

## ハムフェア2016自作品コンテスト申込書

一般社団法人 日本アマチュア無線連盟  
アマチュア無線フェスティバル実行委員会御中

ふりがな

作品 ななめがへるつ しーだぶりゅー とらんしーばー  
7MHz CW トランシーバー

■ 自由部門

ふりがな

申込者名 (団体の場合は代表者名)

コールサイン

ほんだ すすむ

JK1LSE

本田 進

印

ふりがな

団体名 (団体の場合)

ふりがな

住所または連絡先 (団体の場合は代表者)

〒

電話番号 (団体の場合は代表者)

自宅:

携帯・PHS:

勤務先:

E-mail アドレス: susumu.honda@nifty.com

申込者もしくは代表者の生年等

年生

職業

性別

◎団体で応募の場合はつぎをご記入ください。

団体の構成員数 名 (うち今回の製作に協力した人数 名)

(以下1～3についてお答えください)

## ハムフェア2016自作品コンテスト調査表

1. 応募した作品について雑誌等に発表したことが  
ない

\* あると回答された場合、具体的な雑誌名・発行年月日を明記してください。

(雑誌名: \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月号を参照)

2. 応募した作品を製作するうえで参考としたものがありましたら、その資料名を  
お書きください (発行年月日なども含む)。

JA1QVM さんのサイト(受信部の一部を参考にしました)

<http://blogs.yahoo.co.jp/tadashimiya/13116110.html>

3. 過去において本コンテストに応募したことのある作品を、改良などして今回  
応募される方は、改造の内容・前回の応募年数をお書きください。

なし

注) ※印は記入しないでください。また、応募作品概要などは別紙に記入してください。

参加部門	自由部門
ふりがな	ななめがへるつ しーだぶりゅー とらんしーばー
作品名	7MHz CW トランシーバー
用途・製作の理由など	<p>用途：コンパクトで高効率の 7MHz 帯 CW トランシーバー</p> <p>製作の理由：          一年中、交信可能な 7MHz 帯で、DX や全国どこでも手軽に通信できる、コンパクトな CW 専用無線機を作ってみたかったから。          性能は、市販の本格的なトランシーバーと比較しても遜色が無いものとして、実際の運用に十分活用できる物が欲しかったので製作しました。</p>
特徴	<p>特徴：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1)コンパクトサイズ(130x90x30mm 突起を除く) で実現。重さ 321g。</li> <li>2)終段に E 級増幅器を採用して高効率を実現。(終段回路単体で最高 90%以上)</li> <li>3)E 級増幅器の特徴を活かした連続可変が可能なパワーコントロール回路を搭載し、QRP にも対応。(0.5W から 10W までを連続可変可能)</li> <li>4)E 級増幅器は独自プッシュプル回路方式と調整方法により、高効率でかつ第 2 高調波の劇的な低減を実現。(新技術基準に適合)</li> <li>5)これらの特徴を活かして、発熱やフィルターの増大を防ぎ、小型化を実現。</li> <li>6)受信系はローバンドであることから、2 信号特性を考慮したシングルスーパー構成。</li> <li>7)クリーンな電波の質を得るために、タイミング専用のマイコン(PIC)を用いて、キークリックを防止したソフトキーイングを実現。</li> <li>8)実践で快適に使用するために、よく使うエレキーなど付加回路を搭載。</li> <li>9)共通部では DDS を使用した周波数直読可能な VFO を搭載。(10Hz から 10KHz ステップを切替可能)</li> </ol>
概要説明・系統図など	<p>概要説明</p> <p>1)YM-130 (130x90x30mm、タカチ製) という、手のひらサイズのコンパクトなケースに、出力電力最大 10W で、十分な感度・2 信号特性・選択度を持った受信機能を、安定的に動作することを目標に回路構成を検討しました。          昨年、ほぼ同様の回路構成で YM-130 を 2 個で構成した自作トランシーバーを製作しており、よりコンパクトにするため、機械 CAD、PCB_CAD を使用して本トランシーバーを製作しています。</p> <p>2)E 級増幅器はスイッチング動作を電圧と電流の積(=電力損失) が最小となるように、共振回路を利用して動作させる回路です。海外では多くの実験事例があります。最近日本では、AM 変調送信機に応用される例が散見されています。E 級増幅器は、増幅器というよりも、スイッチング電源回路そのものです。スイッチング電源の考え方が適用できます。終段のドライブ回路など改善する余地が多く、これからももっと実験されても良い回路方式だと思います。</p>

3)前述のとおり、スイッチング電源と同じ動作なので、終段に印加する電圧に比例した出力電圧を得ることができます。電源電圧を可変することで、簡単に出力電力を 0.5W から 10W まで可変することができます。

4) プッシュプル回路が第 2 高調波を低減することは、以前から知られていますが、電力回路において簡単にバランス調整をすることができないことから、完全にバランスを取り、第 2 高調波を有効に低減することができませんでした。

E 級増幅器はドライブ回路がデジタルであることから、デューティ比を簡単に調整でき、出力回路の交流バランスを取ることで、-50dBc 以上の減衰量を実現しました。(新技術基準に適合)

まるで、SSB リング変調器のキャリアバランスを取るように調整することが可能です。

また、E 級増幅器によるプッシュプルの事例紹介が少なく、共振回路の構成、バランスを取る出力トランス構成を考案しました。回路はいずれも従来から使用されている部品の構成要素で、ゼロ電圧スイッチング(ZVS) を実現しています。

5)これらの特徴を活かして、発熱やフィルターの増大を防ぎ、小型化を実現しました。

6)受信系はローバンドであることから、RF アンプをなくして、2 信号特性の向上を図り、IF 部で 3 段のストレートアンプにより必要なゲインを稼いでいます。CW フィルターは、6 素子 X-TAL で約 1KHz のバンド幅を得ています。もっと、狭帯域にもすることができますが、個人的な好みで CW としては広い帯域にしています。

あまり狭いとリングングが発生したり、呼んでくる局のわずかな周波数ズレで受信できなくなるからです。

7)クリーンな電波の質を得るために、マイコンのプログラムパラメータを変更することで、キー波形の立ち上がり、立ち下がりを中心に調整することができます。また、この専用マイコンはセットの小型化にも寄与しています。この 100 円以下のマイコンはゲート IC の代替であったり、アナログメータの代わりなどもっと利用されても良いと思います。

8)実践で快適に使用するために、受信部のナローフィルター、RIT 回路、送信部のエレキー、フルブ레이크インにも対応したブ레이크イン回路、コンテストなどコンピューターによるキー入力を可能とした外部キー入力を設けました。

9)共通部では DDS を使用した周波数直読可能な VFO を搭載しました。

(回路の詳細説明・ブロック図・回路図は別紙をご覧ください)

\* 作品の写真があれば添付してください。

注) 応募期間 (書類受付) : 3月中旬~5月2日 (月) (郵送の場合は消印有効)

7MHz CW Transceiver 諸元表

周波数	7MHz帯	送信入力電力(電源入力12V時)	11.2V x 0.920A = 10.3W
電波形式	CW	送信出力電力(電源入力12V時)	8.6W
電源電圧	9~13.5V	(電源入力13.5V時)	10W
消費電流(電源入力12V,バックライトOFF時)		終段効率(電源入力12V時)	83.5%
受信時	135mA	終段トランジスター	2N7000 x 6
送信時	1065mA	スプリアス発射強度	-50dB以下
空中線インピーダンス	50オーム	受信方式	シングルスーパー方式
外形寸法 突起を除く		中間周波数	9MHz帯
幅	130mm	受信感度(S+N/N 10dB)	-7dBu
奥行	90mm	選択度(-6dB)	1KHz
高さ	30mm		
質量	321g	発振方式	DDS方式125MHz

【別紙】

【7MHz CW トランシーバー (前面)】



【7MHz CW トランシーバー (背面)】



## 【7MHz CW トランシーバー (内部)】



### 詳細説明

#### (1)送信部

1)終段回路は高効率の E 級増幅器を採用しました。

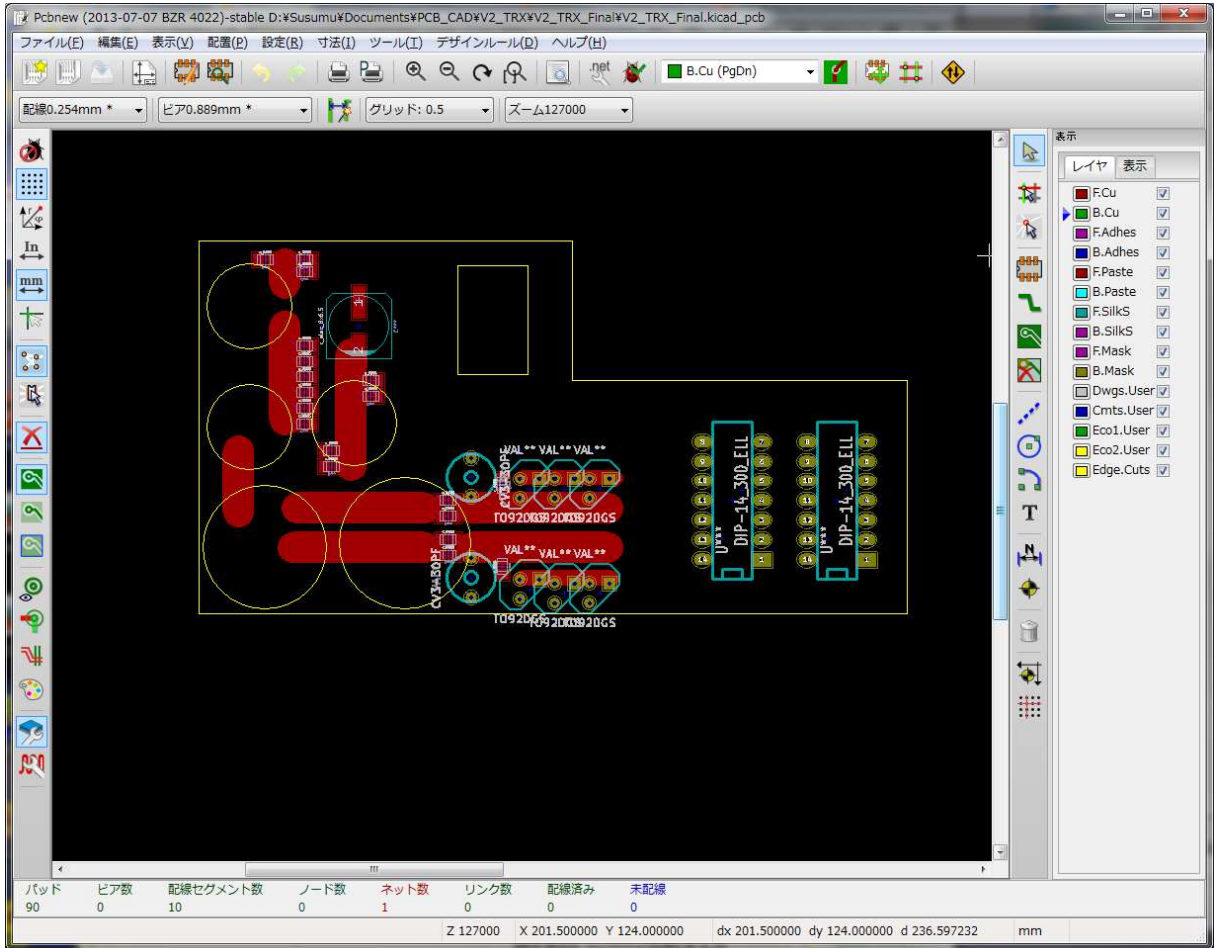
回路方式がアマチュアに紹介されたのは QEX 誌 (Jan/Feb 2001 年) の WA1HQC によって紹介されましたがプッシュプルでの実施例は少なく、また、調整を行い十分な性能を得ている例もあまりありません。

携帯電話基地局など、プロの世界ではエコの観点からも、高効率化の技術開発は盛んに行われています。実用化されている技術もたくさんあります。

シングル方式と比較して、終段のトランスの利用効率が 2 倍となり小型化にも寄与します。また、プッシュプルのバランスを完全にする事により、第 2 高調波が 50dB 以上低減できます。従来からプッシュプル方式はありますが、バランスを完全に調整することが容易ではなかったことから、第 2 高調波の抑止は限定的でした。

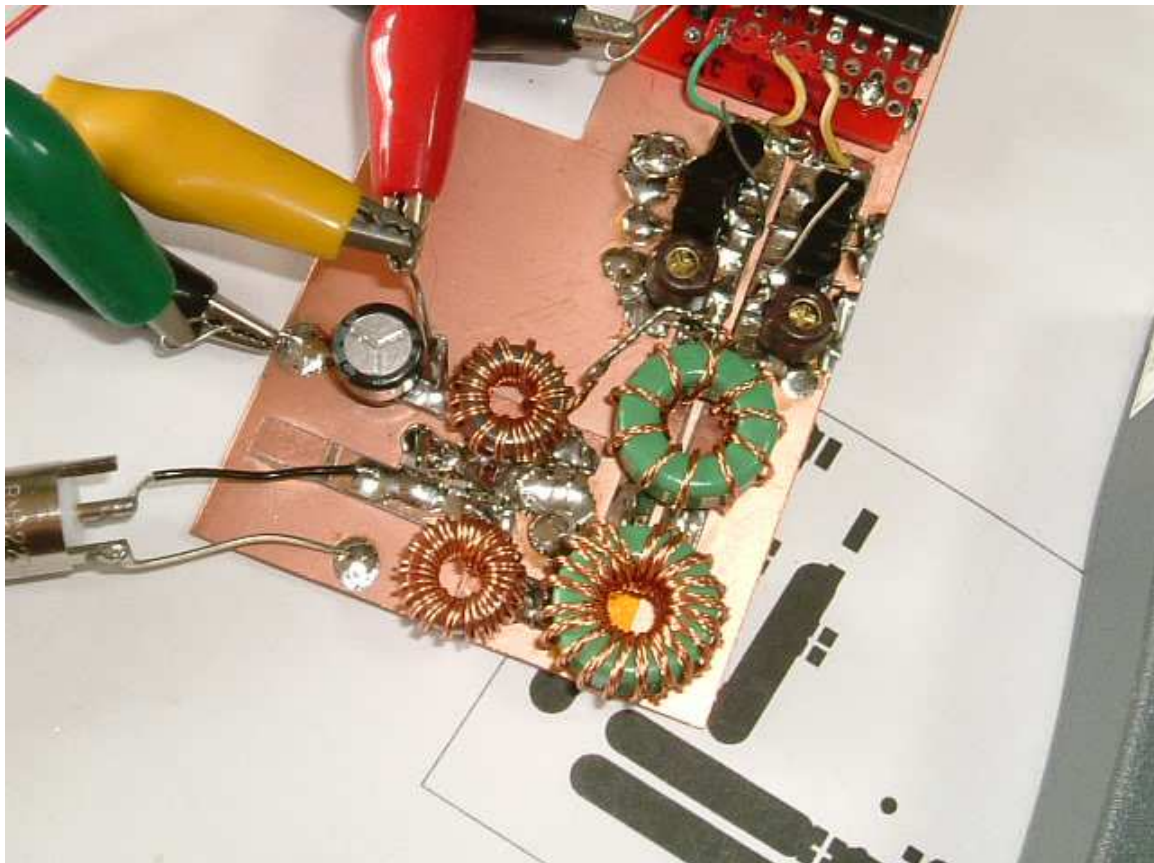
今回は、E 級増幅器の動作点調整とバランス調整を兼ねる回路を採用し、調整方法を確立し回路が実現できました。

【写真 1 送信部のレイアウト検討】



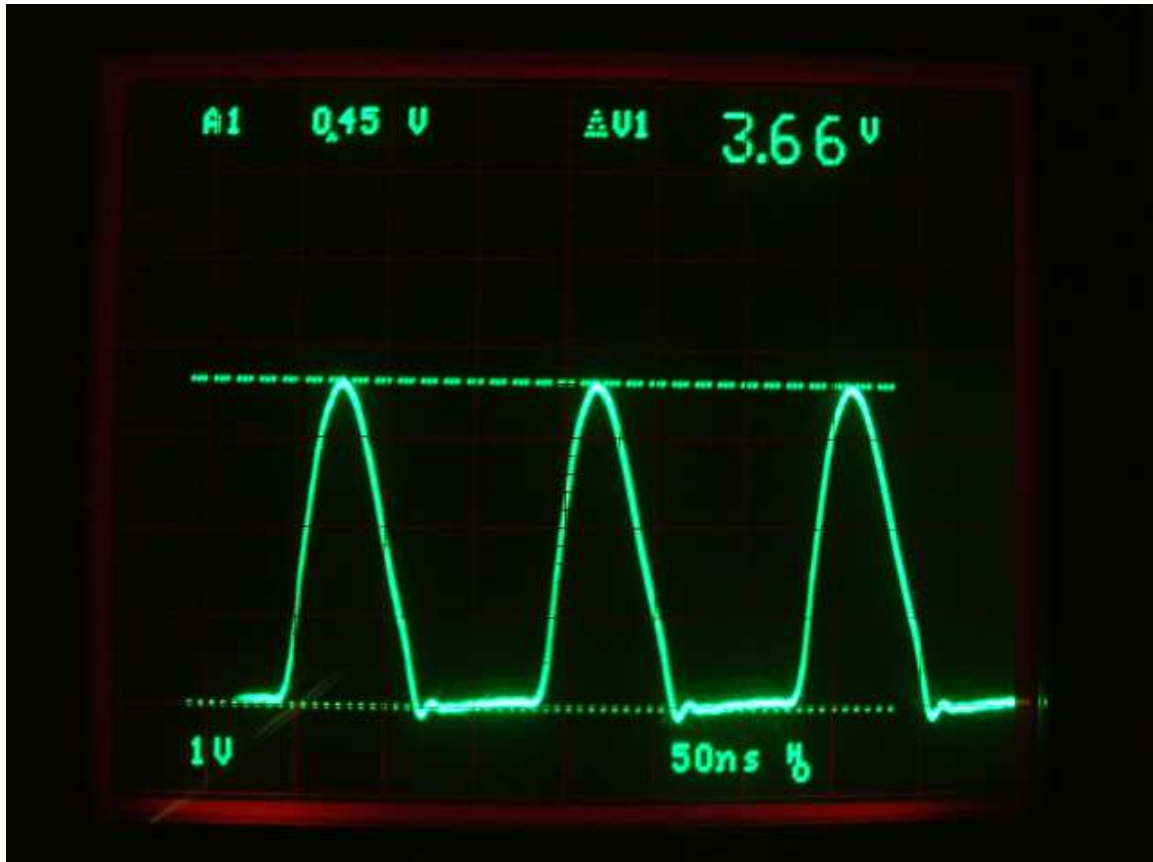
小型化を実現するため、KiCAD を使って部品レイアウト、パターンの引き回し検討を行うことで、高密度実装が実現できました。

【写真 1 送信部の単体調整】



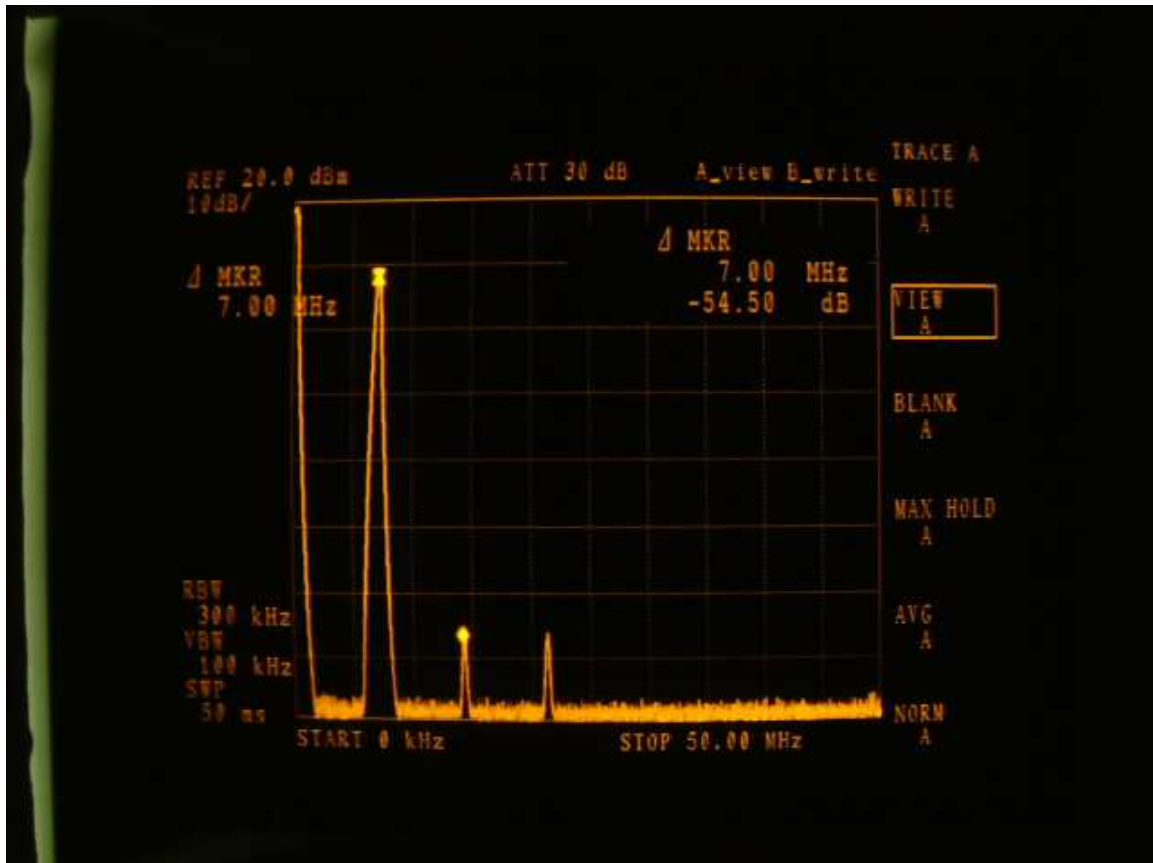
送信部のみを事前に動作させ、所定の特性が出ることを確認しています。この段階でプッシュアップのバランスを入力のリニア調整とドレインに挿入されているトリマーコンデンサーで調整し、第 2 高調波を抑制します。また、以下の【写真 3】で適切な動作点であることを、確認します。

【写真 3 終段のドレイン電圧波形】



$V_{dd}=12V$  の時、共振により約 3 倍まで電圧が上がります。終段の効率化は FET が OFF から ON に切り替わる点と、ON から OFF に変化する点で電圧と電流がクロスすると損失が発生します。これを OFF 時に電圧を共振させることで、切り替わり点付近では 0V に近づく様にします。これが E 級増幅器の原理です。ゼロ電圧スイッチング(ZVS) と言います。また、損失は ON 時の抵抗（ドレインの ON 抵抗）も損失の原因になります。これを改善するにはゲートドライブ電圧を上げるなどの方法があります。基本的には、ON 抵抗の小さな FET を使用することです。

【写真 4 出力の高調波特性】



V<sub>dd</sub>=12V 時、ローパスフィルターを一段入れた時の高調波スプリアス特性です。画面のマーカーは基本波との差分を表示しています。第 2 高調波はこのフィルターではほとんど減衰されず、プッシュアップ回路のバランスを調整することで抑制されています。第 3 高調波は若干、それ以上の高調波はこの 1 段のローパスフィルターで十分に減衰しています。簡単なフィルターが 1 段だけで新技術基準の-50dB をクリアしています。

2) 終段回路単体の効率は最大で 90%以上に達します。全領域においても 80%以上を確保しています。このことから、TO92 型パッケージ (2SC1815 等のパッケージ) の FET が 6 個で、安定して 10W の出力電力を得ています。発熱が無いため放熱器や FAN 等も必要ありません。これが、安定度の向上やや軽量化にも役立っています。

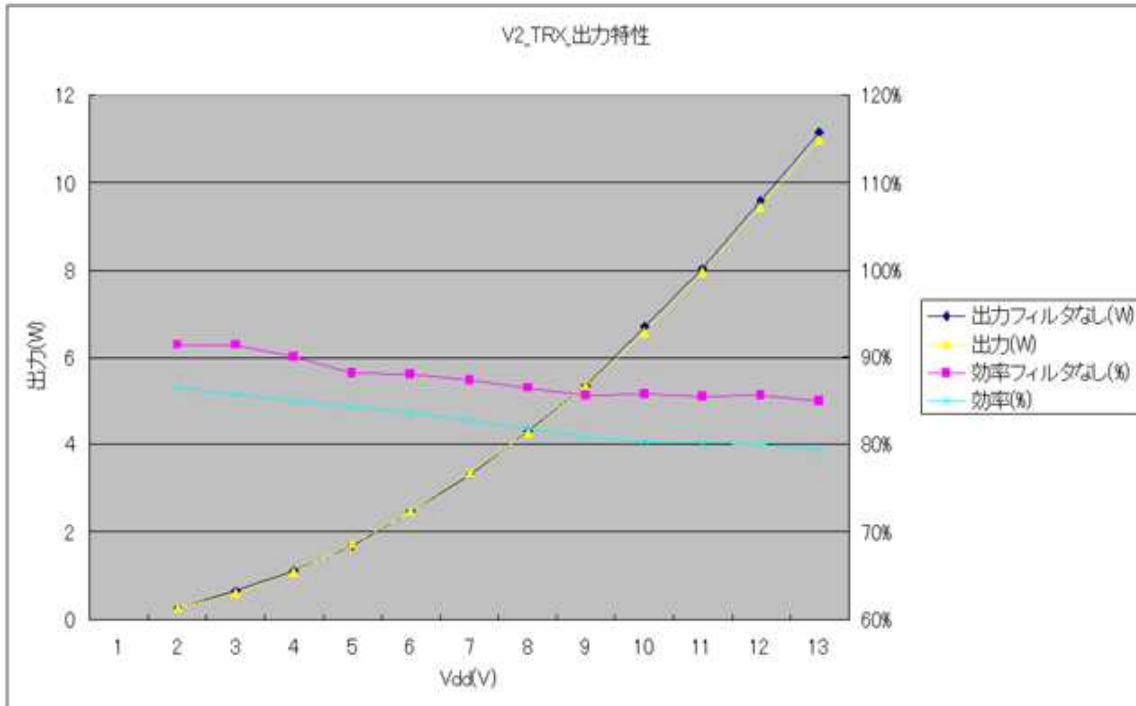
10W 級トランシーバーでありながら、1.5A/12V の出力が供給可能な小型の電源を使用することができます。

終段のドレイン電圧を 3V から 13.5V まで可変することで、出力電力を 0.5W から 10W に可変することができます。また、出力が 50 オーム負荷であれば、ドレイン電圧を測定することで、正確に出力電力を知ることができます。

この値を CPU の ADC で読み取り、LCD に出力電力として数値表示をしています。



【グラフ 1 出力特性と効率特性】



これは終段回路単体の特性を表しています。ローパスフィルタを1段付加することで、効率は低下しますが、それでも約80%を確保しています。

実機では、ドレイン回路にパワーコントロール回路、キーイング回路が挿入されるため、セットの電源入力電圧13.5V時に約10Wの出力電力となります。

### 3) タイミング生成部

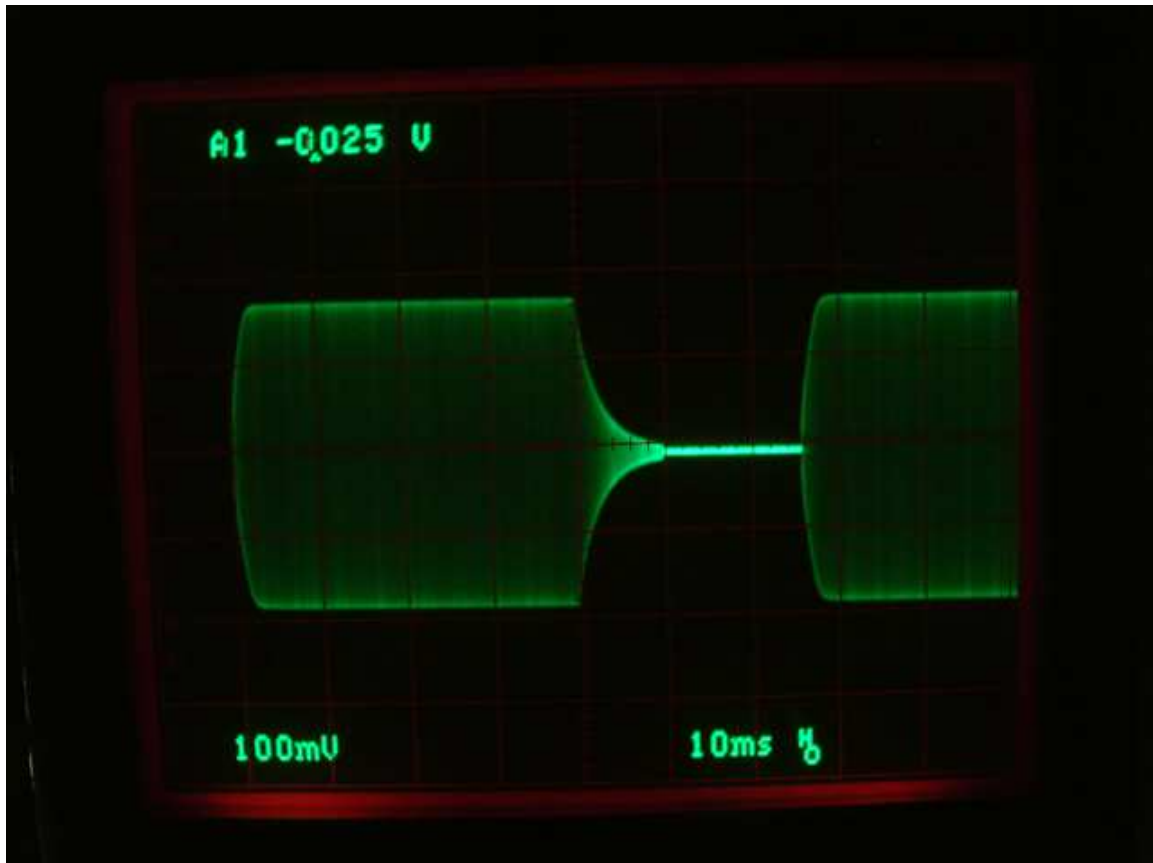
これまでの製作例を見ると、終段のドレインを直接キーイングしています。この方式では、信号波形が急激に立上がり/立下がることから、キークリックが発生し、信号帯域が広がってしまいます。

これを回避するために、タイミング生成回路を設けました。立上がり時は、終段ドレイン電源制御用トランジスタ(2SB1203)にとコンデンサーで時定数を設けて、ソフトに起動させています。立下がり時は、終段ドレイン回路の電解コンデンサーの時定数により、ゆっくり立下がります。タイミング生成回路は、汎用ロジックICでも実現できますが、多くのICを必要となるために、マイコンPICで機能を実現しました。割込み処理により、1mS単位でタイミングを自由に生成することができます。

マイコンに付加機能として、送受信切替えタイミング信号生成、サイドトーン発生機能、ブレークイン機能も付加しました。

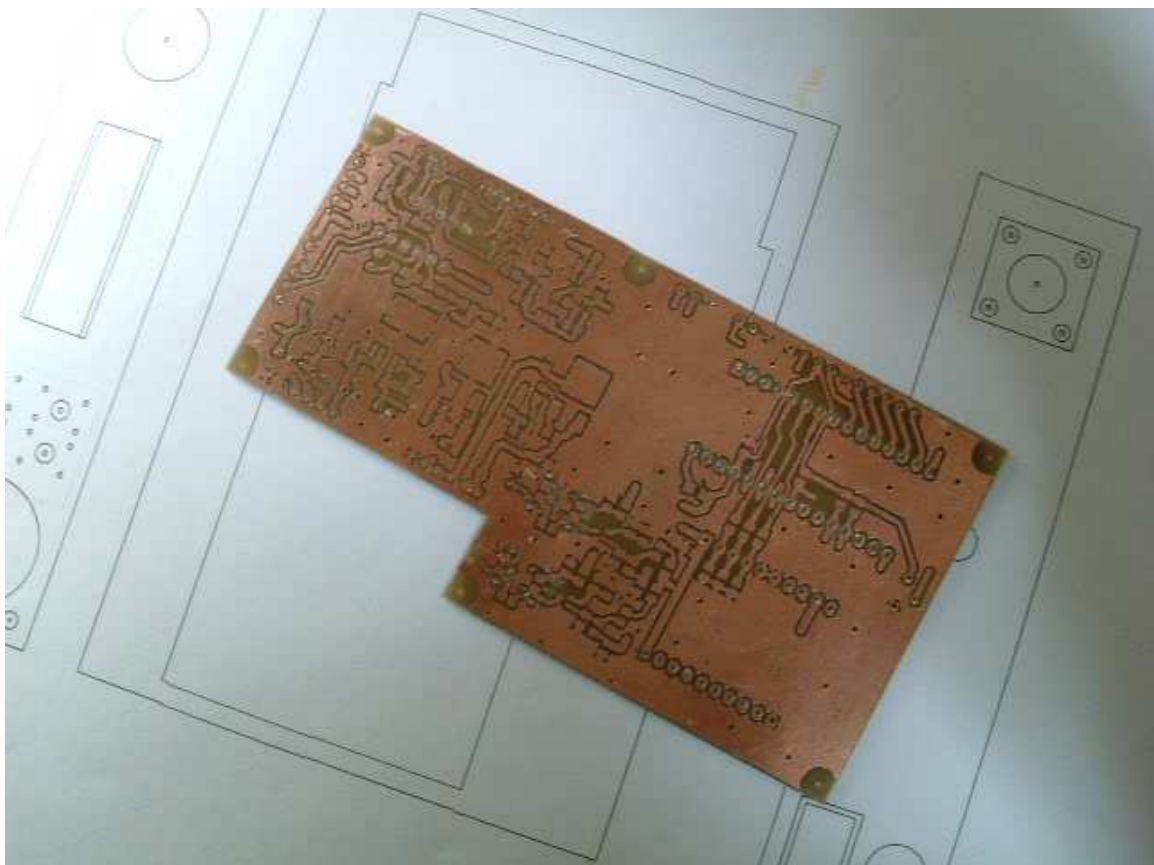
サイドトーンは外部のパソコン等を使用する場合、サイドトーンをOFFできるスイッチを設けました。(ケース内にスイッチを配置) また、ブレークインの送信ホールド時間もボリュームで可変できるようにしました。最短にするとフルブレークインも可能になります。(ケース内にボリュームを配置)

【写真5 キーイング波形】



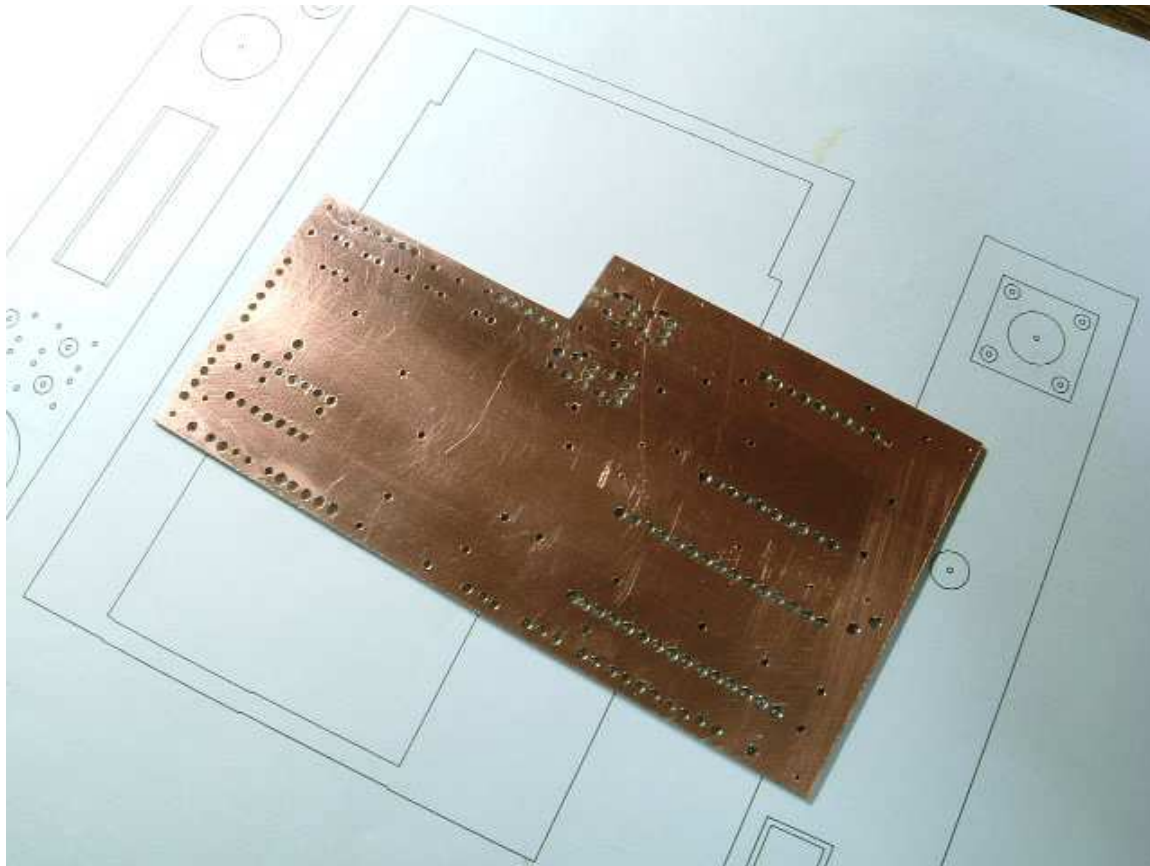
RF出力の波形を観測しています。立上りで約4mS、立下がりで約10mSのディレイを設けています。

【写真6 コントロール基板（ハンダ面）】



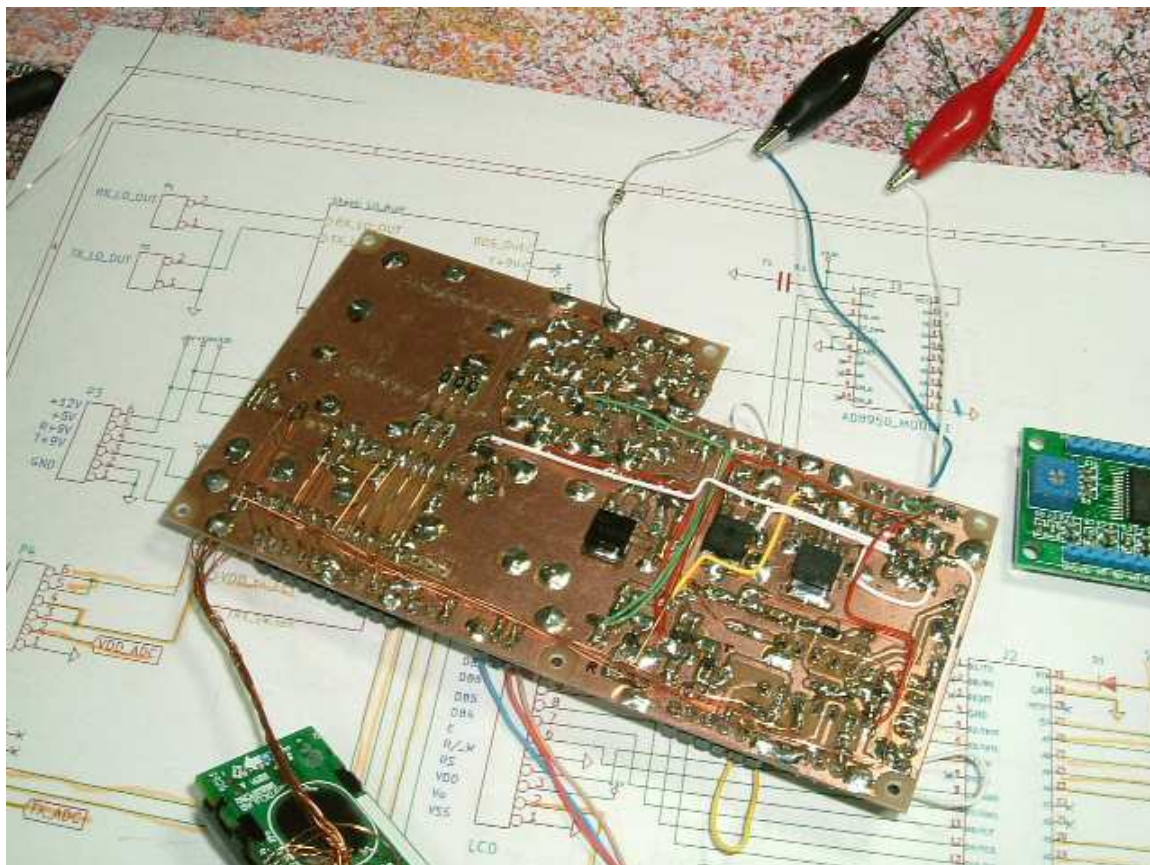
KiCADでパターンを作成しています。

【写真7 コントロール基板 (部品面)】



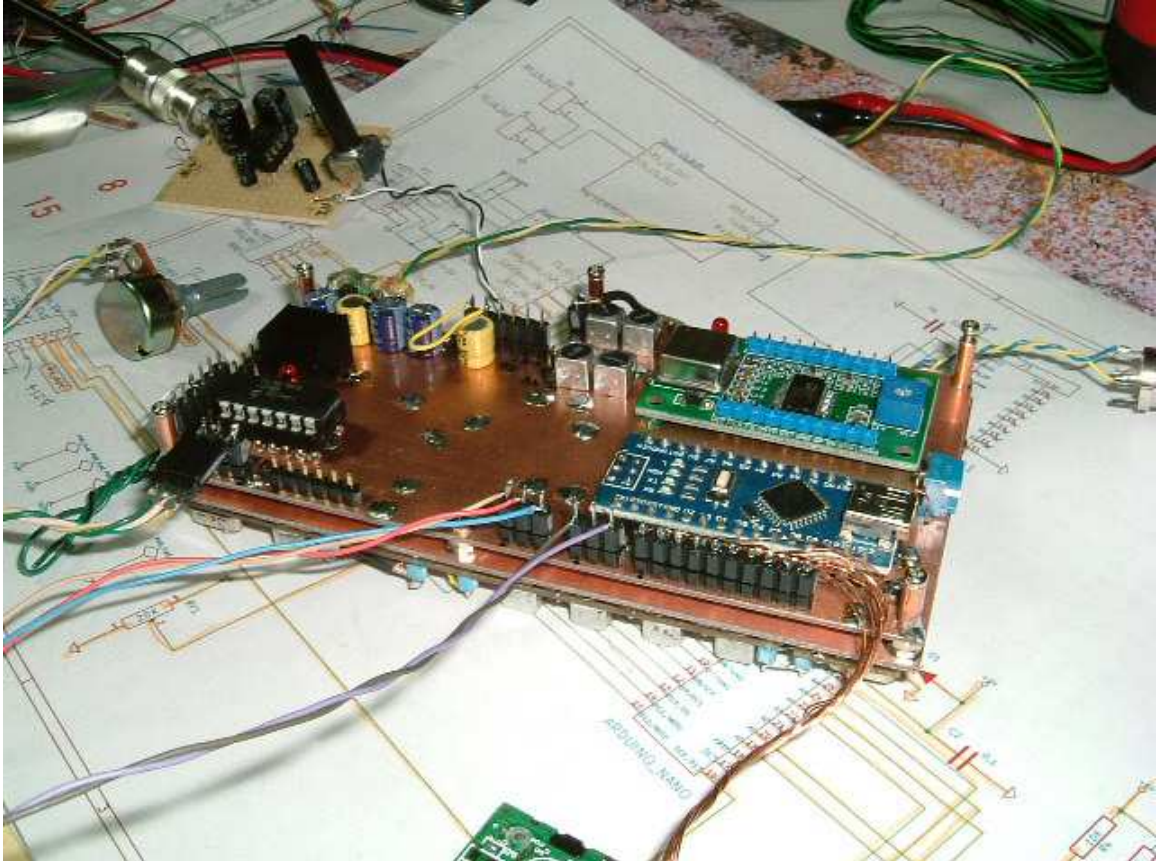
全面をグラウンドとすることで、回路の安定化やデジタルノイズの軽減を図っています。

【写真8 コントロール基板のハンダ面の部品実装の様子】



ハンダ面にはチップ部品が多数使用されています。部品面は全面アースですが、さらにハンダ面もアースを多く取り、長い信号線や電源線はワイヤーで配線しています。手作りならではの安定化の手法です。量産には向きません (手間が大変です)。

【写真9 コントロール基板 (部品実装面)】



左からタイミング制御用マイコン、5V用DC-DCコンバーター、(手前右)Arduino NANO(CPU)、中国製DDSモジュールが実装されています。写真では未実装ですが、中央の空いているスペースにAFアンプ、エレキキーを実装しています。高さ制限が、基板端面から9mmなので、各モジュールのピンを交換して高さスペースを作っています。

## (2) 受信部

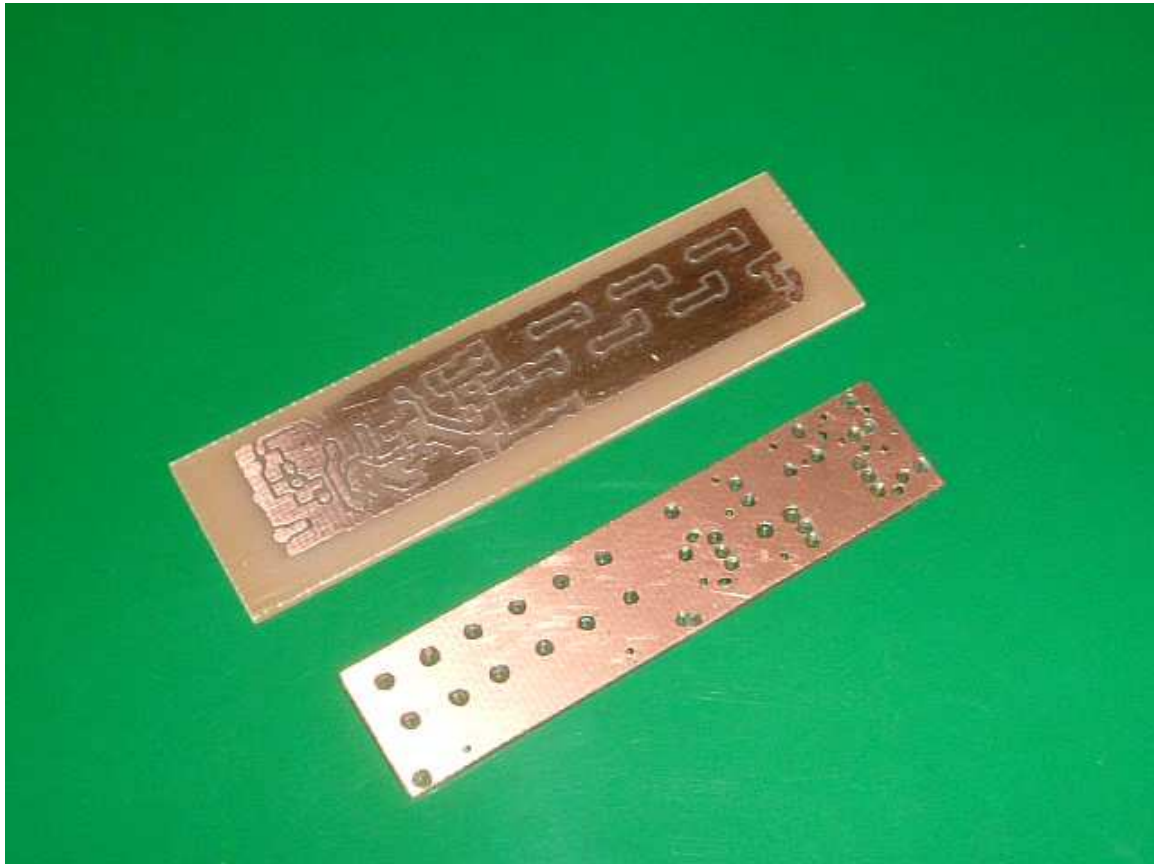
入力回路は、RFアンプなしとしてBPFを経て、ダイオードDBMに入っています。これは2信号特性に配慮したためです。デメリットとして、LOがアンテナに漏れることが懸念されますが、本機では-68dBmまで抑圧されています。

また、トータルの感度不足の恐れがありますが、ポストアンプと3段のIFアンプ(フルゲインで80dB)により、問題ないレベルまで増幅しています。ローバンドであれば十分な-7dBu(S+N/N 10dB時)を得ています。実運用でも感度不足を感じることはありません。

AGCはIF終段から信号をとり、検波して負の電圧を得て、これを各ゲートにフィードバックしています。また、レベル変換用のFETを経て、ADCに読み込まれ、LCDにSメータ表示を行っています。

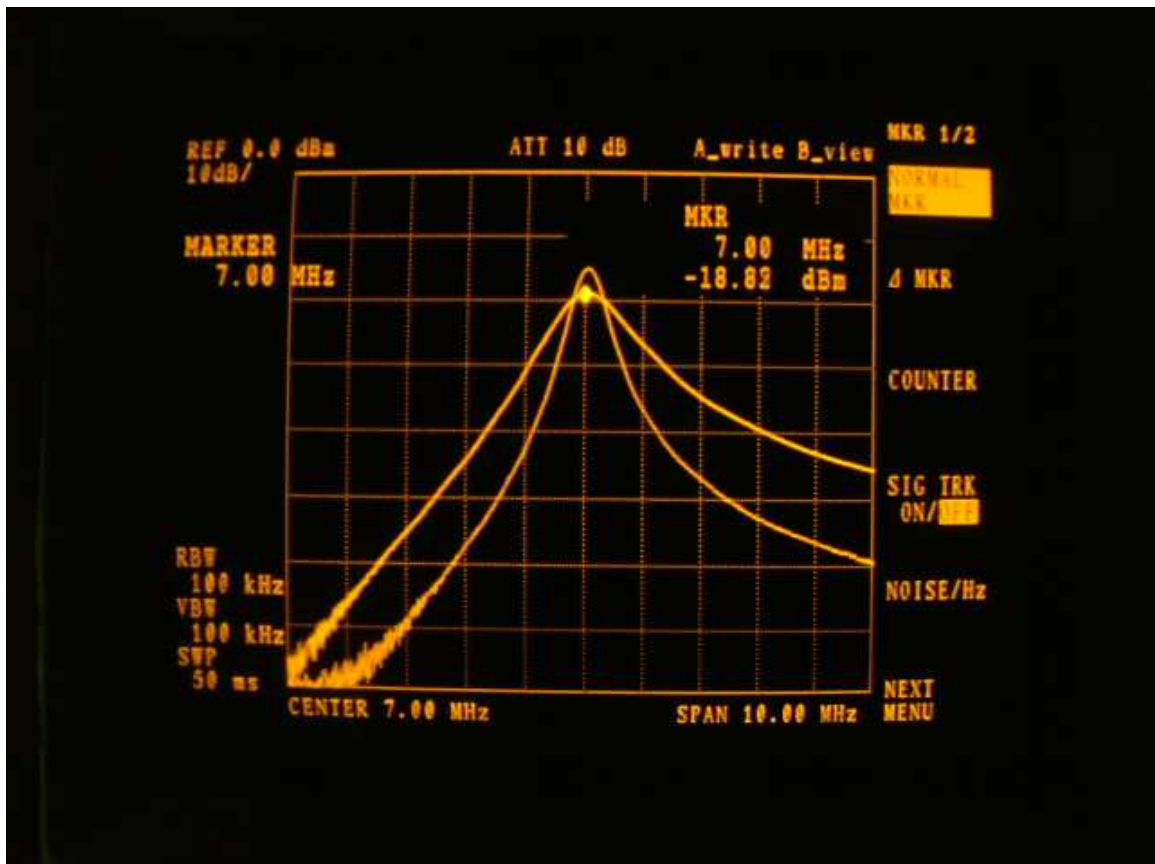
AFアンプは小型のLM4881を使用しています。ヘッドフォン用のアンプなのでスピーカーを鳴らすにはちょっとパワー不足ですが、ヘッドフォンを鳴らすには十分な出力です。

【写真 10 フロントエンド基板】



バンド面と部品実装面です。

【写真 11 フォロンとの BPF の特性】



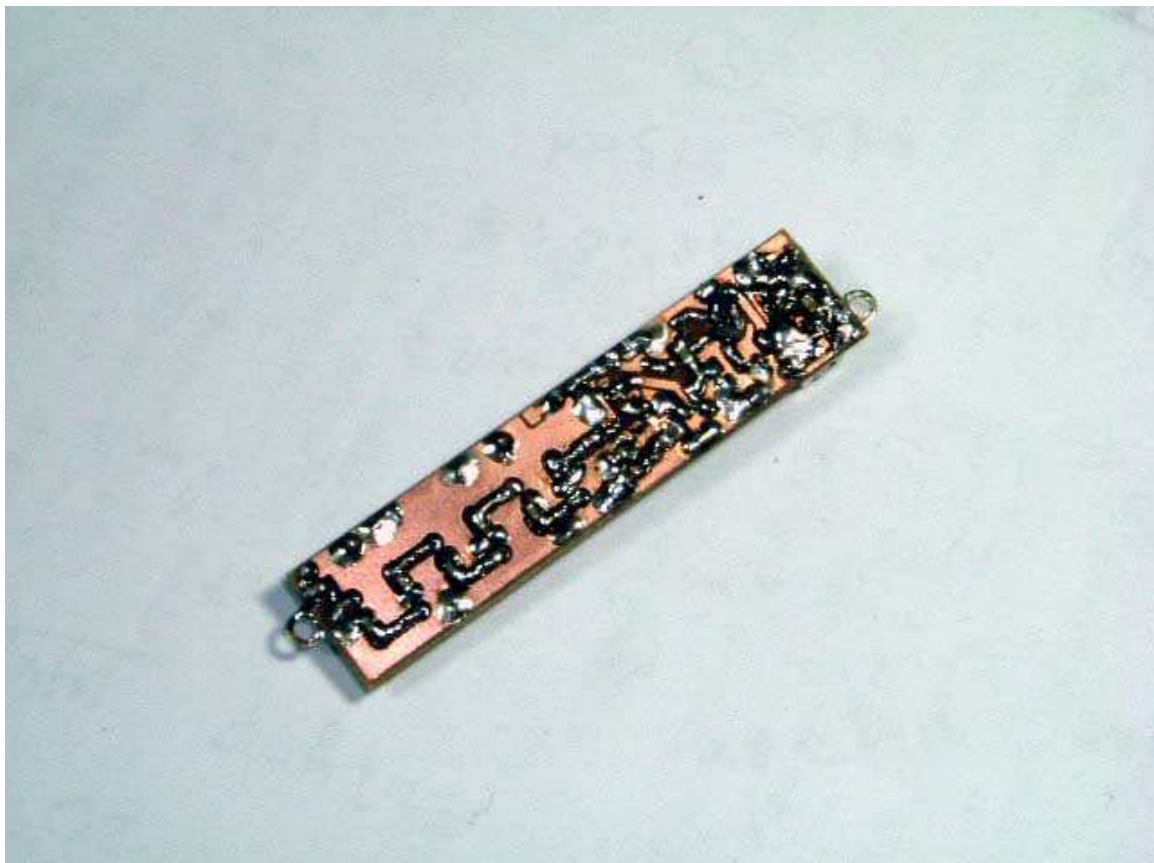
ブロードな特性が今回採用した 6mm 角サイズのコイルを使用した時の特性です。もう一方の急峻の特性は大型のコイル（10K 型）を使用した特性です。今回は、小型化するために特性を犠牲にしていますが、聴感上は差を感じません。通過ロスの増加と全体に帯域がブロードになっています。局発(16MHz)のアンテナ側への漏れは約 68dBm で、10K 型を使用すればさらに 10dB は改善します。

【写真 12 クリスタルフィルターの特性】



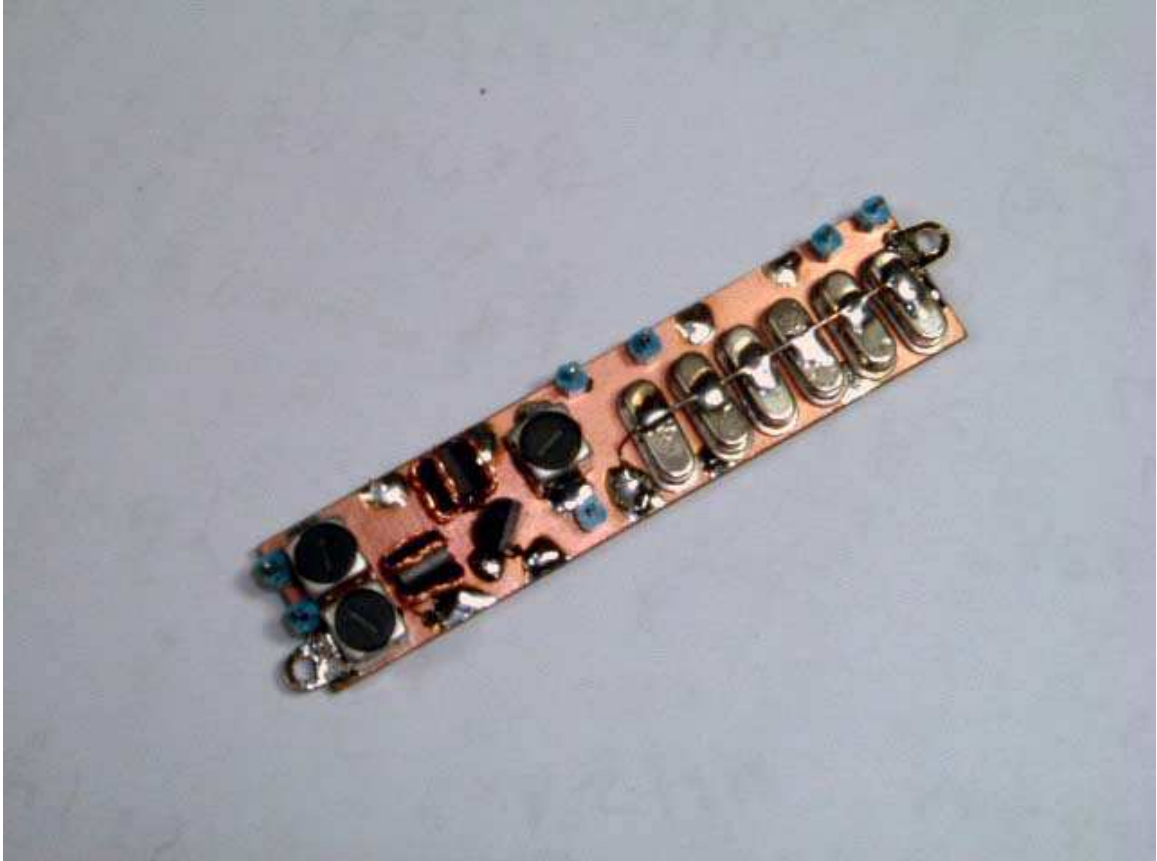
約 1KHz の帯域を得ています。裾野の減衰量は測定系による結合により悪化して表示されています。実際はもう少し減衰量が得られているようです。

【写真 13 フロントエンド (ハンダ面)】



ポストアンプの J310 以外の半導体、CR はハンダ面に実装されています。

【写真 14 フロントエンド (部品実装面)】



左から,BPF、DBM のトランス、J310、クリスタルフィルターです。

【写真 15 IF アンプ (ハンダ面、3 段アンプ部)】



2SK241 (リード部品) のチップ部品である 2SK882 をハンダ面に実装しています。アース面が取れないので、部品実装面のアースを積極的に使って安定度を保っています。3 段のストレートアンプで約 80dB を稼いでいますが、非常に安定して動作しています。これはアースと、電源/AGC ラインのデカップリング、部品リード線が短くなったことが寄与していると思われます。

【写真 16 IF アンプ (ハンダ面、検波・BFO・AGC 部)】



アースがほとんど取れないので部品面のアースに頼っています。

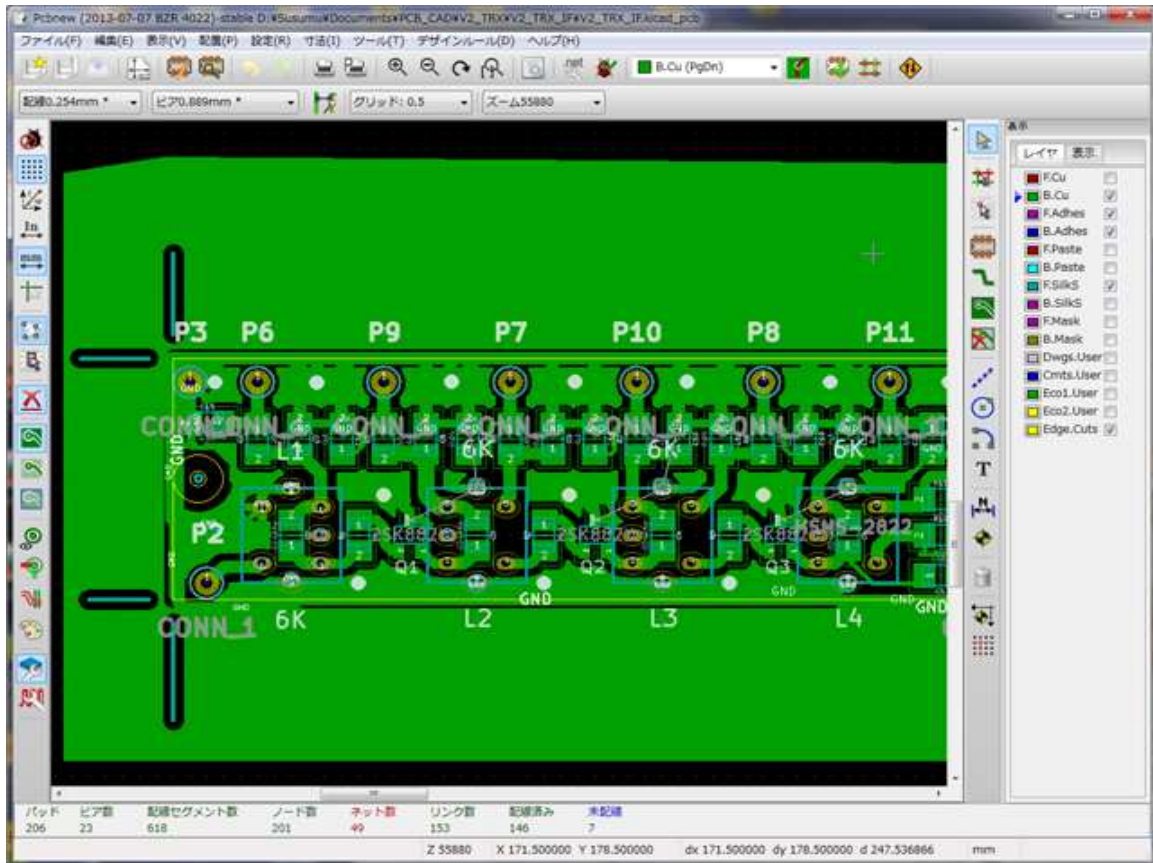
【写真 17 IF アンプとフロントエンド (部品実装面)】



これに局発(LO)を加えれば、受信できるようになります。



【写真 18 IF アンプの基板設計】



KiCAD を使用して設計しています。ハンダ面にはチップ部品をぎっしりと並べて、配置しています。

### (3) 共通部

信号の発生源は中国製 DDS(AD9850)モジュールを使用しています。送信時は 7MHz を直接、受診時は LO として、16MHz を発振させます。IF は厳密に 9.0MHz より若干下なので、これと、DDS の源発振(125MHz)の誤差を、プログラムで補正しています。これにより、周波数絶対値 50Hz 以内、送受信誤差 10Hz 以内に収めることができました。

CPU は Arduino を採用しました。これまで PIC ばかり使用していて、アトメルのチップは初めて使用しますが、CPU チップのハードウェアを意識することなく (ハードウェアが隠蔽されている)、PIC のプログラムを簡単に移植することができました。この辺りが、Arudino や C 言語の良いところです。昔よりもマイコンの敷居がかなり低くなりました。

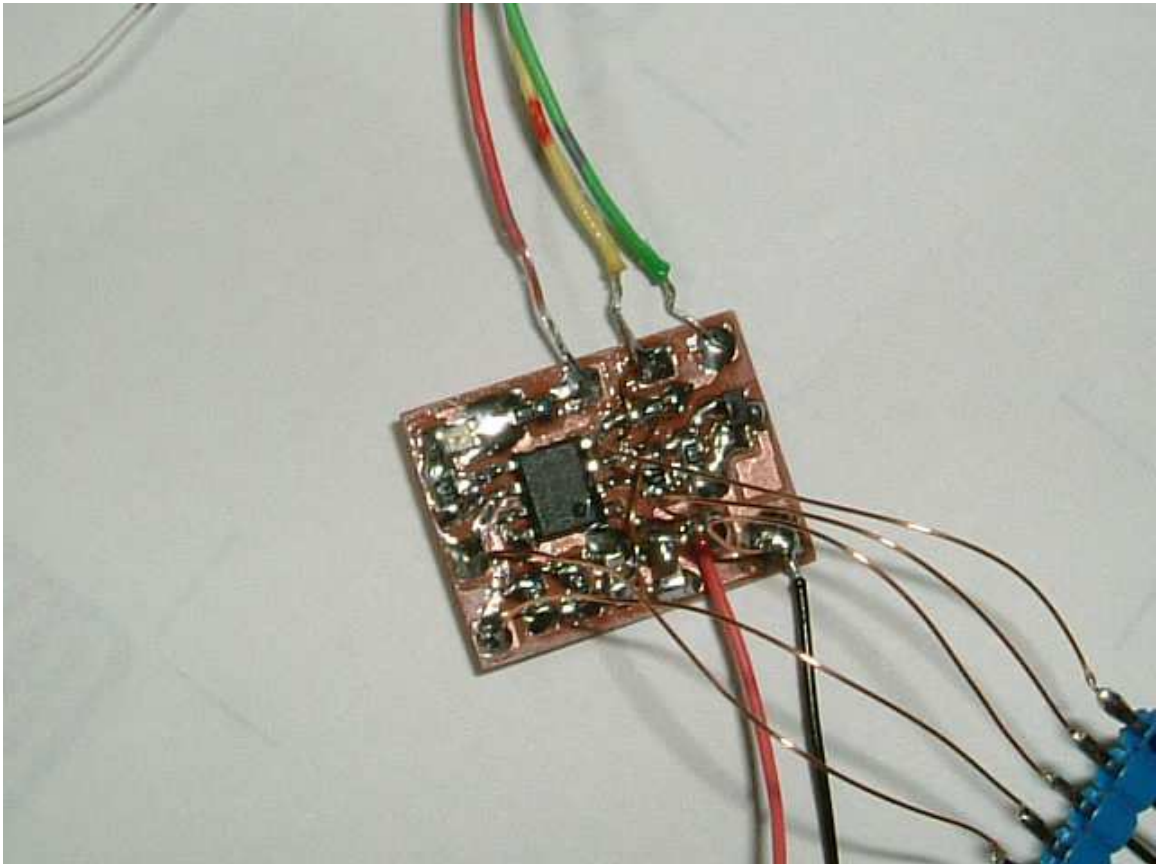
写真は前ページの【写真 9】を参照してください。

### (4)その他

実用機として使用するため、8pin IC によるエレキーを内蔵しました。これは、普通の長短点メモリー付きのものです。これ以外に、コンテストなどパソコンによるキーイングが可能なようにストレートキー入力も用意しました。5W の QRP 運用でも、コンテストともなればたくさんの局と交信することができます。

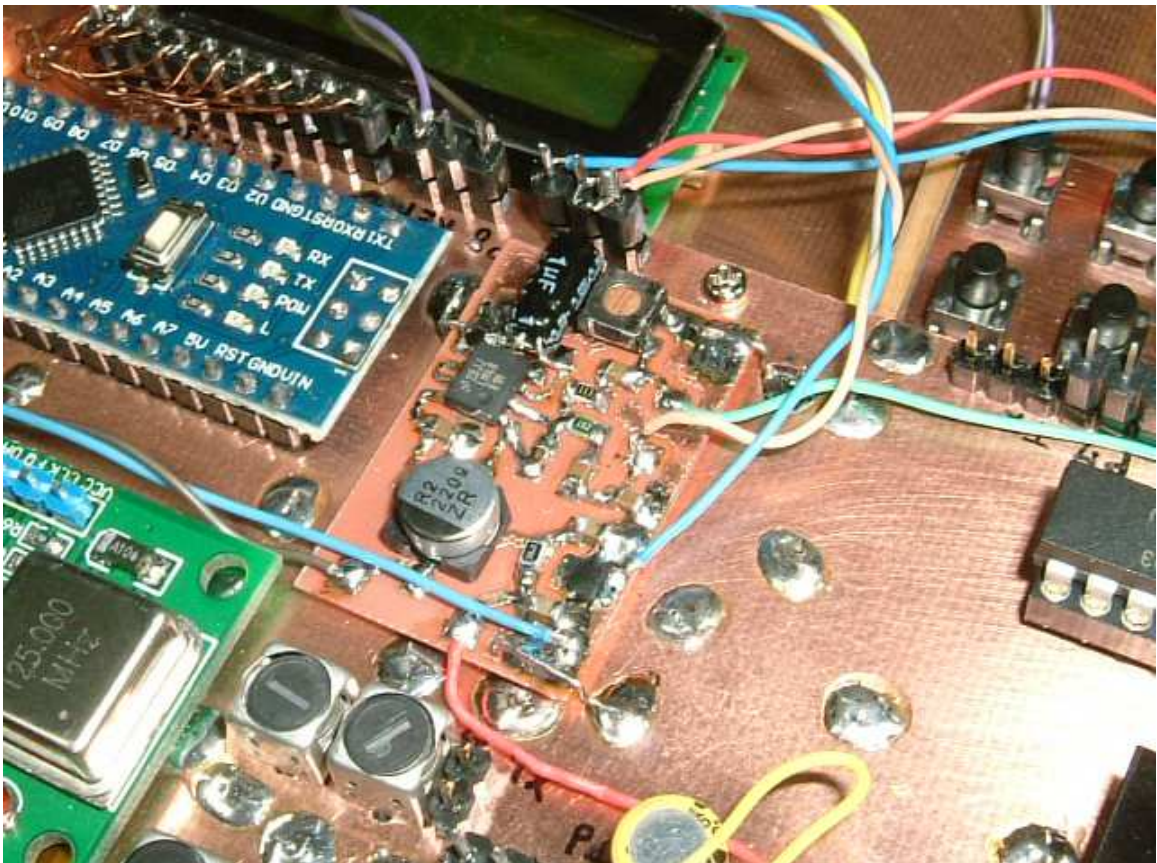
QRP の世界では 5W はかなりのハイパワーです。0.5W までパワーを絞ると近距離の局までが DX 局に変貌して、楽しみが広がります。

【写真 19 エレキー部】



8pin の SOP タイプの PIC を使用しています。0.4mm 厚の基板の上に表面実装して、コントロール基板の隙間に実装しています。(写真 9 の中央あたり) 右の青色のコネクターはプログラム書込用です。実機では、書込み後に外してあります。簡単なプログラムなので後ほど書換えることはめったにありません。

【写真 20 AF アンプ】



エレキーと同様に表面実装としています。右側の空いているスペースにエレキーが実装されています。

## (5)あとがき

本機のベースとなった 1 号機の製作からこの 2 号機の完成まで、1 年強の製作日数がかかっています。最初は Arduino の練習のつもりで VFO 画面のプログラムを作成しましたが、これを使って制御できる実用的なトランシーバーが欲しくなり、作業に入りました。

また、ちょうど E 級増幅器にも興味があり、参考事例を探しているところでした。これらから、トランシーバーの製作に入りましたが、ブラックでの基板作りの経験はありましたが、セットとしてまとめ上げる経験はあまりありませんでした。今回は機能や仕様面でのバランスの重要さが大事だと認識させられました。ただ通常の運用で十分耐えるものでないと、作っても飾っておくだけになってしまいます。この点にはこだわって、ブレークインなど付加機能も充実させました。1 号機では RIT も独立したツマミにしましたが、実際に使用してみると、RIT を使うシーンも少ないことから、メインダイヤルと共通にしました。余り使うこともないので、これで十分です。本機とほぼおなじ構成の 1 号機では W7 の DX 局や QRP コンテストでは 80 局との QSO 実績があります。

また、回路の課題は、受信部のトーンの改善があります。もう少し、透き通ったトーンや音質の調整が課題です。今回は小さく作ることで、この辺りの細かな調整ができていません。

回路検討やプログラム開発、プリント板 CAD、機械 CAD、板金工作など、やることはいっぱいありますが、それを全部ひとりですることが、自作の醍醐味だと感じています。世の中の色々なものがブラックボックス化して、自分一人では何もできなくなっていますが、ひとつひとつは単純なものの組み合わせです。それらを理解して思い通りに動かすことができた時、最高の気分になれるのが自作だと思います。今後も新しいテーマを見つけて、少しずつ新しいことにチャレンジしたいと考えています。

(参考) 本機のベースとなった 1 号機、サイズはちょうど本機の 2 倍だが、機能的にはほぼ同じ回路構成のものが実装されています。

