

S - 1EX シリーズ・スピーカーシステムの開発

Development of S-1EX speaker system

白川 弘之, 高橋 俊一

Hiroyuki Shirakawa, Shunich Takahashi

要 旨 本稿ではパイオニアブランドのフラッグシップモデルとして開発されたスピーカーシステム”S-1EX”に関して、開発の背景、各要素技術などについて述べる。

Summary This text presents the speaker system "S-1EX" developed as a flagship model of the pioneer brand. This describes the background technology of each element.

キーワード : スピーカーシステム, ベリリウム, マグネシウム, プレジジョンカーブ, タイムアライメント, TAD, CST, 同軸

1. まえがき

パイオニアの長いオーディオの歴史はスピーカーが原点である。

外国製スピーカーの素晴らしい音に心打たれた創業者・松本望が、「1人でも多くの人にその感動を伝えたい」と日本初の広帯域フルレンジダイナミックスピーカーの独自開発に取り組んだ情熱が、パイオニアの原点であり、その後脈々と受け継がれるパイオニアのシングルユニットフルレンジ思想の起源である。

その後現在にいたるまで、ユニット生産からスピーカーシステムまでを自社で生産する世界でも数少ない企業として成長してきた。

そして、パイオニアのスピーカーを語る上で欠かせない存在がTADである。TAD (Technical Audio Devices) は業務用スピーカーとして1975年に誕生した。今も最高の性能を維持、30年近くに渡り音の世界の最先端で活躍、業務用スピーカーとしてゆるぎない地位を築きあげている(図1)。

一方、近年DVD-Audio, SACDなどの高品位フォーマットの登場によりハード、ソフトともに家庭での高品位再生環境が整ってきた。そしてその整備された環境にあますところなく実力を発揮するホームユースのスピーカーの登場が待ち望まれてきた。そのような要望から、2003年パイオニアはコンシューマー用スピーカーのフラッグシップモデルとしてTAD-M1を

発売した(図2)。新しいコンシューマー向けTADスピーカーとして目指したものは、業務用TADで培ってきた高精度さ、確かな音像はそのままに、さらに豊かな音場までをも創生すること、つまり音像と音場



(a) ウーファー



(b) ドライバー

図1 TAD プロユニット



図2 TAD-M1



(a) S-1EX



(b) S-2EX



(c) S-7EX

図3 EXシリーズの各種スピーカー

を高次元で両立したスピーカーを作ることであった。そのTAD-M1の再現性に肉薄するパイオニアブランドのフラッグシップスピーカーを導入すべく開発したのが今回のS-1EX(およびEXシリーズ)である(図3)。以下に本スピーカーシステムの技術的特徴について述べる。

2. 技術的な特徴について

EXシリーズの技術的な特徴は大きく分けて2つある。1つが今回新たに開発したTADスピーカーユニットの採用、そしてもう1つがパーフェクトタイムアライメントの採用である。ともに今回のEXシリーズの核となる技術で、ある面ではTAD-M1を凌ぐ技術を盛り込むことができたと考えている。

2.1 CST(Coherent Source Transducer)

S-1EX, S-2EX, およびS-7EXは、全て同軸スピーカーと18cmウーファアの3ウェイ構成(同軸2way+ウーファー)となっていて、S-1EXとS-7EXはウーファアを平行駆動するツイン・ウーファア構成となっている。最初に、新しく開発、採用したTADの型番CST-6001を持つ同軸スピーカー(以下、CSTと呼ぶ)について説明する。

EXシリーズは、SACDやDVD-Audioのような高品位ソースを最適に再生する目的で開発されたスピーカーである。このようなソースには、音楽のディテールやニュアンスのみならず、音場感や空気感の情報も数多く含まれている。CSTは音像や定位の再生だけでなく、こういった音場感をも表現するたいへん優れたスピーカーと言える。

図4に示したCSTは400Hzから100kHzまでの帯域を受け持っている。この帯域は人間の声やほとんどの楽器の音をカバーしているが、言い換えれば、人間の耳が最も敏感なこれらの音は全てCSTから再生さ

れることになる。このため、ボーカルや楽器の音は左右のCSTの間に定位される。一般的なマルチウェイのスピーカーでは、高音は左右のトゥイーターの間、中域の音は左右のミッドレンジの間、というように音の高さによって定位が上下し、このことが大きな音像などの原因となっている。一方CSTの場合、きれいに左右のCSTの間にピンポイントで音が定位し、リアルな音像を再現することができる。

また、図4と図5から、トゥイーターの前方にミッドレンジの振動板が設置された構造になっていることが分かると思うが、このミッドレンジの振動板はトゥイーターの音の指向性をコントロールする一種のホーンの役割を担っている。このため、CSTの再生帯域内で、CSTから放射される音はたいへんスムーズな指向特性をもっている。人間がスピーカーからの音を聴くときに、直接音と間接音の両方があることは良く知られている。間接音とはスピーカーから斜めへ放射された音が、床や壁で反射してから聴取者へと届く音のことである。この斜めに放射された音がスムーズなレスポンスではなく色づけを持った音であると、それは自然な音源とは呼べず、聴取者へ届く間接音も自然ではないものとなり自然な音場



図4 CST-6001 外観

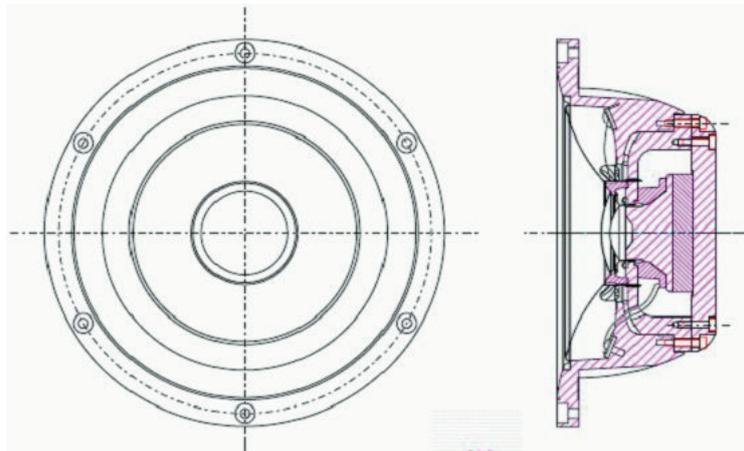


図5 CST-6001 構造

を再生することができなくなってしまう。CSTは、どの方向にもフラットでスムーズな音を放射するため、自然な音場を再生することができる。

次に、CSTに使用された振動板について述べる。ツイーターには、TAD-M1に用いられたものと同じ蒸着ベリリウム振動板を採用している。ベリリウムはたいへん剛性が高く、比重の軽い金属である。このため、再生周波数特性の高域限界を伸ばすことが可能となり、100kHzまでの再生を可能としている。図6にこの振動板の断面拡大写真を示した。このパイオニア独自の真空蒸着技術により作られた振動板は、写真からもわかるように細かい柱の集合体のような構造となっている。このため、振動板の内部損失が大きくなり、くせのないスムーズな高域特性を得ることに成功している。

ミッドレンジにはマグネシウム振動板を採用している。マグネシウムは、実用金属中最も軽く、大きな内部損失を持つという特徴がある。ベリリウムのところでも触れたが、内部損失が大きいと、振動板に加わっ

ていた力が消えたときに早く振動を止めることができる。信号が無いときにいつまでも振動が残ると、色づけされた解像度の悪い音になる。内部損失の大きなマグネシウムは素直な澄み切った音を再生する振動板であると言える。

S-1EX, S-2EX, および S-7EX に搭載したスピーカーユニットは全てネオジウム・マグネットを搭載している。ネオジウム・マグネットは一般的なフェライト・マグネットに比べ、約10倍のエネルギーを持つ強力なマグネットである。スピーカーを十分な力で駆動することができるのは言うまでもないが、高価なネオジウム・マグネットを採用したのはもうひとつ理由がある。

スピーカーユニットは聴取者に向けて音を放射するが、このときに後方にも同様に音を放射しているということも見逃してはならない重要なポイントである。スピーカーユニットの後ろはエンクロージャーに覆われていて、直接的にはその音は聴取者へは届かない。しかし、この後方へ放射した音がスムーズにスピーカーユニットの後方へ逃げることはできず、逆に振動板に余分な力を加えることになったとすれば、スピーカーに入力された信号通りに振動板を動かすことができないはずである。ネオジウム・マグネットを使用した場合、フェライト・マグネットを使用した場合に比べ、磁気回路をたいへん小型にすることができる。このことは、振動板の後ろへ放射した空気が、スムーズにスピーカーユニットの後方へ流れることを意味する。また、フレームなどの構造体も、空気のスムーズな流れを考慮して設計されている。このため、ヌケが良く解像度の高い音を再生することが可能となっている。

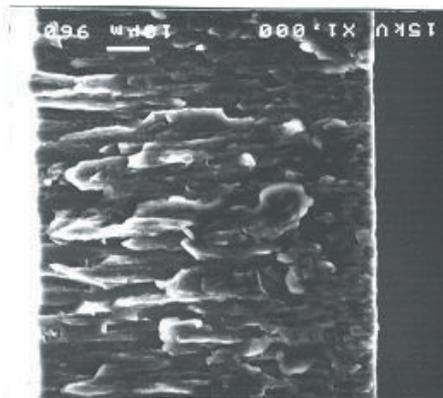


図6 蒸着ベリリウム断面写真

2.2 18cm ウーファー

S-1EX, S-2EX, および S-7EX に搭載されたウーファーについて説明する。図7に示した18cm ウーファーも多くの特徴をもつ、優れたウーファーであり、TADの名に恥じないスピーカーユニットであるという自負のもとに、TAD型番 TL-0701H をつけた。

振動板には、新規開発したアラミド織布とカーボン不織布を3層にラミネートした振動板材料を採用している。さらに、センターキャップとコーン部を一体化した1ピースの振動板とした。ウーファーは多くの空気を押出す必要があるが、このためには押出そうとする空気に負けない剛性が必要となる。この振動板は材料面と構造面の両方から、ウーファーの振動板としての理想を追求し、歯切れの良い、力強い低音を再生することに成功している。

磁気回路は CST と共通のコンセプトで設計されている。ネオジウム・マグネットを採用した磁気回路は、音響的にスムーズな形状となっている(図7)。これもネオジウム・マグネットを採用し、磁気回路を小型化することができたことによるメリットである。特にウーファーの振動板は多くの空気を押出すため、スピーカーユニットの後方の形状をスムーズにすることは音質に大きなメリットがある。また、T型ポールヨークを採用することによりリニアリティーも改善している。これらのことにより、強力でキレの良い低音を再生することが可能となっている。

サスペンションにも大きな特徴がある。エッジはリニアリティーや周波数特性に大きな影響をおよぼす部品である。しかも、特性が良いからと言って重いものでは、感度の低いにぶい音になってしまう。今回、雪ヶ谷化学工業(株)と共同で、ポリカーボネート系発泡ウレタンエッジを新しく開発した。この材料は分子構造をコントロールすることで、内部損失を従来の

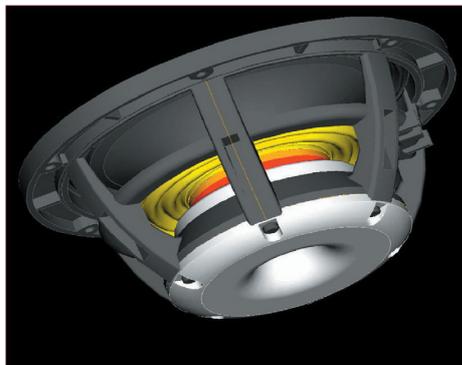


図7 TL-0701H 外観

発泡ウレタンの3倍まで高めることに成功した。また、従来の発泡エッジに比べたいへん安定した材料で、長期にわたり劣化のない材料である。

図8に今までの発泡ウレタンとの特性の比較を示したが、中域のエッジの逆共振が、この新しいエッジにより抑えられ、きれいな周波数特性になっていることが分かる。このことにより、中域特性のスムーズな色付けのない忠実な再生が可能となっている。

2.3 パーフェクトタイムアライメントデザイン

EXシリーズのサウンドコンセプトである”音像と音場の高次元での両立“を指すに当たり、CSTの採用とともに非常に大きな効果をもたらしてくれた技術がこのパーフェクトタイムアライメントデザインである。この技術を一言で説明すると、想定したリスニングポイントに対して、各スピーカーユニット(音源)までの距離を、指向軸まで含めて完全に等距離にするというものである。

具体的な手法についてであるが、まず仮想リスニングポイントを決めるところから始まる。今回この仮想リスニングポイントを決めるにあたり、各地域(国)のリスニング環境を調査し、設計値として最適な仮想リスニングポイントを求めた。その結果が距離3m、高さ1mというポイントである。この仮想ポイントを中心とした半径3mのカーブでエンクロージャーのバッフル板を切り取り、そのライン上にユニットを配置することで指向軸まで含めた完全な等距離を実現することが可能となった(図9)。

これによりリスニングポイントに対するタイムアライメントを完全に一致させることができた。

この効果は、各ユニットから放射された音がリスニングポイントで正確に合成されることにより、音に滲みや濁りを感じさせない極めて自然な音が得られるということである。

もちろん、この想定ポイントから外れた場所で聴いても基本的にこのタイムアライメントを合わせた効果は発揮されるため、極めて指向性の優れたCSTの特性と相まって広範囲なリスニングポイントを提供することが可能である。

なお、この考え方を簡易的に実現する方法として、独立したバッフル板にスピーカーユニットを取り付け、それぞれのバッフル板に角度をもたせ、近似的に仮想ポイントに対する距離を合わせる方法がある。しかし、この方法の場合、それぞれのバッフル板の境界線上で反射が発生し、それが2次音源となることから、その効果が十分に発揮できないという問題を抱えている。本方式は、等

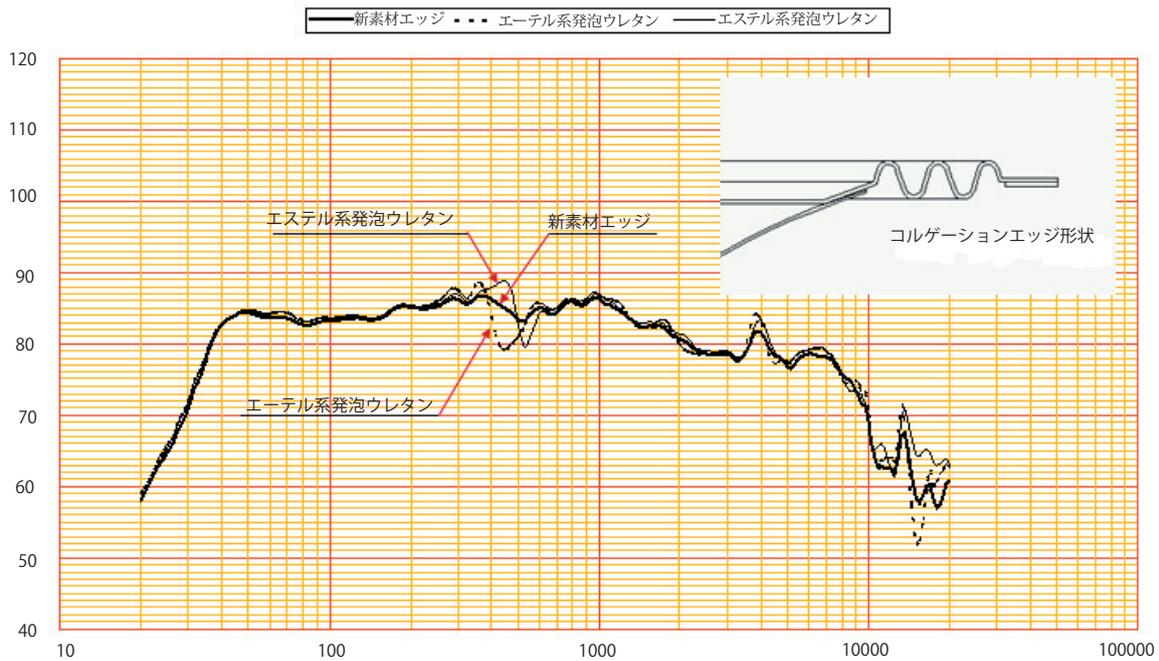


図8 エッジ比較

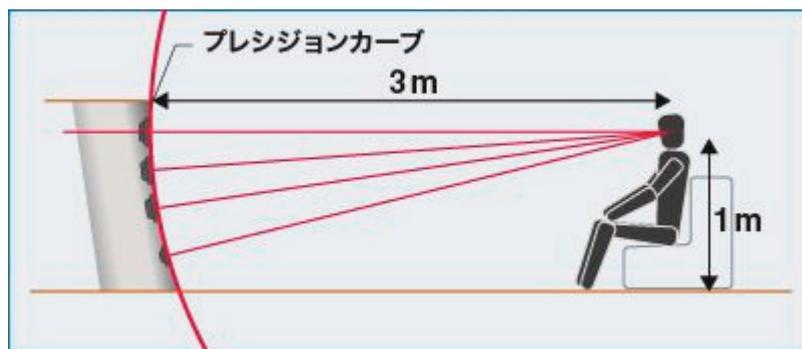


図9 パーフェクトタイムアライメントの考え方

距離となる同一曲面上 (プレジジョンカーブと呼んでいる) にスピーカーユニットを配置するため、そういった反射の問題点が発生せず、その効果を最大限に発揮することが可能である (特許出願中)。

2.4 ABDテクノロジー

「ABD(Acoustic Balance Drive) テクノロジー」とはエンクロージャー内で発生する不要な定在波を効果的に抑える技術である。厳密なシミュレーション解析により、定在波をキャンセルするウーファーとポートの配置を最適化し、一番悪影響を与える垂直方向での1次の定在波 (S-1EXの場合、約160Hz) を完全にキャンセルすることが可能である。また、さらに高次の定在波による影響も大幅に低減することができるので、

結果として吸音材使用を最小限に抑えることが可能となっている (図10)。

2.5 高強度&ラウンドシェイプ エンクロージャー

「S-1EX」のキャビネットは、それ自身が共振することのないように、バツフル板には最小50mmから最大で100mmの多層構造による積層MDF材を使用している。さらにキャビネット全体をティアドロップ形状とすることで、内部定在波の低減と回折現象を抑える大きな効果をもたらしている。特にバツフル板両面を大きなラウンド形状とすることで、エッジでの回折現象による2次音源の発生を限りなく抑えている。

2.6 スラントレイアウトエンクロージャー

S-1EXではキャビネットを8°傾斜させている。こ

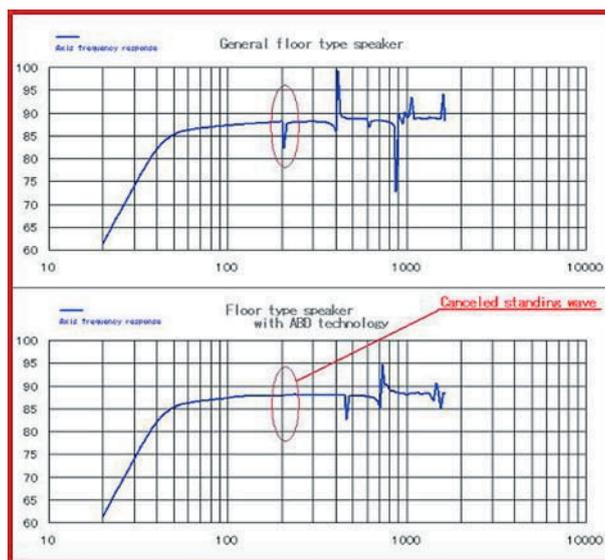


図10 ABD有無の比較

の理由は先に説明したパーフェクトタイムアライメントを実現する形状という意味もあるが、もう一つスピーカーキャビネットの重心位置のセンター化をねらうという意味がある。従来の直立の状態では、スピーカーユニットの重さのために重心位置はかなり前方に偏っているが、本システムではキャビネットを後方にスラントさせることで、キャビネット底面の中心に重心位置がくるようにしている(図11)。これによりキャビネットの不要振動が4本のスパイクを通して均等に床に伝わることになるため、結果として最大限の振動抑制効果(動的安定性)を得ることができる。



図11 S-1EX カットサンプル側面

2.7 位相を考慮したネットワーク

EXシリーズで使用しているネットワークは位相的なつながりを重視して設計されている。具体的にはミッドレンジのLPFのみ4次とし、その他(ウーファアのLPF, ミッドレンジのHPF, トゥイーターのHPF)は3次のネットワークとし、音響的には、ほぼ24dB/octでつながっている。また、ユニットへの接続は全て正相接続としている。なお、クロスオーバー周波数は400Hz, 2KHzである。

ネットワークに使用したコンポーネンツであるが、CST用では空芯コイルとフィルムコンデンサー主体で構成し、ウーファア用としてはDCRを抑える意味から珪素鋼板をコア材としたコイルを採用している。いずれも接点ロスを最小にし、回路内でのインピーダンスを低く抑える意味から、プリント基板は用いず素子同士を直接からげて半田付けしている。また、キャビネット内部の音圧による振動の影響を避けるために素子は全て接着剤により強固に固定されている。これらの考え方は他のEXシリーズ(S-2EX, S-7EX)すべてに受け継がれており、音色の整合を図ることはもちろん、全モデルの位相特性が厳密にマッチングするよう共通のクロスオーバーで設計されている。

3. サウンドチューニングについて

EXシリーズの重要なコンセプトとして、世界で通用するフラッグシップを作るという目標が掲げられた。その実現のために採用された技術については既に

説明した通りであるが、それ以外の試みとして、今回スピーカーとしては初めて英国の「Air Studios」のエンジニアの方々と共同でサウンドチューニングを行なった。この「Air Studios」は、伝説的なビートルズのプロデューサーとして知られ、アカデミー賞にもノミネートされた作曲家であるジョージ・マーティン卿が、1969年に設立したスタジオである(図12)。現在世界を代表する録音スタジオのひとつとされ、映画音楽をはじめ、多くのミュージシャンやサウンドクリエイターにとって、最先端の技術と設備を備えた憧れの場所となっている。

この共同チューニング作業(図13)により、固有の癖を待たない極めて自然でソースに忠実なモニターサウンドを得ることができたことに加え、「Air Studios」

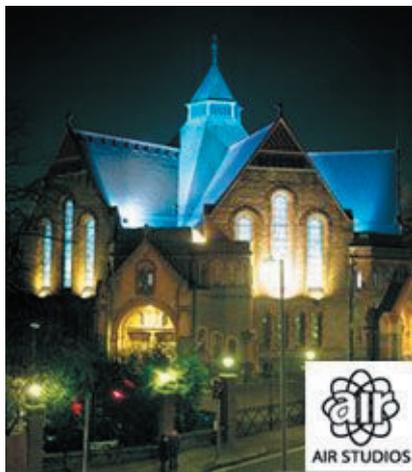


図12 AIR STUDIOSの外観

の感性豊かな録音エンジニアに満足してもらえる音楽性豊かなサウンドを手に入れることができた。この正確なモニターサウンドと音楽性溢れるサウンドという、ともすれば相反するサウンドを実現できたことが最大の収穫であった。

4. まとめ

今回のEXシリーズの開発においては日本だけではなく、フランスのSDC(Speaker Design Center)、アメリカのPUSA(Pioneer Electronics(USA) INC)と、各国のスピーカーエンジニアが共同で開発を行った。そのことは上記で説明した革新的な技術と、ソフト面や作りこみでの新たな試みを生み出した大きな原動力となった。その結果、S-1EXは日本ではいくつものオーディオ関連の賞を獲得し、欧州でも高い評価を得ることができた。今後も引き続き世界にパイオニアブランドを広めていけるようなスピーカーの開発を進めてゆきたいと考えている。

5. 謝辞

共にEXシリーズの開発を行い、製品化に協力をいただいたPFS(Speaker Design center)、PUSA、東莞百音電子の各位に感謝します。

参 考 文 献

- (1) 高橋, 白川: "パイオニア S-1EX システム", ラジオ技術 2006年3月号 pp119-123 筆者紹介

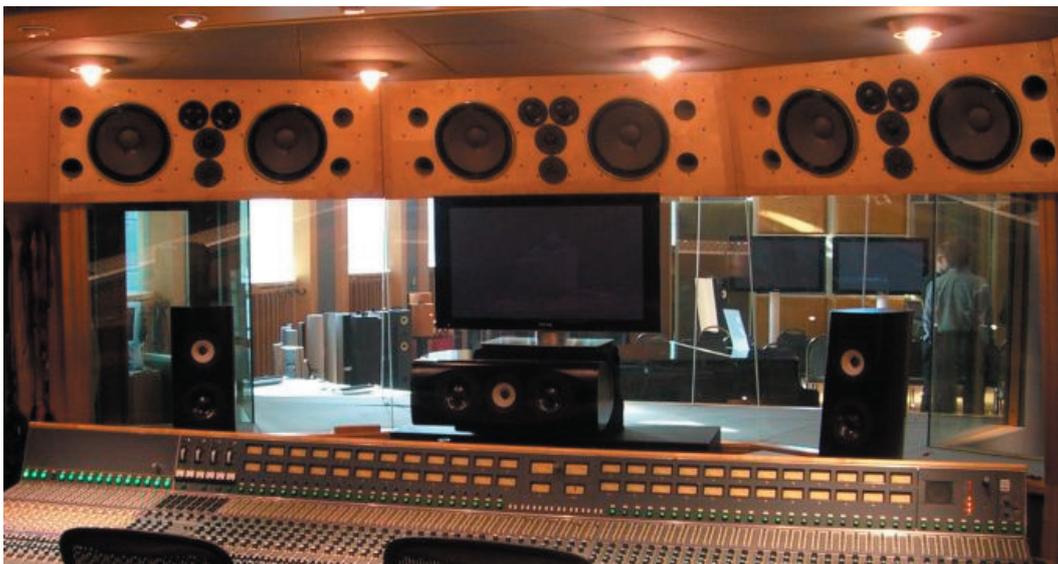


図13 AIR STUDIOSでのチューニング風景

筆 者 紹 介

白 川 弘 之 (しらかわ ひろゆき)

ホームエンターテイメントビジネスグループ，スピー
カー技術部。ホーム用スピーカーシステムの開発，
設計に従事。

高 橋 俊 一 (たかはし しゅんいち)

ホームエンターテイメントビジネスグループ，スピー
カー技術部。ホーム用スピーカーシステムの開発，
設計に従事。