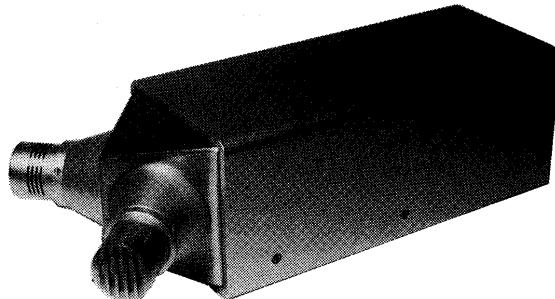


初段真空管、1段増幅ハイブリッドアンプ内蔵

ワンポイント型コンデンサーマイク

柴田由喜雄 SHIBATA Yukio



生音の雰囲気をいかに収録するかを考慮して作り上げたワンポイント型コンデンサーマイク。この種のマイクには金田明彦氏のDCマイクが知られているが、これを超える意気込みで1段増幅アンプをマイクシャシーに内蔵した。音質的に魅力があり、充分な実用S/Nがある真空管を選別し、初段には双3

極管E288CC、バイポーラーTrによるカレントミラー、定電流回路、プッシュプルエミッターフォロワー出力段を持つ回路を完成した。マイクカプセルはショップスMK-41、電源部にはS/Nと携帯性に優れるバッテリーを採用し、野外のさまざまな自然音、能舞台などの収録を楽しんでいる。

生の音

アナログレコードの時代にはソースのダイナミックレンジに注意を払うことは少なかった。もっぱら耳が頼りであった。ところがCDを始めとするデジタル機器が普及してからは、音が数値化されて見えるため、ソースのダイナミックレンジや収録方法が気になるようになった。

CDの録音レベルをメーターで見ていると、かなりの部分でメーターが0dBぎりぎりのところで振れ、-40dBを下回ることは少ない。われわれがそのような圧縮されたソースを作ることは偶然に近い。クリップしないように高いレベルの音にシビアに0dBゲインを合わせると、残りのほとんどの部分を低いレベルで録音せざるを得ない。ダイナミックレンジ

が要求されるのである。

CDはおそらく複数のマイクを音源に近づけて集音し、なるべく一般の人が聴きやすいようにその音を平たく重ねて(加工して)S/Nを上げようとしているのであろう。それがミクサーの腕(指)かもしれないが、生の音とは関係のない思想が入り込んでくるレコード芸術である。生の音(雰囲気)をいかに録るか、その手段の一つと考えられるのがワンポイントマイクである。

このような背景から、今回ワンポイントステレオマイクアンプを製作した。音楽のみならず、われわれが日常身近に聴いている音、野外録音も視野に入れて、バッテリー駆動のコンパクトな携帯用マイクとした。

FETと真空管のノイズ

コンデンサーマイクアンプの初段増幅素子としてFETを使うことは常識である。コンデンサーマイクは入力インピーダンスをMΩからGΩオーダーの高い値にしなければならず、ノイズを考えるとFET使用が有利となるからである。

しかし真空管の音に捨てがたい魅力があるのも事実で、一般論はともかく、実際に実験してみてノイズがどのくらいか調べる必要がある。予備実験の結果だけを示す

[表1] 真空管とFETの相対ノイズ
(筆者実測)

初段素子	相対ノイズ (IHF-Aあり)
真空管 E288CC	1
2N3954	0.8
2SK118	0.7
2SK97	0.6

と、表1のようになった。

比較に用いた回路は本機の最終回路に近いものであり、入力は47pFのコンデンサーでGNDに落としている。測定条件は、真空管が $E_p=30V$, $I_p=0.2mA$, FETが $V_{DS}=5V$, $I_D=0.2mA$ である。測定して驚いたことに、FETも真空管も、実回路ではオーダー的に同程度のノイズレベルであるということである。

もう一度一般論にもどると、FET単体の等価雑音抵抗 R_n (ノイズを同レベルの抵抗熱雑音となした場合の抵抗値)は、

$$R_n \approx \frac{1}{g_m} \quad g_m: \text{相互コンダクタンス}$$

3極管単体では、

$$R_n \approx \frac{2.5}{g_m}$$

5極管単体では、

$$R_n \approx \frac{2.5}{g_m} \left(\frac{I_p}{I_p + I_{sg}} \right) \left(1 + \frac{8I_{sg}}{g_m} \right)$$

と表され、FETと真空管の単体では2.5倍以上の違いがあることになる。

にもかかわらず実回路でノイズレベルの差が小さいのは、入力コンデンサーC(コンデンサーマイク)がかなりの影響を及ぼしているからである。ゲート(グリッド)高抵抗がノイズ源であり、それをCが消す。それでもCは、例えば、1kHzで $3M\Omega$, 10kHzで $300k\Omega$ と高いインピーダンスにある。Cの大きな感度の高いマイクカプセルの使用がS/N向上に最も有効なのである。

以上の検討から本機は真空管を用いることとした。ただしFETにも良い面が多くある。音の比較などは後日に回すこととする。

真空管の選択

FETと真空管のノイズレベルが同オーダーというのではなくまで真空管を入念に選択した場合の話である。真空管の種類はかなり多く、すべてをテストするわけにはいかない。そこで携帯用の本機では電源構成に、

1. マイクカプセルの成極電圧(60V)とアンプ部電源電圧を同じとする
2. 電流の多いヒーターは別電源とする

という枠を始めた。つまり、プレート電圧は60V以下とした。

真空管の選択は g_m の大きな双3極管6DJ8を基準にすることとした。双3極管はヒーター電流が概して大きいが、ニッカドバッテリーを使うことで対処する(本機では乾電池も可)。

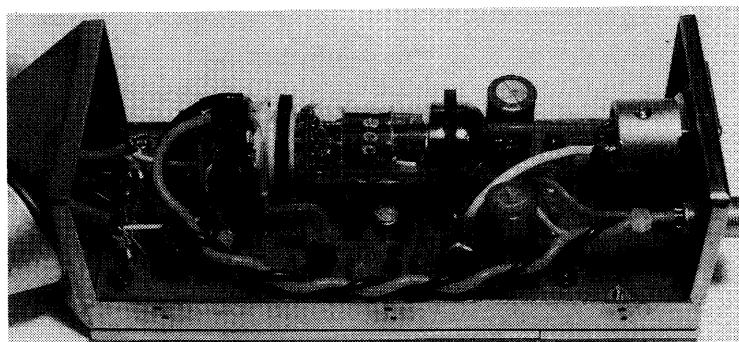
当初、真空管の種類によってノイズの質・量が変わると考えていた。しかしコンデンサーマイクの場合は、ノイズがグリッド漏れ電流に大きく左右されることがわかった。当然バイアス電圧によってグリッド漏れ電流は変わるので、選別作業には根気がいる。

6DJ8(ECC88)は、GD, Gold Aero, Mullard, Sylvania、いずれもグリッド漏れ電流が多かった。まったく使用できないレベルではないものの、バイアスが不安定になりがちである。 g_m のやや小さな双3極管や5極管も2, 3調べたが良いものは見つけられなかった。最も良かったのは6DJ8によく似た高信頼管E288CCであった。E288CCのグリッド漏れ電流は、注意深くバイアスを決めれば、10pA以下にすることができる。

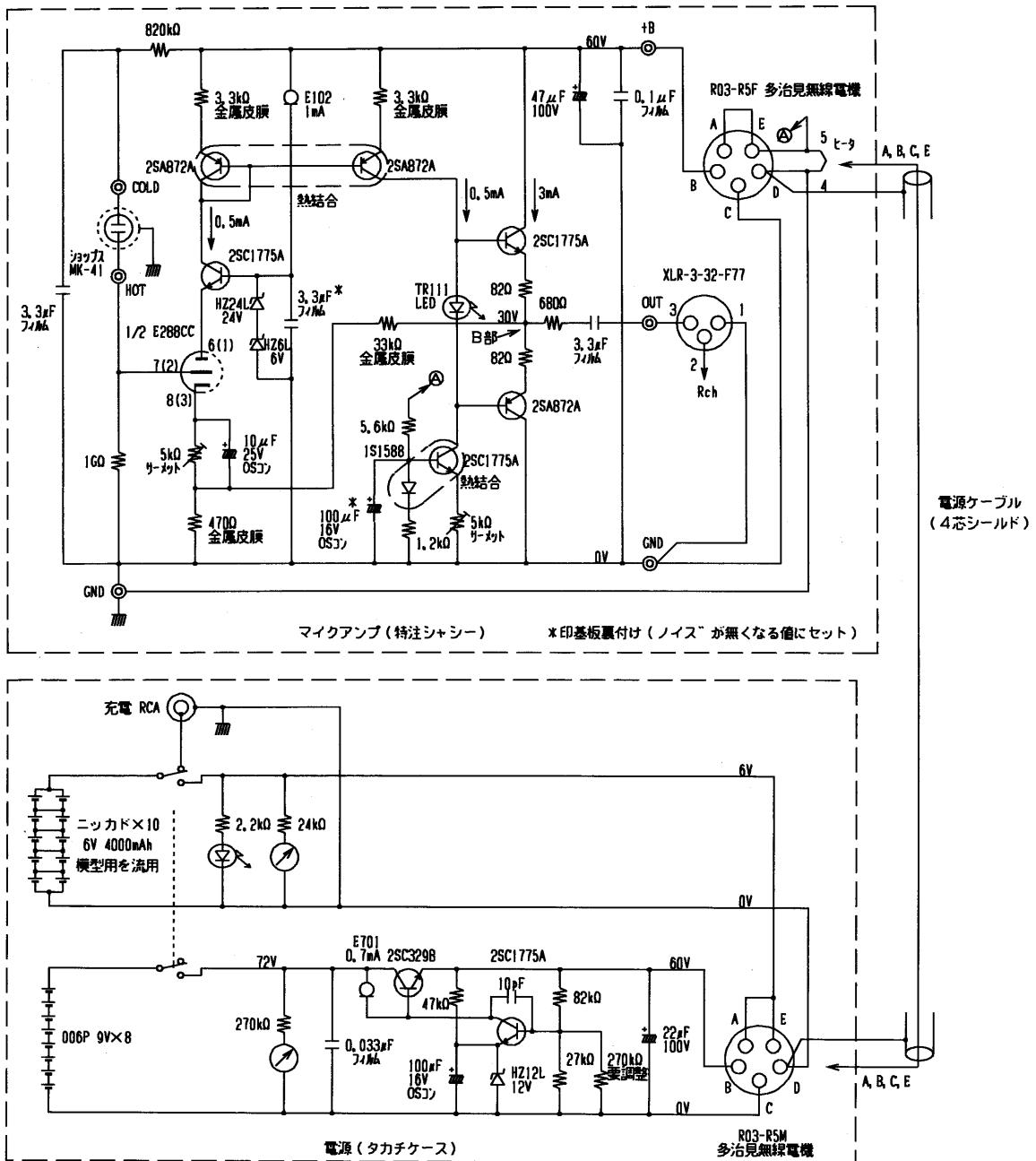
回路構成

1段増幅アンプ構成とした。音評価の前に、最低限のものとしてゲイン、出力インピーダンス、周波数特性、歪率などの特性がある。真空管1本でそれらを整えることは無理である。そこで、カレントミラーアンプ、定電流負荷回路、出力回路にトランジスターの力を借りて、ハイブリッド構成とした。ただしトランジスターに電圧増幅機能は一切もたせていない。

図1に本機の回路を示す。初段には双3極管E288CCを用いた。プレート電圧が30V前後では、0.2~0.5mAのプレート電流が最



特注ステンレスシャシーに組み込んだハイブリッド1段増幅アンプ。真空管は柔らかなゴム板を加工したサポートで支持されている。グリッド抵抗 $1G\Omega$ のまわりは高い絶縁性能が求められるため、配線にスタンダオフ端子を使用している



【図1】 1段増幅ハイブリッドマイクアンプの回路

適である。グリッド漏れ電流が最小になり、ノイズも最小となる。グリッド電圧 E_g の $-1.5V$ が一つの目安になる。本機では、ヒーター電圧の低下を考慮して、プレート電流を多目の $0.5mA$ にセッ

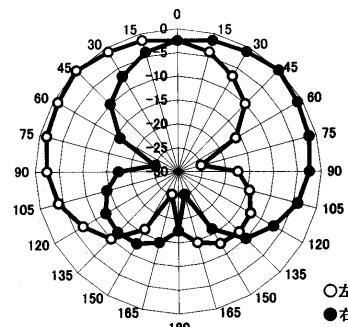
トする。プレート電圧はツェナーダイオードとトランジスターで $29V$ に固定した。プレート電圧を固定することで、 $+B(60V)$ 電圧変動の影響が出力にまったく現れなくなり、また、真空管のグリッド

・カソード間の帰還容量 ($1.8pF$) の影響 (ミラー効果) も極小とすることができる。

マイクカプセルにはショップスの MK-41 (超単一指向性) を使用した。左右の干渉がないと仮定し

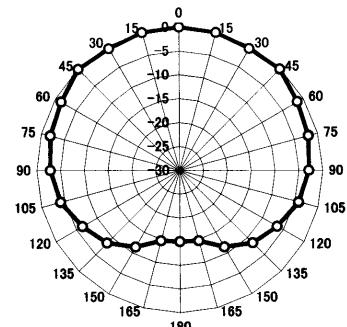
て、単純にカタログ記載の指向性を左右でパワー加算すると、図2のように、きわめてすなおな指向特性になる。ショップスにはMK-41（単一指向性）というカプセルがあるが、背面からの低域を多く拾うため、反響音が多いと、ややこもった感じになる（その分感度は高い）。

MK-41の出力は $1\text{G}\Omega$ のグリッド抵抗で受け、MK-41の容量を 50pF とすれば、カットオフ周波数は 3Hz である。MK-41の成極電圧は 60V とした。実測によると、成極電圧を高くすると感度も高くなるが、 $70\sim80\text{V}$ 付近で最高となり、それ以上電圧を上げても感度は下がる傾向にあった。アナログレコードの針圧のように、成極電圧によって音質もかなり変

(a) 2個のカブセルを 45° ずつ

開いたときの指向性

[図2] ショップス MK-41 の指向特性

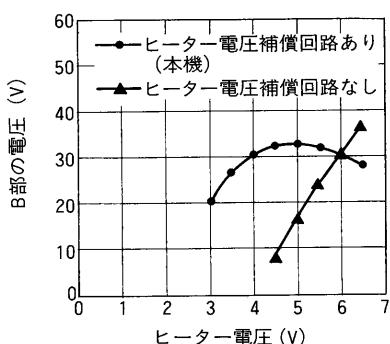


(b) 2個の合成特性

わるであろう。

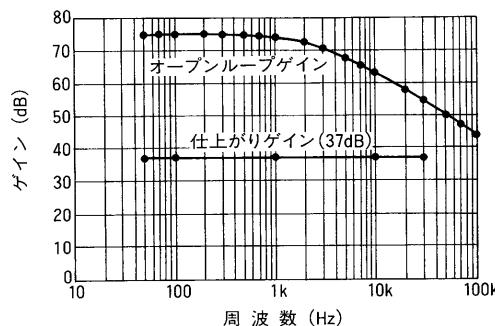
E288CCのプレート負荷は定電流回路である。熱結合した2SC1775AのベースとE288CCのヒーター間に $5.6\text{k}\Omega$ によって、ヒーター電圧低下も補償している。小技を使った感があるが効果は抜群である。本機では欲を出して、ヒーター

電圧が相当低下しても動作するよう、やや過剰気味の補償としている。 $1.2\text{k}\Omega$ の値を小さくすれば、効きが弱い動作点付近(6V)でフラットな特性になる(図3)。この回路付加によって最低動作ヒーター電圧は 2.6V となり、バッテリーを使い切ることができる。



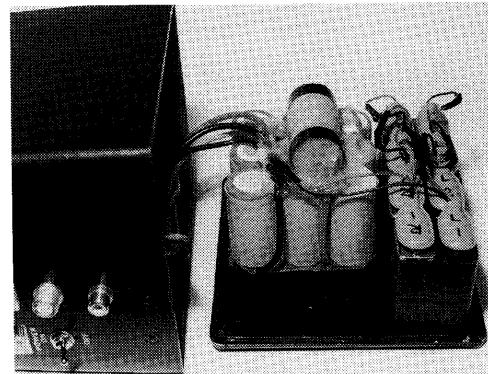
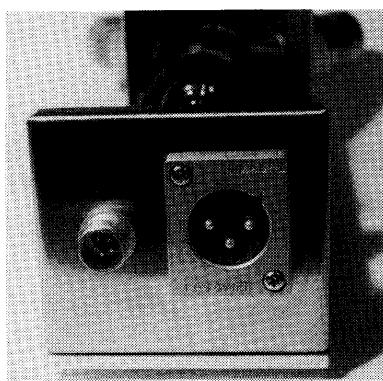
[図3] ヒーター電圧とB電圧の変化

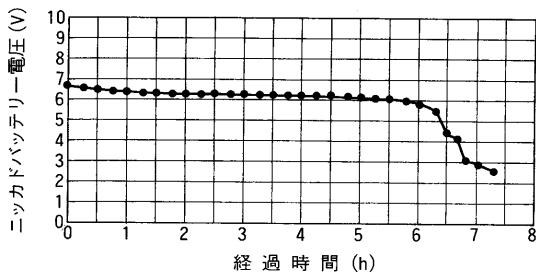
[図4] オープンループゲイン周波数特性



信号出力はLR共通の3ピンXLRコネクター、電源入力は多治見の5ピン小型コネクターを使用

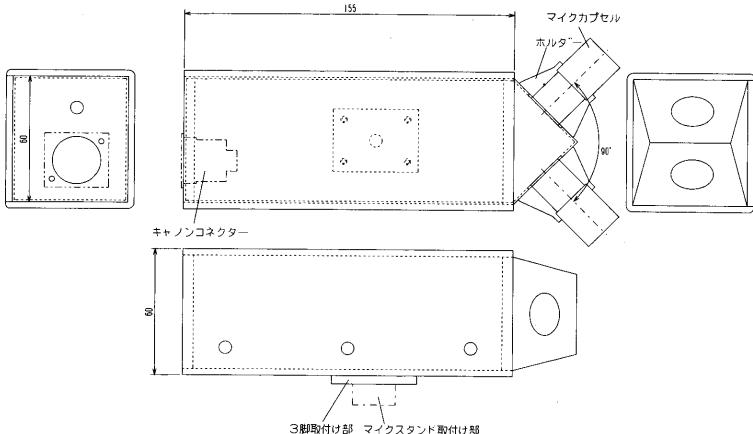
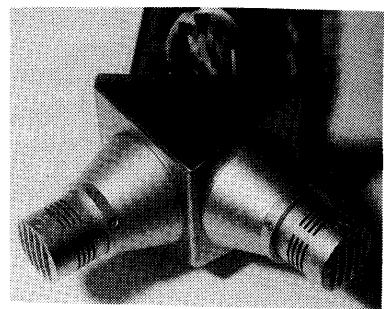
B電源は8本の006P乾電池、ヒーターは10本のニッカド電池から供給。いずれもケース底板に両面テープで固定





[図5] ヒーター用ニッカドバッテリーの電圧降下特性

超単一指向性のコンデンサーマイクカプセル、ショッブス MK-41 を90°開き、三角形のシャシー先端との反射を防ぐため、テーパー形状のホルダーを介してシャシーに取り付けている

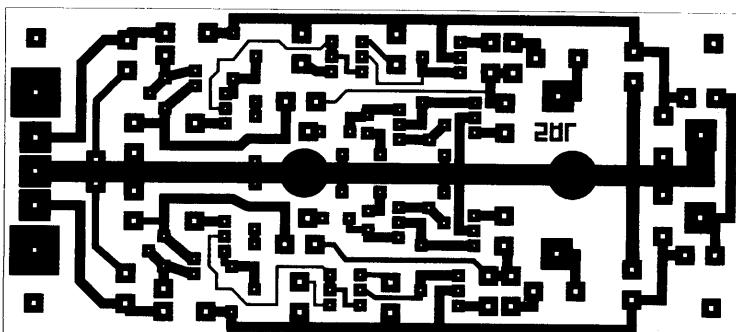


[図6] マイクシャシー形状

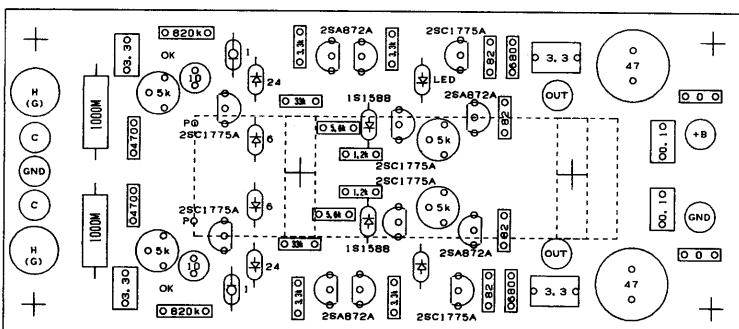
出力段はコンプリのエミッターフォロワーとした。E288CC の負荷を軽くして裸のゲインを高めに維持することで、真空管の能力を最大限に引き出す。また、出力につながる長いシールド線を駆動する能力をもたせることができる。出力段に真空管を用いた場合は、相当量の電流（10mA程度）を流さないと同程度の駆動能力は得られない。

本機のオープンループゲインは約75dBである（図4）。仕上がりゲインが37dBであるので、38dBのNFB量となっている。カットオフ周波数より高い周波数ではすなおなスロープ傾向を示している。カットオフの要因はカレントミラー回路および定電流負荷回路の出力抵抗とトランジスターの C_{ob} からなる時定数である。

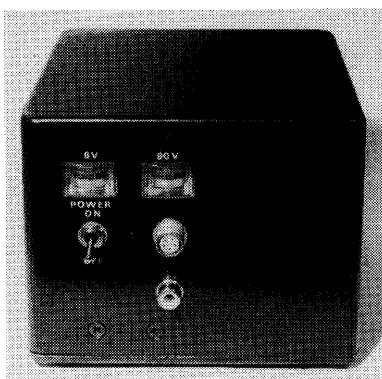
携帯用を意識して電源はコンパクトに仕上げたが、これで十分な性能を得ることができる。簡素ではあるが、定電圧回路を入れたのはマイクカプセルの成極電圧によってマイク感度が変わるからである（約2%/V）。ヒーター電流はニッカドバッテリーから供給する。満充電で6～7時間の連続使用が可能である（図5）。ヒーター電圧低下によって多少動作点が変わる



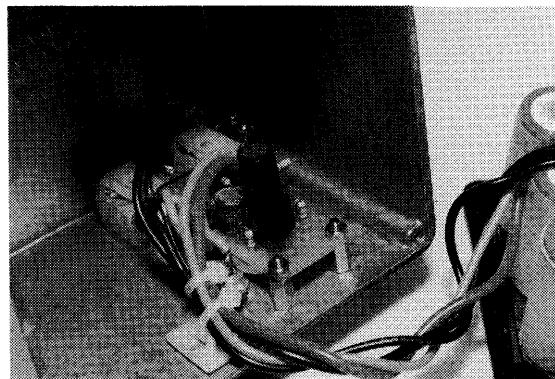
[図7] アンプ部プリント基板パターン（部品面より見る）



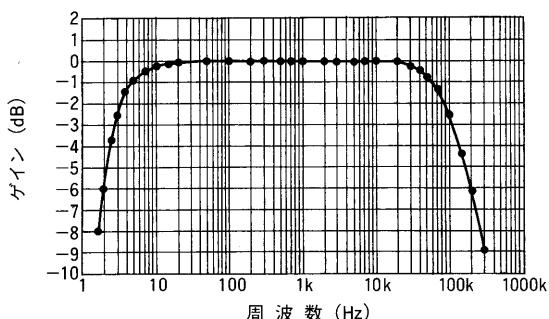
[図8] アンプ部プリント基板の部品配置（裏面より見る）



タカチのアルミダイキヤストケースに塗装を施した電源部。RCAピンジャックは充電用



プリント基板にまとめたB電源の定電圧回路。ヒーター配線にはB電源より太い線材を使用する



[図9] 周波数特性

が、B部(図1の出力段中点)の電圧が30V付近にあり、プレート電流が0.2~0.5mAであれば問題はない。なお、本機の電源はすべてバッテリーとしたが、AC100Vからの定電圧電源でも動作することは言うまでもない。

製作

左右のカプセル間の角度は90°とした。カプセルをシャシーに近づけるとシャシーからの反射を拾うので、カプセルとシャシー間にテープ付きホルダーをかませた。外観形状を図6に示す。シャシー内面には鉛薄板を貼り付けた。シャシーの共振ダンピングは重要要素である。ホルダーを含めシャシーはエヌテクノロジーに製作をお願いした。外表面梨地処理・メッ

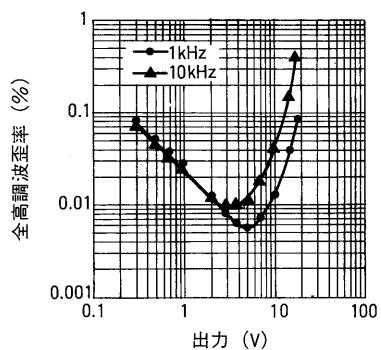
キ、刻印などは極めて良く、満足できる出来栄えであった(シャシー製作費用￥46,800、図面要)。

プリント基板パターン(修正後、一部写真と異なる)を図7に、プリント基板部品配置を図8に示す。

マイク本体と電源は別シャシーとした。ヒーター電流は0.6A程度があるので、電線での電圧ドロップが無視できない。接続するケーブルに4芯シールド線を用いた場合、ケーブル長さは2m以内にする必要がある。

本機の特性

図9に周波数特性を示す。-3dBで3Hz~100kHzである。マイクカプセルの周波数特性60Hz~18kHzを考慮すれば十分な帯域である。

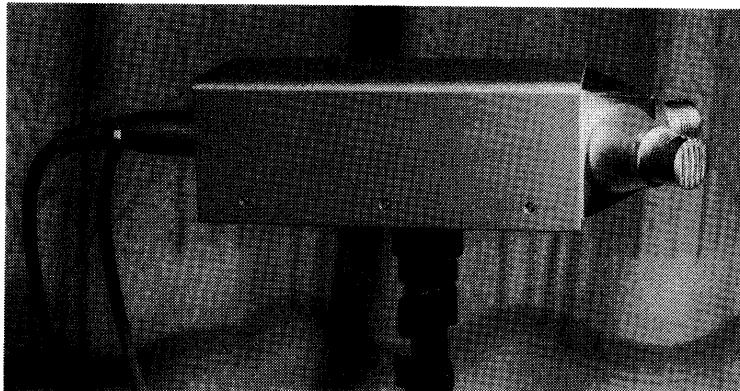


[図10] 歪率特性

図10に歪率特性(100kHzフィルターあり)を示す。0.1%以下の歪みの多少をとやかく言うのは意味のないことであるが、素性を見るには欠かせない。出力3V以下の上昇はノイズによるものである。本機の残留ノイズはIHF-Aで0.11mV、フラットで約0.5mVである。状況にもよるが、実用上ほぼ問題ないレベルである。出力電圧3~5Vで歪みが最小となり、それ以上の出力では歪みは徐々に増加する。本機のクリッピング出力電圧は18Vである。録音デッキのライン入力へつないで使用する。

音の評価

マイクアンプがあるので、いわゆる「音質」評価とは言い難いところがある。原音と直接比較する



マイクスタンドに取り付けたマイク本体。シャシー底にはカメラ三脚取り付けネジ穴(W 1/4)をタップ加工した4mm厚真鍮板を取り付けている

というスケールの大きな評価である。

昨年の夏からフィールドテストを続けてきた。手始めに、海や港、そして山に出かけて、いろいろな場面を録音した。野外での集音の大敵は風切音である。ほとんどの場合、ウインドガードは必需品であった。風に悩まされたものの、収録した結果を聴いてみると、本

機は人や物の動きの雰囲気を実際にリアルに再現した。左右マイクカッセル角度90°も妥当であった。中でも特に音が良かった(原音に近かった)のは、神社の鐘を参拝者がロープで叩く金属音であった。ざわつきから突然出現する瞬間的なハイレベルの音には感激するところがある。唯一、もう一息のは、表浜(太平洋)の荒波が砂浜

に打ち寄せ碎ける音であった。自然界の雰囲気を集音する場合は、左右の分離をもう少し鋭く(左右角度90~120°)した方が良い結果が得られるであろう。

室内では、能を収録した。ホールの反響音がやや強い状況であった。狂言などは人の声が主体であり、それらはホールに設置されたマイクとスピーカーを通じてホールに響くが気にする必要はない。それらを含めた雰囲気が肝要なのである。ここでも、観客席でじっと鑑賞していた能がまさにリアルに再現された。鼓の打音も実際にリアルなものであった。

次は音楽演奏収録を行う予定だが、きっとまた多くの感動を与えてくれるであろう。

生録は機材の準備に手間がかかるが、集音の難しさに嘆きながらも、そのリアルさに感激することは間違いない。