

TECHNICAL DOCUMENT

AES TECHNICAL COUNCIL
Document ESTD1001.0.01-05

Multichannel surround sound systems and operations マルチチャンネル サラウンド 音声システムと運用

この文書は、AES Multichannel and Binaural Audio Technology (TC-MBAT) の小委員会（編集委員会）によって執筆された。

また、寄稿や意見は委員会全体および他の国際的な機関のメンバーから寄せられた。

**編集委員会：Francis Rumsey(委員長); David Griesinger; Tomlinson Holman;
沢口 真生; Gerhard Steinke; Gunther Theile; 若槻 敏夫**

マルチチャンネル サラウンド音声システムと運用

1	背景	2
2	3/2ch や 5.1ch ステレオの紹介	2
3	放送や録音のための互換性をもつマルチチャンネル音声システムの分類	3
4	標準配置	4
5	低域の拡張	5
5.1	LFE 信号とチャンネル	5
5.2	標準配置における別置き低域用スピーカ（サブウーハー）	6
5.3	LFE 番組素材のチャンネル割り当てに関する検討	7
6	モニター環境	7
6.1	聴取環境 - 一般事項	7
6.2	標準聴取環境の条件	8
6.2.1	標準リスニングルームへの提案（表 1）	8
6.2.2	聴取位置における標準的な音響条件の提案（表 2）	9
6.2.3	暗騒音	11
6.2.4	標準モニタースピーカへの提案	12
6.3	マルチチャンネルミキシングルームについての代替条件	13
7	番組交換	17
7.1	8ch 録音方式におけるトラック割り当て（表 5）	18
7.2	録音レベル	18
7.2.1	映画音響における録音レベル	18
7.3	調整信号	19
7.4	再生システムの調整	19
7.4.1	標準聴取レベル $L_{LISTref}$	20
8	再生方式とコーディング方式の区別について	21
9	参考文献	22

マルチチャンネル サラウンド音声システムと運用

1 背景

AES マルチチャンネル・バイノーラル音声技術部会によって発行されたこの文書は、ITU-R BS.775-1[1]の 3/2ch または 5.1ch モデルに基づく、マルチチャンネルサラウンド音声システムの配置や使用方法に関する、発展しつつある現状を紹介することを目的としている。これは、この意図で開発されたスタジオを紹介することを目的としたものだが、広い意味においては、一般家庭の環境においても役に立つものである。これは AES 基準または情報文書ではなく、また、AES の管理下で内容のコンセンサスを得ることを必要とするものでもない。しかし、マルチチャンネル録音や再生に関する、現在における国際的な基準の最も重要な特徴の内のいくつかをまとめることを目的としたものである。また同様に、AES 専門メンバーや他の国際的なグループからの提案に基づく、実用的なガイドラインを提案しようとするものである。

録音再生に関するガイドラインについては常に議論がつきまとうが、この技術部会は、その最も重要な機能の一つは、そのメンバーによる最新の情報の伝達と広い意味での業界への啓蒙であると考えている。したがって、事務局はこの文書に最新情報を記述することが最良の案と考えており、将来、新しい知見が得られたときに順次改定して行くつもりである。システム設置方法や使用方法に関して国際基準で明らかになっていることや、いくつかの意見の相違があることなどについて、この文書に直接記述してある。（この文書は、既存の ITU、EBU、SMPTE 規格を満たすために、意識的に変更される場合がある。）

多くの不確定要素があることや、発展しつつある業界の実態よりも規格化が遅れている場合もあるので、読者がそれらの考え方の違いをわかるように、様々なアプローチが記載されている。

この文書に対する、追加、訂正、内容の提案を歓迎する。送り先の詳細は文書の最後に記してある。

2 3/2ch や 5.1ch ステレオの紹介

マルチチャンネルステレオは、元々、特定のチャンネル数には限定されていないが、数年前に、再生時における最適な空間印象の再現と、従来の 2 チャンネルステレオとの実用的な互換の必要性との折衷案であるひとつの配置が国際的に合意されている。その解決案は、口語的表現で“5.1 チャンネル”再生と呼ばれるものとして知られている。その方式は、5 つの全帯域のチャンネルに、必要に応じて、帯域を限定した低音域チャンネル (LFE) (0.1 チャンネル) を加えたものである。これは、中央の“セリフ”チャンネルが最も重要とされる映画音声の再生のためにデザインされた配置に端を発している。映画、家庭、その他のサラウンド音声番組などの互換性を確保するために、全ての方式において同じ配置が採用されている。

この標準的配置は、モノラルから多くのチャンネルにわたるマルチチャンネルシステムの範疇にあり“3/2 ステレオ”とも関係がある。この分類体系では、前方チャンネル数と後方/側方の“効果”、“サラウンド”、“空間印象”、“環境”チャンネル数によって区分される。

(したがって、3/2 は前方3チャンネル - 左、中央、右と、後方/側方2チャンネル - 左サラウンド、右サラウンドを示している。3/2 方式は LFE チャンネルに適應することもできることが、以下に詳しく記してある。)

3 放送や録音のための互換性をもつマルチチャンネル音声システムの分類

3/2 方式はマルチチャンネルシステムの分類体系に加えられている。伝送/記録や再生時における部分的な信号付加、各チャンネル方式間の基本的な互換などを容易にするために、このような体系における、モノラルまで含めた下位互換性や単純なマトリックス条件が文献 [1] に記されている。(この標準方式で推奨されている互換性マトリックス手法は、比較的荒っぽいもので、単に後方チャンネルをまとめることや、一定のレベルを低減させてセンターチャンネルを(左右の)前方チャンネルに振り分けることも含んでいる。他のマルチチャンネルステレオから2チャンネルステレオへの変換手法が、より主観的に満足のものであろう。)

3/1 マトリックスシステム(前方3チャンネル、サラウンド1チャンネル)は、この方式群に統合され、3/2 方式の配置で再生される。この場合、モノラルのサラウンド信号は2台のサラウンドスピーカに分配され、サラウンドチャンネルのゲインは3dB 減衰する。日本はこの3/1 方式をITU規格の例外として認めている。これは、日本でMUSE 伝送システムとして使用されているからである。

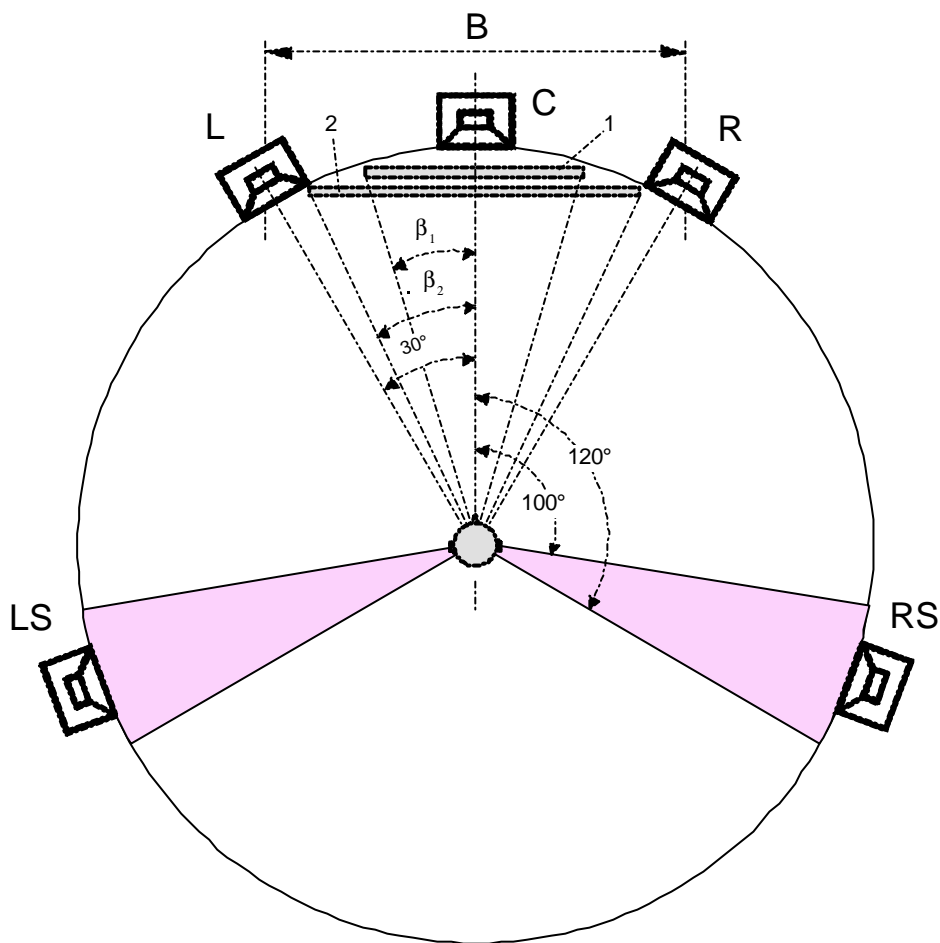
例えば5/2、5/4 方式などのような、3/2 方式よりもチャンネル数の多いシステムもあり得るし、それらは適合性もある。これらの方式はITUには含まれてはならず、一般家庭での再生を意図したものとしては推奨されていない。前方に5台のスピーカを持つ方式は、ある条件下において(また、DVDのオプションとして)映画に用いられているが、3/2 や2/0 方式に下位互換できるような方法で再生されるべきである。

他の採用しうる全ての再生方式に対して、標準となる配置案が基本となるべきである(下図参照)。包みこみ効果を高め、個々の音像をより多くの位置で表現するために、信号音の数は同数のままで、標準方式にスピーカが追加することもできる。この場合は、上位・下位互換性を保つような方法で行われなければならない。

4 標準配置

標準方式(基本的な再生用配置)としては、前方3信号/チャンネル(L=Left、C=Center、R=Right)に、2つのいわゆるサラウンドチャンネル、つまり、室内または環境チャンネル(LSとRS=左右のサラウンド)をもつ3/2方式がある。この基本的な再生基準は、伝送システムや録音手法などに依存しないものであり、ISO/MPEGやDolby Digitalのような符合化方式と混同してはならない。

図1に、ITU-R BS.775-1[1]やSMPTE[2]で推奨されている配置案に基づいた、5台のスピーカの設置案を示す。もし、この円周上での設置が困難な場合は、円周の内側に設置されるスピーカに適当なディレイを入れる必要がある。



スクリーン 1 : 聴取位置 = $3 H (2 \beta_1 = 33^\circ)$

スクリーン 2 : 聴取位置 = $2 H (2 \beta_2 = 48^\circ)$

H : スクリーンの高さ

B : スピーカ間隔

音響中心	角度	高さ	傾斜
C	0°	1.2m*	0° *
L, R	$\pm 30^\circ$	1.2m	0°
LS, RS	$\pm 100 \sim 120^\circ$	$\approx 1.2m$	$\leq 15^\circ$

*) スクリーンの形、形式、大きさによる

**図 1 映像の再生を伴う標準的なスピーカ配置 (L/C/R and LS/RS)
(ITU-R BS. 775-1 より)**

3/2 フォーマット再生による空間情報によってより広い聴取範囲を得たり、包まれた印象を向上させるために、2つの標準チャンネルである LS/RS にサラウンドスピーカを追加する場合がある。(映画館のような)より広い再生環境においては、スピーカの付加は必要なことであり、一般的になされている。このような場合には、付加されたスピーカ同士の相互干渉に対する準備が必要である。例えば、適当なディレイ、信号分配器(マトリックス)、プロセッサを接続することである。

5 低域の拡張

混乱を避ける為にここでは、単独の低周波数増強チャンネルからのみ再生される LFE 信号とサブウーファーから再生される番組内容の低域成分は、明確に区分される。これらは同じ物の様であるが、同じである必要はなく、実際、低域周波数管理の混乱が実務上での様々な場面で問題を引き起こしている。

5.1 LFE 信号とチャンネル

フィルムの分野では低音域増強の為、20Hz から 80-120Hz の帯域で専用チャンネルが導入された。これは ITU-R BS 775-1 にスタジオ、家庭においてサラウンドの形式の補足として任意に用いられる、と記されている。これは表記上、わずかな周波数帯域が使用されるため、'0.1' または '.1' と略して記される。その為 3/2/1 や 5.1、5/2/1 や 7.1 といった呼び方が普通である。

国際基準によると、強調された低周波数帯域用に、20Hz-80Hz (最大で 120Hz まで) の周波数帯域で 1 つのチャンネルが任意に許可され、映画上映をする映画館では一般的である。民生オーディオ機器においても、再生過程で LFE チャンネルが任意に検討される。メディアがこの推奨にしたがう場合、LFE チャンネルが再生されない場合でも満足のゆく音が得られるようにするべきである。

EBU と SMPTE のマルチチャンネル・サウンドについての文献[3, 4]に、LFE チャンネルの使用について幾つか所見が述べられている。以下は EBU の所見である。

劇場公開用映画が家庭向けメディアに作り直される際、LFE チャンネルはしばしば劇場用専用サブウーファーチャンネルから得られる。

劇場では専用サブウーファーチャンネルは常に再生される為、フィルム用のミックスでは低音域の重要な番組内容物を、サブウーファーから再生されるようにしても良い。劇場用に作られた作品を DVD 等の TV メディアに転換する際、サブウーファーチャンネルから再生される内容物のいくらかを、メインの全体域チャンネルから再生される様にリミックスする必要が出てくる。作品を構成する上で重要な低音域番組内容物が LFE チャンネルに置かれないことは、大変重要である。LFE チャンネルはもし再生されなくても作品の芸術性に影響を与えない、120Hz 以下の超低域大音量番組内容物のみに使われるべきである。

劇場再生ではサブウーファーチャンネルのレベルは他のチャンネルより 10dB 高い。SMPTE [3]によると、これは再生時にレベルを上げることによって補完され、録音時のレベル増によってでは無いとされる。これはスタジオ及び家庭再生の両領域で、互換性を図る為に検証されなければならない。(LFE スピーカからのブロードバンド、又は帯域制限された信号の SPL が、他のチャンネルよりも 10dB 高くなければいけないと言う事ではない。実際、LFE の帯域は狭い為、10dB よりずいぶん低いはずである。)

5.2 標準配置における別置き低域用スピーカ (サブウーハー)

メインのスピーカ (L/C/R/LS/RS) に加えて、切り離されたサブウーファーを低帯域用に使用する事は有用である。これによってメインスピーカの低域周波数限界を 80Hz ぐらいまで上げる事が出来、スピーカのサイズダウンを図ることが出来る。

この際、意図するチャンネルグループごとにサブウーファーを使用するか、1本のサブウーファーで5本全てのスピーカの低周波数帯域を補完することが可能である。全ての

スピーカはクロスオーバー回路で接続される（民生機業界では 80Hz～160Hz を上限周波数とするのが一般的であるが、80Hz がより効果的である）。

図 2 に見られるように、この配置は 3/2 と見なされなければならないが、切り離された低域機器が配置に加えられることも可能であり、それ故 5.1 チャンネル映画と、切り離された LFE チャンネルの無い 3/2 フォーマット素材の両方を再生することが出来る。

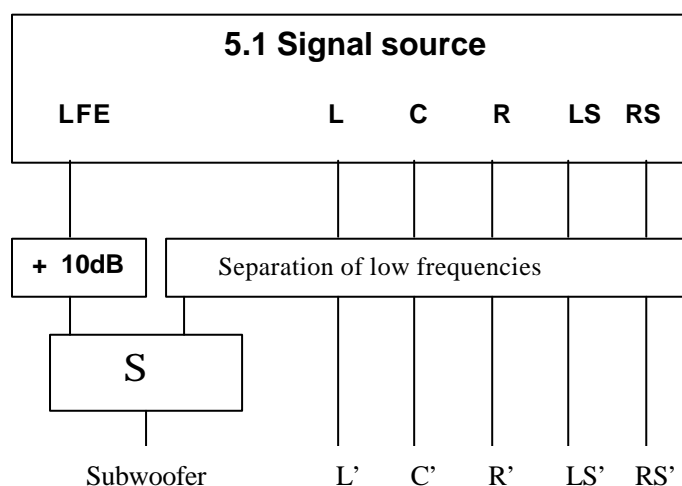


図 2 結合したサブウーファーと LFE シグナルの派生図

実行域での音声レベルレスポンスも含む最終的な質は、聴取位置とも関係したスピーカの設置場所、サブウーファーの非線形歪による再現誤差にもよる（詳細は[4]参照）。

Nousaine [5]の測定は 1 本のウーファーを部屋の角に置くことで、最も広範囲で滑らかな低周波数応答が得られることを示しているが、視聴室内での 1 本のサブウーファーの最適な設置場所については、確たる合意に達していない。最適なサブウーファーの設置場所を選ぶにあたって、部屋の角に置かれたスピーカは顕著な低域増幅を与える事と、殆どのルームモード（反射特性）と愛称が良い事を思い出さなければならない（なぜなら部屋の角では波節が無い）。サブウーファーの中には特定の場所に設置するように設計されている物があるが、その他は再生する音源によって最適な結果が得られるように設置場所を移動する必要がある。視聴位置において適度な全帯域平坦特性を得る為、人工的なイコライザーによる補正が必要となることもある。サブウーファーを他のスピーカに対して位相特性を合わせる為、位相変更や時間遅延の機能が与えられることもあるが、これは 1 本のユニットだけの場合必要な折衷物であろう。サブウーファーの位相変更は、クロスオーバー帯域で平坦な応答を得、メインスピーカとの合算が最適となるように、利用することが出来る。

Zacharov, Bech and Meares [6]はサブウーファーを移動した時の周波数応答の実質的な違いを発見したが、様々なマルチチャンネル素材の作品をサブウーファーの位置を変えて聞いた時に、作品ごとに違いを見つけることが出来なかった。サブウーファーを前方スピーカが設置された壁の前に設置することは、実用的であることを発見した。Kugler と Theille [7]はステレオサブウーファーをメインの 2 チャンネルの下に各々設置し、1 本のサブウーファーを移動して聞き比べを実施し、作品素材、設置場所、クロスオーバー周波数によって判る時と判らない時の違いが得ることを発見した。クロスオーバー周波数が 120Hz 以上の場合、最も良く認識できる。幾つかの標準リスニングルームで行われ

た複数回の非公式テストは、個々のサブウーファースの位置がしばしば認知されたことを示している。それ故、個々のサブウーファースは、対応した前方、又は後方のサラウンドスピーカのすぐ近くに設置されるべきだと提唱される。個々のサブウーファースの位置が認識される理由は様々だが、ポートノイズ、サブウーファースの位置からの 120Hz 以上の音情報、歪が主たる理由とされる。中央に設置されたサブウーファースは簡単に側面からの定材波によって相殺されてしまう。したがって、どちらかにずらしての設置が音響的に望ましい。

録音された素材より、それぞれ違う信号を複数の低周波数ドライバーが発生することにより、1本のドライバーから再生されるモノラルの低周波数再生よりも、より自然で広がり感のある音場を作るという事例がある。Griesinger [8]はもしモノラル低周波数成分が再生される場合、視聴者の横で 90° 位相をずらした2本のユニットから再生される方が、非相称の側面反射をより効果的に増強し、低周波数帯域の広がり感をより増し良いとの提言をした。

5.3 L F 番組素材のチャンネル割り当てに関する検討

時に 0.1 チャンネルは、映画館上映用ではない音をミクシングする時、前述した標準仕様を使う者に混乱を引き起こす。そのような場合、標準仕様に一致させる為に単独の LFE 信号を鳴らさなければならないという仮定は、気を散らせるものである。単独の LFE 信号を発生させることは完全に任意であることが強調されるべきであり、多くの音楽作品にとって、最適な低周波数音場を作るのに反する場合がある。

最近の調査では、低周波数域の最適な音場は、各スピーカからの全く無関連の信号の使用によってもたらされるとある。そのような非関連性は民生機システムの低周波数管理の一部として、民生機の再生連鎖の中に人工的に作り出すことが出来るが、録音エンジニアからコントロールの自由を奪ってしまう。もし低域音場に関して録音エンジニアの意図を聴取者へ伝えたいとしたら、ステレオ音場を創造するよう意図された低周波数内容物はモノラル LFE チャンネルへ送られるべきでなく、全体域をカバーするチャンネル内に留まるべきである。標準設定で記述されているように、ミックスの成功に重要な低周波数内容物は、LFE よりもメインチャンネルへ送られるべきである。LFE 信号は唯一任意の効果音にふさわしく、視聴者がこのチャンネルを再生できるか出来ないかに左右されるべきではない。

マルチチャンネル音声エンコーダーの中には、LFE チャンネルを 240Hz といった低サンプリングレートでサンプルのものがある。それ故、そのチャンネルへ送られた内容物は、最高周波数 120Hz でフィルターがかけられる。この場合、エンコード、デコードの一連の連鎖を監視することによって、同様なシステムでエンコードされる事の確認が重要となる。

6 モニター環境

6.1 聴取環境 - 一般事項

標準リスニングルームは、番組素材を厳格に比較することを目的に設計される。そこでは、部屋を交換しても比較が容易にできることが重要な目的である。実際の聴取環境の多くにおいては、室内に大きな機器があるため、このような理想的な状況に近づけることが困難であることがよく言われている。それにも関わらず、その情報は実用的なガイドラインとして与えられている。文献にある指針やここで紹介されている指針は、

主として小規模または中規模の部屋を想定している。大きな映画用ミキシングルームの条件や基準は、これらの基準と比較するといくつかの点においてかなりの相異点がある。

全般的な聴取条件やその音場が実現可能な質は以下によって決定される。

- リスニングルームの幾何的・音響的特性
- 室内のスピーカ特性とその配置
- 聴取位置や聴取範囲

高品質リスニングルームに求められる聴取環境は、信号音の自然でかつ厳密なモニターができることである。信号音の特性や不備が明らかに聴き分けられて、聴取結果が悪影響を受けないことが必要である。さらに、高品質な信号音の再生が、技術的にも審美的にも満足な印象を与えるものでなければならない。6.2 章に記した指針は、高品質な番組交換を保証するための最低限の要求事項であり、標準的な聴取条件のための国際規格に基づくものである。ただし、これらはまだ、最適な配置を規定したり、異なるリスニングルーム間での十分な適合性を保証するものではない。

6.2 標準聴取環境の条件

6.2.1 標準リスニングルームへの提案

表1 標準リスニングルームの条件

項目	条項 [単位]	値
部屋の大きさ 床面積 モノラル / 2ch ステレオ Multichannel	S [m ²]	>30 >40
各辺の寸法比	l = 長さ w = 幅 h = 高さ	$1, 1w/h \leq l/h \leq 4, 5w/h? 4,$ with $l/h < 3$ and $w/h < 3$ (整数 $\pm 5\%$ の寸法比を避けること)
スピーカ間の距離 2ch ステレオ マルチチャンネル	B [m]	2.0 ~ 4.0 2.0 ~ 4.0
スピーカの開き角度 2ch ステレオ マルチチャンネル	L/R の開き角度 [度]	60 60
聴取位置 ~ スピーカの距離 2ch ステレオ マルチチャンネル	D [m]	2m ~ 1,7 ⁸ B
聴取範囲 2ch ステレオ マルチチャンネル	R (半径) [m]	0.8 0.8
スピーカの高さ (音響中心まで) 2ch ステレオ マルチチャンネル(全スピーカ)	h [m]	≈ 1.2 ≈ 1.2
周辺の反射面までの距離 2ch ステレオ マルチチャンネル	d [m]	≤ 1 ≤ 1

文献では、スタジオ、リスニングルームの容積は 300 m³ を超えないこととされている。部屋のモードを適正に分散するために、第3項に記した条件に応じた寸法比を採用すること。部屋は、基本的に聴取方向に対して左右対称であるべきである。吸音材の配置によって、特に、スピーカ廻り、ドア、窓、機器類などによる音響的な不連続を避ける必要がある。また、ミキシングコンソールの表面は、有害な反射を生ずる恐れがあるので注意が必要である。

6.2.2 聴取位置における標準的な音響条件の提案

表 2 代表的な聴取位置における音響条件

項目	条項 [単位]	値
直接音 音圧周波数特性	自由音場での測定値	許容幅は表3参照 (標準モニター)
反射音 初期反射音	0 ~ 15 m 秒 (1 kHz ~ 8 kHz の帯域)	<直接音に対して ? 10dB
残響音の拡散	極端な不規則性を避ける	フラッターエコー、カラーレーションなどがないこと
残響時間	T_m (秒) = 200Hz ~ 4kHz における 算術平均 V = リスニングルームの容積 V_0 = 標準容積 (100m ³)	$\approx 0.25^* (V / V_0)^{1/3}$ (残響時間や許容幅は図3参照)
定常状態の音場 実用的な音圧レベル曲線	50 Hz ~ 2 kHz 2 kHz ~ 16 kHz	± 3 dB ± 3 dB (-3dB ~ -6dB の傾斜は図4参照)
暗騒音		理想は < NR10 NR15 を超えないこと
標準聴取レベル (定義された測定用信号に対して)	入力信号: ピンクノイズ, ? 18 dBFS (rms)	78 dBA (rms slow) (各チャンネル)*

*これは、番組を比較聴取するための国際規格案である。NHKは、部屋の大きさや番組によって 78dB \pm 2dBC ~ 85dB \pm 2dBC (各チャンネル) を提案している。映画のミキシングルームにおいても、高いモニターレベルが一般的である。その場合は、-18 dBFS を 85dBC (SMPTE RP 200) に合わせる。これについては、7.4章により詳しく述べる。

直接音：反射音や残響のような部屋からの影響を受けないこと。その品質は部屋のスピーカによって決定される。(表3参照)

反射音 (残響音場)：以下のように分類される。

初期反射音：1 ~ 8kHz における最初の 15m 秒間の反射音

拡散音：(線形に減衰している) 残響音場

図3に残響時間の許容範囲を示す。その部屋のスピーカを用いて、1/3 オクターブバンド分析によって測定すること。 T_m は、200 ~ 4kHz における各帯域の残響時間 T の算術平均である。文献では、部屋の大きさにもよるが“自然な”空間印象が得られるように、 T は 0.2 ~ 0.4 秒の間にあることとされている(表2参照)。大きな映画用ミキシングルームでは、時にはこの値を超えることがある。

残響時間周波数特性は定常的で連続していること。突然の強い落ち込みは実用的な音圧レベル曲線に影響を与える。したがって、200 ~ 8kHz における隣接する 1/3 オクターブ帯域間での偏差は ± 0.05 秒を超えず、200Hz 以下では最も長い残響時間の 25% を超えないこと。

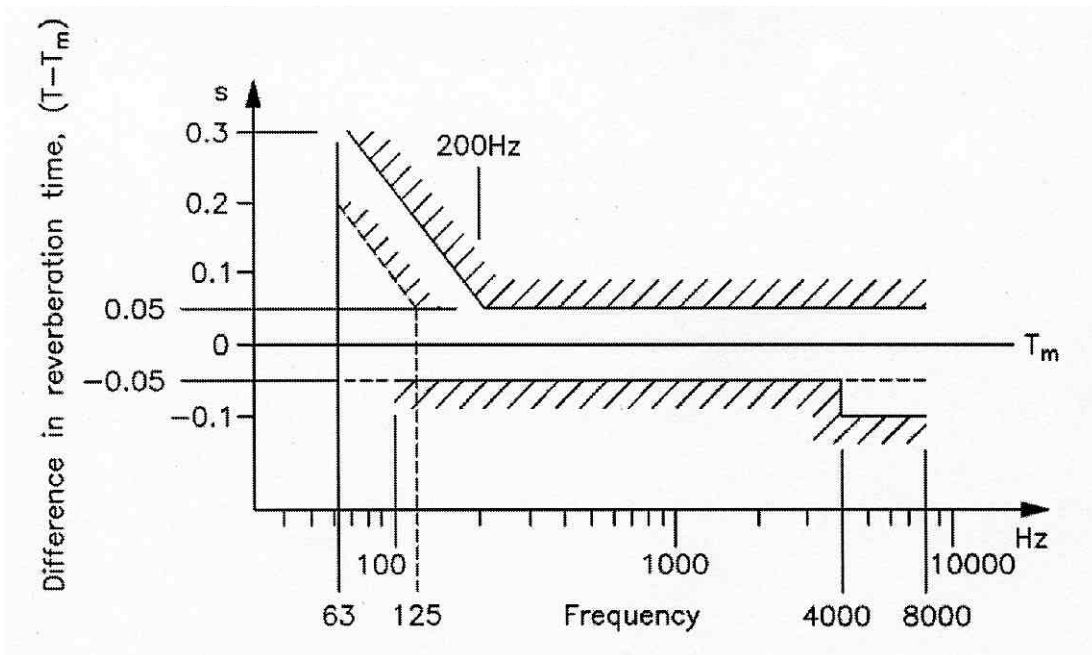


図3 算術平均値 T_m に対する残響時間の許容幅
 (国際規格案によるが、低域についてはより狭い幅で延長してある)

定常状態の音場は実用的な音圧レベル特性(図4参照)として表わされている。これは部屋とスピーカとの関係と、聴取環境が達成すべき重要な基準を表している。これは、基準となる聴取位置における音圧レベル周波数特性として測定される。測定に用いる信号は、帯域制限をしたピンクノイズである。この許容値については、スピーカごとに別々に測定すること。前方スピーカに関しては、実用的な音圧レベル特性に適合することが特に重要である([4]により詳しく述べる)。20~30 Hzについては未完成である。

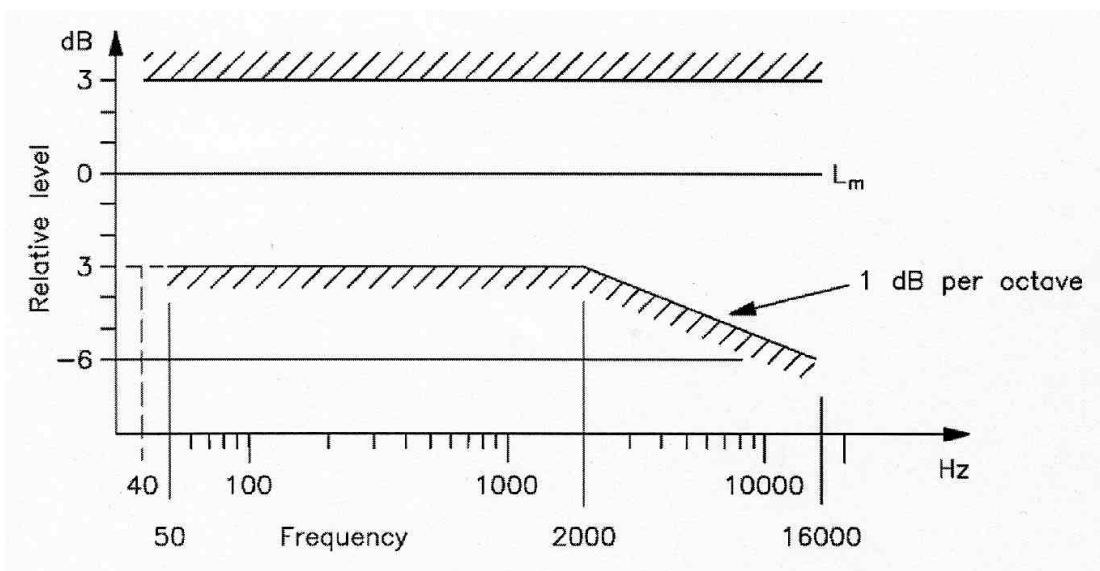


図4 相対レベルに対する実用的な部屋の応答曲線の許容幅
 (国際規格案によるが低域について延長してある)

6.2.3 暗騒音

(空調や他の外部・内部音源からの)定常的な騒音レベルは、ISO の“騒音評価曲線 [9]”に基づいて、50~10kHzにおける1/3オクターブ帯域ごとの平均値に置き換えて表または曲線に表した、1/3オクターブ帯域での音圧レベル $L_{pFreq, T-30s}$ (RMS, 時定数 slow) で与えられる。単一の値だけの情報では不十分である。文献では、NR10の曲線を超えないことが望ましい、また、どんな状況においてもNR15を超えないこと、とされている。

注記: 多くの国際的文書において、NR曲線は1/1オクターブバンドで表されている。この場合、 $NR10_{oct}$ は1kHzにおいて10dBである。1/3オクターブバンドへ換算する場合は、平均して5dB小さい値となる。

6.2.4 標準モニタースピーカへの提案

表3の仕様は標準モニタースピーカにおける客観的最低条件を含む。これらの推奨値を満たすスピーカの中でも、標準モニタースピーカとして全てのプログラムジャンルには適合しない物もある。標準モニターに求められるこれらの重要な機能を完全に実行させるために、最終的選択と決定は主観的調査と、この調査からもたらされる基準と特性値に元づく。

測定条件として、スピーカケース間の距離等(通常寸法は $> 2M$)を測定距離に関連させる上で、良く知られたガイドライン[4]が使われる。全測定帯域において、電気的測定の誤差は ± 0.2 dB、音響測定の測定誤差は ± 1 dB 以下となるべきである。

振幅・周波数応答は31.5Hzから16kHzの帯域で 0° 、 $\pm 10^\circ$ 、 $\pm 30^\circ$ 毎に1/3-オクターブバンド毎に平均化されたピンクノイズを発生させ、自由な音場下で測定される。許容範囲と差異は同表に記される。性格な特徴は基準測定アングルにおいて対照的となることが望ましい。

指向特性もまた1/3オクターブバンド測定から得ることが出来る。それは指向特性もしくは自由音場と拡散音場測定の違いから計算することが出来る。ITU [10]によると6dB以上で低周波数から高周波数にかけて、安定してゆっくりとした周波数の上昇による方向指針が望ましい。全指向性放射型と呼ばれるものは、フロントスピーカに適さないとされる。他方式もあるが、拡散放射型は番組素材によってはサラウンドスピーカに適しているとされる。しかし、現時点での標準は互換性のために全てのスピーカが同じであることを推薦する。

表3 標準モニタースピーカへの提案と家庭用スピーカへの提言

パラメーター	単位/条件	スモールスタジオ	ラージスタジオ
振幅/周波数応答	40 Hz...16 kHz 0° ±10° 水平 ±30°	公差: 4dB 0°との偏差: 3dB 0°との偏差: 4 dB	公差: 4dB 0°との偏差: 3dB 0°との偏差: 4 dB
フロントスピーカ 偏差	周波数レンジ > 250 Hz to 2 kHz	0.5 dB	0.5 dB
指示指針	250 Hz-16 kHz	8 dB ± 2 dB	6dB-12 dB
ノンリニア歪曲減衰 (SPL=96dB)	<100 Hz >100 Hz	-30 dB (= 3%) -40 dB (= 1%)	-30 dB (= 3%) -40 dB (= 1%)
瞬間忠実度 レベル 1/e までの減衰 時間 t_s , (0.37 of the output level.)	t_s [s]	<5/f [Hz] (推奨: 2.5/f)	<5/f [Hz] (推奨: 2.5/f)
遅延時間 ステレオスピーカ間	δt	$\leq 10\mu s$	$\leq 10\mu s$
ダイナミックレンジ 最大オペレーティング レベル (IEC 268-5; §17.2)	$L_{eff\ max}$	>112 dB (IEC 268-1 番組模擬ノ イズもしくは特別条件)	>120 dB (IEC 268-1 番組模擬ノ イズもしくは特別条件)
ノイズレベル	L_{noise}	$\leq 10\text{dBA}$	$\leq 10\text{dBA}$

6.3 マルチチャンネルミキシングルームについての代替条件

上記の推奨案は標準となるリスニングルームの国際規格に基づいているが、小規模または中規模のマルチチャンネルミキシングルームに対する実用的な要求性能については、日本の HDTV マルチチャンネル音声研究会によっても具体的に述べられている。これらは、参考として表 4 に示されている。大多数の点において概ね上記の基準と同様であるが、いくらか実用的な自由度を大きくとっている。

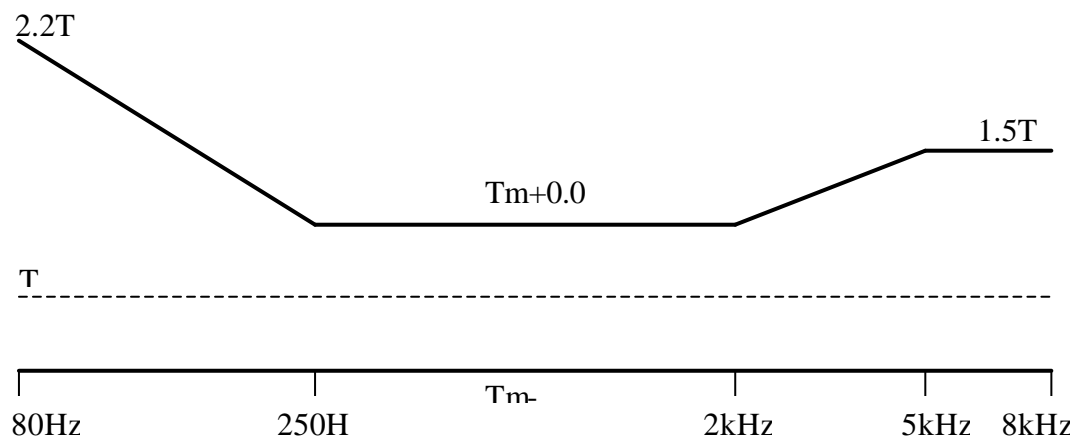


図 5 残響時間周波数特性

表4 多チャンネルミクシングルームの規格

大項目	小項目	設計指針	
		小規模の部屋	中規模の部屋
映像モニター		CRT 36inch	音響透過型スクリーン 140inch
部屋	床面積 (m ²)	50 ± 20	100 ± 30
	室容積 (m ³)	80 以上	200 以上
	形状	中心線に対して線対称で、かつ、平行面を避けた不整形とする	
	寸法比	単純な整数比を避ける (H:W:L=1:1.59 ± 0.7:2.52 ± 0.28 などの寸法比とする)	
	天井高 (m)	3.0 ~ 4.0	4.0 ~ 6.0
内装設計		特定方向からの強い反射音を避けるために、できるだけ各内装面を均一な吸音・拡散特性とする	
音響特性	残響時間 (sec)	0.2 ± 0.05 (500Hz)	0.3 ± 0.1 (500Hz)
	室内平均吸音率	0.4 ~ 0.6 (500Hz)	
	残響時間周波数特性	図1に示す特性	図1に示す特性
	伝送周波数特性	125Hz ~ 4KHz の帯域において ± 3dB (± 4dB 以内に入る帯域を2つまで認める)	
	初期反射音時間特性	直接音到来後 15ms までの間に、直接音-10dB 以上の強い反射音が到来しないこと (ITU-R BS.1116-1)	
	両耳間相関関数	拡がり感などの心理評価との対応が明確でないため特に規定を設けないが、検討が必要	
	音圧分布	基準点を中心とした聴取範囲で音圧レベルが均一なこと	
室内騒音	空調騒音	NC-15(NR-15 を目標とする) (聴取範囲の床面 +1.2m で測定する)	
	機器騒音、暗騒音	NC-20(NR-22 を目標とする) ビデオプロジェクターなどのファン騒音レベルの高い機器は遮音構造で覆うことで騒音を低減する	
スピーカ配置			
L/R	設置条件	ビルトインを基本とする 床置きとする場合は周辺壁面などからの反射音を適正に除去する	
	基準軸 (点)	ミクシングポイント、またはその後方0~1mの位置	
	L/R間距離 (m)	3.0 ~ 6.0	5.0 ~ 8.0
	高さ (m) * ¹	1.2 ~ 2.0 * ²	スクリーンの中心に揃える * ²
	基準点までの距離 (m)	L/C/R/S の各スピーカから基準点までの距離は、すべて等距離が望ましい	
	部屋の中心軸からの開き角度 (度)	30 (ITU-R BS.775.1)	30 (ITU-R BS.775.1)
	C	設置条件	ビルトインを基本とする 床置きとする場合は周辺壁面などからの反射音を適正に除去する
基準軸 (点)		ミクシングポイント、またはその後方0~1mの位置	
高さ (m) * ¹		L/Rと同じ高さが望ましい* ³	スクリーンの中心に揃える * ³
基準点までの距離 (m)		L/C/R/S の各スピーカから基準点までの距離は、すべて等距離が望ましい	

大項目	小項目	設計指針	
		小規模の部屋	中規模の部屋
S _L /S _R	個数	2 個以上	4 個以上
	設置条件	ビルトインを基本とするが、室形状などによって露出も可能	
	基準軸 (点)	ミクシングポイント、又はその後方 0 ~ 1 m の位置	
	高さ (m) * ¹	L/C/R と同じ、または L/C/R の高さ × 0.9 ~ 1.4 * ⁴	
	基準点までの距離	L/C/R/S の各スピーカーから基準点までの距離は、すべて等距離が望ましい	
	部屋の中心軸からの開き角度 (度)	120 ± 10 (ITU-R BS.775.1)	110 以上とし個数に応じて等間隔に配置する
モニターレベル		大型スピーカー: 85dB ± 2dB (C ウェイト) / ch ビンクノイズ = -18DFS 中型スピーカー: 85dB ± 2dB (C ウェイト) / ch ビンクノイズ = -18DFS 小型スピーカー: 85dB ± 2dB (C ウェイト) / ch ビンクノイズ = -18DFS	
スピーカー単体特性			
最大出力音圧レベル (dB) * ⁵	L/C/R	117dB 以上	120dB 以上
	2 個	114dB 以上	
	4 個	111dB 以上	114dB 以上
	8 個	108dB 以上	111dB 以上
出力音圧周波数特性	L/C/R/S _L /S _R	図 2 参照 ビルトイン、据え置き of のいずれも無響室での測定結果が図 2 の特性に入ること	
実効周波数帯域 * ⁶	L/C/R	40 ~ 20kHz	
	S _L /S _R	40 ~ 20kHz (少なくとも 80Hz ~ 20kHz)	
高周波歪み * ⁷	L/C/R	40 ~ 250Hz で 3% 以下、250 ~ 16kHz で 1% 以下	
	S _L /S _R	80 ~ 250Hz で 3% 以下、250 ~ 16kHz で 1% 以下	
過渡特性	L/C/R/S _L /S _R	定常状態レベルから 1/e (約 0.37) のレベルになる時間が 5 波以内であること (ITU-R BS.1116-1)	
位相、群遅延	L/C/R/S _L /S _R	どちらかを表示するのが望ましい 特に S チャンネルに異なった機種を使用する場合には必要	
指向特性 * ⁸	L/C/R/S _L /S _R	6 C 12 (ITU-R BS.1116-1)	
電気インピーダンス	L/C/R/S _L /S _R	3.2 以上	
周波数特性差	L/C/R/S _L /S _R	100 ~ 10kHz 内で 1.5dB 以内、1/3oct 以内のピーク・ディップは除外	
能率 * ⁹	L/C/R/S _L /S _R	表示すること	

- *¹ 高さはスピーカーの音響基準点で規定し、ミクサー席の床からの高さとする
- *² ITU-R BS.775.1 で推奨されている通り H = 1.2m が望ましい
コンソールのメーターブリッジによって直接音が遮られないようにすると、背の高いコンソールの場合 H=1.7m 程度となり、前方壁に窓がある場合には、H=1.9m 程度となる
- *³ 映像モニターがある場合には、C スピーカをその下に設置するため L/R スピーカよりもやや低くなる場合がある
- *⁴ L/C/R と同じ高さが望ましいが、ドアなどがある場合は H=2.2 ~ 2.7 程度となる
- *⁵ 最大出力音圧レベル: 「定格出力音圧レベル」 + 「最大許容入力レベル」で規定する
- *⁶ 実効周波数帯域: -10dB となる周波数帯域
- *⁷ 再生レベル: スピーカ前 1m の点で測定する
- *⁸ 前方スピーカーの指向特性については、ソフトの内容に依存する要素が多く、リアスピーカーの指向特性については、聴感上の相違が少ない
- *⁹ 能率: 定格出力音圧レベル (1m, 1W) で置き換える

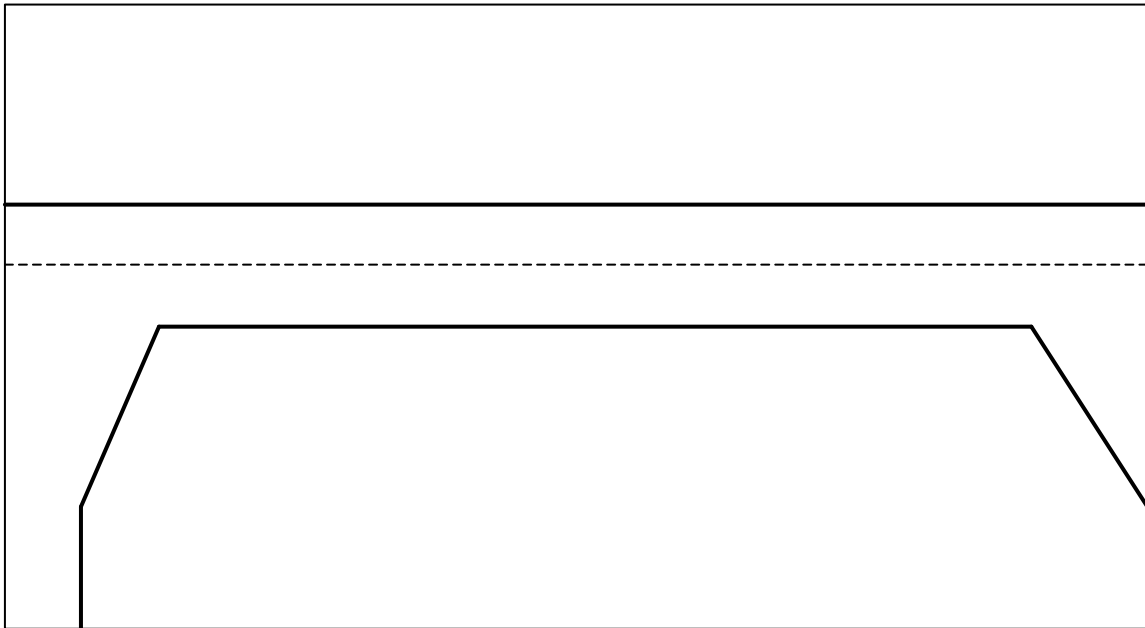


図6 定常状態伝送周波数特性

7 番組交換

この章は、現在国際的に批准されている多チャンネル音声素材のサイト間の相互互換について、指針を提示する。スタジオ音響とモニターレベル調整のセクションと合わせて読んで頂きたい。多チャンネル音声素材が全ての環境で同じ音で鳴ることを保証することは不可能であるが、この問題に注意を払うことはある程度の音響特性を保証する。各項目において実務上異なる点があることが確認されており、代案が提案、使用されている。参考の為に、これらの幾つかの問題をこの章に記述する。

7.1 8 ch 録音方式におけるトラック割り当て (表5)

表5 8 ch 録音方式におけるトラック割り当て [3] [11] [12]

トラック ¹	信号	コメント	色 ²
1	L Left		黄色
2	R Right		赤
3	C Center		オレンジ
4	LFE Low Frequency Enhancement	サブウーファーの為の付加的重低音及びエフェクト(オプション) ³	灰色
5	LS Left Surround	-3dB (モノサラウンドの場合)	青
6	RS Right Surround	-3dB (モノサラウンドの場合)	緑
7	ユーザー定義 ⁴	2/0 stereo mix の左信号が望ましい	紫
8	ユーザー定義 ⁵	2/0 stereo mix の右信号が望ましい	茶色

¹ トラックは磁気テープ上とハードディスク等のヴァーチャルトラックの両方を意味する

² この色符号は現在ドイツサラウンド討論会が現在提案しているもので、国際企画ではない。

³ 映画音声に使われることが望ましいが、家庭再生においてはオプションとする。LFE 信号が無い場合、トラック4はコメントなど自由に使ってよい。ある分野ではモノサラウンド信号 (MS = LS + RS) が当てられる。この際、LS と RS 信号は3dB レベルを抑えてから合算される。

⁴ トラック7とトラック8は様々な用途に使われる。例として、コメント、付加サラウンドチャンネル、特別な映画方式に使われる前方のハーフレフトとハーフライトや、マトリクス方式の合算信号 L/Rt が挙げられる。

個々のケースにおいてトラック4、7及び8の使われ方は録音媒体に記される。多くの映画スタジオにおいて日常的に、違うトラック割順、聴取ボタン割が使われ、通常 L - C - R - LS - RS である。しかしながら、新たに作られる音声卓は上記の国際基準で推奨するフォーマットに習う。この推奨は

ITU-R が今までの国際的団体の業務を検証した後形成され、音声放送とテレビのために編纂されているが、映画スタジオは含まない。

7.2 録音レベル

調整レベルと最大録音レベルの実際は状況により異なる。放送と幾例かのスタジオ録音では、プログラムの互換性は最重要項目であり、調整レベル L_{AS} と許容最大信号レベル L_{PMS} を国際基準指標に準じる事は普通である。ITU、EBU その他団体は -18dBFS をデジタル調整信号レベルと定め、SMPTE は -20dBFS を基準と定める (1kHz tone, RMS measurement)。両基準レベルとも頻繁に日常業務で目にするものであり、その為、その結果起こる混乱を防ぐ為にも、どの調整レベルが用いられているか明確に表示する事が重要である。

L_{PMS} は通常デジタルクリッピングレベルより 9dB 低く抑えられ、音声信号は積分時間 10ms の非精密ピーク計で計測される事 (それ故瞬間的なピークはクリップしない) を前提とする。概して長い積分時間を必要とする VU 計はこの値を下回る一方で、精密ピーク計で計測した場合、プログラムによってはこのレベルを超越する場合がある。マスタリングや映画音声の業務では 0 dBFS まで使い切ることが一般的だが、この場合デジタルメディアのクリッピングを防ぐ為に、精密ピーク計を使うことが重要である。

7.2.1 映画音響における録音レベル

映画音声の環境では前方チャンネルと比べて、サラウンドチャンネルを 3 dB 高く録音することが一般的である。これはダビングステージや映画館では前方チャンネルに対して、各サラウンドチャンネルの SPL を - 3 dB 低く調整するのを補う為である。音楽ミクシングと放送の世界では、録音媒体上と音質の監視において全てのチャンネルを同レベルに調整することが一般的であることから、それぞれの慣習の違いを認識することが重要である。映画用マスターを市販用もしくは放送用媒体へ変換する場合、サラウンドチャンネルを 3 dB 上げる必要が多々ある。

7.3 調整信号

本編の前に各トラック 2 種類の基準信号からなるレベル調整部が録音されている事が理想的である。これらの信号は調整レベル L_{AS} で録音されるべきである。

- a) 調整信号レベルの確認をする為の 1 kHz sine 波
- b) サウンドプレッシャーレベルをチェックする為のランダムノイズ

もしここに説明された調整とテスト録音が標準規則として世界中で使用されたなら、ノイズ信号の録音は不要となる。現在様々な国際基準がある為、調整信号とそれ故結果として得られるサウンドプレッシャーレベルは一様には扱われない。7.4 の表は様々な状態での信号レベルと SPL s を比較している。

7.4 再生システムの調整

再生レベルの調整は、特にテスト信号の特質、調整の種類とその聴感補正回路の種類について業界で討議の対象となっている。合意が得られる前には、更なる調査と実験が必要とされる。それでもなお、これまでに幾つか上げられてきた問題と共に、現在実践されている慣習とその他の比較対照を略述する事は可能である。

ペアスピーカーのセンターに正対して、テストシグナルがセンター定位となるようなモニターバランスの主観的調整が、時に実践的だということは良く知られている。このことは、聴取位置において幾つかのペアスピーカーが構成する広角度が、互いに対峙するマルチチャンネル配置の場合、あまり実践的ではない。また、確かな絶対音量にモニター音量を調整することは時に必要となり、その場合下記の方法論は役に立つだろう。

7.4.1 標準聴取レベル $L_{LISTref}$

標準聴取レベル ($L_{LISTref}$) は一定状況下での再生状態と違った環境下での同じ素材の再生において、一定の聴取レベル、もしくは音量を可能とする。調整は標準聴取位置において、各独立再生チャンネルに対して行われる。各チャンネルはそれぞれのフェーダー、モニタースピーカを通して、1チャンネルずつ行われるべきである。各チャンネルの調整に使われる信号は、バンドパスフィルターを通されたピンクノイズとする。

ノイズ信号の理想的なバンド幅は同じ討論の議題である。低周波数でのロールオフは部屋の反射の影響を避ける為にも必要だ、という認識は一般的に同意されているが、正確なロールオフの周波数の同意は得られていない。さらには、2又は4 kHzでの帯域制限を提唱するものや、まったく帯域制限を設けない(ノイズは20 kHzまで伸びている)ことを提唱するものもある。様々な測定聴感補正(measurement weighting)が存在し、A-weighting (ITU, EBC), C-weighting (SMPTE, Japanese HDTV Forum)など各団体ごとに推奨されている。表6は違うタイプの調整信号と調整方法の間に見られるであろう関連性を表記している。

ITU と EBU は LFE チャンネル以外のチャンネルを定めており、参考聴取位置での音声レベル (RMS slow) は：

$$L_{LISTref} = 85 - 10 \log n \text{ (dBA)}.$$

n は適切な配置をされた再生チャンネルの番号である。その為、1つのチャンネルが参考レベル $L_{LISTref} = 78$ dBA の場合、3/2 マルチチャンネル・ステレオ配置における5本のスピーカの参考聴取レベルは $L_{LISTref} = 85$ となる。

表6 単一再生チャンネルにおける各テスト信号と調整信号と、それぞれに対応した SPL レベルの送受レベルの比較

信号	digital	analog	基準レベル film/tape nW/m	digital	digital	受信信号 SPL dB lin	受信信号 SPL dB C (slow)	受信信号 SPL dB A
	調整信号 ref. dB FS RMS	調整信号 ref. dB L _{PMS} RMS		調整信号 TPPM with $\tau < 0.1$ ms	調整信号 QPPM with $\tau = 10$ ms			
正弦波 1 kHz L _{AS} /ITU/SSF	- 18	- 9 dBr	(ARD/D: 113) (SMPTE: 233)	-18	- 18	---	-	--
正弦波 1 kHz L _{AS} /SMPTE	- 20	- 11 dBr	SMPTE: 185 (ARD/D: 90)	- 20	- 20			
許容最大信号 level L _{PMS}	- 9	0 dBr (D = +6 dBu)	ARD/D: 320 (<2% THD) (SMPTE: 656)	- 9	- 9			
測定信号 level L _{MS}	- 30	- 21 dBr		- 30	- 30			
ピンクノイズ 20 Hz - 20 kHz	- 18			- 9	-13	82	≈ 81	78
SSF: ピンクノイズ 200 Hz - 20 kHz	- 20			- 11	- 15	80	≈ 81	78
ピンクノイズ 250 Hz - 4 kHz	- 18			?	?	?	≈ 81	78
ピンクノイズ 500 Hz - 2 kHz SMPTE	- 18						85	82
ピンクノイズ 500 Hz - 4 kHz SSF/AES	- 18						85	82
ピンクノイズ 500 Hz - 2 kHz TMH Test Tape	- 20			- 10			83	80
Simul.Progr.Sign. IEC 268-1 resp. ITU-Rep. 798	- 25 dB - 18 dB - 9 dB	- 16 dBr - 9 dBr 0 dBr					≈ 80 87 93	77 84 93 ?

各チャンネルのレベル差は 1 dB を越えるべきではなく、より正確に測定できる場合、0.5dB 以内が推奨される。

試聴レベルはプログラムの内容ごとに決められることが多々ある。参考試聴レベルは各設定値と共に、パッケージに記載されるべきである。例として、参考試聴レベルより 10dB 低いレベルのスペシャルプログラムを 3/2 配置のセットから再生すると、広帯域ピンクノイズを使用した参考試聴位置での 5 本のスピーカからのトータルレベルは、75dB (A) となる。

レベル調整の為にスタンダード推奨の幾つかは広帯域ピンクノイズ、もしくは 200Hz ~ 20kHz に帯域制限されたピンクノイズを推奨している。中には低周波数は部屋のモード（反射、残響）に影響されすぎることや、高周波数は方向による影響が大きいことを酷評する者もいる。けれども、通常これらの測定は、極低周波数と極高周波数成分をかなり削減する A-weighting フィルターを使用して行われる。

映画音声の分野や日本の HDTV における多チャンネルミクシングルームの推奨を始めとしたその他幾つかの分野では、モニターレベルの調整に A-weighting カーブの代わりに C-weighting カーブを用いることが一般的である（高いレベルにおいて、C-weighting は A-weighting に比べて、よりフラットなラウドネス曲線を描く）。上記した以外での「フィルムスタイル」の代案として、500Hz ~ 2kHz に帯域制限されたピンクノイズを SMPTE 基準の -20dBFS で使用する方法がある。この信号は各チャンネルを個別に調整する際、試聴位置において 83dB (slow) となるように調整される（この際 -18dBFS のテスト信号は 85dB となる）。映画館と映画音声のダビング作業では、フロントチャンネルに比べて、サラウンドチャンネルを 3dB 低く調整することが日常的に行われている。上記したように、それに伴ってサラウンドチャンネルの録音レベルは高くなる。日本の HDTV ミックスルーム推奨は広帯域ピンクノイズを C-weighted 測定で使用しており、使用しているスピーカの大きさによって違う SPL レベルを推奨している。1 例が上げられたように、これらの調整方法は試聴位置において同じ試聴レベルとなることはほぼ無いが、それぞれの方法において各チャンネルは試聴位置において、同じ weighted SPL となるようにノイズ信号を使って調整される（映画館を除く）。Bech と Zacharov その他[12]によって様々な種類のテスト信号を用い、チャンネルラウドネスの主観的調整と客観的調整の相関関係を発見するべく、EUREKA 1653 (MEDUSA)プロジェクトの間に研究が行われた。初期の作品において、チャンネルラウドネスの B-weighted によるピンクノイズを使用した調整と主観的調整がきわめて近い相関関係にあることを示したが、より最近の実験は様々な調整法とテスト信号の間に明らかに本命といえるものは無いことを示している。主観的にチャンネルゲインを調整する際、低周波数よりも高周波数がより好んで使われることが明らかになっている。

8 再生方式とコーディング方式の区別について

現在のマルチチャンネル音声技術においては、様々なコーディング方式や再生方式が使われている。これらはほとんど標準化されたものではないが、専売特許の方式として紹介されている。そのため、これらの方式は録音再生方式のシステムとしての解決方法であるといった、誤った印象があり、早くから (ITU-R BS.775-1[1]に沿った国際規格を基本に書かれた) この文書で紹介されている。

レコーディングルームとコントロールルーム間のような短い空間では、通常、コーディングを必要としない直接接続が可能である。したがって、再生方式を明確に定義することができる。一方で、一般家庭へのマルチチャンネル信号の伝達や録音のために、特に限定された伝達やデータ容量の制約から、デジタル・ビットレイト・リダクションやアナログマトリックス手法がしばしば必要となる。そのため、いくつかの優位性が必要になる。そのため、いくつかの区別が必要になる。

- ・マルチチャンネル再生方式：3 / 2 や 3 / 2 / 1 (2 / 2、3 / 1、5 / 2 などを含む) のような標準スピーカ配置で代表される。3章、4章に記されている。
- ・コーディング・伝送方式：異なるメディアをもつマルチチャンネル信号の録音、伝送、送信、接続など

後者では、再生方式とは別に常に伝送されるチャンネル数が考慮されなければならない。例えば、4 - 2 - 4方式は、4 ch (L、C、R、S) が 2 ch で伝送、録音され、3 / 1方式で再生されるマトリックス方式を意味する。

9 参考文献

- [1] ITU-R BS. 775-1 , “ Multichannel Stereophonic Sound System with and without accompanying Picture, ” Rec., International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland (1992 –1994).
- [2] SMPTE RP-173, “ Loudspeaker Placements for Audio Monitoring in High Definition Electronic Production, ” Rec., SMPTE N 15.04/152-300B, Society of Motion Picture and Television Engineers (1991).
- [3] SMPTE , “ Channel Assignments and Levels on Multichannel Audio Media, ” Proposed Standard for Television , ITU Information doc. ITU-R. 10C/11 and 10-11R/2 (1998 March 16).
- [4] EBU R22, “Listening conditions for the assessment of sound programme material, ” Rec., European Broadcasting Union (2000). For details see EBU Tech3276 with suppl.1.
- [5] T. Noursaine, “ Multiple subwoofers for home theatre, ” presented at the 103rd Convention of the Audio Engineering Society, *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, vol.45, p. 1015 (1997 Nov.), preprint 4558.
- [6] N. Zacharov, S. Bech, and D. Meares, “ The use of subwoofers in the context of surround sound program reproduction, ” *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)* vol.46, pp.276–287(1998 Apr.).
- [7] C. Kügler, and G. Theile, “ Loudspeaker reproduction: study on the subwoofer concept, ” presented at 92nd Convention of the Audio Engineering Society, *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, vol.40, p.437 (1992 May), preprint 3335.
- [8] D. Griesinger, “ Spatial impression and envelopment in small rooms, ” presented at the 103rd Convention of the Audio Engineering Society, *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, vol.45, p. 1013-1014 (1997 Nov.), preprint 4638.
- [9] ISO 1996, “ One - third octave band background noise level limits noise rating curves (NR) , ” Rec., International Standards Organization, Geneva, Switzerland (1972).
- [10] ITU-R BS.1116-1, “ Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems, ” Rec., International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland (1997).
- [11] EBU R 91, “ Track allocations and recording levels for the exchange of multichannel recording, ” Rec., European Broadcasting Union (1998); EBU R 96 “Format for production and delivery of multichannel programme, ” Rec., *ibid.* (2000).

- [12] ITU-R BS. 1384, “Parameters for international exchange of multi-channel sound recording,” International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland (1998).
- [13] N. Zacharov, and S. Bech, “Multichannel level alignment, Part iv: the correlation between physical measures and subjective level calibration,” presented at the 109th Convention of the Audio Engineering Society, *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, vol. 48, p. 1110 (2000 Nov.), preprint 5241.