

学生や文科系の方に音響工学を優しく解説します。スピーカーやパワーアンプを選択する際の判断材料にご活用ください。

#### ■音とは

**音とは空気の振動です。** 空気振動が耳の鼓膜を揺らすことにより音として認識します。音は振動エネルギーをもっています。音は縦波です。空気振動とは空気圧の高低です。可聴範囲は20Hzから20KHzといわれています。しかし年齢とともに高音が聞こえなくなることが知られています。ある統計によれば25歳で14KHz以上は聞こえなくなります。空気中の音速は約340m/sです。気温、気圧、湿度によって多少変動します。自由空間において音量は距離の二乗に反比例します。たとえば距離が2倍なら音量は1/4になります。



#### ■電気とは

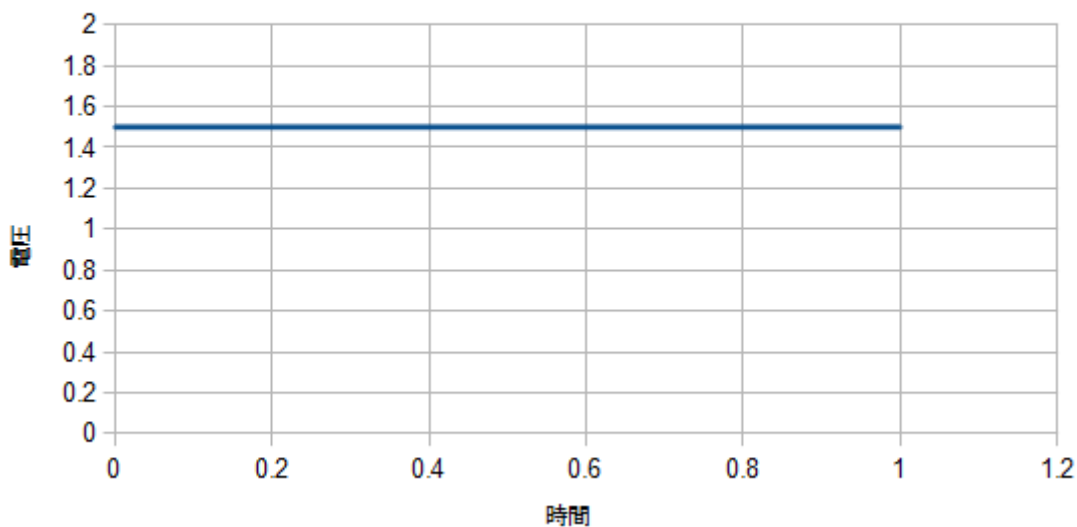
**電気とは電子の流れです。** すべての物質は原子から出来ています。その原子は原子核とその周り回る電子で構成されています。原子核はプラスの電気、電子はマイナスの電気を持っています。通常はプラスとマイナスの電気は釣り合っています。この電子に何らかの力が働くと、原子間同士で電子を受け渡します。動きやすい電子を自由電子と呼びます。これが電気の流れる仕組みです。電気の流れやすい元素と流れにくい元素があります。電気の流れやすい物質を導電体、電気の流れにくい物質を絶縁体と呼びます。

■ 直流、交流とは

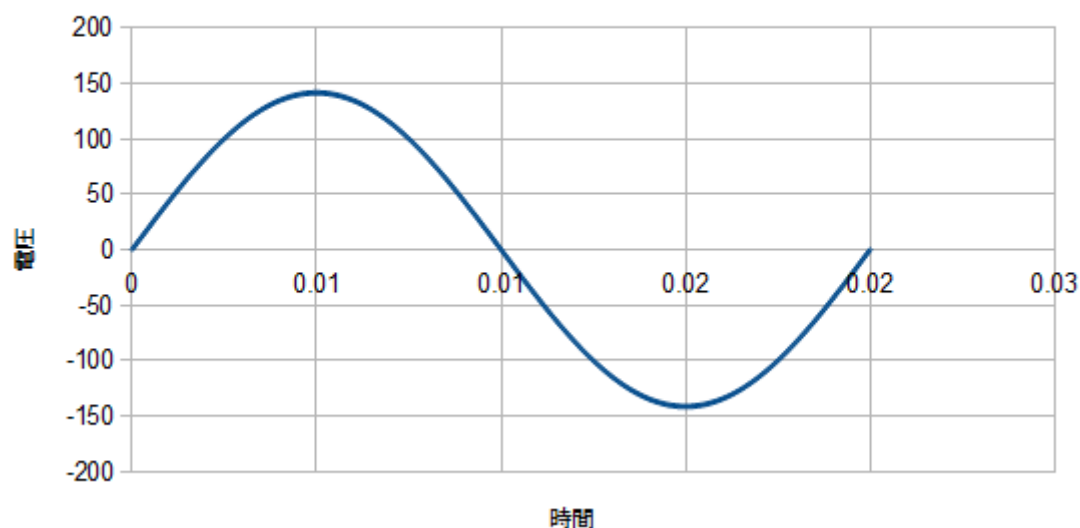
電気には直流と交流があります。常に一方通行の電気を直流、定期的に行ったり来たりする電気を交流と呼びます。電池は直流、商用電源は交流です。

直流を DC:Direct Current、交流を AC:Alternating Current と呼びます。

直流



交流



参考(正弦波の場合)

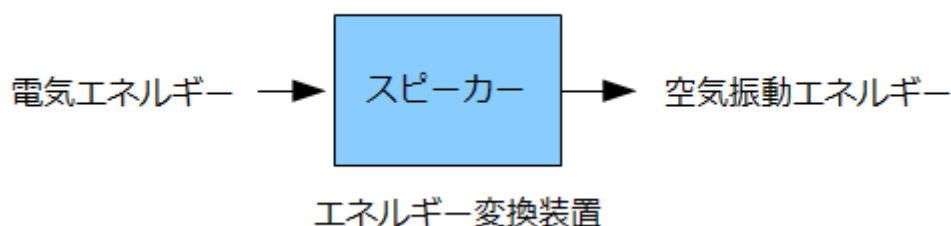
$$\text{実効値 } V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ 最大値 } V_m$$

■スピーカー(Loudness Speaker)とは

スピーカーとは電気エネルギーを空気振動エネルギーに変換する装置です。スピーカーの動作原理は電磁石をつかったモーターと同じ仕組みです。コイルに音声信号である電気信号を加えると電磁石になり、永久磁石と反発したり引き合ったりして電気信号に応じた振動を起こします。振動板を使ってこの振動を空気に伝えます。スピーカーが仕事をして音を出します。音は仕事量(エネルギー)に比例します。

ゆっくりした振動は低音、速い振動は高音として現れます。音の大きさはスピーカーに加えた電気エネルギーの大きさに比例します。

これは太鼓と同じです。太鼓を強くたたけば大きな音が、弱くたたけば小さな音が発生します。大きなエネルギーを与えれば大きな音が発生します。



振動板の面積が大きいと低音を再生しやすく、振動板の面積が小さいと高音を再生しやすい性質があります。ウーハーの口径は大きく、ツイーターの口径が小さいのはこのためです。

スピーカーが発明されてから、基本動作原理は変わっていません。電圧駆動アンプの登場する以前の真空管アンプ時代から変わっていません。スピーカーの音量は入力電圧ではなく入力電力(電気エネルギー)に比例します。そのため今でもスピーカーの性能は入力電力=1Wを基準にして計測されています。スピーカーの特性は電圧駆動アンプを前提に計測されているわけではありません。少し極端ですが「入力電圧 10V で入力電力 1W」と「入力電圧 1V で入力電力 10W」ではどちらの音が大きいかわかりませんか想像してみましょう。

### ■デシベルとは

人間の聴覚は指数的な音量に対して直線的に感じるということが知られています。たとえば、4倍、9倍、16倍の音量を直線的に感じます。これは自然界の現象に人間の聴覚があわせているためです。音量はリスニング距離の自乗に反比例します。そこで音量を表す単位を対数で表記します。**これをデシベルと呼び dB と表記します。**

人間の聴覚は概ねデシベルに比例します。さらに人間の感覚は曖昧で 1dB の変化を認識することはできず、3dB 以上の変化がないと認識できません。

### ■スピーカーの音量

スピーカーの音圧レベルは 1W 入力時、正面 1m での dB 値です。一般的に 80dB から 90dB くらいです。スピーカーのカタログ値で確認できます。これは騒音問題になる極めてうるさいレベルです。サイクロン掃除機の騒音が 60dB から 70dB くらいですからもっと大きな音です。掃除機の騒音でテレビの音声がかき消されてしまう経験をされた方も多いでしょう。バイクの騒音規制値が 80dB から 90dB です。

本来であれば、アンプから常時 1W も出力すれば、騒音になる大きな音が出ます。これは**一般家庭でアンプ出力に常時 1W も必要ないことを意味します。**瞬間的(ピーク音量)に 1W を必要とするかもしれません。

### ■イヤホン、ヘッドホンの音量

耳に密着して使うため、イヤホン、ヘッドホンの音圧レベルは 1mW 入力時の dB 値です。カタログ値を確認すると 100dB 前後です。100dB の音量は難聴を引き起こしますので、1mW の入力も必要ないことを意味しています。つまりヘッドホンアンプの出力に 1mW も必要としません。

■ 電圧、電流とは

電圧とは電気を流す圧力です。水道に例えるなら水圧です。電圧を  $V$  と表記します。電流とは流れている電気です。水道に例えるなら流れている水です。電流を  $I$  と表記します。

水圧が高ければ、水は勢いよく流れます。同様に電圧が高ければ電流が勢いよく流れます。

■ 電気抵抗とは

電気抵抗とは電気の流れを妨げる性質です。抵抗値が大きいほど電気の流れを妨げます。抵抗を  $R$  と表記します。水道に例えるなら水道管の太さです。水道管が太ければ水は流れやすいですが、細いと水は流れにくくなります。同様に電圧、電流、抵抗には密接な関係があります。

■ オームの法則

電圧、電流、抵抗には密接な関係があり、これをオームの法則と呼びます。

$$\text{電圧} = \text{電流} \times \text{抵抗}$$

あるいは

$$V = IR$$

ほとんどの抵抗素子やスピーカーはこの法則に従います。

■ 電力とは

電力とは電気エネルギーです。仕事率のワットとして知られています。電力は  $P$  と表記します。電力が大きいほど大きな仕事をします。大きな電力をスピーカーに加えれば大きな仕事をして大きな音が発生します。

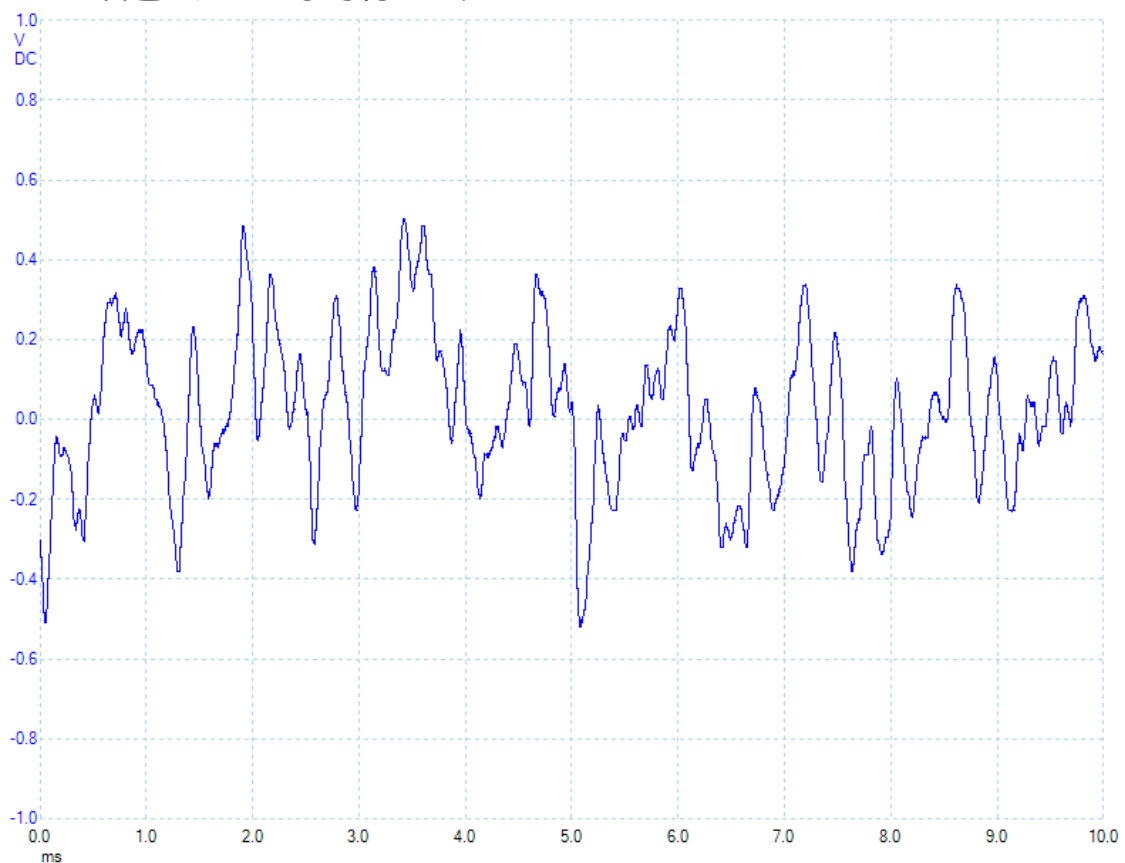
$$P = IV = I^2R = V^2/R$$

■ インピーダンス(Impedance)とは

インピーダンスとは交流における電気抵抗です。0Hzのインピーダンスが直流抵抗です。直流か交流かで抵抗の呼び方が違うだけです。交流においてもオームの法則に従います。

■ 音声信号と電気信号

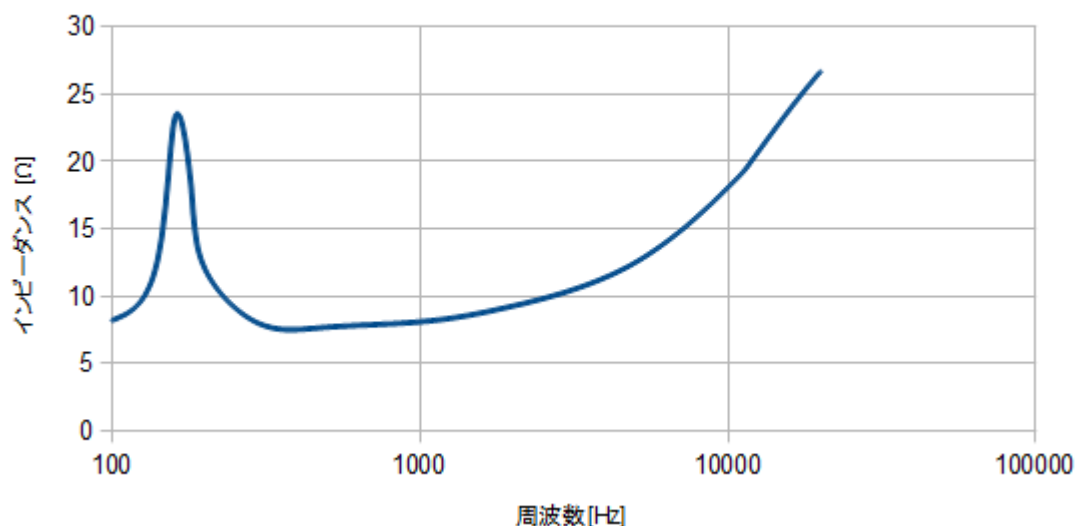
オーディオでは音声信号を電圧で表現した電気信号として扱います。つまり音の信号は電圧信号に変換されて扱われます。音声信号は交流です。波形の違いが音色の違いとして現れます。



### ■スピーカーのインピーダンス

スピーカーにも電気抵抗があり、カタログを見ると公称インピーダンスを見つけることができます。代表例としては8Ωです。実はスピーカーのインピーダンスは周波数によって変動します。その最低値を**公称インピーダンス**と呼びます。フルレンジ・スピーカー Fostex の P800E+P800K を組み合わせたときの実測値です。公称インピーダンスは8Ωですが、低音共振周波数では23Ω、高音では27Ωにもなります。つまり公称インピーダンスの3倍も変動します。

スピーカーのインピーダンス特性

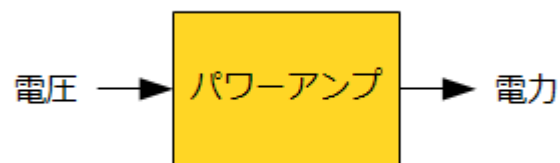


なぜスピーカーのインピーダンスが変動するのかは、専門書に譲りますが、現実に周波数によってインピーダンスが変動します。

どんなに高級なスピーカーでもインピーダンスは変動します。高級なスピーカーは口径も大きくなり、むしろインピーダンス変動は大きくなります。

■パワーアンプ(Audio Power Amplifier)とは

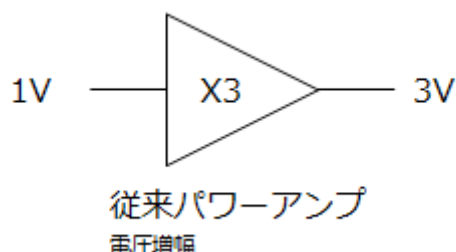
**パワーアンプとは電力増幅器です。**オーディオ用パワーアンプの目的はスピーカーを駆動(ドライブ)することです。その名のとおりに**パワー(電力)**をスピーカーに伝えるものです。パワーアンプの名称を英語は正確に表現しています。ボルテージ・アンプ(電圧駆動アンプ)でもなければカレント・アンプ(電流出力アンプ)でもありません。オーディオ機器では音声信号を電圧で表現します。つまりパワーアンプは電圧を電力に変換する装置です。パワーアンプは入力電圧に比例した電力を出力します。なぜならスピーカーは入力電力に比例した大きさの音を出力するからです。**パワーアンプは電力をスピーカーに伝える装置であり、出力電圧の周波数特性ではなく、出力電力の周波数特性が重要です。**





■ 電圧駆動アンプ

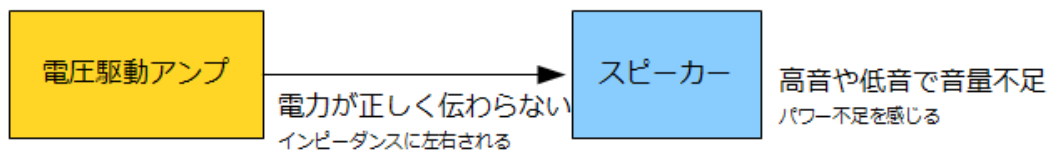
現在主流のパワーアンプは電圧駆動方式(電圧増幅器)で、入力電圧に比例した電圧を出力します。



確かに電圧駆動アンプはスピーカーのインピーダンス(負荷)が一定であれば正しい電力を伝えます。しかしスピーカーのインピーダンスは周波数によって変動します。簡単に言えば、スピーカーのインピーダンスが高くなるとスピーカーに抵抗され、電圧駆動アンプは電力をスピーカーに伝えられなくなります。フルレンジ・スピーカー Fostex の P800K と電圧駆動アンプを組み合わせたときの電力特性を考えてみましょう。電力は  $P=V^2/R$  です。電圧駆動アンプから 2.83V を出力したときの電力を計算します。

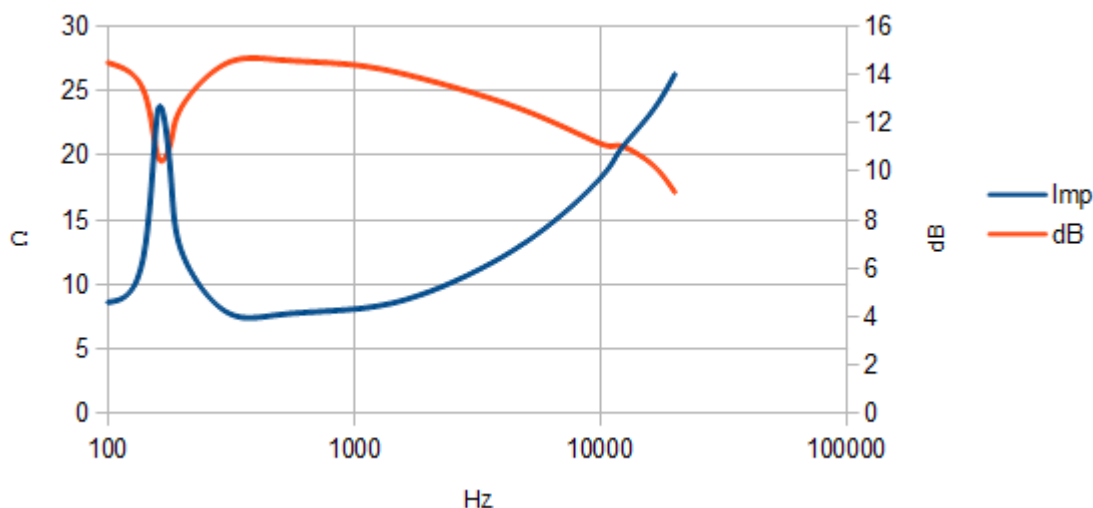
	160Hz	1KHz	20KHz
電圧[V]	2.83	2.83	2.83
インピーダンス[Ω]	23	8	27
出力電力[W]	0.35	1	0.3

中音 1KHz で出力電力は 1W ですが、低音 160Hz で出力電力は 0.35W、高音 20KHz で出力電力は 0.3W です。つまり、電圧駆動アンプはスピーカーのインピーダンスの影響を受け、低音と高音で本来の出力がされません。結果として低音不足、高音不足となります。アンプの入力電圧が一定にも関わらず、周波数によって出力電力が変動します。ボリュームを動かしていないのに周波数によって音量が変動します。明らかに本来あるべき姿ではありません。



実際の実出力電力計測値です(0dB=1mW 換算)。インピーダンスが高くなる低音と高音で電力が低下しています。その結果低音不足、高音不足になります。

従来アンプの出力電力の周波数特性

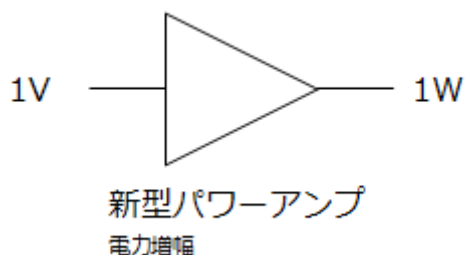


パソコンでサイン波を出力するソフトウェアを使うとこの現象をみなさんも実際に体験することができます。音量を一定にしたまま少しずつ周波数を可変させていくと、低音のある部分で音量が急激に低下するポイントを確認できます。高音になるにつれ徐々に音量が低下していきます。インピーダンス変動が音量に影響を与えている証拠です。

2ウェイのスピーカーでは共振周波数が2つ、3ウェイでは共振周波数が3つあります。

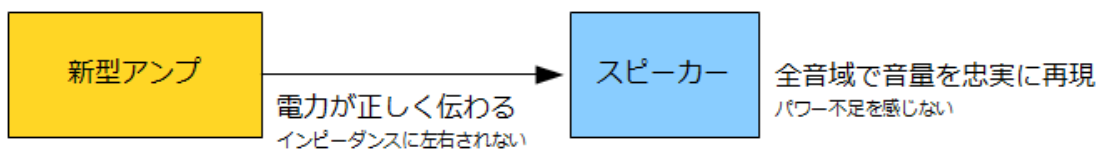
### ■新型パワーアンプ

新型パワーアンプはスピーカーのインピーダンス変動の影響を取り除き、どの周波数でも本来あるべき電力をスピーカーに伝えます。入力電圧(音声信号)に比例した電力を出力します。



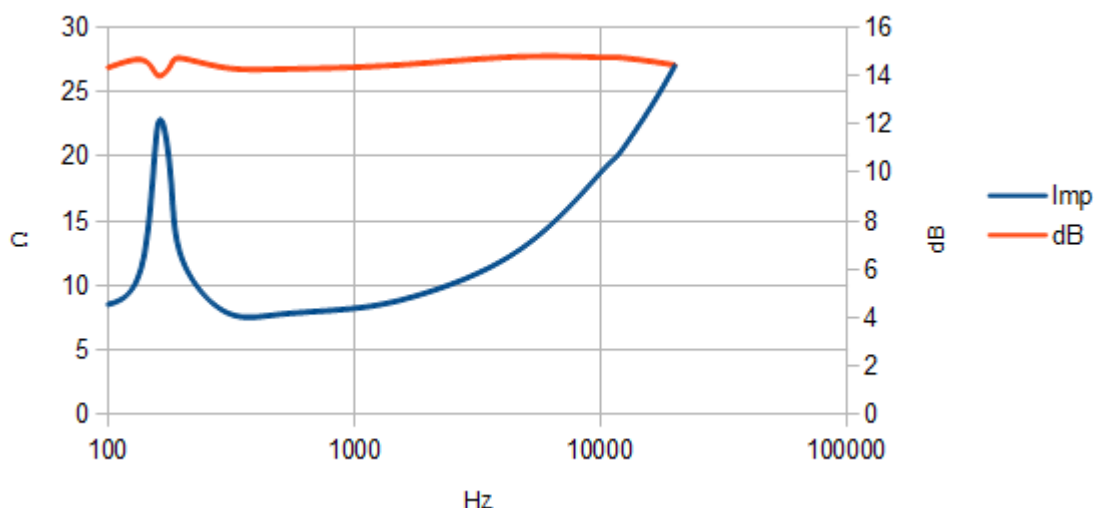
その結果本来あるべき低音、高音を再現します。スピーカーの性能を引き出します。スピーカーの特性は電力を基準にして測定されています。

次世代のパワーアンプと言われるのはこのためです。今後のパワーアンプのデファクト・スタンダード(標準)となるでしょう。



実際の実出力電力計測値です。低音から高音まで電力をフラットに伝えています。これが本来あるべきパワーアンプの姿です。なぜならスピーカーの特性は電力を基準にしており、どの周波数でもフラットな電力を加えて計測しているからです。アンプの入力電圧に比例した電力がスピーカーに伝えられます。新型アンプに比べて従来の電圧駆動アンプは55%の実出力電力です。つまり新型アンプは低音と高音を45%も改善しました。もちろんスピーカーとの組み合わせで電力改善率は異なります。電力改善率を保証するものではありません。

新型アンプの実出力電力の周波数特性



新型パワーアンプの優れている点は、スピーカーのインピーダンスを検出して全周波数帯域で電力を改善します。

もちろん、アンプがフラットな電力を供給したからと言って、スピーカーから出力される音がフラットになるわけではありません。本来のスピーカーの個性、特性が引き出されます。

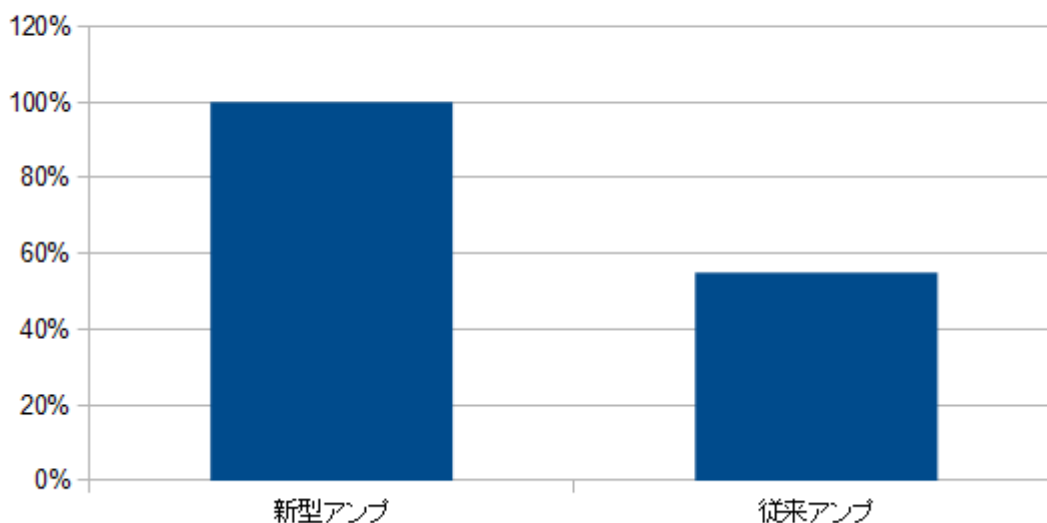
### ■スピーカーの周波数特性と電力

従来のパワーアンプは電力を正しくスピーカーに伝えきれておらず、スピーカーの性能を引き出せていませんでした。カタログに記載されているスピーカーの周波数特性(Frequency Response)は正しい電力が入力されてこそ、グラフどおりになります。正しい電力が入力されていなければ、グラフどおりの性能は発揮されません。スピーカーの特性は1W 入力時正面 1m で計測されています。

スピーカーを正しく駆動していない状態では、もやはスピーカーの周波数特性を予測できず、音の補正や調整は難しくなり、自分好みの音に仕上げるのも困難です。

この問題を解決したのが LIIE テクノロジーです。

電力比



正しい電力が入力されてこそ、スピーカー固有の特性が現れてきます。もちろん音の出口であるスピーカーの性能を超える音は出力されません。たとえば15KHz 以上を出力できないスピーカーに新型パワーアンプを使っても15KHz 以上の音は出力されません。

■ LIIE: Load Impedance Independent Engine テクノロジー

LIIE テクノロジーは革新的です。日本語にすると負荷インピーダンス独立エンジンです。この機能を搭載したパワーアンプは負荷インピーダンスに影響されません。そしてスピーカーの音量能力を引き出し、低音から高音まで忠実に再現します。

まずパワーアンプはどの程度のインピーダンス変動を吸収しなければならないのか考えてみましょう。Fostex 社のフルレンジ・スピーカーを例にします。

型番	口径	公称インピーダンス	最大インピーダンス	変動率
P800K	8cm	8	32	4
P1000K	10cm	8	48	6
FF85WK	8cm	8	32	4
FF105WK	10cm	8	64	8
FF125WK	12cm	8	64	8
FF165WK	16cm	8	64	8
FF225WK	20cm	8	64	8

公称インピーダンスに対して最大インピーダンスは4倍から8倍の範囲です。口径が大きいほどインピーダンス変動率が大きいことがわかります。この4倍から8倍の変動をパワーアンプが吸収すればよいわけです。従来の電圧駆動アンプではインピーダンス変動が4倍なら電力は-6dB、8倍なら電力は-9dBも変動します。LIIE を搭載したパワーアンプはインピーダンス変動が4倍なら電力は-1dB、8倍なら電力は-3dBの変動に抑えます。人間の感覚は曖昧で1dBの変化を認識することはできません。このように人間の感覚ではわからない位フラットに電力変動を改善します。

原音に忠実なオーディオを Hi-Fi(ハイファイ、High Fidelity)オーディオと呼びます。LIIE テクノロジーはさらにその上の Higher Fidelity オーディオといえます。

※実用新案登録済み

#### ■ LIIE と従来の電流帰還の違い

従来のアンプにも電流帰還(カレント・フィードバック)を搭載しているものがあります。これはわずかに電流帰還を行うことで**波形の応答性を改善**する目的です。高域の周波数特性が改善されるため波形の立ち上がり速度が改善します。簡単に言えば矩形波の立ち上がりが速くなります。

一方 LIIE はスピーカーのインピーダンス変動を取り除き、スピーカーへ正しい電力を伝達する目的です。同時に波形の応答性も改善され、一石二鳥です。

目的が異なるため、設計思想も回路も異なります。

#### ■ 「性能」の良し悪しと「音」の良し悪しは別物

これは非常に重要です。音の良し悪しは**個人による評価**しかできず、万人が良しとするパワーアンプやスピーカーはありません。人の好みはさまざま、ある人は良いと感じますがある人は悪いと感じます。高音を好きな人もいれば嫌いな人もいます。他人の評価が自分に当てはまるとは限りません。音の良し悪しを相対的にも絶対的にも評価することはできません。

耳の特性は個人によって異なります。若者は高音に敏感ですが、ご年配は高音に鈍感です。どんなに性能のよいパワーアンプやスピーカーでもそこから出力される音を好きな人と嫌いな人がいます。筆者も黒板を爪でひっかく音は嫌いです。**音の良し悪しはご自身の判断にゆだねられています。**

#### ■ さいごに

LIIE 搭載新型パワーアンプの性能がよいことは測定データで実証されています。音がよいかどうかは皆さんの耳で確かめてください。スピーカーの性能も試されます。

新型パワーアンプを使ってもスピーカーの性能を超えることはできません。