

民生機器用

CONED™

世界初の音響パワー・イコライジング技術

- 完璧な音響パワー周波数特性
- 完璧なタイム・アライメントと位相補正





CONEQ™



民生機器用

音響パワー・イコライジング技術

CONEQ は 2007 年にニューヨークで開かれた AES ショーで ProAudio Review 誌より PAR Excellence 賞を受賞しました

我々は音響パワー周波数特性がフラットな世界に生きています。逆にいえば、我々の住む自然界の音響パワー周波数特性が基準のフラットであると定めます。それであれば、フラットな世界で聴く音をフラットに録り、フラットに伝え、フラットに再生すれば、真の原音再生が得られるはずです。

現在の音響技術を見てみますと、マイクやアンプ類、音声信号を伝える通信系、それを貯えるメディア（CD, DVD, HDD 等）は原音再生に必要な性能を既に備えています。それらに比べスピーカは、まだ桁違いに劣っています。このボトルネックになっているスピーカの性能さえ改善されれば、原音再生が可能になります。

スピーカが完璧な電気音響トランスジューサとして動作するには、音響パワー周波数特性がフラットで、タイム・アライメントにずれが無く、位相特性がピッタリと合っている必要があります。そのうち周波数特性の補正には、イコライジングが行われます。しかし従来の、スピーカの軸上一点での音圧の周波数特性の測定では、音響パワー周波数特性のイコライジングは不可能です。音響パワー周波数特性のイコライジングには空間のある一点の測定ではなく、スピーカから放たれる音を全て捉えた音響パワー周波数特性を測定する必要があります。

Real Sound Lab が開発したコネック CONEQ™ (CONvolution Equalizer) は、世界で初めての“音響パワー・イコライジング”技術です。CONEQ は、スピーカの音響パワー周波数特性を完全にフラットにするだけでなく、タイム・アライメントと位相も完璧に合わせます。その結果そのスピーカから出て来る音が限りなく原音（ソース）に近くなり、その位置にボーカルや楽器があるのと等価の状態を作り出します。

CONEQ は、オーディオから TV や PC 等、スピーカが使われる全ての製品に応用できます。CONEQ のイコライジングは極めてパワフルで、与えられたスピーカ・システムから最大限の性能を容易に引き出す事ができます。



CONEQ™

1. コンスーマ用途

ハイエンド・オーディオ、ホーム・オーディオ、カー・オーディオ、パーソナル/ポータブル・オーディオ、ヘッドフォン・オーディオ、MP3 ドッキング・ステーション、TV、ラジオ、サブウーハ、デストリビューテッド・オーディオ(BGM システム)

2. 特長

- 簡単： コンピュータによる自動測定(周波数特性と位相特性の補正)
- スピード： 400 点以上、16384 バンドの周波数特性の測定が約二分で完了
- 信頼度： 主観の入らない信頼度の高い測定結果
- 自由度： 工業デザインや構造設計に与える大幅な自由度

3. 精度

- 測定周波数精度： 16384 バンド
- 測定サンプリング： 48, 96KHz
- イコライジング精度： 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096 バンド
(リニア・スケール)
- サポート周波数： 250, 500Hz, 1, 8, 16, 32, 44.1, 48, 88.2, 96KHz
- 目標誤差 (4096 バンド)： +/-1.0dB (40Hz-24KHz)*/**
* 実際の誤差にはマイクなどの測定誤差が含まれる
** 低域と高域の誤差はスピーカ自体の性能による

4. 音質改善効果

- 完全にフラットな音響パワー周波数特性 (スピーカ・ケーブルやアンプ等すべてを含む)
- 完璧に補正されたタイム・アライメントと位相
- リフェレンス・グレードの音質
- 明瞭度とディーテールの改善
- 音像の広がりとお行感の改善(ステレオ時)
- トランジェントの改善
- スイート・スポットやデッド・スポットの問題を解消し、均一な高音質を実現
- 超低音の補正

5. CONEQ HA (Hearing Aid) 難聴者モード

高齢者や難聴者に補聴器を使わずに、明瞭で聴きやすいサウンドを提供

6. ソリューション

デジタル (FPGA, DSP, ASIC)



音響パワーとは？

スピーカの音響パワーは、スピーカから出た音が、それをとりまくある特定の面を一秒間に通過する音のエネルギーです。もう少し正確に言えば、それは指定された面に垂直な体積速度と音圧の同相分の積の時間平均値です。スピーカから放たれる全音響パワーを得るには、スピーカの前面を囲み側面に届く半球面を想定し、その面上の音圧を綿密に測定します。その結果から、計算により全音響パワーを割り出します。

我々が自然界で聞く音には、全て音源があります。音源から放たれた音は、空気を媒体として夫々の方向に伝播して行きます。これは池に石を落とした時に見られる波紋の広がりによく似ています。その波は実はエネルギーを運んでいるのです。同じように音もエネルギーとして伝播して行きます。そして、そのある瞬間の音響エネルギーが音響パワーです。普通我々が聞く音は、周りから耳に届くいろいろな音の総合されたエネルギーを、音圧に変換したものです。

音響パワーを電気に例えると分かり易いかも知れません。音圧は電圧(V)、空気粒子の流れは電流(A)、音響パワーは電力(W)に相当します。『音圧×粒子の流れ=音響パワー』の関係は、『電圧×電流=電力』と同じです。さらに、『電力×時間=電力エネルギー』の関係も、『音響パワー×時間=音響エネルギー』と同じになります。

音響パワーを扱う必要性

音は同時に多くの音源から発生していますが、ここで、ある一つの音源から発せられた音だけを見てみます。我々は、周りに何も無い自由空間とか無響室の様な特殊な環境でない限り、その音源から直接届く直接音と、何かに反射したり分散されたりして届く間接音を聞いています。直接音は空気中を空気の音響特性に影響され、ある周波数特性で減衰しながら進みます。間接音は空気の影響に加え、壁や天井、床、家具などで反射（吸収も含める）分散し、その材質によって周波数特性が変化し、音質が変わって来ます。直接音と間接音が耳に届く時には、それらが総合された音は、音源の音とは異なって来ます。音源がスピーカである場合にも、全く同じ事が言えます。しかしこれは決して悪い事ではなく、部屋の間接音は、音にその部屋特有の味わいを加え、楽しめる音にしてくれます。事実どんなに優れたスピーカでも、無響室で聞く音は全く味気ないものです。それだけに、間接音は直接音と同じくらい重要なのです。

理想のオーディオ・システムとは何であるのかを考えてみますと、それは基本的には原音再生と言って良いでしょう。原音再生を行うには周波数特性と位相特性がフラットで、指向性が無く、タイム・アライメントと位相が合った、理想的なスピーカシステムが必要です。しかし、そのようなスピーカは存在しません。どんなに優れたスピーカでも必ず周波数特性に凹凸があり、位相特性を持ち、指向性があり、タイム・アライメントも完璧ではありません。

スピーカシステムの周波数特性の補正には、イコライジングが行われます。しかし従来のイコライジングはスピーカの軸上一点の音圧測定でしかなく、軸を外れた音は無視されています。スピーカから放たれる音の全てをイコライズするには、音響パワー周波数特性のイコライジングが必要です。それにより、結果的に音響エネルギー周波数特性のイコライジングがなされ、自然界で聴く音に近づける事が出来ます。



技術概要

スピーカの周波数特性の補正に音響パワーを扱う有利性は昔から語られて来ましたが、測定装置が大掛かりになる事と、膨大な計算が必要である事から、DSP や FPGA が発達する近年まで実用化されませんでした。Real Sound Lab が開発したコネック CONEQ™ (CONvolution EQualizer)は、世界で初めての音響パワー・イコライザ技術です。音の解析を行う CONEQ Workshop™ と CONEQ を内蔵したハードウェア APEQ (Acoustic Power Frequency Equalizer) は、レコーディングや放送局のスタジオ・モニタ、フィルム・スタジオのサウンド・ステージ、コンサート・ホールや劇場の SR システム等、高音質と均一性が要求されるオーディオ・システムのイコライジング用に使われています。

ここでは CONEQ の、TV, ラジオ、ホーム・オーディオ、ハイエンド・オーディオ、ホーム・シアター、カー・オーディオなど、民生用機器への応用について説明します。

従来のスピーカのイコライジングは、正面軸上の一点でのみ行われ、軸から外れた角度での特性は無視されています。しかし我々が聞く音はその軸上の音である事は殆どなく、むしろその軸を外れた直接音と間接音です。その軸を外れた音をイコライズするには、音響パワー周波数特性に対して行う必要があります。CONEQ は、スピーカの前面を包み込む面上約 400 点で、各 16384 バンドの精度で周波数特性を測り、音響パワー周波数特性を算出します。その結果にリミッタやスムージングを加えた後、システムの持つ特性とちょうど逆の特性を持つイコライジングカーブを作り出し、スピーカから放たれる全音響パワーを完全にフラットにします。その結果、スピーカから出てくる音が原音（ソースの音）に限りなく近くなり、その位置に生のボーカルや楽器があるのと等価の状態を作り出します。CONEQ は音場補正は行いません。軸から外れて出た音は壁や床、天井、家具などに複雑に反射して耳に届く間接音になり、良い意味で、その部屋の特有の音を作ります。

CONEQ の測定には、専用のソフトウェア CONEQ Workshop を載せたコンピュータを使います。そして CONEQ が算出したイコライジング・カーブを実際にイコライザとして動作させるには、DSP や FPGA に内蔵された FIR (Finite Impulse Response) フィルタが使われます。イコライザの精度は、用途に応じて 128 バンドから 4096 バンドの間で選べます。（最大は 65,536 バンドで、科学研究用にも使用できます。）CONEQ による測定は自動化されていて簡単であるばかりでなく、測定者の主観が入らず、測定環境にも影響されないため、再現性のある信頼度の高い結果が得られます。

CONEQ は、視聴位置で測定を行う音場補正の手法に比べ、高音が勝ち気味になったり、低音が不足したり、あるいは逆にブーミーになったりする事はありません。スイート・スポットやデッド・スポットが無くなり、部屋のどこで聞いても音質が変わりません。また、ターゲット・カーブを使わないため、測定する人の主観が入りません。CONEQ でイコライズしたスピーカの音質は、明瞭度が高く、リアリステックで音楽性もあります。

逆に積極的にターゲット・カーブを使い、特殊な目的に要求される周波数レスポンスを実現する事も出来ます。目的の周波数特性がどんなに複雑であっても、CONEQ はそれを簡単かつ確実に実現します。例えば、TV やラジオに難聴者用のモードを設け、補聴器を使わずにすばらしい音楽を楽しんでもらう事が出来るのも CONEQ の応用例の一つです。これを CONEQ HA Mode™ と呼びます。

CONEQ は工業デザイナーや機構設計者に大きな自由度を与えます。製品のスピーカの位置や音響的な条件が理想的でない場合でも、CONEQ でイコライズする事により充分な高音質が得られます。音周りの開発期間の大幅な短縮と、失敗が確実に回避できる事は、デザイナーにとって大きな助けとなります。

CONEQ は超低音のイコライジングにも大変有効です。従来のイコライザでは、低音の測定そのものが困難な事と、精度が十分でないため不可能であったサブウーハ・レンジの調整が容易に行えます。4096 バンドの場合、0-100Hz で約 20 バンド、6Hz ごとの調整が可能です。

CONEQ は、スピーカ・ケーブルやアンプ等、系に入る全ての要素を含めてイコライズします。



CONEQ™ の使い方

CONEQ™を使うためには、まず対象となるスピーカの音響パワー周波数特性の測定から始まります。測定には Real Sound Lab が開発したソフトウェア『CONEQ Workshop™』を載せたコンピュータと測定用標準マイク、マイク用アンプ（オーディオ I/O）が必要です。

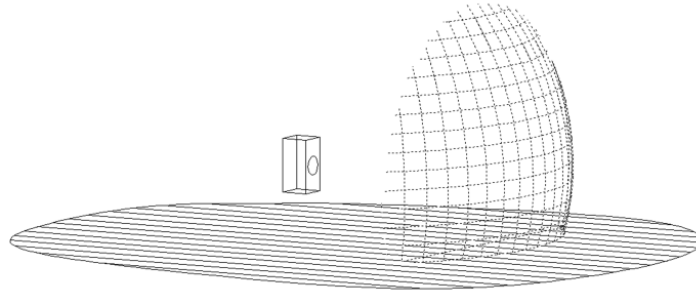


Fig. 1 Measurement Plane

CONEQ Workshop のソフトウェアには広帯域 (0Hz-24KHz, 0Hz-48KHz) テスト・シグナルが備わっています。これをオーディオ・システムに入力してスピーカから出てくる音を測定します。測定はテスト・シグナルを再生しながらマイクをスピーカの近傍（その距離は、スピーカのサイズと部屋の大きさで異なる）で前面を囲むように左右に動かし、上から下までゆっくりと移動します。壁や床、天井があればその近くまでマイクを近づけます。これを Fig. 1 に示します。この 400 点余りの測定が約 2 分で完了します。

その結果を元に CONEQ Workshop のソフトウェアで、スピーカが放つ音響パワー周波数特性を計算します。Fig. 2 がその例です。ここで、測定時の周波数解像度は 16384 バンド（1.47Hz ごと）で、計算結果は 4096 バンド（5.86Hz ごと）になります。

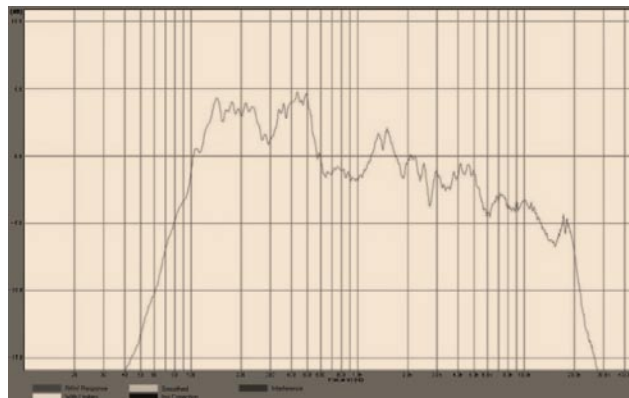


Fig. 2 Raw Acoustic Power Data

Fig. 3 は測定した音響パワー周波数特性に、補正の最大量を決めるリミッタをかけ、若干スムーズにした後、上下を反転した物です。この様な特性を持つフィルタを作れば、与えられたスピーカの音響パワー周波数特性を完璧にフラットにすることが出来るはずです。それを実現するには FIR (Finite Impulse Response) フィルタが使われます。具体的には、Fig. 3 の特性を実現する FIR フィルタを数学的に合成し、そこで得られた係数を DSP や FPGA 等のプロセッサにロードして、リアル・タイムに計算を行います。

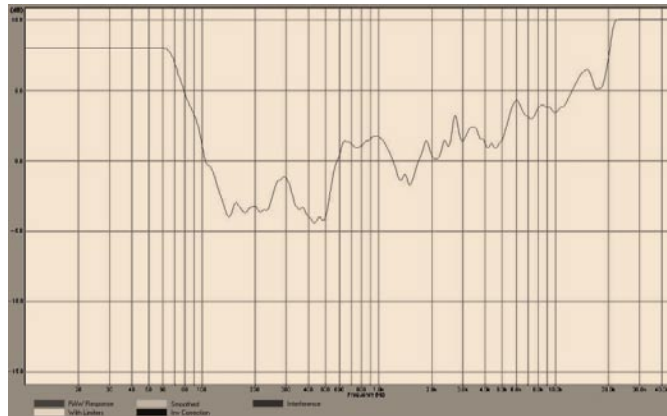


Fig. 3 Smoothed and Inverted Data

FIG. 3 のデータをベースに CONEQ でイコライズすると、音響パワー周波数特性は Fig. 4 のようにほぼ完全にフラットになります。イコライジングの誤差は、全帯域で完全フラットの 0 dB ラインから大体 ± 0.5 dB 以内に入っています。ただしスピーカの低音特性が悪い場合、100Hz 以下で誤差が増える事があります。この例では、スピーカは 70Hz 辺りまで充分なレスポンスがあります。また再生可能最大周波数もスピーカの高域特性に左右されます。

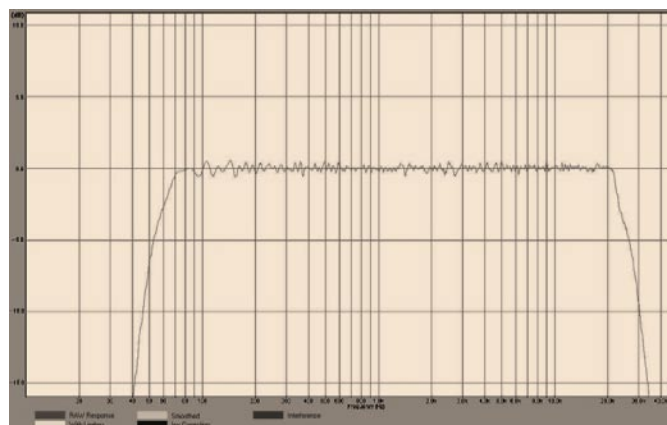


Fig. 4 CONEQ Equalized Acoustic Power Response

Real Sound Lab では APEQ-2Pro (写真下) と言う、強力な FPGA を使い 2 X 4096 バンドの FIR フィルタを実行する、プロ・オーディオ用 CONEQ ハードウェアを作っています。APEQ-2Pro は、CONEQ Workshop で得られた反転特性フィルタの確認テストに使われます。



APEQ-2Pro

実際の民生用機器では、FPGA、DSP、ASIC のいずれかを使って CONEQ を実現します。イコライジング精度は 128、256、512、1024、2048、4096 バンドのうちから用途に応じて最適なものを選びます。例えば、ハイエンド・オーディオであれば 4096 バンド、TV なら 256 から 1024 バンド、ポータブルなパーソナル・オーディオであれば 256 バンド等です。

CONEQ Workshop を科学的な測定器として使う場合は、最高精度 65,536 バンドまでの精密測定が可能です。



CONEQ™ その他の応用と特長

タイム・アライメントと位相の補正

CONEQは音響パワー周波数特性だけでなく、システムのタイム・アライメントと位相の補正も行います。

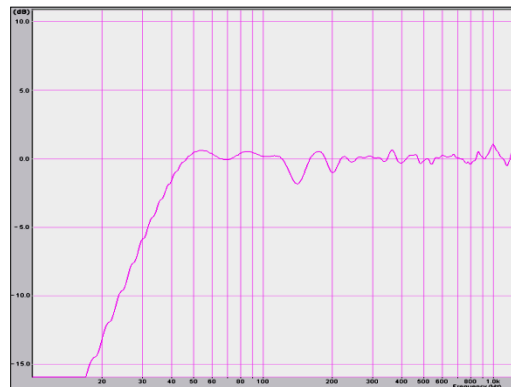
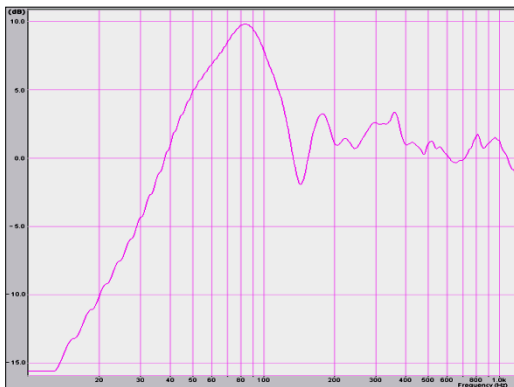
オーディオ信号が通るフィルタ類、アンプ、クロス・オーバ、スピーカ・ユニット、スピーカ・グリル、それにスピーカの配置（レイアウト）は全て位相特性を持ち、最終的な音のタイム・アライメントを狂わせます。タイム・アライメントのエラーは、音を滲ませ、トランジェント特性を劣化させます。

CONEQはこの問題を完全しかも自動的に解決します。CONEQでイコライズされたシステムは、完璧にタイム・アライメントと位相が補正されています。

超低音のイコライジング

CONEQは超低音のイコライジングにも大変有効です。従来、超低音のイコライジングは、測定そのものの読みが不安定な事と、精度が充分でないために不可能に近い状態でした。またイコライズも、超低域で多バンドの狭帯域フィルタを作る事が極めて困難でした。CONEQは従来不可能であったサブウーハ・レンジのイコライジングを可能にしてくれます。その精度は4096バンドの場合約6Hzで、0-100Hz間で約20バンドの調整ができます。

写真左は、部屋の音響環境の影響で80Hz辺りが大きくブーストされた、サブウーハのレスポンスです。右の写真は、超低域がCONEQで中高域と全く同じレベル(0dB)に正確にイコライズされた結果です。

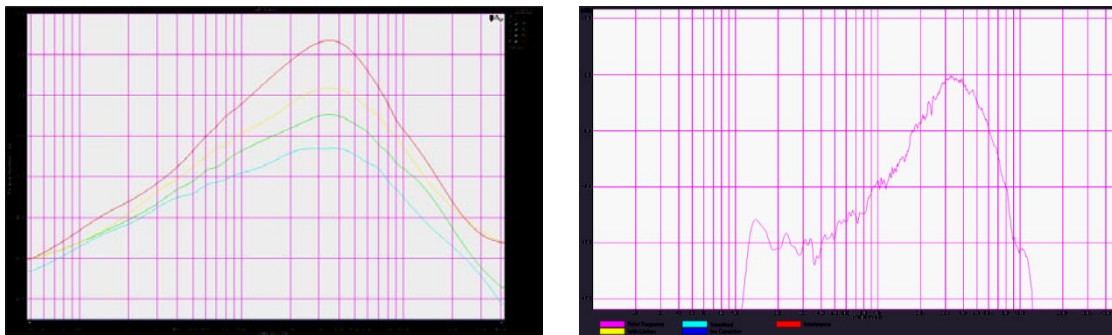


HA (Hearing Aid) 難聴者モード

CONEQはターゲット・カーブを与え、HA (Hearing Aid) 難聴者モードを設定することが可能です。難聴者、特に高齢者は高域の聞こえ方が極端に悪くなります。4-5KHz あたりで低域に比べ聴力が-30 から-50dB も落ちるとされています。CONEQはその様な要求を満たすターゲット・カーブを使い、難聴者に聞きやすい音を作ることが出来ます。

例えばTVやラジオ等にHAモードを載せれば、難聴者は補聴器無しにTV番組を見る事や、音楽を高音質で楽しむ事が出来ます。その音質の良さは、補聴器とは比べ物になりません。また、明瞭度が上がった分音量を上げなくて済み、近所迷惑の防止にもなります。

下図の左はHAモードのターゲット・カーブの例です。難聴の度合いにより、最適なカーブを選びます。そして右は、実際のスピーカの音響パワー特性をCONEQでHAモードのターゲット・カーブに合わせた例です。この様な極端なハイ上がりの特性を持った音が、難聴者には丁度フラットに聴こえるのです。



注：実際にCONEQがHAモードとして使うターゲット・カーブは最新の研究結果によるもので、ここに挙げた例とは異なります。

スピーカ・アレー

限られたレイアウトの中で、音響出力を上げ低音を得る目的で、小型スピーカを数多く並べたスピーカ・アレーが使われます。ところがスピーカ・アレーは、それぞれのスピーカが複雑に干渉して特殊な指向性パターンを作ります。しかもそのパターンは、周波数によって細かく変化します。そのため往々にして音像の乱れや音質の劣化を招きます。これは、従来のイコライジング方法では補正が不可能です。その理由は、干渉で出来る凹凸を広い角度で測定し、細かい周波数ごとに緻密にイコライジングする事が出来ないからです。

CONEQはこの問題を簡単に解決します。アレーの形状は、縦、横、斜め、或いはその組み合わせであっても全く構いません。CONEQは約3Hzの精度で音の分析を行い、スピーカ・アレーから放たれる音のエネルギーを完全にフラットにします。これによりスピーカ・アレーから、音像の安定した高音質を得ることが出来ます。

デザインの自由度

工業デザインや構造設計がオーディオに悪い影響をもたらす場合でも、CONEQはその問題をほぼ完全に解決します。

近年の薄型TVやラジオは、製品の工業デザインが優先し、スピーカの位置や形状、サイズ、フロント・グリルの処理等が、音響的に不利になっている場合がほとんどです。構造設計でも、コスト低減からエンクロージャーを省略したり、キャビネットの後ろが放熱の為に開放に近い状態になっていたり、全てのスピーカを同じ方向に向けられない場合など、音響的な問題が多くあります。これまではオーディオ・エンジニアが少ないバンド数のイコライザを苦労しながら調整したり、特別に作ったフィルタを挿入する等して製品の音質改善に努力して来ましたが、そこには自ら限界がありました。しかも、イコライザやフィルタを使うと、出てくる音の位相特性とタイム・アライメントが狂って来ます。これにより、また別の音質的問題が発生します。

CONEQを使うとその様な工業デザインや構造設計を変えることなく、音響出力パワーを容易に、しかも短時間に、完全にフラットにする事が出来ます。そして、位相やタイム・アライメントも完璧に補償されます。

CONEQによる音周りの開発期間の大幅な短縮と、失敗を確実に回避出来る事、そして与えられたアンプとスピーカとキャビネットを使った最大限の音質改善が行える事などは、オーディオ・エンジニアにとって大きな助けになります。

一方、工業デザイナーにとっては、デザインが音に与える影響をあまり気にせずに、自由な仕事出来るメリットがあります。

TV

CONEQのTVへの応用は、上記のデザイン上の自由度が大きくなる事に加え、比較的安価なスピーカから可能な限りの音質改善が期待出来、経済性も向上します。将来性、そして将来使われるであろうあらゆるタイプのドライバーやセット・アップにも対しても複数のターゲット・カーブを準備する事により、ユーザーが状況に最も適した音のモードを選ぶ事ができます。

カー・オーディオ

CONEQは、カー・オーディオの音質改善にも最適です。カー・オーディオは、部屋の体積が小さい事、特殊なスピーカ・レイアウトと極端なリスニング・ポジション、そしてその特異な車内形状など、音響的に極めて難しい条件を伴っています。多くの場合、ウーハ、ミッド・レンジ、ツイータがオフセットしてレイアウトされており、周波数特性だけでなく、位相とタイム・アライメントも大きく狂ってきます。これ等の問題を、従来のイコライザやフィルタで補正するのはまず不可能です。

CONEQは、与えられた体積内の“音響パワー体積密度周波数特性”を測定し、それを完全にフラットに補正すると同時に位相とタイム・アライメントを正しく合わせます。その結果、その体積内の音が原音に限りなく近くなり、車内のどこに座っても同様の高音質で音を聴く事が出来ます。勿論CONEQは、サラウンドやサブ・ウーハにも使えます。(詳細はカー・オーディオのホワイト・ペーパーをご覧ください。)

音響パワー周波数特性の追加補償 (PD カーブ)

CONEQ の基本はあくまでもフラットな音響パワー特性です。CONEQ で補正されたスピーカで聴く音は、ソースそのものの音で、スタジオ等で録音された音を客観的に確認するには極めて重要です。

しかし民生用のシステムでは、音響パワー周波数特性を完全にフラットにすると、ソースの録音の良否、スピーカのグレード、部屋の状況などで、場合によっては高域がきつく聞こえる事があります。その様な場合には、Real Sound Lab が CONEQ と併用する目的で開発した補償カーブ (PD カーブ) をターゲット・カーブとして使います。

PD カーブは、平面波音場と拡散音場での人間の持つ音響感覚の特性を考慮して作られた、音響補償カーブです。CONEQ で音響パワー特性を一旦完全にフラットにした後 PD カーブを加える事により、明瞭度とメリハリを保ちながら聴きやすいスムーズな音質が得られます。

PD 補償はハイエンド・オーディオのようにスピーカから離れて聴く場合や、カー・オーディオのようにデフューズ・フィールドが支配的な場合には効果的です。(詳細は PD カーブに関する Tech Note をご覧下さい。)



© January 19, 2010