

TAD Reference One の開発

Development of TAD Reference One

高橋 俊一， 斉藤 天伸

Shunichi Takahashi, Takanobu Saito

要 旨 TAD Reference One は TAD ブランドのホームユース・スピーカーとして開発された。一番の特徴は、ミッドレンジとトゥイーター両方の振動板にベリリウム振動板を使用，同軸配置とした Coherent Sound Transducer (CST) を採用したことである。CST の採用よりは 250Hz のミッドレンジ帯域から 100kHz までの広い周波数帯域を，一つのスピーカーユニットでカバーすることが可能となった。このことにより，明確で安定した定位と自然な音場表現を実現することができた。

ウーファーユニットには大幅にリアリティーを向上した磁気回路が，キャビネットには高級感溢れるクリア鏡面仕上げが採用された。

Summary The TAD Reference One was developed for TAD's home speaker brand.

Using the Coherent Sound Transducer (CST), consisting of a beryllium midrange cone and tweeter dome configured concentrically, this driver radiates both upper and critical mid-frequencies from a single point source covering an unprecedented frequency range from 250 Hz to 100 kHz. This results in accurate imaging and a seamless soundstage.

Furthermore, dual Tri-laminate Bass drivers with improved magnet circuit linearity and a cabinet finished in high-gloss piano lacquer were adopted for this speaker.

キーワード : スピーカー，スピーカーユニット，スピーカーシステム，TAD，ベリリウム，CST，同軸，磁気回路，リアリティー，ショートボイスコイル，サスペンション，エンクロージャー，サベリ，ポリエステル，鏡面

1. はじめに

TAD(Technical Audio Devices) ブランドのプロ用ドライバユニットは，プロフェッショナルスタジオモニタースピーカーとして，世界の録音現場の第一線で揺るぎない地位を築いてきた。1978年に米国で発売されて以来，四半世紀が経った現在でも，世界中の著名な録音スタジオに採用され，多くのトップアーティストからレコーディングおよびデジタル・リマスター用モニタースピーカーとして大変高い信頼と評価を集めている。

一方近年では，SACD, DVD-Audio などの高品位フォーマットの登場などにより，家庭内における再生環境が飛躍的に向上している。厳しいプロの世界で培われ，評価されてきた TAD の圧倒的な性能の本領を，ホームユースにおいても発揮できる環境が整いつつあるといえる。

そうした時代背景に応えるべく，TAD ブランドでのコンシューマー用スピーカーシステム TAD Reference One(図 1) を開発した。本稿では，そこに注ぎ込まれた技術の一端について紹介する。



図 1 TAD Reference One

2. TADのDNA

“綿密な理論検討と正確な実験に裏打ちされた工学的なアプローチ”

TADの名に刻み込まれた設計思想である。基礎理論に忠実な最適設計を具現化するという目標に対して、一切の妥協を廃してきた。例えば、当時の測定技術の未熟さや工作機械の精度の問題に突き当たったときには、その全てを新調、作り出すことから始めてきたほどである。

そのような成果の結集が、世界初のベリリウム振動板を採用したコンプレッションドライバーのTD-4001や、16インチウーファのTL-1601aといった、今なお世界最高水準といえるTADを代表するドライバー（図2）の開発に結びついている。

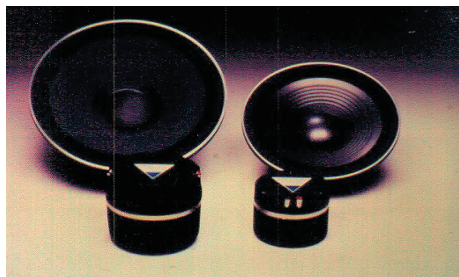


図2 TADドライバーユニット群

さらに、これらのドライバーユニットを用いた理想的なシステムとして、Exclusive model 2401 twin / 2402を発表。ホーンシステムを用いた広帯域コンプレッションドライバー+ウーファーというシンプルな2wayによって新しい時代のモニターシステムに要求される性能を具体的に示した。

TADがプロフェッショナルの世界で評価された要因は、圧倒的な高性能と共に、それを支える高い精度と品質の安定性である。例えば、コンプレッションドライバーでは、部品や治具の精度をミクロン単位まで追い込み、さらに機械では測定できない微細な感覚を、熟練工によってひとつひとつ調整し作り上げている。

これにより、振動アッセンブリーを交換する場合でも、それ以前と変わらぬ特性・音質を保証できるのである。図3にTADシステムのレコーディングスタジオへの導入例を示す。

設計開発から生産・管理にいたるまで、全ての段階において、一切の妥協なく基本に忠実であることに徹する、それこそがTADのDNAである。

TAD Reference Oneの開発に当たっては、これま

で培ってきた、TADの設計概念・生産技術をベースに、さらにコンシューマー用として家庭で再生される条件を考慮し、音像と音場を高次元で両立した世界最高峰のスピーカーを作ることを使命とした。

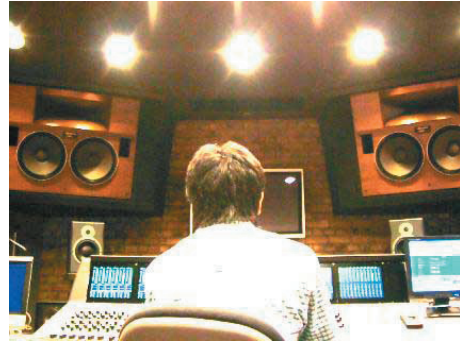


図3 TADシステムのレコーディングスタジオへの導入例

3. 音像と音場の高次元での両立

多くのスピーカーシステムは、広帯域再生のために複数のスピーカーユニットを用いたマルチウェイシステムを採用している。その多くのもので、軸上特性に比べて、角度がずれた方向での特性パターンに乱れが生じている。これは、音源位置やクロスオーバーにおける指向特性が、ユニットごとに異なることに起因する。

実際の聴取環境において、聴取ポイントは必ずしも軸上に位置しているわけではなく、またリスナーの耳には直接音だけでなく、壁や床面からの反射や回折現象などによって生じる間接音も到達する。

軸上をずれた特性バランスが、軸上特性のそれと大きく異なっていると、音像定位がふらついたり、音場空間の再現性が損なわれるといった影響を受けやすくなる。

明確で安定した音像の定位と、自然な音場空間の表現。TAD Reference Oneの開発ではこのふたつをより高次元で両立することを目指した。

この目的に対する物理的な要求は以下のとおりである。

- ・1ポイントからの超広帯域再生
- ・その幅広い帯域内において、位相特性および指向減衰特性がスムーズであること

TADプロでは、広帯域コンプレッションドライバー+ホーンという組み合わせによって、その目的を達している。その広帯域再生思想を進化させ、さらに

コンシューマー用システムとしてよりふさわしい手法として、直接放射型の同軸スピーカーを開発した。この先進的な同軸スピーカーをCST(Coherent Source Transducer)ドライバーと呼んでいる。



図4 CSTドライバー

CSTドライバーのミッドレンジ振動板は、トゥイーターの指向性パターンを制御し、クロスオーバー帯域におけるトゥイーターとミッドレンジの指向性パターンを一致するように綿密に設計されている(図5)。理想的な指向特性を実現するために、一般的な

16cm口径のコーンに比べて非常に浅形な形状となっている。一般的には、コーンを浅形にすると形状的な強度が弱くなり、特性の低下を招いてしまう。しかし、蒸着ベリリウムという優れた材料を用いることで、この理想的な形状を成し得ることができた。

CSTドライバーは、大口径の振動板と、先進の設計手法により、250～100kHzという超広帯域再生能力を獲得している。そして、その全帯域に渡って、乱れることなくきれいに減衰する指向放射パターンを併せ持つことを可能にした(図6)。

4. 理想を追求した振動板素材

CSTドライバーのミッドレンジとトゥイーターの振動板材料には共にベリリウムを使用している。ベリリウムは振動板として実用可能な金属材料のなかで、最も軽量かつ高剛性という中高域用振動板に必要な性質を合わせ持つ優れた材料である(表1)。

TADのベリリウム振動板の製法は蒸着法。パイオニアのオリジナル技術である。蒸着法の優れている点は、材料の基本物性を保ちながら、金属としては異例なほどの内部損失を持つことだ。共振を抑えるファクターである内部損失は、蒸着法によって霜柱状に生成される粒子の結合によって、より大きなものとなる。

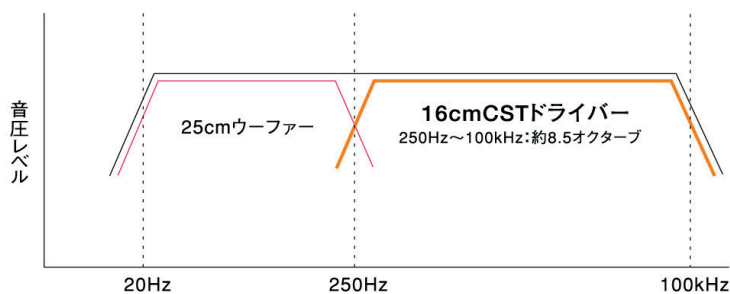


図5 分割周波数特性の概念

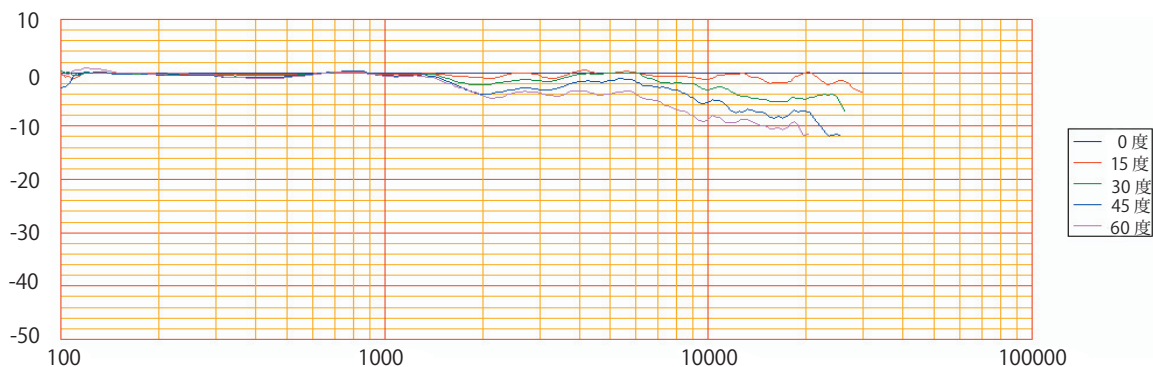


図6 CSTドライバーの0度を一定基準とした指向特性

表1 ベリリウムの物性

Material	Density (g/m ³)	Young modulus (*E10N/m ²)	Velocity (m/s)	Inner loss (-)
Aluminum	2.7	7	5092	0.003
Titanium	4.4	11.9	5201	0.003
Beryllium	1.85	28	12302	0.005
Magnesium	1.78	4.5	5028	0.006
Boron Alloy	4.5	23	7149	0.005
Paper	0.2-0.8	0.03-0.6	1200-3750	0.02-0.1
Ceramic Carbon	1.4	3.5	5000	0.005
Ceramic Graphite	1.8	18	10000	0.01
Crystalized Diamond	3.4	90	16270	0.014

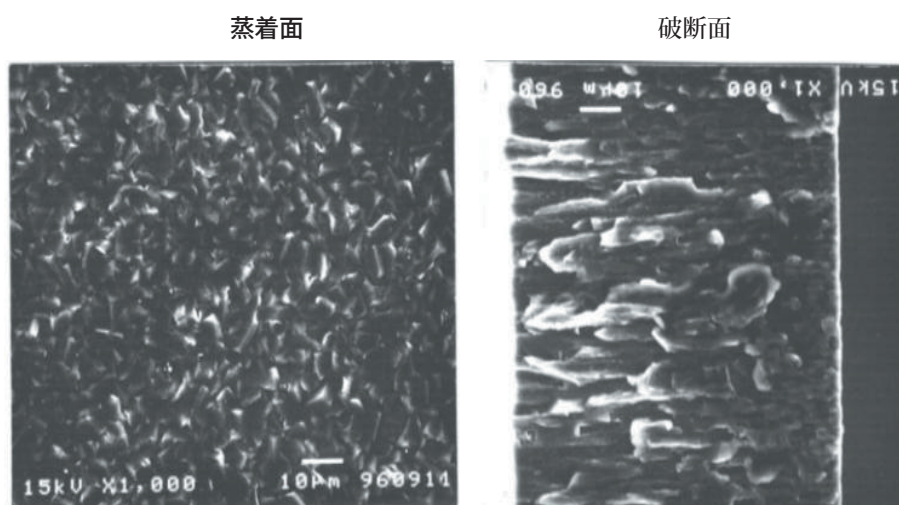


図7 蒸着ベリリウムの拡大写真(左:表面, 右:断面)

これにより、蒸着ベリリウム振動板はスムーズな周波数レスポンスをもち、大変素直で澄んだ音を再生することができる(図7)。

パイオニアは、蒸着ベリリウムダイアフラムの生産において、30余年にわたる実績を持つ。この歴史の中で培った技術を集約させ、蒸着ベリリウムとしては世界最大級となる、口径16cmスピーカー用のコーン型振動板を開発した。

また、CSTドライバーのトゥイーターには、HSDOM (Harmonized Synthetic Diaphragm Optimum Method) という振動板形状を最適化する技術を導入した。有限要素法解析を駆使して、可聴帯域外で生じる分割振動のバランスを的確にコントロールすることにより、100kHzまでの超高音域再生を可能にしている。

5. トータルのリニアリティーを徹底追求

高性能なCSTドライバーに対して、低音域を支

えるウーファー(図8)では、トータルのリニアリティーを徹底的に追求した。大振幅のときでも動作が安定していて、しかも振幅が制限されることがなく、波形を正しく再生すること。そのために新規にショートボイスコイル/ロングギャップタイプのOFGMS(Optimized Field Geometry Magnet Structure)磁気回路を開発した。



図8 25cm ウーファー

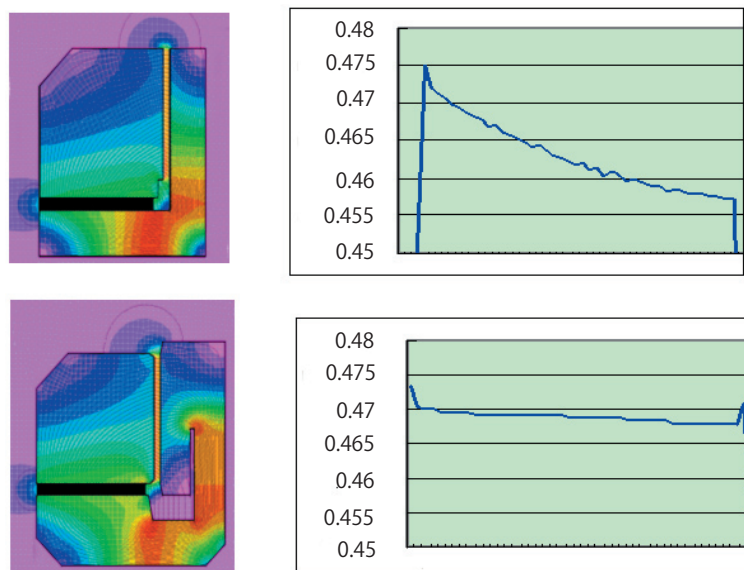
ショート・ボイスコイル/ロングギャップは、磁束密度が一定の磁気ギャップの中に常にボイスコイルが位置するため、原理的にリニアリティーが非常に優れた磁気回路構造である。しかし実際には、磁路を形成する鉄材の磁気抵抗によって、ギャップ内に僅かながら磁束密度の勾配が生じてしまう。

コンピュータによる磁気回路の解析を繰り返し、ボイスコイルの外に位置するプレートにスリットを設けることで、37 mm厚ものロングギャップでありながらその間の磁束密度を均一化することに成功した。(世界初。特許申請中) この構造は磁性体の性質から生じる電流のひずみを減らす効果があり、歪を 10dB

以上改善している(図9)。

OFGMS 磁気回路によってもたらされる、30mmにもわたるリニアな駆動力に対応するために、サスペンションも新たに開発した。コンピュータ・シミュレーションによる応力解析によって、最適な形状・材質を算出し、これを対称配置としたデュアル・ダンパーとしている。

エッジはサスペンションの一部であると同時に音質にも多めに影響を与えるパーツである。大振幅のときにも音崩れが無く安定な動作をする、TADプロでも定評のあるコルゲーションエッジを採用。抜けの良い低域と同時に、滑らかな中域の再生を両立させている(図10)。



(上：従来タイプ 下：OFGMS /単位：Tesla)

図9 磁気ギャップの磁束分布シミュレーション

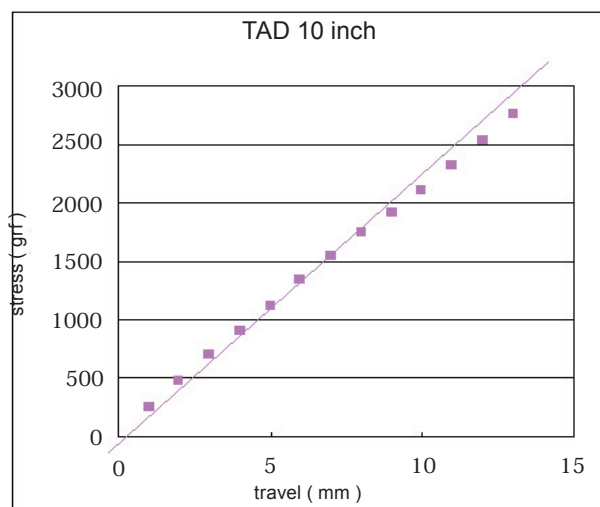


図10 サスペンションのリニアリティー特性

6. ゆるぎない安定性と高い制振効果

ドライブユニットの優れた性能を最大限に発揮するために、エンクロージャーでは徹底的に無共振化を追及した。航空機の翼や大型船舶の構造をヒントに、異質材料によるラミネート構造を巧みに使用し、全体の強度を極限にまで引き上げる構造が新 SILENT(Structurally Inert Laminated ENclosure Technology) エンクロージャーである。

厚さ 21mm の樺 (バーチ) 合板を骨組みとして強固な枠組みを構成し、高周波加熱プレス成型した厚さ 50mm の側板と最大 137mm の CNC 加工合板を張りあわせて形成されている (図 11)。

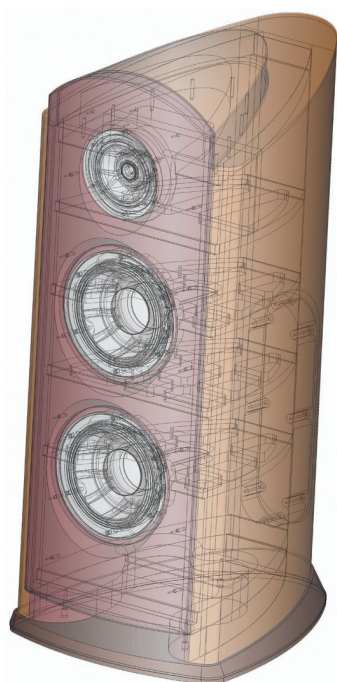


図 11 新 SILENT エンクロージャー

後方に向かって絞込んだティアドロップ形状は、音波の回折が低減され音場表現に優れるとともに、エンクロージャーの不要共振と内部定在波の排除にも貢献している。

さらにエンクロージャー全体を後方に 4 度傾け、150kg にもおよぶ総質量の重心位置を、スピーカーを支えるベースの中心付近に来るようにした。これにより、強力なウーファアの駆動力の反作用を確実に受け止め、ゆるぎない安定性と高い制振性を得ることが可能となる。

このスラントレイアウトにより、すべてのドライブユニットからリスナーの試聴位置までの距離がほ

ぼ等しくなるために、タイムアライメントがしっかりと取れることになる。

7. 工芸品としての美しさ

エンクロージャー部の仕上げには、立体的な奥行き感があり美しい斑を持つ、ポメラサペリの突き板を使用している。

ポメラサペリは工芸的な価値を持つ家具や、特別仕様的高级ピアノなどに使われる材料だ。この希少な美しい杓が出ていない材料は、通常 40 cm 程度の幅のものしか流通していない。TAD Reference One のエンクロージャーサイズに見合った大判のものを探し出すために、丸太の状態から材料をスライスし、側面は一枚ものを持つ美しさに仕上げることにこだわった (図 12)。

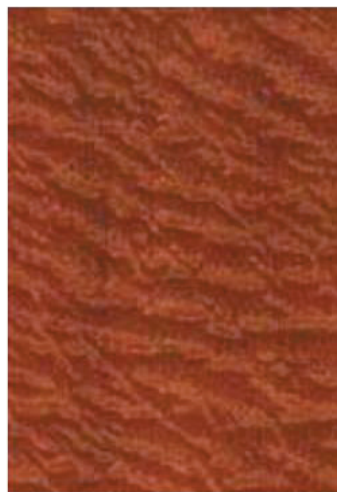


図 12 ポメラサペリの杓

この大判の突き板を、エンクロージャーの曲面に貼り合わせる外装加工は、非常に難易度の高いものであった。度重なる試行錯誤の結果、大型の専用プレス装置を開発した。こうして、この大型で流麗な曲面を持つエンクロージャーにポメラサペリの美しい外装を身にまとうことができた。

このポメラサペリを保護し、さらに奥行きのある杓の美しさを引き出すために、入念なポリエステル下地塗装とクリア鏡面仕上げを施した。塗装工程は全 20 工程以上におよび、熟練した職人により丁寧に時間をかけ、およそ 3 週間かけて仕上げられる。

8. おわりに

「基本に忠実な技術こそ本物の技術であり、技術志向に傾くことなく、常に音質を最重視する技術こそ本

表 2 TAD Reference One の仕様

形式	3 ウェイ位相反転式フロア型
ドライブユニット：	
ウーファー	25cm コーン型× 2
ミッド/トゥイーター	16cm コーン型 / 3.5cm ドーム型
再生周波数帯域	21Hz ~ 100kHz
クロスオーバー周波数	250Hz, 2kHz
出力音圧レベル	90dB (2.83V, 1m)
最大出力音圧	115dB
インピーダンス	4 Ω
適合アンプ出力	50W ~ 300W
外形寸法	554(W) × 1293(H) × 698(D)mm
質量	150kg (1 台)

物の技術である」 ----- Bart N. Locanthi

TAD プロジェクト創世記の技術顧問であった故・Locanthi 氏の言葉はパイオニアの開発陣の中に常に生きつづけている。

技術のための技術ではなく、音質追求のための基本の積み重ねの検証結果として、21 世紀時代のコンシューマー向けスピーカーの“Reference” となるものを世の中に提示したい。その想いを具現化したものが TAD Reference One(表 2) なのです。

筆者紹介

高橋 俊一 (たかはし しゅんいち)

HGB スピーカー技術部、スピーカーユニットやスピーカーシステムの開発に従事

斉藤 天伸 (さいとう たかのぶ)

HGB スピーカー技術部、入社以来、スピーカーの設計・開発に従事。2001 年～2005 年まで台湾に赴任。中華の味には少しうるさい。帰国と同時に TAD コンシューマー・プロジェクトに参画し、現在に至る。