



45CCによるヘッドホン測定

研究開発と生産の測定相関性

GRAS Sound & Vibration
Whitepaper // By Brian Johansen

はじめ

ヘッドホンの音質に対する要求が高まるにつれ、より高度なソリューションが開発され、より高度な測定装置が必要とされています。より高い品質への要求と同時に、研究開発（R&D）ラボで設定された目標が、生産ラインでも正確にテストされていることを確認する必要があります。

これまで研究開発部門では、ヘッドアンドトルソシミュレーター（HATS）やモノラルの測定治具を主に使用してきました。これらの製品は、IEC規格のイヤースミュレーターの中で唯一耳穴があり、補聴器用アダプターを簡単に装着できることから、業界で最も使用されている「711カプラ」を標準装備しています。このアダプターは外耳道延長とも呼ばれ、現実の外耳道の特性を模倣するため、円錐形の金属や柔らかいゴム、またはその混合物で設計されていることが多いです。しかし、当初のIEC TS 60711（711カプラの名前の由来）以降、現在のIEC 60318-4では上限周波数帯が拡張されており、研究開発環境ではその範囲で正確に測定できるデバイスが好ましいと考えられています。

生産ラインでは様々なソリューションが導入されていますが、新たに要求される高周波、解像度、総合的な音質に対して、繰り返し可能で高い精度を保證できる統一された標準的なソリューションが、生産ラインでのテストでは不足していました。

世界共通の測定治具の必要性

一般的に60318-1イヤースミュレーター（ITU-T標準シミュレータ）はオーバーイヤ型ヘッドホンや各種ヘッドセットの評価には適していますが、IEC 60318-1カプラはイヤホンや耳かけ型通信機器には対応していないので、それらの機器のメーカーは、使えると誤解してしまい試験をしてしまっている場合があります。

- GRAS 43AG モノラルのイヤーおよび頬シミュレーター
- GR0408外耳道付きIEC 60318-4カプラを被試験機器（DUT）に直接接続
- KEMARのような高機能（ただし、研究開発や品質保証をターゲットとした）ヘッドアンドトルソシミュレーター（HATS）
- 45CAのような簡素化されたデスクトップ型HATSライクな測定治具
- 社内で構築したカスタムセットアップ

耳と頬のシミュレーター43AG（図1）は、主にヘッドホン/イヤホン試験を目的としており、リアルな耳介が用意されているため、イヤホンや補聴器に使用することが可能です。残念ながら、このソリューションはモノラルであるため、イヤホンを同時に測定するには2台が必要ですが、人間の頭蓋骨の形状は再現しません。そのため、2つの耳と頬のシミュレーターを使ったテストは、真のデュアルチャンネル測定には使えません。さらに、ヘッドセット試験の場合、マウスシミュレーターを付けることができないことも欠点です。

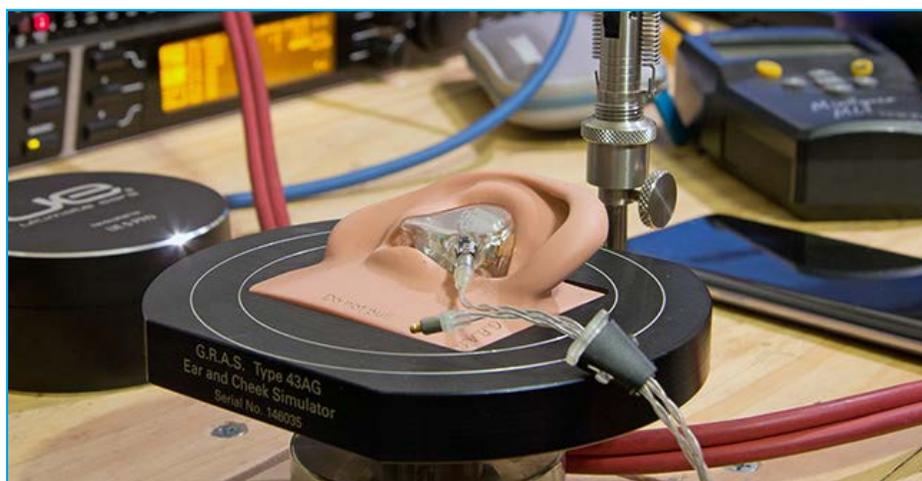


図1.
GRAS 43AG耳と頬のシミュレーター

KEMAR (図2) のようなHATSは、人間の音響特性に近いデュアルチャンネルイヤースミュレーターです。両耳同時試験が可能で、メーカーによっては、頭蓋骨のリアルなダンパー、解剖学的に正確な左右の透過損失、正確にモデル化された外耳道形状を様々な程度で再現できるという利点があります。また、ほとんどの機種は、ヘッドセット/ゲーミングヘッドセットのマイクテスト用に、ITU-T Rec. P.51に準拠したマウスシミュレーターを内蔵しており、ヘッドセット/ゲーミングヘッドセットのマイクテストに使用することができます。しかし、これらの機能にはコストがかかります。それらの特性が必要とされる場合には正当な価格ですが、すべてのテストシナリオで全機能が必要とされるとは限りません。

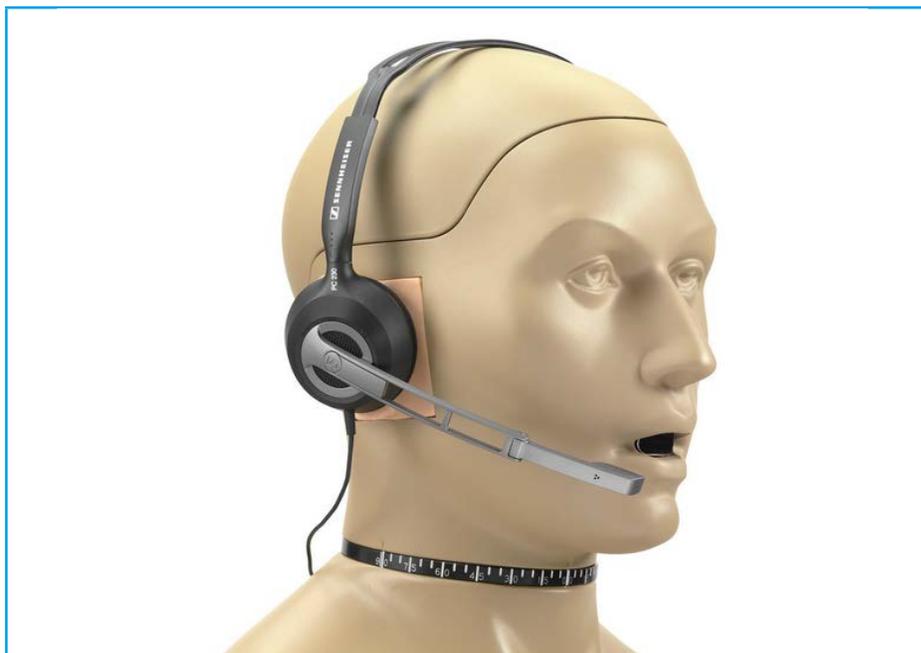


図2.
GRAS 45BC KEMAR ヘッド&トルソー マウスシミュレーター

両耳ヘッドホンや聴覚保護具を様々な規格で試験するために、GRASヘッドホン試験治具45CA (図3) は、マイクのためのシンプルなものから、IEC 60318-1やIEC 60318-4カプラを備えた高度なものまで、様々な構成で利用可能です。45CAは、低騒音イヤシミュレーター43BBとの組み合わせも可能で、ISO 4869-3の性能と合わせて、IEC 60318-4に準拠したノイズキャンセリング (ANC) ヒアリングプロテクターの測定が可能です。また他測定ソリューションよりノイズ遮音性能が優れています。しかし、マウスシミュレーターのオプションがないため、ヘッドセットの測定には制限があります。

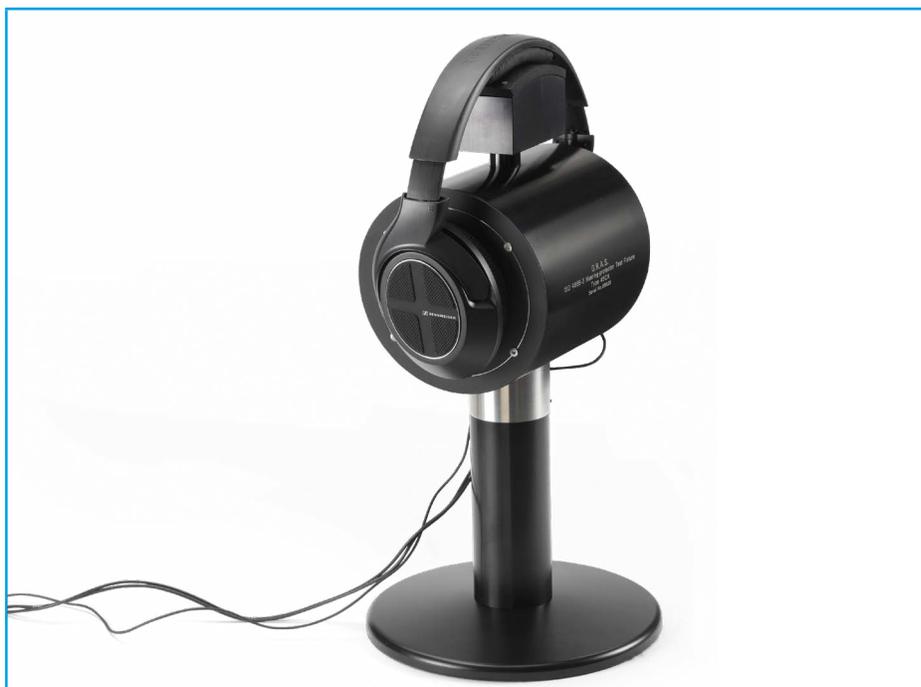


図 3.
GRAS 45CA ヘッドホン/イヤープロテクターテストフィクスチャー

IEC60318-4 規格に対応した手頃な価格の標準化されたデュアルチャンネル試験ソリューションがないため、一部の試験センターは独自の試験装置を作る必要がありました。IEC 60318-4 カプラ (図 4) は、IEC 60318-7 で規定されている外耳道と耳介を拡張した場合の挿入型イヤホンの測定を目的とした閉塞型イヤースミュレーターです。しかし、市販の標準的なセットアップがないため、これらのセットアップによる再現性・繰り返し性が現在も課題となっています。



図 4.
GRAS RA0045-S6 極性済みイヤースミュレーター、IEC 60318-4 (60711) に基づく、高感度、GR0408 外耳道延長装置付き

このギャップを埋めるため、研究開発で使用する機器の統一性と生産ラインを具体的に結びつけることができる新しいソリューションとして、45CC (図5) シリーズは拡張され、IEC 60318-4カプラ、人体計測ピナ、そして本質的には生産ラインのテストステーションに合わせる事ができるソリューションとしてリリースされます。

すべての45CC構成において、IEC60318-4に完全準拠しながら、周波数範囲を20kHzに拡張したGRAS高周波イヤースミュレーター

(RA0401/RA0402) *を搭載することが可能です。測定治具GRAS 45CCシリーズは、研究開発のデスクトップから生産ラインの個々のテストステーションまで、さまざまなシナリオでヘッドホンやヘッドセットをテストするための標準化されたデュアルチャンネルシステムを提供します。モジュール設計により、様々な構成が可能です。マイクロホン付きフラットプレート、IEC60318-1イヤースミュレーター、IEC60318-4イヤースミュレーター、ヒト型ピナ（それぞれマウスシミュレーター付きまたはマウスシミュレーターなし）など、さまざまな構成が可能です。



図 5.
GRAS 45CC ヘッドホンテスト測定治具

研究開発から生産ラインへの移行

従来のGRAS 45CCは、その使いやすさと調整可能な高い柔軟性により、複数のステーションで高い再現性と繰り返し性を持つ測定結果を得ることができ、生産ライン向けの構成になっていました。しかし、45CCはシンプルで費用対効果の高い、非常に実用的なデザインであるため、すぐに研究開発ラボのデスクトップにも導入されるようになりました。高い測定再現性により、研究開発部門では、R&Dでの測定結果と測定セットアップを定義することができました。また研究開発部門算出された結果とセットアップを生産ラインでも使用し、R&Dと生産で比較することができます。

* More on the high-frequency ear simulator can be found in [a whitepaper by Morten Wille](#) at [GRASacoustics.com](#).

再現性と繰り返し性

生産ラインで有用な試験データを取得するためには、「繰り返し性」と「再現性」の2つが極めて重要な要素となります。もしテストが複数の場所やオペレーター、あるいは実行から実行に至るまで機能的に同一でない場合、それらのテストはテストが行われたという文字通りの主張以上の大きな利益をもたらさないこととなります。

再現性とは、測定装置に起因するばらつきに対処するものです。これは、同じ作業員が同じ部品を同じ条件で何度も測定したときに観察されるばらつきです。一般的に、ヘッドホンの試験では、ヘッドホンの配置を5回、あるいは10回と繰り返します。

繰り返し性は、測定システムに起因するばらつきに対処するものです。これは、異なる作業員が同じ部品を同じ条件で、同じゲージを使用して、ライン上の異なるステーションで何度も測定したときに観察されるばらつきです。

再現性

ここでは、IEC60318-4高周波カプラと人体計測用耳介で構成された45CC-17を用いた研究開発セットアップ（図5）と、45CC-2*を用いてユーザー1人による簡易生産ラインタイプのセットアップで、左右チャンネルのアラウンドイヤードヘッドホンを繰り返し測定した結果を紹介します。どちらの場合も、MAXとMINの結果の差が小さいことから、再現性の高さがわかります（灰色の部分：図7（研究開発）、図8（生産ライン））。7.5kHz以上の結果では、より大きなばらつきが見られますが、これは主に密閉型ヘッドホンの比較的大きな容量に起因していると思われる。

* GRAS 45CC-2 は、1/2"マイクロホンをイヤープレート/ベースプレートにフラッシュマウントした構成で、生産ラインでの使用を考慮した合理的な設計となっています。

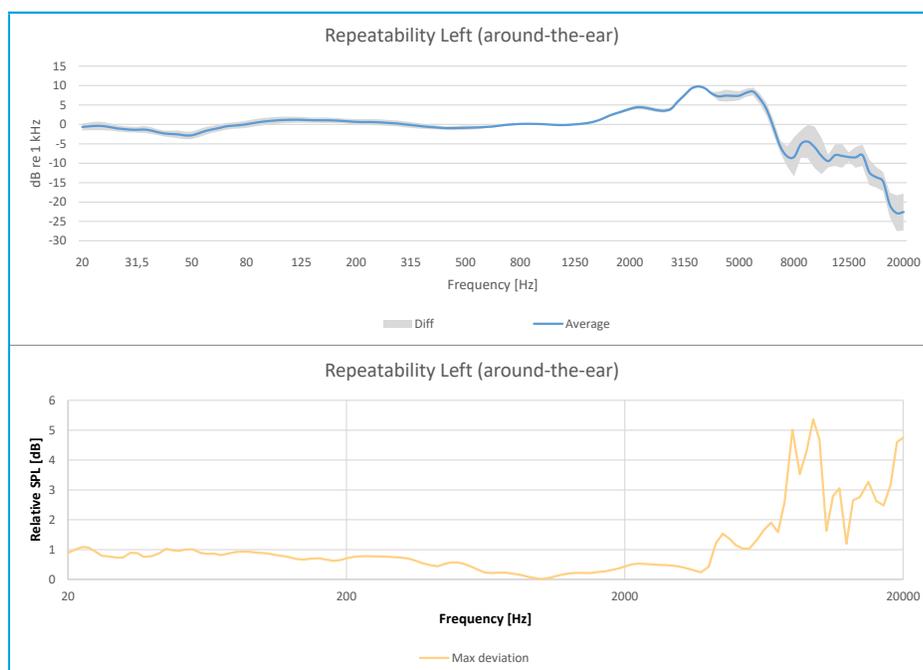


図 7.

上のグラフは、研究開発環境において、45CC-17の構成で人体計測用耳介を使用し、研究開発環境において、45CC-17と人体計測用ピンナップ、ア라운드イヤー型ヘッドホンを用いて測定した結果の平均値です。灰色の部分は、実行間のばらつきを示しています。

下のグラフは、すべての測定値における最大偏差（上のグラフのグレーの部分から導き出される）を示しています。



図 8.

上のグラフは、イヤー/ベースプレートとフラッシュマウントマイクロホンを備えた45CC-2構成で、生産ライン環境での平均的な結果を示しています。灰色の領域は、実行間のばらつきを示しています。

下のグラフは、すべての測定値における最大偏差（上のグラフのグレーの部分から導き出される）を示しています。

なお、ユーザー1人のシナリオの再現性は、より複雑な研究開発セットアップよりも向上していますが、これはセットアップがよりシンプルになり、潜在的な配置誤差のマージンが減少したことが大きな要因です（図 8）。

45CC-14~17は外耳道があるため、イヤホンでの測定も可能であり、その再現性も測定できます（図9）。ここでも結果にばらつきがあるが（グレー）、総量が少ないため、高周波の測定では再現性が良く、可聴域全体でほぼ一致しました。

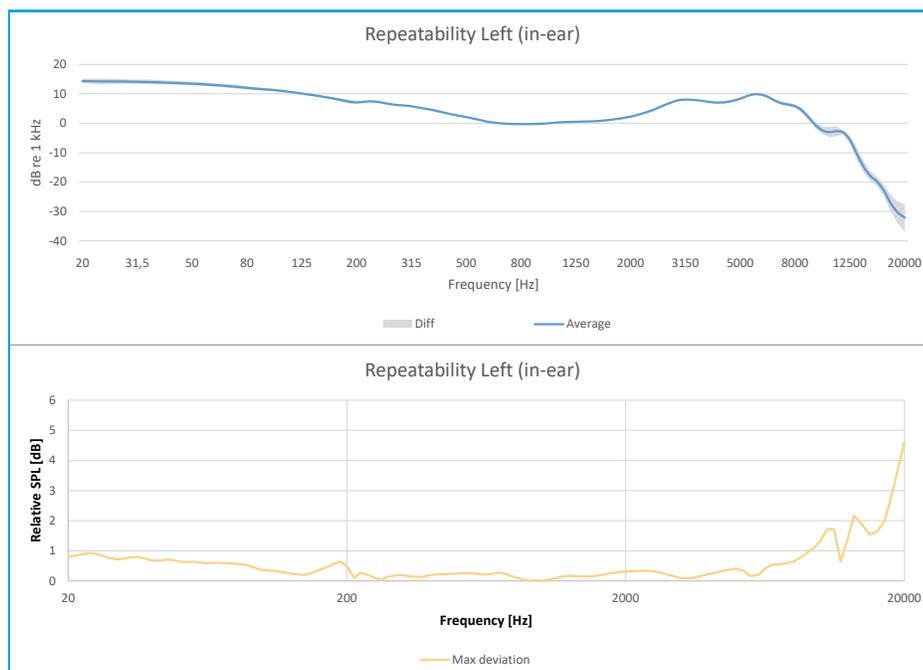


図9.

上のグラフは、イヤホンの測定に、人体計測用耳介を用いた45CC-17の構成で、研究開発環境における平均的な結果を示しています。灰色の部分は、実行間のばらつきを示しています。

下のグラフは、すべての測定値における最大偏差（上のグラフのグレーの部分から導き出される）を示しています。

結果

ヘッドホン、イヤホンともに満足のいく再現性です。また、一人のユーザーに対して、生産ラインでの簡易セットアップのデータが、さらに高い再現性を示していることも大きなメリットです。また、DUTを実際に設置する際には、いつも通り注意が必要です。最終的な測定は、有効で確実な結果を得るために、最低5回の連続測定の平均値に基づいて行うことが推奨されます。

繰り返し性

注意：ヘッドホン試験の繰り返し性を確保するためには、オペレータにできるだけ自由度を与えないようにする必要があります。例えば、45CCのユニークなイヤークッション位置決めガイドは、測定時にDUTを均一に配置することを支援します。これは、他のシステムと比較して大きな利点です。

繰り返し性は、例えば作業内容や勤務時間が変わるため、オペレーターが同僚と機器を共有するような生産現場において特に重要です。

図10は、同じ45CC-2 (図11) でDALI IO-6ヘッドホンのセットを3人のオペレーターが測定した結果です。

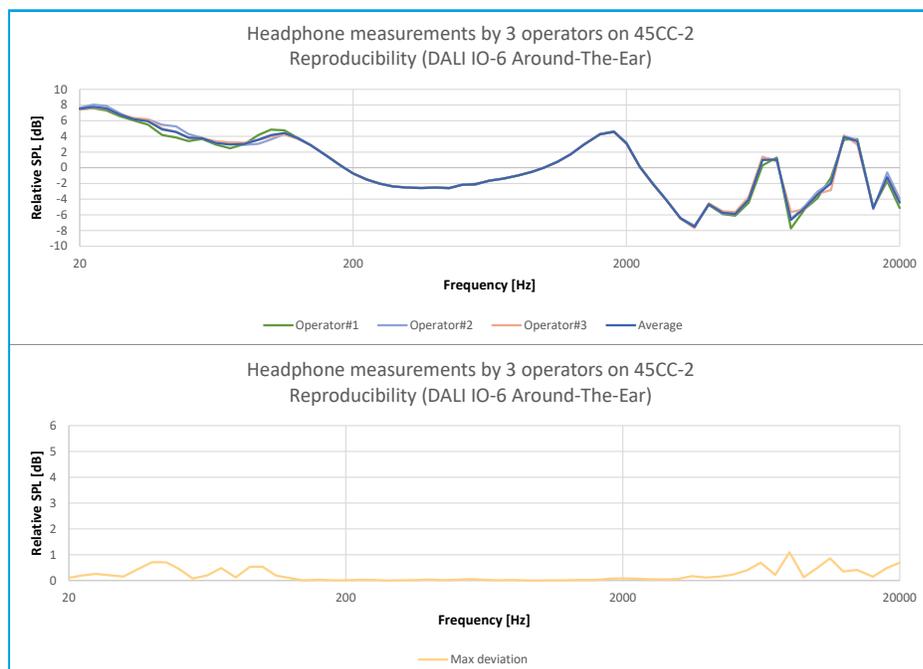


図 10.

上のグラフは、3人のオペレーターがそれぞれ10回平均して測定し、45CC-2構成でDALI IO-6ヘッドホンを使用した場合の結果です。

下のグラフは、全測定値における最大偏差を示したものです。



図 11.

45CC-2構成でDALI IO-6ヘッドホンの測定

各オペレーターは、45CC測定治具に特定のヘッドホンを取り付け、Audio Precision APx517Bアナライザーを使用して測定を行う方法を2分間で説明を受けました。各オペレーターは、10回の測定値を平均して結果を得ました。

結果

オペレーター間の差は1.2dB以内と小さく、この種のアプリケーションとしては十分に許容できると考えられます。

アラウンドイヤ型ヘッドホンは、イヤパッドがピンナと一緒に空洞を形成するため、ヘッドホンの位置が数ミリずれると周波数特性が変化し、ピンナでテストすると高域の繰り返し性が一般に低くなります。平板を使ったこのテストでは、テスター間でわずかな誤差しか生じていません。そのため、複数のオペレーター間で移行する際の再現性を最大化するために、フラットプレートを推奨しています。

研究開発から生産へ： IEC 60318-4に準拠した GRASヘッドホン測定治具

ヘッドホン設計は、通常、開発部門でIEC 60318-4準拠のイヤシミュレーター（耳介付き）を用いて行われます。しかし、試験内容を生産に移す際には、試験システムの複雑さを軽減し、可能な限り潜在的な障害点を排除することが望まれます。これは、イヤシミュレーターを測定用マイクロホンに置き換えた簡易測定システムを導入することで実現できます。これは正しい絶対的な結果を得ることはできませんが、偏差を説明することができ、許容できる解決策と見なされます。

研究開発と生産では異なるセットアップで行うため、絶対測定から相対測定への移行を可能にするために、新たなテストリミットを規定する必要があります。理想的なカーブは、開発者がIEC60318-4イヤシミュレーター（ピンナ付き）を使って調整し、目標カーブを達成することで導き出されず（図12）。

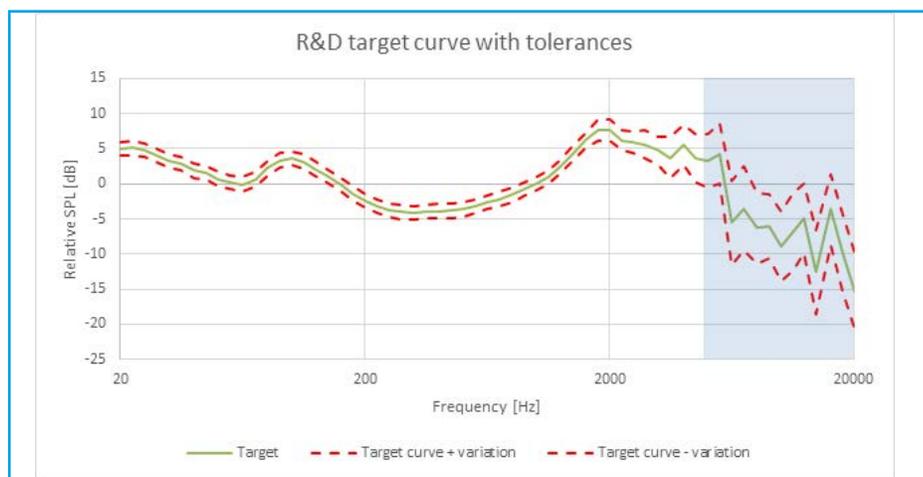


図12.
予想されるばらつきを含む理想的なカーブ。711 イヤーシミュレータを構成する45CC-17の再現性テストから得られたばらつきです。

注意：約5 kHz以上（青枠）の変動は、主にテスト間のイヤープッドの配置によるものです。

上記のターゲットカーブは、テストリミットを形成するために直接使用することはできません。そのためには、研究開発仕様に適合することが分かっている1つ以上の基準ユニットが必要です。ただし、これは試験対象システムの音響インピーダンス応答を大きく変化させる部品（各サプライヤーが独自の公差を持つ電子機器など）や要因に大きな差がないことが前提です。テストが有効な結果をもたらすためには、個々の部品の機械的な偏差は最小でなければなりません。それはその測定チェーンの複雑さを抑制するための「コスト」とも言えます。45CC に測定用マイクロホンを取り付けた後、新たな測定を行って、新たなテストリミットをどのように設定すべきかを推定する必要があります（図13）。

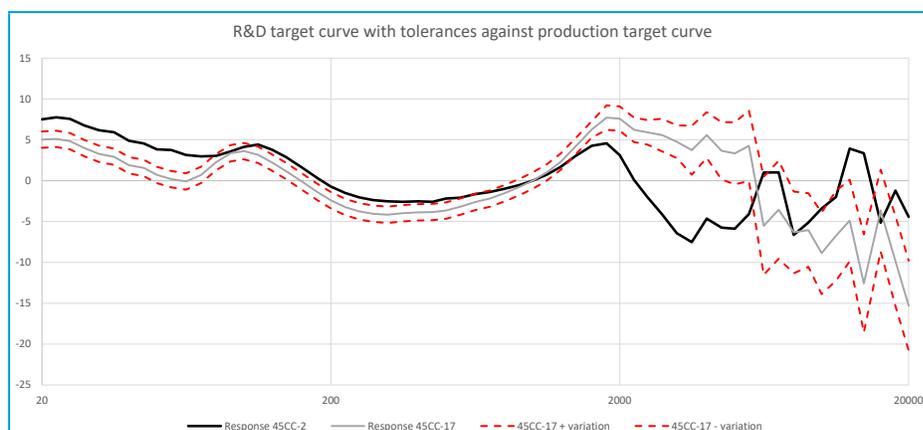


図13.
このグラフは、図10のオペレーターの結果を図12の理想曲線のグラフに組み込んだものです。

今回、45CC-2マイクロホン構成で典型的なレスポンスを測定することにより、研究開発（イヤーシミュレータを使用）から生産環境（イヤーシミュレータをマイクロホンに置き換える）へ目標曲線を移行しました。最後のステップは、周波数応答の許容上限と下限を導入することです。

繰り返し性（オペレーター間の測定）の不確かさと、再現性のばらつきがあります。この2つの公差を生産目標曲線に加えることで、周波数帯域の試験許容値を定義することができます（図14）。

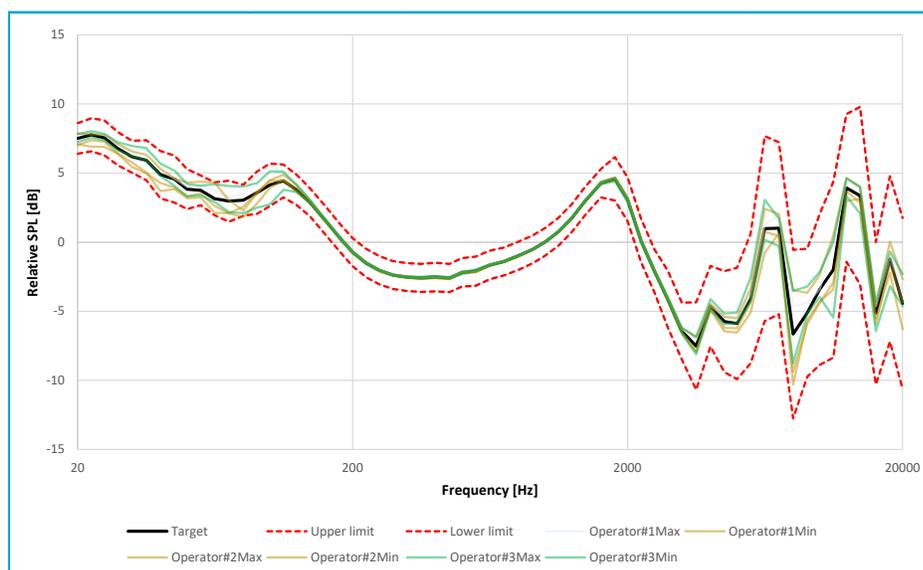


図14.
最終的な生産目標曲線と許容限界

生成された許容範囲が妥当かどうかを確認するために、オペレータの測定結果の最大値/最小値を図示することができます。

NOTE: 上図のリミットは、リミットを設定した時と同じ測定値でテストされています。リミットの妥当性を検証するため、必要に応じて、新規に測定を行いリミットを微調整する必要があります。

結論

ヘッドホン、ヘッドセット、補聴器の試験における業界のニーズは、生産ラインの各ステーションで行われるすべての試験が、研究開発ラボで設定された目標値と比較して有効なデータを提供することを保証することです。GRAS 45CC Headphone Test Fixture は、このような考えのもと開発されました。本書では、45CCがいかに再現性の高い測定を保証しているかの評価を紹介しました。

また、独自のイヤークッション位置決めガイドにより、繰り返し性（オペレーター間での測定）が非常に高いことが実証されています。これにより、オペレーターが変わっても、ヘッドホンの位置を均一にすることが容易になりました。

再現性精度も比較的高いですが、やはりIEC 60318-7ピナを使用すると、やや低くなります。中高音域では、主に外耳道の幾何学的な影響によるもので、高周波数（5kHz以上）では、主に耳介の設計とイヤークッションの設計が関係する。この偏差は、HATS測定で経験したのと同じ現象であり、実際のヘッドホンユーザーの形状と体験を純粋に反映したものだと考えられます。



お問い合わせ先
丸文株式会社
E-mail: gras@marubun.co.jp
〒103-8577
東京都中央区日本橋大伝馬町8-1
システム営業第1本部 営業第1部 計測機器課
TEL: 03-3639-9881

中部支社
〒450-0003
愛知県名古屋市中村区名駅南1-17-23
システム営業第1本部営業第3部 システム営業第2課
TEL: 052-563-1181