

# 不確かさを低減させるため 1/4" マイクロホン を使用する利点について

GRAS Sound & Vibration

Whitepaper // By Dr Rémi Guastavino and Kim Boldt

# はじめに

---

観察者効果とは、観察するという行為そのものによって、観察されるシステムが乱されることです。例えば、温かい温度計を冷たい水の中に入れると、冷たい水の中の温度が上昇します。温度計と水の相互作用によって両者に変化が生じ、温度計のセンサは温度を変化させて値を表示しますが、その値は温度計を導入する前の水温よりもわずかに高くなります。温度計の例のように、多くの物理的な測定では、観測の影響は無視できることが多いのですが、観測の影響が非常に顕著に現れる測定シナリオもあります。

本資料では、測定用マイクロホンのサイズに依存する特性の要素として、以下を取り上げています。

- ・ 物理的な空間における物体の大きさが、測定にどのような影響を与えるか
- ・ マイクロホンのダイヤフラムの大きさと入射角が、入力された信号にどのように反応するか

## マイクロホンのサイズとデザイン

測定用マイクロホンは、周囲の圧力の微小な動的変化を感知するために設計された高度に専門化と微調整されたデバイスです。また、特定の音場や目的で動作するように設計されています。そのため、圧力音場では音圧型マイクロホン、自由音場では自由音場型マイクロホンなど、目的に応じて適切なマイクロホンを使用することが重要です。マイクロホンと音場のマッチングについての詳細は別資料の「測定用マイクロホンの違いと音場について」をご確認ください。

しかし、正しい道具を使うことに加えて、その道具を正しく使うことも重要です。計測用マイクロホンは、非常に薄い（厚さ数 $\mu\text{m}$ ）金属箔をダイヤフラムとして使用することで、微小な音圧の変化を感知することができることを認識しておくべきです。ダイヤフラムが薄いため、非常に小さな加振でも変形することができ、低い音圧レベルでも圧力変動を非常に正確に検出することができるのです。

もちろん、ダイヤフラムは非常に壊れやすいので、誤って鋭利なものがダイヤフラムに当たると、マイクロホンの感知能力が失われてしまいます。そのため、マイクロホンには保護グリッドが付いています。計測用マイクロホン、特に $\frac{1}{2}$ "以上のマイクロホンでは、保護グリッドは低周波では音響的に透明です。しかし、より高い周波数で、より小さな直径のマイクロホンでは、保護グリッドは共振器として働き、周波数応答に顕著な影響を与えます。

$\frac{1}{4}$ " や  $\frac{1}{8}$ " マイクロホンが使用される高周波測定では、共振の問題は20kHz付近から始まります。ここでは、波長が非常に小さいため、保護グリッドの開口部間のスペースが共振の原因となります。この問題は、マイクロホンの直径が小さくなるほど顕著になります。

そのため、 $\frac{1}{4}$ " や  $\frac{1}{8}$ " マイクロホンは、正確な高周波データを得るために、保護グリッドを外して使用するよう設計されています。したがって、測定時には保護グリッドを外すことを忘れないようご注意ください。

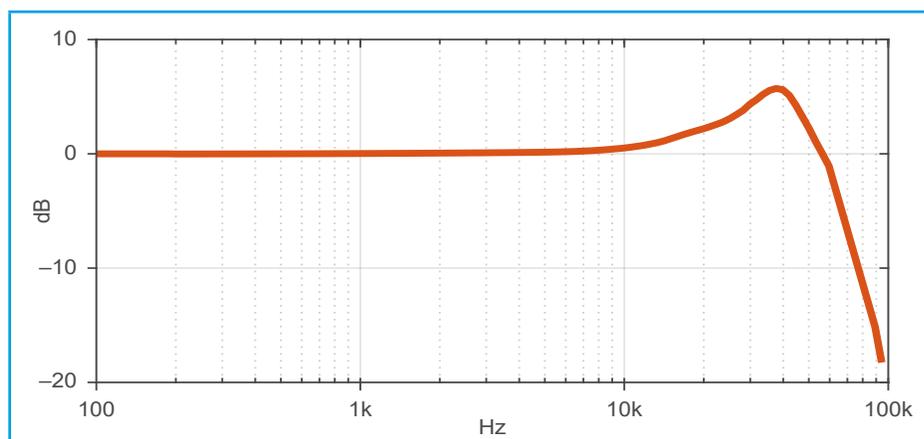
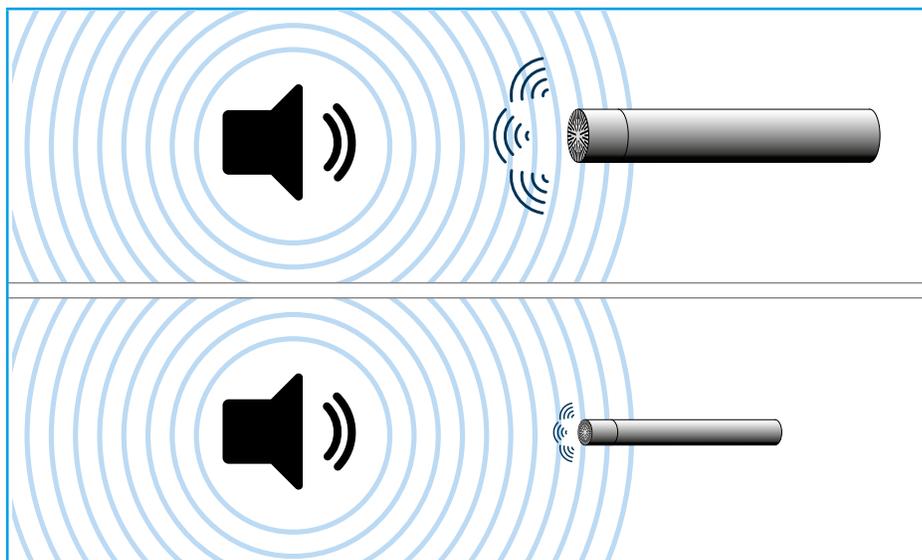
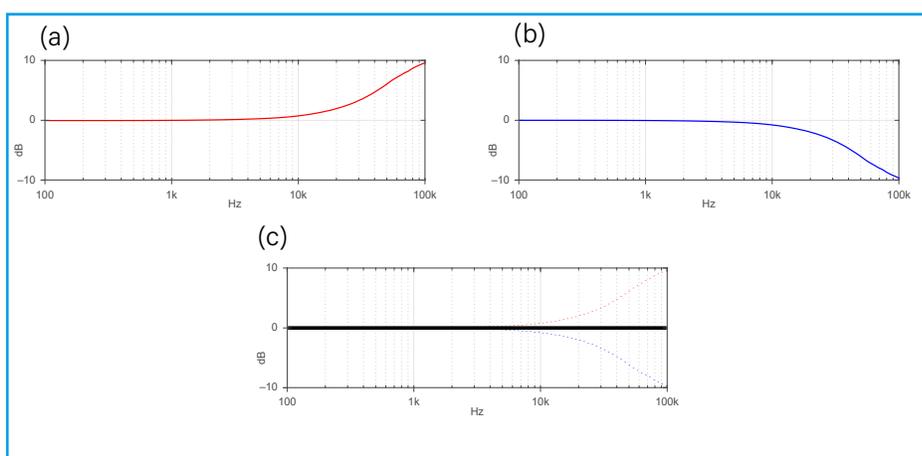


図 1.  
 $\frac{1}{4}$ " または  $\frac{1}{8}$ " マイクロホンを保護グリッドと一緒に使用すると、マイクロホンの周波数範囲に影響を与えます（この図は、GRASの $\frac{1}{4}$ " マイクロホン）。共振周波数と振幅は、保護グリッドによって異なります。

&amp;



この影響を補正するために、自由音場型マイクロホンが開発されました。自由音場型マイクロホンの周波数特性は、音場に存在する自分自身の影響を補正するものです（図3）。



## 2. マイク ロホン

図3.  
1/2"自由音場型マイクロホンの膜での圧力上昇の影響 (a)、補正 (b)、結果のデータ (c)。

ただし、この補正はマイクロホンが音源に直接向いている場合にのみ有効です。つまり、それ以外の方向から音が聞こえてくる場合には、正確な補正ができません。そのため、自由音場型マイクロホンは、無響室のような反射のない環境で使用する場合や、反射を人工的に除去して直接音の波だけを収録する時間選択アルゴリズムを使用する場合に最適です。

マイクロホンのダイアフラムに蓄積される圧力は、ダイアフラムの大きさと音の波長の比に正比例します。これが、任意の周波数において、小さいマイクほど圧力の蓄積が少なくなる理由です。例えば、図4に示すように、20kHzにおける  $\frac{1}{2}$ "マイクロホンの音圧上昇は10dBほどあるのに対し、 $\frac{1}{4}$ "マイクロホンでは音圧上昇は約4dB程度です。その差はかなりのものになります。

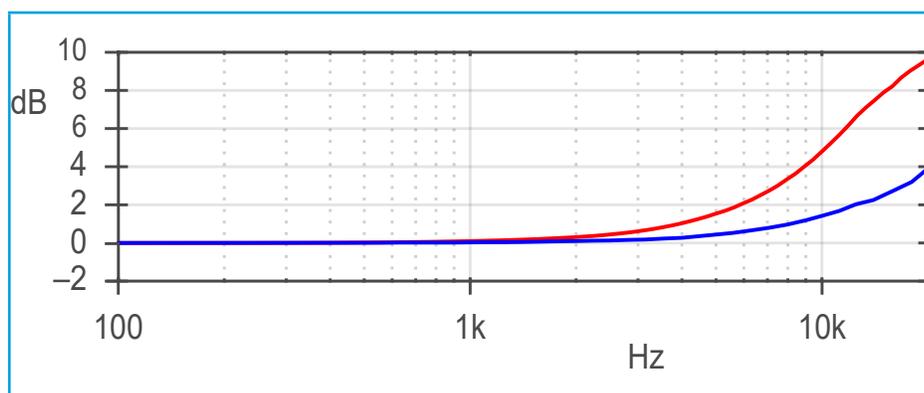


図 4. 入射角0°の $\frac{1}{4}$ "(青)と $\frac{1}{2}$ "(赤)マイクロホンの周波数依存性の音圧上昇

圧力上昇の影響を補正することは可能ですが、補正が大きいと不確かさも大きくなることを覚えておくことが重要です。つまり、測定の不確かさを最小限に抑えるためには、小型のマイクロホンを使用するのが良い方法です。特に、センサのノイズフロアが問題にならない場合は、 $\frac{1}{4}$ "マイクロホンを使用するのが望ましいでしょう。小型マイクロホンのダイアフラムは、大きなダイアフラムを持つマイクロホンよりも圧力変動に対する感度が低いため、ノイズフロアが高くなります。

## 入射角について

入射角とは、ダイアフラムの中心点における表面と、マイクロホンに入射する音波の方向との間の角度である。前述のように、自由音場型マイクロホンは、ダイアフラムの表面に0°の入射角で入射する音波（またはマイクロホンの対称軸に沿った方向から入射する音波）に最適化されています。

また、マイクロホンは軸対称であるため、 $0^\circ$ から $180^\circ$ の間の極角 $\theta$ の補正值を知るだけでよく、方位角 $\phi$ が異なっても補正值は変わらないことにも注意が必要です（図5参照）。

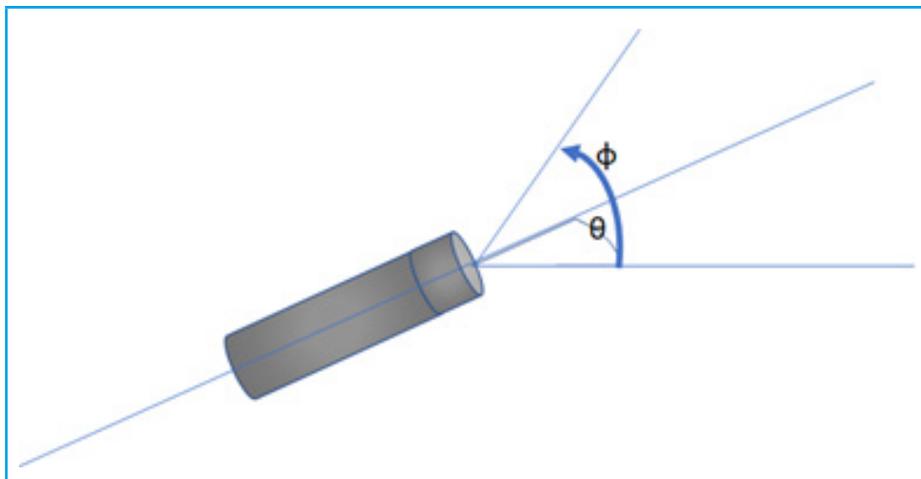


図5.  
測定用マイクロホンの軸対称性

実際の測定場面では、音波はさまざまな方向からやってくるので（図6）、単独ではありません。

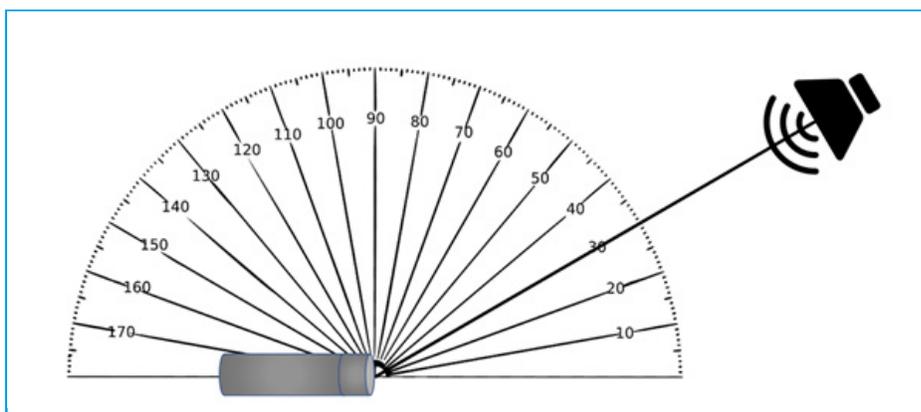


図6.  
マイクロホンの向きに対する入射角

図7は、さまざまな角度におけるマイクロホンのサイズの影響を示したものです。グラフは、 $0^\circ$ 応答に対するマイクロホンの自由音場応答を $30^\circ$ ステップで表したものです。マイクロホンは物理的に対称であるため、 $30^\circ$ で測定した応答は $-30^\circ$ の場合と全く同じ応答であることに注意してください。

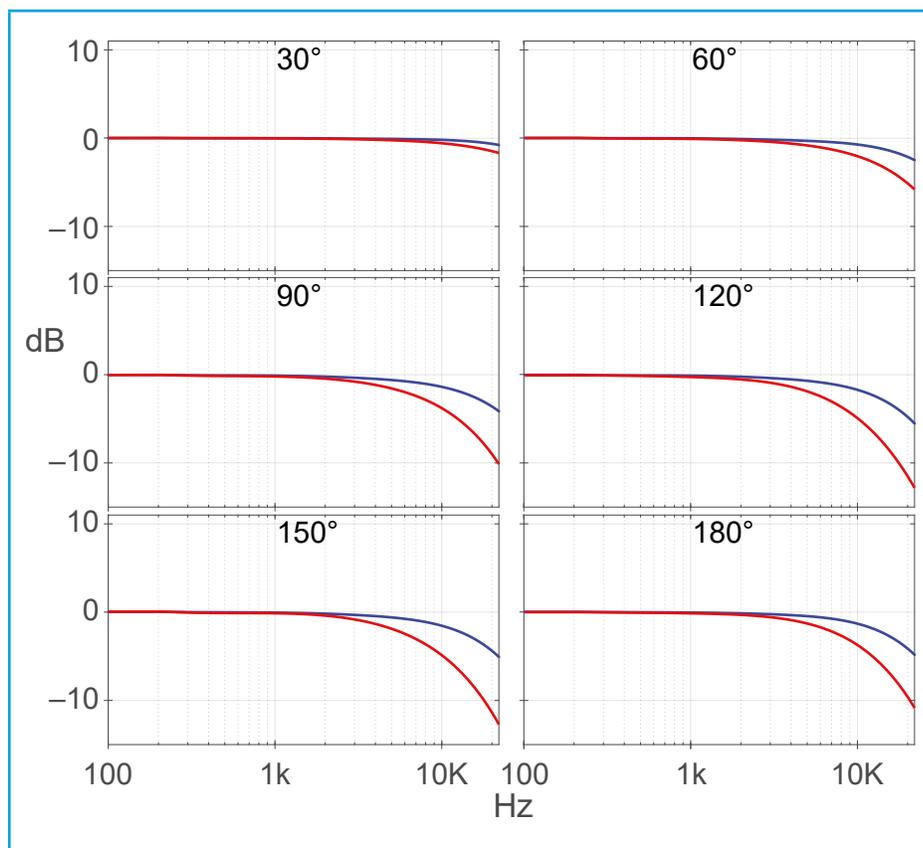


図7.  
0° 応答に対する1/4"  
(青)と1/2" (赤)マイ  
クロホンの自由音場応答  
曲線を30°ステップで示  
したものを。

入射角の測定は室内の反射のために困難であり、完全な無響室は存在しません。そのため、高度な反射除去アルゴリズムを用いて部屋からの反射を除去するために、特別な注意を払わなければなりません。観察者効果と同様に、部屋だけが問題ではありません。マイクロホンに付随するものも測定に影響を与えます。マイクロホンホルダーからの反射も避けなければならず、細い糸でマイクロホンを吊るしても、20kHz以上では音響的に影響を与えてしまいます。

測定の結果、30°、20kHzにおいて、1/4"のマイクロホンでは約0.6dBであるのに対し、1/2"のマイクロホンでは1.5dBも音圧を過小評価していることがわかりました。最悪なのは120°の場合で、1/4"のマイクロホンが5dB以下しか音圧を表現していないのに対し、1/2"のマイクロホンは12dB近く（元の音圧の約25%）も表現していないこととなります。

## 拡散音場補正

音波が異なる方向からやってくる部屋で測定する場合（典型的には車内騒音や建築音響の測定）、拡散音場補正を使用するのが良い方法です。拡散音場補正は、音波がすべての方向から同じ確率とレベルで同時に到達するという理論的な状況において、フラットなレスポンスを実現するための最良の妥協点となります。

実際にはこのようなことはありませんし、膜が1枚しかないマイクロホンでは音波の方向を区別することができないため、拡散音場補正では、ある方向からの音波を過小評価し、別の方向からの音波を過大評価する傾向があります。

これを回避する唯一の方法は、音響的に見えなくなるほど小さく、音場を乱さないマイクを用意することです。これは、今のところ既存のソリューションではありません。

マイクロホンのサイズによる影響を最小限に抑えるために、 $\frac{1}{4}$ " マイクロホンを使用することをお勧めします。図7に示すように、 $\frac{1}{4}$ " では、入射角の影響が非常に小さく、入射角による過小表現や過大表現は、 $\frac{1}{2}$ " のマイクロホンに比べて桁違いに小さくなります。

## 結論

室内のように反射や妨害が多い実環境で有用なデータを得るために測定する場合、 $\frac{1}{4}$ " マイクロホンの物理的な利点は、精度を大幅に向上させ、補正のための推定値を少なくしてデータの後処理を簡素化します。また、音圧レベルのデータがより正確になるだけでなく、マイクロホン自体のサイズが小さくなることで、反射や外乱が減り、測定誤差が減り、より確実なデータが得られます。



お問い合わせ先  
丸文株式会社  
E-mail: [gras@marubun.co.jp](mailto: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