

G4※- DEQX に関する White Paper (全文)

※ Generation-4 (第四世代)

FIR 処理による時間・位相・周波数領域の補正

1. はじめに

ハイファイ再生における根本的な課題は、スピーカーおよびリスニング環境が他の再生機器に比較して著しく大きな歪みを生じさせる点にあります。

高級なスピーカーでも時間特性や位相特性、周波数応答の誤差が他の再生機器よりも 1~2 桁上回ります。

これらの誤差は以下のように現れます：

- トランジェントのにじみ（時間的なぼやけ）
- 高調波のずれ
- 音像定位の劣化
- 音楽的なディテール（細部）の減少

これらは機械的なトランスデューサーの限界や部屋の音響的な条件で発生するため電子機器のアップグレードやパッシブクロスオーバーの最適化では解決できません。

DEQX は、信号経路の透明性を保ちながら、スピーカーの物理的および時間的特性をデジタル補正することでこれらの問題に対応します。

2. 従来型スピーカーの限界

スピーカーは周波数に依存したグループディレイを持ち、帯域間で時間的な整合が崩れます。

また、パッシブクロスオーバー回路はフィルター構成や部品誤差に応じて変化する位相回転を生じます。

従来方式の主な制限

- パッシブスピーカーは時間整合や位相整合を補正できない
- アナログ EQ は振幅特性のみを補正し、時間領域の誤差を補正できない（多くの場合、振幅補正の過程で時間誤差を増大させる）
- 従来の DSP アクティブスピーカーは最小位相 IIR フィルターを使用し、振幅補正は可能だが位相歪みを伴う

その結果生じる時間的にじみは、

- 音像に対する精度の低下
- トランジェント（過渡応答）精度の劣化
- サウンドステージの不安定化
- 中域の明瞭度低下

などを引き起こします。

スピーカーは依然としてオーディオ再生系における最大の歪み要因なのです。

3. FIR 処理技術

DEQX Generation 4 は、高解像度 FIR (Finite Impulse Response) 処理を、マルチコア 64bit アーキテクチャで実装しています。

従来の 32bit DSP から 64bit マルチコア処理へ移行したことで、FIR フィルターの実装における計算処理能力は約 100 倍に向上しました。

FIR 処理で同時に補正できる要素

- 周波数振幅特性
- 位相特性
- 時間整合

早く到達する周波数成分に対して制御された遅延を与えることで、FIR フィルターは最小の位相特性を回復させます。

これはアナログ処理や従来の IIR デジタルフィルターでは全く不可能なことです。

この手法により以下の問題を解決します：

- クロスオーバー起因の位相歪み
- ドライバーの機械的・音響的・時間的な不整合
- ユニット重複帯域の周波数特性的な乱れ
- グループディレイの変動による時間的にじみ

4. アクティブスピーカー・アーキテクチャの進化

DEQX Active は第 3 世代アクティブスピーカー技術に位置づけられます。

急峻なリニアフェーズクロスオーバーを採用し、各ドライバーを最適な動作範囲に保ちながらクロスオーバーに由来する位相歪みを排除します。その後、各ドライバーのインパルス応答を個別に校正します。

スピーカー補正における世代比較

世代	技術	タイミング補正	位相	特徴
第 1 世代 (1970 年代)	アナログアクティブ	なし	なし	タイミング補正不可
第 2 世代 (1990 年代)	DSP IIR (最小位相)	部分的	歪みあり	位相歪みを伴う
第 3 世代 (1998 年～)	DEQX FIR (リニア位相)	完全	リニア	時間正確・位相整合

DEQX Active の特徴

- 急峻なリニア位相によるクロスオーバー (24~60dB/oct)
- ドライバー単位での時間的な整合
- インパルス応答特性の補正
- 低歪 DSP 信号チェーン

5. 統合ルーム補正

DEQX は段階的に補正を行います。

1. まずスピーカー特性を補正
2. その後に部屋の音響的な補正を実施

これにより、ユニットの特性、位相誤差、インパルス歪みをトランスデューサーレベルで解消した上で、部屋特有の補正を行います。

ルーム補正の効果

- 減衰特性の最適化
- 初期反射エネルギーの低減
- 低域の一貫性向上
- 空間定位の改善

6. DSP 実装と透明性

真に透明なデジタル処理を実現するには、変換・演算全体で極めて低ノイズかつ高い直線性が必要です。

Generation 4 DEQX では以下を実装しています

- マルチコア 64bit FIR 演算（旧モデル比 約 100 倍の計算能力）
- 超低ノイズ ADC
- 高直線性 DAC
- ジッター最小化クロック設計
- 高速内部データパス

その結果、デジタルアーティファクト※を知覚できない信号経路を実現し、ソースやアンプの特性を保持しつつ、スピーカーおよびルーム由来の歪みを除去します。

※ デジタル処理によって生成されるデータの望ましくない結果の総称

7. 技術的優位性

7.1 包括的補正領域

一般的なルーム EQ は最小位相補正のみ（振幅のみ）ですが、DEQX は時間・位相・周波数を同時補正します。

7.2 ドライバー単位測定

従来のデジタル補正はスピーカー全体を合成出力として測定しますが、DEQX は各ドライバーを個別に測定して補正します。

7.3 リニア位相による改善

- トランジェント精度の向上
- 音場の奥行きと広がり感の向上
- タイトで明瞭な低音の実現
- 精確な音像定位

7.4 信号チェーン全体最適化

部屋の寸法やスピーカーの配置、クロスオーバーやアンプ特性などを「統合モデル化」し、システム全体を最適化します。

7.5 加算ではなく補正

DEQX は音を「付け加える」のではなく、既存の歪みを除去します。ソースや機器の個性を変えるのではなく、機械的・音響的干渉を排除します。

8. 聴感上の効果

時間と位相、周波数特性の補正によって以下が改善します：

- 立体的な音像の精度
- 定位の安定性
- トランジェントのリアリズム化
- 音色バランスの精度
- ダイナミックレンジ
- 微小信号の解像度
- 全体的な再生音のリアリズム

9. 結論

DEQX は従来技術では不可能だった以下を実現します

- ユニット毎の完全な校正
- 全体域の時間的な整合
- リニア位相のクロスオーバー
- インパルス応答特性の補正
- 段階的なスピーカー補正とルーム補正の実施
- 透明な ADC と DAC
- FIR による時間軸特性の回復

DEQX は音楽の整合性を損なう、機械的・時間的な歪みを除去し、再生精度を客観的に向上させます。