

文書番号 RILSRT009-1

* * 多重共鳴管スピーカーを作ろう Vol.1 Part1 * *

2012/02/06

大沢博多

多重共鳴管式のエンクロージャーを始めてから早いもので 1 年になります。自分の製作数はまだ 3 台目ですが、1 台作るたびに初心者の私には、あれこれ模索と失敗の繰り返しで新しい発見もそぞろ出てくる状態です。

しかし少しずつ設計の要領というか方法論みたいなものが見えてくるような気がしています。今のところこんな物を作っているのは私ひとりだけかもしれませんが、開発途上の現段階で間違いも多々あっても、自分の見つけたこと、思っていることをまとめて、これをやってみようと思う方が多いらっしゃるなら、ベテランの方にも利用していただけるようにしておきたいと思います。

次のような流れとして整理しました。

1. ユニット
2. 製作材料
3. 共鳴管本数
4. 共鳴周波数と長さ設計
5. 主空気室と第一ポート
6. 音道の折り曲げターン
7. 音道の断面積
8. 共振周波数の変動
9. 調整

多重共鳴管スピーカーを作ろう Vol.1 Part2 に3台の作例を説明しました。

(最初のレポート、「多重共鳴管式スピーカーシステムの開発試作」を先にご参照されることお勧めします)

* * * * *

- ## 1. ユニット

多重共鳴管は複数のパイプをほとんどダンブ制限なしにドライブするので、ユニットは

ポンプのようなものと考えれば、MCAP-CR 同様に、振動板ストロークの大きい磁気回路の強力で鳴りっぷりの元気なものが適するように思えます。ただデータシート上の数字やコーンエッジの構造、マグネットの大きさを見ても必ずしも期待通りではない物もあるようです。私はカタログの数字データは、寸法とF特、8 か4 か以外はほとんど見ていません。

極端なオーバーダンピング物、ハイあがり物は、落ち着かないやかましい感じになるようで自分は好きではありません。

作例の記述では使用したいいくつかのユニットでの結果を紹介してはいますが、私はいくつものユニットをたくさん試していないのでこれを論じるには経験不足です。

大口径ものは将来の興味はありますが、本来の目的として検討したことはありません。

2. 製作材料

現実には木箱か、塩ビ管のどちらにするかの選択です。それ以外は試したことはありません。それぞれ特徴のある材料で、完成後の音色、作業内容、外観、設置方法に特色が出ます。

作例は最初のプロトタイプと3本パイプが塩ビ管、雑誌のコンテスト用が木箱でした。塩ビ管パーツは初めから半完成部品で共鳴管の構造に適した素材といえます。

実験的要素の強い設計の場合は構造変更、調整のしやすい塩ビ管が、つぶしが利いて後々も安心です。ある程度間違いはないと設計に自信のある場合、木箱は応用が広いでしょう。

音色的には好みで意見が分かれるでしょう。塩ビ管はクールでスカッとシャープな感じ。木箱は板材によりますがゆったり重厚な刺激の少ない感じでしょう。塩ビ管がオーディオ的に劣ることはありません。

2 作目の木箱は塩ビ管プロトタイプで確認した構成をとりました。

木箱はコンパクト性、外観の点で有利ですが構造設計と組み立てが難しくなる場合があります。バックロードホーンの経験をお持ちの方なら問題ないでしょう。また、組み立て後の調整は BH 同様に限界があります。仕上げは木箱として好きなようにできます。

塩ビ管は組み立て解体が容易で設計の事後変更も簡単です。ただし音響設計を優先すると全体形状が大きく、変更が多いとまとまらなくなってゆくことがあります。プロトタイプは自立できなくなり壁掛け式となりました。

3 作目の、3本パイプでチャレンジした塩ビ管3重パイプによる3D ドーナツ 180 度 2

回立体折り返しは、スペース効率は良かったのですが別の難しさが出てきました。
自分の作り方では VU 管表面に防振のためアルミキッチンテープを貼ります。これは
美的な仕上げと合わせて効果的です。

3. 共鳴管本数

本数を決めると言っても、私自身も 2 本と 3 本しか経験しておりませんし、それ以上は
構造が複雑になりすぎ現実的でないと考えます。また木箱では 3 本管も大変困難でし
ょう。

この方式は 2 本が本命かもしれません。

3 本パイプは大型になりますが超低音域に挑戦できる可能性があります。ただ、共振
周波数の配列に少々困難がありフラット感に 2 本パイプに譲るかもしれません。周波
数の調整も微妙になります。

また、長さの異なるパイプが増えるほど、また長くなるほど、位相差による低音域のリ
バース効果が大きくなり分解能が落ちてゆきます。好き好きの問題ですが、ソリッドで
シャープ、マッシブな楽音には向かない場合もあります。

塩ビ管で作成の場合は、1 本から始めて確認しながら増やしてゆく工程を取れます。

4. 共鳴周波数と長さ設計

共鳴管本数が短管 S と長管 L の 2 本として説明します。

私の多重共鳴管は長短各パイプの 4 分の 1 波長、主共鳴音 X_1 と、その 2 倍、2 分の
1 波長音 X_2 の両方を同程度に発生させ、広範囲な低音域の増強を目的としています。
これが重なったり、間が抜けたりしないよう順序良く配列することが重要です。

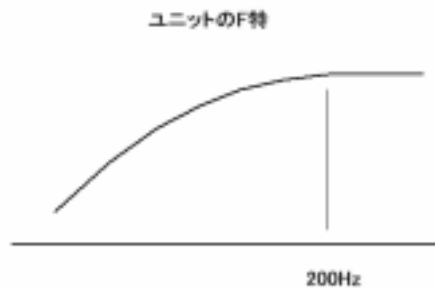
具体的には、ユニットの F 特を見て、低音域出力レベルが落ちてきたところに短管の 2
倍音 S_{X2} をつなげるように配置します。これが決まるとそのパイプの主共鳴 S_{X1} 周
波数はその半分になります。

次に、長管の主共鳴音 L_{X1} と 2 倍音 L_{X2} が先の短管の主共鳴音周波数 S_{X1} を挟
むように長管 L の周波数 X_1 、 X_2 を決めます。

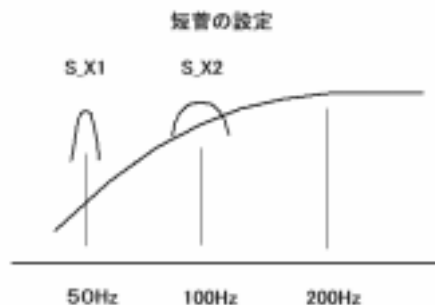
逆に言い換えると長管の L_{X1} と L_{X2} の間のデップを短管の S_{X1} で埋めるようにし
ます。

これを、具体例を想定して設計手順を追ってみましょう。

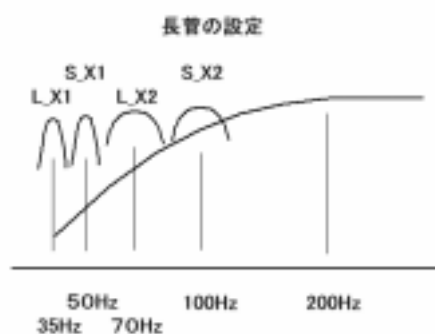
まず使用するユニットの F 特の低域部分を確認します。



これは 3 インチ物によくある低域特性で 200Hz くらいからダラ下りのユニットです。
短管の 2 倍音 S_X2 を 100Hz として連続した低音域増強となるよう設定してみます。



短管の 2 倍音 S_X2 が 100Hz ですからその主共鳴音 S_X1 は半分の 50Hz になります。
主共鳴音と 2 倍音の音量バランス調整が上手くできていれば(5.の項を参照)、2 倍音は主共鳴音よりも幅広の、かまぼこ状のピーク形状になっていると思います。
次に、50Hz と 100Hz の間のデップは結構大きいので、L_X2 がその間に来るように、また S_X1 の 50Hz と主共鳴音 L_X1 が並んで上手くつながるように長管の設定をします。



F 特横軸周波数は音階聴感の対数目盛りですから、4 つの並んだピークは、隣との間隔を対数的になるように、低音よりでは小さく、高音側は大きくなるようにします。
この辺の感覚は MCAP-CR の第一、第二ポートの周波数設定と同様ですが、パイプ 1 本で倍の関係の共振周波数が 2 点になりその点自由度が無いことに注意します。

ここでは長管を X1 が 35Hz、X2 が倍の 70Hz としてみましよう。

これでパイプ 2 本、4 つの共振周波数は

35Hz	50Hz	70Hz	100Hz	となりました。隣との間隔は
15Hz	20Hz	30Hz		と低音寄りほど詰まっています。

またユニット裸特性の 200Hz までは 100Hz の間隔で、このように並べばこの場合大体良好ではと思われます。

ユニット自身の低域 F 特を見てこの要領で周波数設定を決めればよいでしょう。

低域限界を欲張って L_X1 をやたらに低くしすぎると巨大化し、構造設計と製作難易度に影響します。

また経験ではユニットの低域落ち始めから S_X2 までは結構大きく開いても大丈夫で、ここは一般のシングルバスレフのポート設定と同じか、やや高いくらいの周波数でよさそうです。

周波数が決定すると共鳴管の長さが決まることになります。

一般に共鳴パイプ長さ L (m) は共鳴周波数 F (Hz) から

$$F(\text{Hz}) = 85 / L(\text{m}) \quad (\text{開口補正なし})$$

で求められることは周知です。これから先の設計例の各 X1 の周波数設定をするとその長さは

長管 35Hz では 2.4m

短管 50Hz では 1.7m

となります。しかし現実にはそれほど単純でなく、必ず誤差を持って出来上がるので、この時点ではまだ目安と思ったほうが良いです。組み立て後にピーク周波数を確認しながら長さ調整する作業が必要になります。

共鳴管は折り曲げると、長さの点で事情が複雑になるので、後の全体設計の時点でこの周波数、長さ設定は見直しを迫られることもあります。

5. 主空気室と第一ポート

多重共鳴管は鈴木会長の MCAP-CR から派生誕生したことは最初のレポートでも書いたとおりです。MCAP-CR の副空気室を取り払ってパイプにしまったので、第 2 ポートは無いし、ひとつしかない空気室は主と言わないでも良いかもしれませんが、MCAP-CR をご存知の方には分かりやすいと思うので、同様に、主空気室、第一ポートと呼ぶことにします。

主空気室容量を決定する要素としては

ユニットサイズ（有効振動版面積）

コーンのストローク

第一ポート数（共鳴管本数）とポート断面積

を注意すればよいと考えます。この辺は MCAP-CR の設計情報に準じれば間違いないでしょう。ただし第一ポート以後がダンプなしの共鳴管ですので事情が少々異なります。

白状しますが今まで作った多重共鳴管は 3 インチと 4 インチしかないので経験不足です。

大まかな目安として実際に試した例を紹介しますと

ユニット口径は 3 インチ～4 インチで

主空気室は 2L から 3L

第一ポートは塩ビ管 25 ～ 30 、長さ 7 ～ 8 cm くらい

大型ユニットを使用するとパイプ音道の断面積も大きくするべきなので、全体のサイズがとてつもなく巨大になる可能性があります。長岡鉄男式共鳴管が 2 本パイプになった様子を想像してください。

主空気室容量は MCAP-CR の設計要領推奨値より少し大きくても良いように感じます。小さすぎると第一ポート同士が連結干渉しないようにレイアウトするのが困難になります。また、ユニット側から変な鳴きが出たときは吸音材を少量使用します。

第一ポートの役目のひとつに、複数の共鳴管同士が連結しないように分離することがあります。連結すると長さ合計の共鳴成分が発生します。それを意図的にやったことはありません。MCAP-CR 同様に、第一ポート同士が正面に向き合ったり接近しないようにレイアウトします。

MCAP-CR の第一ポートは副空気室でダンプがかかるので、その長さ断面積、容量で独自の共振周波数を持ちますが、共鳴管はダンプがかからないのでポート長さ太さを変えるなどしても、すべての共振周波数は同一になり、独自の共振を設定することはできません。主空気室の 2 本ポートバスレフと理屈では同じになります。（この点に関する先の開発試作のレポートの記述に間違いがあります申し訳ありません）

しかし現実には共鳴パイプは折り曲げや段違いなど、ダンプ抵抗を発生する要素が

多少あり、ポート長さを変えると若干ですがそれらしい共振周波数の変化を確認しています。

しかしこれでは設計として周波数配置を予測できず、出たところ勝負が現状です。

この 2 本ポートの共振は主目的の共鳴管の X1, X2 の強力な鳴りと比べると聴感上の影響は充分小さいので私は重大視していません。オシレーター信号再生するとパイプに耳をつけると聞き取ることはできます。主目的は各共鳴管のセパレーター兼ドライバースと見るべきでしょう。将来 MCAP-CR 同様に低域増強ピークとして積極的に調整、配列できるようになるかもしれません。

最初この第一ポートの共振周波数を MCAP-CR のように X1, X2 と並べたいと思ったのですが、この共振ピークはパイプの X1, X2 の鳴りと比べて小さく、大きな効果を期待するほどではありませんでした。よって、主空気室容量と第一ポート太さ長さは上の役目を優先して作りやすく考えたほうが良いと思います。

第一ポートは共鳴管の入力部分、ユニットパワーの導入部ですが、ダンプのかかるバスレフとは異なり、ここの構造設計がまずいとパイプ共鳴に問題が発生し、X1 と X2 の強度バランスが良くない、あるいは X1 がまったく出なくなることもあります。

具体的には、第一ポートから共鳴管への導入部分形状といったほうが良いです。

理想的な方法をまだ発見していませんがいくつか成功例と失敗例を示します。



これはパイプ始端部分に断面積の段差が付くように、径の小さい第一ポートが取り付けいた形で、塩ビ管プロトタイプで使用しました。

共鳴管の始端断面とポート断面導入部分の形状に注意が必要で、片側閉の要素が足りないと X1 が小さくなり X2 が大きくなることがあります。

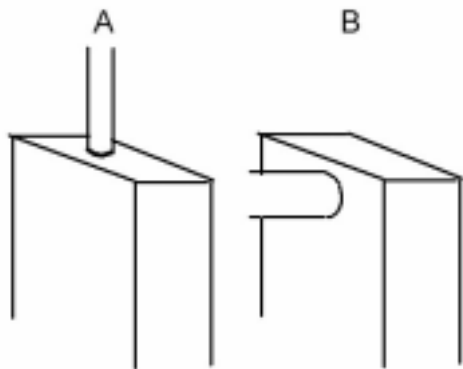


このスタイルは実はまだ成功例を確認していません。第一ポートが 25 、パイプが 40 の塩ビ管で試しましたが、導入部分より上が長さとして機能しませんでした。パイプ断面積がもっと大きくなければダメかもしれません。



これはパイプ始端部分に直角に入力する形で、塩ビ管、木箱の両方で確実に良好動作するようです。

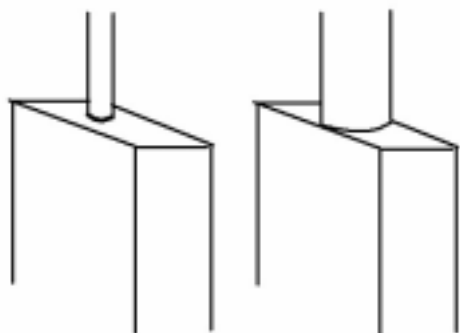
この三つを木箱で作ったとして、もう少し具体的なイメージで表すと



これは 2 号機 P800 木箱を作成のとき、塩ビ管 VP25 で作った第一ポートです。

A の場合は角パイプの短辺とポート径に注意が必要です。

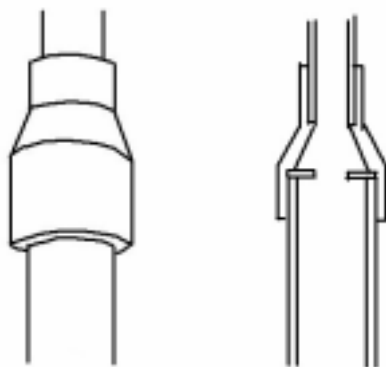
この A を短管、B を長管に使用しました。B のスタイルは良好でした。



A のスタイルは注意が必要です。左は良いのですが、右側のように太すぎる場合、問題となる可能性があります。

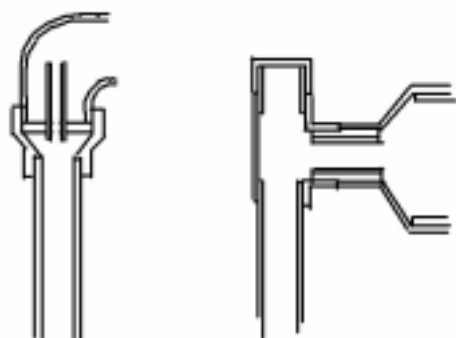
P800 木箱の短管第一ポートを右の形で作ったところ、X1 がまったく出ず、X2 ばかり強力に鳴ってしまい、泣く泣く穴を開けて手直しをする羽目になりました。

X1 をちゃんと出すには、片側閉の構造要素がしっかり出なければだめで、ポート径が大きすぎると両側開のパイプになってしまうということのようです。



これは塩ビ管の単なるインクリーザーにドーナツ板を入ただけですが径にある程度の差があればこれも機能します。

(上が第一ポート側、下がパイプ側)



この二つは実際に塩ビ管で組んだ例で、左は初代プロトタイプ、右は 3 号機 3 本パイプのスタイルです。

左はインクリーザーのテーパ部分が気になりますが僅かであれば問題ありません

でした。

右はチーズの上方、キャップとの間にパイプを足せば長さ、周波数の調整ができると踏んだのですがうまく行きませんでした。(VU40 菅へポートが VP25)

第一ポートの形状は音圧導入する共鳴管の鳴り方、X1とX2のバランスに影響を与えるので、すべてのポートを同一のデザインにするのが良いでしょう。

6. 音道の折り曲げターン

この項の内容は一部、現状では私の仮説、推測を含みます。また私の見ていない解説著書がどこかで触れているかもしれません。

先の4. 項の設計例の周波数設定によるパイプ長さは

長管 X1 35Hz 2.4m

短管 X1 50Hz 1.7m

これは直管では家庭用オーディオスピーカーとして手に負えない長さで、住宅事情にも沿わず、耳障りな奇数次倍音ノイズ、キンキンカァカァしたいやな音もじゃんじゃん出ます。また2倍音X2はこのままでは主共鳴X1よりずっと小さいです。この問題を改善するために、折り曲げが必要です。

音響設計的な項目としてまとめると、以下の目的を折り曲げによって目指します。

奇数次倍音は、音楽再生には不快な雑音なのでこれを排除すること

各パイプのX2とX1が同程度に出るようにすること

開口部分の位置方向を意識すること(できれば同じ高さにそろえる)

背面、床面に開口部分を向けると、セッティングによって部屋の壁床天井の反射を利用し臨場感の改善、低音域増強に利用できる ただし広い場所では消失する

全体の美的デザイン、設置機能の意味では

言うまでもなくカッコよい形にすること

できれば自立できるようにすること

この辺を念頭に折り曲げ、全体の構造設計を決めます。

共鳴管直管ではX1、X2、X3、X5・・・と共鳴点は解説されています。数回の折り曲げがあれば、実際にお目にかかる奇数次倍音は3倍X3のみ意識すればよいみたいです。5倍、7倍はお目にかかったことはありません。

また折り曲げ方長さ配分として、

中央で二つ折りにすると X1 は弱くなる

3 等分の 3 折にすると 3 倍音が出やすくなる

のように感じました。詳しく検証はしていませんので気のせいかもしれません。特に木箱で全体を四角い箱にまとめるには陥りやすい話ですが、もちろんこれではだめだと言う意味ではありません。が、この問題を改善するために大量の吸音材を押し込んだり、奇数次倍音を気にして開口部分を背後や天井に向けてお茶を濁したりの作例を見ると、なんだか妥協が大きく熟考にさみしい形に見えます。こんなの造ったことのある方はどんな感想をお持ちでしょうか。



実は 2 作目木箱のとき、短管も長管も等長 3 つ折りにして 3 倍音退治に苦労しました。私は 2 等分、3 等分はできればやりたくありません。よって、

折り曲げ方は、直管部分の長さがだんだん短くなるように曲げる

(断面積の項参照)

また、定在波みたいな、いやなピーク音の低減や防振、共鳴パワー増大に

音道をホーン状にすこしづつ末広がりにする

主空気室内に吸音材を使用する

キッチン用アルミテープを木箱音道内、塩ビ管外側表面に貼る

などすると効果があるようです。音道内壁に塗装をするのも面白そうです。

音道内に吸音材を使用すると、管の振動は止まっても当然共鳴も低下します。自分はポリシーとして音道内には使用したくありません。2 作目木箱と 3 作目 3 本パイプは、第一ターン部分に 3 倍音対策で仕方なく少量入れました。木箱は設計如何で入れずに済むかもしれません。塩ビ管プロトタイプはパイプ内に吸音材は使用していません。

整理すると

折り曲げ回数が多いと

3 倍音は減る 2 倍音は増える 主共鳴音は減る

折り曲げ回数が少ないと

3 倍音は増える 2 倍音は減る 主共鳴音は増える

以上経験から、主共鳴音と 2 倍音を同程度に出す、3 倍音を小さくする妥協点として

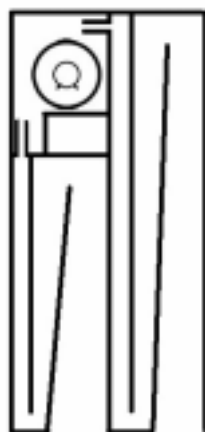
塩ビ管パーツ 90 度エルボなら 4 回または 3 回

木箱音道 180 度ターンなら 2 回

ターン部分がどんな構造か、直管部分の長さ配分により影響あると思いますが、この程度の折り曲げ回数が大体良いと思います。X2 倍音が X1 より少し大きいくらいのバランスになると思います。これ以上曲げると主共鳴が小さくなるし、曲げたりなければ 2 倍音が小さくなり 3 倍音が出てきます。木箱の四角形スパイラル 90 度ターンかたつむり型は試しておりませんがおそらく塩ビ管とだいたい同様ではと想像します。

また、X1 と X2 の音量バランスが取れると X1 は比較的鋭いピークで、X2 はかまぼこ状の幅の広いピーク形状になっていると思います。

バックロードホーンのオリジナル設計にたけた方ならきっと良いアイデアお持ちでしょう。



これは P800 ユニットで作成の木箱の 2 作目です。

(コンテストは予選落ち) 長さ調整前は 3 倍音が猛烈に出ました

これを書いている最中に塩ビ管 3 重パイプの 3D ドーナツ立体 180 度 2 回ターンを試して、状況は大体同様ですが、2 倍音が強く主共鳴音が思ったより弱くなりました。3

重パイプでもほぼ等分 3 つ折りのときはやはり X3 が出てきました。



スペース効率は良かったのですが…

また、塩ビ管で作ると、エルボの折り曲げ接合部分やインクリーザー太さ段違いにより主共鳴音、2 倍音以外に小さい共鳴ピークがたくさんの周波数で出現します。(オシレーター出力をパイプに耳当ててやっと聞こえるくらいの大きさ)
この現象は結果的に塩ビ管の音色として影響することになるでしょう。

木箱の 180 度ターンは、音道形状を帯状の平べったい、きし麺みたいにすると、断面積に対してターン部分を小さくでき、末広がりにはターン部分の板の角度でできるので塩ビ管のような寄生ピークは少ないです。
塩ビ管は、組み立て接合部分にどうしても段差ができてしまうので、結果びっくりするほどたくさんの細かいピークが発生します。

ところで思い切ってもっと折り曲げを増やすと、主共鳴音は消失して 2 倍音のみの音響迷路になります。多重音響迷路の研究も、どなたかやりませんか？

7. 音道の断面積

一般の共鳴管スピーカーの設計情報として、音道断面積を、ユニットの有効振動板面積の 1.5 倍前後を推奨する文章を見たことがあります。
これに習えば、多重管本数分の音道断面積合計がそうなるようにすれば良いように思われます。

これに異議を唱えるわけではありませんが、この話はコーンの剛性とストロークを合わせて考えないと面積だけ論じて意味が無いように思います。多重共鳴管の場合は第一ポートを通過したら、パイプから見ればコーン面積なんてどうでも良く、空気の振動流量が問題です。

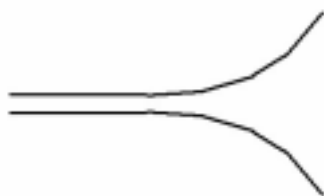
同じ箱にインチ同サイズのユニットでも音量を上げてゆくとまったくパワー不足でパイ

ブを鳴らしきれないものがあったりしました。

第一ポートを経由してパイプを鳴らすので、ユニットをポンプみたいなものと思えば有効振動版面積の話は目安程度でユニットの性格と合わせて考えるべきでしょう。

経験では合計1倍くらいでは共鳴管らしい個性(欠点)の少ないソリッドな印象。2倍近くになるとパイプの共鳴パワーがもりもり効いて豪快に鳴るように感じっていますが、材料や断面形状、折り曲げ状況など合わせて、確認にはまだまだ場数が必要です。

言い方を変えると、共鳴管の鳴り方として、断面積が大きめだと楽器みたいに、パイプが勝手に鳴るような感じ。小さめだと共鳴管の個性が小さくなり、小音量でもユニットからよくコントロールされた鳴り方になるように感じます。3倍音は、ユニットが非力で断面積が大きいと出やすいような気がしましたが気のせいでしょうか。



バックロードホーンでは、音道にテーパを持たせるときは、指数関数みたいに徐々に加速度のある広がり方が良いように紹介されています。これをイメージして木箱、塩ビ管でどうするか考えると、

第一ポート導入部分からしばらくは直管とし、曲げたり太くしたりしない

言い換えれば X1 主共鳴音の密度がある程度下がってから、折り曲げ、断面積増加テーパをつける。

のように心がけるのが好ましいようです。(次の項に詳細)しかし、木箱でも塩ビ管でも複数のパイプをこのように組むのは困難で絶対原則とするのは無理、心がけがせいぜいでしょう。具体的には、

第一ポートから最初のターンまでは比較的断面積変化なく長くし、次のターンや断面積拡大は、そのたび段階の間隔を狭める

テーパ状にラッパ型にした出口は第一ポートスタートの2～3倍広くて大丈夫です。極端にラッパ開きをつけるとバックロードホーンに近づいてゆきます。デュアルバック

ロードホーンの構想、研究をされている方がネット上で公開されていらっしゃるので比較すると面白いです。(鈴木会長サイトのリンクご参照ください)

8. 共振周波数の変動

当初私は折り曲げ部分も周波数決定のパイプ長さに含まれると思っていたので、メジャーでカーブした部分も合わせて測ると、共鳴周波数を実測するとなぜか短めになるなと思っていました。(計算値より周波数高い)

しかしそうするうち経験から次のような仮説を考えています。

(私の読んでいない文書にこの辺を解説したものがあるかもしれません)

塩ビ管でも木箱でも

ターンしたときカーブ部分はそのまま長さを測って計算に入れない

段階テーパーをつけたときその部分の長さはそのまま長さ計算に入れない(塩ビ管インクリーザーのような形)

すなわち直管部分 + 　　の長さを周波数計算をする。

共振時のターン部分付近での構造によっては、密度分布が乱れると直管部分にも影響することがあるので直管部分総計よりもさらに短くなることもある

その理由は共鳴周波数を決定する密度分布は、折り曲げや断面積などのパイプ構造の急激な変異に、リニアに対応しないのではないかという仮説です。

以下に理由と推論を述べます。

片側開、片側閉パイプが主共鳴音(パイプ長さ4分の1波長)で鳴っているときの空気密度分布はよくこのような漫画で表現されます。

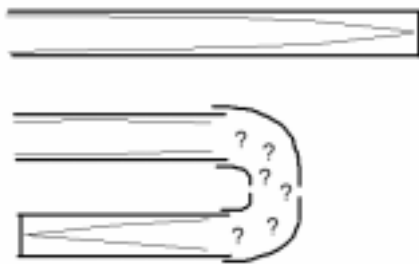


両側開パイプが2倍音、2分の1波長で鳴っているときはこのようになります。



どちらも開いているほうが密度低、すぼまっているところが密度高です。
これを適当な太さの塩ビ管を使って、開口部分を手のひらで鳴らすと共鳴音を聞けます。ふさぐようにたたくと片側開、片側閉でポオンと主共鳴音、パンパンとはじくと両側開でポンポンと1オクターブ上の2倍音が聞けます

このパイプを中央で切断して90度エルボで2回ターンすると



エルボによるターンは結構カーブの長さが増すのですが、音はそれほど低くなりません。

ためしに巻尺でカーブ部分も含めた全長を測り(大体パイプの中心を測ります)同じ長さの直管を作ると、カーブしたパイプよりずっと低い音がします。

ということはカーブしている部分は直管のように共鳴の密度変化があまり連続しないということでしょう。

こんな実験をして見ます。VP25 パイプ 30cmにエルボをひとつつけて



ハンマーみたいなのを作ります。

エルボ側を手のひらに塞ぐようにパン・・・パン・・・とたたいてみます。

次に直管側を手のひらに塞ぐよう、同様にたたいてみます。

エルボ側をたたくと低い音が鳴り、パイプ側をたたくと高い音で鳴ります。
全体の長さは同じなのに、どちらを叩くかによって、音の高さ、周波数は同じになりません。

同様に今度はふさがないように、はじくようにたたいて見ます。
塞ぐときよりも1オクターブ高い音です。今度はエルボ側も直管側もほぼ同じ音です。
(数字データをまとめられず申し訳ありません簡単ですのでぜひお試しください)
これはいったいどうしてこんなことが起こるのでしょうか。

推論仮説です。片側閉じ、片側開パイプの共鳴時の密度分布は、密度の高いほうはパイプ形状の変異すなわち折り曲げ、段差に影響を受けにくく、密度の低いほうは影響を受けやすいのではないかと。

密度の高い部分で形状変異があると、そこでの密度変化は比較的小さいのではないかと。

でなければエルボ側と直管側をたたいて音程が違うはずがありません。

はじくように叩くと、両側開では密度はどちらも低いので、どっちを叩いても同じ周波数になるのではないかと。

とすると、塩ビ管パーツの、同じエルボやインクリーザーは、共鳴管の一部に使用すると、直管のときの共鳴密度分布のどの部分にそれを置くかによって、共振周波数への影響が異なるのではないかと。木箱の場合も、全体のどの部分に折り返しターンを置くかによって見かけ上の長さは同じでも結果共鳴周波数は異なるのではないかと。

言い換えるとパイプ全体のどの部分にエルボターンやインクリーザーを置くかで(入り口に近いか、出口に近いか)、木箱の場合も、折り返し部分の形状、直線部分の長さ設定により、全体長さが同じでも共鳴周波数が同じにならないことになります。

3本パイプで初めて試した3重管のドーナツ型立体折り返しも同様な事情がある様です。



このやり方の特徴は、第一ターン以後は音道形状が円筒形になることで、スペース効率に優れ、また音道断面積の大きさの割りにターン部分を小さくできることです。得られた共振周波数はやはり直管部分の長さ総計値に近いものでした。

話をまとめると、共鳴管周波数を決めて、長さを先の計算式で求めても、折り曲げやパイプ断面積の変化がある以上、必ず狂いが生じて周波数誤差が起こることは避けられないことになります。したがって、作りっぱなしで設計どおりの周波数が得られれば最高で、宝くじ物ですが、この推論が正しくても間違いでも、多少の調整が必要になる考えるべきです。

9. 調整

目標の共振周波数から計算で求めたパイプ長さを、現実的折り曲げスタイルで適当に作ると、得られる共振周波数は前項で述べたとおり、結構な誤差を持って完成されます。1本1発の共鳴管ならば多少の誤差があってもかまいませんが、ここでの多重共鳴管は2本パイプで4点の共振ポイントを順序よく並べる必要があるので、一端出来上がったら必ず確認、事後パイプ長さ調整をする必要があります。

出来上がったスピーカーの各パイプの共振周波数を調べるためには何らかの測定機材が必要になります。ピンクノイズ、スイープ音のオーディオチェックCDをお持ちの方も多いですが、私はアナログオシレータと周波数カウンタの組み合わせが便利と思います。

(先の開発試作のレポートで紹介した物を使用しています)

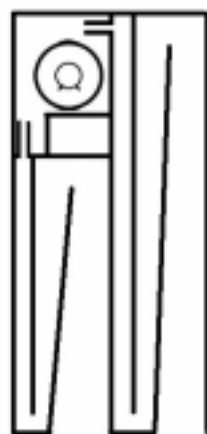
ゆっくり周波数を手動スキャンし、パイプ出口に耳を当ててピークセンターの周波数を聞き取ります。

塩ビ管パイプならパイプ長さ調整はばらして切ったりつないだりで簡単ですが、木箱は問題となります。

P800 用木箱では開口部分、背面側を切り開いて調節することを最初から想定して、

短管、長管長さをやや長めにしておきました。

このやり方は単純なパイプ長さ調整と言えないので、聞き取った周波数からどれだけ短くするか計算したとおりになりません。確認しながら少しずつジグソーで切りました。



コンテストのときはユニットのパワー不足もあって完成度はそこそこでした。この状態では S_X2 が少し低すぎ、さらに短くしました。



背面側なので切りすぎても付け足し可能です。

現在はサブバッフルをつけてダイトーのユニットで使用しています。

木箱でも塩ビ管でも、4つの共振周波数を上手く並べて、F特グラフを作るのも意味のあることですが、何より自分の好きな音楽 CD、楽器の音を聞いて気に入った自然な音にすることが大切です。

多重共鳴管スピーカーを作ろう Vol.1 Part2 に MPR-1、MPR-2、MPR-3 の作例の実際を示します。

