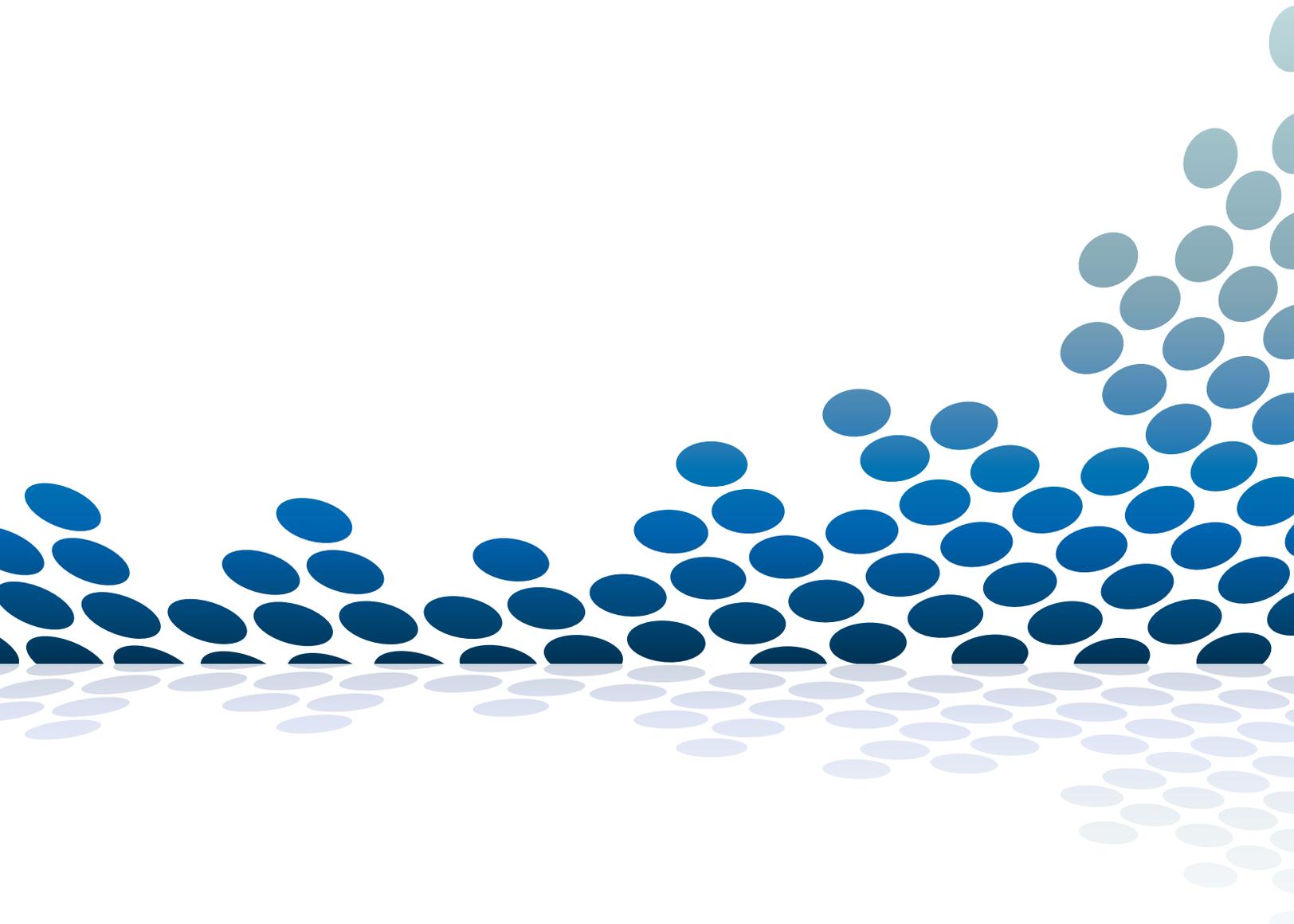


アレイマイクロホンとは？

GRAS Sound & Vibration
Tech Note // By Santiago Rayes



アレイマイクロホンとは？



図 1.
40PH-10アレイマイクロホンを使用した2次元GRASアレイ。

アレイマイクロホンは、音場、音響パワー、過渡現象の解析用に、大型または小型のアレイに取り付けるように設計された、費用対効果の高い自由音場音響センサです。この種のマイクロホンは、ビームフォーミング、ニアフィールド音響ホログラフィ（NAH）、音響カメラなどの技術を使用して音源を測定し、その位置を特定するために一般的に使用されます。このような用途では、周波数特性や感度だけでなく、アレイ上のマイクロホン間の位相整合も考慮することが重要です。マイクロホン間の位相整合を密接に行うことで、測定の精度が向上し、音源定位アルゴリズムの実行も改善されます。GRASは、アレイ内の各マイクロホンに高い互換性を持たせるため、仕様を厳密に一致させたさまざまなアレイマイクロホンを製造しています。

アレイマイクロホンは、IEC規格の標準測定用マイクロホン場の分析を行うために設計された、コストパフォーマンスの高いマイクロホンです。一方、測定用マイクロホンは、IEC 61094規格ファミリーに記述されている標準化された音響センサの一種であり、作業用および実験室用の各種マイクロホンに分類されています。

IEC 61094では、周波数特性、感度、機械的寸法、長期安定性などに関する許容誤差が定められています。アレイマイクロホンは、どの規格にも含まれていません。

アレイマイクロホンは、野外での音源の測定と位置特定に使用できます。マイクロホンアレイの性能を最大限に発揮させるには、アレイを構成する各エレメントの感度、周波数特性、位相特性が一致していることが必要です。つまり、アレイ内のマイクロホンは、周波数特性、感度、位相応答、形状がほぼ同じである必要があります。完全にフラットな周波数特性、または最低ノイズフロアを持つことは、通常、先に述べた仕様と一致させることほど重要ではありません。アレイ内のマイクロホンが一致していない場合、アレイの性能が低下します。例えば、無音部分が鮮明でなかったり、アレイの方向性が正しく設定できなかったりする場合があります。

アレイ状に多数のマイクロホンを使用する必要があるため、低コストのセンサを使用する必要性が生まれます。数十から数百の標準化された測定用マイクロホンでアレイを構成することは、費用がかかりすぎる場合があります。場合によっては過剰な対応となります。これらのセンサが信頼できるソースから提供されていない場合、位相や周波数のずれが生じている可能性があり、考慮しないとビームフォーミングの結果が悪化します。製造公差が小さいことで、GRASアレイマイクロホンは互換性が高く、アレイやマトリックスを形成して複数使用する際に大きな利点となります。この公差には、感度や周波数応答の測定だけでなく、ユニット間の位相整合も含まれます。

アレイマイクロホンによる音源定位

現在では、騒音の発生源を特定したり、銃声や航空機の方角を特定したり、あるいは監視用途や会議室などで、さまざまな技術が利用されています。これらの技術には、遅延和 (DSB) やフィルタ和、近距離音響ホログラフィ (NAH) など、さまざまなビームフォーミング方式があります。音響カメラ (図3参照) のように、これらの手法を画像や動画と組み合わせた技術もあります。

上記のすべてのアプローチは、通常、アレイ状に配置された多数のマイクロホンを使用して、現場で音響信号を収集し、処理します。アレイが使用するマイクロホンの数が多いほど、無指向性ノイズの低減効果は高くなります。また、ビームの幅が狭くなるため、ビームフォーミングの低周波数帯域の使用範囲が広がり、全体的な性能が向上する傾向があります。

さらに、アレイ内のマイクロホン間の距離を小さくして、信号を処理する際に生じるエイリアシングを低減する必要があります。経験則として、アレイの運用上の最大および最小周波数は、隣接するマイクロホンの間隔とアレイ全体のサイズを測定することで概算することができます。

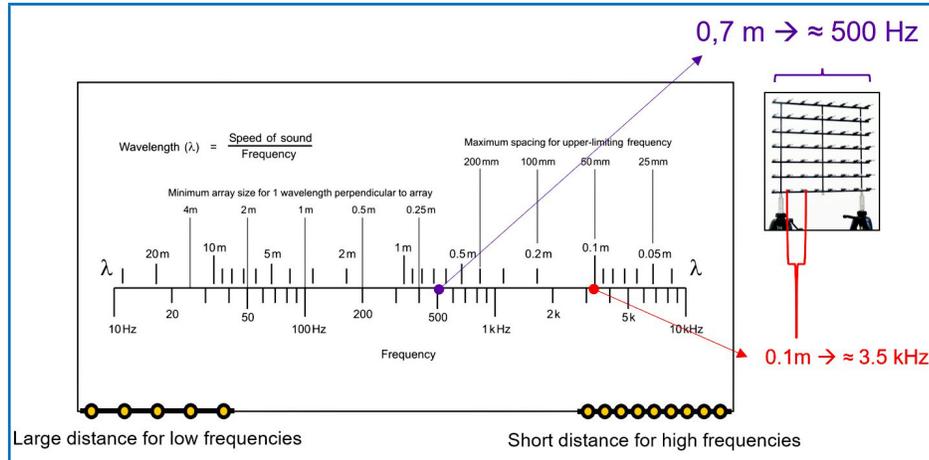


図 2.

この図表は、隣接するマイクロホンの間隔とアレイ全体のサイズを測定することで、マイクロホンアレイの動作上の最大および最小周波数を概算するために使用できます。

マイクロホン間の位相マッチングが向上することで、ユーザーは音源とアレイ内の各マイクロホン間の位相差をより正確に測定しやすくなり、最終的には音源位置特定アルゴリズムにより優れた結果が得られるようになります。

マイクロホン位相合わせのほかに考慮すべき重要な点として、アレイ内のマイクロホンの配置精度が挙げられます。音源位置のアルゴリズムは、マイクロホンの位置にわずかな誤差があるだけでも音源の全体的な位置特定に大きな誤差が生じる可能性があるため、各マイクロホンの正確な位置を考慮する必要があります。



図 3.

GRAS 40PH-10アレイマイクロホンを使用した音響カメラ構成用の円形アレイ。Siemens提供。

位相合わせプロセス

音源位置特定アプリケーションでより良い結果を得るには、位相整合マイクロホンアレイを使用することが重要です。しかし、位相合わせプロセスを最もよく説明するにはどうすればよいのでしょうか？

位相整合マイクロホンは通常、マイクロホンの振動板の上部に取り付けられた静電アクチュエータや無響室内の音源から発せられるサインスイープなどの基準信号を使用します。信号が発信されると、マイクロホンの出力は位相計算の基準信号として機能する信号発生器の出力と比較されます。このプロセスが完了すると、複数のマイクロホンの位相プロットを比較し、類似の結果を持つものを選択することが可能になります。もう一つの方法としては、テスト対象のマイクロホンの位相プロットを、望ましい応答を持つ参照曲線と比較する方法があります。現在の技術では、同じ位相応答を持つ2つのセンサを製造することは不可能であるため、表1に示すような許容誤差が一般的です。:

マイクロホン間の位相合わせ	
FREQUENCY	TOLERANCE
50 Hz - 100 Hz	+/- 5°
100 Hz - 3 kHz	+/- 3°
3 kHz - 5 kHz	+/- 5°
5 kHz - 10 kHz	+/- 10°

周波数が高くなり、音響信号の波長が短くなるほど、位相整合を達成するのが難しくなり、許容誤差が大きくなります。

図4は、8本のGRAS 40PL-10アレイマイクロホンを選択した例です。それぞれの位相応答が、指定の許容範囲内でどのように異なるかがわかります。

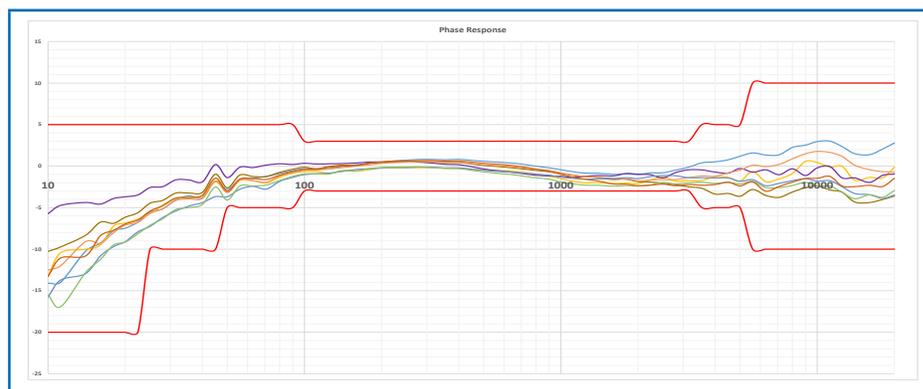


表 1.
アレイマイクロホンの位相許容範囲の例

図 4.
GRAS 40PL-10の位相応答の一部。赤い点線は、このタイプのマイクロホンの位相許容範囲を表しています。

GRASアレイマイクロホン

GRASは、さまざまな特性の自由音場アレイマイクロホンを幅広く提供しています。40PH-10は、このシリーズで最も人気のある製品です。公称感度が50 mV/Paの自由音場アレイマイクロホンです。

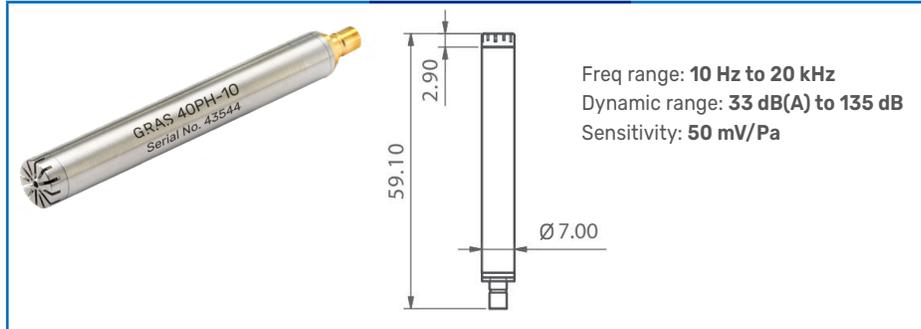


図 5.
GRAS 40PH-10アレイマイクロホン

40PL-10は40PH-10と同じ寸法ですが、公称感度ははるかに低い（9 mV/Pa）ため、高い音圧レベルの測定に最適です。

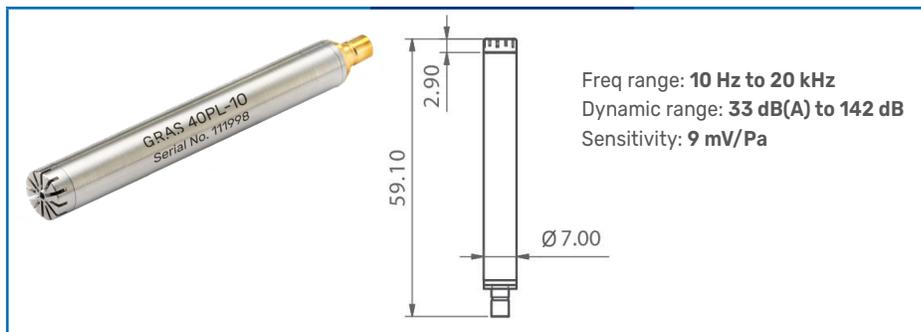


図 6.
GRAS 40PL-10 アレイマイクロホン

40PL-11は40PL-10のショートバージョンであり、高音圧レベルの測定や、テストセットアップにサイズ上の制約がある場合に最適なマイクロホンです。

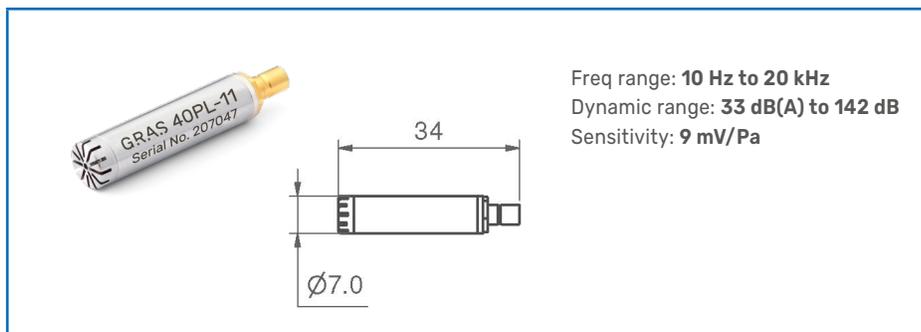


図 7.
GRAS 40PL-11 アレイマイクロホン

上記のアレイマイクロホンはすべてSMBコネクタを搭載していますが、下図の40PH-10-S1は、40PH-10と同じ仕様で、異なるフォームファクターとBNCコネクタを搭載しています。

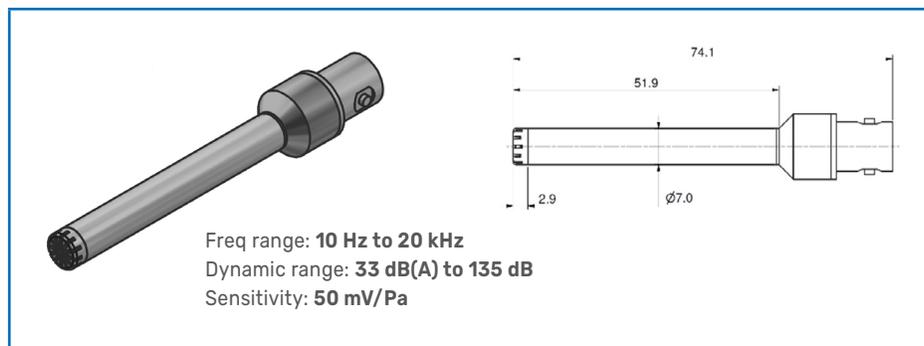


図 8.
GRAS 40PH-10-S1 ア
レイマイクロホン

GRASでは、カタログに掲載されていない上記のマイクロホンの特別仕様も提供しています。弊社で提供している仕様とは異なるマイクロホンが必要なアプリケーションをお持ちの場合は、お気軽にお問い合わせください。

アレイアプリケーションにおける測定用マイクロホン

前述の通り、アレイマイクロホンは標準化された測定用マイクロホンではありません。測定用マイクロホンは、長期安定性を確保するために最高の素材を使用して製造されています。その機械的寸法と電気音響仕様は、IEC 61094規格を満たさなければなりません。もちろん、位相整合された測定用マイクロホンを使用してアレイ構成を作成することも可能ですが、このオプションはコストが大幅に高くなる可能性があり、状況によっては性能の面で過剰な対策となる可能性もあります。

アレイ構成で使用できるコストパフォーマンスの高いアレイマイクロホンとしては、これまでGRAS 40PH-10や40PL-10などの製品しか言及されていません。ほとんどの場合、これらの製品はほとんどのアプリケーションのニーズを十分に満たすことができます。しかし、高精度な測定用マイクロホンが必要な場合もあります。これは、プロジェクトで IEC 61094 規格の測定用マイクロホンの使用が特に必要とされる場合、広いダイナミックレンジが必要な場合、20kHz 以上の高周波数の測定が必要な場合、特殊な形状が必要な場合などに当てはまります。GRASは、アレイアプリケーション用に工場で位相整合が可能な、さまざまな測定用マイクロホンを提供しています。

以下は、アレイセットアップの高精度測定用マイクロホンの例です。図9は、ジェットエンジンの騒音源特性評価に使用される、最大170dB程度まで測定可能な40BE ¼インチ自由音場測定用マイクロホンの低感度バージョンです。図10は、46DE ⅛インチの圧力マイクロホンをらせん状に配置した小さなアレイを示しています。



図 9.

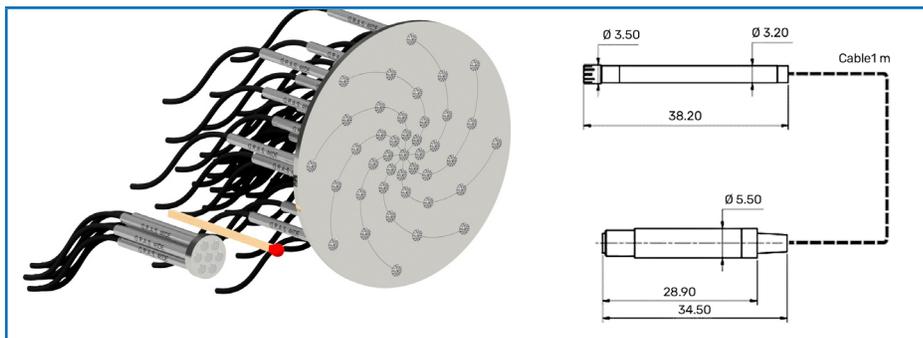
ジェットエンジンの騒音源特性評価のための測定用マイクロホンアレイのセットアップ。

提供：ブルーリッジリサーチアンドコンサルティング、ブリガムヤング大学音響学、アラバマ大学バーミングハム校。

図 10.

左：46DE ⅛インチマイクをスパイラルアレイ構成で設置。

右：46DEの寸法（mm単位）



そのため、高精度で標準化された測定用マイクロホンや、コストパフォーマンスに優れたアレイマイクロホンなど、どのようなアプリケーションであっても、GRASはテスト要件を満たすソリューションを提供することができます。図1および図11に示すようなアレイを構築するための基本的なアクセサリもご用意しています。

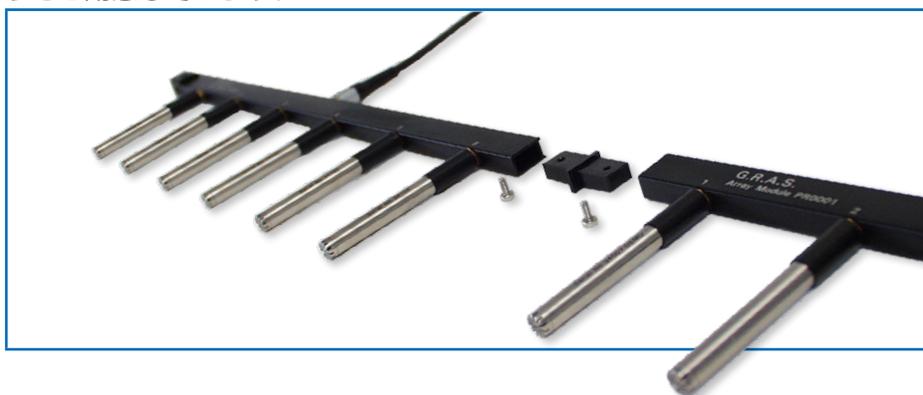


図 11.

GRAS PR0001アレイ
ジュールアクセサリ
40PH-10アレイマイクロホン付き