

アンプ一体型 ワンポイントマイク

柴田 由喜雄 SHIBATA Yukio

自作アンプコンテストで常勝、殿堂入りし、2014年1月号にA級35W×2ハイブリッドパワーアンプを発表した筆者の、復帰第2弾は生録用ワンポイントマイク。以前にも同種のマイクを真空管構成で発表したことがあり、本機はその流れを汲む半導体式のもの。電源部とアンプを内蔵し、金田明彦氏の以前のDCマイク同様、コンデンサーマイクカプセル直後で増幅、低インピーダンスでA/Dコンバーターに信号を送り込むシステムである。次回はそのA/Dコンバーターを紹介する。



はじめに

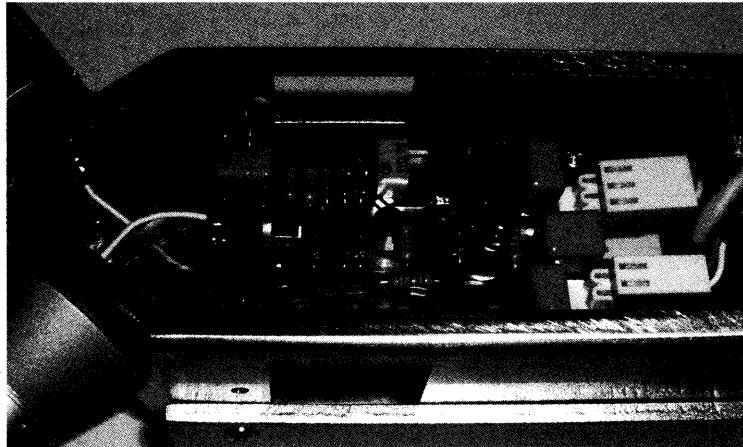
MJ2001年7月号に「ワンポイント型コンデンサーマイク」を発表した（以下真空管マイクと呼ぶ）。それは、入力段に $1G\Omega$ といった高抵抗を用い、可能な限り低域まで収録しようとするものであった。ノイズに関しても問題なく、諸特性も優れたものであり、多くの生

録に使用した。その後発表はしていないが、初段を真空管差動増幅にしたり、初段をMOS-FETの2SK214に変更（これは予想外によい）するなど、何回かの製作を繰り返した。そして、これも未発表だが、2004年に初段を2SK118差動増幅としたものに落ち着いた（以下試作機と呼ぶ）。

前記試作機のマイクアンプ概略

構成は、本記事のマイクアンプ（以下本機と呼ぶ）とほとんど同じであるので、前記試作機のアンプ部のプリント基板周辺のみを写真1に示す。

当然、スペック的には前記真空管マイクより優れたものである。しかし、マイクアンプの出力部にコンデンサー $3.3\mu F$ を入れたDCアンプ構成のACアンプであった。本機は、さらに進めて、入力からデジタル出力までを完全DCアンプ構成としたものである。なお、ここで言う「完全DC」とは、マイクカプセル部分（コンデンサーマイク作動原理自体）は除いている。コンデンサーマイクである以上、完全にDCまでは収録できない。また、超低域負帰還（あるいは超低域部分負帰還）を用いているものは含まない。



[写真1] 試作品アンプ部基板

完全DCアンプ構成 にするには

完全DCアンプにおける最大の課題は、温度変化による出力DCドリフト（残留する出力電圧DC成分の時間的変化）である。通常のプリアンプのイコライザーなどは、ディスクリートで構成する限りほとんど「完全DC化」は不可能に近い。しかし、本機はショップスのマイクカプセルを用いたマイクアンプであり、コンデンサーマイクの出力電圧は実測にて最高1~2V近くまであり、予想以上に高い。また、前記試作機はそこそこの温度DCドリフトであった。

これらが本機の成立条件である。オペアンプICを使用することも考えられるが、従来の低DCドリフトのオペアンプICなどは、特性上、オーディオ用には向いていない。最近では、オーディオ用低DCドリフトのオペアンプICも散見されるが、電源が±15V程度であり、本機のようにゲインの大きなアンプでは大音響時の出力電圧クリップの問題からゲインを小さくせざるを得ず、ゲイン付きマイクアンプのメリットを失う。現状では、リミッターを使用しない限り、オペアンプIC単体構成のみでの採用は困難である。

前記真空管マイクは、電源をバッテリーとし、アンプ部供給電圧は1電源60Vとしていた。前記試作機および本機ではさらに電圧を上げて、±60Vの供給電圧とし、アンプ部でのクリップを防いでいる。温度DCドリフトは、ほとんどがペアとなるトランジスターの熱的アンバランスによる動作点（電流）変化である。したがって、初段から出力段まで、それらを完全にペアごとに熱結合しなければな

らない。もちろん前記試作機では熱結合をしているのであるが、出力段コンプリメンタリー素子までは熱結合をしていなかった。

たとえば、出力段が10kΩ程度の負荷でもA級を維持できるようにするには、±60Vの電源電圧ではコレクター電流 I_C を3mA近く流す必要がある。この場合、最終段の発熱量は1素子あたり180mW近くにもよぶ。もはや、ベース・エミッター間電圧 V_{BE} のアンバランスなどが無視できない状態になる。また、発熱は筐体内の温度上昇を招き、温度DCドリフトに対して不利になる。このあたりが本機の設計ポイントである。

105度の マイクカプセル角度

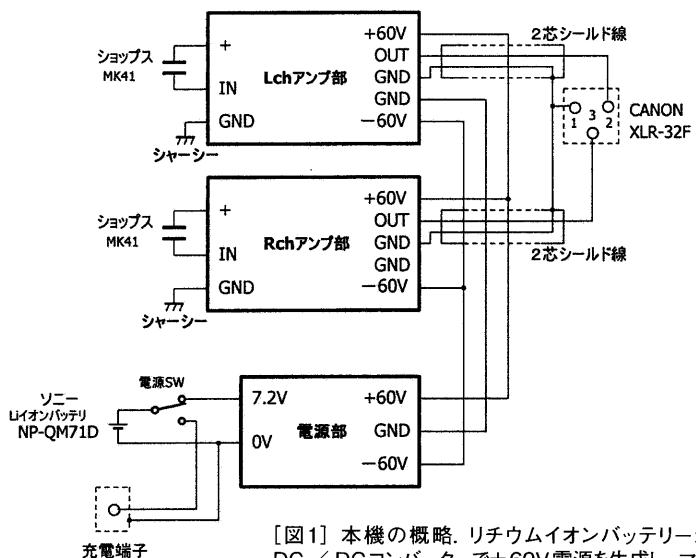
回路説明の前に全体構成とマイクカプセルの配置に触れておく。図1に本機の概略構成、図2に筐体概略図を示す。マイクカプセルはショップスのやや指向性の強いMK41を用いている。前記真空管マイクの場合は、LchとRchのマイクカプセル角度を90°としたが、

本機では105°としている。これは、明瞭に収録するには、ある程度音源に近づく（オンマイクで集音する）必要があるが、音源が横に広い場合、やや角度を大きくした方が好結果を得たことによる。もともと、ワンポイントマイクは自然な集音を可能にするが、ややもするとセパレーションが不足して、音がこもりがちな傾向になる。105°とすることでその改善が期待できる。なお、マイクカプセルそのものの選択がかなりの音質ウエイトを占めることはいうまでもない。

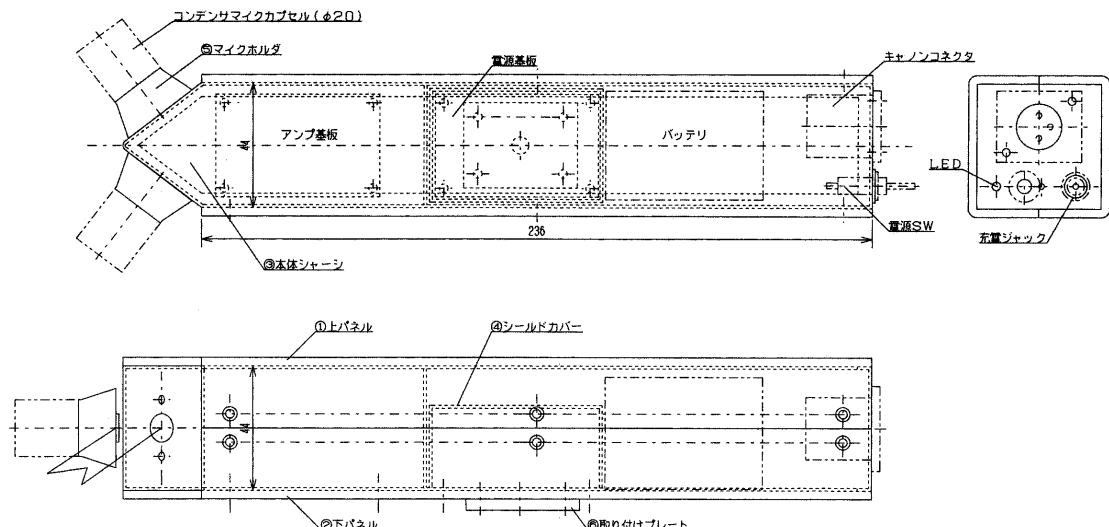
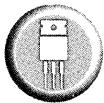
前記真空管マイクの場合と同じく、本機の筐体やマイクホルダーなどの製作は、エヌテクノロジー（長野県）に特注した。

1段増幅回路の採用

図3にアンプ部回路を示す。アンプ部回路は1段増幅を基本とし、使用トランジスターはすべて選別した。従来製作アンプの多くは、初段 Tr_1 ~ Tr_4 の負荷に定電流回路を配してゲインロスを防いでいたが、本機では定電流回路に使用する半導体の温度に対する弊害を



【図1】本機の概略。リチウムイオンバッテリーからDC／DCコンバーターで±60V電源を生成し、マイクアンプに供給する



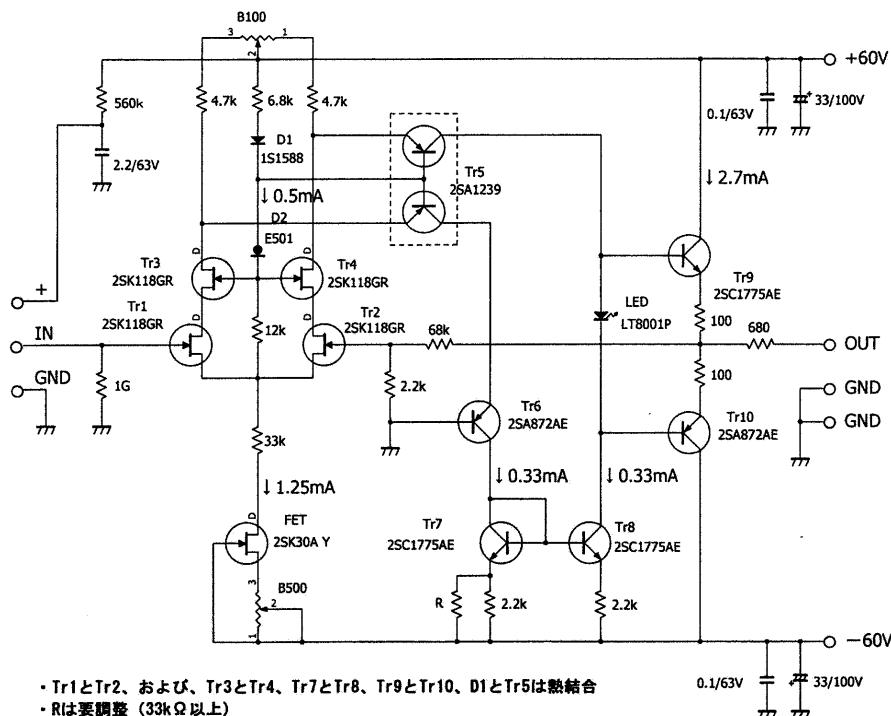
[図2] 筐体の概略構造

考慮して、 $4.7\text{k}\Omega$ の純抵抗に簡素化している（1段増幅の回路例については、たとえば、MJ1993年4月号、MJ1996年10月号など参照）。

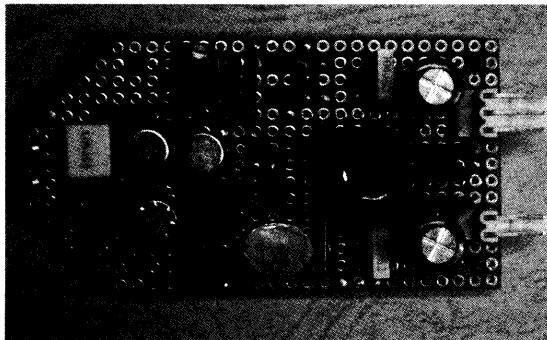
I/V変換のためのベース接地Tr₅ (2SA1239) のエミッター入力抵抗はおよそ 79Ω と概算されるので、 $4.7\text{k}\Omega$ は実質的には定電

流的に働く。Tr₅ (2SA1239) とカレントミラー回路Tr₇, Tr₈ (2SC1775A) の間にあるTr₆ (2SA872A) は、Tr₅ (2SA1239) のデュアルトランジスター相互のコレクター損失 P_c （発熱量）を抑えるためのものである。出力段はTr₉ (2SC1775A) とTr₁₀ (2SA872A)

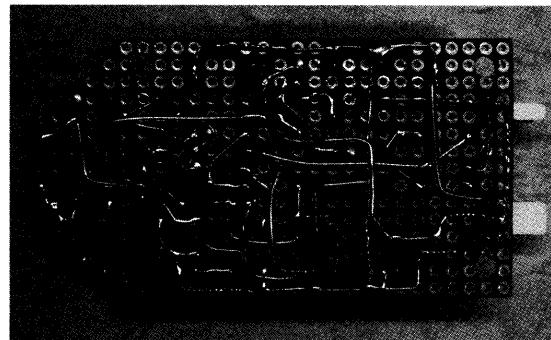
のコンプリメンタリーである。出力段のトランジスターは、 h_{fe} の高い（600程度）ものを選別したので、I/V変換段Tr₅ (2SA1239) の負荷を軽くしている。仮に、 $10\text{k}\Omega$ の負荷とすれば、出力段の入力インピーダンスは数MΩと算出されるので、特別な低負荷



[図3] マイクアンプの回路。差動1段増幅とコンプリメンタリーピッシュプル出力段の間にI/V変換回路を挿入したもの



[写真2] 本機のアンプ部基板の表側



[写真3] 本機のアンプ部基板の裏側

で使用しない限り問題はない。また、 h_{fe} が300～400程度の低いものでも本機ではまったく問題ない。ちなみに、アンプ部の負荷はA/Dコンバーターの入力抵抗である10kΩのボリュームと接続ケーブルのキャパシタンスである。

アンプ部の動作電流は、最終的に、初段FETが0.63mA、I/V変換段トランジスターが0.33mA、出力段トランジスターが2.7mAである。本機は、もともと高速アンプに適した良好な位相特性を有する1段増幅があるので、大容量の高域補償コンデンサーが不要となり、I/V変換段のわずか0.33mAといった小電流でも、出力段やドライブ段のコレクター容量 C_{ob} を含めても、出力段を十分ドライブできる。初段の電流は g_m を上げるためにやや多めとしている。初段に關し、ノイズ面で留意すべき点は V_{DS} を極力下げる事である（本機は $V_{DS} = 6V$ ）。 V_{DS} を上げるとゲート電流が急激に多くなり、特に本機ではS/Nが低下する。

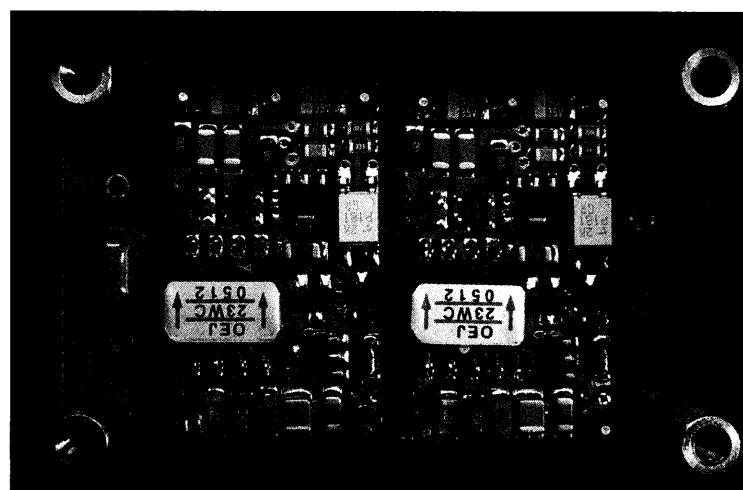
最近、ディスクリートの半導体は廃品種が相次いでいるので、入手が困難な場合がある。初段の2SK118は、規格表では2SK30Aとまったく同一特性で形状が異なるのみである。2SK118は形状が一回り小さく、コンデンサーマイク用とされているだけと推測される。

2SK118はタケイ無線（名古屋）に在庫がある。I/V変換段のデュアルトランジスター2SA1239は最大定格 V_{CBO} が-130Vと高い理由から使用しているが、2個の2SA872Aの貼り合わせで代替できる。2SA1239は若松通商（秋葉原）に在庫がある。

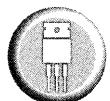
本機の多くのトランジスターは耐圧ぎりぎりで使用しているが、電源が後述の安定化電源であるので、まったく問題ない。トランジスターの耐圧、たとえば最大定格 V_{CBO} の値を規格表で見る場合に、留意すべき点が1つある。必ず最大コレクター電流 I_c の値をも参考にすることである。カーブトレーサーなどで観測すると、定格が大電流 I_c のバイポーラートランジス

ターは低電流 I_c のバイポーラートランジスターよりも概して実力よりも低めの最大定格 V_{CBO} に設定されている場合が多い。バイポーラートランジスターではブレークダウン電圧（ V_{CBO} に対応）が電流 I_c の増加とともに下がる傾向にあるので、そのような規格表示になっているのであろう。なお、同じ型番でも耐圧は h_{fe} ランクによっても若干相違する。また、FETは厳密に最大定格 V_{GDS} を守る必要がある。参考までに、本機の基本回路（電圧／電流設定）はすでに10年近くの実績があるものである。

バイアス用LEDのLT8001Pは赤色発光ダイオードをガラス封入したもので、確認はしていないが、通常の赤色発光ダイオードでも代



[写真4] 電源部のDC/DCコンバーター基板



替できるであろう。初段、あるいは、I/V変換段のデュアルトランジスターの熱結合は相互貼り合わせに加え、適度な径の電解コンデンサーのアルミケースをカットし、カバーとして利用することで二重に熱結合している。終段のTr₉(2SC1775A)とTr₁₀(2SA872A)は、貼り合わせた後、1つの小型の放熱器の中にエポキシ系樹脂によってモールドしている。抵抗はすべてニッコームRP-24Cである。

マイクカプセルMK41には、一般的な電圧の48Vを超える60Vのバイアスをかける。90V程度までは電圧が高いほど感度が上がり、微小な音も拾えるようになるようだ。60Vのバイアス供給は560kΩと2.2μFの時定数(およそ1秒)をもたらす。電源ON時に、カプセルの容量(推定40~60pF程度)を介してパルス電圧のかかる初段2SK118のゲート破壊を防止する。なお、信号出力と電源端子にコネクターを使用しているが、マイクカプセルからの入力部分には絶縁抵抗(漏れ電流)の面から汎用のコネクターは使用できない。リード線を直にマイクカプセルと基板の両者にハンダ付けする。

アンプ部の配線は、写真2、3のように、今回は2.54mmピッチのスルーホール・ガラスエポキシユニバーサル基板を切断して使用している。配線の短い部分は部品の

リード線などを利用し、長い部分は撲り線をハンダメッキしたものを使用し、ジャンパー線はフッ素樹脂被覆金メッキ導線(アムトランジス)を多用している。金田式DCアンプのいわゆる「7本撲り線」は、撲った後であらかじめハンダメッキして使用すると、ハンダの塑性変形によって単線に比べ、きわめて配線しやすくなる。写真1のアンプ基板のみを置き換える。LchとRchの2枚を六角スペーサーを用いて上下に2段重ねして実装している。

機動性を持たせた バッテリー内蔵型

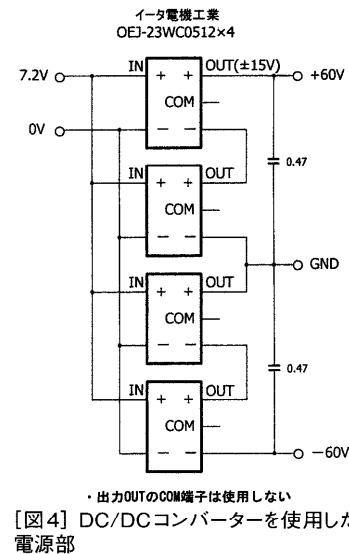
アナログ出力はXLR3ピン-RCAケーブルによってA/Dコンバーターに入れ、S/P DIF仕様でエディロールのR-44にデジタル入力して録音する。本機は通常のカメラ用三脚と同等のネジでスタンダードに据え付け可能とし(タイトル写真)、機動性を考慮してバッテリー内蔵としている。実使用ではRCA出力のみが本機周りのケーブルとなる。

バッテリーはソニーのリチウムイオン電池NP-QMD71D(7.2V, 2760mAh)を用いている。これで約8時間使用できる。ウォーミングアップの1時間程度を見込んでも十分な持続時間である。同バッテリーは現在販売されていないが、

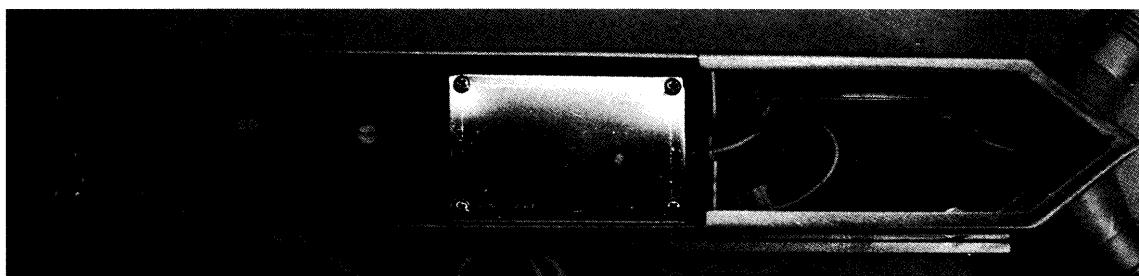
同等のNP-FVシリーズがソニーから販売されている。

バッテリーの充電器は別途製作したが、読者の方に完璧には保証はできないので回路掲載は割愛させていただく。

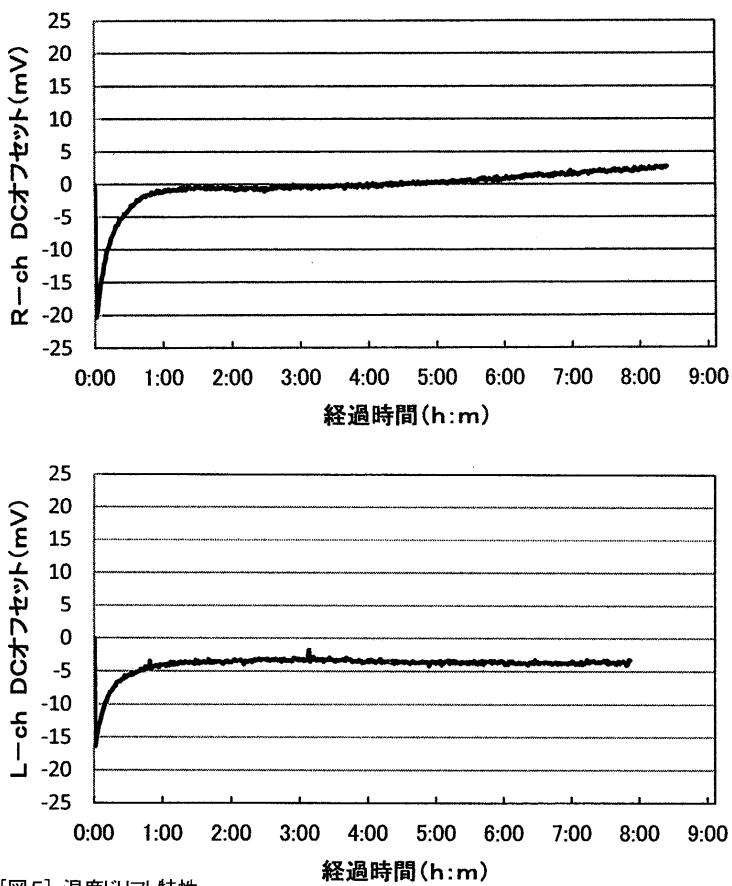
本機の場合、バッテリー充電回路の要点は、まず、電圧8.4V、電流1.8Aに電源をセットする。次にバッテリーを接続して初期電流1.8Aで充電を続ける(約1時間)。その後、次第に電圧が設定値8.4V近くに上昇し、電流は急激に減少していく。最後に、電流が150~200mA(初期電流の約1/10)となった時点(合計約4時間後)で電源からバッテリーへの電流供給を止める。それらを自動で行うものである。簡易的には12~15V



[図4] DC/DCコンバーターを使用した電源部



[写真5] ケースにはリチウムイオンバッテリーパック、シールド板でカバーしたDC / DCコンバーター基板が収まる。右のスペースにアンプ部基板が収まる



[図5] 温度ドリフト特性

/3A程度の容量のCV-CC電源(電流リミッター付き定電圧電源)と切タイマーがあると便利である。すでに相当回の充電実績にて問題は発生していない。

異なる容量のバッテリーを用いる場合の充電電流は、全充電時間がメーカーの該当バッテリー充電器仕様に記載されている充電時間程度となるように初期電流を設定する。初期電流を小電流から徐々に上げて数回実験し、発熱をも勘案して充電電流値を設定すればよいであろう。あせって過大な充電電流を流したり、あるいは、欲張って過充電することはきわめて危険があるので、避けなければならない。

バッテリーの電極部には、電池を冷却しながら配線をハンダ付け

したが、電池の外層樹脂が容易に溶けるのでお勧めはできない。上記電池の場合、適度なバネ性をもたせた電極挿入部品を製作して、あらかじめ配線をハンダ付けしたあと、電極部に圧入するのがよいであろう。当然ではあるが、ショート事故を防ぐために、電池関係の配線は電池の残留電荷が十分低い状態で行う。

安定化電源部は、図4、写真4、5に示すように、筐体中央部に2段重ねの基板に合計4個のスイッチング電源を配している。スイッチング電源はイーター電機工業製入力4.5～15V、出力±15V、出力電流50mAのものを直列使用(15V×8)している。実にシンプルなものである。当初スイッチングノイズを心配したが、電源部の

周りに金属シールドを厳重に施したので、スイッチングによる漏れノイズはアンプ部にて検出できなかった。

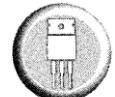
本機の特性

図5に本機のDCドリフト特性の一例を示す。DCオフセット電圧は初段の多回転半固定抵抗100Ωで調整する。図5より、本機は、30分～1時間程度のウォーミングアップが必要なことがわかる。その後は、±3mV程度内に収まっている。

初期の30分～1時間程度のDCオフセット電圧変化は、出力段トランジスターの発熱による筐体内部のゆっくりとした温度上昇による。見方を変えると、環境温度によつても筐体内部の温度分布が変化し、DCオフセットが変化する。精密な測定はしていないが、環境温度が低温側よりも、特に高温側でDCオフセット変化が大きくなる傾向にあるようだ。いずれにしても、本機は環境温度が $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 程度では実用レベルと思ってよいだろう。

実際の使用では、A/Dコンバーターとの間にボリュームが入るので、±3mVが直接DCオフセットになるわけではない。大音響ではDCオフセットの影響は小さくなる。フィールド生録実使用ではR-44のデジタル出力ファイル段階(WAVファイル)で0dB値に対し0～0.1%程度のDCオフセット発生が観測された(ソフトウェアSounditによる表示値)。

なお、本機では出力段の電流を3mA弱としているが、接続する負荷が数10kΩ以上(たとえば100kΩのボリューム)であれば1mAレベルまで下げることも可能であり、その場合は、相当広い温度範囲で問題ないレベルまでDCオフセッ



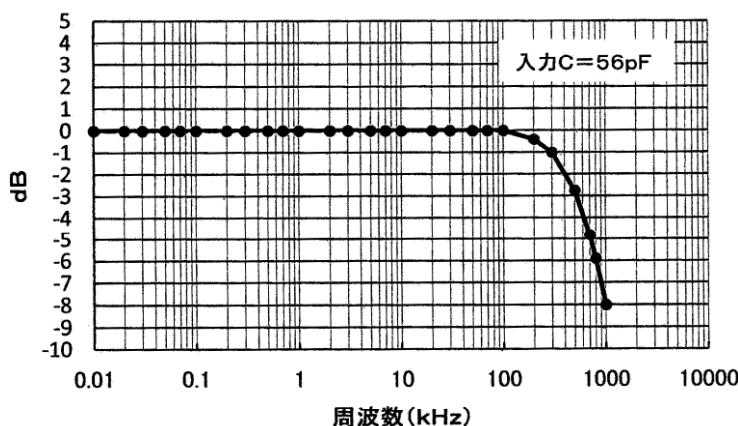
トは低減されると思われる。また、塵埃対策を施して通風孔を設ければ、DCオフセット電圧も少し下がると推測される。

図6に周波数特性を示す。ほぼDC～500kHz（-3dB）である。測定は、実使用状態に近付けるために、基板のカプセル入力端子に56pFのコンデンサーを直列に介在させて発振器を接続して測定した。マイクカプセルのキャパシタンスと $1\text{G}\Omega$ による低域遮断周波数計算値は、おおむね2～4Hzである。マイクカプセルの実力を考慮すると、やや高域が広すぎる感があるが、その場合は状況に応じ、出力側に適宜CRフィルターを入れればよいであろう。

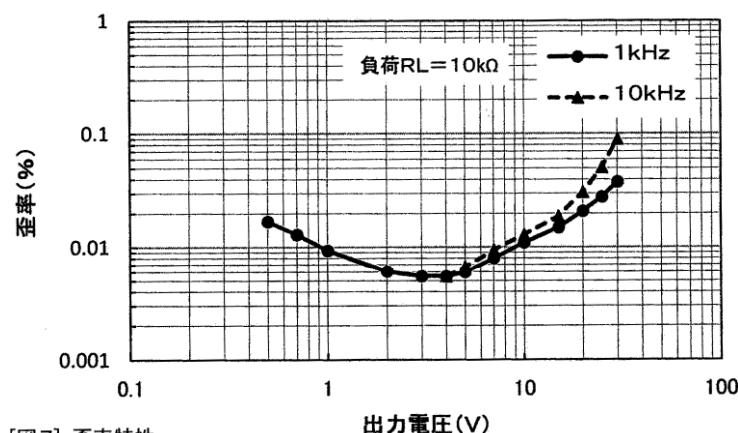
図7に歪率特性を示す。負荷は $10\text{k}\Omega$ 純抵抗としている。典型的な1段増幅アンプの特性となっている。0.1%以下であり、まったく問題ないレベルである。小出力電圧時はアンプ残留ノイズによるもので、中出力電圧以上の歪率増加はトランジスターの非直線性によるものである。中出力電圧以上の歪みはアンプの裸の非直線性とフィードバック量に依存する。なお、この種の半導体アンプでは、低歪率よりも、諸負荷に対する不安定性要因のほうを重視すべきであると考えている。

本機の音質

本機を使用して何回も生録（192kHz/24ビット）を試みてはいるが、残念なことに、フィールド生録を中心としているため、いまだ本機ではお聴かせできるような満足できる収録が成功していない。皮肉にも、DCレベルまで伸ばしたことによる、不要な予期しない環境ノイズの微量混入によることが大きく影響している。ただ、単発



[図6] 周波数特性



[図7] 歪率特性

的には「違ひ」が感じられることを確認している。室内録音では相当な「違ひ」が出ることは間違いないであろう。

そこで、完全DCではなく本機の狙いとは若干相違するが、ワンポイントマイクの応用例として、未発表の前記試作機による室内収録例を用意することにした。前記試作機～アッテネーター～DATアナログ入力（タスカムDA-P1, 48kHz/16ビット）～編集（切り取りとつなぎ）によるものであり、以下のものを製作した。

1. WAVファイル（48kHz, 16ビット）：64分, 716MB
 2. コンバートCD-R（44.1kHz, 16ビット）：64分, 19タイトル
- 音源は、アマチュアバンド（收

録当時、筆者勤務先の友人などがメンバー）の演奏である（タイトル「今日は俺たちの誕生日」）。マイクアンプは客席のテーブル上にセットした。会場の壁の影響を受けてか、かなり音がこもり気味に録れているものの、全体（64分）を通して聴いていただくと、そのリアルさに一聴する価値があると思っている。アマチュアのヴォーカル&ギター演奏であり、読者の好みの音楽ジャンルとは違うかもしれないが、入手を御希望の方には頒布可能だ。（問合せ先：shibata_lab@ybb.ne.jp）

なお、現在、本機とともに用いているA/Dコンバーターは、次回に紹介する192kHz/24ビットのものである。