

アプリケーションノート

測定用マイクロホンの定期的な検証



測定の定期的な検証 マイクロホン

Per Rasmussen

品質保証方針や法的要求により、高精度の完全な校正が必要な場合には、以下に示すような包括的な校正システムが必要になる場合があります。しかし、単純な定期校正であっても、マイクロホンの価格の20 %から50 %程度のコストがかかる場合もあります。そのため、実際にどのような校正の要件があるかを検討することが重要です。場合によっては、特定の品質保証方針や法的要件により、認証された試験所によるすべての機器の定期的なフルスケールの校正が求められます。もしくは、測定値に信頼性があるかどうかの問題となり、マイクロホンに変化や損傷がないかどうかを確認すれば十分でしょう。



Fig. 1. The G.R.A.S. 90CA Calibration System.

はじめに

マイクロホンの校正は、基本的に「レベル校正」と「周波数特性校正」の2つで構成されています。レベル校正は、多くの場合250Hzで行われ、マイクロホンの絶対的な感度を決定し、入力音圧信号と出力電圧信号との関係を示します。

周波数応答の校正では、250Hzでの応答から他の周波数での偏差を求めます。この応答は、通常、静電アクチュエータ法を用いて確立されます。これによりマイクロホンの音圧応答が得られ、音圧応答に所定の自由音場補正值を加えて自由音場応答を算出します。

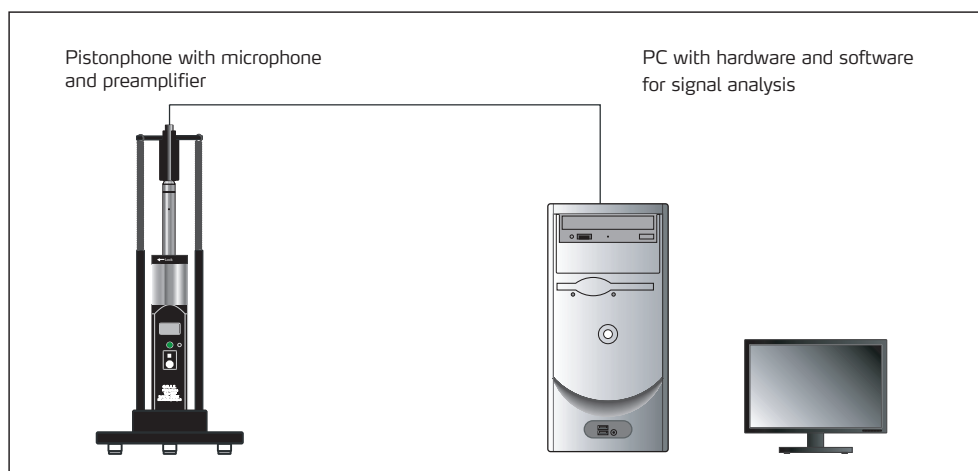


Fig. 1. Set-up for level calibration with pistonphone.

レベル校正の手法

マイクロホンのレベル校正には、互差校正、比較校正、ピストンホン校正など、さまざまな方法があります。互差校正法は通常、最も正確な方法と考えられていますが、非常に精巧で実行コストがかかります。比較法は、被試験マイクロホン

(DUT) の感度を既知の基準マイクロホンの感度と比較する方法で、シンプルで、広く入手可能な機器を用いてわずかな投資で確立することができます。

ピストンホン校正は精密なピストンホン（図1）と精密な気圧計を併用する方法で、この比較法は信頼性の高い堅牢な校正方法です。また、ピストンホンと気圧計による静圧補正により、信頼性の高い絶対音圧レベルを得ることができます。このセットアップを使ってリファレンスマイクロホンの感度をチェックすることで、プリアンプやその後の機器をチェックすることができます。例えば、リファレンスマイクロホンからの出力は、偏波電圧に正比例します。そのため、正しい測定値を得るためには、マイクロホンの出力端子で偏波電圧を直接チェックする必要があります。

しかし、マイクロホンの出力をピストンホンの絶対値で確認すると、偏波電圧の変動を検出することができます。

ピストンホンは非常に安定した音源で、密閉されたカプラー内で明確な音圧レベルを発生させます。この音源は、通常250Hzで定義される明確な速度を持つ体積変位によって動作します。ピストンが出入りすることで、密閉されたカプラーの容積が変化し、その結果、圧力が変化します。ピストンホンで得られる実際の圧力レベルは、カプラーの容積、ピストンの容積変位、大気圧、さらには湿度や熱放散などのその他の要因に左右されます（程度の差はありますが）。

ピストンホンは、比較的単純な機械的システムに基づいているため、0.1dB前後の精度を持ち、信頼性が高く、実際に使用しやすいです。また、比較法や置換法による校正では、ピストンホンを安定した音源として使用することが多いです。250Hzの校正周波数は、マイクロホンの低周波カットオフ周波数よりもはるかに高く、同時に自由音場型マイクロホンの音圧周波数応答が低下し始める周波数よりも低くなるように選択されています。

また、250Hzの音響信号は波長が長い
ため、ピストンホンカプラの容積内の音圧レ
ベルが均一になるようにしています。

音響校正器は基本的に、小型の自己完結型
比較校正機器です。テスト用マイクロホン
を小型の密閉されたボリュームに挿入し、
小型のラウドスピーカから通常1kHzの
単一周波数の信号を出力します。ラウドス
ピーカからの出力レベルは、基準マイクロホ
ンからの信号によるフィードバックシステ
ムによって制御されます。基準マイクロホ
ンとフィードバックゲインが安定していれ
ば、テストマイクロホンでのサウンドレベ
ルは明確になり、感度を決定することがで
きます。

音響校正器は通常、正確なマイクロホンの
校正には使用せず、完全な測定システムの
整合性を現場で確認するために使用しま
す。1kHzの校正周波数は、1kHzでのフィ
ルタの減衰量が0dBであるため、A特性
フィルタを含む騒音計の校正に便利です。
しかし、マイクロホンの音圧周波数応答が
0.2dB低下している可能性があるため、一
般的な1/2インチの自由音場型マイクロホ
ンの正確な校正には問題があります。通常
のマイクロホンの校正では、開回路感度の
測定を行います。開回路感度とは、マイク
ロホンの出力端子に電気的な負荷がかかっ
ていない状態で、与えられた入力信号に対
するマイクロホンの出力を示すものです。

しかし、閉回路感度は、特定のプリアンプの種
類に依存し、プリアンプの種類によって異なる
場合があります。プリアンプの負荷により、マ
イクロホンからの出力信号が減少するため、閉
回路感度は開回路感度よりも低くなります。

開回路感度は、特殊なプリアンプを使用し
たインサート電圧法で測定します。プリア
ンプの入力端子にテスト信号を直接入力し
ます。開回路感度は、マイクロホンが異な
る測定セットアップで使用される可能性が
あり、そのために負荷条件がわからない場
合に重要です。複数の測定用マイクロホン
を持つ大規模な組織では、開回路感度を確
立する必要があるかもしれません。

一般的に、測定用マイクロホンは既知のプ
リアンプと接続して使用することが多く、
そのためマイクロホンの負荷がわかってい
ます。このような状況では、ピストンホン
の信号をマイクロホンの入力に加えてプリア
ンプからの出力を測定するだけで、ピス
トンホンの校正値から閉回路感度を求める
ことができます。大気圧を補正したピスト
ンホン校正値が例えば、113.8dBre.
 $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ で、プリアンプからの出力が例え
ば456mVの場合、マイクロホンの閉回路感
度は次のようになります。

$$S_{\text{Closed}} = \frac{456 \text{mV}}{2 \times 10^{-5} \text{Pa} * 10^{(113.8 / 20)}} = \frac{456 \text{mV}}{9.795 \text{Pa}} = 46.55 \text{mV} / \text{Pa}$$

[1]

この閉回路感度は、原則として、プリアン
プとマイクロホンの特定の組み合わせに対
してのみ有効であり、プリアンプによるマ
イクロホンの負荷とプリアンプのゲインを
含んでいます。

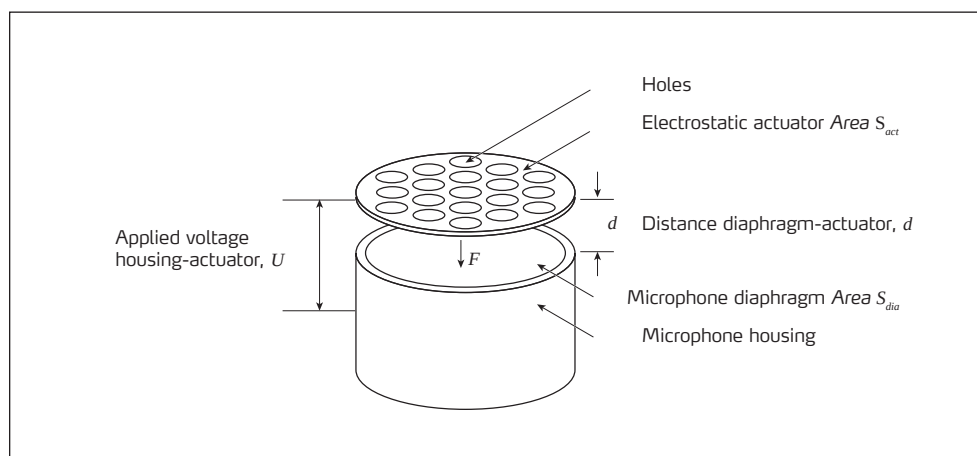


Fig. 2. Principle of microphone excitation with electrostatic actuator.

周波数特性の測定

測定用マイクロホンの周波数応答は、音圧応答、自由音場応答、拡散音場（ランダム入射）応答など、さまざまな方法で表示することができます。これら3つの値は直接関係しているため、一般的な手順としては、音圧応答のみを測定し、それに補正を加えて対応する自由音場と拡散音場の応答を算出します。補正係数はマイクロホンの種類ごとに設定されており、その種類の個々のマイクロホンはすべて同一であると仮定されています。

圧力応答は、静電アクチュエータ方式で決定されます。この方法は、IEC61094-6 Working Draft Standard "Measurement microphones - Part 6: Measurement of Frequency Response using electrostatic actuator" に記載されています。

静電アクチュエータは、図2に示すように、マイクロホンの振動板に近接して平行に取り付けられた導電性の剛体プレートで構成されています。

マイクロホンの筐体と静電アクチュエータの間に電圧Uが印加されると、マイクロホンの振動板には次のような力Fが作用します。

$$F = -\frac{\epsilon_{air} \cdot S_{act}}{2 \cdot d^2} \cdot U^2 \quad [2]$$

ϵ_{air} は空気の誘電率です。
 S_{dia} はアクチュエータの面積、 d はダイヤフラムとアクチュエータの間の距離です。
この力は、ダイヤフラムに作用する圧力Pに相当し、次の関係式で与えられます。

$$P_{act} = \frac{F}{S_{dia}} = -\frac{\epsilon_{air}}{2 \cdot d^2} \cdot a \cdot U^2 \quad [3]$$

ここで、 a はアクチュエータの有効面積とアクティブダイヤフラムの面積の比です。

この方法は通常、直流電圧 U_0 と重畳された交流信号 u で使用されます。その結果、マイクロホン上で静電的に発生する対応する圧力信号は:

$$p(t) = \frac{\epsilon_{air} \cdot a}{2 \cdot d^2} (U_0 + u \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t))^2 \quad [4]$$

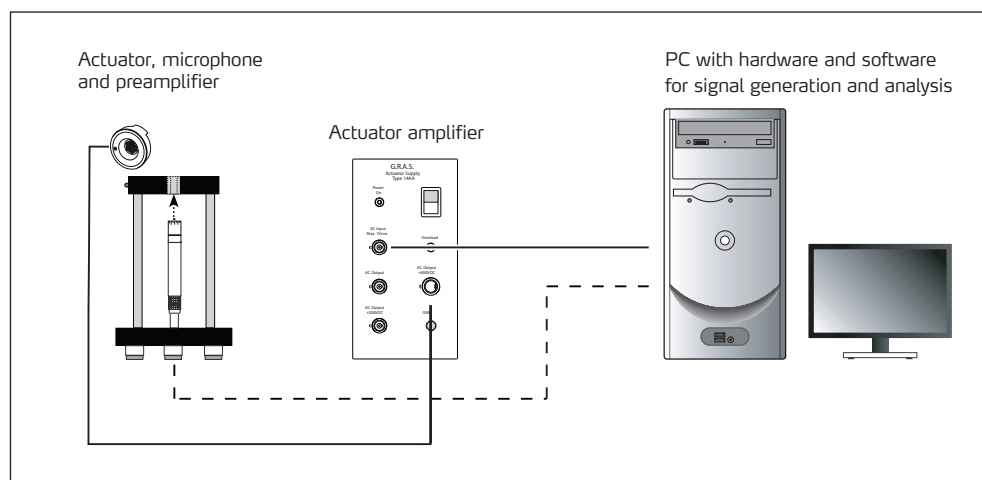


Fig. 3. Measurement set-up for frequency response calibration. An electroacoustic analyzer with signal generator can be substituted for the PC.

この結果、3つの成分が得られますが、静的な成分はここでは重要ではありません。残りの2つの成分は、周波数の注目成分と、2次高調波成分です。基本周波数成分は次のように与えられます：

$$p = \frac{\epsilon_{air} \cdot a}{d^2} \cdot U_0 \cdot u \cdot \sqrt{2} \quad [5]$$

このように、出力信号は静電圧に比例し、距離 d の二乗に反比例していることがわかります。出力信号を最大にするためには、距離 d を最小にし、静電圧 U_0 を最大にする必要があります。しかし、実際には、距離 d が非常に小さく、電圧 U_0 が非常に高いと、偏光電圧がショートしてしまうことを考慮しなければなりません。基本波成分に対する2次高調波成分の比率は次のように与えられます。：

$$D = \frac{u \cdot \sqrt{2}}{4 \cdot U_0} \cdot 100\% \quad [6]$$

静止電圧を下げると、2次高調波の寄与が大きくなることがわかります。

アクチュエーター測定のための実用的なセットアップ

図3は、信号生成・解析用のハードウェアとソフトウェアを備えたPCを用いて、マイクロホンのアクチュエータ応答を測定するための実用的なセットアップを示したものです。信号発生器を内蔵したアナライザを使用することもできます。

信号の生成にはサインジェネレータを使用し、結果の測定には騒音計を使用するという方法があります。騒音計にフィルタリング機能があれば、これを使ってS/N比を改善することができます。

14AA静電アクチュエーターアンプは、静電電圧用のDC800V電源を生成し、周波数分析器からのジェネレーター信号を40dB増幅します。増幅された信号はDC800Vに重畳され、マイクロホンに搭載された静電アクチュエーターに供給されます。マイクロホンのプリアンプからの出力信号は、周波数分析器の一方のチャンネルに入力信号と同時に接続されています。

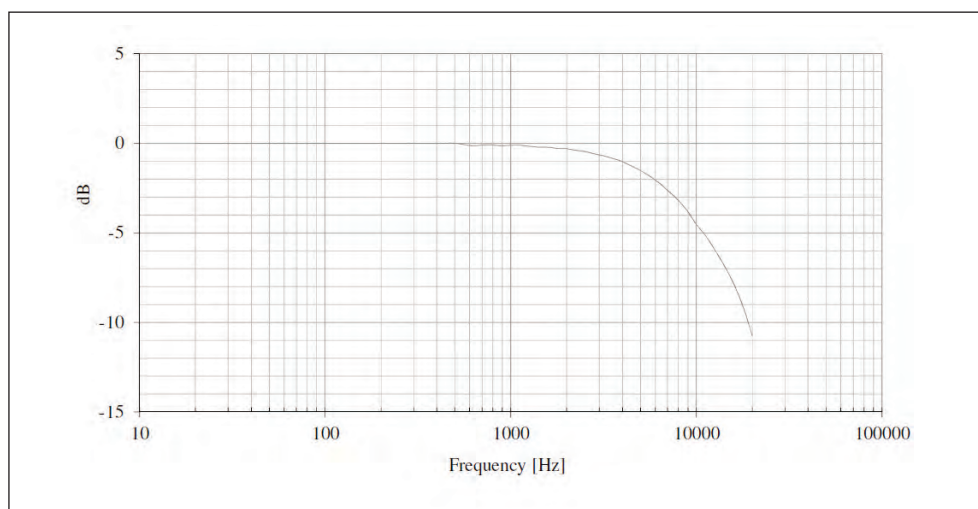


Fig. 4. Frequency response measured with electrostatic actuator.

アナライザからの出力信号が1Vの場合、基本波成分に対する2次高調波成分の割合は約4.4%となります。分析器を正弦波掃引モードで使用すると、一連の正弦波信号が生成され、これらを離散フーリエ変換で順次分析します。

アナライザは、出力ジェネレータによって生成された周波数の入力信号のみを測定するため、2次高調波の寄与は含まれず、バックグラウンドノイズの寄与も低減されます。このことは、バックグラウンドノイズレベルが適度に低い限り、マイクロホンの周波数応答は通常環境で測定でき、特別な遮音試験室を必要としないことを意味しています。

100 Hzから20 kHzまでの60のテスト周波数を含む典型的な周波数応答の測定は、30秒以内に行うことができます。図4は、静電アクチュエータを用いて測定した自由音場型マイクロホンの典型的な音圧反応です。

マイクロホンの自由音場応答を得るには、音圧応答に自由音場補正係数を加えます。自由音場補正係数は通常、マイクロホンメーカーから入手でき、余分な周波数の値は補間によって得ることができます。

まとめ

測定用マイクロホンは、シンプルで費用対効果の高いセットアップで、正確かつ確実に校正することができます。標準的な周波数アナライザーと静電アクチュエーターアンプを用いて、特別な音響測定設備を必要とせずにマイクロホンの周波数特性をチェックし、検証することができます。

品質保証方針や法的要求により、高精度な校正が必要な場合は、G.R.A.S. 90CAのような包括的な校正システムを選択するとよいでしょう。

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