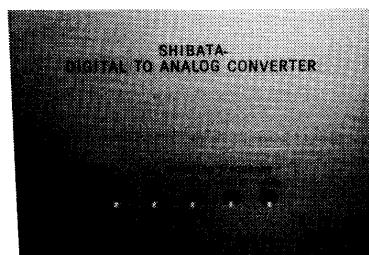


防振性能重視 コンパクトDAコンバーター

柴田由喜雄 Shibata Yukio



自作アンプコンテストのレギュラーとして毎回優れた作品を発表されている柴田氏は、実はデジタル機器を製作するのは今回が初めてのこと、しかし応募作品はオーソドックスな回路ながら内部構造など

はさすがに要所をきちんと押さえた作りで、初めてのチャレンジとは思えない出来を示した。もちろん音質も高く評価され、その実力の程を証明した作品といえよう。

1. はじめに

これまでアンプはいくつか製作してきましたが、デジタル機器を製作するのは初めてです。正直なところ、デジタル機器はあまり製作する意欲がわからなかったというのが本音です。

アナログレコードに比べ、CDはノイズの少なさやディスクの保守性面で格段に優れています。しかし、現在のデジタルオーディオの規格（技術の限界）に起因することかもしれません、もともとデジタルオーディオには無理な点

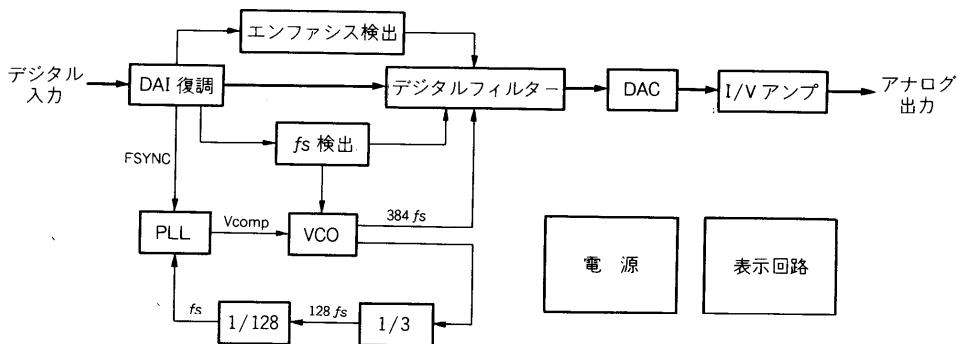
が多く、デジタルオーディオ技術がその無理を克服する技術となっているのです。例えばデジタルフィルターの必要性などは典型的な例です。それ故、悪い言い方をすれば、勢い、ICを沢山使えさえすれば何か自己満足できる世界のように見えます（？）。

本機は、いわゆる電子工作ではありません。シンプルさの中で、オーディオ技術の質を追求することで（部品の選択、シャシー構造の吟味、配線技術など）、音質の向上を狙った試みです。

2. オーソドックスな回路

本機の構成を図1に、全回路図を図2に、DAIR・DF部回路図を図3に、DA出力部回路図を図4に、そして、電源部回路図を図5に示します。

デジタル信号処理系はまったくオーソドックスな構成です。いま話題のDACのバラ接続とか、 f_s コンバートなどは採用しませんでした。今回は、まずは実力の範囲内で、シンプルさを優先させて設計することとしました。回路構成は、CS8412（ノーマルモード）に



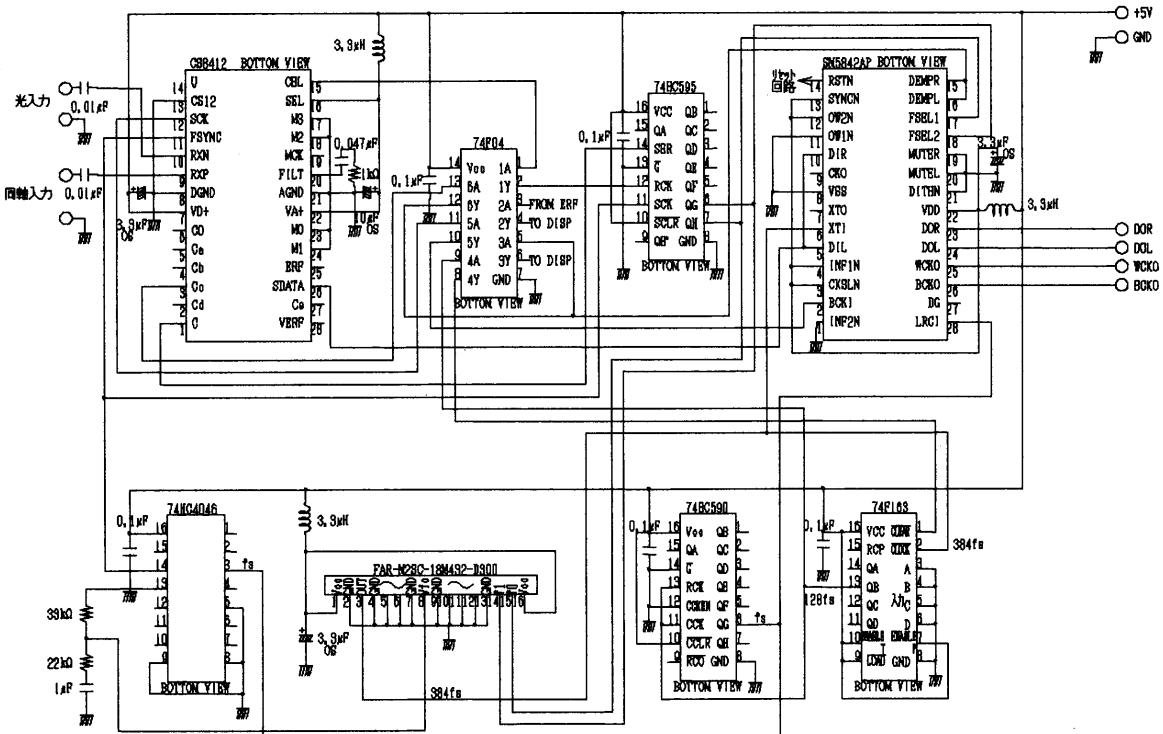
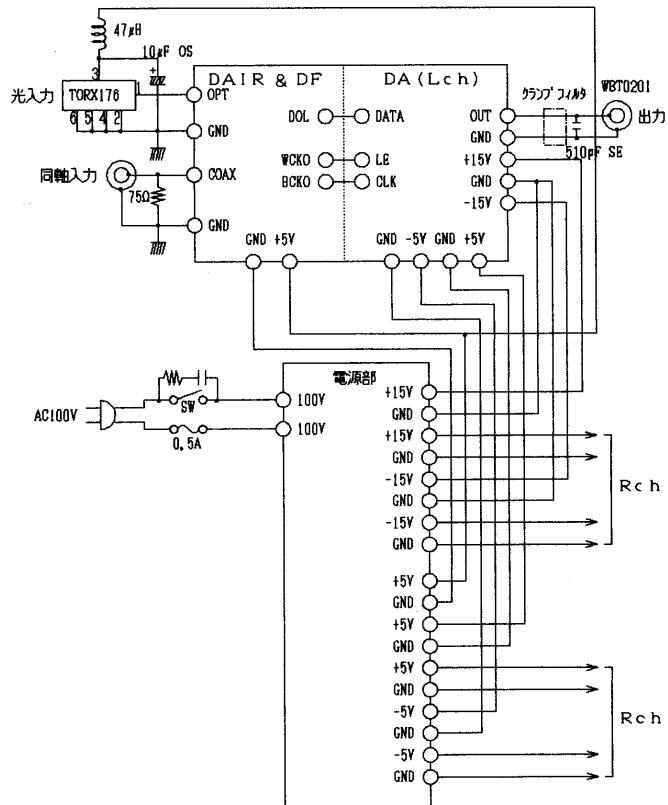
[図1] 本機の構成

よって DAI 復調し、8倍オーバーサンプリングデジタルフィルター SM5842AP ($384 f_s$) にて f_s の折り返しをシフト、雑音を除去して、PCM63PK にて DA 変換するという、一般的な構成としました。

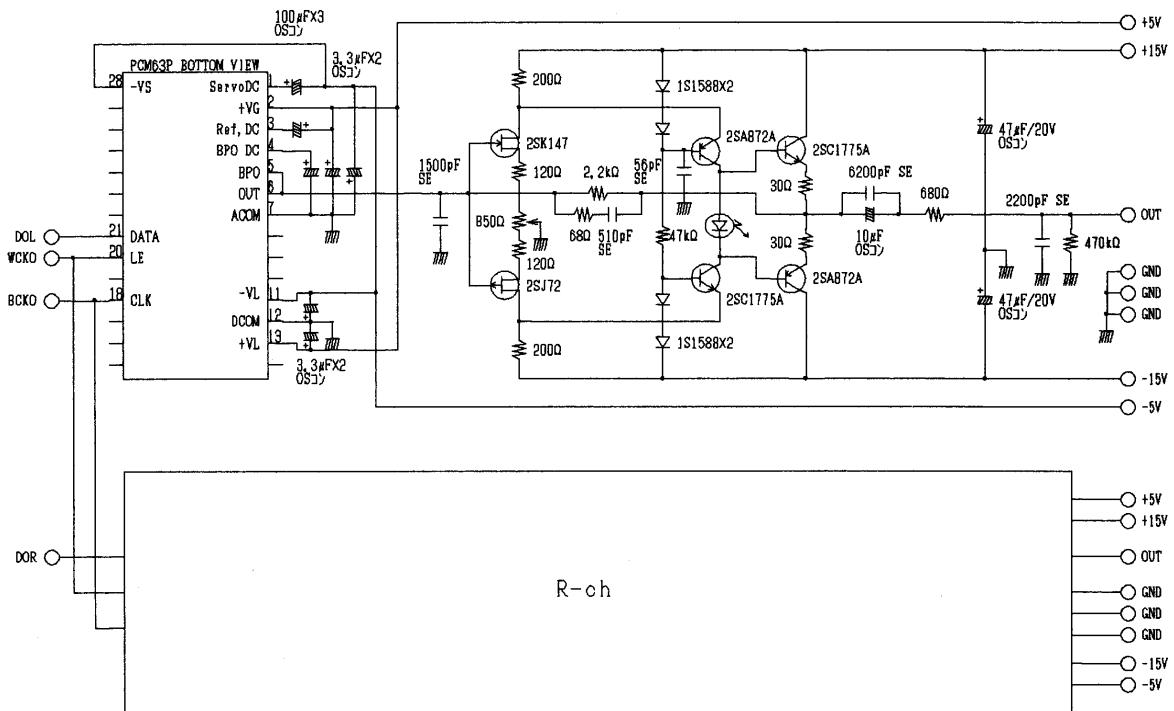
クロックは、圧電 VCO で発振させた $384 f_s$ のパルスを 1/3 分周 (74F163) 後、さらに 1/28 分周 (74HC590) させ、CS8412 の FSYNC と位相比較する 2nd PLL 回路で得ています。

CS8412 の C ビットから f_s 情報を取り出す回路 (74HC595) と 2nd PLL の回路は黒田徹氏の回路 (文献 1) を参考にしています。2nd PLL の CR 時定数に関しては、私がシミュレーションした結果を図 6 に示します。74HC4046 の位相比較出力 13 番ピンのオシロ実測電圧波形(立ち下がり $3\mu s$ のパルス)

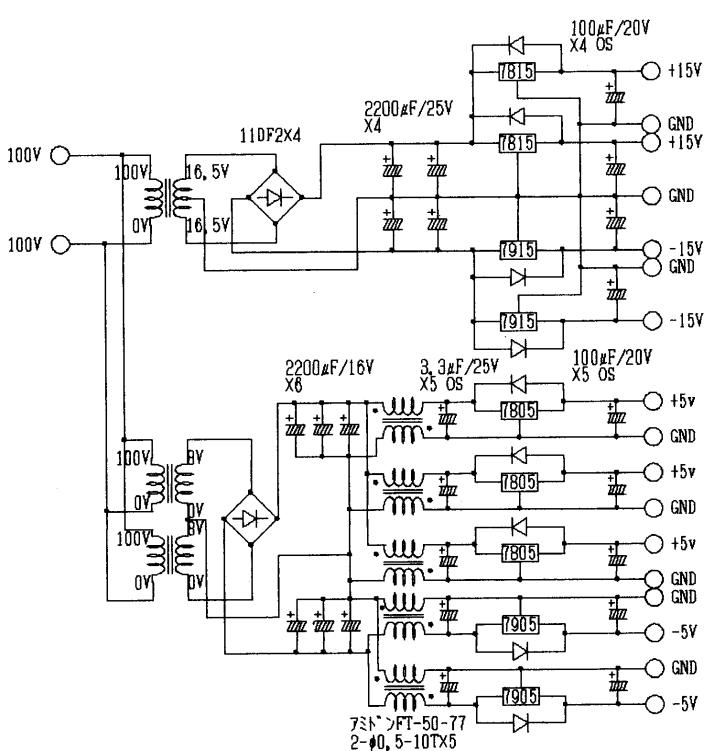
[図 2]
全回路図



[図 3] DAI, DF 部



【図4】 D/A, 出力部

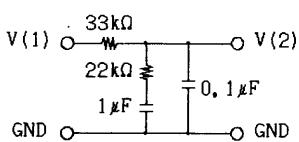


【図5】 電源部

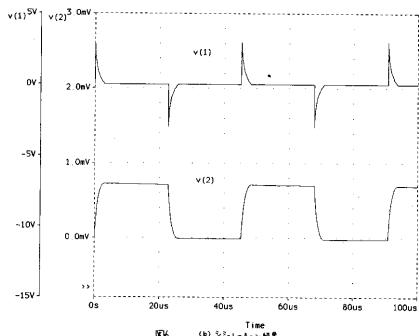
の応答は CR 回路によって、p-p 約 0.7mV のステップ波形となり、図7 の圧電 VCO の特性から換算すると最大 0.04 Hz の発振周波数変化となります。VCO 自身から発生するジッターに関しては問題ないことがわかります。

一方、入力信号系に含まれるジッターに対する抑圧 f 特 (sin 波形、計算値) は 3 Hz (-3 dB) ~ 150Hz (-12dB) です。2つのコンデンサー ($1 \mu\text{F}$ と VCO 内蔵の $0.1 \mu\text{F}$) がありますので、 f 特には数 10Hz に丘がでています。

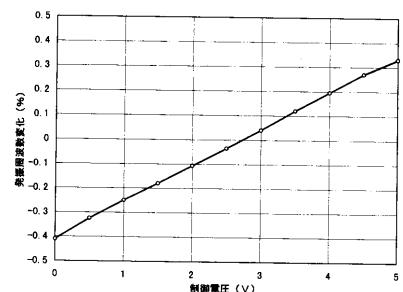
なお、デジタル信号処理のキーポイントは何と言ってもデジタルフィルターにあるのですが、SM 5842 のような理想的 (シャープ) なローパスフィルター特性を持たせるのがよいのかは疑問が残るところです。例えば、「FIR 型変形



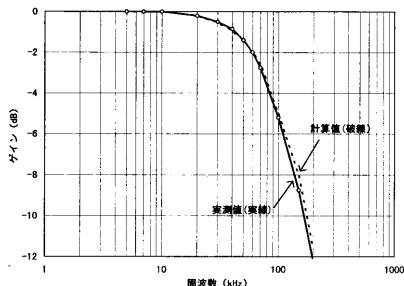
[図6a] PLL出力のシミュレーション



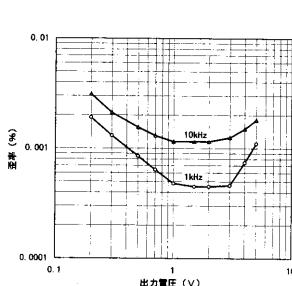
[図6b] シミュレーション結果



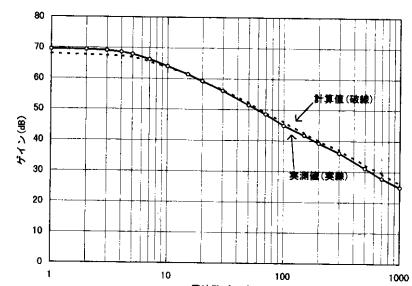
[図7] 圧電VCOの発振周波数変化



[図8] I/Vアンプの周波数特性



[図9] I/Vアンプの歪率特性



[図10] I/Vアンプのオープンループゲイン

DAC パラ接続」(?)などでも対処できるような気がします。

アナログ出力部は実績のある1段増幅回路としています。DACの場合、通常はインバート入力になるので、DC ドリフトに対処すれば、初段に差動増幅回路を使う必要性はなくなります。本機では、2SK147/2SJ72 のコンプリを使用し上下対称としています。1段増幅アンプの初段 FET のドレインには定電流負荷を設けて、次段のベース接地 TR のエミッターに注ぐべきですが、本機では高 g_m のFET の使用で裸ゲインに余裕があるため、今回は単に抵抗負荷(200Ω)としてみました。

ローパスフィルターは NFB と出力部 CR の2次とし、 f_c は 75 kHz (-3 dB)～110 kHz (-6 dB)に設定してあります(図8)。なお、DA コンバーター全体としての高域 f 特性は、さらにデジタルフィル

ター SM5842 のシャープな通過帯域特性(DC～22kHz)が加わります。

入力部の 1500pF は、本来は入力から出力への高周波数成分のつぶぬけを防ぐものですが、本機では高域補正の手段としても機能しています。1500pFを入れることで高域補償のコンデンサーの容量を小さくでき(56 pF)、スルーレイトの悪化を防止しています(もともとは初段 FET の C_{rs} の大きさに起因しています)。

終段 TR には十分な電流(8.6 mA)を流しており、出力抵抗に 680Ω を用いているので、低負荷に対しても常にA級動作になります。

本機の組立後の調整で1つの課題となったのは、アナログ出力への高周波漏れです。白色性の残留ノイズにわずかですが混じる高周波の除去です。抵抗の熱雑音とか

半導体のノイズなどはあきらめがつくのですが、デジタル回路で発生したノイズは許容できません。

そこでローパスフィルターの改善とか、GND の引き回しとか、アースポイントの変更とか、小容量コンデンサーの追加などいろいろと試してみました。その中で特に効果のあったのは、アナログ出力シールド線に TDK のフェライトをクランプすることでした。これらによってオッショロでは観測できないレベルまで抑えることが可能になりました。結局、やはりグランド配線は重要な要素でした。本機の残留ノイズ(補正なし)は 0.018mV(L ch), 0.025mV(R ch)でした。

アナログ出力アンプの歪率特性を図9に示します。本機のアナログ出力は最大 3.1V ですが、十分低い歪率となっています。

オープンループゲインを図10

に示します。DC 裸ゲインが約 70 dB あり、仕上がりゲインが 10dB (3.3 倍) ですので、50~60dB の NFB がかかっています。リニア IC に比べ NFB が 30dB 程度少なくなっています。

図 8、図 10 には Spice シミュレーション値もあわせてプロットしましたが、データベースが揃っていれば、Spice でも概略のデータは得られるようです (CQ 版は 50 ノード可で何と至 14,610 です)。

電源部は DAIR・DF、トスリンク、および表示回路に +5V (X

1), DAC IC $\pm 5V (\times 2)$, アナログ出力部に $\pm 15V (\times 2)$, 合計 9 個の 78/79 IC を用いています。

ここで、当初はディスクリート電源の採用も考えたのですが、かえって物量が大きくなり、配線が長い束になると判断し、今回はあきらめました。

DAC への供給電源はアミドン製フェライトコアにエナメル線を巻いたインダクタンスでグランドから浮かした形にしています。効果は定かではありませんが、それなりの働きはしてくれていると思

います。

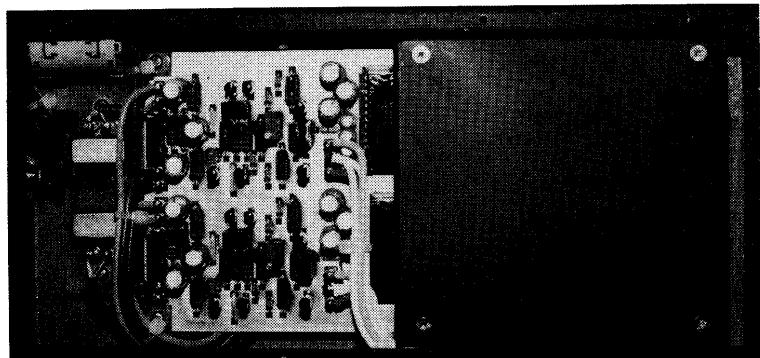
3. 重視した防振性能

本機のレイアウトは、電源部 (シャシ下部), デジタル信号処理部およびアナログ出力部 (シャシ上部) からなります。デジタル信号処理部はシールド板で囲みアナログ出力部と遮断しています (写真参照)。

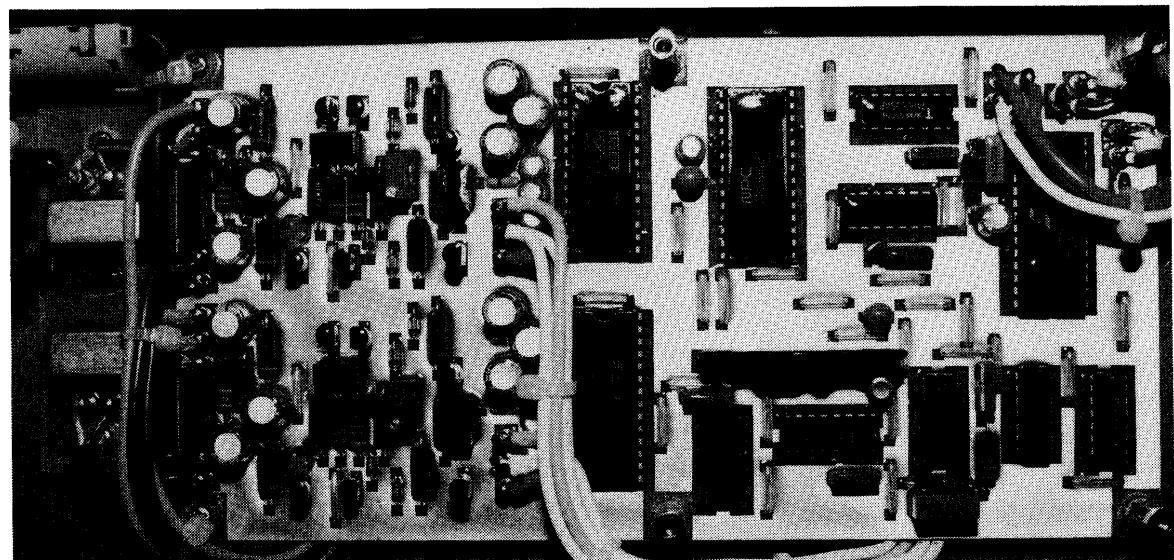
製作で最も気をつかったのは防振性能です。よく経験するのは、重低音を再生すると、音が聞こえなくとも、家のあちこちでビビリ始めることです。家の中にはさまざまな振動要因がありますが、音波自体が加振源になりうるのです。放っておく手はありません。何らかの対策が必要です。

防振の手法は、以前のプリアンプ製作の場合 (文献 2 参照) にすでに好結果を得ているので、今回もほぼ同様な作り方と処理を行っています。

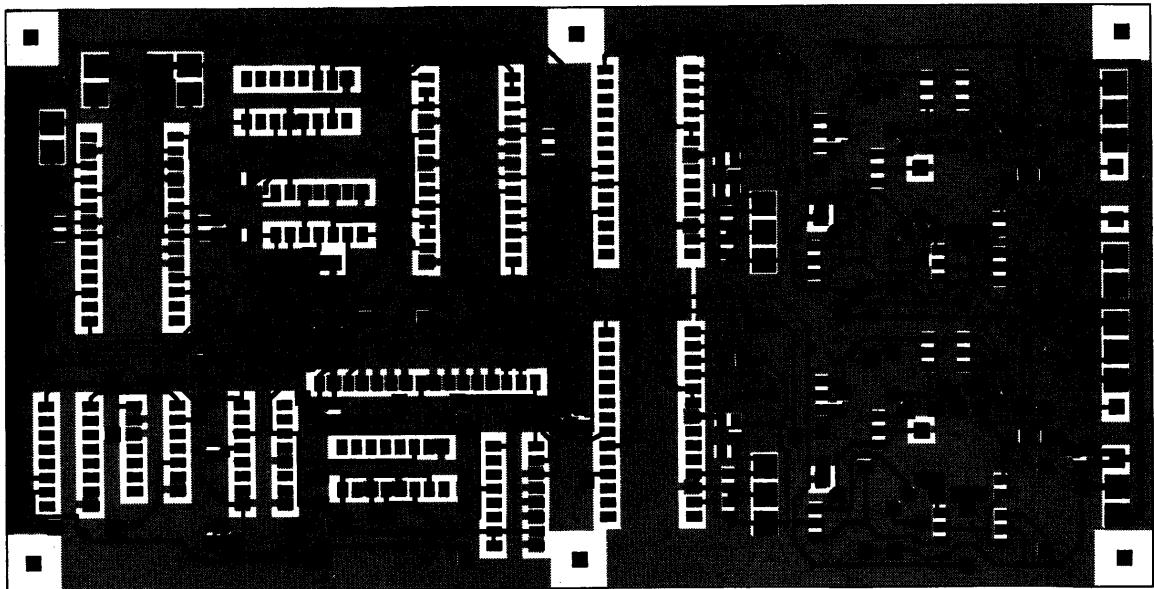
防振対策として、まず、シャシーに剛性の高い t 2.0 鋼板を敢え



[写真 1] 本機の上面。デジタル信号処理部はシールド板で被ってある



[写真 2] 本機の上面。基板上の部品はエポキシ樹脂でコーティング



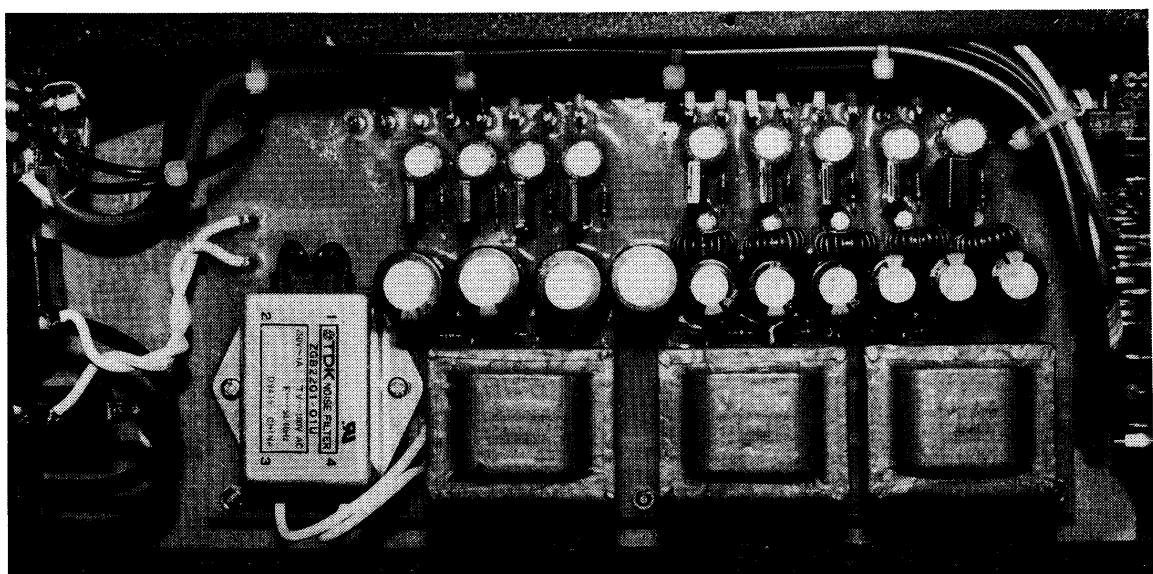
[図11] プリント基板裏面パターン（上面パターンはアミで示す）

て用いています。勿論、鋼板の加工は私には不可能ですので、長野のエヌテクノロジーに外注しました。エヌテクノロジーへの外注は2回目ですが、良心的で、それほど費用は請求されませんでした。ただし外注するには、ある程度しっかりした図面が必要です。

そして、鋼板のままでは叩くとキンキンと鳴るために、内面全体に $t=0.3$ 鉛薄板を貼って共鳴をダンプしています。貼り付けは、鉛薄板に貼ってある裏紙に所用のサイズをエンピツで正確に書いた後、カッターで切り取り、ヘラなどを使って慎重にシャシー内面に貼り

つけます。

余談ですが、量的なこともあるでしょうが、鉛というのは電磁波の入出射面でもよいシールドになるはずです。ICの上に銅板を貼りついているケースをよく見かけますが、さらに鉛板を併用すれば好結果が得られるのでしょうか。鉛



[写真3] 下面は電源部と表示回路。シャシー内面とトランジスタは鉛板を貼った



【写真4】背面の端子配置

薄板は内部での振動源となるトランジストにも巻き付けました。

次に、プリント基板には部品を取り付けて動作を確認・調整した後、表面にエポキシ樹脂（私は釣り竿補修用のものを使用している）を塗布・硬化させて、部品のぐらつきを完全にくします。硬化した後部品をコツコツ叩いたときのがっしりした感触は実に気持ちのよいものです。幾人かの人が心配して、部品が故障した場合どうするのかと聞かれましたが、壊れませんとお答えしています。

実際に、まだ故障したことはありません。当然、故障すれば手のうちようはありません。

プリント基板の銅箔には金メッキを施しています。処理はいつも名古屋の西部通商にお願いしていますが、毎回わずか1枚でも快よく引き受けてくれます。金メッキは表面の鮮度を長く維持するためのもので、導電率は改善できません（銀や銅のほうが導電率は高い）。最近はプリント基板を自作する方は減っているようですが、まだサンハヤトから露光とエッチングする器具が販売されています。スル

ーホールの加工を要求しなければ十分自作できます。本機の場合、パターンをパソコン（CANDY5）で書き（図11）、トレーシングペーパーにプリントアウトし、インクの薄い部分を加筆し、感光基板に露光し、現像、エッティングをして製作しました。パソコンを使うとレイアウトやパターンの変更が容易で、何回でも気の済む（あきらめる）まで検討できます。

4. 実績のある部品を使用

使用した部品は定評のあるものから選びました。トスリンクに TORX176, RCA 入出力端子に WB T0201（同種のものが今回のコンテストの賞品になりました）、小容量ケミコンに OS コン、小容量コンデンサーに SE、整流ダイオードに 11DF2、抵抗にリケンの RMG など、今回も少し贅沢をしています。

最近のデジタル回路では、パソコンに小型の積層セラミックコンデンサーを用いるのが普通ですが、本気では積層フィルムコンデンサーを用いています。性能を比較したわけではありませんが、あまり

に小さいことに不安を抱いたからです（自分で納得してから使いたい）。

本機で、1つだけ反省点があります。電源トランジストがやや弱いことです。アナログ系とデジタル系を分離させ、3トランジスト構成としたのですが、消費電流が予想以上に多かったようです。定格内で使用してはいるのですが、さらに十分な余裕を持たせた方が音質的にもよくなるでしょう。

5. 明るい音質

いつも音質評価をお願いしている友人の本田伸氏に試聴をお願いしました。氏所有のフィリップスLHH1000との比較で、コメントは次のようにでした。

- ・中、高域は明るく解像度が高い。
- ・低域はやや重たく、JBL, TAD 系の音になる。
- ・バイオリンなどの弦、ソプラノは少し細いがきれいに鳴る。
- ・BASSはJAZZ喫茶風で雰囲気が出る。

私もほぼ同様な印象をもっています。音質は満足できるものでしたが、欲を言えば、高域のなめらかさ（明るさの抑制）が今後の課題といえます。

【文献】

- (1) 黒田：「24ビット対応高精度DAプロセッサの製作」トロ技 1993/6
- (2) 柴田：「DC1段増幅ブリアンプとMCヘッドアンプ」MJ 1993/4