



MOS-FETソースフォロワー入力段, ダーリントン接続 2パラ出力段

# 電圧ゲイン0dB 無帰還A級DCパワーアンプ

柴田由喜雄 SHIBATA Yukio



前号ハイブリッドプリアンプの高出力電圧の特徴を念頭に置いた、電圧ゲイン0dBのパワーアンプを製作。入力はコンプリメンタリーMOS-FETのソースフォロワーで、プリアンプの真空管出力段をハイインピーダンスで受けている。出力段はダーリントン接続で、出力パワートランジスターを2個並列接続して、A級動作で約30Wの出力を得ている。歪率は0.1%強で、周波数特性はDC～330kHzと広帯域。出力DCオフセットも良好。すっきりした音質で、期待どおりの音となった。

## はじめに

2015年12月号と前号の2回に分けて発表した低歪率・高出力電圧ハイブリッドプリアンプの製作に引き続き、今回は電圧ゲインが0dB(1倍)のパワーアンプの製作である。まず、その経緯について述べておこう。

伝統的に、トランジスタープリアンプの定格出力電圧は1V程度であり、パワーアンプではその定格1V程度の電圧をさらに定格10数～20数Vに増幅しながら、スピーカーを駆動すべく電力に変えるのが普通である。

しかし、初段に高い電源電圧の真空管を用いたハイブリッドプリアンプの登場によって新たな可能性が出てきた。通常、トランジスタープリアンプでは、トランジスターなどの耐電圧が概して低いことから、電源としては±数10V程度が適当であるのに対し、真空管を用いたハイブリッドプリアン

プの場合は±100V以上にできる。

高い電源電圧によってハイブリッドプリアンプの別の特徴が生まれた。すなわち、ハイブリッドプリアンプの初段に続くドライブ段(I-V変換部)および終段電源をも高電圧化して、低歪率の高出力電圧が可能となったのである。

そして、前稿では初段に加え、終段にも真空管を用いることで、高出力電圧(最大出力電圧55V)が得られるハイブリッドプリアンプを製作し、フラットアンプのゲインを14dB、20dB、26dB可変とした。

フラットアンプに20dB(10倍)以上のゲインがあれば、通常の試聴環境なら、もはやパワーアンプに大きなゲインは要らない。このハイブリッドプリアンプ(以下、「前作プリアンプ」と呼ぶ)を用いれば、フラットアンプの最大出力電圧も十分高いので、パワーアンプのゲインは0dBとすることも可能である。

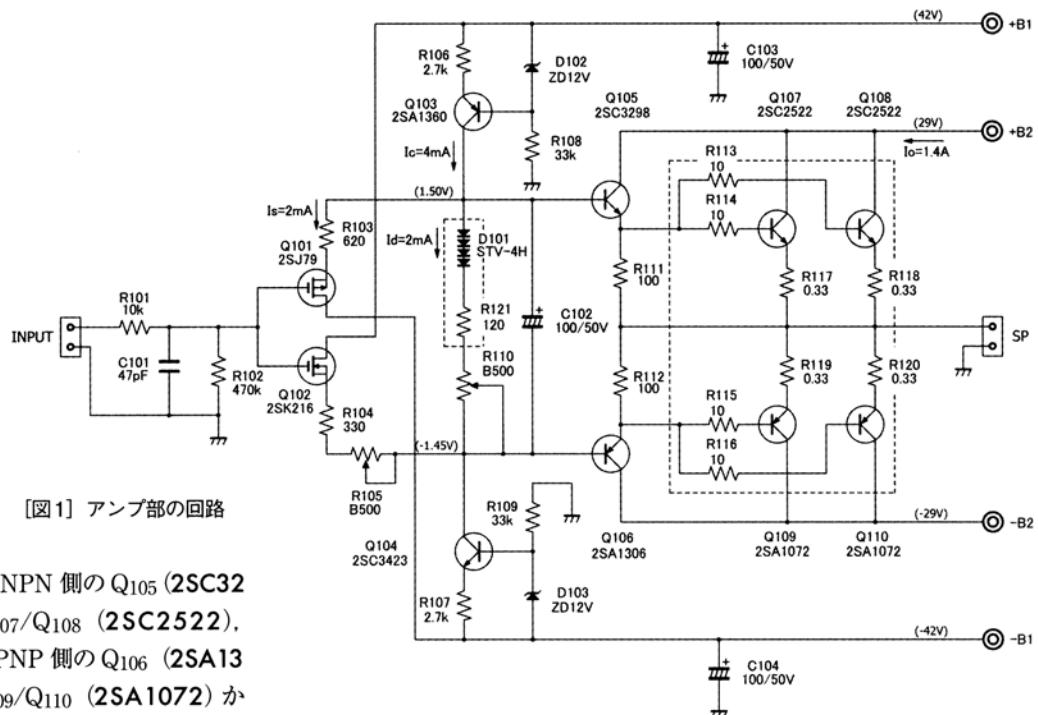
本機は前作プリアンプに接続することを念頭に置いた、ゲインが0dBの中出力パワーアンプである。

ゲインが0dBというと特殊なパワーアンプに映るかもしれない。しかし、CDプレーヤーの出力電圧が2V程度であることを考慮すれば、フラットアンプの最大出力電圧さえ確保できれば、特別なシステム変更なしに実用の範囲内になる。

今回製作したパワーアンプ(本機)は「終段無帰還パワーアンプ」の終段部を独立させた形になるが、あくまでもゲインはアッテネーターなしの0dBである。明示的な電圧増幅とフィードバックがないアンプである。

## 本機の回路

図1に本機のアンプ部回路を示す。本機は、初段MOS-FETソースフォロワー+2段ダーリントントランジスターで構成される。



[図1] アンプ部の回路

終段はNPN側のQ105(2SC3298), Q107/Q108(2SC2522), および, PNP側のQ106(2SA1306), Q109/Q110(2SA1072)からなる2段ダーリントン接続である。

無帰還アンプでは、良好なスピーカー駆動能力(低出力インピーダンス)を得るためにコンプリメンタリーアイドリング電流を片チャンネル1.4Aとして、出力30W(8Ω)のA級動作としている。パワートランジスターは2パラ構成であるので、1個あたり0.7Aである。

Q107～Q110のエミッター抵抗は0.33Ωとしている。この抵抗は、ダンピングファクターに影響するので小さくしたいところではあるが、反面、熱暴走を考慮しなければならないので0.33Ωとしている。仮に抵抗0.33Ω4本パラが出力ラインにシリーズに入ると考えると、ダンピングファクターはエミッター抵抗のみで最大97に抑えられることになる。エミッター抵抗は、福島双羽電機MPC74(5W)を用

いた。

本機で用いたパワートランジスター2SC2522/2SA1072のうち、2SA1072はサードパーティのものである(手持ちの富士通製と作りが相違する)が、特性的に問題はないようだ。

アンプ部においてフィードバックがないので、 $f_T$ などはそれほど気にする必要もなく、最大コレクタ電流/損失が同程度であれば、ほかの品種のパワートランジスターでもほとんど問題なく使用できると思われる。

初段はQ101(2SJ79), Q102(2SK216)のMOS-FETコンプリメンタリーカラーナーのソースフォロワーである。初段FETのゲートを共通とすることによって、パワーアンプ入力部分のDCカットコンデンサーを不要にし、DCアンプとすることが可能である。

そして、初段にMOS-FETを用いた回路構成によって、入力インピーダンスを高くしている。低

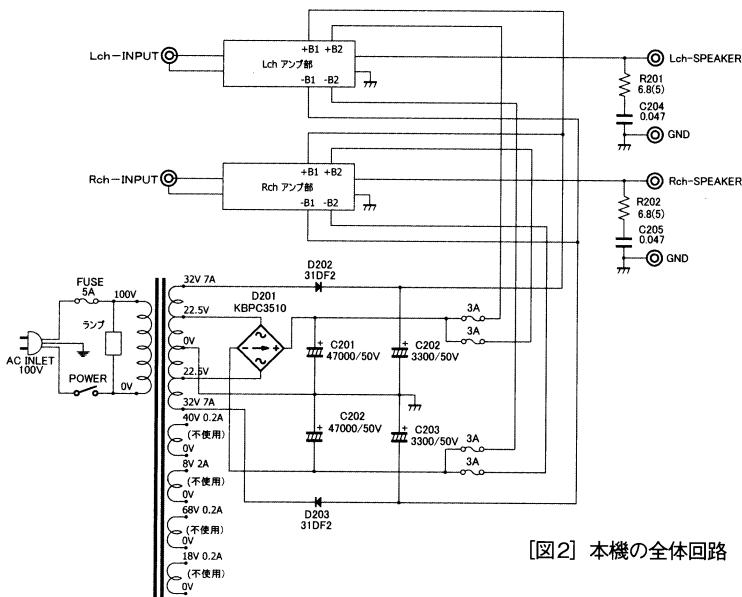
い入力インピーダンスでは、前作ブリアンプに対する負荷が重くなり、また、高信号電圧によって入力接続ケーブルに中途半端な信号電流が流れ、本機の可聴帯域での入力インピーダンスはR101(10kΩ)+R102(470kΩ)に従い、480kΩである。さらに上げて、R102を1MΩとすることもできる。

設定電流に関し、初段Q101あるいはQ102のソース電流を $I_s$ (=2mA), 定電流回路トランジスターQ103(2SA1360)あるいはQ104(2SC3423)のコレクタ電流を $I_c$ (=4mA), D101(STV-4H)などからなるアイドリング電流温度補償回路の電流を $I_d$ (=2mA)とすれば、 $I_c=I_s+I_d$ である。

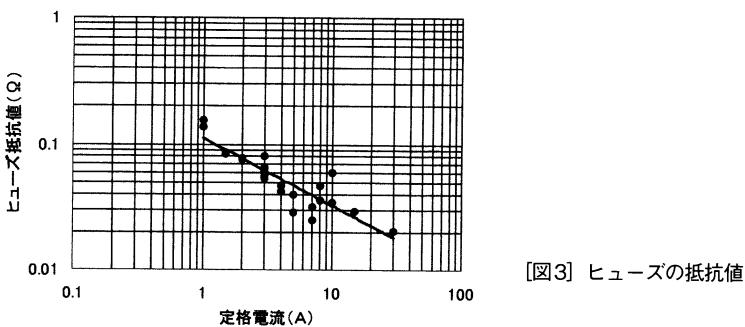
終段のアイドリング電流を $I_o$ (=1.4A)とすれば、Q105とQ106のベース間電圧(温度補償回路の電圧)=Q105の $V_{BE}$ +Q106の $V_{BE}$ +( $I_o/2$ )/ $h_{fe} \cdot (R114)$

$+ R_{115}) + Q_{107}$  の  $V_{BE}$  +  $Q_{109}$  の  $V_{BE} + (I_o/2) \cdot (R_{117} + R_{119}) = Q_{101}$  の  $V_{GS}$  +  $Q_{102}$  の  $V_{GS}$  +

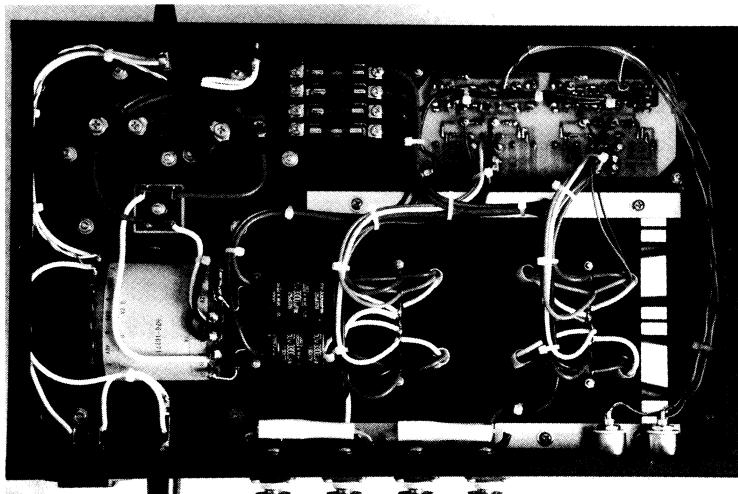
$I_s \cdot (R_{103} + R_{104} + R_{105})$  である。概略的には、終段 2 段ダーリントントランジスタ一群の 1 段目ベ



[図2] 本機の全体回路



[図3] ヒューズの抵抗値



シャシーはリードの MK-400 を使用。4 個の放熱器は補強を兼ねるアルミ角材を挟んで取り付けている

ース間電圧（ほぼ定電圧）のうち、 $2 \times V_{GS}$  を初段 FET で使い、残りの電圧と  $R_{103} \sim R_{105}$  によって初段 FET のソース電流を安定化している。

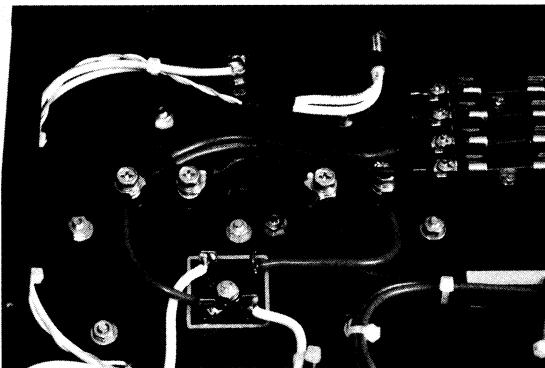
半固定抵抗  $R_{105}$  ( $500\Omega$  (B)) は出力オフセット電圧調整用、半固定抵抗  $R_{110}$  ( $500\Omega$  (B)) は、アイドリング電流調整用である。 $R_{110}$  は抵抗値  $500\Omega$  では少し不足したので、 $R_{121}$  ( $120\Omega$ ) を外付けしている。

本機の場合、確認はしていないが  $D_{101}$ ,  $R_{121}$ ,  $R_{110}$  からなる温度補償回路は、通常のトランジスターを用いた定電圧回路でも構成可能であろう。

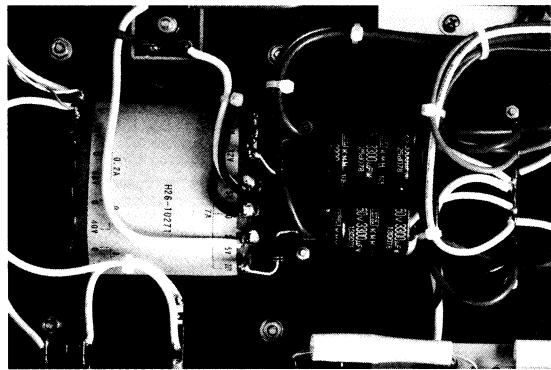
アンプ部入力部分には  $R_{101}$  ( $10k\Omega$ ) と  $C_{101}$  ( $47pF$ ) からなる超高域をカットするフィルターを設けている。遮断周波数は  $340kHz$  である。

図2に本機の全体回路を示す。定電圧電源などは用いず、かなり簡素な回路とした。電源の整流用コンデンサーの容量はやや大きめとしている。

本機はスピーカー端子短絡のミスを想定して、パワートランジスターの保護（電流制限）に  $3A$  のヒューズを  $\pm B2$  ラインに入れている。図3に、いくつかの  $30mm$  ガラス管ヒューズの実測抵抗値を示す。その抵抗値は  $3A$  のヒューズでおよそ  $0.06\Omega$  である。ヒューズの抵抗値は意外と低いものであり、測定はしていないがインダクタンス分も極小と思われる。ヒューズの挿入には抵抗があるかもしれないが、エミッター抵抗  $0.33\Omega$  などに比べ相当低く、またコレクター側に入れるので本機では特別な問題は生じないであろう。ただし、ヒューズホルダー（接点）はしっかりとしたものを使う



出力パワートランジスターの電源はブリッジダイオード整流で、平滑コンデンサーは大容量の47000μF/50Vを使用。±B2ラインには、パワートランジスターの保護用に3Aのヒューズを入れている。



電源トランスと±B1ラインの配線のようす。シリコンダイオードによる半波整流で、電解コンデンサーはラグ端子台に配線

必要がある。

本機は無帰還アンプであるので、出力DCオフセット電圧はある意味で成り行きになる。出力DCオフセット電圧に関係する要因は、前記のQ105とQ106のベース間電圧の式からわかるように、入力部分が0Vであるので、主にコンプリメンタリーとなるNPN側のトランジスターとPNP側のトランジスターの $V_{BE}$ 差およびコンプリメンタリーMOS-FETの $V_{GS}$ 差である。そして、 $V_{BE}$ 差あるいは $V_{GS}$ 差は、各トランジスターの温度上昇と $V_{BE}$ 温度特性(-2mV/°C)あるいは $V_{GS}$ 温度特性(データシートより推測すると-1mV/°C)による。

本機の場合、温度上昇の実測結果をもとにした出力DCオフセット電圧の概算予測結果より、出力オフセット電圧調整さえすれば、定常時の出力DCオフセット電圧が10~20mVを大きく超えることはないであろう。特別な対策は必要ないと思われる。

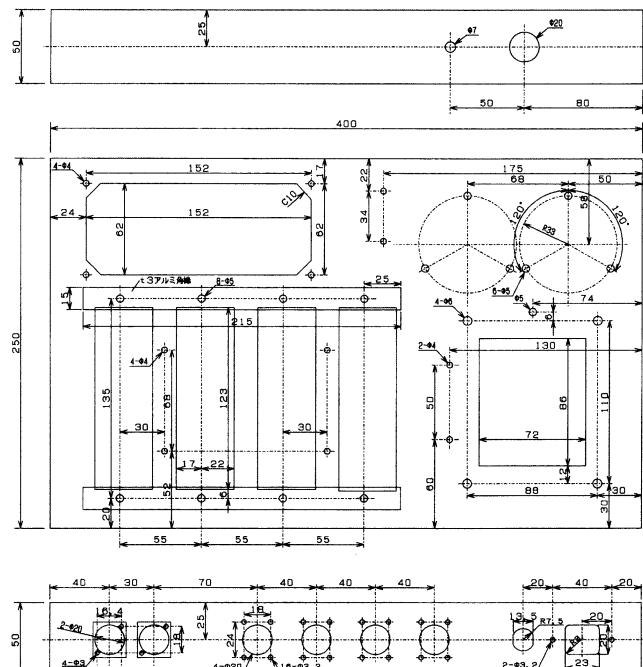
## 製作

シャシーは、リードのMK-400を用いた。図4にシャシーの加工図を示す。MK-400はシャシー

がアルミt1.5板金スポット溶接、ボトムカバーがSPCC(冷間圧延鋼板)、t0.8、M3ネジ止めであり、剛性があまり高くない。そこで、パワートランジスター用放熱器4個の取り付けをt3アルミ角棒材を挟んでシャシー内側からネジ止めとすることによって補強している。この程度の補強でも、かなり効果があるようだ。今回は、ボンネットがないという理由で使

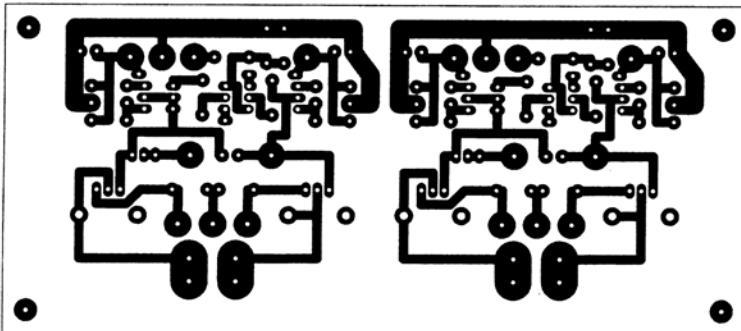
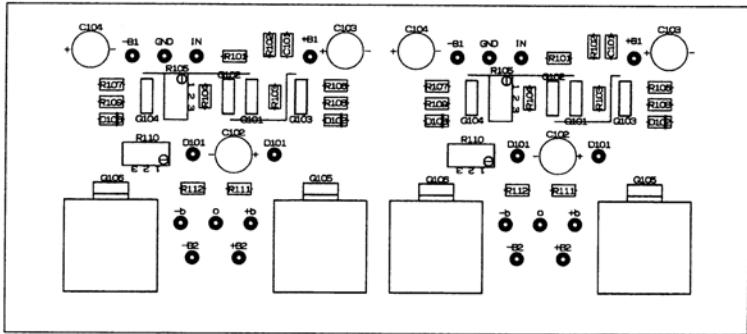
用しなかったが、タカチ電機工業のSRDSL-10を用いれば、若干強度が向上するであろう。

パワートランジスターのベース抵抗R113~R116およびエミッター抵抗R117~R120は、放熱器(内部)に小型ラグ板を設けて、パワートランジスター電極に直接取り付けている。こうすることによって、エミッター抵抗やスピーカー出力関係の配線を短く、シン



[図4] シャシー加工図

(単位:mm)



[図5] アンプ部プリント基板の部品配置とパターン図（縮小：60%）

ブルにすることができる。

図5にアンプ部プリント基板部品配置と、部品面から見た基板パターンを示す。プリント基板裏側には適宜ピンを立てて、電源やパワートランジスター、入力端子および温度補償ダイオードなどへの配線を容易にしている。プリント基板は片面であり、パターンも比較的簡単なものであるのでユニバーサル基板でも容易に製作可能である。

シャシー内部には5Pと7Pのラグ端子台を設けて、±B1電源の構成や、パワートランジスター

からプリント基板へ至る配線の中継を行っている。

手持ちの関係上、トランスはEIコアのものを用いたが、Rコアトランスであればなおよいであろう。A級アンプの場合、常時、大きな電流が流れるので、トランスの定格電流は相当の余裕が必要である。定格電流ぎりぎりの使い方をすると、かなりの高い確率でトランスのうなりに悩ませされることになる。なお、本機に用いたトランスは本機専用ではなく、ハイブリッドパワーアンプ用に特注したものであり、若干の不使用タ

ップがある。

スピーカー端子にはR201(6.8Ω)とC204(0.047μF)を付けている。これは、容量性負荷に対して安定性を確保するものである。

内部配線の取り回しは、写真を参考にしていただきたい。

表1に主な使用部品一覧を示す。

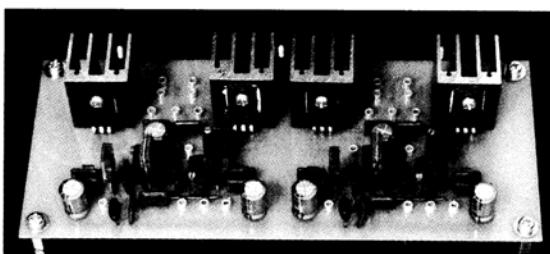
## 本機の特性

図6に、本機の周波数特性を示す。DC～330kHz(-3dB)である。高域再生限界330kHzは、アンプ入力部に設けた高域カットフィルターの特性による。

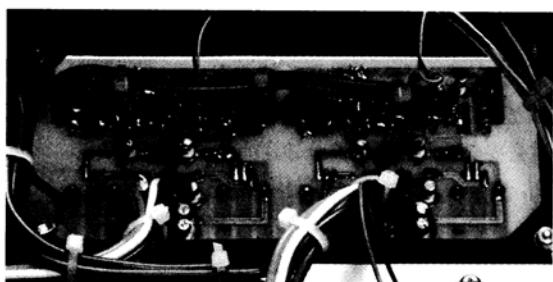
前作プリアンプの周波数特性がMゲイン(20dB)の場合は、0.数Hz～520kHzであるので、前作プリアンプに本機を接続使用した場合、低域再生限界は前作プリアンプに依存し、また、高域再生限界はおおむね本機に支配される。

図7に本機の歪率特性を示す。測定は、入力に前作プリアンプ出力を接続し、前作プリアンプをMゲインとしたときの、前作プリアンプLINE1入力(ボリューム最大)から本機スピーカー出力に至る特性である。負荷は8Ωで、測定には100kHzのLPFを入れている。

図7において、出力1W以下において出力の低下とともに上昇する歪率傾向は、前作プリアンプ



シンプルな回路なので、基板上の部品は多くはない。小型放熱器に付いているのはダーリントン接続の初段トランジスター2SC3298と2SA1306



プリント基板の裏側の配線。適宜、ピンを立てて電源やパワートランジスター、入力端子などへの配線を容易にしている

[表1] 使用部品リスト

使用箇所	部品	記号	型番・値	個数	メーカー	備考
アンプ部	抵抗	R101他	RP-24C	28	ニッコーム	
		R105, R110	B500Ω	4	—	多回転半固定抵抗
		R117-R120	0.33Ω 5W MPC74	8	福島双羽電機	
トランジスター	コンデンサー	C101	47pF	2	—	ディップドマイカ
		C102	100 pF/50V	2	—	電解コンデンサー
		C103, C104	100 pF/50V	4	—	電解コンデンサー
		Q101	2SJ79	2	日立	
		Q102	2SK216	2	日立	
		Q103	2SA1360	2	東芝	
		Q104	2SC3423	2	東芝	
		Q105	2SC3298	2	東芝	
		Q106	2SA1306	2	東芝	
		Q107, Q108	2SC2522	4	富士通	
		Q109, Q110	2SA1072	4	(富士通)	サードパーティ
小型放熱器 パワーTr放熱器 プリント基板 ピン端子	ダイオード	D101	STV-4H	2	サンケン	
		D102, D103	12V	4	—	ツェナー
		—	20×20×25	4	—	
		—	TF-1314-A2	4	—	
		—	(72×162)	1	サンハヤト	感光基板
		—	—	26	—	
		—	—	—	—	
		—	—	—	—	
		—	—	—	—	
		—	—	—	—	
電源部、他	コンデンサー	C201, C202	47000 μF/50V	2	—	電解型 φ50×120
		C203, C204	3300 μF/50V	2	—	電解コンデンサー
	ダイオード	D201	KBPGC3510	1	—	ブリッジ
	抵抗	D202, D203	31DF2	2	日本インター	
	コンデンサー	R201, R202	6.8Ω 5W	2	—	酸化金属皮膜
	トランジスター	C204, C205	0.047 μF/250V	2	—	フィルム
	電源ランプ	—	O-BS1500	1	春日無線	注文製作品(H26-10271)
	電源スイッチ	—	—	1	—	100V
	電源ヒューズホルダー	—	サードバーツ	1	—	100V
	100Vインレット	—	3P	1	—	
	ヒューズホルダー	—	サードバーツ	1	—	±B2
	小型ラグ板	—	3P	8	—	
	ラグ端子台	—	サードバーツP	1	—	
	ラグ端子台	—	サードバーツP	2	—	
	シャシー	—	MK-400	1	リード	
	アルミ角棒材	—	(t3×15×215)	2	—	
	六角スペーサー	—	M3-10mm	4	—	
	入力端子	—	ON-24	2	音	RCA
	出力端子	—	SP-20	2	アム	トランス
	アルミ脚	—	—	4	—	注文製作品

のノイズ成分の影響によるものである。出力1W以上で、出力の増加とともに歪率が悪化するのは、終段パワートランジスターの非線形性によるものである。

クロスオーバー歪みのないA級動作とはいえ、相応の非線形歪みが発生する。100Hz, 1kHz, 10kHzいずれの周波数においてもほぼ同じ歪率傾向となる。バイポーラートランジスターコンプレメンタリー出力構成からなるA級無帰還アンプの典型的な特性になっている。出力30Wにおける

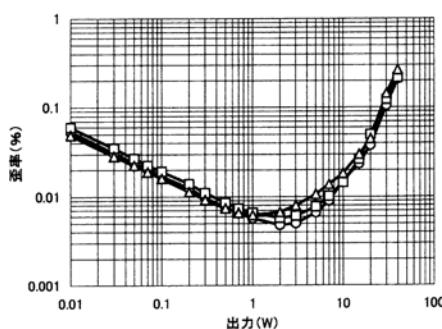
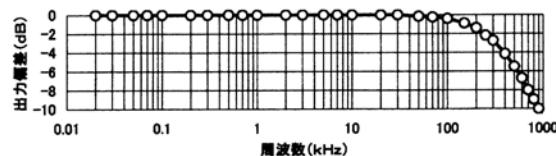
歪率は0.1%強で、問題のないレベルであろう。

図8に、本機のダンピングファクターを示す。電流注入法によつて測定した。20Hz～20kHzにおいて、およそ50である。前記のように、ダンピングファクターは、パワートランジスターのエミッター抵抗の影響を強く受けている。

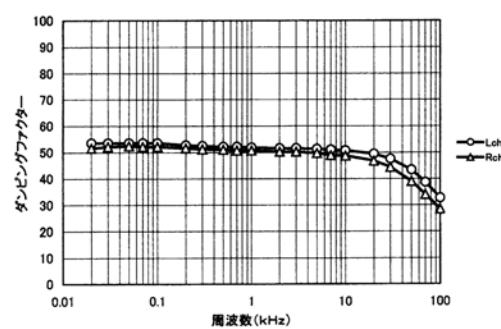
出力部にトランジスターを用いたアンプのダンピングファクターとしてはやや低い値である。

図9に、本機の出力DCオフセット電圧の時間推移例を示す。0mVに調整した後、いったん冷まし、再度電源をONにして測定した。-5mV～0mVの間で推移している。本機では、電源

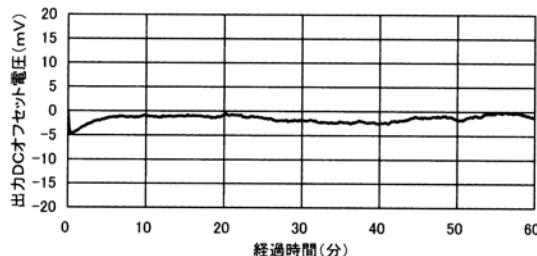
[図6] 周波数特性



[図7] 歪率特性



[図8] ダンピングファクター特性



[図9] 出力DCオフセット電圧の時間推移例

ON 時のポップノイズがきわめて小さい（聴感上は皆無に近い）。電源ON 時のポップノイズの低さは、何かと心理的にも好感が持てる。

したがって、電源ON 時のミューティング回路も設けていない。

図10 に、アイドリング電流の時間推移例を示す。アイドリング電流を設定値に調整した後、いったん冷却し、再度電源ON にして測定した。微増しながら、10 分程度経過して設定電流値で安定する。本機に用いた温度補償ダイオード STV-4H は、2段ダーリントン A 級出力回路と比較的相性がよいようである。

## 終わりに

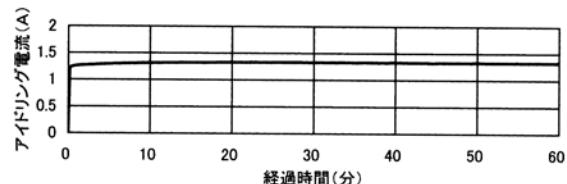
前作プリアンプと本機を接続して（以下、「本機組み合わせ」と呼ぶ）試聴を行った。前作プリア

ンプにおけるフラットアンプのゲインは M ゲイン（20dB）とし、PHONO 入力にはトランジスタ一式の MC ヘッドアンプ（ゲイン 30dB）を接続した。

まず、「本機組み合わせ」のボリューム操作感は、PHONO 入力と CD クラシック音楽の LINE 入力でゲイン不足を感じるときがあるものの、CD ポピュラー音楽の LINE 入力などでは、ほどよいツマミ位置で試聴できた。ほぼ支障のないゲインである。

必要に応じて、前作プリアンプのゲインを H ゲインあるいは 32dB とすれば、ほとんどの場合、ゲイン不足にはならないであろう。もちろん、L ゲインとすれば、ゲインのある従来パワーアンプが使用できる。

「本機組み合わせ」の音質は、すっきりした音に特徴があるよう



[図10] アイドリング電流の時間推移例

だ。少し先入感もあるかもしれないが、まずは期待どおりの音である。高域は、どちらかというと派手さのない、いたって中庸な音である。

中域が充実している。やや重心が低いところで、キレのある解像度豊かな音に聴こえる。一方、低域はずしりとくる重いものではなく、ほどよく滑らかな軽快な音であると感じた。

総じて、今回の試行「本機組み合わせ」の性能／音質は、ほぼ無難にまとまったといえるであろう。今後、しばらく聴き込んでみることにする。高出力化も今後の検討事項にしておこう。



大型の放熱器と電源トランジスターはリア側に配置。リアパネルは、左から入力端子、出力端子、ヒューズホルダー、AC インレットを配した



放熱器に取り付けたパワートランジスター 2SC2522 と 2SA1072。絶縁シートを挟み、シリコーングリスを塗布しておく



立てラグ板を取り付け、温度補償ダイオード STV-4H を配線する。リード線には、絶縁チューブを被せる