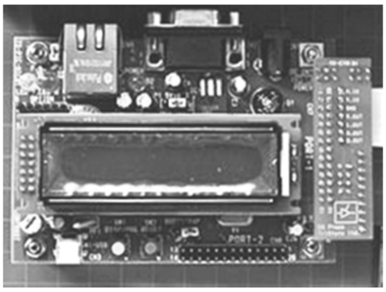
（コントローラーはモーター駆動にも少々の変更で対応可能です）

2）コントローラー部の製作準備



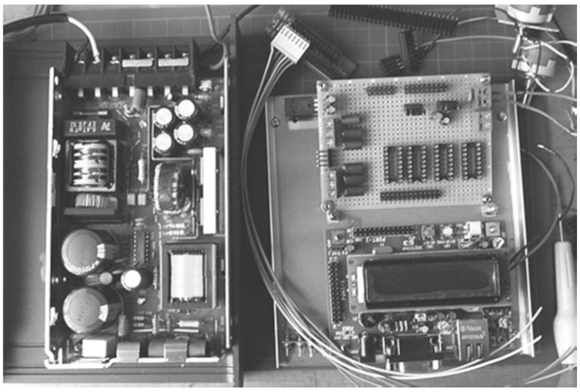
主要部品例　秋月電子 PICNIC、多回転型 VR、スイッチング電源、ケース ON-OFF-ON SW、6 連端子、穴あき基板、バーニアダイアル etc....部品集めの一部と右は完成写真

３）コントローラー製作
A)まず PICNIC から製作
キットの主要部分は完成済みですので半日もあれば製作完了と思います。

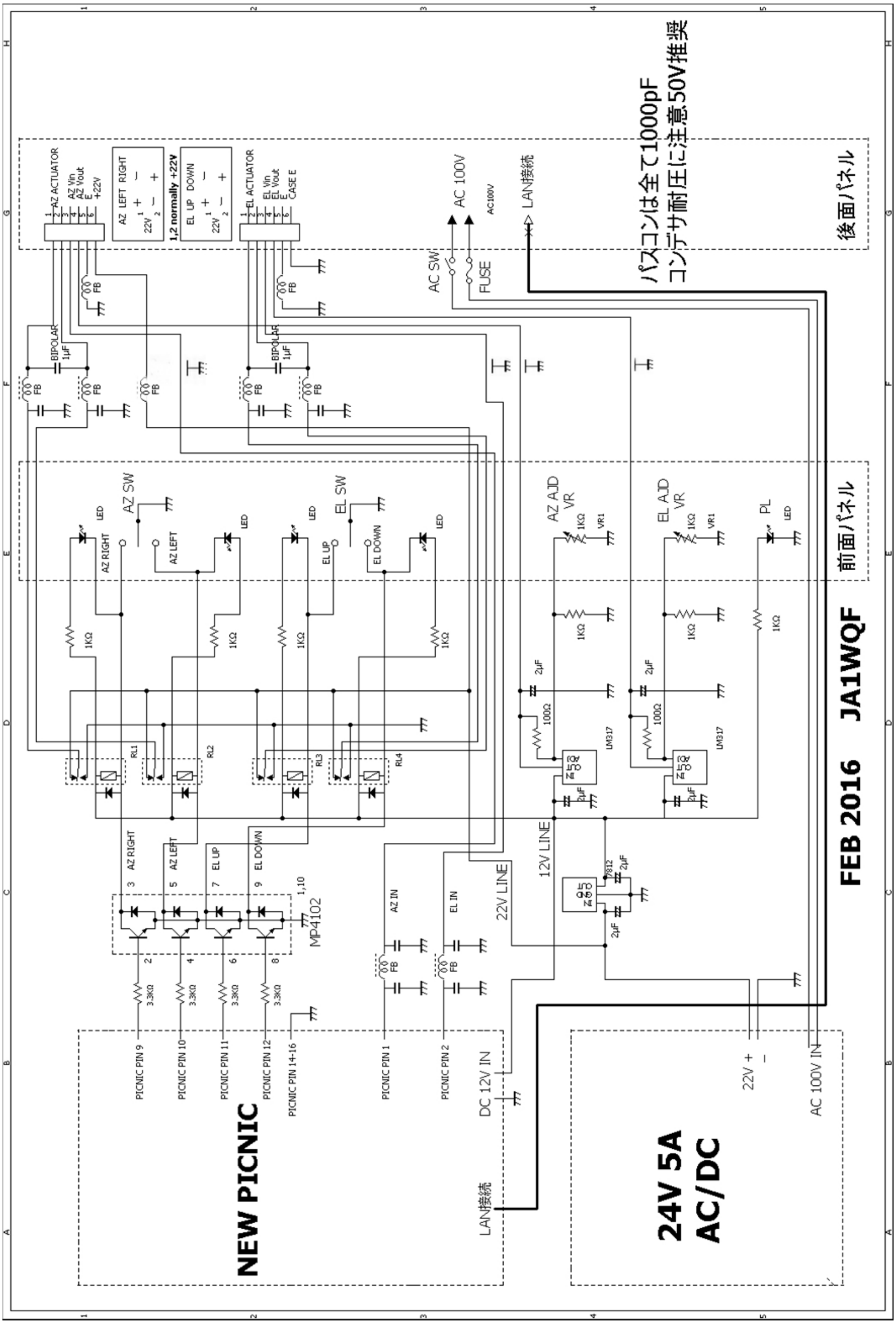

写真右側の裏基板は秋月衛星コントロール用基板

これは簡単に作れますので別売キットにするか自作か判断して下さい（後述）
＊PICNIC 動作試験
完成しましたらクロス LAN ケーブルで PC と連結し、PICNIC としての動作を確認しておいてください（設定等は取説で）

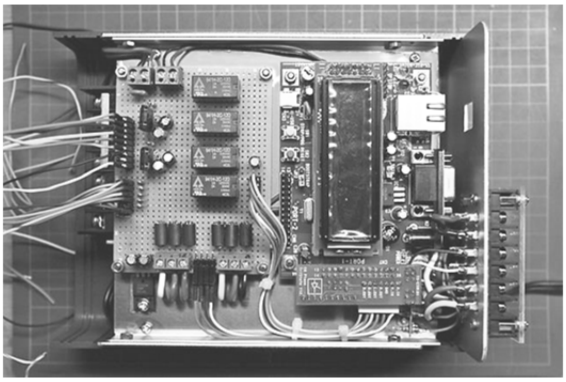
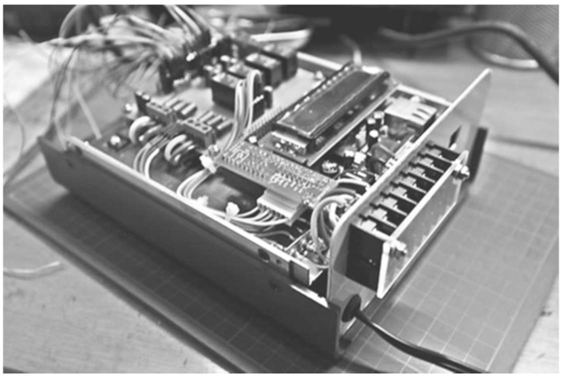
B)コントロール部分の製作
　次ページに全体の回路図を付けますが、図に書くとややこしそう！？
でも実際にやっている事は単純です。製作部品例の写真から説明致します。


←製作例は２階建てにし１階には

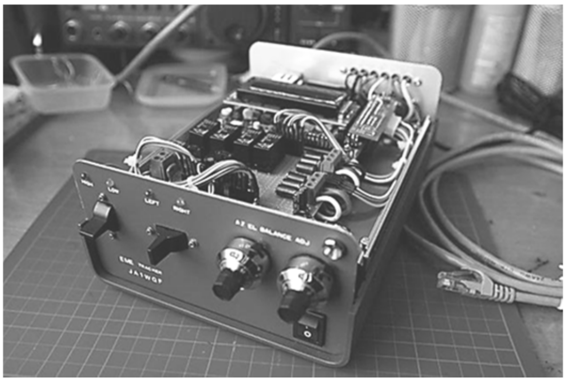
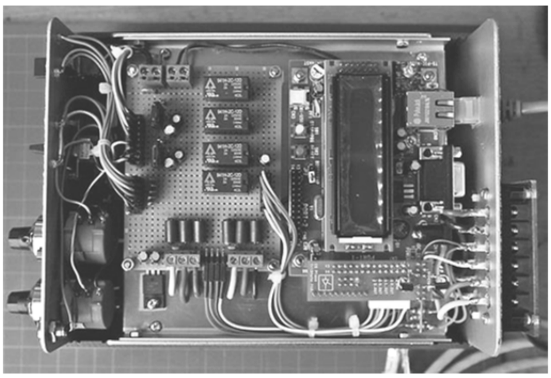
SW 電源、２階部分に PICNIC と穴あき基板を収めています。
各接続コネクターは電流が流れそうな所に写真の青いネジしめタイプ、それ以外はピンヘッダーを採用。
　回り込み対策は重要でフェライトビーズを各所に入れています（回路図参照）
リレーはアクチュエーター用であれば２回路３接点２A 程度で OK、これは使用環境に合わせてください。
　リレーソケットにしているのはショートなどでリレーを破損させた事が何回かあり交換作業が大変でその対策です。　右上の青い VR が多回転型１KΩ、ON-OFF-ON の SW、貫通コンなど。　次ページに回路図です。


パスコンは全て1000pF
コンデサ耐圧に注意.50V推奨
後面パネル
前面パネル
AZ ACTUATOR
AZ Vin
AZ Vout
E
+22V
EL ACTUATOR
EL Vin
EL Vout
E
CASE E
AZ LEFT RIGHT
22V + − − +
1,2 normally +22V
EL UP DOWN
22V + − − +
AC SW
FUSE
AC 100V
AC100V
LAN接続
BIPOLAR
1μF
FB
AZ SW
EL SW
AZ RIGHT
AZ LEFT
EL UP
EL DOWN
LED
1KΩ
AZ AJD VR
EL AJD VR
VR1
PL
2μF
100Ω
LM317
RL1
RL2
RL3
RL4
12V LINE
22V LINE
7812
MP4102
1,10
3.3KΩ
AZ IN
EL IN
PICNIC PIN 9
PICNIC PIN 10
PICNIC PIN 11
PICNIC PIN 12
PICNIC PIN 14-16
PICNIC PIN 1
PICNIC PIN 2
DC 12V IN
NEW PICNIC
22V + −
AC 100V IN
24V 5A AC/DC
FEB 2016 JA1WQF

C)インターフェース「PICNIN 衛星コントロール用基板キット」使用の場合
　回路図 PICNIC すぐ右側が該当部分です、キットでは Pin1 と Pin2 に行く所に 3.3KΩがシリーズで入ります。ここは角度検出の AD 変換電圧入力です。
　しかし数ミリアンペア電流が流れ電圧低下してしまいますので 3.3KΩの抵抗を回路図の様に FB(フェライトビーズ）に交換し直流スルーにして下さい。
＊単体を 100 円強で作れます、PICNIC にコネクターを合わせ自作は簡単。
（他に対策として IC など途中に入れ補正する事は可能の様ですが・・・・）
D)「百聞は一見に如かず」で再度製作例
タカチ UC ケースの 150×80×200 に入れています。リレーは２回路をパラにして U/D と L/R 用に計４個、これを MP4102 でスイッチしています。
　また LM317 で５V 近辺の基準電圧（角度補正用途）を作り多回転 VR とバーニアダイアルで表面パネルから必要に応じて追跡の補正などを行います。
　前途しました通りコネクターや配線材は電流系か信号系かでそれぞれ選択使用して下さい。

　回路図や製作例では AZ、EL ともにアクチュエーター動作させていますが片側をモーター駆動にしたり、VHF 用途に市販ローテーターを両使用した追尾にも少しの変更で動作致しますのでそれぞれ工夫なさって下さい。
4)コントローラー完成
EL と AZ 用の ON-OFF-ON SW、LED 表示。裏面の６P ×2 の各入出力端子等

A)後部 AZ,EL 端子の電圧確認（製作例では後部パネル６P×2 端子）

AZ　1, 2　アクチュエーター出力　L で１＋,２－、R で１－,２＋です
　　通常は両方＋22V が出ていますので注意（後述）
　　3　V-in 外部 AZ ポテンションメーター角度電圧入力端子
　　4　AZ５V 近辺調整電圧出力（外部ポテンションメーターへ）
　　5　 共通アース
　　6　 22V＋出力　アンテナ側に 22V 電圧供給 WG スイッチなどへの
　　　 電圧サービス端子（あると便利、不要な場合未使用）
EL　1, 2　アクチュエーター出力　U で１＋,２－、D で１－,２＋です
　　通常は両方＋22V が出ていますので注意（後述）
　　3　V-in 外部 EL ポテンションメーター角度電圧入力端子
　　4　EL５V 近辺調整電圧出力（外部ポテンションメーターへ）
　　5　共通アース
　　6　ケースアース
＊24V電源を 22Vで使用の理由はアクチュエーター安定動作のためです。

B)動作試験

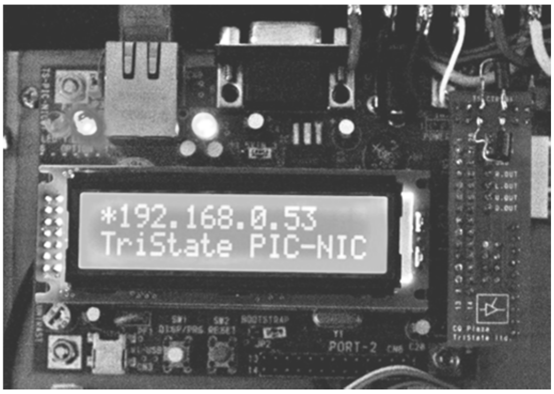
表面パネルの AZ,EL レバースイッチ動作と LED の連動、またアクチュエーターへ正しい極性で出力しているか確認。両バーニアダイアルと５V 出力の連動を確認。

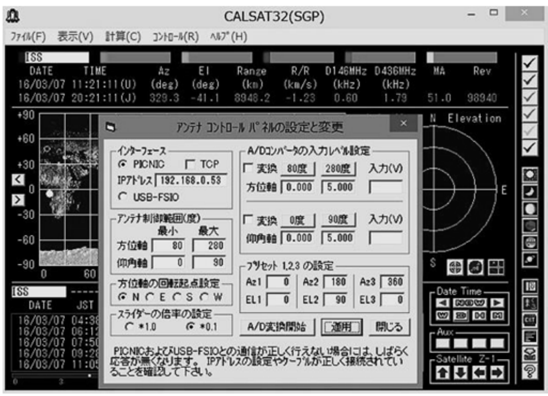
5）コントロールソフト CALSAT32 と動作確認

A)設定

アンテナの EL,AZ 管理に関しまして CALSAT32 を使用させて頂きます。WEB で検索してダウンロード、プログラムをコントロール予定の PC にインストールして下さい。
（CALSAT32　HP の内容等無断転用を禁じられていますので各自確認下さい）
＊ここでは実際に行なった設定に関する事のみ記載させて頂きます。

PICNIC 画面　　　　　CALSAT32 設定コントロールパネル

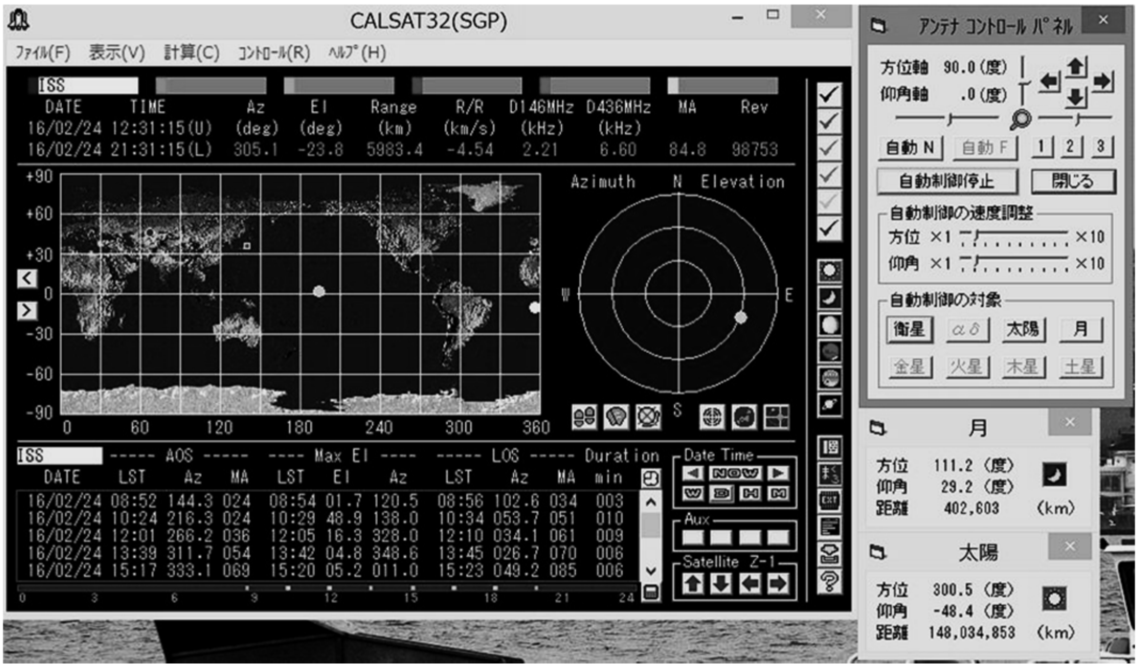




PICNIC 画面
電源投入後 LCD に前ページ左の様な（数値は例です）メッセージが出て緑と赤の LED が点灯、そして黄色が点滅していれば PICNIC は正常に働いています。

CALSAT32 画面
まず先に左上「ファイル」次に「観測点の設定と変更」をクリック、ご自分のグリッドロケーターを入力後↑、海抜も入れてから「保存」
　次に「コントロール」⇨「アンテナ」⇨「コントロールパネルの設定と変更」で上右写真を表示させ各項目を入力します。
＊IP アドレス PICNIC に表示されたものを入力
＊アンテナ制御範囲　方位 80 280，仰角軸 0　90　と取り敢えず入力
＊A/D コンバーターの入力レベル　　方位軸、仰角共に 0.000 5.000 と入力
　「適用」をクリック確定させます、これらは後で変更できます
　画面右端 星マークの一番上「太陽」と 2 番目「月」をクリックすると、それぞれ現在の AZ,EL そして地球からの距離を表示できます。

B)CALSAT32 動作画面
　次に「コントロール」⇨「アンテナ」⇨「コントロールパネルを開く」で下の画面が表示されます。



　アンテナコントロールパネルが現れ AZ,EL ともに入力オープン＝０V ですので設定値が表示されます。バーニア電圧調整で後部 VR 出力両端子を５V に調整、この５V を V-in 端子に接続試験、AZ280 EL90 度付近になる事を確認し完成！

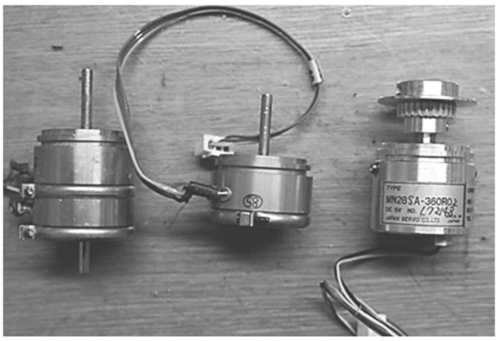
6）角度検出部の製作

　これまでの工程でコントローラー部分が完成動作したはずです。
次にアンテナの駆動や角度検知方法に関してですが、各局の状況により違いが当然あります。
ここでは該当部分のアイデアと使用した部品を紹介させて頂きますのでご自分の環境に合わせてそれぞれ工夫なさって下さい。

A)検出用ポテンションメーター

　エンコーダーではなく、ボリウムを使うアナログ人間らしい検出方法ですがこれで実用になっています。
何と言ってもこの部品が本コントローラーの心臓部です。
＊使用した導電性プラスチック型ポテンションメーターについて引用を少々

＜過酷な環境条件に強いセンサーとして幅広い分野で利用されています＞
位置・角度の変位を抵抗変化でアナログ検出します。
ポテンショメータ＆トリマは 、米国航空宇宙局 （NASA ）の宇宙開発によって急速に発展した精密可変抵抗器で 、回転角や直線的な変位をアナログ量で正確に検出するセンサとして民生及び産業分野で幅広く利用されています。
特に、工業計器、コンピュータ周辺機器 、理化学機器、医療機器、宇宙・航空関連など過酷な環境条件下で数多く採用されているのが特色です 。
［導電性プラスチック型ポテンショメータ ］
抵抗素子の表面が滑らかなために無限の分解度をもっています。１回転型と直線型の２タイプがあり、１回転型は回転寿命が極めて長く、高速追従性に優れているので超高速サーボ機構の検出機などに最適です。また、直線型は長寿命が要求されるレコーダなどに数多く用いられています。　　（特徴）
●分解度が理論的に無限小　　●長寿命で、高速追従性に優れている
●使用温度範囲が広域で幅広い　●トルクが低い
●動的な摺動ノイズが小さい　　　　　　　　　　　　だそうです！！



入手した中で写真左か中央が使いやすく2KΩ　±0.3%のものです。

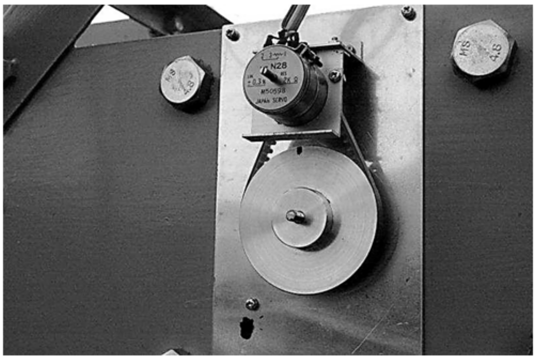
7）プーリー、ベルトなど伝導部分

　前記ポテンションメーター（以下VRと表記）に角度を伝える機構です、VRは360度回転ですのでその最大限度近くまで使用する事が望ましいです。

EL　360度÷90度＝４倍（弱）0と360の切り替分部と角度調整のあそびを考慮
AZ　360度÷180度＝2倍（弱）　　　　　　同様

　レインボープロダクツから各サイズプーリーやベルトが発売されています。

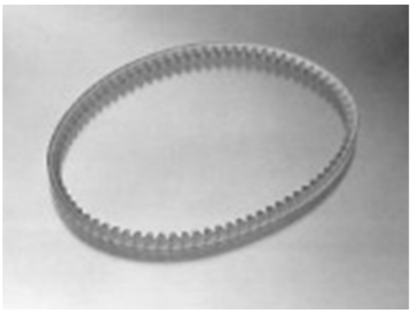
3mm径20mm



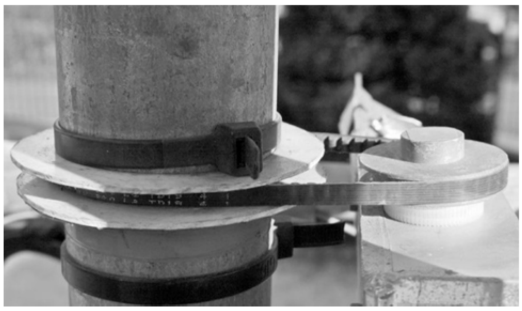
EL用　プーリーとベルト

VR軸は3mmですので捜しますと外形16mmと20mmがあります（上写真）
また外形40mmと65mmもありますので
＊EL用　65mm対20mm＝3.25　これを上右のようにして使っています。
上EL検出は大きなプーリーを固定（内側ベアリングのDish固定芯棒）
実際はVR自体がフレームと共に回っています。

＊AZ用　下写真　私の場合60mmマスト直接に対してVRに40mmプーリーで
対応し1.5としています。（実際は200度前後の範囲を使いますので）



ベルトは207,250,320,450,600mm有り



AZ用　使用例

個々の設備や設定で異なります。 上に使用の部品以外にもホームセンターなどで用途に合ったものを探し、また固定方法などもそれぞれ工夫しFBなものをお考えください。
＊こんな検出方法でも大丈夫、かなりの程度精度は出ます。

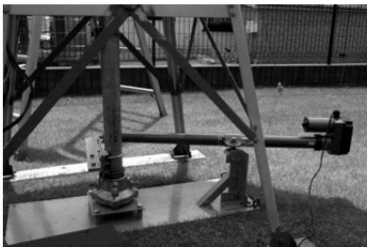
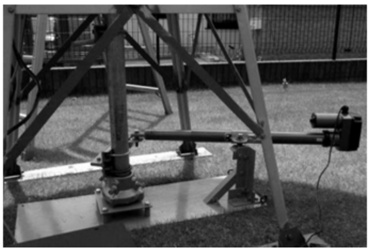
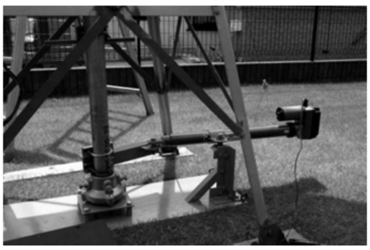
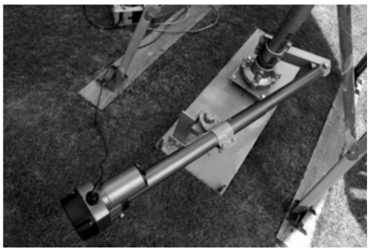
８）AZ,EL駆動装置

次に駆動ですが、これは皆様すでに構築済みと思いますが今回の主目的は
アクチュエーターによるAZ,EL駆動のコントローラーですので参考に・・・。

A)AZアクチュエーター

直線運動を下の様にしています、これで約130度の範囲カバーです。



右下が構造写真で、出来上がりを見るのはとても簡単です。
機構上180度はカバー出来ません、USウインドウとEUウインドウはUボルトを
緩めマスト手動で回し角度補正後固定します。
コントローラーは連続でカバーしていますのでUS/EUでさわる事は有りません。

B)ELアクチュエーター



上写真は現在2.4m Dishを載せているフレームです。
（左鉄板の穴から指示部分プーリーの中心、固定芯棒を出しています）

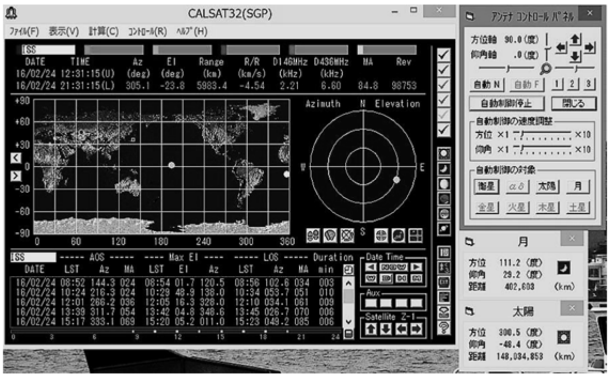
AZ,EL用のアクチュエーター動作方法の一例としてご覧ください。

9)テスト運用と粗調整

アンテナまでの各結線を終えたコントローラーとPCをクロスLANケーブルで接続し、先に本機のSW ON,その後PC　CALSAT32を立ち上げて下さい。

A) まずはEL調整で、実際のアンテナのEL 0度、V-in電圧　0Vにセットして
　下画面コントロールパネル内アンテナ仰角指示を確認。

B)次に実際にアンテナEL角度を90度にして画面の「仰角軸」が90度になるよう
　にELバーニアダイアルで電圧調整。



C) AZも設定した角度（80度＝V-in　０V、280度＝V-in 5V）と実際の角度を
　確認しEL同様の作業を行います。（電圧は概ね合っていればOKです）

D)数回行い良い所で取り敢えず決めてしまいます。

E)ここでの重要点はEL、AZともに設定角度で回る事、始点終点の設定電圧が
　合っている事です。

＊ 以上はトラッキング作業前の「粗調整」で基準とする角度幅の確認と
　太陽（月）を捕まえ正確な方角を記録する為のものです。

10) トラッキング調整作業

　＊「肝心かなめ」の作業です。

　動きの早いやっかいな月もこれで楽々自動運転ができる様になります。

A)角度範囲設定

　EMEで必要な月のAZ,ELは立地や地域により少し異なります。

AZ　私の場合マイクロWに使用の2.4mDishでは80度から280度の方向を
　　カバーすればOKです。

　　　＊AZ　80度＝０V　　280度＝５Vとします

EL　これは各局共通でOK

　　　＊EL　0度＝０V　　　90度＝５Vです。

B)　角度電圧の変換

　新PICNICの入力ポートは前バージョンと違いインピーダンスが低くなり
　このままでは角度検出VRに大きく悪さをしてY=AX直線になりません。

電子回路で影響補正するにも誤差が出そう、0.001V台を正確に変換する事は面倒です。それならば出力電圧が「一定の影響」を受けていてもPCに校正入力でキャンセル「VR出力そのまま使用する」に落ち着きました。

C)角度補正数値の取得

今迄に粗調整でAZは80～280度、ELが０～90度の回転カバーを確認できています。**以下校正作業に2名は必要です。**

コントローラーのAZ/ELのV-in端子電圧をテスターで測れるよう準備。

＊アンテナマストに「大き目の分度器を取り付ける」などアンテナの方角を
1度の精度で読み取る工夫をする。

＊太陽（月）ノイズピークを手動で捜しAZを固定。その時真の太陽位置を記録します（この時点PC読み角度と大きく違いますので目視で粗合わせ必要です）

＊先に記録した太陽（月）AZ角度に分度器を回し「分度器の表示」をあわせる。

＊アンテナを**分度器方位の80度**（又は280度）に回しその時の**V-in電圧を記録**
ここの角度はPC読み取りではなく分度器角度です。
（開始点80度ならば約０V、280度では約５Vであることも確認）
アンテナを回し最低5度きざみでV-in電圧を記録する。

＊ELに関しては水準器などで標準が決めやすいです。
AZと同様０～90度の**V-in電圧を記録**

D）角度補正数値の入力

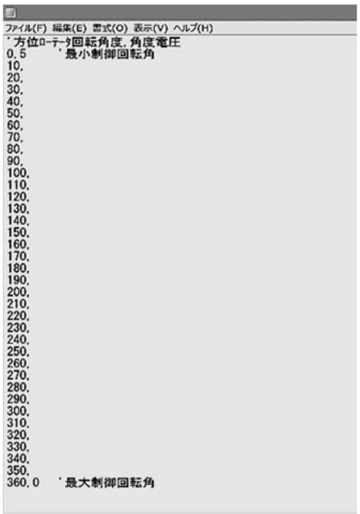
＊PCのCALSAT32のホルダーを開く

› OS (C:) › Calsat32

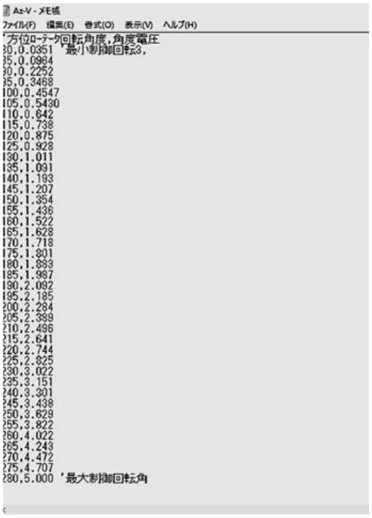
名前	更新日時	種類	サイズ
Az-V	2016/03/05 21:50	テキスト ドキュメント	1 KB
Calsat32	2014/01/03 0:26	アプリケーション	1,644 KB
CALSAT32	2016/03/05 22:54	構成設定	4 KB
CALSAT32	2014/01/02 9:32	テキスト ドキュメント	30 KB
ELEM	2013/11/07 4:21	テキスト ドキュメント	16 KB
El-V	2009/05/01 6:47	テキスト ドキュメント	1 KB
GROUP	2010/11/18 8:03	テキスト ドキュメント	1 KB
MACRO	2010/04/23 1:28	テキスト ドキュメント	11 KB
MAP	2000/06/11 2:48	BMP ファイル	192 KB
RING	2001/08/27 12:00	WAV ファイル	10 KB
SATINFO	2011/01/18 13:23	テキスト ドキュメント	20 KB
SHADE	2000/09/21 0:35	BMP ファイル	24 KB

ホルダーを開くと上の様な内容が出てきますので、一番上の「Az-V」をダブルクリックし次ページが開きます。

＊補正値の入力



```
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
'方位ローテータ回転角度,角度電圧
0,5      '最小制御回転角
10,
20,
30,
40,
50,
60,
70,
80,
90,
100,
110,
120,
130,
140,
150,
160,
170,
180,
190,
200,
210,
220,
230,
240,
250,
260,
270,
280,
290,
300,
310,
320,
330,
340,
350,
360,0   '最大制御回転角
```

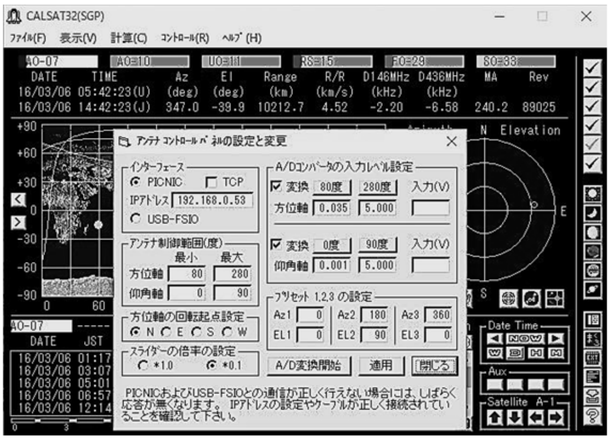


```
Az-V - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
'方位ローテータ回転角度,角度電圧
80,0.0351  '最小制御回転3,
85,0.0964
90,0.2252
95,0.3468
100,0.4547
105,0.5430
110,0.642
115,0.738
120,0.875
125,0.928
130,1.011
135,1.091
140,1.193
145,1.207
150,1.354
155,1.436
160,1.522
165,1.628
170,1.718
175,1.801
180,1.883
185,1.987
190,2.092
195,2.185
200,2.284
205,2.389
210,2.496
215,2.641
220,2.744
225,2.825
230,3.022
235,3.151
240,3.301
245,3.438
250,3.629
255,3.822
260,4.022
265,4.243
270,4.472
275,4.707
280,5.000 '最大制御回転角
```

初期値　　　　　　　　修正値校正入力済み

先ほど記録した校正データをPCに入力します。
Az-Vの初期値を自分用の角度に書き換えて補正値を入力します
0－360度だったものを80－280度、5度きざみに書き換えて入力した例。
たとえば180度で1.883Vでしたら　180,1.883　でOKです。
入力完了後左上「ファイル」から「上書き保存」
＊ELも同様に自分用の角度で校正入力を完了して下さい。

E)補正値の表示実行



　AZ,ELともに入力が終わりましたら上写真中央付近のAZ, EL「変換」にレを入れて校正完了。
＊必要な場合、後日AZ V-inとEL V-in共にテスターを繋ぎ、設定範囲に入った
　太陽を1日（何日かで分割可）手動で追跡し２～3度刻みに角度/電圧を記録し
　校正入力、完璧に仕上げましょう。
これで自分のアンテナシステムに合致したオリジナルAZ､EL管理の出来上がり。

11)トラッキングの実際(2016年3月3日実例)

＊SW ONから太陽（月）を捜す時は、予め手動で該当AZ,EL角度に合わせ、
ノイズを基準としバーニアダイアルで微調整、確認後自動追尾して下さい。
＊アンテナコントロールパネル「自動制御の対象」から月（太陽）をクリック、
上の「自動N」で自動追跡を開始いたします。
＊トラッキング開始から10分程度追跡しズレが少なければ十分です。
（要求が0.2度未満目標の場合の差異、1度の要求であれば現状OKと思います）
仮にズレてもムーンノイズまたは自己エコーを取り、補正すれば継続使用に
全く問題はありません。
＊下のトラッキングの実際では相当長い時間、手放し自動追尾していました。

A)10GHzサンノイズ　オートトラッキングテスト、上は1号機

開始時14.0dB（ATT使用中）　　約10分後13.7dBの指示、まずまずOKか

B)参考にトラッキングオフしアンテナを固定

1分後 約 - 2.3dB　　　2分後約 - 6dB　　　3分後 - 9.5dB

ちなみに該当時間の太陽位置を確認しました（某サイトから引用）

	スタート	1分後（度・差）	2分後（度・差）	3分後（度・差）
AZ	205.72	206.05(0.33/ -)	206.37(0.32/0.65)	206.69(0.32/0.95度)
EL	44.30	44.22(0.08/ -)	44.13(0.09/0.17)	44.04(0.09/0.26度)

私の小さなDishでも10GHzバンドの弱いCW信号は1分で怪しくなり、それ以降いなくなりそう・・・24GHzになるとさらに厳しくなります。
＊これを手動でトラッキングしながらCW QSOは至難の業です。

12）まとめ

以上、コントローラーを含め特殊な部品は使わず、また専門の知識・経験が少ない私の様なアマチュアでも何とかまとめ上げる事ができました。

完成後苦労すると思われる事は、シャックからアンテナ可動部に至るAZ,ELライン、角度基準電圧の送り受けです。
AZ角度１度の変化は0.03V未満になり、角度0.1度台はしびれる電圧差を扱います。
途中隣接させるコントロール線などの直流電流（電圧）から影響を受けます。環境により対応が必要になる可能性があります。
（アクチュエーター電圧を通常0Vでなく22Vかけたままも対応の一部でした）
＊しかし、私は約50m各ラインを引いていますがスタンバイや送信による影響を排除し現在問題は出ていません、必ず何とかなります。

5GHz、10GHz、24GHzEMEで使用中のAZ,ELアクチュエーター駆動とアナログ角度検知を組み合わせた本オートコントロールシステムの精度は目標に対しかなり良い線で近づき現在快適に月を自動追尾しています。

バーニアダイアル使用の角度補正は素早く簡単、実践的でお気に入りです。
実際の運用では太陽と月がクロス時（接近)、数度(2度程度）近辺に入っても太陽と分離した月のオートトラッキングは楽勝です。

身近な部品を使用して安価で簡単にできる本システムは重厚な動力システムとエンコーダー使用の方式に近い評価が頂けるのではないかと思います。

ポテンショメーターを含めたコントローラーの部品代は概算24K円也とやる気でした。

2016年3月3日　JA1WQF
笠井三男

USB FSIO による EME 用アンテナコントロール装置の製作

2016 年 4 月 22 日 JA1WQF 笠井三男

札幌ミーティング別資料「EME 用アンテナコントロールの製作」に関しては
マイクロウェーブ対応など細かな角度の分離を目指しました。
その中で「モータを使ったコントロールも少々の改造で可能」と書きましたが
具体的な例はなく、無責任な書き方かな？と思うようになりそれでは新たに・・

◎一般市販のローテーターを使用したシステムや 1 度位の分解能を「目標」に
簡単で安価にでき更に十分な基本性能を持った 3 号機を製作しました。
◎目標は 5,000 円!?で出来る EME アンテナコントロールシステムです。
◎EME でも使用者が多いクリエートデザイン社ローテーター対応で回路を
組みました。
他にもリレーを追加する事等により、様々な組み合わせで応用範囲は広がり
ますので夫々工夫なさって下さい。

1） 基本回路

コントロールソフトは前回コントローラーと同じく CALSAT32 を使用した
アナログ方式で対応、便利な機能もありこれで十分です。
心臓部は今回 PICNIC ではなく USB FSIO を使用し回路の簡素化と低価格化を
実現しています。

本機はリレーを使用しないで USB FSIO からトランジスタアレイでローテーターコントローラー内のリレーを直接駆動します。

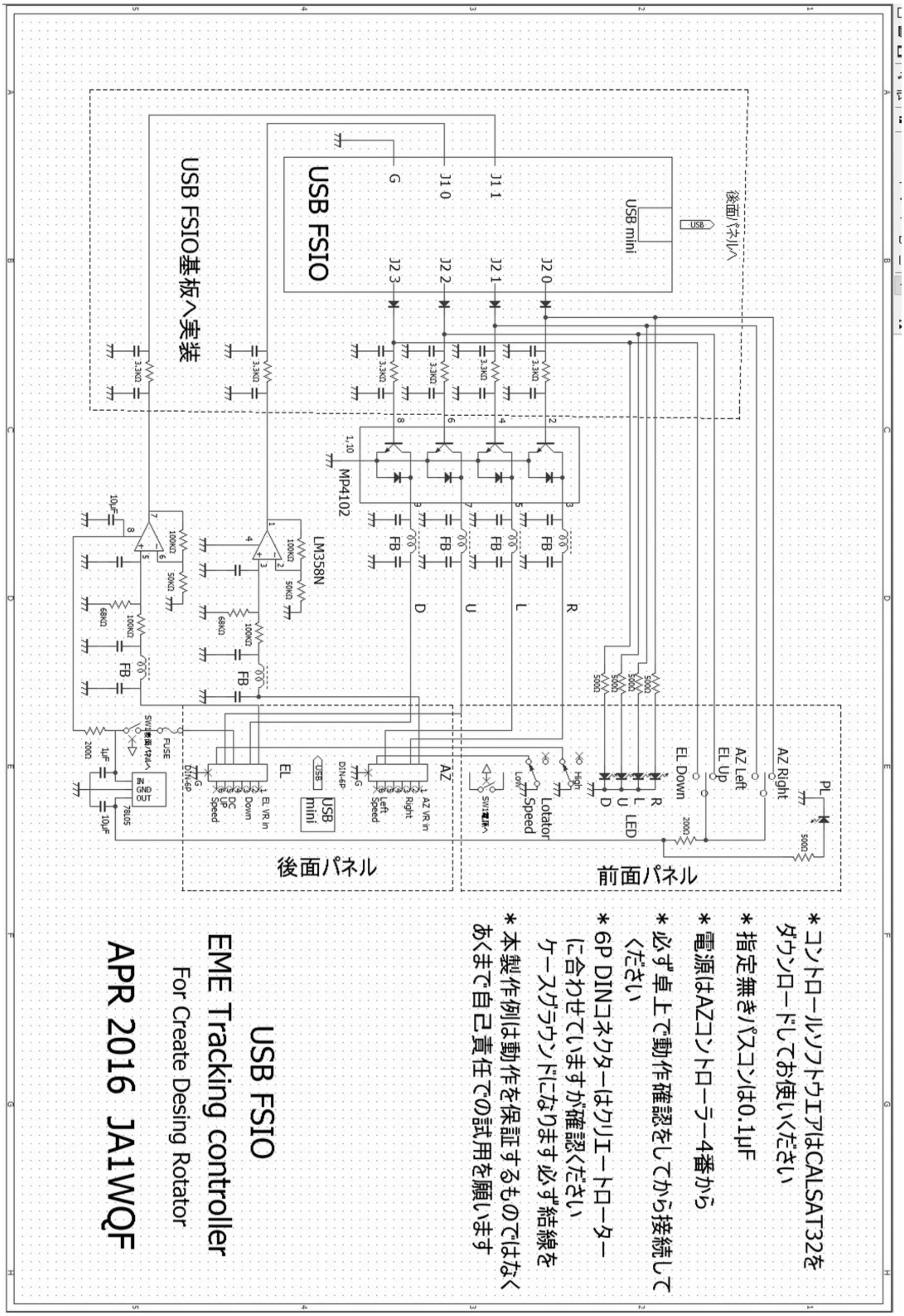
この為回路は極めて簡素化し製作も容易になりました。

また CALSAT は PC の TCP/IP 変更が必要で LAN によるインターネット接続が制限されるのに対し、こちらは USB ですのでその制約が有りません。

2）USB FSIO とは

USB インターフェイスを使った入出力基板で、デジタル入出力、10bit A/D 変換 アナログ入力、PWM 制御が行える入出力基板です。USB 2.0(Full Speed)で入出力制御を行います。
デジタル入出力最大 19 ピン、アナログ入力最大 5Ch、PWM 制御最大 5Ch が利用可能です。
モーター、ＲＣサーボ、ＬＥＤ調光が簡単に行えます。
１回の命令で複数の出力が出来るようになり、効率的に信号送信が可能です。
（だそうです難しそうですね！？）

＊次ページに回路図です



USB FSIO
USB mini
後面パネルへ
USB FSIO基板へ実装
MP4102
LM358N
FB
R
L
U
D
AZ Right
AZ Left
EL Up
EL Down
LED
PL
Lotator Speed
High
Low
FUSE
78L05
IN
GND
OUT
EL
AZ
DIN-6P
EL VR in
Down
UP
DC
Speed
AZ VR in
Right
Left
後面パネル
前面パネル
＊コントロールソフトウエアはCALSAT32を
ダウンロードしてお使いください
＊指定無きパスコンは0.1μF
＊電源はAZコントローラー4番から
＊必ず卓上で動作確認をしてから接続して
ください
＊6P DINコネクターはクリエートローター
に合わせていますが確認ください
ケースグラウンドになります必ず結線を
＊本製作例は動作を保証するものではなく
あくまで自己責任での試用を願います
USB FSIO
EME Tracking controller
For Create Desing Rotator
APR 2016 JA1WQF

3）部品リストで 5,000 円で出来てるか？確認しました

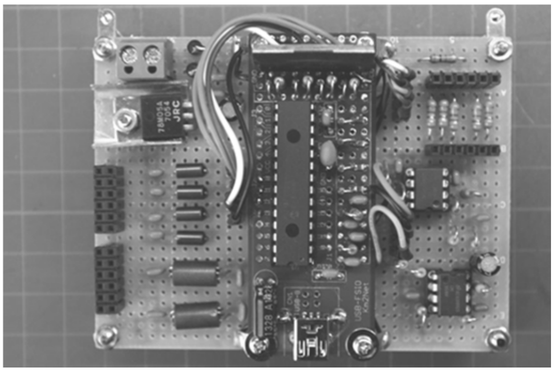
USB FISO使用EMEコントローラー部品リスト

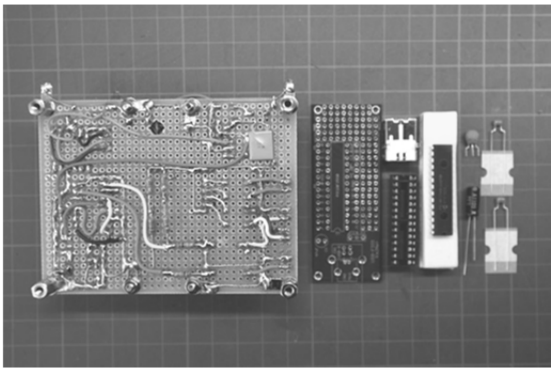
品名	品番	数量	金額	入手先	備考
USB-FSIO（KIT）		1	2,600	Km2Net株式会社	http://km2net.com/usb-fsio/index.shtml
OPアンプ	LM358N	1	60	秋月電子	ナショセミ製
ソケット	8P	1	10	〃	
NPNトランジスタアレイ	MP4102	1	100	〃	
三端子	78L05	1	20	〃	
ソケット類	各種	1式	200	〃	
CR類	各種	1式	200	〃	
穴あき基板	95X72	1	100	〃	
USB ミニプラグ	ミニBメス	1	50	〃	
USBコード	AオスBオス	1	120	〃	
トグルSW	2回路	1	90	〃	
LED	各種	1式	200	〃	
タカチUC14-4-10	ケース	1	1,630	マルツオンライン	
DINソケット	6P	2	336	〃	クリエート対応
DINプラグ	6P	4	320	〃	クリエート対応
ロッカーSW電源	2P	1	180	〃	
トグルSW	MS-500E-MF	2	452	〃	ON-OFF-ON
タトゥーシール	EJP-TAT5	1	799	アマゾン	ELECOM
フェライトビーズ					ジャンク箱にあります
その他					
		合計	7,467		

＊ケースとレタリング用シール代が大きく、残念ながら 7,500 円でした。

4）組み立て例

表面レイアウト参考（例）　　　　裏面と右は USB FSIO キット



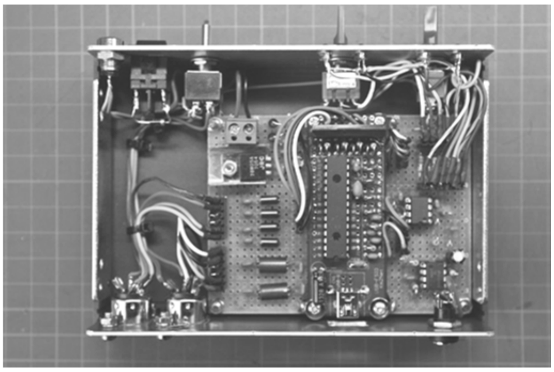


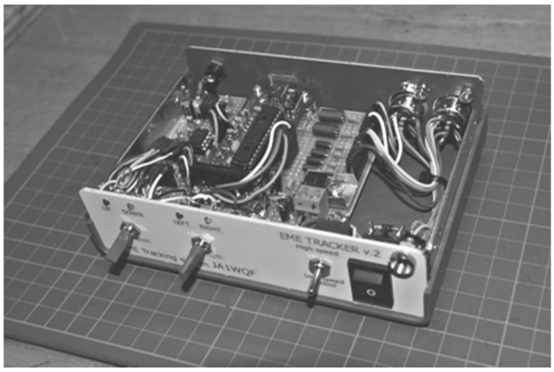
結局穴あき基板の上に USB FSIO 基板を載せてしまいました。
オペアンプなど回路変更しましたが、一部旧住所に居座り続けています Hi
また部品も回路図同等の物も使用中
回り込み防止に USB FISO 基板の空いているスペースを有効利用します。

初期計画段階では定数変更などが多く見込まれるためピンヘッダー等使用し基板の取り外しがすぐ出来る様にしていますが、面倒であれば半田付け直結で OK。

上右写真の右側が USB FSIO キット内容です（これだけです）付属の USB ソケットはミニに変更しておきましょう。

5）組み込み例





出来上がりました基板をケースに入れ完成、別途発表の「便利なレタリングとケース加工」も是非ご覧ください。
＊この状態で配線チェックと単体の上下左右動作確認を必ずしておいて下さい。

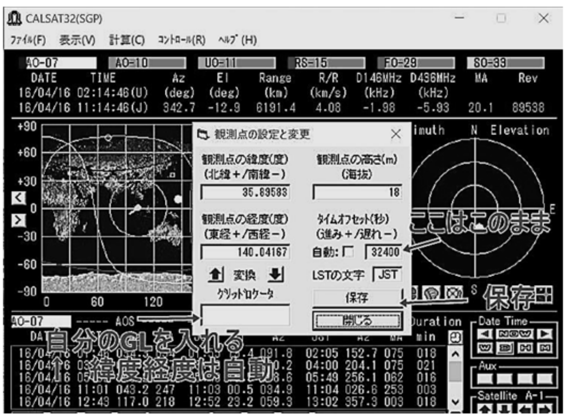
6）各種設定とトラッキング

CALSAT32 の設定ですが USB FISO の場合も PICNIC を使ったものと基本は同じですが、トラッキング調整作業は簡単な方法で進めたものです。
またセッティング項目で違う内容の事項もあり夫々参考になさって下さい。

A)基本設定

アンテナの EL,AZ 管理に関しまして CALSAT32 を使用させて頂きます。WEB で検索してダウンロード、プログラムをコントロール予定の PC にインストールして下さい。
＊ここでは実際に行なった設定に関する事を記載させて頂きます。

CALSAT32 観測点の設定



コントロールパネルの設定

をず先に左上「ファイル」を、次に「観測点の設定と変更」をクリック
ご自分のグリッドロケーターを入力後↑、海抜も入れてから「保存」
次に「コントロール」⇨「アンテナ」⇨「コントロールパネルの設定と変更」で上右写真を表示させ各項目を入力します。

＊アンテナコントロール回路の設定と変更

①の通り USB-FSIO にマークを入れる

②　方位軸の回転起点設定　N にマーク、EME 設備では通常 N 北から
スタートと思いますが、もしそれ以外の場合は夫々で設定。
もし北起点以外の場合 EME では使いにくく変更をお勧めします。

③スライダー倍率は 0.1 に設定（後ほどご説明）

ここ迄で AZ,EL 角度校正入力の準備ができました。

B) AZ,EL 角度データ取得

◎今回は方位仰角共にローテーター指針がある程度合っているとの仮定で
ここからデータを直接読むことにします。

まず AZ から始めましょう。取り敢えず 0 度から 360 度までは 10 度きざみに
データを取ればよいと思います。

AZ ローテーターのコントローラー表示を 0 度にして前頁右コントロールパネル
の④を押すと⑤の様にその角度の「Calsat32 の入力電圧」が表示されます。
この電圧を 0,10,20 度と 360 度までメモして行きます。

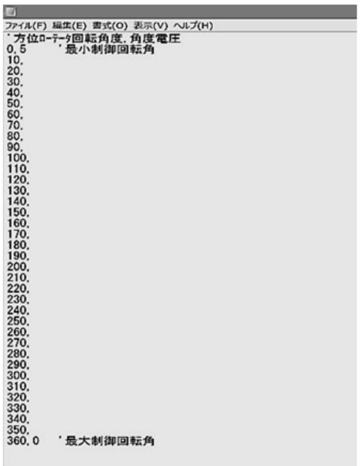
C) 角度数値の入力

＊PCのCALSAT32のホルダーを開く

› OS (C:) › Calsat32

名前	更新日時	種類	サイズ
Az-V	2016/03/05 21:50	テキスト ドキュメント	1 KB
Calsat32	2014/01/03 0:26	アプリケーション	1,644 KB
CALSAT32	2016/03/05 22:54	構成設定	4 KB
CALSAT32	2014/01/02 9:32	テキスト ドキュメント	30 KB
ELEM	2013/11/07 4:21	テキスト ドキュメント	16 KB
El-V	2009/05/01 6:47	テキスト ドキュメント	1 KB
GROUP	2010/11/18 8:03	テキスト ドキュメント	1 KB
MACRO	2010/04/23 1:28	テキスト ドキュメント	11 KB
MAP	2000/06/11 2:48	BMP ファイル	192 KB
RING	2001/08/27 12:00	WAV ファイル	10 KB
SATINFO	2011/01/18 13:23	テキスト ドキュメント	20 KB
SHADE	2000/09/21 0:35	BMP ファイル	24 KB

Calsat32の保存先を確認しホルダーを開くと上の様な内容が出てきます。
一番上の「Az-V」をダブルクリックすると下が開きます。



ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)

```
'方位ローテータ回転角度, 角度電圧
0, 5      '最小制御回転角
10,
20,
30,
40,
50,
60,
70,
80,
90,
100,
110,
120,
130,
140,
150,
160,
170,
180,
190,
200,
210,
220,
230,
240,
250,
260,
270,
280,
290,
300,
310,
320,
330,
340,
350,
360, 0    '最大制御回転角
```

ここに先ほど取得したデータを入れて行きます。

たとえば 20 度の所で 0.832V の場合　20,0.832 、40 度の所で 1.664V の場合 40,1.664 と入力します。

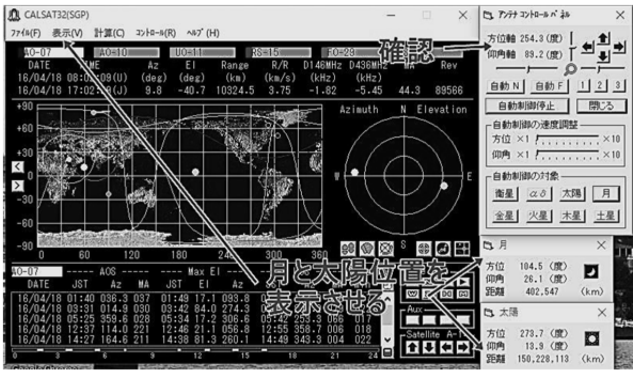
＊EL も全く同様の作業を進めて Calsat32 ホルダー内の「El-V」を開き入力します。但し EL は 0 度から 90 度の方が現実的で EL の「最大制御回転角」は 90 度にします（100 度以上は削除）

7）トラッキングの確認と運用

A）入力データの確認

AZ,EL データ入力が終わりましたら下左を開き、⑥の「変換」に両チェックを入れる。すると⑦に設定した角度範囲が表示されることを確認する。

設定画面の確認　　　　コントロールパネルで角度確認



B)運用前のセッティング

実際の追跡をするための設定です。

＊コントロールパネル追跡基本設定

この部分は後で最終調整にも必要な項目です

写真中央の「虫眼鏡」をクリックすると下の「スライダーの値」が出ます。

＊制御誤差範囲　③のスライダーと以前設定の倍率の設定で決定、1 度くらいか
＊方位角のオフセット　⑥取り敢えずは０で
＊仰角のオフセット　　⑤取り敢えずは０で
＊自動制御の速度調整　一番左で OK と思います

C)追跡と補正

今迄の作業でローテーターの AZ,EL が Calsat32 と同期されています。
しかし目視の角度読み取りやローターの指示自体少々のずれが必ずあります。
実際の運用で問題が無ければ入力はこれで完了です。

ずれを感じ運用に支障がある場合サンノイズなどで修正致します。

コントロールパネル設定　　　　　　　サンノイズ追跡中

太陽を使って位置確認が良いでしょう、まず左上写真、太陽位置の表示から
＊「手動で」AZ,EL とも①を合わせる
＊次に各コントローラーSW を P.SET 側に
＊②の自動の対象を太陽に
＊③で自動追跡にする
ここでは自動追跡の動作確認をするだけで「手動」に戻します。

手動で実際の太陽位置 AZ,EL にあわせ、この時夫々の角度、電圧を 5 度きざみ位で記録して行きます。本でも読みながら気長にやりましょう。

一度にではなく、日にちおいてでも OK です。

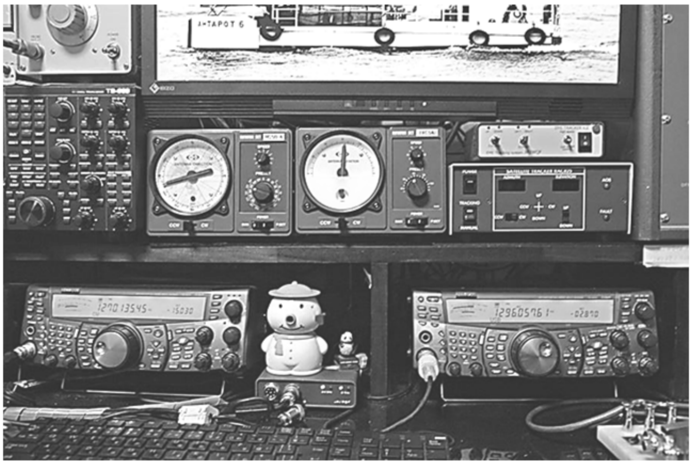
ここで取ったデータを、前頁 6) -C ローテーター読みで記録したものに上書きします。

特に必要な角度北米ウインドウや EU ウインドウの「気になる角度を重点的の取る」で良いと思います。

（ただ、いきなり補正入力した場合前後の値に影響されますので注意が必要）

８）完成そして運用

設定後微修正　　　　　　　　　　　　こんな環境で使用中



以上、完成したUSB-FSIOを使用したコントローラーは写真のようにセットし1296MHz EME用に使用中です。（別発表分は5GHz,10GHz,24GHz用）
使い始めますと「少しずれているな」と感じる事が有ります、もう一度データの取り直しが理想ですが、左の画面⑤AZオフセット、④ELオフセットで補正しても良いと思います。

ごくたまにご機嫌斜めになりますが、その時はＳＷ入れ直しで復帰ＯＫです。

今ではあまり使っていない某社のトラッカー上にチョンと乗り23㎝追尾に頑張っています。

安価で簡単に出来るEMEトラッカーとしてお勧めいたします。

2016年4月22日

JA1WQF　笠井三男

W1GHZのOmnidirectional Microwave Antennaの邦訳概要とコメント

福島誠治　JH6RTO

原著はQST 2016年10月号56-57ページに掲載された記事です。著者Paul Wade, W1GHZとQSTの許諾により、概要に若干のコメントを付記して報告します。私が追記した部分は斜体で記します。

はじめに

マイクロ波では非常強い指向性をもつアンテナで運用しますが、無指向性アンテナの方が向いていることもあります[1]。

無指向性アンテナはビーコン局で理想的であり、自作アンテナの性能試験にも便利なものです。ラッキーなことに近所にたくさんのマイクロ波局がいれば、モービル、固定、レピーター経由のようなシーンで無指向性アンテナがベストかもしれません。しかしDXを狙うなら指向性アンテナしかありません。

本当の無指向性アンテナは水平面内だけでなく、垂直面内でも無指向性でなければなりません。ただしハムの場合は水平面だけの無指向性で大丈夫です。実際にその方が無駄に空高く放射しなくてすみます。また、その方が作りやすいです。

マイクロ波では水平偏波が通常使用されます。VHFのモービル運用では、垂直偏波無指向性ホイップアンテナが使用されています。水平偏波の無指向性アンテナはちょっと難しいです。４種類の無指向性アンテナを紹介します。

1296MHzクロスダイポール *(XDP)*

IEEE Antennas and Propagation Magazine [2]に構造も工作も簡単なクロスダイポール(XDP)が紹介されていました。形状は図１のとおり、長さが異なる２つの直角にDPが配置されたものです。長さは0.527λと0.42λです。0.25λのバランを介して給電されています。長い方が誘導的に、短い方が容量的に働くことがみそです。この構成と配置によって円偏波が放射されます。

原著[2]では、1.7GHz用として0.086インチのセミリジッドケーブルが使用されています。私は1296MHz用に再計算し、0.141インチのセミリジッドケーブルを用いました。反対端にはSMAコネクタを取り付けました。計算も半田付けも作業台の上で行い、全作業は数分で終わりました。

次にSMAコネクタをminiVNA*（欧米で使用されている簡易型ネットワークアナライザの製品名）*に接続して、リターンロスを測定しました。無調整では1.14GHzのリタ

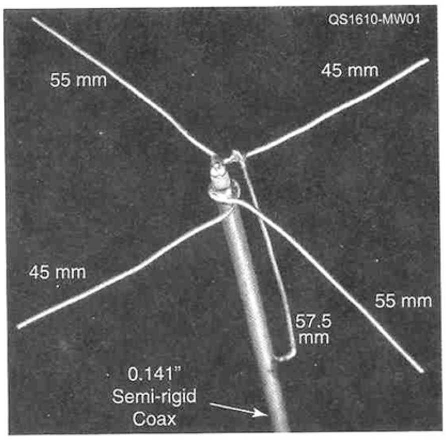


Figure 1 — Crossed-dipole antenna for 1296 MHz with approximate dimensions.

ーンロスが最善でした。1296MHz を目指して調整したのですが、やりすぎて 1340MHz で最善になりました。この条件でも 1296MHz においてリターンロス 22dB を得ました。このときのエレメント長は長い方が 55mm、短い方が 45mm、またバランの長さが 57.5mm でした。

このアンテナの動作はどうなっているのでしょうか？水平偏波アンテナ相手に簡単な測定をしたところ、長い DP 側の方がよりよい無指向性となっていましたし、そのときの偏波はほぼ直線偏波で水平偏波でした。本来は円偏波になるべきもののようですが、boresight direction（垂直面）側の特性は偏波の変化がもっと小さいものでした。ちゃんとした測定はシャックでなくもっと広いところでやるべきですし、解析は NEC *(欧米で頻用されているアンテナシミュレータ)* を用いるべきです。特性の良し悪しに関わらず、いろいろな周波数のものを安く簡単に作ることができるアンテナです。

導波路スロットアンテナ

これも水平偏波で、水平面の指向性がゆるいアンテナです。無限大金属面のスロットは DP と同じ働きをします。たとえば、垂直スロットは無限空間においた水平 DP と同じ放射パターンをもちます。

図２に示されるように、導波管の広い面に 1/2λのスロットアレイが形成されています。導波管はそのままスロットへの給電媒体となります。水平スロットアレイですので、垂直 DP アレイを同様に振る舞います。電気的に 1/2λ間隔で形成されていれば、インピーダンスは並列回路として表れます。また、インピーダンスは導波管の中心からのずれによって制御することもできます。導波管の反対面に同じサイズで同じ間隔のスロットを作れば、クローバーの葉の形のゆるい指向性のアンテナとなります。面内の利得差は数 dB に収まります。導波管の短い面に金属翼を追加すれば、もっと無指向性に近づきます。導波管の中の波長は自由空間の波長より長いため、スロット間隔も自由空間の 1/2λより長くしなければなりません。計算は面倒ですので、私のスプレッドシートを使って下さい（www.w1ghz.org/software/slotantenna.xls）。この作成には故人の Dan Welch, W6DFW が手伝ってくれたおかげで、私たちは NC マシンを用いて正確なスロットアンテナを製作することができました。図２は Dan が作った 10GHz 帯のものです。正確に作れば同調スクリューは不要です。

NC マシンがない人でもこのアンテナは手作業で作れます。Donn Baker, WA2VOI は手作業で製作しています。Owen Wormser, K3CB は 2.3GHz 導波管が見つからなかったので、アルミ角材で製作しました。

アルフォードスロットアンテナ

アルフォード(Alford)スロットは導波管スロットアンテナと混同されることがありますが、異なるアンテナです。これにはひとつの長いスロットだけがあります。元は”Long Slot Antennas”という Andrew Alford による 1947 年の論文で報告されています[3]。Web サイトに解説を見つけることができますが、多くの Web オーナーは原著を読んでいないように思われます。さて、Rob Swinburn, MODTS は図３の 2.4GHz 用のアンテナを製作しました。

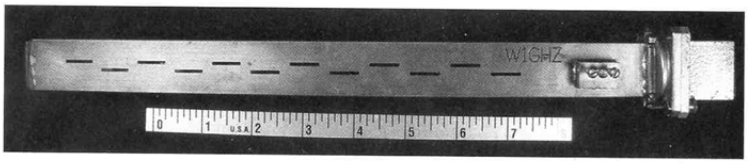


Figure 2 — Twenty-four-slot waveguide-slot antenna for 10 GHz made by Dan Welch, W6DFW (SK).

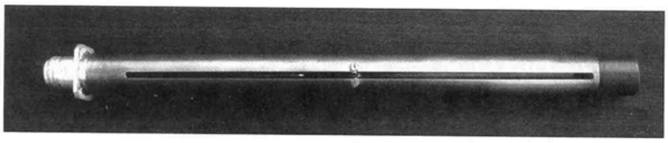


Figure 3 — Alford slot antenna for 2.4 GHz made by Rob Swinburn, MØDTS. [Rob Swinburn, MØDTS, photo]

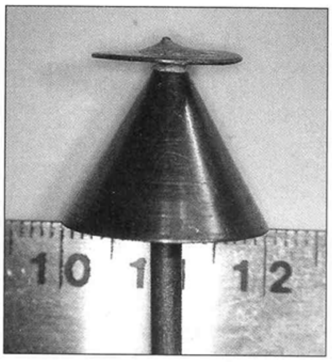


Figure 4 — Microwave discone antenna made by Don Twombly, W1FKF. [Don Twombly, W1FKF, photo]

このひとつの長いスロットは 1/2λ長アンテナより利得があります。このアンテナでも導波管の中の波長は自由空間の波長より長くなります。したがって、このアンテナでは、長い*（たぶん 1/2λより長い）*DPの放射パターンに起きる多数のローブを発生させるような位相反転の原因となる電流パターンとはなりません。スロット波長は管の内径で決まります。アルフォードのお奨めは、内径 0.14λ、スロット長 2λです。内径は 1296MHz で 32mm となります。

スロットの両側に接続された平衡伝送路から給電します。伝送路はスロットの反対壁面に沿っていて、管内を通された伝送路が用いられるのです。アルフォードによれば、インピーダンスは 250Ωとなっています。セミジッドケーブルで製作した 1/2λバランを使えば50Ω同軸ケーブルにほどよく整合します。導波管スロットと同様に、翼の追加でさらに整合改善にもつながる可能性があります。導波管スロットもアルフォードロットもスタック化により利得向上が可能です。*ただし、垂直面はますます無指向性から遠ざかります。*

ディスコーンアンテナ

ディスコーンは日本でもそこそこ使われています。VHF の航空・船舶通信受信が中心かと思われます。

今までの３種類は狭帯域でしたが、ディスコーンアンテナは広帯域です。垂直偏波でよければ、ディスコーンは 10:1 の周波数帯域幅という超広帯域で使えます。図４は Don Trombly, W1FKF 製作で 3GHz 超のためのものです。アンテナはディスク(disc)と円錐(cone)と給電用同軸ケーブルから構成されます。円錐の長さは最低周波数の 1/4λで。円錐部の径はディスクの 0.7 倍です。円錐の角度は 30 度くらいですが、微妙ではありません。Don のようにセミリジッドケーブルの先に小さいものをひとつ作っておけば、マイクロ波実験で重宝します。

まとめ

広くマイクロ波帯で使用可能なアンテナを紹介しました。大急ぎで作ればそこそこのアンテナができます。高性能なものを求めるなら、精度の高い設計と加工が必要です。多少やってみれば自分自身に必要な「広範な(omni)」アンテナの要求が見えてくる

でしょう。

無指向性は omnidirectional の邦訳ですが、omni は無の意味ではなく全の意味です。厳密に訳せば全指向性アンテナとなります。Paul は最後に your “omni” antenna requirements と締めています。

参考文献

1. P. Wade, W1GHZ, “Microwave Beacons, QST, April 2012, pp. 95-96.
2. S. X. Ta, I. Park, and R. W. Ziolkowski, “Crossed Dipole Antenna: A review,” IEEE Antennas and Propagation Magazine, Oct. 2015, pp. 107-122.
3. www.w1ghz.org/antbook/Long_Slot_Antennas_Alford.pdf

ラズパイによる自作 DATV 送信機の実験（途中経過）

JR1AVO　根岸　正文

1. はじめに

DATV の受信は海外製の安価なチューナーや後述する USB チューナーなどを使えば比較的簡単にできます。しかし、送信は多くの方が SR-SYSTEM の MPEG エンコーダーを使用していると思います。そこで、ワンボードコンピュータを使用して自作による送信機の実験をしました。

タイトルにあるラズパイとはラズベリー・パイと呼ばれるワンボードコンピュータのことです。この基板に変調器とアンプを付ければ DATV 送信機となります。まだ不備がたくさんありますが、途中経過という形で報告させて頂きます。

2. ラズベリー・パイの概要

ラズベリー・パイは 85×56mm という小型のボードでありながら、USB キーボード、マウス、HDMI モニターまたは地デジ TV、マイクロ SD を取り付ければパソコンとして機能します。電源は携帯電話の充電器が使用できます。これだけでインターネット接続やメール、各種ソフト開発などもできます。

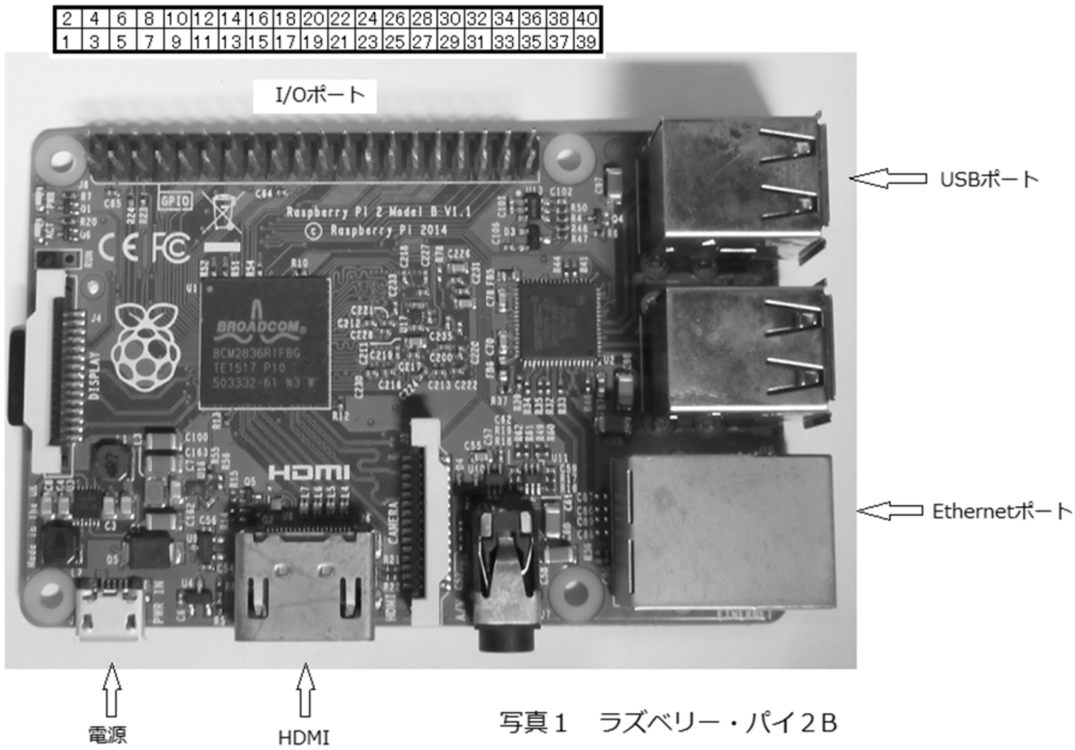


写真１　ラズベリー・パイ２B

何といっても価格が￥5,600（PI2　MODELB：秋月電子）と言うのが最大の魅力でしょう！ラズベリー・パイについてはいくつかのモデルがあります。また、OS は LINUX ですが、Windows10 も使用できます。詳しくは解説書も多く出版されていますので、そちらを参照して下さい。

さて、今回の送信機を製作するにあたり、ラズベリー・パイは PI2　MODELB を使用しました。その他周辺機器として必要となるものは以下の通り。

(1) マイクロＳＤカード（8G以上）　＊スロットは基板裏側
(2) USB キーボード
(3) モニター(HDMI 端子が必要ですが無い場合､変換コネクターを使用するのも 1 案です。私の場合は池デジ TV を使用。)
(4) 5V 電源（携帯電話充電器：マイクロ B コネクター、2A 位の容量があれば良いが 1A でも動作可能）
(5) PI カメラ

3. ソフトのダウンロード

DATV 送信用のソフトは F5OEO がアップロードしています。RpiDATV1.2.1.img というものです。このソフトをダウンロードして SD カードに書込みます。SD カードは最初にフォーマットする必要があります。フォーマットはパソコンで「SDFformatter4.0」というソフトをダウンロードしてフォーマットして下さい。次に img ファイルを書込むために「Win32　Disk　Imager」をダウンロードして書き込んで下さい。img ファイルを単に SD カードにコピーしただけでは動作しません。詳細は解説書を参照して下さい。これをラズベリー・パイに差し込めば動作可能です。

このソフトのビデオフォーマットは H.264 という方式です。従来多くの方が使っている MPEG2 ではありません。H.264 は MPEG4 の一種で、MPEG2 の 2 倍以上の圧縮効率が得られるといわれています。詳細は専門書を参照して下さい。

4. 変調器

変調器がこの送信機で唯一自作になる部分です。ブロック図を図 1 に示します。キャリアは ADF4360-5（アナデバ）という PLL で発振させます。ここでは 1265MHz に設定しました。

ラズベリー・パイの I/O 端子の 12 番ピン(GPIO18)からＩ信号、35 番ピン（GPIO19）からＱ信号が出力されます。

Ｉ、Ｑ信号はナイキストフィルターを通った後、位相変調器 AD8346（アナデバ）に入力されます。入力には 1.2V のバイアスが必要です。

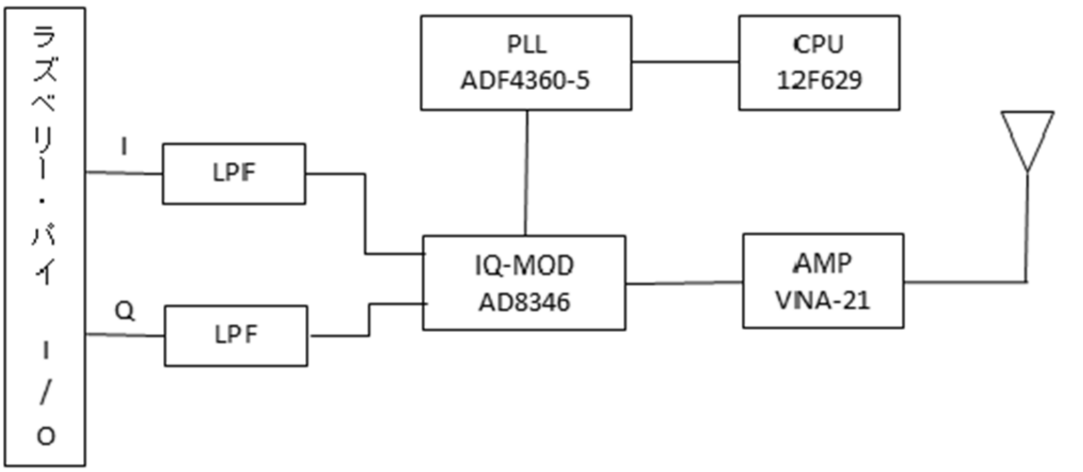


図１　変調器ブロック図

変調器の出力レベルは低いので増幅する必要があります。ここでは手持ちの VNA-21（ミニサーキット）でアンプしています。出力は 10mWです。実用にはこの後さらにアンプが必要ですが、今回はまだ実験レベルなので作っていません。

基板を作る上で最も問題になるのが PLL　IC の実装です。ADF4360 シリーズの IC は裏側にパッドがある事です。データシートではこのパッド部にスルーホールを設ける様に推奨されています。周波数が低ければスルーホールを無視して基板を手造りすることも可能かもしれませんが、1.2GHz ともなると無視するわけにはいきません。

そこで今回は小遣いから大金をはたいて基板業者に発注しました。設計がしっかりしていればそれなりの価値が有ったのですが、性能チェックをして行くうちにいくつものミスが見つかりました。特にチェックの時、変調 IC が異常発熱しました。原因を調べた所、RF 出力と+5V ラインのピンを間違えて配線していました。修正のためパターンカットして 0.65ｍｍピッチの配線を入れ替えることは老眼の身には大変でした。その他、レギュレータの型番違いで配線したり、バイアス回路が抜けたり、GND が未配線など・・・・
基板データを出す前にもっと慎重にチェックすべきでした。

映像と一緒に音声も送信できるのか？という疑問が有ると思います。答えは OK です。ただし、サウンドカードが必要です。（この実験はまだ行っていません。）

5. 設定

電源を入れると下の画面が出ます。(設定済みの場合の表示です。)

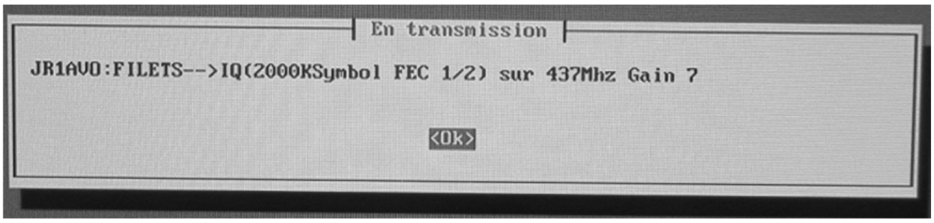


写真２　初期画面

「Enter」キーを押すと次の画面が出ます。

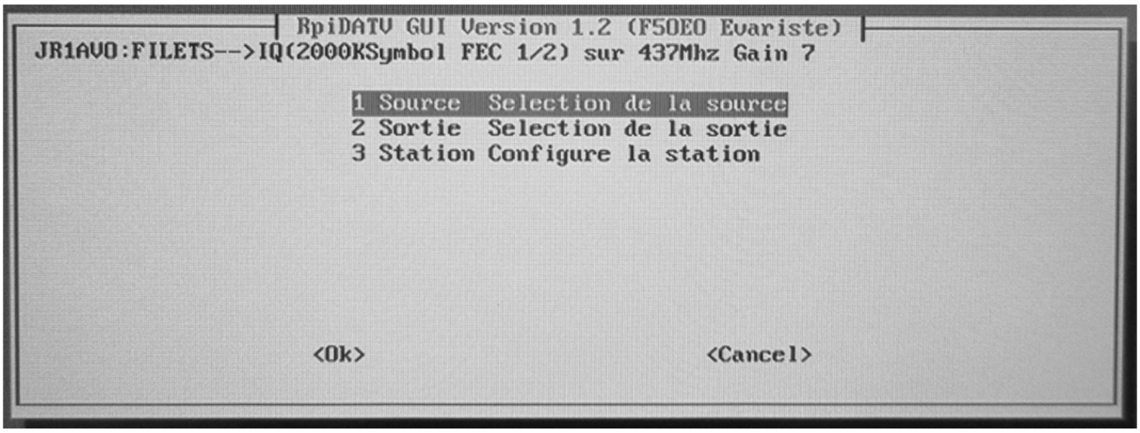


写真３　設定画面

ここで１から３の項目を設定します。項目の切り替えはキーボードの↓や↑のキーで項目を選択し、「Enter」キーを押すことにより実行できます。(マウスでは切り替えられません。)
１は信号源等の設定で、カメラやファイル等の切り替えができます。
２は SR（シンボルレート）、FEC（フォワードエラーコレクション）、出力モードの設定ができます。
３はコールサインの設定です。

以下、詳細設定について説明します。

１の項目で「Enter」キーを押すと写真４の表示が出ます。「＊」の付いた所を「Ok」すれば設定が完了です。

項目の切り替えは「スペース」キーを押すことにより上から下へと順次切り替わります。選択項目が決まりましたら「Tab」キーを押して下さい。キーを押す毎に<Ok>　→　<Cancel>　→　設定項目の順に切り替わります。設定内容が Ok であれば<Ok>のところで「Enter」キーを押します。

FILETS を選択すると作者である F5OEO のビデオメッセージがソフトに同梱されてい

ますので、カメラが無くても映像の送信ができます。FILETS を選択するとファイル名を指定する設定になりますので、以下のファイルを設定して下さい。

./home/pi/RpiDATV/mire250.TS

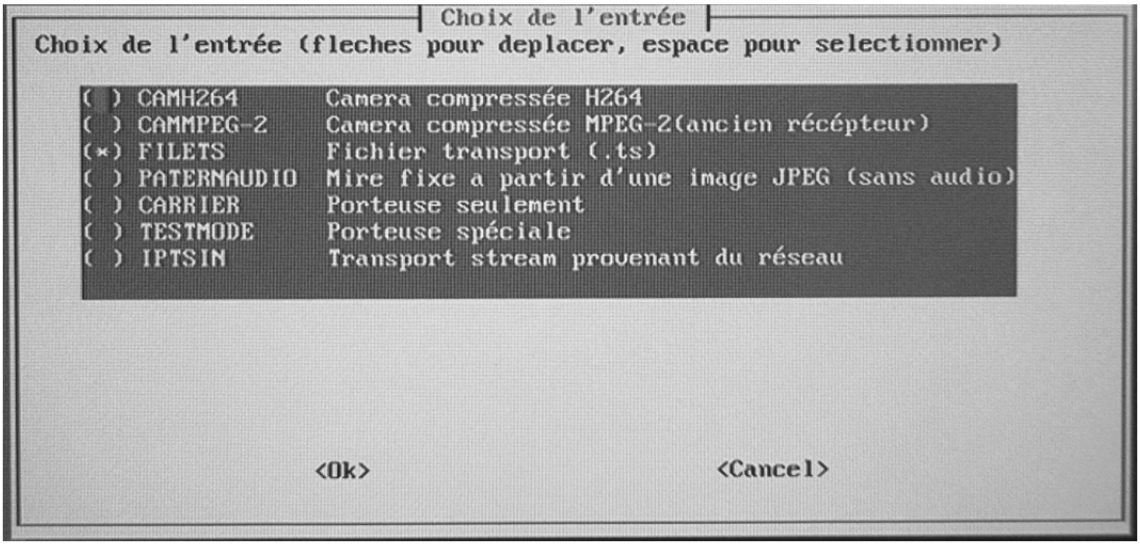


写真 4　画像信号源選択画面

写真 4 で Ok を押すと写真 2 の画面に戻ります。写真 2 で Ok を押し、写真 3 の 2 を選択すると写真 5 のパラメータ設定画面になります。

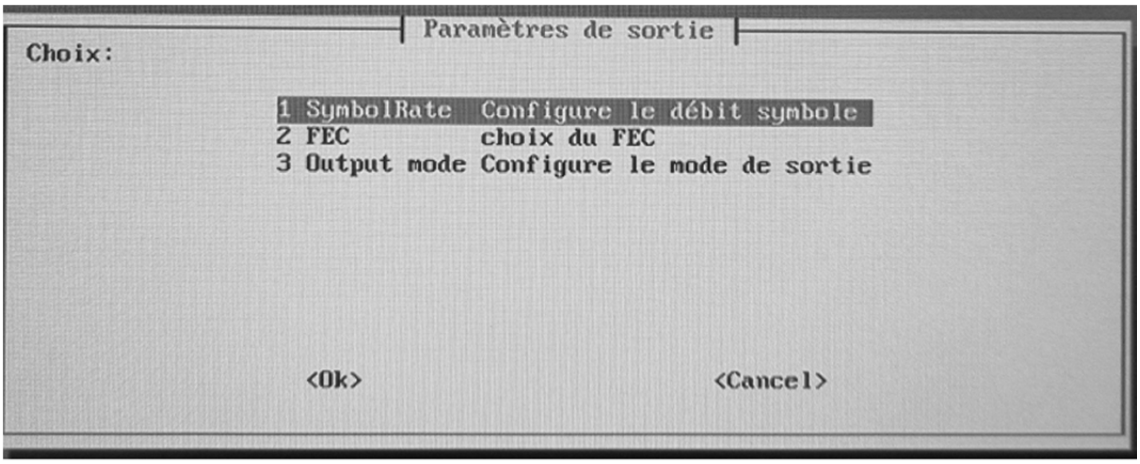


写真 5　パラメータの設定

最初に SR の設定があります。ここで SR の数値を入力します。単位は k です。SR を 2000 と入力すれば 2000 k になります。ここで設定できる値は 125 から 2000 までです。ヨーロッパでは SR の値を低くして VHF 帯で実験している局も多い様です。

なお、デフォルトでは「NumLock」キーは Off になっています。テンキーで入力する場

合は On にして下さい。

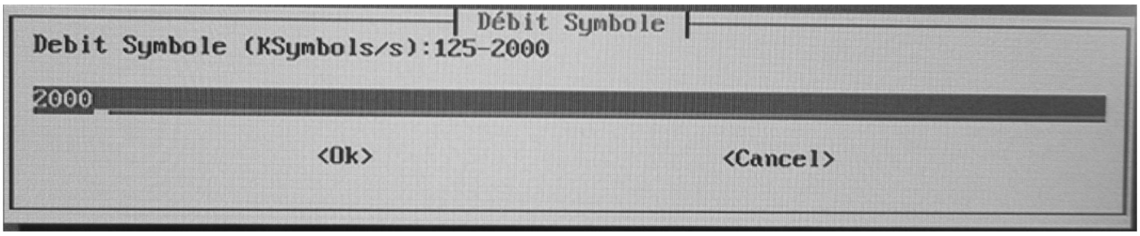


写真 6　SR の設定

次は FEC の設定です。1/2 から 7/8 まで 5 種類の設定ができます。数値が大きい方がエラーに対して強くなりますが、SR が 2000 k の場合、7/8 は設定出来ませんでした。（実行コマンドでエラーが出る。）なお、1500 k の場合は 7/8 でも OK です。

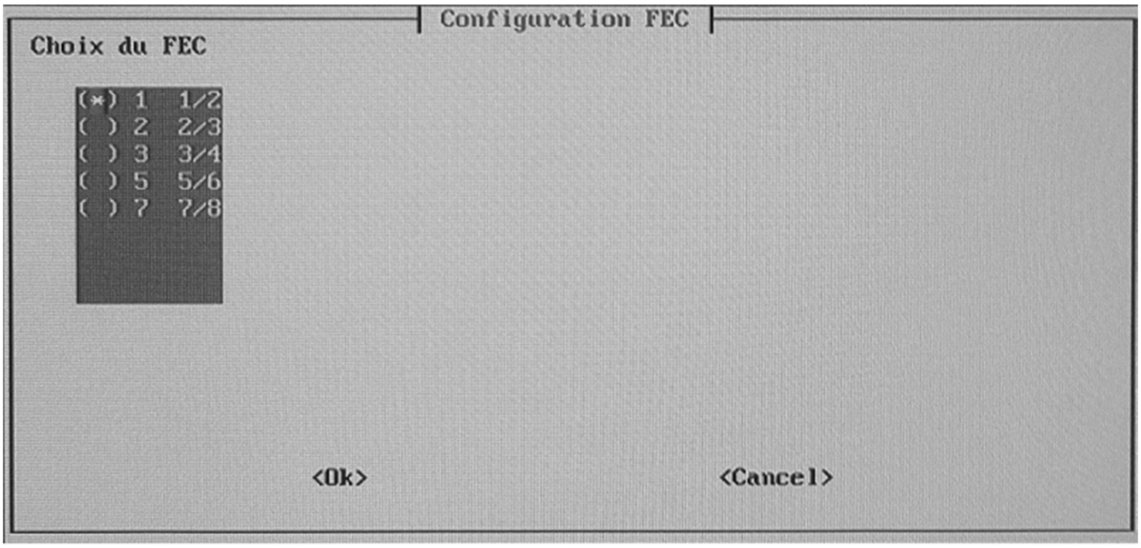


写真 7　FEC の設定

最後は出力モードの設定です。IQ にすると変調器の所で説明した I 及び Q 信号が出てきます。QPSKRF に設定すると変調された 62.5MHz の RF 信号が GPIO18(12pin)から出てきます。この RF 信号の 7 倍高調波が 437.5MHz となるため、この周波数帯で実験している局も多いようです。ただし、この場合 SR は 1500 k 以下にしないとダメなようです。もちろんフィルターを付けないとノイズをまき散らすことになりますので注意が必要です。簡単な実験をする時は面白いかもしれません。

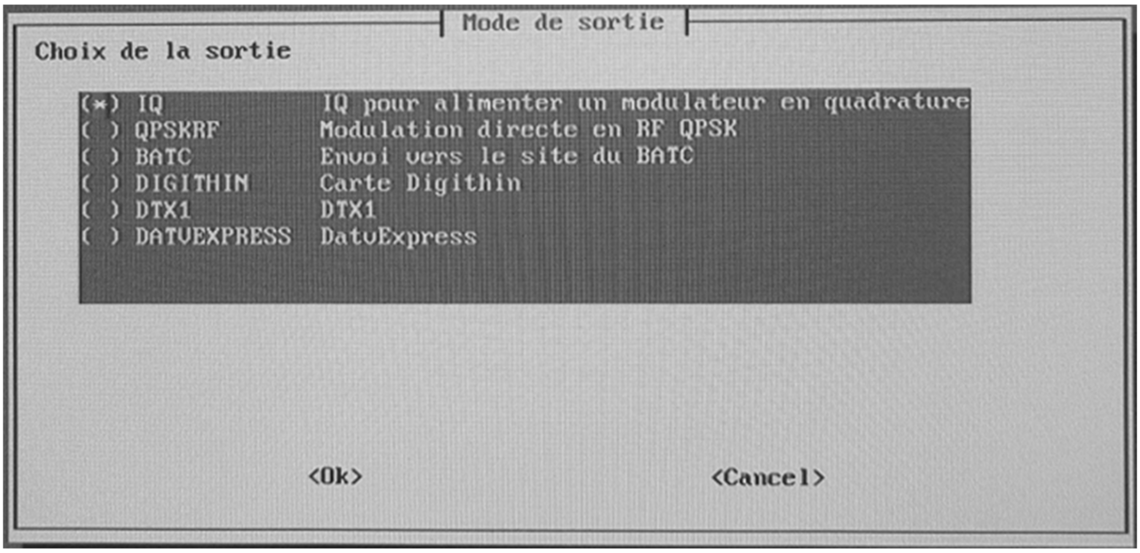


写真 8　MODE 設定画面

写真 3 の 3 番目の項目はコールサインの設定です。ここに自分のコールサインを設定します。この時、注意事項があります。それはデフォルトではキーボードはフランス語になっています。フランス語の場合、A と Q の配列が逆です。また、M は L の右側になります。フランス語のままでは非常に使いづらいのでキーボードは日本語に設定しておいてください。設定方法についてはラズベリー・パイの解説書などを参照して下さい。

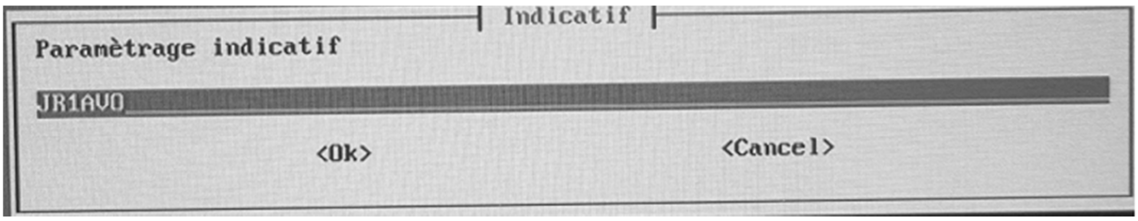


写真 9　コールサインの設定

以上で設定が終わりです。「ESC」キーを押すと実行コマンドモードになります。なお、設定はメモリーされます。2 回目以降の電源立ち上げで設定を変更しない場合は「ESC」キーを 3 回押して下さい。

上記設定が終わるとコマンドプロンプタが出ますので以下の様に入力します。

```
pi@RpiDATV ~ $ cd RpiDATV
pi@RpiDATV ~/RpiDATV $ ./a.sh
```

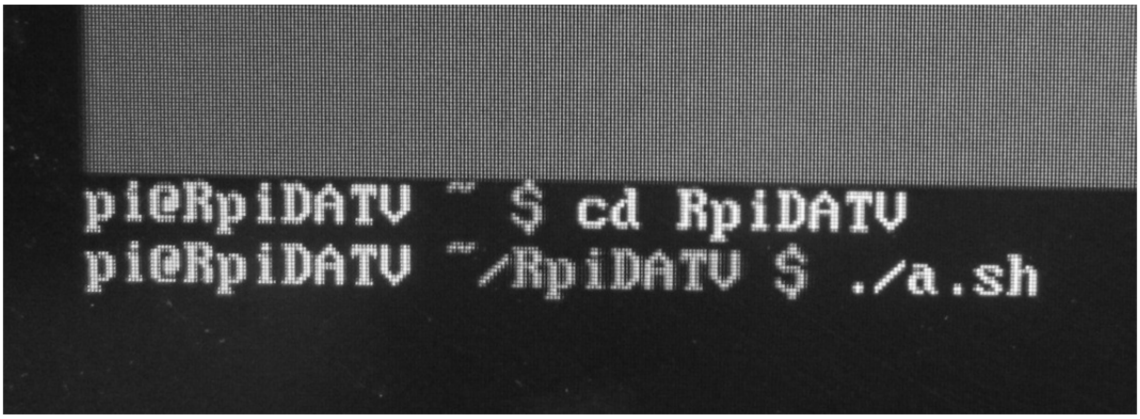


写真 10　コマンド入力

そうすると写真 10 の画面になり、信号が出力されます。

写真 11 に送信機の外観、写真 12 にスペクトラムを示します。

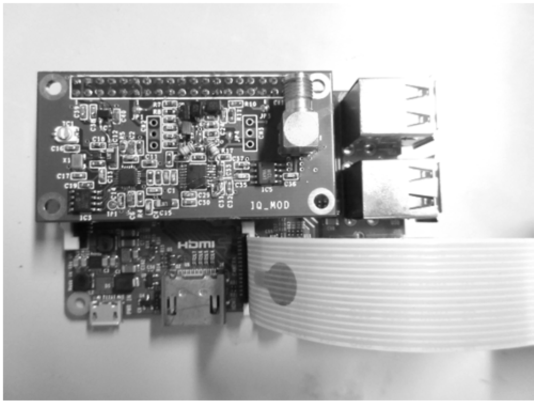


写真 11　送信機外観

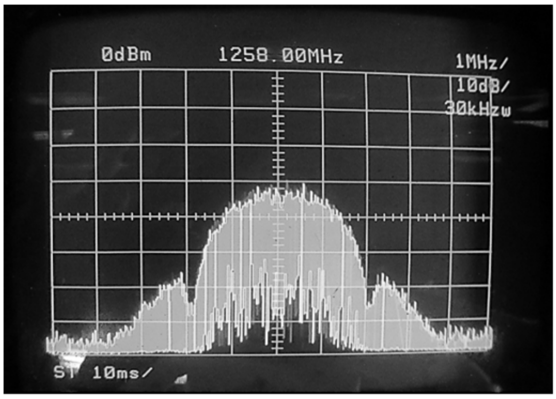


写真 12　出力スペクトラム
（スペアナの表示がずれているが周波数は 1265MHz）

6. 受信機について

今回の動画圧縮規格は H.264 ですので、この規格に合ったデコーダーを持つ受信機が必要です。海外の衛星チューナーには H.264 に対応した受信機が多く売られていますが、少し値段が高めです。

そこで今回は USB　Tuner を使用しました。この USB　Tuner は 2015 年の全国マイクロウェーブミーティングで JA1SYK　松本 OM によりでデモが行われたのを覚えている方も多いと思います。これは USB を使ってパソコンで受信画面が見られます。特徴的なことはコンスタレーションや信号レベル、タイミングなどが PC 画面で見られることです。これにより信号の質が容易にわかります。

USB　Tuner の詳細については OM のホームページを参照して下さい。回路や基板のパターンなどのハードやソフトの入手、設定などについて解説しています。

このUSB　Tunerではft2232H評価モジュールが必要ですが、私はFT2232HLのチップを入手してチューナーと基板一体化しました。評価基板の不要部分を削除しましたので、電源の+5V部は不要になりました。そのため、このチューナーで必要な電源は+3.3Vと+1Vの2種類のみとなります。これにより

写真13　USB　Tuner外観

3.7Vのリチウム電池で動作させています、

室内実験で実際に受信した画像を写真14に示します。信号はmire250.TSで、音声も入っています。

写真 14　受信画像

7. あとがき

今回の実験で H.264 による DATV の送受信に成功しました。しかし、本文では省略して書いてないところが有ります。それはソフトでの各種設定です。設定項目は写真ではフランス語になっていますが、これは英語に設定変更可能です。半年前は英語表示でやっていたのですが、ブランクの間に設定方法を忘れてしまいました。フランス語でもある程度意味がわかるのであまり問題はありません。一番問題になっているのはカメラの設定です。カメラで送信した画像を載せていないのはそのためです。

また、LINUX の知識も不足で、解らないことが多くあります。これらの事に詳しい方がおりましたら、是非アドバイスをお願いいたします。

追記

RpiDATV1.2.1.img はベータ版で下記サイトからダウンロードできました。（2016/02）

http://f5oeo.fr/RpiDATV1.2.1.img.zip

しかしながら 2016/09 現在、リンク切れになっています。ミラーサイトがあるのか探したのですが、見つかりませんでした。

この実験をしたいと思う方は USB 等のメモリーを送って頂ければソフトをコピー致します。容量は 1.1G 有りますのでメールでは送れません。

また、変調器の詳細な回路や PLL のソフトについて知りたい方は以下へ連絡下さい。

Email：negishi.masahumi@navy.plala.or.jp

その他、関連のサイトを紹介しておきます。

http://www.vivadatv.org/index.php

http://www.vivadatv.org/viewtopic.php?f=75&t=293

http://www.batc.org.uk/forum/viewtopic.php?t=4111&start=10

参考文献

ラズベリー・パイ超入門　　福田和弘著　ソーテック社

SHF 帯での CW 運用と KCJA アワード

JA5CUX 生越重章
E-mail: ja5cux@jarl.com

1. はじめに

私のハムライフは中学生時代に始まった．家庭は裕福ではなかったため，粗大ゴミとして捨てられていたテレビ(とくにトランス式であった東が重宝した)を拾ってきては部品取りしていた．これらを再利用して製作した3.5MHz/7MHzの送信機に5球スーパーラジオという構成であった．アンテナは，ビニールハウス用の孟宗竹を2本つないで高さを稼ぎ，これにアカガネ（銅）のエレメントを接続したDPであった．

当時の送信機（図1）は，後にTX88Dを入手した際にVFOとして使用したが，これは今でも使用できる状態にある．時々電源を入れてヒータの橙色の光を眺めている．

AMは遠くの局との交信が難しく，当時流行し始めたSSBを導入したローカル局への羨望を抱きつつCWへの道に入っていった．社会人となってからはCW専門で移動，製作などを通じて細々とアマチュア無線と関わってきた．図2は当時製作したQRP(50mW/500mW) CWトランシーバ(JH1HTK 増沢OM設計)である[1][2].

そうこうするうち，たまたま入会した全国CW同好会（KCJ: Keymen's Club of Japan）[3]でKCJA(Keymen's Club of Japan Award)なるアワードを発行していることを知り，ひとつやってみるかということとなった．神奈川県内を中心としてHF移動運用を進める中で，ある程度QSO数が増えたことにより申請をした．その後5エリアにQSYしたことで一旦リセットされたが，時をおかず再スタートした．

前置きが長くなったが，本稿では，このKCJAとSHF運用との関わりについて述べたい．プログレスレポートは技術的側面からのレポートが圧倒的に多い中で，この種の題材が適切であるか甚だ疑問であるが， ご一読いただき，ご批判，ご意見等賜れば幸いである．

図１　なんちゃって送信機

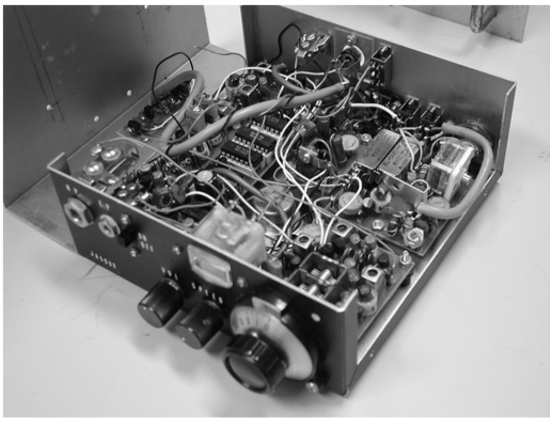


図２　QRP トランシーバ

2. KCJA

KCJAは．CWにより各アマチュアバンドにおいて,異なる各都道府県で運用する局とQSOしQSLを得る毎に1ポイントを得て，100ポイントでKCJA100の完成となる．すなわち，1.9MHzから50MHzの10バンドで全都道府県との交信が成立すると 470 ポイントとなる．KCJAは28MHz以下のバンドでは同一都道府県内からの運用が条件であるが，50MHz 以上のバンドでは自局の運用場所に制約はない点がWAJAと異なる．

図3は私が取得したKCJAアワードである．

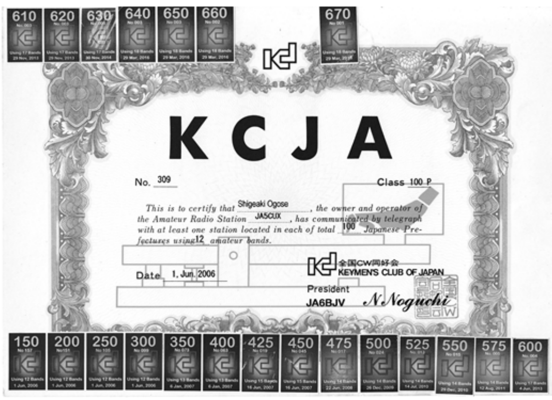


図3　KCJAアワード

3. SHF帯への進出

KCJA の上位のポイントを得るためには，144MHz 以上のハイバンドおよび 135kHz，475kHz のローバンドでの運用が必須である．1.9 MHz～50MHz は既に完成していたことから，コンテスト等の機会をとらえて 144MHz 以上を積極的に運用していた．そのような折，たまたまハムフェアでマイクロ波関係のブースを訪ねて出展者と会話する中でマイクロ波も面白そうだということから SHF を始めることとなった．前職では2GHz帯で無線通信システム開発していたことも理由のひとつである．また，SHF は移動運用にも適していることからKCJAポイントアップのための格好のバンドでもある．

4. 進捗状況

1200MHz以上でKCJAを進めるうえでのもっとも厳しい点はCW運用者が少ないことである．たとえば，JARL主催のメジャーコンテストでも，四国ではFMでも数局程度で，CWでは1～2局の交信となることが多い.そのため，事前に参加予定局に連絡をしておいて交信することもある．とりわけ5600MHz以上はほとんど運用者がおらずコンテストでの QSO は期待できない.そのため,いくつかのMLを通じて，移動運用の際に交信を依頼することが日常となっている．幸いにもOM諸氏のサポートを得て少しずつではあるが QSO の実績ができつつある[4].

CW と言っても A1A での運用は極めて少ない．狭帯域のほうがS/Nの点で遠距離通信に有利であるが，5600MHz のような高いバンドで周波数ズレがある場合には，断続する相手局の信号を的確に捕捉することが困難なことから広帯域によるF2Aが使いやすい．私自身も，ハンディ機を使用する場合にはもっぱら F2A での運用となっている。

お手軽移動運用の基本パターンは，図4に示すように，ハンディトランシーバ，トランスバータ，アンテナ（ホーン/手持式八木）に簡易キーである．簡易キー（CW練習機）は，3年ほど前のハムフェア子供工作教室で頒布していたものである．フィルムケースをスピーカに乗せると，共鳴で音量が大きくなるとともに，多少のローパスフィルタ効果が得られる．私としては，このキーが結構お気に入りで，サランラップの空箱に入れて持ち運んでいる．

図5はKCJAの進捗状況を示す．横軸は年，縦軸はKCJAポイントを示す．2016年8月末現在709ポイントとなっている．

(ホテル室内)

(公園ベンチ@栃木県庁前)

図 4　プチ運用状況

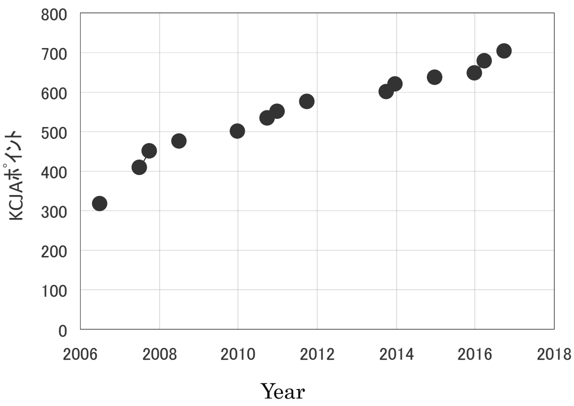


図 5　KCJA ポイント推移

また，表 1 は 144MHz/430MHz バンドも含めた 10.1GHz までの CW モードでの QSO 状況である．◎／○がスケジュールを組んで行った QSO である．このうち，◎はマイクロウェーブ関連 ML のメンバに依頼したものである。これらの大半が現地乗込による移動運用となっている．9 月中旬に岩手・秋田・青森の東北 3 県を回ったので，もう少し実績は増えている．現在の予想としては，長野，山梨，福井，富山あたりが最後まで残りそうである．24GHz 以上は未踏領域であるため予想もつかない．

表 1　CW QSO 状況

	144	430	1200	2400	5600	10GHz	
北海道	○	○			◎		北海道
青森							青森
岩手							岩手
秋田							秋田
山形							山形
宮城					◎		宮城
福島							福島
新潟		○	○		◎		新潟
長野							長野
東京					◎	◎	東京
神奈川							神奈川
千葉							千葉
埼玉							埼玉
茨城							茨城
栃木					◎		栃木
群馬							群馬
山梨	○						山梨
静岡							静岡
岐阜	○	○	○				岐阜
愛知			○				愛知
三重							三重
京都							京都
滋賀	○	○	○				滋賀
奈良							奈良
大阪							大阪
和歌山							和歌山
兵庫				○	○		兵庫
富山							富山
福井			○				福井
石川					◎		石川
岡山					◎	◎	岡山
島根	○	○	○				島根
山口	○	○	○				山口
鳥取			○		◎	◎	鳥取
広島							広島
香川					○		香川
徳島							徳島
愛媛					◎		愛媛
高知							高知
福岡	○	○	○				福岡
佐賀	○	○	○				佐賀
長崎							長崎
熊本							熊本
大分							大分
宮崎	○	○					宮崎
鹿児島			◎	◎	◎	◎	鹿児島
沖縄	○	○	○				沖縄
	144	430	1200	2400	5600	10GHz	
残り	4	4	7	42	18	21	96

○：スケジュールQSO
◎：マイクロウェーブML関係者とのスケジュールQSO

QSO済

5. おわりに

10.1GHz までの各バンドにおいて 47 都道府県での運用局との QSO が現在の目標であり，体の動く限り挑戦を続けたいと考えているところである．CW 運用可能な各局との QSO を強く望むものである．

あわせて，より多くの SHF 愛好家との交流やアマチュアバンド維持のため，CW のみならず SSB や DATV などの領域にも入っていけるように知識と技術を蓄えたい．

参考文献

[1] 増沢隆久, “QSO のダイゴ味，QRP 運用，タッチキーヤ内蔵，フルブレークイン，50mW, 500mW 切替え，7MHz CW 専用トランシーバ (第 1 回回路解説編)”, 電波科学，545，pp. 153-161, 日本放送出版協会，1978.2.

[2] 増沢隆久, “QSO のダイゴ味，QRP 運用，タッチキーヤ内蔵，フルブレークイン，50mW, 500mW 切替え，7MHz CW 専用トランシーバ (第 2 回製作実技編)”, 電波科学，546，pp. 227-234, 日本放送出版協会，1978.3.

[3] http://kcj-cw.com [2016.9.1 閲覧]

[4] http://www.ogose.org/ [2016.9.1 閲覧]

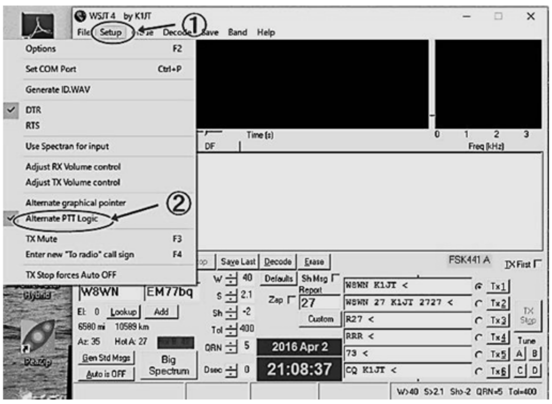
CW スペクトラン表示方法

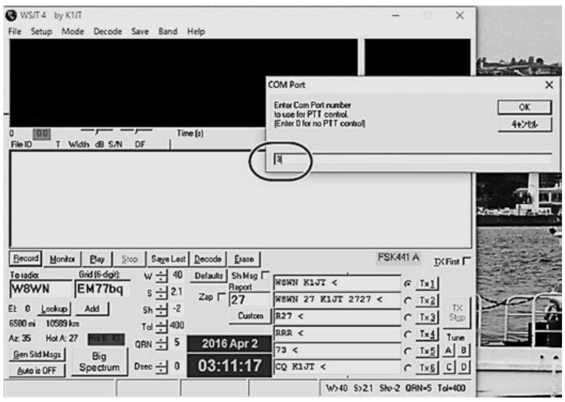
2016 年 4 月 2 日　JA1WQF　笠井三男

　EME 通信において微弱な信号の存在や周波数（位置）また自分自身のエコーを確認するなど、スペクトラン表示は大変に有効な手段です。
　皆様から要望もあり、簡単な導入方法と運用の説明を致します。
ここでは WSJT では古い「WSJT4」と言うバージョンのスペクトラン部分を使用したものをご案内致します。
（別に WSJTX による自動エコーモードを含めたもを別途記載いたしました）

１）プログラムインストール
　K1JT で検索します
K1JT→WSJT HOME→WSJT　と追いかけて行き
WSJT4.9.8 ダウンロード　から落としてください。
セットアップウイザードが付いていますのでインストールは簡単です。
オール Next または Yes で OK です。
　そのままですと C:¥ProgramFiles(X86)¥WSJT のフォルダーにインストールされます、普通問題はありません（ありかを覚えておいて下さい）

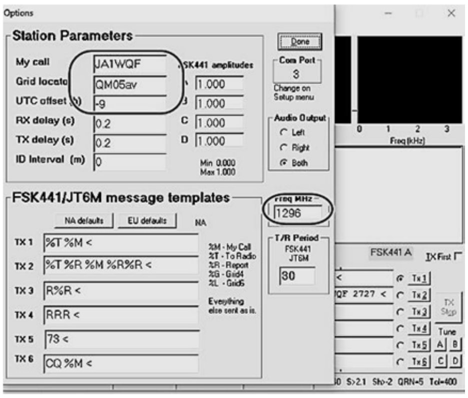
２）基本設定

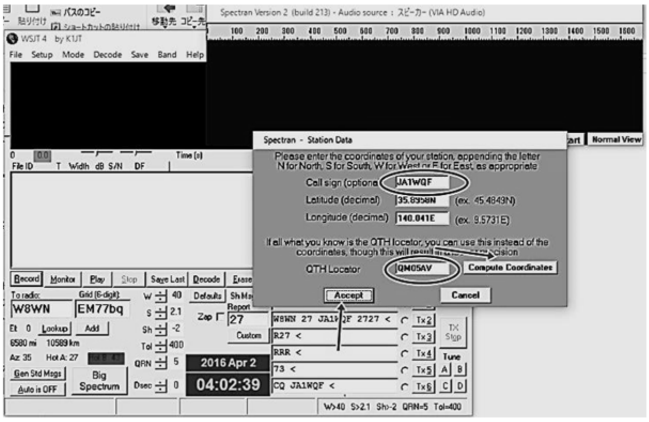




インストール終了後 WSJT4 を立ち上げますと上左が開きますので、画面上の①「Setup」をクリックし DTR にチェックを入れた後で②PTT をクリックすると右上が開きます。
　これはスペクトランを見るだけですと関係ないのですが、この WSJT4 独特なエコーモード（新しいバージョンの WSJT9 や WSJT10 より私は好きです）を見る時に必要です。
　今後使用するように必ずなると思いますので設定しておきましょう。
取り敢えず「３」位で（設定するだけです３で問題が出た場合後で修正）

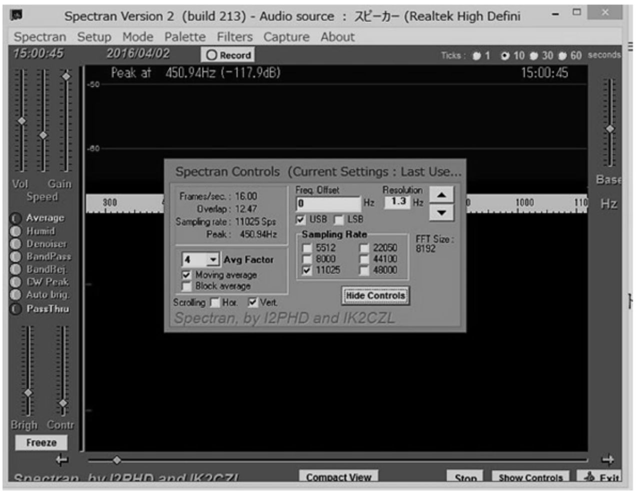
A) Setup の Options を押す　　B) Setup の Use Spectran for input を押すと





左 A)のマイコールとグリッドロケーター、JST 時差、周波数を入力し「Done」

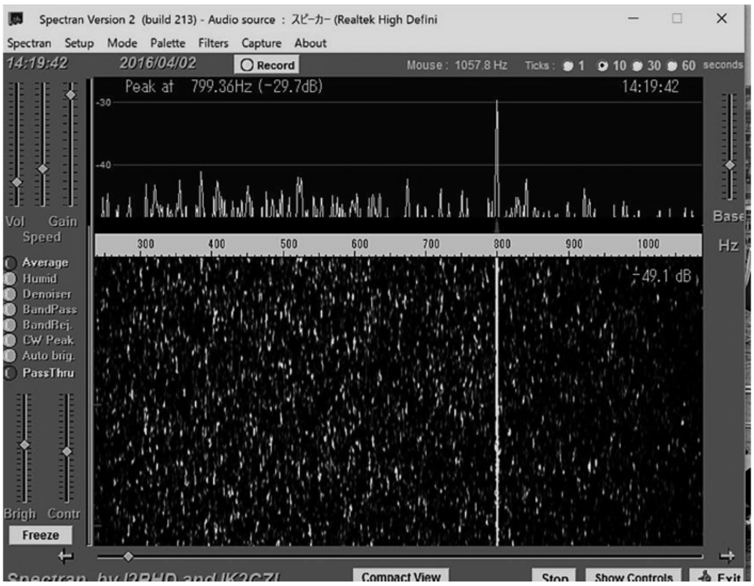
右 B)を押すとスペクトランの Compact view と Station Data が出ますので
　ここでもマイコールとグリッドロケーターを入力し右ボタンを押します
上欄に緯度経度が自動で入りますので Accept を押し確定して下さい。
　（最初この画面隠れているかもしれませんので引き出してください）
＊ここでスペクトランの Normal view を押しますと通常の大きな画面が出て
　来ます、これは立ち上げ時に毎回の作業になります。



↑
右下の Spectran　Controls を押し中央の画面を出します。
あとは、この画面通りに入力してください。

◎設定はこれだけです、文章で書くと「めんどくさそう！」ですが超簡単です
　のでご心配なさらず設定を終わらせてください、普通一度のセットでこの
　部分をさわる事はありません。

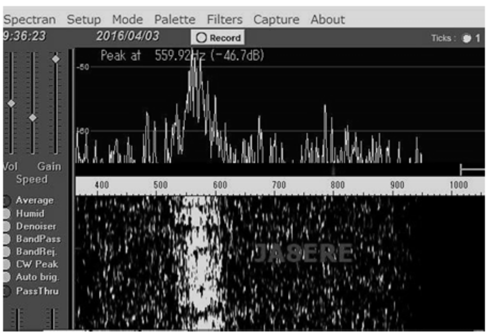
３）運用



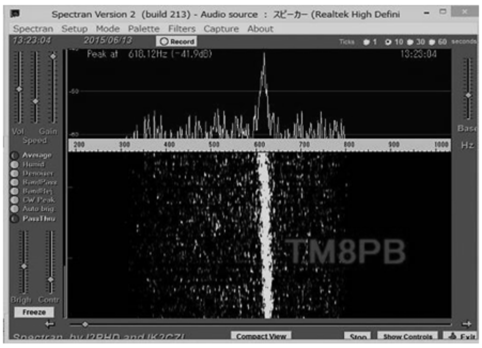
A)まずリグの SP 端子から（スピーカーとパラで取りだせる端子）AF 信号を貰い、PC のマイク入力に入れます。
（通常 3.5mm プラグのモノラル オスオスで接続）
立ち上げ時に出ているもう一つのテキスト画面は「スペクトラン見るだけ」の場合不要ですので、かわいそうですが×して消して OK です。
B)上画面の様に赤ポッチやスライダー位地を真似して設定して下さい。
そしてリグ親機のみでも OK ですから ON し雑音を PC に入れて下さい。
C)多分いつも聞いている音量では PC のマイクレベルは相当絞った位置になると思います。大体上写真の雑音レベルに一先ず合わせて下さい。
D)SG から IF 周波数の 1270MHz を受信しました､この様に見えれば OK です。
CW モードですので SG を 1270.000MHz 固定で受信ダイアルを 800Hz に合わせます。この時のリグの読みが無線機の周波数ずれです（正確な SG の場合）
TRV あるいは親機のどちらかで周波数校正いたしましょう。

４）CW スペクトラン参考例

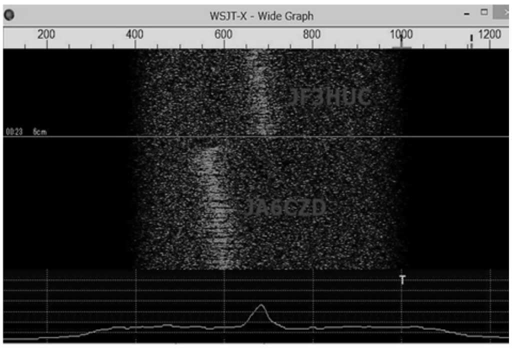
JA8ERE 6cm 強烈!!

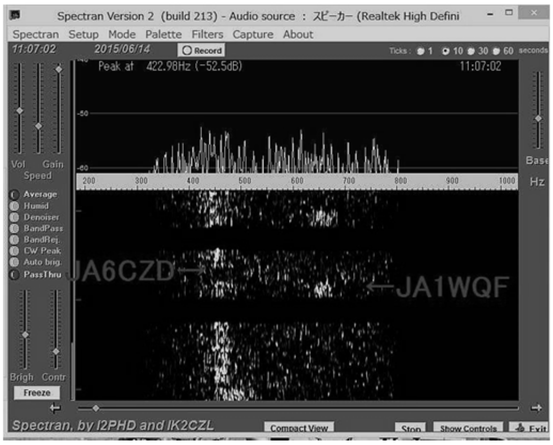


こちらも強い TM8PB 6cm

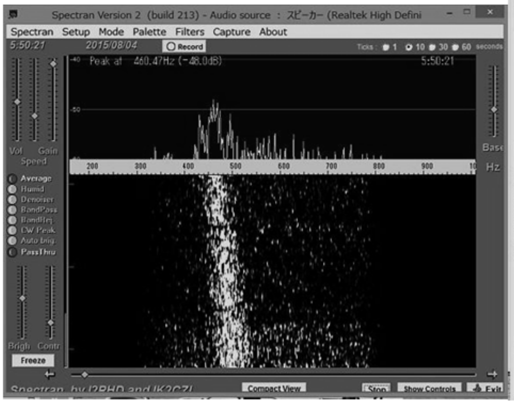


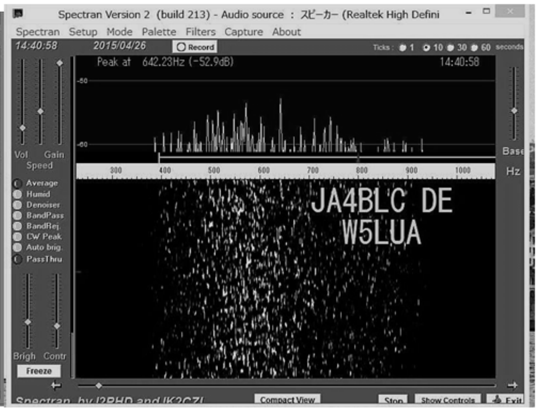
6cm WSJTX のスペクトラン　　　6cm WSJT4 の画面（信号比較中 Hi）





3 ㎝ CW JA4BLC　　　24GHz　W5LUA





参考例からも分かりますがレベル比較やエコーテストには WSJT4 のスペクトランが、また比較的広い範囲で信号を探るのには WSJTX などのスペクトランの方が適しています。

5）まとめ

実際に運用し、上のスペクトラン各スラーダー合わせやマイク VR などを
調整し使いやすいポジションを決めて下さい。本スペクトランを使う事で
◎弱いエコー（耳で聞こえない物も）見る事が出来る
◎周波数が少し離れた所にいる局も見つけることが出来る
◎相手局とゼロインがしやすくなる
◎信号強度の比較が出来る・・自局のレベルも（月の遠近やアンテナ改良）
◎記録として残せる、これは様々に使い道が有ります
其の他にもメリットがたくさん・・・
さらに EME 通信が楽しくなります、どうぞ有意義にお使いください。

WSJTX ドプラーキャンセル設定と CW モードの応用

2015 年 12 月 1 日　JA1WQF　笠井三男

数年前からマイクロウェーブ帯を利用した EME 通信を楽しんでまいりましたが、周波数が高くなりにつれドプラーシフトによる影響が非常に多く、通信を煩雑にしている大きな原因の一つでした。

しかしここ数年でデジタル通信部門、しかもマイクロウェーブ帯の EME 用にドプラーコントロールを備えた WSJT ソフトが開発され、10GHz や 24GHz の EME 交信で試験運用、ソフトウェアのアップグレードが繰り返され 2015 年 11 月末に待望の一般流通版が **WSJTX- 1.6.0-rc1**　としてリリースされました。

ソフトの基本は WSJTX 1.6.1 devel として 2015 年初めからテスト版が一部で公開され、私もこのバージョンで CW モードによる試用をしていました。

12 月 1 日　JA4BLC 又賀さんの協力により WSJTX を使用した交信テストを行い、CW 運用においても十分実用可能な事を確認致しましたので私自身の記録とし纏めました。皆様方の参考になれば幸いです。

＊WSJTX は CW モード ドプラーキャンセル受信システムとして利用も有効で他に発表した CW スペクトラン表示と合わせての運用がより効果的です。

ここでは TS2000 の接続運用を例にしておりますが他の機種でも同様な考えで設定することが出来ると考えます。

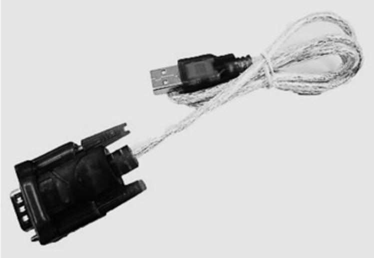
１）インターフェース

A) PTT　コントロール

一般市販の高級（高額）な物もありますが今回は PC の RS232C 端子からの信号を使い、数百円の部品で PTT 切り替え回路に接続します。

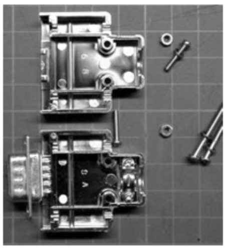
皆様がたはすでに LNA 保護や PA コントロールでスタンバイ回路をお持ちと思いますので、これをご自分の PTT 回路に接続して下さい。

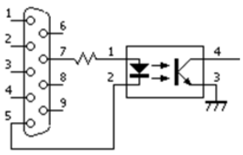
イ)シリアル＜＝＞USB 変換



ロ)RS232C　メスメスケーブル

スタンバイにリグコントロール用とは別にシリアルUSB変換とRS232Cのメスコネクターを用意し、下図の簡単な回路をコネクタカバーに組み込んで下さい。
下の接続例はRTS例で今回のDTRは4番5番ピンになります。



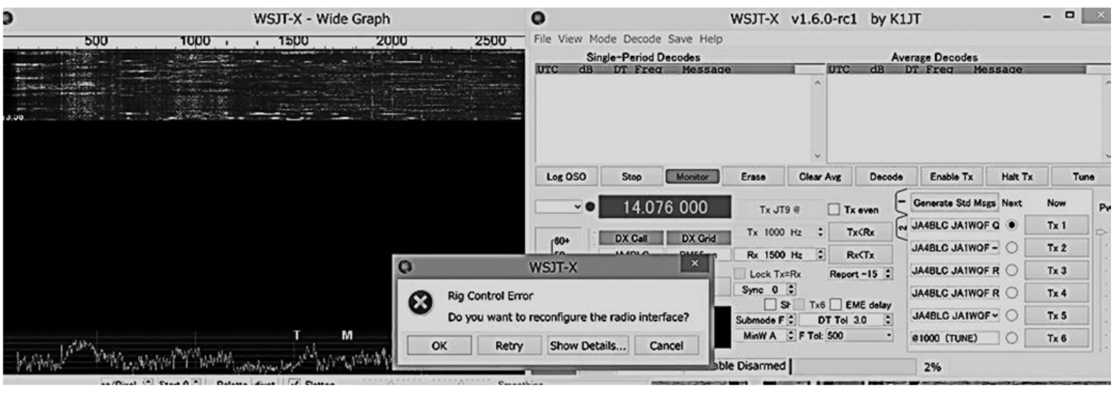


出力端子4→PTTに至る

回路は上の様なフォトカプラーを使用したもの、あるいは単純に4番ピンをトランジスタのベース、右4番をコレクタにしても良いでしょう。
＊PCにシリアル変換USBを挿入しデバイスマネージャーを見てどこで認識しているかメモして下さい。（COM2, 3, 4 etc・・・）
B) TS2000 周波数コントロール
これにも イ)シリアル＜＝＞USB変換 を使用します。
TS2000の通信ポートRS232Cはオスコネクターですので接続用にロ)RS232Cメスメス ストレートを使用します、ケーブル長は使用環境により決めて下さい。
USB→RS232C変換→RS232Cケーブル→TS2000で接続。
＊何と、これだけでインターフェース準備は終了です。
スタンバイ回路同様にデバイスマネージャーを開きCOM03,04etc…を確認メモ。

2）ソフトウェアのダウンロード

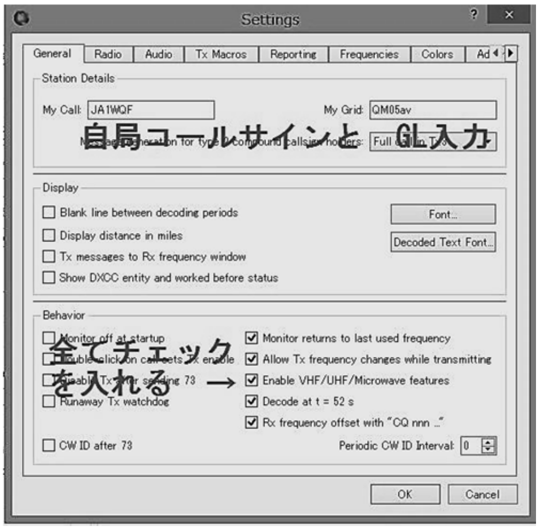
皆さまご存知のK1JT　http://physics.princeton.edu/pulsar/k1jt/　から
WSJTXを左クリックしてwsjtx-1.6.0-rc1-win32.exe
(ウインドウズの場合）でダウンロードしてください。
手順に従い「yes,yes,yes」で簡単に進みます。
すると下の画面が出るはずです。

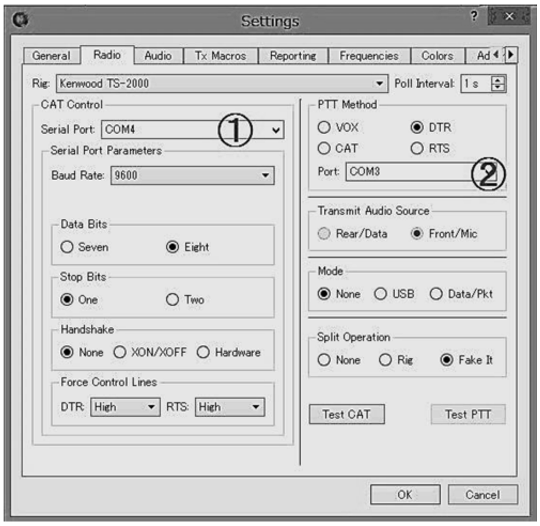


この画面では　　　　　　　↑このOKを押してください。

３）WSJTX 基本設定

前ページ「OK」を押すと Setting 画面が出て来ますのでそれぞれ設定します



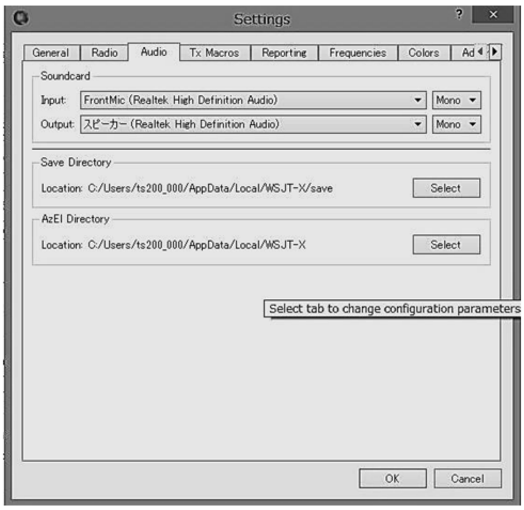


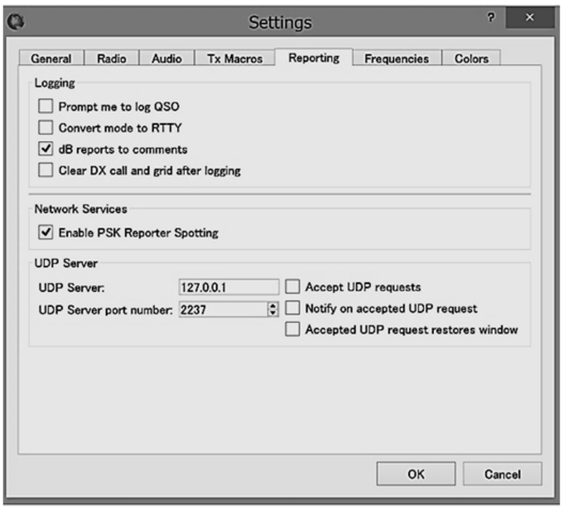
General　上の通りコールサインと GL そして右下に全部チェックを入れる。

Radio　　①は前記した TS2000「コントロールの COM ポート」

　　　　②は PTT「スタンバイの COM ポート」を入れてください。

＊ リグの選定をします、その他は上の様にチェックを入れてください。





Audio　　　設定済みで OK と思いますが、オーディオエラーが出る様でしたら
　　　　　ご自分の設備に対応して下さい。

TX Macros　ここでは何もさわりません。

Reporting　　これも初期設定で問題ないと思います、UDP　server に違う
　　　　　表現があるかも知れませんが動けば問題ありません。

Frequencies　これはさわらなければなりません重要、この次に個別で。

Colors　　　初期設定のままで OK でしょう。

Frequencies

＊設定で重要な項目です。画面では下の欄 Station Info.の画面はすでに入力されていますが初期設定は空白です。

＊まず､Frequency 欄から必要な周波数をマウスでドラッグして下 Band 欄に。

Offset にトランスバーターの「局発周波数」を入力します。
（これはトランスバーター使用のバンド全てに対し入力してください）

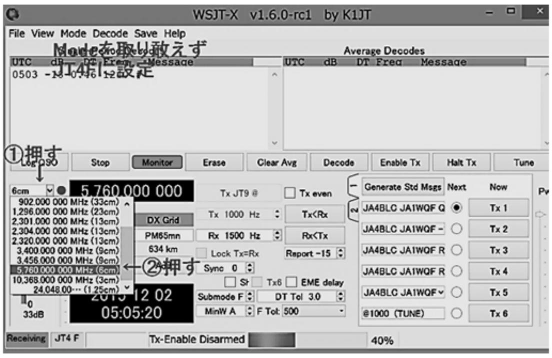
たとえば私の場合 6 ㎝バンドは IF が 1270MHz ですので 5760MHz－1270Mhz＝4490MHz、下側ヘテロダインですので「－4490」を入力します。
ほかのバンドも同じように「登録」して下さい。
これを間違えると実動のドプラーコレクションが出鱈目になりますので要注意

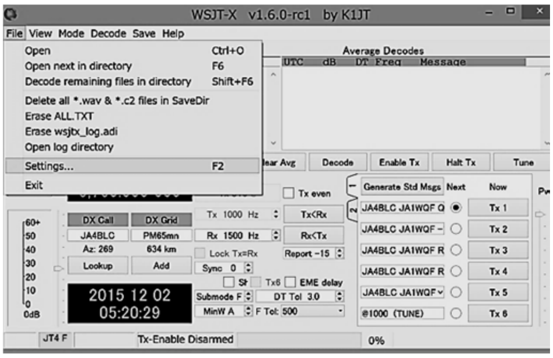
◎Frequency Calibration　A)ここ重要です
周波数基準合わせでこれもまた「非常に重要な所です」ここでは話が跳び分かりずらいので後で解説させて頂きます。

◎各ページで設定が終わりましたら｢OK｣ボタンをそれぞれで押してください。

4）WSJTX 基本設定確認

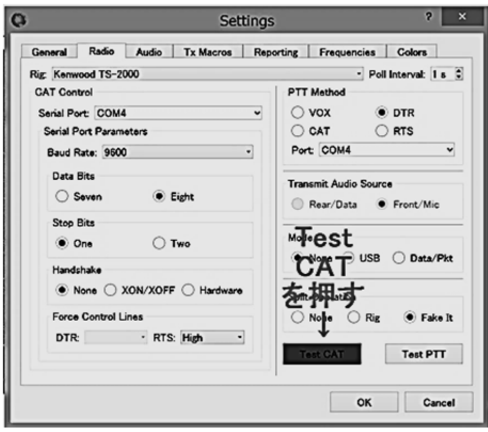
これで初期設定が終わりました、簡単でしょう。
それではいよいよPCとリグを接続します。(PTTはまだ繋がない方が良いです)
リグのスピーカー端子からPCのマイク入力、PCのスピーカーからリグのマイク入力へ。それぞれ接続は環境によりお考えください。
そしてPCから **USB-RS232C 変換経由の RS232C** メスケーブルを TS2000 の後部コネクターに差し込んだ後PCにUSBを差し込み、TS2000電源ONします。前頁Settings画面の×を押し、これを一旦消します。

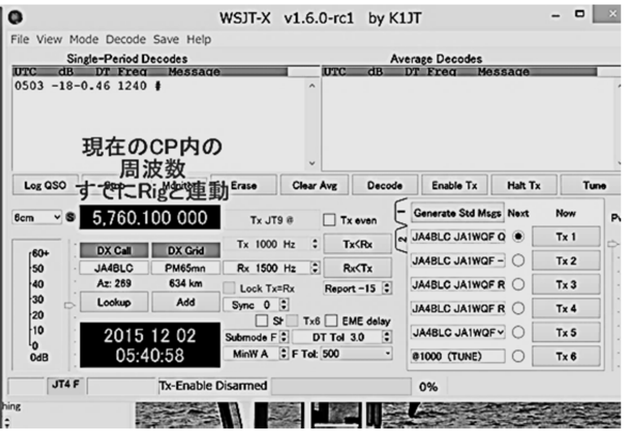




まず周波数欄の①押すのVを押して、各バンドリストの②押すで取り敢えず先ほど設定した5760を選定しましょう。
次に上の方「Mode」を押しJT4を選定し、日付欄の右Submodeの▲でFにします。これで左下黄色部分が変わり「JT4F」これが運用モードになります。

次に上右側、Fileを押し　Settingsを押すと先ほど消えたSettingsが再度現れます。（下左）＊注 このComポートはそれぞれで違います３ページ参照

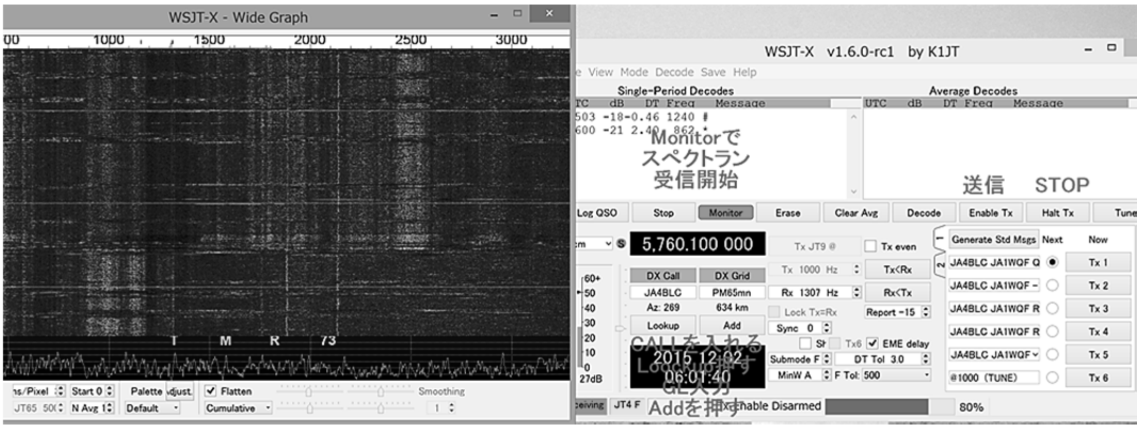




基本設定確認です、Test CATを押してください、上の様に緑になりましたら設定完了OKです、もし赤でしたらどこかが違います再確認してください。
右がWSJT基本画面でTest CAT緑ならば既にPCとRigは連結しています。

5）WSJTX 運用設定

基本設定が完了したウオーターホールとメインスクリーン



ここの初期設定を覚えていて下さい、WSJT を使用する場合この設定を使用。

＊共通基本操作

　メインスクリーン Monittor でウオーターホール受信開始、Stop で停止。Enable Tx で送信開始、Halt Tx で送信停止です。

＜重要＞　DX Call にお相手の Call を入れ Lookup、DX　Grid にロケーターを入れて Add。そして確定画面が出ますので OK

　このグリッドロケーターで全ての周波数管理をします。一度入れれば GL は記録され次回から Call 入力→Lookup で GL は自動で出ます、暇なときに色々な局データを入れておきましょう。

＜CW 設定全体画面＞

前ページCW設定画面内容を下記します、「ウォーターホール下」の設定事項は画面を見てこの通りに変更して下さい。(後でご自分なりに・・・・)

A) メインスクリーン

＊正しい周波数表示(リグの周波数と必ずしも同一でない)
＊送信開始のEnable TX
＊WSJTモードの時のデコード内容表示(CWでは関係ない)
＊WSJTモードのメッセージ選択(CWでは関係ない)
＊File(左上)からSettingsや色々な機能を呼びだす
＊相手のコールサインの入力
＊Viewからスクリーン表示項目の選択、Modeで通信モード設定
＊その他の設定など中心的な表示画面です。

B)ウオーターホール

＊CWにおいて受信キャリアを800Hzに合わせた所が周波数表示です。
＊上下数百Hz離れて、聞こえない局も「何処にいる」が良く見えます。
　このスクリーン機能はもっと広範囲の周波数帯を見る事もできます。
＊勿論自分のエコーもこのスクリーンで見る事が出来ます。
＊WSJTでは基本的に1270Hzが中心(周波数表示)になります。
　初期設定はこの位置と思います(CWは800Hzにします)
＊その他機能は追々勉強しましょう。

C)Astronomical Data

＊自局の月位置、自己ドプラー、Dx局月位置、ドプラー(これはミューチアルです)、太陽位置、その他重要項目を表示しています。
＊一番下Doppler trackingにチェックを入れると右半分が出て来ます。
　このチェックを外すと何も設定していない状態に戻ります。
＊**Frequency＊＊＊**　②設定周波数を入力(最重要)スケジュール又はランダムで見つけたDX局の周波数を入力します。
＊**Doppler tracking**　3種類あります、上から
　Full Doppler　ドプラー管理していないDX局を固定周波数で送受して貰いこちらも同じ周波数で固定、PCが送受とも自動ドプラー補正。
　Constant　月面位置での標準周波数にPCが合わせ送受信するモード。どこの国、地域でも100KHzならば100KHzで送受共通。
　Normal　上のFrequency＊＊②で設定した周波数になります(ここでF調整)
◎基本的にこの3画面を常にスクリーン表示し運用そして確認をします。

D)Settings Frequency 画面

前々ページ CW 設定全体画面に入れ込みましたが、これは File→Settings で
呼びだしたもので通常は表示しません。
Settings のなかで Frequency 設定も大切ですのでこの部分を書き出します。

　デジタルに関わらず周波数管理が重要でトランスバーターと親機の総合周波数確度をここの Frequency Calibration 画面④で調整致します。
SG で正確な設定周波数を出し、CW モードで受信しスペクトラン表示 800Hz になる様ににします。
もし正確な周波数基準が手元にない場合、信頼できる Dx 局（相手局）の周波数にここで合わせます。

６）WSJTX による CW 運用

前ページ Doppler tracking で選んだ「Full Doppler と Constant モード」は
そのまま CW を送ることが出来ます。
A)受信ドプラーキャンセルを使用した半自動モード（仮称）での対応
　（相手局エコー周波数に合わせた送受信）
<受信＞
　Full Doppler モードを選定、SKED 相手局の GL を設定し指定周波数を受信すればドプラーキャンセルで綺麗な直線がスクリーンの 800Hz に見えます。
　また、ランダムの場合取り敢えず 100KHz 等に周波数設定し RIT で周波数サーチし、周波数確認後 Astoronomical data に該当周波数を入力します。
　800Hz 中心でなくても普段聞きやすいオーディオ周波数でも OK です。
＜送信＞
　ここでテクニック、XIT（送信側の RIT)を使用し「マイナス自分のドプラー周波数」に合わせ送信、これで自分のエコーも DX 局と同じ周波数になります。
例えばセルフドプラーが＋200Hz であれば「－（＋200）＝-200Hz」-200Hz。であれば「－（-200）＝＋200Hz」です。そして周波数ずれもここで調整可。

　スタンバイ後受信の DX 局は「再度スクリーンの同じところに直線で見えます」送信前に再度 XIT でマイナス自分のドプラー周波数に合わせ SEND。
　DX エコーに周波数合わせは受信ドプラーキャンセルになり超便利です。
＊但し自局周波数はドプラーキャンセルされません。
（CW 送信モードも自動でキャンセルする様プログラム変更お願いしてみます）
＊今の所、半自動モードの送信 SW は手動で従来の物をご使用下さい。

B)送受ドプラーキャンセル全自動での QSO

＊もう一つ、「Doppler tracking で選んだ Full Doppler と Constant モードはそのまま CW で送ることが出来ます」と書きましたが
本来の機能「送受共に完全に周波数を同期させる」には PC 任せにします。 つまりメインスクリーンの「Enable TX」を押し（以降周波数は自動）
PC 設定時間 1 分間を手動 TX ボタン、そして CW を送ります。

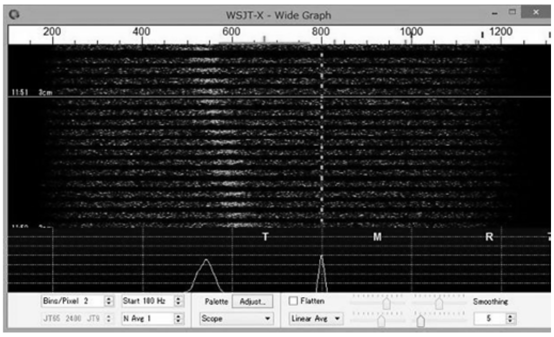
現在の所この二つのモードは WSJT 用にプログラムされた 1 分シーケンスに限られます(実際は 50 秒程度の送信時間、1 分間の受信時間)
SKED が First かどうかも選択して下さい。

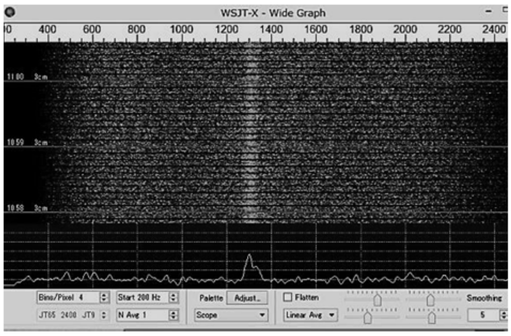
＊これら WSJTX の CW モード使用に不便な所を WSJT 開発グループに報告しプログラムの改善をお願いします。

7） WSJTX による CW 表示例

A)セルフエコー比較

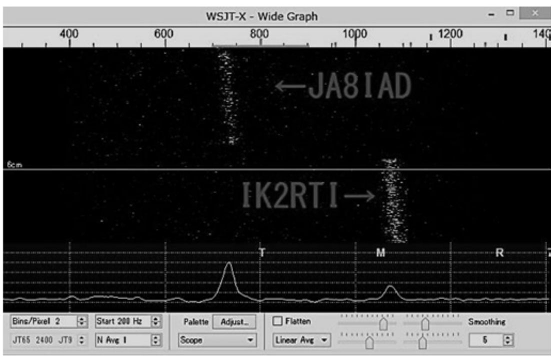
ドプラーキャンセル無しの 3 ㎝エコー　　本プログラムで受信のエコー

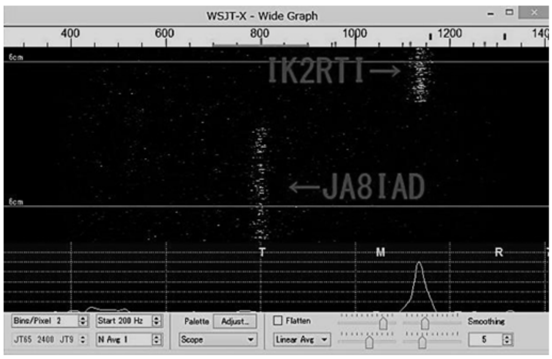




B)周囲の確認もできます

約 300Hz 上で鳴海さんへコールあり　　その時のドプラーキャンセル画面

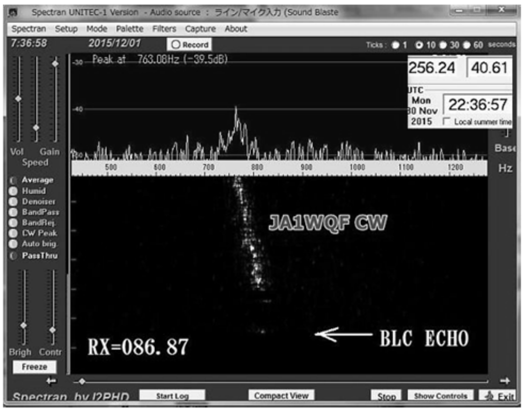


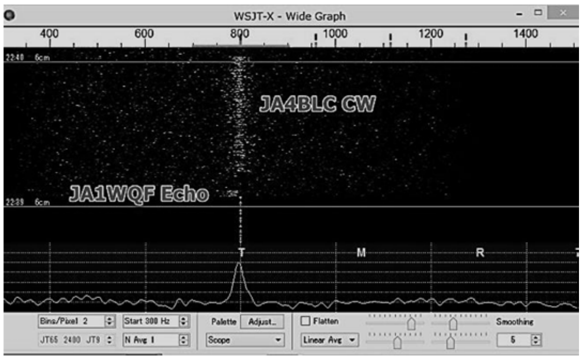


約 300Hz 上で IK2RTI が呼んでいましたが鳴海さんはなかなか気が付きませんでした、しかしこの画面で一目瞭然です。
TS2000 ノーマルで約 2.5KHz 幅を見る事が出来ます。

C)半自動モードでの交信

又賀さんから頂いた受信画面　　　　WQF ドプラーキャンセル受信画面





比較的低い周波数 5GHzEME でも実際は上左の様にドプラーシフトで短時間に周波数が動き、この傾斜で大きく外れ捜すのも大変です。

ドプラーシフトは周波数に比例します

仮に 24GHｚでも右の様に何分経ってもドプラーをキャンセルし定点に直線信号として聞こえます。

以上、今回のセッティングとリグコントロールは物凄くめんどくさい様に感じますでしょうか？

これはくどく説明・解説した為もあり実際は読み飛ばし、皆さまの経験で「適当なセッティング」をして動く事と思います。

皆様も WSJTX を利用した CW によるマイクロウェーブ EME（1200MHz あたりから有効と思います）の便利さを是非お試し下さい。

JA1WQF　笠井三男

TS2000 基準周波数 PLL 改造

2016 年 10 月 5 日 JA1WQF　笠井三男

マイクロウェーブ運用の大半の方がトランスバーターを使用し、その親機として、また 1200MHz までのオールモード機として世界的にも KENWOOD TS2000 が多く使用されています。

　マイクロウェーブではビーム方向の調整、EME 通信においては刻々変わる月位置さらに煩雑なドプラー周波数を考慮しなければならず、せめてお互いのリグ周波数だけでも正確に管理しておきたいものです。

　最近の技術進歩により例えばトランスバーターは PLL 化が進み 24GHz でも Hz 台の管理が出来る様になってきました。

すでに周波数安定度はメーカー製リグ、親機その物の問題になりつつあります。

　そこで現用の TS2000 2 台のリファレンスを PLL 化し安定動作させるべく作業にかかりました。

ここでは

1）TS2000 周波数安定度

2）どこをどのように改造するか

3）TS2000　改造作業

4）基準周波数 PLL 化とあと作業

5）PLL 改造済み品とオリジナルの比較

に関し説明して行きたいと思います。

1）TS2000 周波数安定度

　現在私が楽しんでいるマイクロウェーブ EME に関して私たちの要求周波数安定度（表示周波数＋安定度）は±50Hz の範囲内を守りたく思います。

1-1 リグ周波数表示と安定度の現実

　先日 2 台の TS2000 の周波数確認を致しました

TS2000（B）＋100Hz のズレ

　内臓 FAN ON/FF 機能継続　TCXO 発泡スチロール保護 半年前校正

TS2000（A）－840Hz のズレ

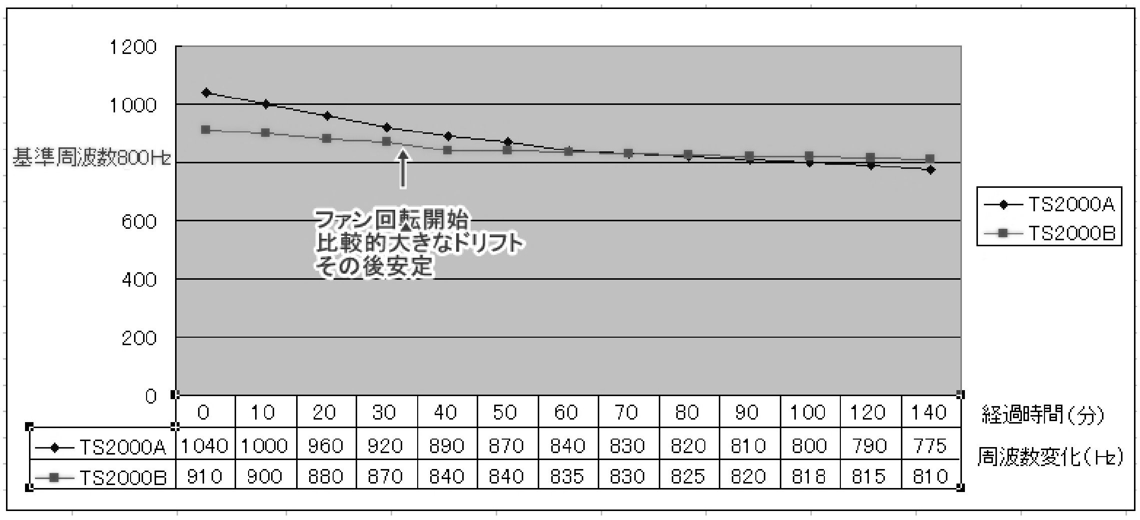
　間欠冷却ファンを連続回転に改造、でもよく動くので TCXO を交換　TCXO 断熱保護無し　1 年前校正

　(ファンが回転すると TCXO 裸で約 100Hz 動きます（断熱し 30Hz))

＊この様にほっておくと結構ずれます

1-2 リグの周波数安定度(校正後)

校正完了後電源 OFF、3 時間経過後に再度電源 ON の周波数推移です



	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140
TS2000A	1040	1000	960	920	890	870	840	830	820	810	800	790	775
TS2000B	910	900	880	870	840	840	835	830	825	820	818	815	810

この様に SW-ON 後保護をしていない場合 1 時間で 200Hz も動いてしまいます
＊上表からウオームアップを出来れば 1 時間したい所ですね。
＊TCXO を発泡スチロール等で断熱した結果はかなり有効です。
＊環境温度変化によるドリフトあり、**確認と定期的な校正が必要。**

この様に毎日の周波数ドリフトと環境変化による基準周波数の変化が多く
何時でも正確で安定した周波数基準を求め PLL 改造に取りかかりました。
(TS2000 だけが多くの問題点を抱えているのではありません、現行機種の中で
1200MHz バンドは周波数や、ある部分に関しましてはむしろ優れています)

2) どこをどのように改造するか

では、どうするかですが今までの他機種 PLL 化例と同様に基準周波数、リファレンスを安定化します。
TS2000 の場合この 15.6MHz を安定する事となり方法はいくつか考えられます。
2-1　PLL 化改造した TCXO を本体に載せ変え外部から 10MHz 基準を入れる
2-2 本体回路をそのまま残し安定化した 15.6MHz を次ページ A 部から入れる
2-3 本体回路をそのまま残し安定化した 15.6MHz を B 部から入れる
＊PLL 回路製作をお願いした JF1WKX 勝間さんとも相談し今回は B)を選択、
オリジナル回路にも比較的簡単に戻せる方法と致しました。

＊実際の作業は込み入ったデリケートな部分の改造を含み作業開始にあたっては
ある程度の困難を覚悟した上で開始した方が良いと思われます。
次ページに VK 局 HP より転載の回路図から作業内容を確認ください。

下 A)案は TCXO 出力のプリントパターンをカットし外部から 15.6MHz を注入
B)案はバッファアンプ出力をカット注入する方法でともに復旧を楽にする為
本体 TCXO は発振させたままです。

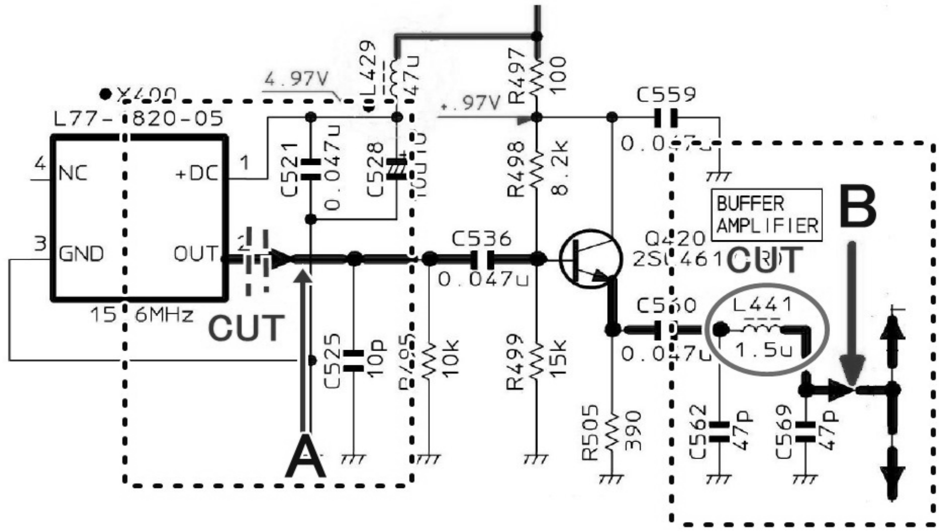
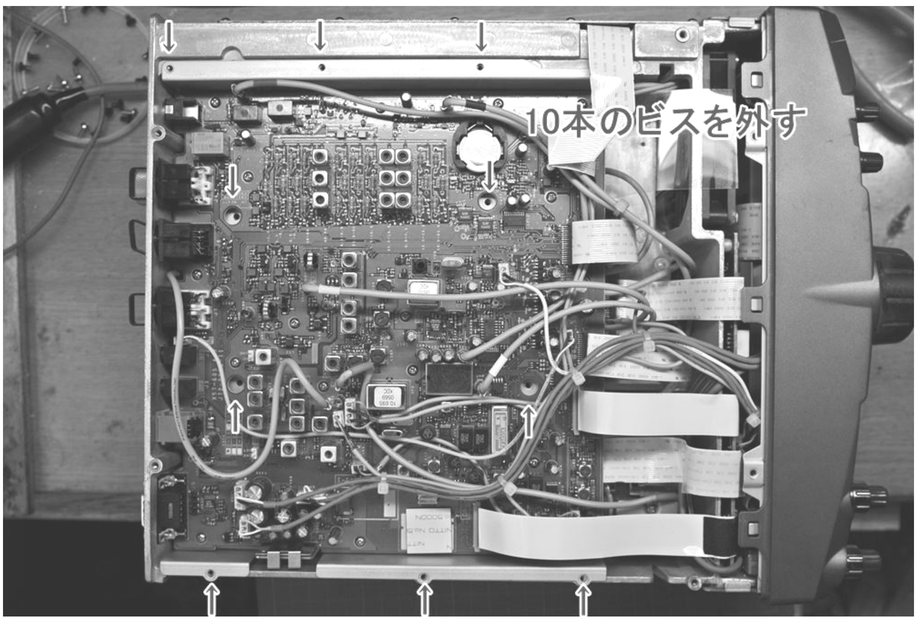


Figure 1. - Kenwood TS-2000 Reference Oscillator Circuit

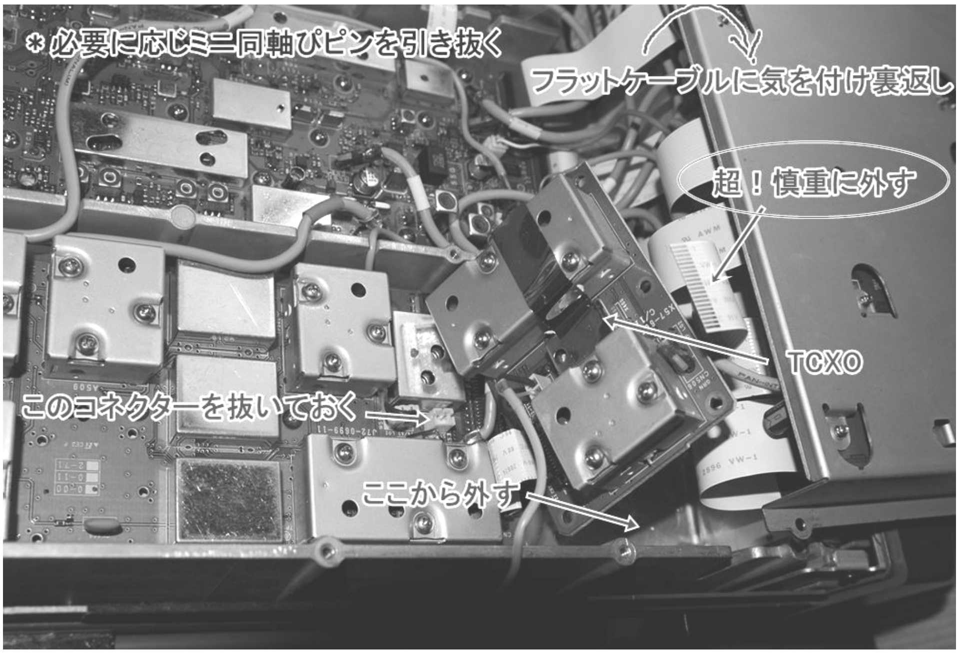
3)TS2000　改造作業

3-1　TS2000 15.6MHzTCXO 基板（リファレンス基板）を外す、　面倒です・・・

＊裏蓋を外しサブシャーシ側面 6 本と中央 4 本のビスを外して上側基盤を外す
　写真後部中央の同軸ピンも下の基板から外す
（フラットケーブルやコネクターなどは極力外さない方向で作業します）

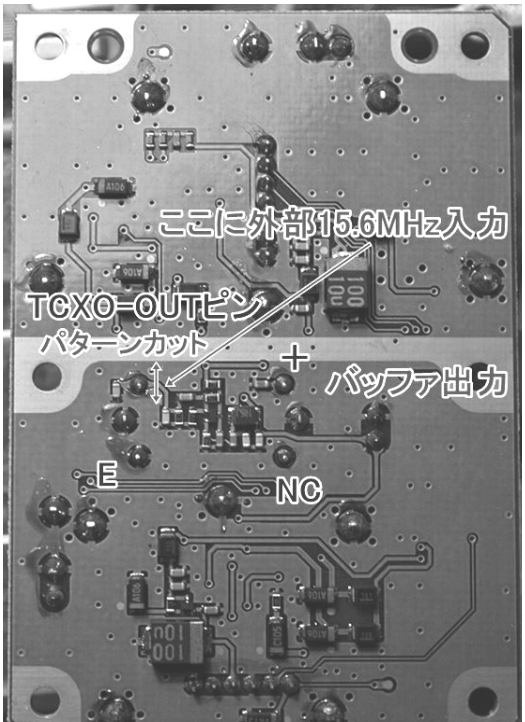


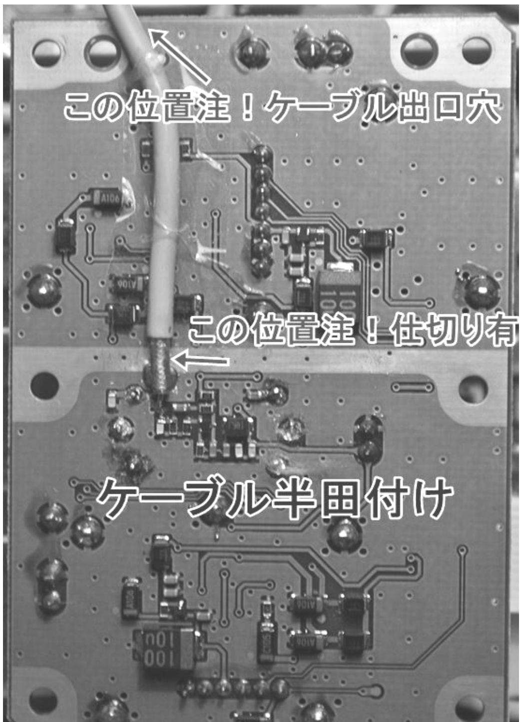
＊フラットケーブルを傷つけない様慎重に上側基盤を 180° 倒し本などの台に載せて作業、特に一か所フラットケーブルを外します作業要注意！！



＊左　TCXO 基板を裏側にしてパターンカット（元に戻すにはケーブル取り除きパターン修復で OK）もし自信のある方は TCXO を取り外しても OK です。

＊右　ケーブル半田付け。中央部分はケースダイカスト仕切りが有り、削り取りますので位置を記録、ケーブル出口も穴位置確認する事。



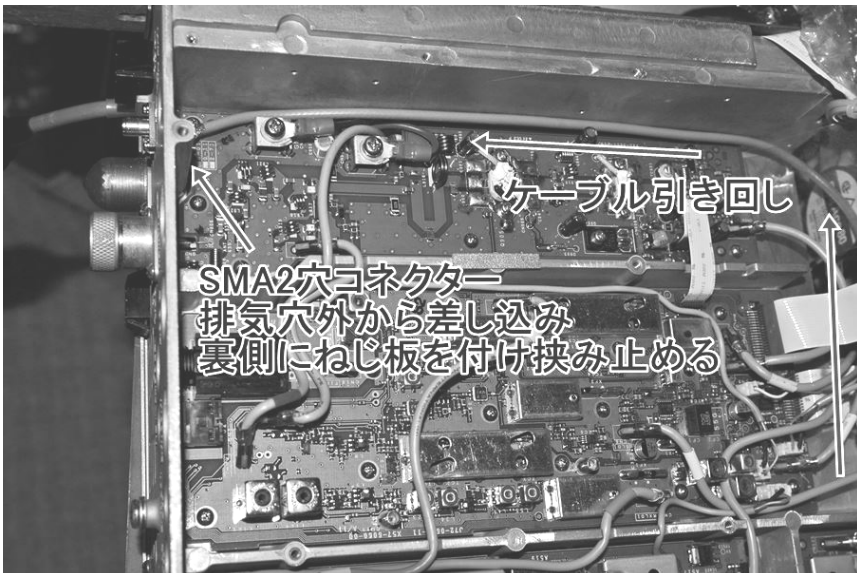


3-2 ダイキャストフレームを削る

シャーシが区切られていますので15.6MHz同軸を通すため仕切りをリューターで削ります。

3-3　ケーブル引き回しとコネクター

隙間を這わせ下写真後方の排気口穴にSMAコネクターを取り付けました。SMAコネクターは外側から排気穴に入れ、内側のねじ切った止め金具で挟み込むようにして取りつけてあります（ケース穴あけ不要）



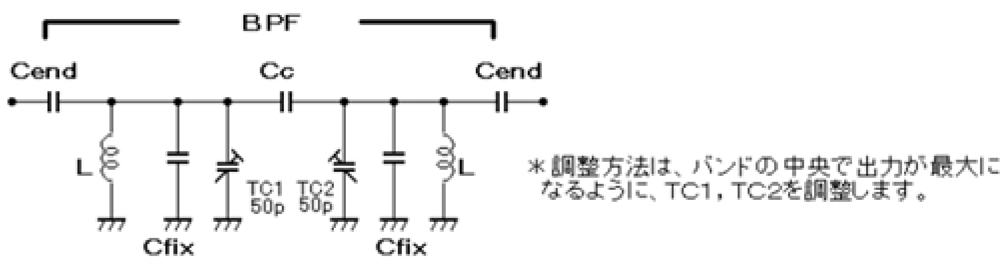
作業完了、慎重に元に戻します、同軸系統のさし忘れ、特にフラットケーブルの再挿入に注意をして下さい。

４）基準周波数 PLL 化とあと作業

以上の方法でリファレンス入口を TS2000 後部に出しました。
＊ここに-5dBm から 0dBm 程度の安定した 15.6MHz を入れれば目的達成です。
私は今回急ぐあまり 15.6MHz は特注水晶でなく Kenwood から直接 TCXO を購入し使用致しました。
しかし内部の三端子レギュレーターで電源電圧を変えても周波数があまり動かず勝間さんに相談、結局 TCXO 改造から PLL 回路まで製作をして頂きました。
PLL 回路そのものの製作発表はご本人からある事と思います。

私は TS2000 2 台を PLL ロックする為、当初から外部より 15.6MHz を入れる事を考えました。また TS2000 筐体も隙間は少なく今回製作いただいた基板を機器内に収めることは困難でした。

4-1 バラックで組み立てテスト
まず PLL 基板出力を直接 TS2000 外部増設のコネクターに接続、本体電源を入れると PLL がアンロックになります・・どうやら TS2000 の TCXO を生かしたための影響あるいは経路のノイズが原因か？暫くつつきましたが好転なしで諦めバッファアンプを PLL 出力に入れ影響を排除する事にしました。
4-2　バッファアンプと BPF
バッファアンプは皆様お好きな回路で問題ないと思いますのでお考え下さい
せっかくなら BPF を入れ少しでも綺麗な信号を・・・と言う事で空芯コイルで 15.6MHz 用を製作しました。



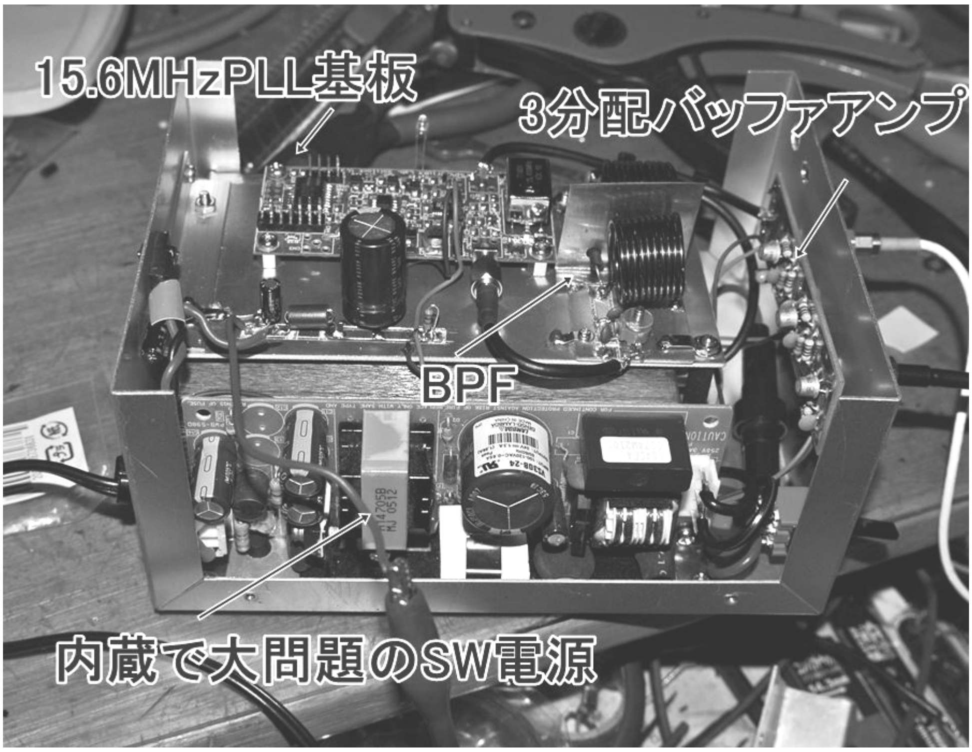
L は計算から 12mm 径 L=16mm 巻き数 15t　1mm エナメル線で巻き、固定 C は結合 Cc のみ 5pF、その他は 22pF です（要調整）
まあまあの特性で 1MHz で 10dB ダウン程度、当面の敵 10MHz は-50dB これはコイル単体測定です・・まあ配置により回り込みなど話し半分でも良いです。

さ、出来たぞでケースに（次ページ写真、10MHz 基準としてルビジューム内臓）

15.6MHz 波形は汚い、PLL 基板を組み込み時に壊したのかと思う程！？

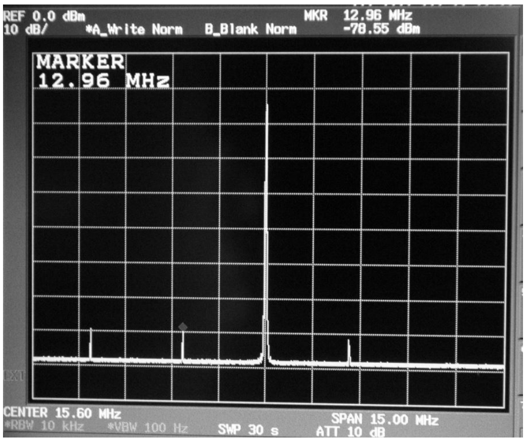
4-3　内臓 SW 電源はいけません

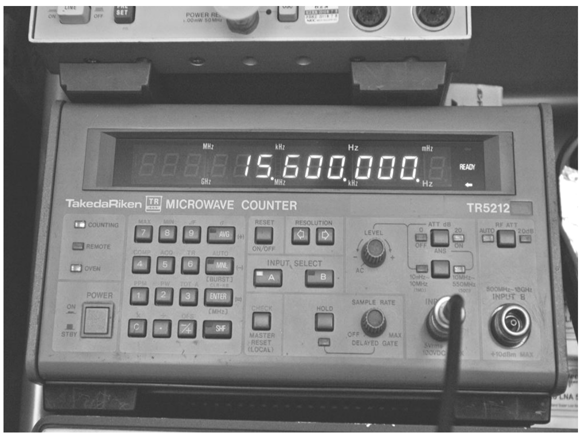
　SW 電源からのノイズでした、外部から 24V を入れると正常動作
写真の SW 電源を現在隔離、SW 電源直流成分には問題有りませんでした。



4-4　PLL 周波数とスペクトラム

右　周波数はロック後当然ですが継続安定動作しています。
左　周囲のゴミは漏れた基準の 10MHz と 12.96MHz（上下に）どういう関係か調査中。（センター15.6MHz スパン 15MH z で見ています）
BPF 調整や配線の取り回し修正してもこれ以上好転しないので次に進みました
はたして-60dB 以下のスプリアス信号、影響はどうなるのでしょうか？





4-5　TS2000 受信周波数の確度と安定度

　PLL 回路の検証が終了し TS2000 に新規リファレンス信号を入れました
＊TS2000 に PC を接続スペクトラン画面確認
GPS ロックされた SG からの 1296.6MHz は下画面の様に CW モード予定で現れる 800Hz を安定受信､今迄これがピタリとは出ずその都度校正が必要でした。

4-6　TS2000 送信周波数の確度と安定度

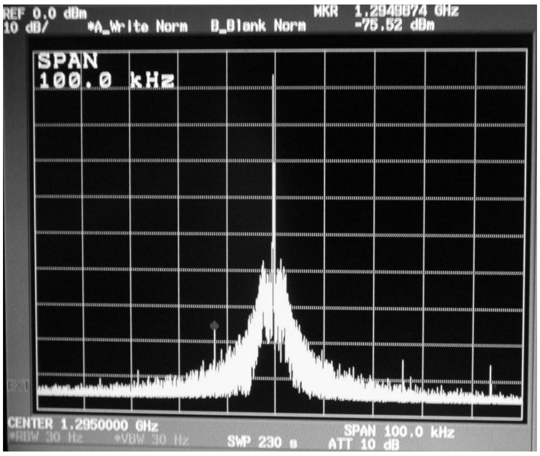
1296.600.00MHz を送信、何らかの関係で 2Hz 上がカウンター表示。
その後たまに「2Hz と 3Hz」の表示範囲で連続安定、問題ありません。

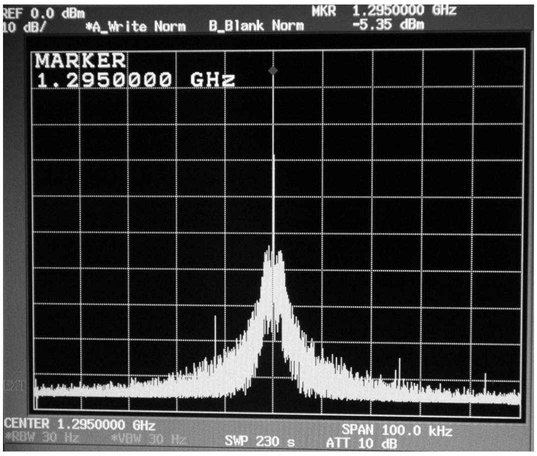
実装後の送受信テストはめでたく合格です、これで送受信号に自信を持ち ON AIR できますし、ドプラーシフト計算も今までの様に TRX のズレを計算の度にオフセットする煩雑さから解消されます。
＊次にリファレンスを PLL 化した事によるスプリアス他の影響を調べました。

5）オリジナル製品と PLL 改造済み品の比較

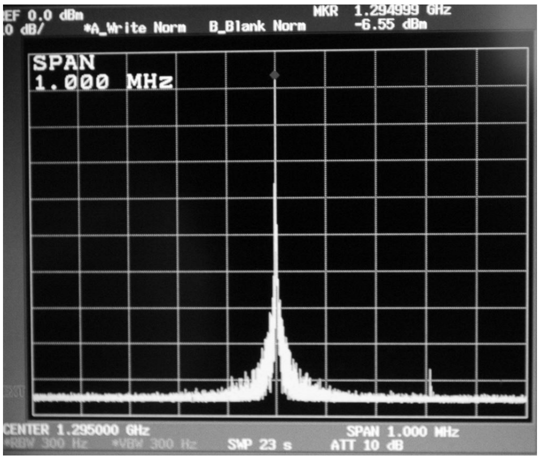
1295.000MHz の送信波形を比較しました

A）　SPAN 100KHz 未改造　　　　　　　　　PLL 化改造波形

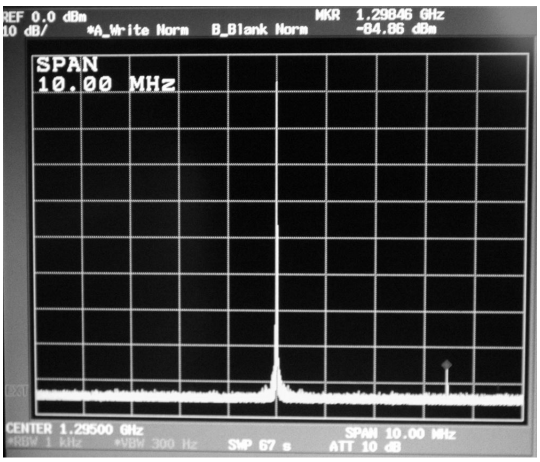


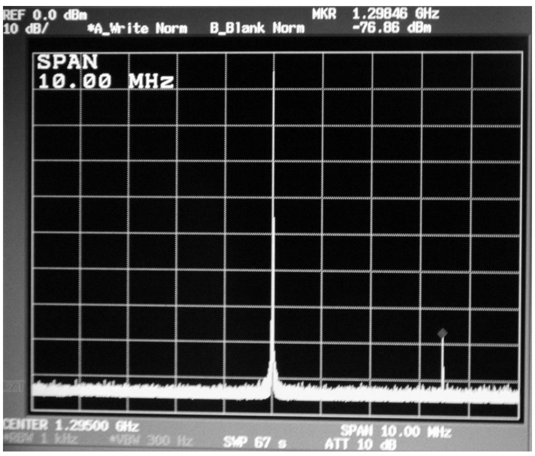


B）　SPAN　1MHz 未改造　　　　　　　　　PLL 化改造波形

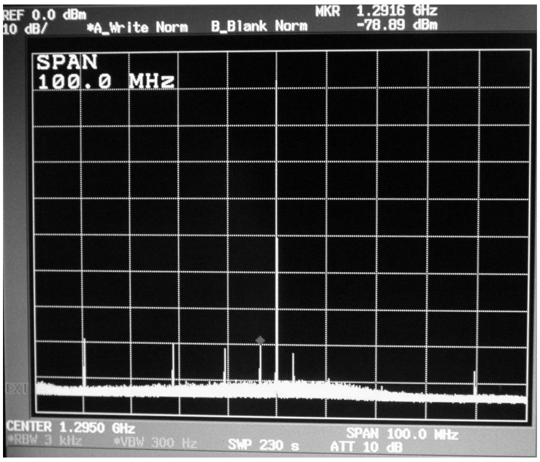


C）　SPAN　10MHz 未改造　　　　　　　　　PLL 化改造波形





D)　SPAN 100MHz 未改造　　　　　　　　PLL 化改造波形



以上の様に PLL 改造機もスプリアスや見かけの S/N に関してはオリジナルと「ほぼ同様」な結果でした。

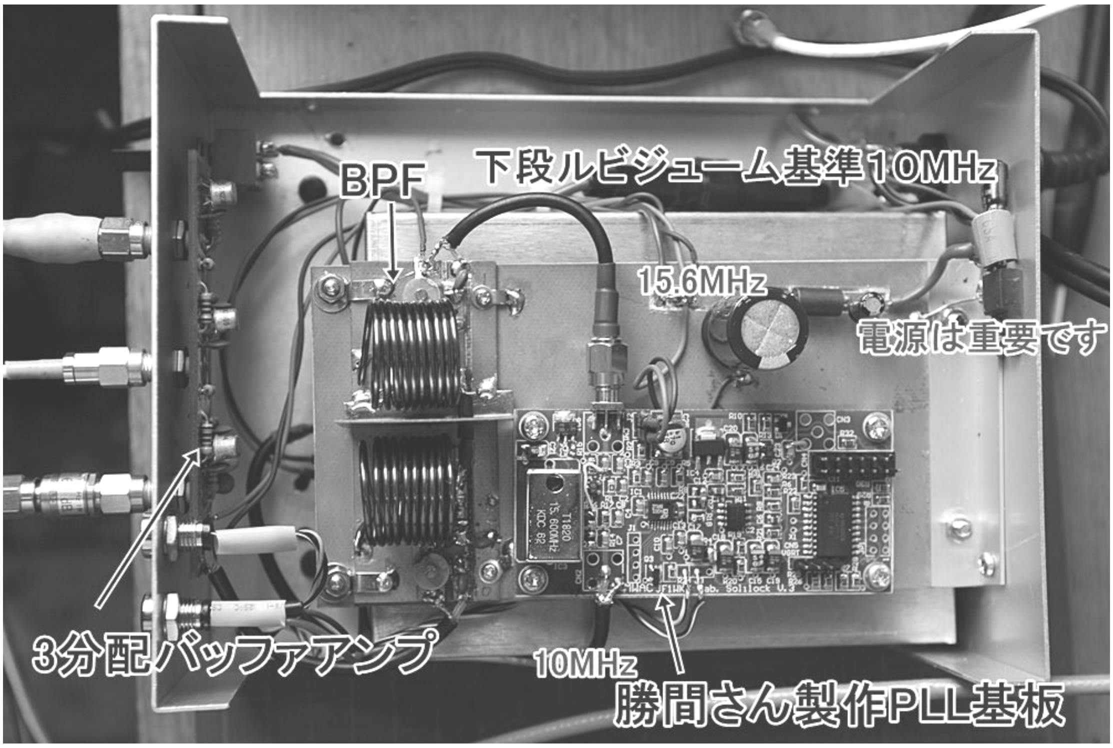
6）その他

＊前記比較試験中の TS2000、下写真の上が未改造です。
　この未改造品前回は本年 7 月末に校正し約 70 日経過したものですが SW-ON 5 分後の送信周波数は 1294.999.517Hz 外気温などの影響で約-480Hz もずれていますこれが現実です。

左の有り合わせの箱にルビジューム 10MHz 基準と PLL 他を入れた 15.6MHz 基準信号発生器です。
　基準を GPS にしなかった理由はここ工作室から同軸を引くと隣室シャックのドアが閉まらなくなるためです HiHi

今の所 10MHz ルビジューム基準 GPS 双方どんぴしゃで同期しています。

＊BOX 内部写真



基板中央が改造 TCXO で緑の基板は JF1WKX 勝間さん作です。

箱を 2 階建にし 1 階ルビジューム基準、2 階ガラエポ基板に各部載せた例です
10MHz IN の同軸取り回しに注意が必要で、ここから回り込みます。

以上、PLL 化した事により発生した微弱なスプリアスは性能に大きな影響が
見当たらない様です。

トランスバーターを含めて各バンド周波数偏差が数 Hz 台と極めて少ない
状況の運用が「いつでも出来るように」なり誠に気分爽快！！です。

TS2000 の PLL 改造記事は少ないです、皆様も是非・・・

なお本記事は性能を絶対保証するものでは無く、また冒頭に書きました通り
改造にはある程度の技術力も必要であり、あくまで個人責任で進められるよう
お願い致します。

PLL 基板の作成をして下さった JF1WKX 勝間さんに感謝します。

JA1WQF　　笠井三男

TS2000 内蔵 TCXO の外部同期 PLL 化

2016/10/10 JF1WKX 勝間 伸雄

最近はトランスバータのほとんどの局部発振回路は、GPS などの信号に同期していて、正確な周波数になっています。

親機として使用されることの多い TS2000 については海外で外部同期化のキットが紹介されていますが、ここでは内蔵 TCXO を VCXO に改造して PLL 化を実現する実験を報告します。この実験は JA1WQF 笠井さんからのご相談があってチャレンジしたものです。

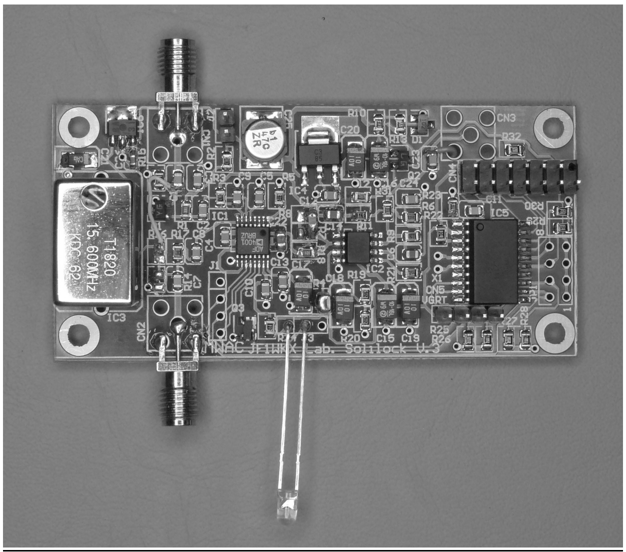


fig.1 完成した 15.6MHzVCXO ＋ PLL 回路

1. TS2000 内蔵 TCXO の VCXO 化改造

TS2000 は 15.6MHz の TCXO を基準にして、DDS、PLL を使ってすべての局発が作られています。

この TCXO は温度補償されているのですが、温度平衡に達するまで周波数は安定しないようです。また、内蔵クーリングファンの ON/OFF によって周波数が変動することがよく知られています。

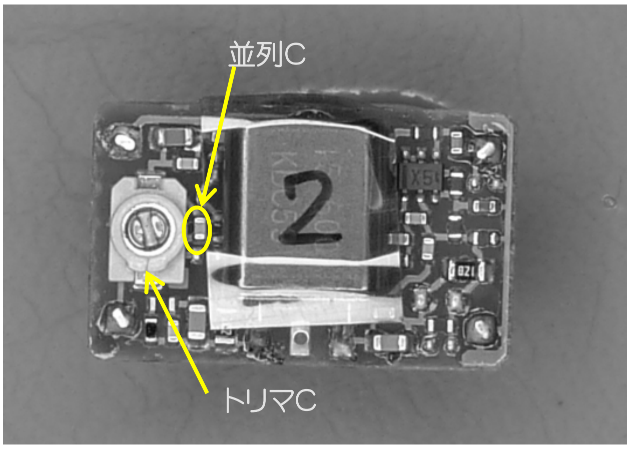
（JA1WQF 笠井さんの記事をご参照ください。）

TCXO の周波数は内蔵トリマコンデンサで調整出来るようになっていますので、このトリマコンデンサをバリキャップに取り替えて電圧で周波数を調整出来る様にします。

はじめに TCXO の金属カバーを取り外します。

カバーは半田吸取り器を使えば、半田ごてと吸い取り網線で頑張るよりも早く取れます。カバーは鉛フリー半田で止められていますので、あらかじめ鉛半田をタップリ流しておき融点を下げておきましょう。

カバーを外すと普通のガラエポの基板にチップ部品と水晶が乗っているのが判ります。図に示すトリマコンデンサとチップコンデンサを取り外します。



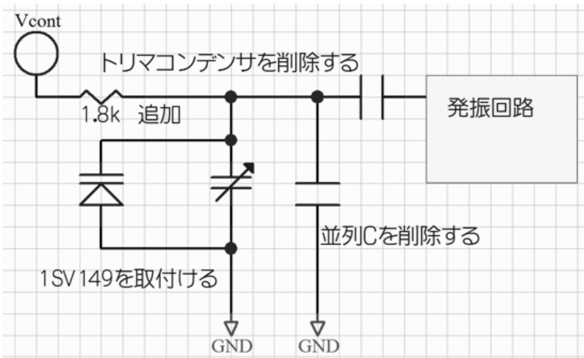


fig.2 TCXO の改造ポイント

トリマコンデンサが着いていたランドにバリキャップを取付けます。GND 側のパッドにバリキャップのアノードを接続します。

TCXO の 1pin は何処にも接続されていません。1pin とバリキャップのカソードを抵抗器で結びます。

TCXO の 1pin が周波数の制御端子になります。

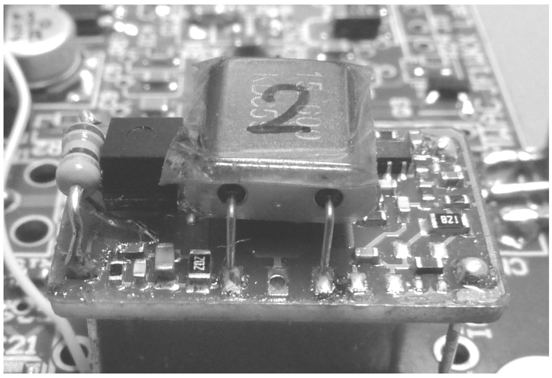


fig.3 VCXO 化した TCXO

バリキャップにはAMラジオ用、FMラジオ用、TVチューナー用等がありますが、この改造にはAMラジオ用の1SV149を使用します。

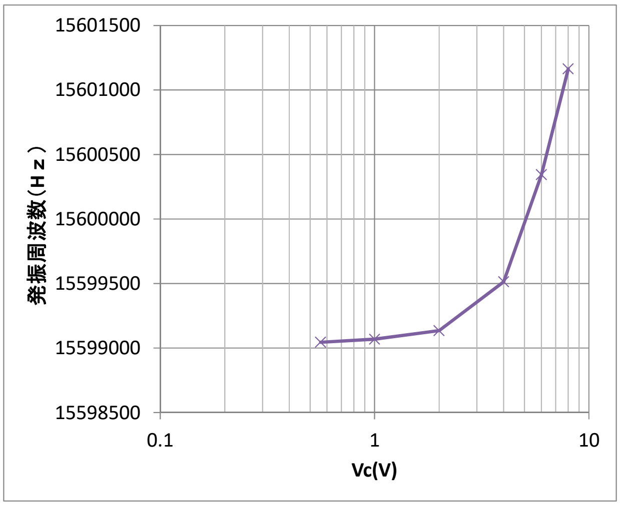


fig.4　改造後の発振周波数－制御電圧Vc特性

改造後の周波数範囲をfig.4に示します。Vcが2V以上で周波数が変わりはじめます。

FMラジオ用バリキャップは周波数の可変範囲が狭すぎて使えません。

なお、改造前のTCXOは、トリマコンデンサのCmax時は15.59989MHz、Cmin時は15.600089MHz、可変幅は概ね200Hzでした。

2. PLL基板

PLL回路は、2005年に発表したSolilock3を使いました。

Solilock3は、VHF帯の水晶にPLLを掛けて周波数を安定化するもので、マキ電機のUTVシリーズ、クーネの局発、その他自作機に付加して使われたものです。

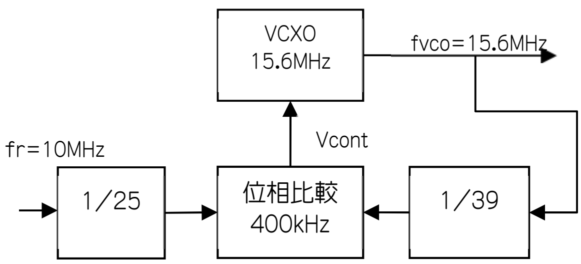


fig.5　Solilock3 + 15.6MHz ブロック図

基準周波数は10MHz、VCXOが15.6MHzなので、位相比較周波数を400kHzにしました。

Solilock Configuratorを使ってPLLの設定、基板への書き込みを行います。10年以上も前に作った基板ですが、このプログラムのおかげですぐに活用出来ました。

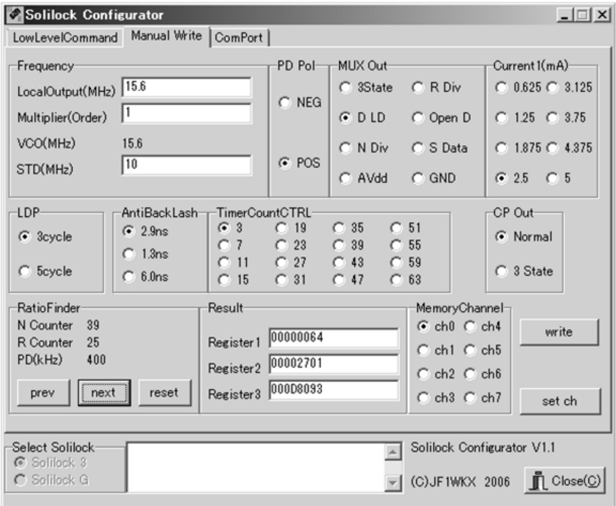


fig.6　SolilockConfiguratorの設定画面

PLLループの帯域は100Hzで設計しました。もっと狭くてもよいかも知れません。

TS2000への組み込み方法と結果はJA1WQF笠井さんの記事をご参照ください。

参考文献

(1)jf1wkx、局発回路を外部信号にロックさせる実験2、マイクロウエーブチャレンジ2005

(2) 勝間伸雄、「PLL ループフィルタの設計」、HAM Journal No.91(1994)

便利なレタリングとケース加工

2016 年 4 月 12 日　JA1WQF　笠井三男

別に発表致します EME 追跡装置 2 号機で久しぶりにレタリング作業開始、まず以前に購入していたインスタントレタリングがすでに販売終了している事に気が付きました。

手持ち在庫で文字の切り貼りしましたが、疲れるし綺麗じゃないし・・昔はもう少し上手だったな～と不満足な出来栄えにて終了・・今後どうしよう。

友人から「入れ墨シールが良いみたいよ？」の言葉を聞きまして今回手探りで試してみましたが、予想以上に簡単、比較的綺麗、インスタントレタリングより早く、何よりも安い・・・・そして自由なデザインやカラーが作れる。

これはお勧めします皆様も是非お試しください。

1）材料

調べましたら色々なメーカーから出ていますが､入手しやすさから ELECOM EJP-TAT5　タトゥーシール透明はがきサイズ 5 枚入り（アマゾンで 779 円）

色々サイズが有りますがテストとしてこれをお勧めします。

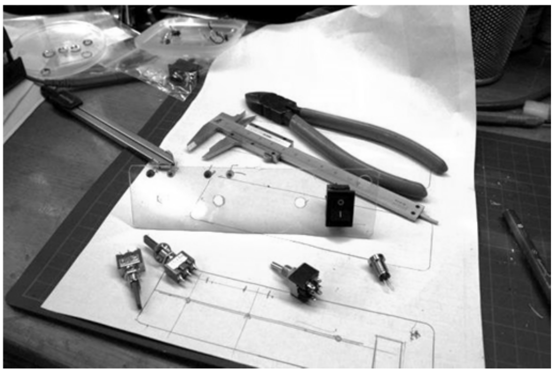
＊文字作りにはこれ以外不要です（PC とプリンターは必要ですが）

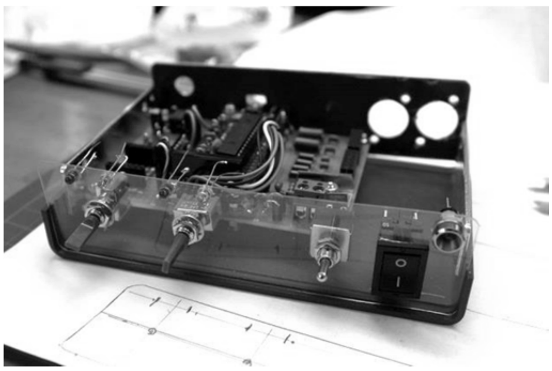
2）編集ソフト

ELECOM から無料ダウンロード便利です。

3）レタリングの前にパネル加工レイアウトをしました ご参考に

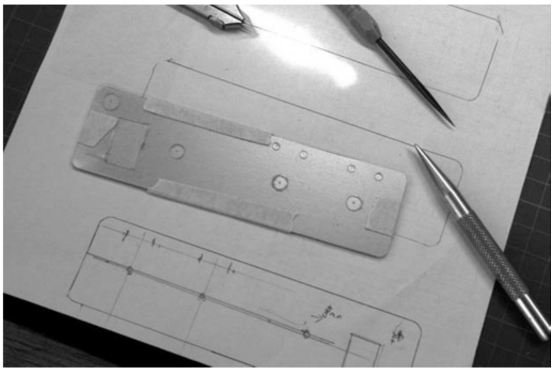
レイアウトをアクリル板に写し加工　　　　部品を実装し確認





メモにアクリル板を合わせ穴加工、部品実装して再確認 修正点を記録します。
何度でも手直しができて気が楽です、作業も結果的に早くなりました。

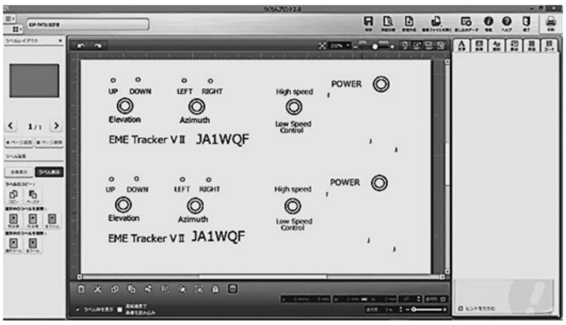
パネルにAC板を貼り付け位置決め作業　穴あけしたパネルに部品を仮付け



修正したアクリル板をアルミパネルに貼り付けポンチや罫書き作業後穴あけ。
穴あけしたアルミ板に部品を仮に装着しレタリング位置など再確認。
＊この様にする事で、ケース加工でなかなか実行できない最初の「ひと穴」も躊躇しないで作業を進めることが出来、また失敗も少なくなります。

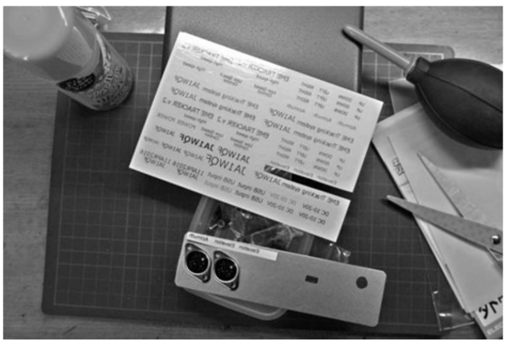
4）レタリング作業

ELECOMから必要ソフトウエアをダウンロードし作成



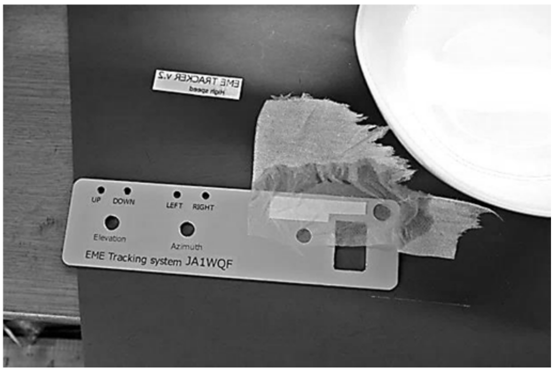
はがきサイズを選定、画面にある「物差し」は実寸近い値でレイアウトが決めやすくデザインや文字の大きさ、色をこれで決定しました。
決定後右の様に必要部分のみ複数コピーし印刷します。失敗用やサブとしてまた色を変えて作って見るなど楽しい作業です。
＊プリントアウト作業は説明書指示のままで問題は無いと思います。

プリントアウトした反転文字　　　　切り取り位置合わせ



前頁の入れ墨シール専用用紙に印字する前に、一般のハガキサイズ用紙にテスト印字して大きさやカラーの確認をしておいてください。
＊前頁は印字乾燥後に透明シールを貼り付け必要部分をカットした所です。

レタリング位置合わせして水で濡らす　　　　　レタリング終了



切り取ったレタリングの透明シールを剥がし、慎重に位置決めし爪でしごくそしてティッシュを置き水でシールを濡らす。
1 分後に紙台紙を滑らすと文字が残ります、右写真が半完成パネルです。

５）コーティングと完成

表面保護に TOPCORT 艶消し　　　　トラッカー3 号機が完成いたしました

完成しましたパネルにレタリング文字コーティング、 クレオス（旧グンゼ産業）TOPCORT を 3 度塗り位してあげましょう。
シール段差も少し目立たなくなり一石二鳥です。

我々アマチュアが物作りで悩むの事の一つにケースのレイアウトや文字入れでした、しかしこれで本当に楽になりました。
皆様も是非試してください、きっとお気に入りと思います。

2016 年 4 月 12 日　JA1WQF　　　笠井三男

マイクロ波全国移動運用会のあゆみとこれから

JF1TPR 熊野谿　寛

29 回を迎えた全国移動運用会

2016 年 10 月 1 日～2 日に、第 29 回マイクロ波全国移動運用会が行われました。この全国移動運用会は、2002 年秋から年に 2 回、5 月末～6 月初、9 月末～10 月初に実施されてきました。しかし、移動会の運営や趣旨について、この所、必ずしもしっくりと進まないのではないか、との声も伺います。また、もっと別にも移動運用を企画してはどうかとのお話も、各地のミーティングで聞きます。今回の 29 回目の実施にあたっては、諸般の事情から私が連絡役をさせていただきました。その中から記念すべき 30 回目を来年に迎えるにあたり、以下にこれまでを振り返って、今後の進め方について考えるため一助となればと思います。

Ⅰマイクロ波全国移動会の始まり

① それは支笏湖から始まった

全国移動会が始まった経過については、YAMA-ML で 2002 年 7 月 5 日に、JH1UGF　槇岡さんが次のように書かれています。(以下、改行・文字飾りのみ編集しました。)

「●全国・全エリア参加のマイクロ波バンド大移動運用会をやろーう・・・と言う話が昨年から、ＪＡＲＬ登録クラブ”ＹＡＭＡ会”のなかでありましたが・・今年の４月に、北海道・支笏湖畔での　”北海道ＧＨｚミーティング”支笏湖大会の席で、大会実行委員のＪＡ８ＢＶＡ伊藤さん、　四国松山から参加のＪＲ５ＥＥＫ仙波さんと私（ＪＨ１ＵＧＨＦ槇岡）の３人で話し合いましたら・・・・・是非やりましょう・・・・・と言う事になったので、参加の皆さんにお話しましたら・・・・全員が賛成してくれました！

以降、全国各地のマイクロ波バンド愛好クラブ、グループの代表者、マイクロ波愛好者の多くの皆さんの方々にお話しまして・・・・ほぼ全員の方が大賛成！　と言う事になりました！」

このように、北海道・ギガヘルツミーティング・支笏湖大会から全国移動会の提案がされたのが最初でした。

② 趣旨と運営について

全国移動会開催の趣旨については、上記 YAMA-ML で槇岡さんは、次のように説明されています。

「ＹＡＭＡ会主催　全国一斉（縦断）マイクロ波バンド大移動運用会

開催の趣旨と運用事項

◎趣旨

●アマチュア・マイクロ波バンドのアマチュア外・利用が国家的に進められる　機運があり、アマチュア・マイクロ波バンド愛好・利用者は大きな危機感を持っております！

この際、マイクロ波帯の活性化とバンド防衛に寄与することを前提として、　全国のマイクロ波を愛好するアマチュア局の実験と運用と相互の友好を積極的に進める事が何よりだと考えます。

そのための一つの有力で、有意義な行動として、表記の・・・・・”全国（縦断）一斉マイクロ波バンド大移動運用会”　を企画しました所・・全国各地の多くのマイクロ波愛好会、クラブ、愛好者の皆さんの絶大なるご協力得る事が出来ましたので、早速本年よ秋季り実施する事になりました・・ご協力有難うございます！

●コンテストでもなく、同一周波数に限った交信会でもなく・・・(但し、この移動運用会での交信結果は各種コンテスト、アワードに使って　いただく事は勿論・・大賛成です！）

●全国・全エリアからのマイクロ波大好き個人、グループが・・１年 2 回、　同日、同時間　帯に、それぞれの好みの移動地点に移動して１２００ＭＨｚ帯以上のアマチュアバンドで使用バンド、使用周波数、使用モード　等は特定せずに、自分のやれる範囲で、好きなバンド、モードで各地との交信は勿論、初めての移動運用の見物ＯＫ、自作機器の実験、仲間との交流、懇親・・・・なんでもありで、自分流の移動運用スタイルで移動運用をたっぷりと楽しむ・・・全国各地で同日・同時間に全国から一斉にマイクロ波バンドでの電波が出て、普段の日では考えられないような・・何かが？起こりうる！！・・・・・事を大いに期待出来る魅力を秘めていると思いますし、中にはマイクロ波バンドを使った新たな交信実験を試みる案（別記、東海マイクロ波同好会）も出ていますので、マイクロ波バンドの将来の発見に・・・新たな機会となると信じています！」

*注　東海マイクロ同好会の案　10G と 5G で交互に中継して、全国での通信実験をつなげることができないか、との JI2DQT 秋山さんからの提案

以上のように趣旨としては、「バンド防衛」「マイクロ波バンドの活性化」「新たな仲間の獲得」「新たな実験にむけたプラットフォームの提供」などが、幅広くあげられています。また、主催団体として YAMA 会が挙げられていました。

③ 全国移動会の運営・連絡体制

また、この移動運用会の特徴として、掲示板と ML で移動情報を公開して、移動情報を交流する体制を当初から追求したことがあげられます。

これは当初は、JA9BE 故・森さんが設置された掲示板を用いたもので、次の様に説明されていました。

「●連絡・・・専用の連絡用掲示板を設置(YAMA-HP にリンク表示)　ＪＡ９ＢＥ　森さんのご好意により下記連絡用ＷＥＢが開設されており、参加者全員で一つの連絡窓口といたします！　　URL:　http://plaza.harmonix.ne.jp/~ja9be/index.html　ＪＡ９ＢＥ管理

＊掲示板内容

移動の書き込みが有れば、yamaM.L に自動的にメールを送信。

必要が有れば、ＣＣで事務局へも。

スケジュールの申し込みができ、必要が有ればＣＣで事務局へも。

・・・・・となっていまして、書き込みと同時に”ＹＡＭＡ　ＭＬ”　に自動送信されます。

●また、相互の細かいやり取りは　ＹＡＭＡ　ＭＬで行いたいと思います・・・・・

●ＹＡＭＡ　ＭＬ　への”ｉ－ｍｏｄｅ”　等の携帯アドレスの登録も行いますので利用者は申し出てください。

ＹＡＭＡ　ＭＬ　登録は下記へ・・・

jh1ugf@jarl.com　　　ＪＨ１ＵＧＦ　槇岡　寛幸」

この結果、掲示板に情報を書き込んだり変更すると、YAMA-ML に情報が投稿されて伝えられました。2002 年当時、マイクロ波関係の ML として YAMA-ML が最も活発でメンバーも多かったことから、このようになったものと思われます。ただし、実際には YAMA-ML だけでなく､西新潟クラブの JH0YQP-ML にも同じ情報が投稿されていました。これは、北陸のマイクロ波愛好家は、日常的には西新潟クラブと通信実験その他で交流があったことから当然のことだったのだろうと考えられます｡この YQP-ML への投稿は 2008 年６月の第 12 回まで行われていましたが､JA9BE･森さんが SK となられて中断しました。

④ 全国移動会の推進体制

また、最初の全国移動会にあたっては実行委員会として、次の体制が挙げられていました。

「◎実行委員会

●主催及び関東地区実行委員会　YAMA 会　H1UGF 槇岡　寛幸

● 四国地区実行委員会　松山 SHF 研究会 JR5EEK

●東九州地区実行委員会　マイクロウエーブ大分　ＪＡ６ＬＸＲ　長屋　公平

●西九州地区実行委員会　マイクロウエーブ長崎　ＪＡ６ＤＭ　於保　武志

●中国地区実行委員会　マイクロウエーブ山口　ＪＡ４ＣＭＺ　春日　紀勝

●東海地区実行委員会　東海マイクロ波同好会　ＪＩ２ＤＱＴ　秋山　勲

●北陸地区実行委員会　北陸マイクロウエーブクラブ　ＪＨ９ＣＦＴ　長谷　和信

●信越地区実行委員会　西新潟クラブ　ＪＡ０ＢＱＵ　阿部　五男

●北海道地区実行委員会　北海道ＧＨｚグループ　ＪＡ８ＢＡＶ　伊藤　博之

●協力・・・・マイクロウエーブ愛媛、北九州マイクロウエーブ、 マイクロウエーブ佐賀 ,JI3WLF 他ＪＡ３多数愛好者各局の皆さん、　ＪＡＭＵ参加グループ、各局 他、全国の多数のマイクロ波バンド愛好者の皆さんの参加、ご協力要請中です！」

以上のように、全国移動会は YAMA 会が主幹となって、各地のマイクロ波愛好家がそれ

ぞれに計画をすすめて、実施される形となりました。当初、各地実行委員会の代表や運営に名を連ねられた方々のうち、何名かの OM が SK となられています。きっと、天国にて ON THE AIR されていることでしょう。

Ⅱ　第 2 回目以降の全国移動運用会

回数	年	実施日
1	2002	9/30-10/1
2	2003	5/31-6/1
3	2003	10/4-10/5
4	2004	6/5-6/6
5	2004	10/2-10/3
6	2005	6/4-6/5
7	2005	10/1-10/2
8	2006	6/3-6/4
9	2006	9/30-10/1
10	2007	6/9-6/10
11	2007	9/29-9/30
12	2008	6/7-6/8
13	2008	10/4-10/5
14	2009	6/6-6/7
15	2009	10/3-10/4
16	2010	6/5-6/6
17	2010	10/2-10/3
18	2011	6/4-6/5
19	2011	10/1-10/2
20	2012	6/9-6/10
21	2012	10/6-10/7
22	2013	6/8-6/9
23	2013	10/4-10/5
24	2014	6/7-6/8
25	2014	10/4-10/5
26	2015	6/6-6/7
27	2015	10/3-10/4
28	2016	6/4-6/5
29	2016	10/1-10/2

①　　日程と気象条件

2 回目以降の全国移動運用会の日程を左の表にまとめてみました。

日程を振り返ると、特に天候や他の行事との関係で゜次の点が悩ましい問題としてあったように思います。

6 月の移動運用会では、「梅雨入り」との関係が問題となりました。私は、富士山を登りながら、梅雨前線の雲が太平洋から近づいて来るのを見たのがとても印象に残っています。この点では、6 月に入ってからよりも 5 月末の開催の方が晴天に恵まれる可能性が高いのではなかったかと思われます。ただ、5 月の前半では、北海道などでは雪が残る移動地も考えられます。北海道各局の場合、事前に機材のテストのためになき合わせをするためにも、かなりの距離を移動する場合が多く、5 月末中心が良いのではないかと思われます。

10 月の場合、旧体育の日あたりが、移動性高気圧で一番天候の安定した条件が多いようです。しかし、10 月の第二週には JARL の全市全郡コンテストが開催されます。このため、移動地でコンテスト参加局と重なることが予想され、9 月末から第一週に実施されることが多くなっています。しかし、秋雨前線が続くと、この時期も荒天になることが多くあります。また、第二週以降になると、高い山や東北以北では降雪のある場合もあり、移動運用に向かないことも考えられます。移動運用にアクティブな各局は、全市全郡に参加される方も、されない方もあると思います。この点で、各エリアの主な移動地の状況がどうなのか、コンテストと別の方が好ましいのかなど、意見を求めてもよいのではないかとも思われます。

② 掲示板と ML について

一方、掲示板については第 13 回からは JS1TLT・野中さんの手により再構築され、YAMA-ML のみに投稿される形となりました。その後、連絡不足などから第 27/28 回は、掲示板の設置がされませんでしたが、各地のミーティングで「掲示板がないと、移動運用

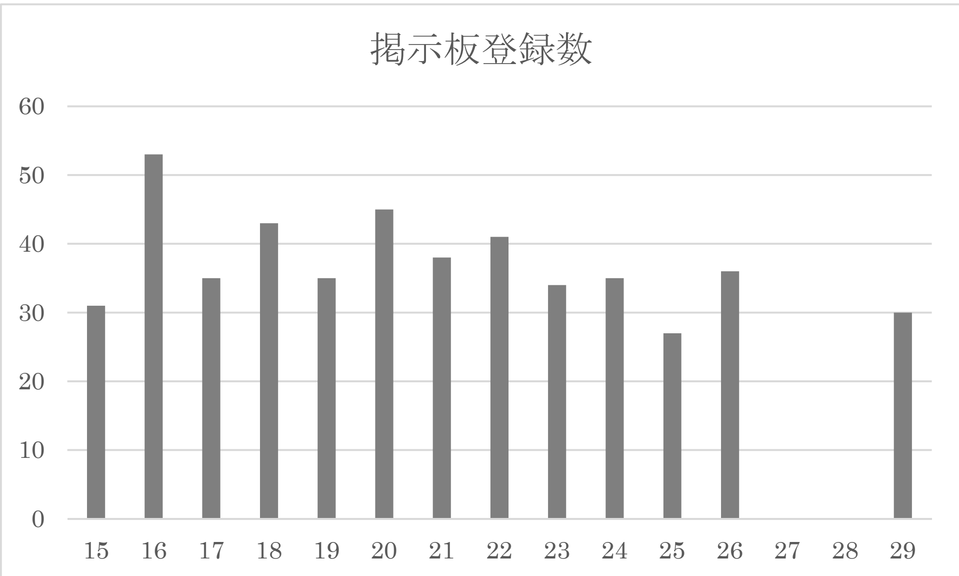
会全体の動きがわからないので、雰囲気が出ない」「他の人には伝わりにくい」などの声を聞きました。そうした事から、第 29 回の実施にあたっては、野中さんにお願いをして、掲示板を復活させていただきました。

ただ、今回の復活にあたって、「掲示板の書きこみを YAMA-ML に転送しない方がよいのではないか」とのご意見をいただきました。その理由は、「YAMA-ML の登録者が不明で、誰が読むのかわからない」との事の様でした。野中さんに日程的にもぎりぎりの中で掲示板を移設して再設定していただいたため、この点がどうなるのかは流動的でしたが、結果的には「復活」としてすすめていただいたので、掲示板の書き込みが YAMA-ML にも投稿される形が復活しました。

そのためか、掲示板に記入されずに、各地や様々な ML のみで移動情報を記入される方もあった様に思います。ただ、移動運用会の当初の趣旨からすれば、広く移動運用を行っていることをアピールすることも大切な目的とされていたのではないかと思います。各 ML で情報を交換するだけでなく、やはり全体としての掲示板にできるだけ移動情報を記入して、一目でアクティビティがわかった方がよいかと思います。

この数年間でアクティブなマイクロ波関係の ML も大きく変化してきましたので、YAMA-ML のみへの転載が妥当で必要かどうかは、いろいろ考えがあるかと思います。しかし、もともとが公開されているものなので、転載されたら困るという様な事でもないとも思います。今後をどうするのがよりマイクロ波の活性化に役立つのか、という観点から考えていくのが良いではないかと私は思います。

以下に掲示板のサイトのディレクトリーにあったファイルから、最近の各移動会で掲示板に登録された件数をまとめてみました。今回は、やや少ないものの、それでも移動実験の全体を示すものとして機能したと思われます。



③ 移動結果の集約をどうすすめるか

当初はYAMA-MLにて移動結果報告がされることが多く、JH1UGF槇岡さんがそれをまとめてWEBなどに掲載されていました。しかし、現在の状況では各地域のMLや複数のMLにて報告が行われており、今回はこれを一つにまとめることも考えましたが、実際にやろうとして大変に困難であることがわかりました。

今後は、移動結果を集約する事務局などの体制を作る必要があるのか、あるいは掲示板で結果も記入できるような形をとるのが良いのか、などについても検討していく必要があるのではないかと思います。

Ⅲ　全国移動運用会で試みられた実験

これまで全国移動運用会の中で、どんな新たな取り組みが行われてきたのでしょうか。これまでを振り返ると、思いつくだけでも次のような新たな実験が行われてきました。

① ATVの多段接続実験

これは九州(韓国)から送信したATV画像を、多段接続で送って、どこまで送信・受信できるかを実験しようとする実験でした。3エリアまでは到達したと記憶しています。ただ、西の方ではATVのアクティビティが高いものの、東日本ではそれほどではなく1エリアまでは届かなかったと思います。今後は、DATVや一部はインターネットでデーター伝送などとあわせて実験を進め事も考えられるのではないでしょうか。

② 青森・北海道間、四国・富士山間などの遠距離通信実験

全国一斉の移動という事から、特に第1回目には四国・剣山と富士山五合目での移動実験が松山各局により大きく取り組まれました。その後も、富士山五合目と四国・足摺岬の通信が取り組まれました。

北海道と本州の間でも、岩木山・八甲田山などと北海道との通信実験が関東から東北まで移動した各局も含めて何度も取り組まれました。こちらは海上伝搬となるため気象条件により大きく条件が変わりました。

一方、日本海ダクトでの伝搬実験には固有の気象条件が必要の様で、全国移動運用会では取り組みにくいように見えます。

③ 富士山プロジェクト

NPO・富士山測候所を活用する会の活動に参加して、YAMA会が数年にわたってビーコン設置・運用をすすめました。この中で、全国移動運用会にあわせてビーコン機材のテストと伝搬実験テストを富士山山頂で行うことができました。

今後、富士山だけでなく、北アルプス・乗鞍岳や北穂高岳など、比較的山頂からの運用が行いやすい条件からの同様の実験を行うことも考えられます。

移動運用会の今後について

「より遠くと交信したい」「新しい実験をしたい」という事はアマチュア無線の原点だと思います。その点で、移動運用会が今後も開催されることは、とても有意義だと思います。

今後、それをすすめるために、当面、第30回をどうしていくのかを全体の運営や各地の体制も含めて検討する必要があると思います。

　また、特に10G程度までのマイクロ波バンドでは、5月末、10月以外にも夏場が山岳移動などの運用に取り組みやすいとの意見を聞きます。これについては当面、6m&DOWNコンテストやフィールドデーコンテストをもっと活用してはどうでしょうか。「マイクロ波に出るとコンテストで成績が上がる」と取り組む社団局などを増やすことは、マイクロ波のすそ野を広げることにつながります。6m&DOWNは梅雨末期で天候に悩まされることが多いと思いますが、特に梅雨明け直後となるフィールドデーはもっと山岳移動などでのマイクロ波をアピールする場として考えたいと思います。