



吸音と低域特性

(中原雅考)

このところ数回にわたって MIL の 43ch の低域特性の解明に挑んでいる隊員のみなさん。
1/10 模型を活用して本格的な探求…かと思いきや、模型と実物の測定値の違いに頭を悩ましているようです。

ですがその悩みも

前々回身につけた「12dB ブースト」の技と
前回身につけた「トゲトゲ・ダンプ」の技で
なんとか解決できたのではないのでしょうか。



ということで、今回は隊員の皆さんには
前回と前々回で身につけた技を思う存分活用して頂き
いよいよ MIL の低域特性の「整理検証大会」へと突入して頂きましょう。

ちなみに…

このところ話題になっている「低域」の「吸音と周波数特性の関係」ですが
吸音すればするほど響きは少なくなり音量も小さくなりますが

周波数特性はフラットに近づきます。

部屋の響き加減によってどのように周波数特性が変化するかを予測計算した例が下図です。
4.5m×5m×3m の部屋に 2chL/R のスピーカを設置してその低域を聴いたときの特性だと想像して下さい。

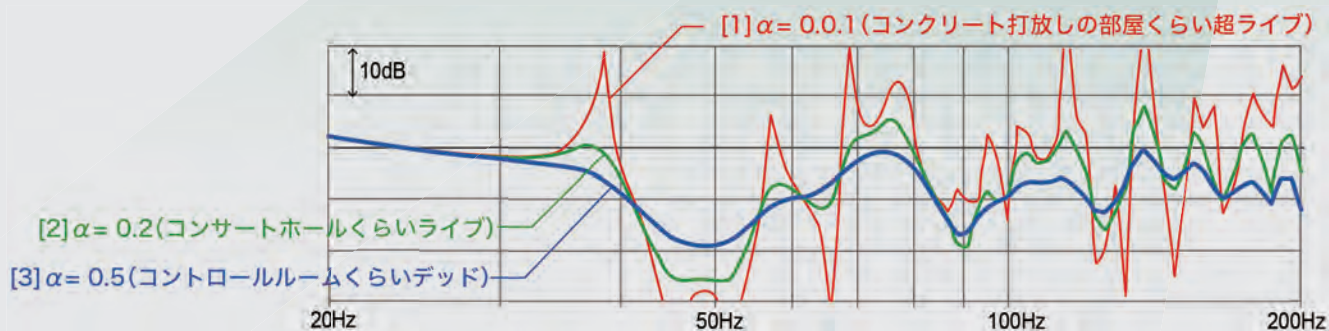
たとえば、[2] くらいは吸音してある部屋で

50Hz の音がよく聞こえない原因を吸音しすぎだからと決めつけて **ライブ [1] にする**とどうなるのでしょうか。

50Hz はもっと聞こえなくなってしまうそうです。モード EQ の性格は難しいですね…

逆に **コントロールルームなみに吸音する [3]** とどうでしょうか。50Hz の音は復活してきそうです。

「吸音＝音を吸い取っている＝聞こえなくなる」といったような発想は、どうやら低域の世界では危険なようです。



モードEQを思い出そう！

『1/10 模型を活用して、MIL の音響設計を行いたい!』という目標に向かって一步一步進んでいる隊員たち。1/10 模型の測定データの有効性を検証するべく、データの比較・考察をしています。ここで今一度おさらいです。

MIL の Middle レイヤーと比較する 1/10 模型のレイヤーを、80Hz 以下は Low レイヤー & 80Hz 以上は Middle レイヤーを採用してデータ整理してきました。(え：詳しくは Proceed Magagine 2023 Spring No.28 を参照してみてください!) 前号では誌面が足りなくなり Middle Cch だけの検証となっていました。今号では High も含む全チャンネルの検証に進みます。

りつこ隊長 (以下、り)：前回のモード EQ ダンプについて内容は覚えているかな？

まっくん隊員 (以下、ま)：低域のピークを検出し、そのピークに対して部屋の吸音率、表面積、体積から求めた補正係数 R_n を利用してダンプするやつですね。

り：そうよ。そもそもなぜそんなことをしたかは覚えてる？

イケイケ・イケウチ製麺隊員 (以下、イケ麺)：1/10 模型を使って MIL の特性を探求しようと思ってるのに、データが分かりにくいと間違った技術的判断をしてしまうことがあるから、ですよ。

えりっこ隊長 (以下、え)：正解! データを正しく比較するために 1/10 模型のトゲトゲしい周波数特性をなんとかせねば、ということで『1/10 模型の周波数特性の吸音率を補正しちゃおう』ってのが前回やったことよ。

イケ麺：吸音するとピークがダンプされるので補正係数「 R_n 」が音響特性を評価する鍵になっていましたよね。

え：ただ、顕著なピークしか検出できないし、ディップには適応できない。かなり簡略化されたものであることを忘れてはいけないね。えーとどんな手順で計算していたかな。

り：ちょっとおさらいしておきましょう。まずは 1/10 模型 Middle の中層と下層の元データの一つに合成したけど、どんな方法だったかな？

え：クロスオーバー EQ は 80Hz で 24dB/oct の傾きで、下層には LPF、中層には HPF をかけるといい感じになったよね。

ま：その後にローブースト EQ をかけるんです。ここまでの作業をまとめると【図 1】になるだけです。つまり測定したデータに【図 1】のようなフィルターをかけた、と言い換えることができます。

イケ麺：仕上げにモード EQ をダンプ! ですね。最初にまっくん隊員が言っていた補正係数 R_n を【図 2】の計算式から算出して、ダンプ完成です!

え：<①クロスオーバー EQ><②ローブースト EQ><③モード EQ ダンプ>の全部乗せが【図 3】ってわけね。

ま：重ねるとモード EQ のダンプ量がとても分かりやすくなっているでげす。

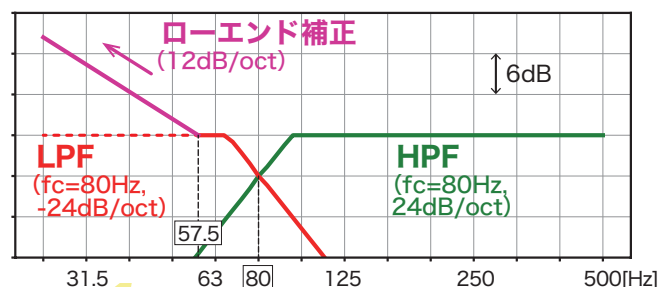
り：本当ね、全チャンネルで行ったらどのような違いが見れるか楽しみだわ。

イケ麺：グラフを全部揃えるのは骨が折れる作業ですね。なんせ Middle レイヤーだけでも 12 箇所ありますから。

え：そうね、そうだと今回の号は計算だけで終わって...

ま：まとめて来たでげす! (【図 4】【図 5】)

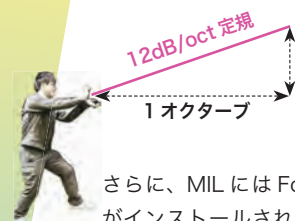
え、り、イケ麺：(いつの間に! 相変わらず仕事が早い!!)



【図 1】クロスオーバー EQ+ ローブースト EQ

MIL の Middle レイヤーは中層に置かれたスピーカーと下層に置かれたサブウーファーを組み合わせて構成されています。80Hz 以下は下層のサブウーファーから、80Hz 以上は中層のスピーカーから再

生されているので、1 チャンネルの測定結果を得るためには下層と中層の測定結果をひとつに合成する必要があります。そこで<①クロスオーバー EQ の手順>を踏むわけですよ。



さらに、MIL には Focal の素晴らしいスピーカーたちがインストールされていて、Middle レイヤーは Focal と特注サブウーファーの 4way 豪華フルレンジ仕様! 自作の薄型スピーカーで再現するにはいささか低域が足りません…。(え：薄型スピーカーの特性は [Proceed Magagine 2019-2020 No.21] 【図 5】を見て思い出してね! 60Hz あたりからロールオフしているのがわかるはずよ!)

MIL のスピーカーの特性をなんとか薄型スピーカーで模擬するために測定結果に<②ローブースト EQ を掛ける手順>を踏んでいるわけですよ。ややこしいですね!

$$P_2(f, \alpha_2) \approx (R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \times \dots \times R_N) \times P_1(f, \alpha_1)$$

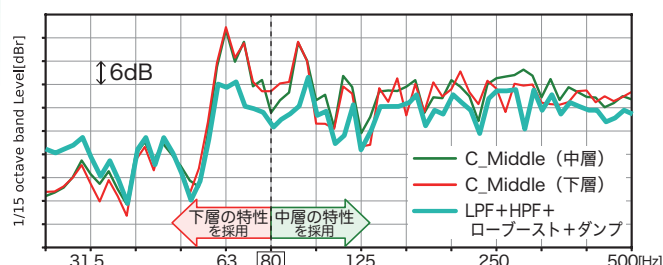
$$\text{ピークの補正係数 } R_n = \left| \frac{f^2 - f_n^2 - jB\alpha_1 f}{f^2 - f_n^2 - jB\alpha_2 f} \right|$$

f_n : ピーク周波数 [Hz] (1, 2, ..., n, ..., N 個)

【図 2】ピークの補正係数 R_n

(算出方法の詳細は前号 [Proceed Magagine 2023 No.29]

【図 11】モード EQ ダンプ方法の説明を参照してね!)

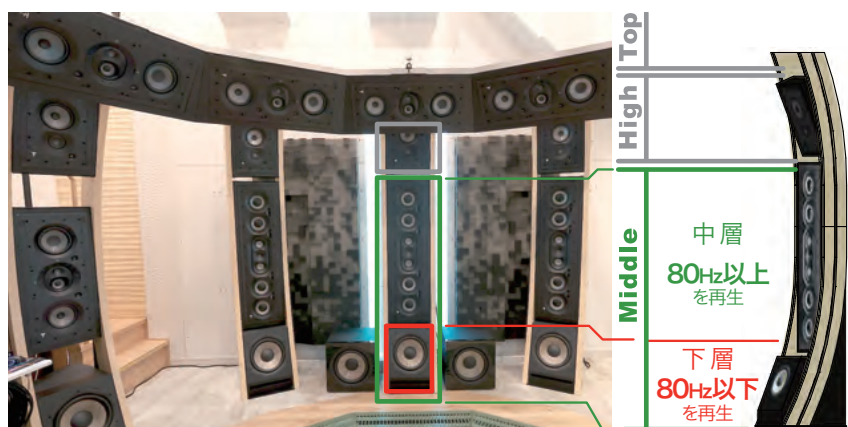


【図 3】Cch グラフ補正後

クロスオーバー EQ+ ローブースト EQ+ モード EQ ダンプ全部乗せ!

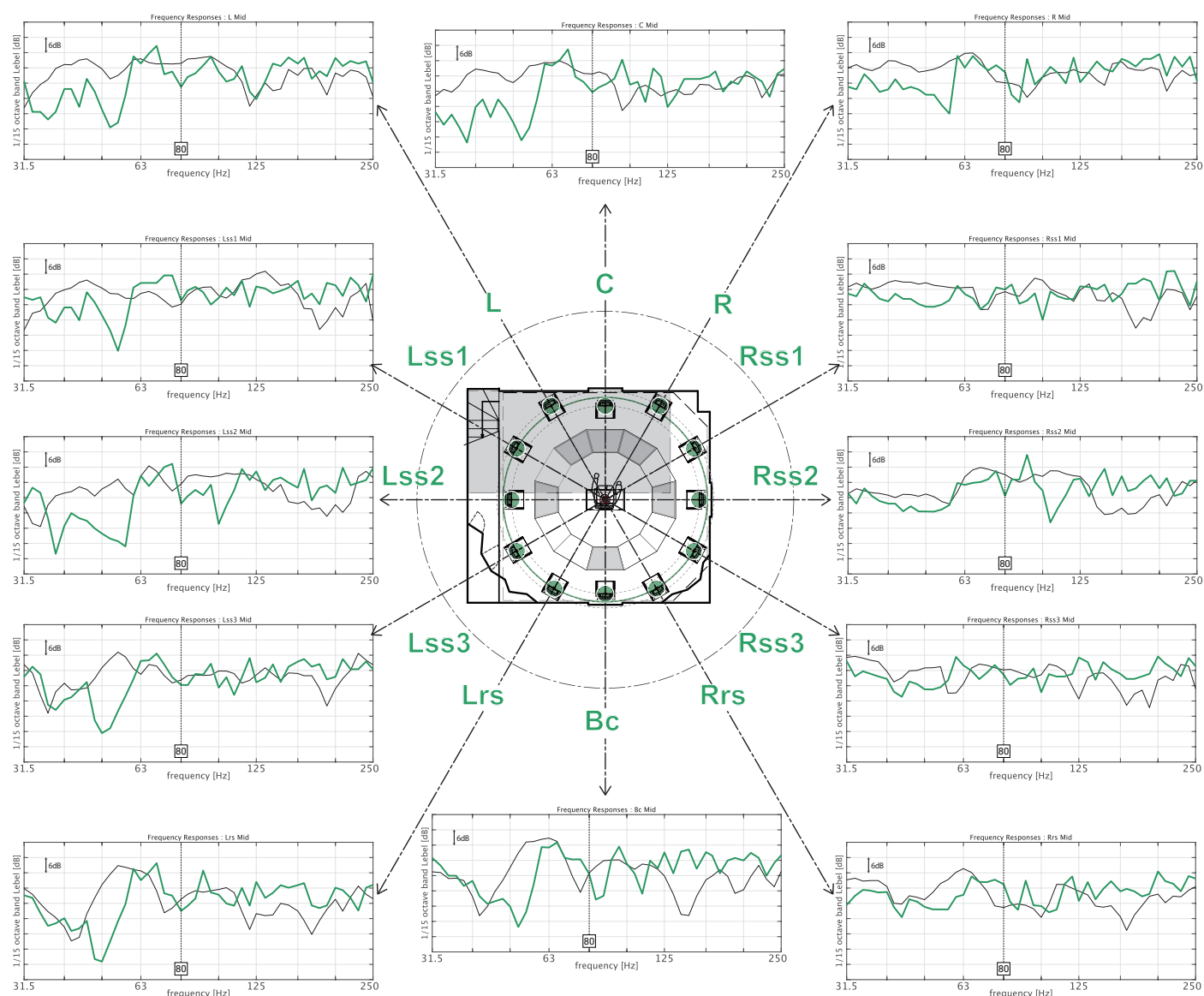
手順①②のつぎは、ソルピカでライブなアクリル模型で測定した結果を、少しデッドな実物の MIL に近づけるべく Dr. 中原が捻り出した補正係数「 R_n 」を使って<③ピークをダンプ>させます。するとなんとなくトゲトゲが滑らかに近付いたような? ただ、えりっこ隊長の言うように、補正係数「 R_n 」はピークを検出して叩くことはできるけれど、ディップは復活しないという点に注意です。本物の吸音は左ページの図の青線のようにピークもディップもフラットに近付いていくわけですが……。このことを頭のすみに置いて続きを見ていきましょう!

Build UP Your Studio



中層と下層の測定結果を
 $f_c=80\text{Hz}$ 、 24dB/oct
 のクロスオーバーで合成！

— 1/1MIL 実測
 — 1/10 模型 Middle



【図 4】 Middle レイヤー全チャンネル比較

モードEQされた模型データから、 MILの音響特性を導き出せるか！？

え：みなさんお待ちかねの分析タイム！どんなことが分かりそうかな？
 (【図 4】 【図 5】)

り：ぼんやり眺めてみると、MIL 実測と 1/10 模型でなんとなく合っている結果になっているような気がするけど...

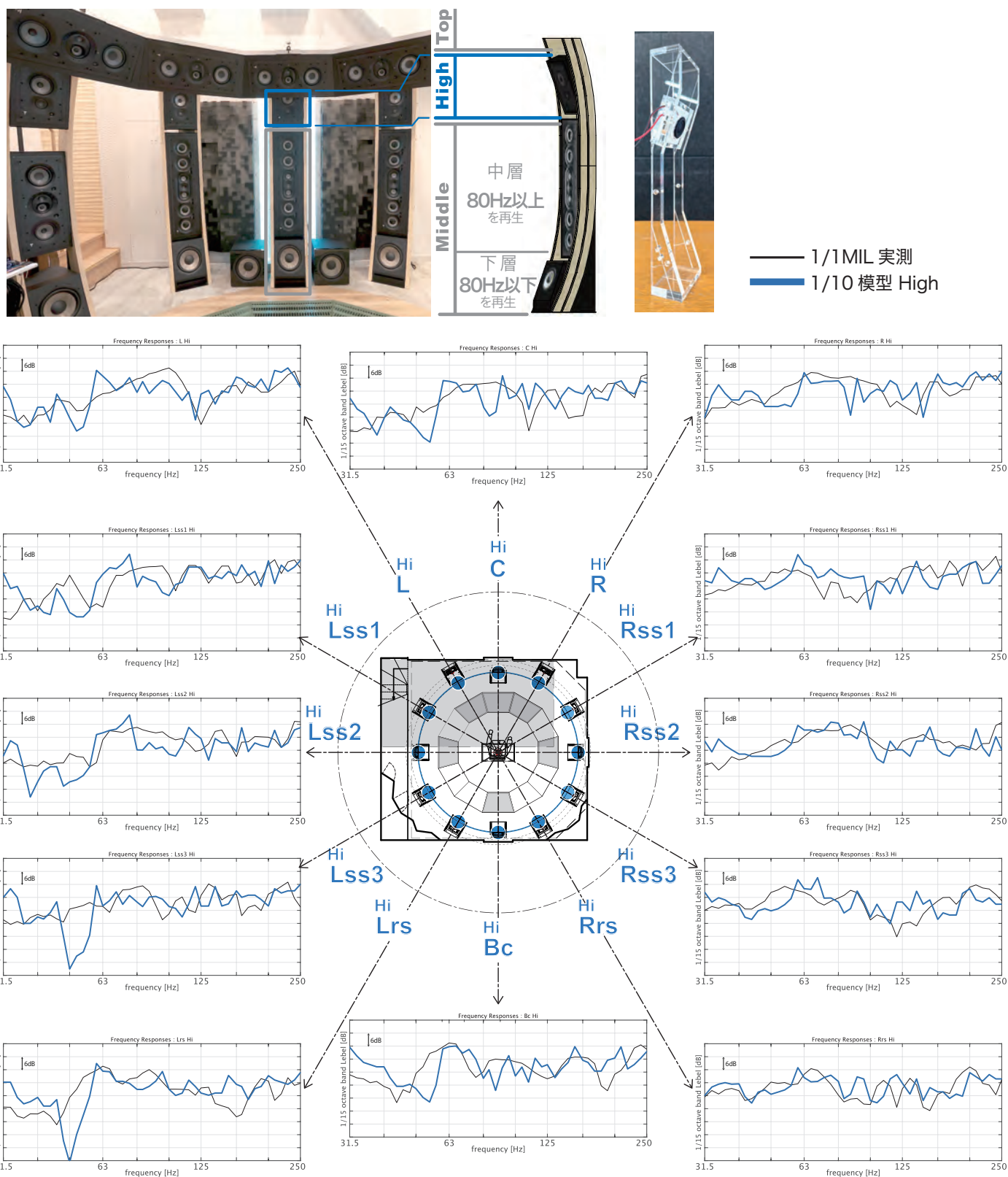
ま：Middle レイヤーをみると左側・後ろ・右側でまとまりがあるよう

に見えるでげす。右側のチャンネルにいたっては、Middle も High も MIL 実測とかなり似てるように見えるから、1/10 模型のデータを信頼しても良さそうでげす？

イケ麺：ダンプ EQ のお陰で見やすくなっていますが、細かくグラフをみると・・・うーん、少し違う部分がありますね。

り：そうね。例えば Middle C は、MIL 実測にもある 50Hz 付近のディップが、1/10 模型だとかなり深くなってるわね。

イケ麺：その隣の Middle L も似たような感じですし、他のチャンネルでも 40、50Hz のディップが目立つものがありますね。



【図 5】 High レイヤー全チャンネル比較

え：Middle Lss3 の 50Hz 付近は、MIL 実測にはないのに 1/10 模型にだけディップができてちゃってるわ。

り：でもよく見ると、MIL の 45Hz 位のゆるめの谷が、1/10 模型だと深くなっちゃってるようにも見えない？

え：確かにそう見えなくもないわね。

ま：High についても同じような傾向があるでげす。例えば High Lrs の 50Hz 付近も、MIL 実測より 1/10 模型の方が深くなってるように見えますね。

イケ麺：High C は Middle C と同じように 50Hz のディップが目立ち

ますね。

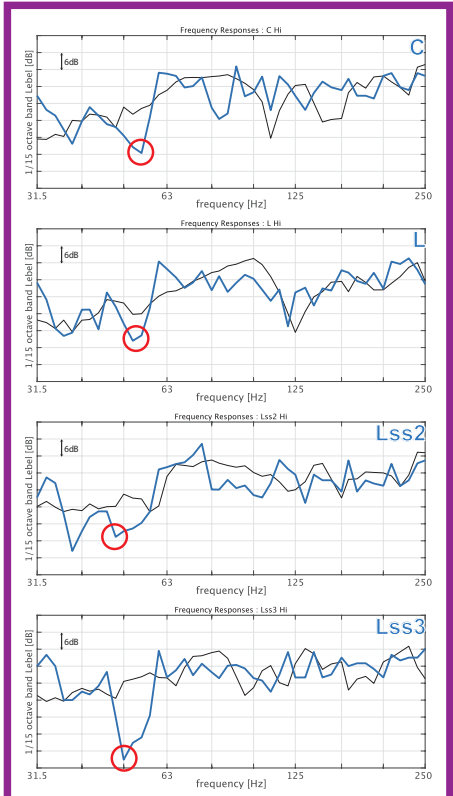
り：確かに Middle と High で似た傾向のチャンネルが多く見えるけど、そうじゃないのも結構ありそうよ。

イケ麺：そうですね。Middle Rss2 の 100Hz なんて、MIL 実測にはないディップがありますし・・・うーん混乱してきました！

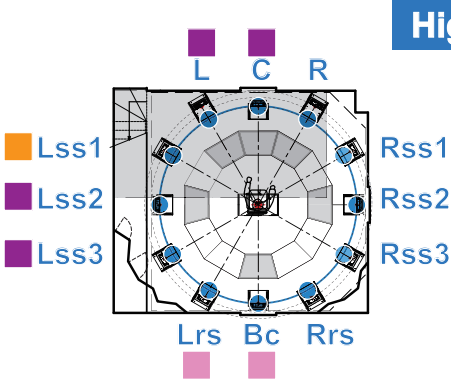
え：混乱した時は、視点を変えてみるのも重要よ。次は似たもの同士を集めてグループ分けして眺めてみるのはどう？

り、ま、イケ麺：了解！（えりっ隊長、がーさす！）

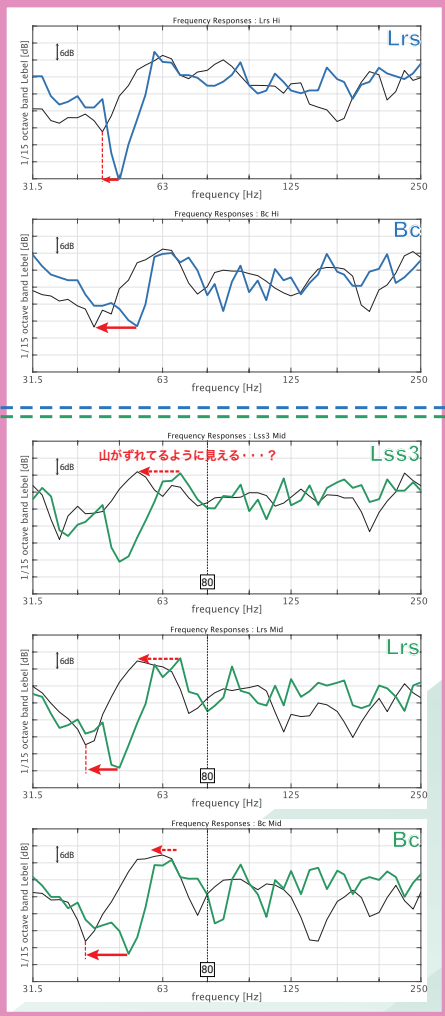
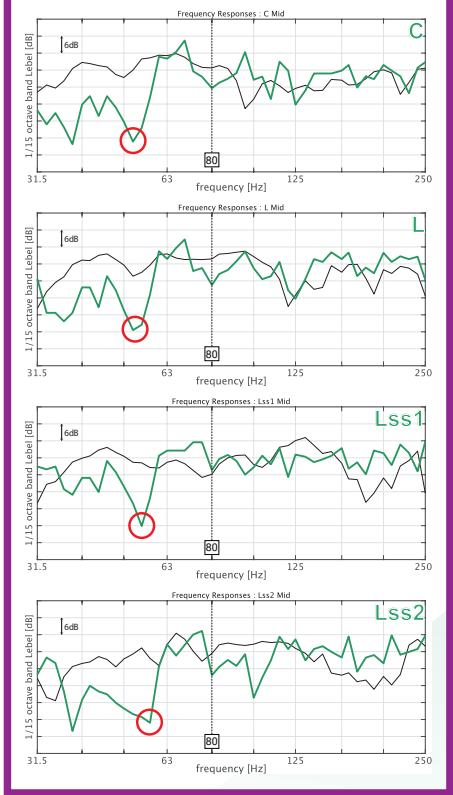
整理検証大会のはじまり！測定結果をグループ分けして眺めてみよう



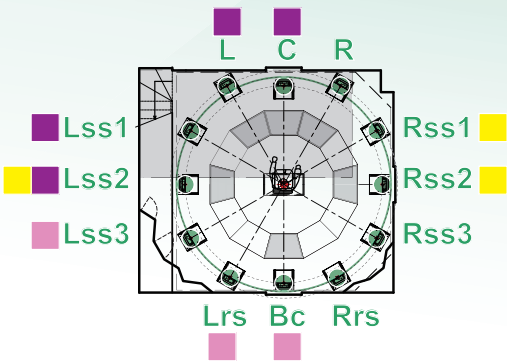
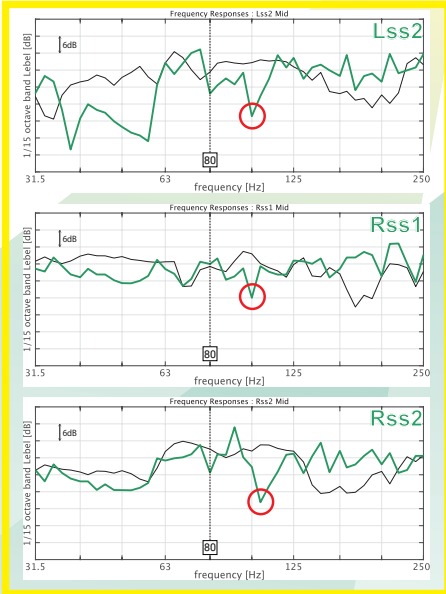
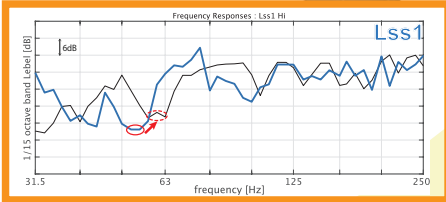
1/10 模型の 50Hz 付近のディップが左に動けば MIL に似てきそうですが！でも Middle はディップよりもピークがずれてるように見える・・・



これだけ 1/10 模型の 50Hz のディップを右に動かしたら MIL に似てきそうじゃない？



山がずれてるように見える・・・？



1/10 模型だけ 100Hz 付近にディップがありますね。



1/10 模型の 50Hz 付近に大きなディップが目立つわね。

【図 6】 Middle レイヤー、High レイヤーカテゴリ分け

ま：大きく4つに分けてみたでげす。(【図6】)

え：紫カテゴリは、40Hzとか50HzのディップがMIL実測よりもさらに深〜いディップになってるチャンネルを集めてみたわ。

り：平面的にみると、左側に非常に多いね。ここは天井が高い部分と低い部分があるけど意外と形が似ているわ。

イケ麺：天井形状が違うなら、傾向も同じにならないと考えていたのですが、とても不思議です。

ま：ピンクカテゴリは、MIL実測のグラフに似てそうだから信頼できそうじゃないですか？だけど50Hz近辺のディップが左に動くとさらに似てきて嬉しい感じでげす！・・・ん？Middle Lss3はディップというよりピークの山が左に動くと、MIL実測とピタッとはまりそうでげす。

り：一人ぼちなオレンジカテゴリは50Hzの大きなディップを右にずらせばMIL実測に似るんじゃないかしら。おまけに100Hzあたりの谷部分もなんとなく合いそうね。

イケ麺：黄色カテゴリは、1/10模型にだけ100Hz付近にディップが発生しているものですね。

り：しかも模型のMiddleだけにあるようね。

え：なんでこんな現象が起きてるんだろう？MILにあって1/10模型にないものとは・・・

ま：例えばピンクカテゴリに当てはまるチャンネルがある左側・後方は、MILには機材ラックがあったり、大きな棚があるでげす！

イケ麺：でも右側にも同じような大きな棚があるけど、ピンクカテゴリは左チャンネルに偏ってますね。なぜでしょう。

り：1/10模型での測定は、音源スピーカーのチャンネル以外は何も無い状態だけど、実際のMILは常に12ch分のスピーカースタンドが立ってたね。

え：TOPスピーカーも12ch分あるわよ。MILは吹抜けに飛び出す形で取り付けたから、Focalの付け方とスピーカーケーブルの引き回し方、いっぱい考えたなあ。

ま：えりっこ隊長が思い出に浸ってるでげす！戻ってきてくださ〜い。

え：家具とかだけじゃなくて、1/10模型はツルビカ、実際のMILは壁も天井も吸音とかしてるのも大きな違いじゃない？

イケ麺：そうですね。そういった違いがグラフの山谷の具合とかに繋がってるのかもしれないですね。

ま：1/10模型の特性をMIL実測に近づけるためには、実際に色々工夫した方が良さそうです。と、いうことで!!!まずは吸音材を入れて測ってみるとかどうでげすか!?

え：お!いつにも増してテンション高いわね。

ま：実は趣味で集めている材料別の吸音率データがあるでげす!!

り：それじゃあその趣味データから、MILの特性に近付けそうな材料を探してみましょう。

え：ちょっと待って。この趣味データって実物大の吸音率データってことよね。模型に使うのであれば、1/10模型用の吸音率が必要だわ。

ま：そうすると吸音材の厚さが変わるから吸音率も変わって・・・1/10模型用の吸音率データを予測計算をする必要があるでげす!

え：そうすると、今から計算式を考えて、吸音率を算出して最適な吸音材を決めるということになるわね。

イケ麺：みなさん!そろそろ誌面が足りなくなります。

り：模型測定については次号になりそう。

え：そうね、次号に向けて模型測定の下準備までするのはどうかな。

り、ま、イケ麺：賛成!

下準備ということで、大切にしまわれていたMILの模型を出し、模型ボックスの歪みが無いかや、模型用測定機器が正常に動くかなど確認しました。吸音材の選定はMILで使われている吸音材を入れるわけにはいきません。例えばガラスウールだったらガラス繊維(数ミクロンという細さ!)の更に1/10の太さのものが必ずですが、用意するには難しいのが現実です。最適な吸音材を選ぶために、簡易的に吸音率を計算してみています。詳細は次号をお楽しみに!

談話室

麺

今回のデータまとめ大変だったね

既読

え

ご苦労様!
今回は模型測定だね。あ〜、あの小さなスピーカ可愛い。

既読

り

模型の吸音材を切り出すのすごい時間がかかったね。1セット切り出すのに3時間も使ってたね。

既読

麺

午前中の業務時間が、吸音材カット時間に早変わりというやつです。

既読

え

いつも座り仕事だから、自分の体力が無くなっていたことに驚いたよ...

既読

皆そうです...

ま

既読

株式会社ソナ (SONA Corporation)

音響計算から現場施工、そしてシステム設計やモニタ調整まで、スタジオづくりの入口から出口までを自社でまかなっている小さな工務店。防音建具、防振ゴム、音響パネル、特注スピーカ、そして音響シミュレーションや測定システムなど、スタジオをより高性能に設計施工するために重要なものは自社開発するフロンティア精神が伝統。1975年より、レコード会社、映画会社、放送局、ポストプロダクションなどの大手スタジオや、アーティスト、クリエイターなどのパーソナル・スタジオなど、ほとんどの種類のスタジオをユーザーからの直接依頼につくり続けている音響工務店、ソナ。

えりっこ隊長

株式会社ソナ 設計技術部 課長

千葉県出身。趣味はCAD新機能探しと音楽ライブ鑑賞とビール。最近もつぱら瓶ビール党です。先日久しぶりにスタンディングライブに行ったら足腰やられました。やっぱりゆるりと楽しめるフェスが好いです。

りつこ隊長

株式会社ソナ 設計技術部 課長

長野県出身。実家は山小屋専門店。大工さんに囲まれて育ちました。冬には身の丈ほどの氷柱で遊び薪ストーブで暖をとるのが恒例です。「理由のあるかたち」をモットーに機能を備えたデザインを探索しています。

中原雅考

株式会社ソナ 専務取締役 / オンフューチャー株式会社 代表取締役 / 博士(芸術工学)

山口県出身。下関で高校時代を、小倉で浪人時代を過ごし、福岡で音響を学んだ後、1995年に上京。「人事を尽くして天命に勝つ」が座右の銘。結果よりもプロセスに価値があると思っている。音響設計においては、知識や経験からの勝手な妄想ではなく、音響理論を図面上の線に直結して生み出される「かたち」が本来の設計(デザイン)だと考えているが、その領域にはほど遠い。名言コーナー：天才とは努力する凡才のことである。

(アインシュタイン)

まっつん隊員

株式会社ソナ 設計技術部

茨城県出身。某国家試験の2次試験のため勉強漬けの毎日です。先日ストレス発散のため音響関連の本を値段を見ずに購入したところ5万円以上散財しました。部屋が本で埋まりそうなので、売れない古本をデータ化しようとしています。

イケイケ・イケウチ製麺隊員

株式会社ソナ 設計技術部

香川県出身。土木を学び橋梁メーカーで設計をしている中、レコーディング・ミキシングにハマリ上京して再び学生に戻り音響を学ぶ。現在は建築・音響設計に励んでいます。注)好奇心旺盛、なんでも知りたい欲あり。