

何を今更って感じですが・・・・・・・・

超初心者からエキスパートまで。

パッシブネットワークの作り方。

意外と簡単。でも奥が深い。そんなパッシブネットワークの作り方と、高音質/ウハウのご紹介。

デジタルプロセッサーを用いたマルチシステムが主流の昨今。なぜ今更パッシブ？という疑問は置いときましょう。本来パッシブネットワークとマルチアンプシステムはどちらにも一長一短があり、優劣はありません。たまたま音響特性に問題が多いカーオーディオではマルチアンプ（デジタルプロセッサー）システムの方が向いていただけのこと。デジタルマルチとは一味も二味も異なるパッシブシステムの音を楽しんでみるのはいかがでしょうか。

またパッシブシステムは、ナビヘッドなどを活かして安価に良い音を作るのにも有利です。決してマニアックなだけじゃありません。

と言うわけで、酔狂にもパッシブネットワークの作り方などを解説してみたいと思います。超初心者の方のために、出来るだけ専門用語や電子記号を避け、関数などの複雑な計算式も避けて解説したいと思います（ただし分数の計算は必要です）。初心者向けに留まらず、過去に何度かパッシブネットワークを作った事がある人のための、やや高度なテクニックや裏技的テクニックもご紹介したいと思います。

相変わらず長ったらしいですが、楽しんでください。

パッシブネットワークを作るために必要な基礎知識。

- オームの法則
- 合成抵抗の計算（並列と直列）
- 電力（W 数）の計算（電流×電圧）
- デシベルの計算（ほんの初歩的なもので充分・計算と言うよりも考え方）
- スピーカーの基礎知識（インピーダンスと能率と F0）
- 周波数とは

みなさん以上の知識を予習してから読んでくださいね。

では予習出来なかったお忙しい方へ、“必要な基礎知識”を簡単にご説明します。
すでにご存じの方は読み飛ばしてください。
お忙しい方は赤字のところだけ覚えていただければ結構です。

○オームの法則について。

これは確か中学の理科で習ったと思います。
電気の最も基本的な計算式で、電圧、電流、抵抗の関係を表しています。

$$E = \text{電圧} \quad I = \text{電流} \quad R = \text{抵抗}$$

$$E = I \times R$$

どうですか？簡単でしょう？

$$I = \frac{E}{R}$$

電圧とは電気を流そうとする力、圧力 単位は V (ボルト)

抵抗とは電気を流すまいとする力。単位は Ω (オーム)

電流とは電圧と抵抗の結果、どれだけ電気が流れているかと言う量。単位は A (アンペア)

$$R = \frac{E}{I}$$

つまり「電流は、“電圧が高いほど” “抵抗が低いほど” たくさん流れる。」

と言う事になります。赤字だけを覚えておいてください。

○合成抵抗の計算。

抵抗はΩ（オーム）という単位であらわされます。抵抗を直列で繋いだ時とか並列で繋いだ時に、オーム数はどうなるのでしょうか。

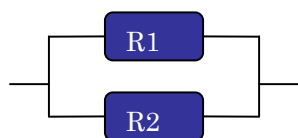
これを“合成抵抗”と呼びます。



直列接続の場合

これは単なる足し算で OK！ $R1+R2$

4Ωと4Ωなら $4+4=8Ω$ 、4Ωと2Ωなら $4+2=6Ω$ となります。



並列接続の場合

これはちょっぴり複雑で、中学の時に習った計算式はこんなのだと思います。

$$\frac{1}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}}$$

こんな面倒くさい計算をしなくても、並列の抵抗が2個までなら、下の計算が簡単。

$$\frac{R1 \times R2}{R1 + R2}$$

別名“和分の積”でもこれを使って計算するのはパッシブの製作ではあまりやらないので、以下の事だけを覚えておいてください。

同じ抵抗値の物を2つ並列で繋ぐと、合成抵抗は半分になる。

つまり、4Ωの抵抗二つを並列で繋ぐと、合成抵抗は2Ωになるってことです。

お疑いなら“和分の積”に同じ数字を入れてみて計算してみてください。

○電力の計算

これは機器がどのくらい仕事をするのか、とか、どのくらい電気を食ったかなどと言った事を表します。別名“仕事量”。

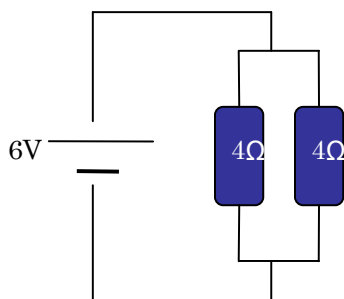
単位は W (ワット) そう、みなさんがパワーアンプの強さを知る時に用いる単位です。

電気機器の場合、ワットは電流×電圧です。簡単です。

つまりある機器に、12V の電圧がかかっていて 2A (アンペア) の電流が流れていたとします。その時の仕事量 (消費電力) は $12 \times 2 = 24W$ 、と言う事になります。

☆応用問題

以下の回路の消費電力は何 W か？



興味がある人だけやってみてくださいね。

オーディオの場合、W 数が出力でこれが大きいほど音も大きくなる、これは電圧と電流の掛け算で成立し、「抵抗が一定なら、電圧が上がるほど電流も上がり、W 数も上がる」と覚えておいてください。

答え : 18W

○デシベル

音の大きさを表す単位で、**dB**と書きます。この数値が大きいほど音が大きいと考えていただいて結構です。

デシベルの計算は難しいので以下の事だけを覚えておいてください。

+3dBで1.75倍

+6dBで2倍

と言う事なんです。

つまり、100dBと106dBは、数値の差はたった**6dB**ですが、音の大きさは**2倍**にもなるんです。

dBとはつまり“**AはBの何倍か**”と言う事を表す数値で、量数のように単純に数値が**2倍**なら量も**2倍**とはならないのです。**3dB**と**6dB**の差だけ覚えておいてください。

以下に代表的な音の大きさ（音圧のレベル）を書いておきます。参考にしてください。

閑静な住宅街の騒音 75dB

繁華街の喧騒 80dB

地下鉄の通過音 90dB

飛行機の離陸時（50m）150dB

車内会話が可能なカーオーディオの音 80dB

車内会話が不可能なカーオーディオの音 90dB

ガツンと聴きたい時のカーオーディオ 100dB

平均的なロックコンサート 115dB

過激に音がでかいロックコンサートの前の方 125dB

○スピーカーの基礎知識

スピーカーの特性を表すデータの事を「TSパラメーター」と言い、公表しているメーカーもあります（特にサブウーファーやユニット販売のホーム用スピーカー）
パッシブネットワークを作る時には、この中でインピーダンスと能率を知っておいてください。

インピーダンス

電流には一方向にだけ流れる「直流」と、流れる方向が双方向に変化する「交流」があります。

インピーダンスとは交流電流を流した時の抵抗値の事です。対して直流の時の抵抗はレジスタンスと言います。

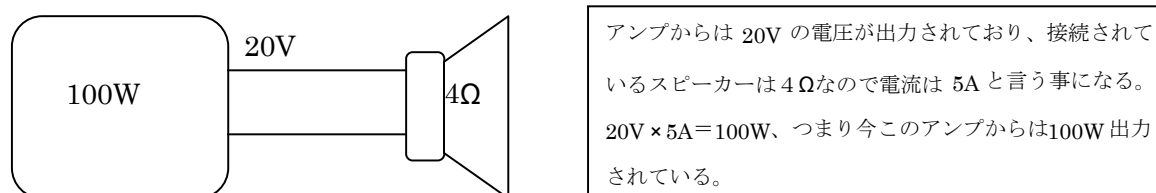
なんで直流の時と交流の時で抵抗値の呼び名が違うかというと、交流時と直流時で抵抗値が違ってしまふ電子パーツがあるからです。実はスピーカーもそうなんです。

従って、インピーダンスと言えは、交流を流した時の抵抗値だと覚えておいてください。

さて、スピーカーのインピーダンスは、カーの場合だとほとんどの物が4Ωです。

稀にツイーターやサブウーファーなどに8Ωや6Ωの物が存在しますが、まあ9割方4Ωでしょう。

では以下の図を見てください。



100W のアンプに 4Ωのスピーカーが繋がっています。今このアンプが100W 出していると言う事はどういう事なのでしょう？

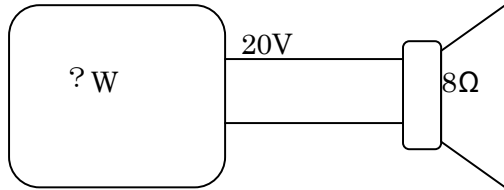
実はアンプは 20V の電圧を出しているのです。

20V が 4Ωのスピーカーに加わると、 $20V \div 4\Omega = 5A$ の電流が流れます。

従って仕事量は、 $20V \times 5A = 100W$

となるのです。つまり、アンプは 20V の電圧を出力しているだけであって、100W を出している訳ではないのです。アンプに繋がられたスピーカーが何Ωかによって、出力 W 数は変わるわけです。

では今度は同じアンプで8Ωのスピーカーに繋ぎ替えてみました。ヴォリュームが同じならアンプは同じ電圧、20Vを出しているはずですが、ではこのときの出力は何Wになるでしょう。



アンプも同じ、ヴォリュームも同じなら、このアンプは今 20V 出しています。ただし今度は繋いだスピーカーが 8Ω なので、電流は $20V \div 8\Omega = 2.5A$ 、従って仕事量は $20V \times 2.5A = 50W$ 、となります。

4Ωの時の半分になってしまいました。

つまりこういう事です。

「アンプが同じなら、スピーカーインピーダンスが倍になるとアンプの出力は半分になる」と覚えておいてください。

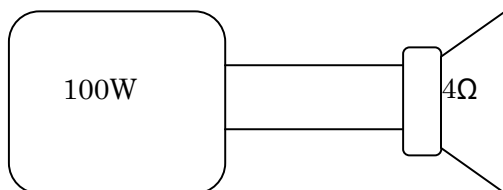
ではその時音圧（音の大きさ）はどうなるのでしょうか。

これは 3dB 下がります。

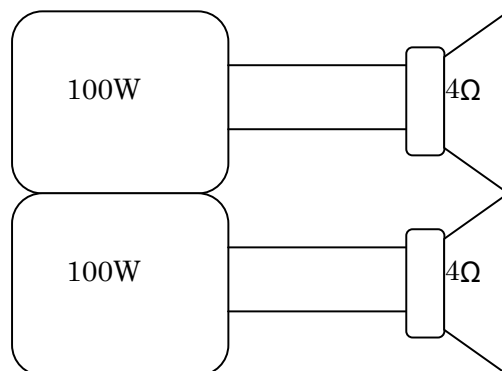
「スピーカーへの入力 W 数が半分になれば 3dB 音が小さくなり、倍になれば 3dB 音が大きくなる」と覚えておいてください。スピーカーへの入力が 2 倍増減すると 3dB の音圧差が発生します。これは同じインピーダンスのスピーカーであっても、単純にアンプの出力が 2 倍になった時も同じで、3dB 音圧が増えます。

更にスピーカーが二つになった時はどうなるでしょう。

「スピーカーが 2 つあり、入力 W 数が同じなら、この場合は 6dB 音が大きくなります」



このとき仮に 100dB 出ているとするならば・・・



この状態では 106dB の音が出る。

W 数が半分になれば 3dB 落ちる。同じ入力のスピーカーが二つになれば 6dB 音が大きくなる。この鉄則を覚えておいてください。

能率

能率とは、基本的にスピーカーに1W入力し、1m離れた所で測定した音の大きさを表します。その時の音圧レベルが89dBだった場合、89dB/w.mと書きます。wとmは1Wと1mということです。この数値が高いほど、同じ入力W数であれば音の大きなスピーカーであると考えて結構です。「出力音圧レベル」とカタログ表記される事が多いようです。

ところが、中にはこんな書き方をすることがあります。たとえな能率89dBのスピーカーの場合、89dB/2.83v.mこの場合は1Wではなく、2.83Vを加えたと言う事を表しています。2.83Vは8Ωのスピーカーの場合の1Wに相当します。従ってこのスピーカーが4Ωだった場合、2W入力されたこととなります。

このような表記はホーム用のスピーカーユニットに多く、ホーム用はシステムスピーカーを組み合わせる際、例えばウーファーに4Ω、ミッドバスに8Ω、ツイーターに6Ωの物を使うと言ったような変則的な組み合わせが多く存在します。そういった場合はインピーダンスによって変化するW数ではなく、同じ電圧を入力した場合での能率を表示した方が、一つのアンプを繋いだ場合の正確な出力音圧が表示できるため都合がいいわけです。

カーの場合はほとんどが4Ωなので2.83Vという表示は無意味ですが、ホーム用のユニットをメインで生産しているメーカーなどが作ったカー用ユニットなどの中にはこのような表示の物があります。その場合は3dB少なく考えましょう。つまり能率が89dB/2.83v.mと表記された4Ωのカー用スピーカーがあった場合、1Wの能率は86dBになると考えます。更にこんな表記があります。90dB/w.0.5m

これは1mではなく、スピーカーから0.5m離れた位置で測定しましたと言う事です。

この場合、1mに換算するなら6dBマイナスしなければなりません。

そう、聴く距離がスピーカーから2倍離れると、音の大きさは-6dB、つまり半分になるのです。この方式で仮に90dBと表示されていた場合、90dBの表記なら84dBと考える必要ありません。

能率は「スピーカーの音の大きさを表す数値。ただし表記方法に違いがあるので注意が必要」と覚えておいてください。

距離と音圧

音源（スピーカー）からの距離が2倍になると、音圧は6dB落ちる（半分になる）と覚えておいてください。

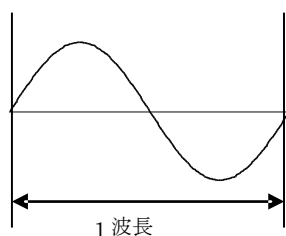
F0

F0（エフ・ゼロ）は低音共振周波数、又は最低共振周波数（FS）の記号で、そのスピーカーがどこまで低い音が出せるかと言う事だと考えても結構です。単位はHz（ヘルツ）

周波数とは、

交流電流が一往復する時を1波長と呼び、その1波長が1秒間に何回行われたかと言う事を周波数と呼びます。単位はHz（ヘルツ）です。

周波数は何も交流電流の専売特許ではなく、円周運動する全ての物、例えば音波や電波などでも使います。



1 波長が 1 秒間に何回あるかと言う事を周波数と呼びます。
単位は Hz（ヘルツ）20 回なら 20Hz、1000 回なら 1kHz（キロヘルツ）
と呼びます。

音波の場合、周波数の数値が高いほど高い音、低いほど低い音を表します。

「周波数とは1波長が1秒間に何回あるかと言う事、低いと低い音、高いと高い音」と覚えてください。

可聴帯域

人間の耳で聞く事が可能な最も低い音から最も高い音までを「可聴帯域」と呼びます。

可聴帯域は 20Hz から 20kHz までと言われていたますが、最近では骨共振などによりもっと広い帯域が聴こえているとも言われています。

まとめ、

パッシブネットワークを自作するための基礎知識として必要な事柄を、以下にまとめておきましょう。これだけ完全に頭に入っていれば大丈夫です。

- 電流は、“電圧が高いほど” “抵抗が低いほど” たくさん流れる。
- +3dB で 1.75 倍 +6dB で 2 倍
- アンプが同じなら、スピーカーインピーダンスが倍になるとアンプの出力は半分になる
- W 数が半分になれば-3dB。同じ入力のスピーカーが二つになれば +6dB（2倍）。
- 能率とはスピーカーの音の大きさを表す数値。
- 音源（スピーカー）からの距離が 2 倍になると、音圧は 6dB 落ちる（半分になる）
- F0 とは、そのスピーカーがどこまで低い音が出せるかと言う事、その目安。
- 周波数とは 1 波長が 1 秒間に何回あるかと言う事、低いと低い音、高いと高い音。
- 人間の可聴帯域は 20Hz から 20kHz 。

パッシブネットワークの役割。

スピーカーは一つだけでは人間の可聴帯域を全て再生することが出来ず、大きさの異なるいくつかのスピーカーを組み合わせて、全可聴帯域を再生しようとします。これをマルチスピーカーシステムと呼びますが、サイズと同時に得意とする再生帯域の異なるスピーカーを複数用いるためには、アンプから再生されるフルレンジを、各々のスピーカーに応じた帯域にカットする必要があります。その為の機器がパッシブネットワークです。

コイルとコンデンサ

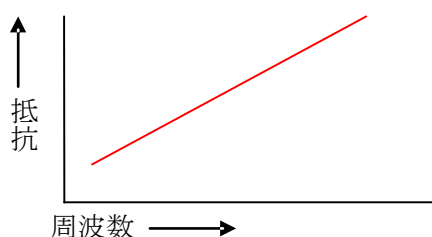
パッシブネットワークの基本はコイルとコンデンサです。コイルは低音を通しやすく高音を通しにくい特性があり、コンデンサは逆に高音を通しやすく低音を通しにくいという特性があります。パッシブネットワークはこれらの特性を利用して、特定の周波数より上、或いは下をカットしています。コイルとコンデンサ以外には、ユニット間の能率を整える減衰用抵抗があり、それをアッテネーターと呼びます。

コイル

コイルには「自己インダクタンス特性」と言うものがあります。これは判り安く説明すると“電気の流れ初めには流すまいとする、電気の流れ終わりにはもっと流していようとする”特性で、直流電流を流した場合には、初動時と遮断時のみに現れる特性ですが、流れる方向が変化する交流時には常に存在します。従ってこの特性は交流時のみに“抵抗”となって現れ変化の遅い低周波ではその抵抗値は低く、変化の早い高周波では抵抗値が高くなります。従って、音声信号をコイルに通した場合、低音ほど通しやすく、高音ほど通しにくい特性となって現れます。

インダクタンスの単位はヘンリーで、記号は **H** を用いますが、通常パッシブネットワークに用いられるコイルは **mH** (ミリヘンリー) 単位の物です。この数値が大きいほど、より高音を通しにくくなります。コイルは別名「インダクター」とも呼ばれます。

コイルの特性



コイルの種類

コイルは銅線を巻いたもので、銅線同士がリーク（漏れ）しないようにエナメルでコーティングされています。

コイルの種類は大きく二つに分かれます。中心（コア）に鉄を用いた「鉄芯コイル（アイアンコア）」と中心に何も無い「空芯コイル（エアコア）」とがあります。

鉄芯コイルは巻き数が少なくなるために小型化でき、同じインダクタンスの空芯コイルと比べ、価格も安くなります。ただし過渡特性が均一ではなく、周囲の電磁波にも影響を受けやすいため、音質はあまり良くなく、安いシステムや低周波でのクロスカット、或いは並列側の素子に用いられます。

空芯コイルは巻き数が増え、大型化し価格も鉄芯よりは高めとなります。巻き数が多いために基本的な抵抗値が高く、スピーカーの出力を若干ダウンさせますが、過渡特性に優れ、電磁波の影響を受けにくい事から、高音質再生用に良く用いられます。高価なシステムや直列側の素子として用いられる事が多いタイプです。

そのほかには銅線ではなく銅箔を用いたフォイルタイプ。一本線ではなくより線を用いたリッツ線タイプなどがあります。



鉄芯コイル



空芯コイル



フォイルタイプ（空芯コイル）

コンデンサ

コンデンサは電気をためておく素子で、バッテリーなどとは異なり、大量の電力をためておくことはできない代わりに、充放電のスピードが速く、その特性を利用して様々な電子機器に用いられています。英語圏では **capacitor**（キャパシタ）と呼ばれます。

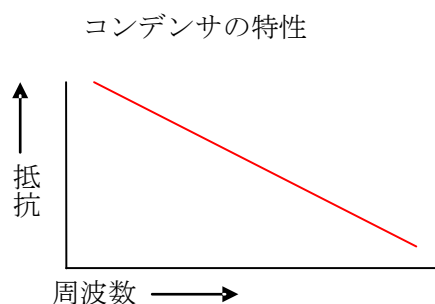
コンデンサに直流を流すと、満タンになるまで電気が溜まって行き、満タンになった時点で、もうそれ以上電気は流れこまなくなるために、回路中の電流は0になります。

ところが交流を流した場合、充放電を繰り返すために回路中の電流が0になる事はありません。つまりコンデンサは直流に近づくほど電流は流れにくくなるという事になり、従って変化の遅い低周波では抵抗が大きく、変化の速い高周波では抵抗が小さいという事になります。

コンデンサは容量で表示され、単位はファラッド、記号は **F** で表わします。

通常ファラッドは大変大きな値ですので、パッシブネットワークを含む電子機器では μF

(マイクロファラッド) を用い、この数値が小さいほど、より低音を通しにくくなります。



コンデンサの種類

基本的に「極性タイプ」と「無極性タイプ」とがありますが、充放電ではなく交流回路に直列に入れるパッシブネットワークに於いては、無極性タイプ（ノンポーラ）しか使用できません。

コンデンサは二枚の薄いフォイル状金属を、薄い絶縁体（セパレーター）をはさんで接着し、丸めた構造をしています。従ってその多くが円柱形です。

コンデンサの品質に大きく影響するのがセパレーターで、これが何の素材でできているかが価格と品質に影響します。

最も安いのが電解液を用いた物で、これは最も原始的な形でもあり、また最も一般的なものでもあります。通常「電解コンデンサ」と呼ばれています。電解コンデンサは最も小型化できますが、諸特性があまり良くないため、安いシステムや並列側などに良く用いられます。

セパレーターに薄いプラスチックフィルムを用いたタイプが「フィルムコンデンサ」と言われるもので、パッシブネットワークでは最も一般的です。

フィルムコンデンサのセパレーターにポリプロピレンを用いたタイプを「ポリプロピレンコンデンサ（P-Pコン）」と呼び、パッシブネットワーク用としては最も良質で高価なものです。更に手作りのコンデンサなどは1個が数万円するものなどがあり、コンデンサの種類は多岐にわたります。



電解コンデンサ



フィルムコンデンサ



ポリプロピレンコンデンサ

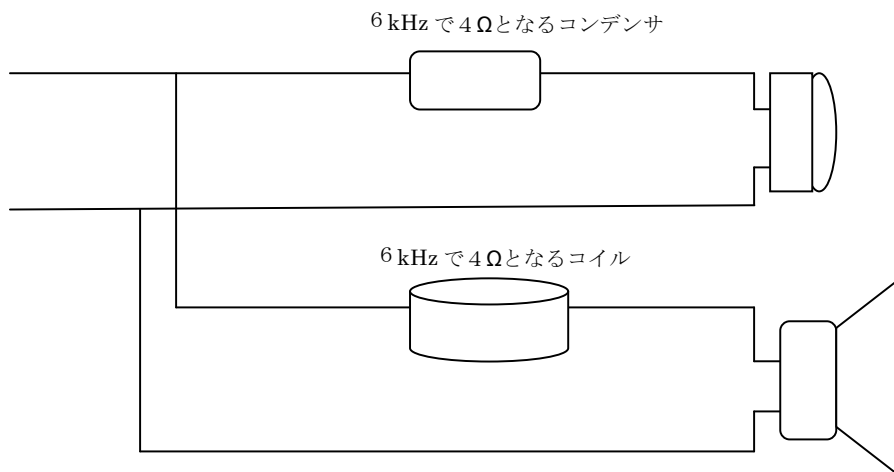
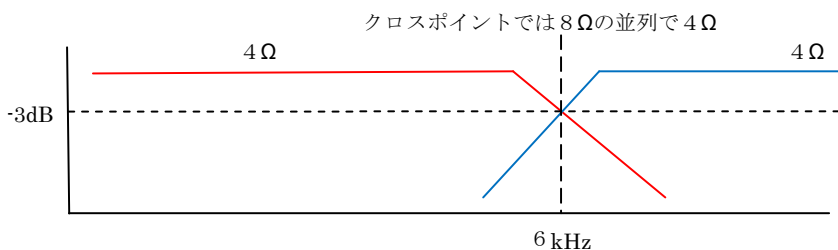
コイルとコンデンサの運用方法

例えば 2WAY の場合、13~17cm のミッドバスとドーム型のツイーターとの組み合わせが一般的ですが、スピーカーはカーの場合、インピーダンスが 4Ω ですから、アンプにとっては低音から高音まで、ずっと 4Ω 一定である事が理想的です。

従ってミッドバスとツイーターのクロスポイント付近も 4Ω となる必要があります。クロスオーバーは、ツイーターとミッドバスが並列接続されるわけですから、フィルターが無ければインピーダンスは 2Ω となります。しかしパッシブクロスオーバーと言うフィルターがあるために、 2Ω とはならず、 4Ω のままです。

コイルやコンデンサは、カットしたい周波数の時に 4Ω となる単位の物を用います。ツイーターとミッドバスは、並列で接続すると 2Ω となりますが、クロスポイントでのインピーダンスはコイルやコンデンサがあるために 8Ω となっています。このため 8Ω の並列接続で 4Ω のまま、つまりクロスポイント以下の周波数では 4Ω 、クロスポイント以上の周波数でも 4Ω 、クロスポイントでは上下のユニットが 8Ω となっているので合成抵抗で 4Ω 、つまり低い音から高い音まで 4Ω 一定となります。このような方式を「定抵抗型」と呼びます。

例； 6kHz のクロスポイント



スロープ

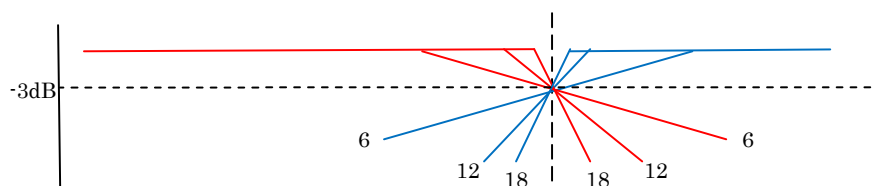
パッシブネットワークはクロスポイントで急激に遮断されるのではなく、徐々に減衰していきます。これはコイルやコンデンサが周波数によって抵抗値が変わるためです。徐々に落ちていく状態を「スロープ」と呼び、1オクターブごとにどのくらい減衰していくかによっていくつか種類があります。

スロープの種類

パッシブに素子の一つしか用いない場合、1オクターブごとに6dBずつ減衰します。これを正確には-6dB/oct(マイナス6ディービー・パー・オクターブ)と呼びますが、一般的には6デシ型などと呼ばれます。

素子が一個増えるごとにスロープは急峻となり、-6、-12、-18、-24と1オクターブごとの減衰量が6の倍数で増えていきます。

従ってスロープの種類は以下のようになります。



スロープが異なっても、クロスポイントは全て-3dB減衰となります。これはクロスポイント付近で 8Ω となっているため、通常の能率よりも3dB減衰するためです。

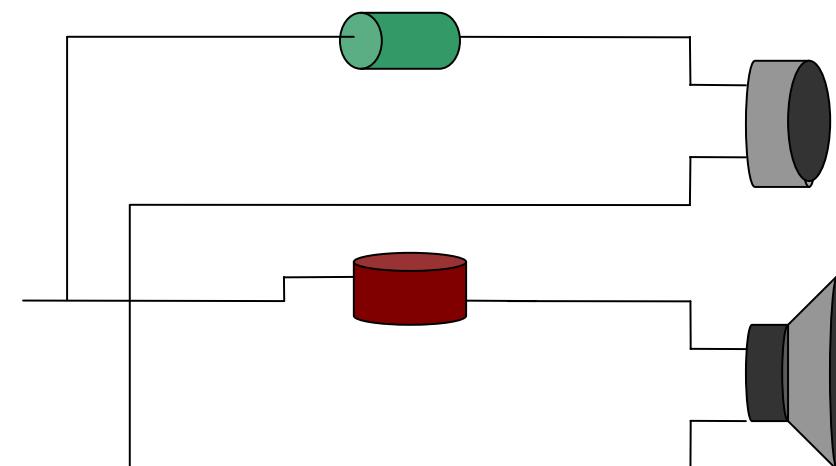


コンデンサ



コイル

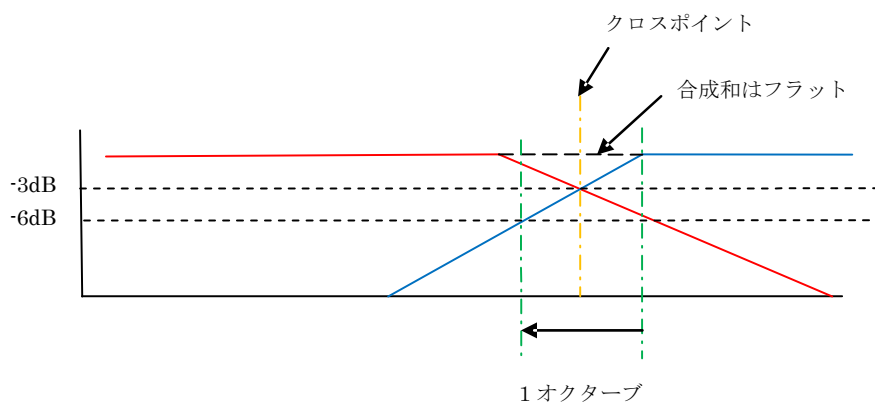
-6dB/oct について (一次フィルター 1st order)



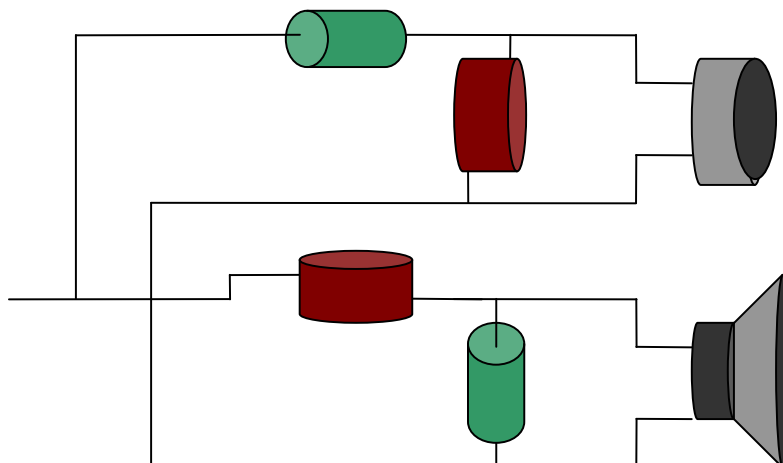
素子が 1 個で 1 オクターブごとに 6dB ずつ減衰します。

コンデンサは電圧に対し電流が 90°進む特性があり、従って出力は入力に対し 45°ずれる。コイルは電流に対し電圧が 90°進む特性があるため、出力は入力に対し、コンデンサとは反対方向に 45°ずれるため、ツイーター～ミッドバス間には 90°の位相ずれが生じます。

90°のずれは、ベクトル的には 1.5 倍となり、クロスポイント付近で 3dB 持ちあがります。クロスポイントでは音の出口が二つとなりますが、3dB 落ちのクロスポイントが、90°ベクトルの 1.5 倍率によって約 3dB 上昇し、この場合クロスポイントでの合成和はほぼフラットとなります。

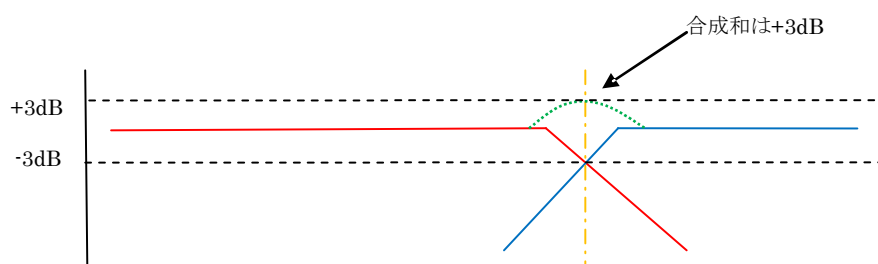


-12dB/oct について (二次フィルター 2nd order)

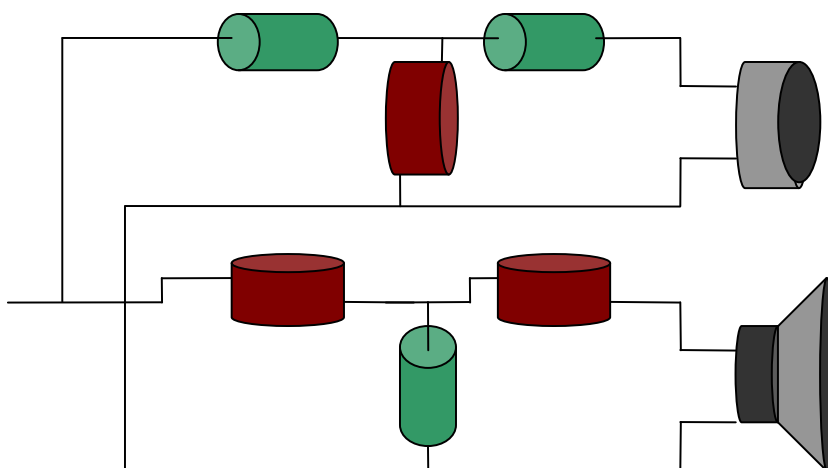


素子が二個となり、1 オクターブごとに 12dB 減衰します。

45°ずれる素子が二つになるため、ハイパスとローパスで別方向に 90°ずれることとなり、ツイーター～ミッドバス間は 180°の位相ずれが発生するため、どちらかのスピーカー接続をプラスマイナス逆接続とする必要が生じます。通常はツイーター側が逆接続されます。どちらかを逆接続とすることで、位相のずれは 0 となり、ベクトルの方向が同じとなるため、倍率は 2 倍、従ってクロスポイント付近で 6dB の上昇となり、クロスポイントでの合成和は 3dB のピークが発生します。

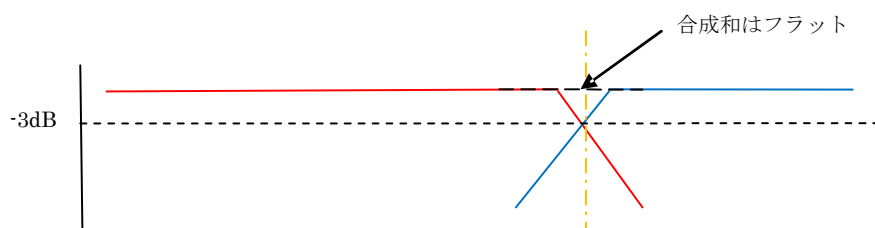


-18dB/oct について (三次フィルター 3rd order)



素子が3個ずつとなり、1オクターブごとに18dB減衰します。

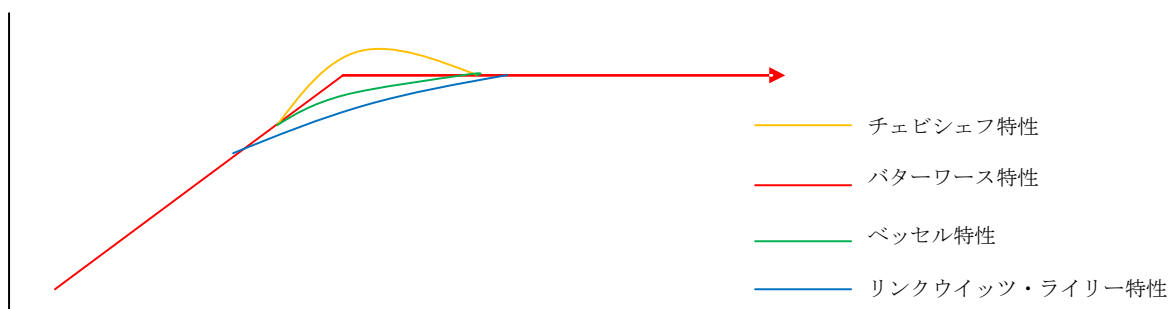
ツイーター～ミッドバス間で270°のずれが生じますが、これは-6dBタイプの逆相となり、ツイーターとミッドバスのエネルギーはベクトル合成で1.5倍となり、クロスポイントでは3dBの上昇となります。従って、正相接続でクロスポイントはフラットになります。



肩特性について

肩特性とは、クロスポイントでのカットオフの切れ始め（過渡帯域）が撫で肩か怒り肩かと言う事で、これを表す指数として「**Q**（尖度、或いは鋭度）」が用いられます。別名フィルター特性などと呼ばれます。

肩特性はカットオフ付近の鋭度だけでなく、位相特性も微妙に異なりますので、使用するスピーカーユニットや取り付け位置などによって、適切なものを選択する必要があります。



チェビシェフ特性

過渡帯域に極端なリップルがある高い怒り肩の特性。特殊な特性で、敢えてピークを作りたい時などに用いられますが、パッシブネットワークではあまり一般的ではありません。カーに於いては、ツイーター～ミッドバス間が大きく離れる場合に有効です。

バターワース特性

最も一般的で汎用性も高い特性です。ほとんどのデジタルクロスオーバーではこの特性が標準となっています。**Q=0.7**でこれは**MAX FLAT**と呼ばれ、最も平坦な肩特性と曲線特性を持ち。スロープが高次となっても特性曲線は同じ形状です。

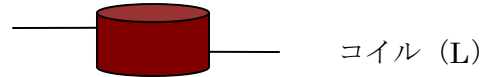
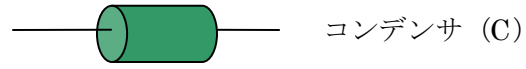
ベッセル特性

バターワースよりもやや**Q**が低いのが特徴ですが、このフィルターを通過した信号の波形が元の波形とほとんど変わらないと言う特性があります。従って位相特性は最も良いものとなります。

リンクウイツ・ライリー特性

—**24dB**タイプでこれを用いるとクロスポイント付近が完全なフラットとなり、ユニット間の位相特性も極めて良い状態になる事から、**-24dB**タイプのために存在しているフィルターともいえます。

パッシブネットワークの計算式

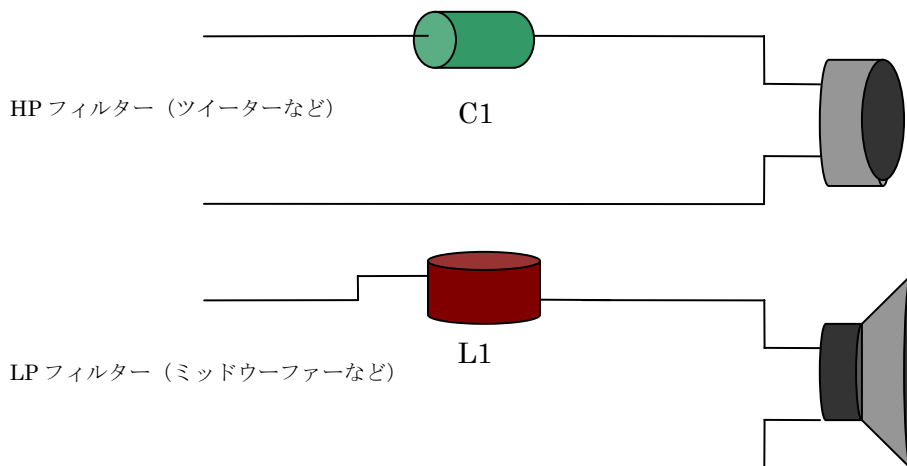


ツイーターのインピーダンス R_t

ミッドウーファァのインピーダンス = R_w

クロスオーバーポイント = F_c

-6dB/oct の回路

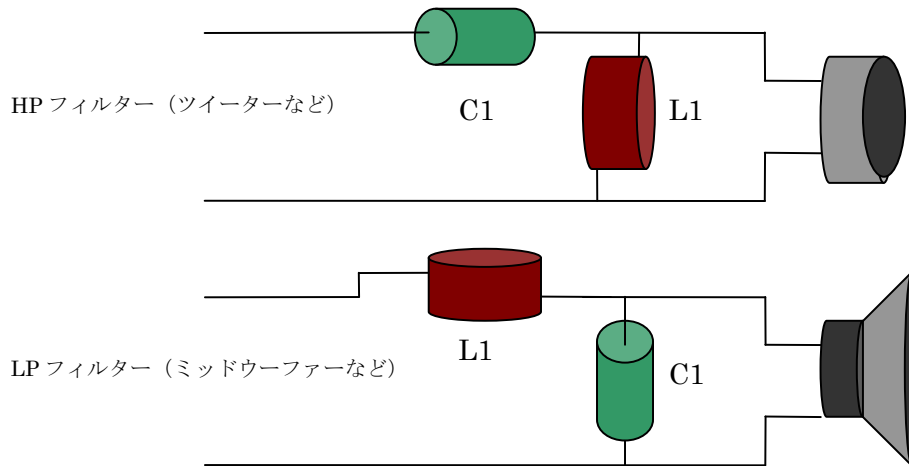


バターワース Butterworth -6dB/oct

$$C1 = \frac{159000}{R_t \times F_c} \mu F$$

$$L1 = \frac{159.2 \times R_w}{F_c} \text{ mH}$$

-12dB/oct の回路



バターワース Butterworth -12dB/oct

ベッセル Bessel -12dB/oct

$$C1 = \frac{112500}{Rt \times Fc} \mu F$$

$$C1 = \frac{91200}{Rt \times Fc} \mu F$$

$$L1 = \frac{225 \times Rw}{Fc} mH$$

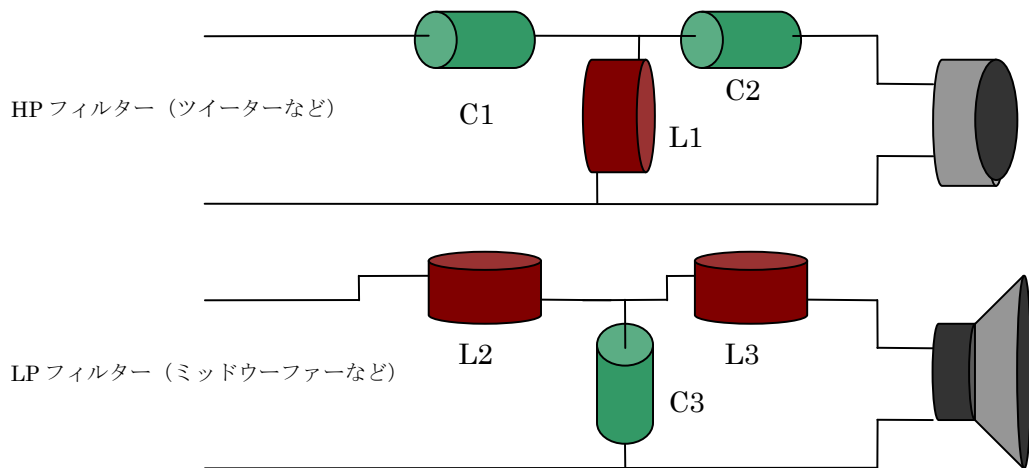
$$L1 = \frac{275.6 \times Rw}{Fc} mH$$

リンクウィッツ・ライリー Linkwite-Riley -12dB/oct

$$C1 = \frac{79600}{Rt \times Fc} \mu F$$

$$L1 = \frac{318.3 \times Rw}{Fc} mH$$

-18dB/oct の回路



バターワース Butterworth -18dB/oct

ベッセル Bessel -18dB/oct

$$C1 = \frac{106100}{Rt \times Fc} \mu F$$

$$C1 = \frac{79100}{Rt \times Fc} \mu F$$

$$C2 = \frac{318300}{Rt \times Fc} \mu F$$

$$C2 = \frac{395300}{Rt \times Fc} \mu F$$

$$C3 = \frac{212200}{Rt \times Fc} \mu F$$

$$C3 = \frac{189700}{Rt \times Fc} \mu F$$

$$L1 = \frac{119.4 \times Rw}{Fc} mH$$

$$L1 = \frac{131.7 \times Rw}{Fc} mH$$

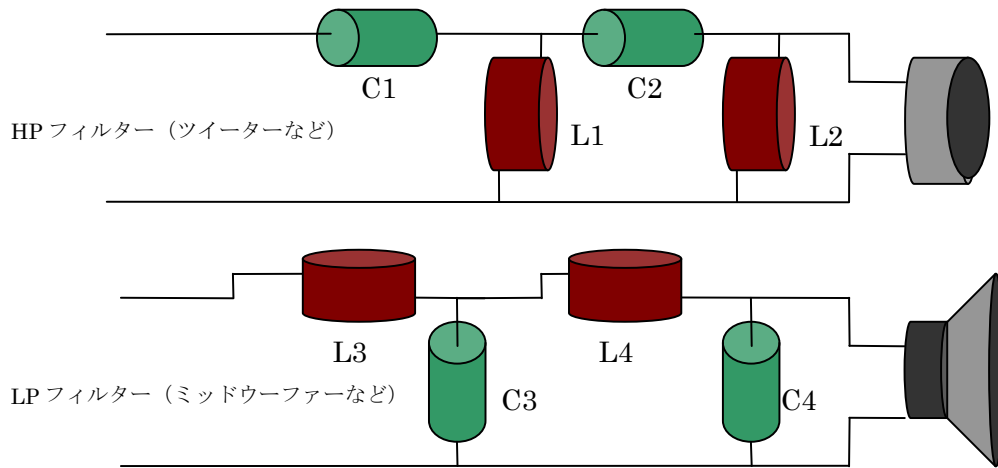
$$L2 = \frac{238.7 \times Rw}{Fc} mH$$

$$L2 = \frac{329.4 \times Rw}{Fc} mH$$

$$L3 = \frac{79.6 \times Rw}{Fc} mH$$

$$L3 = \frac{65.9 \times Rw}{Fc} mH$$

-24dB/oct の回路



バターワース Butterworth -18dB/oct

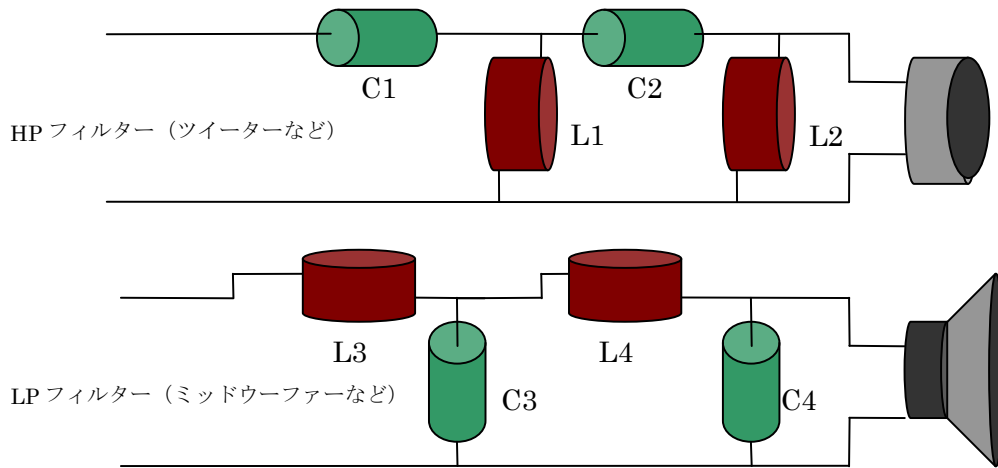
$$C1 = \frac{104000}{Rt \times Fc} \mu F \qquad L1 = \frac{100.9 \times Rw}{Fc} \text{ mH}$$

$$C2 = \frac{147000}{Rt \times Fc} \mu F \qquad L2 = \frac{415.9 \times Rw}{Fc} \text{ mH}$$

$$C3 = \frac{250900}{Rt \times Fc} \mu F \qquad L3 = \frac{243.7 \times Rw}{Fc} \text{ mH}$$

$$C4 = \frac{60900}{Rt \times Fc} \mu F \qquad L4 = \frac{172.3 \times Rw}{Fc} \text{ mH}$$

−24dB/oct の回路



ベッセル Bessel -18dB/oct

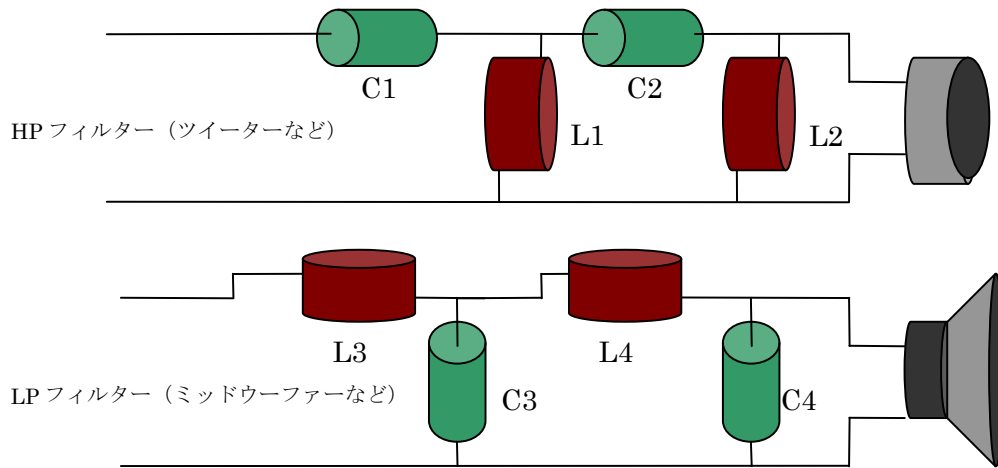
$$C1 = \frac{70200}{R_t \times F_c} \mu F \qquad L1 = \frac{86.2 \times R_w}{F_c} \text{ mH}$$

$$C2 = \frac{71900}{R_t \times F_c} \mu F \qquad L2 = \frac{498.3 \times R_w}{F_c} \text{ mH}$$

$$C3 = \frac{233600}{R_t \times F_c} \mu F \qquad L3 = \frac{358.3 \times R_w}{F_c} \text{ mH}$$

$$C4 = \frac{50400}{R_t \times F_c} \mu F \qquad L4 = \frac{146.3 \times R_w}{F_c} \text{ mH}$$

−24dB/oct の回路



リンクウイツ・ライリー Linkwitz-Riley -12dB/oct

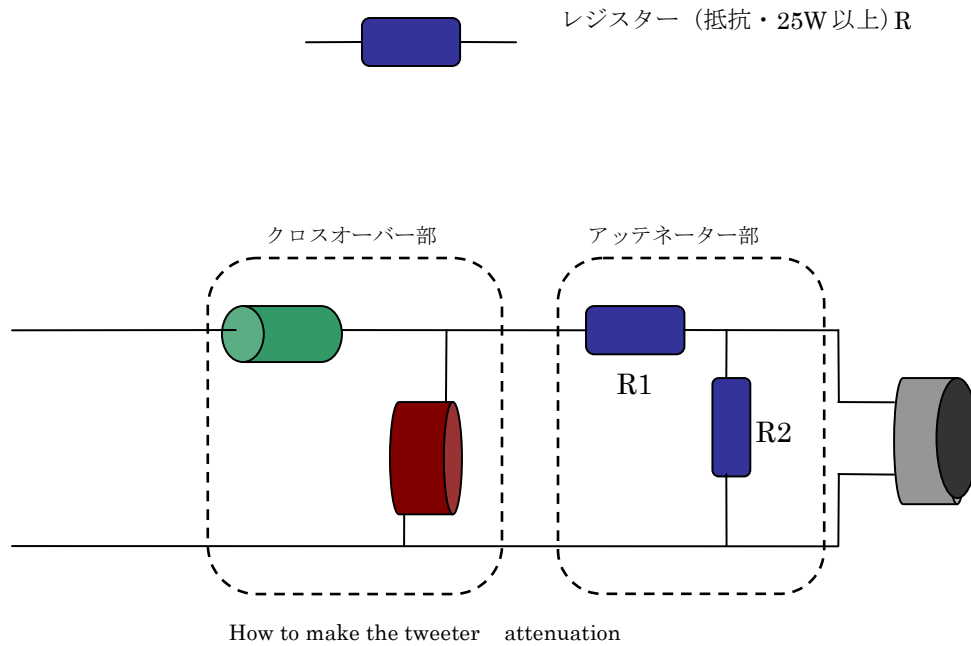
$$C1 = \frac{84400}{Rt \times Fc} \mu F \qquad L1 = \frac{100 \times Rw}{Fc} \text{ mH}$$

$$C2 = \frac{168800}{Rt \times Fc} \mu F \qquad L2 = \frac{450.1 \times Rw}{Fc} \text{ mH}$$

$$C3 = \frac{253300}{Rt \times Fc} \mu F \qquad L3 = \frac{300 \times Rw}{Fc} \text{ mH}$$

$$C4 = \frac{56300}{Rt \times Fc} \mu F \qquad L4 = \frac{150 \times Rw}{Fc} \text{ mH}$$

ツイーター・アッテネーターの回路



-3 dB attenuation	R1 (1.2 Ω) R2 (10 Ω)
-6 dB attenuation	R1 (2 Ω) R2 (4 Ω)
-9 dB attenuation	R1 (2.7 Ω) R2 (2.2 Ω)
-12 dB attenuation	R1 (3 Ω) R2 (1.2 Ω)

アッテネーターについて

アッテネーターはユニット間の音量を合わせるために行います。能率を確認し、各ユニットが同能率となるよう適切に施します。

例えばミッドバスが能率 89 dB で、ツイーターが92dB だった場合、ツイーターを3dB 落とせば同音量とする事が出来るため、-3dB タイプのアッテネーターを使用します。

ただ単純に抵抗を直列に入れるだけでもアッテネーションしますが、それだとインピーダンスが変化しますので、図のように二次型とし抵抗値を一定にします。

スピーカーは高域用ユニットになるほどエネルギー (W 数) を必要としませんので、なるだけ高域側のユニットに高能率なものを選んだほうが、抵抗器の耐久入力が低く済みます。

注意、能率のカタログ値は鵜呑みに出来ない。(“能率”の項目を参照)

クロスポイントをどこに設定すべきか。

クロスポイントをどこの周波数の設定するかによって、スピーカーユニットの性能が変わります。つまり音質が異なるという事です。

厳密に言うと、スロープもクロスポイントもそれぞれのスピーカーユニットとインストールの状態によって異なります。従って同じスピーカーであっても車や取り付け方法が異なれば、適切なスロープやクロスポイントは事なるという事になります。

従って本当に厳密にパッシブネットワークを作りたい場合、何度もカットアンドトライを繰り返さなければなりません。

ただしデジタルプロセッサを用いることで、一旦マルチで繋いで最適なスロープとクロスポイントを見つけ、それに準じたパッシブネットワークを製作するという方法があります。然しそれにはテスト用のデジタルプロセッサを用意しなくてはなりません。中々難しい所です。

スロープは基本的にバターワースフィルターの-12dBタイプを用いる事をお勧めしております。これは経験則的に最も汎用性が高く、パーツ点数も比較的少なく済むためであり、厳密には他のスロープの方が良い場合もないわけではありません。

クロスポイントはハーモニクスで考える方法をお勧めしています。

まずはミッドバスの F_0 に注目します。 F_0 が公表されていない（カタログ表記されていない）スピーカーもありますが、その際はメーカーのお客様相談室に問い合わせてみましょう。ミッドバスの LP クロスポイントは、 F_0 のハーモニクス上の周波数に設定します。これは倍音の事です。

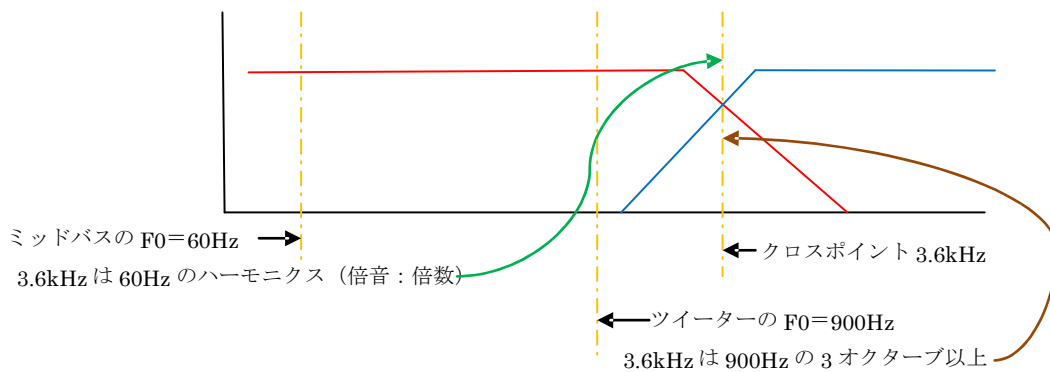
例えばあるミッドバスの F_0 が 60Hz だったとします。60 の倍音は 120、180、240、300、360、420、480、540、600、660、720、780、840、900、960、1020、1080、1140、1200、1260、1320、1380、1440、1500、1560、1620、1680、1740、1800、1860、1920、1980、2040、2100、2160、2220、2280、2340、2400、2460、2520、2580、2640、2700、2760、(ハアア) こ、このくらいにしときましょう。

つまり F_0 が 60Hz なら 60 の倍数でローパスすれば、ミッドバスの音色は比較的良くなるということです。

次にツイーターの F_0 を見ます。ツイーターは基本的に-6dBタイプなら F_0 の3オクターブ以上、-12 dB タイプなら 2 オクターブ以上、-18dB タイプであれば 1 オクターブ以上を基本とし、それ以上の周波数であれば危険はないと思われます。

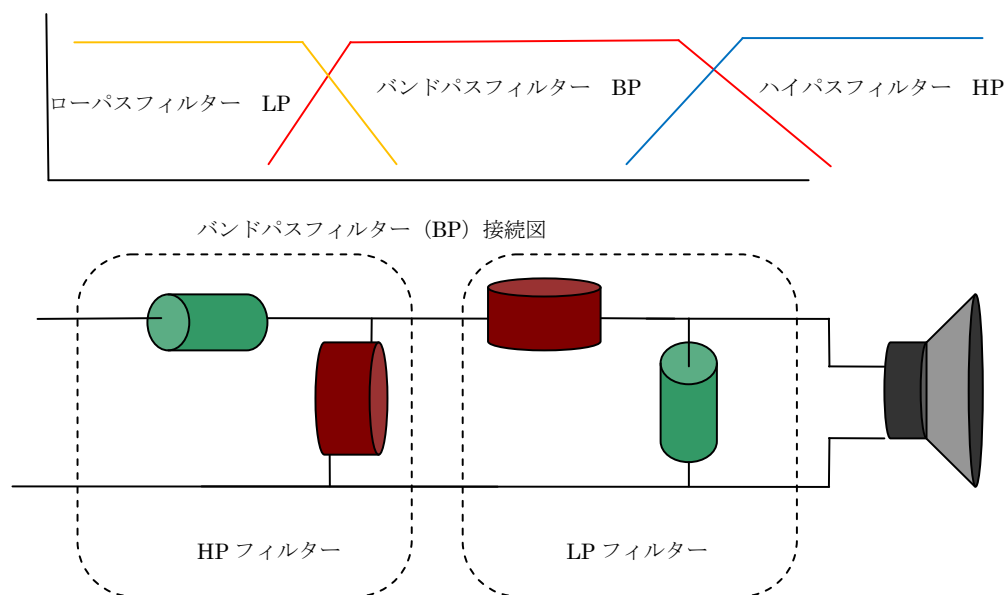
例えば F_0 が 900Hz のツイーターがあったとします。フル 12dB で組むとして F_0 の 2 オクターブ上は 3600Hz 。その付近に、ミッドバスの F_0 周波数のハーモニクスが無いかを探します。ミッドバスの F_0 が仮に 60Hz だった場合、 3600Hz は 60 で割り切れる数字です。従って 3600Hz は 60Hz のハーモニクスであると言えます。従って、このケースの場合、 3600Hz は、ツイーター～ミッドバス間としては、“完璧かどうかはわからないが比較的良いクロスポイントである” という事が出来ます。

例；ミッドバスの $F_0=60\text{Hz}$ ツイーターの $F_0=900\text{Hz}$ の場合。



バンドパスフィルターについて

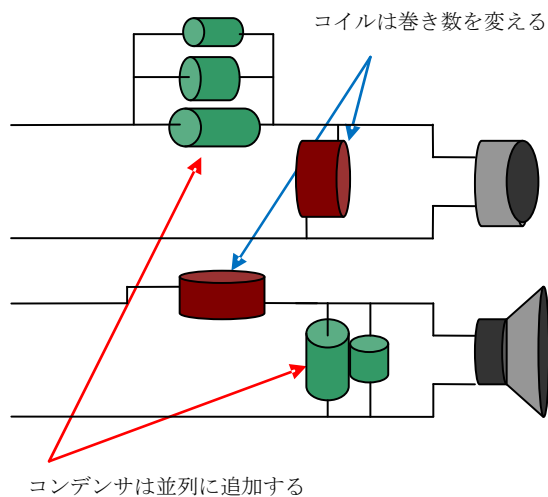
バンドパスフィルターとは、ハイパスフィルターとローパスフィルターを重ねて、一定の周波数範囲だけを再生させるようにしたものです。3WAYのミッドレンジやフロント～サブウーファー間をパッシブで繋ぐ2WAYシステムなどで用います。



上の接続図のように、ハイパスフィルターがアンプ側、ローパスフィルターがスピーカー側となるように接続します。これで周波数の上と下を切り取って、一定の帯域のみを再生することが出来るようになります。

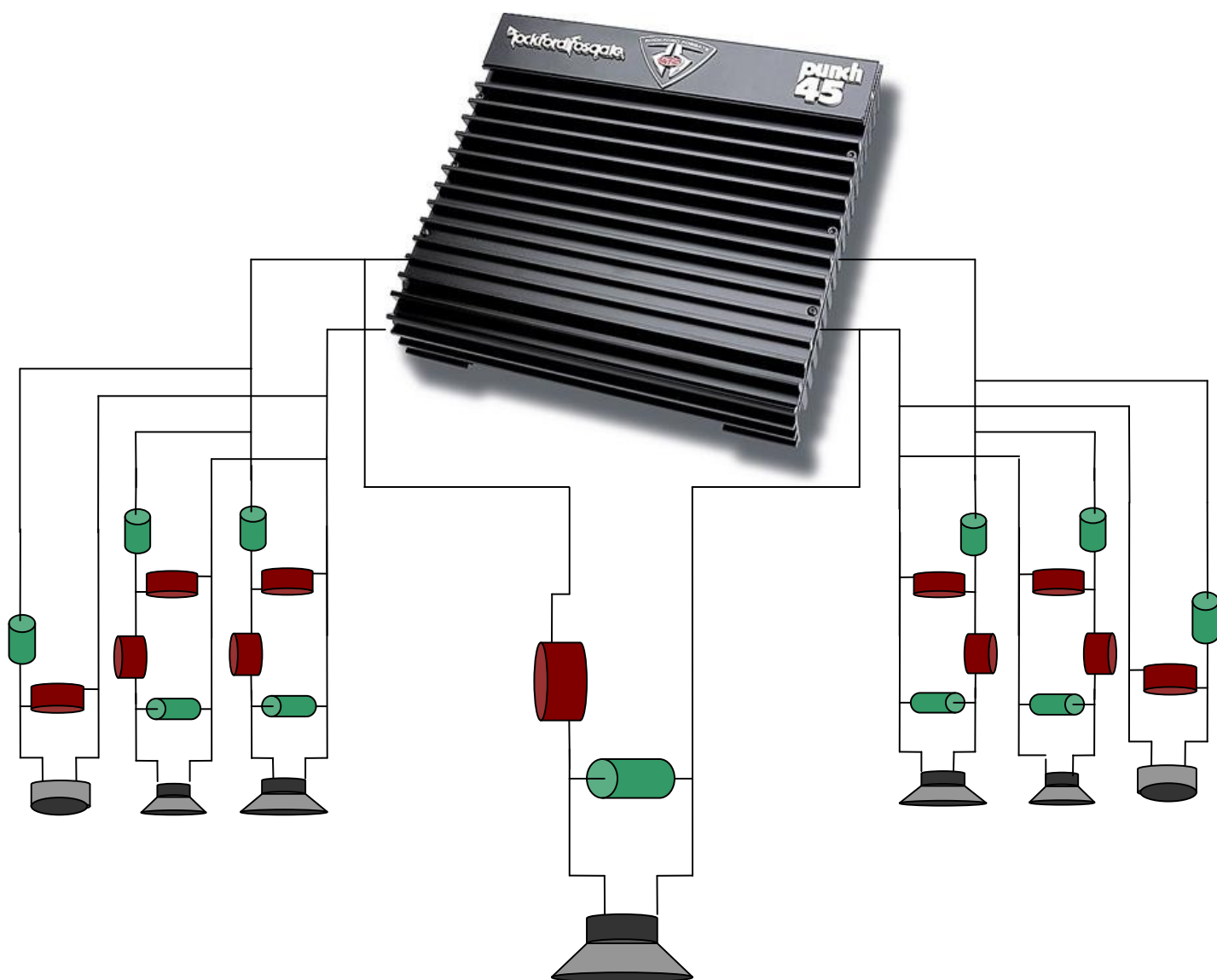
計算値通りの素子が入手できない場合

コイルは巻き数を変えて計算値に近づけます。ただしその際にはコイルのインダクタンス (L) を測定できるテスターが必要となります。コンデンサは並列に接続すれば足し算で容量が増えますので、計算値通りの数値となるよう組み合わせます。しかしながら、あまりにも厳密に計算値通りに合わせようとしなくても、近似値で充分です。そうすれば大抵の場合、素子は見つかります。



参考

Tri モードを用いたフルパッシブシステム。フロント 3WAY+ サブウーファー 全て-12dB



アンプは反転タイプで高駆動力型なもの用います。アメリカ製などに多い方式です。反転型は L+ と R- (或いは R+ と R-) でモノラルチャンネルがステレオと同時に抽出できます。その特性を利用して、2 c h アンプ一台でフロント+サブウーファーを実現する方法を Tri MODE (トライモード) と呼びます。

カーオーディオ黎明期の次の世代、85年~95年ごろに大変流行ったやり方です。クロスオーバー内蔵の4c h アンプが多く発売されるに至り、急速に減少しました。アクティブフィルターの無い、とことんパッシブらしい音が魅力のシステムです。

やってみたい人がいたらお声をおかけください。詳しくお教えしますよ。

バイワイヤリング

バイワイヤリングとは、それぞれのフィルターを並列接続せず、独立したチャンネルとして鳴らす方法を言います。

クロスオーバーを内蔵せず、タイムアライメント機能のみ 4ch 存在するデッキなどで大変有効です。



ナビゲーションの場合は、ミッドバスをフロント出力に繋がないと、音声案内が聞き取りにくくなります。

バイワイヤリングの場合、上記のようにヘッドユニット或いはナビの 4ch アンプに接続するならば、デッキ内蔵のフェダーコントロールが使えるのでアッテネーターは不要です。

どのクロスオーバースロープがベストか、

カーオーディオの場合、**-12dB** タイプのバターワースかベッセルフィルターを最もお勧めします。

-6dB タイプは微調整が出来ませんしツイーターによっては低音の過大入力が起こると危険な場合があり、低いクロスに出来ません。**-18dB** タイプは素子の数が多すぎてコスト増となり、製作時間もかかります。ましてや**-24dB** など大変なコスト高となり、微調整を含めた製作期間だけで相当な時間がかかるでしょう。クロスオーバーの優秀性は位相特性の良さと繋がり goodness で決まりますので、急峻なスロープほど良いと言うわけではありません。

-12dB タイプはツイーターを逆相接続すればほぼ正相となります。クロスポイントに**+3dB** のピークが発生しますが、これが却ってカー独特の離れたツイーター～ミッドバス間の補正に役立ちます。また微調整のポイントも少力で、調整のエキスパートになれば**2～3** 時間で完了します。調整が合いにくい場合はベッセルフィルターを試してみましょう。

-12dB タイプをメインとし、格安に仕上げたい時に **-6dB** タイプ、或いはツイーターに**-12dB**、ミッドバスに**-6dB** を用いるなどと言った方法がお勧めです。素子数が比較的少ないので品質の高いパーツを使う事が出来、それが結果的に音質には大きく貢献します。

パッシブの微調整

パッシブネットワークは計算値通りでも十分な機能を発揮します。しかし微調整を行ってスピーカーユニットやエンクロージャー形状（インストレーション状態）に合わせ込むことにより、更に優れた音質とする事が出来ます。実際ホーム用スピーカーに用いられているパッシブの素子の数値を詳しく見ていくと、計算値とは大きく異なる事に気づきます。

二つの試聴ポイント

パッシブを微調整する際、どこを聴けば良いのか、そのポイントは二つあります。

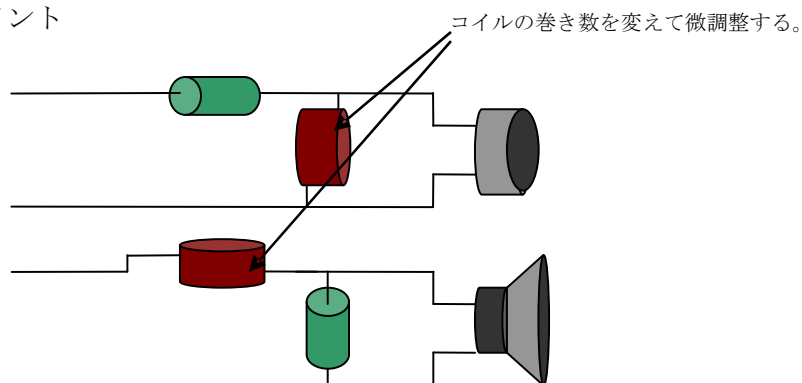
① 繋がり

デジタルプロセッサの調整におけるクロスオーバー、又はTAと同様、各スピーカーユニットがより繋がって聴こえ、ユニット間にあたかもフルレンジスピーカーが出現するかのとき繋がりが理想的です。

② 音色

音色はクロスオーバーがユニット自体に与える位相的影響により変化します。従って情報量の多さがと余韻の豊かさポイントとなります。

微調整のポイント



微調整を行う際は、コイルを計算値よりやや大きめの物にしておきます。音楽を聴きながら徐々に巻きをほどいて行き、ベストな音となる巻き数位置で固定します。インダクタンスが測れるテスターをお持ちなら（意外と売ってますよ）、その時のコイルインダクタンスを測定しておけば、汎用が効きます。

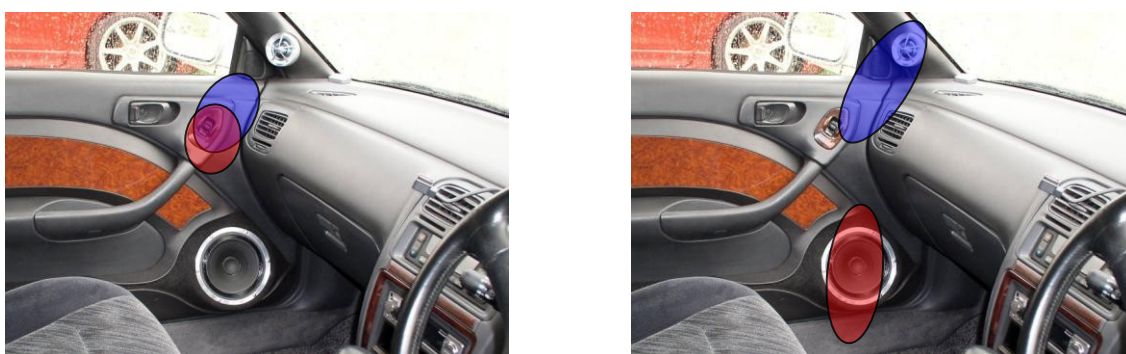
実際ドアにミッドバス、ダッシュカ A ピラーにツイーターを付けた状態でのリスナーまでの距離差は車種ごとにそれほど大きく違わず、一度設定すれば意外と多くの車種に使えます。本当はコンデンサも $1\mu\text{F}$ くらいのを継ぎ足したり減らしたりしながら調整した方がより正確なのですが、それはとても面倒くさいのでやめましょう。

まずは接続を確認する。

-12dB タイプの場合、位相が 180°ずれる事から、ツイーター側を逆相接続する事が一般的です。カーでもほとんどの場合でツイーターを+-逆に繋いだ方が良い繋がりとなります。ところが！カーの妙と言うか取り付け位置の差異や反射の影響などで、必ずしもツイーター逆相接続が正しいとは限りません。

微調整は片方のチャンネルのみで行います。運転席に座って膝にパッシブクロスオーバーを仮組みした物を置いて、助手席側のみの音を聴きながら調整を行います。

● ツイーターの音 ● ミッドバスの音



まずはスピーカーケーブルの接続が位相的に正しいかどうかを確認します。

左の写真のように、ツイーターとミッドバスの間に音がより多く集まって聴こえる状態が正しい位相的接続となります。右の写真のように、ツイーターはツイーターから、ミッドバスはミッドバスから音が聞こえてくるようでは位相的に逆となっています。ツイーターの接続を、その状態から逆に繋ぎなおしましょう。



これらの写真も逆相の例です。左は最も迷いやすいパターンで、ボーカルや高音はツイーター～ミッドバス間のほぼ中間に存在しますが、低音だけがミッドバスにへばりついています。右は逆に中域から高域にかけてツイーターにへばりつき、低音が上にあがっています。どちらの場合もまずはツイーターをその状態から+-逆に繋ぎ替えます。繋ぎ替えてもまとまらない場合はベッセルフィルターに変更すると良いでしょう。注意すべきはこの時点で音色は気にせず、あくまで中間に寄るかどうかで判断します。



コイルを少しずつほどこきながら、ツイーター～ミッドバス間の音の塊がより小さくなる位置を探します。

集中力と根気が要る作業です。

ただし、より小さくまとまるだけでなく、情報量や音の余韻にも気を使います。

小さくまとまったとしても、情報量が少なく余韻に乏しいようでは良い音にはなりません。

最も小さくまとまって、尚且つ情報量、余韻の最も響くところを見つけ出しましょう。

ただし概ね最も小さくまとまる状態が、情報量も多く余韻も豊かになる傾向があります。

ここが最も良いと思える所が見つかったら、そこでコイルを留めます。

コイルは力を抜くとドバッと緩む事があるので注意してください。またコイルは巻きほどこぎ出来るような構造の物を用います。フォイルタイプやエポキシコートがしてあるような高級パーツだと巻きほどこぎができませんので、一旦安物で微調整を行い、調整後のコイルインダクタンスを測定してそれと同じ値（近似値）の高級パーツに入れ替えると良いでしょう。

運転席側は助手席側と同じ接続状態とコイルの数値にします。左右で接続が異なる状態にならないよう注意してください。

どんな曲を使えばいいのか。

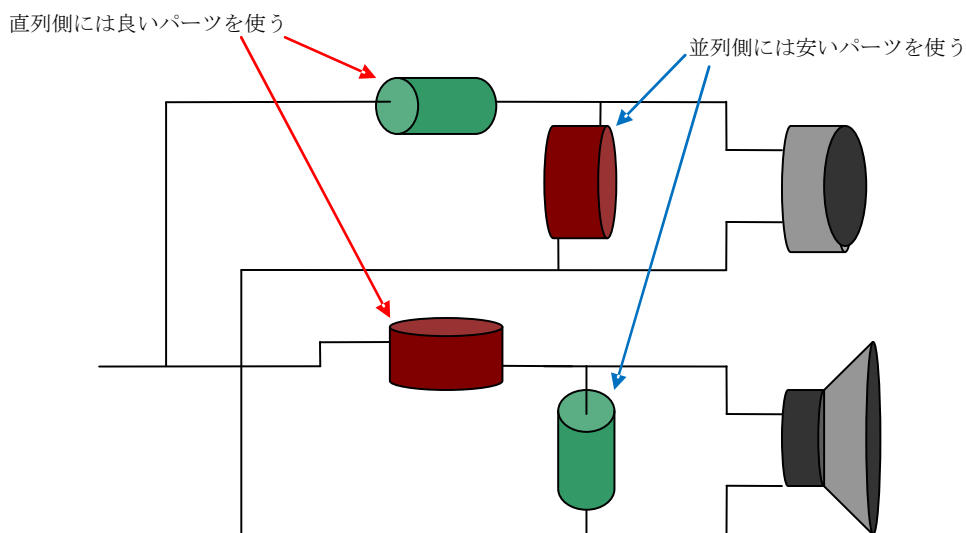
出来るだけシンプルな楽曲の方が判りやすいでしょう。

例えば、ピアノの弾き語りで歌う女性ボーカル等は大変わかりやすい楽曲です。

ピアノはミッドバスにひつつきやすいし女性ボーカルはツイーターにひつつきやすい性質があるので、繋がりやの良し悪しが判りやすいと言えます。

どんなパーツ（素材）を使えばいいのか。

パッシブネットワークの素材は基本的にコイルとコンデンサで成り立っています。コイルの場合、①コア（鉄心）の有無、②銅線素材、③コーティングの有無、④銅線の太さ、このような要素で違ってきます。また価格は、巻き数が多いほど、銅線が太いほど、銅線の純度が高いほど、コーティングが凝っているほど、価格が上がります。つまり高い方が品質は良くなる、要するにコイルは価格と品質が見合っている素子だと言えます。コンデンサはポリプロピレンコンデンサ（P-Pコン）が音質上最も良く、電解コンデンサが最も低く、P-Pコン以外のフィルムコンデンサがその中間と言ったところです。無論、良いパーツを使った方が音は良くなるのですが、使うスピーカーユニットとの相性も無視できません。しかし一方で相性まで考慮しながら製作すると、何度も作り変え、カットアンドトライを繰り返さなければなりません。従って相性にはあまりこだわらず、出来るだけ良質な、価格の高いパーツを使った方が良いでしょう。ただし全てのパーツを最高のものにすると、-12dB型の2WAYでも10万円近くかかる事もありますので予算内で賢く選びます。使い方のアドバイスとして、パッシブの回路に直列で入るものには良いものを、並列に入るものには安いものを使うと良いでしょう。並列側の素子はスルー回路ですのでこれを通った信号はスピーカーに入力される事はありません。従ってメーカー製の相当高いシステムのパッシブであっても、並列側には安いパーツを使っているのが標準的です。直列側に良いものを、並列側に安いものを使う事で、-12dBタイプでツイーター～ミッドバスの2WAYであれば、パーツ代1万円以下で良質のパッシブネットワークを製作する事も可能です。



さて、パッシブネットワークの作り方はいかがだったでしょうか。

マルチアンプが主流のカーオーディオに於いて、何を今更パッシブと言う声も聴こえなくはありませんが、私の経験上、マルチアンプシステムとパッシブシステムは音の優劣はなくとも音色に差異は存在します。

言葉で表現するのは難しいのですが、マルチにはマルチの良さがあり、パッシブにはパッシブの良さがあるって、どちらを取るのかはその人の好みでしょう。

しかし、スピーカーユニットのレイアウトに限界のあるカーオーディオに於いて、インストレーションや車室内特性などに応じたクロスオーバーや同一平面上にレイアウトできない事によるユニット〜リスナー間の距離差を埋めるタイムアライメントなど、デジタルプロセッサーを用いたマルチアンプシステムが主流になったのは、カーゆえの宿命的结果だったと思います。

ではカーオーディオでパッシブの音を楽しむのは不可能なのでしょうか。

マルチとパッシブを聴き比べ、「自分はどうしてもパッシブの音の方が好き」と仰る方は、車の中では定位感に乏しい、奥行きや広がりにも乏しい、感動の薄い音で我慢しなければならないのでしょうか。

そういう方のために、こんなアイテムがあります。



DAIATONE (ダイアトーン) のデジタルプロセッサ、DA-PX1

この機器のユニークな所は、あくまでパッシブの音にこだわった所だと思います。パッシブネットワークを使用し、2ch アンプで駆動するシステムを用いながら、プロセッサ内部でパッシブのクロスポイントと同じクロスでカットし、そのカットした帯域で独立したタイムアライメントと位相管理が行えます。

それに圧倒的に音が良い！

特に拘ったらしいのは、“高音質DA変換回路” 要するにデジタル信号をアナログに変換する DA コンバーター（通常 DAC）で、徹底したノイズの排除と、デジタル回路で最も音質を劣化させる原因、ジッター歪を、DAC の真横に基準マスタークロックをレイアウトすることで徹底排除。

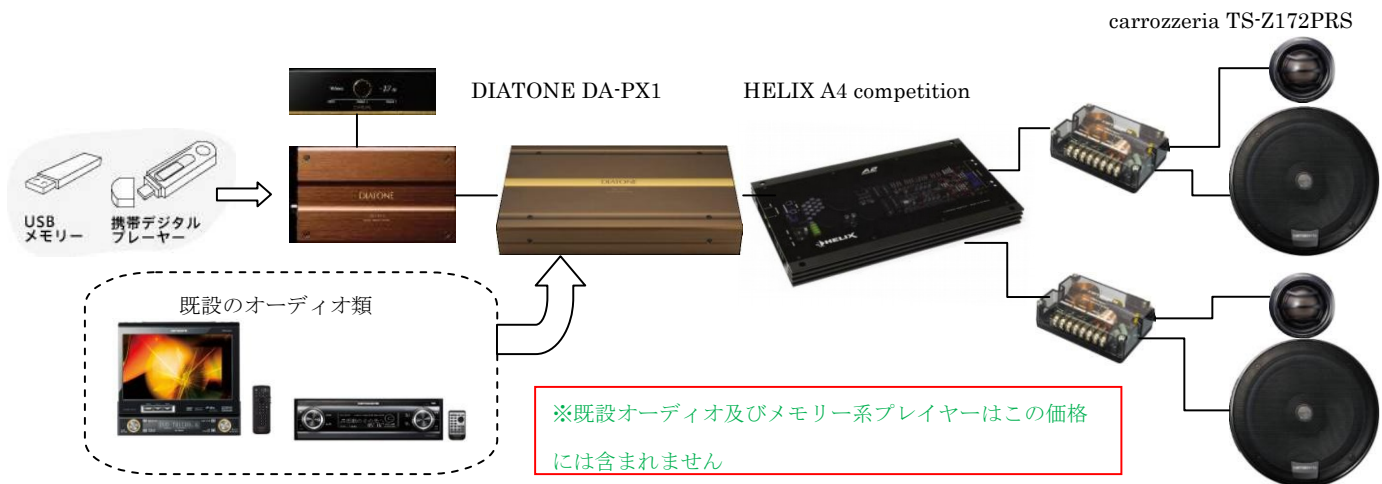
このクオリティ、ホーム用のDAC ならゆうに百万円を大きく超えるであろう機器とほぼ同等のような気がします。渾身の作と言えるでしょう。

80 万円と言う価格を高いとみるか安いとみるか。

金銭感覚は人それぞれですが、80 万円のプロセッサを高いと思う方も多いでしょう。しかし 2ch アンプを用いたパッシブ 2WAYシステムで、マルチシステム並みの調整機能が使える事を考えると、同じクオリティであれば、ほぼ同じ金額に抑える事が出来ます。

エモーションお勧め。

パッシブネットワークの良さを最大限に引き出すシステム



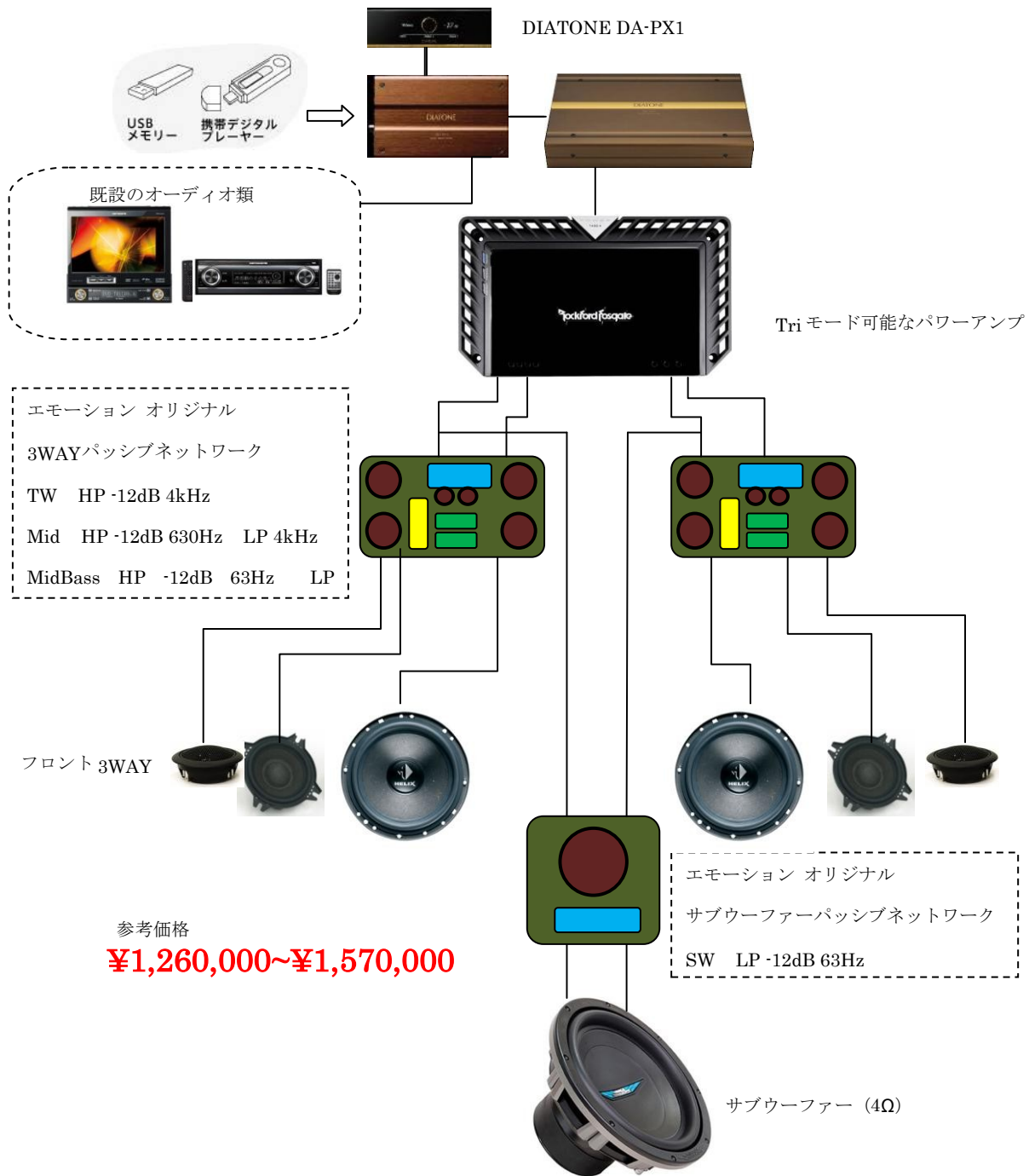
取り付け、音響加工費込、定価¥1,299,170、当店通常価格¥1,200,000のところを **¥1,100,000** 取付費、音響加工費、消費税込

マルチシステムとは異なる、昨今新鮮なパッシブサウンド！

カーオーディオに於いて、最早スタンダードとも言えるマルチアンプシステム。内蔵アンプから高級機まで、カーオーディオの発展はマルチアンプシステムの発展の歴史とともにあったと言えるでしょう。一方で、マルチには無い独特の味わいを持つパッシブシステムのファンも少なからず存在していました。しかしいわゆる“アナログシステム”では定位感が出せず、スピーカーに貼りついたような音になりがちで、音楽の感動が半減する事が多いように思われます。

DISTONE DA-PX1 を用いたパッシブシステムは、デジタルプロセッサの良さとパッシブの味わいを最大限に生かし、パッシブの音色でありながら、音場感、定位感を良好にし、音楽の感動をより深く伝える事が出来るシステムとなっています。

Tri MODE 4WAY スーパーフルパッシブシステム



パッシブ好きのための、パッシブだけのシステム

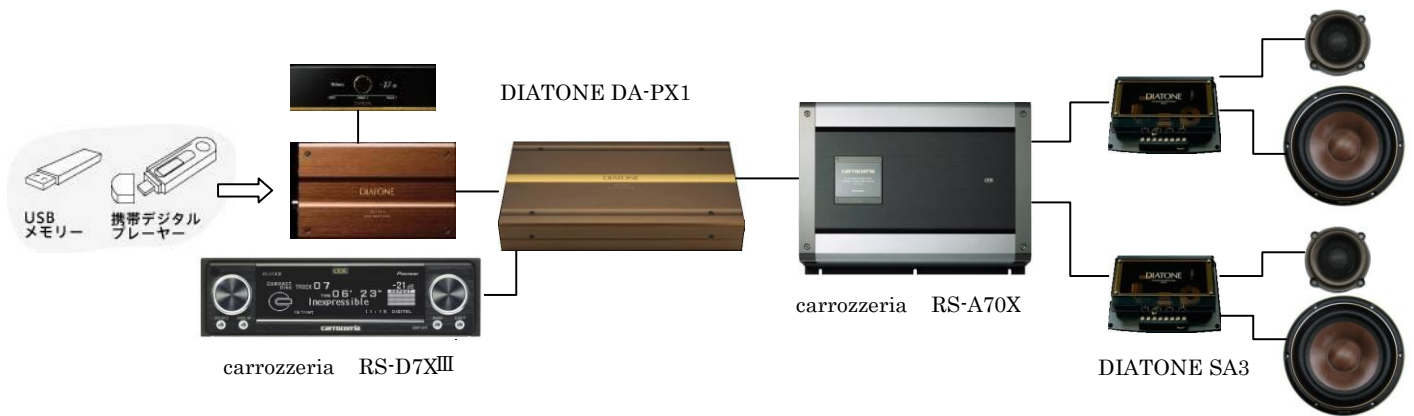
パワーアンプの Tri モードにより、モノラルサブウーファーまでを1台の2chアンプで駆動するシステムです。クロスオーバーネットワークは全てパッシブタイプで構成されており、実にパッシブらしい音が魅力です。

80年代~90年代初めごろにアメリカで流行った Tri モードは、デジタルプロセッサが登場する以前の方式であり、パッシブの味わいを持ちながらもカーオーディオ特有の位相の乱れによる定位感の無さ、スピーカーへの音のへばりつきを避ける事が出来ず、一方デジタルプロセッサ登場後はマルチアンプシステムによる解像度の向上により、よりリアルで音楽性が豊かな表現力を持つようになった一方、パッシブによる独特の味わい、例えば説得力のあるボーカルや小音量でもはっきりと聞こえるニュアンスなどと言った良い部分も失ってしまいました。

しかしパッシブシステムは、DIATONE DA-PX1 を得ることによって、パッシブの味わいを失わずにデジタルプロセッサを用いたマルチアンプと同様、カーオーディオ特有の問題を解決し、車の中でも広い音場の中に現れるリアルな音像を表現し、パッシブならではの味わいを保ちながら、より音楽性豊かなサウンドを再生します。

パッシブデジタルプロセッサシステム

エモーションデモカーのご紹介



エモーションの新機軸

現在のカーオーディオの音に飽き足りない方、是非このデモカーを聴いてみてください。

デジタルマルチアンプシステムとは全く異なる音のベクトルを持つカーオーディオ、現在主軸をなすシステムとは異なる音色の方向性を持ちます。

エモーションのスーパーデモカー、フルカロッツェリア X システムを搭載したプジョー307 との比較試聴も面白いと思いますよ。