

OM-MF519 スピーカの製作

はじめに

今年の Stereo 誌コラボ企画はマークオーディオの 8cm のメタルコーンユニット OM-MF519 とのことで誌面告知以来、発売開始を楽しみに待っていました。本ユニットは昨年度の OM-MF5 から以下の 3 つの大きな改善により空間再現性や音楽表現力が大きく改善されたようですので益々期待が膨らみます。

1. マグネット追加（磁気回路強化）による駆動力の向上
2. ダンパーの柔軟化による振動系のコンプライアンスを適正化し低域の再生帯域を拡大（fs の低減）
3. センターキャップとボビンの接着強度アップにより振動伝送ロスを低減し高域の再生能力を向上

今回は昨年作品（OM-MF5）とは別の方式でこれらの改善点を活かしながら、無理のない範囲で低域側の再生帯域拡大を目指すことにします。形式は色々ありますが、昨年発売された ONTOMO Shop 限定モデルや付録冊子にあったスコット・リンドグレン氏の提案例などを参考にラビリンス方式を検討することにしました。この方式は過去に同社の CHR-70 v3 で実験的に製作したことがあり、ユニット特性の良さを活かした闊達な鳴りっぷりの良い作品となったことも採用の動機となりました。当時はエンクロージャーのサイズ感を基準にして、音道長さや形状は山勘的に決め、音造りの追いつきも不十分だったので、今回は web 検索するなど情報収集しながら合理的な設計を行ってみることにします。



1. システム基本設計

今回採用するラビリンス方式は単なる音響迷路ではなく QWTL (Quarter Wave Transmission Line) の応用で海外でも盛んに研究されており、Martin J King 氏の理論的な解析などにより愛好家の間で広く採用されるようになった様です。国内の Web サイトにも何件か QWTL が取り上げられておりましたが、CYBERPIT HIRO さんのホームページに取り上げられている以下のページを参考にさせていただきました。

http://park8.wakwak.com/~hilo/audio/spk_mlt/index.html このページでは Brines Acoustics 社の資料を引用し、大変分かりやすく解説されておりますが、基本的な考え方の解説のため、共鳴管部分の具体的な決め方などの設計要領は示されていません。しかしながら作例の多くは③の Negative Tapered QWTL の応用型で消音器として動作させ

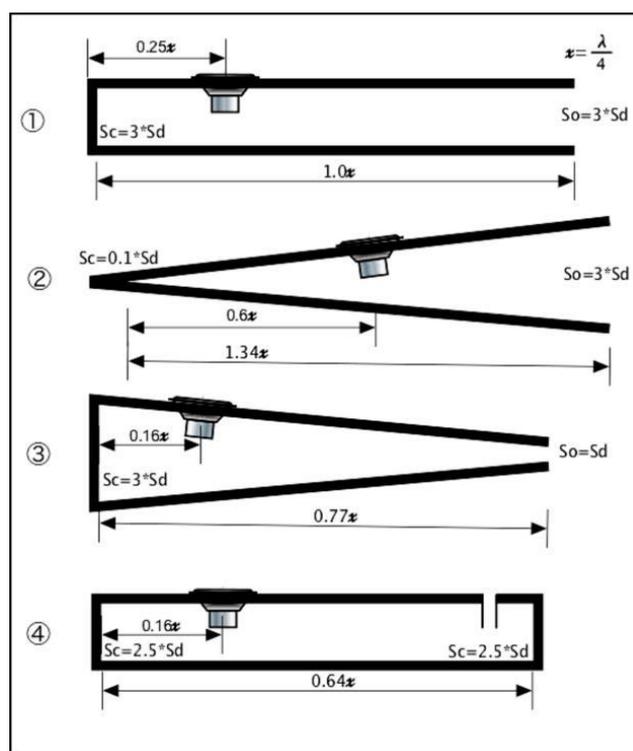


図 1. Brines Acoustics 社の資料より

ている物が多くを占めている様ですので、今回はこの方式で進めることにします。解説を読むと凡そのことは分かりますが、記載されている計算式のみではチューニング条件などを変数として設計展開することは困難なため、昨年の付録冊子のスコット・リンドグレン氏の記事や ONTOMO Shop 限定モデルとして販売されているコンパクトラビリンスの取説なども参考にさせていただきました。

この方式を採用する場合、1/4 波長管による共鳴を利用し、いかに全体的な帯域バランスを取るかが要点となります。図 1 に示す Brines Acoustics 社資料によればチューニング周波数はユニットの f_s にするのが基本のようですが、OM-MF5 の $f_s=124\text{Hz}$ に対してリンドグレン氏の冊子記事では $f_b=85\text{Hz}$ を提案していましたのでこの限りではないと判断しました。OM-MF519 は $f_s=106\text{Hz}$ ですので、 $f_b=80\text{Hz}$ とやや低めに設定し、リンドグレン氏の冊子記事の設計値を参考に、資料の基本式から得られる値に補正を加え、最終的な管長を 730mm としました。また、このシステムのもう一つのポイントは 1/4 波長管の特定の共振ピークで発生するリングングを抑えて、低域側の音圧とユニットの持つ周波数特性との折り合いをつけることですので、微妙な吸音調整が必要になります。

よって、構造的には完成後の吸音材充填調整のし易さを考慮して、シンプルな 1 回折り曲げとし、取付け穴の比較的大きなターミナルを採用、折り返し部に近い位置に配置しました。外観的にはスリムでやや背の高目なブックシェルフサイズ（背面開口）とし、最悪は密閉型や変形バスレフへの転用も視野に入れました。板取りと内部構造は最終ページを参照ください。

材料は偶々ホームセンターで見かけたアカシアの集成材 (t15、厚さ方向でフィンガージョイント) が木目や木肌の濃淡が美しく一目惚れし、即決しました。サイズ展開は各種用途向けに何種類もあり、板取り効率が良くリーズナブルな価格の 400mm×1820mm を購入しました。アカシアは広葉樹で密度も高目、ウクレレなどの楽器にも使用される響きの良い樹種なので期待が持てます。

- ・ 振動板材質：マグネシウム／アルミハイブリッドコーン
- ・ バッフル開口径： $\phi 70\text{mm}$
- ・ 外径寸法： $\phi 103\text{mm}$

T/S parameter

- ・ $\text{Revc.} = 4 \text{ Ohm}$
- ・ $F_0 = 106.3 \text{ Hz}$
- ・ $S_d = 0.0028 \text{ m}^2$
- ・ $V_{as} = 1.3 \text{ Ltr}$
- ・ $C_{ms} = 1.16 \text{ mm/N}$
- ・ $M_{md} = 1.85 \text{ g}$
- ・ $M_{ms} = 1.93 \text{ g}$
- ・ $BL = 2.25 \text{ TM}$
- ・ $Q_{ms} = 2.53$
- ・ $Q_{es} = 0.68$
- ・ $Q_{ts} = 0.53$
- ・ $\text{SPL}_0 = 85.6 \text{ dB}$
- ・ $\text{Power} = 7 \text{ Watts (Nom)}$
- ・ $X_{\text{max}} = 3.5 \text{ mm (1 way)}$

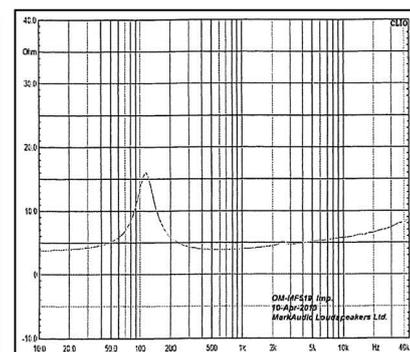
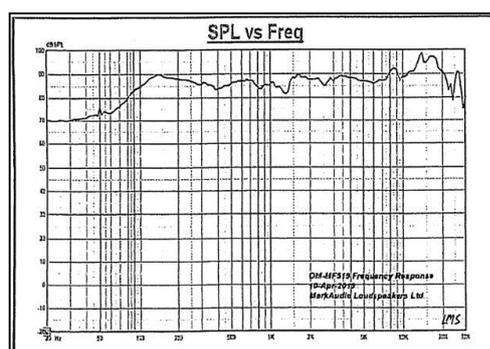
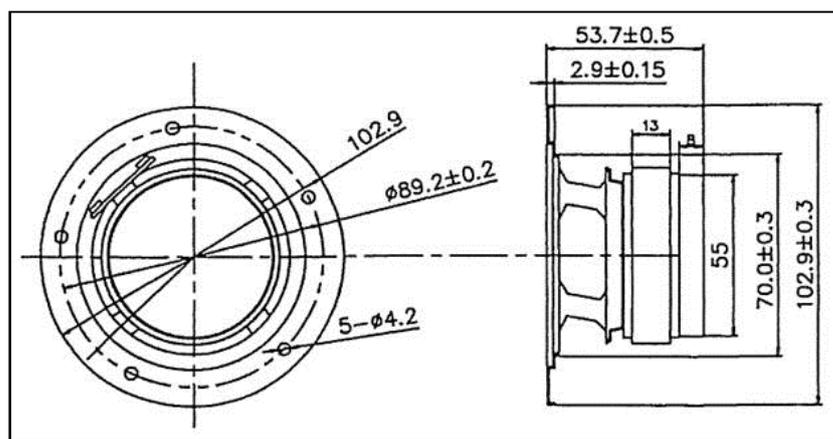


図 2. OM-MF519 主要スペックおよび周波数特性線図

2. 参考制作費

- ・スピーカユニット（マークオーディオ OM-MF519 1ペア）… 5,990 円
- ・ターミナル（Jialun AT06-050A-2 1ペア）… 380 円
- ・ニードルカーペット（910mm×800mm）… 790 円
- ・観賞魚用濾過マット（CAINZ P.B 品、60cm 上部用 6 枚入り）… 398 円
※ご参考…充填量は 1 組当たり 3～4 枚（嗜好や視聴環境にて適宜調整）
- ・防振シート（クロロプレングムスポンジ：1mm×300mm×300mm）… 398 円
- ・内部配線(バルデン 8470), 圧着端子, 鬼目ナット, M3 真鍮ネジ 1 式 … 約 1,200 円
※ご参考…バルデン 8470 (280 円/m)、M3 鬼目ナットは模型用特殊品 (540 円/10 個)
- ・アカシア集成材（t 15×400mm×1820mm）×1 枚 … 2,980 円（+カット代 540 円）
- ・ボンド, サンドペーパー, 等補助材料 … 約 200 円
- ・塗料（Tannoy Wood Wax）… 非売品

※ 板材や仕上げ方法により製作費用は変化しますが、12,000 円ほどで 1 ペア製作できます。

3. エンクロージャーの組立

今回も部材の裁断（直線カット）は近在のホームセンターのパネルソーでプレカットしていただきました。裁断後は部材の仮組みをして、寸法通りにカットできているか確認しておくといいでしょう。尚、ユニットおよびターミナル取り付け穴は自在錐でくり抜きました。

次にバッフル板にユニット寸法図から起こしたテンプレート（厚紙等を使って作成）に合わせてユニット取り付けネジの下穴を加工、M3 ネジ用の爪付ナットを打込みます。その後、ユニット背面の音抜けを良くするように木工ヤスリを使って面取り加工をします（図 4 参照）。

次はいよいよエンクロージャーの組立てです。今回の作品の音道は 1 回折り返しのシンプルな形状ですので、組立は至って簡単です。最初に側板に音道構成用の中仕切り板の位置を罫書き、各部材の組立位置や取り付け向きを確認しておきます。準備ができたなら天板、底板、背板、中板を側板に接着します。この時バッフル板と接着する面に凹凸が生じないようにバッフル取り付け面側を基準に配置して接着します（図 5 参照）。ボン



図 3. 部材の裁断と寸法確認



図 4. バッフル板の面取り加工と爪付ナット打込み

ドが完全に固まらないうちに各接合面にボンドをたっぷり塗り反対側の側板を接着します。最後にバッフル板を接着しますが、裁断や接着位置の精度によって接合面に段差や凹凸が生じてしまった場合は鉋で平面を出してから接着します（接着前の仮組みで事前に部材配置の最適条件、組合せを確認しておく和良好的でしょう）。ボンドが乾いた後、バッフル板の外周部（木口）の段差や凹凸を均し、全体をサンディングして組立て完了です。



図5. 音道部の組立



図6. バッフル板接着前
(バッフル板接着面を面一に整える)



図7. バッフル板の接着と組立完成状態（表面処理なし）

スピーカーの音はエンクロージャーの外面仕上げによっても大きく変わります。これまで殆どの作品には手軽なウレタンニス仕上げを実施してきましたが、今回採用したアカシア集成材は木目や木肌の色が個性的でこれを活かしたいと思い、今回は WAX 仕上げに挑戦することになりました。市販の WAX では未晒蜜蝋 WAX 辺りが入手し易いですが、今回は知人よりいただいた TANNOY 製品の手入れ用の WAX が手元に有ったのでそれを使用することになりました。この WAX はウォールナット調の色目で、塗り込みと#400のサンディングを3回ほど繰り返



図8. TANNOY WOOD WAX

し、最後にきれいに拭き上げて完了としましたが、非常に落ち着いた高級感のある仕上げができました。作業は思ったよりも易しく、集成材などの木目を活かして仕上げたい場合にはオイルステイン+クリアニス仕上げより工数も掛からずきれいに仕上げることができると思いますのでお勧めです。内部配線材にはリーズナブルな価格で長年愛用しているベルデン 8470 をチョイスしました。

このエンクロージャー方式は共鳴を利用し再生帯域拡大を図るものですが、チューニング周波数の決め方もさることながら特定帯域の共振ピークをいかに吸収して自然に鳴らせるかが重要です。まずは定石通りユニット背面部の定在波吸収と折り返し部を中心に吸音材（サーモウール）を入れ、バッフル開口部から“アッ アッ”と発音を繰り返しながらエコーを感じないレベルまで充填量調整した後、ユニットとターミナルを取り付けて、一旦システムを完成としました。

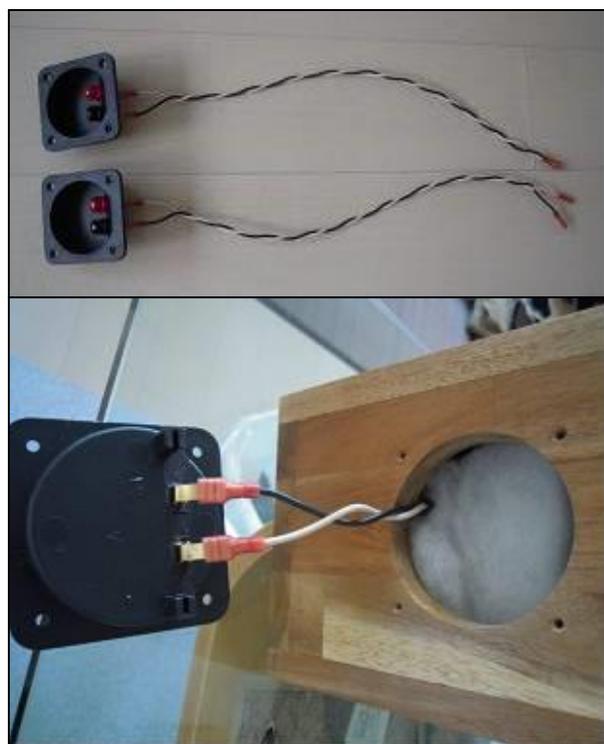


図9. 内部配線とターミナル



図10. 完成したシステム

4. 音出しとチューニング

次は完成したシステムの鳴らし込みによるチューニングです。ユニットやエンクロージャーのエージングには時間を要しますが、最初に定在波と共振ピークの吸音処理を中心に全体的な帯域バランスを整え、細かなニュアンスや空間再現性などはエージングの進行を待ちながら微調整を実施して行き

ます。組立完成時からかなり良いバランスで鳴ってくれましたが、ピアノの特定帯域でしみ感や定在波がわずかに感じられたので調整を行うことにしました。最初にユニット背面に吸音材（サーモウール）を追加したのですが、定在波の吸収効果と引き換えにスケール感とスピード感が大きく後退してしまいました。吸音材の種類によっても多分に違いがあるとは思いますが、この状況から判断し単純な増減では音を整えるのは容易ではないと判断し、参考資料やリンドgren氏の記事を読み返して吸音の有り方を全面的に見直すことにしました。定在波に対しては吸音だけではなく音道内の反射が影響していることが考えられたので、内部のほぼ全面に（折返し部の側板間を除く）ニードルカーペットを張り込んで、吸音材をサーモウールからポリエステル製の観賞魚用濾過マットに変えてみました。この対策で定在波による癖の有る音は抑え込むことができましたが、音道からの吐出し音によって中低域が増強され過ぎて帯域バランスが崩れ、開口からの放出音も耳についたため、吸音材の量を徐々に増やしながらバランスを取り直しました。吸音材によって吸音帯域や減衰効果がかなり異なりますが、今回のシステムには観賞魚用濾過マットの方が増減による変化がクリティカルではないため、サーモウールよりも調整がしやすく、適していると感じました。最終的な吸音材充填配置は図12に示す通りですが、エンクロージャーの板材や個人の嗜好によって微調整してください。

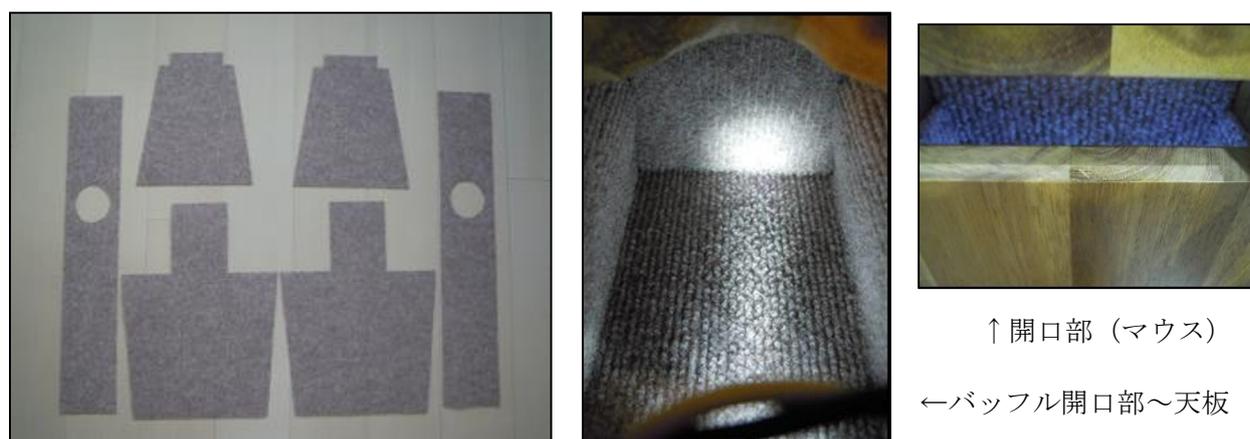


図11. カットしたニードルカーペットと音道内部への装着状況

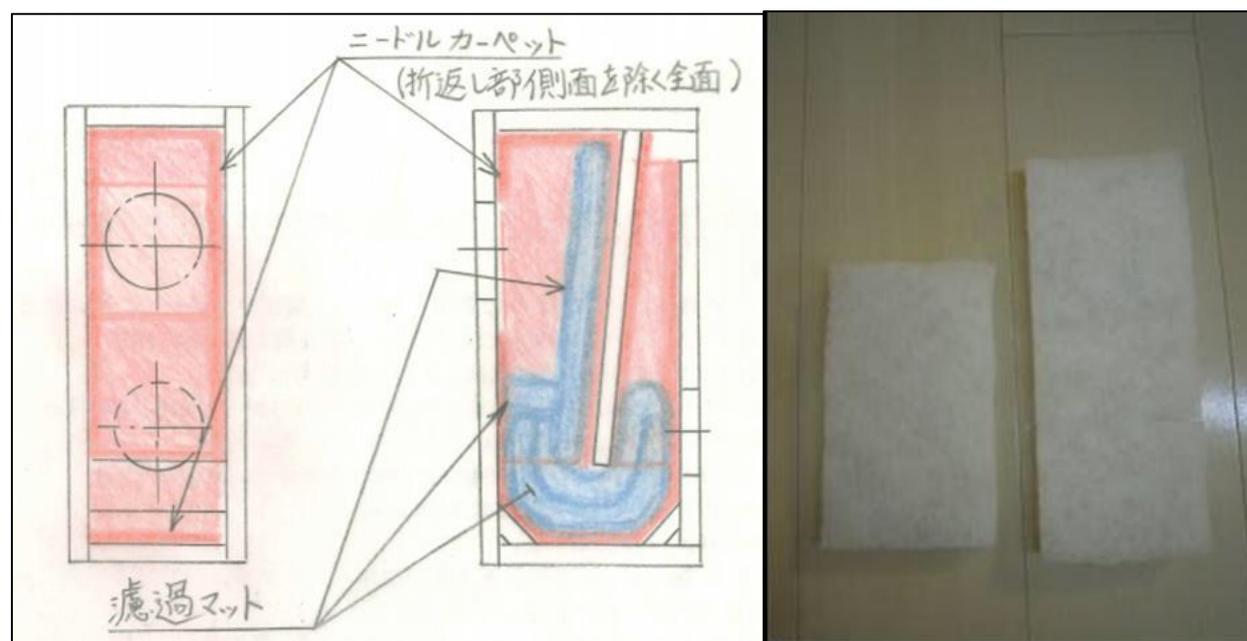


図12. 吸音材（観賞魚用濾過マット）と充填状況

5. その後の調整あれこれ

エージング開始から1か月程経過しましたので、最終的な音詰めに着手することにしました。システムは着実に熟成しており音触や帯域バランス的には問題有りません。弦楽器、管楽器、打楽器共に8cmユニット1発のシステムとは思えない鳴りっぷりでジャンルも問わず、Classicではオーケストラ、ソロ、小編成器楽曲、Jazz、ヴォーカルも自然に聴かせてくれ、アナウンスの音声も非常に聞き取り易いです。ユニットが高性能であることにも助けられていますが、ヴァイオリンやチェロなどの弦楽器は秀逸で特にチェロの胴鳴りはユニットの口径を疑いたくなるような表現力です。Jazzのブラスセクションも音離れが良く、バスドラやベースのスラッピングなどもとても8cmユニット一発とは思えない厚みを感じます。

ただ、検事の耳で聴くとソースによってはピアノの特定帯域で極僅かに滲みが残っているのが少々気になります（ホールトーンや拙宅のルームアコースティックの影響もあるかもしれませんが…）。最終的な音詰めはこの滲みを対策することに絞り込み、疑わしい部分を潰してゆくことにしました。

1) ガasket材の変更

OM-MF5による前作では厚紙のスピード感が好印象だったので、今作も当初は厚紙（t1mm）のガasketを使用していました。が、板材との相性が良くないかもしれないと考え、フェルトに変えてみましたがしっくり来ません。そこで生方先生の付録冊子記事にあった防振シートによるフレームの鳴き止めとガasketを兼ねた対策を実施してみることにしました。私の駄耳には明確な差異としては聞き取れませんが、心なしか浮足立ったようなざわつき感が軽減された様です。



図1.3. 左：ニードルフェルト(2mm)、右：厚紙(1mm)



図1.4. 防振材によるフレームの鳴き止め

2) 追加の吸音処理

前記の対策では目的としていたピアノの滲み感の低減には至らなかったため追加の吸音処理を実施することにしました。

これまで試した吸音対策においては空気の流れに抵抗をつけ過ぎると折角の音楽の躍動感やスピード感がそがれてしまいましたので必要最小限の吸音に留める必要があります。メインの吸音材はポリエステス製の濾過マットですが、より吸音効率の高いサーモウールを併用してみることにしました。試しに厚さ5cmのサーモウールを2cm×7cm程度にカットし、厚さ方向に2倍に引き伸ばして（透けて見えるくらいのイメージ）ユニット下部の濾過マットを薄っすら覆うように追加したところ、これがジャストミートで気になる滲みを抑えることに成功しました。この辺りは好みも有りますので、追試される場合は色々と試して自分のベストな条件を探索してください。

以上の対策を実施して更なる鳴らし込みを続けています。聞き慣れたことも多分に影響しているも

のと思われますが、締まりと音階感のある低域再生能をまとい、非常にバランス良い音で音楽を奏してくれます。昨年のコンテストで2次選考落ちとなった前作も大変バランスが良いと思っていましたが、今作はユニットの耐入力下がっているにも拘らず音量豊かで低域の量感も充実し、前作以上のまとまりの良さで、音よし、作り易さよし、見た目よし、の三方良しのシステムの完成となりました。



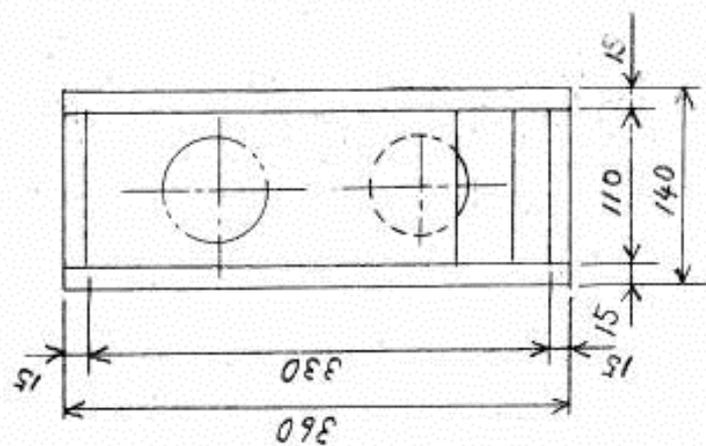
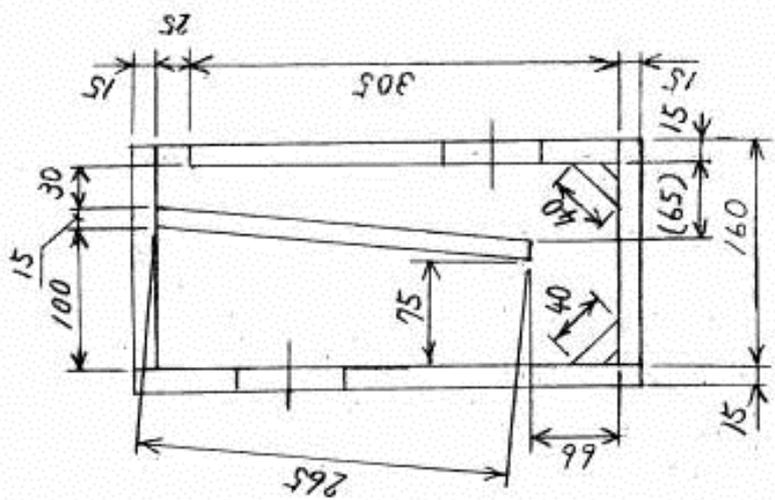
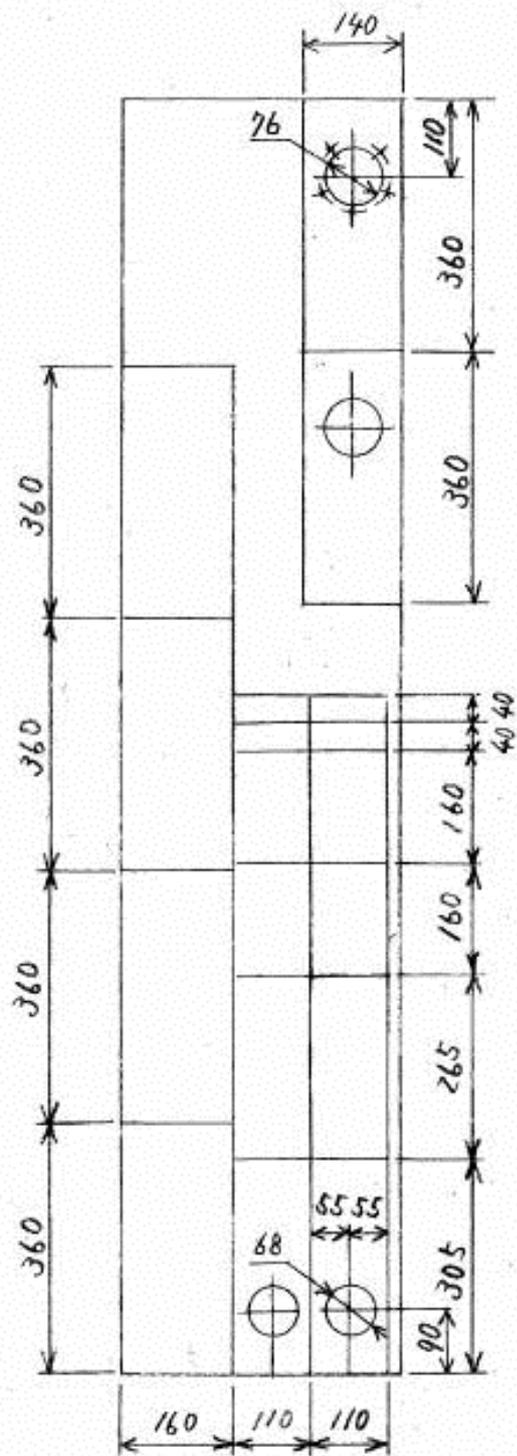
図15. こんな環境で鳴らしています

前述の対策から、更に1カ月以上鳴らし込んでいます。エンクロージャーの部材の乾燥、接着時のひずみ応力の緩和、ユニットの振動板やエッジのエージングが進んだことで更に熟成されてきました。耐入力は僅か7Wですが、拙宅では十分すぎるパワーバンドプレゼンスでとても飽和するまでボリュームノブを回せません。手前味噌ですが、聴き疲れのするような荒々しさは皆無で、安心していつまでも聴いていられます。

さすがに8インチクラスのフルレンジドライバーや5インチクラスのウーファーの低域の厚さには及びませんが、このような環境で鳴らしていると今作の3インチのフルレンジが鳴っているとは誰も思わないかもしれません。音を言葉で伝えるのは非常に無理がありますので、リファレンスソースがどう鳴るかなどの表現は避けたいと思います。ただ、製作も容易ですので、一度聴いたらきっと作ってみたいとなるとだけ付け加えたいと思います。

本システムは非常にシンプルな内部構造とアカシア集成材により、期待以上の魅力ある響きと闊達さを引き出すことができました。ペットネームは“Simple Labyrinth”と命名することにします。

アカシア集成材
400×1820×t15



K. Ambai
2019-7-20

板取り図(1ペア分)および構造図