

IP ウルトラ・パス

第3シリーズ

30cmウーファールテック 414-8B 最適エンクロージャーの設計・製作

枝川貢、小泉永次郎

はじめに

神戸の元町という所でうどんを食べた。通りからちっと左に入った横丁のうどん屋で、小さな店の入口の不似合な大きなちょうちんが印象的だった。そこには偶然入ったにすぎないが、店に入ってその客種や雰囲気から、「これはいけそうだな」と直感した。私は今までうどんなどという物は手軽に空腹を満たすための代用食か、ちょっとあつさりうどんでもという程度で、いずれにしても何の意識も持っていなかった。またうどん専門といわれる著名な店にも色々行ったが同様である。しかしこの店のうどんは違っていた。これはあきらかにうどんであった。その歯ざわりと切れ、しなやかさ、十分に手をかけ時間をかけて練上げ、丹念に作っていることは口に伝わる感触ですぐ理解できた。私に強烈な印象を残した。この一杯のうどんも、流し込まなければ食べられないようなうどんでも、同じような値段で名前も同じうどんという。私はいつも思う。もしこのうどん屋が家の近くにあったらどんなに幸せなことだろうと。例えば同じ500円を出してうどんを食べても、丹念に手をかけた入

魂のうどんを食べられる人と、機械仕込みのべたべたのうどんしか食べられない人とがいる。私はこういう小さな幸せをいつもかみしめている。幸い家の近くには、かなり一生懸命味のために努力している店があちこちにあるから、同じような金額を使っているに比べる物を食べられることはめったにない。

同じような金額のシステムを買っても、その性能、幸福度に差異があっても仕方がないのだが、この道も多分に運に左右されるものだ。特に仲間や取りまき連等に相談している人はなおさらで私の耳にも幸運な人、不運な人の話が山程入ってくる。

何が幸運で何が不運であるかは各自各自の自覚によるが、これが意外に気付かれずにいることの方が多い。そもそもオーディオ等というものは、多少音がどうであれコミュニケーションを通じて得られる幸福度の方が、はるかに大切であるという意見もあるだろうし、三者的見地からは推し量ることのできない場合が多い。しかし私はあくまでも元町のうどん屋のような立場を守りたいと思っている。

たった一杯のうどんのために、新幹線で神戸まで僕に足を運ばせるう

どん屋である。私は肉や魚がうまい店等は一向に驚いたりはいしない。

それなら家で生きた魚や上等な肉を使って食べた方がはるかにうまい。私がいいたいのは、まずくてどうしようもないうどんも、またこのうどんも、元とはといえば同じ麦の粉からできているということへの驚きと、2万円かかっても、食べに行きたいと思う超越した価値感にある。

ちなみにアンプ類一つを見ても、かつてそのために雪の秋田へ3度足を運び、秋田からもいく度となく改良を重ねつつ完成してきたもので、直接間接費用は世界の名器？といわれている商品が何台も買える程である。このように私にとって、現用システムは何一つとして超越した価値観をともなわないものはない。以前DL-103の針交換のとき、ちょっとの音質の差が気に入らず、5回も針交換の名目で交換し、やっと気に入ったカートリッジを手に入れることができた。このときの費用は5万円。もちろん一遍で絶対値をカバーできるカートリッジがそうたやすく入手できるとは一度も思ったことがない。このように人それぞれ価値観は違っても、熱意と情念を持って観念にしばられず、それぞれの枠の中

でそれなりに素晴らしいオーディオ・音楽ライブをエンジョイするのが、最も幸福であり、また願いであると思っています。

414-8B

人気者の **416** という 38cm 兄貴の陰で親からも不当なまま子の扱いをよぎなくされている弟 **414** は、実の所住む家さえ与えられていないようです。世の中とかく“大は小を兼ねる”などと軽く見られがちですが、そこで今回はこの不遇の子 **414-8B** にスポットをあててみることにしました。**414-8B** は、なりこそ小さいが内に秘めた力は **416-8** と同等で磁気回路もボイス・コイルも、**416-8** と同等であり、違うところといえば有効放射面積が小さいということだけです。つまり振動系がより軽く、高性能、高ダンピング・ウーファーであるということが出来ます。重低音の再生では兄貴分に一步を譲りますが、中低域以上の分解能はさすがに素晴らしく、逆に兄貴の鈍さを感じます。その意味でこのウーファーは、使用場所、使用法によっては、すてがたい一面を持った低音の美しいウーファーであり、なまじの 38cm ウーファーでは得られない世界を表現してくれます。(第1図)は **414-8B** 及 **416-8B** のメーカー発表データです。

その定数

	416-8B	414-8B
口径	38 cm	30 cm
インピーダンス	8 Ω	8 Ω
許容入力	30 W	30 W
音圧レベル(新JIS)	102 dB	98 dB
再生周波数帯域	20~1.6 kHz	30~4 kHz
最低共振周波数	25 Hz	30 Hz
ボイスコイル径	75 mm	75 mm
重量	7.9 kg	6.8 kg

【第1図】

第2図は、**414-8B** の裸インピーダンス特性で、この特性はウーファーを1月位使用した後に測定したものです。前にも述べましたが、新しいウーファーは不安定で、測定の度に定数が変わってしまいますので、少し鳴らし込でから測定に入ります。また測定時も f_0 の周波数を2~3時間加え、振動系を空振状態にしたり、ランダムな周波数を入力したりしてよくウォーム・アップしてインピーダンスの測定に入ります。ウーファーは床に上向に置いたり水平に置いたりしたときでも、インピーダンス特性が変わりますから、なるべく振動系に負荷がかからないような状態で調べます。今回は天井から上向にウーファーを宙吊にして天井と床のほぼ中央に置いて測定しました。スピーカーの定数はよほど厳密に測りませんと、あとでエンクロージャーの設計式の上でその誤差は、2乗~4乗と大幅に利いてきますから、大変です。さて、図のインピーダンス特性も見ただけでも解るように、アルテック独特の150Hz~200Hzにエッジの共振によるものと思われる山がある、「ふたこぶラクダ」のパターンを示しています。無響室特性ではこの山でf特のみだれが現われますが、一般室内においては、つまり聴感上は全く問題ないことをつけ加えておきます。低音共振は28.5Hz~32Hz位の間にあり、2本のウーファーの内1本は28.5Hz、1本は

30Hzでありました。ウーファーができたときのロットやエッジ、塗材等によって、メーカー発表の30Hzは製品によって±1~2Hzの誤差がありますが、誤差範囲として無視します。

$$Q_0 = \frac{R_0}{R_m} \cdot \frac{f_0}{f_2 - f_1} \dots\dots\dots (1)$$

第2図及び(1)式より**414**の低域特性は

$$Q_0 = \frac{6.4}{175} \times \frac{28.5}{30.4 - 26.3} \div 0.254$$

Δf が4.1Hzとかなり小さくオーバー・ダンピングの特性を示します。次に振動系の等価質量 M_0 は第3図と(2)式によって与えられ、

$$M_0 = m \frac{f_m^2}{f_0^2 - f_m^2} (g) \dots\dots\dots (2)$$

前回の38cmのときは、 m の値を30、40、50gの錘りで測定しましたが、今回は30cm型ですから、10gから40gまで4分して測定しました。

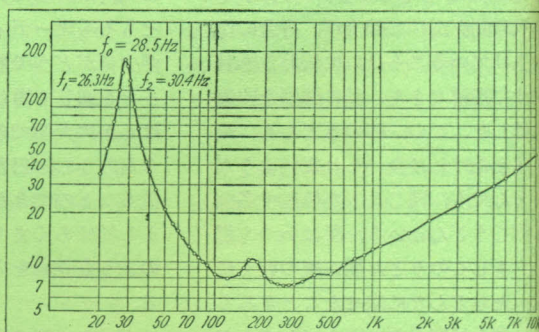
$$M_0 = 10 \frac{25^2}{28.5^2 - 25^2} \div 33.4g$$

$$M_0 = 20 \frac{22.8^2}{28.5^2 - 22.8^2} \div 35.6g$$

$$M_0 = 30 \frac{21^2}{28.5^2 - 21^2} \div 35.6$$

$$M_0 = 40 \frac{19.6^2}{28.5^2 - 19.6^2} \div 35.9$$

上記の結果から20gと30gのときの等価質量が35.6gと求められましたので、**414-8B**の等価質量は35.6gと決めました。38cm **416-8A・B**型と比べ約半分位の値です。ウー



【第2図】

フーの駆動部が 416 と同じで、等価質量が約 $\frac{1}{2}$ という 414 は、このことから Q_0 低いオーバー・ダンピング・ウーファーであることが理解できます。等価質量というのは純粋な振動系の目方ではなく、空気の付加質量、等価スチフネス等が加味された値です。414 と 416 とは、同じダンパーを使用し、エッジの材質も同じです。また 414-8B は 416 型より Q_0 がより低いことと M_0 がより軽いという、いわば低音の出しにくい二つの条件を完全に満してくれています。最後に振動系有効半径 a は第 4 図と (3) 式で求めます。

$$a = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_1 \cdot a_2 + a_2^2}{3}} \dots\dots\dots (3)$$

414 の有効半径 a は、

$$a = \sqrt{\frac{27.2^2 + 27.2 \times 23 + 23^2}{3}}$$

$$= 13.3\text{cm}$$

以上 414-8B の定数は、下記のようになります。尚 () 内は兄貴分 416-8B の定数です。

低音共振 28.5Hz~(30Hz)	(24.8Hz)
振動系の $Q_0 = 0.254 \sim (0.22)$	(0.28)
振動系の等価質量 35.6g	(61g)
振動系実効半径 13.3cm	(16.3cm)

ウーファーの低音再生限界

ウーファーには低音共振周波数があって、その f_0 の近くまで再生できるとされておりますが、 Q_0 の低い、つまり Q_0 が 0.58 以下のスピーカー

は、おのおのの Q_0 によって低音再生限界を持ちます。この低音限界を f_T といい、 $f_0 \times K$ で求めることができます。K とは Q_0 の低いウーファーにそれぞれエンクロージャーの体積をあてるための係数で、この係数によってウーファーの低音限界や、エンクロージャーの必要体積が決まる重要なパラメータです。 Q_0 の低いウーファーほど、この低音再生限界が高い周波数に移動します。したがってオーバー・ダンピング・ウーファーは、音圧的にも、f 特性的にも不利になります。

パスレフに入れたときには一番この点をカバーできる訳ですが、それでもこの低音限界 f_T の値は変わりません。この値を変えられるのは、抵抗制御のホーン・ロードを与える以外ありません。414-8B は Q_0 が 0.254 と低いため、K の値は約 1.57。したがって

$$f_0 \cdot K = 28.5 \times 1.57 \approx 45\text{Hz}$$

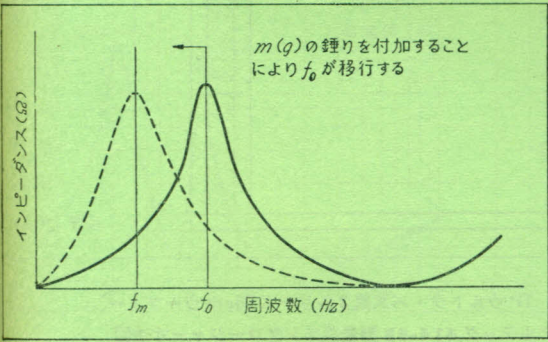
となり、このウーファーは 45Hz が 3 dB 落ちたところが f_T となり、これ以下の周波数の再生は不可能ですが、全く聞えないということではありません。理論上ではエンクロージャーは振動減衰等を考慮しない完全剛体として考えられておりますから、 f_T の 3 dB 落ちたところという周波数では、実際は板等の振動によってはそれより早く、あるいは急激な落ち方をしますが、これは設計を可能にするために仕方ありません。エンクロージャーの設計が正しく行なわれたかどうかを知るために、この f_T

とパスレフ・エンクロージャー・インピーダンス・カーブの f_1 及び f_2 という 2 つの山の間にある反共振周波数が、 f_T の周波数にほぼ合致すれば良いことが解ります。前後しますが、本機はその意味で、大変成功した例と見て良いでしょう。尚申し訳ありませんが、パラメータ K の方程式は、発表を控えさせていただきます。

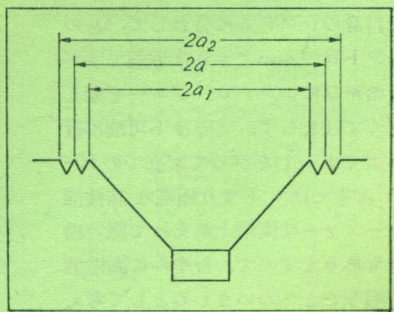
414-8B は以上のような低域再生がかなり困難な特性を持っていることから、エンクロージャーは例のジェンセン社の考案によるバス・ウルトラ・フレックス・タイプを設計することにします。このエンクロージャーは、パスレフの改良型で、パスレフの欠点とされている低域のトランジェントや歪率、使い安さ（ウーファーのマッチングが容易）等を主眼としたもので、2 本の音響管をそなえていることで有名です。（1P 方式）特に Q_0 の低いオーバー・ダンブ・ウーファーのパスレフ効果が良く得られる点、この種のウーファーには最適な方式だと思います。

最適エンクロージャーの設計

414 の f_T は、45Hz (-3 dB) という特性が解りましたから、45Hz - 3 dB 落ちたところまで再生できるエンクロージャーを設計します。このようなエンクロージャーを最適エンクロージャーと呼びます。この最適エンクロージャーより容積が大き過ぎた場合には、低域にピークができたり、逆に低域の音圧が落ちる



【第 3 図】
等価質量を求める



【第 4 図】 コーン実効半径

ことになり、いずれにしても低音が不明瞭になり、良くありません。もちろん小さい場合は低音がつまり、耳ざわりなピークができます。つまり大きくても、小さくても箱の癖が出るということになります。先のKのパラメータは、この最適エンクロージャーを設計する上で最も重要なファクターを占めるもので、エンクロージャー設計上のキー・ポイントである訳です。では、まず414の必要体積 V_0 を求めます。

$$V_0 = \frac{3.55 \times 10^5 \cdot a^4}{M_0 f_0^2} \cdot \left(\frac{f_0}{f_r}\right)^2 \quad \text{cm}^3 \dots\dots\dots (4)$$

(4) 式から 45Hz - 3 dB の適正エンクロージャーの V_0 は、

$$V_0 = \frac{3.55 \times 10^5 \times 13.3^4}{35.6 \times 28.5^2} \times \left(\frac{1}{1.57}\right)^2 = 1.54 \times 10^5 \text{ (cm}^3\text{)} \\ \approx 155 \ell$$

となり、およそ 155 ℓ の体積が必要であることが解りました。ここで、はっきり認識しておかななくてはならないのは、音の良い Q_0 の低いウーファーは、たとえ大口径であっても、小口径であっても重低域の再生に困難があるのですが、かといってダンピングを悪くして、たとえば f 特を広げても実用上使い物になりません。

超低域まで f 特がのびているからといって、それが良い音質であるか実用上合格点に入るかどうかは、解りません。しかしウーファーの場合、使用されるシステム、特にパワー・アンプや、エンクロージャー、あるいはリスニング・ルーム等の各点での最適制動値というものがあり、本当は自身のシステムに合わせて、 Q_0 のコントロールができれば理想ですが、そのたびにエンクロージャーを変えなくてはならず、実際は不可能に近い訳です。したがって家庭での Hi-Fi 再生では、あまり極端な高性能ウーファーは実用上かえって悪い場合もありますので、むやみに高性能を追うことへのいましめとして考えてください。

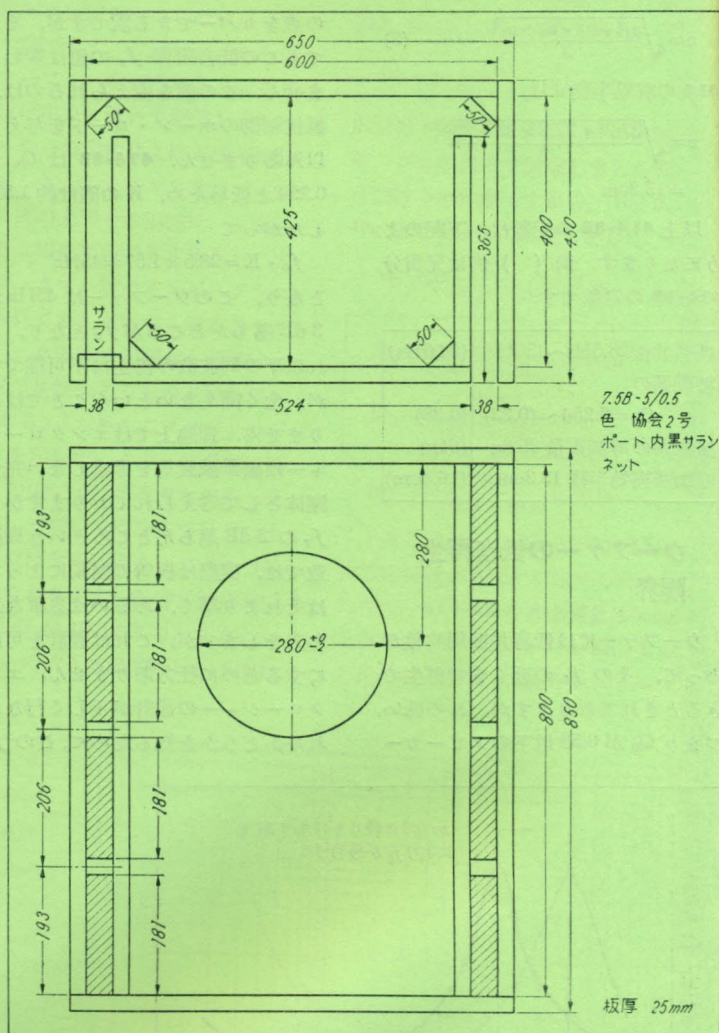
Q_0 の低いオーバー・ダンブ・ウーファーは、音質がパワフルで、エネルギー感があって力強いアクセントを聞かせてくれます。

以前のようにパワー・アンプがあまりスピーカーを制御する能力を持たなかった時代と違い、現在ではパワー・アンプがとみに発達してスピーカーの制御能力がいちじるしく向上しました。したがって家庭ではウーファーばかりに高性能を求めず、適度なダンピングと f 特を持ったものを選んで、あとはパワー・アンプ

でおぎなうような形にした方が、より幅広い帯域をよりダンピング良い Hi-Fi 再生が可能になると思います

話がとびましたが、 V_0 を 155 ℓ 、他にポート質量を 20 ℓ 、ウーファー補強他を 17 ℓ 位見込んだトータル V_0 は、192 ℓ としました。次に、ポート断面積は、ウーファーの実効面積とほぼ同じに取りました。このときのポートの長さは、

$$L = \frac{35.6 - 5.69 \times 10^{-3} \times 13.3^3}{3.92 \times 10^{-3} \times 13.3^2} \\ \approx 32 \text{ cm}$$



[第5図] IP ウルトラ・パス第3シリーズ 30cm ウーファー
アルテック 414-8B 型最適エンクロージャー寸法図

となります。以上のデータを元に設計したのは第5図です。

図面ではポートLは36.5cmとなっていますが、これは調整後の値です。前にも書きましたが、この設計はエンクロージャーは、全く振動などしない剛体であると仮定したもので、実際は共呼時には大きな板振動をとまいますから、その分をポート質量で補う必要がある訳です。また定数測定誤差等も、これに加わりますから、ポートLは計算では、およその見当をつける程度と考えて良いと思います。

調 整

板は前と同じカボークの合板25mmを使用しました。今回はポートの前面にサランを取りつけ、視覚をやわらげるようにしました。また塗りは、レザー・トーンで、色は7.5B-5/0.5というNHK協会色2号を使いました。各部の補強その他は写真で見ていただくとして、制作は各自で工夫してやってください。

でき上ったエンクロージャーは、実にスマートで機能美にあふれたスタイリングを持ったもので、ほれぼれ見入ります。大きさも手頃で家庭的です。エンクロージャーは、名人柴山氏の手になるものですが、名古屋の親友、南川の両氏にむりをいって遠路わざわざ運んでいただいたものです。こういう製作記事は大きかりになり板材の選定、フェルトの仕入、色々の人々の力と、好意をおかりしなければできません。欲得ぬきでなくては、とうていできません。

調整と試聴は3月号と同じ田中氏のリスニング・ルームで、枝川氏と3人でやりました。

ジェンセンのバス・ウルトラ型は、一応バフレフのようなものですが、インピーダンス・カーブは一般バフレフと違ったパターンを示します。つまり f_1 及 f_2 の山の高さは揃いません。 f_1 の周波数ではウーファーにかかる負荷は一般バフレフよりかからないエンクロージャー構造のため、 f_1 の山の方が高くなります。

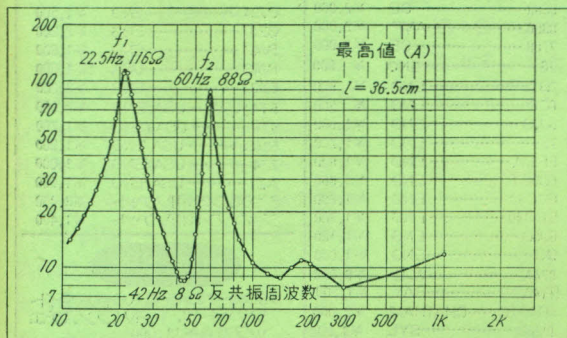
第6図は本機の最適ポートで測定したインピーダンス特性であります。

f_1 22.5Hz, f_2 60Hz 反共振42Hzで低音再生限は42Hzとなります。200附近のインピーダンスの山は、おそらくf特でディップを生じることになりますが、試聴では別に問題ありません。第7図はそのf特で、田中氏のリスニング・ルームにおけるサンワ・フォーレスのスポット取りによるものです。

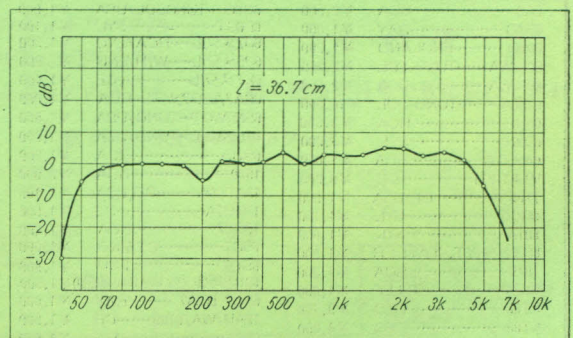
その後Lを1cm長くした37.5cmのときの測定値を第8図に、そのf特を第9図に示します。このときの音質は低音の量感が増しましたが、多少ぬげが悪くなる点が気になりました。もしこのエンクロージャーを製作する場合、各自のシステム、室の低音特性によって、多少コントロールをしても差支えありません。

おわりに

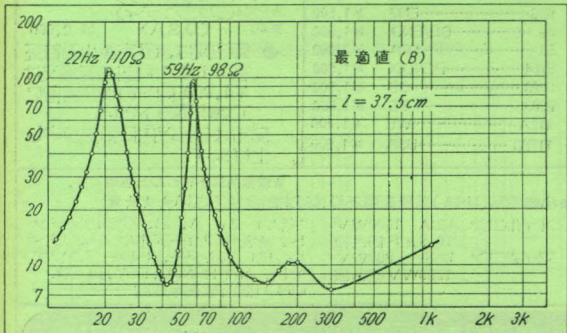
例えばアルテックやJBLあるいは高級ウーファーを使用する方は、大抵中音にはホーンを使うようです。



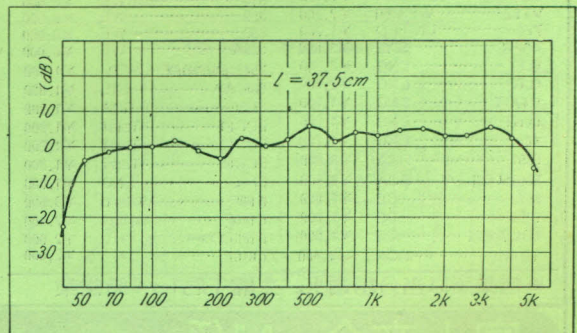
【第6図】



【第7図】



【第8図】

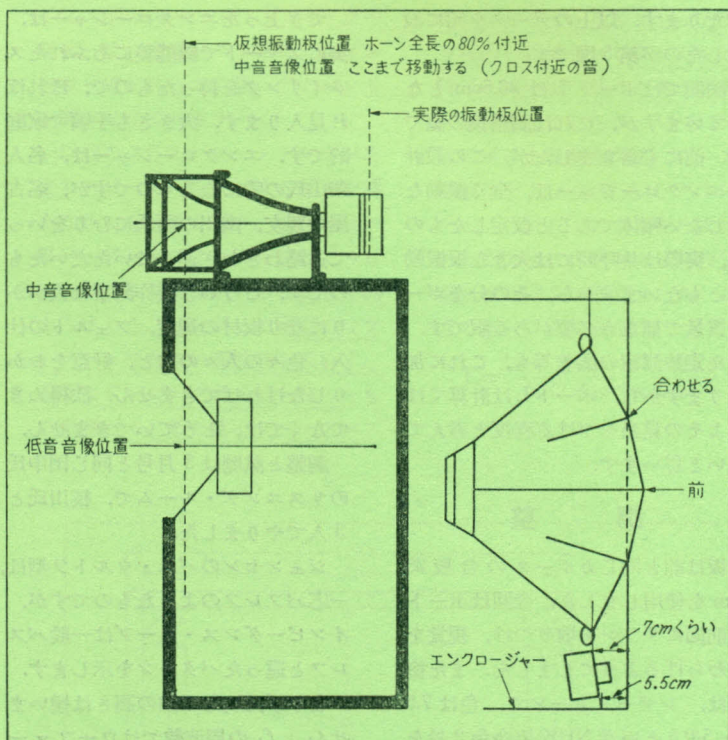


【第9図】

この場合ウーファの音像と中音の音像がうまく合いませんと、音楽バランスが得られないばかりか、マルチ SP システムにしたことが無意味になってしまいます。第10図を一応の目安としてください。この件は、のちにホーンのことをやる時に詳細に述べたいと思いますが、ホーン・スピーカーは、仮想振動板というのがある、ホーン全長のおよそ80%位の開口面にカット・オフのオクターブ附近、つまりクロス・オーバー附近の音像はホーン開口部より少し奥に入った附近に結ぶとされています。それより高い周波数は音像の位置がしだいに奥に入っていきますが、良いホーンはこの差が小さく、ホーンくさい感じがしません。

中音ホーン使用時には、ウーファのエンクロージャーから仮想振動面までに出してやる必要があります。

ほんのわずかな位置の変化でも、かなりクリティカルに利いてきますので、ツイーターの位置も含めて良



[第10図]

い場所を探すようにします。

英国・USA・日・独・オーディオ用真空管

★外国製工具★

2A3.....RCA	¥2,500	6C8G...TUNG-SOL/USA	¥1,800
6B4G.....RAY	¥1,900	6F6GT.....SYL	¥1,100
6V6G.....ENGLAND	¥1,200	6J7メタル...RCA/ENG	¥1,500
6082WA.....TUNG-SOL	¥2,300	6J5メタル...W/H/ENG	¥900
6080WA.....SYL/USA	¥2,500	6K7メタル...GE	¥1,100
6336A.....TUNG-SOL	¥10,000	6SA7/6SB7メタル...RCA	¥1,000
6550.....RCA	¥3,500	6SN7WGT...TUNG/USA	¥1,800
6550.....SYL	¥3,000	6SL7WGT...TUNG/USA	¥1,800
6AV5GA.....RCA	¥1,000	6SJ7.....RCA	¥1,500
VT4C/211.....GE	¥6,000	1620.....RCA	¥2,000
7189.....GE/USA	¥1,000	12AT7WA.....GE/USA	¥1,100
6BQ5.....SYL	¥1,100	12BH7A.....GE	¥1,500
801A.....SYL	¥1,600	12BZ7.....RCA	¥1,400
UT62...HYT. TAYLER	¥1,300	6SC7.....GT/ENG	¥1,600
1619.....RCA	¥1,300	6SO7.....ENG	¥1,800
EL34.....TELEF	¥1,600	6SH7メタル SYL/USA (6AU6の取組)	¥1,500
KT66.....GEC	¥3,750	6FQ7 6CG7.....RAY	¥1,600
KT88.....GEC	¥4,000	12AU7WA/6189.....GE	¥1,500
12B4A.....GE	¥1,000	6267.....EIA	¥1,800
6AS7G.....RCA/USA	¥1,800	7025.....RCA	¥1,500
5988.....RCA/USA	¥1,800	311A.....WE	¥6,000
VT52.....WE 列組	¥7,200	310.....WE	¥6,000
71A.....UNITED	¥1,700	329.....WE	¥6,000
2A3W.....SYL	¥3,800	336.....WE	¥6,000
6L6.....ENG	¥3,300	328A.....WE	¥6,000
6L6G.....ENG	¥2,500	7543 (6AU6Bのノイズ)	¥1,800
6N7GT.....ENG	¥1,700	5687WA.....SYL	¥1,800
6V6G.....ENG	¥1,200	5879.....RCA	¥1,800
42.....ENG	¥1,200	ECC81.....Telef	¥1,200
5691.....RCA	¥3,800	ECC82.....Telef	¥1,200
5693メタル...RCA	¥3,800	ECC83.....Telef	¥1,200
6072.....GE	¥1,800	EF86.....ENG	¥1,000
6350.....GE	¥1,200	E80F.....Mullard	¥3,500
6BL7WGT.....GE	¥1,800	E180F.....Phillips	¥2,400
6BX7.....RCA	¥1,400	E188CC.....	¥2,000
		E810F.....	¥2,000

※営業所は当分毎週水、土曜午後1～6時営業

6688.....GE	¥2,000	GZ34.....ENG	¥1,500
6686.....AMP	¥2,000	GZ37.....ENG	¥2,200
7788.....GE	¥2,000	5V4G.....ENG	¥1,000
76.....ENG	¥800	5V4G.....USA	¥1,500
2B7.....ENG	¥800	58KU.....ENG	¥2,200
6C6.....ENG	¥800	5T4メタル...USA/ENG	¥2,000
6J7G.....ENG	¥1,000	83V.....USA/ENG	¥1,200
75.....ENG	¥1,200	524G.....USA/ENG	¥1,000
EF37A.....ENG	¥1,800	7Z4.....USA/ENG	¥1,000
6C5GT.....ENG	¥1,000	AZ1.....USA/ENG	¥1,000
ECC32.....ENG	¥1,600	ジョンソン211用ソケット	¥3,400
ECC40.....ENG	¥1,300	ジョンソン50用ソケット	¥1,400
6J5G.....ENG	¥1,100		
6K7.....ENG	¥1,000		
274A.....W.E.	¥8,000		
5R4WGB.....RAY	¥1,800		
5R4GTB.....CHATHAM	¥2,000		
5U4G.....SYL	¥1,800		
5U4GB.....SYL	¥1,800		
5Y3GT.....USA	¥1,000		
5Y4GT.....GE	¥1,000		
5Z3.....ENG	¥1,500		
80.....GE/ENG	¥1,000		
83.....RCA	¥2,000		
6753.....BENDIX	¥1,500		
5993.....GE	¥1,500		
6203.....GE	¥1,500		
412A.....WE	¥1,400		
11723.....USA	¥1,200		

限定入荷

※3C33...RCA元箱入り高級タイルソケット付、内蔵バンスチェツク済 ¥11,000
 ※LK460 (BALVO)
 ※T M100 (マツタ)
 ※AD1 (テレファンケン)
 ※PX4 (フェランティ)
 ※46 (USA) ¥2,600
 ●御注文は、**定額小為替証書** ¥1,000、同封の封書又は**¥1,000 同封の現金書留**にて御申込み下さい。
 品物は7日以内に御送り申し上げます。

★営業所は下村ビル三協隣です。

★小物部品(USA)各種在庫ありますお問合せ下さい★★★★

オイルコン	USA 1000W V	ポリウム A, B, クラロスタット	★各種フューズホルダー、リトル P.L.ホルダー、ドレーク、ソケット、AMPHENOL、EBY、ELOO、CINCH他各種在庫豊富
マイコン	USA 600W V		
	1200W V 他各種		

富士商会 M係

通販部 番145 東京都大田区石川町 2-26-7 番726-0231代
 営業所 番101 東京都千代田区外神田 1-3-5 番253-8334