



今回のお題

（中原雅考）

「音圧吸収型吸音材」としての「ビン(瓶)」。

今回は、これを使って 100Hz までの低域特性を理想の特性に近づけることに成功しました。

これが可能となったのも、ビンが「周波数依存性」のある「音圧吸収型」の吸音材だからです。

またビンは、狙った周波数の振幅特性だけではなく他の帯域の位相特性まで変化させてしまうようで

今回はこれが思わぬラッキーな結果をもたらしたようです。

このような低域特性への作用（効き方）は

グラスウールなどの「粒子速度吸収型」の吸音材では真似できません。

位相的なことなど理解できていないビンの音響的性格はまだ多く、今後の探求が必要ではありますが

ここはひとまず低域の世界から抜け出して「中高域の世界」に移りましょう。

今回、隊員の皆さんには、部屋の響きの設計に取りかかって頂きます。

その第一段階として、スタジオ（コントロールルーム）として

適切な「デッドさ」を設計して頂きましょう。

そのために必要とされる知識は「統計音響学」です。

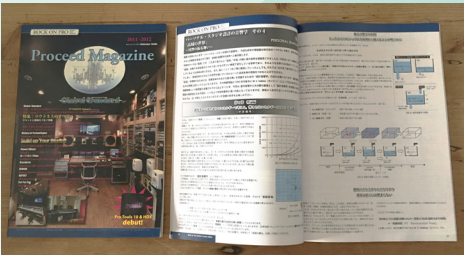
ということで、本連載を 13 回遡ることの 6.5 年前の

Proceed Magazine No.5 に掲載されている

パーソナル・スタジオ設計の音響学 その 4

「高域の世界」～残響の振る舞い～

の要点復習から今回は入ることにしましょう。



～ 事前準備の時間 ～

復習～統計音響学とコントロールルーム

（中原雅考）

「残響時間」という言葉は、今から 118 年前の 1900 年に誕生しました。

生みの親は、ハーバード大学の W. C. Sabine（セイビン：1968 ～ 1919）です。

同校の講堂（Fogg Lecture Hall）の音響改善プロジェクトをまかされた W. C. Sabine が、その講堂でいくつかの実験を重ね、

その結果をもとに「統計音響学」という室内音響の理論体系を構築しました。

その副産物として、ホールの音響的な性質を表すことのできる物理量「残響時間」が誕生します。

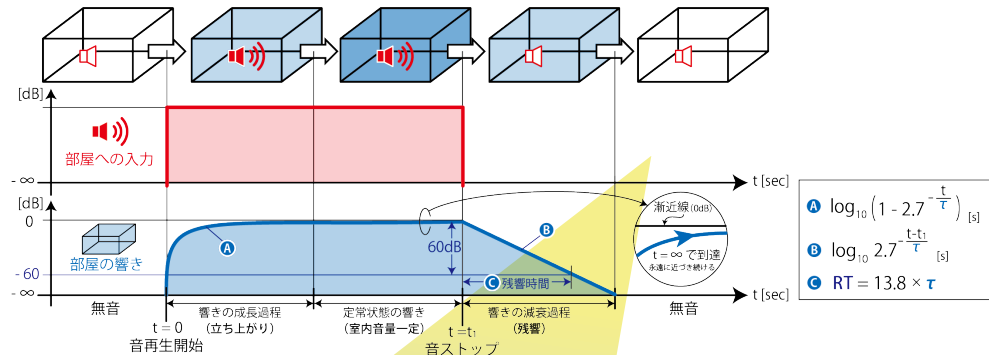
音響改善を任されたら、理論体系を構築するところから始める。技術者たるもの、そうありがたいものです…

統計音響学は、たった一つの原則から成り立っている美しい理論です。

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{1}{\tau} E \quad \text{大きなエネルギーほど早く減る}$$

W. C. Sabine が講堂での実験で発見した宝物が、この原理ということになります。

この原則をもとに、部屋の響きを解き明かすと、以下のようになります。



【図 1】音の再生と部屋の響き

従って、部屋で音を再生すると、

部屋は「じわっ」と響きを供給しはじめ、その響きはやがて一定量になり（近づき）、音を止めると「じわ～っ」と響きがなくなってゆく

といった三段階過程を経ます。

この「じわっと」の加減を決めているのが上図の「 τ 」という値で、

これが部屋によって違うために、響きの量と長さが部屋によって色々と異なるということになります。

そして、この三段階の最後の「響きの減衰過程」に着目し

「音を止めてからその音（部屋の響き）が 60dB 減少するまでの時間」が「残響時間（RT：Reverberation Time）」

という名称で W. C. Sabine によって定義されました。今から 118 年前の 1900 年のことです。

尚、この統計音響学は、部屋が「拡散音場」であることを前提として構築されています。

部屋が拡散音場では無い場合、【図 1】にちょっとした異変が生じてしまいますが…

これに関しては、隊員の皆さんに実験の中で体験して頂きましょう。

RT と $\bar{\alpha}$

部屋の響きのじわっと加減を表す「 τ 」ですが、こちらも W. C. Sabine によって以下のように解き明かされています。

これがまたシンプルな解答でして、 τ は、部屋の形状 (V, S) と部屋の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ のみで表すことができるというものです。

$$\text{Sabine} \quad \tau = 0.0116 \times \frac{V}{S \bar{\alpha}} \longrightarrow \begin{cases} RT_s = 0.161 \times \frac{V}{S \bar{\alpha}} \text{ [s]} \\ \bar{\alpha}_s = 0.161 \times \frac{V}{S RT} \end{cases}$$

（ V：部屋の容積 [m³] RT：部屋の残響時間 [s]
S：部屋の総表面積 [m²] $\bar{\alpha}$ ：部屋の平均吸音率 ）

従って、部屋の響きの長さを表す「残響時間 (RT)」は、部屋の容積 V、部屋の総表面積 S、部屋の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ をもとに予測計算できるということになります。この理論により、コンサートホールの音響設計が開幕となるわけです。

しかし、Sabine の残響公式にも欠点がありました。それは、完全吸音 ($\bar{\alpha}=1$) の時に、残響時間 (RT) が 0 にならないという点です。

それを改善したものが、以下の Eyring の残響公式です。こちらは、Sabine の統計音響理論に幾何音響のエッセンスを加えて上記の矛盾を解決したものとなります。

ということで、スタジオのようなデッドな空間 (平均吸音率 $\bar{\alpha}$ が高い部屋) の音響計算には、こちらを使用することになります。

$$\text{Eyring} \quad \tau = 0.0116 \times \frac{V}{-S \log_e(1-\bar{\alpha})} \longrightarrow \begin{cases} RT_e = 0.161 \times \frac{V}{-S \log_e(1-\bar{\alpha})} \text{ [s]} \\ \bar{\alpha}_e = 1 - 2.7^{-\frac{0.161 V}{S RT}} = 1 - 2.7^{-\bar{\alpha}_s} \end{cases}$$

（ V：部屋の容積 [m³] RT：部屋の残響時間 [s]
S：部屋の総表面積 [m²] $\bar{\alpha}$ ：部屋の平均吸音率 ）

上記の Eyring の残響公式から、

- 部屋の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ が定まれば、部屋の容積 V と総表面積 S から残響時間 RT を予測することができ、
- 逆に部屋の残響時間 RT を測定できれば、部屋の容積 V と総表面積 S から部屋の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ が算出できるということになりますね。

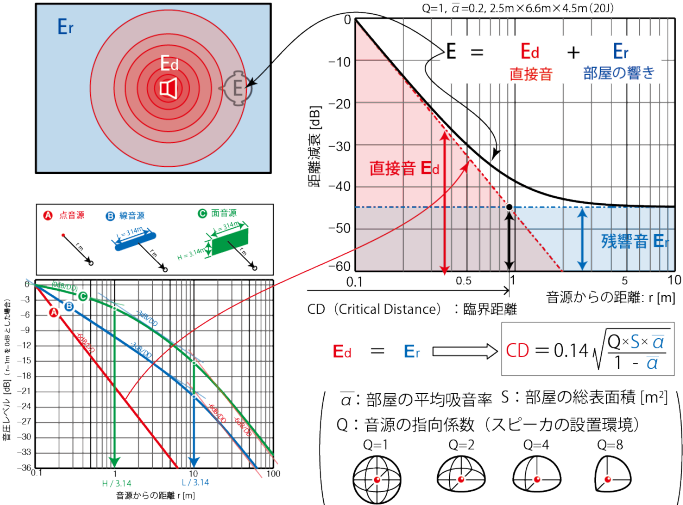
臨界距離

残響時間 RT と平均吸音率 $\bar{\alpha}$ の関係は、W. C. Sabine のおかげで明確にすることができました。では、スタジオの壁の材料 (吸音率 α) を決めようとしたときに、目標となるような残響時間 RT はあるのでしょうか。ないことはもないのですが… 我々のチームでは、お手本となる残響時間を模索するのではなく、リスニングポイントにおける「スピーカからの直接音と部屋の残響音との比率」を定めて、そこから目標とする部屋の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ を設定して、コントロールルームの響き量を設計しています。その際、「直接音の量：残響音の量」＝「1：1」をまずはデフォルトの設定値とします。

さて、「直接音：残響音＝1：1」となる音源からの距離、すなわちコントロールルームでのモニター距離は、「臨界距離 (CD：Critical Distance)」といわれ、以下のように表すことができましたね。

…ということは、部屋の総表面積 S、モニター距離、音源 (スピーカ) の設置環境 Q が分かれば、目標となる部屋の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ を算出することができますということになります。

但し、この式は、音源が点音源の場合の式だと言うことをお忘れ無く…



【図 2】臨界距離 CD (Critical Distance)

「臨界距離」を狙って、スタジオの内装を設計

(ミカミ隊長とえりっこ隊員、りっこ隊員、そしてまっつん隊員)

■ 何を目標にすればいいかな？

えりっこ隊員 (以下「え」)、りっこ隊員 (以下「り」)、まっつん隊員 (以下「ま」):
い〜まっ、わ〜かれ〜のとき〜♪旅立あ〜とお〜♪

ミカミ隊長 (以下「ミ」): ピンを抱えて〜♪ってこらこら。キミたち何卒業しようとしてんの。

り: え? 前回隊長いなかったけどー・・・、

え: わりかしイイ感じにできちゃってー・・・ (隊長いなかったから)、

ま: もう卒業でいいんじゃないやねえでげすか・・・?

えりま: って感じて前回シメたんですけど、隊長さぼったうえに、読んでもないんですか??

ミ: 暮れえ〜なずむう〜町の〜 (ワタシはこの世代) ♪どちらかというと、皆が立派に育ったから、**ワタクシの方がもはや除隊**かと思ったよ。ま、もう3月もとっくに過ぎちゃったし、新年度ってことでまた一緒に頑張ろうよ。

り: やっぱりね。どうせそんなことかとは思ってましたけど、でも**私正直もう「低域」飽きちゃった**な〜。一時期ピンに夢中になっちゃったこともあったけど、今思うと私どうかしてたかも。

ま: あれ? りっこネェさん、ドクター中原のご託宣まだ読んでないでげすか? 一旦低域を抜け出して、**今回は心機一転「中高域の世界」**らしいでげすよ。

皆様お久しぶりです。隊長のミカミです。前回は日記コーナーだけの登場になってしまいましたが、今回は久しぶりに隊員諸君とともに「本編」に復帰です。

さて、**今回のお題は「デッドさ」の設計、即ち響きの設計**ですね。我々の仕事には、ある程度正解がはっきりある仕事と、そうでない仕事とがありますが (大きく見れば正解のある仕事なんて、世の中にひとつもないとは思いますが、そういうのはビジネス書に譲りましょう)、響きの設計というのは、こうすれば万事 OK というような、目指すべき正解がはっきりとしない仕事の代表格だと思います。

響きというと皆さん思い浮かべるのが、既に「事前準備の時間」に登場した残響時間でしょう。コンサートホールなどでは、演奏される音楽のジャンル毎、ホールの大きさ別 (意外と知られてませんがコレが大事) に「最適残響時間」なるものが提案されており、響きの設計の目安となっています。ただ、これも理論的に求められるものではなく、大御所の先生方によって「このくらいが良いんじゃないか」と提案されている過ぎません。「正解」というようなものではない訳です。スタジオのコントロールルームや、録音ブースに至っては・・・、広く知られた「最適残響時間」というものありません (一部基準や指標のようなものはあります)。そもそも、日本のスタジオのような小さな空間では、残響時間を測定したり、評価したりすることにもやや無理があります (周波数帯域にもよりますが)。

では、どうしたら良いのでしょうか。これから隊員たちは我らが「**アクリルスタジオ**」の内装設計を行わなくてはなりません。ドクターがくれたヒントは**統計音響**の重要なキーワード「**臨界距離**」です。これもコンサートホールの「最適残響時間」のように正解が存在するわけではありませんが、まずは**臨界距離がモニター距離** (スピーカーからリスニングポイントまでの距離) と同じになるように設計を行ってみます。即ち、リスニングポイントで、スピーカーからの直接音の量と、部屋の響きの量が同じになるように設計することです。

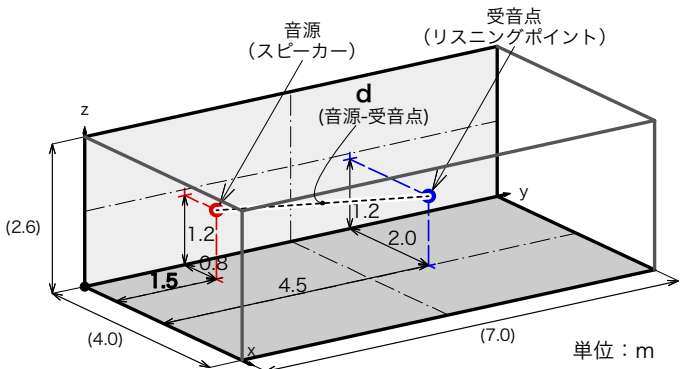
■ 何がわかればいいのかな？

ミ: おし、目標も決まった事だし、目標に向かって設計しよう!

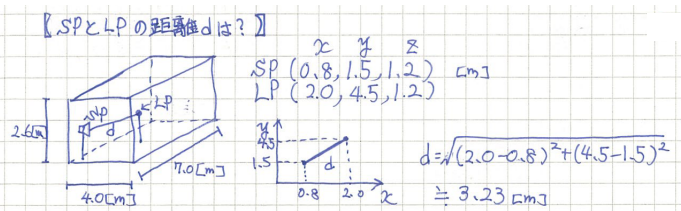
ま: そうは言っても、何から取りかかれればいいんでしょう。**臨界距離をモニター距離に一致させようというのが目標**だから、とりえず**読者諸君**の復習も兼ねて、音源と受音点の距離 (d) から出してみましょうか。

ミ: ど、「読者の皆様」ね。

ま: じゃ、計算しちゃいますー。音源と受音点の座標が分かる (【図3】) から、楽勝ですー。大体 **3.23[m]** ってとこですね (【図4】)。だから、**臨界距離が3メートルくらいにするのを目標にすればいい**ってことですね。お次は何ですかい?



【図3】(復習) 我らがアクリルスタジオ

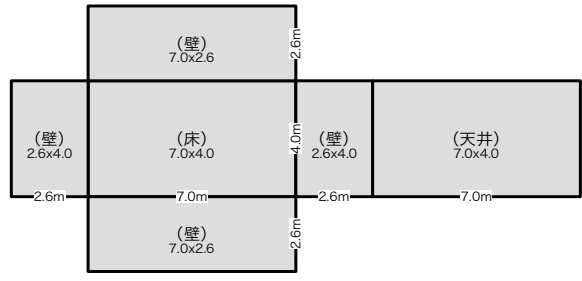
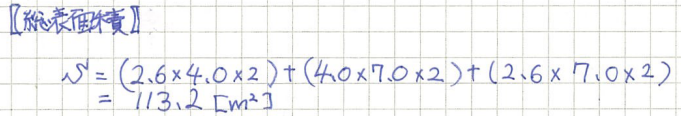


【図4】まっつんの臨界ノート (その1: 音源と受音点との距離 d を求める)

え: 臨界距離の式にはスピーカーの設置環境 Q と、部屋の総表面積 S、それから平均吸音率 α が含まれてる。

ま: じゃ、こんどは**部屋の総表面積 (S)** を計算しちゃいますー (【図5】)。

ミえり: か、かたじけない。



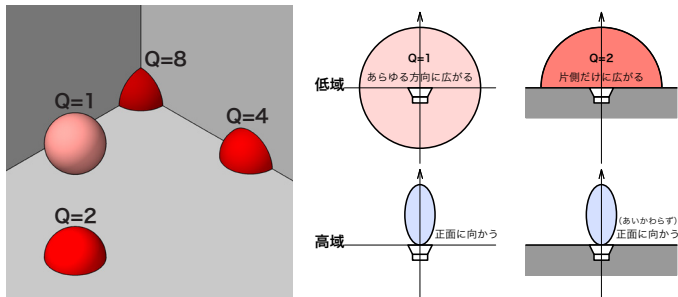
【図5】まっつんの臨界ノート (その2: 室内の総表面積 S を求める)

り: 残りは Q と α ね。今やってることは、「d (音源から受音点までの距離) が臨界距離になる」ように室内の内装を設計するっていうこと、つまり α は計算の条件じゃなくて、設計対象ってことよね。

え: ということは、あとは計算条件としての Q を与えればいいということになるけど、Q には**どんな値**を入れたいいんだろ。

ま: 「事前学習の時間」に出てました (【図2】)。**4 択**みたいっすよ?! どれにしておきます? 部屋の隅にくと「8」、コーナーなら「4」、地面の上なら「2」、で、空中なら「1」です。今回は空中だから「1」ですかね?

さすがまっつん隊員、無邪気な好奇心でいやなところ突いてきますね (笑)。これは結構奥深いですよ。深入すると結構長くなります (深みにはまります) ので、ここはサラッとだけ説明します。事前準備の時間では、Q は「音源の設置環境」として紹介されていました。一般的には「音源の指向係数」などと言われる事が多いですが、皆さん Q にはどんなイメージを持っていますか (フツーの方はイメー



【図6】(左) 教科書的な「4 択」の Q (右) 帯域による指向性の違い

ジなんてものは特に持ちてないと思いますが) ? 私のイメージはまさに【図6 (左)】です。こんな感じの「4 択」で説明される場合が多く、まさにまっつんの説明の通りで、音源を空中においていれば音源の持つパワーがあらゆる方向に拡がっていきます (Q=1) が、地面の上に置けば**同じパワーが半分の空間だけに集中することになります** (Q=2) から、**エネルギーは2倍になる** (だから Q が2 になります) という理屈です。コーナーに置けば広がる空間は **1/8 になりますから、エネルギーは8 倍**ということですね。これが一般的な解説ですが、ここではもう少し**実践的に、オーディオ的に**考えてみましょう。(地面の上が Q=2 だとして、ちょっとだけ地面から浮かぶとどうなるの?、デジタル的にいきなり Q=1 になっちゃうの? みたいなことは以前に解説していますので、興味のある方は「2014 summer 号」で復習をどうぞ。今回はまたちょっと違う視点でお話します。)

教科書には単純化された「理想的な」状態が描かれてますが、**現実**は (スピーカーは) **そんなに単純ではありません**。皆さんご存知の通り、スピーカーには「指向性」というものがありますよね。親切なスピーカーメーカーのカタログを見ると指向性のグラフが出ています。そして、それは周波数ごとに表示されています (低域、中域、高域の3分類くらいかな)。【図6 (右)】をご覧ください。一般的に**低域**というのは**指向性**が**つきづらく**、**スピーカーが空中にあればあらゆる方向に音を出してしまいます**。こんな状態のものを地面に置いたり、オーディオ的にはハードバッフルにマウントしたりすれば、**あらぬ方向に放射されていた音が片側だけに集中しますので、めでたく教科書のように指向係数が Q=2 に変化**します。一方で、**高い音**というのは**指向性**が**つきやすく**、**スピーカーの顔を向けた方向にしか** (ちょっと言い過ぎですけど、分かりやすさのため単純化します) **音が向かいません**。こんな状態のものをバッフルにマウントすると・・・、マウントしたって「別に」って感じで、特に変化は生じません、よね? どんな場合でも必ず「壁やコーナーに置けば Q が増す」とは言えないということです。

少し見方を変えると、**高域**は**実に「エゴ」**ですね! 音を届けたい方向に顔を向ければ、その方向だけに音が向きますから、余分なエネルギーはあまり使わないということです。対して低域は・・・、欲しい方向だけに音を届けようと思ってもそうはいかず、いらぬ方向 (?) にも音が行ってしまうので、エネルギー的にはその分「非エゴ」です。室内音響的に考えると、その「よそに向かったエネルギー」の行き先は「部屋の響き」ということになって、残響の量を増やすということにつながります。

んで、**結局この Q はいくつにするのかって?**これが結構奥深くて、正直なところ**私なんかには分かりませんっ (笑)!**でも、何かに決めないと前に進めませんね。ここは“えいやっ”で“Q=2”にしておきましょう。これは、理論的なものではなくて、ある意味“経験的”なものなのですが、この“えいやっ”が後々どのような結果をもたらすのか・・・、Q の話はこのくらいにして、実験 (というかまだ設計) を進めて参りましょうか!

■ 目標は定まったかな？

ま: じゃ、計算しちゃいますー。私がキッチンと計算した、音源と受音点との距離 (d)、部屋の総表面積 (S) に、隊長が“えいやっ”で決めちゃった設置環境 Q を使って、d が臨界距離になるような室内の平均吸音率 α を計算しちゃえばいいですね (【図7】)。

ミ: ハイ、よろしくウ。

ま: 出ました。“**コンマナナ**”って感じです。

り: 0.7 かー、**70%** ってことですよーね。私“デッド”ってあんまり好きじゃないんだけど、コレ**結構デッド**な感じじゃない?

え: そだねー。リスニングポイントでは直接音と残響の量が同じにバランスするってことだから、聴いた感じそんなにデッドじゃないのかもかもしれないけど、70% の吸音って、結構“吸音、吸音”なイメージかも。

【臨界距離 $CD = SP$ から LP までの距離 d にする α は?】

$$CD = 0.14 \sqrt{\frac{Q \cdot S \cdot \alpha}{1 - \alpha}}$$
$$3.23 = 0.14 \sqrt{\frac{2 \cdot 113.2 \cdot \alpha}{1 - \alpha}}$$
$$\alpha \left\{ 2 \cdot 113.2 + \left(\frac{3.23}{0.14} \right)^2 \right\} = \left(\frac{3.23}{0.14} \right)^2$$
$$758.69 \alpha = 532.29$$
$$\alpha = 0.70$$

∴ 必要 α は 0.7 より大きい値

【図7】まっつんの臨界ノート (その3: 目標の室内平均吸音率をキッチンと算出)

ミ: うむ、実際「平均吸音率 $\alpha=0.7$ 」の部屋の内装がどんな感じになるんだろうね。

ま: じゃ、計算しちゃいますー。吸音材選びから、必要面積の計算、割付の作成まで、全てお任せ下さい (【図8、9】)。

え: さすが「**音響専門特殊工務店**」の**若手社員**。二年目を迎えて成長してるわね。

ま: 吸音材は、**広帯域に有効周波数特性にクセがなく、費用も安価な粒子速度型吸音材**を使います。先輩たちが「2015 年 summer 号」で使ったまま倉庫に押し込まれてる**グラスウール**があったので、それを使う事にしますね。グラスウールは**密度 80kg/m³、厚さ 12mm**です。**1/10 模型**にとってみれば、**厚さ 12 センチ**の吸音材ということになりますね。

【 $\alpha=0.7$ とするための GW の面積】

GW 面積算出の考え方

$$S_{\alpha} = \frac{S_{GW}}{\alpha_{GW}}$$
$$S_{\alpha} = \frac{S_{GW}}{\alpha_{GW}} = \frac{S_{GW}}{\alpha_{GW}} \cdot \alpha_{GW}$$
$$\therefore S_{GW} = \frac{S_{\alpha}}{\alpha_{GW}}$$
$$S_{GW} = \frac{113.2 \cdot 0.7}{0.72} = 86.1 [m^2]$$

0.6 (0.7 より大きい GW) \rightarrow GW 80kg/m³ 0.72 [4kHz, (1oct)]

【図8】まっつんの臨界ノート (その4: グラスウールの必要面積を算出)

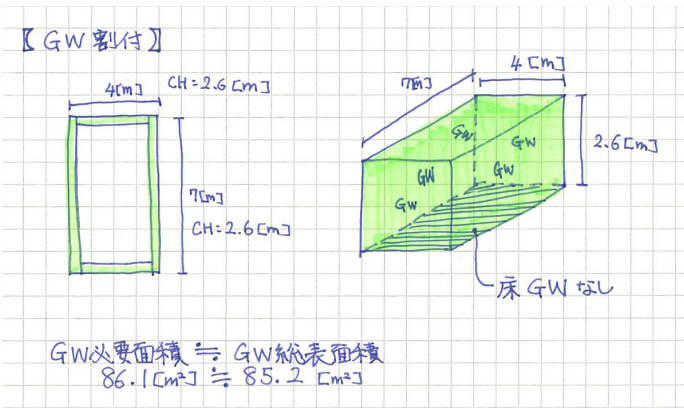
まっつん隊員がきっちり、バッチリ計算してくれていますが、実はこの計算色々簡略化して行ってます。まずは**模型スタジオを構成しているアクリル板**ですが、この**吸音率を「ゼロ」として取り扱っています**。カチカチのツルツル (誰かのアタマじゃないよ!!) で、吸音しそうな感じはありませんが、吸音がゼロなのかというと、恐らく**そんなこともない**でしょう。現実の世界でいうと、コンクリートの表面とか、ガラス面とか、タイル張りの床とかそんな感じだと思いますが、こういったものも僅かながらですが吸音はして (しま) います。しかし吸音材の王様 (?) であるグラスウールに比べればその吸音は微々たるものですので、「ゼロ」とする事は差し支えないでしょう。

次は**吸音率の周波数特性**です。まっつんの計算の中では**[0.92@4kHz]** (オクターブバンド) という数字を使っています。皆さんご存知の通り、**どんな材料も吸音率には周波数特性があり**、どのような音の高さも同じように吸音するなどという材料はありませんから (あったらいいね! ♪)、本来なら周波数毎に計算、設計をしなくてはなりません。プロの世界では当然そのように設計しているのですが、今回は分かり易さを優先して (手抜きじゃありませんよ!!)、吸音率としては1つの数字で設計を行いました (先ほどの Q も同様ですね。Q にも本当は周波数特性があるはずですが、簡単のために一律で「2」として計算してます)。ただ、音やグラスウールさんには「分かり易さ優先」なんていう人間の気持ちとは通じないでしょうから、このような簡略化の報い (?) は恐らく測定結果にハッキリと現れることでしょう。

また、言い訳がましいようですが、模型実験に使えるデータが十分にそろっていないという事情もあります。まっつんが使った数字は4k[Hz]における吸音率ということなのですが、これを1/10模型の中として考えると・・・、1/10の400[Hz]ということになりますね。残響時間のような統計音響を根拠とした設計の場合には、吸音率の中でも「乱入射吸音率」とか「残響室法吸音率」とかいう吸音率を使いますが、グラスウールのような材料については、メーカーがそのデータを用意してくれていることが多いです。一般的には(そりや当たり前ですけど)実寸生活用に125～4k[Hz]のデータが用意されている事が多く、それを我々の1/10模型生活用に換算すると、12.5～400[Hz]ということになります。1/10模型生活の400[Hz]は実寸生活の4k[Hz]ですからぎりぎりデータが手に入るんですけど、1/10模型内の2k[Hz]は、実寸生活では20k[Hz]ですから、そりやそんなデータありませんワね・・・。

(前回模型に入れた「音圧吸収型」のピンはそのまま入れっ放し(!)になっていますが、こちらの吸音も今回は無視してます。ピンが吸音するのは、この模型室内の音場を統計音響として扱える帯域よりもずっと低域の方の吸音だからなのですが・・・詳しく書くともた長くなってしまうので、この辺で次に進みましょう!)

■ 吸音計画は決まったかな？

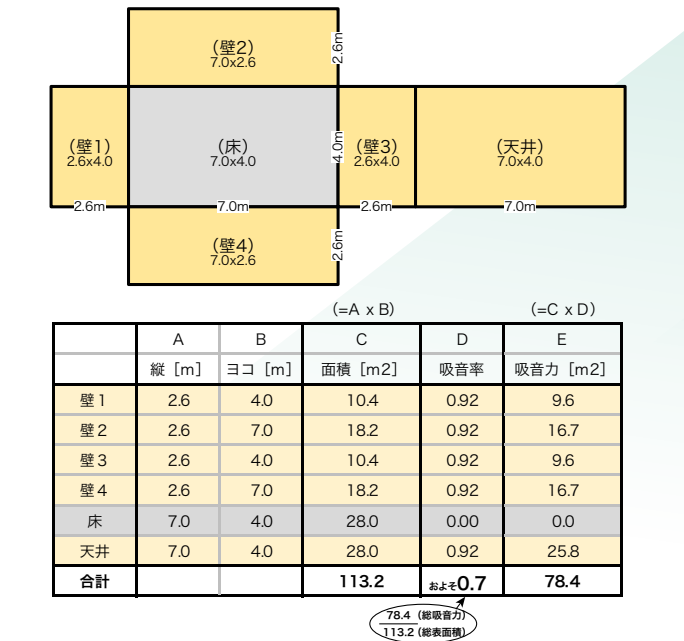


【図9】まっつんの臨界ノート（その5：必要面積のグラスウールを割り付け）

ま：というわけで、こんな感じになりましたー。床以外は全部グラスウールです。

り：……。結構面積必要なだね。これじゃ、部屋の中も見えないし、インスタ映えしない。

ミ：床に敷かずに済んだだけ良かったじゃん。床もグラスウールだと歩けないから。寝るとチクチクしちゃうし。マイクの場所もマーキングしづらいし、動かしづらいし。



【図10】平均吸音率 α を計算するとこんな感じ。大体0.7です。

え：そだねー。モニター距離（スピーカーとリスニングポイントの距離）が3m以上っていうのは、日本のスタジオにとっては（模型だけだねー）長い方だし、その距離まで直接音を優勢に持って来るのには、結構吸音が必要なのかもねー。

り：確かに。ある意味スタジオでは良くある感じだよな。床以外は全部吸音っていう状況。別に「モニター距離＝臨界距離」で設計してるというわけでもないんだろうけど、なんだかんだでこういう感じになる事が多いのかもね。

ミ：まあ、まっつんが設計してくれて、内装も完了したわけだし、測定してみようよ。結構いい加減に、じゃなくて「簡略化」して設計してるし、こんなでも本当に設計通りになるのか、楽しみじゃん？



【図11】結局こんな感じに。インスタ映えしません。

■ さあ、設計通りになっているかな？

ま：私自分で設計したし、楽しみです！測定始めましょう。どんな測定をしましょうか？。

ミ：えーっと、今回は何を目標に設計したんだっけ？

ま：「モニター距離（d）＝臨界距離」でーす。

ミ：んだな。じゃ、それを測るには？

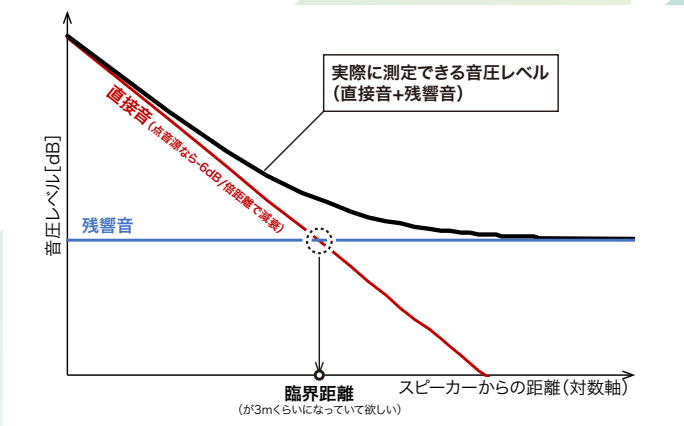
え：ち、地道系測定の予感・・・。

ミ：んだな。距離減衰を測定しなきゃなんないから、スピーカーのそばからマイクロホンをちょっとずつ遠ざけながら、音圧を測りま〜す。

り：隊長、んなこと言っても中も見えないし、どうするんですか？マイク動かすたびに天井開けるんですか？

ミ：んだよ。頑張ってー！

えりま：・・・(またかよ、ガッテム!)



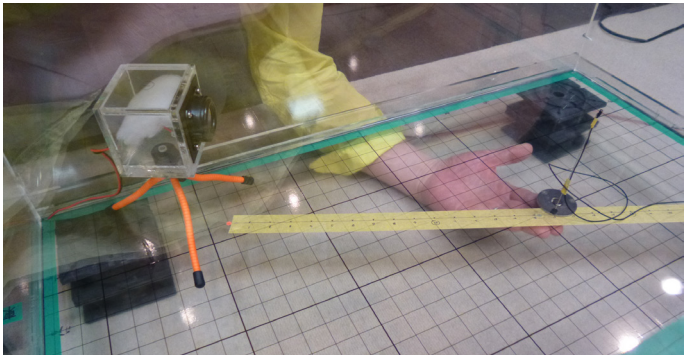
【図12】地道な測定でこれを測りたい

「臨界距離がどこのか」「それが設計通り“3mくらい”になっているか」が今回の測定でまず確認したいことです。従いまして、スピーカーからリスニングポイントを結ぶ線を引いて、その上に目盛をふって、音圧レベルを測ってはらず、測ってはずらすを繰り返すという地道な測定（【図13】）を隊員たちにはやって頂きました（いつもスマンね）。測定をしていて、直接音（【図12】赤色）と残響音（【図12】青色）の音圧レベルが同じになる点（距離）を探せばいいので、地道だけれど簡単な測定だと思われるかもしれませんが、しかし、実際には「赤」と「青」を別々に測定することはできません。測定できるのはその和である「黒」のラインだけなのが少々分かりづらいところ（分けて測れたらいいのにね! ！）。

ミ：では、お待ちかね!!結果披露!

り：(今回隊長ずいぶん引っ張ったね)

え：(あと1ページしかない)



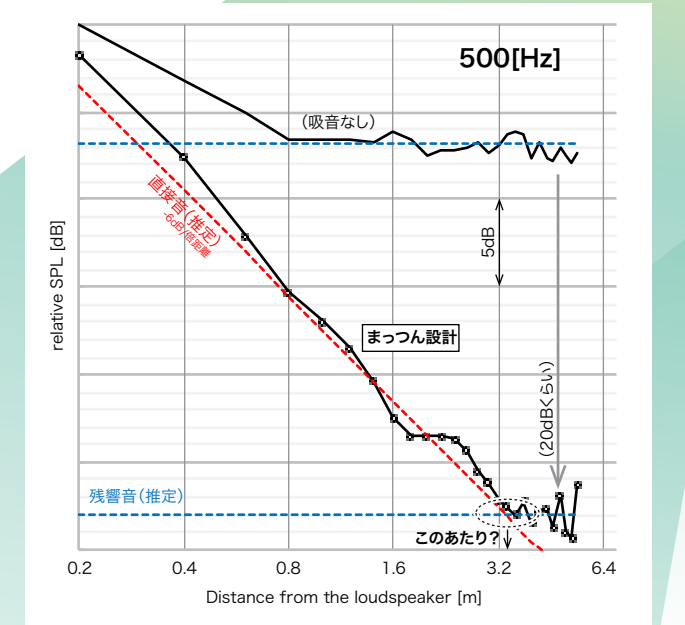
【図13】ずらしては測りの地道な測定。これは中が見える(吸音なし)なので楽勝。

ま：(タイトルが「前編」になってます。確信犯だと思います)

ミ：じゃ、まずは500Hzの結果（【図14】）から見てみよう。どうかな、臨界距離は設計通りになってる？

り：隊長、そんなことより、私は吸音したときの音圧レベルの下がりっぷりにびっくりしました。スピーカーから離れている場所だと、吸音してない時と、吸音してる時で20dBくらい差があるんですね。音漏れの相談のとき、吸音は気休め程度にしか役に立たないって言ってんだけど、こんなに違うなんて。驚きです。

ミ：吸音する物が全く無いツルツルの状態からだとかこれくらいの差になるんだなあ。教科書通りと言えば確かにそうだけど、隊長もまあまあ驚き。

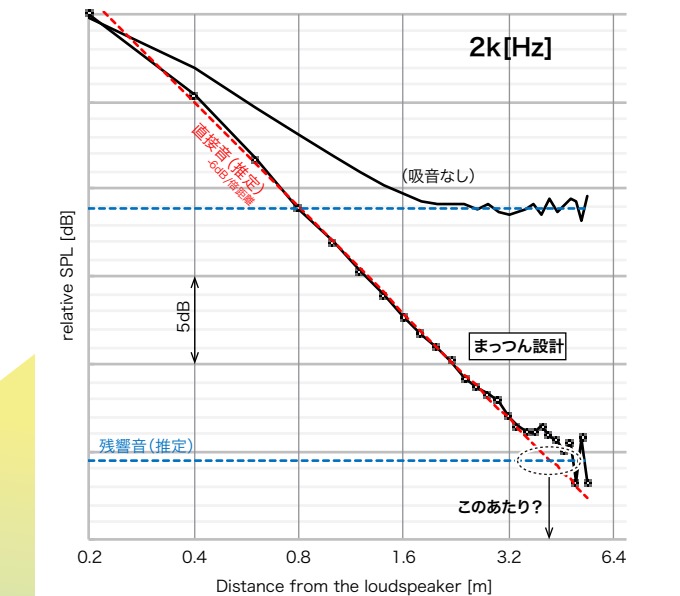


【図14】距離減衰の測定結果（500Hz）

SONA：(株)ソナ
1975年より、メジャーレコード会社（ソニー、ビクター、エイベックス、ユニバーサルミュージック等）や放送局（NHK、NTV、TBS、YTV、ABC等）そしてポストプロダクション（オムニバスジャパン、イマジカ、Sony PCL等）など幅広い分野のスタジオの音響設計を手がけ、多くの制作環境を高品質に導いています。その一方で、トップ・アーティストやクリエイターなどのパーソナル・スタジオの実績に関しても抜きん出ています。また、サラウンド対応スタジオはDVDの普及前から取り組み、この分野での先駆的な役割を果たしています。新たな技術を柔軟な思考で取り入れ、様々な手法でスタジオデザインにアプローチし、建築はもちろんのこと、モニターシステムの構築や最終的な再生音の調整（THXからライセンスを受けた技術者が在籍）に関しても積極的に携わっています。

中原雅考 株式会社ソナ 取締役 / オンフューチャー株式会社 代表取締役 / Audio Engineering Society Governor, 日本支部 理事 / 博士(芸術工学) スタジオ設計という分野において、理論と現場に向きあってきたその音響設計手法は、数多くのクライアントからの信頼を得ており、業界に対しても大きな影響を与えている。特に、サラウンド・スタジオの音響設計に関しては、業界の第一人者として数多くの実績があり、室内音響・モニターシステム・音響測定・調整を総合した設計方法を先行して築いてきた。最近では、ソナにおけるスタジオ設計業務だけでなく、音響ソフトウェアの開発などのR&D業務もオンフューチャーに行っている。専門学校や大学などでの講義をはじめ、講演多数。主な著書に、「サラウンド入門(東京藝大出版会)」, 「Multichannel Monitoring Tutorial Booklet (ソナ、ヤマハ)」, 「サラウンド制作ハンドブック (兼六館)」, 「サウンドレコーディング技術概論 (日本音楽スタジオ協会)」等。	ミカミタカシ 株式会社ソナ 統括管理(設計技術) 千葉県柏市出身。バランスを重んじる設計ポリシーと独特なデザインセンスを優秀な音響知識の上に掲げ、現在急成長中のアコースティック・デザイナー。	えりっご隊長 株式会社ソナ 設計・技術グループ 千葉県出身。趣味は音楽鑑賞とBBQ。今年はこの夏フェスに参加するか計画中。分かりやす・現場がスムーズに進行できるような設計を相変わらず模索中。	りつこ隊長 株式会社ソナ 設計・技術グループ 長野県出身。趣味は散歩と美術館巡り。座右の銘は晴耕雨読。この季節はかしわ餅と草餅が主食。「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る。	まっつん隊長 株式会社ソナ 設計・技術グループ 茨城県出身。趣味は読書と料理。入社2年目の比較的若い社員。最近ではイタリア料理にはまっている。正確で素早い音響計算が出来るような仕組みを、日々模索している。
---	---	---	---	--

御質問等は、Pro@mirc.co.jp まで！



【図15】距離減衰の測定結果（2k[Hz]）

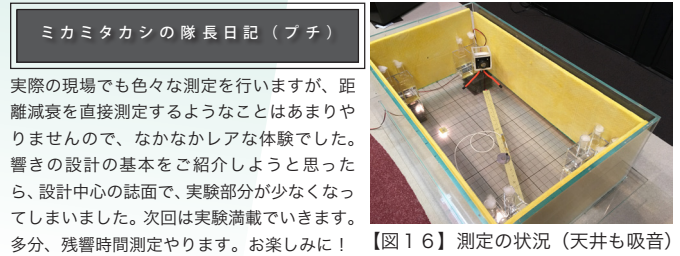
え：臨界距離いい感じじゃないですか？ハッキリと分かるわけじゃないけど、大体3.2mくらいのところになってるように見えるよ。やるじゃん、まっつん!

ま：エヘン。2k[Hz]の方はちょっと距離が伸び過ぎかも知れませんが、設計には400[Hz]の吸音率使いましたからね、仕方ない。500[Hz]のほうは及第点かな。実際、部屋の中の吸音率はどうなってるんでしょう。残響時間を測定すれば、室内の平均吸音率が算出できるんですよね。ドクターが「事前準備の時間」で言っていました。

ミ：そだね。残響時間測定もやってみるか。距離減衰の測定は楽しいけど(えりま:やってないせに!),赤(直接音)と青(残響音)が別々に測れる訳じゃないから、臨界距離がズバリとは見えないしね。

ま：測定した残響時間から室内の平均吸音率が分かれば、逆にその吸音率から臨界距離を算出するというアプローチで、再検証することもできますよ。

え：500[Hz]と2k[Hz]では、同じ“吸音なし”でも随分残響音の量が違うみたい。これって“吸音なし”のはずなのに、吸音の量が違ってることじゃない??? (後編につづく・・・)



【図16】測定の状況（天井も吸音）