

車室内音場制御

—非対称ステレオ音場拡大装置とサラウンド装置の開発—

Sound Field Control in a Car Compartment

—A Study of Asymmetrical Sound Stage Expander
and New Developed Surround System—

長野 武⁽¹⁾ 大和 俊孝⁽²⁾ 伊藤 辰男⁽³⁾
Takeshi Chono Toshitaka Yamato Tatsuo Ito

要 旨

CD、DAT等の登場でソース側のダイナミック・レンジが100 dBにも達しようとしている今日、ステレオの再生側すなわちリスニング・ルームにおいて、コンサート・ホール並の「臨場感」を得るための『音場制御』の試みが盛んになってきている。車室内で良好なステレオ再生効果を得ようとする場合、車室内の容積、形状、材質、聴取位置等の条件により、音響伝送特性の乱れや、音質の劣下がおきる。本稿では、当社が取り組んでいる新しい音響伝送特性制御技術の中から、非対称ステレオ受聴の改善、反射音制御による「拡がり感」の生成などを取り上げ、「音像制御 (Sound Image Control)」と、「サラウンド・システム (Surround System)」について述べる。

With the advent of CD and DAT systems, for example, at present, the dynamic range of the program source side is going to reach as high as 100dB. On the other hand in the listening room, an attempt is being positively made for "sound field control" to obtain the concert hall-like "presence of sound". When an attempt is made to obtain a favorable stereo playback effect in a car compartment, the acoustic transmission characteristics are disturbed and tonal quality is downgraded, depending on the volume, shape, material and listening position in the car compartment. This paper describes an improved asymmetrical stereo reception and generation of "Feeling of width of sound stage" using reflective sound control in our new current acoustic transmission characteristic control technology, and also describes "sound image control" and "surround system".

1. ま え が き

CDプレーヤ、テープ・デッキなどの性能は個々の特性面では改善が繰り返されてきた。しかし自動車の室内（以下、車室内）で音楽をステレオ再生する場合、聴取位置が左右のスピーカ^{脚注 1)}に対し非対称なため、サウンドステージの狭さや偏りを感じる。また、車室内の特徴である小容積、特殊な形状等から来る伝送周波数特性の乱れは避けられない。本稿では車載用音響システムの高品質化への要求に対し、車室内特有の「定位感」、「拡がり感」といった空間的印象の問題点を解決する手段として「音 像 (Sound Image) 制 御」と、「サラウンド・システム」を取り上げ、その目的とする効果、実現方法等について述べる。

2. 当社の音場制御の取り組み

2. 1 車室内受聴の特徴

一般にリスニング・ルームと比較して車室内は音響条件的につぎのような相違点をもっている。

- 1) 車室内の容積・形状に起因する固有振動数の分布は十数Hz～数百Hzにまで及び、伝送周波数特性を乱す。
- 2) 左右のスピーカに対して、非対称な位置で受聴することが多く、ソースの持つ適切なステレオ感が得られない。
- 3) 内装材は固いもの、柔らかいものが混在し反射音の到来方向が限定される。
- 4) 残響時間が短く、「響き」が少ない。
- 5) 使用スピーカの取り付け位置が限定され、また口径、寸法に制限があり、低音域の音圧不足や1 k～2 kHz 付近に音圧のピークを生じる。このように車室内では、これらの要因が重なり

あって、リスニング・ルームの機能としては好ましくない条件を有している。

2. 2 音 場 補 正

車室内聴取で生ずる様々な問題の内、現在までに、以下のような事柄について、多くの技術的検討がなされ、実現手段が開発されてきている。

- 1) 反射波や低次の固有振動が原因で生じる伝送周波数特性のピークやディップ等の補正
- 2) 小音量時の低周波における、聴取感度の低下から生ずる低音不足の補正

当社は、これらの聴感評価と物理データを比較する方法で取り組んできている。

当社の伝送周波数特性の補正方法は、車室内の伝送周波数特性を、聴取位置に設置したマイクロフォンとFFTアナライザにより測定しながら理想的な特性を決定し、その特性をフィックスド・イコライザと称する回路を用いて等価する方法で周波数特性を補正している。

また、小音量時の低音不足の補正は、ロビンソン¹⁾ダットソンの等感度曲線を参考に、実際に実車走行による聴感評価から得られた結果をもとに、電気的な補正量を検討することで実現している。

以上のような処理により、周波数特性、低音の音量感等は著しく改善された。一方、車室内の容積、材質等に起因する「響き」の問題、リスニング・ポジションの偏り、狭さから来るステレオ感不足や、定位方向等の再生音場の「空間的印象」について検討された例はあまりなかった。

今回当社は、非対称配置のスピーカによるステレオ受聴の問題を解決するための非対称音場拡大装置と、小空間でのステレオ再生の「拡がり感・奥行き感」を生成するための新型サラウンドシステムの二つについて、方式検討を行い装置の開発を実現した。

脚注 1) サウンドステージ

前方二つのスピーカによって囲まれた、あるいは、若干外側の領域の音場

3. 音像 (Sound Image) 制御

車載用ステレオ再生装置では、聴取者に対して左右2つのスピーカ取付け位置が非対称になってしまうため、本来のステレオ再生効果が得られなくなる。このようなステレオ効果の減少を補正することを目的に、聴取者の両耳に生ずる音圧差 ΔP と位相差 $\Delta\phi$ に着目した ΔP - $\Delta\phi$ 理論²⁾を応用し、非対称音場拡大装置の開発を行った。本章では、この装置の方式・構成とその効果について報告する。

3.1 制御方式の概要

一般の2チャンネルステレオ信号は、リスニングルームの標準的な聴取位置で受聴する場合、最大のステレオ効果が得られるように作られている。

しかしながら車室内におけるステレオ再生においては、聴取者に対するフロントの左右スピーカ取付け位置の非対称性が原因となって、サウンドステージにおける音の分布が聴取者に近いスピーカ方向に偏ってしまう。このようなステレオ効果の減少を補正するための非対称音場拡大装置を、ステレオ再生音場を解析する方法の一つである ΔP - $\Delta\phi$ 理論を応用して開発した。

今回、この装置によって補正しようとする車室内の聴取状態は、図-1に示すような聴取者の位置

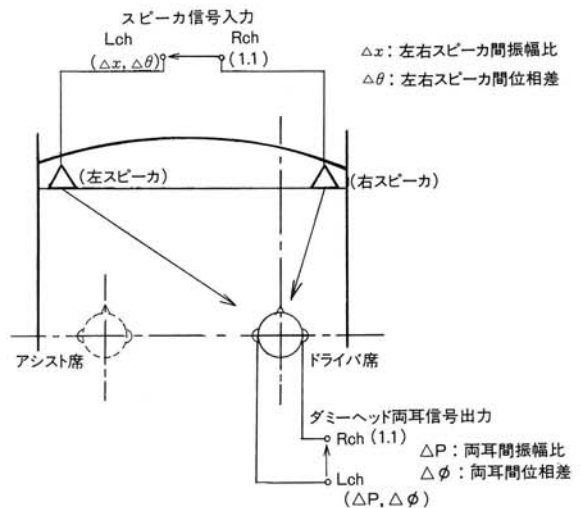


図-1 車室内での非対称聴取条件

Fig. 1 Asymmetrical listening condition in a Car.

をドライバ席に限定した非対称なものであり、これを補正する方法の概要を次に述べる。

- 1) ΔP - $\Delta\phi$ 理論を用いて、左右スピーカの出力信号の振幅比 Δx と位相差 $\Delta\theta$ を算出する。
- 2) これら両者の関係を、左右の信号間に電氣的な信号処理により与え、左右のスピーカより出力する。
- 3) この出力信号により聴取者の ΔP 値と $\Delta\phi$ 値の設定を行い、聴取者の正面を中心にして左スピーカと対称位置に見掛け上の音像を作る。こうして作られた音像を仮想的な右側スピーカ

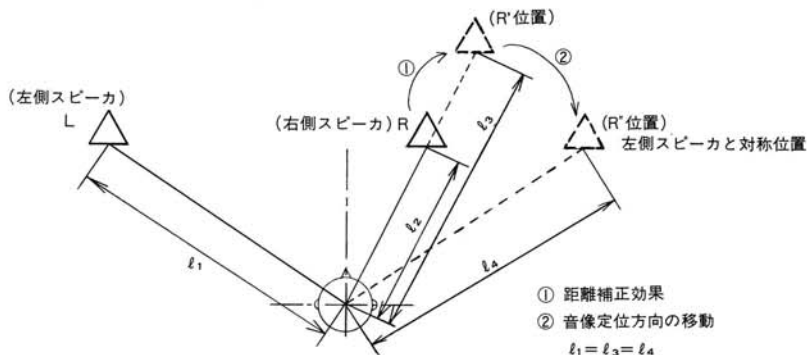


図-2 右側仮想音源の移動

Fig. 2 Moving of imaginary right sound source.

としてステレオ再生を行うことにより、正しい音像の定位方向と左右に均等に広がったサウンドステージが得られると考えられる。しかし、図-2に示すような非対称状態では、左右のスピーカから聴取位置までの距離が左右で異なるため、次の問題が生ずる。

- 1) 聴取者に近いスピーカから出力される音圧レベルが、もう片方のに比べ大きくなる。
- 2) 聴取者に近いスピーカ信号の到達時間が早くなる。

このため、左右スピーカから聴取者に与える信号間には、 Δx と $\Delta \theta$ のほかに時間差を考慮する必要がある。そこで、右チャンネル側に減衰器と遅延器を接続し、音圧レベルと到達時間差を調整することで、左右スピーカ位置の距離補正を行う。この補正により ΔP 値と $\Delta \phi$ 値を設定するための左右スピーカからの出力信号間には、 Δx と $\Delta \theta$ の関係を与えるだけでよく、 ΔP - $\Delta \phi$ 理論を簡単に応用することが出来る。この状態で ΔP - $\Delta \phi$ 理論式は、図-3に基づいて左右スピーカの出力信号に対する

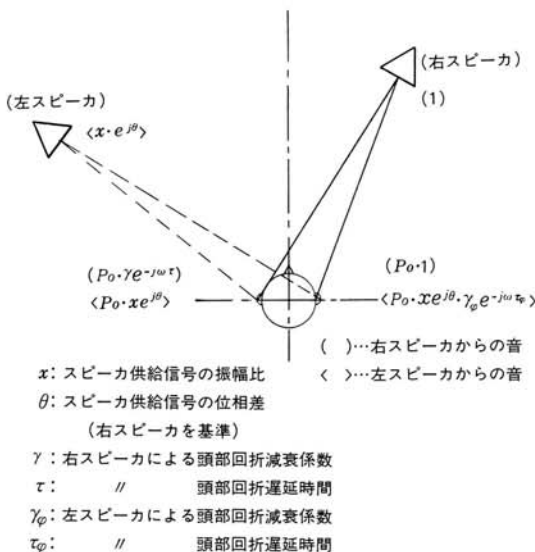


図-3 両耳位置での音圧計算

Fig. 3 Calculation of sound pressure level on aural points.

聴取者の頭部回折を考慮することで導き出せる。

$$\Delta P = 20 \log |P_r / P_l| \quad \dots (1)$$

$$\Delta \phi = \text{Arg} |P_r| - \text{Arg} |P_l| \quad \dots (2)$$

$$P_r = 1 + x^2 \cdot \gamma_\phi^2 + 2x \cdot \gamma_\phi \cos(\theta - \omega\tau_\phi)$$

$$P_l = x^2 \cdot \gamma^2 + 2x \cdot \gamma \cos(\theta - \omega\tau)$$

P_r : 右耳に加わる音圧

P_l : 左耳に加わる音圧

3. 2 実現方法

図-2に示す聴取条件での非対称音場拡大装置の実現方法を以下に述べる。

3. 2. 1 距離補正

右チャンネル側に減衰器と遅延器を接続し、音圧レベルと到達時間差の調整を行うことで、左右スピーカ位置の距離補正を行い、 Δx 値と $\Delta \theta$ 値のみで ΔP 値と $\Delta \phi$ 値が設定できる状態とする。

このとき、図-2に示すR位置からR'位置へ見掛け上の音像の移動が行われる。

3. 2. 2 音場拡大

距離補正を行った後に、 ΔP - $\Delta \phi$ 理論を応用した非対称音場の拡大を以下の手順で行った。

- ① 右側チャンネルのみに信号を入力した状態とする。
- ② この信号に全周波数帯域でそれぞれ Δx 値と $\Delta \theta$ 値を減衰器と移相器で設定したものをクロストーク信号として左側スピーカに入力する。
- ③ 左右スピーカ信号を聴取者に与えることで、図-2に示すR'方向からR''方向へ見掛け上の音像の移動を行う。
- ④ ステレオ再生は、R''方向の見掛け上の音像と左側スピーカにより行われる。

3. 2. 3 回路ブロック

実際は、全周波数帯域で Δx 値と $\Delta \theta$ 値を電氣的に設定することは困難なため、バンドパスフィルタ (B.P.F) で周波数の帯域分割を行い、各帯域内で Δx 値と $\Delta \theta$ 値の設定を行った。ステレオ再生を考えた非対称音場拡大装置のブロック図は、

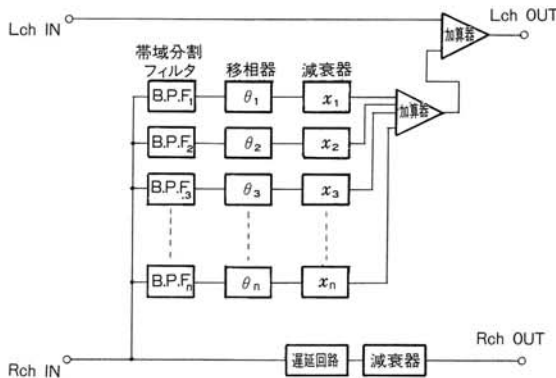


図-4 音場拡大装置ブロック図

Fig. 4 Block diagram of sound stage expanding system.

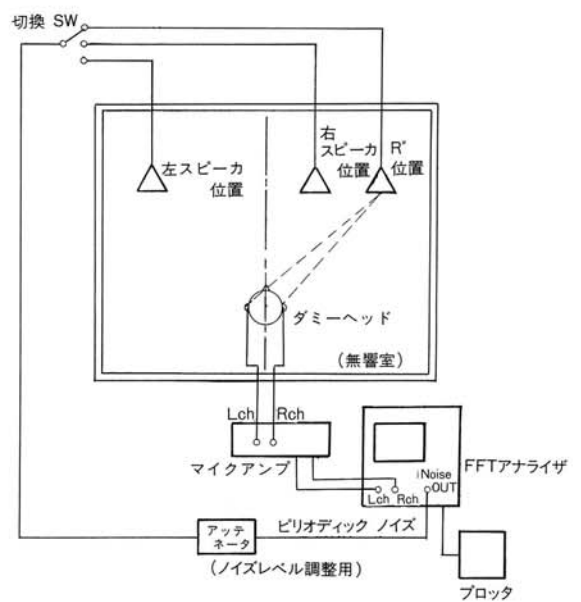
図-4となる。

3. 2. 4 Δx 値・ $\Delta\theta$ 値の設定

Δx 値と $\Delta\theta$ 値の設定方法を次に述べる。

- ① 無響室内で図-5に示す測定ブロック図の測定構成により、左右のスピーカ位置と仮想音源を生成する R'' 位置に実音源を設置する。
- ② 各音源からの周波数対 ΔP 特性と周波数対 $\Delta\phi$ 特性の測定を行う。ここで、 R'' 位置に実音源を設置して測定を行った ΔP - $\Delta\phi$ 特性を、 R'' 目標特性とする。
- ③ これら3種類の特性データから、各周波数における頭部回折による減衰係数 γ と遅延時間 τ を導出する。
- ④ 非対称条件の ΔP - $\Delta\phi$ 理論式を用いて各周波数の Δx 、 $\Delta\theta$ を算出する。

ここで、車室内は、リスニングルームに比べ、空間の狭さや、それを取り囲む材質の問題から、数msecの時間遅れをもった反射波が多く発生し、スピーカからの直接波を阻害する。このため、 ΔP - $\Delta\phi$ 特性に大きく影響を及ぼすことを考慮しておく必要がある。図-6は、反射波の影響を受けて車室内で ΔP - $\Delta\phi$ 値が大きく乱れることを示している。これは、理論式から導き出された Δx 値と $\Delta\theta$ 値を実際に装置内に設定し、右側チャネルのみに

図-5 ΔP - $\Delta\phi$ データ測定ブロック図Fig. 5 Block diagram of ΔP - $\Delta\phi$ measurement.

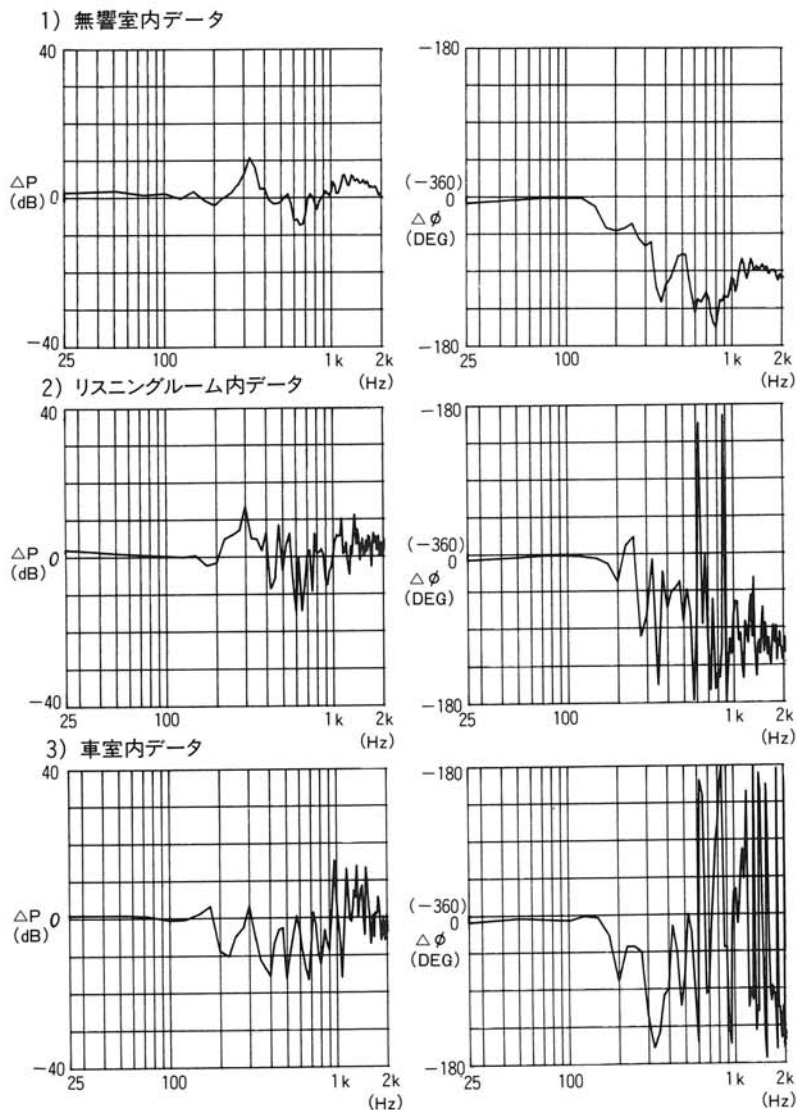
信号を入力した場合の ΔP - $\Delta\phi$ 値を無響室、リスニングルーム、車室内で測定したものである。

車室内での反射波の影響を、理論式に折り込んで Δx 、 $\Delta\theta$ の最適値を算出することは、たいへん困難である。そこで、次の方法によって、比較的容易に車室内で音場拡大効果を得るための Δx 値と $\Delta\theta$ 値を導き出した。

- ① Δx と $\Delta\theta$ の基準値をあらかじめ装置内の減衰器と移相器に設定しておく。
- ② 図-7に示すように、車室内受聴位置にダミーヘッドを設置し、FFTアナライザでダミーヘッドより得られる ΔP - $\Delta\phi$ 特性の観測を行う。
- ③ ΔP - $\Delta\phi$ 特性を観測しながら、減衰器と移相器によって Δx 、 $\Delta\theta$ 値の調整を繰り返し、 ΔP - $\Delta\phi$ 特性を R'' 目標特性に近似させる。図-8は、 R'' 目標特性を示しており、図-9は、制御後の ΔP - $\Delta\phi$ 特性を示したものである。

3. 3 非対称音場拡大装置による効果

以上の方法により、目標とする ΔP 値と $\Delta\phi$ 値を車室内のドライバ席で設定できる音場拡大装置を

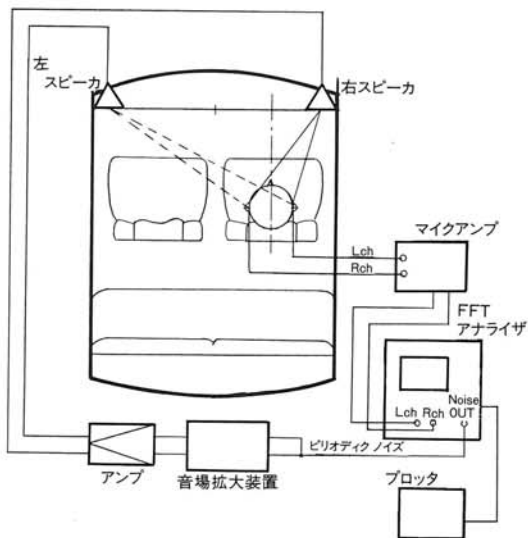
図-6 反射波による ΔP - $\Delta \phi$ の乱れFig. 6 ΔP - $\Delta \phi$ data made with reflected wave.

開発し、この装置による非対称音場の補正効果の確認を、聴感評価を用いて行った。以下、その内容と結果について述べる。

評価は、聴取位置をドライバ席に限定して、右側チャンネルのみに信号を入力した場合の右端の音像定位方向とその音像の質（自然さ）についてのものと、ステレオ再生時の正面に定位すべき音像

のずれと音像の質について行った。評価方法の詳細は表-1に示すとおりである。二元配置による分散分析法を用いて行い、装置の効果を評価ソースをパラメータとして確認した。

分析結果を、図-10と図-11に示す。右側チャンネルのみに信号を入力した場合、目標のR'方向近傍に音像が定位する効果が確認でき、これによっ

図-7 車室内での ΔP - $\Delta\phi$ 調整ブロック図Fig. 7 Block diagram of ΔP - $\Delta\phi$ alignment in a car.

て、ステレオ再生時には、正しい方向に音像の定位が認められ、聴取者を中心にして、左右バランスの整ったサウンドステージが作り出せた。また、音像の質は、不自然さを感じさせないものであった。

今後は、以上の成果をもとにして、全座席でバランスの取れたステレオ再生を実現するための検討を進めて行きたい。

4. サラウンド・システム

サラウンド・フォニック・サウンド・システム (Surround Phonic Sound System 以下サラウンドシステム) は、音楽再生をする際、聴取者に通常再生以上の迫力や、音に「取り囲まれた」効果を与える装置として知られている。しかしその方

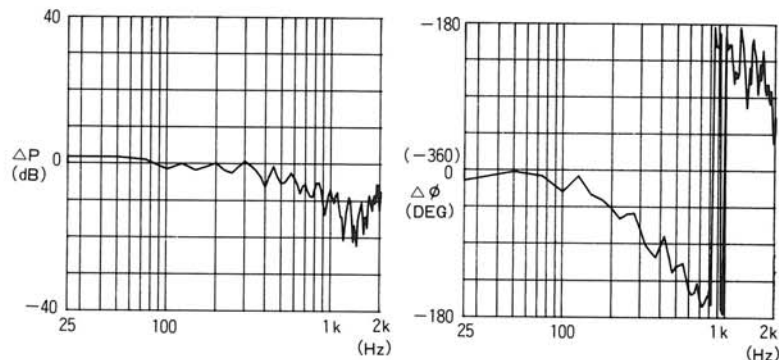
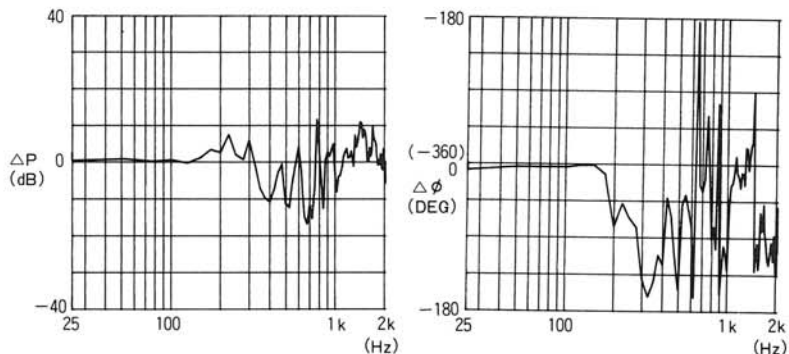
図-8 R^* 目標特性Fig. 8 A target data of R^* .図-9 音場拡大時 ΔP - $\Delta\phi$ 特性Fig. 9 ΔP - $\Delta\phi$ data made by sound stage expander.

表-1 評価内容

	内	容
聴取条件	車室内のドライバ席（右座席）（ドア・窓ともに全閉）	
評価項目	右チャンネル（Rch）のみに信号を入力	1) 音像定位向 ・右端の音像定位方向を評価 2) 音像の質（自然さ） ・絶対評価
	ステレオ再生	3) 音場バランス ・正面に定位すべき音像のずれを評価 4) 音像の質（自然さ） ・絶対評価
評価点	1) Rch信号入力時の音像定位方向 3) ステレオ再生時の音場バランス	（評価点） 1 2 3 4 5 6 7 （聴取位置）
	2) Rch 信号入力時の音像の質 4) ステレオ再生時の音像の質	（評価点） -4 -3 -2 -1 0 定位不能 大変不自然 不自然 やや不自然 自然な
評価者数	6 名	
評価ソース	5 種類 1) 500 Hz トーンバースト波 2) 800 Hz トーンバースト波 3) ドラム・ソロ演奏 4) 合唱曲 5) 女性ボーカル	

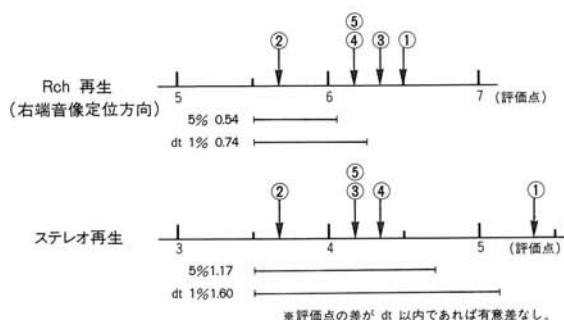


図-10 音像定位方向についての評価結果

Fig. 10 Result of aural experiment of sound image direction.

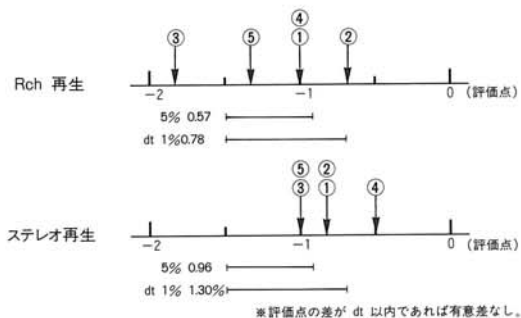


図-11 音像の質（自然さ）についての評価結果

Fig. 11 Result of aural experiment of sound image quality (naturally).

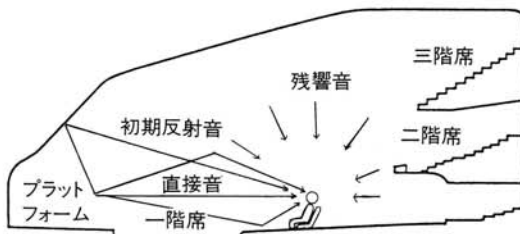


図-12 コンサートホール断面図

Fig. 12 Sectional view of a Concert Hall.

式については、各社独自の検討が行われている。今回、サラウンド・システムが与えるべき効果について検討し装置を開発した。それは、通常2個のスピーカで受聴するステレオ再生音場に、コンサートホール等で得られる反射音、残響音を付加することで、ステレオ再生のみでは十分得ることができなかった「拡がり感」、「臨場感」を生成するものである。本章では、その方式の概要と実現方法について紹介する。

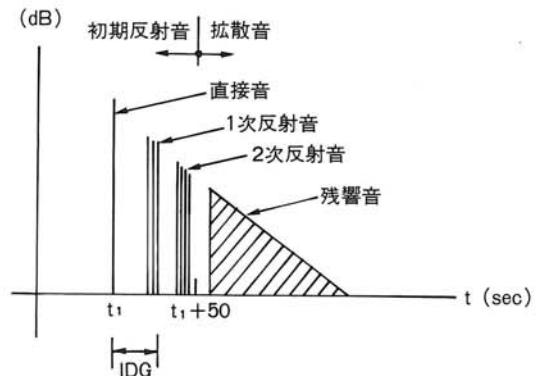


図-13 時間軸上での反射音の構造

Fig. 13 Structure of a reflected sound in a time base.

4. 1 コンサート・ホールの音響的特徴

再生音場に「拡がり感」、「臨場感」等を与えるためには、音楽が演奏される「生」の現場、すなわち、コンサート・ホールの建築音響特性に目を向けることが重要である。

4. 1. 1 ホールにおける反射音の種類

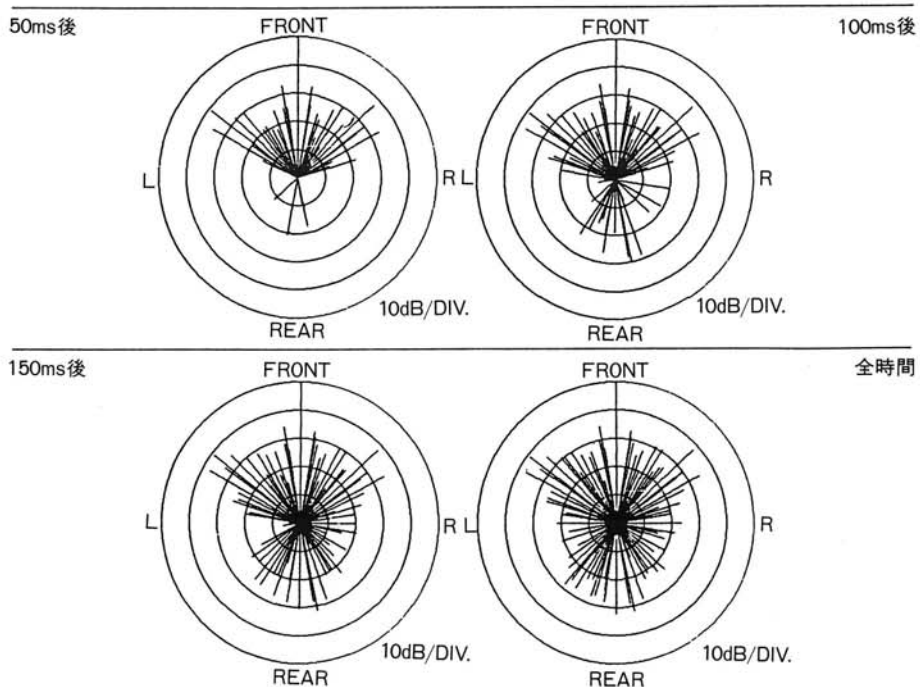


図-14 ヘラクレスザールの反射音指向性パターン

Fig. 14 Directivity diagram of reflected sound in case of "Herkkuressaal".

図-12は、コンサート・ホールの断面である。ステージ上の音源から聴取者に到達する音は、次の三種類に大別して考えることができる。

- 1) 音源より発せられた音が直接聴取者に到達する「直接音」
- 2) ステージ後方にある、反射板等で反射され、直接音のすぐ後から追い掛けるように到達する「初期反射音」
- 3) 天井、床、壁等で複雑に反射・減衰を繰り返して十分に拡散され聴取者に対しあらゆる方向から到達する「残響音」

次にこれら三種類の到達音の構成を時間軸で見たものを図-13に示す。

まず音源と受聴者間の音の伝播距離に相当する位置に「直接音」、その後約20~50 msec 遅れて「初期反射音」、そして「残響音」と続く。図-14のように反射音の到来方向を分析してみると、初期反射音の到来する20~50 msecの間は、圧倒的に前方からの成分が強いことが分かる。その後、十分時間がたつと、受聴者にあらゆる方向から到達するようになる。

4. 1. 2 ホールの残響時間

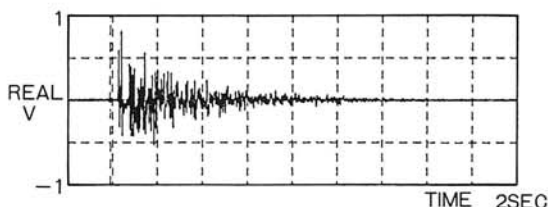


図-15 反射音パターンの実測例

Fig. 15 Example of impulse response in the concert hall.

図-15は、あるコンサート・ホールのインパルス応答の実測値である。このような減衰パターンはホールの材質、形状、測定位置によって一義的に決定されるものである。

残響時間は音源停止後、定常状態の音のエネルギーが 10^{-6} に減衰するまでの時間で定義される。³⁾ Sabineによれば、この残響時間は部屋の容積に比例し、室内表面積と平均吸音率に反比例する。⁵⁾ 表-2に代表的なコンサート・ホールの残響時間を示す。⁶⁾ またこの残響時間は、周波数によって多少の違いがある。⁷⁾ 図-16のように低域より高域が残響時間が短くなっている。

4. 1. 3 各反射音の効果

表-2 ホールの残響時間

名 称	完 成 年	室 容 積 (m^3)	客 席	残響時間 (秒)	
				満 席 時	空 席 時
大 阪 フ ェ ス テ ィ バ ル ホ ー ル	1958	17,300	2,796	1.98	1.60
京 都 会 館 大 ホ ー ル	1960	20,600	2,392	1.75	—
神 戸 文 化 会 館 大 ホ ー ル	1961	15,180	2,000	2.00	1.60
N H K ホ ー ル	1973	25,200	3,667	2.00	1.60
昭 和 女 子 大 人 見 記 念 講 堂	1980	19,400	2,378	2.10	1.80
ア ル カ イ ッ ク ホ ー ル	1982	16,880	1,820	1.90	—
広 島 厚 生 年 金 会 館 大 ホ ー ル	1985	15,750	2,001	1.90	—
ザ ・ シ ン フ ォ ニ ー ホ ー ル	1982	17,800	1,702	2.50	2.00
国 立 音 楽 大 学 講 堂	1983	13,400	1,300	1.85	1.65
サ ン ト リ ー ホ ー ル	1986	21,000	2,006	2.6	2.10

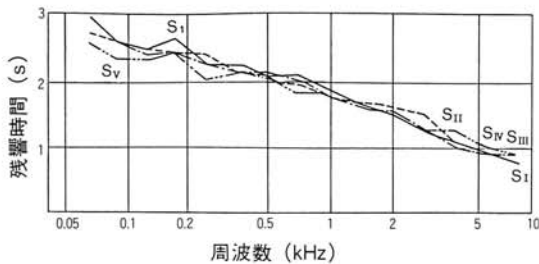


図-16 $\frac{1}{2}$ オクターブ雑音を用いて測定し、音源の位置ごとに平均した早稲田大学記念会堂の残響特性

Fig. 16 Frequency characteristics of a reverberation time.

図-13中の「IDG」は、「初期時間遅れ」と呼ばれ「拡がり感」を知覚する度合いを支配している時間である。実際のホールでは、IDGは20～40 msec 程である。車室内ではこのIDGが数msec と短くなり、直接音の伝送特性を阻害し、音質、定位等に影響を及ぼす。また初期反射音の到来方向は前方に集中しており、このことも「拡がり感」を与える大きな働きをする。

これまでに述べたような諸特徴が、そのホールの空間的印象に大きく関係しているのである。

4.2 サラウンド信号の生成

以上のような、特徴を考慮に入れ、サラウンド信号を生成する。本節では、残響音と初期反射音の生成方法、および全体構成について述べる。

4.2.1 残響音の生成

生成する残響音の満たすべき条件として、

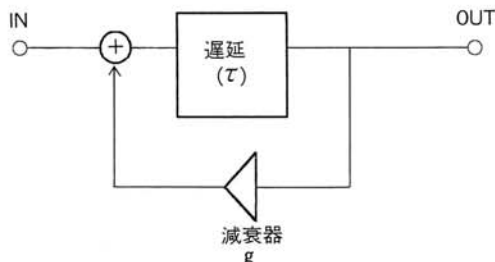


図-17(a) 残響音モデル

Fig. 17(a) Model of reverberation.

- 1) 周波数特性が平坦
 - 2) 周期的減衰パターンを持たない
 - 3) 高残響密度
 - 4) 十分な残響時間を有する
- 等があげられる。

ホール内で放射された音は、境界面（壁・天井・床）で反射する度に様々な方向、遅延時間を持って減衰し残響音となる。そこで図-17(a)のように遅延器と減衰器を用いて音を循環させることにより、単純な残響音モデルを作ることができる。残響時間の定義より遅延時間を τ (msec)、減衰係数を g とすると残響時間 T (sec) は、

$$T = \frac{-3}{\log_{10} g} \times \tau \times 10^{-3} \quad \dots\dots(3)$$

で与えられる。

τ (msec) は壁と壁の音の伝播時間、つまり部屋容積に対応し、 g は壁での反射率に当たる。

この2つのパラメータを可変することで、様々な残響音を生成することができる。式(3)によると、ある残響時間 T (sec) を与える τ (msec) g の組み合わせは無数に存在することが分かる。しかし、現実のホールで使用している壁面の材質や寸法から、自然な残響音として聞こえる範囲は経験的に各々絞り込むことができる。

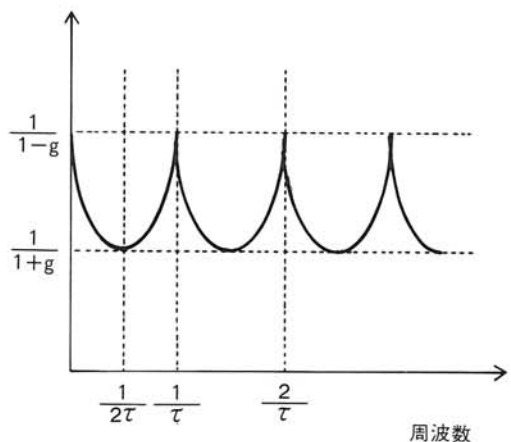


図-17(b) 振幅一周波数特性

Fig. 17(b) Frequency Characteristics.

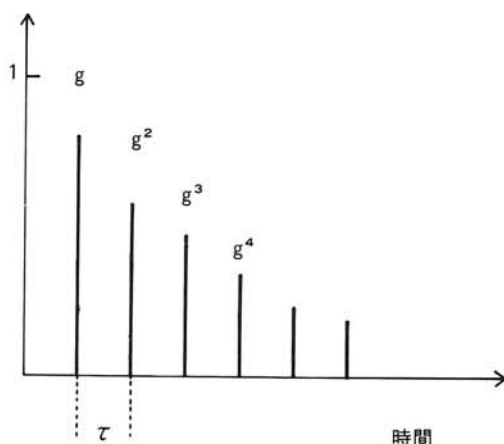


図-17(c) インパルス応答
Fig. 17(c) Impulse response.

図-17(a)の帰還ループは「くし型フィルタ」と呼ばれ図-17(b)に示すように周波数特性が平坦とされない。そのため減衰特性(図-17(c)、図-18(c))はそのまま、周波数特性の平坦な「オール・パス・フィルタ(APF)⁴⁾」を用いる(図-18(a))。APFの特性は図-18(b)に示す。

残響音生成部(図-19)は図-16の残響時間周波数特性に着目し、入力信号を三帯域に分割しそれぞれ次段のAPFによって帯域に応じた残響特性を与える。このことは、自然な残響音を得るために重要なことである。処理された信号は加算されるが、この時点では減衰パターンに周期的部分が多く、まだ残響音として不完全である。このた

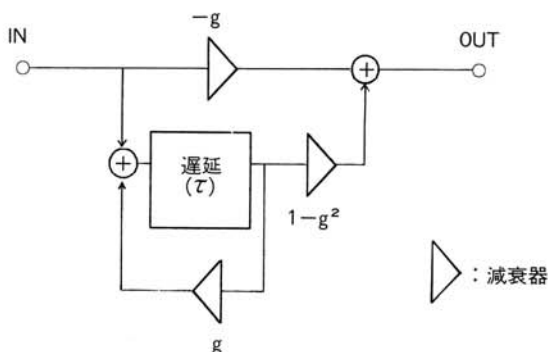


図-18(a) オールパスフィルタ
Fig. 18(a) All pass filter.



図-18(b) 振幅一周波数特性
Fig. 18(b) Frequency Characteristics.

め、後段に設けた二段のAPFによってきめ細かい反射音密度にして出力している。残響生成部の設定値を表-3に示す。

4. 2. 2 初期反射音の生成

初期反射音生成部の構成を図-20に示す。ここでは残響生成と異なり帰還ループは用いない。複数の遅延器を縦続に配置し、各遅延器間の出力にそれぞれ減衰器を有しており、それらの出力を加算して処理音とする。係数決定に関しては、図-15のようなホールの反射パターンの実測値を参考にしている。全体の処理時間は10 msec~30 msec、図-20において遅延器数は $n=22$ とした。

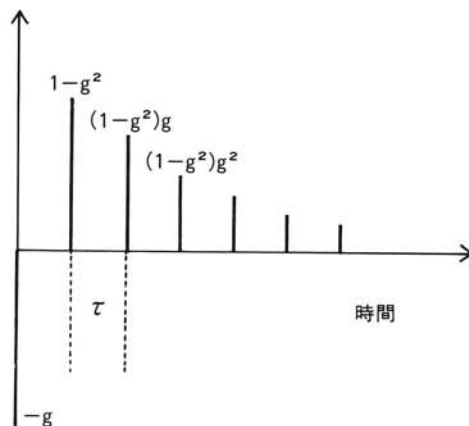


図-18(c) インパルス応答
Fig. 18(c) Impulse response.

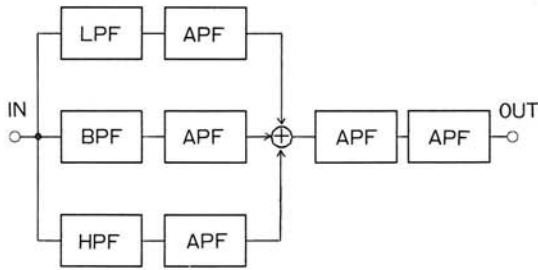


図-19 残響生成部

Fig. 19 Reverberation Generator.

表-3 残響生成部 設定値

残 響 時 間	1.5 (秒) [500 Hz]
平均 反 射 音 密 度	1,500本/秒
帯 域 別 (100 Hz)	1.75 (秒)
残響時間 (4 kHz)	1.20 (秒)
クロスオーバー周波数	250 Hz, 2 kHz
周 波 数 特 性	20~10 kHz

4. 3 サラウンド信号生成部の全体構成

全体構成は図-21の通りで、これにより各サラウンド信号は次の時間関係で出力される(図-22)。まず直接音からD1遅れて「初期反射音」が前方2チャンネルより。さらにD2後に、後部左チャンネル「残響音」、その後「残響音」と同じ信号がD3遅れて後部右チャンネルより出力される。D3は出力音に時間差を与え、「臨場感」を高める上で重要なパラメータである。

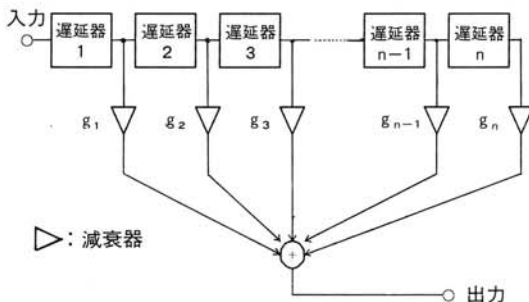


図-20 初期反射音生成部

Fig. 20 Early reflection Generator.

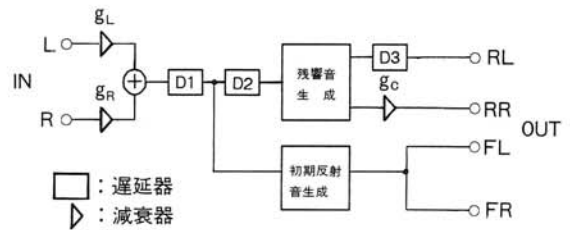


図-21 全体構成

Fig. 21 A whole algorithm.

4. 4 サラウンド効果の実施例

生成した各出力音は、車室内において図-23のように前後部4個のスピーカによって再生する。前方2スピーカからは原信号と初期反射音を、後部2スピーカより残響音をそれぞれ出力する。

初期反射音を前方より出力したのは、図-14のように、到来方向が自然な「拡がり感」を与えることに着目したためである。

また、後部スピーカは開口面が直接ドライバから見えない位置に取り付け、反対側のリア・ウィンドを狙っており、「残響音」があらゆる方向から受聴者に達するように考慮されている。残響時間が極めて短い車室内の特性を逆に利用すれば、設計値どおりの制御が可能となる。

4. 5 デジタル信号処理による実現

本サラウンド・システムは、前述のように、遅延が主な処理であるがその他多数の乗算器、加算器が必要である。これらをアナログ処理で行う

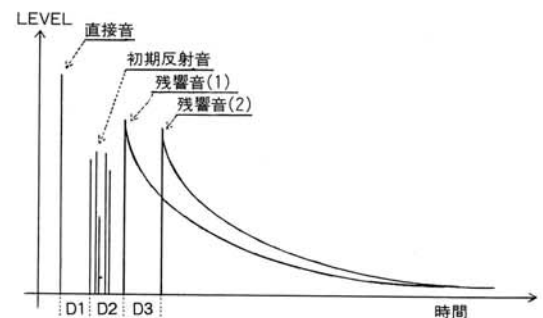


図-22 出力音の構成

Fig. 22 Structure of output signal.

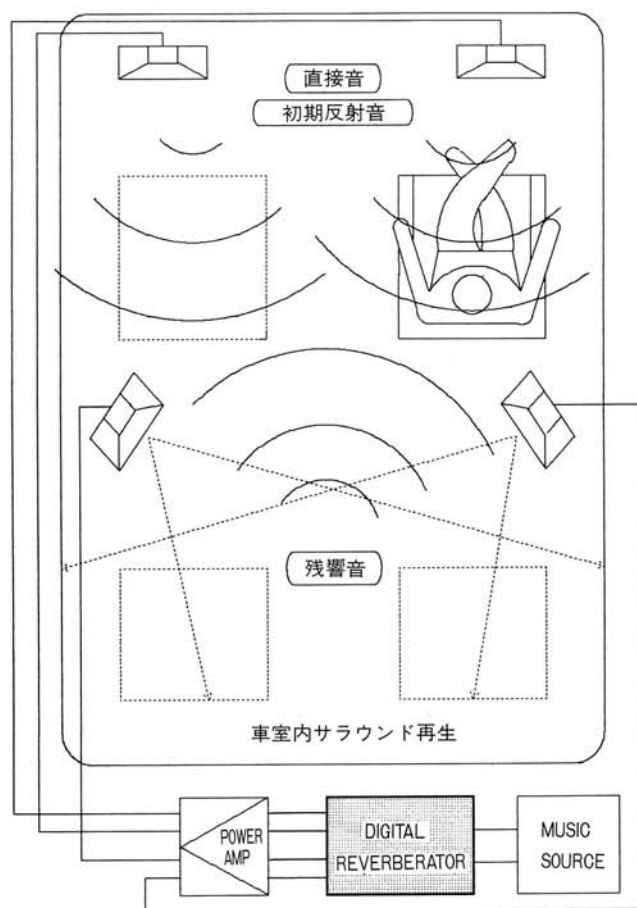


図-23 車室内サラウンド再生

Fig. 23 Surround sound reproduced in a car.

と、回路規模が膨大になり、また遅延に用いるBBD (Bucket Brigade Device) はS/N比の面で問題がある。今回は、全てデジタル信号処理技術 (Digital Signal Processing, 以下DSP)⁸⁾を適用した。デジタル信号処理を行う場合、人間は音を連続的な情報として捉えるから、処理そのものもリアル・タイムで実現しなければならない。処理速度は大型コンピュータ並みのスピード性が要求される。メイン・プロセッサとしては、汎用信号処理LSIMB8764 (富士通) を用いている。また遅延用記憶容量として16kbyteを有する。

4.6 ハードウェア

ハードウェアの構成を図-24に示す。

2チャンネルのアナログ信号は、帯域制限濾過器 (LPF) により必要帯域にカットされ、A/Dコンバータで16bitのデジタル信号に変換される。DSP内で処理された信号はD/Aコンバータに入力されアナログ信号としてLPFを経て出力される。主要諸元を表-4に示す。

5. あとがき

今回の「音像制御」、「サラウンドシステム」の二種類の方式は、今までの音響機器単体の電気的特性を向上させる方法とは異なり、オーディオシステムとして、音響機器とその再生空間とを含めた考えのもとで、ステレオ再生における「拡が

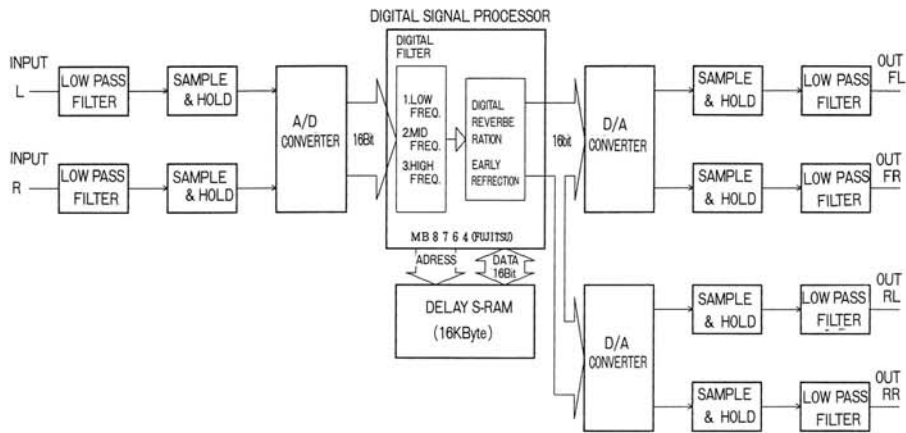


図-24 ハードウェア・ブロック図
Fig. 24 Hardware block diagram.

り感」、「定位感」、「臨場感」等の音響効果の向上を図るものである。

これらの新しい制御システムの土台には、車室内の音の有様を明らかにする音響測定技術と、実際の人間が感じる聴覚に関する研究がある。

現在、音響測定方法として「近接4点法」を用いた車室内での反射波の到来方向と大きさに関する研究「AI（アコースティック・インテンシティ）法」による音の粒子の流れの研究を進めており、車室内音場を様々な角度から解析している。

表-4 サラウンドシステム主要諸元

入力CH数	2CH
出力CH数	4CH
振幅周波数特性	20 Hz~10 kHz
標本化周波数	24 kHz
量子化ビット数	16 bit
演算サイクル時間	100 nsec
乗算器	16×16 → 26 bit
遅延メモリ	16 kByte
プロセッサ	MB8764 (FUJITSU)
残響時間(500Hz)	1.5(秒)
処理音の等価容積	約5,000m ³ (小ホール)

また、測定によって得られる種々の物理データを聴感上のパラメータと対比させる研究も今後さらに進めていく必要がある。

これらの音響測定は、データの処理量、記録の容易さからデジタル量で扱うことが望ましい。また、装置開発においても制御内容に汎用性を持たせ、様々な種類の車室内に適應することができると、デジタル信号処理を用いることはたいへん有益であると考えられる。

最後に、本研究に当たり貴重な御助言をいただいた、上野学園大学講師 藤田 尚工学博士、早稲田大学理工学研究所 山崎芳男工学博士、そして富士通研究所 海上室長に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 境 久雄、中山 剛：聴覚と音響心理、日本音響学会編、音響工学講座6、コロナ社、p137 (1978)
- 2) 放送音響技術、日本放送協会編、放送技術双書3、日本放送出版協会、p95-100 (1982)
- 3) Sabine: "Collected Papers on Acoustic" Harvard University Press, (1922)

- 4) M.R. Schroeder, "Natural Sounding Artificial Reverberation" J. Audio Eng. Soc., VOL. 10, p219-223 (1962)
- 5) 牧田康雄ほか：現代音響学、オーム社、p245 (1976)
- 6) 木村照二：『最近建設されたコンサートホール・リサイタルホール』、音響学会誌43、87-94 (1987)
- 7) 伊藤 毅：音響工学、電気書院、p309, p370 (1977)
- 8) 長野、富田、海上：『汎用信号処理LSI (FDSP-3) を用いた残響付加方式の一検討』電子通信学会全国講演集371 (1985. 11)
- 9) 遠藤、山崎、伊藤：『近接4点法による空間情報の把握と展開』音響学会建築音響研究会資料、AA85-21 (1985. 7)