

～ 効率的な低音再生を目指して ～

並列配置小部屋構造(MCAP)型スピーカーシステム
13cm フルレンジシステム - TR130b -

2008年12月14日 鈴木 茂

1. はじめに

並列配置小部屋構造(MCAP: Multiple-Chamber Aligned in Parallel)型スピーカシステムは、直列型のマルチバスレフを研究していた2005年に考案したものです。試作品は、3部屋4ダクト構造の簡単なものでしたが、結果が良かったので、2007年には特許を出願をしました。MCAP型は、ドライバーを取付ける主空気室に副空気室を並列に接続する構造です。共振周波数がダクトの数だけあるので、低域の不足を広い範囲に亘って補うことができます。今回の作品は、合計4部屋、6ダクト構造で、共振周波数が6つあります。

MCAP型の計算は複雑ですが、簡易計算法もありますので、興味のある方はウェブサイトをご参照ください。

皆様にお聞かせする機会を下されたミュージズの方舟の皆様に御礼申し上げます。

2. MCAP型スピーカシステム計算式の概要

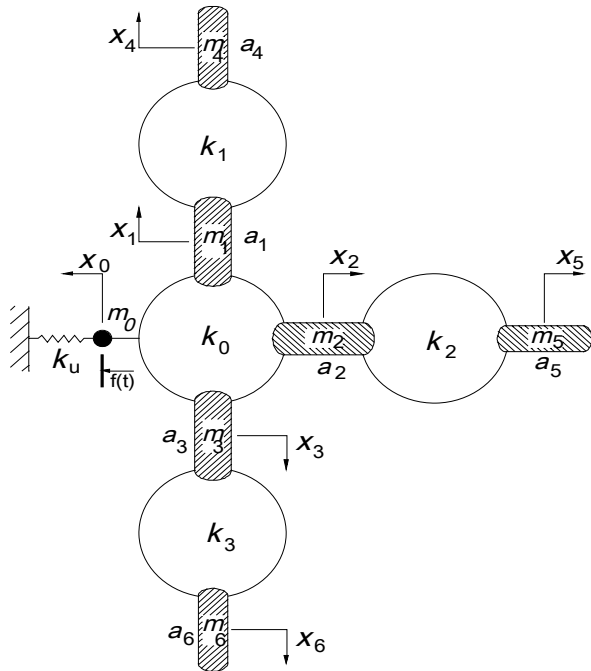


Fig.1 振動モデル

MCAPを設計するには、シングルバスレフの計算式を基にして、運動方程式を立て、固有振動の周波数を求めます。现阶段では、周波数特性を計算することは出来ていないので、固有振動数を計算して、寸法・形状を決めてゆきます。

Fig.1はMCAP型の構造図を示します。ここで、網がかかっている部分は、ダクトを示します。x1～x6は、塊として動くダクト内の空気の変位を表します。また、k0～k4は、基準となるダクトの面積に対する空気室のばね定数を表します。

箱のばね定数kは、ダクト面積の関数であるので、便宜上、ダクトの面積を、基準面積との比を使用して表します。基準面積は、振動板面積とし、a0で表すこととします。ここで、各副空気室の容積を、夫々、V0, V1, V2, V3とすると、振動板面積に対するキャビネットのばね定数は、次式で表されます。

$$k_j = \frac{a_0^2 P}{V_j} \text{ 但し、断熱条件ではなく等温条件としているので}$$

ご注意ください。ダクトの断面積を、夫々a1, a2, ..., a6とすると、夫々のダクトに対するキャビネットのばね定数は次式で表されます。

$$k_j^* = \frac{r_j^2 a_0^2 P}{V_j} \text{ 但し } r_j = \frac{a_j}{a_0}$$

自由振動の運動方程式は、次式のように表されます。

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{X}} + \mathbf{K}\mathbf{X} = \mathbf{0}$$

各記号の内容は下記の通りです。

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_8 \end{bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} \quad \mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{C} & \mathbf{D} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} (k_0 + k_1)r_1^2 & k_0 r_1 r_2 & k_0 r_1 r_3 & k_0 r_1 r_4 \\ k_0 r_2 r_1 & (k_0 + k_2)r_2^2 & k_0 r_2 r_3 & k_0 r_2 r_4 \\ k_0 r_3 r_1 & k_0 r_3 r_2 & (k_0 + k_3)r_3^2 & k_0 r_3 r_4 \\ k_0 r_4 r_1 & k_0 r_4 r_2 & k_0 r_4 r_3 & (k_0 + k_4)r_4^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{C} = \begin{bmatrix} -k_1 r_1 r_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_2 r_2 r_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3 r_3 r_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 r_4 r_8 \end{bmatrix} \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} k_1 r_5^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 r_6^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 r_7^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_4 r_8^2 \end{bmatrix}$$

mはダクトの中で振動する空気の質量で次式のようにになります。m_j = ρ · a_j · l_j

ρは、空気の密度、lはダクトの相当長さ

ここで、次式を解くと振動系の固有値を求めることができ、共振周波数を求めることができます。

$$|\mathbf{K} - \lambda \mathbf{M}| = 0 \quad f_k = \frac{\sqrt{\lambda_k}}{2\pi} = \frac{\omega_k}{2\pi}$$

3. 設計仕様

設計仕様は下記の通りです。超低音を十分なレベルで再生、20Hz も再生可能なことを目標としました。また、16cm クラスのドライバーでも使用可能なサイズとしました。

ドライバー	W5-1611SA(Tangband)
副空気室の数	3
主空気室容量[L]	9.0
第1副空気室容量[L]	9.7
第2副空気室容量[L]	9.6
第3副空気室容量[L]	10.5
第1ダクト W×H×L[mm]	40×40×40
第2ダクト W×H×L[mm]	40×40×80
第3ダクト W×H×L[mm]	40×40×100
第4ダクト W×H×L[mm]	33×33×100
第5ダクト W×H×L[mm]	33×33×180
第6ダクト W×H×L[mm]	33×33×260
外形寸法 W×H×D[mm]	300×600×334
共振周波数[Hz]	30, 37, 49, 67, 85, 94

ドライバーには、限定品ではなく、将来国内でも入手が可能であろうと思われるものを使用しました。最初は FE166Σ も候補に入れていましたが、保存状態が悪かったので断念しました。13cm は、海外ではいくつか販売されていたので、Cantare の 5FR MK II、Omnes Audio の L5、Tangband の W5-1611SA を購入しました。

意外にてこずったのは、cm 表示の根拠を見つけることでした。L5 は、メーカーの表示で 13cm となっていたため問題ありませんでしたが、5FR MK II は、cm で表示してあるものが見つからず断念、W5-1611SA は、SpectrumAudio のサイトでドイツ語表示してあるものを根拠に使用の了解を頂きました。結局、Tangband の W5-1611SA の結果が気に入ったためこのドライバーに決定しました。W5-1611SA は、強化ナイロンフレームの普及品ですが、強力なネオジウムマグネットを使用しているながら中高域のレベルが高すぎず MCAP 型には好適なモデルです。結局 SpectrumAudio 社からの輸入金額は、送料、送金手数料、関税を含めて、3 種類で合計 7 万円程になりました(1 ユーロが 168 円でした)。FE138ES-R を買うのに近いお金はかかりましたが、メールのやりとりは 10 回以上に及びドイツ語の勉強にもなりました。

4. 使用材料と製作

ここで使用した材料は、下記の通りです。使用しなかったドライバー等も含めると、全部で 12 万円位と思います。

スピーカーユニット W5-1611SA×2 本	88.2 ユーロ
接続端子(RIT-CC1/GB)×2 個	1,000 円
ケーブル VCTF2-2SQ×1m	160 円
防護ネット(パソコン用 12cm ファンガード) ×2 個	500 円
板材	スーパーシナアピトン 1820×910×15 1 枚
	アカマツ集成材 1820×300×18 1 枚
	アカマツ集成材 910×450×18 1 枚
	以上カット費用、送料込み 約 33,000 円
吸音材	パッキング用のクッション材(スポンジ)を使用
その他	ネジ、ラッカースプレー、爪付ナット、紙やすり等 5,000~6,000 円位

板材のカットが特に正確だったので、組立は 2 日間で完成しました。仕上は数回手直ししたので、全部で 1 週間位を要しています。その間に、ドライバーも L5 から W5-1611SA に変更しました。L5 も音楽ソースによっては好印象だったので少し勿体無い気がします。詳細はウェブサイトにて公開しています。

5. 音の特徴

MCAP 型の音の特徴はバスレフに似ていますが、共振周波数が分散されて低域限界が伸びている点が異なります。

周波数特性は、40Hz-18kHz は、ほぼフラット、30Hz は十分なレベルで再生します。20Hz はなんとか再生しますが高調波のほうが音圧が高くなってしまいました。

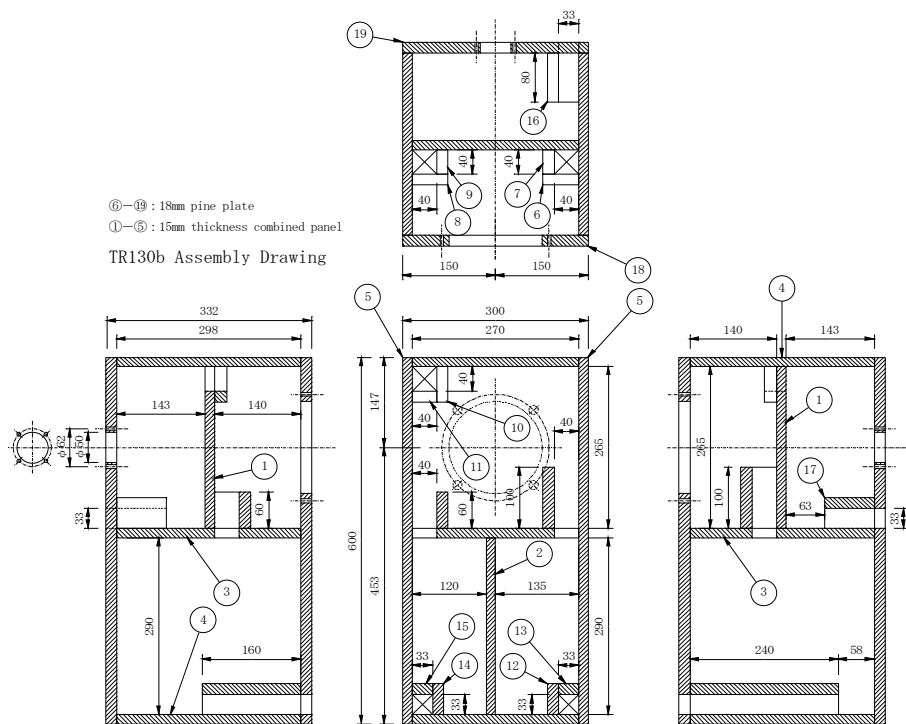
音楽ソースでは、室内楽が良いのは当然ですが、オペラ、交響楽、オルガンも素晴らしく再生します。ジャズのピアノトリオも心地良く再生しました。癖のない自然な音に仕上がったと思います。作品の完成度は低くないと思いますが、空気室の容量、ダクトの寸法がベストに再考の余地が十分あります。また、ドライバーのフレームには振動対策が必要です。

今回聞いて頂く音楽は、MCAP 型の特徴が分りやすいものが中心で、30Hz~40Hz の低音を多く含んだオルガン、大太鼓の強烈なオペラ、ジャズのピアノトリオを予定しています。

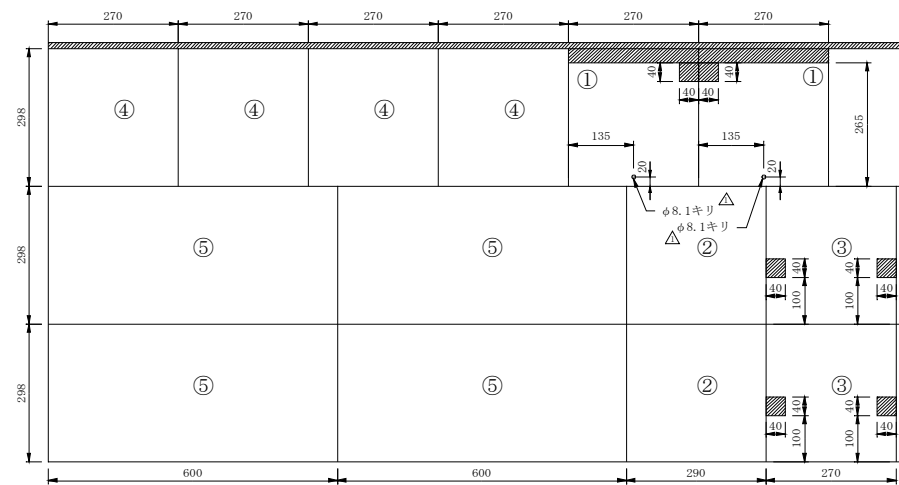
私のアンプは、Accuphase の P-350 ですが、本日は同じ Accuphase の高級機なので、どのように鳴るのか楽しみです。

6. 設計図面

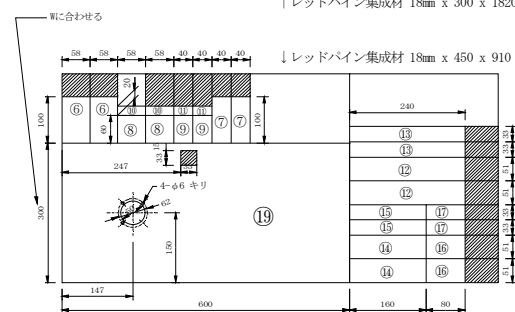
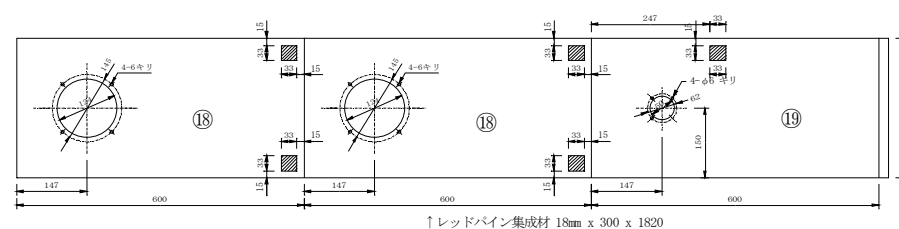
TR130b 型の組立図と板取図を示します。空気室の配置は立体的で、主空気室が正面上、第1空気室がその後ろ、第2、第3副空気室は下側に横に並びます。ダクトは効率を重視して正方形断面としています。円形のほうが更に良いと思います。ケーブルの通し孔は、ケーブルに応じて変更する必要があります。できれば1.25SQ位の細い線を使用したかったのですが、自宅にあった2SQのものを使用しました。端子に負担がかかりすぎたかもしれません。



組立にあたっては、難しいところはありませんが、寸法に狂いのないことが重要です。このため、特に精度を要求する材料には、シナアピトン合板を使用、目立つところには、見た目の美しいアカマツ集成材を使用しています。少しでも見栄えを良くするために、角は鉋と紙やすりでアールを付け、何度も表面を削った後にラッカースプレーを厚く塗りました。



△ ケーブルに合せる (図はビニールキャブタイヤ丸形コードVCTF 2SQ 2線の場合)



詳細は、http://www.geocities.com/sg_suzuki/indexj.html をご参照ください。