



VXL SERIES

小型ユニットラインアレイスピーカーの
優位性について



1. はじめに

ヤマハでは、商業空間用スピーカーとしてこれまでにサーフェスマウントスピーカー VXS シリーズ、シーリングマウントスピーカー VXC シリーズを展開していますが、更なるカバーアプリケーション拡大を目指して、新たにコラムタイプのラインアレイスピーカー VXL シリーズを開発しました。

コラムタイプのラインアレイスピーカー市場では、多くの製品が存在していますが、スピーチの拡声を主用途として音楽再生まで意識されないモデルも多く、音質の向上を期待するユーザーも少なくありません。

また、コラムタイプのスピーカーはその特徴でもある縦長形状から、スピーカーの存在感をできるだけ排除して建築空間になじませたいというデザイン側からの要求により採用されることも多く、建築デザインの自由度を高める、よりスリムな形状のスピーカーが望まれています。

しかし、スリムな形状を実現しようとした場合、容積や機構上の制約により音質を向上させるのが難しいという課題があります。

上記の問題や課題を解決するため、空間デザインの自由度と高い音響性能を両立する以下のコンセプトに沿って商品開発を行いました。

- ① 音楽再生も考慮した高音質とスリムデザインを両立
高解像度ユニットによるスピーチの明瞭な拡声と音楽再生も考慮した高音質を、超スリム形状で実現
- ② 設備の様々な要望に対応可能な汎用性
ラインナップの組み合わせ（連結）による音圧やカバーエリアの調整や、垂直指向性の切替えなどを実現
- ③ 施工バリエーションを広げる豊富なオプション
設置環境や要求に幅広く対応できる豊富なブラケット、ハイインピーダンス接続用トランスボックス、など

ここでは、VXL シリーズの音響性能に関する 3 つのポイントについて解説します。



写真 1 VXL シリーズ外観

2. VXL シリーズの音響性能に関する 3つのポイント

ポイント①

小口径スピーカーユニットの採用

VXL シリーズの開発において、ラインアレイスピーカーとして垂直方向の指向性をより狭く、水平方向の指向性をより広くという音響性能を、音声帯域で理想的に実現するために最もこだわった点が小口径スピーカーユニットの採用です。VXL シリーズで使用しているスピーカーユニットは、超小型サーフェスマウントスピーカー VXS1ML 用に開発された 1.5 インチのコンパクトフルレンジユニットをベースに独自設計したもので、大口径ボイスコイルとネオジム磁石を使用し、ワイドな再生周波数帯域と歪みのない音を実現するとともに、水平および垂直 170 度の広い指向角を持っています。ラインアレイスピーカーは、同一線上に近接配置したスピーカーユニットによる位相干渉を積極的に利用して、円筒状に音を放射させることで垂直方向の指向性を制御しており、その特性はスピーカーユニットの間隔とラインアレイの長さに依存します。

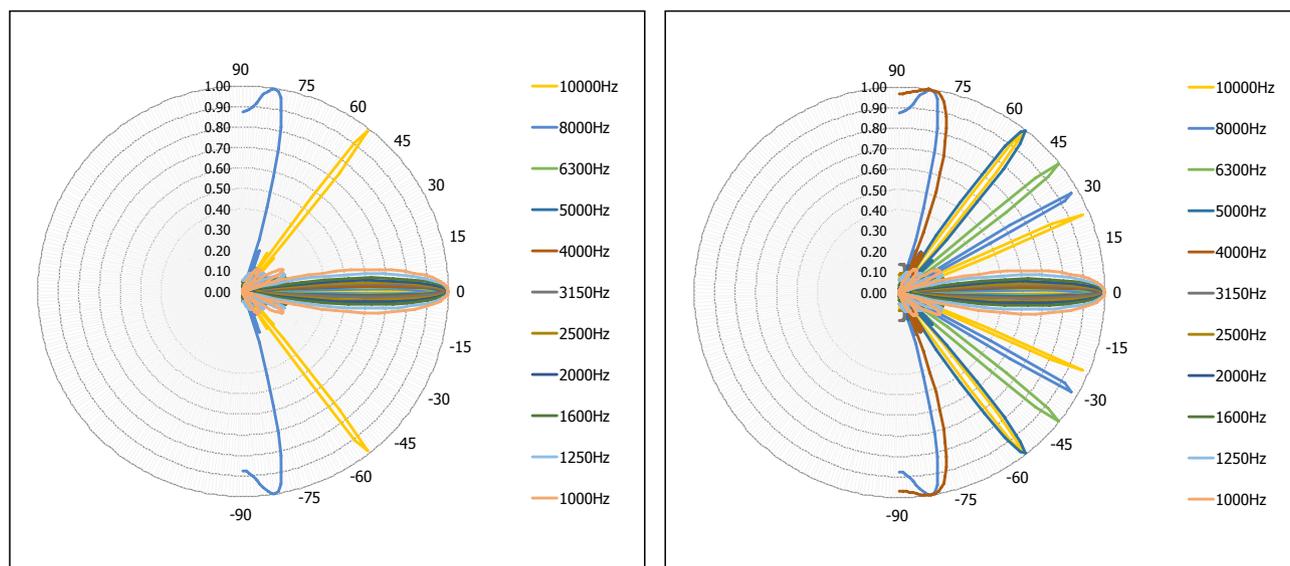
VXL シリーズの 3つのラインナップ (VXL1-8、VXL1-16、VXL1-24) では、それぞれスピーカーユニットが縦に 8 個、16 個、24 個連続的に近接配置されており、ユニット間隔は約 43mm です。

ここで、ラインアレイスピーカーのユニット間隔と指向特性との関係について計算した例を示します。

図 1 は、アレイの長さが同じでユニット間隔が異なる 2 種類のアレイスピーカーの指向特性を比較したもので、(a) はユニット間隔が VXL シリーズと同じ 43mm の場合、(b) はユニット間隔を 2 倍の 86mm にした場合です。正面以外の方向にみられる強い音の放射はグレーティングローブと呼ばれるもので、特定の周波数帯域において狙った方向以外にも音が強く放射されてしまうため、不要な反射音による明瞭性の低下や音圧分布の不均一性の要因となります。このグレーティングローブの発生する周波数と方向はユニット間隔によって決定され、ユニット間隔を D 、波長を λ とすると、 $D/\lambda < 1$ となる条件、すなわちユニット間隔よりも波長が長くなる周波数範囲ではグレーティングローブの影響は少なくなります。

グレーティングローブの発生する周波数を比較すると、ユニット間隔が広い (b) では 4kHz 以上で現れているのに対し、ユニット間隔が狭い (a) では 8kHz 以上と高域側にシフトしており、小口径ユニットを採用して間隔を小さくしたことにより音声の主要帯域への影響が軽減されていることがわかります。

図 1 ラインアレイスピーカーの指向特性計算例

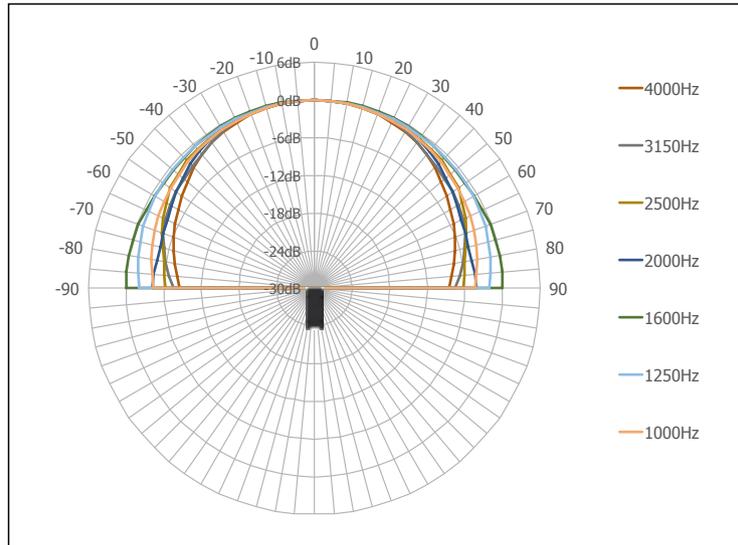


(a) スピーカーユニット間隔 43mm の場合

(b) スピーカーユニット間隔 86mm の場合

水平方向については、図2に示すように、小口径スピーカーユニットによる170度(※1kHz～4kHzの平均値)という広指向性により、リスニングエリアをカバーするスピーカーの本数が減らせるため、干渉エリアも少なくなるほか無駄な残響感も減り、音声を明瞭に伝達することができます。

図2 水平方向の指向特性



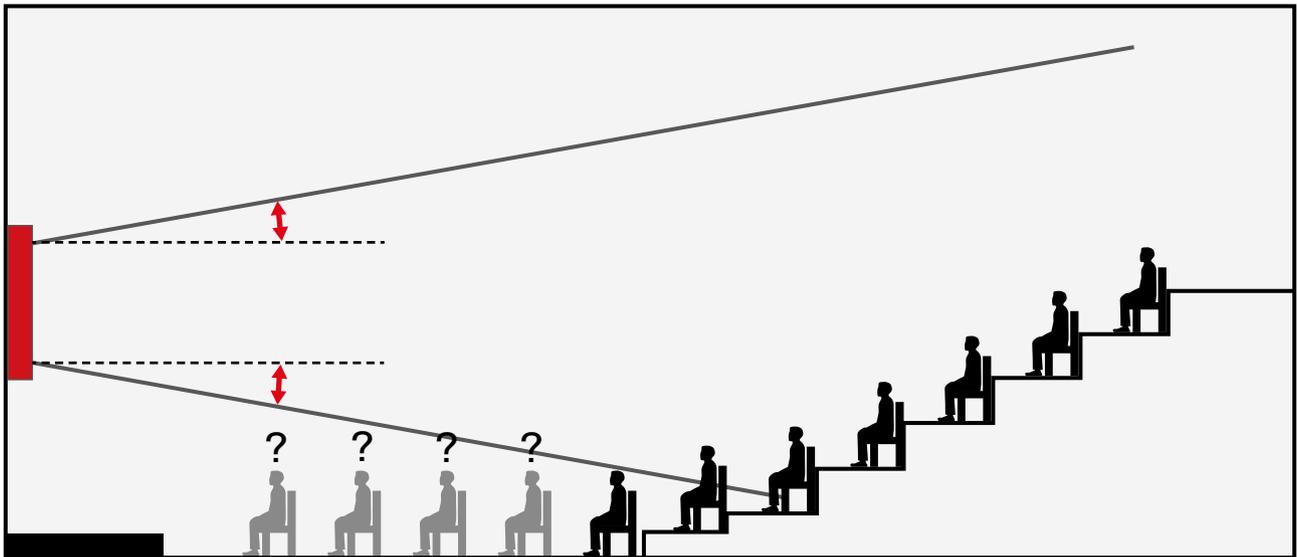
ポイント②

下方向への実用指向角度の拡大制御

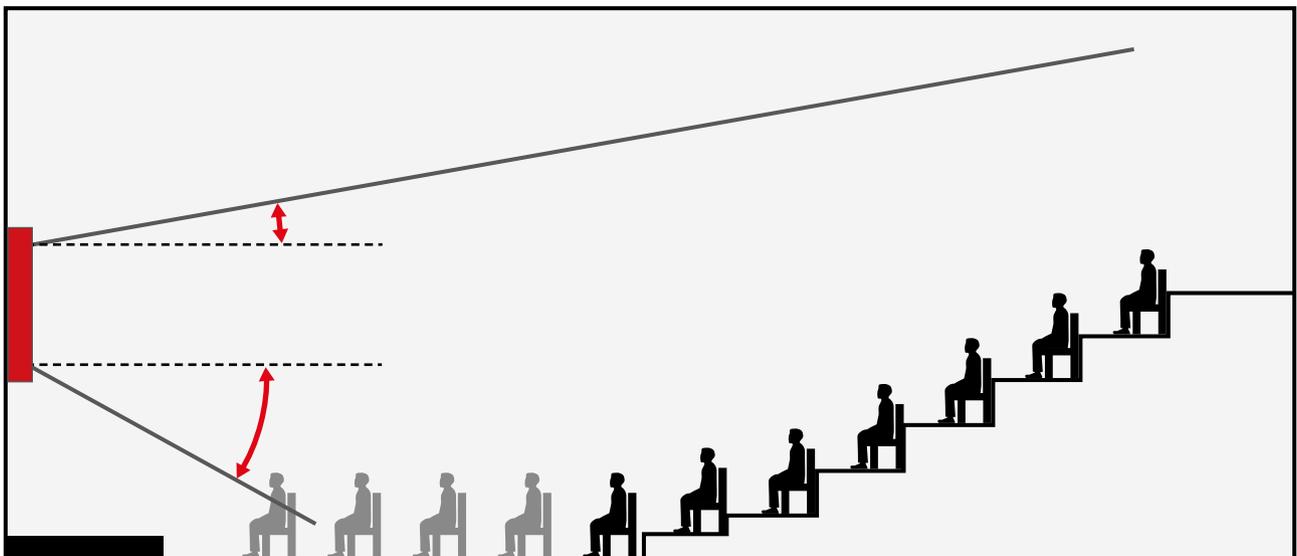
ラインアレイスピーカーは線音源の特長を生かして垂直方向への音の広がりを制御しているため、スピーカーを高い場所に設置した場合、前方の席がサービスエリアから外れて音量と明瞭性が不足してしまうことがあります。一般的な対処法としては、前方席用のサブスピーカーを別途設置したり、Jカーブと呼ばれるアレイ形状のスピーカーで下方向の指向角を広げたりといった方法が用いられます。また、垂直方向の指向角を可変できるスピーカーもありますが、その多くは下方向だけでなく上方向にも同時に広げる方式のため、天井からの不必要な反射音による明瞭性の低下や、指向性が必要以上に広がることで音圧レベルが低下し遠達性能が悪化するといった欠点があります。

VXLシリーズでは、必要なエリアに対してのみ効率的な拡声を行うため、背面スイッチの切替えにより垂直方向の下側だけに指向角を拡大することができます。指向角の拡大はパッシブ型ディレイで下方のユニットに遅延を与えることで制御しており、図3に示すように、スピーカー形状を変えずに下方向の実用指向角度をVXL24で10度、VXL16で15度下側に拡大することができます。

図3 垂直方向の実用指向角度



(a) カバーエリア拡大制御なし



(b) カバーエリア拡大制御あり

ポイント③

ラインナップ組合せによるスケーラビリティ

VXL シリーズは、設備の様々な要望に対応できるよう、スピーカーユニット数の違いで VXL1-8、VXL1-16、VXL1-24 の 3 種類のラインナップをそろえていますが、更にそれらを垂直や水平に連結して組み合わせることで、設置環境や用途に応じて音圧やカバーエリアを柔軟に調整可能なスケーラビリティを持っています。

垂直連結

ラインアレイスピーカーは線音源のため垂直方向の音の広がりが少なく距離減衰が少ないことを特長としていますが、その効果には限界があり、一定の距離を超えると点音源と同じように音が上下にも広がりながら伝搬するようになり距離減衰も大きくなります。線音源の効果が持続する距離を有効距離と呼び、次式 [1] で計算することができます。

$$CD = \frac{(L^2 \times f)}{700}$$

CD = 有効距離 (m)

L = ラインアレイの長さ (m)

f = 周波数 (Hz)

例えば、VXL1-24 について、1 台のみの場合と 2 台を垂直連結した場合の 2kHz での有効距離を計算してみると、1 台 (アレイの長さ約 1.1m) では 3.3m であるのに対して、2 台連結 (同約 2.3m) では 15.0m となり、連結することによってラインアレイの有効距離が約 5 倍に拡大することがわかります。

このように垂直連結することでスピーカーの遠達性が向上するため、広い空間でも遠くのエリアまで均等かつ明瞭に音声を伝達することができます。

水平連結

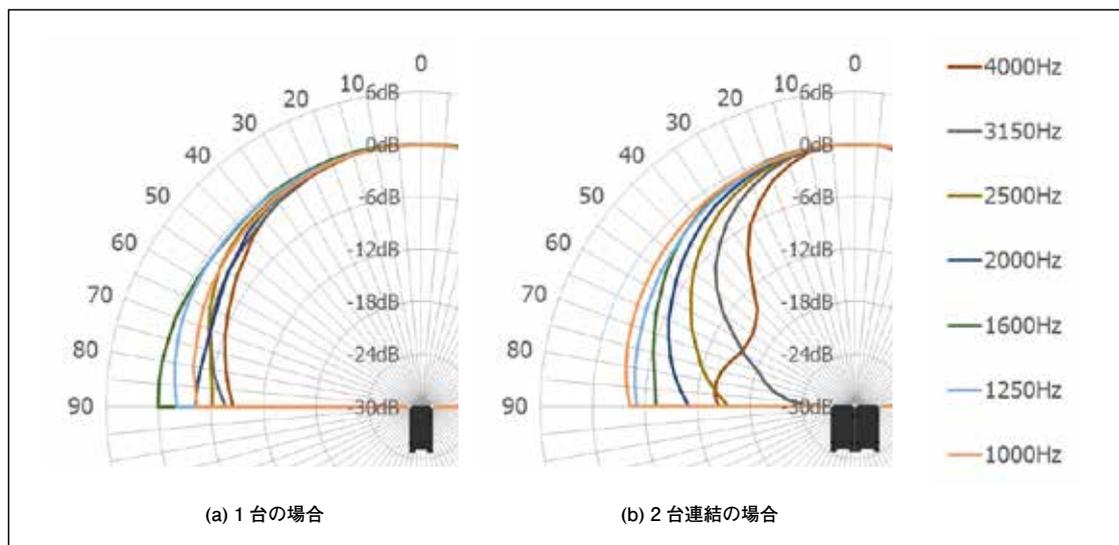
一方で水平方向は小口径スピーカーユニットの採用により 170 度という非常に広い指向角を確保していますが、設置環境によっては指向角を小さくしたい場合もあります。例えば、ステージ奥にラインアレイスピーカーを設置するようなハウリングに対して厳しい条件の場合には、水平方向の指向角を小さくしてマイクへの音のかぶりを極力減らすことで、安定した拡声が行えるようになります。

VXL シリーズでは、2 台のスピーカーを横に連結することで水平方向の指向角を小さくすることができます。

2 台を水平連結した場合の指向特性を 1 台のみの場合と比較して図 4 に示します。水平連結により指向角が 170 度から 120 度程度まで絞られていることがわかります。また、水平に並べた 2 台のスピーカーは同位相で駆動されるため、音圧も 6dB 増強することができます。

なお、VXL シリーズは超スリム形状を採用しているため、水平に 2 台並べてもスリムなデザイン性を損なうことはありません。

図 4 2 台連結時の水平方向指向特性



3. 最後に

以上のように、コラムタイプのラインアレイスピーカー VXL シリーズは、建築構造や内装デザインと調和し、空間デザインの自由度を高めるとともに、明瞭な拡声と高品位な音楽再生を実現する高い音響性能を提供することで、市場の課題解決を目指しています。

高解像度ユニットやキャビネットの素材と形状の吟味、高品位な音質や音響性能の追求など、細部までこだわりを施すことはもちろん、130年を超える歴史が培ったノウハウや生産技術によって支えられ、このコンセプトの実現に至りました。

既に好評を得ているサーフェスマウントスピーカー VXS シリーズ、シーリングマウントスピーカー VXC シリーズとともに、意匠や用途に応じた柔軟なシステム設計を可能とし、心地のよい空間演出をサポートいたします。

参考文献

- [1] M.Ureda, Line Arrays: Theory and Applications, AES Convention Paper 5304 Presented at the 110th AES Convention, Amsterdam, May12-15, 2001.

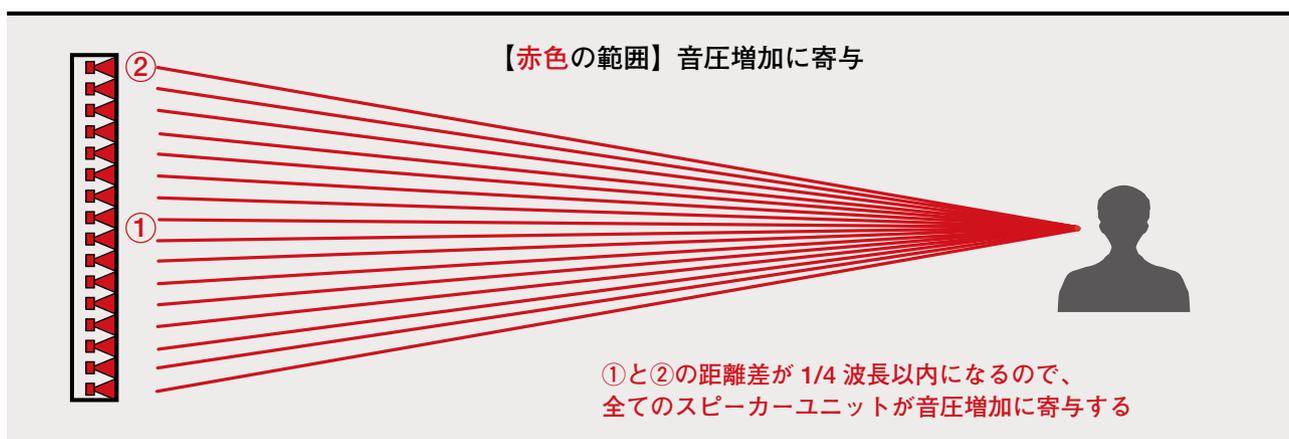
【 Appendix 】

【ラインアレイスピーカーは、なぜハウリングが起きにくいのか？】

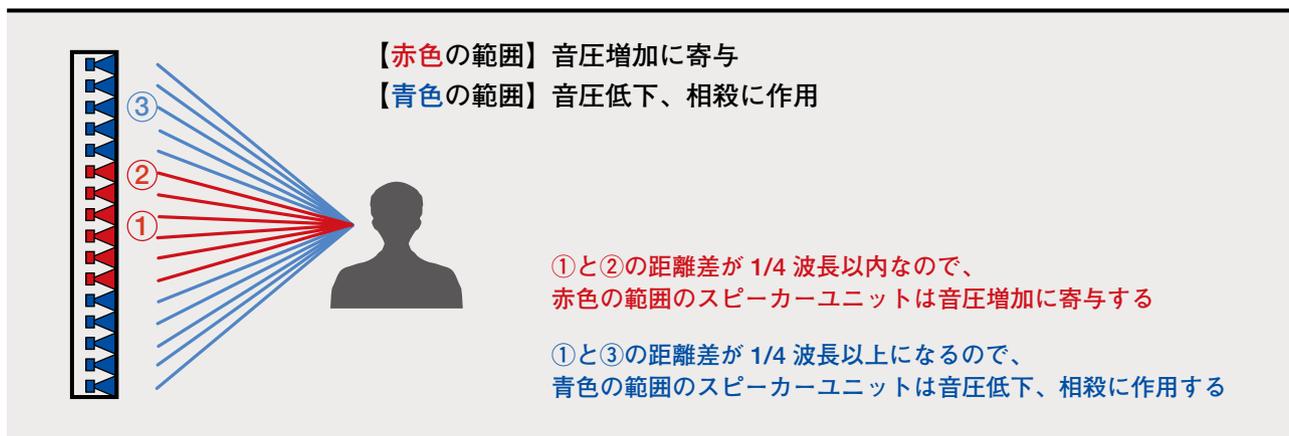
一般的に、ラインアレイスピーカーはポイントソーススピーカーに比べてハウリングしにくいと言われていますが、その理由は、ラインアレイスピーカーのカップリングのメカニズムおよび両スピーカーの距離減衰の違いから説明できます。

ラインアレイスピーカーは複数のスピーカーユニットから分散して放射された音のカップリングによる音圧増加を積極的に利用しています。具体的には、各スピーカーユニットから受聴点までの直線距離の差が $1/4$ 波長以内に納まる範囲のユニットは音圧増加に寄与しますが、距離差がそれ以上となるユニットは音圧低下に作用し、半波長離れると音圧が相殺されます。

スピーカーから一定以上離れて距離差が $1/4$ 波長以内に納まる受聴点では、全てのスピーカーユニットが音圧増加に寄与します。一方、スピーカーに近い位置では、アレイ中心部と端部のユニット間の距離差が大きくなり、音圧増加に寄与するユニットの数が限定されるため、加算される音響エネルギーも小さくなります。



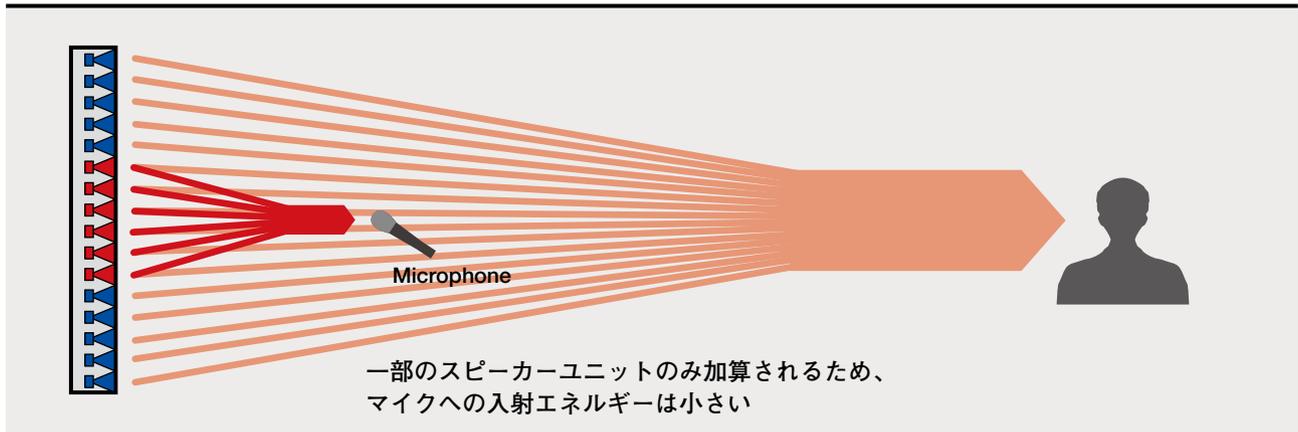
(a) スピーカーからの距離が遠い場合



(b) スピーカーからの距離が近い場合

ここで、スピーカーから同一距離の受聴点において等しい音圧レベルで拡声した場合を想定して、両スピーカーの違いを比較してみます。

スピーカーの近傍に置かれたマイクへの音響エネルギーの入射条件を比較すると、ラインアレイスピーカーの場合は、上記カップリングのメカニズムで説明したように、全スピーカーユニットのうち距離差が $1/4$ 波長以内となるユニットのみ部分的に加算されて入射するのに対し、ポイントソーススピーカーでは、一つのユニットからの出力がそのまま入射するため、マイクへ入射する音響エネルギーはラインアレイスピーカーのほうが小さくなります。



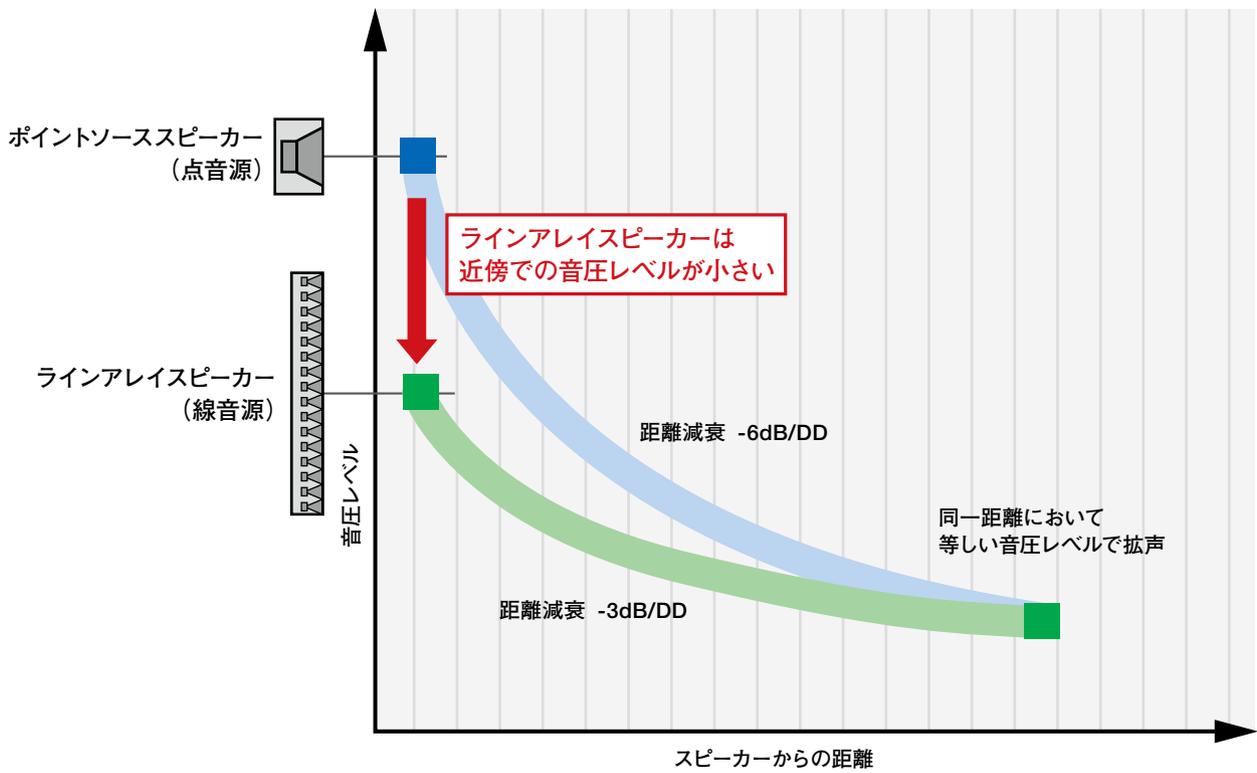
(a) ラインアレイスピーカー



(b) ポイントソーススピーカー

ラインアレイスピーカーがハウリングしにくいと言われるもう一つの理由として、ユニットひとつ当たりの出力がポイントソーススピーカーに比べて小さくなるため、スピーカー近傍でのマイクへの入射エネルギーは少なくなるということがあります。

点音源であるポイントソーススピーカーの距離減衰が倍距離 -6dB であるのに対して、線音源のラインアレイスピーカーでは倍距離 -3dB となります。距離減衰が少ない分だけスピーカーからの放射エネルギーも小さく抑えられるため、スピーカー近傍での音圧レベルが下がり、場所による音量差も少なくなります。



このように、同一距離の受聴点において等しい音圧レベルで拡声する場合、ラインアレイスピーカーは、距離減衰の少なさに起因するスピーカー近傍での音圧レベルの低さとスピーカーユニットの部分的なカップリングにより、マイクへ入射する音響エネルギーを小さく抑えることができるため、ポイントソーススピーカーに比べてハウリングに強く、安定した拡声しやすいというメリットがあります。