

144MHz ARDF 用受信機 V7.5 (スーパーヘテロダイン・プロダクト検波) の開発

JA1YEF / 茨城県日立第一高等学校附属中学校科学部 by JJ1TJK / 2014

(1) はじめに

「学生の小遣いで製作、実用自作機で ARDF を!」を目標に、2007 年より JA1YDZ / 水戸工業高校無線部、JA1YEF / 日立第一高校物理部の生徒の皆さんと回路やアンテナの実験を繰り返してきました。『3ele 八木 + 2SK439(RF) + NE612(DET) + LM386N(AF) + 145MHz 局発 構成のダイレクト・コンバージョン(DC)方式』にて実用域に達しました。ビーコン近くでも混信がありません。遠い Tx はゲルマラジオ並に、近くは耳が痛くなるほど...数 m の接近戦でも方向判別可能。静かな受信機でねばりがあり、距離感がはっきり出るため、S メータや音 S 回路も外してしまいました。難点は 5m ほど離れた競技者に局発の混信を与えること、IC 価格の高騰...そこで『コンバータ + DC』と安価な部品に改善し、女子や中学生部員用にさらに小型軽量化、必要に迫られて進化してきました。

(2) 仕様

- ・周波数: 145.60 ~ .80MHz (VXO による連続可変、平衡検波。競技及びビーコンを受信、高安定度)
- ・電波形式: A1A、A2A、F2A (A2A はキャリア断続・F2A は周波数がシフトするため、少し濁った CW 音として受信可能)
- ・目標感度: 5km 以上先の 1W Tx を感知し、数 m 以内の極至近距離でも方向判別可能(達成)
- ・方向特性: 2ele 八木(一体型・本機): 左右に土約 10° ほど振りながら方向決定。
3ele 八木(導波器追加): F/B 比約 26dB、一方向にピタリと決まり、2ele とは別世界!

(エレメント素材は車のリバーに入っているステンスプレー。強度、敷着中のしなり具合が良好)

- ・選 択 度: 信号波と、ビーコンや隣接チャンネルとの完全分離(中年競技者にはモスキート音 Cut の耳フィルター!!)
- ・電 源: 9V (006P) (女子部員対策の軽量化と方位磁石への影響軽減のため、長持ち単三電池を断念)
- ・簡易操作: 電源スイッチ兼用ゲインコントロールつまみの操作だけ。音の強弱で判断。防滴仕様

(3) 使用法

本体にエレメント・ヘッドを装着、周波数を合わせる。腕がアンテナ・アームに沿うように持ち、最大感度で探索開始。音が割れはじめたら感度を落として続行。最低感度で音が割れ始めたら目標まで数 m、あとは眼力探索。(S メータが無くて音の大小で距離が判別できる。よ〜く周囲を見ながら!!)

(4) 特徴 (ローコスト化と入手容易な汎用部品の使用。基板化して量産 10 台)

- ①汎用水晶の組み合わせで競技用周波数 145.62 ~ ビーコン周波数 78MHz をカバーするため
スーパー VXO 15MHz × 9 = 135MHz、10.78MHz 水晶で IF クリスタルフィルターを自作。(帯域幅 6 ~ 10kHz)
(旧リグ(TR-2200G II)のクリスタルではなんと 1.5MHz も周波数が動いた!!)
- ②最高感度~接近戦にボリューム 1 つで対応するため RF、IF の 2 段をゲインコントロール。VR 逆接でダイアル角度と感度とのフィーリングを改善。TA7358P 内部 RF は高感度・ノイズのため使わない。
- ③バランの使用と一体型構造で、アンテナの対称性・再現性を確保。ビームの偏りを軽減。
- ④開発途中で FCZ コイルの入手が困難になったため、各所の副同調化を断念。残念!
- ⑤初心者用には、さらに TA7358P 内部 RF を使用した高感度タイプを使用)

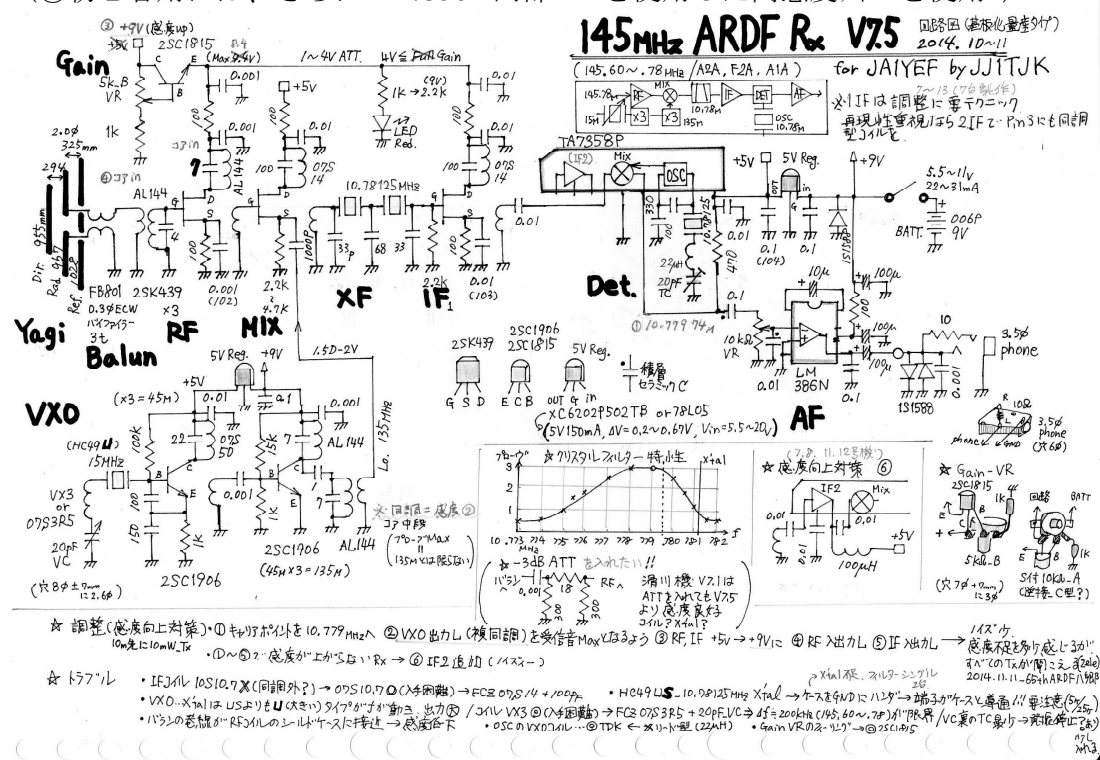


写真: 電池方向が探索前方

左図: 回路図及びブロックダイアグラム

(5) 参考資料

- ①「The FANCY CRAZY ZIPPY#117 ~ #300」 (FCZ 研究所) JH1FCZ
 - ②「トランシーバー製作入門」 (CQ 出版社) JA7CRJ
 - ③「ランド方式で作る手作りトランシーバー入門」 (CQ 出版社) JF1RNR
 - ④「トロイダルコア活用百科」 (CQ 出版社)
 - ⑤ FRX-2001 回路図 (ミズホ通信)
- 他、高文連無線部会関係諸氏および競技会参加の OM 諸氏によるアドバイス
- 大久保忠 OM
千葉秀明 OM
今井 栄 OM
山村英穂 OM
高田継男 OM

TNX !

JA1YEF / 茨城県立日立第一高等学校物理部・附属中学校科学部 by JJ1TJK / 2011

この作品は 2008.7 ~ 2011.3、JA1YDZ 水戸工業高等学校無線部及び 2011.4 ~ JA1YEF 日立第一高等学校物理部において「小遣いで自作でき、改良が容易な ARDF 入門機」を目標に実験したものです。DC 方式は VHF 帯の通信用としてはいささか力不足の感が否めませんが、3 エレ八木と組み合わせると ARDF(144MHz 電波探知競技)には十分実用となることを各種大会で確認できました。DC 方式はノイズが少なく静かな受信機です。弱い信号はより弱く、強い信号はより強く聞こえるため、S メーターや音量ボリュームを省略できます。145MHz 帯のため多くの解決すべき課題がありましたが、OM 諸氏の文献やアドバイスのおかげで何とか形になりました。特にアンテナの実験・開発においては水工(OB)の生天目鷹夫氏に負うところ大でありました。この場をお借りして皆様に御礼申し上げます。

- ・周波数: **145.62 ~ .78**(ビーコン)MHz (周波数はトリマコンデンサで調整。FM ボーリバリコンとスーパーVXO 化で1MHz 以上動かせる)
- ・電波形式: **A1A、A2A、F2A** (A2A はキャリア断続、F2A は周波数がシフトするため少し濁ったCW 音として受信可能)
- ・感 度: **+3ele** 八木= 4km 以上先の 1W Tx を感知し、1m 以内でも方向(F/B)判別
- ・選 択 度: 信号波と、**ビーコン**や隣接チャンネルとの分離 (フィルター無しでも実現!!!)
- ・電 源: **9V / 25mA** (006P) (女子部員用の軽量化対策と方位磁石への影響軽減のため単三を断念)
- ・簡易操作: 受信音の強弱で判断。電源スイッチ兼用の**ゲインコントロールつまみ**操作のみ。

本体にエレメントと導波器・ヘッドホンを装着、トマーで周波数を合わせる。腕がアンテナームに沿うように持ち、最大感度で探査開始。音が割れはじまったら Tx200m 以内、感度を落として続行。最低感度で音が割れはじまったら目標まで数 m、眼力探査。

- ① VHF 帯局発の安定化: 16.2MHz 水晶 (安価量産品) × 9 の VXO。競技中再調整の必要なし!
- ② 局発漏れ対策: 受信周波数とほぼ等しい局発のため、対策を怠ると ARDF のルール「10m 以上の競技者に混信を与えない…」に抵触する。シートだけでは解決できず、対策に 1 年近くを要した。VXO 初段のミッチ抵抗を **1k Ω** にし、通倍段に **2SK439** を使用することで解決。
- ③ 回路の発振対策: 試作段階で、使用するアンテナや実装条件によっては回路が不安定になることがあった。バイパスコンデンサを増やし、RF 段のゲート-GND 間に 10k Ω を装着して Q を下げて対策。プリント基板化し、筐体へのアースを確実にした後はトラブル無し。必要があれば 10k Ω を。
- ④ 接近戦対策: NE612 の **Pin2** を **0.001 μ F** でバイパス。平衡入力は崩れるが、Tx へ 1m まで接近しても F/B が出る。無いと 20m 以内では回路が飽和して方向が出ない。
- ⑤ -3dB ATT: ゲインのあるアンテナを使い、感度に余裕のある場合に使用。競技中の感度調節回数が減る。

[illegible]

※2014年, TCを20pFのPVCに変更。145.60～.80MHz可変。薄型水晶は可変範囲微小。

①「The FANCY CRAZY ZIPPY#117～#300」	(FCZ 研究所) JH1FCZ 大久保忠 OM
②「トランシーバー製作入門」	(CQ 出版社) JA7CRJ 千葉秀明 OM
③「ランド方式で作る手作りトランシーバー入門」	(CQ 出版社) JF1RNR 今井 栄 OM
④「トロイダルコア活用百科」	(CQ 出版社) 山村英穂 OM

東日本大震災 2011.3.11 の後、インフラが不安定の中、こんな開発を続けてしまい、申し訳なく思っております。茨城 ARDFin 水戸森林公園や全国高等学校 ARDFin 新潟県阿賀野等、複数の大会で実用性を確認しています。個人的には V7.5 よりシンプル・実用な完成版と思っています。

技術資料①. 2m ARDF_DCsystem

開発記録

at JA1YDZ とにかく作った。資料で回路を調べ、作っては笠松運動公園・日立港・各種大会で試験！

V0.0 電界強度計+短縮 2eleHB9CV : ×感度不足 100m 以内

V1.0 2SK241ATT + トランジスタ + 短縮 2eleHB9CV : 07 茨城大会用 / ×反射波区別困難。
2SK241ATT + トランジスタ + 2eleHB9CV : 08 新潟大会用 / ×液晶 S 反応遅・炎天下 LED 見えない・接近戦難。

以下、局発は VXO (連続可変 = FM のスロープ 検波可能・発信波やビーコン波を見つけやすい... 実は、PLL の技術が無いだけです Hi)

V2.0 MizuhoRF 部 + IF & 1N60 + S & V-F メーター + 2 ~ 3eleHB9CV : 08 茨城大会用 / ×ビーコン混信

V2.2 MizuhoRF 部 + MLF501 : ×感度不足

V2.5I-tec.RF 部 + 10.7MHzXF + LA1600 (455kHzCF) + S メーター : ◎メーカー機並 ×回路規模大

V3.0 グリコン + 11MHzVFO / LA1600 (455kHzCF) : ○実用感度 ×航空無線混信

V3.5 グリコン + 5MHzVFO / LA1600 (455kHzCF) + S メーター + 3eleHB9CV : 実用! CQ 誌掲載 (基板化 V3.6)

V3.7 グリコン + 5MHzVFO / LA1600 (455kHzCF) + 3ele 八木一体 : 09 新潟大会用

V4.0 3.5MHzDC → V4.5_2mDC (NE612) → V4.6 ~ + RF、3ele 八木 : 09 茨城大会用 × VXO 輻射 ○選択度

V5.0 超再生 : ×話の他

V6.0 グリコン + 11MHzDC : ○感度良・フィルターが無くとも選択度良

V6.5 グリコン + (10.7XF) 10.7MHzDC + 3ele 八木一体 : 10 茨城大会用 / ◎メーカー機並 ×回路規模大

V4.8RF + NE612 + 3ele 八木 (VXO 改 12M × 12) + 3ele 八木一体 : 10 茨城大会用 / ○局発漏れ改善

at JA1YEF ハムフェア 2011 自作品コンテスト応募。2 次ボツ。¥3000 の実用機が理解されなかった...
V4.9RF + NE612 + 3ele 八木 (VXO 改 16M × 9) + 3ele 八木一体 : 本作品 / 基板化 ○コスト

①局部発振 (VXO)

安定した純度の高い信号を要する。混合回路への注入強度が弱いと感度が低下し、強いと感度がよくなるが局発漏れが増加して他の競技者への妨害となる。強すぎるとビーコン分離不能、さらに受信機が発振。局発への結合コンデンサの値ではなく、VXO の出力自体を低く抑え、漏れを最小限に。基本波発信をさせ、初段の出力で 48MHz、後 FET で 3 通倍。

・水晶

* 水晶 T145.68MHz/12 = 12MHz 帯 × 4 × 3 (旧 TR-2200G II の送信用) (V4.5 ~ 実験機 5 台)
FCZ コイル VX3 と 20pF の FM 用ポリバリコン (PVC) 直列で、表示より 40kHz ほど上から、下に $\Delta f = 200\text{kHz}$ 以上動く。さらに同じ水晶を並列接続 (SuperVXO) にすると、 $\Delta f = 500\text{kHz}$ ほど下まで安定動作。

* 水晶 T145.62MHz/12 = 12MHz 帯 × 4 × 3 (旧 TR-2200G II の送信用) (V4.8 試作器)
競技用周波数 145.66MHz / ビーコン 145.78MHz をカバーするため、周波数を上へ動かす必要あり。「L なし VXO」とし、小型化のためトリマーコンデンサ (TC) を使用。セラミック TC よりもフィルム TC (フィリップス製) の方が温度特性が良い。容量を少なくすると上へ動く。回路図の定数 (VX3 無し) で 145.62 ~ 145.79MHz。競技用・ビーコン周波数ともに範囲内に。

* 水晶 16.2020MHzUS × 3 × 3 = 145.80MHz (通販量産品。格安) (V4.9 本機)
VX3 + 30pF リア-C (コスト削減) で 145.60MHz ~ (ビーコン 145.78 含む) 145.80MHz をカバー。入手できる水晶によって個性があり、再現性のもっとも悪い部分。水晶直列の L, C の値は要実験。

- ・ 20pF PVC を使用する場合は金属ケースにしっかりとねじ止めし、太めのスズメッキ線等でふらつかないように配線。バリコン裏側のトリマーは最少容量に。ダイヤル直結では $\Delta f = \text{最大 } 200\text{kHz}$ までが使いやすい。
 - ・ 可変範囲は VX3 のコアで調整。
 - ・ 発振段 (基本波発振回路) 2SC1906 の E 抵抗は 300 Ω 程度に下げると出力が強くなるが同時に妨害波 (受信周波数とほぼ同一) 輻射も増加。1k Ω にしたところ減少し、48MHz 帯は複同調に必要がなくなった。
 - ・ 次段の 3 通倍は当初 2SC1906 を使用、出力が強すぎた。2SK439E を使用したところ、出力を複同調としなくとも受信用としては十分な周波数純度と出力が得られた。(2SK241 では全くだめ) トレインの 100 Ω は GHz 帯発振防止用。この回路は JA7CRJ 千葉 OM 発表もの。
 - ・ 調整は近くに置いた無線機で発振出力を受信し、48MHz、145MHz 帯で S メーターがもっとも振れるようにコアを調整。プローブだけで出力調整をすると、何倍波に合わせているのかわからなくなる。基板は裸のままだと 15m 以上先の受信機に妨害 (主に VXO 初段の高調波) を与える。
 - ・ アルミケースで 完全シールドしたところ、5 ~ 8m とルールを満たすことができた。せんべいのブリキ缶をかぶせるとさらに改善。
- ルールを満たしているとはいえないオフレで必ず局発漏れがある。他の競技者とすれ違う際には周波数をずらなり電源を切るなどのマナーが必要。

②低周波増幅 (AF)

LM386 による低周波増幅。音量調節を廃してフルゲイン動作。大きなヘッドフォンほど音が良い。

- ・ 実験段階で、NE612 の Pin5 から AF 信号を取り出したところカサついた音。wpc で確認したところ高周波が混入、OSC 端子 Pin6,7 に近いためと思われる。AF 信号を Pin4 から取ることとした。(プリント基板化した後はどちらでも同じ)
- ・ Pin1,8 の 4.7 μF ~ 10 μF で +46dB (× 200 倍) 設定。DC 受信方式は雑音が少ないため、RF 段の感度調節だけで対応、AF VR 不要。
- ・ 入力 Pin2 の 0.01 μF は「シー」という高域ノイズ低減用。大きくするとノイズが低減するが、感度(ゲ

イン)低下。AF 入力周辺の C は積層セラミック指定。ディスクタイプだとノイズや振動を拾う。
 ・出力 pin5 の 0.1μ は発信防止用。スピーカー(イヤホン)までの配線が長い場合有効。
 ・ダイオードは約 $0.6V$ で導通し、過大出力をクリップさせて大音量から耳を保護。スイッチングダイオードなら何でも可。
 ・イヤホンジャックに配した 0.001μ は、イヤホンコードに乗った高周波信号をバイパス。
 ・ 10Ω はモノラルイヤホンを差し込んでグランド(GND、一側)に落ちたときの負荷となり、回路を保護。ステレオイヤホンの時は、信号波はほとんど減衰せず、モノラル/ステレオ両用となる。
 ・電源 Pin6 の 100Ω と両側の $100 \mu F$ ($470 \mu F$) とでデカップリング回路を構成。この回路がないと、大音量で瞬時に大きな電流が流れた場合時に電圧降下がおきて他の回路の動作に悪影響。
 当初、ゲインを稼ぐために LM386 の前に 2SC1815 のアンプを配置。水戸市周辺では、使用アンテナや時間帯によって NHK や IBS(茨城放送)の AM 放送が聞こえてしまい NG。前段(混合回路)にゲインを持たせ、AF 段のゲインをおさえた現回路に落ち着いた。

③混合(NE612)

バッファ(Buff.)、発振(OSC.)、混合(Mix.)回路内蔵の平衡入出力 IC。低電圧レギュレーター(Reg.)も内蔵されており電池使用に最適。電源電圧 Max8V。入力 Pin1,2 出力 Pin4,5 を直流的に GND に落とすと破壊。500MHz まで使え、変換利得+14dB。

・Pin6 に 0.001μ ($1000p$) F を介して局発を入力。
 ・信号入力 Pin2 を $0.001 \sim 0.01 \mu$ でバイパス。平衡入力は崩れるが、接近戦での F/B 比が格段に向上。3eleYAGI との組み合わせで Tx1m 以内に近づいても方向探知可。この C がないと 20m 以内では飽和してしまい、全く方向が探知不能となってしまう。
 ここまでの構成で完全自動(ゲインコントロール不要)受信機として動作。2km 先の 1W Tx を、ゲルマニウムラジオ並の音量で感知。200m 以内では大音量だが F/B 比あり。ただ、幹線道路沿い(ノイズ多)や山間部での探査には余裕がほしい。高感度を求めて RF 段を増設。

④高周波増幅(RF)／性能向上の鍵は 2SK439 ！

安価な 2SK241 を使用していたが 2SK439 に変えたところ、感度や安定性が向上し、発振しづらくなった。ピン配置が 2SK241 と逆になり要注意。実際の信号を聞きながら RF 部のコイルのコアを感度最大に調節。

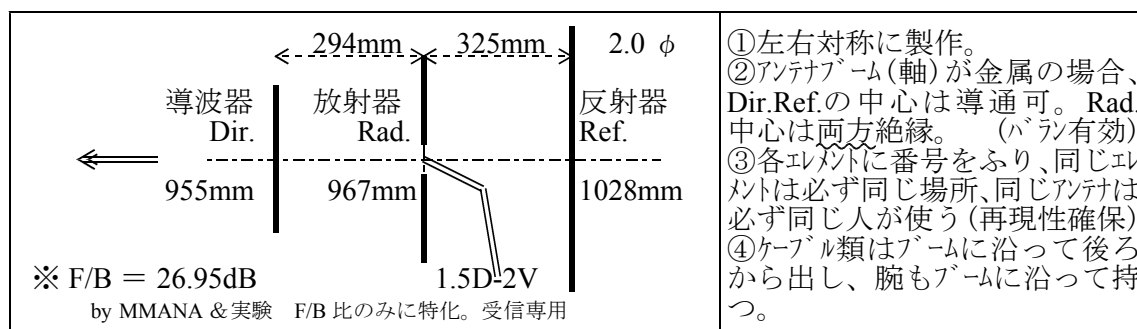
・電源供給を同調コイルの中間タップからにすると同調がシャープになり、動作安定。しかし基板ア트워크に難あり、通常方式に戻した。
 ・動作安定のため、IC やコイルの電源供給は端子直近にバイパスコンデンサーを配置。
 ・FCZ コイル 07S144 の同調容量は $7pF$ だが、FET 等の入出力容量や基板配置の浮遊容量が影響、回路図の値で同調した。
 ・感度調節は RF の電源電圧を $5k \sim 10k \Omega$ の B 型ボリュームでコントロール。VR 端子の 0.001μ は雑音対策。回転角とゲインとのフィーリングが今後の課題。VR 最大の少し手前の位置で一瞬 発振したようなノイズが出る(V1.0 ~ V6.5)が、原因不明、実用上問題なし。
 ・入力側-3dB (1/2) / 50Ω π 型アッテネーター(ATT)は一見感度が下がってもったいないような気がするが、弱い信号は少しの減衰、耳で聞いても違いがわからない。強い信号は大きく減衰し、ダイナミックレンジが拡大。感度 VR 操作が減り、S メーター(実験機で使用)のカバー範囲が拡大。接近戦に威力を発揮し、感度に余裕がある場合に有効。(本作品 V4.9 では使用せず)

⑤バラン(Balun)

対称性を確保してビームの偏りを少なくすることと DC 受信機からアンテナへの不要輻射防止のため、給電部にフロートバランを配した。(実際には DC 受信機アンテナ端子からの輻射は無かった) 放射器(Rad.)エレメントは両方とも高周波的に浮いた平衡な状態になる。FB-801#43 に 0.2ϕ ECW「2本より線(2本をドリルの先につけてねじる)」を3回巻き(穴の中に3回通す) 2本の絶縁要注意。

⑥ 3eleYAGI アンテナ

(下図中の同軸ケーブルは実際には使用せず、Rad.給電部にバランを配置)



※アンテナエレメントは 4WD 車用のワイパーゴムに入っているステンスプレートを使用、ステンス用ハダにて加工した。PC によるシミュレーション(MMANA 使用)の結果、ステンスをエレメントに使うとゲインや FB 比が低下。材質を銅にするとほぼ理想通りの結果となるようである。

・体感感度「首からぶら下げた VX8+2m 用短縮ホイップ」 $\geq$ 「本機 3ele システム」 $>$ 「同 VX8(-10dB 内蔵 ATT)」

- ・2ele 八木や 2eleHB9CV ではアンテナを持つ手の手首を左右に振りながら探査するが、3ele 八木だと一方向にばかりと決まる。
- ・VXO の周波数は安定しており、炎天下 2 時間の競技中一度も周波数の再調整をする必要が無かった。競技中に気合いが入りすぎて筐体がゆがむと多少ずれるが、耳で追える範囲。16MHz の汎用水晶を使用することになって一気にローコスト化、受信基板部分が ¥3000 + α で可能になった。

クリスタルフィルタは競技実用上必要ないが、IF 信号を使った S メーターを実験してみたかったので $BW = 15\text{kHz}$ のものを挿入。近接チャンネルの混信波がばっさりと切れた。

[illegible]