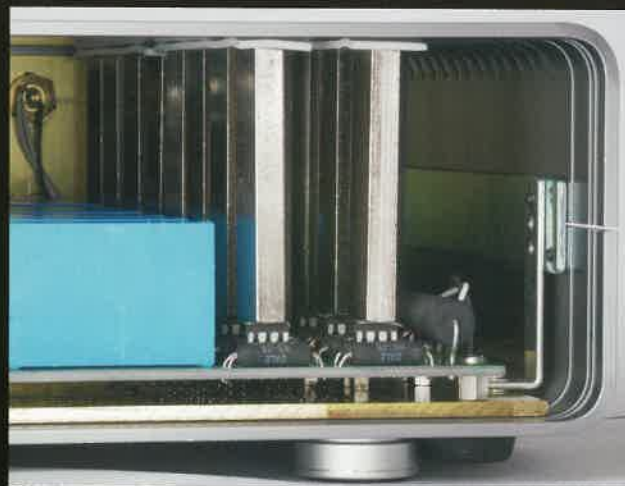


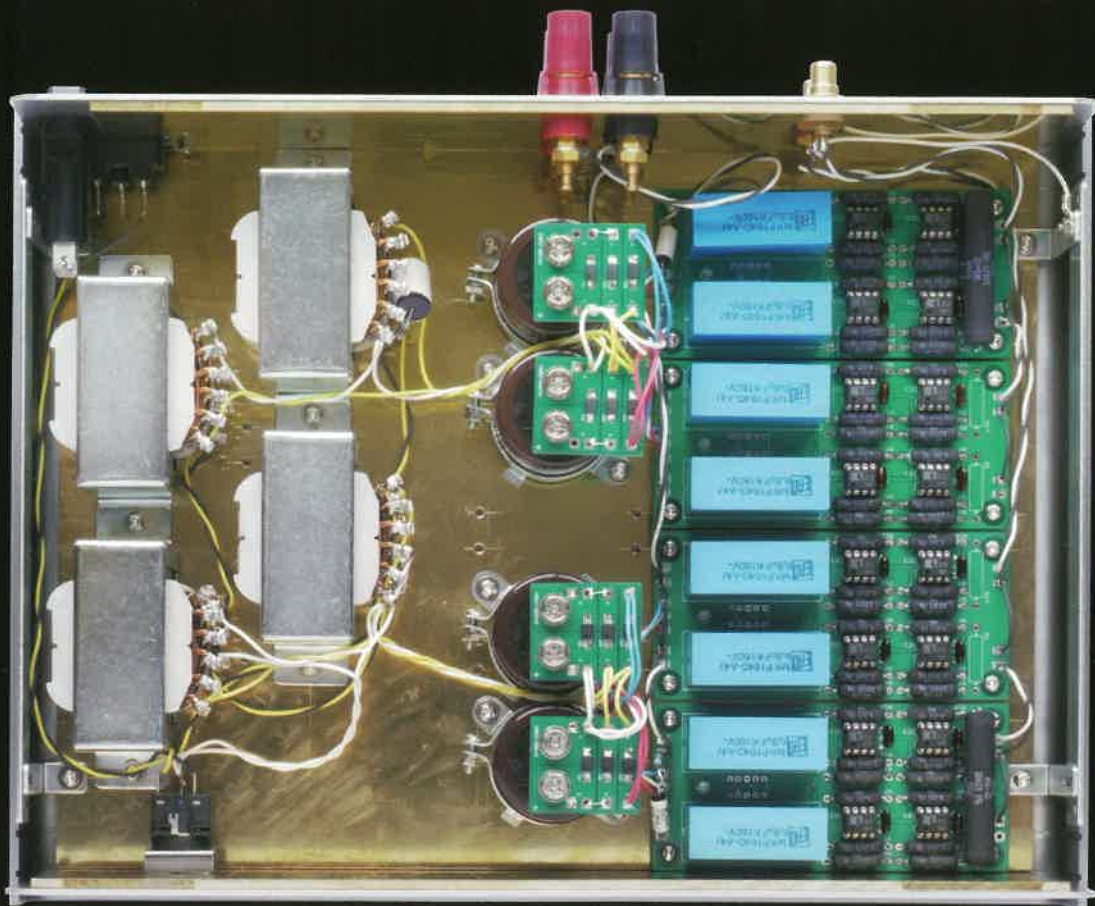
最大出力5Wでスピーカを鳴らす
MUSES 03×8/ch
パラレルワールド“5”
パワーアンプの製作

Only One Products

製作★別府俊幸



◆制振パーツはM6の黄銅製スペーサ。両面テープでICに貼り付け、さらにケースの上蓋に突っ張って固定され制振効果を上げている。



◆左右&正負独立の4電源方式。ケースは底板と前後のパネルが真鍮板で強化・制振されている。カップリングはEROのMKP。

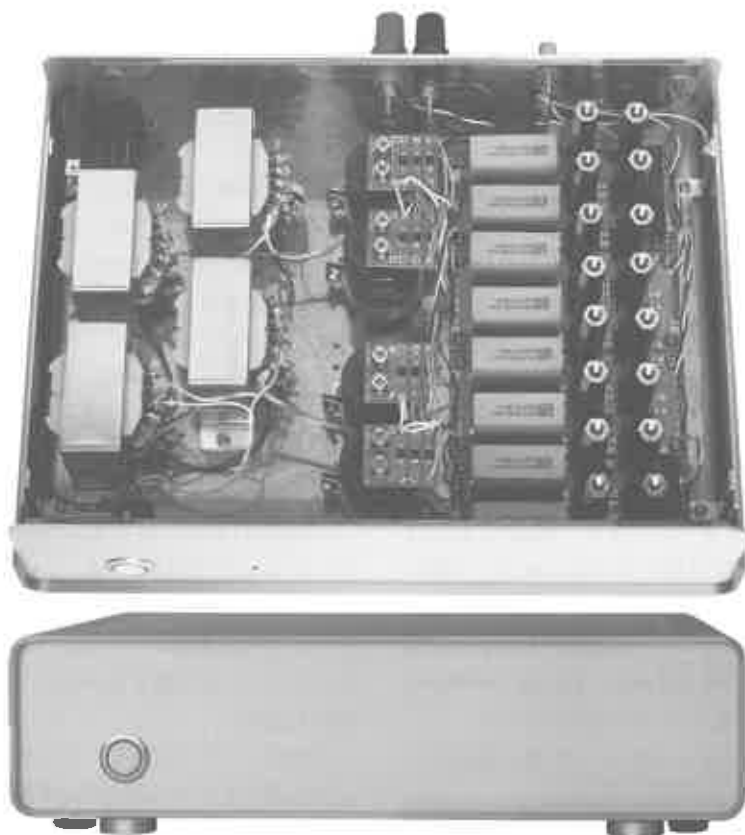
●本文製作記事参照

最大出力5W，スピーカを鳴らせる

“パラレル・ワールド5”を作る

——音の解像度はさらに向上——

■別府 俊幸■



本誌2018年7月号に、新日本無線 MUSES 03を使ったヘッドホン・アンプを発表させていただきました。チャンネルあたり MUSES 03を2個、合計4個を使った基板です(写真A)。この基板を見てみると、スピーカを鳴らしたくなってきました。で、鳴らして聴くと、さすがにパワーは足りませんが、澄みきった水底まで見えるかのような音です。とにかく解像度が高い。これは、パワー・アンプにするしかありません。

問題は、入力オフセット電圧と出力合成抵抗との兼ね合い

ところが MUSES 03にも弱点というか、困った点があります。入力オフセット電圧です。オペアンプ内部の素子のばらつきから出力に現われるオフセット電圧です。第1図に示すように、入力オフセット電圧 VIO は非反転入力端子に加えられた直流電圧として振る舞いますので、「入力」と名付けられています。VIO はアンプのゲイン倍されて、出力にオフセット電圧として現われます。

データ・シートによれば標準で1mV、最大値は示されていません。20個ほど測定しましたが、6mVを超えるモノもあります。ゲインを11

倍とすれば、66mVものオフセット電圧が出力されることになります。

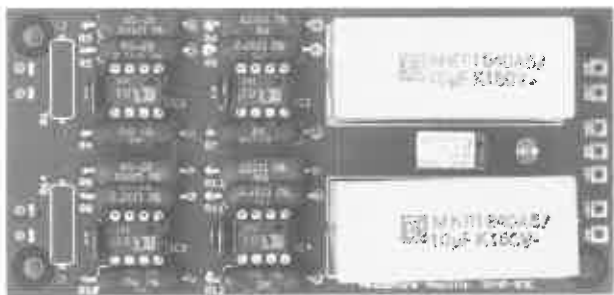
これくらいは、パワー・アンプとしては許容範囲とお考えのかたもいらっしゃるでしょう、はい。ちょっと大きいですが、使えないほどではありません。問題は、パラレル・ワールド方式にするために発生します。低抵抗を用いてオペアンプの出力を合成するからです。

4パラで考えてみましょう(第2図)。IC1～3の入力オフセット電圧が0mVで、IC4が6mVあったとします。このとき出力電圧はIC1～3が0mVですが、IC4は66mVであり、合成オフセット電圧は16.5mVとなります。いま、出力合成抵抗に2Ωを使ったとすれば、IC4からは24.8mAもの電流が出力されます。そして電源電圧を±15Vとすれば、IC4の発熱は370mWとなります。これはアツい。じゃなかった、マズい。となると、合成用抵抗の値を大きくするしかありません。

ダンピング・ファクタとの関係

さて、ダンピング・ファクタなるパラメータがあります。スピーカの定格負荷インピーダンス÷パワー・アンプの出力インピーダンス、で計算される値です。

40年くらい前には、トランジスタ・アンプのメーカーが、ダンピング・ファクタの大きさを宣伝していました。しかし、球派の人たちは「そ



《写真 A》
SKHP-03E ヘッドフォン・アンプの基板

んなものは関係ないのだ」とか「10もあれば十分だ」と反論していました。そんなのは昔話かと思っていたのですが、いまでも Y 社のウェブサイトにはあっさりと「値が大きい方が優れています」と記されています。おいおい、40年間変わっていないではないか。

私は、ダンピング・ファクタの大きさに音のよしあしを語れるとは思いませんが、それでも、アンプの出力インピーダンスが音を変えることは経験しています。では、どれだけ変わったと感ずるか。

拙宅のウーファは公称 4Ω です。パワー・アンプはパラレル・ワールド 4。計算上の出力インピーダンスは約 60mΩ ですから、ダンピング・ファクタは 67 です。このアンプの出力と GND に、それぞれ 0.47Ω を入れて聴きました。ダンピング・ファクタは約 4 です。使用した抵抗はビシエイ・デール、5W の NS-5 です。

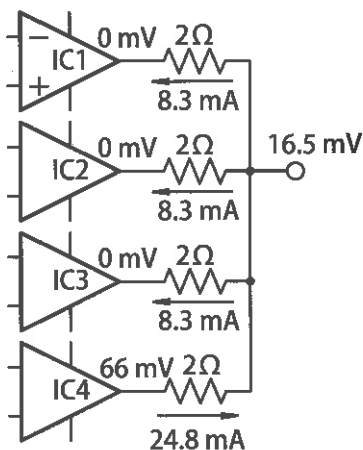
Y 社によれば「不要な振動が素早く収束しないので、キレの悪い締まらない音となる」そうですが、あのページを書いた人は、試聴したことあるのですかねえ。だいたい、あの手の理論的な説明は「書き手が（聴かないで）考えられた」ことだけを書いていますからね。断言します。聴いてはいないでしょう。

私にいわせてもらえば、「ウーファの制動をウンヌンするなら、パスレフ箱は使うな」ですよ。ダンピング・

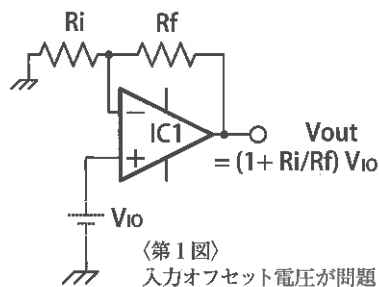
ファクタよりは、密閉箱とパスレフ箱のほうがはるかに振動板の動きを変えますし、音も変えます。もちろん、どちらが好みかは別の問題です。あのページを書いた人なら「パスレフは、信号に含まれていない振動が素早く収束しないので、低域が豊かに響く」と記すのでしょねえ。

「頭の悪いやつほど、ひとつのことですべてを説明したがる」とは、恩師の言葉です。スピーカ・キャビネットの形式もスピーカ・ユニットの Q もすべて無視して、ダンピング・ファクタだけで語ろうとするから、音をよくできないのです。ついですが、私の体験から、「はっきりと理由づけられていることほど、試聴すると聴こえない」と、付け加えておきます。脱線しました。

0.47Ω×2 では、低域が変化する印象はほとんどありません。逆に中高域が淡泊になるというか、響きが押さえられるように感じます。うー



《第 2 図》出力電圧を合成すると



《第 1 図》
入力オフセット電圧が問題

ん。差はあるかな。ブラインド・テストされても、音の違いがあることは指摘できると思います。ただ、どちらのダンピング・ファクタが大きいかは、私には当てられません。ですが、「キレの悪い締まらない音」と指摘する人はいない、と断言できます。

つぎに、0.22Ω×2 で試しました。ダンピング・ファクタ 8 です。抵抗なしのときとの差はごくわずかです。音の傾向は、0.47Ω×2 と同じ方向ですが差はずっと少ない。まあ、悪くはなっていません。

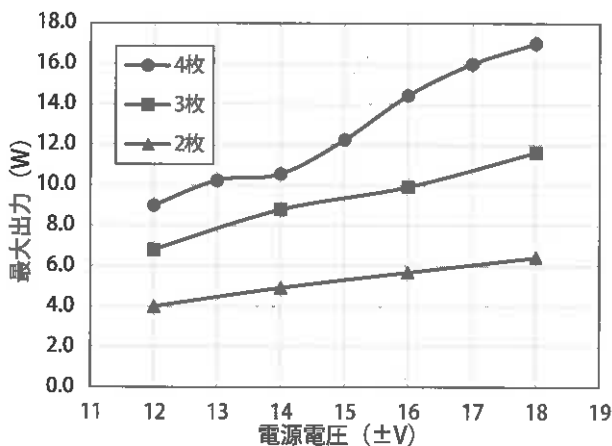
以上の実験より、アンプの出力抵抗は理想的には 0.5Ω、最大 1Ω までは許す、と決めます。オペアンプの出力を 8.2Ω で合成すれば、8パラなら 1Ω、16パラなら 0.5Ω です。このとき、第 2 図の IC4 なら出力電流は 7mA。電源電圧 ±15V であれば、消費電力は 105mW。まあ、許せる範囲としましょう。熱に変わるのがもったいないですけど。

オペアンプからの出力電圧降下は、ピーク出力を 0.25A として計算すると 2V。これは最大出力を下げるので、もったいない。ですけど、妥協しましょう。

アンプの構成

(1) アンプ部

ヘッドフォン・アンプ基板 SKHP-03E には、左右にそれぞれ 2 個の MUSES 03 を載せます。この基板をモノラル、つまりは 4パラ



〈第3図〉
アンプ基板枚数と
電源電圧による出力変化

として、2枚と3枚と4枚 ですから8パラと12パラと16パラの最大出力(4Ω負荷)を調べました(第3図)。電源電圧が、もろに出力を決めます。まあ、5Wもあれば我が家では十二分ですので、まずは2枚で作ることにします。

第4図に本機の回路(片チャンネル)を示します。SKHP-03E基板の入力LINとRIN、出力のLOUTとROUTを接続してモノラルとし

たものを2枚使います。そのうちの1枚の入力には、入力抵抗にNS-10の10kΩを用いました。NS巻線抵抗といえども、NS-2BよりNS-5が、NS-5よりNS-10が、芯のあるクリアな音を聴かせてくれます。

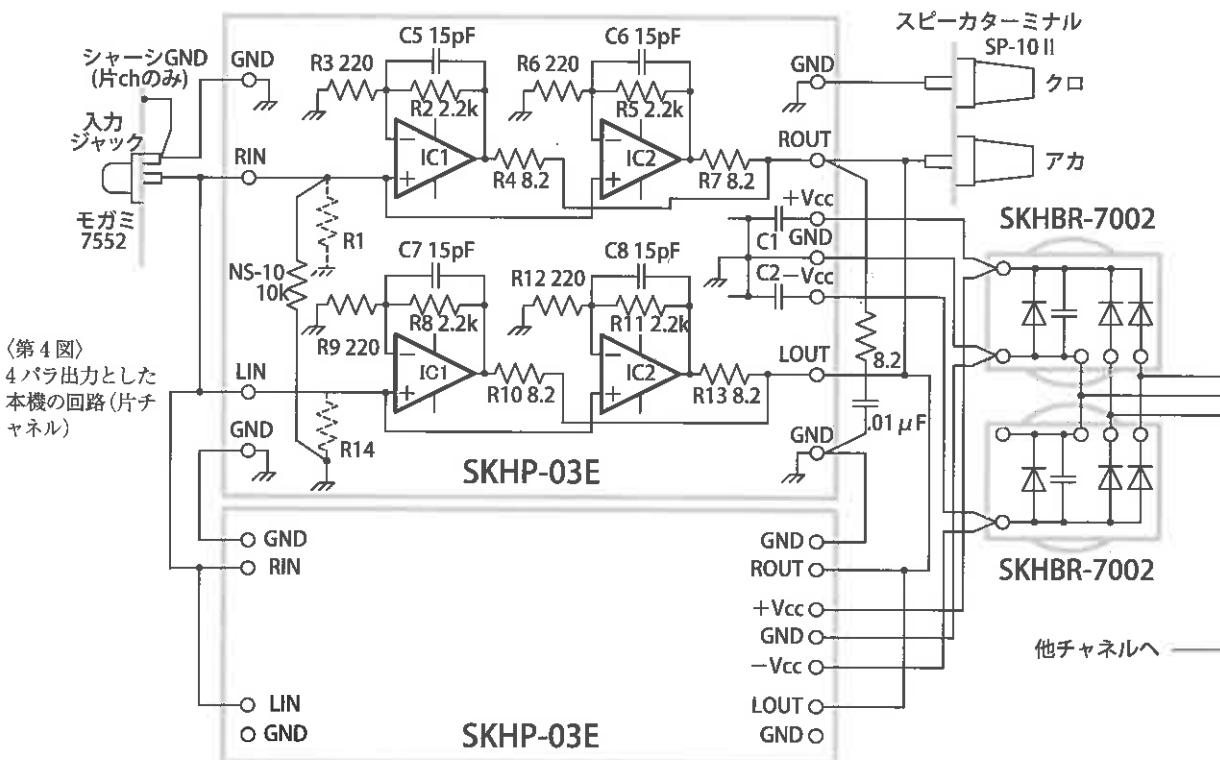
4Ω負荷時に寄生発振が見られましたので、出力にはゾベル・フィルタを入れます。ここの定数は実験的に決めました。8.2Ωと0.01μFを直列です。抵抗はふつうの金属被膜

でかまいません。CRを直列接続して、SKHP-03Eの出力パッドとグラウンド・パッドの間に入れてあります(写真B)。

ショック・ノイズ防止リレーは使用しません。これを入れないと電源投入時の出力電圧変動がヘッドホンではもろに聴こえるのですが、スピーカではまず聴こえません。まだフィードバック・ループが閉じていない状態ですので、出力インピーダンスが高く、スピーカをドライブできないためと考えます。

(2) 電源部

電圧安定化回路を用いると、音にも電圧安定化回路の響きが混ざります。ですから、無安定で臨みます。もちろん、無安定としたところで、電源トランスや整流ダイオード、フィルタのキャパシタ、サーキット・ブレーカ、さらには電源コードの音は聴こえます。しかし、電圧安定化回路を用いたところで、それらの音



〈第4図〉
4パラ出力とした
本機の回路(片チャンネル)

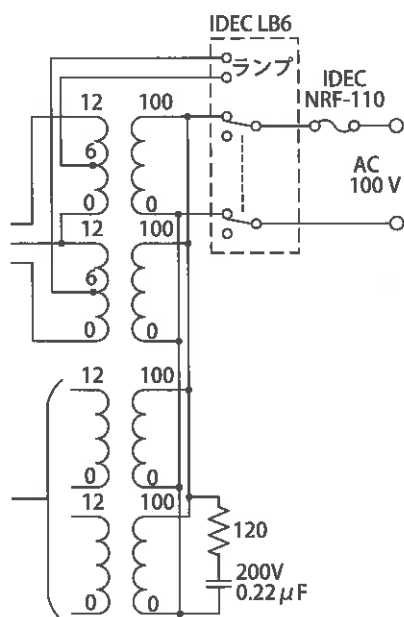
がなくなるわけではありません。どちらが余分な音を少なく感じるかの好みの問題です。

「電源電圧を一定にすると音がよくなる」と信じたのは、私のゴタクは無視してください。でも、それなら「3端子レギュレータは音がよくない」などとはいわないでくださいよね。それから、スイッチング・レギュレータを使って電圧安定化回路あり・なしの議論もしないでください。スイッチング・レギュレータ自体が、電圧安定化回路になっているのですから。

またまた脱線しました。

電源での課題は、高価なオペアンプを壊さないようにすることです。第1表にMUSES 03の絶対最大定格を示します¹⁾。電源電圧 $\pm 19V$ です。無信号時の電源電圧が一瞬たりともこの値を超えないようにして、最大出力時の電源電圧をできるだけ高く（できるだけ $\pm 18V$ に近く）することが目標です。電圧安定化回路を使えば簡単ですが。

直流 $\pm 18V$ を得るためには、交流電圧は $\sqrt{2}$ で割って $12.8V$ 。これ



【写真 B】
出力端近くに取付けたゾベル・フィルタ



■絶対最大定格

項目	記号	定格	単位
電源電圧	$V^+ - V^-$	± 19	V
差動入力電圧	V_{ID}	± 6	V
同相入力電圧	V_{IN}	± 18 (注 ¹⁾)	V
最大出力尖頭電流	I_{OP}	250	mA
消費電力($T_a=25^\circ C$)	P_D	870(注 ²⁾)	mW
動作温度	T_{opr}	$-40 \sim +85$	$^\circ C$
保存温度	T_{stg}	$-50 \sim +150$	$^\circ C$

(注1) 電源電圧が $\pm 18V$ 以下の場合、電源電圧と等しくなります。

(注2) 消費電力はEIA/JEDEC 仕様基板(76.2×114.3×1.6mm² 層)実装時

(第1表)オペアンプMUSES 03の絶対最大定格

より、電源トランスの2次巻線電圧は $12V$ とします。

ピーク電流は、MUSES 03が4個載ったヘッドフォン・アンプ基板を2枚使いますから、オペアンプのピーク出力を $0.25A$ として $\times 8$ 個で $2A$ です。サイン波ですから、平均電流は $1.28A$ 。プラス電源とマイナス電源は、当然のこととして別々の電源トランスとします。音のためです。音場感が広がるとともに定位感がはっきりとします。平均電流は、それぞれのトランスが交互に供給しますから、半分の $0.64A$ 。VA(電圧 \times 電流)で考えれば $18V \times 0.64A = 11.52VA$ ですので、トランスの2次電流は $1A$ とします。ノグチトランスPM-121を選びました。

つぎに、商用電源の電圧変動を検討します。第5図に、PM-121の無負荷での1次電圧対2次電圧特性を示します。100V入力時にAC $13.2V$ です。当然のごとく、2次電

圧は1次電圧に比例します。

商用電源の電圧は、電気事業法施行規則第38条に「百一ボルトの上下六ボルトを超えない値」と規定されています。95～107Vです。これは電力会社から供給される値であり、屋内配線による低下もありますから、コンセントでは若干下がります。私の部屋で夏にエアコンを使っていると、93Vを下回ることもあります。まあ、余裕を見て90～110Vで動作するようにと考えます。下がるぶんには最大出力が減るだけです。

問題は高い場合です。110V入力では、PM-121の出力は $14.5V$ となります。これを $\sqrt{2}$ 倍すれば $20.5V$ です。ここからダイオードの順電圧降下(ブリッジ整流としてダイオード2個分)、フィルタ・キャパシタへの充電時間が短いことによるトランスの電圧低下があります。どれだけ下がるかは実測で確認します。

整流ダイオードはNJD7002を使

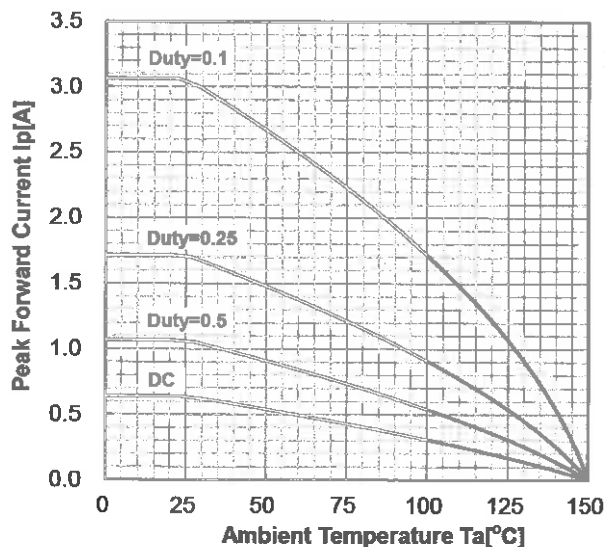
います。抜群の解像度とクリアさを兼ね備えた MUSES 7001 には及びませんが、その 1/10 以下の値段で透明感の高い音を聴かせてくれるショットキー・バリア・ダイオードです。

第 6 図に NJD7002 の温度対最大電流特性を示します²⁾。電源トランスからの平均電流 0.64A は、ブリッジ整流ですから、2本のダイオードが交互にオン・オフして供給します。ですから、Duty 比 0.5 の特性線から、90°C 以下なら使えます。余裕です。

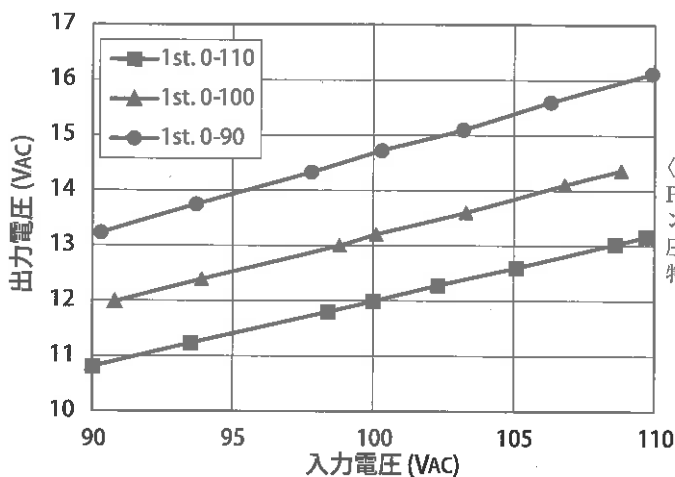
ケミコンは 25V 耐圧のニッケミ KMH ネジ端子、高さ 50mm の 15,000 μ F を使います。ハーフ・ブリッジ基板 SKHBR-7002 を用いて NJD7002 を接続します(写真 C)。この状態での AC 電圧変動時の電源電圧を第 7 図に示します。オペアンプなし(負荷として 2本の LED にそれぞれ約 2mA を流した状態)では、AC 100V で $\pm 17.1V$ 、110V で $\pm 18.8V$ とギリギリ 19V 以下です。なお、オペアンプを 8 個用いたときにはそれぞれ $\pm 16.6V$ 、18.5V でした。

ケースの組み立て

第 2 表に使用部品を示します。ケ



←(第 6 図) NJD7002 の温度対最大電流特性



(第 5 図) PM-121 トランスの 1 次電圧対 2 次電圧特性(無負荷)

ースは、タカチ電機工業 UC32-8-24DD です。オール・アルミの使いやすいケースです。難点は、パネルがペラペラなこと。電源スイッチを押したときでさえ、ペラッとしたプラスチック・ケースのような感触です。ですので、内側にサブパネルとして 3t の真鍮板を貼り付けています。

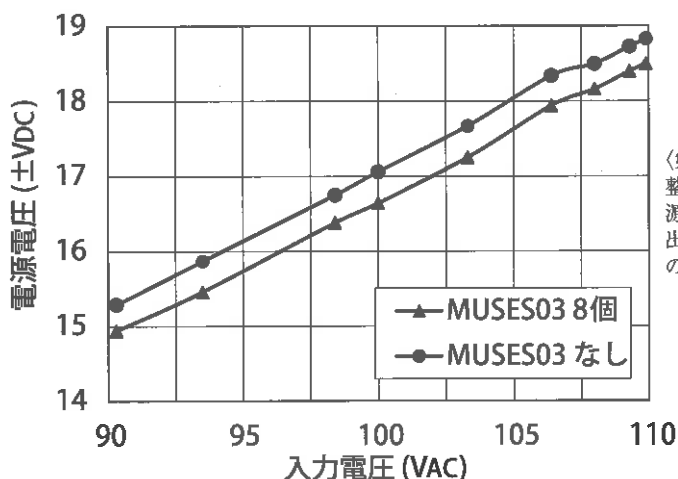
フロント・パネル側は、感触だけの問題ですが、リア・パネル側には入出力端子が取り付けられます。こちらは、音にも効果あります。真鍮のサブプレートを紹介して取り付けると、かっちりとした音再生できるようになります。

第 8 図にパネル加工図を示します。サブパネルはコーナーの R を避けて、フロントを 298×72mm サイズとして、リアはさらに角穴も避けて 283×72mm サイズとしました。パネルとサブパネルは、セメダインスーパー X2 で接着しています。穴位置がずれないようにして、上から重しをドカッと載せて固定します。

電源スイッチは、IDEC LB 照光スイッチです。使いやすいスイッチですが、固定金具をグラインダで削らないとサブプレートに取り付かないのが難点です。削るのが面倒なら、サブパネルを 248×72mm サイズとします。スイッチは 1.7mm のメイン・パネルに取り付け形となりますが、すぐそばまでサブパネルがあるので、ペラペラ感はなくなります。



《写真 C》ハーフ・ブリッジ基板を使ってダイオードとケミコンを接続する



〈第7図〉
整流回路の電源電圧による出力直流電圧の変化

ルミよりも音の重心を低くするというか、くっきりとした再生音になります。すべてM3のタップを立てて、上面からネジが止まるようにして、シャーシはケース下カバーに直接置いてあります。位置合わせと固定のため、シャーシ固定金具UCK-P42を用いて4隅をネジで押さえています。固定金具とシャーシの間には計算上1.4mmの隙間が空きますので、M3の平ワッシャを2枚挟みます。

基板は、雄ネジ・雌ネジ・タイプの段間用スペーサ(廣杉計器, MSB-305-03E)を用いてシャーシに固定します。スペーサは本体が5mmで雄ネジ部分が3mmですので、シャーシの下にネジがはみ出しません。

スピーカー・ターミナルには、テラダエンジニアリングSP-10 IIを使用しました。OFC削り出しのターミナルです。S社にそっくりの外形のダイカスト品がありますが、音はびっくりするほど違います。ダイカストとメッキの違いのせいでしょうか。

入力ジャックは、モガミ・ネグレックス7552を使用しました。最高級を目指すのならWBTですが、ちょっと高すぎる、お値段が1000円以下くらいと思うのですが、なかなかよいモノがありません。

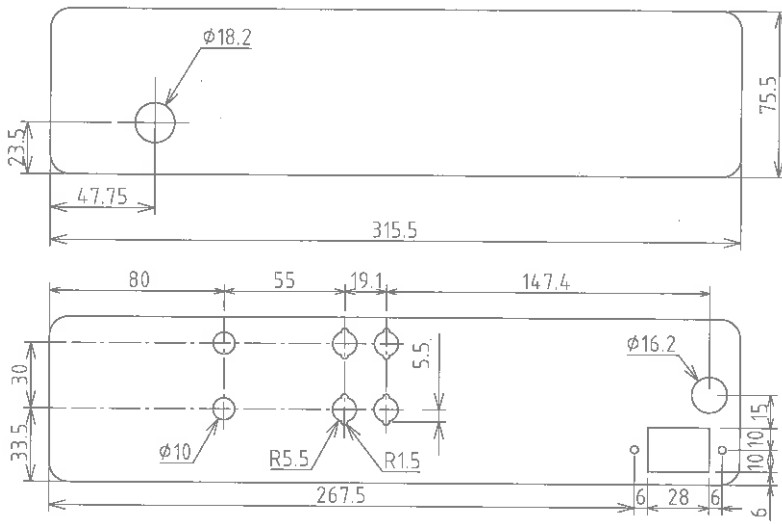
ところが最近になって、7552に気づきました。何に気づいたかといえば、30年ほど前に同型番の端子を試したことがあったのですが、そのときとモデルが違っていることです。海神無線に訊くと、モデル・チェンジが2回あったとのこと。で、聴いてみると、ダイカスト品に共通するフニャフニャというか、チャラチャラというか、安っぽい響きがありません。サラサラしたというか、淡泊なサウンドなのですが、この価格帯では、聴いた中のベストです。GND側の端子に穴が空いていないので、線を取り付けにくいのが難点ですが、まあ、ハンダの乗りがよいので許します。それに、この構造に

よってGNDリングが不要となり、接点が1カ所減るのは精神衛生上よろしい。それよりもダイカストではなく、削り出しで工作されているのが嬉しい。

シャーシも3tの真鍮板です。ア

品目	メーカー	型式	個数
ケース	タカチ電機	UC32-8-24DD	1
アルミ・インシュレータ・フット	タカチ電機	AFS25-10S	1セット
シャーシ取付金具	タカチ電機	UCK-P42	1セット
シャーシ		真鍮 3t×298×219	1
フロント・サブプレート		真鍮 3t×298×72	1
リア・サブプレート		真鍮 3t×283×72	1
スペーサ(基板取付用)	廣杉計器	M3×5 (MSB-305-03E)	16
電源スイッチ	IDEC	LB6ML-A1T64WS	1
ACインレット			1
インサーキット・プレーカ	IDEC	NRF110-1A	1
RCAジャック	モガミ・ネグレックス	7552(赤, 白)	各1
スピーカー・ターミナル	テラダエンジニアリング	SP-10 II(赤, 白)	各2
電源トランス	ノグチトランス	PM-121	4
電源ケミコン	日本ケミコン	KMH 25V 15000μF	4
ハーフ・ブリッジ基板	海神無線	SKHBR-7001A	4
ダイオード	JRC	NJD7002	12
ノイズ・キラー用R		1/4W 120Ω	1
ノイズ・キラー用C		200V 0.22μF	1
ヘッドフォン・アンプ基板	海神無線	SKHP-03E	4
スペーサ(IC載せ用)	廣杉計器	ASB-655E(M6×55)	16
ICソケット	PreciDip	110-83-308-41-001101	16
オペアンプ	JRC	MUSES 03	16
抵抗	Vishay-Dale	NS-2B 8.2 Ω	16
	Vishay-Dale	NS-2B 220 Ω	16
	Vishay-Dale	NS-2B 2.2 kΩ	16
	Vishay-Dale	NS-10 10 kΩ	2
	Vishay-BC	MBB0207-50F 8.2Ω	2
		1/8 W 10 kΩ	4
コンデンサ	ディップ・マイカ	15 pF	16
	ERO	MP1840 160 V 6.8μF	16
	ASC	X363 400V 0.01μF	2
LED	OptoSupply	OSNG3131A	4

〈第2表〉本機の使用部品一覧表



〈第8図〉パネル加工図。上がフロント・パネル、下がリア・パネル

アンプ基板の作りかた

アンプ基板はSKHP-03Eです。パスコンはEROMKP1840, 160V 6.8 μ Fとしました。MKP1840はASC X335と同じく、透明感の高いサウンドを聴かせてくれるキャパシタです。クォリティは優劣つけがたい。中域が若干薄いのですが、反面、最高域は広く感じます。低域の量感は同じくすばらしい。いずれも海神無線で扱っています。ヘッドフォン・アンプでは10 μ Fを使用しましたが、6.8 μ Fとの違いは私には聴こえません。数が必要ですので、安いほうにしました。

ところで、MUSES 03を載せるICソケットに、秋月電子で抱き合わせ販売しているモノを使うと、せっかくの03サウンドが汚れます。ここはスイス製PreciDipをお薦めします。

全体の配線と動作の確認

電源トランスの1次側は、0同士、100同士を接続します。いずれかのトランスの1次端子間に、ノイズ・キラー用CRを取り付けます。NJD7002は、ハーフ・ブリッジ基

板SKHBR-7002を用いてケミコンに取り付けます。このボードは便利です。配線が楽になるうえに、すっきりとします。ハーフ・ブリッジ基板はSKHBR-7001Aにモデル・チェンジされていますが、使いかたは同じです。

左と右のチャンネルのGNDは接続してありません。シャーシへは、どちらかのチャンネルの入力端子のGNDから1点アースとしてあります。ハム・ノイズさえ出なければ、左右のチャンネルからそれぞれシャーシの同じポイントに1点アースするほうがノイズは少なくなります。

すべての配線が終わりましたら、もう一度、配線を確認します。それから、AC側と、ケースおよび左右のGNDの間に導通がないことを確認します。つぎに、ハーフ・ブリッジ基板のところで、プラスとGND、GNDとマイナスの間が導通していないことを確かめます。さらに、入力端子とスピーカ端子とハーフ・ブリッジ(2枚とも)のGNDが導通していることを、左右それぞれ確かめます。最後に、ハーフ・ブリッジとアンプ基板のプラス(ICの7ピン)とマイナス(ICの4ピン)間の導通を確認

します。

電源を入れて、電源電圧が $\pm 16 \sim 17V$ であることを確かめます。よければ鳴らしてみましょう。

仕上げはデッド・マスの取付け

動作確認が完了したら、MUSE 03には真鍮製のM6 \times 55mmのスペーサを載せて防振を図ります(写真D)。33グラムの付加質量(デッド・マス)です。まあ、これは聴いてみてください。パワー・トランジスタを取り付けるヒート・シンクによって音が変わることは、自作マニアには常識だと思います。オペアンプも同じです。パッケージによって音が変わりますし、取り付ける基板によっても音は変わります。デッド・マスは音の輪郭をはっきりとさせます。

スペーサは放熱にも役立つと考えて、熱伝導性接着剤転写テープ(スリーエム、9885、秋月電子P-00516)を用いてオペアンプに貼り付けました。しかし、接着面積も狭く、接着力は十分ではありません。いつものように接着したほうがよかったと思います。

ケースの内寸は74mm。シャー



〈写真D〉真鍮スペーサのアド・マスをICに付ける

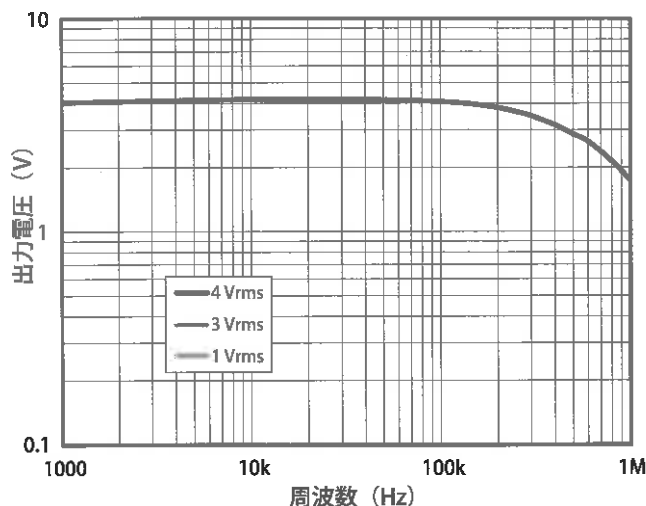
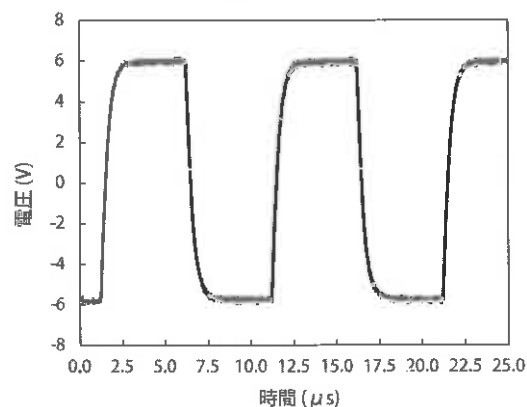
シが3mmでスペーサが5mm、基板が2mmで、ソケットに載せたICの高さが8mm。スペーサが55mmですから、残りは1mmです。この隙間（スペーサとケース上フタとの間）には、ハイパーソフト放熱シート（スリーエム、5589H-10、1.0mm厚、モナロウ21006834）を2枚重ねて、デッド・マスがソケットから離れないように押さえています。

シートは台紙を剥がして強接着面が上になるようにデッド・マスの上に載せ、上フタを閉めると、フタの側に接着されます。ただ、オペアンプそのままだとわりと熱いのですが、デッド・マスはほんわりと暖かくなるくらいで、ケース上のフタはまったく温まりません。

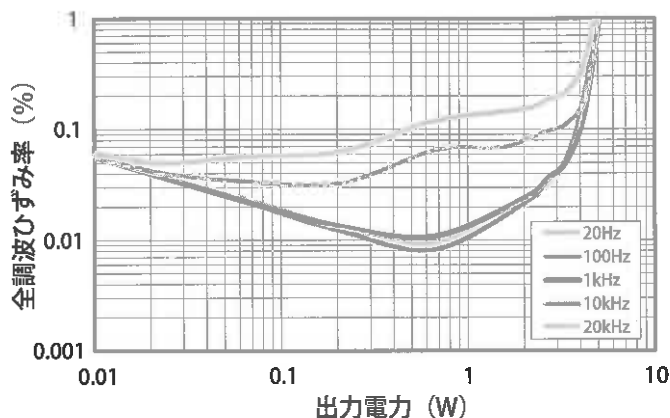
特性——最大出力は5W

第9図に4Ω負荷での周波数特性を示します。周波数100kHzを超えたあたりからなだらかに減衰し、-3dB点は500kHzです。第10図に4Ω負荷でのひずみ特性を示します。最大出力5Wです。第11図に100kHz方形波応答を示します。周波数応答そのままに、波形の立ち上がり丸くなっています。

残留ノイズは、入力オープンの状態、1点アースしたチャンネルが0.7mV以下、してないチャンネルが5mV以下でした。聴感上はノイズ



〈第9図〉4Ω負荷のときの周波数特性



〈第10図〉4Ω負荷のときの全調波ひずみ特性

に差があるようには聴こえません。出力のオフセット電圧は、約8mVと-2mVでした。オペアンプの選別をしたわけではなく、確率的にこうなりました。入力オフセット電圧のばらつきは大きいのですが、8個パラレルにすると平均化されます。

音の解像度はさらに高く

水底の砂の粒がわかるかのような、MUS-

ES 03の解像力の高いサウンドを楽しめます。03は、02よりもさらに細かな音まで再現してくれます。オペアンプに出力段を付け加えたあらゆるパワー・アンプよりも、はるかに透明感の高いサウンドであることを保証します。細かいことはいわず、ゆっくりと音楽に浸れるアンプです。作るときには、細かいことばかりグチャグチャいってましたけど。

MUSES 03がFET入力だから面倒なのです。早くBJT入力のMUSES 04が出てこないかなあ〜。音もBJT入力の方が絶対によい、と信じます。

◀〈第11図〉
100kHz 方形波出力

¹⁾ 新日本無線 MUSES 03 データシート

²⁾ 新日本無線 NJD7002 データシート