



パーソナル・スタジオ設計の音響学 その18  
第二幕「音響実験劇場」

～第十四回 中高域の世界へ：後編（臨界距離に振り回される）～ PERSONAL Studio Design

今回のお題

(中原雅考)

「中高域の世界」に移動してきた隊員の皆さん。

この世界では「吸音率」と「臨界距離」が、音響設計のための重要なツールとなります。

前回は「モニタ距離」すなわち「スピーカからの距離 = 3.2m」が「臨界距離」となるために必要な部屋の吸音を隊員の皆さんに算出して頂きました。

その結果、部屋に要求される平均吸音率は「0.7」ということになり、その場合の「臨界距離」を実験で確かめると、みごと計算と一致しました。

ということで、部屋の響きの設計は大成功…  
はたして、そうでしょうか？

響きを表す数値として「残響時間」という用語をよく耳にします。

例えば、残響2秒！

音楽ホールでは、一時期ブームになりました。

では、平均吸音率は？

音楽ホールで、0.15～0.25程度でしょうか。

逆に、響きがあってはいけない無響室には、0.99以上の吸音率が要求されます。

では、前回の結論となった吸音率0.7の部屋はどんな響きがするのでしょうか。

コントロールルームの平均吸音率というものは、教科書ではほとんど見かけることがありませんが、経験的には、ほとんどの場合「0.4～0.6」の範囲に納まっているようです。

ということは

前回の「平均吸音率0.7」は、コントロールルームとしてはデッド過ぎるのでは？

でも

臨界距離、すなわち直接音と部屋の響きのバランスとしては、コントロールルームとして適切になっているということではないのか？  
などの疑問がわいてきます。

今回、隊員の皆さんには「吸音率」と「臨界距離」に関してもう少し踏み込んで頂き、

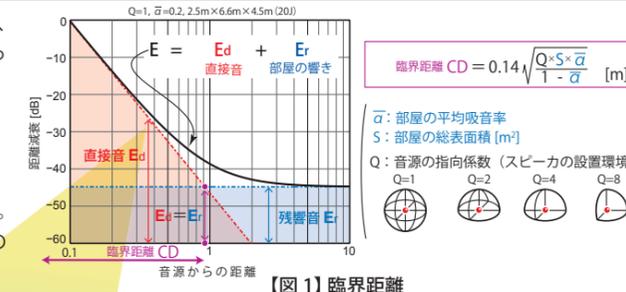
最適なモニター距離とはなんだろうか？

ということに関して考えを巡らせて頂こうと思います。

～ 事前準備の時間～  
部屋の大きさ・形状と臨界距離

(中原雅考)

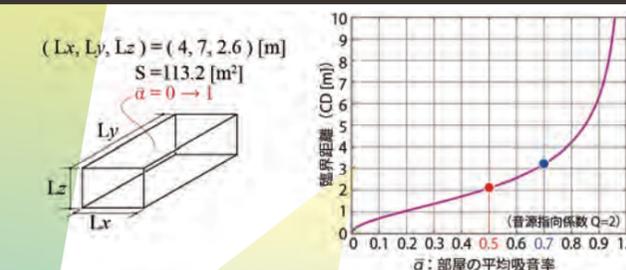
前回は、吸音の検討を行うために、まずは「臨界距離」を3.2mに固定して、必要な部屋の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ を算出しました。今回は逆に、様々な条件によって臨界距離がどのように変化するかを観察してみましょう。  
直接音と残響音が同じ大きさに聞こえる音源からの距離、すなわち「臨界距離」が【図1】で与えられることは、前回すでに復習済みです。この式から、臨界距離は「部屋の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ 」「部屋の総表面積 $S$ [m<sup>2</sup>]」「音源の指向係数 $Q$ 」の3種類の物理量の影響を受けることが分かりますね。ここでは、指向係数は $Q=2$ に固定し、「部屋の平均吸音率 $\bar{\alpha}$ 」と「部屋の総表面積 $S$ [m<sup>2</sup>]」に着目して臨界距離との関係を観察してみましょう。



【図1】臨界距離

平均吸音率と臨界距離

前回、平均吸音率 $\bar{\alpha}=0.7$ ではなく、一般的なコントロールルームと同程度の $\bar{\alpha}=0.5$ で吸音を計画していたら、どのようなことになっていたのでしょうか。【図2】は、前回の模型部屋で、吸音率を0から1まで変化した場合の臨界距離の変化を計算した結果です。吸音無し( $\bar{\alpha}=0$ )の環境だと臨界距離は0[m]、完全吸音( $\bar{\alpha}=1$ )の環境だと臨界距離は $\infty$ [m]になります。このように、部屋を吸音すればするほど臨界距離がのびる、すなわち、残響音より直接音を多く聴くことのできるエリアが広がるということになります。



【図2】平均吸音率と臨界距離

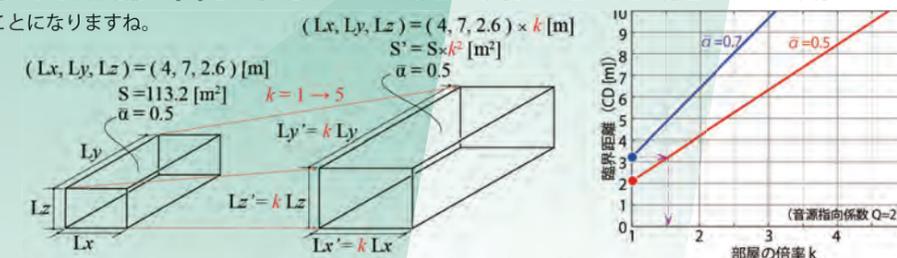
さて、実験室を吸音 $\bar{\alpha}=0.5$ にした場合ですが、臨界距離は目標の3.2[m]より短くなり、2[m]程度となってしまいますね。

部屋の大きさと臨界距離

部屋が大きくなれば、部屋の総表面積 $S$ も大きくなりますので、臨界距離ものびるということになります。つまり、同じような吸音の部屋であれば、大きな部屋の方が、残響音より直接音を多く聴くことのできるエリアが広がるということです。

【図3】は、模型部屋を規準に、部屋の大きさを $k$ 倍したら臨界距離がどの程度のびるかを計算した結果です。青が部屋の平均吸音率を $\bar{\alpha}=0.7$ とした場合、赤が部屋の平均吸音率を $\bar{\alpha}=0.5$ とした場合の結果を表しています。

この結果から、前回目標にした臨界距離3.2[m]を平均吸音率 $\bar{\alpha}=0.5$ の部屋で実現しようとすると、部屋の大きさを実験室よりも約1.5倍大きくしなければいけないということになりますね。



【図3】部屋の大きさと臨界距離

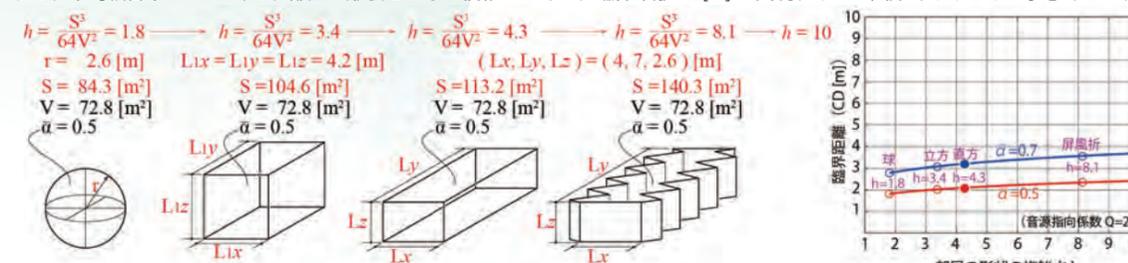
部屋形状と臨界距離

同じ大きさの部屋でも、総表面積 $S$ [m<sup>2</sup>]が大きくなれば臨界距離が伸びます。

同じ大きさ、すなわち部屋の容積 $V$ [m<sup>3</sup>]が同じでも総表面積 $S$ [m<sup>2</sup>]が異なるということは、同じ大きさだが形状の違う部屋を意味することになります。室形状に関しては、音響学の観点から日本大学の羽入先生が指標「 $h = S^3 / 64V^2$ 」を提案されています。これを用いることで、室形状の複雑さを数値で表すことができます。

【図4】は、部屋の体積 $V$ を一定にして、部屋の形状を「最もシンプルな球( $h=1.8$ ) → 立方体( $h=3.4$ ) → 直方体(模型部屋： $h=4.3$ ) → 屏風折りの壁面形状( $h=8.1$ )」へと変化した場合に、臨界距離がどの程度変化するかを計算した結果です。青が部屋の平均吸音率を $\bar{\alpha}=0.7$ とした場合、赤が部屋の平均吸音率を $\bar{\alpha}=0.5$ とした場合の結果を表しています。

計算結果からは、平均吸音率 $\bar{\alpha}=0.5$ では、部屋の形状をかなり複雑にしても、臨界距離3.2[m]を実現するのは困難であることが予想できますね。

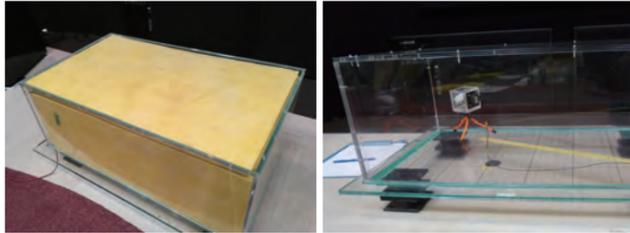


【図4】部屋の形状と臨界距離

## 今回は残響時間測定から臨界距離に迫ります。

(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)

(前編のあらすじ) Dr. 中原のご託宣により一旦低域の世界を抜け出して、心機一転「中高域の世界」にやってきた隊員たち。我らがアクリルスタジオのモニター距離(音源(スピーカー)から受音点(リスニングポイント)までの距離)が、「直接音の量:残響音の量 = 1:1」となる音源からの距離である「臨界距離(CD:Critical Distance)」に一致するように(ほぼまっつん隊員一人)で設計し、その通りの吸音内装を施して、実際に音圧レベル減衰の様子を測定しました。その結果、見事なビギナーズラック(?)で、500[Hz]ではほぼ狙い通りに!一方、2k[Hz]ではモニター距離よりも臨界距離の方が長くなるという結果に・・・。



【図6】復習のために再掲します。左が「まっつん設計」。モニター距離=臨界距離を狙って床以外の壁4面と天井を吸音した状態(密度80kg/m<sup>3</sup>、厚さ12ミリのグラスウール)。右はご覧の通りの「吸音なし」。

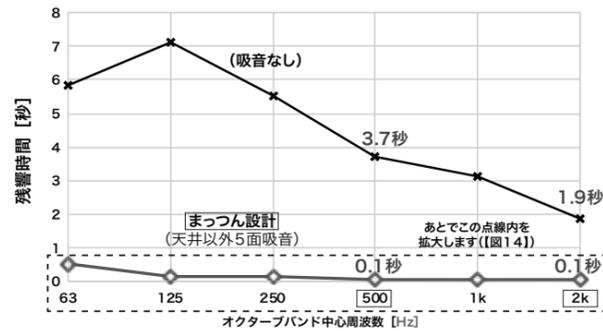
ま: お待たせしましたー。できましたー。残響時間を測って、ついでにEyringの残響時間と室内平均吸音率との関係式を使って、平均吸音率も計算で出しときましたー。(【図7】と【図8】)

え: へー、今更だけどグラスウールの威力はすごいね。「吸音なし」との差がすごい。

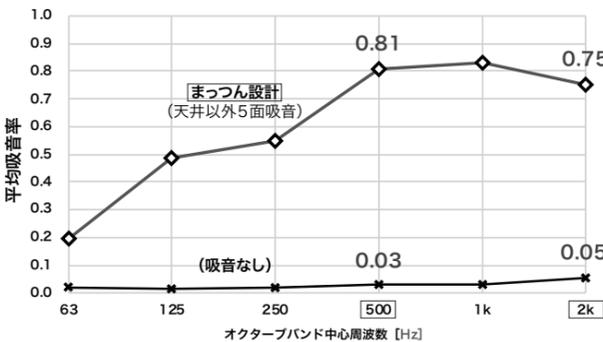
り: 「吸音なし」は、吸音が無いただのアクリルの部屋なのに、残響時間は周波数によって結構違いがあるんだね。不思議。

ま: まあまあネエさん、それもいいですけど、まずは先週の私たちからの伝言通り、この結果を使って臨界距離を出して見ましょうよ。測定した残響時間から求めた室内の平均吸音率を使って臨界距離を算出する、というアプローチでの再検証です。

え: 私たちのミッションは「モニター距離 = 臨界距離」だからね。モニター距離は確か3.2[m]。そんな感じの距離になっているかな。



【図7】残響時間の測定結果です(残響時間と周波数は実物換算)。



【図8】測定した残響時間から【図5】のEyringの式を使って算出した室内平均吸音率です。

### ■ 残響時間を手がかりに臨界距離を再検証

ミカミ隊長 (以下「ミ」): えーっと、なんだったっけ。

えりっこ隊員 (以下「え」): 隊長最近そればかり言ってますよ。自分の席にいと、1時間に10回は言ってますよ。

ミ: ごめんごめん。近頃ちょっと時間が空いたり、別のことしたりするとそれまで何やってたんだかを思い出せなくなっちゃって。何故か「えーっと、なんだったっけ」って口に出すと思ひ出すんだよ。おまじないみたいなものかな。ワタシの日々の生活には欠かせない合言葉です。で、今回は何するんだったっけ?

りっこ隊員 (以下「り」): 今回は前号の続き、“後編”ですよ、おじいちゃん。

まっつん隊員 (以下「ま」): 前号の最後の方に、半年前の私たちからの伝言が残されています。

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ね。ドクターが「事前準備の時間」で言っていました。

ミ: そうだね、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、直接音と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うね。

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・・・)

ミ: そうだった、そうだった。残響時間を測定してみようって話じゃったな。思い出してきた。さっそくやってみよう! っていうか、みんなでやってみて!

えりま: (・・・ガッデム!)

え: 私たちの目的は臨界距離の再検証だからね。残響時間測って終わりじゃないよ。臨界距離の式に入ってるのは室内の平均吸音率( $\bar{\alpha}$ )だから、測定した残響時間(RT)から平均吸音率を計算して出さなきゃなんない。まっつん、やれる?

ま: まかしといて下さい、親分! 確か前号の「事前学習の時間」に、残響時間と平均吸音率の関係が出てたはずでござるよ。やってみます。

$$\text{Eyring } T = 0.0116 \times \frac{V}{S \log_e(1-\bar{\alpha})}$$

$$\text{RT} = 0.161 \times \frac{V}{S \log_e(1-\bar{\alpha})} \quad (\text{s})$$

(V: 部屋の容積 [m<sup>3</sup>] RT: 部屋の残響時間 [s]  
S: 部屋の総表面積 [m<sup>2</sup>]  $\bar{\alpha}$ : 部屋の平均吸音率)

$$\bar{\alpha} = 1 - 2.7 \frac{0.161 V}{S RT}$$

【図5】これさえあれば大丈夫。残響時間(RT)が分かれば平均吸音率( $\bar{\alpha}$ )が分かる(前号「事前準備の時間」より)。

### 【臨界距離】

$$\text{臨界距離 (CD)} = 0.14 \sqrt{\frac{Q \cdot S \cdot \bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}} \quad [\text{m}]$$

(Q: 音源の指向係数 (とりあえず Q=2)  
S: 部屋の総表面積 [m<sup>2</sup>] (=113.2 [m<sup>2</sup>]) → 前号の【図5】参照  
 $\bar{\alpha}$ : 部屋の平均吸音率)

・500 [Hz] の場合  $\bar{\alpha} = 0.81$

$$CD_{(500\text{Hz})} = 0.14 \sqrt{\frac{2 \times 113.2 \times 0.81}{1-0.81}} = 4.3 \text{ [m]}$$

・2k [Hz] の場合  $\bar{\alpha} = 0.75$

$$CD_{(2k\text{Hz})} = 0.14 \sqrt{\frac{2 \times 113.2 \times 0.75}{1-0.75}} = 3.7 \text{ [m]}$$

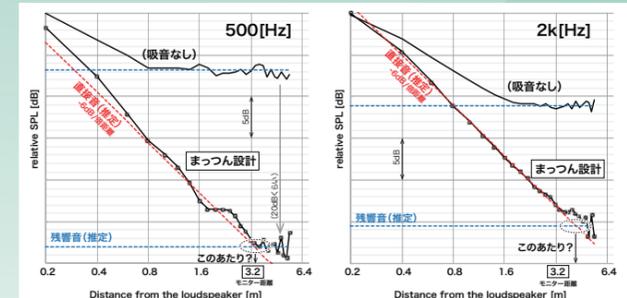
【図9】まっつんの臨界ノート(測定から算出した平均吸音率で臨界距離を求める)

ま: はいー、こんな感じになりました。500[Hz]は4.3[m]、2k[Hz]だと3.7[m]ですー。(目標はモニター距離3.2[m])

り: なるほど。2k[Hz]だとほぼ狙い通り、500[Hz]はちょっと臨界距離が伸び過ぎて感じね。

え: 室内の吸音率を0.7くらいにすれば、臨界距離がモニター距離に一致するはずっていうのが、まっつんの設計だったよね。2k[Hz]の平均吸音率が大体設計通りの0.75、500[Hz]がそれより少し大きい0.81だから、まあ当然臨界距離もそうなるはずだよな。

り: 吸音率が0.05違っただけで、臨界距離は0.6[m]も違っちゃうんだなー。でもさ、でもさ、距離減衰を測定して観察した前号の臨界距離って、500[Hz]が“大体いい感じ”で、2k[Hz]の方が“ちょっと距離が伸び過ぎ”じゃなかったっけ? 今の話って逆になっちゃってなくななくなくない?



【図10】隊長みたいに忘れっぽい読者諸君、じゃなくて読者の皆さまのために特別に前号の結果を再掲。500[Hz] (左) の臨界距離は大体設計通りの“いい感じ”、2k[Hz]の方(右)は“ちょっと伸び過ぎ”という感じでした。

ところで皆さん、室内音響用語のなかでは比較的馴染みのある「残響時間」ですが、どのように測定するのはご存知ですか。弊社の優秀な若手社員まっつん隊員はあつという間の“行間”で測定してしまいました。

残響時間のほかにも吸音率や遮音性能など、我々の業界では色々なものを測定、評価しますが、特殊な測定器を除いて、直接的に測定できるのは基本的に音圧(音圧レベル)だけです。“吸音計”や“遮音計”のようなものがあって、壁に近づけるとその壁の吸音率や遮音性能が分かるというものがあればとても良いのですが、残念ながらそのようなものはありません(あつらしいね)、ある条件、状態での音圧を測定し、その音圧のデータを用いて色々な量を算出しています。

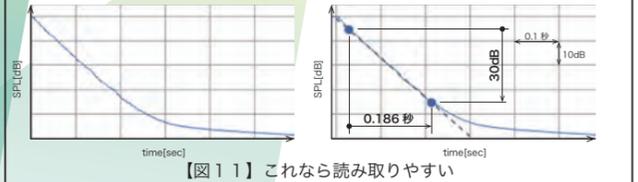
残響時間も同様で、残響時間そのものを直接測定することはできません。では、どのように測定するのか。測定された音圧レベルを使って“計算する”という感じではなく、残響時間ならではの独特の作業が必要になります。

前号の事前準備の時間で紹介されていましたが、残響時間とは「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”です。音圧レベル計を見ながら、60dB減少する時間をストップウォッチで計測する・・・、というような方法であれば“直接的に”測定していると言えるかもしれませんが、そのような測定はしていません。というより、できないですね。吸音の少ない大きな空間(残響時間が非常に長い空間)であればやってやれないことはないかもしれませんが、【図7】をご覧になってお分りの通り、我々の主戦場であるスタジオのような空間では、ほとんどの場合残響時間は1秒に満たない非常に短い時間です。とて無理です。たとえ残響時間の長い部屋であっても、実際に60dB減衰の全ての過程を観察することはかなり難しい。考えて見て下さい。例えば部屋の中にもともと40dBくらいの暗騒音があったとすれば、60dBの減衰を観察するには、100dBもの大音量で測定用の信号を再生しなければならないわけですから(!)。

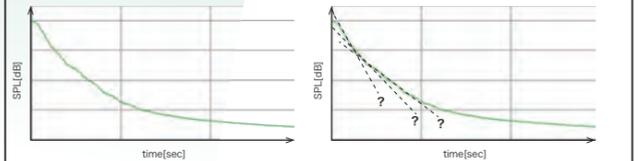
実際には、横軸:時間[秒]、縦軸:音圧レベル[dB]のグラフを作り、音圧レベル減衰の“傾き”を読み取るという作業をします。急な傾きは音圧レベルの急な減衰を表しており、残響時間が短いということを示します。緩やかな傾きは残響時間が長いという事を示します。この傾き具合から「60dB減衰するためには何秒要するか」を求めて残響時間とするわけです。

ここで厄介なのは、“傾き”をどのように見るかです。具体的に見てみましょうか。まずは“優等生”の【図11】です(「吸音なし」の500[Hz])。時間の経過に対して音圧レベルが直線的に減衰しています。まさに教科書通りですね。【図11(右)]の点線のように直線をフィットさせて、その傾きから残響時間を読み取っていきます。60[dB]の減衰は観察できていませんが、0.186[秒]をかけて30[dB]減衰している様子を読み取れますので、60[dB]減衰する時間である残響時間は、その倍の0.372[秒]となります。これが典型的な残響時間の“読み取り”です。このように残響時間測定には、減衰を読み取るための直線をフィットさせるという他の測定には無い独特な作業が必要なのですが、【図11】のような“優等生”であれば、誰がフィットさせ、誰が読み取っても残響時間はほとんど同じ数字になるでしょう。



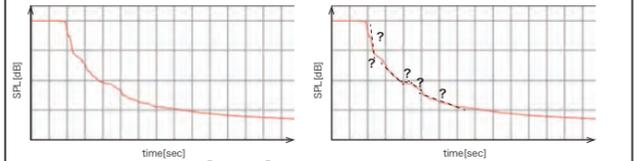
【図11】これなら読み取りやすい

では【図12】はどうでしょうか。このような結果になることは、決して珍しいことではありません(特にスタジオのような「小空間、高吸音」の部屋では)。直線的に減衰している区間もありますが、ゆるやかにカーブしてしまっている区間もありますね。これに対してはどのように直線をフィットさせ、傾きを読み取るか悩んでしまいますね。誰が直線をあてはめ、読み取るかによって結果に違いが出てきそうな例です。



【図12】読み方によって・・・

更に【図13】はどうでしょうか。減衰の様子が直線的ではなく、大きく湾曲してしまっていますね。でこぼこもあります。これにはどのような直線をフィットさせるのが正解なのでしょう。こうなると正解も何もあったものじゃありません。元も子もありませんが「残響時間は読めない」というのが正解です。前号の「事前準備の時間」でも説明されていた通り、残響時間というのは部屋が拡散音場であることが前提になっています。そうであれば減衰の様子は【図11】のように直線的になるはず。【図13】のようになってしまっていると言うことは、もはや拡散音場とは見なせないことを意味していますので、これから無理やり傾きを読み取っても仕方ありません。その測定点における減衰の様子は【図13】の通りではあるのですが、その状態を残響時間で表すことはできないということなのです。



【図13】これはもはや・・・

いずれにしても、残響時間の算出には、**直線のフィットという他の測定にはない独特な作業が含まれます**ので、たとえ【図11】のようなきれいな減衰であったとしても、**直線をフィットする人によって、わずかな差が出る可能性**があります。スタジオのような小空間ではきれいな直線にならないことも多くありますので、なおさらです。【図7】では結果を小数点ひとケタで表示してありますが、この記事に限らず、残響時間の数字を見る時には、その精度はこのように読み取り次第という面があるということを思い出して下さい。

## ■ せっかく算出した吸音率にあらぬ容疑が・・・

え：えーっと、もう一回整理すると「測定した残響時間から求めた平均吸音率を使って求めた臨界距離」は、**500[Hz]では前号の結果**（「いい感じ」の大体3.2m）**に比べると長い**（4.3m）、**2k[Hz]だと前号の結果**（“ちょっと伸び過ぎ”）**に比べると短い**（3.7m）ということになってます。どうします、隊長？

ミ：（ど、どうしますと言われまして・・・） どちらが正解の臨界距離なのかをあえて言うなら、**音圧レベル減衰の様子そのものを直接測定した前号の方**（【図10】）だろうね。音圧レベルのラインが教科書みたいにピシャツとした直線じゃないから、読み取り誤差はあるだろうけど。

ま：じゃあ、間違っているのは今回の方ですね！原因を突き止めて、吊るし上げましょう。

ミ：若者は血気盛んでいいなあ（うらやましい）。でもまあ落ち着いて。基本的には、**まあまあ合ってるんじゃないか？目標 3.2[m] に対して、せいぜい何十センチか1メートルくらいしか違わない**ってことでしょ。大したもんだよ。うん、うん。ものごと何事も寛容に考えないとね。

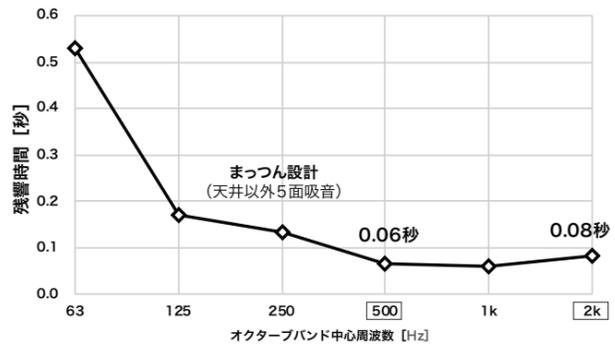
ま：そうなのかなあ。でも私まだ若いから、簡単に諦めたくない。秋の夜長だし、もう少し考えてみましょうよ、ネエさん達。

り：臨界距離の式に出てくるのは、**Q**（音源の指向係数）と**S**（部屋の総表面積）と $\bar{\alpha}$ （部屋の平均吸音率）だけだよな（【図9】）。ひとつひとつ考えてみればいいんじゃない？

え：**S**は間違え様がないよね。まずは $\bar{\alpha}$ から考えてみる？“枠の中”で隊長がごそごそ言い訳してたみたいだし。私、残響時間の測定結果（【図7】）が気になってるの。「まっつん設計」の方の残響時間って、ずっと地底を這ったまま、全部「0.1秒」みたいな感じでしょ。なのに平均吸音率（【図8】）の方を見ると500[Hz]は0.81、2k[Hz]は0.75で違いが出てる。

ミ：了解一。じゃ、まずは「まっつん設計」の残響時間を詳しく見てみよう。小さすぎて見えない！ものは、八〇キルペで拡大【図14】。

え：なるほどー、地底を這っているような残響時間だったけど、こうして拡大すると**それなりに周波数特性がある**んですね。



【図14】縦軸だけを拡大（これは八〇キルペでも不可能！）して「まっつん設計」の残響時間を詳しく観察（【図7】の点線内を拡大しました）

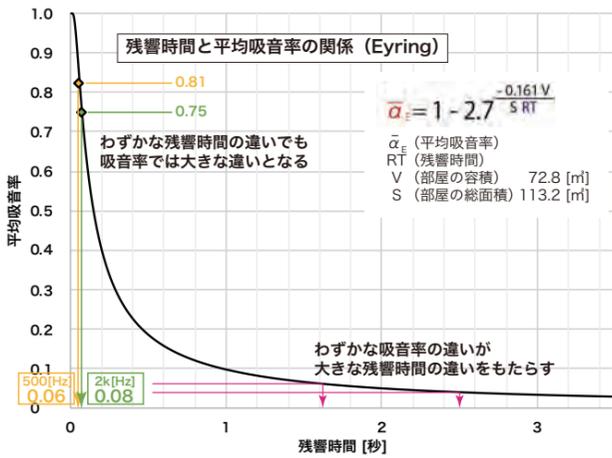
縦軸を拡大すると、吸音したとき（「まっつん設計」）の残響時間の、周波数による違いも見えてきました。見えてきましたけど、特に**中高域については違いはわずか**です。写真（【図6（左）】）でおわりの通り、吸音の多い部屋なので、中高域では残響時間が非常に短いんですね。

先ほどの“枠の中”でつぶやいた通り、残響時間測定には、直線のフィットや

読み取りの誤差はつきものです。【図14】では、500[Hz]の吸音率が0.06、2k[Hz]の吸音率が0.08と表示されていますが、そこまでの精度があるのかどうかは何とも言いえないところです。ここはいかに精度の残響時間測定をするかというテーマではないので、まあ良いことにしましょう（して下さい）。

今のテーマは臨界距離でしたよね。測定で得られた残響時間からEyringの式で平均吸音率を求め、その平均吸音率を使って臨界距離を計算するというをやっています。ここでは**臨界距離の算出に必要な平均吸音率と、残響時間の誤差（精度）の関係**について考えて見ます。【図15】の曲線は、このアクリル部屋における残響時間と平均吸音率の関係（Eyring）を示しています。残響時間が短い範囲（グラフの左の方）では、**残響時間の変化に対する平均吸音率の変化が非常に大きい**ことが分かります。500[Hz]（黄色）と2k[Hz]（緑）の残響時間の差は僅かに**0.02秒程度**なのですが、0.02秒程度の違いが吸音率の違いとしては、0.81（500[Hz]）と0.75（2k[Hz]）という**比較的大きな差**となって現れます。くどくどと何を言いたいかと言いますと、このような短い残響時間の中で、**吸音率の細かな数字に一喜一憂しても仕方ない**ということですね。残響時間の精度があ程度のものですから。隊員諸君納得してくれるかなー（笑）。

さて、逆に残響時間が長い範囲（グラフの右の方）では、残響時間が多少変わろうが、**平均吸音率はそれほど変化しません**。先ほどとは逆に、今度は吸音率の僅かな違いが、残響時間に大きな違いをもたらすということが言えますね。



【図15】アクリル部屋における残響時間（実物換算値）と平均吸音率との関係

この曲線、私も初めてプロットしてみたんですけど、なかなか面白いですね。経験的な感覚を裏付けてくれます。何も対策（吸音）していない響き放題のからんどうの部屋であれば、少しの吸音（ソファとか座布団、カーペット程度）を入れてただけでも、かなり響きが抑えられる感じがします。響きの多い状態では、僅かな吸音の違いが残響時間の大きな違いをもたらすということで、まさにこの曲線が教えてくれる通りです。一方で、既にある程度吸音してしまっている部屋では、多少の事をして（追加の吸音を施しても）響きの変化は感じづらくなってきます。これもこの曲線が示してくれる通りで、すでに吸音の多い状態では、少々の中では残響時間には違いが出ないということですね。

（こういうことって、音の世界ではよくあります。遮音でも同じようなことが言えまして、遮音の少ないベラベラの壁であれば、“遮音シート”みたいなものをベタッと貼ると多少遮音性能が向上したりしますが、分厚いコンクリートのようなものとも遮音性の高いものにそのようなものをベラッと貼っても、遮音性能の向上にはほとんど寄与しません。（当たり前ですけど）「**何もしない状態**」からの改善は比較的小さいんですけど、「**すでに何かしてある状態**」から変化を作るのは大変です。）

さてしかし・・・、このままですと「残響時間測定には誤差がつきもの」「残響時間のちょっとした誤差で吸音率の計算結果は結構変わっちゃう」ので、しょうがないか、まあそんなもんかという結論になってしまいます。（えりま：それでいいのか、隊長!）

**どこからか声が聞こえてきました**ので、もう少し頑張ってみます。“枠の中”が長くなってきました、すみません。もう少しお付き合いを。「吸音なし」と「まっつん設計（5面吸音）」の“**音圧レベルの差**”で、**算出された吸音率の妥当性を検証**する方法があります。前回つご隊員が「**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」と驚いていましたよね。（当たり前ですが）この音圧レベル差は二つの吸音の状態の差によって生まれます。今回の残響時間

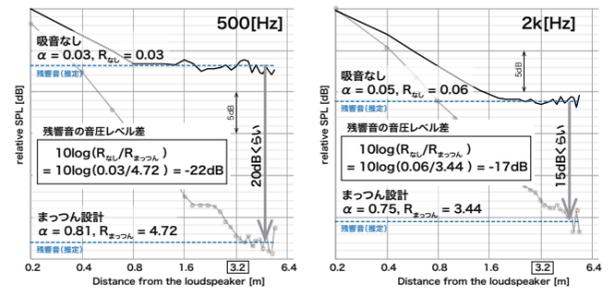
測定で得られた平均吸音率を使って、この音圧レベルの差が説明できるかどうか、チャレンジしてみましょう。

ここでは詳しい説明は省きますが、音圧レベルの差は「**室定数 (R)**」というものをういて、（およそ）下の式で表されます。

$$\text{残響音のレベル差 [dB]} \approx 10 \times \log(R_{\text{吸音なし}} / R_{\text{まっつん}})$$

R 室定数 (=  $S \bar{\alpha} / (1 - \bar{\alpha})$ )  
S 部屋の総表面積 [m<sup>2</sup>]  
 $\bar{\alpha}$  部屋の平均吸音率

誠に大雑把にいうと、室定数というのは、その室の吸音具合を示す数（無単位）で、吸音が多い部屋ほど数が大きくなります。完全吸音の時 $\infty$ （無限大）になります。その室定数の比をデシベルで表すことで、二つの状態での残響音のレベル差が大体分かります。という訳で、計算してみました。【図16】をご覧ください。



【図16】吸音「ある」「なし」での音圧レベル差を今回算出した吸音率で検証してみました。測定精度をあれこれ言いましたが、大体いい感じですね！

残響時間の読み取りがどうだとか、ちょっとした違いで吸音率がどうだとか、自信なさげに色々言い訳(?) しましたけど、この結果をみるとかなり良く測定結果に合っていますね（今回の残響時間の測定、吸音率の算出と、前回の音圧レベル測定の結果が良く合っている）。ということで、まっつんが“行間”でやってくれた残響時間測定と、吸音率の算出は大体良さそうですよ。

## ■ 今度は Q が怪しまれ・・・

え：なるほど、なるほどー。吸音率が合ってるのは良かったけど、それはそれで困るね。じゃ、**何でその“合ってる”吸音率から出した臨界距離は、先週の結果と合わない**わけ？

り：くどいようですが、臨界距離の式に出てくるのは、**Q**（音源の指向係数）と**S**（部屋の総表面積）と $\bar{\alpha}$ （部屋の平均吸音率）だけだよ。**S**と $\bar{\alpha}$ が**大体良さそうだとすると・・・**、

ま：あとは**Q**しかねえです、ネエさん達!吊るし上げましょう。

ミ：まあまあ、そんな物騒なこと言うなよ。こんなのは、はよりの改〇んでいいんじゃないね？**500[Hz]のQは1.5**くらいにしちゃって、**2k[Hz]の方は、2.5**くらいにしちゃって、ほらっ!**前号の実験結果と合ってきた!**

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。

<http://www.sona.co.jp>

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て行っている。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。

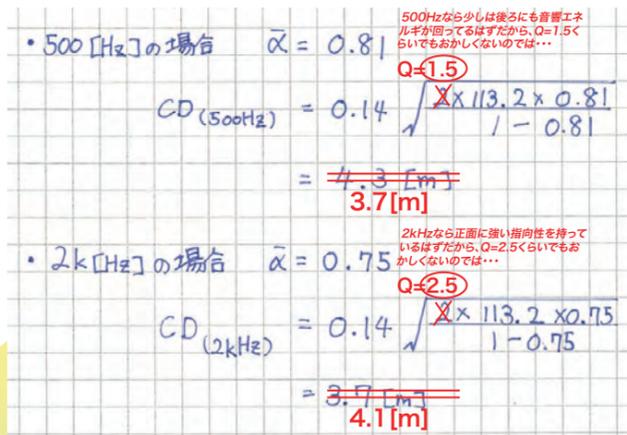
えりつご隊員

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。分かれり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。

りつご隊員

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。寒い日は熱燗を嗜みつつ「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求しています。

御質問等は、Pro@miroc.co.jp まで!



【図17】赤ペンまっつんの臨界ノート（禁じ手か、それとも正論か。Qの見直し）

えりま：ガッデューーーム!!!

我ながら何ちゆう終わり方。これでいいんでしょうか(笑)?(えりま:ダメに決まっていますっ!) もちろん改〇なんて、絶対ダメですよ。ダメダメ。でも**Q=2**を見直すというのは十分アリだと思います。全ての周波数にわたって、**ピタリQ=2**（バツフルマウントのように、音響エネルギーが全て前方だけに向かう状態）なんてことは**実際ありえません**から。中域の部類の500[Hz]は少し後方にも音響エネルギーが漏れるでしょうから、**実際のQが1**（音響エネルギーが偏りなくあらゆる方向に向かう）と**2の間にある**という推定には妥当性があると思います。高域の部類で前方に鋭い指向性がありそうな**2k[Hz]のQは2より大きい**のではないかと推定も、おかしくないと思います。だからこれは**全くもってズルなんかじゃない**のだ(笑)!前号の結果に近づいたのももっともです(じゃ、本当のQは?と言われると、残念ながらこれは簡単には分かりません。ちょっと特殊な部屋とか、計測器が必要になってきます)。

## ミカミタカシの隊長日記

「**臨界距離をモニター距離に一致させてみよう**」というミッションはひとまずこれでOK 頂けますか?つい軽い気持ちで(?) やってしまった前回と今回の測定ですが、実験というのは一度やってしまうと、結果でこうもしゃぶれてしまうものなんですね。「**臨界距離ニアピンコンテスト**」をしている訳ではないのですが、“何故なのか”をぐるぐると考えたら、つつい“枠の中”コーナーが長くなり、グラフが多くなってしまいました。失礼しました。お題の事もすっかり忘れちゃってましたね。今回のお題は**次回に考える**としましょう(笑)。ミッションは達成したものの、平均吸音率0.7はかなりデッドなのではと疑問をお持ちの諸君、じゃなくて皆様もおいでなのではないでしょうか。次回、さらに吸音率と臨界距離を題材に、「最適なモニター距離とは」という大きなお題に迫っていきます。いこうかな。お楽しみに