

A man is seen in profile, working in a recording studio. He is looking at a computer monitor that displays the GRADE software interface. The interface shows a central diagram of a room with speakers and various control panels. A Genelec speaker is mounted on a stand in the foreground. The studio environment is dimly lit, with a lamp visible in the background.

GRADE™

Genelec Room Acoustic Data Evaluation

日本語版

GENELEC®

目次

1	情報	4
1.1	スコープ	5
2	概要	6
3	周波数領域解析	8
3.1	周波数応答	8
3.2	相対レベル補正	12
3.3	低周波拡張	13
3.4	対象型モニターの和	14
3.5	ピークとノッチ	15
4	時間領域解析	17
4.1	音の到来時間 (TOF、Time of Flight)	17
4.2	全ての初期反射音	19
4.3	初期 vs 後期音	23
5	時間 - 周波数領域解析	25
5.1	残響時間	25
5.2	ウォーターフォール	27
5.3	ウェーブレット	30
6	ITU-R BS1116 準拠	45
6.1	オペレーショナル・ルームレスポンス	32
6.2	最大初期反射	34
6.3	残響時間	35
6.4	準拠のまとめ	36
7	用語集と略語	37

日本語版について

この日本語版は、英文で記述された GRADE (Genelec Room Acoustic Data Evaluation) レポートの解説文書を翻訳したものです。翻訳にあたっては、オリジナル文書が記述している内容を日本語として理解しやすいように意識した箇所があります。あらかじめご了承ください。

実際に GRADE レポートをご覧になる際に分かりやすいよう、表やグラフは基本的に英語版のものをそのまま記載しているため、グラフの軸の説明、凡例、表の中の記述は英文のままとなります。

また、「測定値からどのように問題点を見出し、それをどのように改善するのかという観点」による補説や、オリジナル文書の文章だけでは理解しづらいところを補完するために、随所に日本語版独自の Tips をいれています。

第 1 章

情報

以下の表は、Genelec GLM ソフトウェアと AutoCal 2 ルーム・キャリブレーション・アルゴリズムから収集した情報です。

GLM setup name	220805 2F Diffuser treatment.sam
Group name	51B New vic_Diff_rug
Group description	New Vicoustic : Cinema Forte Horizen direction Floor rug + diffuser 3ea
Room dimensions (LxWxH)(m/ft)	4.89 x 3.71 x 2.37 / 16.0 x 12.2 x 7.8
Room volume (m3 / ft3)	43 / 1500
Measurement date (local time)	2022-8-5 12:21:36
Report created	2022-08-05 06:22:24
GRADE version	2022-06-09
Microphone serial number	225536

Table 1.1: 測定情報

Name	Serial number	UID	Firmware version	Calibration group ID
Left 8351B	8351BP11000005	1105586	1.20.0.4668	1
Right 8351B	8351BP11000006	1105600	1.20.0.4668	1

Table 1.2: モニターおよびサブウーファースの情報

Tips 01

Table 1.1 の情報は、ユーザーが入力した情報に基づいています。モニター・スピーカーを使用している場所やその使用目的などを分かりやすく入力しておく、測定後の情報を見る際に役立ちます。

1.1 スコープ

この室内音響レポートは、GLMのAutoCal キャリブレーション・システムで測定された結果を分析したものです。この文書が、プロフェッショナルなモニタリングのために、モニタリング・ルームの音響を理解し、さらに必要に応じて、モニタリング・ルームの音響とモニター・スピーカーの配置を改善することに役立つことを願っています。測定基準は、高精度のオーディオ・モニタリングに使用されるスピーカー・システムにとって最も適切な情報、すなわち信頼できる周波数応答、良好な音像定位、録音されたオーディオの中に含まれる情報を正確に伝達することを示すように選択しています。

プロフェッショナルなモニタリングにおいては、リスニング位置でニュートラルな周波数特性を得ることが目標です。リスニング・レベルを変えると音の聴こえ方に影響が生じるため、リスニング・レベルを考慮する必要があります。大きなリスニング・レベルの音に曝されると聴覚に影響が生じる恐れがあるため、聴覚システムに害を与える可能性のあるレベルの音を常用しないことをお勧めします。つまり、毎日あるいは毎週聴く音量は80dB (LEX, 8h) 以下にする必要があります。詳しくは、EU Noise at Work Directive 2003/10/EC (<http://data.europa.eu/eli/dir/2003/10>) および EBU R128 (<https://tech.ebu.ch/loudness>) を参照してください。

自分自身で対応できる簡単な改善もあるかもしれませんが、音響処理業者、音響設計者、スタジオ・デザイナーとモニタリング・ルームについて相談する際にも、このレポートの情報が役に立つはずで

Tips 02

「DIRECTIVE 2003/10/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise)」では、聴覚に悪影響を及ぼさない音量について、下記のように勧告しています。
(a) exposure limit values: LEX,8h = 87 dB(A) and ppeak = 200 Pa respectively;
(b) upper exposure action values: LEX,8h = 85 dB(A) and ppeak = 140 Pa respectively;
(c) lower exposure action values: LEX,8h = 80 dB(A) and ppeak = 112 Pa respectively.

ここで紹介している基準は80 dB (LEX, 8h) は、この (C) に当たります。

第2章

概要

このページでは、お使いのモニター・システムの性能を要約しています。この表には、お使いのシステムのすべてのモニターとサブウーファーが、その特性の全体的な分析と共に示されています。

システムの性能は色分けされています。「緑色」は優れたパフォーマンスであることを示します。「黄色」はシステムの性能が良好であることを示しますが、可能であれば改善を検討した方が良いでしょう。「赤色」の場合はシステムの性能が最適でないと考えられ、改善によってモニター・システムの品質が大幅に向上する可能性があります。

Monitor Name	Operational room response(%)	Early reflection level (dB)	Early vs late sound ratio (dB)	T60 flatness, inside window (%)	Deepest notch below 200 Hz (dB)
Left 8351B	98	-16.5	8.5	93	-6.7
Right 8351B	99	-17.7	8.7	93	-3.9

Table 2.1: 優れた点、良い点、問題点を色分けして表示した結果の概要

オペレーション・ルーム・レスポンス (Operational room response)、初期反射音レベル (dB) (Early reflection level)、初期対後期音響比 (dB) (Early vs late sound ratio)、T60 フラットネス、インサイド・ウィンドウ (%) (T60 flatness, inside windows)、300Hz 以下のディーpest・ノッチ (dB) (Deepest notch below 300 Hz) は、モニター・システムと室内特性が優れた性能を有しているかどうかを示します。この性能が高いと、音のディテールをきちんと聴き取ることができます。

Operational room response(%)	Early reflection level (dB)	Early vs late sound ratio (dB)	T60 flatness, inside window (%)	Deepest notch below 200 Hz (dB)
> 90	< -10	> 3	> 80	> -10
90 to 80	-10 to -3	3 to 0	80 to 50	-10 to -20
< 80	> -3	<0	< 50	< -20

Table 2.2: Table 2.1 で使用した色のしきい値

Tips 03

Table 2.1 で示す性能の色分けは、Table 2.2 の判断基準によって決められます。各項目の詳細については、以降の解説を参照してください。

第3章

周波数領域解析

GLM AutoCal が適用する室内音響補正は、部屋に起因するカラレーション（音の色付け）を減らし、部屋に設置された複数のモニターの間での特性における近似性を向上させ、モニター・システムの低域の伸びを向上させることが可能です。

Tips 04

室内に設置したスピーカーがその部屋の音響特性によって影響を受ける大きな要素が、カラレーション、スピーカー間の音の差異、低域特性の劣化です。この3つの要素は、ミキシング作業への大きな弊害ともなります。これらの減少を測定から観測できるのが、周波数領域での解析です。周波数領域での解析とは、すなわち、横軸が周波数であるグラフでその特性を示すということになります。

3.1 周波数応答

このセクションでは、AccuSmooth のスムージングを適用した周波数応答について説明します。AccuSmoothing によって、低周波の詳細がよく見えるようになるので部屋の共振に関連する効果を検出でき、また中高周波応答を正確に表示するので、これらの周波数においてオーディオがどれくらいニュートラルか、あるいはどれくらいカラレーションが起きているかを理解することができます。各モニター特性は個別に表示されます。

Tips 05

ここで表示している周波数応答は、振幅周波数応答、音圧周波数応答などと呼ばれる、縦軸が振幅や音圧を示し、横軸が周波数を示すグラフです。ただし、縦軸は音圧等の絶対値を示すものではなく、各周波数に対して音圧がどのように変化しているかを相対的に見る値を示しています。これは、ここで着目する周波数応答が、理想的な特性、すなわち「周波数に寄らずフラットな特性からどれくらい乖離しているか」を知ることが重要で、音圧の絶対値を知る必要はないからです。

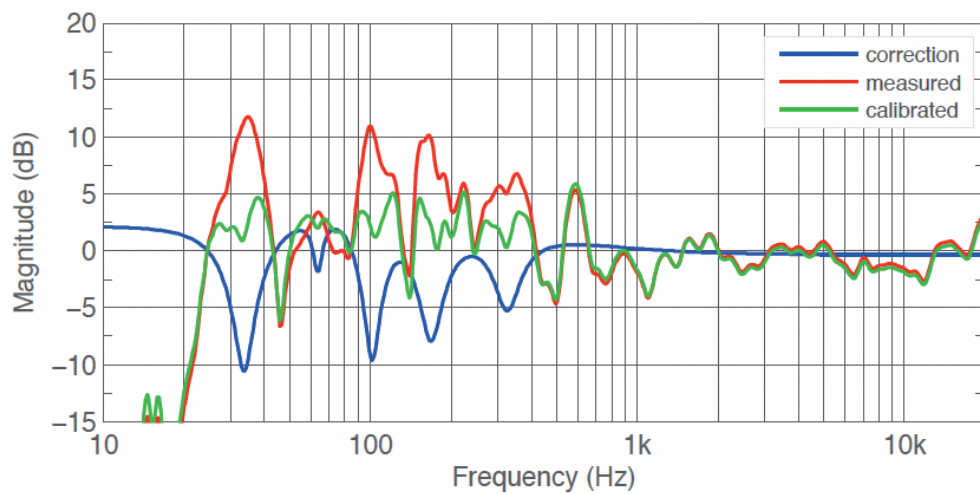


Figure 3.1: Left 8351B の周波数応答

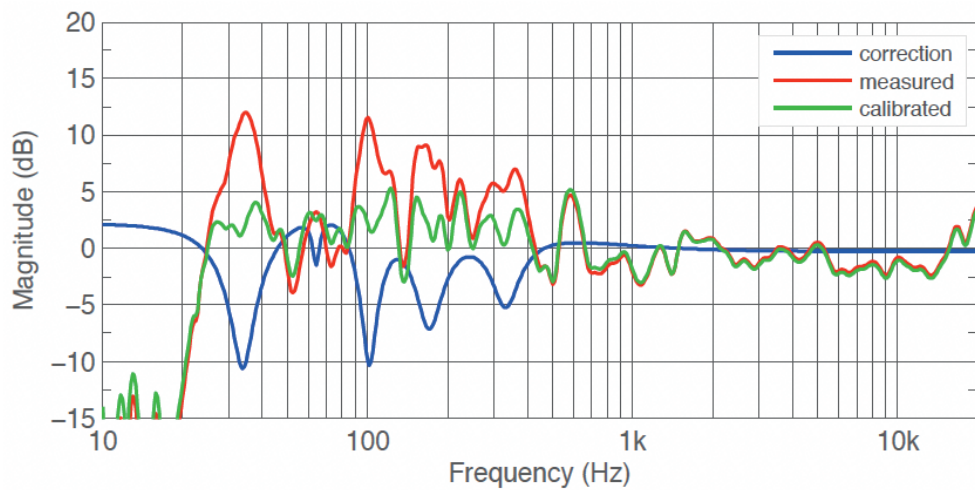


Figure 3.2: Right 8351B の周波数応答

測定データに関して、できるだけ詳細な情報を提供するために、以下 AccuSmoothed によるシステム内の全モニターの比較により、モニター間の近似性を示しています。曲線が重なっている帯域では、お使いのシステムのモニターは正確な音像を再生することができます。

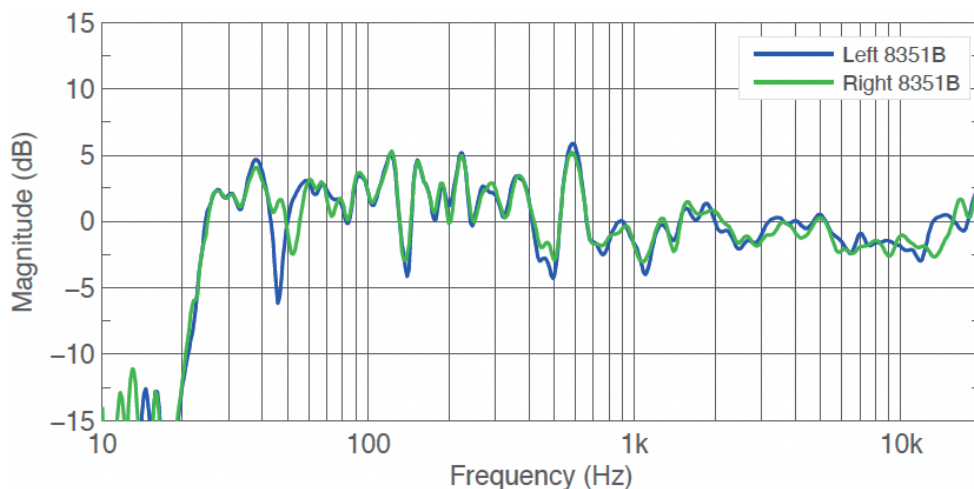


Figure 3.3: モニターの周波数応答。AccuSmoothed

Tips 06

LとRの2つの周波数応答カーブが完全に重なっている帯域では、左右のスピーカーによって生じる虚音像が正しく再生されますが、左右の特性カーブの乖離が大きい帯域では虚音像が正しく再生されません。

左右のスピーカーの周波数応答の乖離が大きい場合には、まず設置されている室内環境を、左右のスピーカーに対してできるだけ同一にすることが必要です。例えば、部屋の左右の壁面の形状や材料が大きく異なる場合はこの差異が大きくなるため、それらをできるだけ左右対称にするなどの対策が必要となります。

虚音像（例えばヴォーカルなど）の音像がボケる、音像定位が定まらないなどの印象があれば、このグラフを確認してみてください。

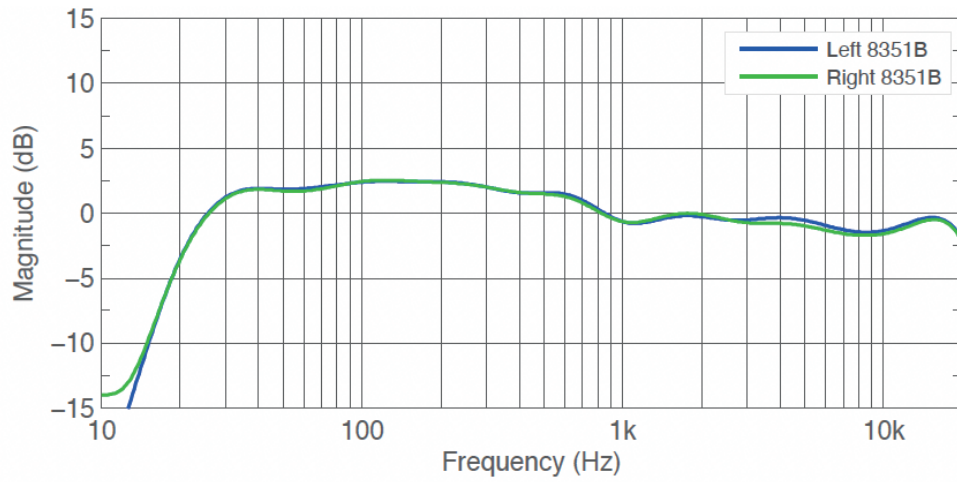


Figure 3.4: モニターの周波数応答。1 オクターブ平滑化による表示

Tips 07

1 オクターブの平滑化によって、グラフの細かな凸凹がなくなり、全体の周波数応答の様子を理解しやすくなります。ヒトの聴覚的印象には、こちらのグラフの方が視覚的に近くなる場合が多いと思われます。

また左右のチャンネルの近似度もより見やすくなっており、LとRのグラフに差異があると、音像が中央からわずかに左に寄ってしまったり、音像が少しボケる可能性も考えられます。

3.2 相対レベル補正

相対レベル補正は、周波数範囲 0.5 - 3 kHz の平均出力レベルを計算し、聴取位置においてすべてのモニターが同じ SPL（音圧レベル）になるようにするための必要な補正値を求めます。サブウーファースのレベルは、周波数範囲 30 - 80 Hz で計算され、聴取位置において、モニターと同じ音圧レベルに設定されます。こうすることで、振幅パンニングによって作られるステレオの音像定位を最も高い精度で再現することができます。

Speaker name	Level compensation (dB)	Level offset after calibration (dB)
Left 8351B	-0.4	0.0
Right 8351B	-0.0	0.0
SL 8351B	-3.4	0.0
SR 8351B	-0.0	0.0
Center 8381A	-3.0	0.0

Table 3.1: スピーカーの相対レベル補正

3.3 低周波拡張

低周波数域の -6dB ポイントから、お使いのモニター・システムと部屋に関して、実用的な低域の拡張の可能性および部屋の音響特性が低域出力範囲をどの程度サポートしているか、あるいは制限しているかを理解することができます。

-6 dB では、モニターは中域周波数帯域平均音圧の半分の音圧を出力します。モニターを無響室で測定した場合と比較して、測定された -6 dB ポイントの周波数が低ければ、部屋の室内音響特性によって低域が拡張されていることが分かります。この場合、モニターを部屋のどこに設置するかが、その拡張に大きく影響することがあります。

Speaker name	Model	Measured -6dB point (Hz)	Anechoic -6dB point (Hz)	Gain in low frequency extension (Hz)
Left 8351B	8351B	22.8	32.0	9.2
Right 8351B	8351B	22.8	32.0	9.2

Table 3.2: Low カットオフ -6dB ポイント

Tips 08

無響室でスピーカーを測定した結果は、そのスピーカーが本来有する性能をそのまま示します。同じスピーカーを任意の室内に設置すると、その室内の空間音響特性の影響で低域の再生特性が変化します。従ってこの低周波数域の -6dB ポイントを測定することで、その室内音響特性による低域再生の影響を知ることができます。これはモニタースピーカーだけでなく、サブウーファーの効果を知る場合にも参照すべき項目です。

低周波拡張の効果を増すためには、モニター・スピーカーやサブウーファーの設置場所を壁面に近づけることが一般的な手段となります。

3.4 対称モニターの和

左右対称のモニターは通常、部屋の中におけるペア両方のモニターで、部屋の影響が同様になるように配置された「左右のモニター・ペア」のことです。このグラフは、聴取位置での対称性がどれくらい完璧であるかを示しています。

対称性が良好な場合、複素音圧の和と絶対音圧の和の差は 0dB に近い値となります。複素音圧の和は、ペア・モニター間の位相差の影響を受けます。この差が 0dB であれば、2つのモニターの位相が完全に一致していることを示します。

位相の不一致は、モニターの位置や室内音響の違いによって生じる音響反射が異なることによって生じるのが一般的です。

高周波数（2kHz 以上）では音の波長が短くなり、微小な差も観察できるようになるため、差の値が大きくなるのが普通です。

Calibration group ID	Monitors in group	Difference, mean 100 Hz - 10 kHz (dB)
1	Left 8351B, Right 8351B	-0.3

Table 3.3: 複素音圧の和と絶対音圧の和の差の平均値

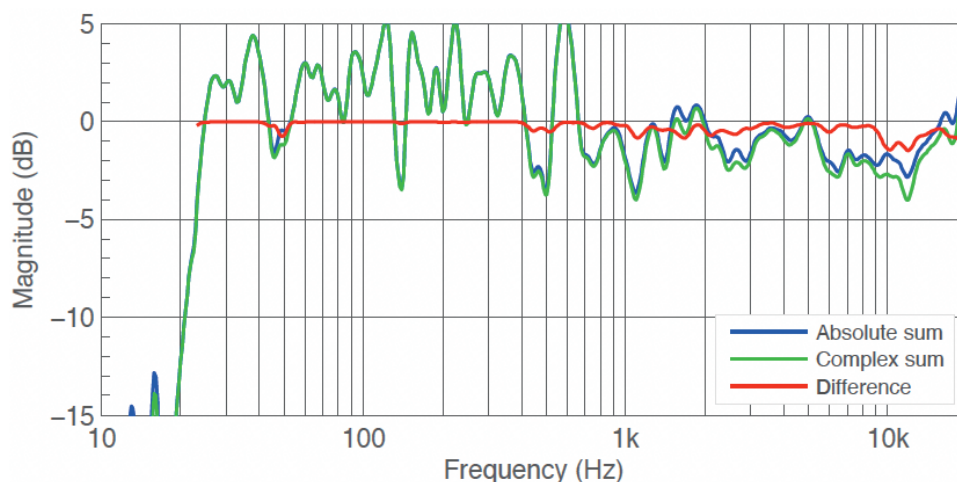


Figure 3.5: 複素音圧の和と絶対音圧の和の差。キャリブレーション・グループ ID 1

3.5 ピークとノッチ

このセクションでは、キャリブレーション前に観察される、最も音への影響が考えられる狭帯域のカラレーションを示します。これは、モニターごとに表示されます。

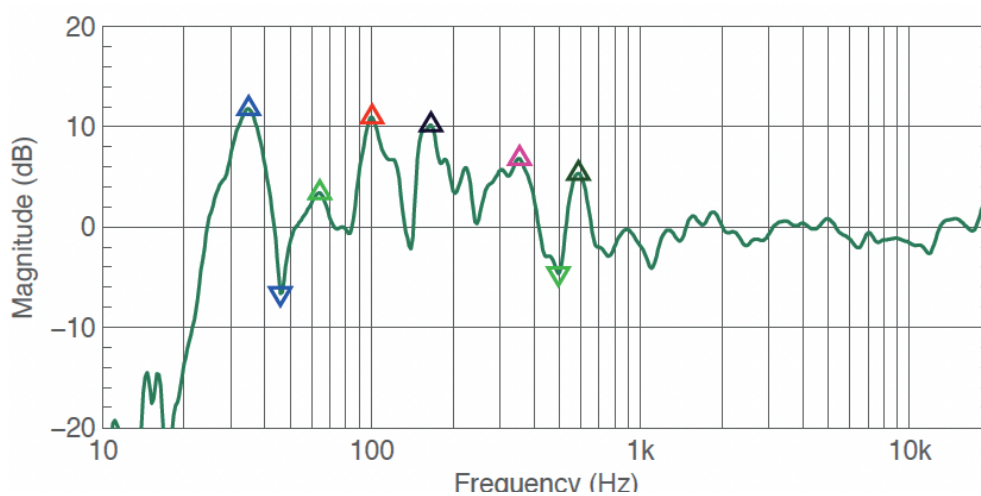


Figure 3.6: Left 8351B ピークとノッチ (キャリブレーション前)

Peak number	Centre frequency (Hz)	Gain (dB)	Quality factor
1	34.8	11.8	4.37
2	63.9	3.4	3.39
3	100.2	10.9	5.74
4	166.4	10.2	5.91
5	353.6	6.8	2.67
6	587.2	5.4	5.74
Notch number			
1	45.8	-6.7	11.3
2	493.5	-4.7	5.1

Tabel 3.4: Left 8351B ピークとノッチ (キャリブレーション前)

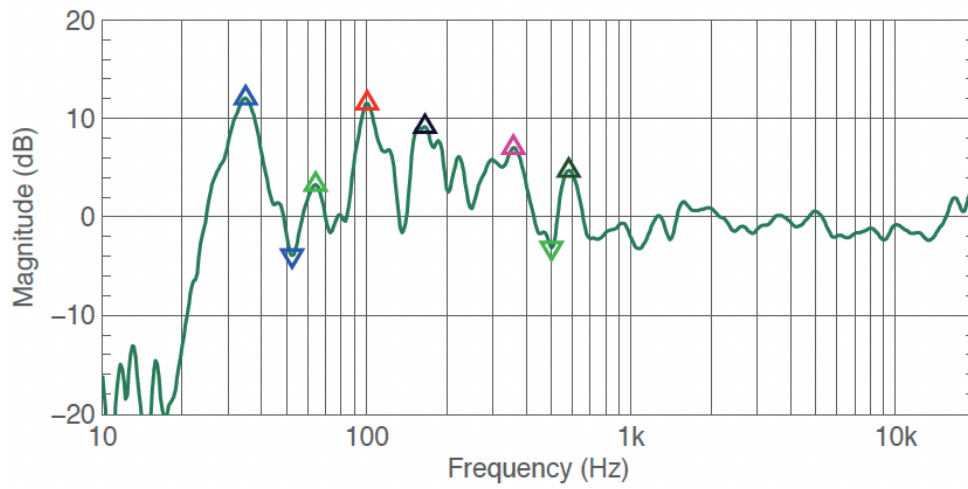


Figure 3.7: Right 8351B ピークとノッチ (キャリブレーション前)

Peak number	Centre frequency (Hz)	Gain (dB)	Quality factor
1	34.8	12.0	4.37
2	63.9	3.3	4.99
3	100.2	11.6	6.22
4	166.4	9.2	3.39
5	358.7	7.0	2.88
6	578.8	4.7	5.26
Notch number			
1	52.2	-3.9	6.2
2	500.7	-3.2	4.8

Table 3.5: Right 8351B ピークとノッチ (キャリブレーション前)

第4章

時間軸領域解析

4.1 音の到達時間 (TOF)

モニター間で音の到来時間 (TOF、Times of Flight) が異なるのは、聴取位置からモニターまでの距離が異なるか、電子遅延調整が完全でないことを意味します。

1ms 程度の遅延があると、ステレオ・システムのセンター音像は、リスニング位置に対して時間的に最も近いモニターの方向から聴こえてしまいます。

すべての音像を正しい位置に定位させるためには、タイムアライメントの差がほぼゼロになる必要があります。

時間差は空気中の音速に基づく距離でも表します。これによって、遅延の差をなくすためにモニターをリスナーの方にどれだけ近づけるべきか、あるいは遠ざけるべきかが分かります。

音の到来時間 (TOF) は、フィルタリングされたインパルス応答を使用して計算されます。インパルス応答には、1～8kHz のバンドパス・フィルターを使用しています。

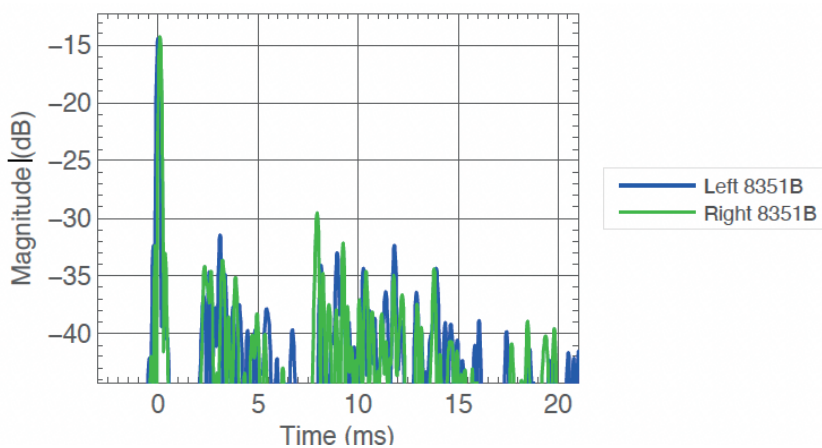


Figure 4.1: 音の到達時間 (TOF) を補正する前のモニターのインパルス応答を、バンドパスフィルターで処理したもの

Monitor name	ToF compensation (ms)
Left 8351B	0.1
Right 8351B	0.0

Table 4.1: 音の到達時間 (TOF)

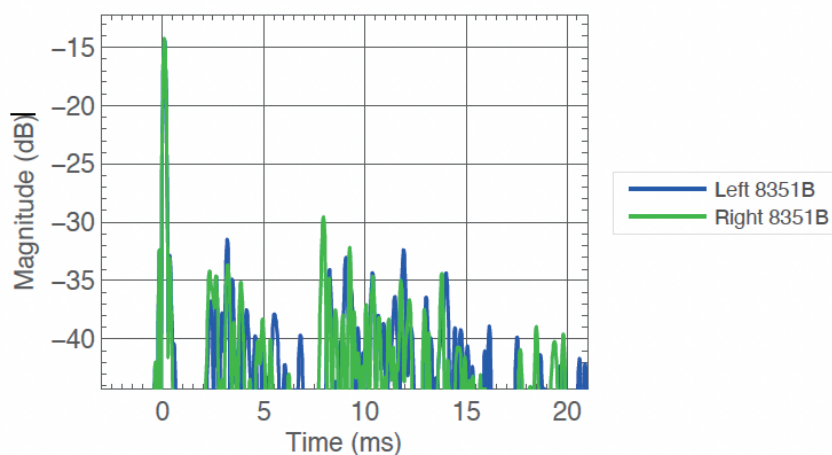


Figure 4.2: 音の到達時間 (TOF) 補正後のモニターのインパルス応答を、バンドパスフィルターで処理したもの

Tips 09

音の到達時間の差は電子的なディレイで調整することはできますが、測定された遅延量から、音速に基づく距離を算出して、その分だけ実際にスピーカーを動かすという方法もあります。特に到達時間の差が大きい場合は、ディレイでの補正ではなく、スピーカー位置を実際に調整することが望ましいといえます。というのも、スピーカーの設置位置が対称あるいは等距離でないことは、到達時間差だけでなく、後述する初期反射による音色へ影響など他の物理現象への影響を招く恐れもあるからです。

4.2 すべての初期反射音

初期反射音とは、直接音が耳に到達した直後に（15ms 以下）耳に到達する音の反射のことです。初期反射音はオーディオにカラレーションを起こし、ミックス内の音像の定位位置を変化させます。このため、初期反射音は低く抑える必要があります。このセクションでは、音響的に聴覚が敏感な中域（1 - 8kHz）における、顕著な室内反射音をすべて示しています。直接音は 0dB レベルにスケールアップされています。したがって、直接音に対する反射音のレベルをすぐに確認できます。-15dB 以上の反射音は、表で表示されます。

-15dB の反射は、オーディオ信号に 1.4dB のリップルを発生させます。このリップルは周波数に依存した音量の変化であり、オーディオにカラレーションを起こし、音色の不正確さの原因となります。

周波数応答グラフは、各反射によって生じる音響的な打ち消しの最低周波数も示しています。実際には、より高い周波数でも打ち消しは起こりますし、反射自体が互いに影響し合うため、音響的な打ち消しの減少はより複雑なものになる可能性もあります。

部屋の初期反射のレベルは低く、高精度モニタリングの要件を満たしています。

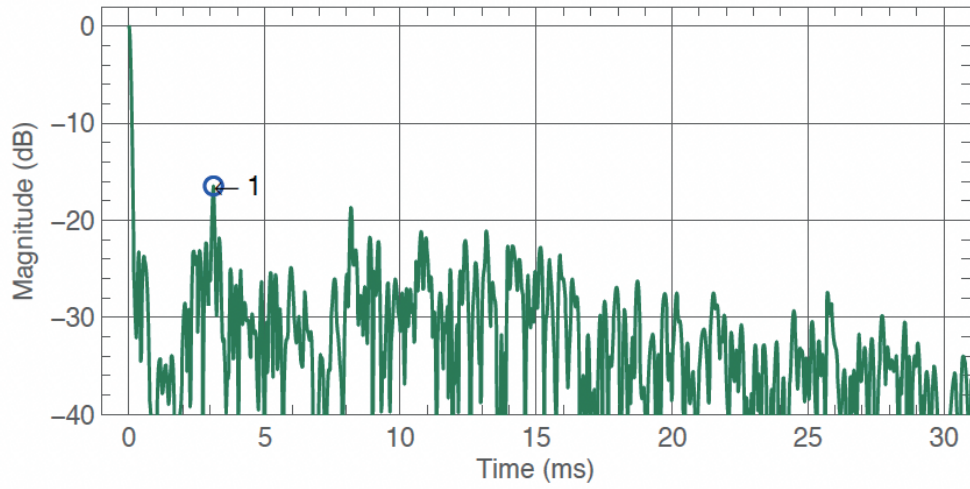


Figure 4.3: Left 8351B 初期反射

Reflection number	Gain (dBFS)	Time (ms)	Time in distance (cm / in)	Freaquency of first dip (Hz)	Comb filtering ripple(dB)
1	-16.5	3.1	106 / 41.8	160.0	1.2

Table 4.2: Left 8381A インパルス応答のピーク

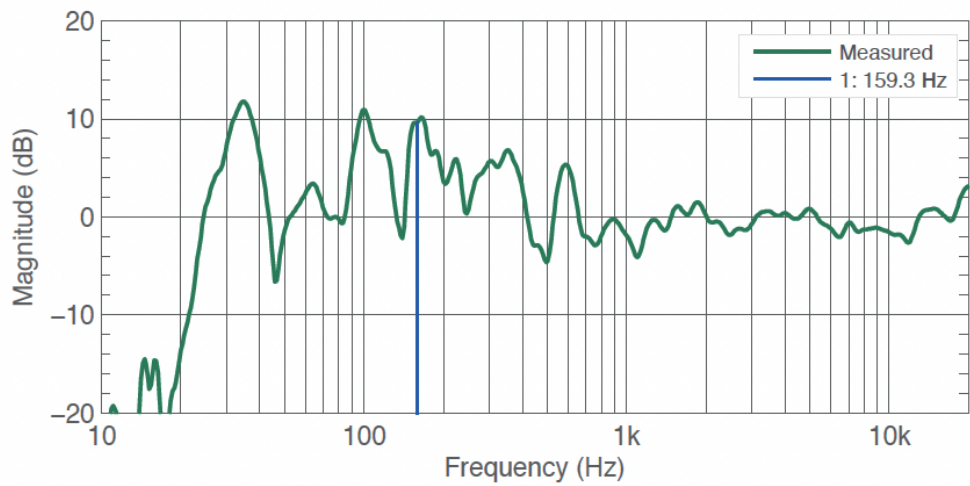


Figure 4.4: Left 8351B 初期反射に起因する周波数応答と最低音響打ち消し周波数

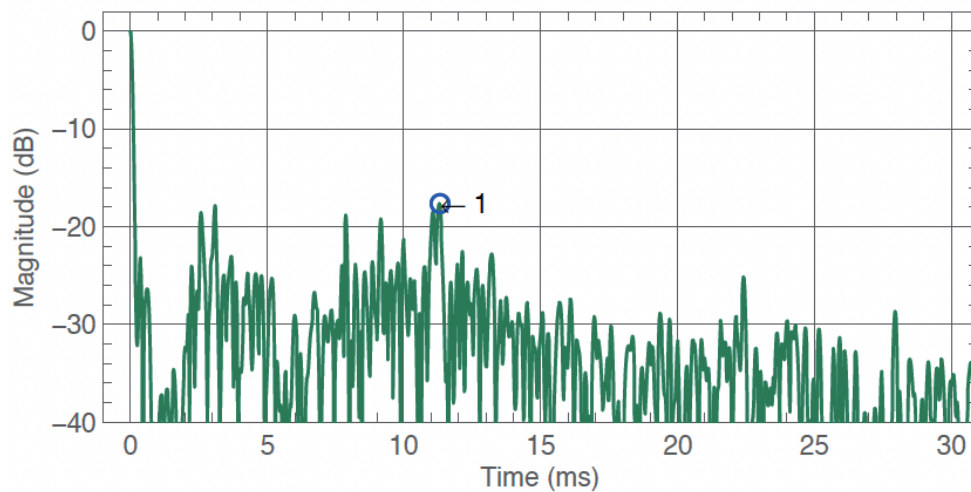


Figure 4.5: Right 8351B 初期反射

Reflection number	Gain (dBFS)	Time (ms)	Time in distance (cm / in)	Frequency of first dip (Hz)	Comb filtering ripple(dB)
1	-17.7	11.3	385 / 151.4	44.2	1.1

Table 4.3: Right 8351B インパルス応答のピーク

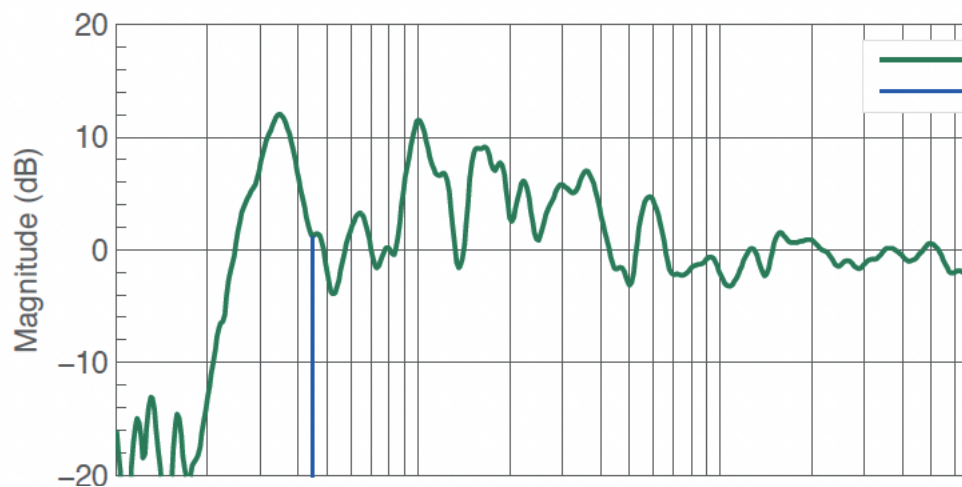


Figure 4.6: Right 8351B 初期反射に起因する周波数応答と最低音響打ち消し周波数

Tips 10

Right 8351B を例に説明します。最初のグラフ (Fig 4.5) が、このスピーカーにより生じたすべての初期反射音を示しています。横軸は時間なので、スピーカーからの直接音が到来した後、どのように初期反射音が到来しているのかが見ることができます。そして、表 (Table 4.3) は、初期反射の中で最もピークレベルが大きいもの (初期反射のグラフで丸印がついている反射音) の詳細を示しています。Frequency of first dip とは、この初期反射によって生じる周波数応答の最初のディップの周波数が 44.2 Hz であることを示しています。周波数応答を示したグラフ (Figure 4.6) で、44.5Hz あたりにディップが生じていることが分かります。この周波数はグラフの右上の凡例に示されており、これが本文で説明していた「各反射によって生じる音響的な打消しの最低周波数も示しています」のことであります。

初期反射音によって音のカラレーションが起きる要因のひとつが、櫛型フィルター (Comb filter) の現象で、ある周波数において音の打消しが生じ、結果として、周波数応答にディップが生じます。初期反射音によるカラレーションは独特の音になるので、耳で聞いても判断できませんが、こういった情報を得ることで、初期反射がどのように生じて、それが周波数応答にどう影響しているかを視覚的に確認することができます。初期反射によるカラレーションの問題を解決するには、室内音響条件を改善する必要があります。特に初期反射が生じるようなスピーカー近傍の反射面 (例えば、スピーカー直前の床面や天井面など) に吸音材や拡散体を置くことは比較的容易な対策です。拡散体による対策は近年技術が進歩しており、いろいろな拡散体を容易に手に入れることもできます。

なお、ここでは初期反射を直接音から 15 ms と定義していますが、一般には初期反射は 80 ms 程度までとされています。あくまでも、この GRADE レポート独自の定義だとしてご理解ください。

4.3 初期 vs 後期音

Early (初期) vs Late (後期) サウンド・プロットは、AutoCal による最適化後のサウンド・レベルを示しています。「Full」カーブは、完全なルーム・レスポンスのサウンド・レベルを表し、「Early (初期)」と「Late (後期)」両方の成分が寄与した特性を示しています。「Early」カーブは、直接音が聴こえてから 20ms の間に到達する部屋の中の反射音によってもたらされるサウンド・レベルを示しています。この間 (20ms) に、音は室内を 6.8m 伝搬します。「Late」カーブは、最初の 20ms の後、残響が消えるまでの室内の音によるレベルを示しています。「Late」レベルは、顕著な残響の量を表しています。すべての応答は 1/3 オクターブで平滑化されています。

Early (初期) vs Late (後期) サウンド・プロットは、残響が全体の音色にどれだけ影響しているも示しています。後期音が小さく、フル・レベルより 3dB 以上小さい場合、後期エネルギーが音色に大きな影響を与えることはないでしょう。後期エネルギーのレベルが大きく、フル・レベルに近い場合、部屋の残響が音色に影響を及ぼします。この影響は、音の減衰に時間がかかる低周波 (500Hz 以下)、つまり残響時間がより長い帯域で、典型的に生じる現象です。高品質なリスニング・ルームでは、高い周波数帯域における初期音は後期音より高く保たれるはずで

サブウーファーの場合、インパルス応答エンベロープのピークから 20ms 以内が初期、それ以降が後期となります。最大のインパルス応答は、120Hz のローパスフィルター処理をした後のインパルス応答エンベロープで検出されます。サブウーファーは低周波数で非常に狭い周波数帯域を再生しているため、通常、モニターよりも遅延が大きくなります。

基準になる時間は相対的に高い周波数で設定されます。低い周波数では群遅延が周波数関数として変化するため、より長い遅延が生じます。したがって、知覚される初期音と後期音の比率は、グラフが示す値よりも高くなる可能性があります。

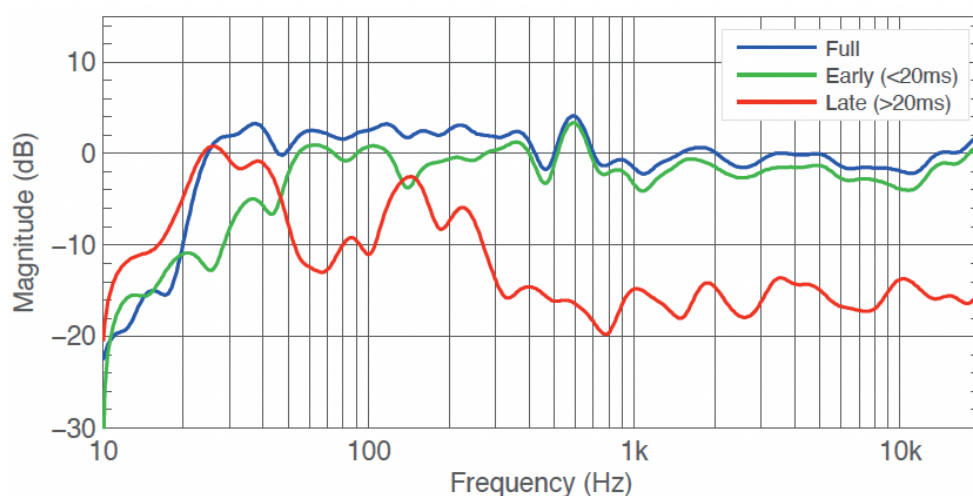


Figure 4.7: Left 8351B、フル、初期、後期の周波数応答

Monitor Name	Early vs late sound ratio, 100 Hz - 10 kHz mean (dB)
Left 8351B	8.5
Right 8351B	8.7

Table 4.4: 初期対後期音の比

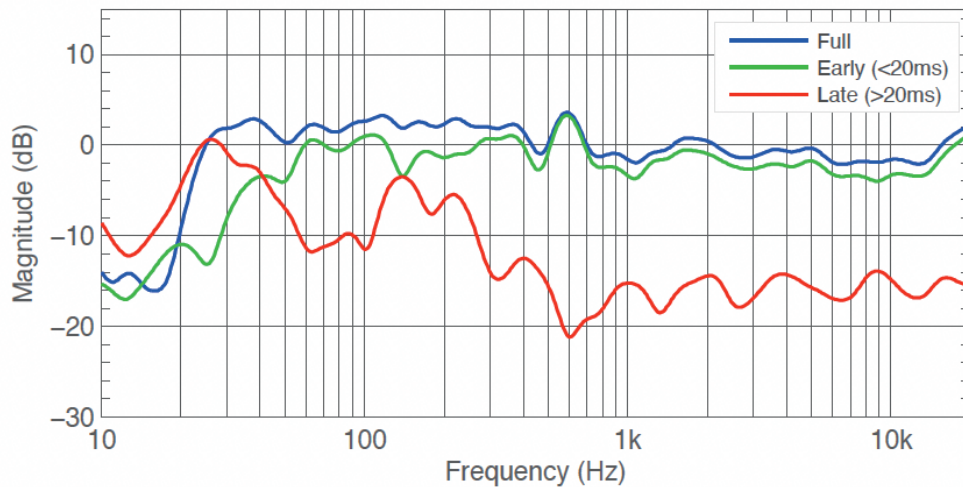


Figure 4.7: Left 8351B、フル、初期、後期の周波数応答

Tips 11

全体の周波数応答に対して、直接音と初期反射の寄与度と、後部残響の寄与度を一目で理解できるため、とても便利な情報です。後部残響の影響が大きくなってくると、特に低音が影響を受けるようになります。例えばドラムのキックや、ベースの音などがボケるといった影響が出てきます。

そういった状況が観察できる場合、部屋の残響時間、特に低域の残響時間を減らすための室内音響処理が必要となります。その際、全帯域の残響時間を減らしても良いのか、低域だけ特に残響時間を減らすべきかの判断も必要です。方針が決まれば、基本的にはその目的に沿った吸音材で吸音処理をしたり、低音用のレゾネーターを設置したりする処理を行います。

第5章

時間 - 周波数領域解析

5.1 残響時間

残響時間 (RT60) は、1 オクターブの帯域幅の減衰時間 T60 を見ることによって分析することができます。RT60 は、中心周波数が 63Hz から 16kHz の 9 つの 1 オクターブ帯域の T60 の平均値です。リスニング・ルームでの T60 の減衰時間は、すべての帯域で同様かつ適度に低いことが望ましいです。そうすれば、オーディオのすべてのディテールがバランス良く聴こえるようになります。音の聴こえに対して最も重要なのは、中域の周波数帯域です。

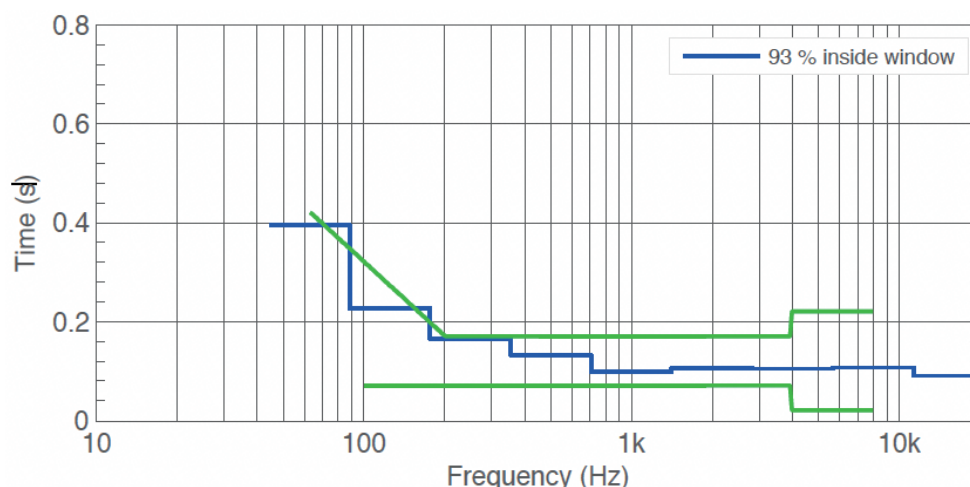


Figure 5.1: キャリブレーション後の、全モニターの平均減衰時間 T60。
1 オクターブ帯域幅

Monitor Name	RT60 (s)	T60 min (s)	T60 max (s)
Mean of all monitors	0.16	0.09	0.40
Left 8351B	0.15	0.09	0.35
Right 8381A	0.16	0.09	0.45

Table 5.1: 残響時間 RT60

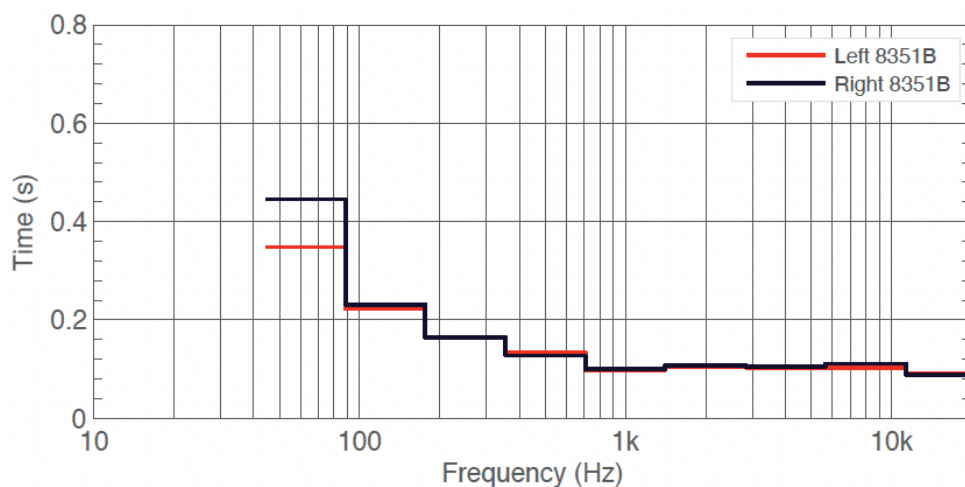


Figure 5.2: キャリブレーション後の減衰時間 T60

Tips 12

一般に残響時間というと RT60 の数値で表しますが、1 オクターブ帯域ごとの減衰時間のグラフから、音に悪影響を及ぼす顕著な帯域があるか否かを理解することができます。また、Figure 5.2 では、個別のモニター・スピーカーによる 1 オクターブごとの減衰時間を示していますので、モニターごとの違いがあるか否かも一目で観察することができます。

リスニング・ルームにおいて適度な残響は必要ですが、全体的に残響時間が長くなったり、ある帯域で特に減衰時間が長くなったりするとモニタリングする音への悪影響が問題となります。残響を補正するには、現在の技術ではスピーカーに対する信号処理だけでは困難なため、室内音響を物理的に改善する以外に方法はありません。

5.2 ウォーターフォール

ウォーターフォール (Waterfall) は、部屋の共振を発見するのに適しています。ウォーターフォール解析は、異なる周波数でのオーディオの減衰時間を表示します。

減衰時間は、スピーカーの再生が停止した後の音の消え方の速さを表します。

部屋の共振 (ルーム・モード) は、特定の音を部屋の中で長時間「鳴らす」原因になることがあります。一般的な部屋では、0.5 秒程度まで低音が共鳴することがあります。高い周波数では、平行な 2 つの硬い表面の間で「フラッター・エコー」が聞こえることがあります。これは、例えば手を叩いた後に聞こえる「ピーン」という不快な音です。

フラッター・エコーと室内モード共振は、いずれも室内の音の減衰を長くするもので、ウォーターフォールのプロットで見ることができます。ウォーターフォールのプロットから、共振の周波数と、他の周波数に対する減衰の遅さを見ることができます。

顕著な室内共振は、オーディオ信号終了後 60ms の減衰で検出されます。この方法ではすべての室内共振を検出することはできませんが、ウォーターフォール・プロットではすべての共振を見ることができます。あわせて、顕著な共鳴の減衰時間が算出されます。顕著な共鳴が起こる周波数帯域の減衰時間が、他の周波数帯域の典型的な減衰時間よりはるかに長い場合、ゆっくりと減衰する部屋の共鳴周波数帯域は他の音をマスクし、細かな音を正しく聴き取ることを阻害する可能性があります。

検出された共振減衰曲線において、時間が経過してもほぼ水平にレベルが維持される現象が観察される場合、通常は音響的な遅れを示すものではなく、室内のノイズレベルを示しています。

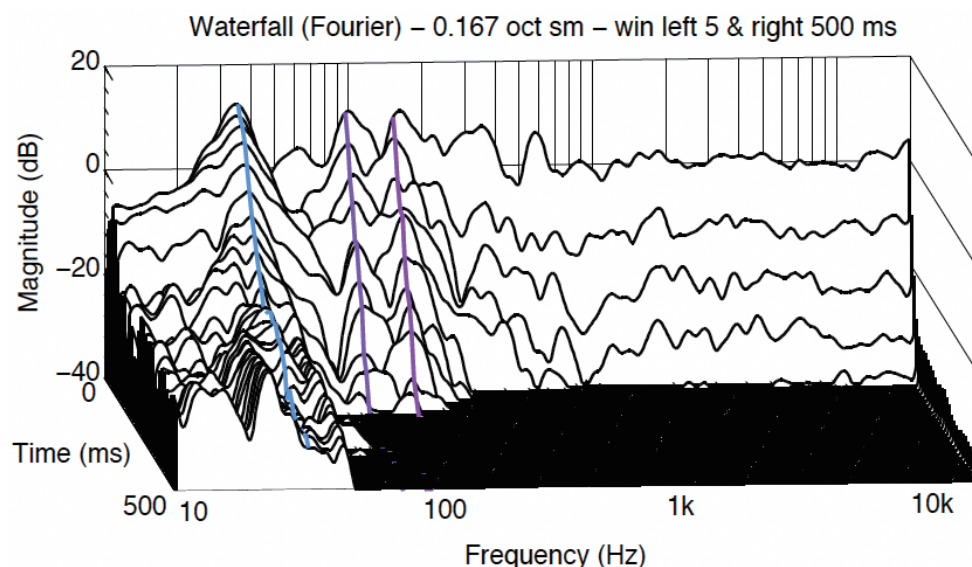


Figure 5.3: Left 8351B ウォーターフォール

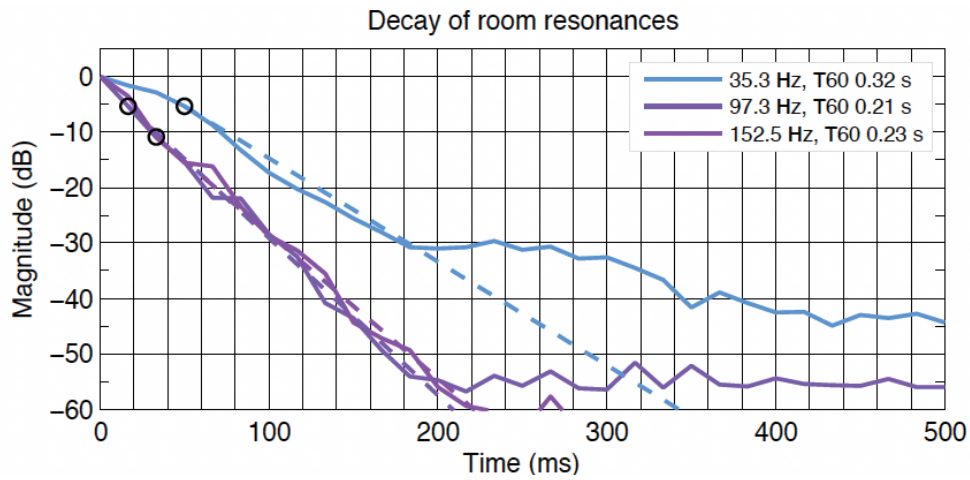


Figure 5.4: Left 8351B 検出された共振の減衰

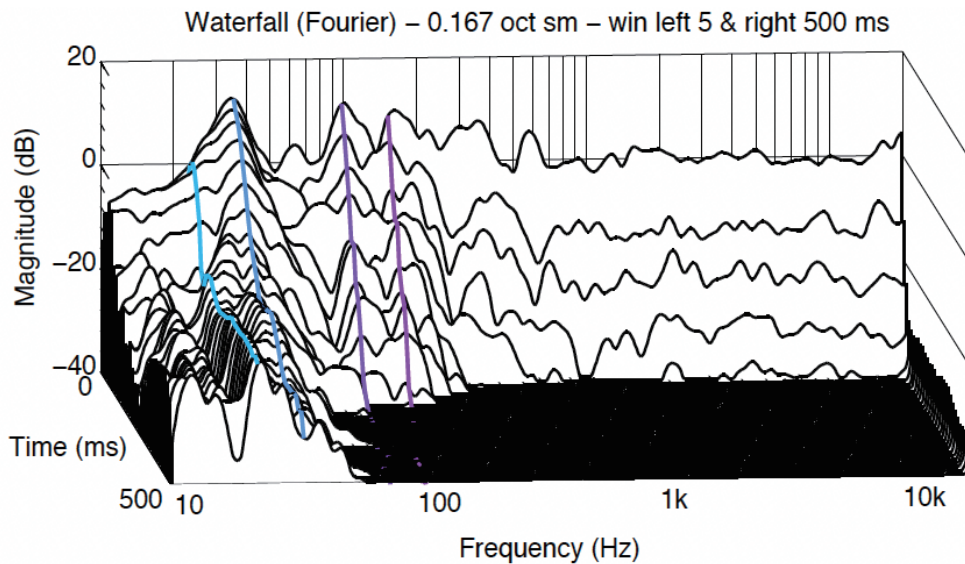


Figure 5.5: Right 8351B ウォーターフォール

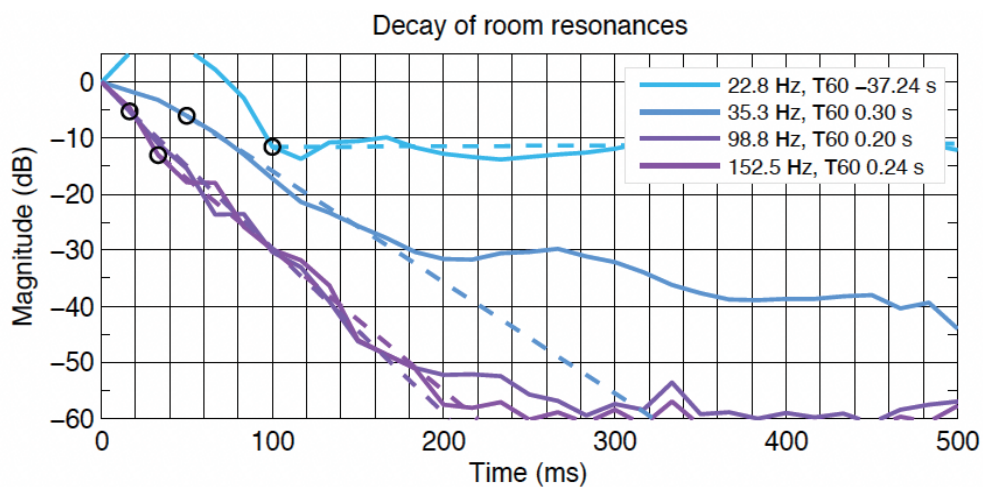


Figure 5.6: Right 8351B 検出された共振の減衰

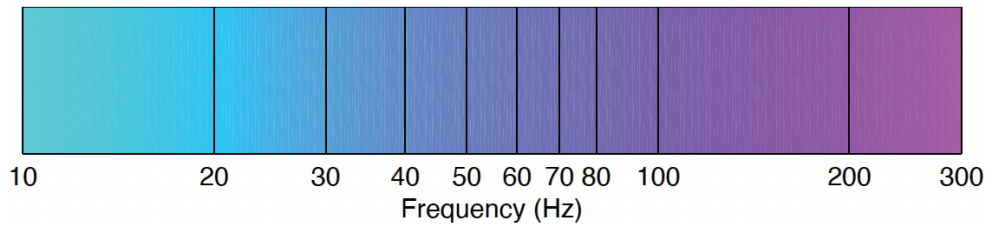


Figure 5.14: 共鳴のカラーマップ

Speaker name	Unit	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
Left 8351B	Freq (Hz)	35.3	97.3	152.5	
	Gain (dB)	3.6	-11.3	6.7	
	Decay time T60 (s)	0.32	0.21	0.23	
Right 8351B	Freq (Hz)	22.8	35.3	98.8	152.5
	Gain (dB)	-2.65	3.4	-12.4	-9.2
	Decay time T60 (s)	-37.34	0.30	0.20	0.24

Table 5.2: ルームモード - すべてのモニターとサブウーファー

Tips 13

ウォーターフォールは、スピーカー単体やスピーカーを任意の部屋に設置した場合の時間特性を知るにはとても便利な指標です。

Table 5.2 では、オーディオ・システムで使用しているすべてのモニター・スピーカーとサブウーファーによる部屋の共振モードを知ることができます。スピーカーごとに共振モードの周波数が大きく異なる場合は、各スピーカーから見た室内の形状や室内音響処理が大きく異なっていることが要因であることが考えられます。システムで使用しているスピーカーごとのルーム・モードの大きな差異は、オーディオ・コンテンツのチャンネルによって、あるいは振幅パンニングによってオブジェクト音の定位位置を動かした場合、音の印象が異なってしまうという問題も生じさせてしまい、スピーカーごとのルーム・モードの差異が小さくなるようにすることが重要です。3D オーディオなど多くのスピーカーを使用したマルチチャンネル音響再生の場合は、特に重要です。

部屋の共振によって生じる特定の周波数帯域の減衰が長くなる現象は、モニタリングの正確性を低下させる恐れがあり、これも室内音響を改善することにより対策を講じる必要があります。基本となる手法としては、平行な反射面を失くすこと、そして適切な吸音処理を行うことです。

なお、スピーカー単体のウォーターフォールを見ることは、スピーカーの時間性能を知るうえでとても参考になります。この測定を行うには、無響室でスピーカーを測定するのが望ましいです。

5.3 ウェーブレット

ウェーブレットは反射音を見つけるのに適しており、ウェーブレット解析は、スピーカーが再生を停止した後の音の減衰を示します。これは、異なる周波数で、音がどの程度音響的に制御されているかを理解するのに役立ちます。

ウェーブレット解析により、初期の反射問題を確認することができます。

ウォーターフォール・プロットと比較して、ウェーブレット・プロットは時間と周波数の分解能に優れています。つまり、スピーカーが室内でオーディオの再生を停止した後、いつ、どの周波数でサウンドレベルがピークに達したかを確認することができます。

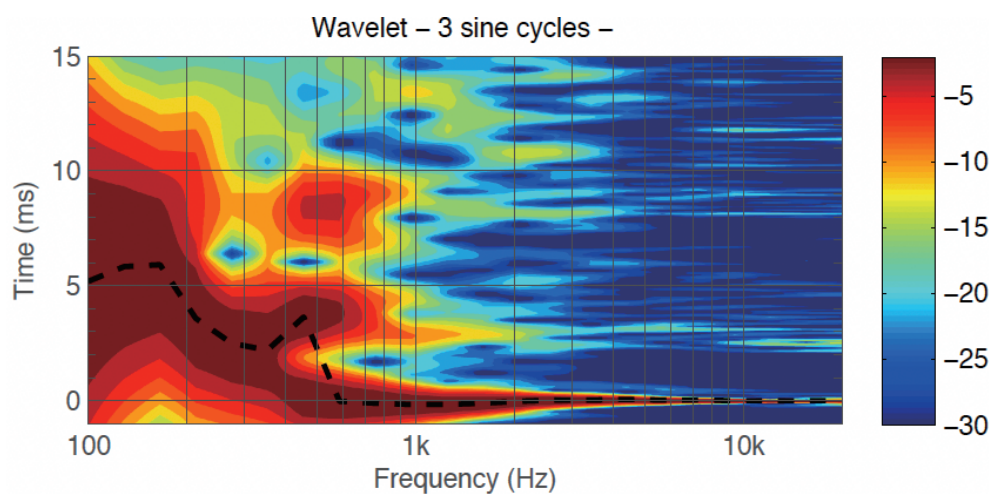


Figure 5.8: Left 8351B ウェーブレット

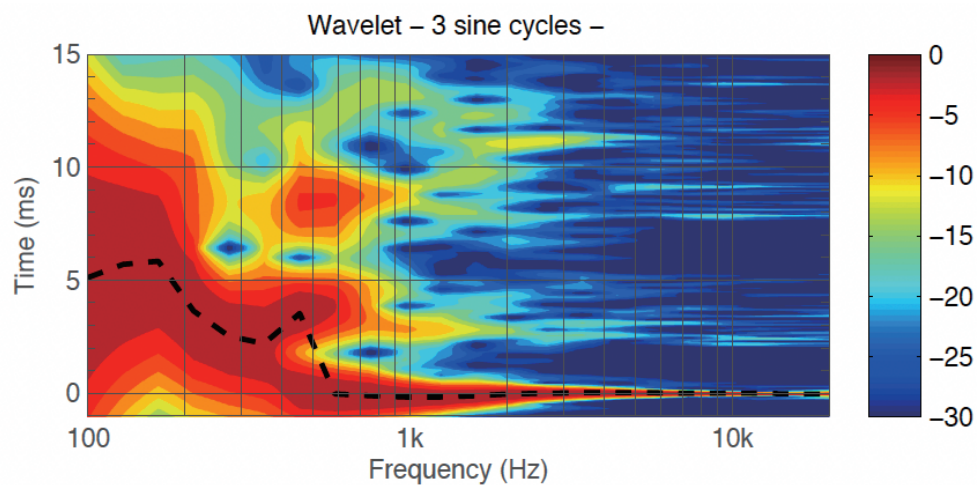


Figure 5.9: Right 8351B ウェーブレット

Tips 14

上記 Figure 5.8 や 5.9 がウェーブレット解析の結果を図示したものです。ウォーターフォールが三次元表示であったのに対し、ウェーブレット・プロットは、横軸が周波数、縦軸が時間、そして音のレベルは色で示されています。時間 0 ms の時点で、スピーカーからの再生を停止した後、どのように音が残っているのか、それを時間の流れ（縦軸の下から上）とともに観察することができます。

このグラフから、100 Hz から 500Hz の帯域で、スピーカーでの再生が停止した後 3 ms から 8 ms で音圧が上昇していることが分かります。また、500 Hz を中心とした帯域で、8 ms で一時的に音圧が上昇していることも分かります。ウォーターフォール・プロットの時間軸が数百 ms であるのに対して、ウェーブレット・プロットの時間軸は数 ms ですから、主として初期反射音が直接音に与えるカラレーションの影響をこのウェーブレット・プロットでは見ることができます。

カラレーションによる音への違和感があった場合には、初期反射を減らしたり、拡散させたりする室内音響処理を行い、音の試聴と合わせて、このウェーブレット・プロットで視覚的にも確認しながら、改善の具合を確認することができます。

第6章

ITU-R BS1116 準拠

ITU-R BS.1116 は、オーディオシステムにおけるわずかな劣化のための主観評価法における勧告であり、その中でスピーカーによる主観評価実験を行なうためのリスニング推奨環境を規定しています。レコーディング・スタジオ、ポストプロダクション、オーディオ編集などのオーディオ・モニタリング用途にも適用できます。

このセクションでは、ユーザーのモニタリング・セットアップの測定とキャリブレーションの結果を、ITU-R BS.1116 の勧告と比較します。推奨値に近い結果が得られた場合、あなたのモニタリング・セットアップはオーディオの細部に対して優れた精度を持ち、高品質なオーディオ・エンジニアリング作業を可能にしていると理解できます。

ITU-R BS.1116 勧告の全文は、<https://www.itu.int/rec/R-REC-BS.1116/en> から、自由にダウンロードすることができます。

6.1 オペレーショナル・ルーム・レスポンス (Operational Room Response)

聴取位置での周波数特性は、オペレーショナル・ルーム・レスポンス (Operational Room Response) と呼ばれています。色付けされていないオーディオを聴くために、オペレーショナル・ルーム・レスポンスは、すべての周波数で同じレベルとなる必要があります。緑色で示された限界値は通常、大きなカラレーションが起きない安全な範囲を示しています。

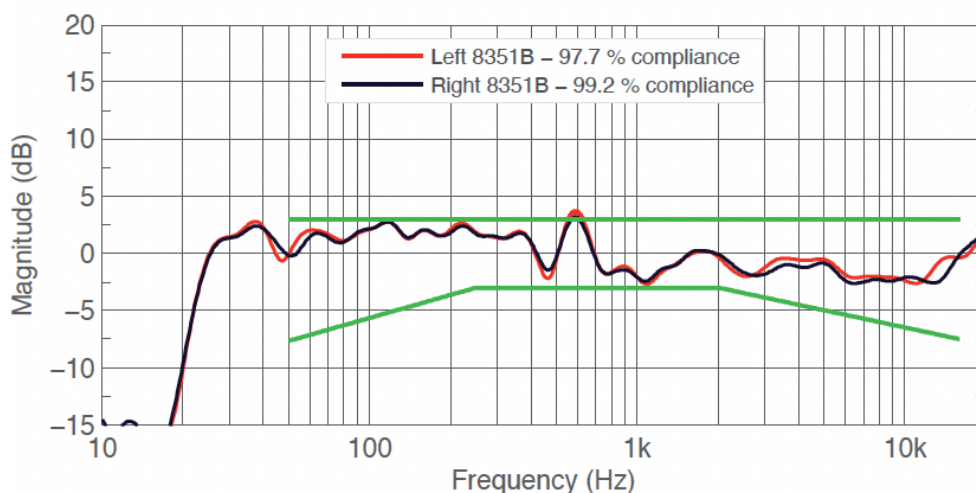


Figure 6.1: オペレーショナル・ルーム・レスポンス・カーブ

Tips 15

ITU-R BS.1116 は、高音質なスピーカー試聴や、スピーカー等の評価、あるいはスピーカーを用いた評価実験のための室内音響特性を規定しています。したがって、この勧告に準拠できれば、この勧告に準拠した他のリスニング環境とほぼ同等のリスニング環境が得られていることの証でもあります。

オペレーショナル・ルーム・レスポンスは、スピーカーから再生された音を聴取位置で聴く場合の振幅周波数特性に求められる特性を規定しています。

この規定を満たすには、スピーカー単体ができるだけフラットな特性であること、それに加えて、室内音響特性による周波数応答への影響ができるだけ小さいことが求められます。特に、定在波などによる低域の大きなディップが生じるとこの規定を満たすことは難しくなります。

なお、ITU-R BS.1116 の最新版は、2015年に発行された ITU-R Recommendation BS.1116-3 ですので、この文書を参照してください。

6.2 最大初期反射

ITU-R の初期反射の限界は、モニターから発生する直接音レベルに対して -10dB です。理論的には、-10dB の反射は、音声信号に 2.4dB のリップル（音色の不正確さ）をもたらすコムフィルター効果を引き起こします。

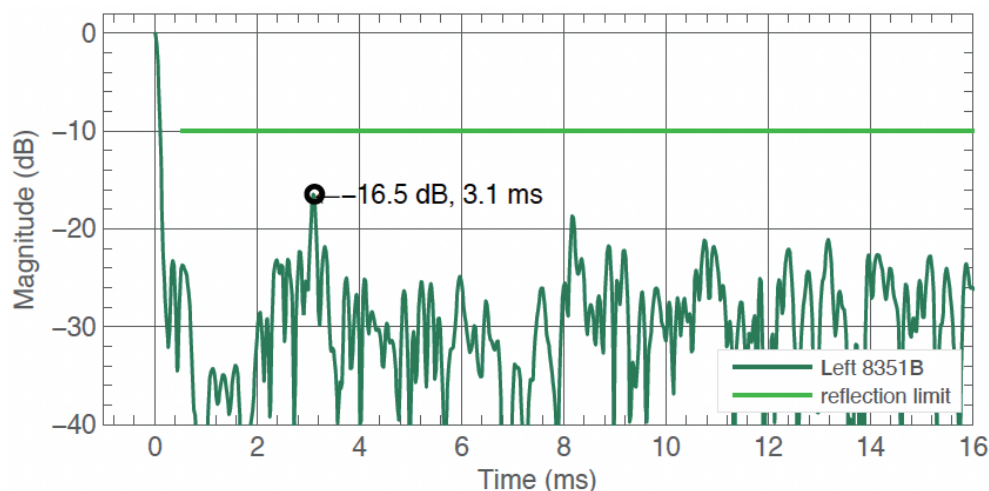


Figure 6.2: Left 8351B 周波数 1-8 kHz 帯域の初期反射レベルは直接音レベルに対する相対値

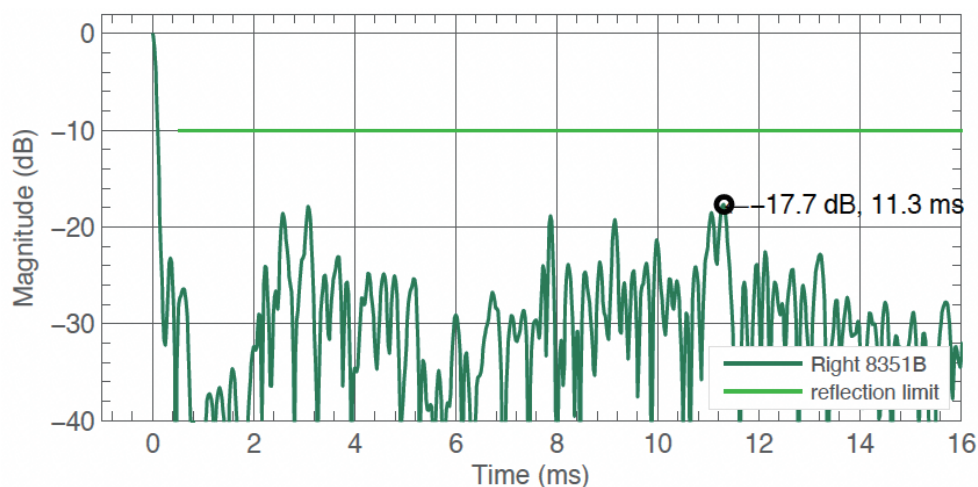


Figure 6.3: Right 8381A 周波数 1-8 kHz 帯域の初期反射レベルは直接音レベルに対する相対値

Tips 16

初期反射は音色に影響を与えます。特に初期反射のレベルが大きくなると、コムフィルター効果によって独特のカラレーションが生じます。したがって、ITU-R BS.1116 では、その最大レベルが直接音に比べて -10 dB 以下になるよう規定しています。

初期反射音を減らすには、室内音響の改善が必要です。その方法等については、前述の Tips を参照してください。

6.3 残響時間

推奨される残響時間は、部屋の容積によって異なります (Table 6.1)。部屋の容積は、部屋の硬い壁を元に算出されます。ただし、これらの硬い壁が吸音材で隠されている場合があり、部屋の中で目に見える容積よりも音響的な容積が大きくなっていることがありますので注意が必要です。

V (m ³)	30	60	100	300	600	1000
V (ft ³)	1100	2100	3500	10600	21200	35300
T60 (s)	0.17	0.21	0.25	0.36	0.45	0.54

Table 6.1: 部屋の容積 V と残響時間 T60

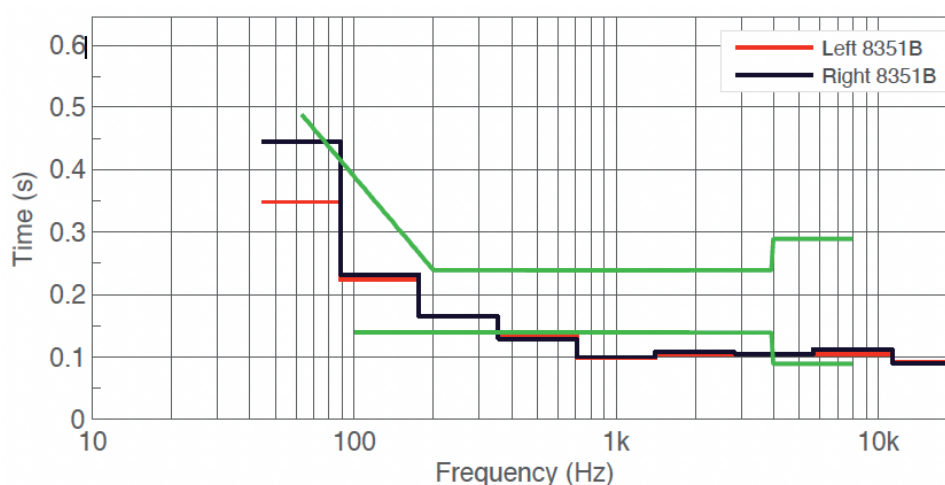


Figure 6.4: キャリブレーション後の残響時間 T60
目標残響時間 $T_m = 0.19s$ (計算された部屋の容積に基づく)

Tips 17

ITU-R BS.1116 で規定している残響時間は、200 Hz から 4 kHz の残響時間の平均値です。そして、一般には残響時間が勧告に準拠しているかどうかは、Figure 6.4 のグラフで確認します。

この勧告範囲に残響時間を収めるのは実は容易ではありません。例えば、高域で残響時間が短すぎるといった測定結果が得られることが多く、その場合は、吸音材の後ろに反射性のある薄いフィルムを入れることで対処するなど、高域だけの残響時間を増やすための室内音響処理を細かく行う必要があります。

6.4 準拠のまとめ

推奨される残響時間は、部屋の容積によって異なります (Table 6.1)。部屋の容積は、部屋の硬い壁を元に算出されます。ただし、これらの硬い壁が吸音材で隠されている場合があり、部屋の中で目に見える容積よりも音響的な容積が大きくなっていることがありますので注意が必要です。

Monitor name	Model	Operational room response inside limits(%)	Early reflections, number of problem peaks	Reverberation time RT60, inside limits(%)
Left 8381A	8351B	98	0	56
Right 8381A	8351B	99	0	54

Table 6.2: ITU-R BS1116 準拠のまとめ

Tips 18

Table 6.2 では、キャリブレーションした後の測定値が、ITU-R BS.1116 の勧告にどれだけ準拠しているかをまとめて表示します。この例では、オペレーショナル・ルームレスポンスの準拠度が 98% 程度、-10 dB を超える初期反射は無し、残響時間の準拠度は 54% 程度ということが分かります。

したがって、残響時間については準拠できているとはいえない結果だと理解できます。

第 7 章

用語集と略語

AccuSmooth

AccuSmooth は、Genelec が音響測定において最大限に詳細な情報を提供するために適用した周波数平滑化手法で、可変幅のスムージングを行っています。このスムージングの周波数範囲は、250 Hz 以下では 1 オクターブあたり 12 分の 1、250 Hz 以上では 1 オクターブあたり 6 分の 1 です。周波数応答プロットに適用される AccuSmoothing によって、システムの周波数応答において、音響的な詳細を確認するための可視性を向上させています。

GLM

Genelec Loudspeaker Manager (GLM) は、Windows または Mac コンピュータで動作するソフトウェア・アプリケーションです。すべての Genelec Smart Active Monitors に対して、音量、ミュート、ソロ、EQ のコマンドを管理すると共に、部屋でのオート・システム・キャリブレーションを行ないます。オート・システム・キャリブレーションは、80 以上のスピーカーとサブウーファーに対して、個々のモニターのイコライジング、時間とレベルのアライメントに対応しています。

インパルス・応答 (impulse response)

システムのインパルス応答とは、インパルスと呼ばれる短い入力信号が与えられた時のシステムの出力のことです。インパルス応答は、変化に対するシステムの反応であり、その反応を時間の関数として記述しています。部屋のインパルス応答は、部屋でのオーディオの初期反射を分析するために使用することができます。また、インパルス応答をさらに解析することで、部屋がオーディオのレベル、タイミング、位相をどのように変化させているかを理解することができます。

ラウドスピーカー (loudspeaker)

モニターやサブウーファーの両方を意味します。一般に「スピーカー (speaker)」と短縮して記述されます。

モニター (monitor)

オーディオ・モニター用のスピーカー。20 Hz から 20 kHz までの可聴帯域をフルに出すことができます。ただし、通常、低域周波数には制限があります。

1 オクターブ・スムージング (one-octave smoothing)

1 オクターブ・スムージングは、ある周波数の半オクターブ下から半オクターブ上までの周波数内を平滑化し、この範囲の音圧の平均をこの周波数に割り当てます。これは、広帯域のレベル変動を明らかにするのに有効です。これにより、モニタリング・システムの全体的な音色バランスを明確に表示することができるようになります。

反射 (reflection)

部屋の壁や家具などの物体は、音波を反射します。音の反射はどの周波数でも起こりうるもので、周波数特性に色付けをし、録音やミキシングにおける判断を難しくしたり、不正確にしたりすることがあります。したがって、直接音と反射音のエネルギーの比率を知ることが重要です。直接音に対する反射音の割合が低いほど、反射音が与える影響は小さくなります。

RT60

部屋の残響時間。音が 60dB 減衰するのにかかる時間です。

T60

室内における狭周波数帯域の音の減衰時間。与えられた周波数範囲内で音が 60dB 減衰するのにかかる時間です。室内では、部屋における音の減衰が音のカラー・バランスを阻害しないように、低域、中域、高域で T60 が同程度であることが望ましいとされます。