

## WAVEFORMING

<https://www.trinnov.com/en/subwoofer-guidelines/#WaveForming>

ホームシネマに理想的なサウンドシステムは、リスニングエリア全体にわたってフラットで均一な音響応答を保証する必要があります。この目標を達成するための主な課題は、非常に低い周波数(100Hz程度以下)の音場をコントロールすることにあります。この周波数の音場は、部屋のモーダルな挙動によって強く支配され、モーダルの最大値と最小値によりリスニングエリア全体の音圧間に大きな差が生じます。さらに、これらのルームモードの多くの反射と長い減衰時間により、他の方法では体験して楽しめるはずのダイナミクスやディテールの多くが不明瞭になってしまいます。

### 1. はじめに

従来のパッシブのソリューションでは、低周波で効果を発揮するために大量の吸音が必要であるため、設置面積が大きくなり、材料費だけでなく不動産費用も高価になります。ベアストラップなどの他のアプローチは、通常特定の周波数でのみ効果があり、広帯域ソリューションとしては非現実的です。そのため、低周波に対する従来のパッシブ音響処理だけではホームシネマには不十分です。

この現実に対応するため、多くのホームシアターの専門家はパッシブ処理に加えて複数のサブウーファーを配置させています。これにはさまざまな取り決めが存在しますが、モードを分割することを目的としています。

Trinnov社の研究では、いくつかのアプローチは確かにルームモードの影響を軽減できるものの、根本原因(波の干渉)には対処していないため、問題全体を解決するわけではなく、望ましくない副作用が発生することが分かりました。

例外は、Double Bass Array (DBA)方式です。従来のDBAアプローチは、その名前が示すように、サブウーファーの2つのアレイを使用します。1つは前壁のエミッタアレイ、もう1つは後壁のアブゾーブ(吸収)アレイです。



---

エミッタアレイは平面波を生成し、室内の側壁、天井、床の反射による干渉の量を低減します。次に、アブゾーブアレイは同じ信号で背面の壁の反射を打ち消そうとしますが、音が部屋の全長に伝わるのにかかる時間だけ反転され、遅延します。

ただし、このアプローチで良好な結果が得られるのは理想的な条件下でのみであり、実際に達成することは困難です。多くの場合、壁は良好な平面波を生成するのに十分な反射率を持っていません。また、後壁に到達する波は、波を適切に導くのに壁の硬さが不十分または平行であるため、部屋の長さを伝わって行く間に変化します。最後に、波の性質は、家具、蹴込み板、階段状の座席により、後壁に到達する波は前壁から出た波と同じではなくなり、効果的に打ち消すことができなくなります。不一致が生じると、所定の周波数を外れた不要な波のエネルギーが室内に起こります。

**Trinnov** 社の **WaveForming™** は、既存のソリューションの限界を克服し、超低周波の音場を制御するためのより効果的で多用途なツールを提供します。**WaveForming** の重要な側面と、このテクノロジーを最大限に活用するためのガイドラインと推奨事項を以下に示します。

**WaveForming** は強力かつ柔軟なツールです。ただし、信号処理の高度化に関係なく、物理の法則は依然として存在します。

---

具体的には、特定の部屋に推奨されるサブウーファーの数を決定する要因が 2 つあります。

#### 1. 前壁と後壁のサイズ

当然のことながら、大きな部屋には小さな部屋よりも多くのサブウーファーが必要になります。

#### 2. 制御したい最高周波数

周波数が高くなると波長が短くなるため、平面波形成の制御を維持するにはサブウーファーの間隔を狭くする必要があります。

この文書では、波形形成のパフォーマンスを最大化するためのサブウーファーの数とその推奨配置について説明しています。使用するサブウーファーのタイプに関する推奨事項や、各サブウーファーの推奨技術仕様は含みません。この文書には、各サブウーファーの能力に基づいて **WaveForming™** システムの音圧レベルを計算する手段も含まれていません。これらの推奨事項は、後日別の実装文書として提供する予定です。

この段階での最良の推奨事項は次のとおりです。

- 各アレイ内で同じサブウーファーを使用する。
- フロントアレイとリアアレイの両方に同じ帯域幅のサブウーファーを使用する。
- リアアレイは、フロントサブウーファーよりも電力処理能力が低いサブウーファーで構成される場合がある。



---

## II. WAVEFORMING™ による低周波の高度なコントロール

図 1 は、**WaveForming** の動作原理を示しています。これは 2 つの主要なステップで構成されます。

1. 最初のステップでは、リスニングエリアを取り囲むボリューム内およびリスニングエリア全体にわたって音場を評価します。

このステップの目的は、部屋のモーダルな動作（および部屋内のオブジェクトによってもたらされた変化）に関する必要な情報を取得し、アルゴリズムがこれらの不要な影響を排除できるようにすることです。これは、リスニングエリア（図 1 の青い破線の四角形）全体のマイク位置の 3 次元グリッドで音場をサンプリングすることによって実行されます。

2. 前のステップで測定された音場から、**WaveForming** プロセッサはシステムの各サブウーファーに適用するフィルターを計算し、これらのフィルターを適用して部屋のモーダル シグネチャを除去します。

エミッタに適用するフィルタは、リスニングエリア内で可能な限り最もタイトで、最も均一な波面を生成し、すべてのサブウーファー（フロントとリアのサブウーファーアレイの両方を含む）に適用するフィルタは、室内の反射と共鳴（モード）のほとんどを吸収します。

**WaveForming** の処理は、その洗練さとさまざまな制約（不規則なサブウーファー レイアウトなど）に適応する能力のおかげで、前例のないパフォーマンスを実現します。

- ❖ 洗練：**WaveForming** は、「音響リシェーピング」、「波面合成」、「マルチソース マルチコントローラー オプティマイゼーション」などの複数の高度でユニークなテクノロジーを組み合わせ、システム全体が各サブウーファーに特定のフィルターを合成し、理想的な 1 台のサブウーファーとして機能するように動作させます。**WaveForming** は、リスニングエリア全体にわたって時間、空間、周波数におけるフィールドの均一性を最大化します。これらの複雑なフィルターは、単純なゲインと遅延フィルターの制限を超えて動作します。
- ❖ 適応性：これらのフィルターは、測定されたフィールドのデータから計算され、各壁や室内にあるものの正確な形状と音響特性を含む、各部屋の物理的特性に適応します。繰り返しますが、リスニングエリアのパフォーマンスに影響を与える特定の要因にも適応するため、単純なゲインと遅延のフィルターよりもはるかに効果的なフィルターを得ることができます。この強力な分析により、理想的でない部屋の形状などの困難な条件下でも、より堅牢で効率的な音場制御が可能になります。

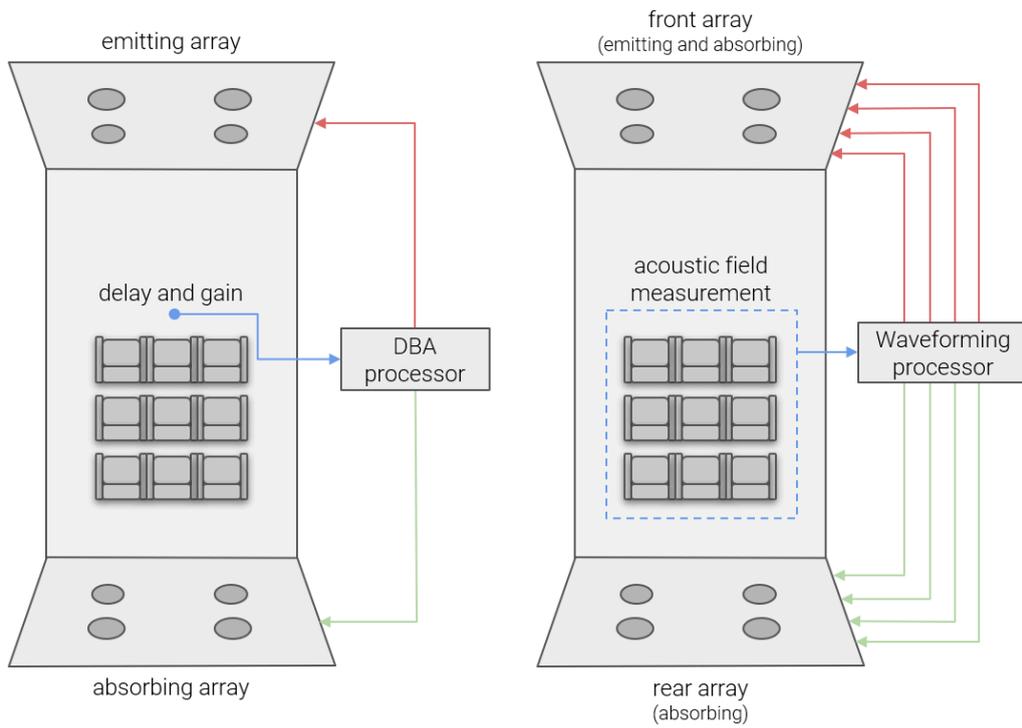


図 1. DBA (左) と WaveForming (右) の動作原理



### III. 空間サンプリングのガイドライン

音場をマイクでサンプリングする場合、良好なパフォーマンスを達成するには次のガイドラインが重要です。

- フロントアレイと測定ゾーン間の距離は少なくとも  $2\text{ m}$  である必要があります。
- 測定ゾーンと残りの壁および天井間の距離は少なくとも  $1\text{ m}$  である必要があります。
- 測定グリッドには少なくとも 2 つの水平面があり、最初の平面は床から  $1\text{ m}$  の位置にある必要があります (座っている人の一般的な耳の高さ)。
- 音場が  $100\text{ Hz}$  付近の周波数まで明確に特徴付けられるように、隣接する 2 つのマイク位置間の最大距離は  $1\text{ m}$  である必要があります。

**WaveForming** アルゴリズムはリスニングエリア全体の 3 次元フィールドを明確に「理解」する必要があるため、測定プロセス中にこれらのマイクをある程度正確に配置することが重要です。部屋の中の物体、さらには部屋そのものによっても、音波が部屋の長さを伝わって行くにつれて変化が生じます。これらの変更は文書化する必要があります。

### IV. サブウーファースの数と配置の決定

**WaveForming** を部屋のデザインに組み込むことを検討するときに誰もが最初に考える疑問は、

1. サブウーファーは何台必要か?
2. 部屋の中でどのように配置すればよいか?

答えは主に 2 つのパラメータによって決まります。

- 部屋のサイズ (具体的には、前壁と後壁の寸法)
- コントロールしたい (またはコントロールする必要がある) 最高周波数

部屋が広いほど、より多くのサブウーファーが必要になる可能性があることは非常に直感的に分かります。しかし、壁上のサブウーファースの密度によって、きれいな平面波面を生成できる最高周波数が決まります。情報に基づいた決定を下す前に、両方のパラメータを決定する必要があります。

これら 2 つの考慮事項を逆の順序で取り上げます。さまざまなレイアウトの可能性とサブウーファースの配置における柔軟性をよく理解すると、必要なサブウーファースの数を理解しやすくなると思います。



## V. サブウーファースのレイアウトのガイドライン

このセクションでは、サブウーファースの最適な位置に関する推奨事項を示します。これらの推奨事項は、数値シミュレーション、実験、理論分析を含む広範な研究から得られています。すべての実験データは、前述の音場空間サンプリングガイドラインを尊重した特定のマイクロフォンアレイを使用して開発されました。サブウーファースの位置に関する次の推奨事項は、これらのデータと空間サンプリングのガイドラインに基づいています。

レイアウトは、前面エミッタアレイのサブウーファースの数と背面アブゾーブアレイのスピーカースの数を表すために  $N_f - N_r$  の形式の命名法を使用します。

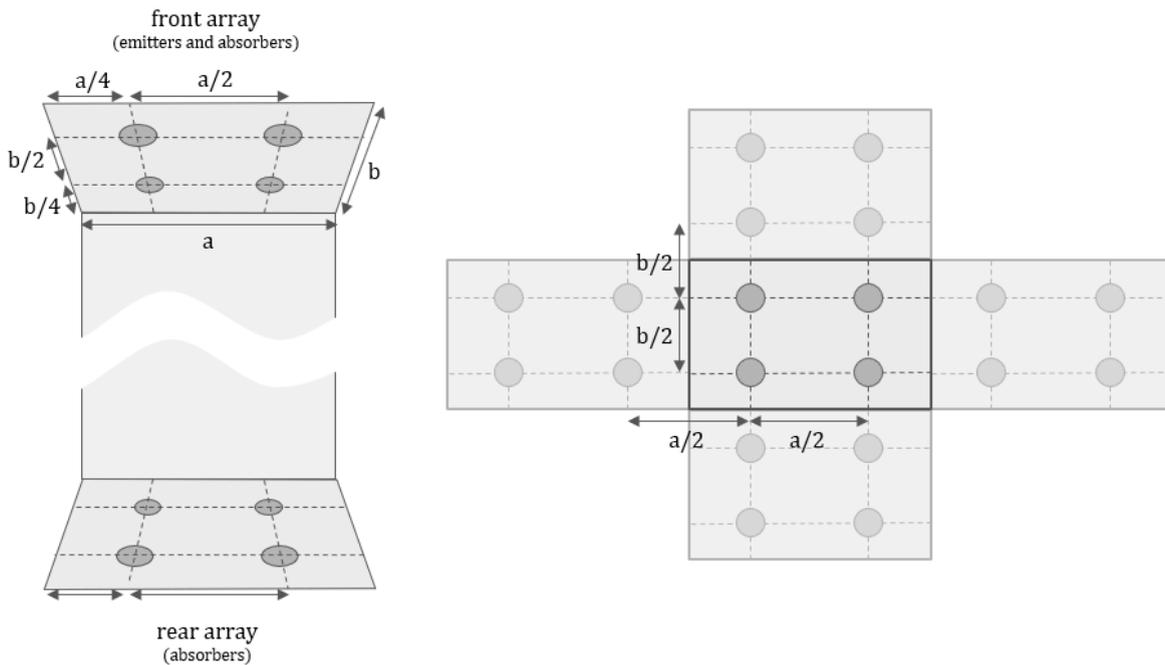


図 2. 4-4 の通常のレイアウト (上麵図: 左) と画像ソースを備えたエミッタースの壁 (正面図: 右)

### A. レギュラーレイアウト: 通常的位置

図 2 からわかるように、サブウーファースの理想的な間隔は、サブウーファースと隣接する部屋の表面 (壁、天井、床) の間のスペースが、サブウーファースとサブウーファースの間のスペースの半分になるように配置します。この間隔により、それらの部屋の表面によって引き起こされる反射エネルギーが、隣接するサブウーファースからの等間隔の「仮想サブウーファース」として機能することが保証されます。理想的にはこの間隔は水平方向と垂直方向の両方に当てはまります。壁の幅 (" $a$ ") は部屋の幅に沿ったサブウーファースの数で除算され、壁の高さ (" $b$ ") は部屋の高さに沿ったサブウーファースの数で除算されます (他の部屋では、水平方向と垂直方向に  $3 \times 2$  の配列があり、間隔として " $a/3$ " と " $b/2$ " が必要になる場合があります)。これを「レギュラーレイアウト」と呼んでいます。

レギュラーレイアウトでは、サブウーファースは水平方向と垂直方向の両方で一定の間隔 (仮想サブウーファースとして機能する反射音を含む) を持つように配置されます。アレイの端にあるサブウーファースと隣接する壁との間の距離は、2 つの隣接するサブウーファース列間の距離の半分でなければなりません。同様に、端にあるサブ



---

ウーファーと隣接する天井 または 床 との間の距離は、隣接する 2 つのサブウーファーの距離の半分でなければなりません。

部屋の幅が  $A$  で、サブウーファーが  $C$  列ある場合、隣接する 2 つの列の間の距離は  $a/C$  となり、側面のサブウーファーから隣接する壁までの距離は  $a/2C$  になります。同様に、高さ  $b$  および  $R$  の列のシステムの場合、隣接する 2 つの列間の距離は  $b/R$  となり、下段/上段から床/天井までの距離は  $b/2R$  となります。

**WaveForming** では、前面のエミッタウーファーの数が 背面のアブゾーブウーファーの数と同じである必要はありません。2 つのアレイの寸法とサブウーファーの数が同じである特定のレイアウトは、*Double Bass Array (DBA)* として知られています。図 2 は、幅  $a$ 、高さ  $b$  の部屋に  $2 \times 2$  アレイを備えた  $4 \times 4$  のレギュラーレイアウトを示しています。

## B. 理想的なレイアウト: サブウーファーの理想的な数

サブウーファー間の間隔によって、平面波として効果的に制御できる周波数の上限が決まります。これは、高い周波数ほど波長が短く、平面波形成が適切に機能するため、サブウーファーがその波長の特定の部分内で互いに離れて放射するという事実由来します(これは物理法則なので、覆すことはできません)。

理想的なレイアウトは、配列が同じ次元を持つレギュラーレイアウトです。このようなレイアウトでは、サブウーファーの行と列の位置は、それぞれ部屋の高さと幅によって決まります。さらに、2 つのサブウーファー間の距離によって、最適化の帯域幅が決まります。したがって、部屋のサイズに関係なく、行と列の数によって制御される帯域幅の上限が決まります。

図 3 と次の計算ツールは、最大  $100\text{Hz}$  の一般的な帯域幅における、特定の幅と高さにおける理想的なレイアウトの行数と列数を示しています。連続入力(壁の寸法)に対して離散出力(サブウーファーの数)を提案しているため、帯域幅は部屋の寸法のすべての組み合わせで同じではないことに注意してください。したがって、寸法の少なくとも 1 つが制限値の  $15\text{cm}$  以内にある場合、計算機は図 3 の灰色の領域で示される警告を表示します。

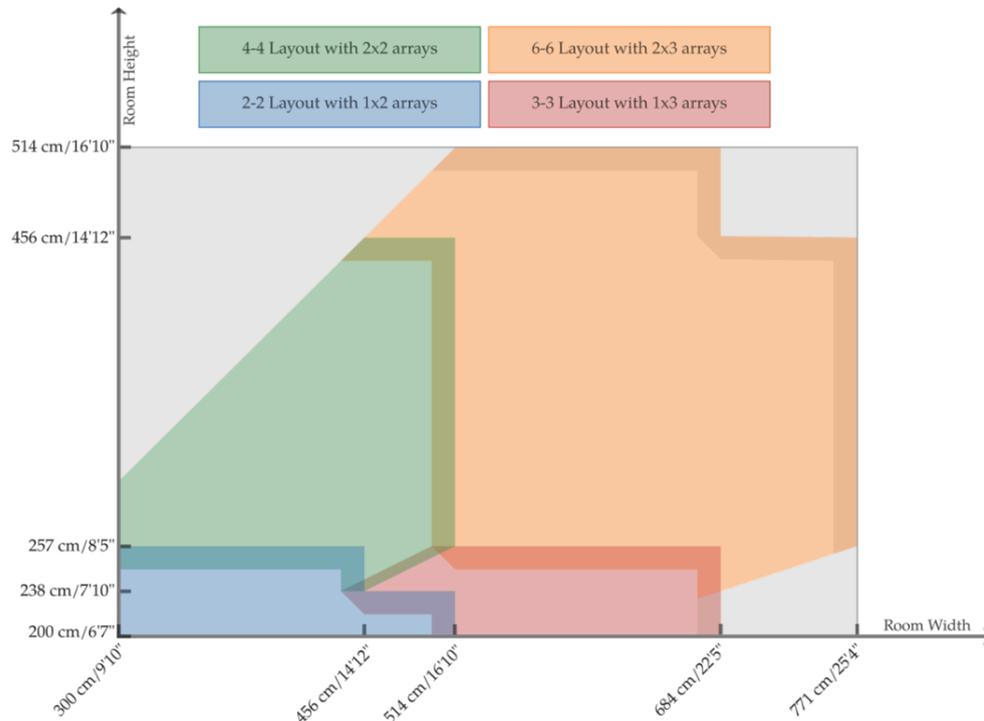


図 3. 部屋の幅と高さに関する推奨レイアウト。

“理想的”なレイアウトでは、**WaveForming** の最高のパフォーマンスが得られます。つまり、推奨される数のサブウーファー（セクション IV. C を参照）と、フロントとリアのサブウーファーの数が同じで、すべて通常の位置に配置されます（セクション IV. B を参照）。ただし 前述したように、**WaveForming** の洗練さと適応性により、高レベルのパフォーマンスを維持しながら、多種多様なレイアウトをサポートできます。つまり、“理想的”なレイアウトでなくても動作します。

- サブウーファーの数を減らす: 理想的なレイアウトのサブウーファーの数、特にリア サブウーファーは、必要に応じて減らすことができます。これは結果に影響を与える可能性がありますが、すべての場合において良好なパフォーマンスが期待できます。パフォーマンスの損失が最小限に抑えられるため、フロントアレイのサブウーファーの数を減らすよりもリア サブウーファーの数を減らすことを推奨しています。
- 非対称配列のサポート: **WaveForming** では、それぞれが規則的である限り、前列と後列の配列を一致させる必要はありません。リアアレイのサブウーファーの数がフロントアレイよりも少ない方がベターです。リアサブウーファーの量を減らしても全体的なパフォーマンスは大きく変わりませんが、フロントスピーカーの量を減らすと全体的なパフォーマンスは変わります。これは、フロントサブウーファーの方がより重要であるという事実の結果です。フロントサブウーファーは放射体であるだけでなく吸収体でもあります。

リアサブウーファーの数が少ない非対称アレイは、2つの方法で役立ちます。まず第1に高いレベルのパフォーマンスを維持しながらサブウーファーの数を減らす効果的な方法です。



第2に指定された数のサブウーファーで最高のパフォーマンスを得る良い方法です。たとえば、サブウーファーを6個を使用する場合、多くのケースで4-2レイアウトは3-3レイアウトよりも全体的なパフォーマンスが高くなります。また、8つのサブウーファーを使用すると、6-2レイアウトの方が4-4レイアウトよりも高いパフォーマンスを実現できることがよくあります。

各状況は部屋の比率に依存するため、絶対的な規則というよりも一般的な傾向です。

- 不規則なレイアウトのサポート: アレイ内でのサブウーファーの一定量の位置のずれは許容され、場合によっては、3つのサブウーファーを不規則な三角形のレイアウトに配置するなどが推奨される場合があります。この“wobble room”では、スクリーンスピーカーが置けないなど、物理的な制約によってサブウーファーの配置が制限される場合に役立ちます(変位に関する推奨事項については、セクションDを参照してください)。

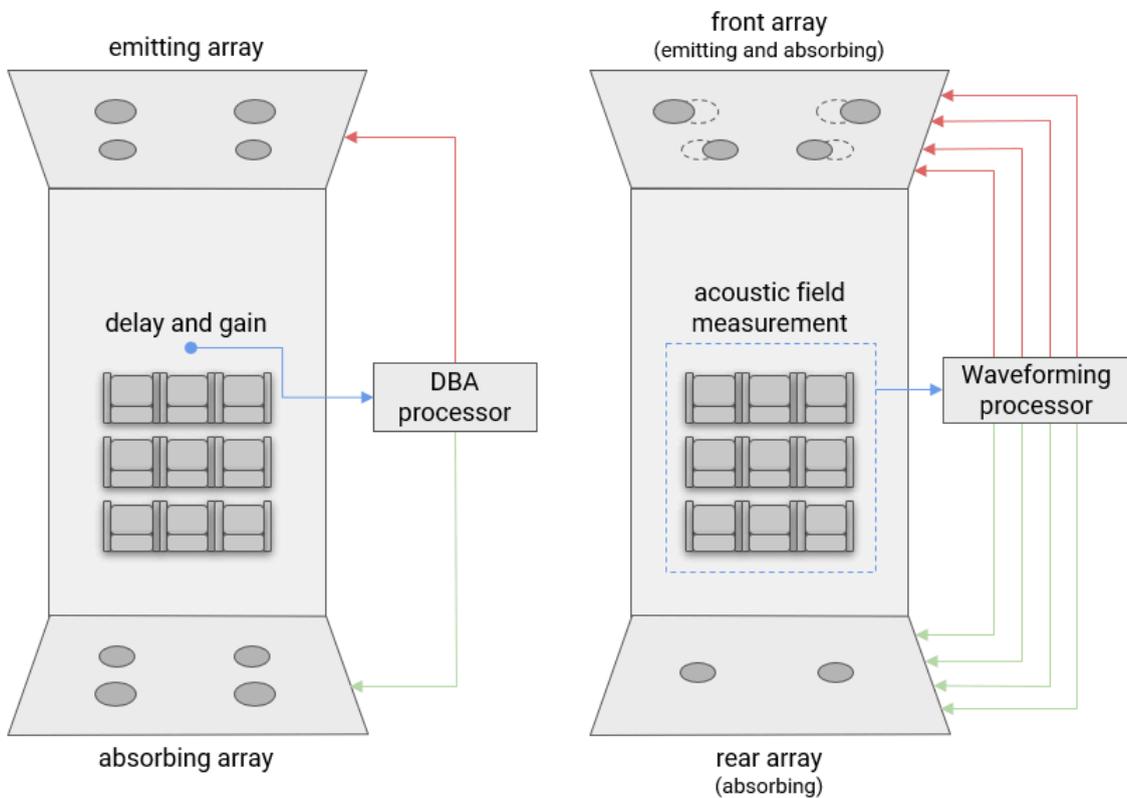


図1b. 非対称で不規則なレイアウトを使用したDBA(左)とWaveForming(右)の動作原理



## C. サブウーファースの数とパフォーマンスの減少

以上のように、部屋に最適なサブウーファースの数は、部屋のサイズとコントロールしたい上限周波数という2つの要素によって決まります。当然のことながら、部屋が大きいほどコントロールと出力の両方に多くのサブウーファースが必要になります。しかし、部屋のサイズに関係なく、サブウーファース間の間隔によって、平面波を作成する **Waveforming** の能力の上限が決まります。

次のセクションでは、サブウーファースを削減 および/または 移動するための一般的なガイドラインと、対応するパフォーマンスレベルを示します。

- 濃い緑色は 最大のパフォーマンスを表します。
- 緑色が薄い場合は、パフォーマンスが若干低下する可能性があることを表しています。
- 最も明るい緑色は、推奨される最小の **Waveforming** が実装されていることを表します。

リストされているすべてのレイアウトは、満足できる最小値を保証しています。

### 2-2 の理想的なレイアウト

2つの1×2アレイを備えたレギュラーレイアウトです(各壁に2つのサブウーファースが1列にある)。もともとサブウーファースの数が少ないので減らすことはできません。

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| <b>Layout 2-2</b> | <b>Ideal Layout</b><br>(tolerates minimal displacement) | <b>Ideal Layout with Displacement</b><br>(tolerates maximal recommended displacement) |
|-------------------|---|---|

### 3-3 の理想的なレイアウト

2つの1×3アレイを備えたレギュラーレイアウトです(各壁に3つのサブウーファースが1列にある)。サブウーファースの数を1つ減らすことができます。

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| <b>Layout 3-3</b> | <b>Ideal Layout</b><br>(tolerates minimal displacement)   | <b>Ideal Layout with Displacement</b><br>(tolerates maximal recommended displacement)   |
| <b>Layout 3-2</b> | <b>Reduced Layout</b><br>(tolerates minimal displacement) | <b>Reduced Layout with Displacement</b><br>(tolerates maximal recommended displacement) |

縮小レイアウトでは、サブウーファースは通常的位置に配置します(IV. a 参照)。

### 4-4 の理想的なレイアウト

2つの2×2アレイを備えたレギュラーレイアウトです(各壁にそれぞれ2つのサブを含む2行2列)。サブウーファースの数を2つ減らすことができます。



|                            |   |   |
|----------------------------|---|---|
| <b>4-4 Layout</b>          | <b>Ideal Layout</b><br>(tolerates minimal displacement)   | <b>Ideal Layout with Displacement</b><br>(tolerates maximal recommended displacement)   |
| <b>4-2 and 3-3 Layouts</b> | <b>Reduced Layout</b><br>(tolerates minimal displacement) | <b>Reduced Layout with Displacement</b><br>(tolerates maximal recommended displacement) |

縮小レイアウトの場合、サブウーファーは通常的位置に配置する必要があります(IV. a 参照)。天井が高すぎてサブウーファーを1列しか配置できず、部屋が狭すぎて3列必要な場合は、3-3に減らすよりも4-2に減らすことをお勧めします。

### 6-6 の理想的なレイアウト

2つの2×3アレイを備えたレギュラーレイアウトです(各壁に3つのサブユニットが2行、2つのサブユニットが2列)。サブウーファーの数を12から8に減らすことができます。

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>6-6 Layout</b>                       | <b>Ideal Layout</b><br>(tolerates minimal displacement)             | <b>Ideal Layout with Displacement</b><br>(tolerates maximal recommended displacement)   |
|   | <b>Reduced Layout</b><br>(tolerates minimal displacement)           | <b>Reduced Layout with Displacement</b><br>(tolerates maximal recommended displacement) |
| <b>6-5, 6-4, 5-5, &amp; 5-4 Layouts</b> | <b>Ideal Layout</b><br>(tolerates minimal displacement)             | <b>Reduced Layout with Displacement</b><br>(tolerates maximal recommended displacement) |
| <b>5-3 &amp; 6-2 Layouts</b>            | <b>Reduced Layout (Regular)</b><br>(tolerates minimal displacement) |   |

6-4 および 5-4 のケースでは、4つのアブソーバーを通常的位置に配置する必要があります(IV. a 参照)。ただし、処理を適切に実行できるほど天井が低く、サブウーファーを3列必要とするほど広い部屋があることはまれです。したがって、3つまたは5つのサブウーファーを1つの壁に配置する場合は、次のように配置することをお勧めします(図4参照)。

- 3つのサブウーファー(不規則な三角形レイアウト): 1つのサブウーファーは幅の1/2、高さの1/4(床から)の位置にあり、他の2つは幅の1/6と5/6と高さの3/4の位置にしてください。
- 5つのサブウーファー(不規則な台形レイアウト): 幅の1/4および3/4、高さ(床から)1/4の位置に2つのサブウーファー、および(床から)の1/6、1/2、および5/6の位置に3つのサブウーファー幅と高さの3/4(床から)。

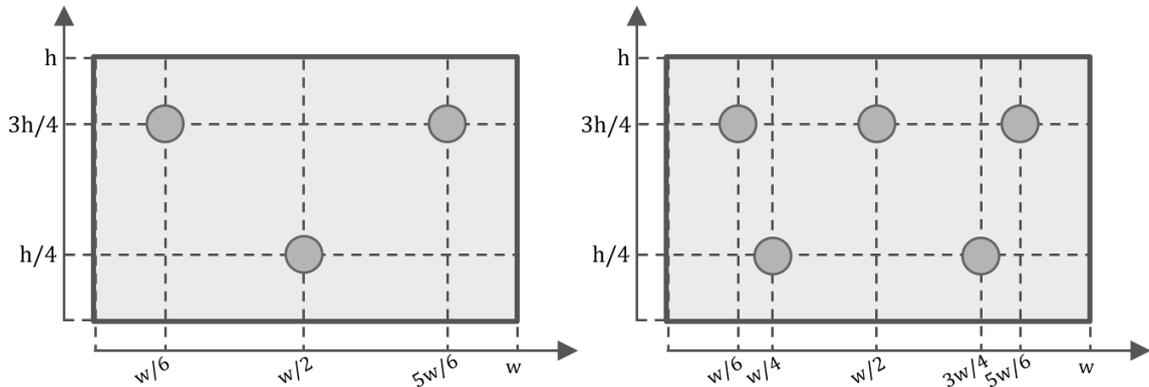


図 4. 3つのサブウーファーと5つのサブウーファーを備えた不規則なレイアウト

## D. サブウーファーの交換に関するガイドライン

### すべてのレイアウトに共通のガイドライン

1. 一般に、サブウーファーを互いに近づけるよりも、サブウーファーを離す方が好まれます。最悪の状況は、すべてのサブウーファーが隣接している(単一の音響源があるのと同様)ことです。
2. 通常的位置座標の少なくとも1つを尊重することをお勧めします。言い換えれば、正規の位置からの移動は水平または垂直のいずれかに実行する必要がありますが、両方向に同時に移動させることはお勧めできません。

このセクションの残りの部分では、水平変位を部屋の幅のパーセンテージとして、垂直変位を高さのパーセンテージとして示します。

### 2-2 レイアウトのケース:

- エミッターとアブソーバーを同時に水平方向に移動することは避けてください。エミッタまたはアブソーバーのいずれかが通常の水平位置にある場合、最高のパフォーマンスが得られます。
- エミッタとアブソーバーは同時に垂直方向に変位できますが、その範囲は10%を超えないようにしてください。

### 3-3 レイアウトのケース:

- 中央のエミッターのみを移動した場合:
  - 水平方向: 15% (図 5)

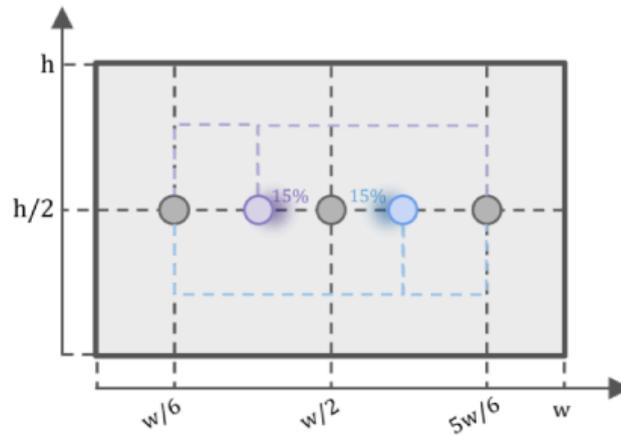


図 5. センターエミッタを水平方向に移動

- 垂直方向:30% (図 6)

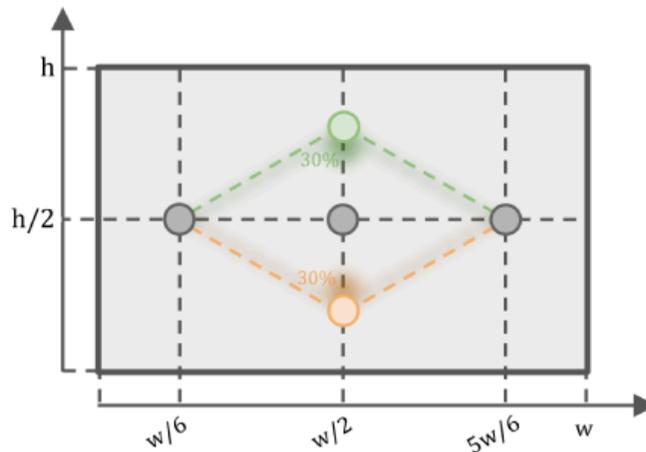


図 6. センターエミッタを垂直に移動

すべてのサブを同じ量だけ垂直にシフトするよりも、三角形または対角線を形成する方が良い:

- すべてのエミッタを垂直に移動すると、次のようになります。
  - すべてのサブウーファーを上下に移動する場合 +/- 5% (図 7)

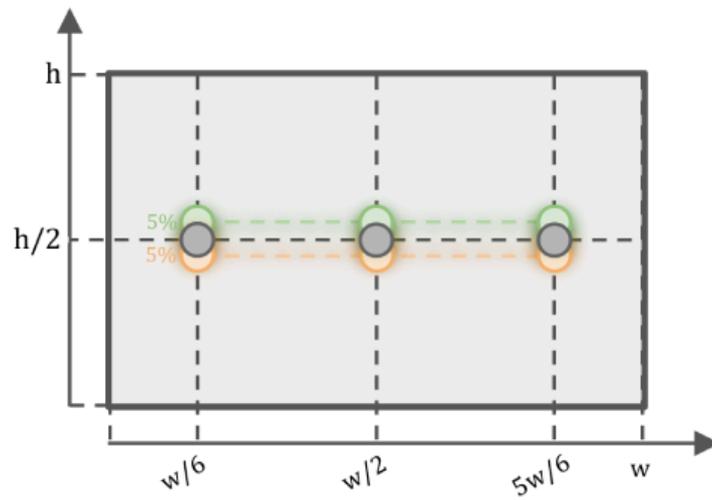


図 7. 3つのエミッタすべてを垂直方向に移動

- 三角形を形成させる場合は +/- 15% (図 8)

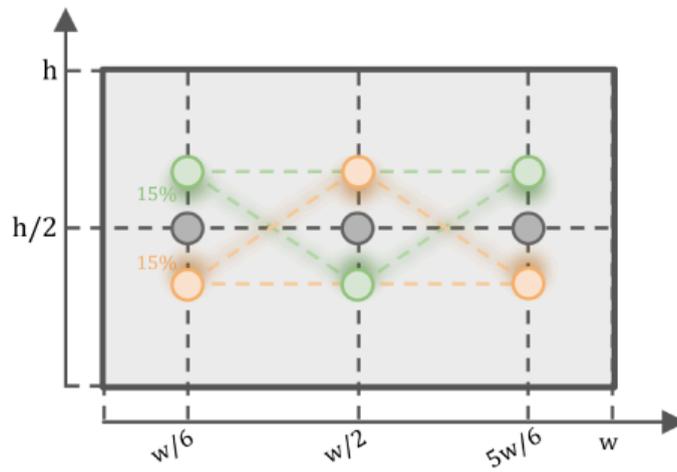


図 8. 3つのエミッタすべてを垂直に配置 (三角形レイアウト)



- 対角線に配置する場合は +/- 20% (図 9)

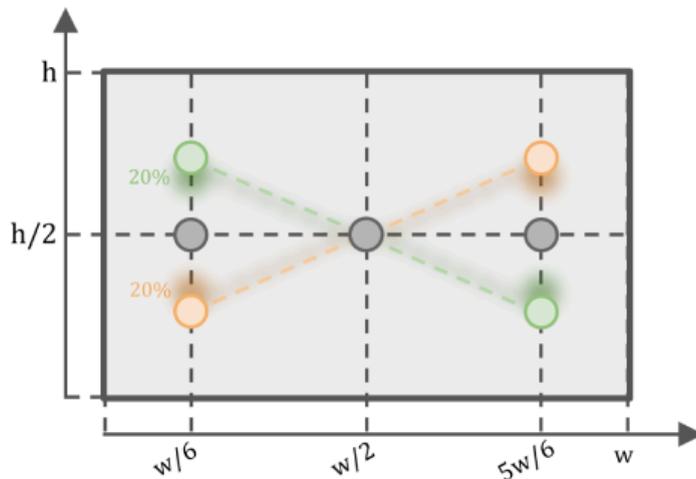


図 9. サイドエミッタを垂直に配置 (対角レイアウト)

- すべての吸収体が垂直に移動される場合、制限はより柔軟になります。
  - すべてのサブウーファーを上下に移動させる場合は +/- 10%
  - 三角形である場合は +/- 30%
  - 対角線に配置する場合は +/- 30%

### 3-2 レイアウトのケース:

- 中央のエミッタのみを移動させる場合:
  - 水平方向: +/- 15%
  - 垂直方向: +/- 30%
- すべてのエミッタを垂直に移動させる場合:
  - すべてのサブウーファーを上下に移動する場合: +/- 15%
  - 三角形に配置する場合: +/- 20%
  - 対角線に配置する場合: +/- 20%
- 2つの吸収体を垂直に移動させる場合:
  - すべてのサブウーファーを上下に移動させる場合: +/- 10%
  - 対角線に配置する場合: +/- 20%



#### 4-4 レイアウトのケース:

- エミッタを移動させる場合 (水平または垂直): +/- 10%(図 10 および 11)

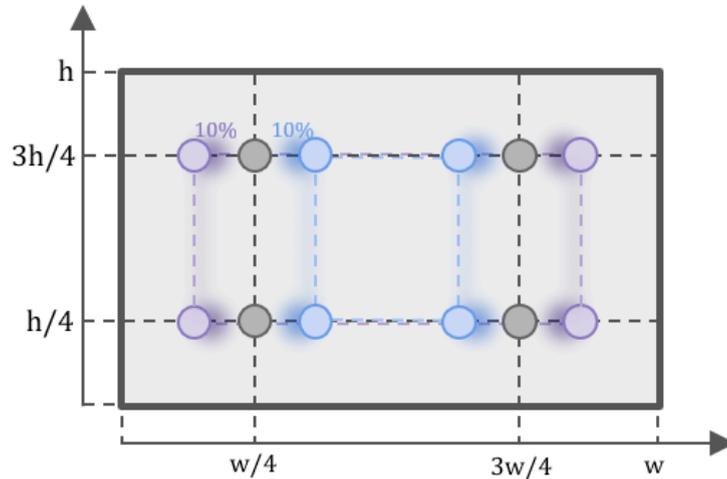


図 10. 4つのエミッターすべてを水平方向に移動

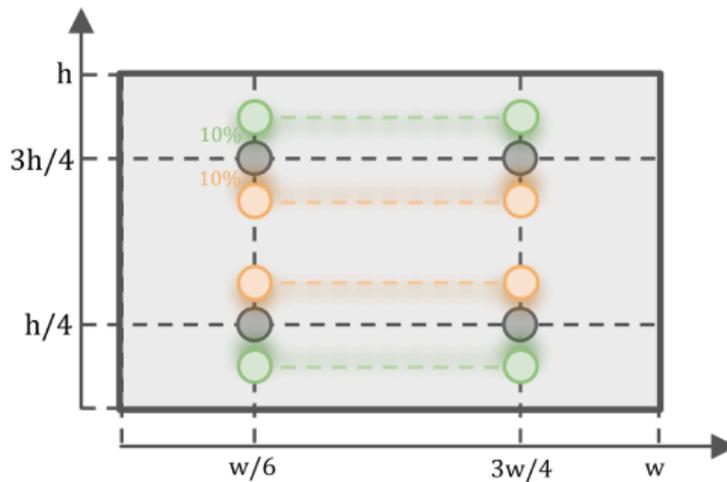


図 11. 4つのエミッターすべてを垂直方向に移動

- 吸収体を移動する場合 (水平または垂直): +/- 15%
- サブウーファーを互いに近づけたり、すべてを一方方向に移動したりするよりも、サブウーファーを互いに遠ざける方が好ましい。
- リスニングエリアが天井から十分に離れている場合 (サンプリングゾーンが天井よりも床に近い場合)、サブウーファーを台形レイアウトに移動させることをお勧めします。\*(図 12)

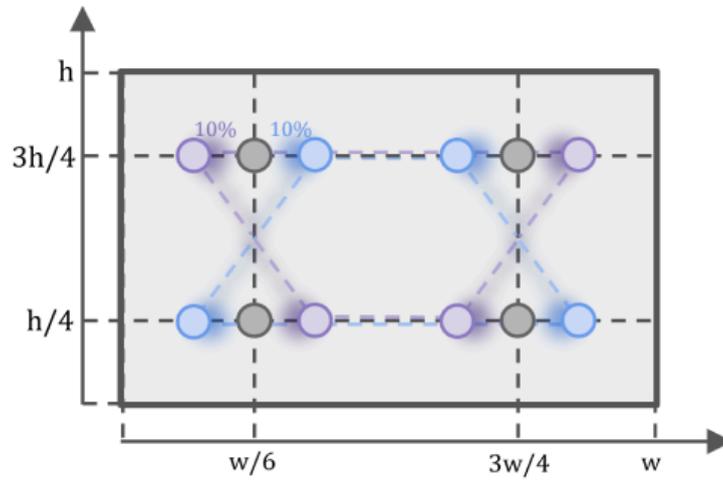


図 12. 4つのエミッタすべてを水平に配置 (台形レイアウト)

\*上部のサブを互いに遠ざけ、下部のサブを互いに近づけたり、その逆に移動したりします。



---

## VI. 結論

Trinnov 社は、人間が複雑な三次元の音場をどのように認識するかについての基礎研究を行うために、20 年前に設立されました。初期の研究の多くは、より小さな部屋(自宅)で同じ音場を再現することを目的として、たとえばコンサート会場でそのような音場をキャプチャする可能性に焦点を当てていました。実際、当社のオプティマイザーテクノロジーは、その初期の研究の直接の結果として開発されました。

しかし、低周波と同じ小さな部屋(コンサートホールやスポーツスタジアムではなく住宅サイズの部屋)との相互作用に関しては、学ぶべきことがたくさんありました。多くの科学者や技術者がこの問題に取り組んできましたが、その研究のほとんどは、これらの周波数で見つかった問題を軽減させる方法につながりました。

私たちは、同じ懸念を解消する方法があるかどうかを検討することにしました。

研究の過程で、私たちは小さな部屋における低周波の複雑な仕組みについて多くのことを学びました。その研究から生まれたテクノロジーを実装するには、5 年、さらには 10 年かかるかもしれないと予想しています。要するに、今後はさらに多くのことが起こるのです。

私たちが学んだことの最高かつ最良の実装方法は、常に従来の *Double Bass Array (DBA)* にある程度の類似性を持っていると期待しています。**WaveForming** は、洗練されたアルゴリズムに大量の「インテリジェンス」を組み込むことで、そのような設計をより柔軟かつ効果的にします。したがって、最初に **WaveForming** の最適な実装を導入するという決定を下しました。私たちは、この長年にわたる研究プロジェクトのおかげで何が可能になったかを実証したいと考えています。

これは **WaveForming** 技術のリリースの始まりにすぎません。私たちは、これまでに学んだことによって可能になる機能の範囲を拡大する予定です。これには、フロントとリアのベースアレイだけでなく、他のそれほど要求の多くないシステムの設計にも適用できる新機能も含まれています。当社独自のハードウェアプラットフォームによって可能になった強力な PC ベースの信号処理により、これらの機能を開発し、簡単なソフトウェアアップデートでお客様に提供できるようになり、人があまり行かない道を歩むという当社の数年前の決断が裏付けられました。

この短いホワイトペーパーが興味深く、勉強になると思っただけであれば幸いです。私たちは、人々が低周波のダイナミクスとディテールの世界を発見できるよう支援できることを楽しみにしています。この世界は、通常家庭での低周波再生を支配する低音反射の不協和音と、その結果生じるモーダルの問題を除去することで明らかになります。