

音源とヘッドフォンに合わせたアンプの増幅率設定

1. アンプはオーディオ信号の浄化装置ではない

アンプは音源からのインピーダンスが高いオーディオ信号にスピーカーやヘッドフォンを鳴らすに足るだけの電気エネルギーを付加する装置であり、アンプ通すことでオーディオ信号の雑音成分が取り除かれていい音ができるようになるということは決してありません。増幅が完全な直線性をもって行われても、原理的にどんなアンプでも、その出力には音源からの出力より、多くのひずみとノイズとを含みます。

アンプによって不可避免的に付け加えられるひずみとノイズは、信号源インピーダンス、増幅率さらに帯域幅が大きいほど大きくなります。信号源インピーダンスとは音源のインピーダンスにアンプにたどり着くまでのインピーダンスを加えたものです。増幅率は言うまでもありません。帯域幅とはアンプが増幅する周波数範囲です。これらをいかに低くするかがアンプ設定の要です。

これらのことを念頭に置いて既成品のヘッドフォンアンプがどうなっているかを考えます。既製品のアンプでヘッドフォンを鳴らすとき、思い切り大音量で聴こうという場合でもボリュームを 10 時の位置より大きくすることは少ないでしょう。12 時の位置を越そうものなら大変なことになります。既製品のアンプの増幅率はたいへん大きく設定されており、ボリュームをきつく絞って使っているわけです。これは結果的に信号源インピーダンスと増幅率とを大きくしていることにほかなりません。さらに高性能をうたうアンプの中には再生帯域幅がハイレゾ音源の帯域幅をはるかに超すものもあります。つまり既製品は「余裕のある出力、広い帯域幅」という商品性を得るために、信号源インピーダンス、増幅率さらに帯域幅を大きく設定し、音質の低下を容認しているわけなのです。

音源を限定し、鳴らすヘッドフォンも限定すれば、信号源インピーダンス、増幅率、帯域幅をこれらに合わせてぎりぎりまで引き下げることができます。言い換えればヘッドフォンアンプを音源・ヘッドフォンに合わせて設定するのであれば、無用な音質の低下を避けることができるのです。

2. ヘッドフォンはどれだけの音量で鳴れば十分か

増幅率を考える前に、ヘッドフォンで音楽を聴く際にどの程度の音量が必要かという問題をクリアしておかなくてはなりません。音量は「もっともボリュームを開けた状態で音源が最大値の時に人間の耳に入れていい最大音圧レベルに達する」ということになるでしょう。

ここで「音圧レベル」という言葉を使いました。まず音圧とは音による圧力の大気圧からの変動分です。単位はパスカル (Pa) で、まさしく圧力です。基準音圧として音圧をデシベル (dB) で表したものを音圧レベルといいます。最小可聴音圧は実効値で $20\mu\text{Pa}$ であり、これを音圧レベル 0dB とします。

一般的にオーケストラのステージ近くの客席のピークの音圧レベルは 109dB とされています。したがってヘッドフォンを最大で 110dB で鳴らすことをひとつの基準にすることができます。ただ、かなり特殊な瞬時の音圧レベルとしては 120dB が基準になるかもしれません。というのも音楽としてこのレベルの「音」が存在するからです。チャイ

作成 桑山 2014/6/03

コフスキーに大序曲「1812年」という作品があります。ナポレオンからロシアを守り抜いた戦いをモチーフにしたものですが、このクライマックスにはなんと大砲の砲声が響きます。ただ、これほどの音圧レベルは普通に音楽を楽しむには無用の上に危険です。音質の面からも不利です。

聴覚を健全に保つことを前提にするならば、最大で音圧レベル 100dB でヘッドフォンを鳴らせれば十分です。

3. 最大音圧レベルを得るためのアンプの電力出力, 電圧出力

最大音圧レベルを得るための計算方法を示します。ヘッドフォン出力の音圧レベル (sound pressure level) Sp_h (dB)は、ヘッドフォンの音圧感度 (sound pressure sensitivity) Sp_s (dB), アンプの出力 P (mW) と式(1)に示す関係にあります。

$$Sp_h = Sp_s + 10 \log(P) \quad \dots(1)$$

具体例で考えましょう。ヘッドフォンの音圧感度を 100dB とします。得ようとする最大音圧を 100dB とすると、 $100=100 + 10 \log(P)$ となるので、 $\log(1)=0$ ですからアンプの出力 P は 1mW ということになります。最大音圧を 110dB とすると、 $\log(10)=1$ ですからアンプの出力 P は 10mW, 120dB であるなら $\log(100)=2$ よりアンプの出力 P は 100mW ということになります。

最大音圧レベルを得るのに必要な電力出力がわかれば、ヘッドフォンのインピーダンス値と合わせて必要な電圧出力が計算できます。ヘッドフォンのインピーダンス値 z (Ω)と電圧出力 E (V)およびアンプの出力 P (mW)は、式(2)に示す関係になります。

$$P = \frac{E^2}{z} 1000 \quad \dots(2)$$

この式からインピーダンスが 50 Ω なら、1mW 出力時の電圧出力は 0.223V, 10mW 出力時の電圧出力は 0.71V, 100mW 出力時の電圧出力は 2.23V となります。ただ、これらは実効値ですから、ピーク電圧としてみるにはルート 2 倍をかけた値、すなわち 0.316V, 1V, 3.16V となります。アンプはピーク電圧まできれいに出力できるだけの電圧出力能力が必要です。

4. ヘッドフォンアンプに必要な増幅率

ここまでで鳴らそうとするヘッドフォンに対する電圧出力が決まりました。アンプの増幅率を決めるにあたって、もう一つ必要な情報は音源の最大出力電圧です。音源の最大出力電圧を知るためには、ちょっとした測定が必要になります。やり方をまとめると、サウンドエディタソフトで最大振幅の 1KHz60sec サイン波を wav や mp3 形式で作成します。音源からの出力の正負を数 k Ω 以上の抵抗に接続し、音源で作成したサイン波ファイルを再生します。出力にボリュームがついていれば最大にします。再生中に抵抗の両端の AC 電圧を測定します。このとき測定できる AC 電圧値が音源の最大出力電圧の実効値です。

作成 桑山 2014/6/03

アンプが必要とする最大出力電圧の実効値はすでに計算済みですから、音源の最大電圧出力の何倍になるかがわかります。この倍率が増幅率に他なりません。先に測定した音源機器からの最大電圧出力の実効値が0.5Vであるなら、音圧感度 100dB インピーダンス 50Ω のヘッドフォンを 110dB で鳴らすには増幅率は $0.316V/0.5V=0.63$ 倍、110dB で鳴らすには増幅率は $0.71V/0.5V=1.42$ 倍、120dB で鳴らすには $2.23V/0.5V$ より増幅率は 4.46 倍が必要であるとわかります。このケースでいえば極度に大きな音量を求めないなら、増幅は不要で電力出力能力だけを增強できれば十分ということなのです。

ただ、ここで思い出していただきたいことは、ヘッドフォンのインピーダンスには周波数依存性があることです。インピーダンスは高周波数域では次第に増加するのがふつうですが、機種によっては中低周波数域にかなりのピークがあります。もし 50Ω のインピーダンスが 100Ω になると、10mW 出力時の電圧出力実効値は 1V、100mW 出力時では 3.33V となり、ピーク値はそれぞれ 1.41V、4.71V となります。つまりアンプの電圧出力能力にはヘッドフォンのインピーダンス変動分に対応できる余裕が必要ということになるわけです。むしろ音圧感度にも周波数依存性があるので必ず電圧不足が起こるというわけではありませんが、電圧不足を生じさせない増幅率の決定にはインピーダンスには周波数依存性の測定があったほうが良いことが理解いただけると思います。

ここでこれらの関係をグラフで示します。図 1 は最大出力音圧レベルを想定した場合のヘッドフォンの音圧感度とヘッドフォンアンプの電力出力の関係を示したものです。グラフから 100db, 110dB さらに 120dB の音圧レベルを出すときの、先に挙げた例で音圧感度を 100dB としたとき最大音圧 110dB, 120dB に達するヘッドフォンアンプの電力出力が各々 1mW, 10mW, 100mW であることが簡単に読み取れます。

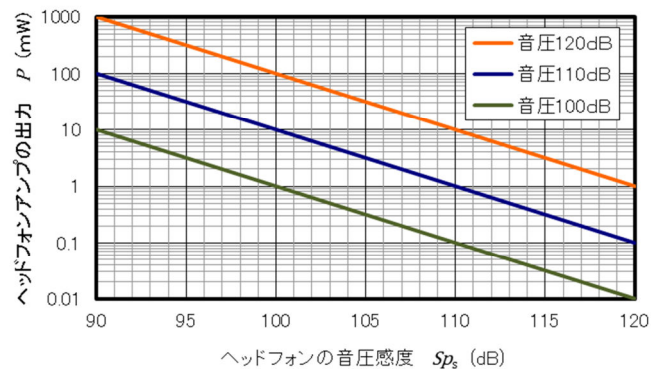


図1 ヘッドフォンの音圧感度、ヘッドフォンアンプの電力出力とヘッドフォンの音圧レベルの関係。

図 2 はヘッドフォンの代表的インピーダンス値についてのヘッドフォンアンプの電力出力と電圧出力との関係を示すものです例えば 100mW 出力時、ヘッドフォンのインピーダンスが 50Ω であれば、アンプの電圧出力は、ほぼ 3.2V と読み取ることができます。

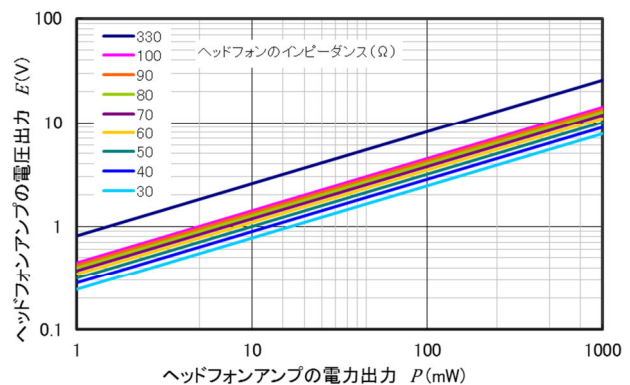


図2 ヘッドフォンアンプの電力出力、電圧出力レベルとヘッドフォンのインピーダンスの関係。

手順を復習すると、1) 鳴らそうとするヘッドフォンの音圧感度から最大音圧時のヘッドフォンアンプの電力出力を求める、2) インピーダンスと電力出力値から電圧出力値を求める。3) 先に測定した音源の最大出力電圧値でヘッドフォンアンプの電圧出力値を割って増幅率を決める、というようになります。

作成 桑山 2014/6/03

実例をあげてみましょう。音源機器は iPod, ヘッドフォンを AKG, K271mk2(音圧感度 91dB, インピーダンス 55Ω) とします。目標の最大音圧レベルは 110dB ですがインピーダンスの凸部まで配慮して、まず 115dB で検討します。ヘッドフォンの音圧感度と電力出力の関係のグラフから出力は 250mW 程度必要とわかります。iPod の最大電力出力は 60mW と言われていますから、iPod 単体では K271mk2 を 115dB でドライブできないこともわかります。ヘッドフォンアンプの電力出力と電圧出力のグラフで 250mW 出力を上にとりインピーダンスが 50Ω と 60Ω の中間あたりの電圧出力をみると、ほぼ 5V です。iPod の最大電圧出力は 0.5V 程度なので 10 倍の増幅率が必要となります。目標の最大音圧レベルを 110dB とすると、最大電力出力は 80mW, 電圧出力は 2.8V 程度になりますから、6 倍の増幅率で目標にとどきます。さらに最大音圧レベルを 100dB とすると、最大電力出力は 8mW, 電圧出力は 0.63V 程度になりますから、2 倍の増幅率で目標をはるかに越すことができます。

以上の話は、音源とヘッドフォンの音圧感度、インピーダンスをきちんと把握したうえでの話です。K271mk2 を例に選んだのは、音圧感度が低くインピーダンスがやや大きいという、いわゆる鳴らしにくいヘッドフォンだからです。したがって、もし、これらの検討を省いてゲインを決めるのであれば、ゲインは大きくても 10 倍、普通であれば 6 倍未満 2 倍程度としても十分であることがわかります。