



ULTIMA[®]2

A Technology White Paper

Mark Glazer : Chief Engineer for REVEL AUDIO Products



2007.08.20

harman international
ハーマンインターナショナル 株式会社

1.0 Introduction (イントロダクション)

過去 10 年に渡り、REVEL AUDIO はスピーカー業界でのリーダーとしてその頭角を現し、各製品ラインはそのクラスでのベストパフォーマンスを約束して来ました。

鑑識眼のあるオーディオファイルや評論家に認められ、REVEL AUDIO のフラッグシップであるオリジナル ULTIMA シリーズは、最高水準のスピーカー設計のスタンダードを打ち立てました。REVEL AUDIO のデザインチームに与えられたチャレンジは、ULTIMA シリーズの ULTIMA SALON, ULTIMA STUDIO, ULTIMA GEM 及び ULTIMA VOICE を徹底的に向上させた、ULTIMA 2 シリーズを開発することでした。ハーマングループの資本と献身の恩恵による、磁気回路構造、ダイアフラム素材、キャビネット構造、ポート・テクノロジーおよびテスト手法の進歩はこれらのゴールの達成を可能にしました。

4 年以上に渡る開発期間を経て、SALON2, STUDIO2, GEM2, VOICE2 が完成しました。新 ULTIMA シリーズは、オリジナル ULTIMA シリーズはもとより、価格帯を問わず他の如何なるスピーカーよりも大きな進化を遂げています。

このホワイトペーパーはこれらのスピーカーのテクノロジーについて記述します。



2.0 Directivity (指向性)

スピーカーとリスニングルームの相互作用については数多く執筆されています。リスニングルームでの一般的な 2 チャンネルセッティングにおいて、最初にリスナーの耳に到達する直接音は、音のごく一部に過ぎません。図 1 は複数の第二の経路として数ミリ秒 (1000 分の数秒) 後に到達する一次反射音が、サウンドバランスに大きな影響を持つことを表しています。更にドライバーユニットのサイズ、クロスオーバーネットワークおよびバッフル/エンクロージャーなどがパフォーマンスに大きく寄与します。調和の採れたレスポンスから逸脱することは音のカラーレションを引き起こす恐れがあります。

The Room - Early Reflections

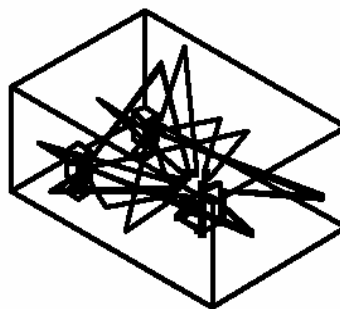


図 1 : 初期反射図

スピーカーの性質上、音の放射は全方向で均一な訳ではありません。図 2 は大きな壁面 (無限大バッフル) にマウントされた 2 つの異なるサイズのスピーカーユニットの一次反射特性を示しています。図では 150Hz から 3,000Hz の中音域のみを表示しています。低域で優れた放射特性を持つ大型の 30cm 径ユニットは、10cm 径ユニットに比べ周波数が高くなるにつれ一次反射音のレスポンスが急激に下降します。一般的な部屋では、30cm 径ユニットの中高域は一次反射音が中域から中高域にかけて減衰することによって、鈍くこもった音になりがちです。

ULTIMA 2 シリーズが 3 ウェイまたは 4 ウェイのユニット構成を用いている 1 つの理由です。図 3 は 4 ウェイの SALON2 の軸上特性を示しますが、各ユニットには急峻な遮断特性を持つクロスオーバーネットワークが使用されています。これらのユニットは帯域幅内で最大の出力特性と最も広い指向特性を得る為に効果的に使用されています。

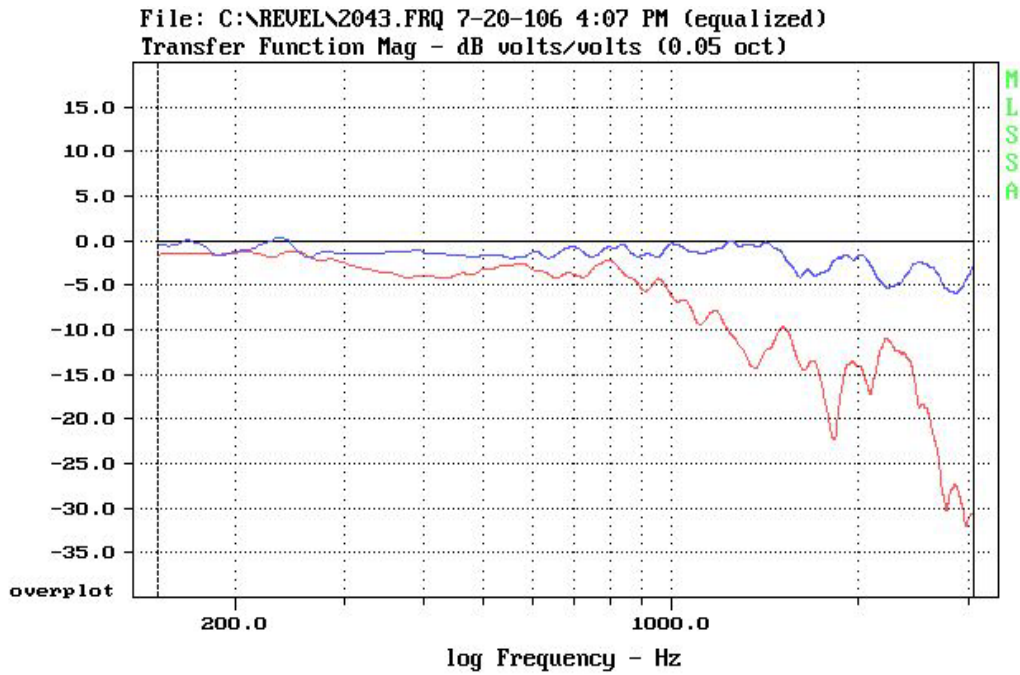


図 2 : 軸上特性を基準化した 150Hz-3000Hz レンジでの第一反射特性比較。
 青線は 10cm 径ミッドレンジ、赤線が 30cm 径ウーファの特性を示しています。

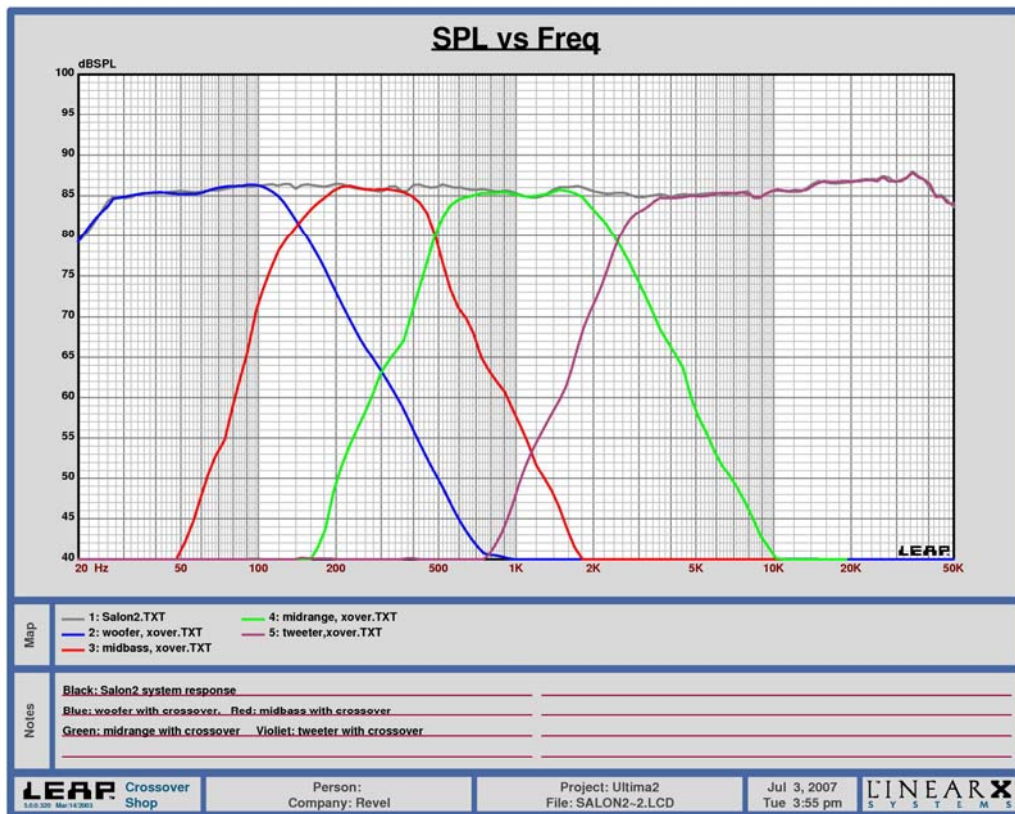


図 3 : SALON2 システムの軸上特性とクロスオーバーネットワークを通じた各スピーカーユニットの再生帯域

3.0 The Baffle and Diffraction (バッフルと回折)

音波が物体のエッジに当たる時に回折が起ります。スピーカーエンクロージャーでは、スピーカーユニットは図 4 のようにフロントバッフル表面にマウントされます。放射された音波がエンクロージャーのエッジに当たると、回折により二次回折波が生じこれがリスナーの耳に遅れて到達することになります。これは周波数特性に悪い影響を与えます。

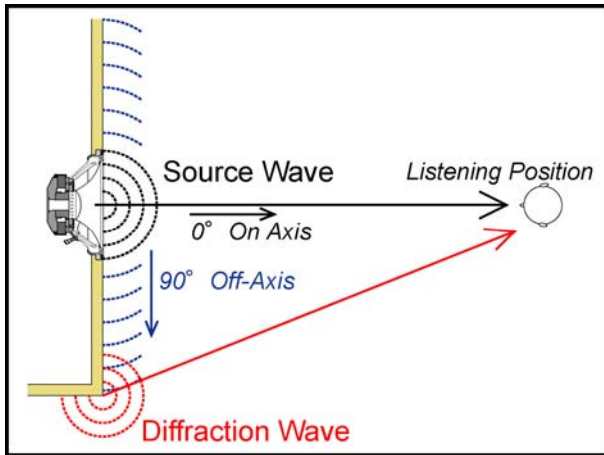


図 4：スピーカーキャビネットによる回折

ULTIMA 2 製品のバツフルはどのような形状が実質的に回折効果を除去するかに関する多くの研究の結果に基づいて設計されました。ULTIMA 2 バツフルの最小の回折効果は、SALON2 のカーブしたエッジのエンクロージャーと相当サイズで直線的なエッジを持つエンクロージャーとの比較で示すことができます(図 5)。図 6 はネットワークを通じた状態



図 5：SALON2 エンクロージャー及び相当サイズのストレートエッジエンクロージャー

での ULTIMA 2 ツイターの軸上特性の比較です。直線的エッジのエンクロージャーでは回折による著しい干渉があるのに対し、SALON2 のバツフル特性はスムーズな特性である事に注目してください。図 7 と 8 は軸上特性を基準とした水平 0 度から±90 度でのミッドレンジの特性を、図 9 と 10 は軸上特性を基準とした水平 0 度から±90 度でのツイターの特性を比較したグラフです。

SALON2 のバツフルには 2 つの大きな利点があります。平面的なバツフルの箱型エンクロージャーがエンクロージャーの形状と回折とによる不規則な特性と不十分な指向性を示すのに対し、SALON2 のバツフルではスムーズで改善された特性と優れた指向性パターンを發揮します。

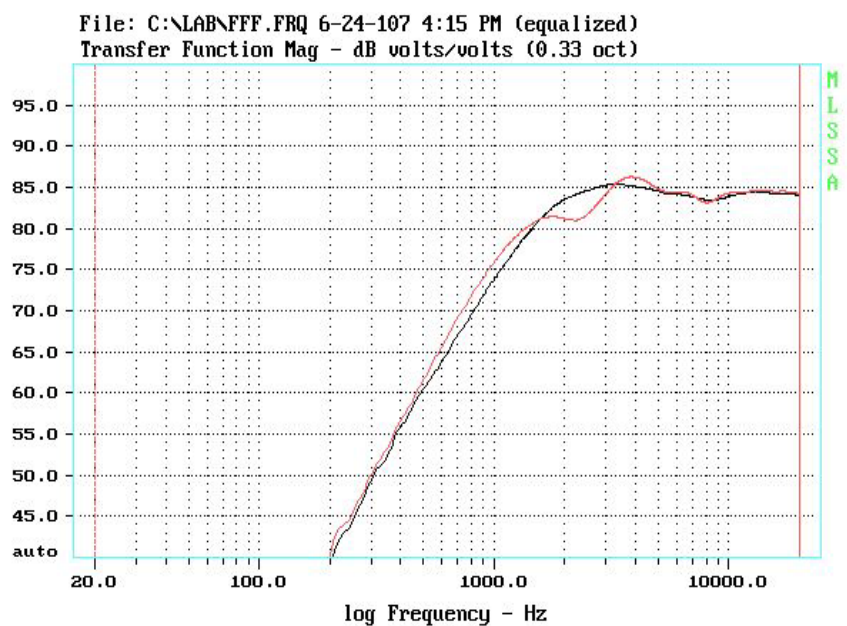


図 6：SALON2 とストレートエッジエンクロージャーのツイター軸上周波数特性比較。

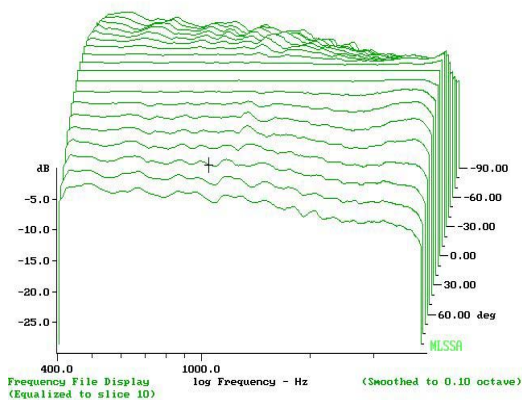


図7：軸上特性を基準とした
SALON2 のミッドレンジの水平軸特性

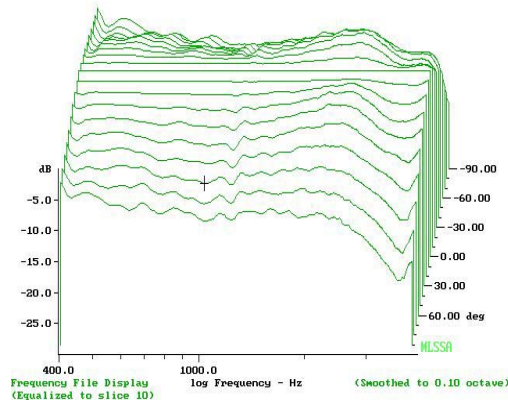


図8：軸上特性を基準としたストレートエッジ
エンクロージャーのミッドレンジの水平軸特
性

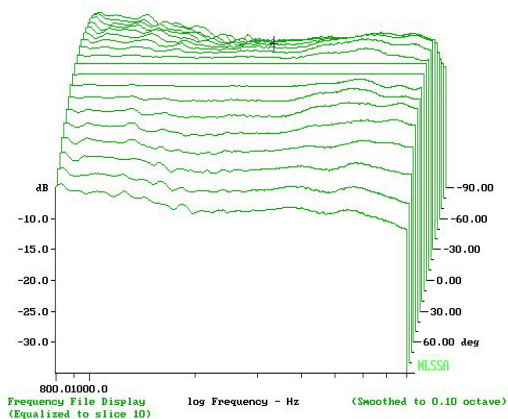


図9：軸上特性を基準とした
SALON2 ツイーターの水平軸特性

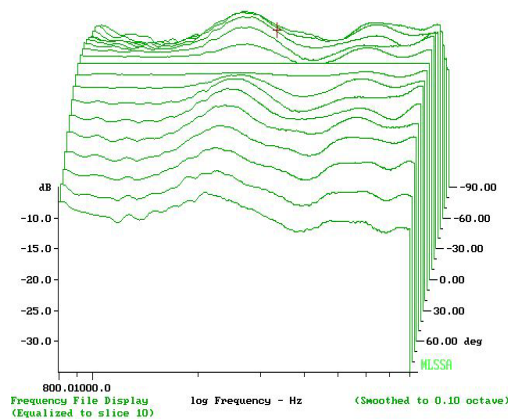


図10：軸上特性を基準としたストレートエッジ
エンクロージャーのツイーターの水平軸特性

4.0 Cabinet (キャビネット)

スピーカーキャビネットはフロントバッフルとエンクロージャーから成り立っています。キャビネットは数多くの機能を持つ複雑な装置です。バッフル（エンクロージャーのフロント部）はドライバーをしっかりと保持しなければなりません。また、3.0 章で触れた様にバッフルは回折に大きな影響をもたらす可能性があります。エンクロージャーはスピーカーユニットの背圧をコントロールする役目を果たす必要もあります。さらに、エンクロージャーは自身があらゆる好ましくない音を発生する可能性をも排除するために、十分にデッドでなくてはなりません。

典型的なエンクロージャー構造は V 字溝接合構造のフラットパネルを使用します。90 度のコーナーは強度的に弱点となる傾向があり補強材を入れてもたわみを引き起こすことがあります。

ULTIMA2 シリーズは非常に高度なエンクロージャー成型技術から成り立っています。SALON2, STUDIO2 と VOICE2 のエンクロージャーは、各層 5 ミリの厚さを持つ 9 層の MDF 積層合板による 1 枚板で成型されています。



図 11：上方から見た STUDIO2 の断面写真

この積層シートは乾燥するまで円形の金型に沿って万力でプレスされます。次に1枚の厚いフロントバッフルがエンクロージャーに取り付けられます。このエンクロージャー構造によって、不要共振音は平面構成のエンクロージャーやカーブドパネルにリアパネルを接着したエンクロージャーと比較して大幅に低減されます。図 11 はこのキャビネット構造の詳細を示す STUDIO2 のキャビネットの実物の断面写真です。

5.0 Drivers (ドライバー)

ULTIMA2 シリーズには7個のユニークなスピーカーユニットが使用されています。各ユニットはそれぞれの再生帯域で最適な性能になるよう設計されています。ハーミンググループにより開発されたドライバーテクノロジーの進歩がULTIMA2 シリーズに応用されています。このシリーズに使用されているドライバーユニットは、現代のユニット技術が到達することのできる可能性を示すリファレンスとなるものです。



5.1 Woofer and Midrange Drivers.

(ウーファーとミッドレンジ・ドライバー)

これらのドライバーには2つの特別な装備があります：インバーテッド・チタンドーム振動板とデュアルネオジウム磁気回路構造です。

チタンはアルミとマグネシウムに比べ非常に高い抗張力を持つことから選択されました。インバーテッドドームの構造的な剛性と合わせ、使用周波数帯域における最大音圧での超低歪を実現する為に、非常に重要なピストン運動を確実にしています。

ULTIMA2 ウーファー/ミッドレンジ・テクノロジーの図解は図 12,13,14,15 に示されています。構造素材の効率的な使用と最適な磁気特性を得るためにコンピューターによるFEA/有限要素解析で設計・最適化された「内磁型」デュアルマグネット構造がULTIMA2 シリーズの全ウーファー及びミッドレンジに使用されています。トッププレートは2個のネオジウムマグネット間に挟まれ、ボイスコイル内の磁気回路構造の中心に位置します。上のネオジウムマグネットは下側のメイン・ネオジウムマグネットとは逆相に磁化され、トッププレートの上に位置しています。トッププレートとスチールポット（シールド・バックカバー）が組み合わさり、磁気回路の帰還経路が完成します。インバーテッド・デュアルマグネット構造は磁気シールド効果を更に改善し、浪費される漏洩磁界を最小化します。この磁気回路構造は通常の磁気回路に比べ小型で強力であり、エンクロージャー内での反射を少なくし、実効内容積の増加にも貢献しています。

ULTIMA2 シリーズのウーファーとミッドレンジユニットは、アルミニウムのスタビライザー・リングを備えています（図 15 参照）。これはスチールポットの内側に取り付けられ、メインマグネットの総ての静的磁束を捕らえます。このフラックス・スタビライザー・リングは、動作中に大きな交流信号がボイスコイルに加わった際に生じる磁束変化が、静的磁場をよぎった際に生ずる総括的な磁束変動を最小化します。この結果、最大出力レベルのときでさえ、中域及び低域での二次高調波歪を大幅に低減する効果があります。

13.3cm 径及び 10cm 径ミッドレンジユニットに使用されている銅の伝導リング（銅製キャップ、図 13 参照）は、中域から高域にかけてのボイスコイル近辺の局所的な磁気変動の減少と、ボイスコイルのインダクタンス変動および高域におけるインダクタンスの上昇を減少させます。インダクタンス変動を最小化させる目的は、中域から高域での二次及び三次高調波歪を減少させるためです。インダクタンスの上昇を抑えることは、中域から高域にかけての能率とパワーハンドリングも増加させます。

20cm 径、16.5cm 径、13.3cm 径の全てのスピーカーユニットは、ダイナミックコンプレッションを最小化しながら非常に高い出力能力を得る為に、特大の 5cm 径ボイスコイルを使用しています。又 SALON2 と GEM2 の 10cm 径ミッドレンジユニットは、非常に高い出力能力と最小のダイナミックコンプレッションを得る為に、10cm 径トランスデューサーとしては非常に大型の 3.8cm 径ボイスコイルを使用しています。全ての ULTIMA2 シリーズのスピーカーユニットは、ボイスコイルの構造的強度を高めるため高耐熱ファイバーグラス・ポピンに銅リボン導線を巻いたボイスコイル・アッセンブリーを使用しています。1 層巻きのフラットワイヤー・ボイスコイルの採用により、カスタム設計による磁気回路の最適化、能率の向上、パワーハンドリングの改善、及び

ボイスコイル周辺のスチールパーツへの優れた熱伝導をもたらし、又パワーハンドリングやダイナミックコンプレッションを改善します。

ダンパーには、コンプライアンスカーブの対称性を増すために、またリニアリティ直線性を増すために最適化されたジオメトリーを採用した高強度の Nomex 混入素材を使用しています。その結果、低域での二次高調波歪を低く抑えることが出来ました。

図 13 と 15 の通り、スチールポット（シールドカップ）内の小さな通気孔と共に磁気回路のポールピースを通る通気孔は磁気回路構造内の熱を排除する手助けをし、それによってハイパワーハンドリングが可能になりました。これらの通気孔は、ボイスコイル及び磁気ギャップ内部のエアノイズも減少させ、低域での三次高調波歪を更に減少させます。

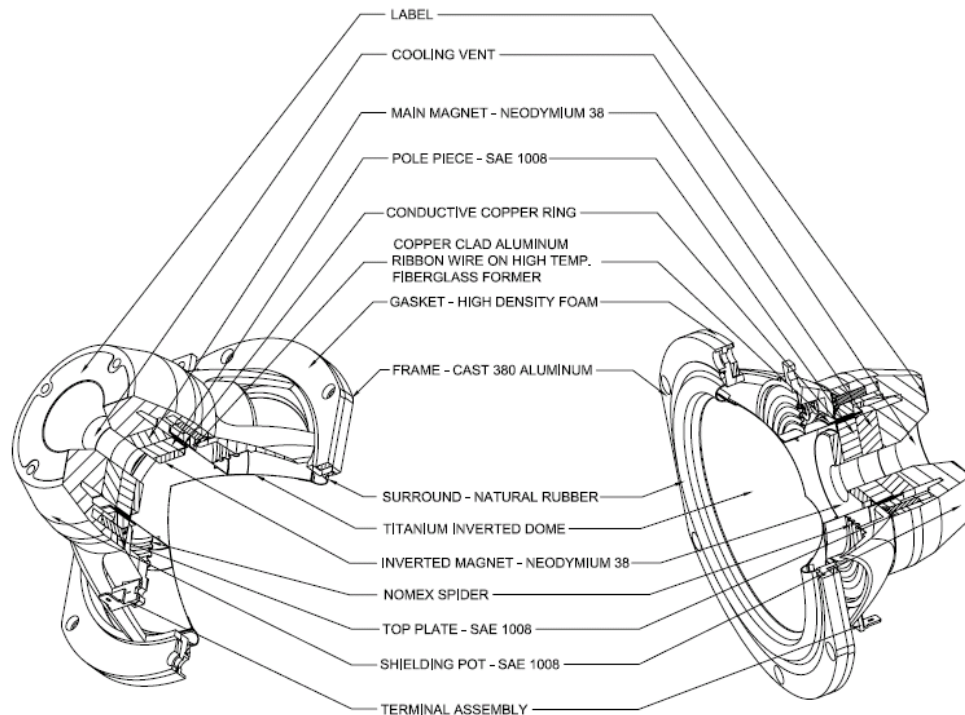


図 12 : ULTIMA2 5¹/₄インチミッドレンジ 3D 図解

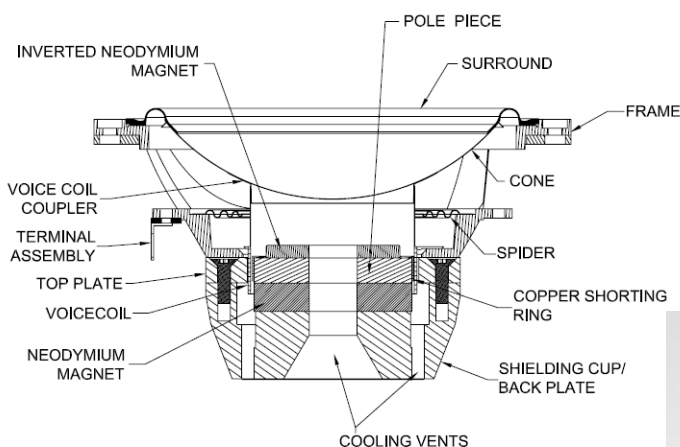


図 13 : ULTIMA2 5¹/₄インチ
ミッドレンジ断面図



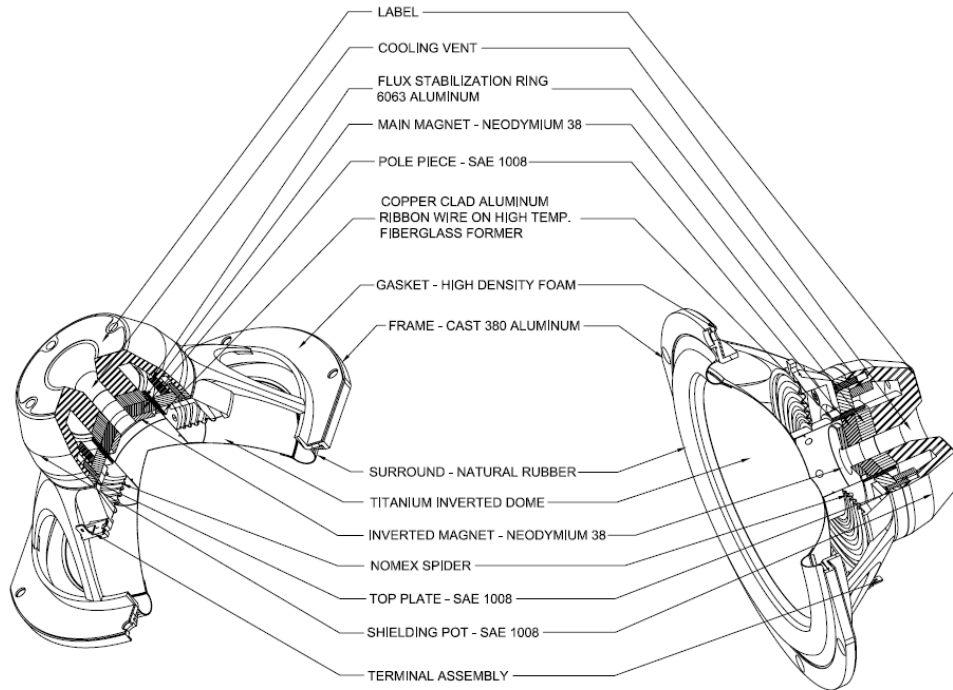


図 14 : ULTIMA2 8 インチウーファー3D 図解

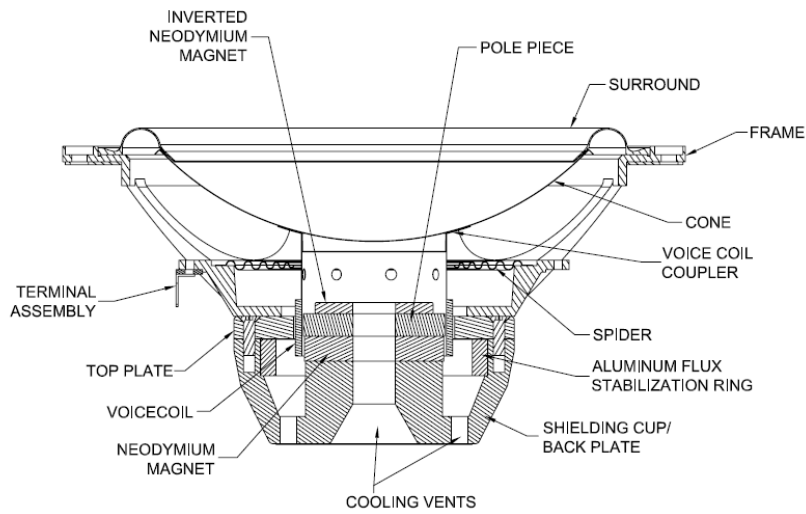


図 15 : ULTIMA2 8 インチ
ウーファー断面図



5.2 Tweeter (ツイーター)

ULTIMA 2 のツイーターの、ベリリウムドーム、従来の高域用ドライバーテクノロジーを超越する磁気回路構成、新世代ウエーブガイド、の3つの点について検討します。

1. ツイータードーム素材：何故ベリリウムか

最も初期に人気があったツイーターはソフトドームでした。今日の一般的なソフトドームは粘着性物質で処理された布地です。ソフトドームの最大の問題点は、素材の柔らかさで、そのため動作帯域内の 20kHz よりかなり低いところで分割振動が生ずる傾向があるという事です。

1990 年代に入り、ソフトドームに比べかなり硬度が高く、ピストン運動を 20KHz まで維持できるメタルドームが人気を得ました。懸念はアルミやチタンなどの代表的なメタルドーム素材の 20-25KHz あたりでの激しい分割振動でした。

表 1 はツイータードーム素材の音速、密度及びポアソン比という 3 つの重要な特性を比較したものです。

分割振動に影響する特性は音速です。音速が速いという事は、素材内での音波の波長が増加することを意味し、そのことは素材の共振周波数が高くなることを意味します。そのため、ランダムな振動刺激に対して有害な共振を起こす可能性を減らすという事になります。ベリリウムの音速はダイヤモンドに次ぐもので、その分割振動の最初の兆候は 50kHz 以上です。

密度は質量に直接関係するためツイーターの音質にとって重要です。質量が軽く、所定の音響出力をより少ないパワーで得られれば、ボイスコイルの温度上昇も少なく、ツイーターのインピーダンスも変化させません。このことはダイナミックコンプレッションを最小化し歪を低下させます。またパワーハンドリングも向上させます。ベリリウムは色々な素材の中でも密度がかなり低く、ダイヤモンドのほぼ半分しかないとはいえない大きな利点です。

結晶化ダイヤモンド、チタン、アルミなどの他のツイータードーム素材と比べ、ベリリウムの弾性領域でのポアソン比はかなり低く、オーディオ用として最適です。素材の一片を1つの方向（長さ方向）に伸ばして行くと、他の2つの方向（幅と奥行き）において厚みが薄くなる傾向があります。ポアソン比はこの現象の測定値です。ベリリウムのポアソン比は、結晶化ダイヤモンドを含む他の素材より低い数値となっています。

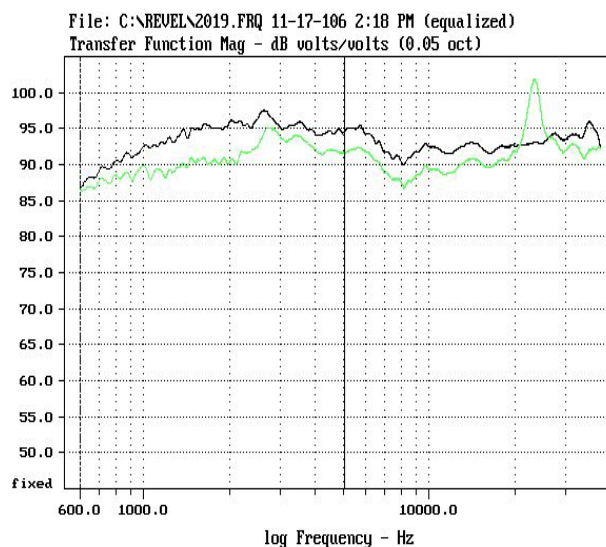
素材	密度 g/cc	音速 m/s	ポアソン比
アルミニウム	2.7	5000	.33
ベリリウム	1.8	13000	.08
チタン	4.4	5200	0.3
結晶化ダイヤモンド	3.5	16200	0.31
ベリリウム /アルミ合金	2.1	10000	.14
マグネシウム	1.8	4900	.35

ツイーター用ダイアフラム素材の特性比較

2. 素材による周波数特性の比較

図 16 は ULTIMA2 ツイーターのユニットを使用して、アルミドームとベリリウムドームを比較した実際の測定グラフです。これらは 2m の距離でハーフスペース (2 pi) で測定されたものです。ベリリウムドームは平均で約 2dB 大きい出力で、しかも 40kHz 以上までフラットな特性を保っています。アルミドームは 23kHz あたりで大きな分割振動が生じています。これはリングング(ringing)を増加させ、10kHz 以下での歪成分を増加させます。

図 16：アルミドームとベリリウムドームの比較



3.磁気回路構造

図 17 と 18 は磁気回路の技術的特徴を説明します。磁気回路はギャップを構成する金属部を磁気飽和させるために使用する大型のメインマグネットとバックリングマグネットで構成されています。これは磁化された金属部の非直線性に起因する磁界の変化を大幅に減少させ、奇数次高調波歪を減少させます。ポールピースの銅キャップは、インダクタンス変調を減少させ、また奇数次高調波歪を更に減少させるために、ポールピースの磁気ギャップエリアに取り付けられています。ツイーターの機械的共振点は、クロスオーバー周波数の正確さを保つためにその使用帯域より遥かに下でなければなりません。ポールピースの大型の通気孔と柔軟なエッジの組み合わせにより、ダイアフラムの共振周波数は 600Hz より低くなっています。2 次共振は不規則な形状のリアーキャビティで打消されます。リアーキャビティの後部の独特な形状のピンは、キャビティ内のスタンディングウェーブ（定在波）と共振を消滅させるのに役立っています。更にキャビティ内に音響ダンピング材を加えることにより 2 次共振を完全に排除し、周波数特性を改善させます。

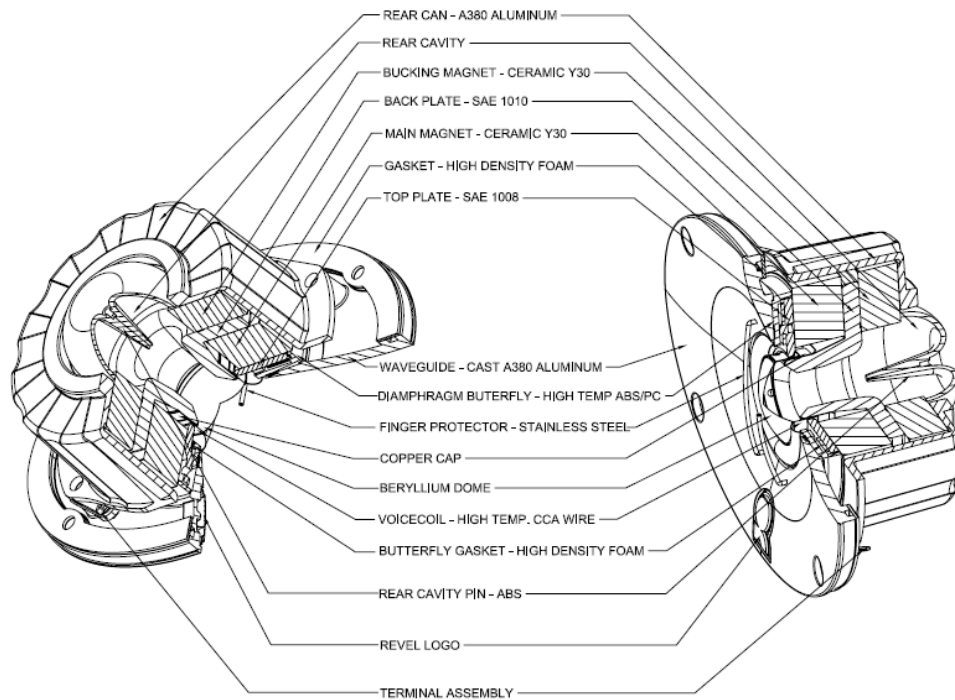


図 17 : ULTIMA2 1 インチツイーター3D 図解

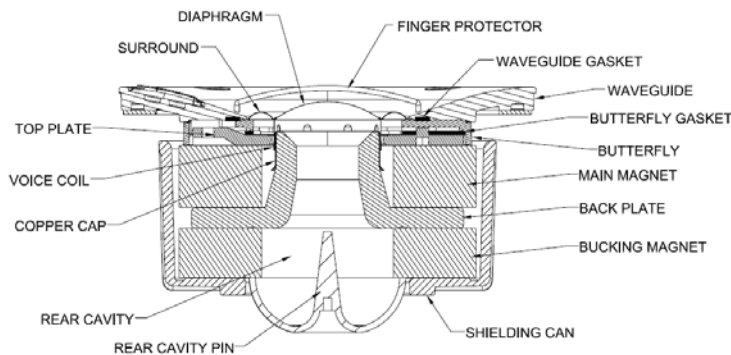


図 18 : ULTIMA2 1 インチツイーター断面図



4.新世代スレンダー・ウェーブガイド

ミッドレンジユニットとツイーター間には、ユニットサイズの大きな相違に起因するかなりの指向性の不連続性があります。その解決策としてツイーター・ウェーブガイドが使用されます。

ツイーター・ウェーブガイドには次のような長所があります：

- 1) クロスオーバー付近で、ツイーターの指向性がミッドレンジユニットの指向性に、より良くマッチする。
- 2) クロスオーバー付近およびその上の帯域で、通常 3~7dB のゲインの増加が得られる。
- 3) ゲインの増加によるパワーハンドリングの向上とダイナミックコンプレッションの低下。
- 4) ゲインの増加により低いクロスオーバー周波数での使用が可能。

一般的なウェーブガイド理論では、ウェーブガイドの大きな直線（円錐形）部分によって広い帯域で適切なパターンコントロール（つまり指向性コントロール）が達成出来るとされており、またウェーブガイドの入口（スロート）と出口（開口部）の形状の推移の綿密な設計が、高域での狭い指向性と周波数特性の問題を防ぐ為に重要であるとされています。最終的に、ウェーブガイドの大きさが、どのくらい低い周波数までウェーブガイドが指向性のパターンをコントロール出来るかを決定付けます。

前世代のウェーブガイドでは、指向性をクロスオーバー周波数においてはミッドレンジユニットと高い整合性を保つことができますが、9kHz 以上では指向性が強くなり過ぎる傾向がありました。そこで新世代スレンダー・ウェーブガイドが開発されました。このウェーブガイドの出口（開口部）は大きく緩やかなカーブにより放射面と整合するようになっています。新ウェーブガイドは約 102x140mm の楕円形で、水平、垂直の各軸上で約 143 度及び 157 度の角度を持っています。

クロスオーバー周波数での指向性は、ULTIMA2 のミッドレンジユニットと整合性を保ちながら、9kHz を超える帯域でも前世代ウェーブガイドより改善された指向性を発揮できるようになりました。ULTIMA 2 シリーズでは、素晴らしい高域の拡散性と洗練されたバツフル、キャビネット形状とにより、前シリーズに装備されていたリアツイーターの必要性を無くしました。

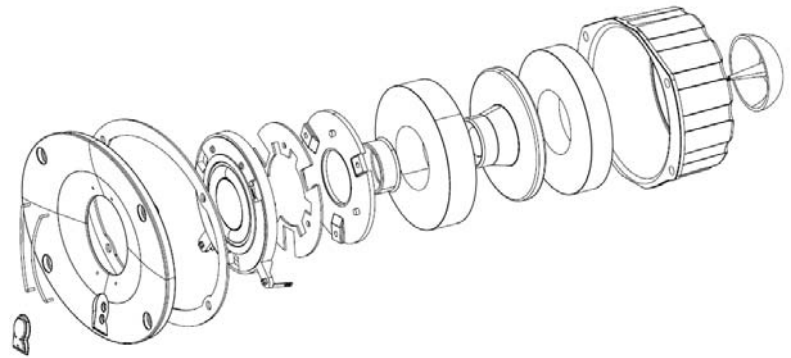


図 19：ULTIMA2 ツイーター展開図

6.0 Port Design (ポート設計)

スピーカーポートは、キャビネットとポートが相互に関連しあう事でヘルムホルツ・レゾネータを形成させ、低域での音響出力を増加させるために使用されます。共振点において、ポートのインダクタンスがキャビネット内の空気のコンプライアンスと作用して共振することにより、スピーカーコーンの背面部に高インピーダンスを、外気には低インピーダンスを与えるための音響的インピーダンストランスフォーマーとしてスピーカーシステムを作動させます。これにより、密閉型方式に比べ低域の一部分での音響的出力を増加させます。

ポート内の空気がリニアに反応出来るポイントを超えて出力が増加する場合を考えたとき、ポートの設計には幾つかの難題が生まれます。それらにはポート内で発生する、好ましくない付帯的なノイズ、音響的コンプレッションや歪が含まれます。

過去において、ポートの設計には単純なストレートパイプ形状を用いていました。この方法の問題点は、シャープなエッジにより生じる歪、あるいは風切り音が中程度のレベルでさえ聴き取ることが出来てしまうという事です。オーディオファイルはこのようなポーテッドシステムには眉をひそめることができました。このような、ポート内を早い速度で動く空気による広い音域の風切り音については、近年ポートの端をさまざまなカーブで丸みをつけることで処理しており、それが現在の一般的なフレアポートという形で導入されています。

最近の研究では、ポートの長さ方向全体に、より空力的な形状を与えることにより、性能が向上することがわかりました。更に、ポートの入り口と出口もこの空力的な形状にすることが重要になります。同じ長さのストレートポートに比べ、このテーパーポートは実際よりも長さがあるような作用をします。ULTIMA2 シリーズに使用されている最新世代のポートは双曲線型の設計となっています。これは多くの研究の結果開発されたもので、最大の出力と、最小のコンプレッション及び最低の歪をもたらします。図 20 は STUDIO2 ポートの外観です。



図 20 : STUDIO2 のポート

7.0 Crossover Network (クロスオーバー・ネットワーク)

ULTIMA2 のクロスオーバーネットワークの設計には多くの配慮がされています。各ユニットセクションは専用のボードを使用し、部品から部品への直接配線という手間のかかる方法を採用しています。これはプリント基板の使用を完全に排除することで、コイルの磁場への影響を除くためです。各素子は慎重に選択されています。SALON2, STUDIO 2 と VOICE2 のツイーター及びミッドレンジ・クロスオーバーには全て空芯コイルが使用されています。SALON2 と STUDIO2 のウーファー・クロスオーバーには信号経路に大型空芯コイルを使用しています。非常に大きな容量のものを除き、全ての重要な信号経路には REVEL AUDIO のカスタムメイド・ポリプロピレンコンデンサーが使用されています。高次のクロスオーバーネットワークは、それぞれのユニットがその作動帯域内で効果的に機能するようにし、また分割振動周波数を抑圧し、パワーハンドリング能力を高めます。

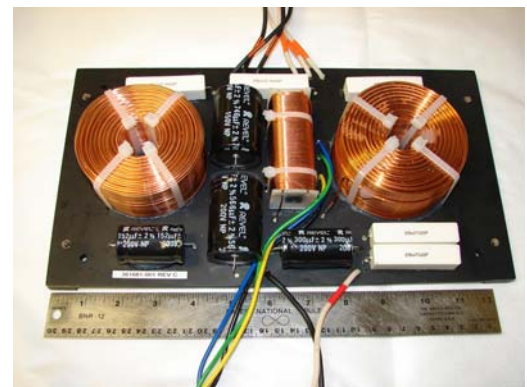


図 21 : SALON2 ウーファー用クロスオーバー

8.0 Conclusion (結果)

ULTIMA2 シリーズはスピーカー市場においてユニークな存在で、真の「エンジニアのスピーカー」です。エレガントな外見はこのホワイトペーパーに述べたテクノロジーの集積から作り上げられました。

REVEL AUDIO は「エンジニアリング・プロトタイプ」からどの様に最終生産品に仕上げるかの過程を熟知しています。数多くのプリ・プロダクションユニットが信頼性を確保するために厳しい一連のテストにかけられます。各生産ユニットは、1dB 以下の範囲内で生産基準用ユニットと音響的にマッチしている事を確認され、さらに数多くのテストや検査工程を通過しています。

2チャンネルシステムとして、あるいは組み合わせによってマルチチャンネル・システムとして使用するに関らず、ULTIMA2 シリーズの 4 つのモデルは最高に満足できるリスニング・エクスペリエンス（聴感体験）を提供します。

Listen for yourself!

~どうぞご自身の耳でお確かめ下さい。

Mark Glazer : マーク・グレイザー
レベルオーディオプロダクツ・チーフエンジニア

1996 年の REVEL AUDIO 設立以来、総合ディレクターである Kevin Voecks(ケヴィン・ヴェイクス)氏とタッグを組み同社のシステム設計全般に関わっているベテランエンジニア。前作 ULTIMA シリーズより引き続き REVEL AUDIO の最高峰システムの開発を任されている。

