

デジタルカーオーディオシステム “ α 777 シリーズ”Digital Car Audio System “ α 777 Series”

鈴木 雅 博 ⁽¹⁾ Masahiro Suzuki	野 口 哲 宏 ⁽²⁾ Tetsuhiro Noguchi	萱 原 佳 徳 ⁽³⁾ Yoshinori Kayahara
渡 邊 栄治郎 ⁽⁴⁾ Eijirou Watanabe	澤 井 利 仁 ⁽⁵⁾ Toshihito Sawai	上 月 秀 明 ⁽⁶⁾ Hideaki Kouzuki

要 旨

当社は1989年10月に、世界初の車載用DSPサウンドプロセッサ α 5000Pを製品化した。以来、DSPサウンドプロセッサは、限られた空間である車室内に“拡がり感”や“臨場感”溢れる高品質な音場再生を実現し、カーオーディオの地位を高めてきた。

現在DSP技術は、カーオーディオ市場で一般化しつつあるが、必ずしも評価の高いものばかりではない。この要因として、ハードによる制約や実際の音場の拡がり感等を表現するために、やや無理な音作りを行っていること、ユーザが最適な音場を得るための操作、調整が複雑なことなどがある。

1992年2月に発売した、DSPサウンドプロセッサ α 777PHAを核とする“ α 777シリーズ”は、より高品質な音場再生と、その土台である高忠実度再生を実現するとともに、操作性にも着目し、光ファイバーによるデジタル伝送を始め、多くの新技術、新機能を採用した。

In October 1989 FUJITSU TEN produced the first DSP sound processor α 5000P for vehicle in the world.

The DSP sound processor reproduces high quality sound field creating the “presence” of sound inside the vehicle. This state-of-the-art of sound generation increases the value of car audio. However, not all DSP technologies are valued highly, because sound generation is not totally natural due to the limitation of hardware and software in making the actual sound “presence”. Another factor is contributed by the very complex operation and alignment involved to optimize the sound field.

In February 1992, FUJITSU TEN released the α 777 series along with the Digital Sound Processor α 777PHA as its core. This series, aside from its easy operation, has high quality sound field reproduction which is the base of high quality sound. The α 777 series adopted many different technologies and new functions including digital transmission through optical fiber.

(1)、(2) AVC本部システム開発部、(3)～(6) AVC本部第二技術部

1. はじめに

CDが登場して10余年の間に、DAT、衛星放送などの音楽ソースや、DSPによる音場創成に代表される、デジタルオーディオが一般化してきた。今後、カーオーディオの分野でも、MD、DCCの登場で、ますますデジタル化が進行し、フルデジタルシステムの実現もそう遠くないと思われる。

当社は、他社にさがけデジタルオーディオ機器の開発に取り組み、世界初の車載用CDプレーヤ（トヨタ自動車㈱と共同開発）やDSPサウンドプロセッサなどを製品化し、市場でも高い評価を得てきた。

1992年2月、我々はデジタルカーオーディオシステム“ α 777シリーズ”を開発した。このシステムでは将来のフルデジタルシステムの実現に向け、高級カーオーディオ機器として十分な性能を確保すべく、可能な限りオーディオ信号のデジタル化を図った。また、本格的な高忠実度再生に応えるパラメトリックイコライザを自動補正するオートイコライジング、初期反射音と残響音を最適値に自動補正するオートチューニングなどを搭載し、操作性の向上も実現した。

本稿では、 α 777シリーズの開発のねらいとシステムの特徴および搭載した主要技術についてその概要を述べる。

2. 開発のねらい

本シリーズの開発にあたり、以下のコンセプトを設定した。

2.1 音質重視

システムを構成する各機器の音質向上を図るとともに、システムの組合せによる音質への影響を

最小限に抑え、トータルでの高音質を実現する。

さらに、車室内の周波数特性に着目し、車室内音響特性の改善をより完成度の高いものとする。

2.2 システムの多様性

段階的なシステムアップが可能で、多様なユーザーニーズに対応できる。さらに、従来のアナログ機器との接続も可能とする。

2.3 簡単操作

高級システムの多機能を簡単な操作で実現することにより、ユーザが活用し易い機能とする。

これらを実現したシステム構成とその特徴を次に述べる。

3. システム概要

3.1 システム構成

図-1に、 α 777シリーズのシステム図を示す。

ハイダウエイタイプのDSPサウンドプロセッサ（ α 777PHA）は、従来の音場制御に加えパラメトリックイコライザ機能も搭載している。また、DSP拡張カートリッジ（ α 777ROM）を挿入することにより、パラメトリックイコライザのバンド数のアップ、グラフィックイコライザへの切り換えなどの機能アップが可能である。コマンド（ α 777R）は、このDSPサウンドプロセッサの全機能の操作とともに、CDオートチェンジャ、チューナおよびオーディオの各コントロール機能を持つ。

図中の＝線がF-BUS通信ライン、===線が光ファイバーによるオーディオ信号のデジタル伝送ラインである。

3.2 システムの特徴

3.2.1 デジタル光伝送方式

本システムでは、オーディオ信号の伝送に光ファイバーを用いた光リンク（オプティカルデジタル

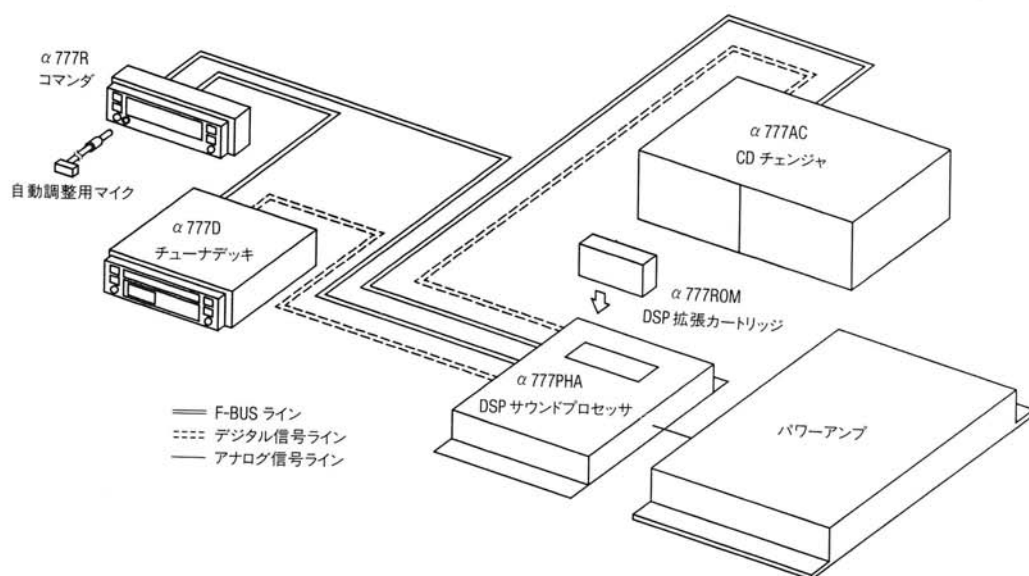


図-1 α777シリーズシステム図

Fig.1 System chart of α777 series

表-1 伝送方式による性能比較

		従来方式 (アナログ信号による伝送)	新方式 (光ファイバによるデジタル伝送)
性能	全高波歪率	0.08%	0.006%
	S/N 比	90dB	108dB
	周波数特性	20Hz~20kHz ±1dB	20Hz~20kHz ±1dB
	耐ノイズ特性	×	○
システム構成		CD プレーヤ	CD プレーヤ

条件) ・ CD プレーヤを再生した場合の性能である。
 ・ 当社システム比較による。

リンク) によるデジタル光伝送方式を採用してシステムでの高音質化を図った。

従来の RCA コードによるアナログ伝送方式では CD と DSP ユニットのシステムを構成する場合、CD ソースのデジタル信号を一度アナログ信

号に変換 (D/A 変換) して伝送し、DSP ユニット内では再度アナログ信号をデジタル信号に変換 (A/D 変換) して DSP 処理を行っている。

本方式では、CD ソースのデジタル信号をダイレクトに DSP ユニットに伝送することにより変

換ロスを排除した。

また、デジタル光伝送方式は車室内の電気ノイズの影響を全く受けない、リニアリティの高い再生を可能としている。

表－1に、伝送方式の比較を示す。

3.2.2 音響特性の改善

DSPサウンドプロセッサに従来の音場制御に加えパラメトリックイコライザを搭載し、車室内周波数特性のピーク、ディップを補正することにより本格的な高忠実度再生を可能にした。

さらに、音場制御における残響音密度を高め、より自然に近い残響音を実現した。また、リアミックス方式の採用によりリア席での違和感を改善し音質向上を図った。

3.2.3 自動補正機能

音場制御やパラメトリックイコライザは、正しく調整して始めてその効果を発揮する。

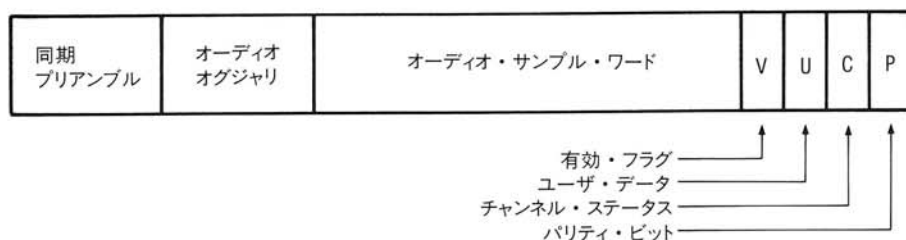
本システムでは、コマンドに内蔵のマイクロフォンあるいは外部マイクロフォンにより、これらの自動補正がワンタッチで可能であり、高度な機能を簡単な操作で使いこなせるものとした。

以下、これらの技術について詳細を述べる。

4. デジタル伝送技術

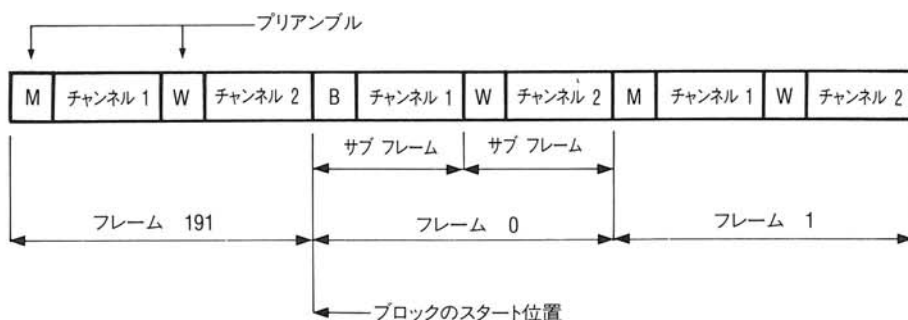
4.1 伝送システム

α777シリーズで採用したデジタル伝送システムは、一般的なCDプレーヤやDAT、BSチューナなどのデジタル出力と同じく、日本電子機械工業会規格（EIAJ）のCP-340“デジタルオーディオ・インターフェース・フォーマット規格”のタイプⅡに基づいている。フォーマットは図－2、図－3に示すサブフレーム、フレーム、ブロックから構成されている。



図－2 フレームのフォーマット

Fig.2 Data format of flame



図－3 サブフレームのフォーマット

Fig.3 Data format of sub-flame

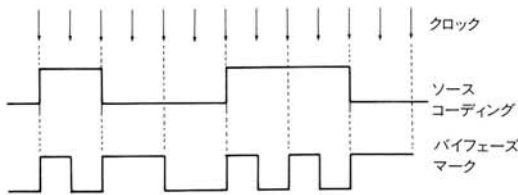


図-4 バイフェーズ・マーク方式
Fig. 4 Bi-phase mark system

送信される信号は、図-4のようにソースのシリアル信号に変調をかけたバイフェーズ・マーク方式で伝送され、その速度はC Dで2.8224MHz、D A Tはサンプリング周波数48KHzの時、 $48K \times 32\text{Bit} \times 2\text{ch} = 3.072\text{MHz}$ 、約3 Mbit/秒 (N R Z符号では6 Mbit/秒) となっている。

$\alpha 777$ シリーズでは、これら高速のデジタル信号を“1” “0”のLEDの点滅に変換して、光ファイバーで伝送する光リンク方式を採用している。光リンク方式は前に述べたように、外来ノイズの影響を受けず高品質な情報伝達が可能で車室内で最適な方式といえる。

光ファイバーの基本構造は図-5に示すように屈折率の大きい $\phi 0.97\text{mm}$ のコア材を屈折率の小さな $\phi 2.0\text{mm}$ のクラッド材で包み、その周囲をシースと呼ばれる外被で保護する構造となっている。一端から入射した光は屈折率の異なるコアとクラッド

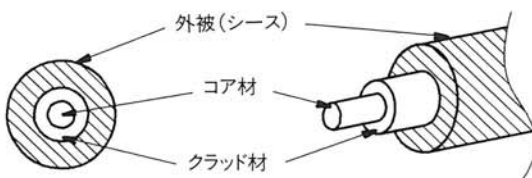


図-5 光ファイバーの構造
Fig. 5 Structure of optical fiber cable

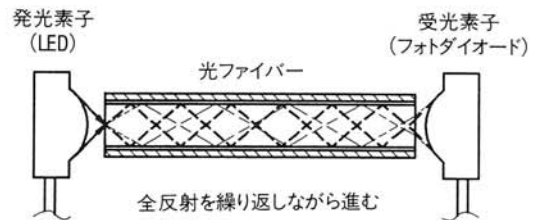


図-6 ファイバー内部での伝送の様子
Fig. 6 Optical transmission aspect inside of fiber cable

の境界を図-6のように全反射を繰り返しながら伝送される。しかしながら、光ファイバーによる伝送方式は同軸ケーブルによるデジタル伝送方式に比較しジッター (信号波形の時間軸方向の揺らぎ) が発生しやすい。

4.2 ジッター対策

光ファイバー伝送におけるジッター発生の主要因として、次の2つを挙げることができる。

1) コネクタ部の光軸ずれ

現在、車載用、家庭用で広く使われている光ファイバー用コネクタは、図-7のように嵌合部の凹凸によってコネクタ抜けを防止するフリクション構造となっている。しかし、この嵌合部のロック構造は必ずしも完全とはいえない。光ケーブルが振動すると光コネクタも動くため、図-8のよう

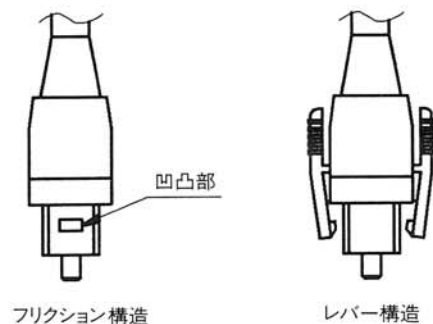


図-7 コネクタの構造
Fig. 7 Structure of connector

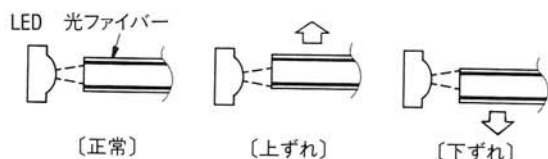


図-8 コネクタの嵌合による影響
Fig.8 Influence by connector lock up

に光軸ずれが発生し、それに合わせて受信光量も変化して変調されジッターが発生する。

2) 曲げによる光量変化

光ファイバーは真っ直ぐに使用されるのが最も望ましいが、実際に車室内で 사용되는場合、ある程度の曲がりには避けられない。光ファイバー内の伝送は前述のように全反射を利用している。全反射はコアとクラッドの境界面への入射角が臨界角より小さい場合のみ成立する。したがって、光ファイバーの曲がった部分で入射角が臨界角より大きくなってしまうと、光が境界面では全反射しなくなりクラッド層に透過して光量が低下する。この状態でケーブルに振動が加わると曲げ率が変化し、クラッド層に透過する透過率も変化するため、結果的に受信光量が変化して変調されジッターが発生する。

このように発生したジッターは、結果的に、伝送先の各種D/Aコンバータなどのクロックにもジッターを発生させ、D/Aの変換タイミングを乱し音質に大きな影響をおよぼす。

$\alpha 777$ シリーズでは、①高速光リンクコネクタの採用と、②光ファイバーコネクタ部の耐振性向上に着目してジッター対策を行った。

今回採用した光コネクタは、図-7のように受信モジュールと光コネクタが確実に結合する、車載用初のレバーロックタイプである。この構造は

光軸ずれによるジッターの発生を防ぐだけでなく車特有の振動による光コネクタの抜け防止にも効果的である。また、受信側（ $\alpha 777$ PHA）の受信モジュールコネクタにも、他の車載用オーディオ機器にさきがけてEIAJ規格の高速光リンク用コネクタを採用した。

これにより、ジッター性能の向上はもちろん、ホーム用オーディオ機器に普及しているフリクションロック構造の光コネクタとの接続も可能となった。すなわち、CDやDATを始め、今後市場にでてくるであろうMDやDCCなど、EIAJ規格の光デジタル出力を装備したポータブル機器との接続も容易に可能となった。

4.3 チューナデッキのデジタル対応

本シリーズのヘッドユニット（ $\alpha 777$ D）には、世界で初めてA/Dコンバータを内蔵し、光デジタル伝送に対応することにより、外来ノイズの混入を排除した。

デジタル音声信号は外来ノイズに対しては強いが、他の回路から見るとデジタル音声信号そのものがノイズである。よってA/Dコンバータを内蔵することは、ヘッドユニットの中にノイズ発生源を内蔵することになり、チューナ部に特に大きな悪影響をおよぼす。

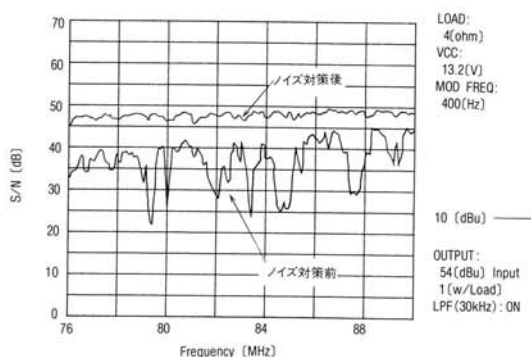


図-9 FM弱入力時S/N特性
Fig.9 S/N Curve on weak signal(FM)

$\alpha 777D$ ではチューナ部への影響を極力小さくするため、A/Dコンバータ部を本体から独立したユニットにしてシールド効果を高めるとともに、チューナ部より離れた本体後部へ取り付ける構造とした。また、A/Dコンバータ部に専用の独立電源を設け、さらに部品配置や配線パターンの改善、EMI部品の厳選使用など種々のノイズ対策を施すことにより、図-9に示すように、チューナ部の性能を劣化させることなくA/Dコンバータの内蔵を実現した。

5. 車室内音響特性の改善

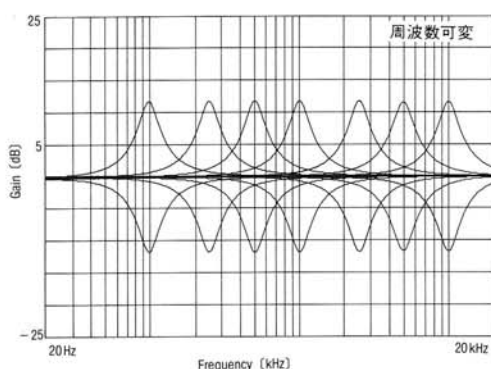
5.1 車室内の音響条件

車室内の音響条件について、一般のリスニングルームと比較すると以下の問題点がある。

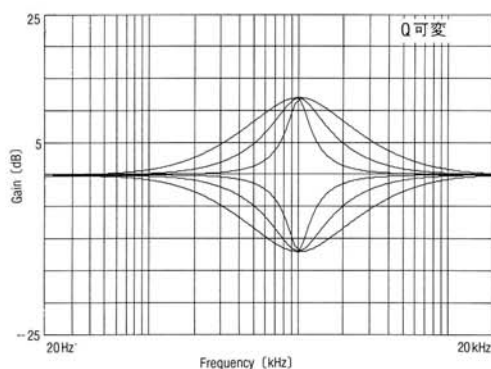
- ① 聴取位置が左右のスピーカに対して非対称となり、最適ステレオ感が得られない。
- ② 残響時間が短く「響き」が少ない。
- ③ 内装材に、固いもの柔らかいものが混在しており、反射音の到来が不自然になる。
- ④ 取付条件に制約があり、大口径のスピーカを取り付けにくく、低音が不足しやすい。
- ⑤ 車室内の容積、形状に起因する固有振動周波数の分布が数十Hzから数百Hzに及び、音響伝送周波数特性にピーク、ディップが生じる。

これらの問題点のうち、①～③は従来からDSPサウンドプロセッサで行っているセンタースピーカの追加（非対称の補正）と初期反射音、残響音（臨場感、奥行き感）を付加する音場制御技術で、④はサブウーファによる3Dシステムで解決している。

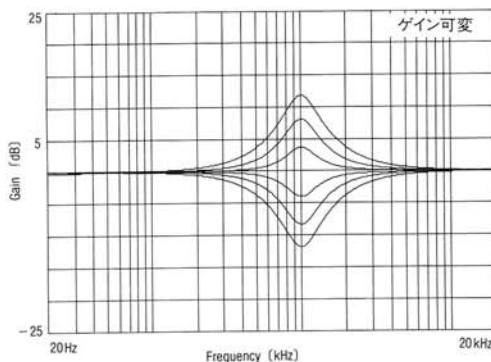
問題点⑤については、取り付ける車種の音響伝送周波数特性に応じた補正を行う必要がある。市



(a) 中心周波数 F_c 可変



(b) 鋭度 Q 可変



(c) ゲイン G 可変

図-10 パラメトリックイコライザ特性

Fig.10 Parametric EQ Curve

販商品では、あらかじめ取り付けられる車種やスピーカシステムが限定できないため、補正手段としてDSPによるパラメトリックイコライザ技術を開発しα777PHAに搭載した。

5.2 パラメトリックイコライザ

5.2.1 パラメトリックイコライザの概要

車室内の音響伝送周波数特性は、非常に複雑なピーク、ディップを持つ。

従来は、多分割のグラフィックイコライザでこの特性を補正していたが、グラフィックイコライザではあらかじめ中心周波数(F_c)や鋭度(Q)が固定されており、十分な補正ができない。

パラメトリックイコライザはグラフィックイコライザと異なり、図-10(a)(b)(c)に示すように、補正する F_c 、 Q およびゲイン(G)をそれぞれ任意に設定できる特徴がある。

5.2.2 パラメトリックイコライザの実現方法

パラメトリックイコライザをDSPで処理するため、図-11に示す二次のIIR型フィルタを採用し、必要なバンド数分をカスケード接続することで実現している。

IIRフィルタの各係数は、必要とするイコライザの F_c と Q 、 G から以下に示す計算式で求めることができる。

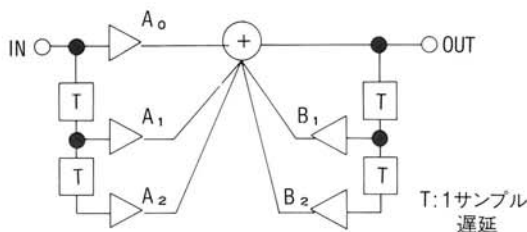


図-11 2次IIRフィルタ

Fig.11 2nd IIR filter

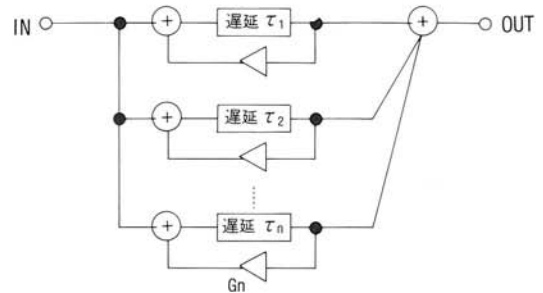


図-12 コムフィルタブロック

Fig.12 Comb filter block chart

$$G_p = \sqrt{G}, \quad G_m = 1 / G_p$$

$$\omega_o = \tan(\pi \times F_c / F_s)$$

$$P = 1 + G_m \times \omega_o / Q + \omega_o^2$$

$$A_0 = 1 + (G_p - G_m) \times \omega_o / (P \times Q)$$

$$A_1 = (-2 + 2 \times \omega_o^2) / P$$

$$A_2 = 1 - (G_p + G_m) \times \omega_o / (P \times Q)$$

$$B_1 = (-2 + 2 \times \omega_o^2) / P$$

$$B_2 = -(1 - 2 \times G_m \times \omega_o) / (P \times Q)$$

以上の計算で求めた係数値をマイコンからDSPへ転送設定することにより、必要とするイコライザカーブが得られる。

5.3 音場制御

音場制御システムの基本的な紹介は既刊の技報ですでに述べられている。したがって、本稿では本システムの特徴に絞って紹介する。

5.3.1 残響音質の向上

残響音の基本生成方法は、図-12に示すコムフィルタを複数段接続することで実現している。

ここで、各コムフィルタの遅延時間(τ_n)とフィードバック係数(G_n)の値を最適化することにより、残響密度の低下とカラレーション(周期性)を目立ちにくくした。

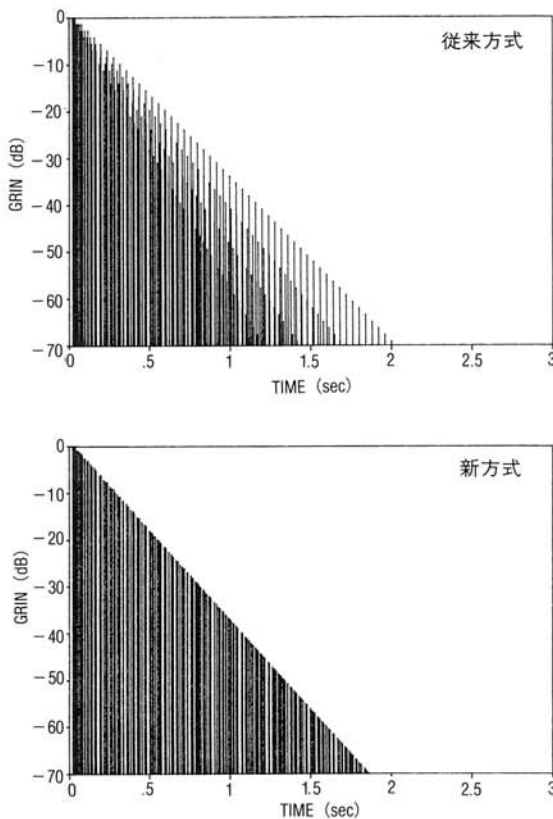


図-13 コムフィルタ インパルス応答
Fig.13 Impulse response at comb filter

図-13にコムフィルタブロックにおけるインパルス応答のシミュレーション結果を示す。従来と比較すると、残響密度が増加していることがわかる。この結果、残響音の音質が向上し、より自然に近い残響音を得られた。

5.3.2 “リアミックス”の追加

従来、車室内で音場を再生する場合、直接音はフロントスピーカとセンタースピーカから、初期反射音は主にセンタースピーカから、そして残響音はリアスピーカから出力していた。このため、リア席では残響音主体の音となり、明瞭度の低い違和感のある音となっていた。

本システムの音場制御では、リアスピーカから

も直接音を再生することでこの問題を解決した。聴感実験の結果、標準値として直接音を残響音より約10dB低く設定した。また、直接音は標準値を0dBとして-70dB～+10dBの範囲で調整可能である。

6. 自動補正

6.1 自動補正システムの概要

今回開発した自動補正システムは

- ① 音場制御における初期反射音と残響音のレベルの最適化。(オートチューニング)
- ② 車室内の音響伝送周波数特性の補正。(オートイコライジング)

を、従来のオーディオ再生システムを応用して、簡単な操作によって自動的におこなおうとするものである。つまり、個々の車両特有の癖を自動補正したのち、若干のマニュアル調整により個人の好みの音色に味付けする使い方を提案するものである。

図-14に自動補正システムのブロック図を示す。

車室内の音響特性を測定するために、DSPから基準信号を発生し、D/Aコンバータ、アンプを介してスピーカから出力する。つまり、基準信号は通常のオーディオ信号と全く同じ流れで再生される。

つぎに、車室内に設置されたマイクロフォンから得られた信号をA/D変換後DSPに入力し、これを解析して目的とする補正を行う。

6.1.1 基準信号の生成

DSPを用いてランダムノイズを発生させ、四次のIIR型デジタルフィルタで構成されたピンクノイズフィルタを通過させる。これにより、各オクターブバンドに於いて一定のエネルギーをもつピンクノイズを生成し、これを基準信号とし

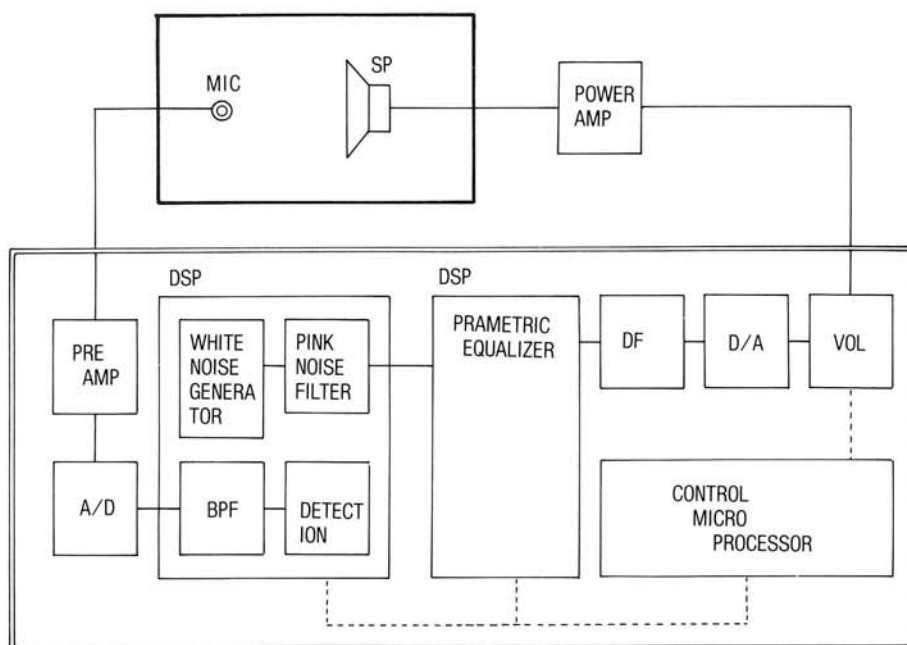


図-14 自動補正システムブロック図

Fig.14 System block chart of automatic equalization

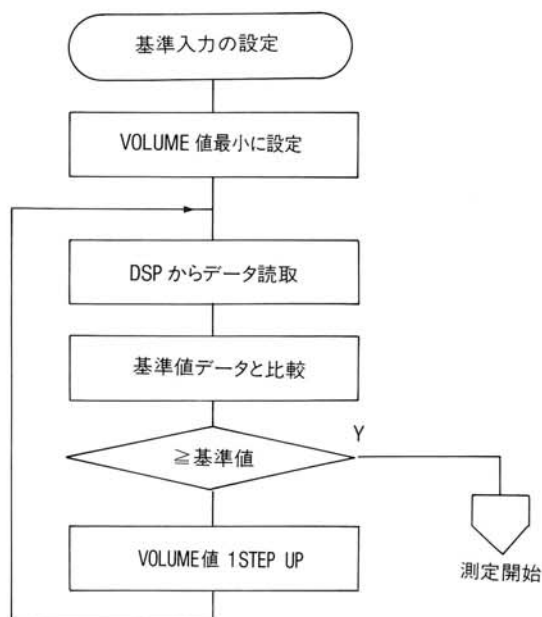


図-15 基準入力レベル設定の手順

Fig.15 Flow diagram of setting up normal input level

て用いる。

6.1.2 基準入力レベルの設定

自動補正時、使用する外部機器の性能のバラツキにより基準信号の再生レベルが低く、 S/N が十分確保されない状態で測定が行われたり、逆に測定ループ内で信号がオーバーフローを起こすことが予測される。

そこで、本補正システムの基準信号再生部が、通常のオーディオ信号再生と同じようにマイコンが自由に調整できる電子ボリュームを介していることを利用して、測定前に一定の基準入力レベルを設定する方法を用いた。

これは、マイクロフォンの入力が一定範囲内になるまで、基準信号の音量を最小から徐々に上げていくものであり、この手順を図-15に示す。

この方法を用いることにより、どのような外部機器を接続されても、常に一定範囲の基準入力レ

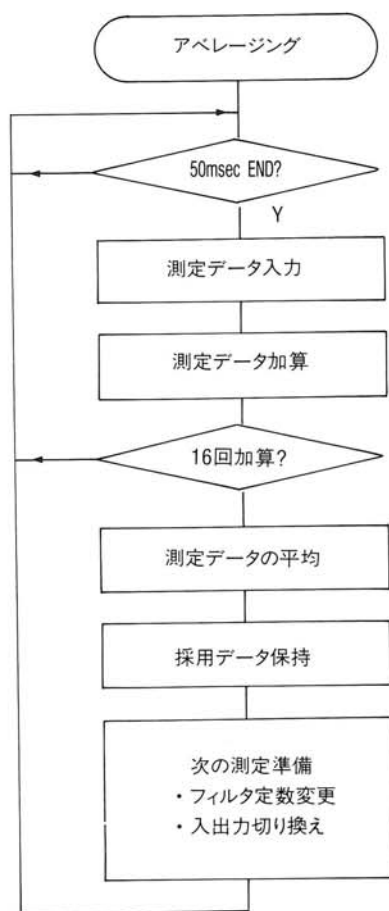


図-16 アベレージングの手順

Fig.16 Flow diagram of averaging mic input level

ベルで測定が行われる。

6.1.3 アベレージング

DSPから読み取った測定データは、ローパスフィルタによりごく短い範囲内で平均化されているが、瞬時の測定データであるため、読み取り後改めてアベレージングを行う。

本システムでは、50msec毎に16回サンプリングを行い、その平均値を測定データとして採用する。その手順を図-16に示す。

6.2 自動バランス補正

各スピーカ出力のバランスは、音場再生の効果に大きく影響する。自動バランス補正は、音場制御における初期反射音と残響音のレベルバランスを自動的に最適化するものである。

補正手順を以下に示す。

- ① システムを自動補正に切り換える。
- ② フロントスピーカから基準信号を出力する。
- ③ 前述の手順により、基準信号のレベル設定を行い、そのレベルを記憶する。
- ④ リアスピーカから基準信号を出力する。
- ⑤ 前述の手順により、基準信号のレベル設定を行い、そのレベルを記憶する。
- ⑥ フロントとリアのレベル差から、最適な残響音レベルを算出し設定する。
- ⑦ センタースピーカから基準信号を出力する。
- ⑧ 前述の手順により、基準信号のレベル設定を行い、そのレベルを記憶する。
- ⑨ フロントとセンターのレベル差から、最適な初期反射音レベルを算出し設定する。
- ⑩ 全スピーカから基準信号を出力するデモンストレーションを行い、補正を終了する。

6.3 自動周波数特性補正

本補正は車室内の音響伝送周波数特性を、パラメトリックイコライザにより理想に近い周波数特性に自動補正するものである。

測定帯域は63Hz～20kHz内で、1/3オクターブ毎の25ポイントに分割している。

補正手順を以下に示す。

- ① システムを自動補正用に切り換える。
- ② フロントスピーカから基準信号を出力する。
- ③ 前述の手順により、基準信号のレベル設定を行う。
- ④ 補正の目標となる周波数特性の基準レベルを算出し記憶する。

- ⑤ 帯域分割して、各周波数におけるレベルを測定する。
- ⑥ 得られた周波数特性から、ピーク、ディップをサーチする。
- ⑦ 優先度に従い、各ピーク、ディップの補正対象ポイントを決定する。
- ⑧ ファジールールに従って、補正周波数の微調整を行う。
- ⑨ ファジールールに従って、ゲインとQの補正值を算出する。
- ⑩ パラメトリックイコライザに補正值を展開する。
- ⑪ リアチャンネルにおいても④～⑩を繰り返す。
- ⑫ フロント、リアから補正後の基準信号を出力するデモンストレーションを行い、補正を終了する。

7. お わ り に

以上、デジタルカーオーディオシステム“ α 777シリーズ”の特徴と主要技術を述べた。

本シリーズは発売以来、幸いにも機能や音質面での市場の評価が高く、当初のねらいは達成できたと考えている。今後は市場での評価をフィードバックするとともに、今回の開発で得たノウハウを活かして、より一層の品質の向上を図り、より優れた商品を提供していきたい。

参 考 文 献

トランジスタ技術スペシャル、No.21、1990年5月
日経エレクトロニクス、No.422、1987年6月
MJ（無線と実験）、1988年2月、4月、5月号
電子技術、1988年7月号
日本電子機械工業会規格、CP-340