



## パーソナル・スタジオ設計の音響学 その26 特別編「音響設計実践道場」1/1の世界で音響設計！ ～第七回 実測！吹き抜けのある空間～

sona

PERSONAL Studio Design

### 1/10の世界と1/1の世界

(中原雅考)

MILスタジオに導入するスピーカの性格を把握した隊員たちは、実際にそれらのスピーカをインストールして43.2chの4 $\pi$ 再生環境を構築しました。完成したMILスタジオの様子は、前号でご覧頂くことができます(2022 No. 26のp.18～33)。

これで「音響設計実践道場編」も一件落着？  
…ではありません。実はここからがスタートです。

吹き抜けのある空間、すなわちMILスタジオは、とても複雑な室形状をしています。3年前の音響設計実践道場「第二回 続 吹き抜けのある空間」を覚えていらっしゃいますでしょうか。

実は、あの時の1/10模型がMILスタジオだったのです(【図1】)。実は、MILスタジオの音響設計のために、隊員たちは模型まで製作して実験を行っていたんですね。しかも、部屋だけでなく1/10スピーカも！

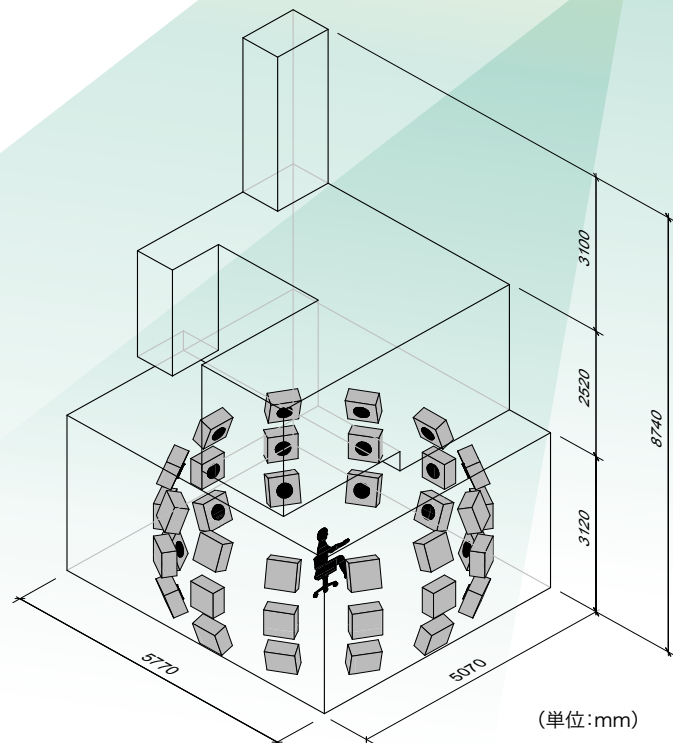
あれから3年  
その時のスピーカ(チャンネル)の測定結果を  
隊員たちは覚えているでしょうか？  
複雑な形状で左右非対称のMILスタジオなので  
特性もチャンネルによってかなりバラバラに  
…ということにはならず、  
数種類のカテゴリーにまとめることができていましたね。

さて、本物のMILスタジオ(1/1スケール)ではどうでしょう？

3年前の模型実験では  
床の吸音有り無しの条件の測定も実施しました。  
実際の部屋では  
どちらの条件に近い結果が得られているのでしょうか？

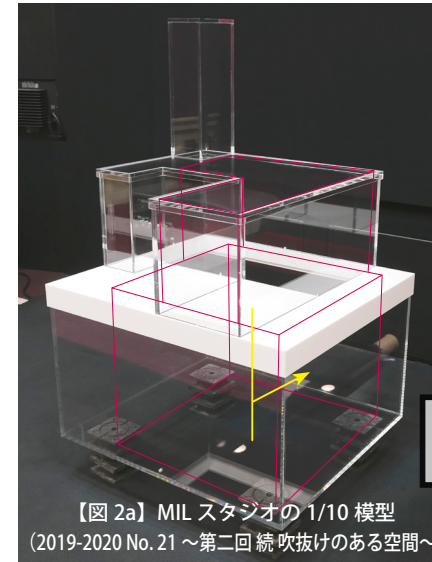
今回、隊員のみなさんには  
模型と実際の結果を比較検証して頂きます。  
そして次回からはいよいよ  
部屋のモードや反射音の影響とスピーカ特性の関係の探索  
すなわち  
部屋の音響特性のチューニングの実践に入って頂きます。

いよいよ「音響設計実践道場」編の  
クライマックスに突入します。

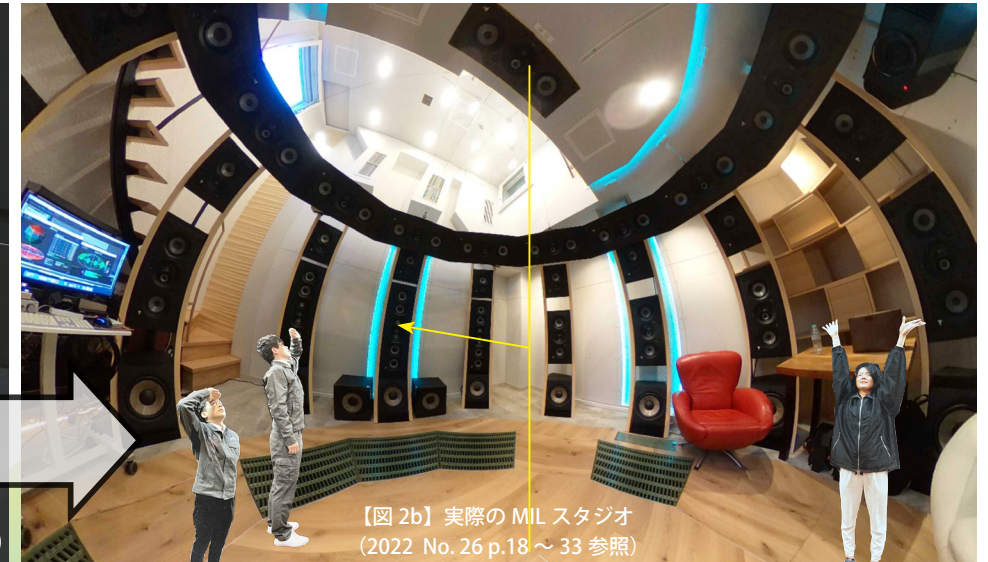


【図1】MILスタジオの1/10模型図面(寸法は実物換算)  
「2019-2020 No. 21～第二回 続 吹き抜けのある空間～」より

### ～第二回 続 吹き抜けのある空間～の復習、そして現実の空間 (中原雅考)



【図2a】MILスタジオの1/10模型  
(2019-2020 No. 21～第二回 続 吹き抜けのある空間～)



【図2b】実際のMILスタジオ  
(2022 No. 26 p.18～33 参照)

MILスタジオの複雑な室形状は、模型を眺めるとよく分かります。【図2a】が3年前(～第二回 続 吹き抜けのある空間～2019-2020 No.21)に実験測定を行った1/10模型ですが、MILスタジオはこの写真の赤の線で囲まれたエリアに構築されています。ちなみに、黄色の矢印はリスニングポイントからCチャンネルスピーカに向かう方向、すなわち正面方向を示しています。一方、【図2b】が実際に竣工したMILスタジオになりますが、部屋に入るときれいな球面配置のスピーカ群に囲まれるためか、非対称で複雑な部屋形状のことを忘れてしまいます。人間には鈍感な室形状感覚も、音は室形状に敏感に反応します。さて、MILにインストールされた43.2chのスピーカに、部屋の形状はどのような影響を与えているのでしょうか。また、3年前にも検証した1/10模型での測定結果は、実際の部屋の特性に反映されているのでしょうか。

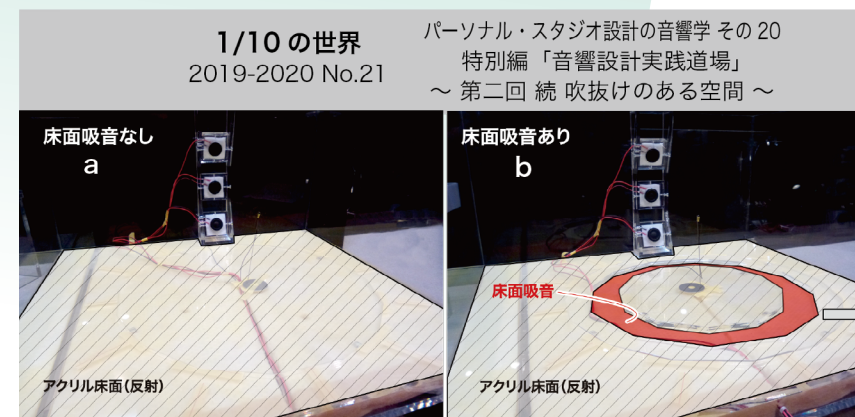
3年前の模型実験の時に、2種類の条件でスピーカ特性の測定を実施したことを覚えていらっしゃるでしょうか。「床を全面反射」にした条件と「床の一部を吸音」にした条件の2種類です(【図3a】)。前号のMILスタジオのレポートでも紹介されていますように、MILスタジオでは4 $\pi$ 再生を実現するために、床下にもスピーカが埋め込まれています。そのために、床には、リスニングポイン

トを囲む同心円状のピットが設けてあります。このピット、すなわち床の掘り込みが吸音として作用した場合を想定しての模型実験が、【図3a】の右の写真ということになります。

3年前の1/10模型では、オレンジの円形状に床の吸音が存在すると仮定して測定を実施しましたが、実際のMILスタジオではどうなのでしょう？

【図3b】が、現状のMILスタジオの床の様子となります。同心円状のピットの全ての箇所にはスピーカは(まだ)入っておらず、b'の6箇所のみにスピーカが埋め込まれている状態です。つまりb'の箇所は音が透過するグレーチングの蓋の床でその奥にはスピーカが埋め込まれており、その他のaの箇所は通常の反射の床となっている状態が、実際のMILスタジオということになります。床面で反射音が発生しない＝吸音だと解釈すれば、b'の箇所が模型実験での床吸音の条件に近い状態ということになるのでしょうか。但し、リスニングポイント背後のBsチャンネルのb'の箇所は、現状ではソファの下敷きとなっています…

1/10の世界(模型)と1/1の現実(実際のMILスタジオ)では微妙に違いがありそうです。そここのところを含めて、模型実験での測定結果と実際のMILスタジオでの測定結果を比較するところから、隊員の皆さんには始めて頂くことにしましょう。



【図3a】1/10模型での床の条件(左：全面反射、右：一部吸音)  
(2019-2020 No. 21～第二回 続 吹き抜けのある空間～)



【図3b】実際のMILスタジオ  
(2022 No. 26 p.18～33 参照)



## 全チャンネル測定の結果はいかに！

イーデーデ IDE 隊員（以下、イーデ）：全チャンネル測定してきたデェ！模型実験から早3年。設計から工事に携わらせてもらったスタジオを測定するってのは感慨深いもんなあ…。

イケイケ・イケウチ製麺隊員（以下、イケ麺）：本当に 360°スピーカーに囲まれてましたね！！凄かったです！

まっつん先輩隊員（以下、ま）：あれが 43.2 チャンネルの 4  $\pi$  空間でげすよ〜！萌える〜！

りっこ隊長（以下、り）：（若いっていいわねえ…。）

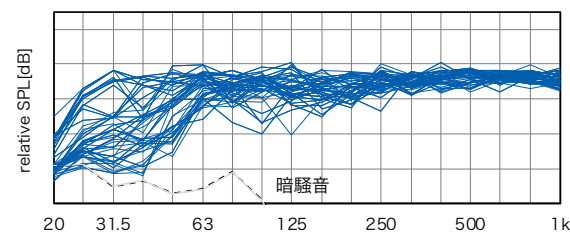
えりっこ隊長（以下、え）：さあさあ、浸ってないで結果を眺めてみるわよ！

イーデ：了解！これが MIL の 43 チャンネル分の特性や！

え・り・ま・イケ麺：こ、これが…………。

り：分かってはいたけどぐちゃぐちゃね。でも大丈夫。ミカミ名誉隊長が導いてくれるはず！落ち着いてグルーピングしてみよう。

え：手始めに Middle レイヤーの低域特性に注目よ！



【図 4】全測定結果一書きき！（Bottom6 台、Middle12 台、High12 台、Top13 台、計 43 台です。）

ここでもう一度「音響実験道場 その 20」を思い出してみましょう。測定結果のまとめに困ったミカミ名誉隊長が測定結果を次のようにタイプ分けしていましたよね。

63 と 100 [Hz] に“ツイン・ピーク”が見える。  
50 [Hz] がグッと下がっている。 → **A タイプ** **E タイプ**

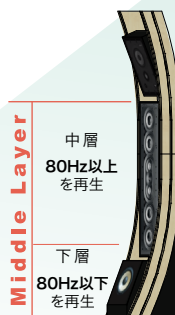
63 [Hz] に“シングル・ピーク”。  
50 [Hz] はそんなに下がっていない。 → **B タイプ** **F タイプ**

50 [Hz] がグッと下がっている。  
目立ったピークはなく、63 [Hz] から先はなだらかな高地。 → **C タイプ** **G タイプ**

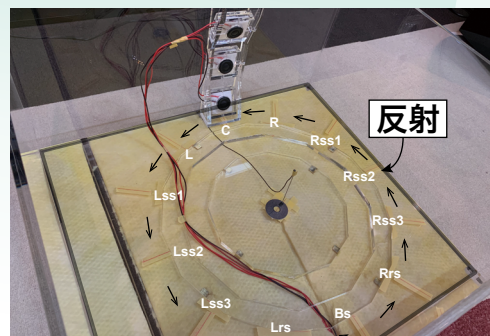
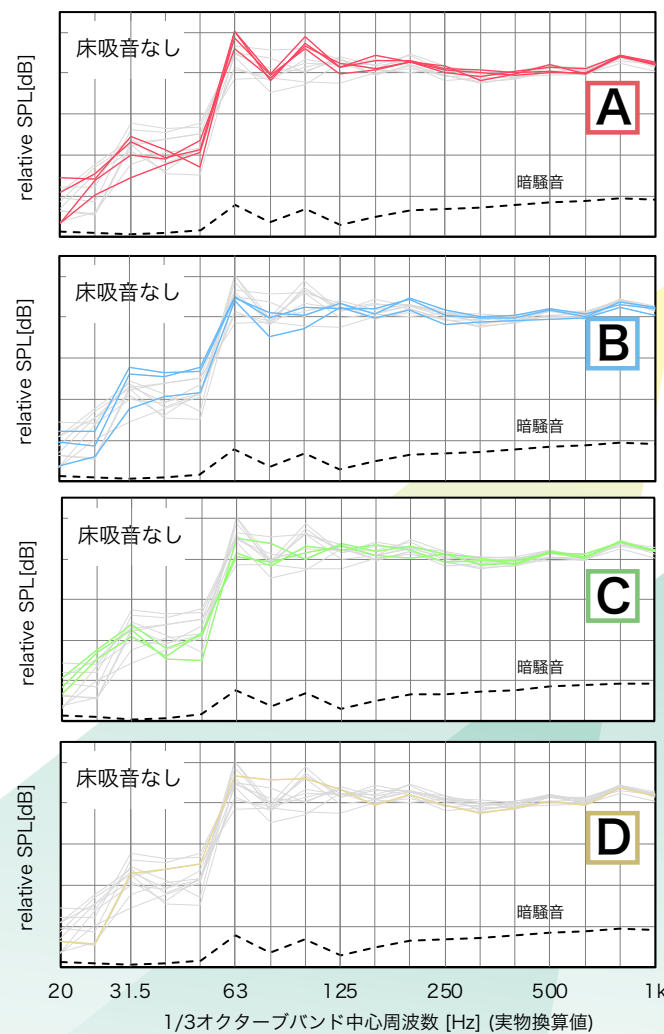
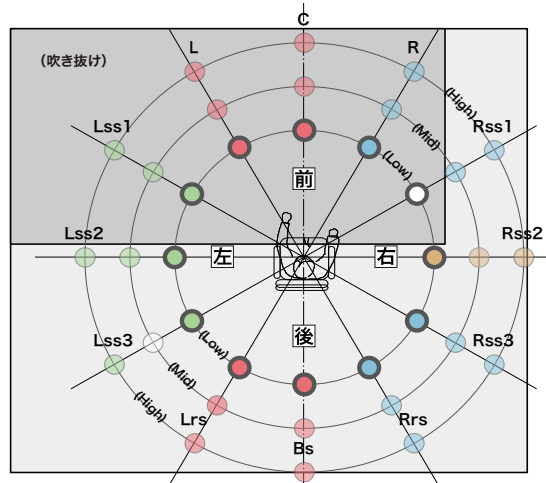
50 [Hz] はそんなに下がっていない。  
63 [Hz] にピークがあって、その先はなだらかに下がる。 → **D タイプ** **H タイプ**

この分類にならって模型実験の結果と本物の空間の測定結果を並べてみます。今回ご紹介するのは Middle レイヤーの伝送特性ですが、ご存知の通り Middle レイヤーはローボックスを備えており 80Hz 以下の帯域は Low レイヤーから再生されます。今回は低域特性に着目したいので、模型実験の下層に置いたスピーカーと比較することにした。（え：MIL のシステムについては Proceed Magazine 2022 No.26 P.24 を参照ね。）

【図 6】が実測した Focal（Middle レイヤー）の伝送特性です。左右に 1/10 模型で下層に設置したスピーカーの伝送特性を並べました。左は模型の床を反射にした場合（【図 5】）、右は床にグラスウールを敷き詰めた場合です（【図 7】）。それでは隊員たちに模型実験と現実空間の共通点や違いを考えてもらいましょう。

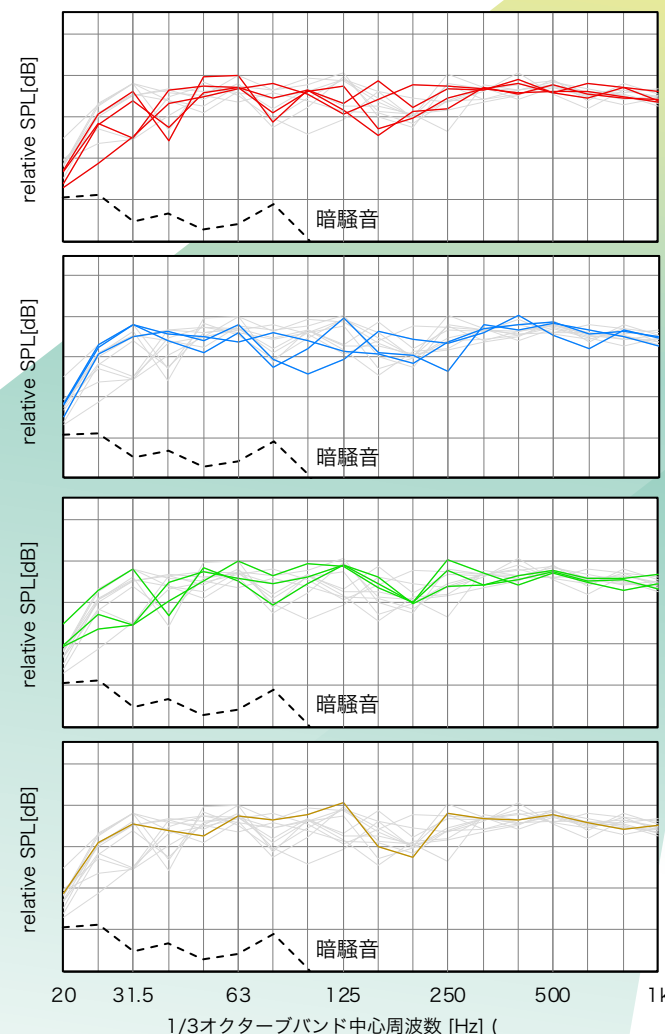
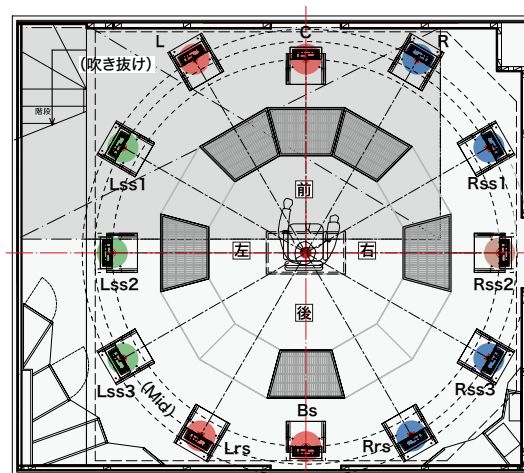


## 1/10 模型の測定結果：床面吸音なし



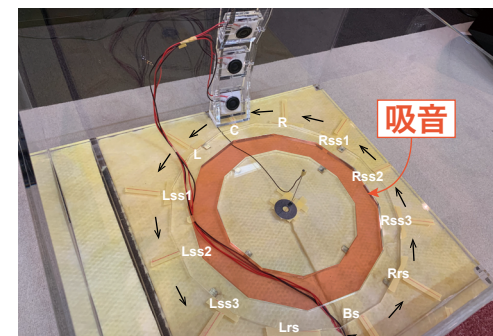
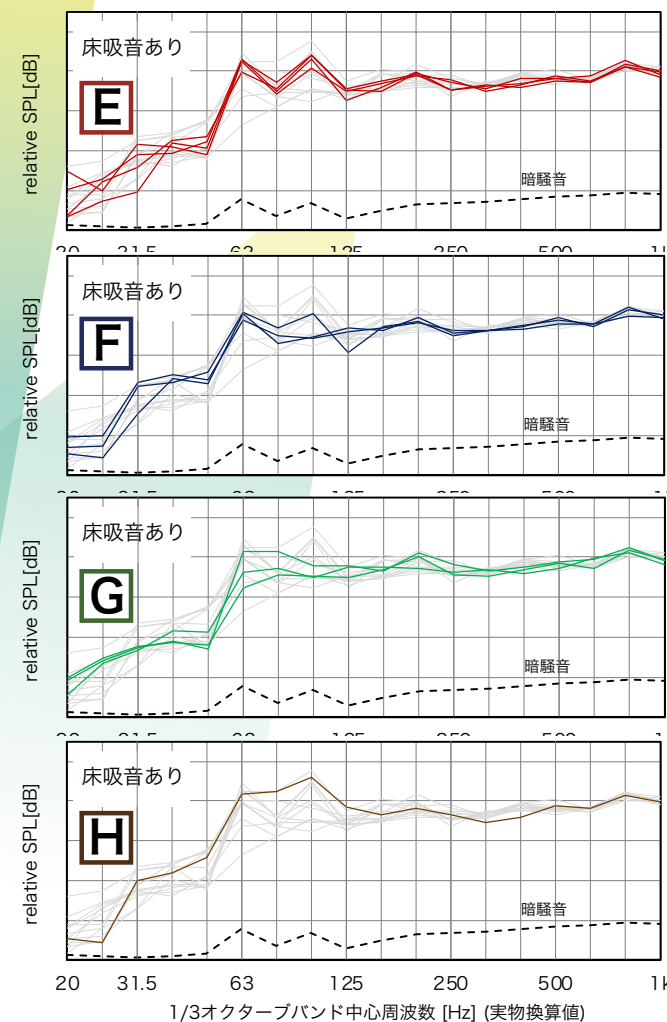
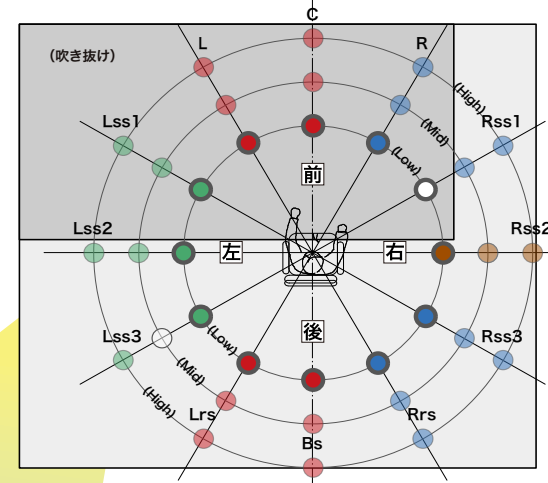
【図 5】模型実験（床吸音なし：Low Layer）の測定結果 A～D タイプにグループ分けできました。

## 1/1 のMIL を実測！



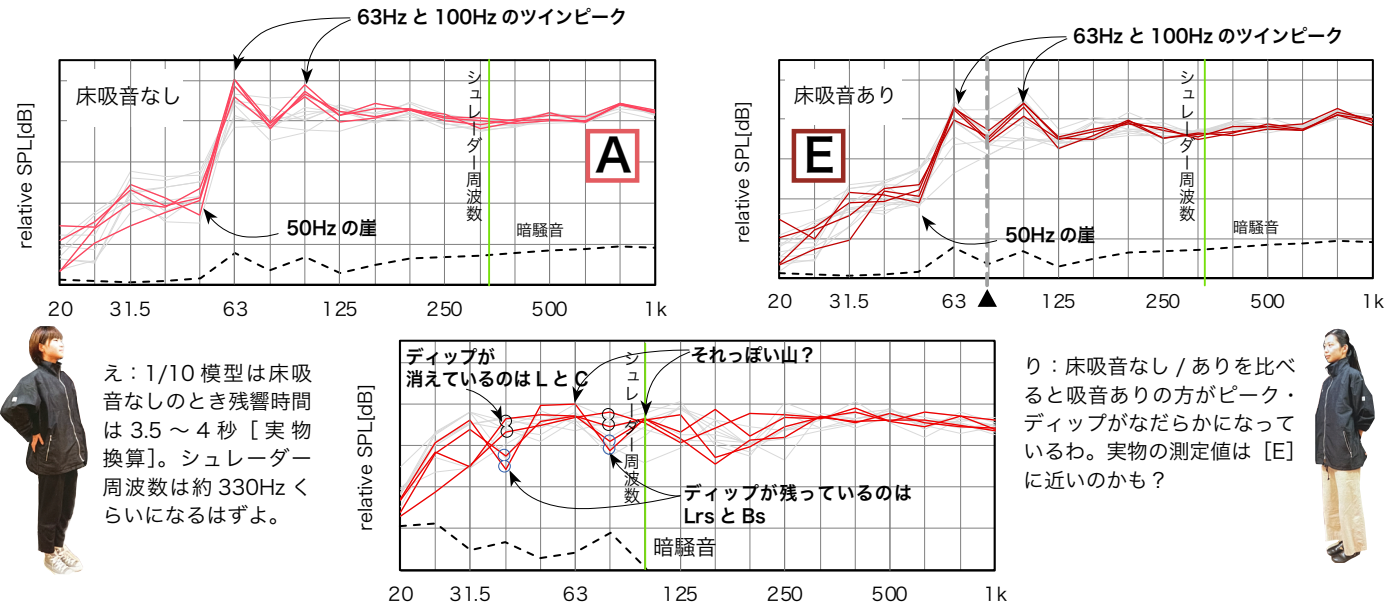
【図 6】実物（Middle Layer）の測定結果 左右の 1/10 模型の結果を比べてみると・・・？

## 1/10 模型の測定結果：床面吸音あり



【図 7】模型実験（床吸音あり：Low Layer）の測定結果 E～H タイプにグループ分けできました。





【図8】 模型と実物を見比べよう！面影が残っているでしょうか。

**イケ麺：**うーん。似ているような似ていないような。やっぱり模型の薄型スピーカーと Focal のフルレンジスピーカー（ローボックス付き！）だと低域の特性が違いすぎて見比べにくいですね。

**イーデ：**Focal は低域が伸びてるもんなあ。

**え：**そうね。比較しやすくするためにアレコレ処理をするのは次回試してみるとして、まずはこの空間ではどこから「低域」になるのかシュレーダー周波数を確認してみましょうか。

**ま：**測定したインパルス応答から算出した残響時間は約 0.3 秒でした。ってことはこの空間のシュレーダー周波数は大体 110Hz。つまり 220Hz 以下を低域として扱うのが良さそうですね。

シュレーダー周波数については Proceed Magazine 創刊号に詳しく掲載されています。実用的にはシュレーダー周波数の 2 倍が「低域と呼ばれる上限」とする見方からいくと、110Hz x 2 = 220Hz 以下ということになりますね。さすがまっつん上級隊員！これまでの実践が身に付いています。

**り：**模型実験のときと比べてなんとなくピーク・ディップが押さえられているような・・・やっぱり現実の空間だとツルピカなアクリル模型よりも吸音が増えて山谷がダンプされるのかしら？

**イーデ：**ひそひそ。（実は待ちきれなくてちょっとだけピークを叩く EQ をかけちゃったんやデェ〜。でも今回注目している低域には影響していないはずから堪忍してや…。）

**ま：**こそこそ。（モニター特性を測定するときは未加工の生データを残しておきなさいって Dr. 中原が口酸っぱく言ってたでげすよ！）

**イケ麺：**ぼそぼそ。（まずいじゃないですか！次号までにこっそり差し替えておかないと！）

**え・り：**（丸聞こえよ、まったく。まだまだ若いわねえ・・・。）

読者のみなさま、わけあって今回ご紹介しているデータは素のままの特性ではなく少々 EQ がかけられているものです。りつこ隊長の言うように現実空間では音が多少吸収されやすくなりますが、それだけの違いではないことをお含みおきください。今回は多少の EQ ではびくともしない低域の特性に注目していくので大勢に影響はないものの・・・。隊員たちは Dr. 中原にこっそり絞られることでしょう…。合掌。

**え：**閑話休題。さっそく順番に見ていきましょう。A タイプ・E タイプと実際の測定値を見比べると、低域に模型実験の名残がみつけれそうじゃない？

**イケ麺：**スピーカー自体の特性が違うのでミカミ名誉隊長のタイプ分けコメントにある「50Hz でぐっと落ちる」傾向は見えにくいですね。「63Hz と 100Hz のツインピーク」はそれっぽい山がありますね。

**イーデ：**細かく見ると 4 本の測定データのうち 2 本ずつで傾向が違っているデェ。

**ま：**ディップが残っているのとそうでもないのがあるでげす。

**イーデ：**ディップが残っているのは Lrs と Bs チャンネル、ディップが消えているのは C と L チャンネルやデェ。

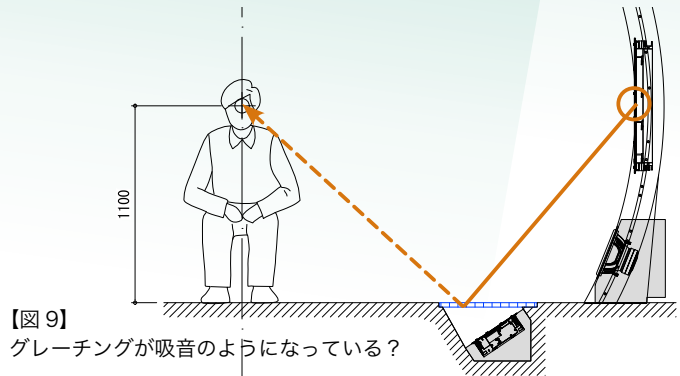
**り：**Lrs・Bs チャンネルの方が模型実験の「床吸音なし」の名残があるね。C・L チャンネルとの違いはなんだろう。みんな、思いつくことはある？

**イケ麺：**そうですね・・・。あ、もしかして床の違いじゃないですか？ MIL の床は特殊な構造になっていましたよね。C と L の前の床はグレーチング（格子状の床）になっていて、「床吸音あり」に似た状況になっている一方、Lrs の前の床はフローリングで反射になっていたと思います。

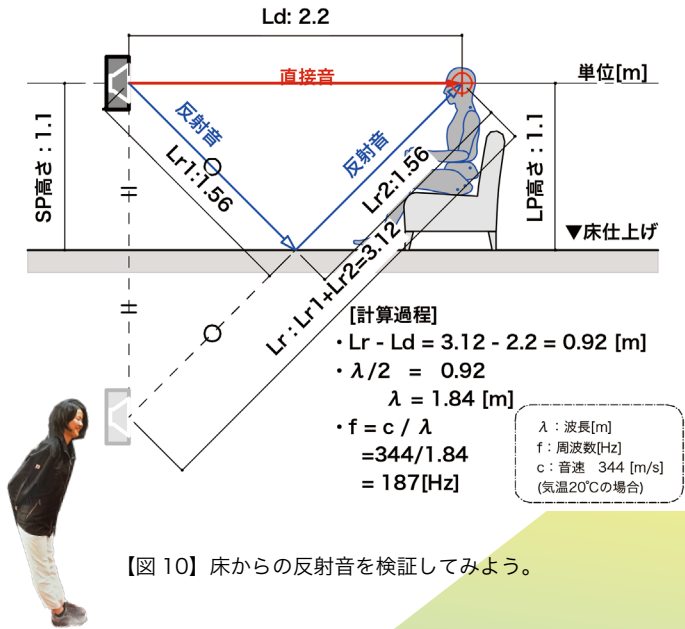
**イーデ：**そうやそうや！ Bs チャンネルの前の床は設計上グレーチングやけど、測定時は家具が置いてあったから「床吸音なし」と近い状況やったデェ〜。

**え：**さすが！よく観察してますね。

**り：**いいじゃん、いいじゃん♪名推理なんじゃない？まっつん隊員、床反射の影響がありそうな周波数をさくっと計算しちゃって〜！



【図9】 グレーチングが吸音のようになっている？



【図10】 床からの反射音を検証してみよう。

**ま：**合点承知！まず、音源と受音点の関係を整理するでげすよ。

## ■ディップの正体が判明！？

**ま：**床反射の影響があると思われる Lrs チャンネルからリスニングポイントまでの距離、つまり直接音の行路は 2.2m でげす。床からの反射音の行路は 3.12m なので、その差は 0.92m。ディップが起きるのは 0.92m の 2 倍の長さを波長とする周波数なので、答えは・・・187Hz でげす！

**イケ麺：**…あれ…？

**イーデ：**80Hz やないんかい！

**ま：**どちらかというと 160Hz ～ 200Hz あたりにあるディップが床反射の影響っぽいでげすね。

**り：**う〜ん。反射音によるコムフィルター現象が起こるのは 181Hz 以上の奇数倍の周波数ってことよね。ということは・・・

**え：**残念。名推理じゃなかったみたい。80Hz の謎は迷宮入りかしら。

**イケ麺：**迷宮入りにはさせません！製麺隊員の名にかけて！

**え・り：**（こんなキャラだったかしら・・・）

**イケ麺：**床じゃないなら天井ではないでしょうか！ローボックスは下層レイヤーに配置されているので、天井から遠くなります。つまり反射音の影響が現れる周波数が下がるわけです。

**イーデ：**言われてみれば Lrs・Bs チャンネルは天井が下がっているエリアにあるな。C と L チャンネルは吹き抜けエリアにあるか

ら天井からの反射音が到達するタイミングが違うとすればつじつまが合うデェ・・・！

**ま：**私の計算によると、直接音と天井反射音の行路差はおおよそ 2.1m、ディップが起きるのは 2.1x2 = 4.2m を波長とする周波数・・・約 81Hz でげす！

**イケ麺：**謎はすべて解けt・・・

**え：**あの、水を差すようだけど、天井反射音の違いだとしたら 1/10 模型でも同じことが起きているはずじゃない？それを検討するために吹き抜けのある模型を作ったのだから。

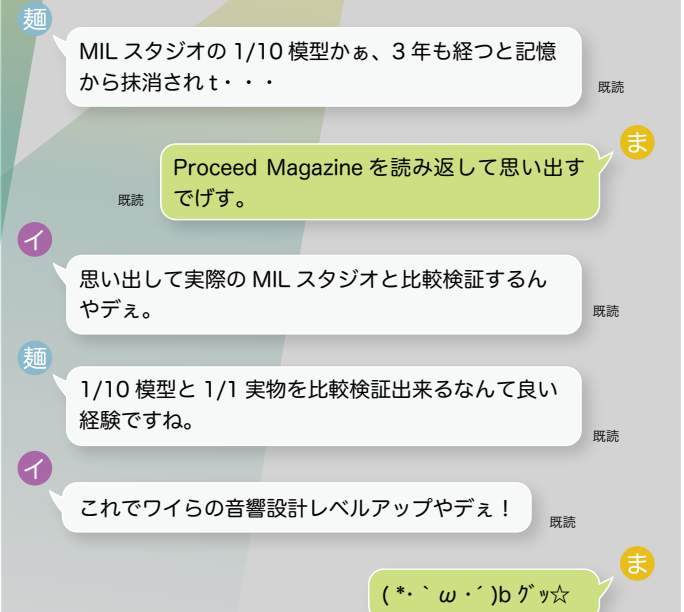
**ま・イケ麺・イーデ：**・・・。（┌┐┐○ガッデム！！）

**り：**振り出しに戻っちゃいましたね。やっぱり原点回帰してモードを紐解くしかないのかも。

**え：**そういえば「第二回 続 吹き抜けのある空間」の隊長日記で「次回への宿題ということに〜」って言ったままになっていたわね。諸君！次こそ、分析大会よ！

**一同：**了解！

## 隊員日報



<b>株式会社 ソナ (SONA Corporation)</b> 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、特注スピーカー、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てつくり続けている音響工務店、ソナ。		
<b>えりつこ隊長</b> 株式会社ソナ 設計技術部 課長 千葉県出身。趣味は音楽鑑賞と BBQ。分かりやすく現場がスムーズに進行できるような設計を模索しながら日々奮闘中。	<b>りつこ隊長</b> 株式会社ソナ 設計技術部 課長 長野県出身。趣味は散歩と読書と美術館巡り。「晴耕雨読」が座右の銘です。「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。	<b>中原雅考</b> 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聴す」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、知識や経験からのイマジネーションではなく、音響理論を図面上の線に直結させて形を生み出す作業が本来の設計だと考えているが、まだまだその領域には遠い。名言コーナー：勝利の女神が最も嫌うものは何か。「言い訳」である。（野村克也）
<b>まっつん隊員</b> 株式会社ソナ 設計技術部 茨城県出身。旅行ができないので、自宅でピアノを弾いているが、ピアノから伝わる固体伝搬音が気になり、防振対策をしようとしている。音響理論を建築に落とし込み、実現させるにはどうすれば良いか日々頭を悩ませている。	<b>イケイケ・イケウチ製麺隊員</b> 株式会社ソナ 設計技術部 うどん県（香川県）出身。コロナにより里帰り出来ずどん不足です。ピアノや趣味はとりあえず中断... 一級建築士の資格勉強にすべての時間を費やします！次回も同じ文章であれば察してください... (笑)	<b>イーディーデ IDE 隊員</b> 株式会社ソナ 設計技術部 大阪府出身。ボケ担当。空気中を伝搬する音（ボケ）に対して反射（ツツコミ）、拡散（ノリツツコミ）、吸音（スルー）を駆使し、均整のとれた音空間を実現する話術には定評があるスタジオ設計パダワンも 4 年目。