

M2TB rev. 3.5.2

Multichannel Monitoring Tutorial Booklet

2nd Edition

With Reference to



and

the surround monitoring functions of the
Yamaha DM2000, DM1000, and 02R96 digital consoles

May 2005
rev. 3.5.2

©2005 YAMAHA Corporation



©2005 SONA Corporation



Multichannel Monitoring Tutorial Booklet

第2版 rev. 3.5.2., May '05
(第1版 rev. 2.3.0 リリース, June '02)

Contents

前文.....	3
まえがき	4
0. はじめに	5
1. サラウンドとは.....	6
1-1. ステレオ, サラウンド.....	6
1-2. チャンネル構成.....	6
1-3. マルチチャンネル・モニタリングのキーポイント	8
2. マルチチャンネル・フォーマット	9
2-1. サラウンド処理方式.....	17
2-2. 符号化・圧縮方式	19
2-3. 記録特性.....	22
2-4. 再生特性.....	23
2-5. ダウン・ミキシング	29
3. 再生環境.....	32
3-1 Rec. ITU-R BS. 775-1	32
3-2. L, R.....	35
3-3. LS, RS	36
3-4. C.....	40
3-5. 再生環境と再生イメージの互換性.....	41
3-6. SUB	42
3-7. モニター距離	43
3-8. モニター・アライメント	45
3-9. THX TM pm3 TM	48
4. ベースマネージメント	50
4-1. 室内音響的手法.....	50
4-2. スピーカー設置位置の検討.....	50
4-3. 電気音響的手法.....	50
4-4. デコード出力のモニター	57
5. モニターシステム.....	59
5-1. モニター・マトリックス	60
5-2. ベースマネージメント.....	60
5-3. モニター・アライメント	60
6. 測定・調整.....	61
6-1. 測定用信号.....	61
6-2. メインチャンネルのレベルバランス	62
6-3. 狭帯域ピンクノイズ	65
6-4. LFE チャンネルのレベルバランス.....	67
6-5. ディレイ調整	69
7. まとめ	71
参考資料	72

前文

サラウンドサウンドは映画館での視聴体験以上に進化を遂げました。DVD の登場によって、家庭、車、さらには職場など、我々の生活の隅々にまでサラウンドサウンドが浸透してきています。今日、我々はテレビ番組、ビデオゲーム、お気に入りのバンドの楽曲などを通してマルチチャンネル・オーディオを耳にしています。

DM2000, DM1000 および 02R96 等のデジタルコンソールの登場に伴って、ヤマハはあらゆる種類のスタジオに完全なサラウンドミキシングとモニタリング機能を含むプラットフォームを提供しました。これらのコンソールは、マルチチャンネルの世界をクリエイトする幅広い機能と性能をユーザーに提供します。

中原雅考氏（すばらしい音響設計家／スタジオ設計者であり著者）および株式会社ソナは、数多くの THX™ pm3™ 認証スタジオの設計およびサポートを行っています。彼らは、日本における THX pm3 のレップ（代理店）として、スタジオ設計及びその再生システムの調整を通して、技術情報とサポートを常にスタジオに提供し続けています。これらヤマハのコンソールの開発において、中原氏は豊富な経験を提供し、サラウンドのモニタリング機能の設計を支援しました。そして、THX エンジニアとの協力で開発されたソフトウェア・バージョン 2 のリリースによって、さらにその機能が拡張されました。この THX pm3 承認のバージョン 2 には、映画、DVD、および音楽ミキシング用の THX プリセットが追加されています。これらは THX 認証スタジオで使用されているものと同一の設定です。

スタジオはモノラルおよび 2ch ステレオのミキシングには長年の実績がありますが、一部のプロフェッショナルにとっては、マルチチャンネルのミキシングは比較的新しいものです。そこには、より多くのチャンネル数や機材とともに、より多くの学ぶべき技術があります。

スタジオのセットアップ方法は？

ベースマネージメントを使用するべきか

答えなければならない疑問は、数限りがありません。

本書は、マルチチャンネル再生環境を適切に調整・構築するために必要とされる知識の集大成を提供しています。

また、本書のコンテンツの多くの部分は、THX pm3 プログラムと同じ原則を共有しています。

我々 THX は、ヤマハ、中原氏、そしてソナとの連携を光栄に思っています。また、ユーザーの道標となるドキュメント制作に払われた彼らの努力に関われたことに誇りを感じています。

ヤマハのデジタルコンソールに搭載されたサラウンドモニタリング機能を正確に理解していただくために、本書がエンジニアの皆様になじみ深く読まれることを願っています。

ツールは揃いました。

さあ、あとはパーフェクトなミキシングがあなたの手に委ねられています。

スティーブン・P・マーツ
THX Ltd.

まえがき

スタジオの音響設計が仕事である僕にとって、最終的に正しい再生環境・特性を持たせて作品（スタジオ）をスタジオのオーナーへと手渡すことは、何にも代え難い別れのセレモニーです。

マルチチャンネルスタジオにおいてそれを実現するためには、各種規格団体やメーカーから公表されている様々な技術書類の断片を集め、それらを整理し理解する必要があります。

それには、膨大な手間と時間がかかりますが、結果としてその中で THX のスティーブンを始めとした様々なすばらしいプロフェッショナル達との交流が生まれたことは僕にとって大きな財産です。

彼らの教えてくれたことを自分なりに整理していくうちに、新たなヒントやスタジオのデザインテクニックなど、僕にとってとても貴重なスタジオ設計のツールが生み出されたことも事実です。

最初は、ベースマネジメントやディフューズサラウンドなど、一見プロフェッショナルとは相反するようなテクニックに疑問を持ちましたが、それらを否定することから考えるのではなく、僕より遙かに経験豊富で一流の人々がなぜそのようなことを考え、また実際にサラウンドスタジオに必要とされているのか、といった姿勢で彼らと接しているうちに、その奥に隠れているサラウンド再生の数々の問題や特徴をかいま見ることができたように思います。

本書は、そのような一流のプロフェッショナルの方々から教えてもらったことをまとめた貴重なブックレットです。従って、本書で僕が行ったことは彼らの代筆作業であり、本当の著者は情報提供者である彼らだと思っています。この場をお借りして、感謝致したいと思います。

そのような意図から、特に規格に関係する部分に関しては、なるべく広く平等に、かつ正確に様々なマルチチャンネルのフォーマットを列記させて頂いたつもりです。

一部、音響設計者としての僕の意見を反映させて頂いた内容もありますが、その点はご了承下さい。

作品制作には、リスナーとしてのユーザー体験が大きな財産になると思っています。

そのためには、正しい再生環境でマルチチャンネル・オーディオを聞くための空間が業務用途だけではなくパーソナル用途としても必要です。

「百見は一聞に如かず」です。

本書が、皆さんのマルチチャンネル再生環境を自信を持って構築して頂くための「百見」の手助けとして活用されれば、幸いです。

中原雅考，著者
株式会社ソナ

0. はじめに

スタジオのモニタリング環境にとって最も重要なことは、「全てのチャンネルの特性が揃っている」ことである。
次に重要なことは、その揃った特性が、「良い特性」となっていることである。

「良い特性」を判断するためのパラメーターには、主観的なものから物理的なものまで様々なものが考えられるが、まずは周波数特性に大きなピークやディップが生じていないことが基本である。

2 チャンネルの場合には、部屋形状やスピーカー配置を左右対称に形成することで、モニタリング環境にとって最も重要な事項である「全てのチャンネル、すなわち L 及び R の特性が揃っている」環境を作ることは比較的容易であった。

一方、マルチチャンネルにおいては、部屋形状やスピーカー配置を左右対称に形成するだけでは、全てのチャンネルの再生特性を揃えることが困難である場合が多い。

最終的な作品のミキシングは、整備された再生環境で行う必要がある。

機材のグレードがいくら高くても、良い音でプレイバックされる環境が無い限り、最終的なミキシングを行うことは不可能である。

プロのスタジオとしてのアイデンティティは、「良いモニター環境」にある。

マルチチャンネルの到来は、再度、「スタジオのモニタリング環境とは何か」について考える良いきっかけを与えている。

1. サラウンドとは

1-1. ステレオ, サラウンド

「マルチチャンネル」のことを「サラウンド」と言ったり、「2 チャンネル」のことを「ステレオ」と言ったりすることがある。

正式には、以下のような呼称となる。

正式名称 2 チャンネル・ステレオフォニック

略 称 2 チャンネル

俗 称 ステレオ

正式名称 マルチチャンネル・ステレオフォニック

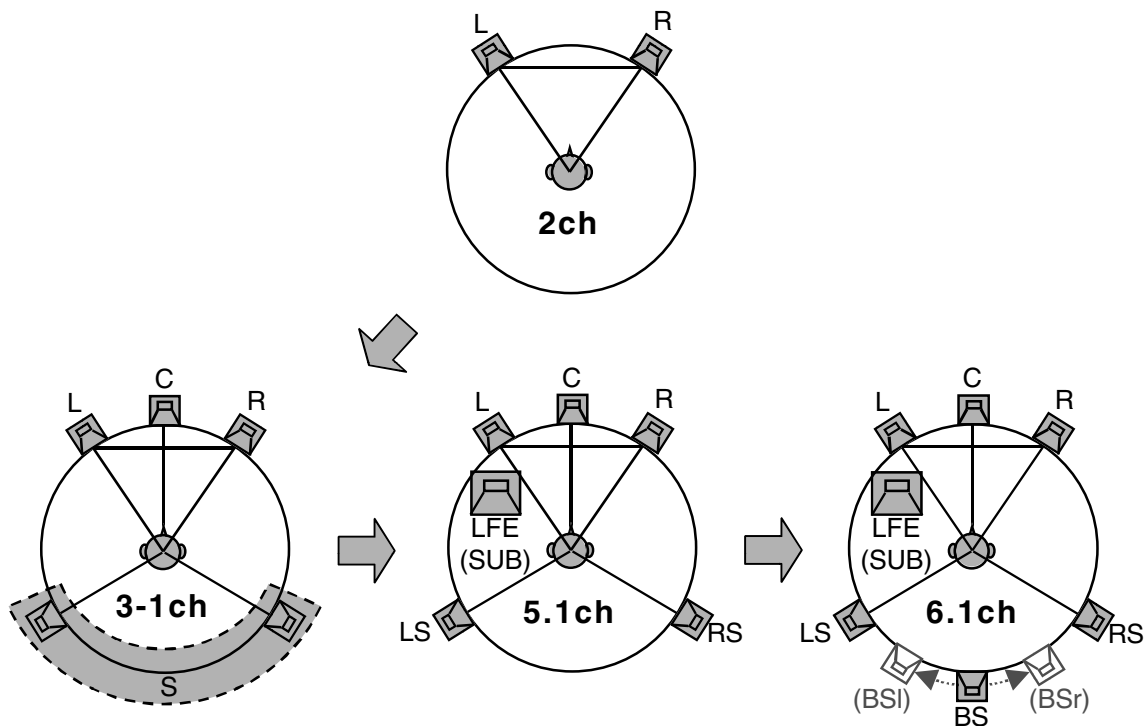
略 称 マルチチャンネル

俗 称 サラウンド

「ステレオ（フォニック）＝立体音響」である。

1-2. チャンネル構成

現在では、様々なメディアからいくつものチャンネル・アサインが提案されている。
その中の代表的なものを以下に紹介する。



[Fig. 1] 2ch, 3-1ch, 5.1ch, 6.1ch

1-2-1. 3-1ch

2ch のシステム (L, R) を踏襲し、センター・チャンネル (C) 及びサラウンド・チャンネル (S) を付加した再生方式である。

サラウンド・スピーカーは、左右後方に 1 つずつ設置されているが、モノラル再生となる。

「3-1」の「3」は、L, C, R を表し、「-1」は S を表す。

「3-1」を「3.1」と表記した場合には、「L, C, R」+「LFE」を意味することになるため、注意が必要である。

1-2-2. 5.1ch

3-1ch のシステムを踏襲し、サラウンドのステレオ化 (LS, RS) と低域効果用の LFE (Low Frequency Effect) チャンネルを付加した再生方式である。

LFE チャンネルは、低域再生専用のサブウーファーから再生される。

1-2-3. 6.1ch

5.1ch のシステムを踏襲し、新たにバックサラウンド・チャンネル (BS) を付加した方式である。

バックサラウンド・チャンネルを再生するためのスピーカーを 2 つ用いる場合、それらを BSl, BSr と表記することがあるが、再生される信号は BSl=BSr のモノラル再生となる。

1-2-4. その他

その他の方式としては、5.1ch をベースとして特定チャンネルを使用しない 3-2 (LFE 無し)、2-2 (C, LFE 無し) 等がある。

6.1ch より多いチャンネル数のフォーマットとしては、7.1ch が存在する。

7.1ch には、映画で使用される SDDS 方式と、DVD-Video などに使用される Dolby ProLogic IIx がある。

SDDS は、L と C の間及び R と C の間にそれぞれ LC チャンネル、RC チャンネルを付加したディスクリートの 7.1ch 方式であり、大規模映画館におけるスクリーンスピーカーの中抜けを補間する用途等で用いられている。SDDS の 7.1ch は、5.1ch と互換性を有しているため、SDDS は 5.1ch 及び 7.1ch の双方に対応したフォーマットといえる。

Dolby ProLogic IIx は、デコーダ側の処理でマトリックス理論を応用して BS のステレオ化 (BSl, BSr) を行うものであり、現状では民生デコーダ (レシーバー) における再生側でのサラウンド処理といった位置づけである。

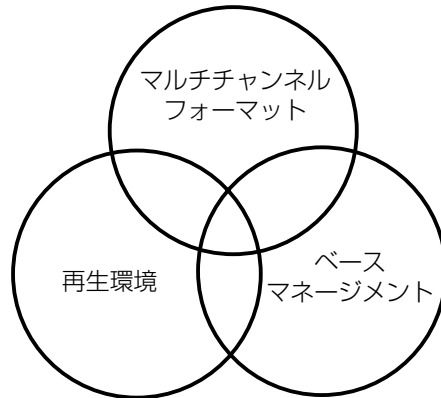
現在のマルチチャンネル・システムは、従来のシステムとの互換性を保つことで発展してきたシステムであり、360° のバーチャル音響再生を行うために研究・開発されたシステムではない。

従って、現状のマルチチャンネル・システムに対して完全なバーチャル音響再生能力を期待してしまうと、作品制作時に困窮することになる。特に真横方向の音像定位 (L と LS のファンタム音像、R と RS のファンタム音像) 等は、聴覚の生理的な機能から現状のスピーカー配置では困難な表現の 1 つである。

新たに与えられたチャンネルを効果的に使い、如何に「エンターテインメント性の高い」作品を作るかが、マルチチャンネル制作における重要なポイントである。

1-3. マルチチャンネル・モニタリングのキーポイント

マルチチャンネルのモニタリングに関しては、主に以下の 3 つのキーポイントを理解しておくことが重要である。



[Fig. 2] マルチチャンネル・モニタリングのキーポイント

本書では、上記の 3 つの項目に加え、それらを構築するためのモニターシステム及び、マルチチャンネルの再生環境を構築するために必要とされる測定・調整作業に関して解説を行う。

尚、本書は中小規模のマルチチャンネル・スタジオを対象に書かれたものであり、映画館や映画作品のファイナルミックスを行うダビングスタジオのような大空間でのサラウンド再生には該当しない記述も多いため注意頂きたい（特に、スピーカー配置、ディレイ調整、ベースマネージメント等）。

2. マルチチャンネル・フォーマット

現在では、DVD を始め様々な大衆メディアにおいてマルチチャンネル再生が可能である。
それぞれのメディアにおける再生特性は、以下に示す団体やメーカーにより規定されている。
尚、ここでの「再生特性」とは、各チャンネルの再生レベルバランスや再生帯域幅の規定のことを意味する（詳細は、後述）。

メディア	再生特性の規定	採用された記録方式	(注)	メディアの規定団体
映画	SMPTE	Dolby DIGITAL, DTS, SDDS 等	≪	SMPTE, ISO
DVD-Video ^{*1}	Dolby lab., DTS	Dolby DIGITAL, DTS 等	≪	DVD Forum WG1
DVD-Audio	DVD Forum WG4 ^{*2}	LPCM, PPCM (Packed PCM, MLP) ^{*3}	=	DVD Forum WG4
Super Audio CD	Sony, Philips	DST coded DSD ^{*4}	=	Sony, Phillips
デジタル放送	ARIB ^{*5}	MPEG-2 AAC ^{*5}	<	ISO, IEC ^{**}
	Dolby lab.	Dolby DIGITAL ^{*6}	—	—
	DTS	DTS ^{*7}	—	—
	運営団体	MPEG-2 ^{*8}	<	ISO, IEC ^{**}
	その他マトリックス方式 ^{*9} Dolby Surround, Dolby ProLogic II(x), Circle Surround 等			
GAME	Dolby lab., DTS	Dolby, DTS	≪	各ハードメーカー

(注) 「≪」 規定団体が定めた記録フォーマットの中で、他社が具体的な記録方式・再生特性を提供。

「<」 規定団体が定めた記録方式を使用し、運用団体が再生特性を検討。

「=」 規定団体が直接記録方式・再生特性を設定。

*1 DVD-Video では、LPCM によるマルチチャンネルも可。

*2 PPCM のアルゴリズムは、Meridian Audio Ltd., が提供。

*3 PPCM では、Max 96k/24bit/6ch.

LPCM では、Max 96k/24bit/4ch, 96kHz/20bit/5ch, 96kHz/16bit/6ch.
(2ch では、Max 192kHz/24bit)

*4 (2ch では、Plain DSD (非圧縮 DSD) も可)

*5 日本。

*6 欧米, 韓国 他。

*7 欧州 他。

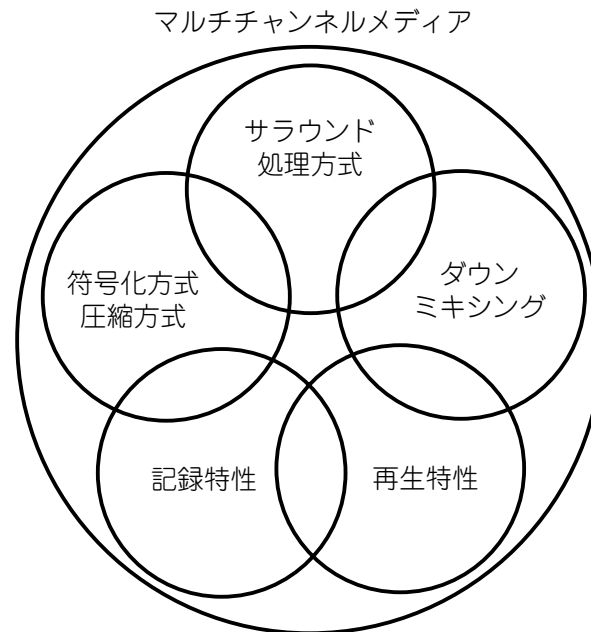
*8 欧州 他。

*9 アナログ放送にも適用可能。

** 放送メディアの規定ではなく、記録方式の規定を意味する。

[Table. 1] マルチチャンネル・フォーマットと規定団体

マルチチャンネル・メディアは、「サラウンド処理方式」、「符号化・圧縮方式」、「記録特性」、「再生特性」の組み合わせにより、それぞれのフォーマットの特徴が形成されている。
また、それらのメディアの多くは、2チャンネル再生も可能なように「ダウン・ミキシング」の機能を有している。



[Fig. 3] マルチチャンネル・メディアを特徴付けている要素

以上の組み合わせにより、現在では主に以下のマルチチャンネル・フォーマットが大量メディアとして存在する。

メディア	ビデオカセットテープ他		
方式	3-1 マトリックス		5.0 マトリックス
名称	Dolby Surround	DTS Stereo	Dolby Pro Logic II
メーカー、団体	Dolby lab.	DTS	Dolby lab.
サラウンド処理方式	4-2 Matrix Encode	←	5-2 Matrix Encode
圧縮方式	-	-	-
記録特性 (メディア)	L,C,R : フルレンジ S : 100Hz - 7kHz	← ←	L,C,R : フルレンジ LS,RS : 100Hz～20kHz LFE : 無し or L/R に付加 (～120Hz)
再生特性 (スピーカー, アンプ)	レベル : L=C=R=S(LS+RS)	←	レベル : L=C=R=LS=RS, LFE : 無し
	L,C,R : フルレンジ, S : 100Hz - 7kHz	← ←	L, C, R, LS, RS : フルレンジ, LFE : 無し

[Table. 2-1] マルチチャンネル・フォーマット一覧 (代表例), ビデオカセットテープ他

メディア	映画		
方式	3-1 マトリックス		
名称	Dolby Stereo	DTS Stereo	
メーカー、団体	Dolby lab.	DTS	
サラウンド処理方式	4-2 Matrix Encode	←	
圧縮方式	-	-	
記録特性 (メディア)	L,C,R：フルレンジ S：100Hz ～7kHz	← ←	
再生特性 (スピーカー、アンプ)	レベル： L=C=R=S(LS+RS)	←	
	L,C,R：フルレンジ，	←	
	S：100Hz ～7kHz	←	
方式	5.1 ディスクリット		
名称	Dolby DIGITAL	DTS	SDDS
メーカー、団体	Dolby lab.	DTS	Sony
サラウンド処理方式	-	-	-
圧縮方式	Dolby AC-3	APT-X100	ATRAC
記録特性 (メディア)	L,C,R,LS,RS：フルレンジ LFE： ～120Hz	L,C,R：フルレンジ LS, RS：80Hz～20kHz* LFE： ～80Hz *LS, RS の 80Hz 以下の信号 は、エンコーディング時に LFE チャンネルに合成記録	L,C,R,LS,RS：フルレンジ LFE：～120Hz (SMPTE 準拠) * *原理上フルバンド可.
再生特性 (スピーカー、アンプ)	レベル：L=C=R, LS=RS=-3dB,	←	←
	LFE=+10dB in-band gain	←	←
	L, C, R, LS, RS：フルレンジ, LFE：20Hz ～120Hz	L, C, R：フルレンジ, LS, RS：80Hz～20kHz LFE：20Hz ～ 80Hz	L, C, R：フルレンジ, LFE：20Hz～120Hz
備考			LC (L と C の間) , RC (R と C の間) の 2ch を加えた 7.1ch (8ch) も可能.

[Table. 2-2] マルチチャンネル・フォーマット一覧 (代表例), 映画

方式	6.1 マトリックス		
名称	Dolby DIGITAL Surround EX	DTS-ES Matrix	
メーカー, 団体	Dolby lab.	DTS	
サラウンド処理方式	LS,RS : 3-2 Matrix encode	LS,RS : 3-2 Matrix encode	
圧縮方式	Dolby AC-3 (L,C,R,LFE) Surround back channel- encode (LS, RS)	APT-X100	
記録特性 (メディア)	L,C,R,LS,RS,BS : フルレンジ LFE : ~120Hz	L,C,R : フルレンジ LS, RS, BS : 80~20kHz* LFE : ~ 80Hz *LS, RS, BS の 80Hz 以下の信号 は, エンコーディング時に LFE チャ ンネルに合成記録	
再生特性 (スピーカー, アンプ)	レベル : L=C=R, LS=RS=BS=-3dB, LFE=+10dB in-band gain	← ←	
	L, C, R, LS, RS, BS : フルレンジ, LFE : 20Hz ~ 120Hz	L, C, R : フルレンジ, LS, RS : 80Hz~20kHz LFE : 20Hz ~ 80Hz	

Table. 2-2 (前頁より続き) マルチチャンネル・フォーマット一覧 (代表例), 映画

メディア	DVD-Video		
方式	3-1 マトリックス	3-1 ディスクリート	
名称	Dolby Surround	Dolby DIGITAL	
メーカー, 団体	Dolby lab.	Dolby lab.	
サラウンド処理方式	4-2 Matrix Encode	-	
圧縮方式	-	Dolby AC-3	
記録特性 (メディア)	L,C,R : フルレンジ S : 100Hz ~ 7kHz	L, C, R, S : フルレンジ	
再生特性 (スピーカー, アンプ)	レベル : L=C=R=S(LS+RS) L,C,R : フルレンジ, S(LS+RS) : 100Hz ~ 7kHz	レベル : L=C=R=S(LS+RS) L, C, R, S(LS+RS) : フルレンジ	
方式	5.0 マトリックス	5.1 ディスクリート	
名称	Dolby Pro Logic II	Dolby DIGITAL	DTS
メーカー, 団体	Dolby lab.	Dolby lab.	DTS
サラウンド処理方式	5-2 Matrix Encode	-	-
圧縮方式	-	Dolby AC-3	DTS Coherent Acoustic
記録特性 (メディア)	L,C,R : フルレンジ LS,RS : 100Hz~20kHz LFE : 無し or L/R に付加 (~120Hz)	L,C,R,LS,RS : フルレンジ LFE : ~ 120Hz	← ←
再生特性 (スピーカー, アンプ)	レベル : L=C=R=LS=RS, LFE : 無し L, C, R, LS, RS : フルレンジ, LFE : 無し	レベル : L=C=R=LS=RS, LFE=+10dB in-band gain L, C, R, LS, RS : フルレンジ, LFE : 20Hz ~ 120Hz	← ← ← ←
方式	6.1 マトリックス		6.1 ディスクリート
名称	Dolby DIGITAL Surround EX	DTS-ES Matrix	DTS-ES Discrete
メーカー, 団体	Dolby lab.	DTS	DTS
サラウンド処理方式	LS,RS : 3-2 Matrix encode	LS,RS : 3-2 Matrix encode	-
圧縮方式	Dolby AC-3 (L,C,R,LFE) Surround back channel- encode (LS, RS)	DTS Coherent Acoustic	DTS Coherent Acoustic
記録特性 (メディア)	L,C,R,LS,RS,BS : フルレンジ LFE : ~ 120Hz	← ←	← ←
再生特性 (スピーカー, アンプ)	レベル : L=C=R=LS=RS, LFE=+10dB in-band gain L, C, R, LS, RS : フルレンジ, LFE : 20Hz ~ 120Hz	← ← ← ←	← ← ← ←

[Table. 2-3] マルチチャンネル・フォーマット一覧 (代表例), DVD-Video

メディア	音楽	
方式	5.1 (6ch) ディスクリート	
名称	DVD-Audio	Super Audio CD
メーカー, 団体	DVD Forum WG-4	Sony, Phillips
サラウンド処理方式	-	-
圧縮方式	PPCM (Packed PCM, MLP) Max 96kHz/24bit/6ch	DST (Direct Stream Transfer)
	LCPM (非圧縮) Max 96kHz/24bit/4ch Max 96kHz/20bit/5ch Max 96kHz/16bit/6ch	
記録特性 (メディア)	L,C,R,LS,RS : フルレンジ	←
	LFE : フルレンジ	←
再生特性 (スピーカー, アンプ)	レベル : L=C=R=LS=RS=LFE	←
	L, C, R, LS, RS : フルレンジ,	←
	LFE : 規定無し (フルレンジも可)	←
その他の方式	2-1, 2-1.1, 3, 3.1, 3-1, 3-1.1, 2-2, 2-2.1, 3-2 等	3, 3.1, 2-2, 2-2.1, 3-2

[Table. 2-4] マルチチャンネル・フォーマット一覧 (代表例), 音楽

メディア	デジタル放送	
方式	5.1 ディスクリート	
主な国	日本	欧州 他
名称	—	—
メーカー、団体	信号フォーマット：ISO, IEC 再生特性等：ARIB	信号フォーマット：ISO, IEC 再生特性等：各運用団体
サラウンド処理方式	-	-
圧縮方式	MPEG-2 AAC	MPEG-2
記録特性 (メディア)	L,C,R,LS,RS,LFE*：フルレンジ	L,C,R,LS,RS：フルレンジ LFE：～125Hz
再生特性 (スピーカー、アンプ)	レベル：L=C=R=LS=RS, LFE：ARIB の規定による	レベル：L=C=R=LS=RS, LFE：運用団体の規定による
	L, C, R, LS, RS：フルレンジ, LFE：ARIB の規定による	L, C, R, LS, RS：フルレンジ, LFE：20 ～ 125 Hz
主な国	欧米, 韓国 他	欧州 他
名称	Dolby DIGITAL	DTS
メーカー、団体	Dolby lab.	DTS
サラウンド処理方式	-	-
圧縮方式	Dolby AC-3	DTS Coherent Acoustic
記録特性 (メディア)	L,C,R,LS,RS：フルレンジ LFE：～120Hz	← ←
再生特性 (スピーカー、アンプ)	レベル：L=C=R=LS=RS, LFE=+10dB in-band gain	← ←
	L, C, R, LS, RS：フルレンジ, LFE：20Hz ～ 120Hz	← ←
その他の方式	ディスクリート方式：3-1, 5.0 等 マトリックス方式：Dolby Surround, ProLogic II(x), Circle Surround 等	

* MPEG-2 AAC では、LFE チャンネルの符号化はフルバンド対応であるが、伝送時に帯域制限が設けられることがある。

[Table. 2-5] マルチチャンネル・フォーマット一覧（代表例）、デジタル放送

メディア	ゲーム		
方式	5.1 ディスクリット		5.0 マトリックス
名称	Dolby DIGITAL	DTS	Dolby Pro Logic II
メーカー，団体	Dolby lab.	DTS	Dolby lab.
サラウンド処理方式	-	-	5-2 Matrix Encode
圧縮方式	Dolby AC-3	DTS Coherent Acoustic	-
記録特性 (メディア)	L,C,R,LS,RS：フルレンジ LFE： ～ 120Hz	← ←	L,C,R：フルレンジ LS,RS：100Hz～20kHz LFE：無し or L/R に付加 (～120Hz)
再生特性 (スピーカー，アンプ)	レベル：L=C=R=LS=RS， LFE=+10dB in-band gain	← ←	レベル：L=C=R=LS=RS， LFE：無し
	L, C, R, LS, RS：フルレンジ， LFE：20Hz ～ 120Hz	← ←	L, C, R, LS, RS：フルレンジ， LFE：無し
その他の方式	インタラクティブ等		

[Table. 2-6] マルチチャンネル・フォーマット一覧 (代表例)，ゲーム

2-1. サラウンド処理方式

サラウンド処理方式には、「マトリックス方式」と「ディスクリート方式」の2種類がある。

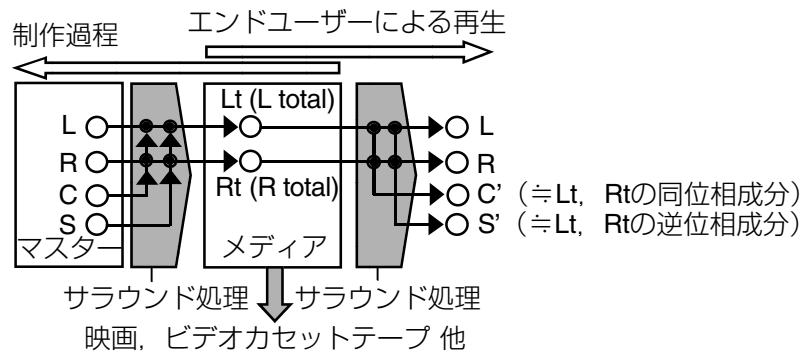
2-1-1. マトリックス方式

位相合成技術などを用い、限られたトラック数の中にそれ以上のチャンネル数を記録する方式である。従って、チャンネルによっては、再生帯域やチャンネル・セパレーション（クロストーク）に関して制約が生じる場合がある。

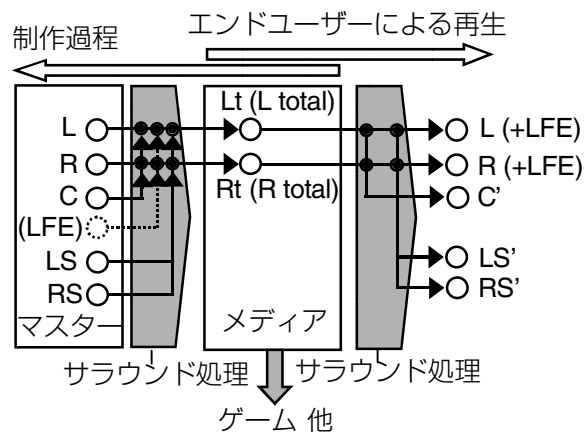
マトリックス方式は、映画のアナログ・トラックやビデオカセット・テープなどトラック数に制約が生じるアナログ記録に対して用いられることが多い。

但し、原理上は、CDなどのデジタル・メディアに関しても適用可能である。

最近では、ゲームメディアにおいて Dolby Pro Logic II を使用した 5.0 マトリックス方式が多く用いられるようになってきている。

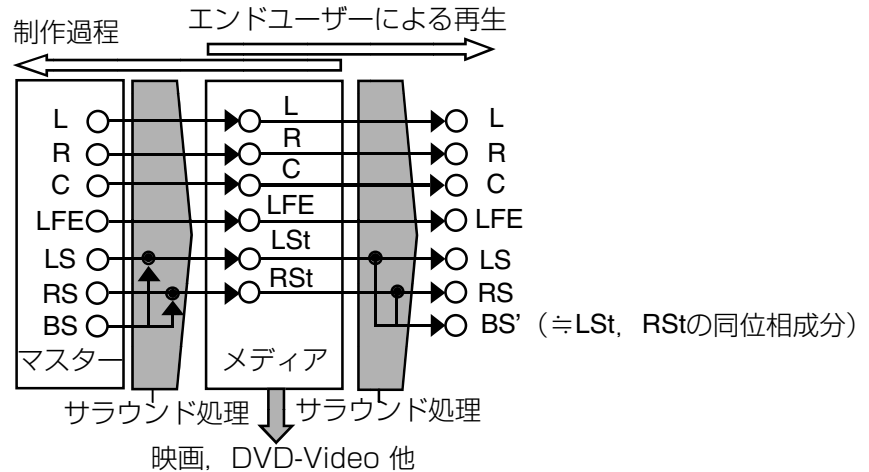


[Fig. 4] 3-1 マトリックス



[Fig. 5] 5.0 マトリックス

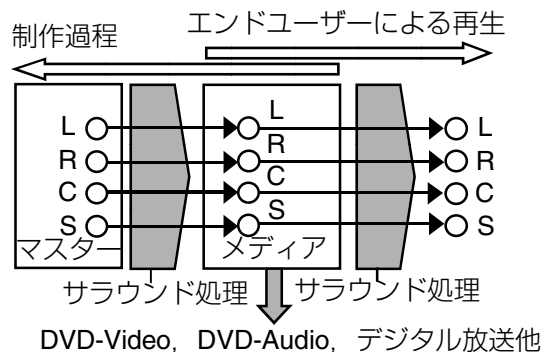
LFE 成分が必要な場合は、予め L, R チャンネルに LFE をミックスしておく。



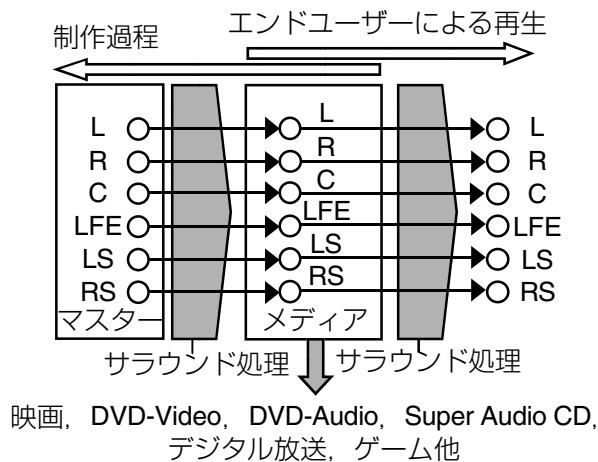
[Fig. 6] 6.1 マトリックス

2-1-2. ディスクリート方式

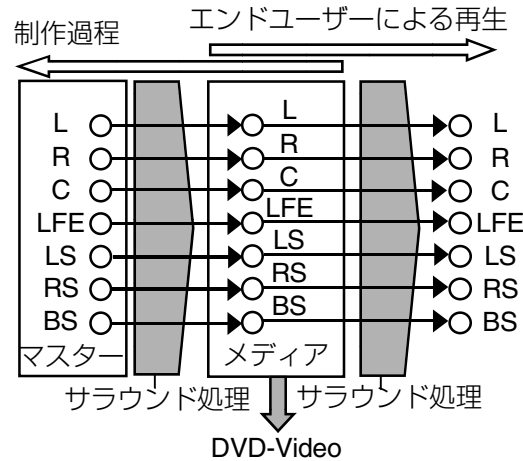
各チャンネルを完全に独立したトラックとして記録可能な方式である。
 DVD などの大容量メディアの登場とデジタル圧縮技術の進歩により可能となった。



[Fig. 7] 3-1 ディスクリート



[Fig. 8] 5.1 ディスクリート



[Fig. 9] 6.1 ディスクリット

2-2. 符号化・圧縮方式

2-2-1. 符号化方式

アナログ信号をデジタル信号へと符号化する場合、時間軸（周波数軸）のサンプリング密度に対応するサンプリング周波数（ f_s [Hz]）と、振幅（音の大きさ）のサンプリング密度に対応する量子化ビット数（ Q_b [bit]）の 2 つのパラメーターが符号化の性能に大きく関わる。 f_s [Hz]、 Q_b [bit]共にその値が大きいほど、デジタル符号化によるノイズ発生を小さく抑えることが出来る。従って、一般的には、 f_s [Hz]、 Q_b [bit]共にその値が大きいほど「高音質」と解釈される。

2 チャンネルメディアでは、CD が $f_s=44.1\text{kHz}$ 、 $Q_b=16\text{bit}$ 、DAT が $f_s=48\text{kHz}$ 、 $Q_b=16\text{bit}$ で符号化が行われていた。これらのメディアではダイナミックレンジは約 96dB である。マルチチャンネル・メディアでは、DVD-Audio が $f_s=96\text{kHz}$ 、 $Q_b=24\text{bit}$ を 6ch の符号化性能として有しており、ダイナミックレンジは、約 144dB である。このような符号化方式をマルチビット方式と呼び、 $f_s/2$ で再生可能上限周波数が決定し、 Q_b でダイナミックレンジがほぼ決定する符号化方式である。

一方、量子化ビット数を最低の $Q_b=1\text{bit}$ とし、その代わりに非常に大きな f_s でサンプリングを行う符号化方式を 1 ビット高速サンプリング方式と呼び、Sony、Phillips により開発された Super Audio CD (SA-CD) では、DSD (Direct Stream Digital) 方式と呼ばれている。

1 ビット高速サンプリングでは、音の大きさを Q_b による振幅の段階表現ではなく、音の粗密で表現することになるため、音波の物性そのものに近い符号化方式であると言われている。但し、 $Q_b=1\text{bit}$ のため、符号化時の量子化ノイズはマルチビット方式に比べて非常に大きくなるため、これを改善するためには非常に大きな f_s が要求される。Super Audio CD では、 $f_s=2.8224\text{MHz}$ の高速サンプリングに $\Delta\Sigma$ 変調を併用することで、量子化ノイズを可聴帯域外にシフト（ノイズシェーピング）し、可聴帯域内で約 120dB 以上のダイナミックレンジを実現している。また、記録帯域は、DC～100kHz とされている。

このように音声信号のデジタル符号化に関しては現在、「マルチビット方式」と「1 ビット高速サンプリング方式」の 2 種類がある。一般に「PCM」や「LPCM」と称する場合は「マルチビット方式」を表す場合が多い。一方、1 ビット高速サンプリングが採用されている大衆メディアは現在 Super Audio CD のみであることから、1 ビット高速サンプリングと DSD は同義語として扱われることが多い。

Lossy 圧縮（非可逆圧縮）のフォーマット例

メディア	CH	圧縮方式	fs [Hz]	Qb [bit]	Bitrate [bps]	ダイナミックレンジ [dB]
映画	5.1ch	Dolby AC-3	44.1k	16	320k	-
		APT-X100 (DTS)	44.1k	16	882k	-
		ATRAC (SDDS)	44.1k	16	2.4M*	-
DVD-Video	1～5.1ch	Dolby AC-3	48k	16, 20, 24	224k**, 256k**, 320k**, 384k**, 448k**	-
	(1～7.1ch)	DTS coherent acoustic	48k, 96k	16, 20, 24	754.5k**, 1,509.75M**	-
デジタル放送 (日本)	1～5.1ch	MPEG-2 AAC (LC profile)	32k, 44.1k, 48k, (96k)	16 以上	144～256k (2ch) 320k～384k (Multi)	-

* 8ch (L, LC, C, RC, R, LS, RS, LFE) +バックアップ (Lmix, Rmix, C', LFE)

** 5.1ch 以上

※ SDDS (映画, ATRAC) では, 5.1chに LC (L と C の間), RC (R と C の間) を加えた 7.1ch (8ch) が可能.

※ DVD-Video におけるマンドトリ音声信号: LPCM 信号または Dolby Digital (AC-3) 信号 (TV System 625/50 地域では MPEG 信号も必須). DVD-Video プレーヤーには, Dolby Digital (AC-3) 信号の再生機能が必須.

※ DVD-Video におけるオプション音声信号: DTS, MPEG, SDDS

[Table. 3-2] Lossy 圧縮のフォーマット例

Lossless 圧縮（可逆圧縮）のフォーマット例

メディア	CH	圧縮方式	fs [Hz]	Qb [bit]	Bitrate [bps]	ダイナミックレンジ [dB]
DVD-Audio	1～5.1(6)ch	PPCM (Packed PCM, MLP)	44.1k, 88.2k, 176.4k* 48k, 96k, 192k*	16, 20, 24	Max 9.6M	Max 144dB
Super Audio CD	2～5.1(6)ch	DST (Direct Stream Transfer)	2.8224M	1	Max 14.99136M	120dB 以上**

* fs = 176.4k, 192k は, 1～2ch のみ.

** 可聴帯域内での値. ΔΣ変調によるノイズシェーピング効果を含む.

※ Super Audio CD は, 2 チャンネルソースの記録が必須 (マルチチャンネルソースのみのディスクは不可).

※ DVD-Audio では, 2 チャンネルソースとマルチチャンネルソースの両方を記録する場合と, マルチチャンネルソースのみでダウンミックス係数をメタデータとして記録する場合の 2 通りがある.

[Table. 3-3] Lossless 圧縮のフォーマット例

2-3. 記録特性

「記録特性」とは、スタジオで制作したマスターテープを制作対象メディアに記録する際に許容される特性を意味する。

メディアへ記録される各チャンネルの特性は、上記で示した符号化・圧縮方式による特性に準じる。また、アナログ記録のものに関しては、記録媒体のスペックによることになる。但し、Lossy 圧縮（非可逆圧縮）のものに関しては、fs と Qb がそのまま記録特性に反映されるわけではないので注意が必要である（特に、ダイナミックレンジ）。現状では、ほとんどのメディアにおいて、全てのチャンネルはフルレンジ記録可能である。但し、LFE 及びサラウンド・チャンネルに関しては、メディアにより違いが生じる。

2-3-1. LFE チャンネル

映画や DVD-Video など、Dolby DIGITAL で記録されるメディアにおいては、記録時に帯域が 120Hz までに制限される*。

DTS に関しても、それに準じる。但し、映画においては、80Hz までが DTS による LFE チャンネルの記録帯域となる。

デジタル放送（欧州他）で用いられる MPEG-2 に関しても同様に、LFE の記録帯域の上限は 125Hz までに制限される。

MPEG-2 AAC（デジタル放送、日本）に関しては、符号化性能としてはフルバンド記録可能であるが、伝送スペクトルの関係から LFE チャンネルに帯域制限が生じることがある。従って、伝送系含めた特性として LFE チャンネルの記録帯域を認識しておく必要がある（ISO/IEC 及び ARIB 参照）。

音楽メディア（DVD-Audio, Super Audio CD）においては、LFE チャンネルに関してもメインチャンネルと同様にフルレンジ記録が可能である。

*厳密には、Dolby Digital では、600Hz 程度までの信号を DVD-Video の LFE チャンネルに記録することが出来るが、エンコーディング時のオプションとして LFE チャンネルに対する LPF (fc=120Hz) がデフォルト採用されているため、特殊な場合を除き 120Hz を LFE チャンネルの記録・再生における上限周波数と考えておいた方が良い。

2-3-2. サラウンド・チャンネル (S, LS, RS, BS)

3-1 マトリックス (Dolby stereo, Dolby surround, DTS stereo) においては、S チャンネルの記録帯域が 100Hz -7kHz に制限される。また、5.0 マトリックス (Dolby Pro Logic II) に於いては、LS 及び RS の記録チャンネルは、100Hz~20kHz に制限される。

映画における DTS (5.1, 6.1) では、サラウンド・チャンネル (LS, RS, BS) の記録帯域が 80Hz 以上に制限されるが、マスターテープに記録されているそれ以下の帯域は、LFE チャンネルにまとめて記録されるため、再生結果としてはフルレンジとなる。いわゆるベースマネージメント（4. にて解説）による記録である。

2-4. 再生特性

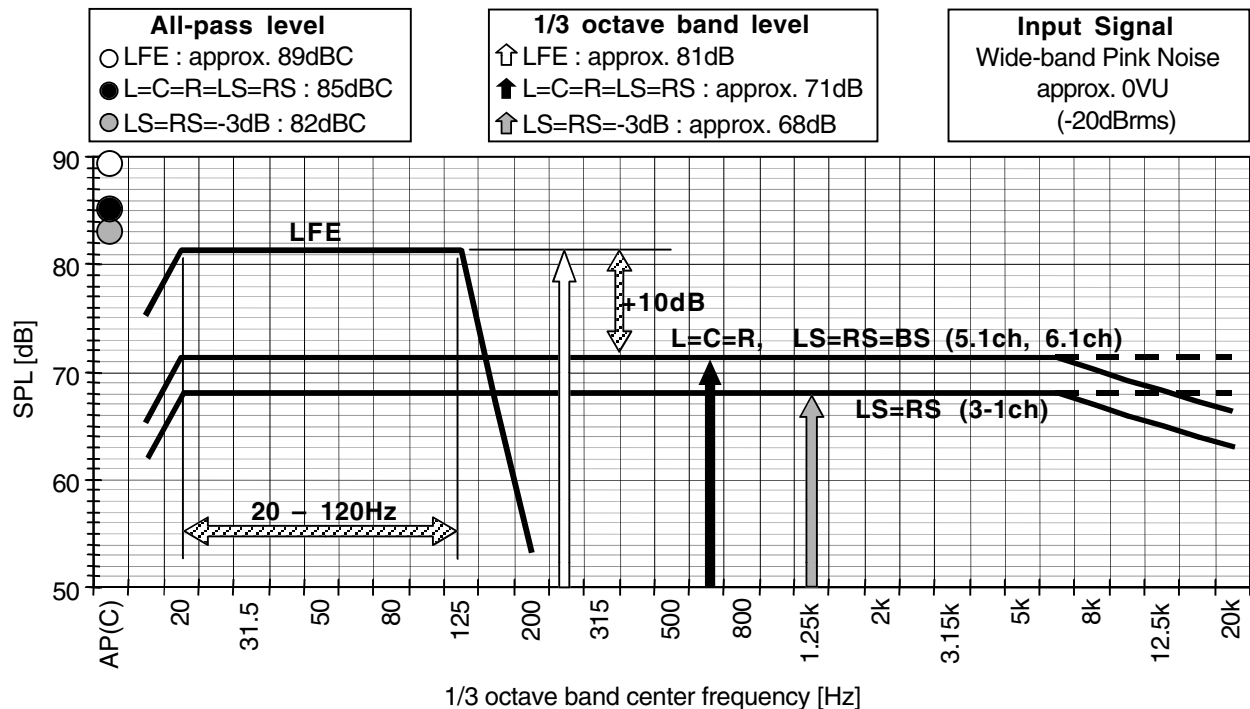
「再生特性」とは、メディアを再生する際に要求（推奨）される再生システムの特徴を意味する。

例えば、各スピーカーから再生される周波数特性やレベル・バランスがそれに相当する。

再生特性に関しては、メディアやチャンネル・フォーマットの種類によって、必ずしも記録特性と同じとはならない場合があるので、注意が必要である。

以下、代表的なメディアに関して、再生特性の解説を行う。

2-4-1. DVD-Video : Dolby, DTS



[Fig. 10] DVD-V 再生特性

DVD-Video (Dolby, DTS) では、LFE チャンネル (20~120Hz) の再生レベルをメインチャンネルのバンドレベル+10dB となるように設定する。また、3-1 の際には、L, C, R, S (LS+RS) の再生レベルが同じになるように、LS 及び RS を約 3dB 小さく設定する。

【フロント・チャンネル】

・ レベル

$L=C=R$ (=85dB)

全てのチャンネルの再生レベルを等しくする。

・ 再生帯域

フルレンジ

【サラウンド・チャンネル】

・ レベル

3-1 : S (LS+RS) = $L/C/R$ (=85dB)

LS 及び RS の再生レベルを 5.1 の場合よりも小さく設定する (LS=RS 82dB)

5.1 : $LS=RS=L/C/R$ (=85dB)

6.1 : $LS=RS=BS=L/C/R$ (=85dB)

- 再生帯域

- 3-1 : マトリックスの場合, 100 - 7kHz (フルレンジ・スピーカーを用意しておいた方が良い)
 ディスクリートの場合, フルレンジ
- 5.1 : フルレンジ
- 5.0 : マトリックスの場合, 100Hz~20kHz (フルレンジ・スピーカーを用意しておいた方が良い)
 ディスクリートの場合, フルレンジ
- 6.1 : フルレンジ

【LFE チャンネル】

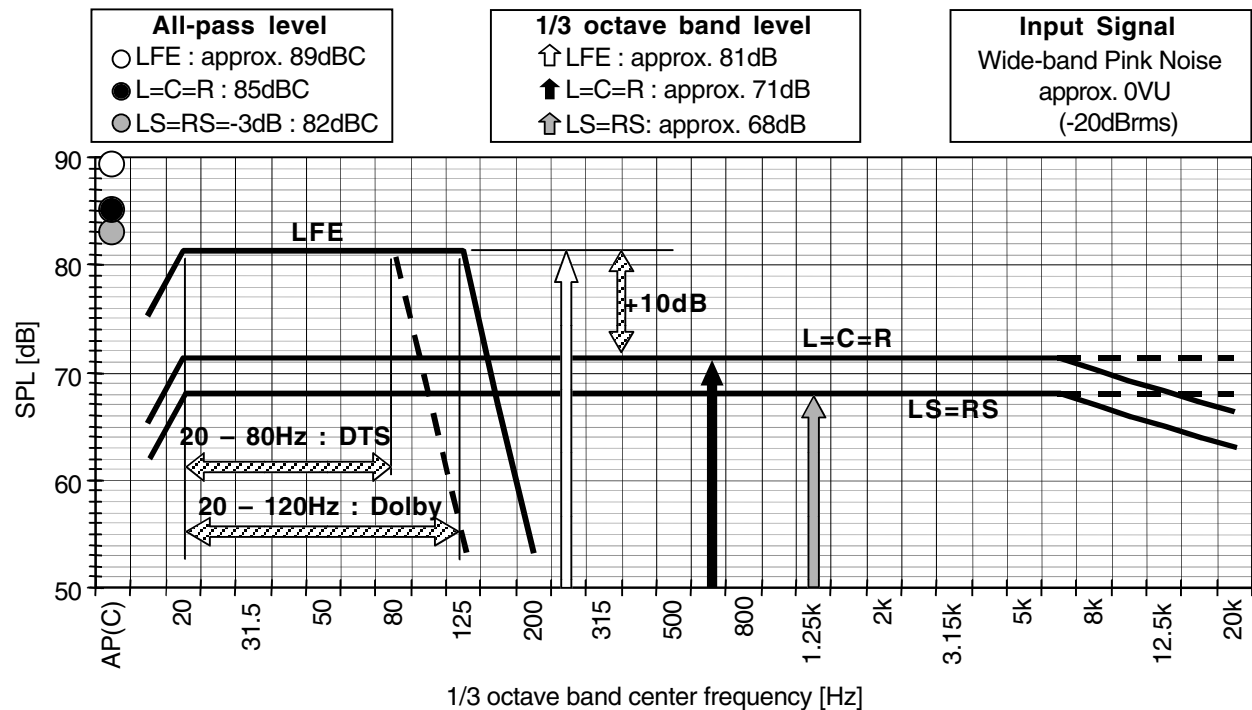
- レベル

メインチャンネルに比較し, 「バンドレベル」 が+10dB.

- 再生帯域

(20Hz) ~ 120Hz

2-4-2. 映画 : Dolby, DTS, SDDS



【Fig. 11】 映画再生特性

劇場公開用の映画作品を制作する環境では, 5.1 と 3-1 とでサラウンドスピーカーの再生レベルの変更は行わない。従って, 5.1 の際も, LS 及び RS の再生レベルは, 他のメインチャンネルに比べ 3dB 小さく設定する (3-1 互換)。LFE に関しては, DVD-Video と同様に, メインチャンネルのバンドレベル+10dB である (SMPTE RP 200 「Proposed SMPTE Recommended Practice; Relative and Absolute Sound Pressure Levels for Motion-Picture Multichannel Sound Systems」)。

【フロント・チャンネル】

- レベル

L=C=R (=85dBC)

全てのチャンネルの再生レベルを等しくする。

- 再生帯域
フルレンジ

【サラウンド・チャンネル】

- レベル
映画作品においては、サラウンド・チャンネルの再生レベルをフロント・チャンネル-3dB に設定する。
映画の再生環境は、3-1 時のレベルバランスを基本として構築されており ($L=C=R=S=(LS+RS)=85\text{dBC}$, $LS=RS=82\text{dBC}$)、5.1 時のサラウンド再生レベルの変更は行わない。
3-1 : $LS=RS=82\text{dBC}$ つまり, $S(LS+RS)=85\text{dBC}$
5.1 : $LS=RS=82\text{dBC}$
6.1 : $LS=RS=BS=82\text{dBC}$
- 再生帯域
3-1 : マトリックスの場合、100~7kHz (フルレンジ・スピーカーを用意しておいた方がよい)
ディスクリートの場合、フルレンジ
5.1 : フルレンジ
6.1 : フルレンジ

【LFE チャンネル】

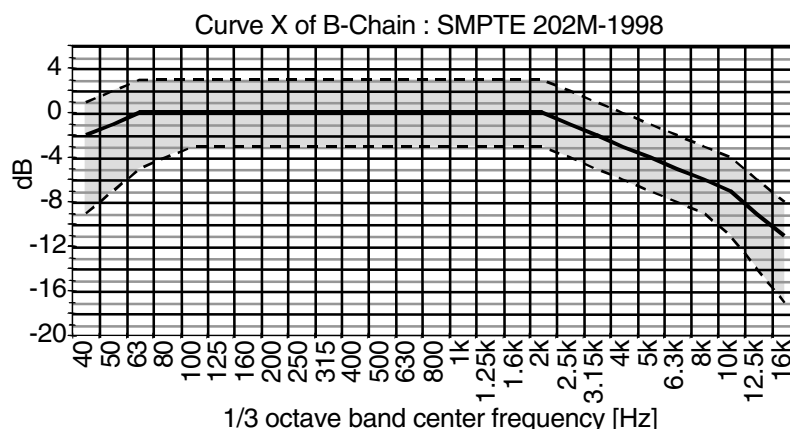
- レベル
メインチャンネルに比較し、「バンドレベル」が+10dB.
- 再生帯域
(20Hz) ~ 120Hz Dolby
(20Hz) ~ 80Hz DTS

【X カーブ】

(X Curve of B-chain : SMPTE 202M-1998 「SMPTE STANDARD; for Motion-Pictures, Dubbing Theaters, Review Rooms, and Indoor Theaters, B-chain Electroacoustic Responses」)

映画館やダビングスタジオなど大空間では、X カーブが再生周波数特性 (B チェイン) の基準として一般的に用いられるが、中小規模のスタジオでは、映画作品の制作であっても DVD-Video で示した特性と同様にフラットな特性を基本とする。

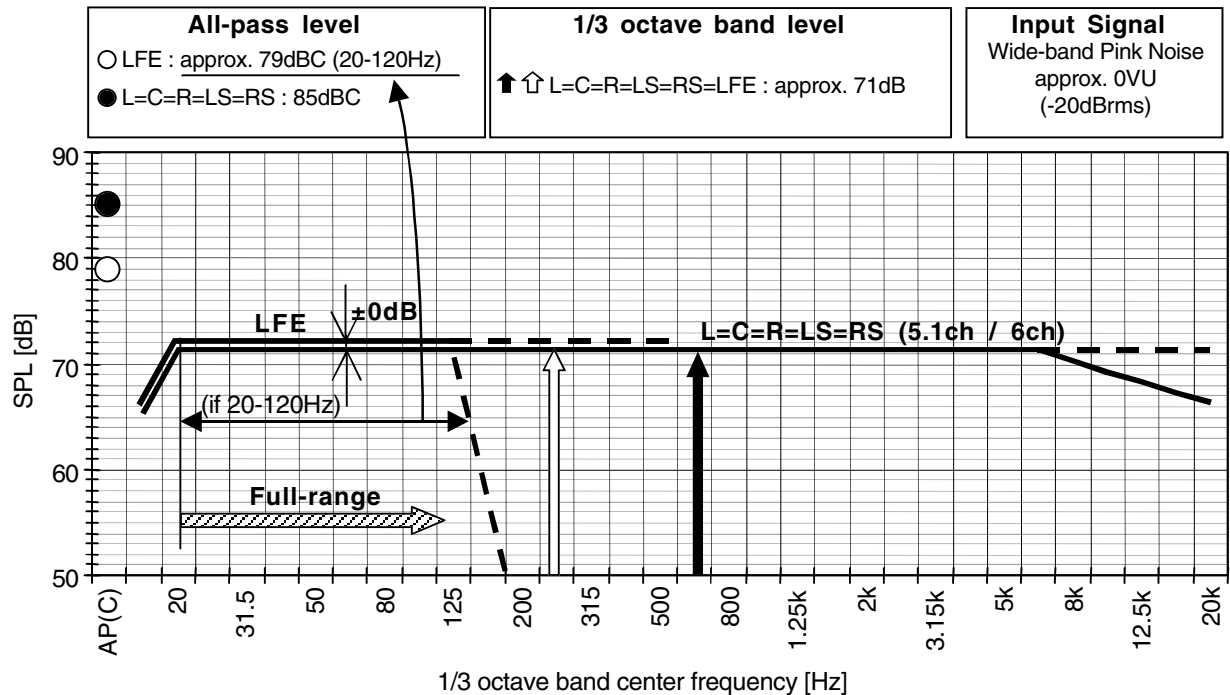
X カーブは、中小空間におけるフラット特性での再生が、大空間でも同様の聴感印象となるために設けられるカーブである。すなわち、聴感上の印象としては、「中小空間におけるフラットレスポンス 大空間の X カーブ特性」である。従って、中小空間で X カーブを適用した場合、違和感のあるローファイな再生印象となることが多い。小空間における映画作品の再生に関してどうしても高域を補正したい場合は、X カーブよりも緩やかな LPF ($f_c=2\text{kHz}$, $1\sim 2\text{dB/oct.}$ など) を用いるといった方法も考えられるが、再生空間の大きさによる聴感印象の違いを把握するためにも、映画作品の最終ミキシングは、大型のダビングスタジオで行う必要がある。



[Fig. 12] X Curve of B-chain : SMPTE 202M-1998

2-4-3. 音楽：DVD-A, Super Audio CD

DVD-A や Super Audio CD における 5.1 チャンネル（6 チャンネル）の再生特性を以下に示す。



[Fig. 13] 音楽再生特性

DVD-Audio や Super Audio CD 等の 5.1 再生環境と DVD-Video の 5.1 再生環境の違いは、LFE チャンネルの再生レベルである。DVD-Audio や Super Audio CD では、LFE チャンネルも他のチャンネルと全く同じ扱いをする。すなわち、5.1 チャンネルというよりも完全ディスクリートの 6ch 記録メディアという位置づけが DVD-Audio や Super Audio CD である。従って、それらのメディアのフォーマットブックにおいては、「LFE チャンネルを含めた全てのチャンネルは等価なスペックで記録・再生が行わなければならない」と明記されており、特別な再生時のレベルバランス等に関する記述はない。

但し、DVD-Audio に於いては、DVD オーディオプロモーション協議会から出版されている「DVD-Audio ソフト制作ガイドブック（増補版）」の中で、LFE チャンネルの扱いが以下のように言及されている。

【LFE の帯域制限について】DVD-Audio ソフト制作ガイドブック（増補版）より要約・抜粋

DVD-Audio 規格書では、LFE チャンネルに収録する信号に対して、帯域制限を義務づけておりません。従って、LFE の記録帯域幅は制作時の判断で決めることが出来ます。一般に DVD-Audio プレーヤーでは LFE 出力に LPF を施すものとそうでないものがありますし、またアンプに於いても LPF の有無がありますので、エンドユーザーでの再生環境においてスピーカーに渡る LFE 信号に LPF が掛かるかどうかはケースバイケースとなります。つまり、プレーヤー／アンプ／スピーカーのいずれでも LPF が掛からないエンドユーザーの環境も存在する可能性があり、その場合、LFE に不要な高域信号が含まれていると、それがそのまま再生される可能性があります。従って、LFE を本来の低域効果用途で使用する場合は、制作時に適切なフィルターの処理を行った方が、様々な環境での再生で同じ効果が得られやすいと考えられます。フィルターのカットオフ周波数は 80Hz～150Hz 程度が一般的ようです。また、LFE に帯域制限を施すことにより、MLP 圧縮の効率が高まるというメリットもあります。

【LFE の記録・再生レベルについて】DVD-Audio ソフト制作ガイドブック（増補版）より要約・抜粋

Dolby DIGITAL 等では、再生時に LFE をブースト（レベルアップ）して再生する仕組みが規定されており、制作時においても同様に再生側でのブースト（+10dB）を行って LFE の制作が行われます。一方、DVD-Audio 規格のオーディオトラック（LPCM, MLP）では、LFE の信号レベル（信号振幅そのものではなく、再生基準レベル）についても、他のチャンネルと同等の扱いとしており、全チャンネル同一レベルが前提となっています。従って、制作時には LFE を特別な扱いとしてレベル調整をする必要はありません。尚、エンドユーザー環境で最終的に得られる LFE の音量は、ユーザーのシステムによって施されるベースマネージメントなど様々な要因で左右される場合があります。あくまでも、ベースマネージメント等を考慮しない場合の信号レベルで、全チャンネル一定と考えて下さい。

従って、DVD-Audio や Super Audio CD では、LFE の再生レベルは他のチャンネルと同様±0dB とする必要がある。Dolby や DTS 等 DVD-Video の再生環境と比較して-10dB である点に留意する必要がある。また、LFE 信号の周波数帯域に関しても、DVD-Video 等と異なり、エンコーディング時に LPF などが適用されないため、フルレンジ記録・再生が可能である。但し、「DVD-Audio ソフト制作ガイドブック（増補版）」でも言及されているように、様々なエンドユーザーの再生環境における互換性に配慮し、LFE のマスター音源に対して LPF を制作時に適用しておくことが望ましい。

LFE 信号の再生レベル差に関しては、特に DVD-Audio と DVD-Video のハイブリッドマルチチャンネルディスクを制作する場合に気を付ける必要がある。例えば、DVD-Audio 環境で制作された LFE 信号を DVD-Video 用に変換する場合は、LFE のマスター信号のレベルを 10dB 低く記録する必要がある。

【フロント・チャンネル】

・ レベル

$L=C=R$

再生帯域

フルレンジ

【サラウンド・チャンネル】

・ レベル

3-1 : $S=LS+RS=L/C/R$, $LS=RS$ $L/C/R-3dB$ (DVD-Audio)

5.1 : $LS=RS=L/C/R$

・ 再生帯域

3-1 : フルレンジ (DVD-Audio)

5.1 : フルレンジ

【LFE チャンネル】

・ レベル

バンドレベル±0dB（メインチャンネルと同じ）。

・ 再生帯域

規定なし（フルレンジも可能）

【DVD-Audio と Super Audio CD のモノラルサラウンド】

■DVD-Audio のモノラルサラウンド

DVD-Audio では、3-1 (L/C/R/S) 等に代表されるモノラルサラウンド ($S=LS+RS$) をフォーマットとして有している。その際の LS 及び RS の再生レベルは、 $(LS+RS)=L=C=R$ であり、 $LS=RS$ $L/C/R-3dB$ である。従って、DVD-Audio では、5.1 制作時と 3-1 制作時では LS 及び RS の再生レベルを調整し直す必要がある。これに関しては、DVD-Video と同様である。すなわち、DVD-Audio では、LFE 以外は DVD-Video の再生環境と同一の環境でマルチチャンネル制作が可能である。

以下、「DVD-Audio ソフト制作ガイドブック（増補版）」、DVD オーディオプロモーション協議会によるモノラルサラウンドに関する記述を要約・抜粋する。

【モノラルサラウンド (S) を LS, RS から再生する場合】DVD-Audio ソフト制作ガイドブック (増補版)

モノラルサラウンド (S) に相当する位置にそれ用の独立したスピーカーが無い場合は、S を -3dB し、LS, RS に分配して再生するのが一般的です。なお現状ほとんどの場合、プレーヤーに LS, RS とは別に独立した S チャンネル用のアナログ出力がありませんので、プレーヤー内部でこのような分配処理が行われ、アナログ LS, RS から S 信号が出力されます。プレーヤーに S チャンネル出力がある場合、または IEEE 1394 等によるマルチチャンネル・デジタル伝送で S チャンネルが伝送される場合には、アンプ側で上記のような分配処理が行われます。

■Super Audio CD のモノラルサラウンド

Super Audio CD では、モノラルサラウンドをフォーマットとして有していない。従って、Super Audio CD でモノラルサラウンドを制作する場合は、ステレオサラウンド (LS, RS) 環境において、S チャンネルを LS 及び RS チャンネルに適切なレベルでモノミックスすることで対応する。

Super Audio CD のマルチチャンネルの基本は 5.1(6)ch であり、他のフォーマットにおいては、未使用チャンネルにデジタルミュート信号を記録するとともにミュートフラグを立てることで対応する。従って、Super Audio CD では、全てのチャンネルフォーマットにおいて同一の再生環境が適用できる。

2-4-4 放送 : Dolby DIGITAL, DTS, MPEG-2, MPEG-2 AAC

Dolby DIGITAL や DTS の場合は、DVD-Video の再生特性に準じる。

MPEG-2 及び MPEG-2 AAC の場合は、運用団体の規定による (特に LFE チャンネルの扱い)。MPEG-2 (デジタル放送, 欧州) に関しては、ISO の規格により LFE の記録帯域が 125Hz までに制限されるが、その再生レベルに関しては運用団体の規定を参照することになる。MPEG-2 AAC (デジタル放送, 日本) の LFE に関しては、ISO/IEC の規格上フルバンド記録が可能である。但し、伝送時に帯域制限が生じる場合がある (ISO/IEC)。運用上の帯域制限や再生レベルに関しては、ARIB (Association of Radio Industries and Businesses, 社団法人 電波産業会) の規定に準じる。また、モノラルサラウンド (3-1 における S (LS+RS) チャンネル) における LS 及び RS の再生レベルに関しても、MPEG-2 及び MPEG-2 AAC の場合には、その運用団体の規定を参照する必要がある。

2-4-5. GAME

ゲームでは、ロールプレイング・ゲームなどの「ムービー」部分におけるマルチチャンネル再生と、ゲーム中の動きに応じてマルチチャンネル再生を行う「インタラクティブ」再生の 2 種類がある。

それらのマルチチャンネル・フォーマットに関しては、各メーカーが採用している音声処理方式による。

現在は、Dolby DIGITAL もしくは DTS が採用されていることが多い。

その場合の再生環境は、DVD-Video に準じることになる。

ヤマハデジタルコンソール、「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、これら様々な再生環境に対応するための LFE のブースト機能及び LS/RS のアッテネート機能をサラウンドモニター機能のベースマネージメント・セクションに装備しており、即座に再生環境の切り替えが可能となっている。

2-5. ダウンミキシング

マルチチャンネル・メディアの多くは、2 チャンネル再生を必須としている。

マルチチャンネル作品と同様のコンテンツに対し、2 チャンネル・ミキシングを行うためには、2 種類の方法が考えられる。

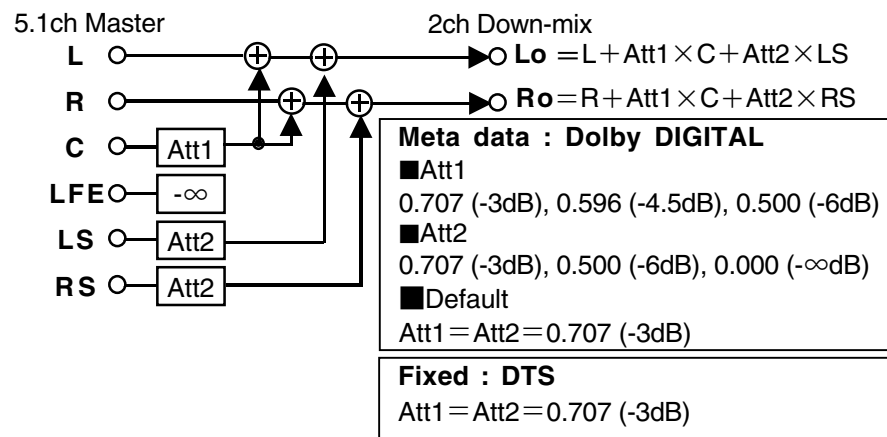
1 つは、マルチチャンネル・ミキシングを行うために使用された個別の音素材（ステム）を使用し、別途 2 チャンネル・ミキシングを行う方法である。

もう 1 つは、電気回路を用い強制的に 2 チャンネルを作成する方法である（フォールドダウン, Fold-down）。

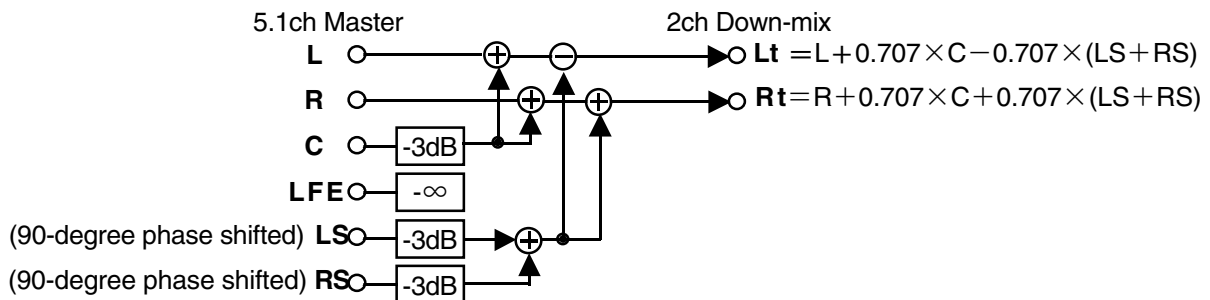
フォールドダウンに関しては、メディアによってそのアルゴリズムが決められており、制作側は、アッテネーターの値などをメディアにメタデータとして記録する必要がある。

以下に、主な 2ch フォールドダウンの例を示す。

2-5-1. DVD-Video (Dolby DIGITAL, DTS) の 2ch フォールドダウン



[Fig. 14] DVD-Video (Dolby DIGITAL, DTS) のダウンミキシング回路：Lo/Ro ダウンミックス

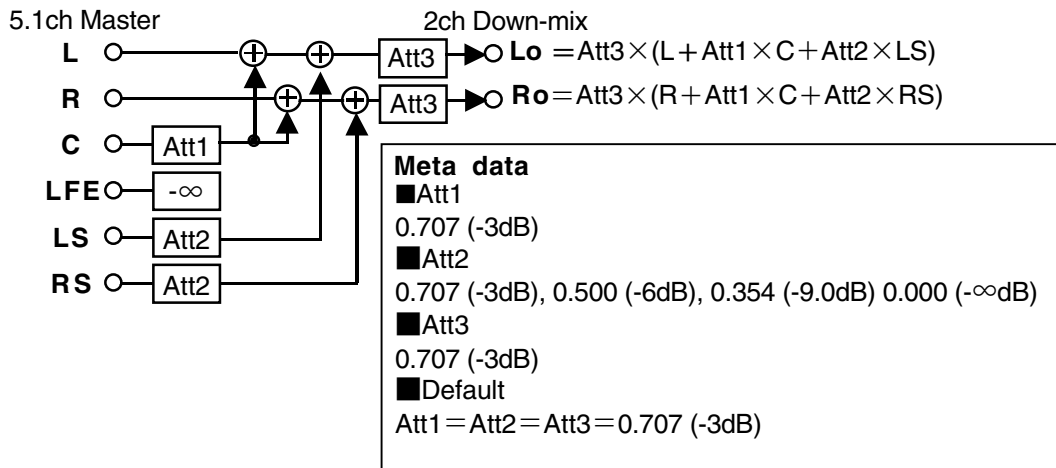


[Fig. 15] DVD-Video (Dolby DIGITAL, DTS) のダウンミキシング回路：Lt/Rt ダウンミックス

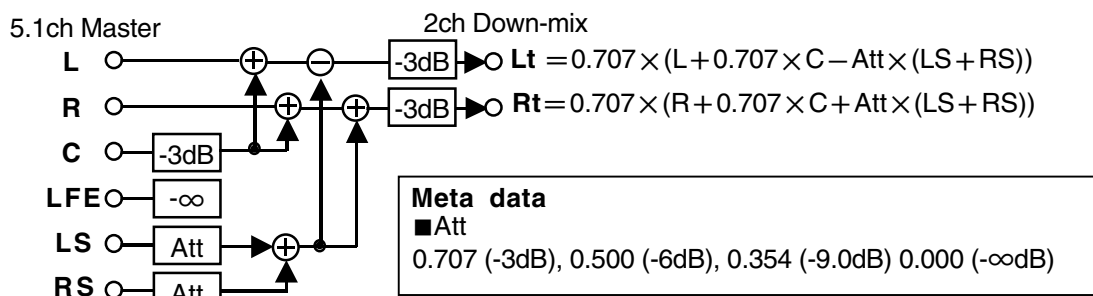
DVD-Video (Dolby Digital, DTS) では、上記 2 種類のダウンミックス (Lo/Ro ダウンミックス [Fig. 14], Lt/Rt ダウンミックス [Fig.15]) が可能であり、DVD プレーヤー及び AV レシーバーは、これらのダウンミックス回路を有している必要がある。Lo/Ro ダウンミックス [Fig. 14] は、制作者の意図により Att 値が選択できる点が利点の 1 つである。再生機は、メタデータとして DVD に記録された Att 値に基づいてダウンミックスを行う（但し、DTS の場合は Att1=Att2=-3dB=固定）。一方、Lt/Rt ダウンミックス [Fig. 15] は、マトリックスサラウンド互換のある 2ch 信号を生成できる点が利点の 1 つである。ユーザーは、Dolby Pro Logic, Dolby ProLogic II(x), DTS NEO:6 デコーダ等を使用して、Lt/Rt の 2 チャンネルから 3-1, 5.1, 6.1, 7.1 等のサラウンド再生を行うことが出来る。Lt/Rt ダウンミックスでは、サラウンド信号 (LS+RS) が L チャンネル信号に逆相でミックスさ

れる．そのため，サラウンド成分と L 成分に同様な信号が含まれている場合，ダウンミックス時に信号が消失してしまう場合がある．その防止策として，DVD-Video の 5.1 作品では，LS/RS チャンネルに 90° の位相シフトをエンコード時に施しておく場合も多い．

2-5-2. デジタル放送（日本，MPEG-2 AAC）の 2ch フォールドダウン



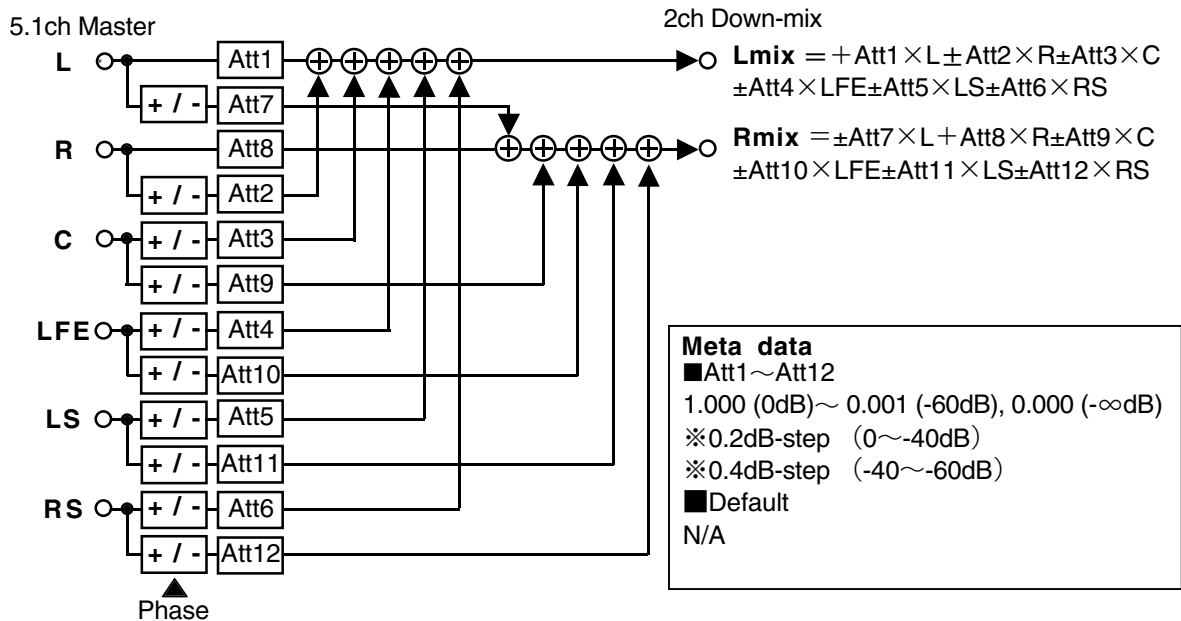
[Fig. 16] デジタル放送（日本，MPEG-2 AAC）のダウン・ミキシング回路，ARIB STD B-21（マンドトリ）



[Fig. 17] デジタル放送（日本，MPEG-2 AAC）のダウン・ミキシング回路，ARIB STD B-21
外部疑似サラウンドプロセッサ対応用（オプション）

日本のデジタル放送では，音声フォーマットとして ISO/IEC による MPEG-2 AAC が採用されている．ダウンミックスに関しては，ARIB STD B-21 により，[Fig. 16] 及び [Fig. 17] となっている．Dolby Digital (DVD-Video) の場合と同様，Att 値をメタデータとして与えることのできる [Fig. 16]（マンドトリ）とサラウンド互換のある [Fig. 17]（オプション）の 2 種類のダウンミックスがレシーバーに要求される．Lo/Ro ダウンミックス ([Fig. 16]) における Dolby Digital (DVD-Video) の場合との相違点は，一部 Att の選択パラメーターが異なる点と，最終段に -3dB の Att が設けられている点である．ARIB STD B-21 では，上記の 2 種類のダウンミックス法の他に，レシーバー独自のバーチャルサラウンド用ダウンミックスに関しても，一定の規定の基準内でオプションとしてレシーバーへの搭載を認めている．

2-5-3. DVD-Audio の 2ch フォールドダウン



[Fig. 18] DVD-Audio のダウン・ミキシング回路

DVD-Audio のダウンミキシング回路は、12 個の Att と 10 個の位相スイッチから成るフルマトリックスミキサーとしての機能を有している。Att 値に関しても 0.2dB もしくは 0.4dB ステップの詳細な設定が可能である。各パラメーターにはデフォルト値が設定されていないため、プレーヤー側でのダウンミックスによる 2 チャンネル再生（フォールドダウン）を行うためには、各パラメーターをエンコーディング時にメタデータとしてディスクに記録しておく必要がある。一方、DVD-Audio では、再生プレーヤー側でのダウンミックスを禁止するメタデータの記録も可能であり、その場合には別途 2 チャンネルミックスをディスクに記録しておくが良い。

因みに、Super Audio CD では上記のようなダウンミックス回路を有しないため、必ず 2 チャンネルミックス素材をディスクに記録しておく必要がある。

ヤマハデジタルコンソール、「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、DVD-Video (Dolby Digital, DTS) 及びデジタル放送 (日本, MPEG-2 AAC) における Lo/Ro ダウンミックスに準拠したダウンミックス回路をサラウンドモニター機能に装備しており、即座にダウンミックス再生の確認が可能となっている。また、ダウンミックス用のメタデータ指定として必要な Att 値の変更も可能であり、作品ごとに適切な Att 値の検討が可能である。

3. 再生環境

再生環境は、室形状・吸音・反射・拡散などに代表される室内音響処理と、スピーカー配置の 2 種類により構築される。

本章では、スピーカー配置に関して解説を行う。

一般的には、音楽系のメディアでは、Rec. ITU-R BS. 775-1^[1] ([Fig. 19]) 推奨とされ、それ以外のメディアにおいては、同様に ITU-R 準拠といった記述や、先行の DVD-Video の環境に準拠などといった表現が用いられていることが多い。

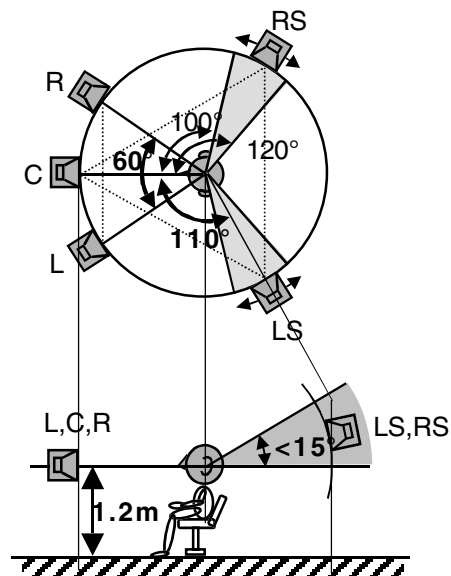
3-1. Rec. ITU-R BS. 775-1

ITU-R のスピーカー配置は、国際通信連合 - 無線通信部門 (International Telecommunication Union – Radio communication Sector) から推奨例 (Rec. = Recommendation) として提示されているものである。

Rec. ITU-R BS. 775-1 (Multi-channel Stereophonic Sound System With and Without Accompanying Picture) は、HDTV の登場を機に ITU-R の無線通信部門で提示されたものである (1992-1994)。そのため、放送局では ITU-R BS. 775-1 を再生環境の基準としているところが多い。また、音楽制作を始め広く再生環境のスタンダードとして認められている配置である。

制作環境に一定の基準を設けたい場合や、再生音場に対する特別な意図が無い場合は、ITU-R の配置を再生環境として採用すると良い。

3-1-1. ITU-R のスピーカー配置



[Fig. 19] Rec. ITU-R BS.775-1, サラウンドスピーカーが LS, RS 各 1 台の場合

ITU-R 配置の主な特徴は、以下である。

注) Rec. ITU-R BS. 775-1 では、サラウンドスピーカーを LS, RS 用に各 1 台ずつ配置するレイアウトの他に、複数台設置するレイアウトも記載されているが、ここでは前者の配置に関してのみ取り上げている。

1. L/R の開き角度 = 60°

従来のオーディオ受聴環境 (L⇔R⇔リスナーで構成される正三角形受聴) との互換性を重視した配置。

2. サラウンドスピーカー (LS, RS) の設置角度 = $110^\circ \pm 10^\circ$ (平面上の C 方向を 0°)

3. 各スピーカーの設置高=1.2m (リスナーの耳の高さ)

サラウンドスピーカー (LS, RS) に関しては, 15 ° までの仰角以内であれば, L, C, R より高い位置に設置することも可能.

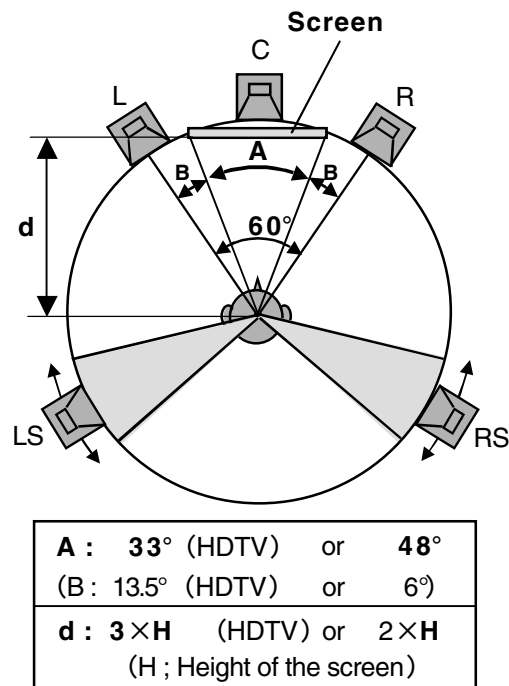
サラウンドスピーカー (LS, RS) に関しては, リアというよりはサイド的な配置である. この様なやや後方の横位置からの再生は, 人間の聴覚に対して最も多い情報量を与えることができると言われている. 従来の L/R 2 チャンネル再生において不足している情報を与えるためには, 最も効率の良い配置の 1 つである. 但し, この様な横配置のサラウンドスピーカー対では, 後方に深みのある音像定位を与えることが難しい.

3-1-2. 映像配置に関して

Rec. ITU-R BS. 775-1 では, L/R の音像幅と映像幅の関係に関して, 以下のような注釈が付記されている.

TV 映像の画面はしばしば [Fig. 20] に示す大きさとなることが確認されており, L/R 音像幅 (60 度) に比べると映像幅は狭くなっている (映像と音像のずれ「B」は, 13.5 度 (HDTV) もしくは 6 度となる).

一方, 映画の再生環境では, L/R 音像の開き角と映像の開き角がほぼ同じである場合が多いため, TV 用のミキシングと映画用のミキシングでは違いが生じる. 映画用のミキシングと TV 用のミキシングの互換性を良くするためには, より大きな TV 画面を使用すると良い.



[Fig. 20] Rec. ITU-R BS.775-1, 映像配置

3-1-3. センタースピーカー配置

Rec. ITU-R BS. 775-1 では、L, C, R スピーカーの設置高さを全て同じ高さ（耳の高さ）とすることが推奨されている。従って、映像を伴う再生環境である場合には、音響透過型スクリーンが推奨されることになる。音響透過型スクリーンを用いない場合に関しては、画面の直上もしくは、直下にセンタースピーカーを設置するように言及されている。

3-1-4. LFE（サブウーファー）の記述

Rec. ITU-R BS. 775-1 には、LFE が追加システム（オプション）として付記されているが、それを再生するサブウーファーの設置場所に関しては、提示されていない。但し、再生帯域に関しては、20Hz～120Hz と明示されている（ANNEX 7）。また、再生レベルに関しては、検討中としながらも、映画と同様の+10～+12dB 程度のゲインを与えることの有用性が言及されている（ANNEX 7）。

3-1-5. モニター距離

リスニングポイントから各スピーカーまでの距離（モニター距離）に関しては、Rec. ITU-R BS. 775-1 の中では明記されていないが、その参照 Recommendation である Rec. ITU-R BS. 1116-1^[2]において、2～3m のモニター距離がマルチチャンネル再生環境用として推奨されている。

サラウンド再生環境の基本は、Rec. ITU-R BS. 775-1 であるが、以下のような場合に他のスピーカー配置を検討した方が良い場合がある。

1. 映画等、映像音響の表現としてフライオーバーなど動的なサラウンド・パンニングが重要な場合。
2. 対象とするエンドユーザーの多くが、ITU-R の配置からかけ離れており、それらエンドユーザーとの互換性に配慮する必要がある場合。
3. 部屋（スタジオ）の環境として、ITU-R 配置が困難である場合。もしくは、無理矢理 ITU-R 配置とすることで、違和感のある再生音場になってしまう場合。例えば、非常に狭い部屋で ITU-R 配置を実現した場合、耳の真横にサラウンドスピーカーが配置されてしまい、違和感のあるサラウンド再生が行われてしまうなど。

スピーカー配置の考え方は、部屋の大きさ、すなわちモニター半径（リスニング・ポイントからスピーカーまでの距離）や部屋の音響処置（吸音、拡散など）によってもその最適な形が変わってくる。

すなわち、スピーカー配置は、スタジオで制作されるメディアの性格とスタジオの物理的な環境（広さ、モニター半径）の双方を総合的に判断した上で検討する必要がある。

自身のサラウンド再生環境に関して理解しておくことは、制作者として重要な事項の 1 つである。特に再生環境のスタンダードといわれることの多い ITU-R 以外の配置を検討する場合には、それぞれの再生環境の特徴に関して把握しておくことが重要である。

スピーカー配置は、主に「L-R の開き角」、「サラウンドスピーカー配置」の 2 種類の組み合わせによって決定される。

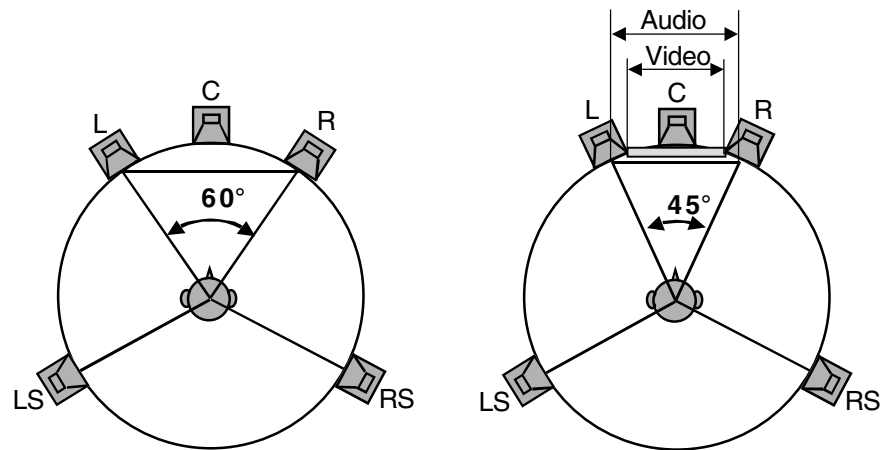
3-2. L, R

L-R のスピーカーの開き角に関しては、 60° と 45° の 2 種類が考えられる。

音楽再生など従来の 2 チャンネル・システムとの互換性を重要視する場合には、 60° 配置を優先して検討し、エンドユーザーの再生環境が TV や映画館などポスプロ作業を主とする場合には、 45° 配置を優先して検討するが多い。

但し、映像音響= 45° 、音楽= 60° といった明確な棲み分けがあるわけではなく、例えば、放送番組の制作現場では、ITU-R の再生環境 (60°) を基準としている例も多い。映画= 45° 、音楽= 60° に関しては、多くの場合当てはまる原則だが、それ以外のポスプロ制作や放送番組制作においては、制作者の意向に適した配置を検討する必要がある。また、映像を伴う音響再生の場合には、 45° といった数値ではなく、映像と音響とのマッチングに配慮した配置を検討することが重要である。ここで挙げた 45° の開き角に関しては、映像と音響とのマッチングを考慮した場合に適用されることの多い設置角度の一例である。

設置高に関しては、リスニング・ポイントからの仰角が 15° 以内となる事が望ましい。 15° 以上高く L/R スピーカーを設置した場合、L と R で生成するファントムイメージがぼやけがちになる。



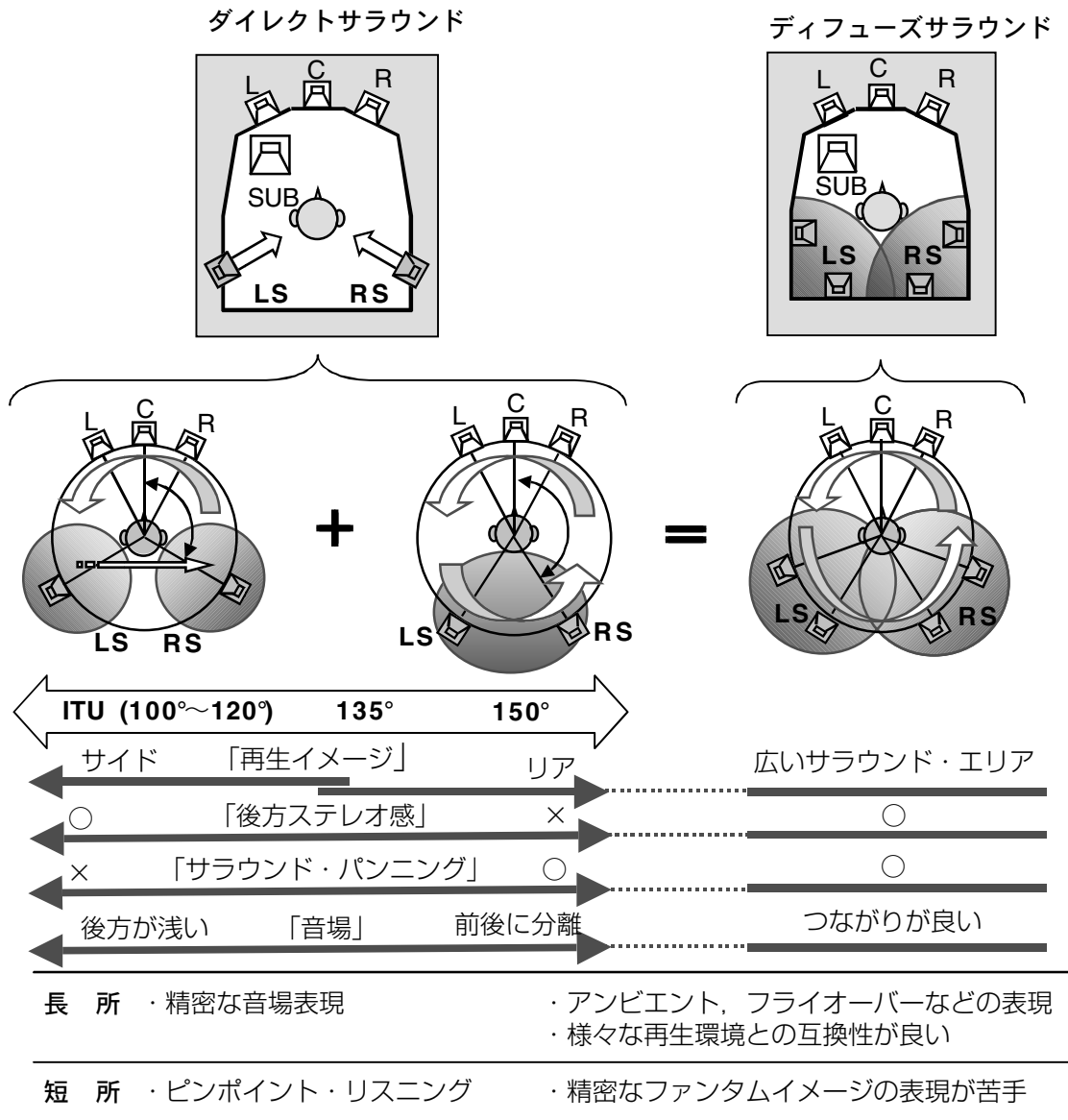
[Fig. 21] L/R スピーカーの開き角、 60° と 45°

3-3. LS, RS

サラウンドスピーカー（LS, RS）に関しては、「ダイレクトサラウンド」環境と、「ディフューズサラウンド」環境の2種類がある（[Fig. 22]）。

ダイレクトサラウンドは、1 対のサラウンドスピーカーをリスニング・ポイントに直接向ける形で配置する手法である。

一方、ディフューズサラウンドは、サラウンドスピーカーに対してピンポイント的な音源定位を持たず、カバーエリアを広くとる配置方法であり、映画館などがその代表例である。

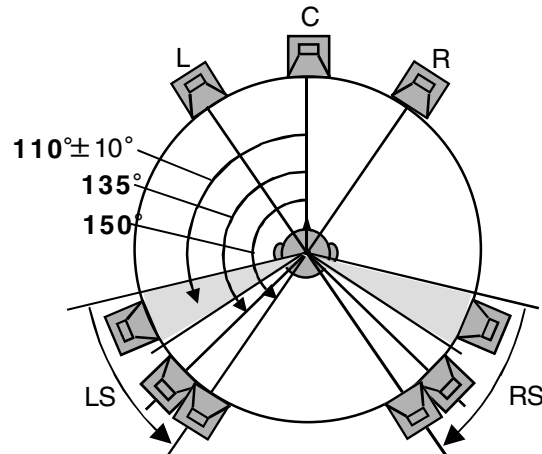


[Fig. 22] ダイレクトサラウンドとディフューズサラウンド

3-3-1. ダイレクトサラウンド

ダイレクトサラウンドでは、サラウンドスピーカーの設置位置によって「サラウンド・パンニング」と「後方ステレオ感」にトレード・オフの関係が生じる。

以下、ダイレクトサラウンドの代表的な設置例（ $110^\circ \pm 10^\circ$ （ITU-R）、 135° 、 150° ）に関して、それぞれの特徴を述べる（[Fig. 23]）



[Fig. 23] サラウンドスピーカーの設置角度（ダイレクトサラウンド）： $110^\circ (\pm 10^\circ)$ 、 135° 、 150°

3-3-1-1. ITU-R： $110^\circ (\pm 10^\circ)$

サラウンドスピーカーを「後ろ」と言うよりは「横」に設置する ITU-R 配置では、サラウンドの左右のセパレーションが良好であり、精密な音場を表現しやすい。但し、サラウンド・パンに関しては、頭部背後をかすめるような表現に留まることが多く、奥行きのあるサラウンド・パンの表現が苦手となる（すなわち、サラウンド・パンによる音像定位が、ぐるっと円を描いて回らない）。

3-3-1-2. 135°

音源位置を「横」ではなく「後ろ」として知覚するためには、 135° 以上後方にサラウンドスピーカーを設置する必要があるといわれている。

一般家庭における設置位置の多くは、ITU-R のような「横」ではなく、 135° 程度の「後ろ」であることも多い。横配置（ $100^\circ \sim 120^\circ$ ）と後ろ配置（ 150° ）の中間的な性格をサラウンドスピーカーに持たせたい場合には、 135° の位置にスピーカーを設置すると良い。

このような LS, RS の配置では、LS と RS の開き角が 90° となり、1970 年代に登場しその後消滅した 4ch (2-2) の QUAD 方式でのスピーカー配置と同じである。但し、QUAD では、L と R の開き角も 90° であり、4 つの全てのスピーカーが全て等価な条件で設置されることが推奨されていた（すなわち、L と LS, R と RS の開き角も 90° ）。QUAD 配置は、L と R の開き角が 60° である従来の 2ch ステレオとの互換性の欠如がその後の普及に障害をもたらしたとも言われているが、高い音場再現性を持つ配置であることは最近の研究でも報告されており、バーチャル再生用の研究システムなどで現在でも使用される例がある。QUAD 配置は、サラウンドのフィールド録音に使用されることの多いワンポイントマイクロホン、IRT-クロスなどでも見ることができ、少ないチャンネルでサラウンド音場を効率よく再現する方法の一つである。

QUAD 配置と ITU-R 配置にも共通点がある。それは、L と LS もしくは R と RS の開き角が双方とも 90° という点である。従って、L/R と LS/RS の繋がりにおいては、 90° 程度の設置角度の差が良いと考えられる。すなわち、ITU-R の配置は、L と R の開き角が 60° である従来の 2ch ステレオとの互換性を基本に考えられたために、

その分 QUAD に比較してサラウンドスピーカーが前方へ配置されることになったといった解釈が可能である。L/R と LS/RS との 繋がりよりも、サラウンドだけの再生音場としての自然さを優先した場合には、QUAD の後ろ半分を切り出した 135° 配置は、良い配置だとも考えられる。

3-3-1-3. 150°

サラウンドの L,R もフロントの L,R と同等な音響条件が必要だと考える場合には、サラウンドスピーカーを 150° の位置に配置すると、完全に前後対象の設置環境が得られる（但し、厳密には部屋形状等の室内音響条件の前後対称性も要求される）。

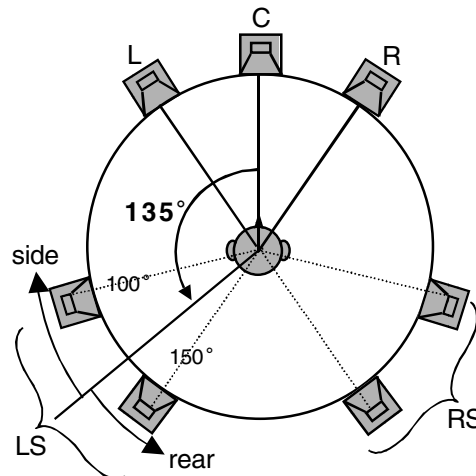
このような配置では、L/R と LS/RS の開き角が同じであるため、サラウンド・パンによる音像推移は、円を描いて 360° 回りやすい。前方定位と後方定位の双方が重要な場合に適した配置である。ITU-R が音場表現型なのに対して、150° 配置は音像定位型の配置といえる。

但し、サラウンドスピーカーを後方に設置すればするほど、サラウンド音場がモノラル化するとともに、前後の音場分離が顕著になる。

3-3-2. ディフューズサラウンド

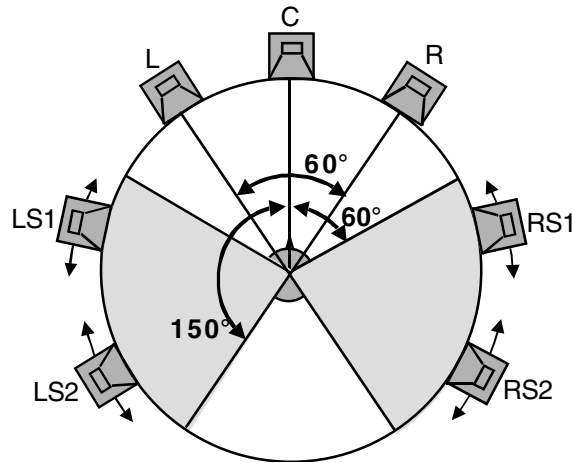
ディフューズサラウンドを構築する最も一般的な方法は、サラウンドスピーカーを複数個用いる方法である。サラウンドスピーカーを複数設置する場合は、横配置 (<135°) と後方配置 (>135°)。のそれぞれのエリアにスピーカーを設置することが重要である ([Fig. 24])。それにより、横配置と後方配置のそれぞれのメリットを生かすことができ、サラウンドのステレオ感（横配置のメリット）と 360° のサラウンド・パン（後方配置のメリット）の双方が可能なモニタリング環境を構築しやすい。

一方、サラウンドチャンネルを複数スピーカーで構成する場合の LS, RS の音響インテンシティベクトルは、複数スピーカーのファンタム音像位置に位置することが確認されている^{[4], [5]}。例えば、100° と 150° にスピーカーを配置した場合、LS もしくは RS チャンネル再生時の音響インテンシティベクトルは、125° となり、125° にスピーカーを配置した場合と同様となる。ディフューズサラウンドにおいてダイレクトサラウンドとの互換性を検討する場合は、サラウンドスピーカーのファンタム音像の位置に関して検討を行うと良い。



[Fig. 24] サラウンドスピーカーの設置角度（ダイレクトサラウンド）：100°～120°，135°，150°

ちなみに、Rec. ITU-R BS. 775-1 においても、複数スピーカーをサラウンドスピーカーに仕様する例が紹介されており、その場合には、それぞれのスピーカーを左右対称に等間隔で $60^\circ \sim 150^\circ$ の間に設置することが言及されている。



[Fig. 25] Rec. ITU-R BS. 775-1, サラウンドスピーカー4 台

3-3-3. ダイレクトサラウンドとディフューズサラウンド

ダイレクトサラウンドのメリットは、精密な音場表現に優れている点である。例えば、コンサートホールでのライブ録音の再現などに関しては、ITU-R のような配置が適しているといえる。最近の研究でも、拡散音場の再現性に対する ITU-R 配置の優位性が確認されている^[3]。

以上の理由から、ダイレクトサラウンド、特に ITU-R 配置は、DVD-Audio や Super Audio CD など音楽ものの制作環境として採用されることが多い。また、放送局においても Rec. ITU-R BS. 775-1 を基準としたダイレクトサラウンド環境が制作環境として多く用いられる傾向にある。

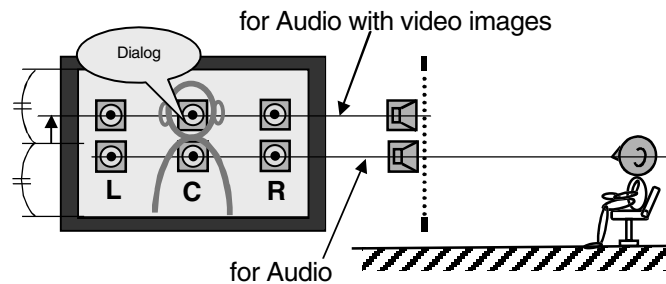
一方、ディフューズサラウンドは、アンビエントやフライオーバーの音表現に優れている点や、サラウンド・パンによる 360° の音像推移が良好な点から、映像を伴うマルチチャンネル・メディアの制作環境として用いられることが多い。また、6.1ch 再生と 5.1ch 再生双方との相性がよいのも映像音響制作環境として好まれる理由の一つである。特に、映画作品の制作においては必須となる再生環境である。

また、ディフューズサラウンドで制作された作品の多くは、サラウンドスピーカーの設置位置の違いにより再生イメージが大きく異ならないといったことから、「汎用性」のあるソフトを効率よく制作するスタジオにディフューズサラウンドが採用されていることが多い。

ヤマハデジタルコンソール、「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、ダイレクトサラウンドとディフューズサラウンドの双方に対応できるように、LS, RS 用にそれぞれ最大 2 台のスピーカーの使用が標準で可能となっている（1 台ずつの使用も可）。更に、それらのサラウンドスピーカーは、チャンネルフォーマットの変更（3-1, 5.1, 6.1）に追従し、適宜適切なサラウンドチャンネルへとルーティングされる。

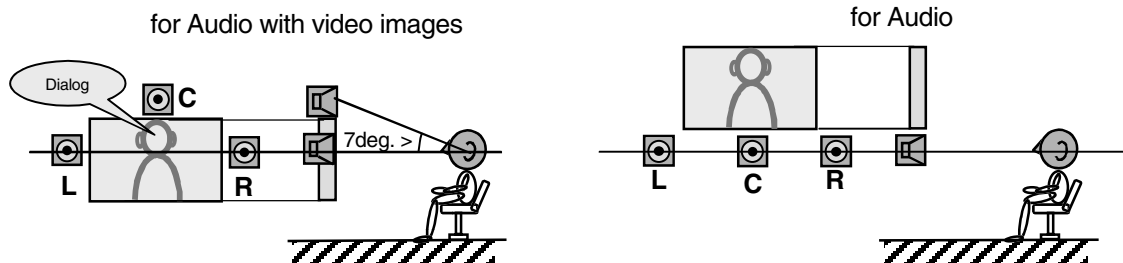
3-4. C

映像画面を用いない、もしくは、音響透過型スクリーンを使用する場合は、センタースピーカーが L/R スピーカーと同じ高さになるように設置する。音と映像とのマッチングを重視する場合には、映像の高さの半分よりやや高めの位置にセンタースピーカーを設置すると良い。映像作品に出てくる人物の多くはバストショットや立っているシーンが多く、せりふの音源となる口元が画面上部に映し出されることが多いからである。主にダイアログ（せりふ）に使用されるセンターチャンネルを映像のやや上部に設置することで、せりふと映像の一体感を増すことができる。



[Fig. 26] センタースピーカーの設置高さ：音響透過型スクリーンもしくは映像画面無しの場合

音響透過型スクリーンを用いない場合は、センタースピーカーを画面の上部または下部に設置する。画面の下部にセンタースピーカーを設置するレイアウトは、L/C/R を同一の高さに揃えやすく、音響再生特性に優れた環境を構築しやすい。一方、画面の上部にセンタースピーカーを設置する場合は、せりふと映像とのマッチングが良く、映像音響向きである。その際、L/R スピーカーとセンタースピーカーとの仰角の差が 7 度以内になると、L⇄C⇄R パンの音像推移がスムーズになりやすい。



[Fig. 27] センタースピーカーの設置高さ：TV モニターの場合

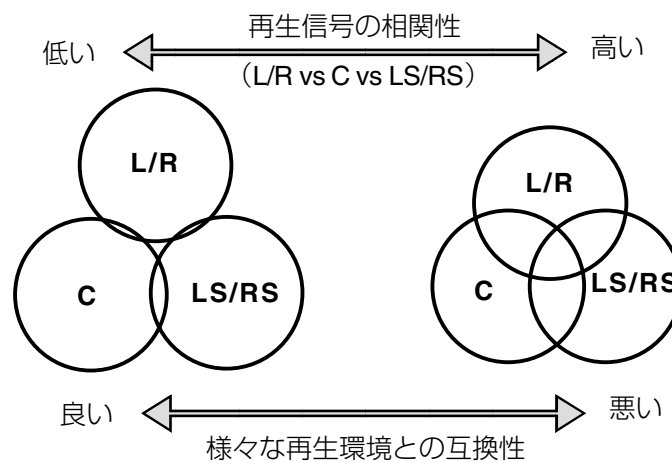
3-5. 再生環境と再生イメージの互換性

サラウンドスピーカーの設置位置や L/R スピーカーの開き角の違いによって、サラウンド作品の再生イメージが全く異なってしまうケースは希である。従って、エンドユーザーは、ITU-R 等の配置でなくても殆どのサラウンド作品を楽しむことができる。

但し、各チャンネルの相関関係を巧みに使用し精密なサラウンド音場を生成するような音楽作品を制作する場合には、スピーカー配置の互換性が重要となる。そのような場合の対応も含め、制作側の再生環境には一定の「標準」が求められる時がある。その場合の代表が、Rec. ITU-R BS. 775-1 であり、サラウンドの再生環境としては、まずは ITU-R を基本に考えることが重要である。一方、制作環境に Rec. ITU-R BS. 775-1 を適用とした場合に、部屋形状、広さ、作品のコンテンツ等によりデメリットの方が大きくなるケースもあり、その場合には、他の配置を検討することも有用である。例えば、非常に狭い環境では、耳の直ぐ横に配置した ITU-R 配置のサラウンドスピーカーの再生音に違和感を覚える場合がある。

再生環境の「標準化」も重要であるが、エンジニアのミキシング作業の行いやすさもサラウンド制作においては重要である。制作者は、自身のミキシングの行いやすい環境で、他のスピーカー配置に対する互換性に配慮したサラウンド制作を行うことが重要である。

そのためには、様々なスピーカー配置に関する特徴を把握しておくことが重要である。また、実際の制作においては、設置位置の不確定なスピーカー（チャンネル）に対して他のチャンネルとの相関性が高い信号を用いないようにすると、スピーカー配置の違いによる再生イメージの変化が少なくなる。例えば、L/R に関しては、様々な環境でも互いに等価な再生環境が得やすいので、相関性の高い信号を用いても支障はないが、L/R と C、もしくは L/R と LS/RS に関しては、環境により互いの位置関係が一定ではないため、相関性の高い信号を用いると、再生イメージや再生特性が大きく変わってしまう危険性がある。ディレイ処理を多用した音場づくりなど、各スピーカー（チャンネル）間の相関性が重要となる制作手法などに関しては、注意が必要である。



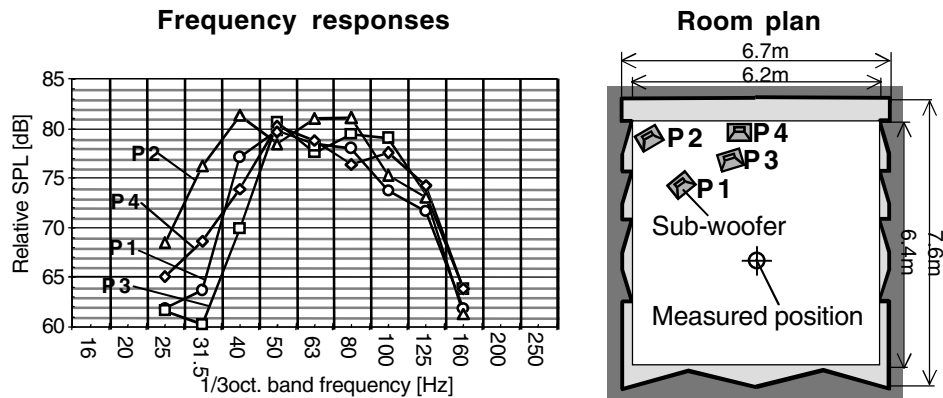
[Fig. 28] 再生信号の相関性と再生環境の互換性

3-6. SUB

サブウーファーの設置に関しては、室内音響とのマッチングを考慮した検討が必要となる。

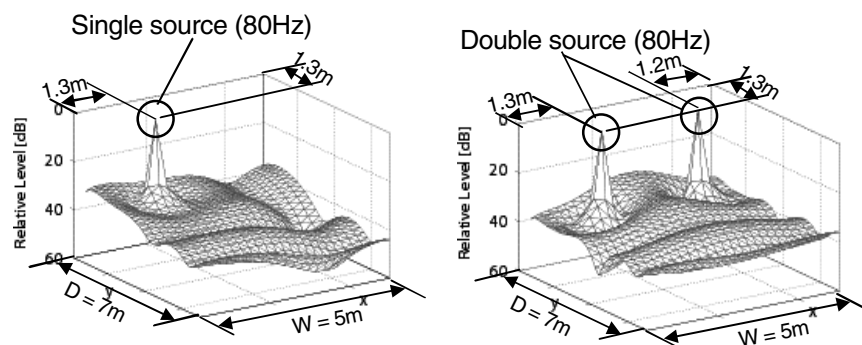
例えば、サブウーファーを部屋のコーナーに設置した場合、パワー的には良い結果を得ることができるが、周波数特性的には定在波の影響による乱れが障害となることがある。[Fig.29] は、リスニングルームにおけるサブウーファーの設置場所と周波数特性との関係を示した測定例^[4]であるが、置き場所により周波数特性が様々に変化することが分かる。

サブウーファーに関しては、再生パワーと周波数特性の両面から設置位置を検討することが重要である。



[Fig. 29] サブウーファーの置き場所と特性の違い：測定例^[3]

また、サブウーファーを 2 台適切な場所に設置することで、再生音場の安定化が図れる場合がある。[Fig.30] は、1 つの音源による音圧分布と 2 つの音源による音圧分布の違いを同じ部屋を仮定して数値計算を行った例^[6]であるが、音源 2 台による再生の方が、音源 1 台による再生よりも横方向（W 方向）の音圧分布の乱れが少ないことが分かる。このようにサブウーファーを部屋の横方向に 2 台設置した場合、音圧レベルの変化は主に部屋の奥行き方向（D 方向）に限定される。その場合、後壁の音響処理を十分に行うなど従来の 2 チャンネルスタジオの設計手法による対処が行いやすい。また、フロント面の横方向にサブウーファーを 2 台設置することにより、ベースマネジメント（後述）再生における L/R とのつながり等、再生音のクオリティ向上にも貢献できる。



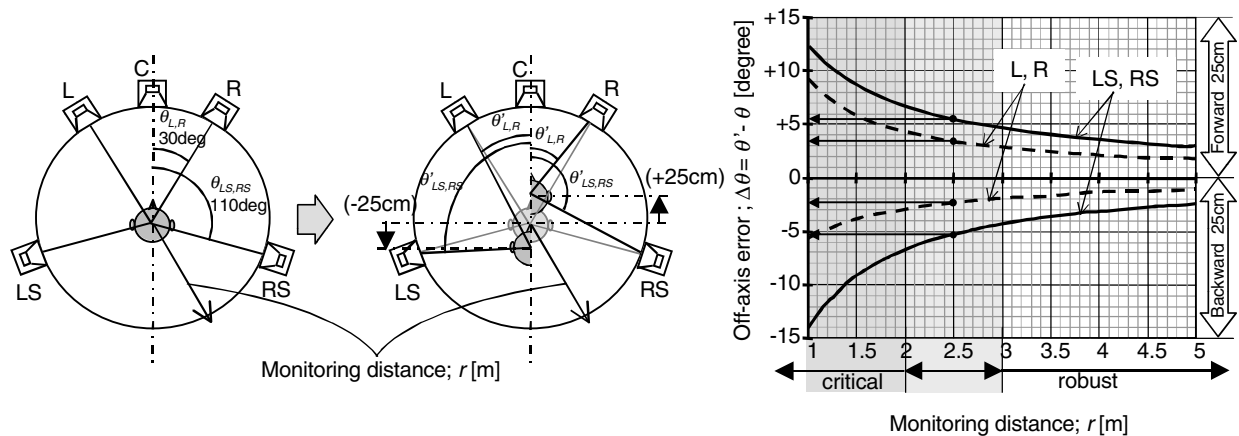
[Fig. 30] 音源 1 台と 2 台の低域特性（80Hz）：数値計算例^[6]

ヤマハデジタルコンソール、「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、サブウーファー出力の位相反転機能が装備されており、設置場所に応じた最適なサブウーファーの位相管理が可能となっている。

3-7. モニター距離

モニター距離（リスニングポイントから各スピーカーまでの距離）は、長いほど再生音場は安定する。すなわち、広い部屋ほど安定したサラウンド再生が可能であり、狭い部屋ほどサラウンド再生が不安定になりがちである。但し、モニター距離が長いほど部屋の影響を受けやすくなるため、室内音響に関して十分な配慮を行う必要がある。

[Fig. 31] は、Rec. ITU-R BS. 775-1 に準拠したスピーカー配置（L/R；30度、LS/RS；110度）において、リスニングポイントから前後に 25cm ずつ（頭 1 つ分）移動した場合の各スピーカーの設置角度のずれを計算したものである^{[4], [8]}。厳密に設置したスピーカーの設置角度（L/R；30度、LS/RS；110度）も、設定したリスニングポイントから外れると変化してしまう。例えば、リスニングポイントから後方に移動した場合、L-R の開き角は狭くなり（ $\theta_{L,R} = 30^\circ \Rightarrow \theta'_{L,R}$ ）、サラウンドスピーカーは後ろから横位置へと近づいてくる（ $\theta_{LS,RS} = 110^\circ \Rightarrow \theta'_{LS,RS}$ ）。このような変化を示したものが、[Fig. 31] のグラフである。上半分が、前方に 25cm 移動した時のずれ角を示しており、下半分が後方に 25cm 移動した時のずれ角を示している。破線が、L 及び R のずれ角（ $\Delta\theta = \theta'_{L,R} - \theta_{L,R}$ ）を表しており、実線が、LS 及び RS のずれ角（ $\Delta\theta = \theta'_{LS,RS} - \theta_{LS,RS}$ ）を表している。また、横軸は、モニター距離を表している。



[Fig. 31] リスニングポイントの移動によるスピーカー設置角度の変化^{[4],[8]}

[Fig. 31] より、前後移動によるスピーカーの設置角のずれに関して、以下の事項が分かる。

1. モニター距離が短くなるほど、急激にずれ角は大きくなる。
 ⇒ 小さな部屋の方が、大きな部屋より再生環境が不安定になりやすい（リスニングエリアが狭い）。
2. L/R より、LS/RS のずれ角の方が大きい。
 ⇒ サラウンドスピーカーの方が、フロントスピーカーより再生音場が不安定になりやすい。
3. L/R のずれ角は、後方に移動した場合よりも前方に移動した場合の方が大きい。
 ⇒ フロントスピーカーは、前方にカバーエリアを広く得られるような配置が望ましい。
4. LS/RS のずれ角は、前方に移動した場合よりも後方に移動した場合の方が大きい。
 ⇒ サラウンドスピーカーは、後方にカバーエリアを広く得られるような配置が望ましい。

以上より、特に「狭い環境に設置されたサラウンドスピーカー」に関しては、その再生音場が不安定になりやすく、なるべく広いカバーエリアを与えるなどの工夫を検討した方が良いと考えられる。

著者の経験では、3m 以上のモニター距離では比較的安定した再生環境が得られ、2m 以下のモニター環境では再生音場が不安定になりやすいことが多い。また、多くのスタジオでは、その中間の 2m～3m のモニター距離となっている場合が多く、これは ITU-R BS. 1116-1 の推奨値と同じである。

[Fig. 32] は、小さな部屋 (Small room) と大きな部屋 (Large room) における、スピーカーからの再生レベルの減衰の様子と、リスニングポイントから前後に 25cm ずつ (頭 1 つ分) 移動した場合の各スピーカーからの再生レベルのばらつきを表している^{[4], [8]}。各スピーカーは壁に埋め込まれた状態 (指向係数 $Q=2$) を仮定しており、配置は Rec. ITU-R BS. 775-1 に準拠している (L/R ; 30 度, LS/RS ; 110 度)。

また, Small room では 1.5m, Large room では 4.0m のモニター距離を仮定しており, 各室の条件は以下の通りである。

- Small room

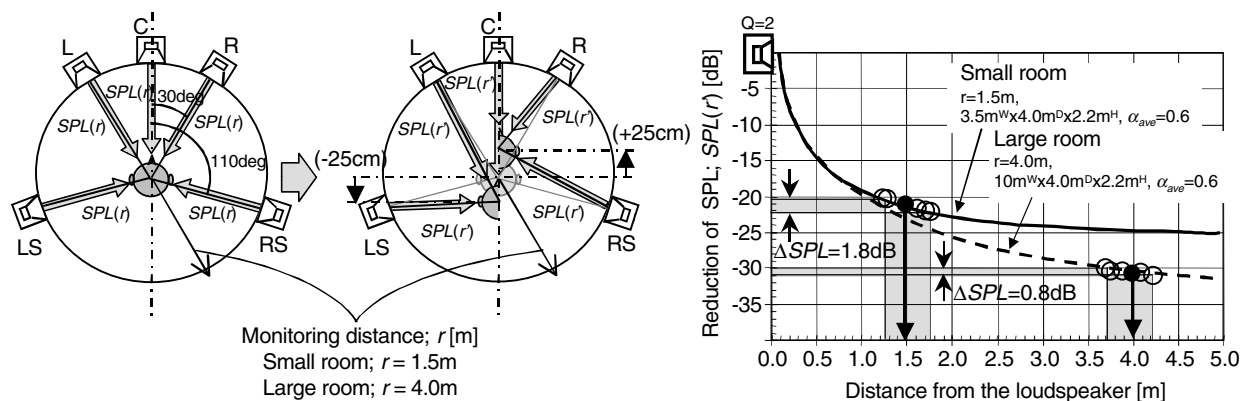
$3.5\text{m}^W \times 4.0\text{m}^D \times 2.2\text{m}^H$, 床面積 14m^2 , 室容積 31m^3 , 総表面積 61m^2

平均吸音率 $\alpha_{ave} = 0.6$

- Large room

$10.0\text{m}^W \times 15.0\text{m}^D \times 6.0\text{m}^H$, 床面積 150m^2 , 室容積 900m^3 , 総表面積 600m^2

平均吸音率 $\alpha_{ave} = 0.6$



[Fig. 32] リスニングポイントの移動による再生レベルの変化 : Small room ($r=1.5\text{m}$) と Large room ($r=4\text{m}$) ^{[4],[8]}

グラフの実線が, Small room における再生音圧レベルの減衰の様子をスピーカーからの距離に従ってプロットしたものであり, 破線が Large room における再生音圧レベルの減衰の様子を表している. リスニングポイントから離れた点では, 各スピーカーまでの距離が同一ではなくなるため, 各チャンネルの再生音圧レベルバランスが損なわれる. 前後移動 ($\pm 25\text{cm}$) による各スピーカーの再生レベルのばらつきが○でプロットされている. モニター距離が 4.0m の Large room では, スピーカー間のばらつきは約 0.8dB であるが, モニター距離が 1.5m の Small room では, 1.8dB と大きくなっていることが分かる. このように, 小さな再生環境ではスピーカーの再生レベルバランスが不安定になりやすく, カバーエリアを広げるなどの対応を検討した方が良いと考えられる. このような傾向は, 部屋がデッドであるほど, またスピーカーが壁埋め込みではなくフリースタンドで設置されている場合の方が顕著に生じる.

以上をまとめると, モニター距離に関しては以下の 3 種類に大別でき, それぞれに応じて必要な工夫を検討すると良い.

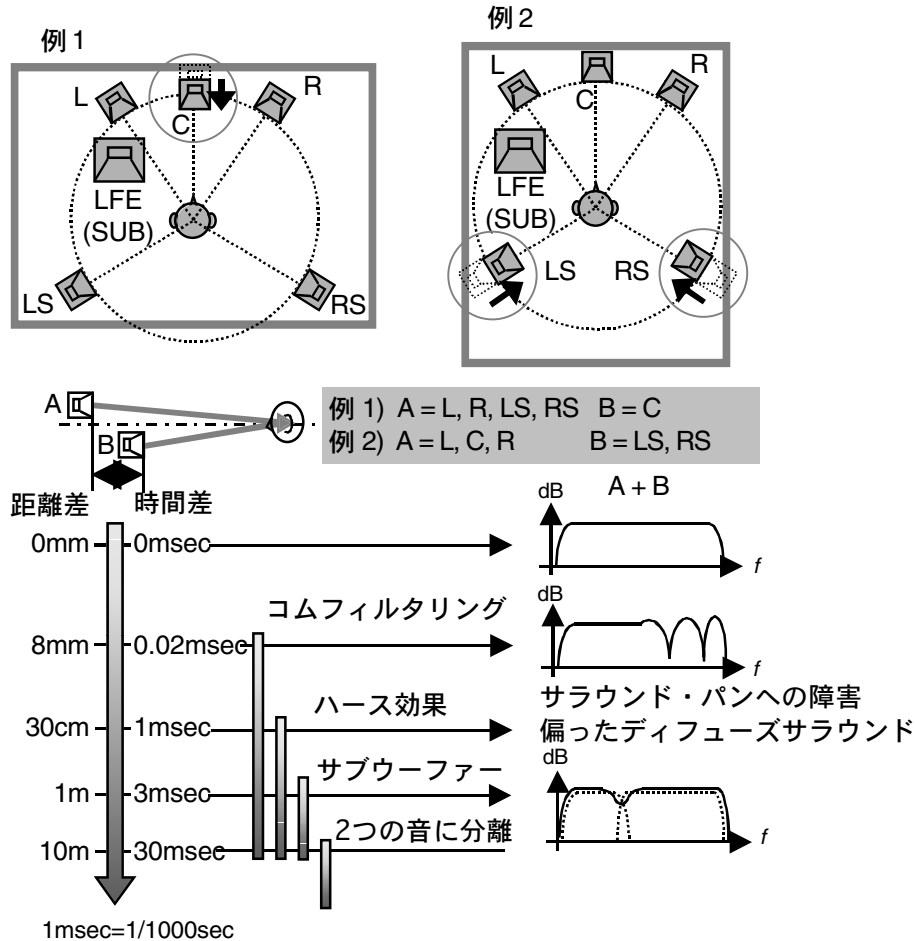
- 3m 以上 理想的. 安定している. 室内音響への配慮が重要.
- 2m~3m 一般的. ケースバイケースで不安定性軽減のための検討を行う.
- 2m 以下 不安定になりやすい. サラウンドスピーカーのカバーエリア拡大の検討が望まれる.

尚, モニター距離に関しては, 部屋の大きさだけでなくスピーカーの能力によっても制限されることが多い.

3-8. モニター・アライメント

スタジオの広さや形状の問題により、全てのスピーカーをリスニングポイントから等距離に設置できないことがある。特に 2 チャンネルスタジオを部分的に改修してマルチチャンネル対応とする場合には、そのような問題が生じやすい。一般的には、センタースピーカーが L/R スピーカーより近くに設置されることが多く、次にサラウンドスピーカーが近くに設置されることが多い。

そのような場合には、以下に示す 3 つのモニタリング障害が生じる可能性がある。



[Fig. 33] タイム・アライメントに関するモニタリング障害

3-8-1. コム（楕形）フィルター現象：距離差 > 8mm

リスニング・ポイントまでの距離差が 8mm 以上ある 2 つのスピーカーから同じ音を再生した場合、20kHz 以下の周波数帯域にディップが生じる。8mm の距離差は、音速に換算して約 0.025msec に相当する僅かな時間差を意味することになり、物理的な距離差以外にも、スピーカーの個体差、ワイヤリング、機材等の電氣的な遅延差が原因となって生じることもある。

3-8-2. ハース効果：距離差 > 30cm

2 つの音源がある場合に、近い方の音源に定位を強く感じ取ってしまう現象で、「先行音効果」とも呼ばれる。ハース効果が生じる距離差は、音源信号の種類にもよるが、一般的には 30cm 以上が一つの目安となる。ハース効果が生じているモニター環境では、パンニング時の音像推移がスムーズに表現されないなどの障害が生じてしまう可能性がある。例えば、サラウンド・スピーカー（LS, RS）が、フロント・スピーカー（L, C, R）に比べて 30cm 以上近い距離に設置されている場合、サラウンド⇒フロントへのサラウンド・パンニングを行ったときの音像推移が、サラウンド側に定位が強く引っ張られてしまうために、スムーズに表現できなくなる。

他には、ディフューズサラウンド環境において、サラウンドのカバーエリアが広くとれず、結果として最も近いサラウンドスピーカー廻りにだけ音像が定位するなどの弊害が考えられる。

3-8-3. サブウーファーとのクロスオーバー：距離差 > 1m

リスニング・ポイントまでの距離が、他のスピーカーとサブウーファーとで 1m 以上異なる場合に、その合成特性にディップが生じる可能性が高くなる。

ディップは、サブウーファーのカットオフ周波数周辺に顕著に生じる。

後述するベースマネージメントをモニターシステムに用いている場合は、メイン・チャンネルの周波数特性に大きな障害を与えることになるため、特に注意が必要である。

以上のモニター障害が生じる場合には、スピーカー設置位置の再検討、スピーカーの位相調整（特にサブウーファー）を試みる必要がある。

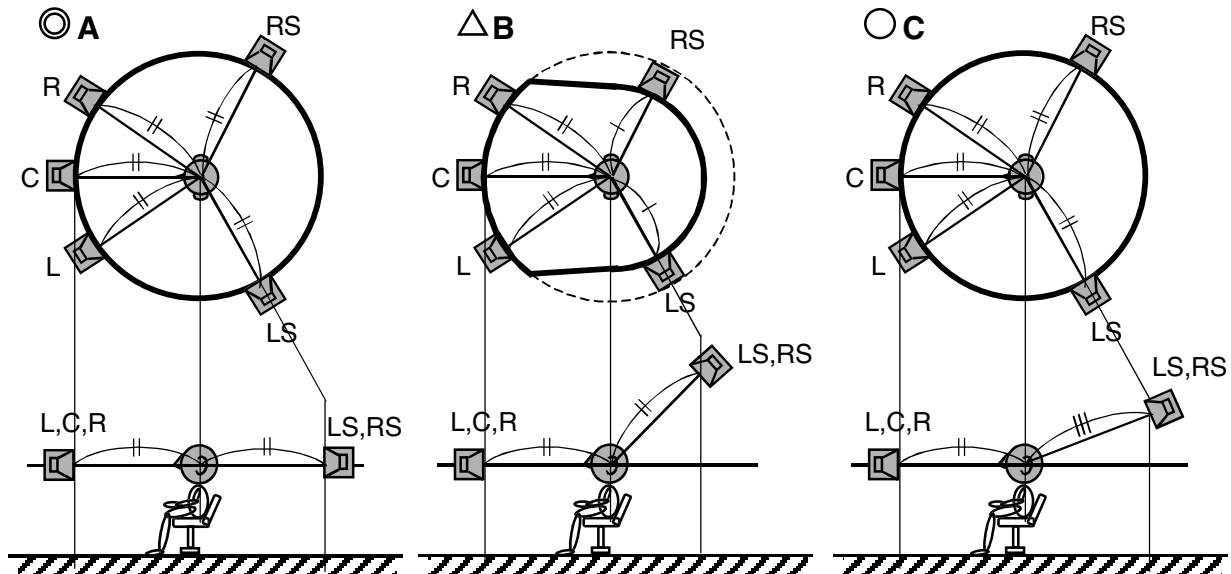
そのような調整による改善が期待できない場合には、電氣的なディレイを各スピーカーに対して適用する必要がある。

また、ディレイの他にも、アッテネーターや GEQ（PEQ）を各スピーカーに対して適用できるようにモニターシステムを構築しておく、モニタリング特性の調整時に役立つことが多い。

3-8-4. スピーカーの設置高とタイムアライメント

全てのスピーカーが同じ高さに設置されていない環境で、ディレイ補正を行う場合には、再生音場と再生特性との兼ね合いに関して検討を行わなければならない。

〔Fig. 34〕は、サラウンドスピーカーの高さとモニター距離との関係を表した図である。「A」は、全てのスピーカーが同じ高さに設置されている例であり、「B」「C」は、サラウンドスピーカーがフロントスピーカーより高く設置されている例である。「B」は、サラウンドスピーカーのモニター距離を他のスピーカーと同一にするために、平面上のサラウンドスピーカーの位置がリスニングポイントに近づいている様子を表している。「C」は、平面上のサラウンドスピーカーの距離を他のスピーカーと同一にするために、サラウンドスピーカーの実距離がフロントスピーカーより長くなっている様子を表している。



〔Fig. 34〕 スピーカー設置高とタイムアライメント

「A」の場合：○再生特性，○サラウンド音場

全てのスピーカーが平面上で等距離に配置されているため、サラウンドの再生音場は正円となり良好である。また、各スピーカーからリスニングポイントまでの実距離も等しいため、全てのチャンネル間においてコムフィルター現象やハース効果が生じる心配が無く、再生周波数特性も良好である。

「B」の場合：○再生特性，△サラウンド音場

各スピーカーからリスニングポイントまでの実距離が全て等しいため、全てのチャンネル間においてコムフィルター現象やハース効果が生じる心配が無く、再生周波数特性に関しては良好である。但し、平面上では、サラウンドスピーカーの位置が近くなってしまうため、サラウンドの再生音場は正円とはならない。サラウンド再生音場としての自然さは、各スピーカーとリスニングポイントとの距離が、平面上で等しくなることで得られる。このようなケースでは、近くて高い位置からサラウンドが再生されている感じとなり、奥行き感のないサラウンド再生となる。サラウンドがフロントより遠い場合に不自然さを感じることは少ないが、近い場合には違和感を感じる事が多い。自動調整によるディレイ補正を行った場合は、このような音場が形成されてしまう可能性があるため、注意が必要である。

「C」の場合：△再生特性，○サラウンド音場

平面上での等距離が確保されているため、サラウンドの再生音場は正円となり良好である。一方、サラウンドスピーカーからリスニングポイントまでの実距離は、フロントスピーカーより長くなってしまうため再生特性に支障が生じる可能性がある。例えば、フロントチャンネルとサラウンドチャンネルから同じような信号が再生された場合、コムフィルター現象によりハイ落ちした再生音になってしまうなどの障害が考えられる。

音楽作品では、フロントチャンネルとサラウンドチャンネルに相関性の高い信号を用い、様々な方向のファンタム音像を使用したサラウンド制作が行われることがある。このような場合は、再生特性にハイ落ちが生じないように、各スピーカーからリスニングポイントまでの実距離を同一とすることが望ましい。その上で、サラウンド再生音場を良好とするためには、全てのスピーカーを同じ高さに設置する必要がある。従って、音楽作品の再生環境としては「A」が理想的となるが、諸事情によりサラウンドスピーカーの高さが異なってしまう場合は、サラウンド再生音場と再生特性のどちらを優先するかを検討し、「B」の再生環境とするか「C」の再生環境とするかを検討しなければならない。

一方、映像音響の制作においては、サラウンドスピーカーをフロントスピーカーより高い位置に設置することが慣例とされており、その場合にはサラウンド音場の自然さを優先して「C」の環境を構築すると良い。映像音響の制作では、L/R と C と LS/RS の 3 つのカテゴリーでの音響的役割の棲み分けが出来ている場合が多く、それぞれが高い相関性を持った信号で構成されることが少ない。従って、フロントチャンネルとサラウンドチャンネルの実距離が多少異なっても、双方の間でコムフィルター現象によるハイ落ちなどの再生特性の障害が生じることは少ない。それよりも、サラウンド音場がしっかりと形成されており、フライオーバーなどの表現が再生できる「C」の環境が優先される。但し、フロントチャンネルとサラウンドチャンネルとの実距離の差がハース効果が生じるほど大きくなってしまった場合は、「B」と「C」の中間的な環境を検討する必要がある。

ヤマハデジタルコンソール、「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、0.02msec ステップ（0～30msec）のディレイ調整及び、0.1dB ステップ（-12dB～+12dB）のゲイン調整が、各スピーカー出力に対して可能となっている。これにより、可聴帯域内（～20kHz）においてコムフィルター現象も払拭可能な精密なモニター調整が可能となっている。

3-9. THX pm3 認証スタジオ



現在は、様々なマルチチャンネルの再生環境が混在している状態である。最終的にどのような再生環境を構築するかに関しては、制作対象とするメディアや部屋の状況を総合的に判断し、適宜最適な形を検討する必要がある。また、各スピーカーのレベルバランスや周波数特性など、制作するメディアに応じたモニター調整に関しても、マルチチャンネルの再生環境を構築する上では必要とされる。

THX Ltd.が 1999 年に発表した THX pm3 は、そのような中小規模のマルチチャンネル・スタジオを設計するためのプログラムとして、現在のところ唯一のトータルソリューションを与える設計プログラムである。

THX pm3 認証スタジオでは、以下のアウトラインに沿って、マルチチャンネル・スタジオがつけられる。

1. 遮音性能、NC 値、残響時間等の基準値をクリアする室内音響特性の実現。
2. スタジオの用途、部屋環境に応じた最適なスピーカー配置の検討。
3. THX の専門エンジニアによるモニター調整と認証測定。
4. 室内音響特性及びモニター特性が THXpm3 の基準値を満足している場合、THX pm3 認証スタジオとして認証。
5. 認証後、1 年毎に確認測定が行われ、必要な場合はモニター特性の再調整が行われる。これにより、常に、レギュレーション通りのモニター環境が維持される。

THX pm3 では、確実なモニター環境の構築のために、スピーカー、アンプを始めとした再生機器に関しても、THX による厳密なテストをクリアした認証機材の中から選択する必要がある。また、それらの機材の他にベースマネージメント・コントローラー（次項で解説）等、サラウンド・モニタリングに必要とされる機材に関しても認証機材を使用する必要がある。

「適切な室内音響設計」, 「適切な再生機材の組み合わせ」, 「専門スタッフによる調整作業」, 「1 年ごとの保守点検」によるコンビネーションが, 常に確実なマルチチャンネル再生環境を提供する THX pm3 認証スタジオを生み出している。



ヤマハデジタルコンソール, 「DM2000」, 「DM1000」, 「O2R96」は, ベースマネジメントを始めとするサラウンド・モニターコントローラーとしての機能が, THX pm3 認証機材として認証された初めてのミキシングコンソールである (DM2000, O2R96 : Ver.2.1 以降, DM1000 : Ver.2.0 以降)。ミキシングコンソール内蔵のベースマネジメント・コントローラーとしての認証が初であることはもちろん, フルデジタルのベースマネジメント・コントローラーとしても初の THX pm3 認証である。このことは, 「DM2000」, 「DM1000」, 「O2R96」のサラウンドモニター機能が, 単体のモニター・コントローラーとしても十分な機能を有していることを意味している。

※THX pm3 認証スタジオに関する詳細は, <http://www.thx.com>
(日本語での解説, <http://www.thxpm3.jp/>)

THX and THX pm3 are trademarks of THX Ltd. which may be registered in some jurisdictions. All rights reserved.

4. ベースマネージメント

中小規模のスタジオでは、定在波の影響による部屋のモード現象が顕著となり、各スピーカーの低域特性にばらつきが生じやすい。

その結果、マルチチャンネルのモニタリングにとって重要な以下の事柄に支障をきたす可能性が生じる。

1. 全てのチャンネルの特性が揃っていること。
2. LFE の再生レベルが、他のチャンネルの低域特性+10dB のゲインを保っていること（DVD-V、映画等）。

従って、各チャンネルの低域特性を揃えることは、マルチチャンネルのモニタリング環境の構築にとって最も重要なテーマの 1 つとなる。

そのためには、何等かの「ベースマネージメント（Bass Management）」を検討する必要がある。

中小規模のスタジオにおいて、ベースマネージメントを行うための手法には、「室内音響的手法」、「スピーカー設置位置の検討」、「電気音響的手法」の 3 つの方法が考えられる。

4-1. 室内音響的手法

室内音響的には、厚い吸音層を設けたり、壁を大きく傾けたりすることで対処する。

100Hz の低域を完全に吸音するためには、理論上 85cm 以上の厚さの吸音層が必要となる。

但し、部屋が小さくなればなるほど物理的な事情により厚い吸音層を設けることが困難となることが多い。

4-2. スピーカーの設置位置の検討

スピーカーの低域特性は、室内音響的な影響と密接に関係している。

従って、スピーカー設置位置の検討は、低域再生特性の改善に有効な手段の 1 つとなる。

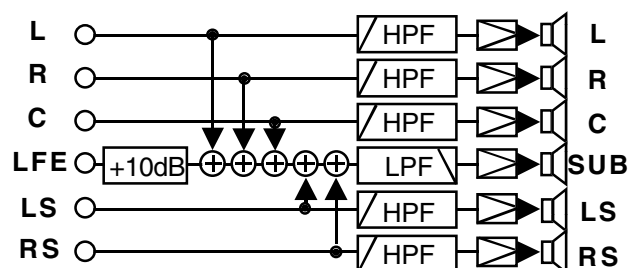
スピーカー配置に関しては、設置位置の自由度の高いサブウーファーに対してのみ検討可能な場合が多い。

サブウーファー配置の検討とベースマネージメント・コントローラー（後述）の併用は、中小規模のスタジオにとって最も効果の高い低域改善方法の 1 つである。

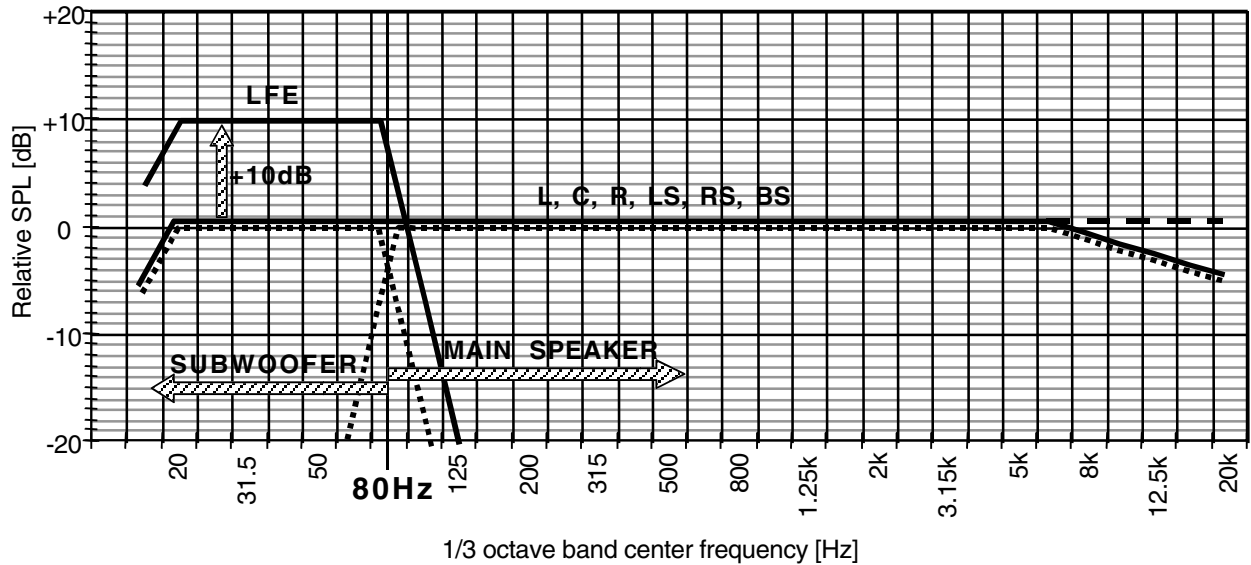
4-3. 電気音響的手法

電気音響的には、[Fig. 35] に示すベースマネージメント・コントローラーをモニターシステムに適用することで対処する。

一般的に、ベースマネージメントというと、ベースマネージメント・コントローラーによる処理のことを意味することが多い。



[Fig. 35] ベースマネージメント・コントローラー (1)



[Fig. 3.6] ベースマネージメント・コントローラーによる再生特性 (1)

ベースマネージメント・コントローラーは、メインチャンネルの低域成分をサブウーファーにルーティングさせるクロスオーバーフィルターである。これにより、サブウーファーからは、各メインチャンネルから合成された低域成分と LFE 信号の双方が出力されることになり、ベースマネージメント以降（サブウーファーのアンプ）では LFE チャンネルのみのゲインの調整が不可能となる。したがって、ベースマネージメント・コントローラーでは、LFE 再生音のゲイン切り替え（+10dB：DVD-Video、映画等、±0dB：DVD-Audio、Super Audio CD 等）の機能も併せて必要となる。

ベースマネージメント・コントローラーは、メインスピーカーの低域補強といった単純な役割だけではなく、低域再生特性の改善や民生機における再生機能の確認といった意味も併せ持つ。

以下に、ベースマネージメント・コントローラーによる主なメリットを示す。

A. メインチャンネル (L, C, R, LS, RS) の低域特性を揃えることができる。

最もばらつきが生じやすい低域特性が揃うことで、各チャンネルの特性が揃いやすくなる。

特性の善し悪しに関わらず、全チャンネルの特性がそろっていることは、2 チャンネル、マルチチャンネル問わずプロのモニター環境としては最も重要な事項である。2 チャンネルの場合には、試聴環境を左右対称とすることで、全てのチャンネル (L, R) の特性を比較的容易に同一のものとすることが出来たが、マルチチャンネルでは、試聴環境を左右対称とするだけでは、特に低域の特性を揃えることは困難である。

B. サブウーファーを最適な場所に設置することで、全てのチャンネルの低域特性が改善できる。

中小規模の部屋では、良い低域特性を与えるスピーカーの設置場所は非常に限られている。

設置位置の自由度の高いサブウーファーをその場所に設置するだけで、その部屋にとって最も良い低域特性を全チャンネルに与えることができる。

C. LFE チャンネルにおける+10dB のバンドゲインを確実に得ることができる。

ベースマネージメントを用いることにより、メインチャンネル+10dB の再生ゲインを全ての LFE 帯域に対して与えることができる。

+10dB の再生ゲインが LFE に確実に与えられていない場合、LFE の効果が他のチャンネルに埋もれてしまい正確に聞き取れなくなることが多い（映画、DVD-Video）。LFE チャンネルの再生クオリティが確保された環境は、映画や DVD-Video における LFE 制作にとって非常に重要である。

D. 20Hz からの重低音を再生するラージモニターと同等の再生特性を全てのチャンネルに与えることができる。

プロ用サブウーファースの多くは、20Hz 程度までの低域再生が可能である。一方、20Hz までの低域が再生可能なメインスピーカーは、ごく一部の高級モデルを除きプロ用モニターでもほとんど無い。ベースマネージメントを用いることで、全てのメインスピーカーを 20Hz までの低域再生が可能なモニターへと拡張できる。

このことは、映画等の劇場用作品を扱うスタジオでは、特に重要である。映画館では、重低音の再生が可能な巨大スピーカーで L, C, R が再生される。不用意な超低域ノイズがマスターソースに含まれていないことを劇場用作品の制作過程でチェックしておくことは重要である。

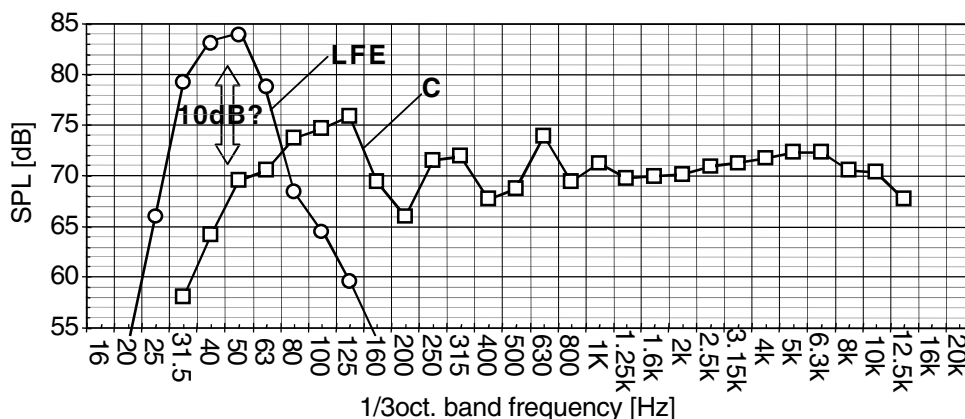
E. コンシューマーの再生方式による再生音の確認を行うことができる。

DVD-Video プレーヤーや AV レシーバーでは、[Fig. 35] と同様のベース・リダイレクション機能の装備が必須となっており、スピーカー設定の項目にて、対象スピーカーを「small」に設定することで、ベースマネージメントが行われる。これは、コンシューマーの試聴環境で多い「小型サテライトスピーカー+サブウーファー」といった再生システムにおける低域拡張のために配慮された機能である。民生機のベース・リダイレクション機能は、Dolby DIGITAL の必須機能としての搭載に端を発し、最近では、DTS, DVD-Audio, Super Audio CD, デジタル放送等様々なソースに対して機能するようになってきている。

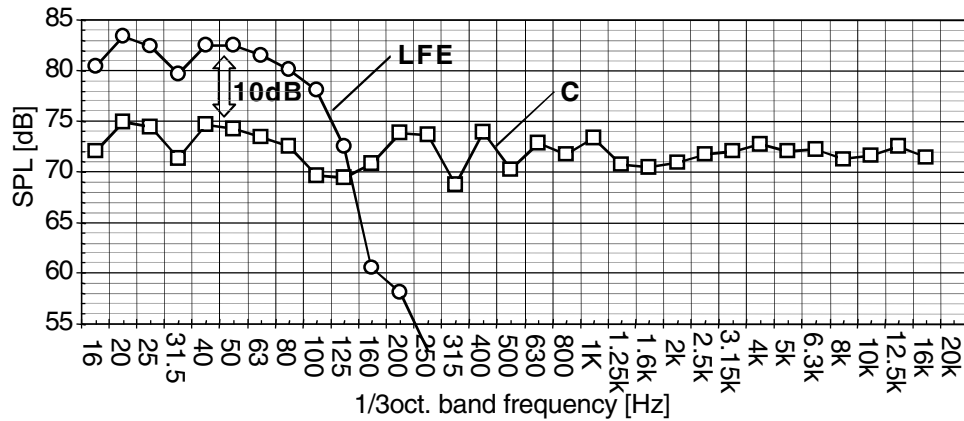
ベースマネージメントでは、各チャンネルの低域信号が電氣的に合成される（電氣的合成, Electrical summation）。一方、ベースマネージメントを用いないで再生された低域信号は、室内といった空間を経てリスナーの耳元で合成される（空間的合成, Acoustical summation）。電氣的合成は、空間的合成に比べて、信号の干渉が顕著に生じやすい。例えば、フロントチャンネルとサラウンドチャンネルの双方に同じような低域信号が記録されており、それらが互いに逆相に近い関係となるような処理がなされている場合、ベースマネージメント再生では、それらの低域成分が消失してしまう恐れがある。このことは、ベースマネージメントを用いない制作環境では聞こえていた低域成分が、エンドユーザー環境では聞こえなくなってしまう可能性を示唆している。制作時にベースマネージメントによる再生音を確認しておくことは、そのような低域成分の再生ミスを防ぐために有効である。

[Fig. 37] は、ベースマネージメント・コントローラーを有しないスタジオの再生特性の例であり、[Fig. 38] は、ベースマネージメント・コントローラーを有するスタジオの再生特性の例である^[4]。双方とも DVD-Video の再生環境用に調整してあるため、メインチャンネルに比べ LFE チャンネルの再生レベルが+10dB のゲインを保っている必要がある。

ベースマネージメント・コントローラーを用いたスタジオでは、低域特性の乱れはあるものの、低域において全ての帯域で+10dB のゲインが保たれている（[Fig. 38]）。一方ベースマネージメント・コントローラーを用いていないスタジオでは、帯域により+10dB であったり、そうでなかったりと不安定である（[Fig. 37]）。

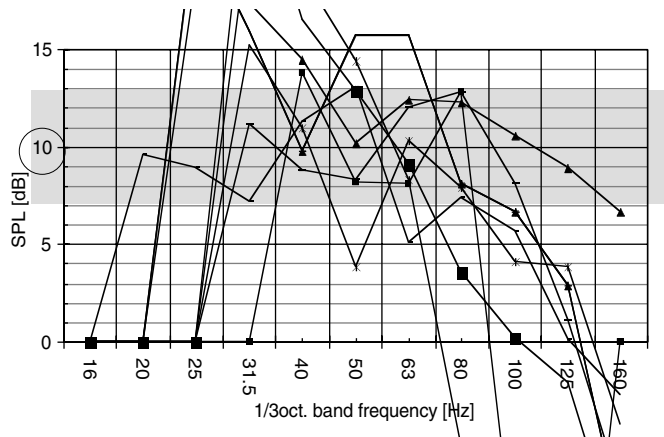


[Fig. 37] LFE vs. C : ベースマネージメント無し

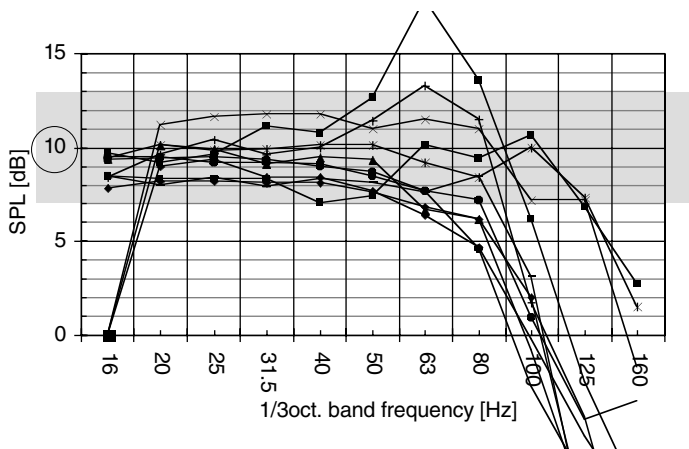


[Fig. 38] LFE vs. C : ベースマネージメント有り

[Fig. 39] 及び [Fig. 40] は、「LFE の再生レベル」から「センターチャンネルの再生レベル」を引いた値を示した例である^[4]。[Fig. 39] は、ベースマネージメント・コントローラーを有しない 10 種類のスタジオの再生特性の例であり、[Fig. 40] は、ベースマネージメント・コントローラーを有する 11 種類のスタジオの例である。双方とも DVD-Video の再生環境用に調整してあるため、低域において+10dB の値を示している必要がある。ベースマネージメント・コントローラーを用いていないスタジオ間のばらつきは ([Fig. 39]), ベースマネージメント・コントローラーを用いたスタジオ間のばらつき ([Fig. 40]) に比べ大きいことが分かる。



[Fig. 39] LFE - C, 10 スタジオ : ベースマネージメント無し



[Fig. 40] LFE - C, 11 スタジオ : ベースマネージメント有り

ベースマネージメントをプロの再生環境に適用させる場合には、ベースマネージメント・コントローラーとスピーカーとの厳密なフィルター特性のマッチングや、サブウーファーをメインチャンネルのウーファーユニットと等価なグレードとして扱い、その設置場所を検討するなどの配慮が必要である。単に [Fig.35] を模倣しただけのベースマネージメントでは、音色の分離や違和感のある音源定位など各種のモニタリング障害を引き起こす可能性があるため注意が必要である。

以下に、ベースマネージメント・コントローラーのフィルター特性に関して言及する。

■ローパス・フィルター

【カットオフ周波数】

サブウーファーから再生される低域信号が、定位感を持たない低い周波数に設定する必要がある。

但し、カットオフ周波数を低くしすぎると、サブウーファーの受け持つ帯域幅が狭くなり、低域特性の改善効果が少なくなる。

定位感を優先すると 60Hz 以下が理想的であるが、低域改善効果との兼ね合いから、一般的には、80Hz をカットオフ周波数とする仕様がが多い。

【スロープ】

スロープが緩やかな場合、上記で設定した周波数以上の音を認知してしまう可能性があり、その結果サブウーファーに定位感を感じてしまうことがある。

逆に、スロープが急峻すぎる場合、メインスピーカーとサブウーファーとの一体感が乏しくなり、低域と中高域それぞれに音色が分離しやすくなる。

一般的には、-24dB/oct.をスロープの特性とする仕様がが多い。

■ハイパス・フィルター

【カットオフ周波数】

ローパス・フィルターで設定した値と同じ周波数をハイパス・フィルターにおいても用いる。

【スロープ】

ローパス・フィルターと最適な特性でクロスするためのスロープ特性を用いる。

その際には、フィルター同士の特性だけでなく、使用するスピーカーの特性も考慮する必要がある。

すなわち、「フィルター特性」+「スピーカー特性」=「クロスオーバー特性」である。

ここでは、以下の仕様が既に設定されているものとし、ハイパス・フィルターのスロープに関して解説する。

- ・LPF $f_c=80\text{Hz}$, -24dB/oct.
- ・HPF $f_c=80\text{Hz}$

サブウーファーの再生帯域は、適用するローパス・フィルターのカットオフ周波数より高域までのびていることが多い。従って、サブウーファーから再生される低域特性は、ローパス・フィルターの仕様と同じ「 $f_c=80\text{Hz}$, -24dB/oct.」となる。

ハイパス・フィルターを介して再生されるメインスピーカーのカットオフ特性は、この「 $f_c=80\text{Hz}$, -24dB/oct.」をターゲットとして設定されなければならない。

例 1) メインスピーカーの特性が、80H 以下で 12dB/oct. で減衰するようなスモールタイプの場合、

「ハイパス・フィルターの特性」=12dB/oct. とする。

すなわち、「フィルター：12dB/oct.」+「スピーカー：12dB/oct.」=「クロスオーバー：24dB/oct.」。

- 例 2) メインスピーカーが、80Hz 以下まで再生できるようなラージタイプの場合、
 「ハイパス・フィルターの特性」=24dB/oct. とする。
 すなわち、「フィルター：24dB/oct.」+「スピーカー：0dB/oct.」=「クロスオーバー：24dB/oct.」。

【フィルタータイプ】

フィルターのタイプ（バタワース、リンクウィッツなど）に関しては、ローパス・フィルターの種類及びメインスピーカーの特性とのマッチングにより決定する。

例) メインスピーカーが 80Hz 以下で減衰するスモールタイプの場合

- ・LPF 「リンクウィッツ」 $f_c=80\text{Hz}$, -24dB/oct
- ・HPF 「バタワース」 $f_c=80\text{Hz}$, 12dB/oct

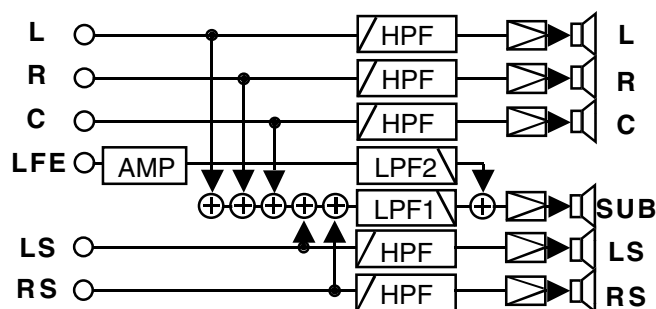
このように、ハイパス・フィルターの特性は、使用するスピーカーの特性により適宜選択することが望ましい。

[Fig. 35] に示したベースマネージメント・コントローラーは、民生機のプレーヤーや AV レシーバーに多く用いられるタイプである。このタイプのベースマネージメント・コントローラーを用いた場合、[Fig. 36] に示すように、LFE の再生帯域の上限が、メインチャンネルのクロスオーバー周波数により制限される。一般的に、クロスオーバー周波数は 80Hz に設定されることから、[Fig. 35] に示したベースマネージメント・コントローラーでは、LFE の再生帯域が 80Hz に制限されることになる。一方、DVD-Video や映画では 120Hz までの LFE 信号の記録・再生可能であり、DVD-Audio や Super Audio CD ではフルレンジ記録・再生が可能である。メディアに記録可能な再生帯域をすべて再生する必要がある制作現場では、[Fig. 41] に示すベースマネージメント・コントローラーを用いる必要がある。このタイプのベースマネージメント・コントローラーは、メインチャンネルのクロスオーバー用ローパスフィルター（LPF1）と LFE 用のローパスフィルター（LPF2）の 2 つのローパスフィルターを有しており、目的に応じて LPF2 のカットオフ周波数を変更することが可能である。業務用のベースマネージメント・コントローラーの多くは、[Fig. 41] に示すタイプである。

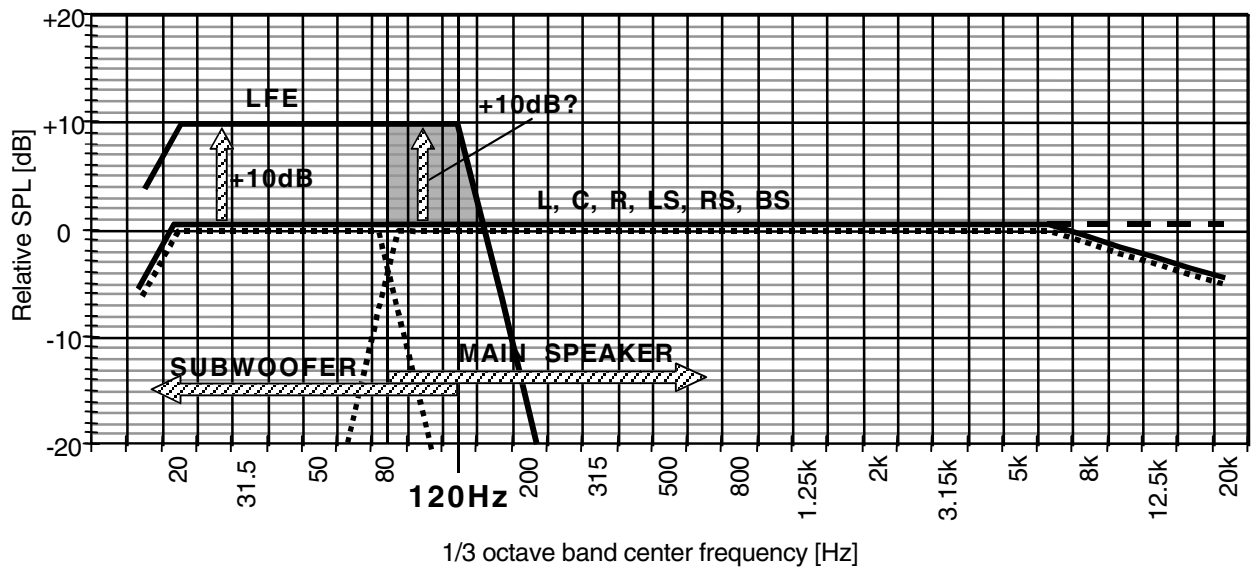
- 例) ・LPF1, HPF $f_c=80\text{Hz}$
 ・LPF2 $f_c=120\text{Hz}$ (DVD-Video, 映画等), スルー (DVD-Audio, Super Audio CD 等)
 ・AMP +10dB (DVD-Video, 映画等), $\pm 0\text{dB}$ (DVD-Audio, Super Audio CD)

このタイプのベースマネージメント・コントローラーでは、80Hz 以上の帯域にて+10dB のゲイン（DVD-Video, 映画）が確保されているか否かが、室内音響特性に左右されることになるが（[Fig. 42]）、マスタリングやオーサリング等、マスターに記録された信号の全てをチェックする必要がある作業やプレビュー用途には、有効なベースマネージメント・コントローラーである。

一方、ミキシングなどの制作過程では、定位感を持つ 80Hz 以上の信号を LFE 信号に用いる音響制作は避けられる傾向にあり、 $f_c=80\text{Hz}$ のローパスフィルターが LFE のマスター信号に適用されることが多い。その際は、[Fig. 35] に示すベースマネージメント・コントローラーを使用することが可能と考えられる。



[Fig. 41] ベースマネージメント・コントローラー (2)



[Fig. 4.2] ベースマネージメント・コントローラーによる再生特性 (2)

以上のように、ベースマネージメントは、使用するスピーカーやスタジオの用途など様々な要因を総合的に判断し、スペックを決定する必要がある。また、スピーカーとのマッチングに配慮したフィルター特性やサブウーファースの設置などを厳密に検討し、サブウーファースをメインスピーカーのウーファーユニットと同様のクオリティで扱うことが重要である。それらが検討された設置環境に対して、綿密な調整作業を行うことで、ようやく本来のベースマネージメントの真価が発揮される。

ただし、厳密に調整された環境であっても、ベースマネージメント・コントローラーによりサブウーファースにルーティングされた 80Hz 以下の低域成分は、完全に無定位というわけではない。サブウーファースの設置位置の工夫により、ある程度の定位感の改善は図れるが、コンテンツによっては、サラウンドの低域成分が前方に配置したサブウーファースから聞こえてくる場合もある。特に音楽もののコンテンツに関してはそのことが好まれないことも多い。

また、ベースマネージメントにより改善が図れる帯域は 80Hz 以下であり、100Hz 近辺の低域に関してはやはり室内音響的な処置が必要である。

ベースマネージメントは、中小規模のサラウンドモニター環境における低域再生特性の改善には非常に有効な手段の 1 つであるが、必ずしもオールマイティな手法ではない。スタジオの音響条件や制作コンテンツの内容により、ケースバイケースでその使用を判断すると良い。一般的に、ポスプロ用途には使用した方がメリットが大きく、音楽用途には部屋の音響条件との兼ね合いで判断することになる。但し、音楽においては、再生スピーカーの微妙な位相特性がその制作に影響を及ぼすこともあり、ベースマネージメントが障害となる場合がある。LFE に関しても同様に、LPF による位相変化や遅延などへの懸念から、音楽では使用されないことが多い。

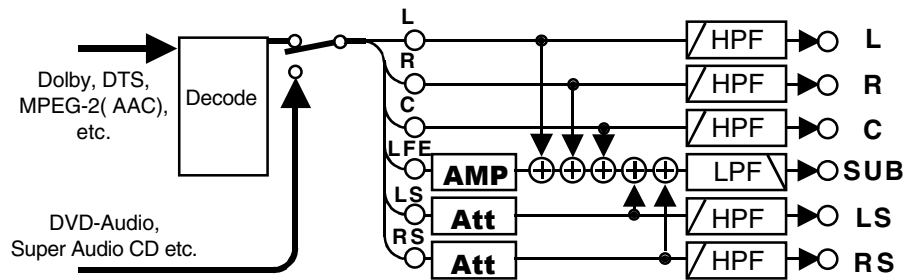
但し、ベースマネージメントを制作時の再生環境として使用するか否かは別として、エンドユーザー環境での再生状況の確認や、超低域雑音のチェック等の用途として、制作スタジオには装備しておいた方が良い機材である。

ヤマハデジタルコンソール「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、様々な試聴環境や制作メディアに即座に対応できる先進的なベースマネージメント機能が内蔵されている。様々なスピーカーとのマッチングに対応するため、バターワース、リンクウィッツ・ライリーといった 2 種類のフィルター特性、また 12dB/oct. や 24dB/oct. などのスロープをスピーカーごと (L&R, C, LS&RS) に設定可能である。また、LFE や LS/RS 再生レベルの変可機能等、様々なメディアに対するモニターコンディションの調整も可能である。その上、ベースマネージメントの ON/OFF も簡単に行え、ベースマネージメント効果の試聴確認も容易である。THX pm3 認証のこのベースマネージメントは、THX プリセットを呼び出すことで、即座に THX pm3 認証スタジオのモニターシステムに対応することも可能である (DM2000, O2R96 : Ver.2.1 以降, DM1000 : Ver.2.0 以降)。

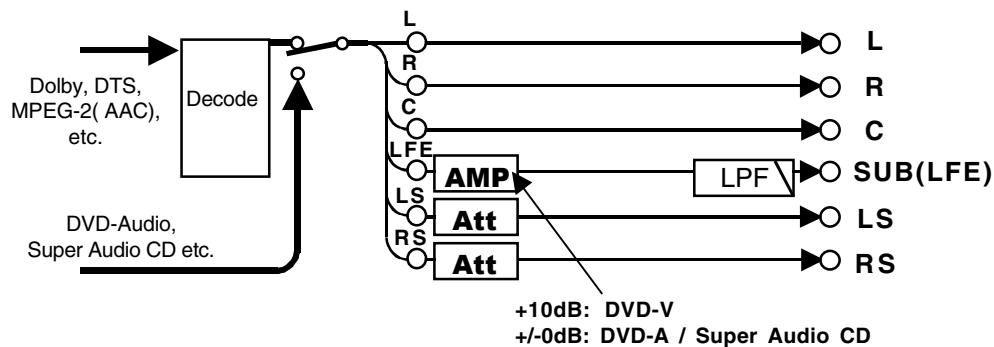
4-4. デコード出力のモニター

民生機の DVD プレーヤーや AV アンプなどは、ベースマネージメント・コントローラーの装備が必須となっている。前項でも述べたが、ベースマネージメントには LFE チャンネルのゲイン調節機能が不可欠であり、そのため LFE がユニティ・ゲインで出力されていない民生機もある。デコーダーからの出力をスタジオでモニターする場合は、LFE の出力レベルに気を付けておく必要がある。

[Fig. 43], [Fig. 44] は、民生プレーヤーおよび AV レシーバーの出力処理の一部を簡略化した一例である。[Fig. 43] がベースマネージメント ON の状態であり、[Fig. 44] が OFF の状態である。



[Fig. 43] 民生プレーヤー及びレシーバーの出力処理例，ベースマネージメント ON



[Fig. 44] 民生プレーヤー及びレシーバーの出力処理例，ベースマネージメント OFF

このようなベースマネージメント回路を有する民生機では、入力ソースに応じて [Fig. 43], [Fig. 44] の「AMP」のゲインを自動的に切り替えることで、多種のメディアのフォーマットに応じた LFE 出力を作り出している。例えば、Dolby DIGITAL や DTS 等、DVD-Video のソースには、+10dB のゲインを与え、DVD-Audio や Super Audio CD に対しては、±0dB という具合である。民生機の中には、ベースマネージメントの ON/OFF に関わらずこのゲイン（AMP）が有効となっているものや、ベースマネージメントの ON/OFF によってその動作が異なるものがある。従って、民生機の中には、DVD-Video 再生時の LFE 出力が既に+10dB となっているものがあることに注意しておく必要がある。スタジオのモニター環境においてこのような民生機のデコード出力をモニターする場合には、スタジオの LFE の再生ゲインを±0dB としなければならない（もしくは、デコード出力の LFE チャンネルを-10dB で入力）。

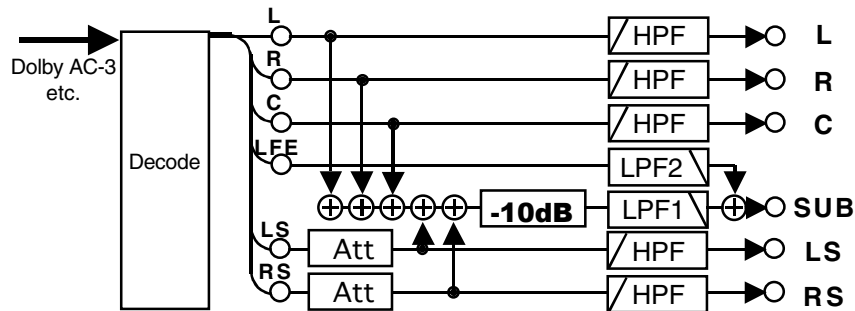
ちなみに、[Fig. 43], [Fig. 44] の「Att」は、5.1⇒3-1 等、サラウンドフォーマットの変更に応じ、自動的にサラウンドスピーカーの再生レベルを調整するためのアッテネーターである。例えば、5.1 の場合は±0dB、3-1 の場合は-3dB といったように、民生機では入力ソースのチャンネルフォーマットに応じ自動的にサラウンドスピーカーの出力レベルが調整される。従って、民生機のデコードアウトをスタジオでモニターする場合には、チャンネルフォーマットに応じてサラウンドのモニターレベルを調整する必要のない場合が多い。

尚、全ての民生機のプレイバックが、[Fig. 43], [Fig. 44] のように処理されているという保証はない。使用する

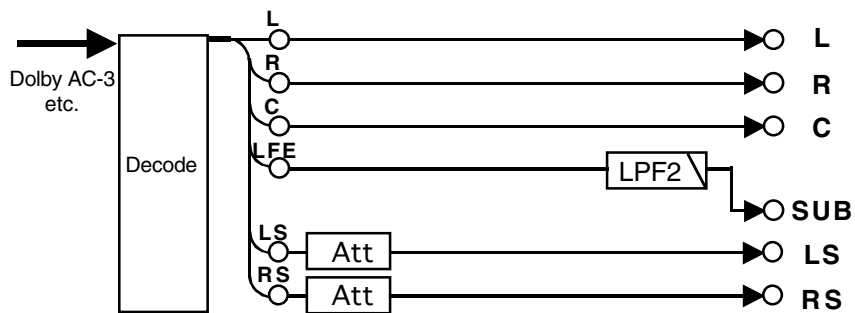
機種ごとに出力レベルや出力ダイアグラムを把握しておくことが望ましい。

業務用の Dolby DIGITAL デコーダーでも、ベースマネージメントやサラウンド・アッテネーションなどの機能を有しているものがある。

[Fig. 45], [Fig. 46] は、Dolby lab.の業務用デコーダー「DP564」の出力処理の一部を簡略化したものである。[Fig. 45] がベースマネージメント ON の状態であり、[Fig. 46] が OFF の状態である。



[Fig. 45] 業務用デコーダーDolby DP564 の出力処理例，ベースマネージメント ON



[Fig. 46] 業務用デコーダーDolby DP564 の出力処理例，ベースマネージメント OFF

[Fig. 43], [Fig. 44] に示した民生機との違いは、ベースマネージメントの ON/OFF に関わらず、LFE も含め全てのチャンネルの入出力がユニティ・ゲインで構成されており、再生側のアンプで LFE の+10dB を得る仕様となっている点である。従って、このような業務用デコーダーを使用する際には、LFE の再生ゲインが+10dB に調整されている DVD-Video 用の再生環境をそのまま用いれば良い。また、民生機でも同様の処理を行っているものに関しては、同様の対処を行う必要がある。

以上のように、マスター制作用にモニター環境が調整されているスタジオにおいてデコーダーアウトをモニターする場合は、使用するデコーダーの出力ダイアグラムを把握しておく必要がある。

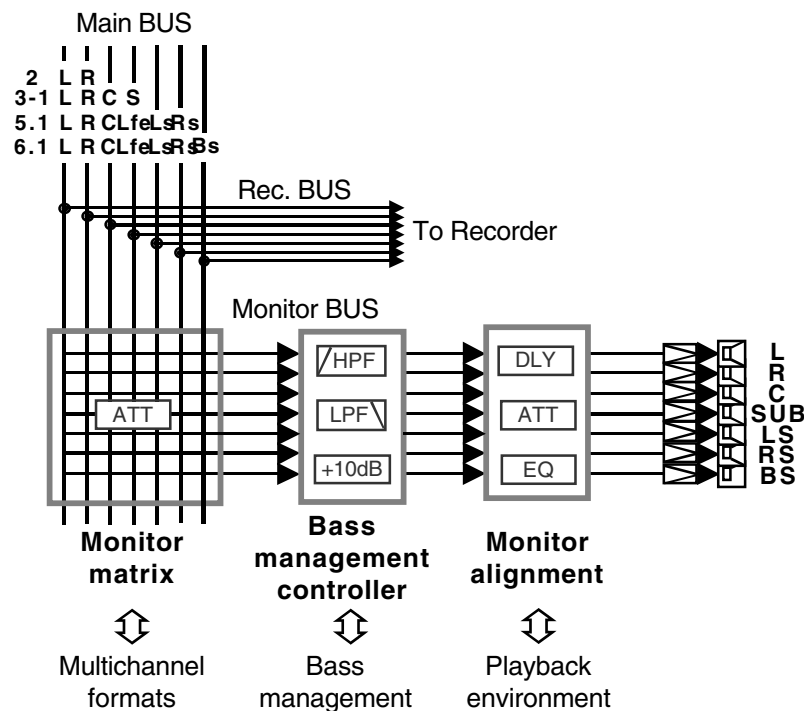
5. モニターシステム

本書の冒頭で述べたように、マルチチャンネルのモニタリングには 3 つのポイント、「マルチチャンネル・フォーマット」、「ベースマネージメント」、「再生環境」がある。

マルチチャンネルのモニタリング・システムは、これら 3 つのポイントに対応するために、「モニター・マトリックス」、「ベースマネージメント・コントローラー」、「モニター・アライメント」の 3 つの大きな構成を有している必要がある。

すなわち、「モニター・マトリックス」＝「マルチチャンネル・フォーマット」、「ベースマネージメント・コントローラー」＝「ベースマネージメント」、「モニター・アライメント」＝「再生環境」である。

サラウンド・ミキサーは、メインバスがマルチチャンネルに対応しているというだけでは不十分であり、メインバスを分岐したレコードバスの他に、モニターマトリックスを介したモニターバスを別途持っていることが望ましい。



[Fig. 47] マルチチャンネルモニター・フロー

5-1. モニター・マトリックス

5.1 と 3-1 の双方の作業を行う場合や、同じ 5.1 であっても DVD-Video と映画といった異なるメディアの作業を行う場合には、モニター・マトリックス回路が必要となる。

また、DVD-Video (Dolby DIGITAL, DTS) などで規定されているダウンミックス機能の試聴を行う場合にもモニター・マトリックスが必要となる。

モニター・マトリックスに関しては、通常コンソールの機能に含まれている場合が多い。

ヤマハデジタルコンソール「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、サラウンドモニターに特化したモニターマトリックスをモニターバスに装備している。それにより、ダウンミックスや 3-1⇔5.1 切り替えによるサラウンド再生レベルのアッテネーションなどが、容易に操作可能となっている。

5-2. ベースマネージメント

中小規模のスタジオにおいて低域特性まで管理されたモニター環境を得るためには、モニターシステムにベースマネージメント・コントローラーを適用すると良い。

また、エンドユーザー環境との互換性を確認するためにも、ベースマネージメント再生音の確認は重要である。

ヤマハデジタルコンソール「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」は、ベースマネージメント機能を内蔵したコンソールである。従って、外部ベースマネージメント機器を用いた際に懸念される音質変化などの問題なしにベースマネージメントの適用が可能である (ON/OFF 可)。また、「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」に内蔵されたベースマネージメントでは、通常のベースマネージメント機能の他に、LFE やサラウンドの再生レベルの調整機能も有しており、様々なメディアに対応するためのモニター機能の役割も担っている。

5-3. モニター・アライメント

各チャンネルのタイム・アライメントを厳密に図るためには、各スピーカーに対して電氣的なディレイを用意しておくことが望ましい。

また、実際の調整作業を考えると、その他にアッテネーターや GEQ (PEQ) が必要となる場合が多い。

ヤマハデジタルコンソール「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、スピーカーごとに調整可能なディレイ、アッテネーターといったモニター・アライメント機能をコンソールに内蔵している。従って、外部アライメント機器を用いた際に懸念される音質変化などの問題無しにモニター・アライメントが可能である。ディレイに関しては 0.02msec ステップ、アッテネーターに関しては 0.1dB ステップといった、プロのモニター環境の調整にも十分対応可能な高精度の解像度を持っている。

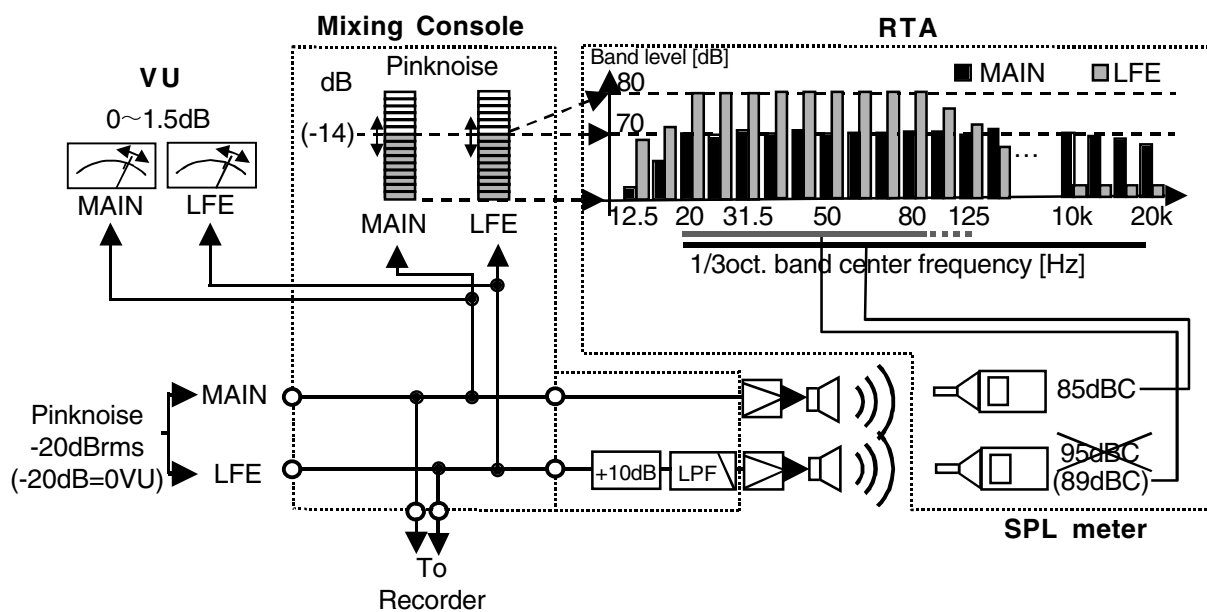
6. 測定・調整

2 チャンネル再生では、リスニングポイントに対して L, R スピーカーを左右対称に設置し、それぞれを同じパワーで再生するだけで、L, R ともに同じレベル、同じタイミングで受聴することが可能であった。一方、マルチチャンネルでは、全てのスピーカーを同じパワーで再生するだけでは、LFE を含めた全チャンネルを適切なレベルバランスかつ同じタイミングで受聴できないことが多い。

従って、殆どの場合、マルチチャンネルのモニタリング環境を構築するためには、セットアップ時の測定・調整作業が必要となる。

モニター特性の測定・調整を行うためには、音源信号としてのピンクノイズおよび、スピーカーの再生音圧レベルを測定するための騒音計が必要となる。

また、実際の測定にあたっては、1/3 オクターブバンド分析器 (RTA, リアルタイムアナライザー) が必要となることが多い。



[Fig. 48] 測定・調整測定・調整：DVD-Video の例

6-1. 測定用信号

測定用信号には、(20Hz) ~ 20kHz の広帯域ピンクノイズを用いる。

音源に用いるピンクノイズのレベル (dB, 実行値) は、スタジオのヘッドルームの設定 (0VU) を基準とする。すなわち、ヘッドルームを 20dB に設定しているスタジオでは、-20dBrms のピンクノイズを使用し、ヘッドルームを 18dB としているスタジオでは、-18dBrms のピンクノイズを用いる。

ピンクノイズは、振幅の変化が大きく、コンソールなどのレベル・メーターでその入力レベルの確認を行うことが困難である (-20dBrms のピンクノイズの場合、およそ -14dBFS 近辺で激しく変動する)。

そのため、測定用ピンクノイズは、その実効値が銘記されているものを予め用意しておく必要がある。

18dB をヘッドルームに設定してあるスタジオにおいて、-20dBrms のピンクノイズを用いる場合は、各スピーカーからの再生レベルを目的とするレベルから 2dB (20dBrms-18dBrms) 小さくなるように調整する。

ヘッドルーム 20dB の場合

基準信号		基準信号レベル		ピークメーター	VU メーター
1kHz	デジタル	-20dBp-p	(-23dBrms)	-20dBFS	0dB
	アナログ	(-17dBp-p)	-20dBrms	↑	↑
Pink noise	(DC)～20kHz	-	-20dBrms	(-14dBFS)	0～1.5dB

[Table. 4-1] 1kHz とピンクノイズのレベル関係：-20dB 基準の場合

ヘッドルーム 18dB の場合

基準信号		基準信号レベル		ピークメーター	VU メーター
1kHz	デジタル	-18dBp-p	(-21dBrms)	-18dBFS	0dB
	アナログ	(-15dBp-p)	-18dBrms	↑	↑
Pink noise	(DC)～20kHz	-	-18dBrms	(-12dBFS)	0～1.5dB

[Table. 4-2] 1kHz とピンクノイズのレベル関係：-18dB 基準の場合

メインチャンネルの再生レベル=85dBC 基準の場合

スタジオのヘッドルーム設定	調整に用いる信号	スピーカーの再生レベル
-20dB (=0VU)	-20dBrms ピンクノイズ	85dBC
-18dB (=0VU)	-18dBrms ピンクノイズ	85dBC
	-20dBrms ピンクノイズ	82dBC

[Table. 5] 調整に用いるピンクノイズとターゲット再生レベルの関係

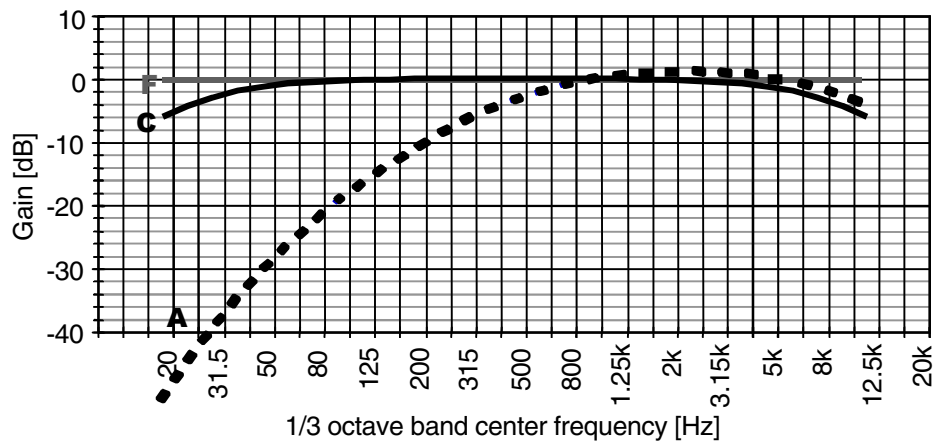
ヤマハデジタルコンソール「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、-20dBrms のピンクノイズをモニター調整用に内蔵している。いかなるサンプリング周波数モードにおいてもピンクノイズのパワーレベルが変動しないように、ピンクノイズの再生帯域の上限は 20kHz でカットされている。

6-2. メイン・チャンネルのレベル・バランス

上記のピンクノイズを各メインスピーカー（L, C, R, LS, RS）から再生し、リスニング・ポイントにおけるそれぞれの音圧レベルが 85dBC になるように各アンプのゲインを調整する。劇場用映画作品を制作する場合は、サラウンド（LS, RS）の再生レベルを基準値（85dBC）より 3dB 小さい値（82dBC）に調整する（[Table. 6]）。リスニング・ポイントにおける音圧レベル（85dBC）の測定には、騒音計を用いる（動特性「SLOW」、周波数重み特性「C 特性」）。dBC とは、騒音計に内蔵されている C 特性の周波数重み特性（フィルター）を使用した場合の音圧レベルを意味する（[Fig. 49]）。騒音計の種類によっては、A 特性フィルターしか内蔵していないものもあるので、サラウンドのモニター調整を行うためには、C 特性フィルターを内蔵した騒音計を選択しなければならない。尚、ベースマネージメントが適用された環境では、各チャンネルのレベル調整をベースマネージメントの前（チャンネルバス）ではなく、ベースマネージメントの後（スピーカー）に対して行わなければならない。

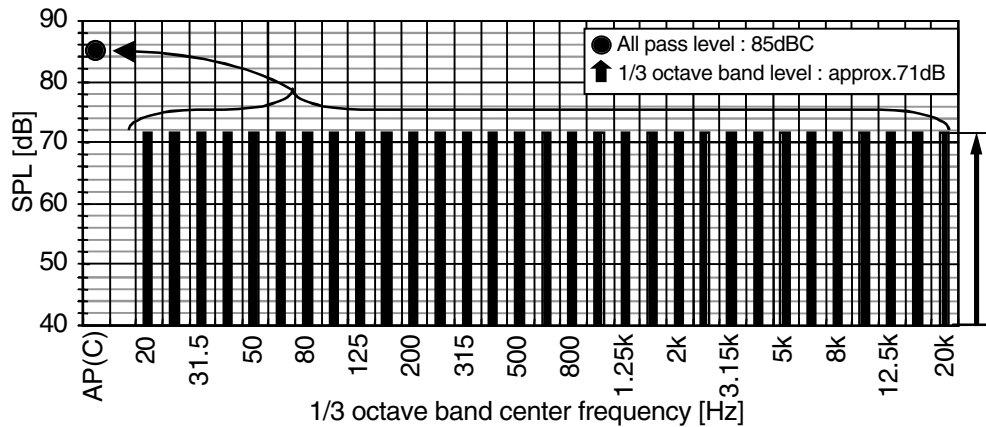
CH	メディア	L	C	R	LS	RS	BS	LFE
3-1	DVD-V	85dBC	85dBC	85dBC	S=LS+RS=85dBC, (LS=RS=82dBC)		-	-
	DVD-A	↑	↑	↑	↑		-	
	映画	↑	↑	↑	↑			-
	デジタル放送	↑	↑	↑	運用団体の規定による			
5.1	DVD-V	85dBC	85dBC	85dBC	85dBC	85dBC	-	+10dB band gain (89dBC, 20-120Hz)
	映画	↑	↑	↑	82dBC	82dBC	-	↑
	DVD-A	↑	↑	↑	85dBC	85dBC	-	±0dB band gain (79dBC, 20-120Hz)
	Super Audio CD	↑	↑	↑	↑	↑	-	↑
	デジタル放送	↑	↑	↑	↑	↑	-	運用団体の規定による
6.1	DVD-V	85dBC	85dBC	85dBC	85dBC	85dBC	85dBC	+10dB band gain (89dBC, 20-120Hz)
	映画	↑	↑	↑	82dBC	82dBC	82dBC	↑

[Table. 6] 再生レベルバランス一覧



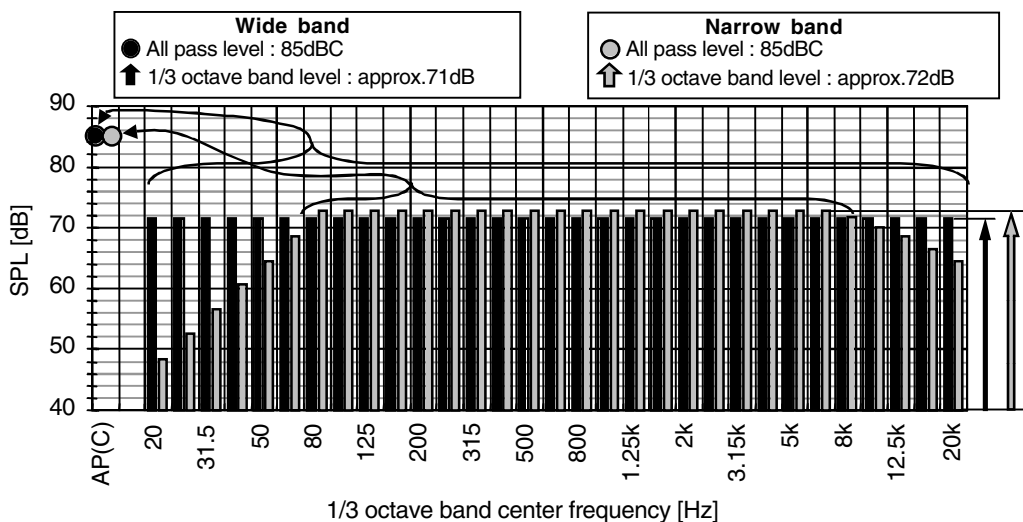
[Fig. 49] 騒音計のフィルター特性：A，C，F

[Fig. 50] は、オールパスレベルが 85dBC のピンクノイズを 1/3 オクターブバンドごとのレベルでして表したものである。オールパスレベルが 85dBC の場合、1/3 オクターブバンドレベルは、約 71dB となる。換言すれば、31 個のバンドレベル (71dB) に C 特性フィルターをかけて足し合わせたものが、85dBC というオールパスレベル (85dBC) である。ちなみに、この時騒音計の F 特性フィルター表示では、オールパスレベルは 86dB となる ($71\text{dB} + 10\log(31\text{band}) = 86\text{dB(F)}$, $86\text{dB(F)} - 1\text{dB(C特性フィルターのエネルギー欠損)} = 85\text{dBC}$)。騒音計で表示される音圧レベルは、この「オールパスレベル (85dBC)」であり、周波数ごとの「バンドレベル (約 71dB, 1/3oct.)」を把握するためには RTA (リアルタイムアナライザー) が必要となる。



[Fig. 50] オールパスレベルとバンドレベル

スピーカーの再生レベルをオールパスレベルだけで判断することは危険である．[Fig. 29] は，オールパスレベルが 85dBC の 2 種類のピンクノイズの特性を表した例である．黒色が 20Hz～20kHz の広帯域ピンクノイズの特性であり，灰色が 80Hz～8kHz の狭帯域ピンクノイズの特性である．



[Fig. 51] 広帯域ピンクノイズと狭帯域ピンクノイズのバンドレベルの違い

オールパスレベルを同じ 85dBC に調整した場合，狭帯域ピンクノイズは広帯域ピンクノイズに比べてバンドレベルが大きくなっている（71dB⇒72dB）．このことは，周波数レンジの異なるスピーカー同士の再生レベルをオールパスレベルだけを基準に調整した場合，バンドレベルに違いが生じてしまうことを意味している．例えば，フロントチャンネルに周波数レンジの広い大型スピーカー使用し，サラウンドチャンネルに周波数レンジの狭いスピーカーを使用している再生環境があるとする．そのような環境で，オールパスレベル（85dBC）だけを頼りにそれぞれのスピーカーの再生レベルを調整してしまうと，サラウンドスピーカーの再生バンドレベルが大きくなってしまい，結果としてサラウンドチャンネルがフロントチャンネルより大きな音量で再生されてしまうことになる．

スピーカーの再生レベルを同じにすることは，オールパスレベルではなく，バンドレベル（71dB，1/3oct.）を揃えること意味している．騒音計のみを用いたオールパスレベル（85dBC）での調整は，全てのスピーカーの再生特性が同じであり，十分に良好な室内音響特性が得られている場合に可能な簡易的な方法である．実際の調整には，オールパスレベル（85dBC）の確認に加え，RTA によるバンドレベル（71dB，1/3oct.）の確認を行うことが望ましい．

6-3. 狭帯域ピンクノイズ

再生チャンネルごとに周波数特性が異なってしまう原因には、以下の事項が考えられる。

1. スピーカーの再生特性 低域及び高域再生限界
2. 部屋の音響特性 低域特性の乱れ

以上に加え、

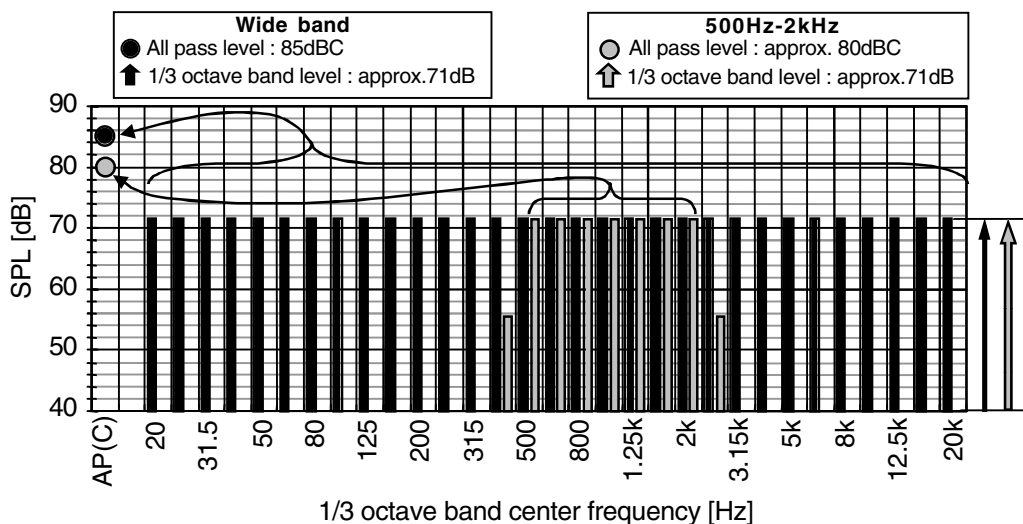
3. 騒音計のマイク特性 安価なものは高域特性が測定できない

など、測定システムによる測定誤差も調整結果に影響を与える。

前述のように周波数特性とオールパスレベルは密接な関係がある。従って、各チャンネルの周波数特性にばらつきの生じている環境では、騒音計のみによる調整（オールパスレベル 85dBC）では大きな誤差が生じてしまう可能性があり、それと平行して RTA によるバンドレベル（71dB, 1/3 oct.）の確認を行うことが望ましい。

各チャンネルの周波数特性に不安がある環境でありながら RTA による調整が困難である場合には、500Hz～2kHz に帯域制限されたピンクノイズを調整用信号として用いると良い結果を得られる場合がある。なぜなら、500Hz～2kHz に帯域制限されたピンクノイズには、再生環境の周波数特性として不安定な要因が多い低域と騒音計のグレードにより左右されやすい高域成分が含まれていないからである。

〔Fig. 52〕は、広帯域ピンクノイズ（黒色）とそれを 500～2kHz に帯域制限したピンクノイズ（灰色）の特性を示したものである。500Hz～2kHz のピンクノイズは広帯域ピンクノイズに比べてバンド幅が狭い分、オールパスレベルが 5dB 低い 80dBC となっていることが分かる。従って、500Hz～2kHz の狭帯域ピンクノイズを使用して各チャンネルのレベル調整を行う場合は、オールパスレベル（騒音計の指示値）を 85dBC ではなく、5dB 低い 80dBC に合わせる必要がある。

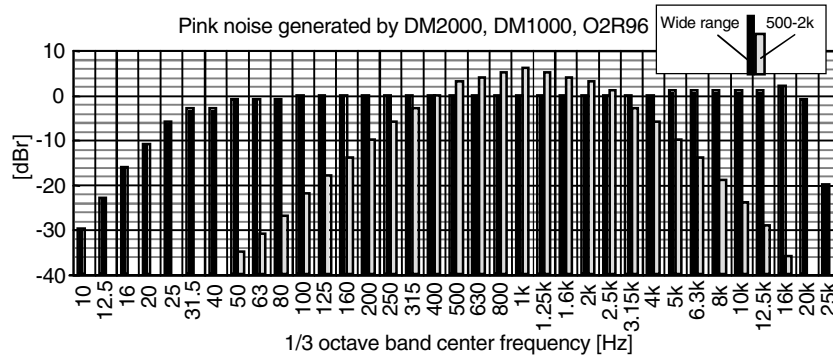


〔Fig. 52〕 500～2kHz ピンクノイズと広帯域ピンクノイズ

民生レシーバーやプレーヤーに内蔵されているピンクノイズの多くは、このような狭帯域ピンクノイズである。但し、そのレベルに関しては厳密ではないため、85dBC や 80dBC 等の絶対値をターゲットとした調整を行う場合には注意が必要である。

また、Dolby lab.の業務用デコーダ DP564 のように予めレベル補正が行われた狭帯域ピンクノイズが内蔵されているものもあり、そのような場合は、狭帯域ピンクノイズを用いた場合でも 80dBC ではなく 85dBC を基準とした調整が可能である。

ヤマハデジタルコンソール「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」は、-20dBrms の「広帯域ピンクノイズ」と 500Hz～2kHz の「狭帯域ピンクノイズ」の 2 種類のピンクノイズをモニター調整用信号として内蔵している。500Hz～2kHz のピンクノイズのバンドレベルは、広帯域ピンクノイズのバンドレベルより約 5dB 大きく設定されている。従って、「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、「広帯域ピンクノイズ」、「500Hz～2kHz ピンクノイズ」の双方とも 85dBc を目標値として調整を行うことができる。



[Fig. 53] DM2000, DM1000, O2R96 から再生されるピンクノイズの周波数特性：広帯域，500-2k

「DM2000」、「DM1000」、「O2R96」では、各スピーカーの再生レベルを-12dB～12dB の範囲で 0.1dB ステップという精密さで調整可能である。また、「SET SPL 85dB」機能により、マスターボリュームの任意の位置を 85dB 表示に設定することができ、「SNAP TO SPL85dB」機能より、任意のマスターボリューム位置から即座にリファレンス再生レベル 85dBc へとボリューム切り替えが可能となっている。

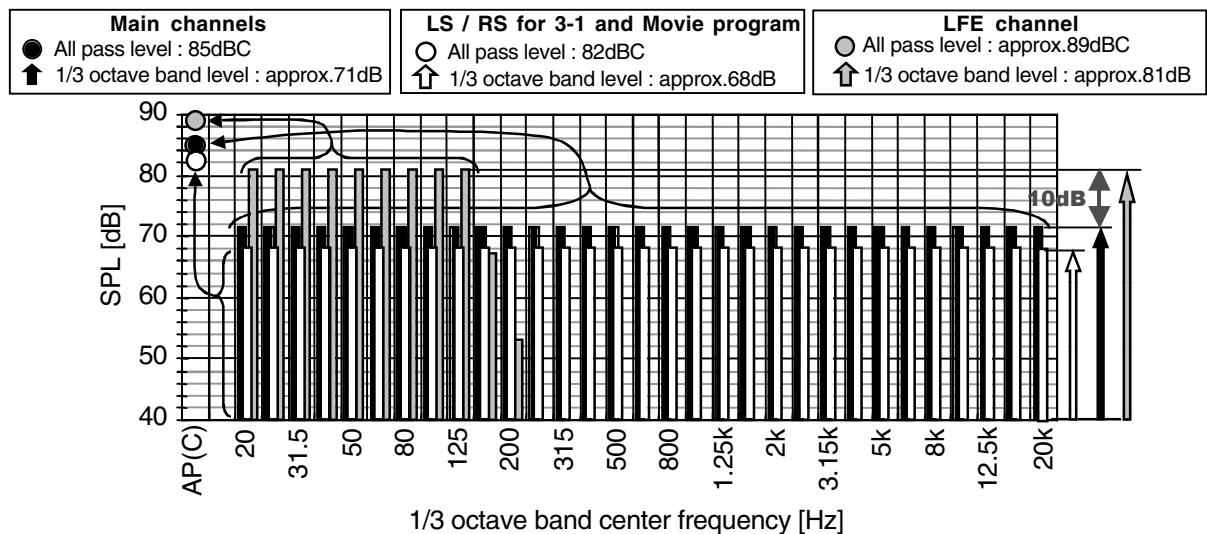
6-4. LFE チャンネルのレベルバランス

DVD-Video (Dolby, DTS) や映画作品 (Dolby, DTS, SDDS) の場合には、LFE チャンネルの**バンドレベル**がメインチャンネル+10dB となるようにアンプのゲインを調整する。

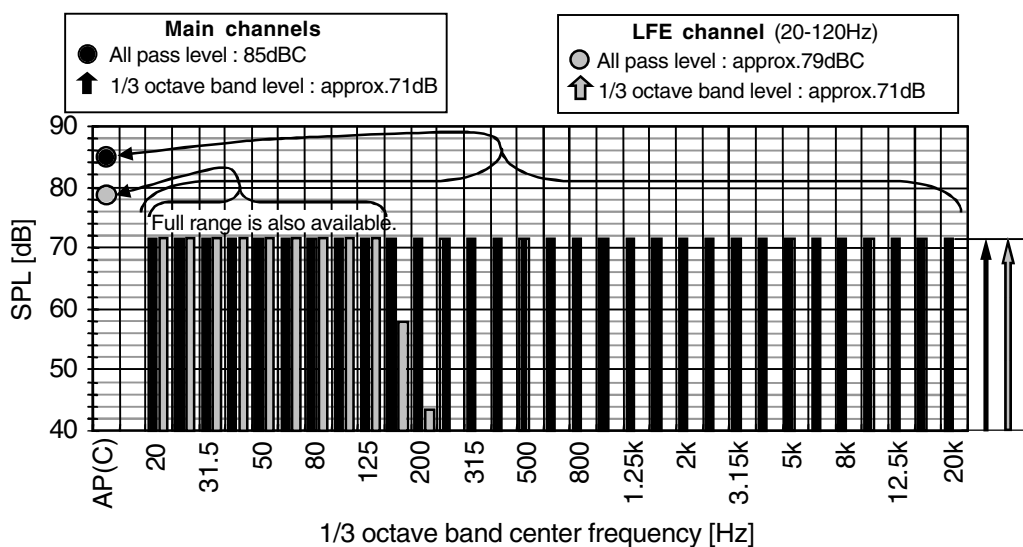
ピンクノイズの再生レベルが騒音計で 95dBC (=85dBC+10dB) となるように調整してしまうと、間違った調整を行うことになるので注意が必要である。

最も確実な調整方法は、RTA を用いて、1/3 オクターブバンドレベルが約 81dB になるように調整する方法である。この場合、騒音計で指示されるオールパスレベルは、95dBC ではなく約 89dBC となる。

DVD-Audio や Super Audio CD など、LFE チャンネルのバンドレベルをメインチャンネルのバンドレベルと同じレベルに設定する場合 (±0dB)、騒音計で示めされるオールパスレベルは約 79dBC となる (LFE 再生帯域を 20 ~120Hz と仮定した場合)。



[Fig. 54] LFE の再生レベル：DVD-Video, 映画



[Fig. 55] LFE の再生レベル：DVD-Audio, Super Audio CD

【メインチャンネル】

- ・オールパスレベル 85dB
- ・バンドレベル (1/3oct.) 約 71dB

【LFE のバンドレベル (1/3oct.)】

- ・約 81dB (+10dB) DVD-Video, 映画
- ・約 71dB (±0dB) DVD-Audio, Super Audio CD

【LFE のオールパスレベル (20Hz~120Hz)】

- ・約 89dB (約+4dB) DVD-Video, 映画
 - ・約 79dB* (約-6dB) DVD-Audio, Super Audio CD
- * LFE の再生帯域を 20~120Hz と仮定した場合。

上記のオールパスレベルは、LFE の再生帯域を 20Hz~120Hz に仮定した場合の値であるため、オールパスレベルを頼りに調整を行う場合は、サブウーファーから再生される LFE 信号に対して 120Hz の LPF をモニターアウトに適用しておく必要がある。もしくは、調整用に使用するピンクノイズに対して 120Hz を上限とした帯域制限を適用しておいても良い。

オールパスレベルは、周波数特性や再生帯域幅によって、その値が簡単に変化してしまう。特に部屋の音響特性の影響を受けやすい低域特性は不安定になりやすいうえに、メインチャンネルとサブウーファーで低域再生能力の異なるシステムも多く、規定通りのバンドレベル (+10dB, ±0dB) に調整するためには慎重な測定・調整が必要とされる。従って、実際の測定においては、騒音計だけでなく RTA を併用し、オクターブバンドレベルにて各チャンネルのレベルバランスを確認しておくことが望ましい。

騒音計を用いたオールパスレベルによる調整は、すべてのスピーカーの再生条件が理想的な場合でのみ厳密性が保障される簡易調整方法である。

尚、ベースマネージメントが適用された環境では、既にベースマネージメントの前 (LFE パス) で+10 のゲインが与えられているため、再生レベルの調整は、ベースマネージメントの後 (サブウーファー) に対して行わなければならない。

ここまで使用してきた 85dB は、映画館用の調整をベースとした値である (SMPTE 202M-1998, SMPTE RP200)。つまり、音源信号レベルと再生音圧レベルの絶対値を規定することにより、同じプログラムがどこでも同じ音量で再生できるようにする手法である。実際にこの環境でプログラムを再生すると最大で約 110dB の再生音量が得られる。劇場用映画作品以外では、絶対レベルを規定する必要はないため、ピンクノイズの入力レベルやリスニングポイントの音圧レベルに関しては、任意の値でも良い。相対的な音圧バランスが保たれていることが重要である。また、家庭環境を想定した音量再生を行いたい場合は、79dB を目安として調整を行うと良い。

但し、最近では、「85dB の音量」という表現が、メディアを問わずマルチチャンネル作品の再生時に用いられることが多く、85dB の再生ポジションをスタジオの基準として持つておくことと便利である。

広帯域ピンクノイズを再生した場合の「85dB」は、スピーカーの再生特性が 20Hz~20kHz の広帯域再生であることを仮定した場合の目標値である。従って、その場合の 1/3 オクターブバンドレベル「71dB」が本来の再生レベルの目標値である。また、LFE の再生レベルは、メインチャンネルのバンドレベルに対する相対値 (+10dB, ±0dB) で与えられているため、サブウーファーとメインスピーカーの低域再生能力が異なる場合には、単純なレベルの比較が困難である。このような点から、確実なモニター調整を行うためには、騒音計だけではなく、RTA を併用した測定・調整が重要である。それが困難である場合には、500~2kHz の狭帯域ピンクノイズを用いた簡易測定を検討するなどの工夫が必要である (但し、LFE の調整は不可)。また、ベースマネージメント機能を一時的に使用し、一旦全てのメインチャンネルの再生帯域を 20Hz~20kHz の広帯域に拡張してから調整を行うなどの工夫も有用である。

6-5. ディレイ調整

全てのスピーカーがリスニングポイントから等距離に設置してある環境であっても、タイムアライメントの測定・調整を行っておく方がよい。再生音の到達時間は、スピーカーの距離差以外にも、スピーカー個々の電氣的な個体差、その他機材、ワイヤリング等により僅かなディレイが生じていることも多く、それらが原因でハイ落ちなどのモニタリング障害が生じることがあるからである。

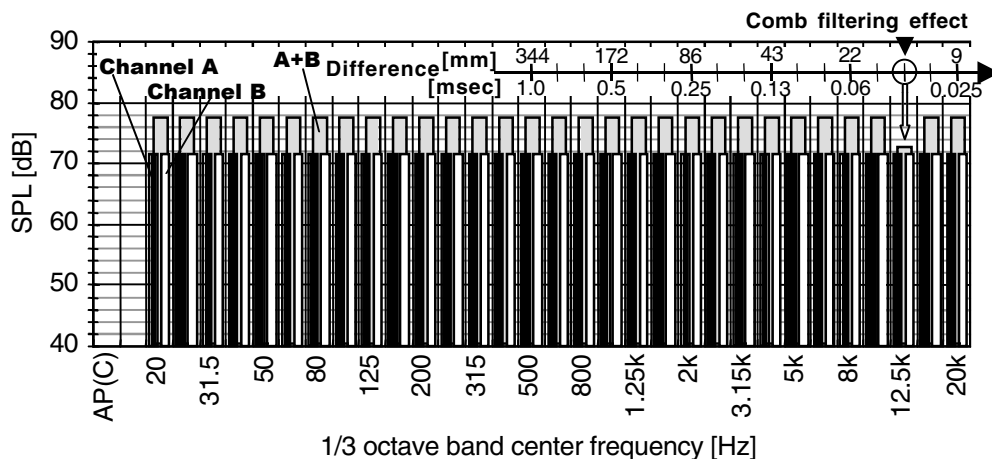
タイムアライメントの調整に関しては、まずは、スピーカーごとの距離差に応じたディレイを各スピーカーに適用する。距離差に関しては、平面上の距離差を用いるか実距離差を用いるかに関して、サラウンド音場と再生特性の兼ね合いから判断する必要がある (p.47, 8-8-4.参照)。

$$\text{ディレイ時間 [msec]} = \frac{\text{距離差 [mm]}}{\text{音速 344[m/sec]}}$$

※ [msec] = ミリ秒 (1/1000 秒)

次に、僅かな時間差によりチャンネル間にコムフィルター現象が生じていないかをチェックする。

調整対象とする 2 つのチャンネルから同じピンクノイズを同じタイミングで再生し、RTA で周波数特性を確認する。それぞれのチャンネル単独では見られなかったディップが、2 つを同時に再生した時に生じる場合、ディレイ差によるコムフィルタリング現象が生じている可能性がある。



[Fig. 56] RTA によるタイムアライメント：コムフィルター現象の確認

[Fig. 56] は、Ach と Bch では見られなかったディップが、Ach と Bch を同時に再生した場合に、12.5kHz に生じている例である。

この場合、Ach と Bch に約 0.04msec の再生のずれが生じていることになる。0.04msec は、約 14mm の距離差に相当する。このようなコムフィルター現象によるディップが確認される場合は、そのディップが可聴上限の 20kHz より高い周波数へとシフトするようにチャンネル間のディレイを調整する。ディップが 20kHz 以下の帯域にて確認されなくなった状態で、2 つのチャンネル間のタイムアライメントは、0.025msec (8mm) 以下の精度で調整されていることになる。

〔Fig. 56〕のようにコムフィルタリング現象が払拭されていない 2 つのスピーカーから相関性の高い信号を再生した場合、リスニングポイントにおいてハイ落ちした再生音として受聴されてしまうことになる。このことは、異なるチャンネル間に相関性の高い信号を使用し、精密な音場表現の再生を試みる目的で制作されるような音楽ソフトの再生環境においては特に重要な問題である。

チャンネル間のディレイ調整は、スピーカー設置位置の補正といった大まかな意味だけではなく、制作環境としての再生周波数特性の確保といった観点からも重要である。そのためには、0.025msec ($f_s=48k$ or $44.1k$ における 1 サンプル単位) 以下の精度で調整できるディレイをモニター調整機材として適用することが望ましい。

ある 1 点で全てのチャンネルのタイムアライメントが厳密に整えられた再生環境では、その 1 点を中心としてフォーカスのとれたサラウンド再生音場が形成される。通常は、その 1 点をリスニングポイントとする。一旦、フォーカスの合ったサラウンド音場が形成されると、リスニングポイントを外れても、場所相応のサラウンド音場を鑑賞することができる。このように、タイムアライメントの図れたリスニングポイントを明確に生成することは、リスニングエリアを 1 点に規制するのではなく、リスニングエリアを拡大する意味を持っている。一方、フォーカスの定まらないサラウンド再生環境では、どの場所においても不十分な再生音場となり、その中で一番妥協できるポイントがリスニングポイントとなる。このことは、逆にリスニングエリアを狭くしてしまうことを意味している。

尚、ベースマネージメントが適用された環境では、ディレイ調整をベースマネージメントの前（チャンネルバス）ではなく、ベースマネージメントの後（スピーカー、サブウーファー）に対して行わなければならない。

ヤマハデジタルコンソール「DM2000」, 「DM1000」, 「O2R96」では、0.02msec ステップ (Max 30msec) での精密なディレイ補正機能が、各スピーカーに対して適用可能である。
--

7. まとめ

映画, DVD-Video, DVD-Audio, Super Audio CD, デジタル放送, ゲームなど, 現在では様々な大衆メディアでマルチチャンネル作品がリリースされている. マルチチャンネルの再生特性はそれら様々なメディアごとに決まっており, それらに準じた再生環境の構築が, 作品の制作現場であるスタジオでは要求される.

従って, マルチチャンネルの再生環境を構築するためには, まずは制作対象とするメディアに関するフォーマットの理解が必要である.

ダウンミックスやベースマネージメント等, エンドユーザーの再生特性は 2 チャンネルのシステムに比べてバラエティに富んでいる. エンドユーザー環境との互換性に配慮した作品制作は, パッケージメディアの制作に必要とされるプロの技術であり, この点に関しては 2 チャンネルもマルチチャンネルも同じである. エンドユーザーの試聴環境に対して配慮を行うためには, 民生機の再生 (デコード) プロセスの理解や一般家庭でのスピーカー設置の問題などに関する理解が必要である. そのためには, スタジオにおける究極のサラウンド再生環境への関心だけではなく, 自宅におけるコンシューマーレベルでのサラウンド環境の構築や機器の操作, 試聴など, 制作者がサラウンドオーディオのユーザー体験を豊富に持つことが重要である. 2 チャンネル制作において, ラジカセ, TV, カーステレオ, ヘッドホンオーディオ等の再生に配慮したミキシング技術を多くのエンジニアが有しているのも, エンドユーザーとしての体験があるからこそである.

まとめると, マルチチャンネル作品の制作には再生環境に対する配慮が重要であり, そのモニター環境の構築に関しては,

1. 制作対象とするメディアに関するフォーマットの把握.
2. スタジオの環境 (広さ, 吸音) の配慮.
3. エンドユーザー環境への配慮 (様々な再生環境に対する互換性).
4. 測定及び調整作業.

といった事項を総合的に検討し, 音響設計及び機材選定を行うことになる.

本書は, それらに必要な基本事項をまとめたものであり, マルチチャンネルのモニター環境を構築しようとされる方々の一助となれば幸いである.

ヤマハデジタルコンソール「DM2000」, 「DM1000」, 「O2R96」では, マルチチャンネル再生に必要なモニターシステムのほぼ全てが内蔵されており, 特別な外部機器無しに容易にプロレベルの再生環境の構築が可能となっている. また, サラウンド再生に特化した操作性に配慮しており, 様々なメディアへの再生フォーマットの変更が直感的にできるようになっている. ピンクノイズ等の測定信号も内蔵しており, 再生環境の立上げを総合的にサポートできるサラウンドコンソールである.

【参考資料】

- [1] “Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying pictures”, Recommendation ITU-R BS. 775-1 (1992-1994)
- [2] “Method for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems”, Recommendation ITU-R BS. 1116-1 (1994-1997)
- [3] Koichiro Hiyama, Setsu Komiya, Kimio Hamasaki, “The minimum number of loudspeakers and its arrangement for reproducing the special impression of diffuse sound field”, AES 113th Convention, Los Angeles, preprint (2002)
- [4] Masataka Nakahara, Akira Omoto, “Room acoustic design for small multichannel studios”, AES 24th International Conference on Multichannel Audio, Banff, preprint (2003)
- [5] Masataka Nakahara, Atsuro Ikeda, Shin-ichi Ueoka, Hisaharu Suzuki, Akira Omoto, “On the loudspeaker layouts for multichannel studios”, AES 11th Regional Convention, Tokyo, preprint (2003)
- [6] Hisaharu Suauki, Akira Omoto, Kyoji Fujiwara, “Diffuseness and the sound pressure distribution in an enclosure”, AES 11th Regional Convention, Tokyo, preprint (2003)
- [7] “Multichannel surround systems and operations”, AES Technical council document, ESTD1001.0.01-05
- [8] “サラウンド制作ハンドブック”, 沢口真生 編, 兼六館出版 (2001)
- [9] “サウンドレコーディング技術概論”, (社) 日本音楽スタジオ協会, 兼六館出版 (2001, 2004)
- [10] “マルチチャンネルスタジオの音響設計”, 中原雅考, 隔月刊プロサウンド連載 Vol.103-108, ステレオサウンド社 (2001-2002)
- [11] “ドルビーデジタルチェックディスク”, DVD-Video (リージョンフリー, 日本語のみ), ジェネオンエンタテインメント (株) (2003)
- [12] AES <http://www.aes.org/> <http://www.aes-japan.org/>
- [13] ARIB <http://www.arib.or.jp/>
- [14] Dolby lab. <http://www.dolby.com/>
- [15] DTS <http://www.dtsonline.com/>
- [16] DVD オーディオプロモーション協議会 <http://www.dvdaudio-net.com/>
- [17] DVD Forum <http://www.dvdforum.org/>
- [18] ISO <http://www.iso.ch/>
- [19] ITU <http://www.itu.int/> <http://www.ituaj.jp/>
- [20] SDDS <http://www.sdds.com/>
- [21] Super Audio CD <http://www.superaudio-cd.com/>
<http://www.super-audiocd.com/>
- [22] SMPTE <http://www.smpte.org/>
- [23] THX <http://www.thx.com/>
- [24] Surround Terakoya by Mick Sawaguchi <http://hw001.gate01.com/mick-sawa/>

【謝辞】

本書は、以下の方々のご協力により完成することが出来ました。
ここに感謝致します。

(以下、敬称略)

- | | |
|--|--|
| ・ 中山尚幸
Hisayuki Nakayama | ドルビーラボラトリーズインターナショナルサービスインク日本支社
コンテンツ制作及びスタジオサポート |
| ・ 小野山寛康
Hiroyasu Onoyama | dts Japan (株)
テクニカルサポート |
| ・ 近田まり子
Mariko Konta | dts Japan (株)
エンコーディングエンジニア |
| ・ 鈴木弘明
Hiroaki Suzuki
(DVD Forum WG4 議長) | 日本ビクター (株)
AV 統合システム推進部 |
| ・ 瀧上徳彦
Norihiro Fuchigami
(DVD Forum WG4 委員) | 日本ビクター (株)
技術開発本部 |
| ・ 深田晃
Akira Fukada | 日本放送協会
放送技術局 制作技術センター 音楽芸能番組技術 |
| ・ 井上滋
Shigeru Inoue | ソニー(株)
HENC
オーディオ事業本部 商品企画部 S プロジェクト室 |
| ・ 前田宗泰
Muneyasu Maeda | ソニー(株)
HENC
HE 開発本部 OS 開発部門 光記録開発部 |
| ・ 米谷聡
Satoshi Yoneya | ソニー (株)
PSNC
技術開発部 複合メディア技術部 |
| ・ 白須俊行
Toshiyuki Shirasu | ソニー (株)
PSNC B&P カンパニー
ストレージシステム事業部 メディアストレージシステム部 |
| ・ スティーブン・P・マーツ
Steven P. Martz | THX Ltd.
THX スタジオ 技術設計マネージャー |
| ・ アンドリュー・M・ポウレン
Andrew M. Poulain | THX Ltd.
プロアプリケーション・エンジニア |
| ・ 菅野重信
Shigenobu Kanno | ヤマハ (株)
CA 営業部 CA 営業推進課 |
| ・ 前垣宏親
Hirochika Maegaki | ヤマハ (株)
AV・IT 事業本部 HT 商品開発部 |
| ・ 庄野岳志
Takeshi Shono | ヤマハ (株)
PA・DMI 事業部 CA 事業開発推進部マーケティンググループ |

【著者】

中原雅考 Masataka Nakahara

株式会社ソナ (<http://www.sona.co.jp>), 技術マネージャー.

AES 日本支部理事.

1995 年, 九州芸術工科大学大学院博士前期課程修了.

同年, 株式会社ソナ入社. スタジオの音響設計業務に従事.

2005 年, 九州芸術工科大学大学院博士後期課程修了. 博士 (芸術工学).

2001 年より, YAMAHA DM2000, DM1000, O2R96 のマルチチャンネル・モニター機能の開発協力を行う.

本書に記載の商品名, 社名等のすべての商標は, それぞれの所有者の資産です.

本書 (日本語版, 英語版) は, 以下のホームページからもダウンロードできます.

<http://proaudio.yamaha.co.jp/>

<http://www.sona.co.jp/>

Multichannel Monitoring Tutorial Booklet (M2TB)
2nd Edition
May 2005
rev. 3.5.2

Copyright 2005 Yamaha Corporation
Copyright 2005 SONA Corporation