

はじめに

音楽を聞く方法はいろいろありますが、ヘッドホンが今ほど普及しさまざまな場面で使われるのは、これまでになかったことです。

歩きながら聞く人、カフェで勉強しながら聞く人、自宅で周囲の邪魔にならないように聞く人、ベッドにはいって半分眠りながら聞く人、仕事をしながらデスクで聞く人、ライブ・ステージでギターを弾きながら聞く人、レコーディングの現場で聞く人.....

家電量販店のオーディオ売場に行くと、フロア一杯にさまざまなヘッドホンが並んでいます。耳の中に入ってしまうような小さなものから頭の形が変わってしまいそうなくらい大きいものまで、用途も気軽に音楽を聞くためのものからスタジオ・モニタ仕様のもので、そして価格は千円札1枚で買えるものから一般的会社員の給料の大半をはたかないと買えないものまであります。

筆者が学生の頃(1970年代)、ヘッドホンはどちらかという脇役でした。録音用のテープ・デッキやステレオ・アンプにヘッドホン端子が付いていましたが、パワー・アンプのエネルギーのおこぼれをもらうような回路だったり、おまけで付けたようなアンプで鳴らすことが多かったように思います。ヘッドホンを鳴らすための高品質な専用アンプという考えは、とても珍しいものだったのです。

ヘッドホンが脇役からスピーカと並ぶもう一人の主役になった今日、ヘッドホンを鳴らすための専用アンプがたくさん登場しています。自作オーディオの世界でも、インターネット上で検索するとOPアンプを使っただれにでも作れるヘッドホン・アンプがいくつも紹介され、多彩な製作レポートを目にすることができます。

筆者が設計/製作したFET差動増幅回路のヘッドホン・アンプは、OPアンプを使わずに個別の半導体によって一から組み上げるディスクリート・タイプです。初心者にとっては少々敷居が高いのですが、それでもインターネットを通じて知られるようになり、多くの方々から「無事音が出ました」、「一番のお気に入りです」、「息子に取られてしまったので2台目を作っています」といったメッセージをいただくようになりました。

そんな折、CQ出版社編集の今一義さんから「これを本にまとめてみませんか」というお誘いがあり、本書が生まれることになりました。

デジタルだけでなくアナログの世界も、OPアンプや3端子レギュレータなど集積回路の普及とともにどんどん変化しています。今や、3本足のトランジスタを組み合わせる回路を設計し、抵抗器やコンデンサなどすべての部品の定数を自分で計算して決める、というアプローチは消えかけているようにすら思えます。

しかし、OPアンプといえども、中味は一つひとつのトランジスタや抵抗器の集まりであることに変わりはありません。ブラック・ボックス化した樹脂モールドの塊のOPアンプも、中でやっていることは基本的に同じであり、増幅の原理もまったく同じです。そして、ディスクリートで組んだからといって性能的に問題があるわけではなく、また出てくる音が劣るわけでもありません。

本書では、小さな電界効果トランジスタ(JFET)を使った、初心者にもわかるようなシンプルで

基本的な回路による実験や説明を行いながら，入手が容易なトランジスタをうまく組み合わせることで，メーカー品にも劣らない十分に高い品質をめざしたヘッドホン・アンプを製作します．

アンプ作りの経験がない初心者にも無理なく組めるように，CQ出版社のご配慮で，とても使いやすい汎用性のある基板を付録として提供できることになりました．そのおかげではんだゴテの扱いや電子回路の実装/配線の経験が浅い人であっても，再現性の高い高品質な仕上がりが実現できるようになりました．

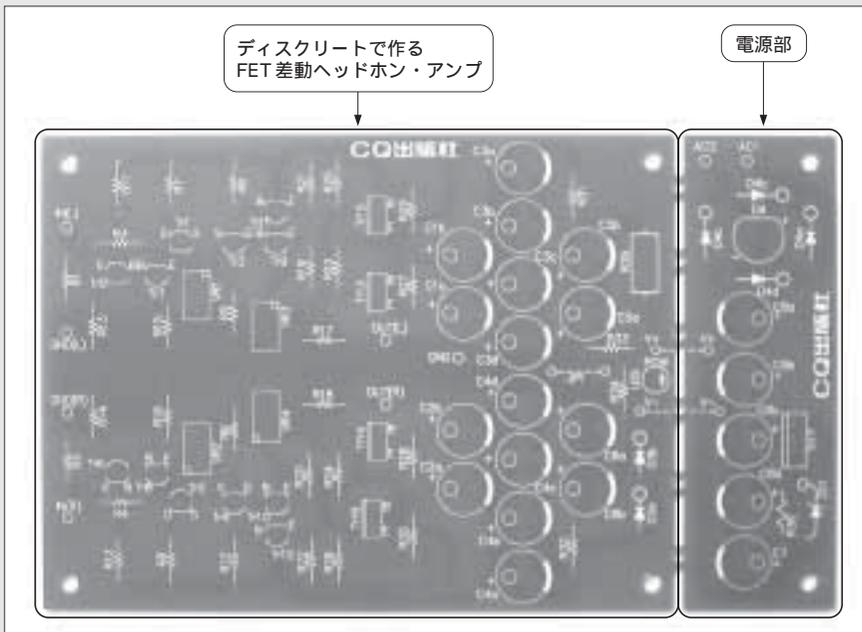
なお，本書は，回路や部品のごことはわからなくてもマニュアルや実体配線図どおりに作れば完成する，という考え方ではなく，電子回路や増幅器の基本的なしくみや動きを理解していただいた上で製作する，という基本方針で書かれています．

半導体のデータや計算式やグラフがたくさんでてきますが，専門知識を要求するような数式は避けています．好奇心を持って学習し，考え，工夫することを厭わなければ，きっと，満足していただける素晴らしいヘッドホン・アンプが完成するものと信じています．

筆者

本書に付属している基板について

本書の付属基板は，以下の回路用基板が含まれています．切り離して使う場合は，基板の切り口でケガをしないよう注意してお使いください．



第1章

ヘッドホン・アンプを作ろう

ヘッドホン・アンプを設計・製作するには、まず、ヘッドホンの特徴を理解し、その上でどんなヘッドホン・アンプにするのかコンセプト作りをしましょう。

■ 作りやすいのに作り甲斐があるのがヘッドホン・アンプ ■

はじめて作るオーディオ・アンプとして、最も手軽で入門用としてふさわしいものの一つがヘッドホン・アンプではないでしょうか。

ヘッドホンの動作原理は基本的にスピーカと同じです。ところが、スピーカに比べて100分の1程度のパワーがあれば十分過ぎるくらいの大音量が得られるので、アンプ自体がコンパクトかつ廉価にできます。しかも消費電力はごくわずかなので、電源回路も大げさにならずに済みます。

しかし、ヘッドホンはスピーカに比べて再生帯域が広く、ノイズに敏感な上に音をすみずみまで漏らさず聞かせる傾向があり、オーディオ・アンプとしての要求性能はとて高くなります。スピーカを鳴らすパワー・アンプとは比較にならないくらい静かな低雑音性能、広い周波数レンジ、明瞭な楽器の聞き分けや確かな定位感などが要求されます。

廉価で作りやすいのに作りがいがあって高性能、これがヘッドホン・アンプ作りを面白くしているのです。

試しに「ヘッドホン・アンプ 自作」の二つのキーワードでインターネット上を検索してみてください。実にたくさんの自作ヘッドホン・アンプのサイトやブログが見つかります。本書だけでなく、



写真 1-1 製作した
ヘッドホン・アンプ

ネット上に公開されているさまざまな製作例やレポートを参考にすることで、ヘッドホン・アンプ作りはさらに楽しいものになるでしょう。

■理解して作るアプローチ■

アンプの自作には二つのアプローチがあります。回路のことはわからなくても、とにかく書いてあるとおりに作れば立派に音が出るアンプができる、というアプローチと、少々遠回りでも電子回路の基本や部品の特性/特徴を理解して、いろいろなことを考えながら周辺知識を学びながら作る、というアプローチです。

どちらがよいというわけではありませんが、筆者は後者のアプローチのほうが好きです。「もの作り」という行為には「工作」だけでなく「動作のしくみも理解する」、「理解したうえで、いろいろと考え工夫をする」という意味が込められているのではないかと思うからです。

筆者がはじめてトランジスタに触れたのは小学校5年生(1965年頃)のことですが、当時はわけもわからず、雑誌の実体配線図どおりに作って音が出たと喜んでいました。1960年代後半になると比較的信頼性が高く性能的にも優れたシリコン・トランジスタが登場し、ステレオ・レコードやFMステレオ放送の普及とともに音のよいオーディオ・システムが次から次へと登場しました。

パソコンはおろか電卓すらまだ世に出ていない当時、オーディオ・アンプは一つひとつのトランジスタの動作を計算尺 などを使って手計算で求めて設計するのが普通でした。1970年代、ONKYOが発表したコンピュータ・シミュレーションを使ったプリメイン・アンプ「インテグラ725」の回路の合理的な斬新さには、高校生だった筆者も衝撃を受けたのですが、そのとき使用した大型コンピュータは、今現在だれもが持っているパソコンの100分の1ほどの能力もないようなものでした。そのようにしてアナログ・オーディオ回路は進化を遂げ、今日に至っていると言ってよいでしょう。

ヘッドホン・アンプを作る場合、メーカー品でも自作でもその大半はOPアンプを使っています。OPアンプは、トランジスタを使ったアナログ・オーディオ回路技術が凝縮された、さまざまなアンプに変身可能な超汎用増幅回路を集積化したパッケージです(写真1-2)。OPアンプに適当な電源をつなぎ抵抗器を2,3個取り付けると、それだけで立派にヘッドホンくらい鳴らせるものができてしまうので、今や増幅回路のしくみをまったく知らなくても、とりあえず音が出るオーディオ・アンプを作ることができます。

しかし、そんな便利なOPアンプでも、中味は依然としてトランジスタやダイオードによって構成されており、手作りの回路と変わらない働きをしています。そして、どこかでだれかがOPアンプの中味を一から設計しているのです。

工業製品の世界では、OPアンプのような集積回路が完全に主流となった今、トランジスタやさまざまな部品を一つひとつ組み合わせる回路を作るということは、あまり行われなくなりました。そして、そのような単体のトランジスタの需要が減るにつれて、半導体メーカーは単体のトランジスタを製造しなくなってきています。もしかすると、トランジスタを自分の手で組み合わせてアンプ

計算尺：逸見(へんみ)氏が考案した対数目盛を応用した竹製の精密な計算器具で、掛け算/割り算/二乗/平方根を組み合わせた計算の解を瞬時に求めることができる。

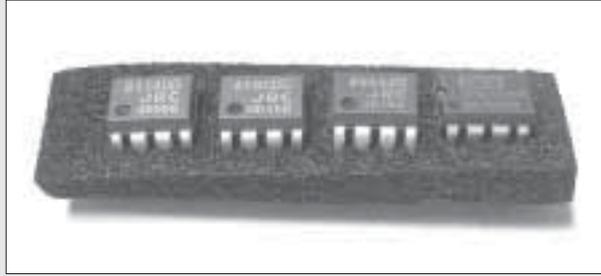


写真 1-2 ヘッドフォン・アンプに使われるOPアンプの例．これ1個でステレオ・ヘッドホン・アンプが作れる

作りができるのは、そう長くは続かないかもしれません。

本書では、もっぱら個別トランジスタを使用した回路を取り上げています。そして、半導体素子の性質や増幅のしくみについての基本的な理解をふまえた上で、ヘッドホン・アンプ作りを楽しもうと思っています。OPアンプを使った簡素化された回路に比べると少々手強いかもしれませんが、これらを理解し、自分で設計できるようになるということは大いに価値があることだと思います。

もちろん、本書で製作するヘッドホン・アンプはどこに出しても通用する十分に広い帯域をもち、ひずみ感のないクリアで存在感/スピード感のある音をめざしています。ヘッドホン・アンプには、低雑音性能が要求されますが、事実上、無音ともいえる静かさも実現します。

■ヘッドホンは小さな高性能スピーカ■

ヘッドホンはスピーカ的一种なので、これを鳴らすには小出力ながらも一人前のパワー・アンプが必要です。普通のスピーカを大きな音で鳴らすには、少なくとも1W程度かそれ以上のパワーが出せるアンプが必要ですが、ヘッドホンは0.1W以下のパワーでも十分すぎるくらいの大音量を得ることができます。

試しに、手持ちのスピーカをヘッドホン代わりに耳の両側に近づけて、アンプの音量を絞って聞いてみてください。びっくりするほどのリアリティや迫力と帯域の広さを感じることができるでしょう。低音が十分に出ない小さなスピーカであっても、耳に近づけて聞いてみると、しっかりと低音が聞こえると思います。同時に、アンプのノイズも気になるのではないのでしょうか。「ブーン」というハムや、「サー」、「シー」といったノイズがかなり大きく聞こえるでしょう。もしかすると、離れて聞いたときよりも音に刺激があり過ぎるかもしれません。

ヘッドホンも同じです。ヘッドホン・アンプの性能がよほどよくないとアンプのあらが出てしまうのです。ヘッドホンは、オーディオ・システムのあらが出やすい、とても感度が高くて性能がよいスピーカです。

ヘッドホンはここ数年、種類が豊富になり、高性能なものがたくさん出てきているため、ミニパワーのヘッドホン・アンプといえども雑音性能や音のクオリティにはまったく手を抜くことができます。



写真 1-3 筆者愛用のヘッドホン MDR-7506(左)と MDR-CD900ST(右)

表 1-1 著名ヘッドホンのインピーダンス(例)

メーカ	モデル	インピーダンス	方式
AKG	K272HD	55	密閉
AKG	K701	62	オープン・エア
audio technica	ATH-A900	40	密閉
audio technica	ATH-AD900	35	オープン・エア
SENNHEISER	HD595	50	オープン・エア
SONY	MDR-CD900ST	63	密閉
SONY	MDR-7506	63	密閉
SONY	MDR-EX90	16	インナーイヤ
PHILIPS	SHE9850	12	インナーイヤ
ULTRASONIC	Edition8	30	密閉

■ヘッドホンのインピーダンス規格■

スピーカやヘッドホンには、インピーダンスと呼ばれる規格があります。インピーダンスはオーディオ信号を扱うときの抵抗値を表す指標の一つです。ヘッドホンのインピーダンスは、オーディオ信号を与えたときにアンプ側からみた負荷となるため、この値はアンプ側の振る舞いや設計方針に影響します。

スピーカのインピーダンスは通常 4 ~ 8 くらいの範囲で、まれに 6 や 16 のものがあります。ヘッドホンのインピーダンスは実にさまざまで、8 から 1k (= 1000) くらいまでありますが、市販されているヘッドホンの大半は 16 ~ 100 の範囲であり、音がよいといわれている著名ヘッドホンの大半は 30 ~ 100 の範囲に入っています(表 1-1)。ちなみに、筆者が常用している SONY MDR-CD900ST および MDR-7506 のインピーダンスは 63 です(写真 1-3)。

したがって、ヘッドホン・アンプの設計では、16 ~ 数百 くらいの広い範囲のインピーダンスでもちゃんと動作するような配慮が必要です。

■ヘッドホン・アンプに必要な機能と性能■

ヘッドホン・アンプには、どんな機能や性能が必要なのでしょう。ヘッドホン・アンプが使われる場面は実にさまざまです。モバイルで使いたいので電池で動作する小型のものがよいという人もいれば、家でじっくり聞きたいので消耗する電池式では具合が悪いし、少々サイズが大きくてもパワーに余裕があって音がよいものがほしいという人もいます。

本書では、だれにでも作れる高性能なヘッドホン・アンプをめざそうと思うので、工作のやりやすさを考えて無理のない大きさの据え置き型とします。長く愛着をもって使えるように、できるだけデザインは格好よくなるように工夫してみましょう。

▶ 入出力端子

CD プレーヤーや iPod などのコンパクト・オーディオ・システムが直接あるいは簡易な変換プラグを使って接続できるように、入力端子には一般的な RCA ピン・ジャックを使用します。

第2章

OPアンプを使ったヘッドホン・アンプ

OPアンプの存在は、自作オーディオのハードルをとて低くしてくれています。しかし、簡単なように見えるOPアンプも、その中身は複雑で高度な一人前のオーディオ回路であり、その扱いには十分な知識が必要です。

■ 試しにOPアンプを使って1台作ってみよう ■

本書はディスクリート、すなわちOPアンプやICパワー・アンプのような集積回路などを使わないで一から部品を組み立ててヘッドホン・アンプを作ろう、というテーマで書かれています。しかし、CDプレーヤやパソコン、そしてさまざまなモバイル・オーディオ機器のヘッドホン出力回路では、OPアンプが使われています。また、ネット上で紹介されている自作ヘッドホン・アンプのほとんどがOPアンプを使用したものであり、ディスクリートでの自作はほんとうに少数派です。自作ヘッドホン・アンプを考えるとときにOPアンプを使ったヘッドホン・アンプを避けて通ることはできません。

本章は、筆者なりにOPアンプを使ってヘッドホン・アンプ設計/製作をした記録です。

ここでOPアンプを使ったヘッドホン・アンプを作る第一の目的は、OPアンプを単体で使ったヘッドホン・アンプがどんな特性でどんな音がするかを実体験することです。

第二の目的は、比較的入手しやすいOPアンプの特徴を確認しておこうというものです。

第三の目的は、OPアンプを使ったヘッドホン・アンプを製作してみたい方のために少しでも参考となる情報を提供したいからです。



写真2-1 OPアンプを使ったヘッドホン・アンプ

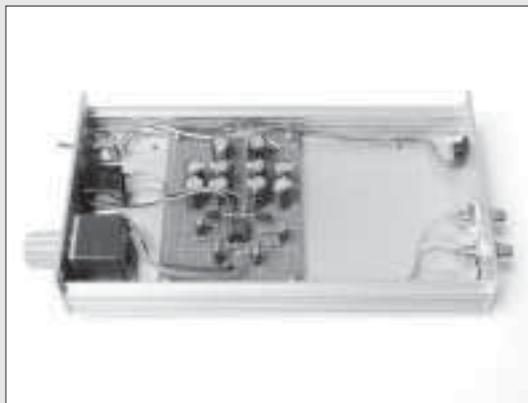


写真2-2 ヘッドホン・アンプを横から見たところ

■ OPアンプとは ■

OPアンプは高利得な汎用アンプで、高利得であるがゆえに多量の負帰還をかけることができるため、負帰還の恩恵である広帯域/低ひずみアンプに仕上げることができます。それだけでなく、OPアンプの特徴として電源電圧を広い範囲から選ぶことができたり、温度変化の影響を受けにくいなど回路的にも見えないところでさまざまな工夫が凝らされています。

OPアンプの中身は、ごく普通のトランジスタを使った増幅回路にすぎません。ただし、いちいち回路を設計し、部品を組み合わせるで作らなくても使えるように配慮されています。言い換えるとブラック・ボックス化されており、通常は図2-1のような三角形の記号で表します。

多くのOPアンプは+INと-INの二つの入力端子と一つの出力端子Out、そしてV+とV-の電源端子をもちます。

OPアンプのパッケージはいくつかのパターンがあります。インターネットや書籍の製作記事でよく見かけるのは写真2-3のような8本足のDIP8と呼ばれる形状をしており、この中に同じ特性をもった2個のOPアンプが封入されています。内部接続は図2-2のとおりです。

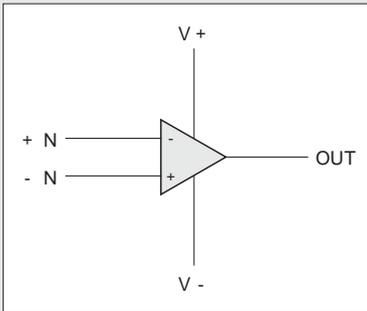


図2-1 OPアンプの回路記号
回路図では電源のV+、V-は省略される。



写真2-3 左からNJM2114A, NJM4558, NJM4556A, NJM4580, NJM5532, OPA2134, OPA2604, LME49860
いずれも比較的容易に入手できるポピュラなOPアンプ。

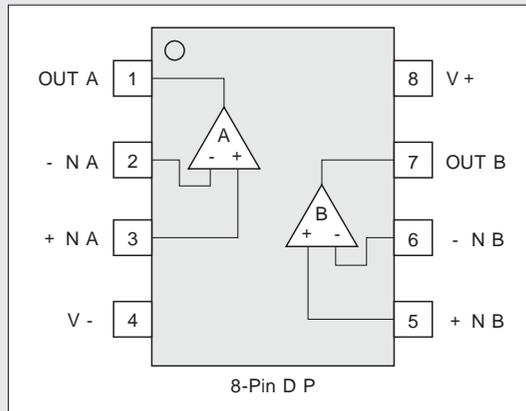


図2-2 OPアンプのピン配置(DIP8, 上から見た図)と内部接続

第 3 章

FET差動ヘッドホン・アンプ

本章では、FET 差動ヘッドホン・アンプの回路をできるかぎり多くの実測データを盛り込んで、徹底的に分析しました。初心者にとっては、少々手強いかもしれませんが、ぜひ理解して作る自作オーディオにチャレンジしてください。

■ ディスクリットで作ろう ■

▶ 設計/製作のコンセプト

いよいよディスクリット・ヘッドホン・アンプの設計/製作に入ります。

ディスクリットと言うと、「初心者向きではない」、「いろいろな知識が必要」、「計算が面倒」、「難しい」と思われがちです。しかし、前章を読んだならば、OPアンプを使ったヘッドホン・アンプが簡単かという決してそうではないことに気づかれたと思います。OPアンプ一つ使いこなすにもバイアスや負帰還のこと、高周波帯域での安定度など、多くのことを理解しなければなりません。

そうは言ってもディスクリットで一から考えて設計するのは難しいので、実績のある基本回路をベースにして話を進めることにします。基本回路は筆者がホームページ(<http://www2.famille.ne.jp/teddy/pre/pre.htm>)上で発表した「FET 式差動ヘッドホン・アンプ」と呼ばれているもので、すでに 1000 人以上の方が自作された実績のある回路です。

「FET 式差動ヘッドホン・アンプ」のコンセプトは次のとおりです。

- (1) 可能な限り少ない部品数であること。
- (2) 現行の部品だけで製作でき、入手困難な部品、高価な部品は使わないこと。
- (3) 12V の単一電源で動作する。市販の AC・DC アダプタが使えること。
- (4) 再現性を高め、無調整あるいは簡易な調整で済むこと。
- (5) 定評のある市販ヘッドホン・アンプに見劣りしない、製作者の期待を裏切らないよい音であること。

部品数が少ないことは、作りやすさとトラブルの少なさにつながります。特殊な部品は使わないので、秋葉原や日本橋(大阪)などには行きづらい方でも通販を使って無理なく部品を調達できると思います。それでもオーディオの自作に慣れていない方も多いと思うので、筆者のホームページでの部品頒布も利用できるようにしました。

調整が簡単でだれが作っても確実に動作するというのはとても重要なことで、すみずみまで自由に設計できるディスクリットならではのメリットだと思います。よい音を出すというのは筆者が最も望んでいることです。よい音とは、多分に主観的要素を含んでおり、筆者がよいと感じた音がすべての人たちに受け入れられるかどうかはなんともしませんが、できる限り皆さんの期待を裏切

ることがないように工夫と改良をしたつもりです。

▶ 全回路

本機の全回路は図3-1のとおりです。付属基板に部品を取り付けたようすを写真3-1，写真3-2に示します。

回路図というものを始めて見た方は，見慣れない記号がたくさんあるし，線が錯綜してわけがわからないかもしれません。しかし，次の説明を読めば，そんなに難しいものではないことが次第にわかってくると思います。

この回路図は中央を境に左右で機能が分かれています。左半分がアンプ部で右半分は電源部です。左半分は上下がほぼ対称になっていますね。上半分はステレオの左チャンネル部分で，下半分はステレオの右チャンネル部分です。つまり，アンプ部の回路を理解するには全体の3分の1だけに注目すればよいのです。これで少しは気が楽になったでしょう。

回路の左端の○の記号はアンプの入力端子，すなわちステレオやビデオに付いているRCAジャックです。その右にVRと書かれ矢印が付いたギザギザの記号は，ボリューム・コントロールです。アンプのパネルに付いているくるくる回すボリュームのことです。ステレオ用のボリュームは左右両チャンネルぶんの二つのボリュームを同時にまわす構造なので，点線でつないで表記されています。

アンプ部の右端にOUTと書かれた記号があります。これがヘッドホン・ジャックです。ヘッドホンのプラグの先端は三つに分かれているでしょう？ その三つがヘッドホン・ジャックにつながる3本の線に対応しています。

ボリュームとヘッドホン・ジャックの間にある回路がアンプ部です。アンプ部には $Tr_1 \sim Tr_{16}$ と書かれた丸い記号がありますが，これがトランジスタです。左右各チャンネルごとに8個のトランジスタが使われています。

右半分は電源部ですが，右端にある○の記号はAC・DCアダプタのジャックを表しています。ジャックのすぐ左にSWと書かれた記号がありますがこれが電源スイッチです。さらに左にはLEDと書かれた矢印の記号があります。これが電源をONにしたときに光るLED(発光ダイオード)です。電源はここから上下二つに別れて左右各チャンネルに振り分けられます。

ポイントをまとめると，オーディオ・アンプの回路図というのは，左端に入力があり，右端に出力があります。オーディオ信号は左から右に流れて，途中にボリュームやアンプ部があります。アンプとは別に電源回路というものがあって，これも別の流れがあります。

▶ 全体構成

本アンプは四つのブロックに分けて考えることができます(図3-2)。

- ・ブロック1：初段差動回路
- ・ブロック2：定電流回路
- ・ブロック3：ダイヤモンド・バッファ
- ・ブロック4：負帰還回路
- ・ブロック5：プラス・マイナス電源回路

ブロック1の初段差動回路は，2個の2SK170による差動回路で，もっぱらオーディオ信号の振幅