

## 基本に戻って考えるオーディオアンプ

生演奏に触れて感じるのは、その力強さであり、凜として存在する音楽である。それはただ音が大きいということではなく、ピアノ打鍵時の輝くような芯のある響きと、ホール空間に拡がり静寂のなかに消えていくさまとの対比は、音楽表現に欠かせない。オーディオアンプを介した演奏も、それが十分に再現できないと、平面的でつまらないものになり、音として耳では聴いていても、音楽として心に届かない。

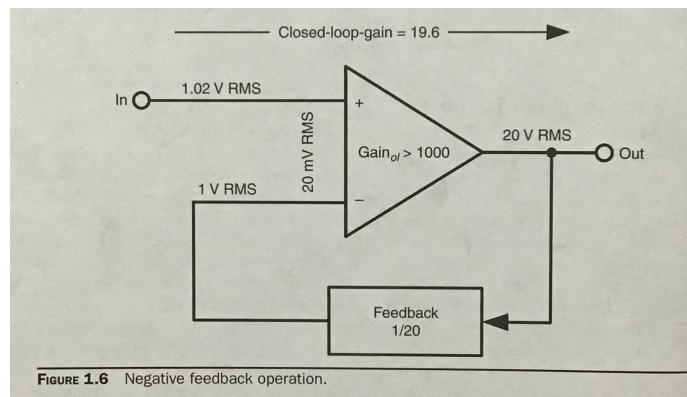
以前、簡単なヘッドフォンアンプ（弊社『オーディオ研究ノート第3号』より）を試作したことがある。あれからそれなりに進歩して、スピーカーを鳴らすアンプもいくつか製品化してきたが、いまだに物足りない点が多々あった。何か足りないのか、それとも余計なのか？ そんなことを思い巡らせていたら、あることに気づいた。そもそも家庭で音楽を聴くとき、ふつうは適度な音量に絞る。最大出力が数十ワット、あるいは数百ワットのオーディオアンプでボリュームを最大にしようものなら、大変なことになる。ということは、あり余るゲインを持つアンプで増幅する前に、ボリュームで信号をかなり絞っていることになる。プレーヤーなどから出る信号を1/10とか1/100に落としてからアンプに入れる。これでは音が痩せて貧弱になるわけだ。繊細な音のニュアンスがノイズに埋もれてしまう。そもそも、音を絞ってから増幅するというしくみ自体が、ある意味でばかばかしいし、いいことは一つもない。これでは、原音再生というスローガンも、あったものではない。しかも、実を言うとボリュームに限ったことではないが、先人たちがこのようなタブーにメスを入れてきた。

ここからは、アナログアンプの内部について触れるので、いささか専門的になるが、言わんとしていることは大筋で理解できると思う。信号が痩せるならば、信号を強くすればいいという考え方がある。MJ誌でよくお目にかかる金田明彦氏が提唱する電流伝送という方式では、既存の電圧伝送と比べ、電流に換算して信号をおよそ10倍の大ききで送り出し、電流・電圧変換として動作するアンプを直接ドライブする。大きな信号をそのままアンプの素子に入力すると飽和するので、負帰還される電流と引き算して、必要なゲインになるよう入力信号を絞っている。これはこれで名案であり、伝送する信号のノイズ耐性と純度が増して音質も確かに向上する。オーディオシステムの構成が簡素化される点でメリットは大きいですが、既存システムとの互換性はそれなりに工夫が必要になる。腕に自信のある自作派向けのシステムとしてはおもしろい。

多くの現代的な半導体アンプでは、NFB (negative feedback) つまり負帰還という技法を用いて、アンプ自体の諸特性を改善している。結果から情報を得て原因を制御するというフィードバック制御理論や、真空管アンプしかなかった時代から負帰還アンプという技法はすでにあっただが、当然ながら半導体アンプにもそれは応用された。時代の花形であるオペアンプもその典型だが、演算増幅器という名称のとおり、元々はオーディオ用途で開発されたわけではない。途方もなく大きな裸ゲイン (open-loop gain, 80~100dB) を持つアンプ出力の一部 (アンプのクセを逆補正した成分も含む) を入力段に戻し、元の入力と引き算する (差分をとる) ことでオペアンプは成り立っており、性能や精度を求める分野では用途も広い。

図は、"Designing Audio Power Amplifier" (Bob Cordell, 2011 McGraw-Hill)より引用した。この図をじっくりと見て気づいた人は、高性能オペアンプを真似して作ったオーディオアンプの問題点が理解できるはずだ。つまり、元々の入力信号 (In, 1.02V) とフィードバックされた信号 (Feedback, 1V) の「差分」(20mV) だけが実際のアンプに入力され、それがアンプ自体の大きな裸ゲイン (1000倍) でひたすら増幅

されることで、設定した出力レベル (20V) と辻褃が合うようになる。リアルタイムに入力信号の大半を食べてゲインを調整している巧妙な自動制御のアンプとも言える。その際、負帰還抵抗による分圧比で最終的な仕上がりゲイン (closed-loop gain) がほぼ決まるというのが、そもそも NFBアンプの原理であって、それ以上の秘密はどこにもない。NFBをかけたからといって、元々のアンプ自体の裸ゲインが不思議なくみで仕上がりゲインに変貌するわけではない。このことを勘違いしていると、NFBはいつまで経っても謎のまま、この先の話も理解できない。



ひとつの増幅回路でも、温度変化に強いとか、自己バイアスやゲインを設定するための局所的な負帰還は存在するが、やりすぎると音が圧縮されるので、なくてもいい場合はできるだけ省きたい。問題なのは大局的な場合で、アンプ入力差分が、元々の入力信号レベルよりもかなり小さくなり、図では  $20\text{mV} / 1.02\text{V} = 1 / 51$  (-34dB) となることだ。おまけに、初段のゲインが不足していると、ノイズに負けて音が鈍る。ひとたび絞られて貧弱になり、ノイズすれすれの信号をその後段でいくら増幅しても、元の力強い音には戻せない。これではボリュームの例よりもひどい。高性能オペアンプのように途方もなく大きな裸ゲインを持ち、多量の負帰還を施すオーディオアンプほどその傾向が強くなり、実際にどんなことが起こっているかは、およそ想像がつく。しかも、裸ゲインが大きなアンプは、ちゃんと作らないと発振するのが恐ろしい。

高性能オペアンプのやり方をそのままオーディオアンプに持ち込み、素子をやたらと増やして増幅度を上げ、多量の負帰還で辻褃を合わせるという手法は、消費者もメーカーもこぞって数値的なカタログ性能 (周波数特性とか歪み率とか) だけを求め、競争してきた結果であろう。性能はよくても、大袈裟で燃費がわるいクルマに似たところがある。NFBをかければ、数値は確かに良くなる。でも、そのことによって最も重要な魂である音楽表現が損なわれるようでは、むしろやらない方がマシである。

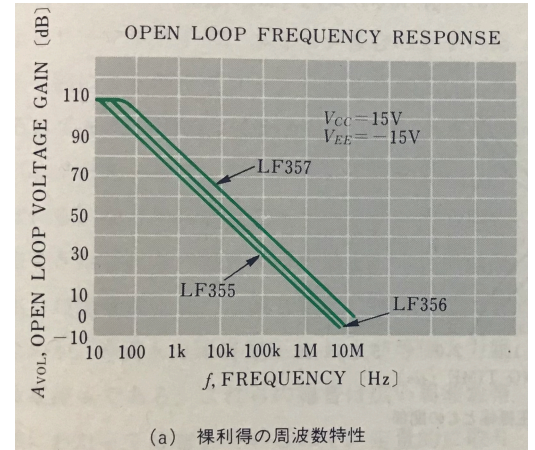
最近ではNFBの弊害も指摘され、音質的に改善の余地があることがわかってきた。MJ誌の連載記事を執筆されていた故・安井章氏が、『NFB技法についての一考察』(MJ、1996年7~10月号)で丁寧に説明されており、参考にして自分でも実験してみた。以前に試作したヘッドフォンアンプの一部を変更してみると、今まで聴いたことのない、小気味のよい音がするので、複雑な技術を採用して高性能化を目指すという路線は、ひとたび立ち止まって反省しないといけないと思った。この紙面を借りて、アンプづくりを考え直すきっかけを与えてくれた安井氏に感謝したい。また、貴重な資料となっている、MJ誌のバックナンバーを大量に譲っていただいた地元電器店の方にもお礼したい。

現代的なアンプ内部では、素子を直結して3~4の増幅段を持つ場合が多い。安井氏によると、NFBアンプではゲイン配分 (どの段がどのぐらいのゲインを分担するか) で、音質が大きく左右されるという。NFBではない多段式のアンプではふつう、初段の低雑音アンプでゲインを稼ぎ、後段ではゲインを抑え出力インピーダンスを下げる程度にするのが原則であり、それがごくふつうの設計方法であろう。負帰還をかけた状態でも、初段から後段へ渡る段階で元々の入力信号と同程度のレベルになっていた方が、音質面ではかなり改善され、試作すると静かで芯のある力強い音が維持された。実際には、フィードバック量と同程度のゲインが初段にあれば十分だ。トランジスタの場合、品種に限らず裸ゲインが高い (40dBほど) ので、ヘッド

フォンアンプなどの用途では、むしろ裸ゲインをかなり絞ってもいいくらいだ。それよりも、NFBだけに頼らずアンプ自体で、できるだけ直線的な特性にした方が望ましい。良くできた真空管アンプの音に芯があるのは、初段にゲインが集中していて、しかも適度なNFBしかかけないので、音が痩せ細る箇所が少ないからだとも言える。何事も、ほどほどにするのがよさそうである。NFBを施す距離も重要で、できるだけ最短距離（抵抗1個分以下）にするとよい。

いっぽうオペアンプの場合は、初段では裸ゲインを十分に稼ぎきれず、2段目以降に巨大なゲインを持つものが多い。そもそも理想オペアンプの条件として、直流～低域で裸ゲインは無限大となっているが、それではゲインを絞って使うと、入力レベルは無限に小さくなる。したがって、ヴァーチャルショートの実理も、理想オペアンプでのみ成り立つ。出力信号の多くが負帰還されると、図のように差分として換算する入力レベルが著しく低下し、すでに入りで音が痩せ細ってしまう。しかも、貧弱になったノイズまみれの信号を2段目以降でひたすら増幅するので、ますます音が濁ってボケるといふ悪循環に陥る。これではNFBの利点もあったものではない。だから、音楽表現を担うオーディオアンプに限って言えば、高性能オペアンプの真似はしない方がいい。オペアンプICだけで簡単なヘッドフォンアンプを作ることにはできるが、どんな音がするかは経験として一度は試してみるとよい。でも、それはいくら高級なオペアンプに取り換えようが、原理的にオペアンプ特有の音から抜け出せない。

個別部品（ディスクリート）では、トランジスタ数個で音のよいアンプを組むことができる。まずはいちばん音のよいシンプルで原始的な構成（3石オペアンプ）からはじめ、音が悪くなるなら「改良」はむしろしない方がいい。素子や回路を増やせば電気的性能は上がるかもしれないが、必ずしも音が良くなる保証はないからだ。どう味付けしていくかは、製作者の裁量と音のセンス次第である。論より証拠、脳みそをフル回転し、自分で確かめれば活きた知識になる。



(a) 裸利得の周波数特性

