

ルームアコースティックスの基礎を理解するワークショップ

～Vicousticで美しく室内音響改善を～



目次

ルームアコースティック（室内音響）の基礎知識

ステップ1／ダイレクトサウンドの最大化

ステップ2／初期反射音のコントロール

ステップ3／後期反射音の最適化

ステップ4／フラッターエコーと定在波

スピーカー配置、リスニングポジション

Vicousticブランド紹介

Q&A

ルームアコースティック（室内音響）

部屋は、スピーカーと一緒に演奏する楽器と見なすことができます。

他の楽器と同じように、部屋のチューニングが適切でないと、音楽の全体的なパフォーマンスが損なわれることがあります。

スピーカーが、室内で再生されているとき、リスナーは「直接音」「初期反射音」「後期反射音」を組み合わせで聴くことになります。

直接音

リスナーに届く最初の音で、その名の通り、ラウドスピーカーからリスナーに直接届く音です。

初期反射音

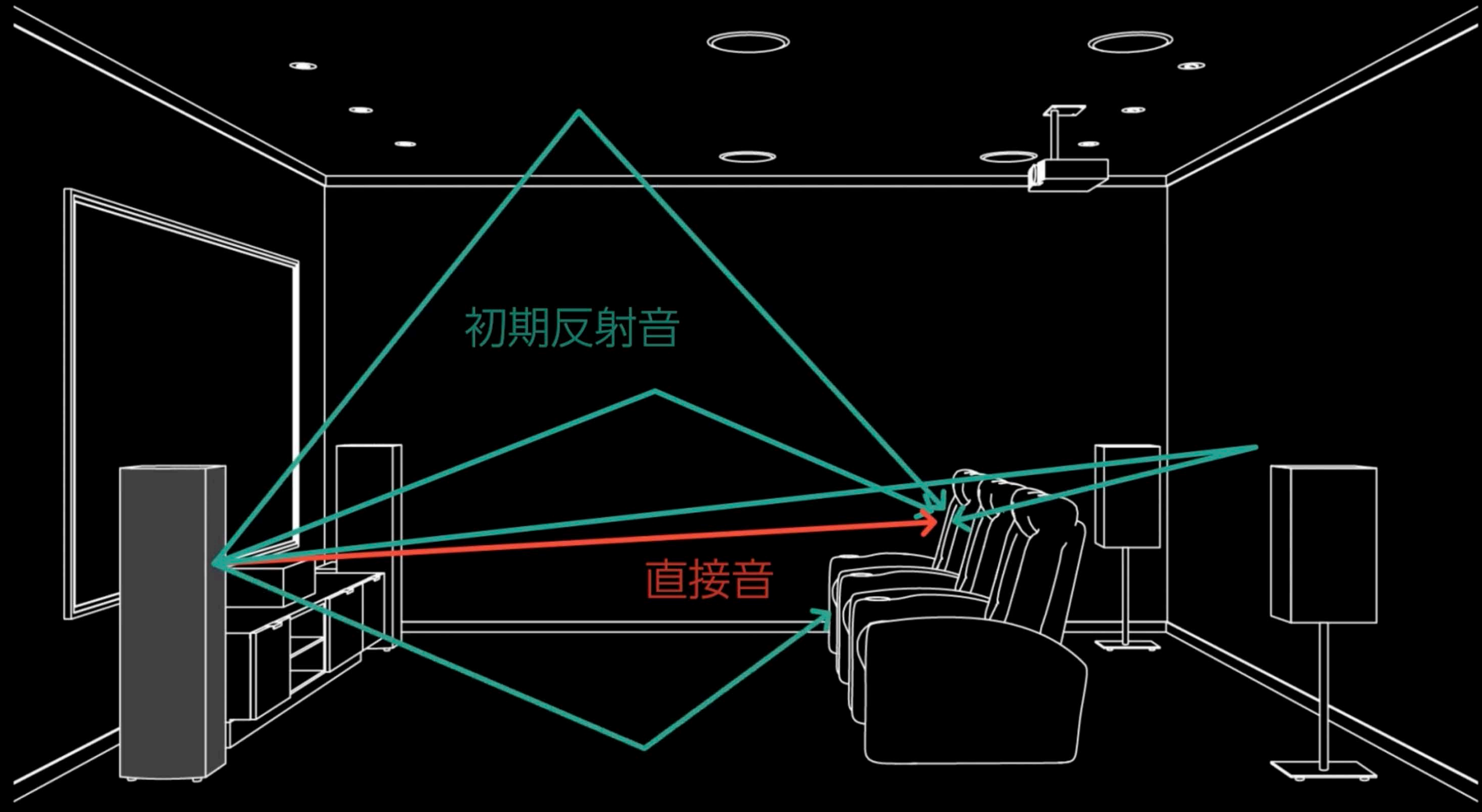
直接音に続いて、側面、前面、背面の壁、天井、床から多くの一次反射音がやってきます。

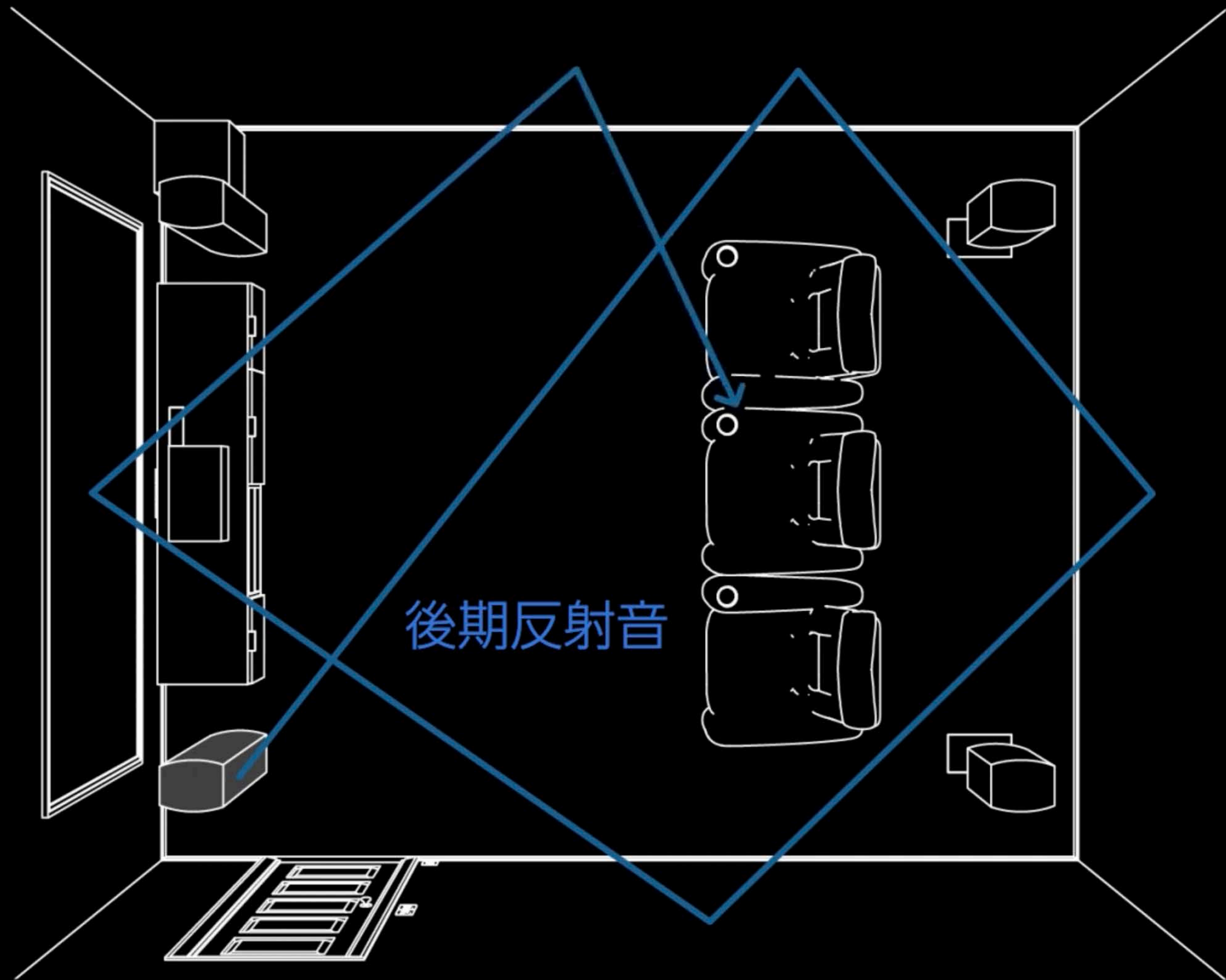
後期反射音

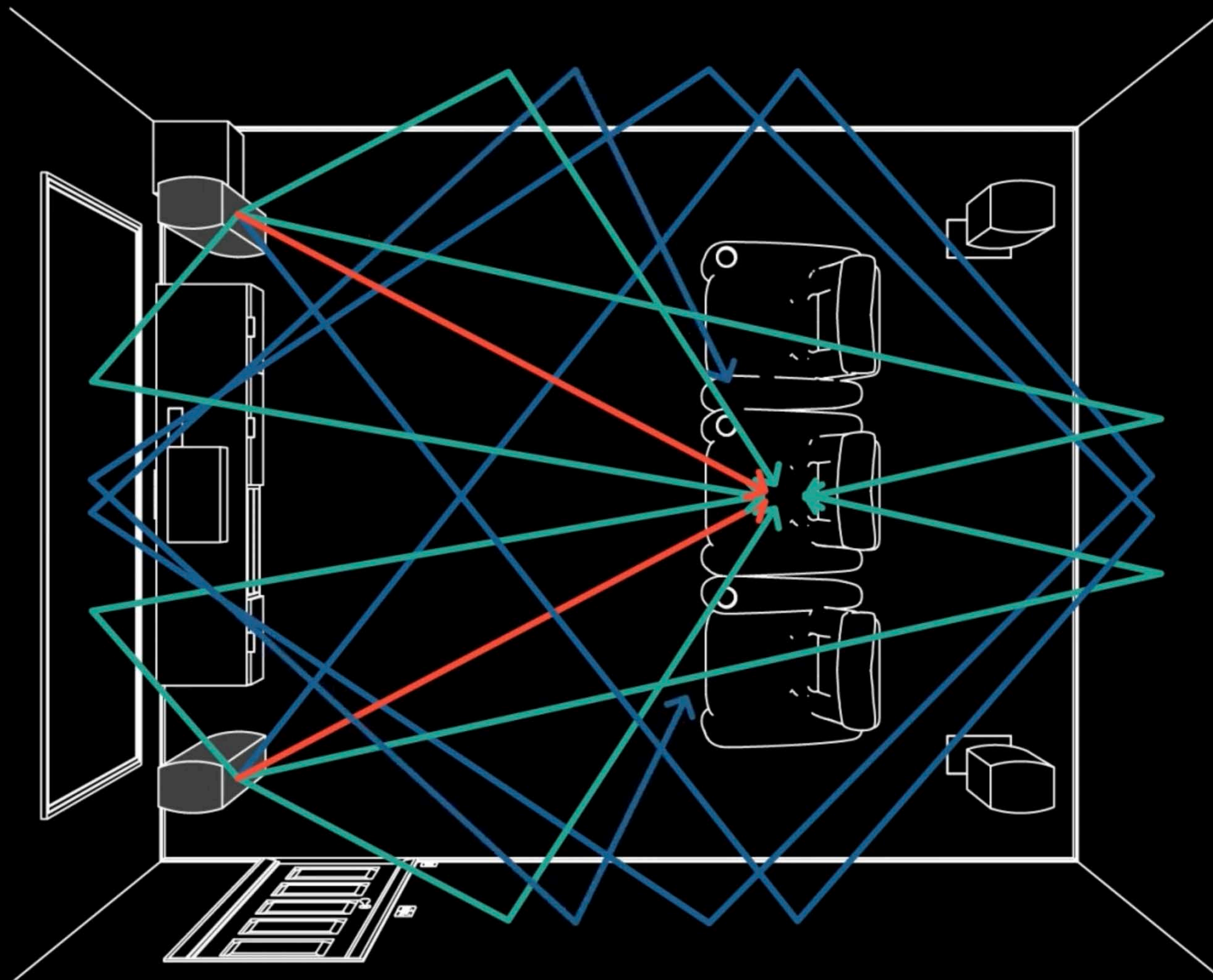
最後に、吸収されなかった音は、部屋の表面で反射し続け、より遅い段階でリスナーに到達します。

後期反射音は、一般的に「残響」とも呼ばれるものです。

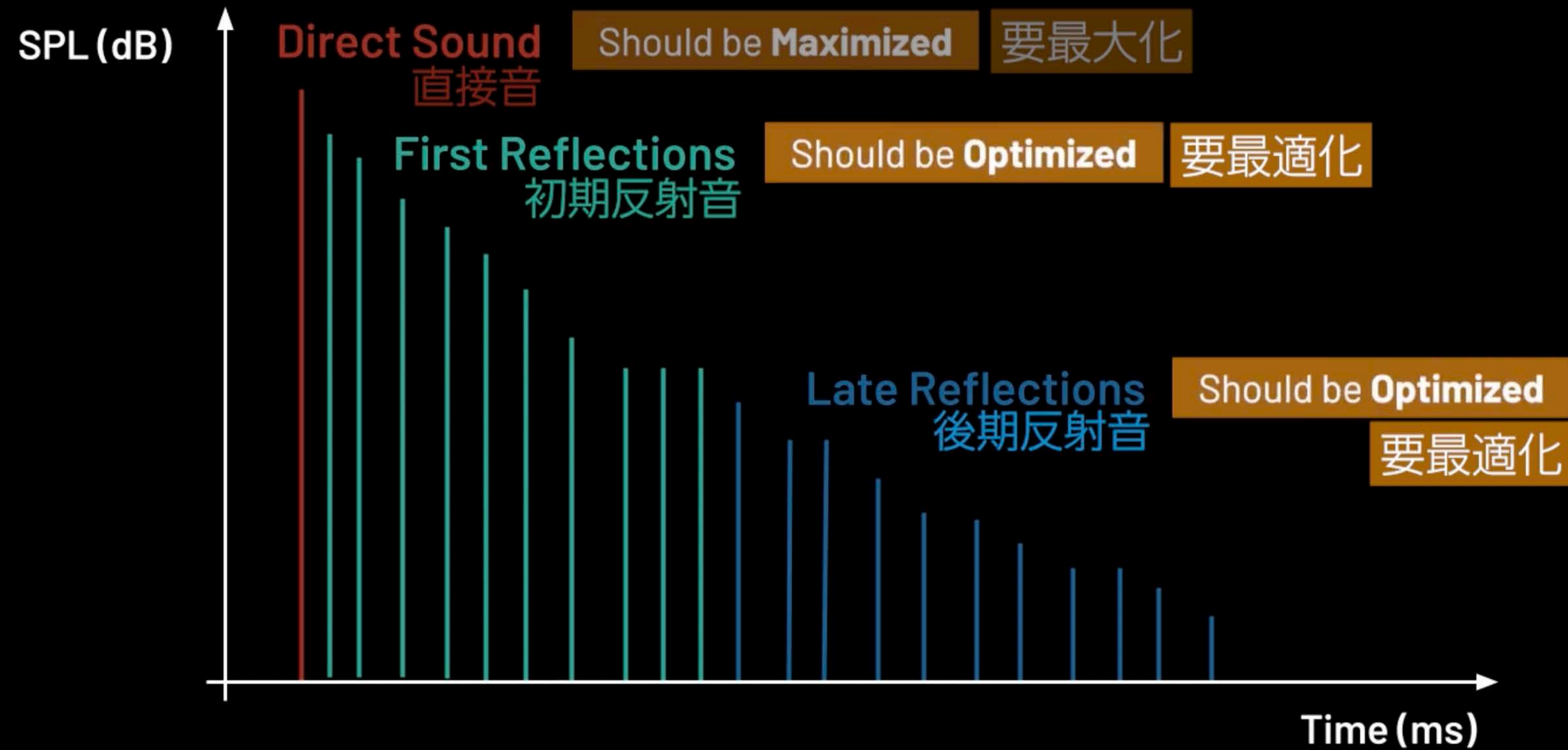
数値は残響時間、英語の場合Reverbration Time (RT) として表されます。







Room's Impulse Response



ルームアコースティック調整：4つの基本ステップ

ステップ1／ダイレクトサウンドの最大化

ステップ2／初期反射音のコントロール

ステップ3／後期反射音の最適化

ステップ4／フラッターエコーと定在波

ステップ1／ダイレクトサウンドの最大化

ダイレクトサウンドとは、私たちが聴きたい音、つまりスピーカから私たちの耳に直接届く音であり、そのために最大化されるべき音であると考えることができます。

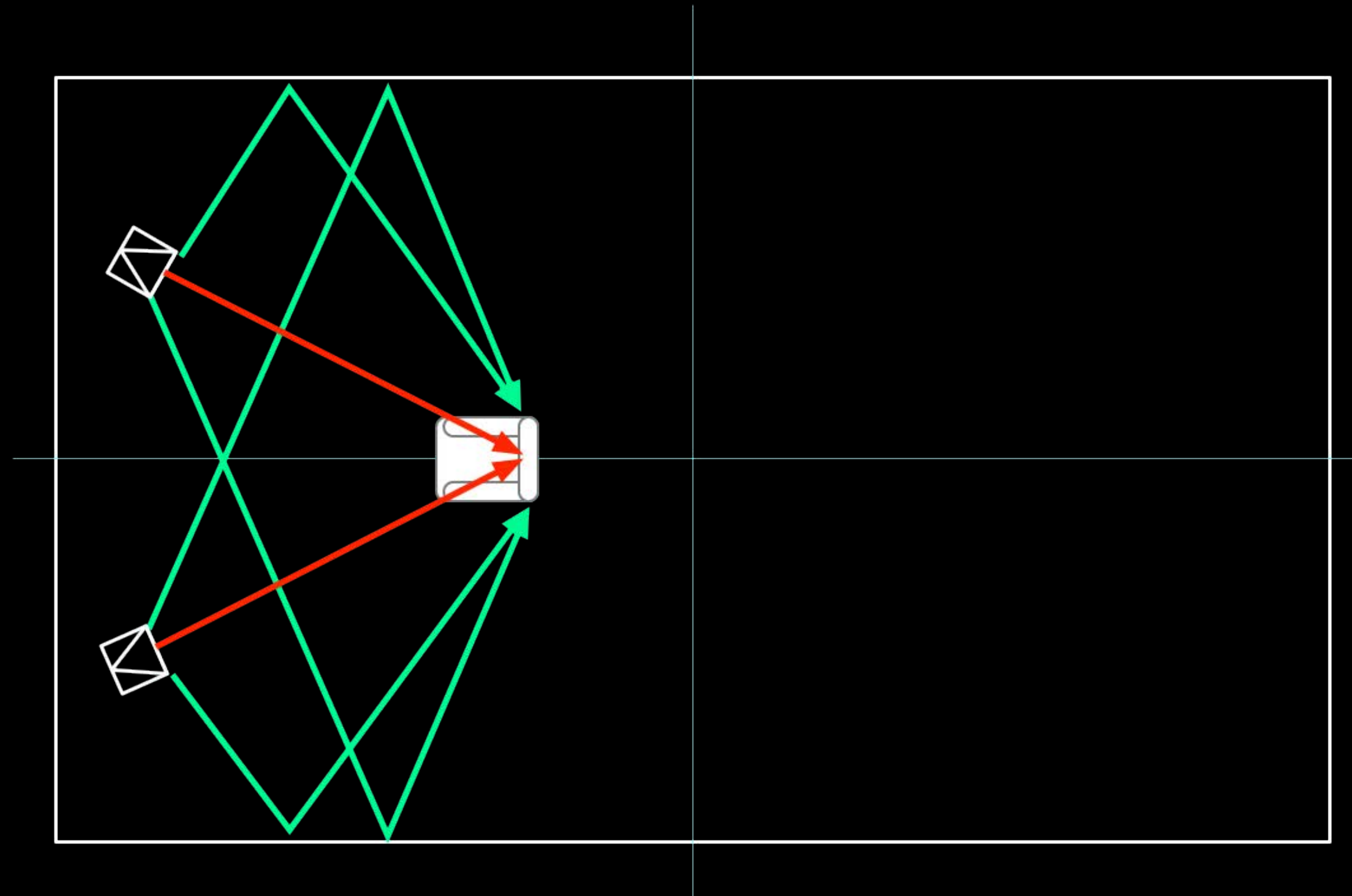
このため、スピーカーとリスナーの耳の間の経路を妨げないようにし、リスニングポジションに対するスピーカーの位置を最適化する必要があります。

最適なスピーカーのポジションの見つけ方は、後ほどのセクションで説明します。

ステップ2／初期反射音のコントロール

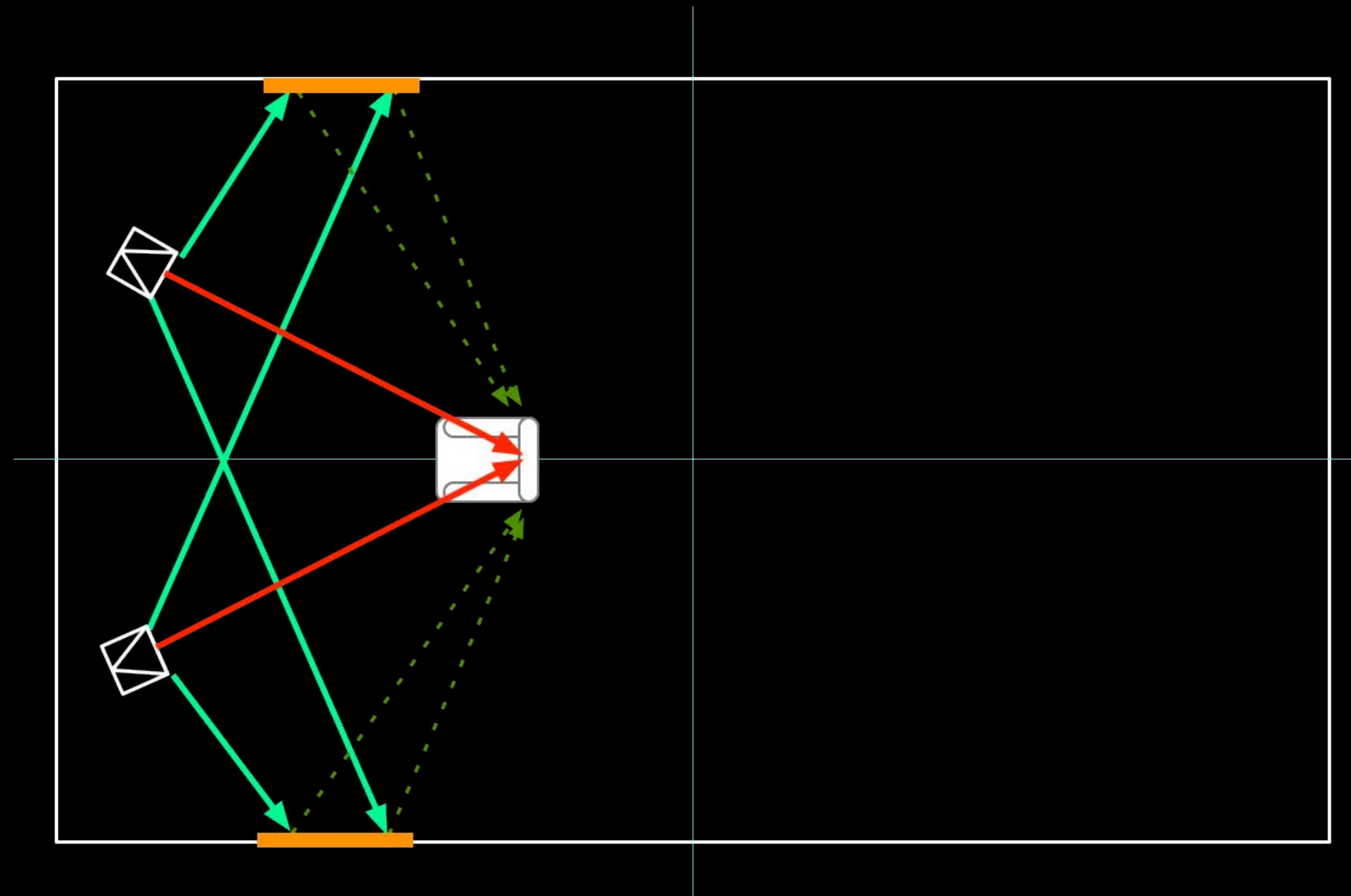
- ▶ 一次側方壁面反射
- ▶ 一次前方壁面反射
- ▶ 一次後方壁面反射
- ▶ 天井からの一次反射

一次側方壁面反射



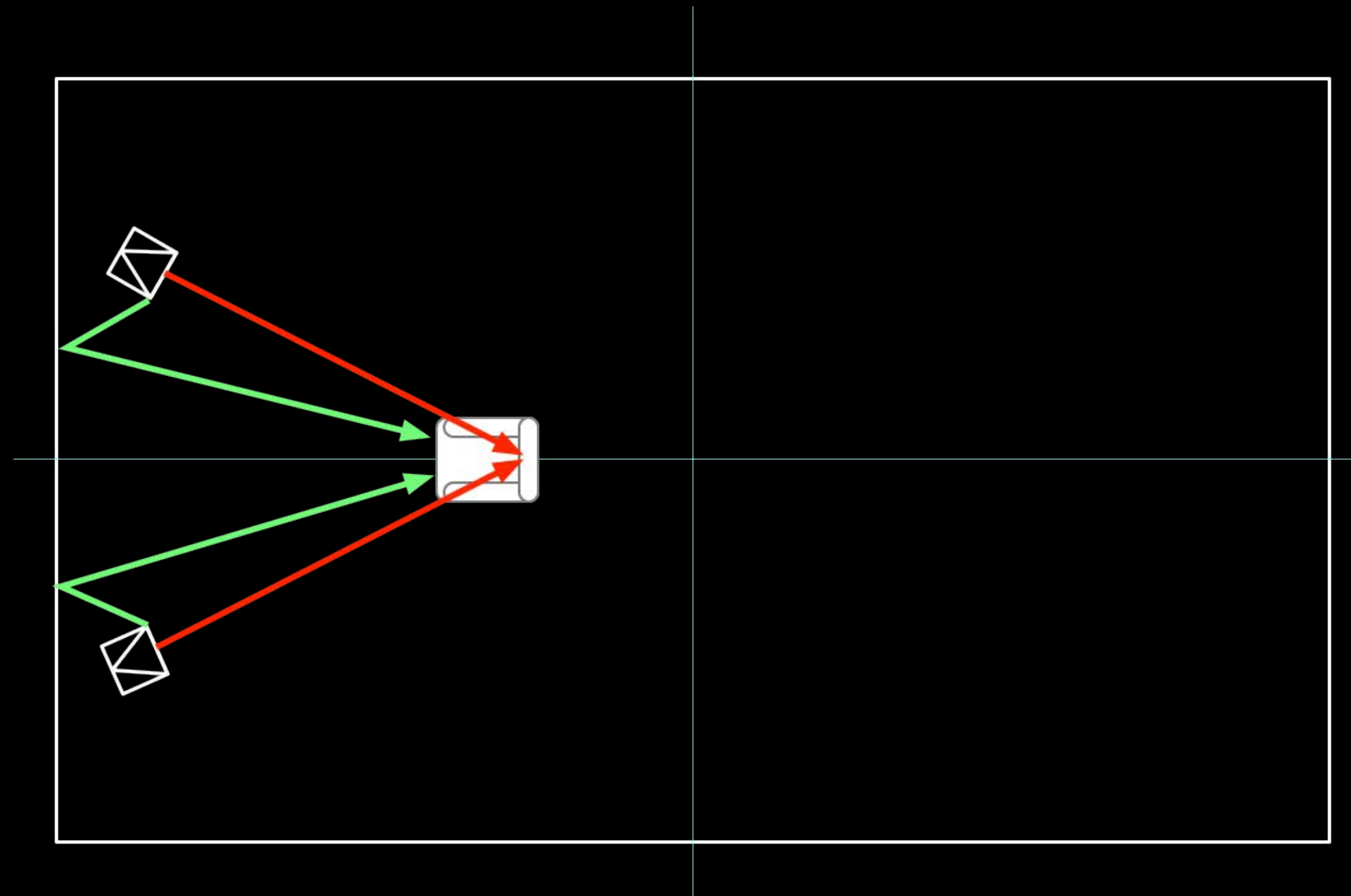
ステレオイメージの観点からは、左右の対称性、つまり **リスニングポイントから左右の壁までの距離が同じ** であることが、イメージシフトの問題を回避するために必要なことの一つです。

一次側方壁面反射



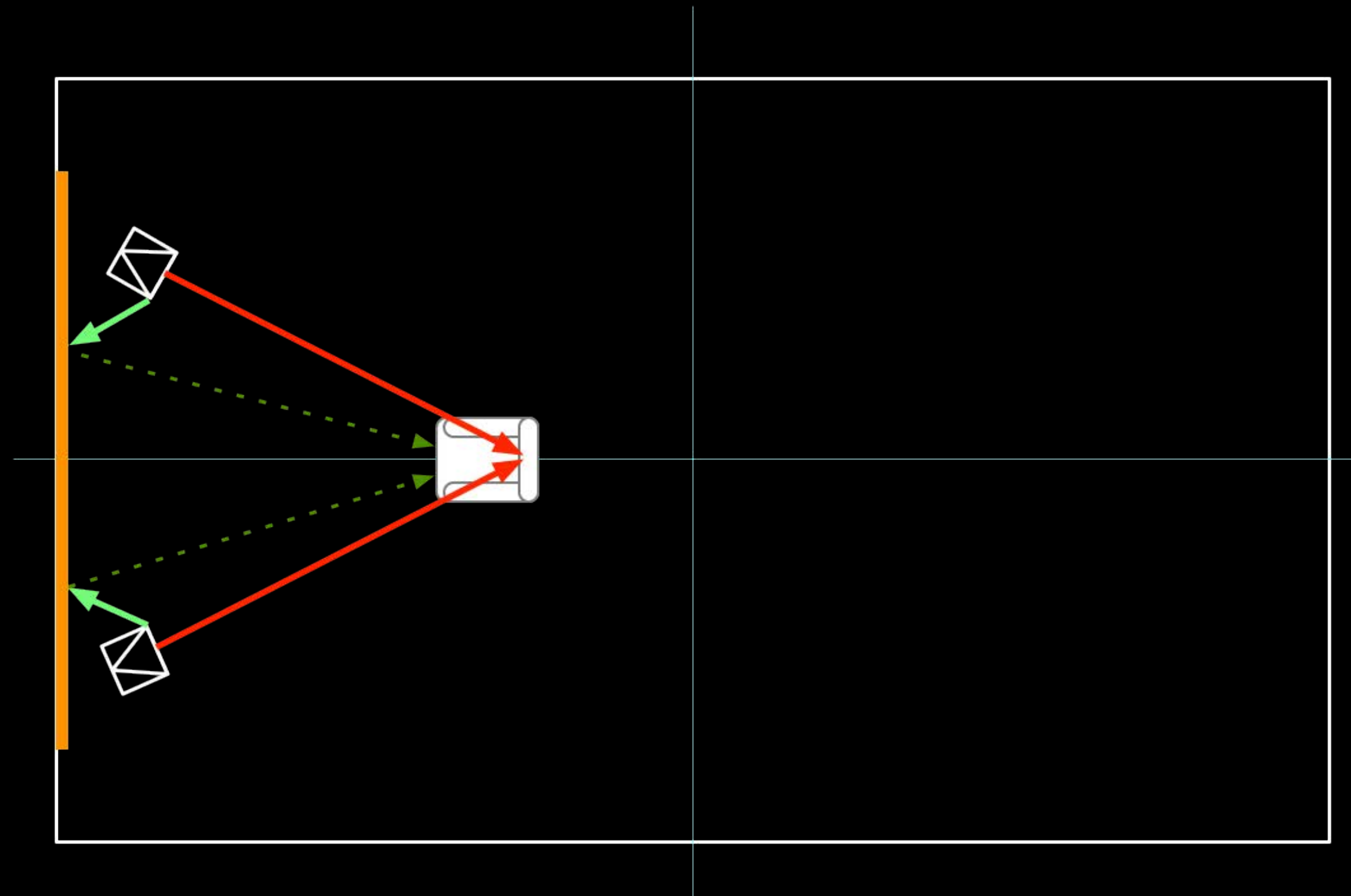
好みに応じて、音響拡散パネル、または音響吸収パネルを選択するのが GOOD!!

一次前方壁面反射



前壁一次反射については、音響心理学の研究により、「スピーカーの後ろの前壁に吸収体を追加すると（中略）音像の定位が向上し、色づきが減少する」ことが報告されています。

一次前方壁面反射



前壁には広帯域で、特に中～低周波数領域（スピーカーが無指向性になり始める領域）で高い効果を発揮する吸音系のパネルがGOOD!

スピーカーが無指向性になり始める領域???

周波数範囲毎の音波の伝搬



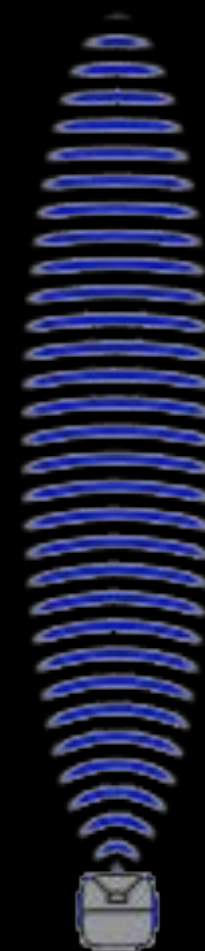
周波数帯：20~400Hz
音の広がり：360°



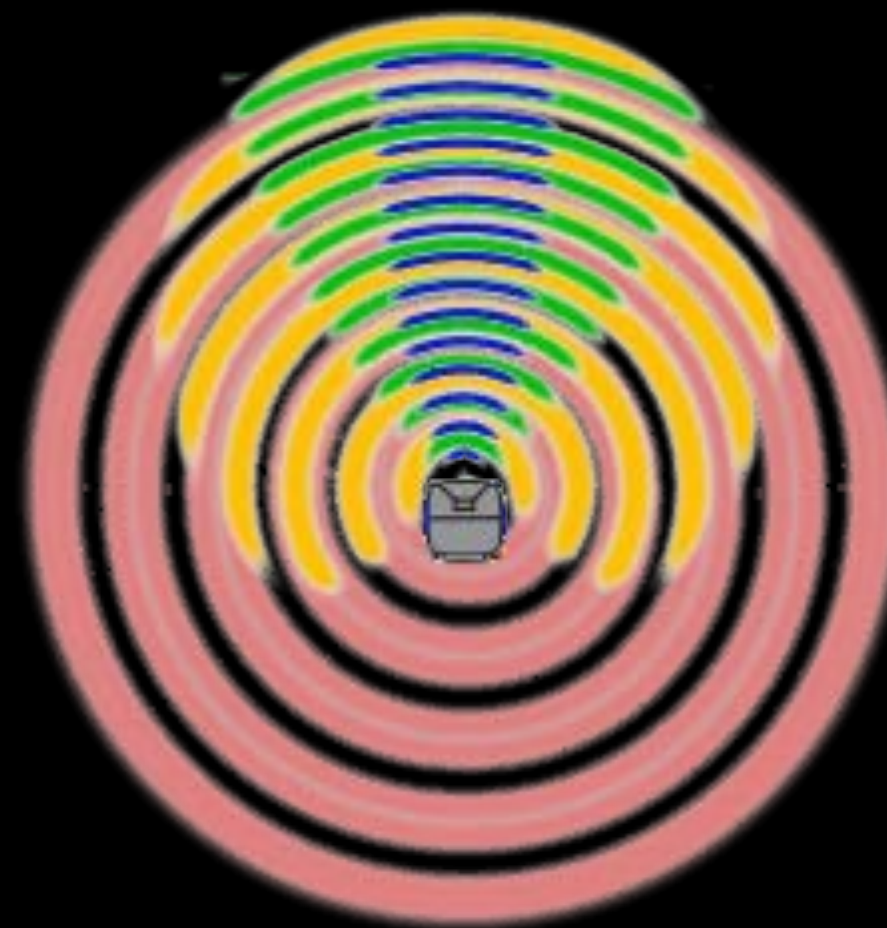
周波数帯：400Hz~2.5kHz
音の広がり：120°



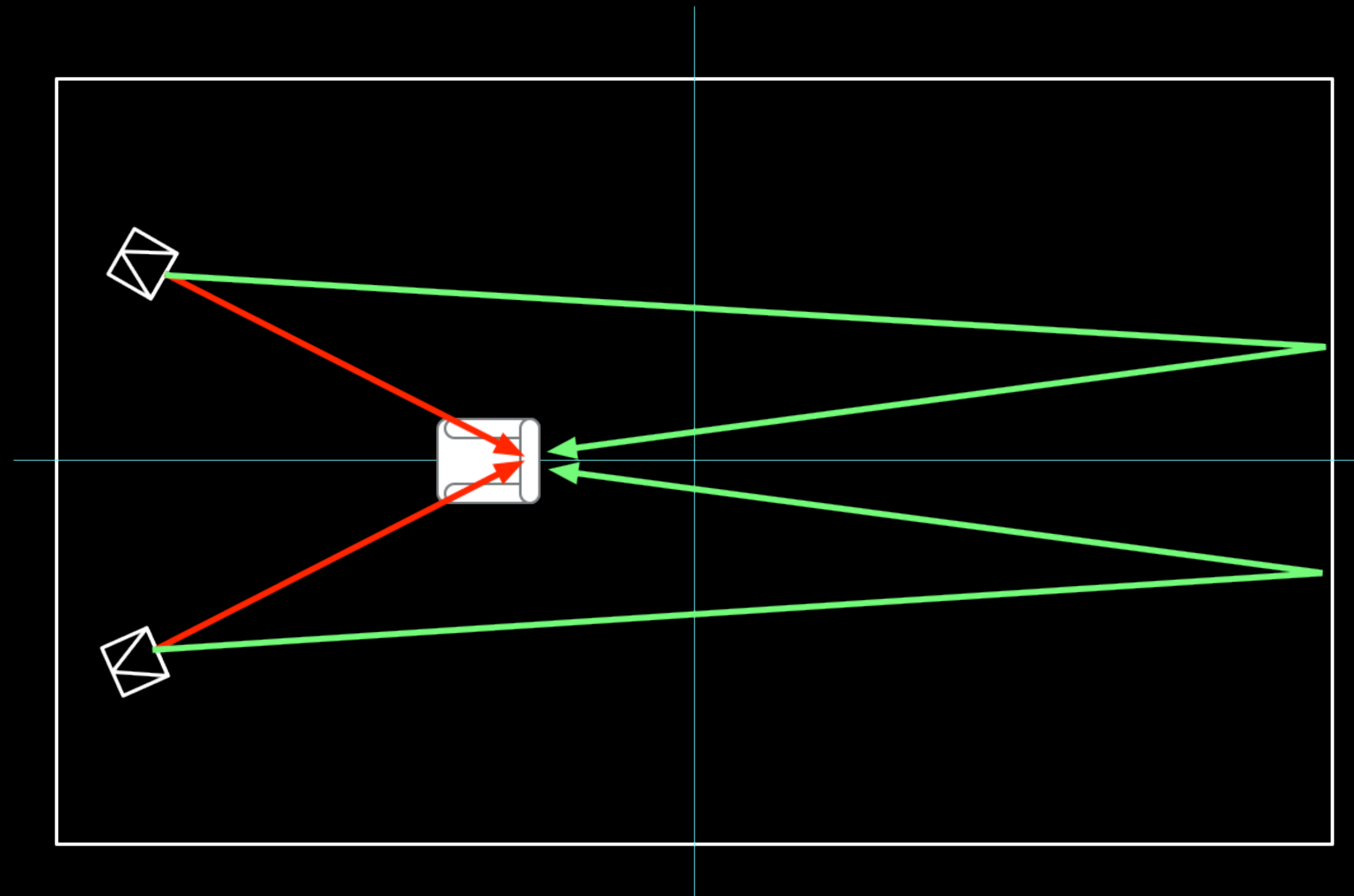
周波数帯：2.5kHz~10kHz
音の広がり：40°



周波数帯：10kHz~20kHz
音の広がり：10°

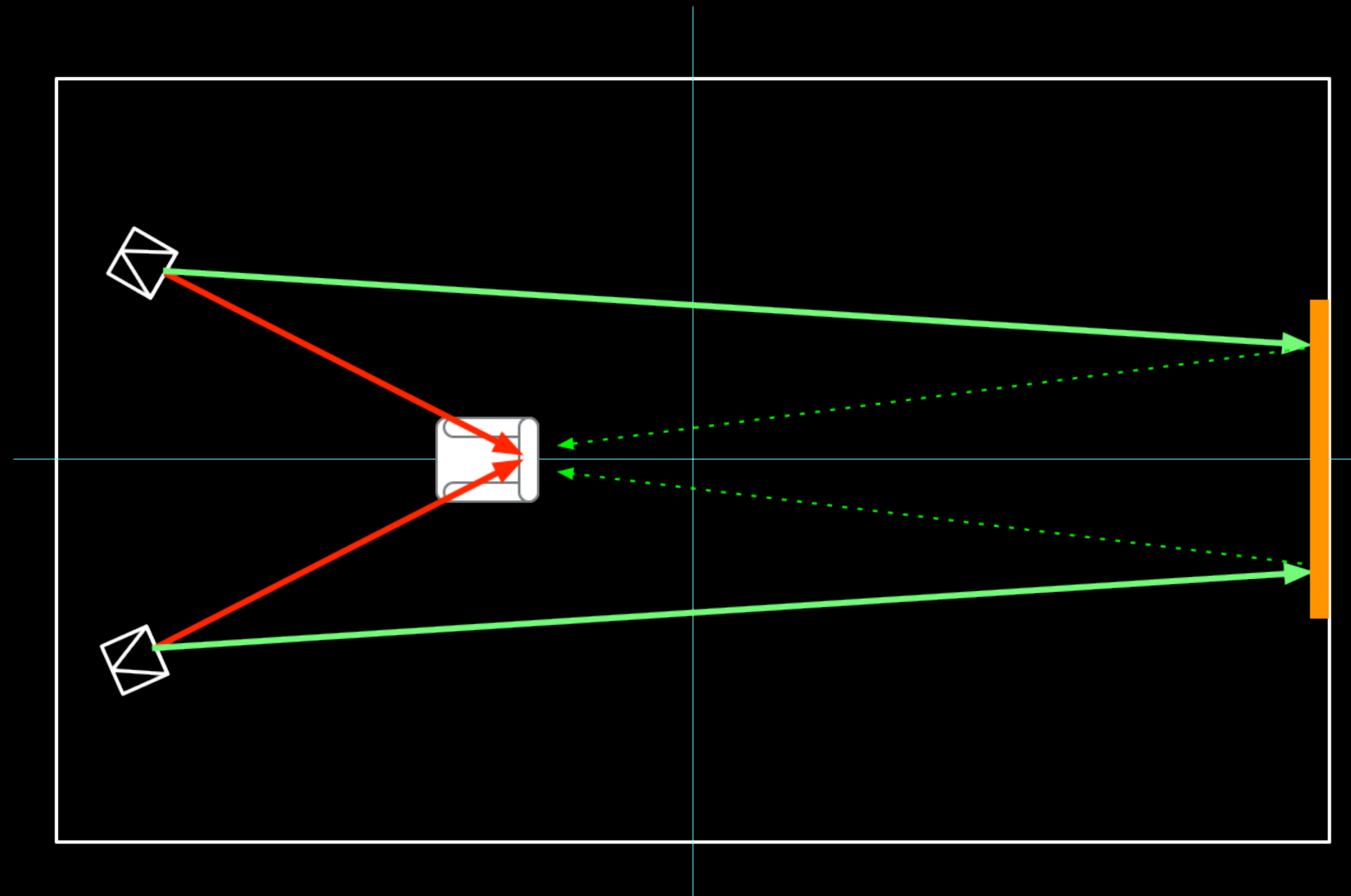


一次後方壁面反射



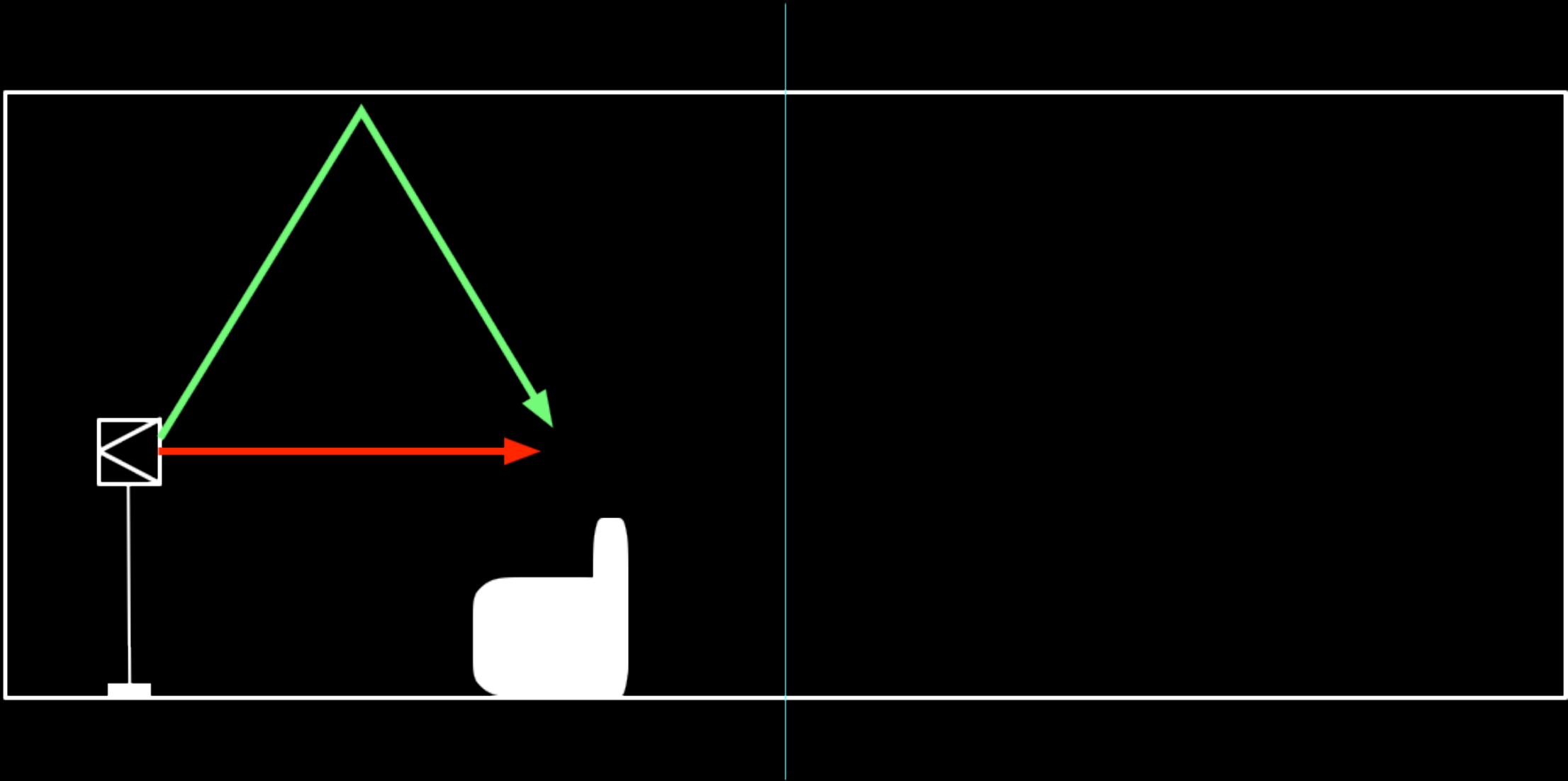
後方壁面からの一次反射は、側面や前面からの一次反射に比べると反射音の影響が少ないと考えられるため
主に部屋の残響時間を最適化し、音響的な欠陥の発生を最小限に抑えるようにコントロールする必要があります。
(「ステップ3 後期反射の最適化」および「ステップ4 フラッターエコーと定在波」参照)

一次後方壁面反射

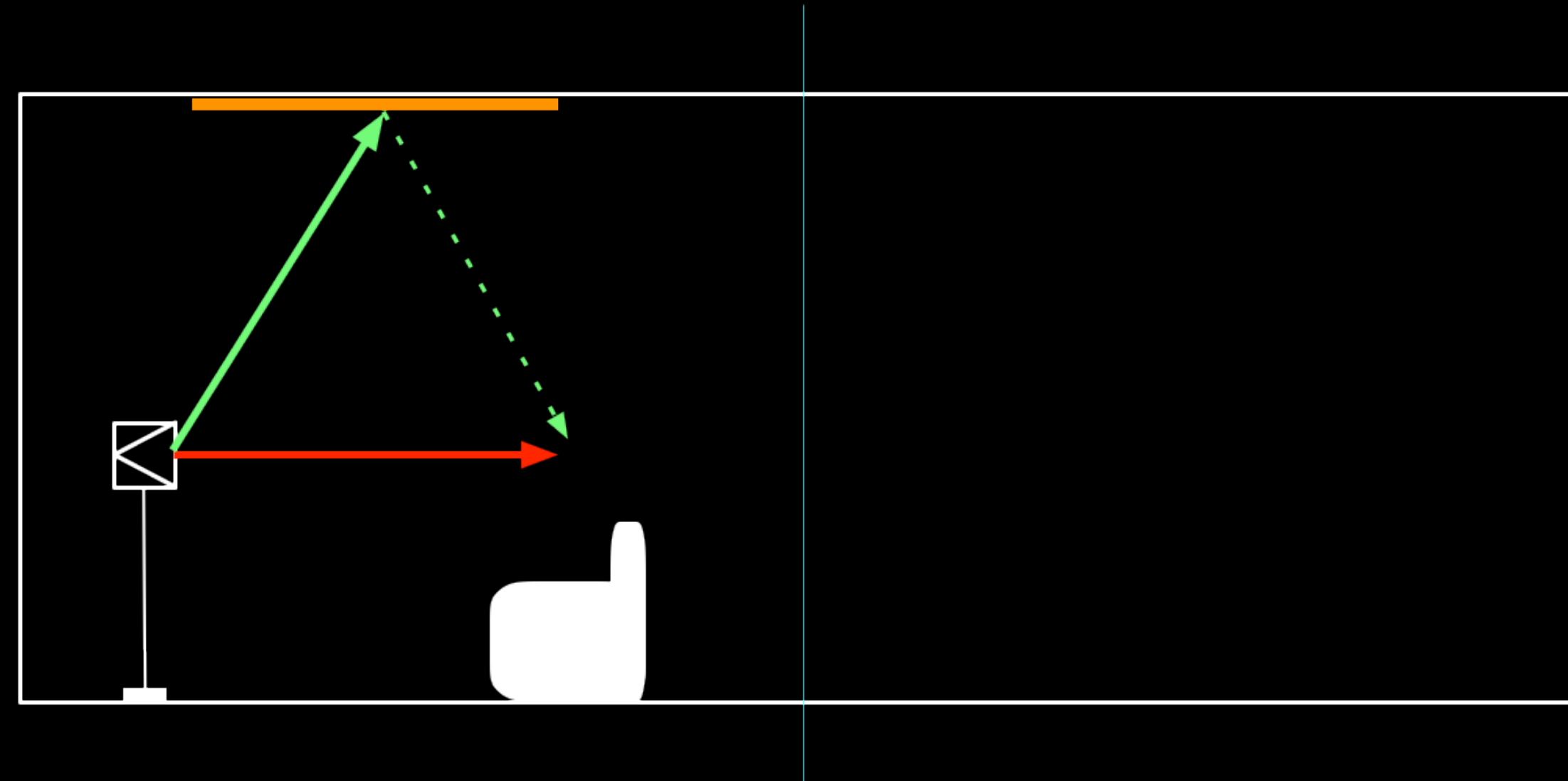


拡散パネル、吸音パネル、またはその両方を用いてコントロールするのがGOOD！
ただし、拡散パネルはリスニングポイントから1m以内に設置すると、位相不良を起こす可能性があるので注意が必要。

天井からの一次反射



天井からの一次反射



後方壁面からの一次反射と同様に、天井の処理も部屋の残響時間を最適化することを一次の目標とします。残響のテイルや低域、残響時間などのリスニング条件を微調整するために、**吸音パネルと拡散パネルを**組み合わせて使用するのがGOOD!

床の反射はどうするの??

【ビデオ】

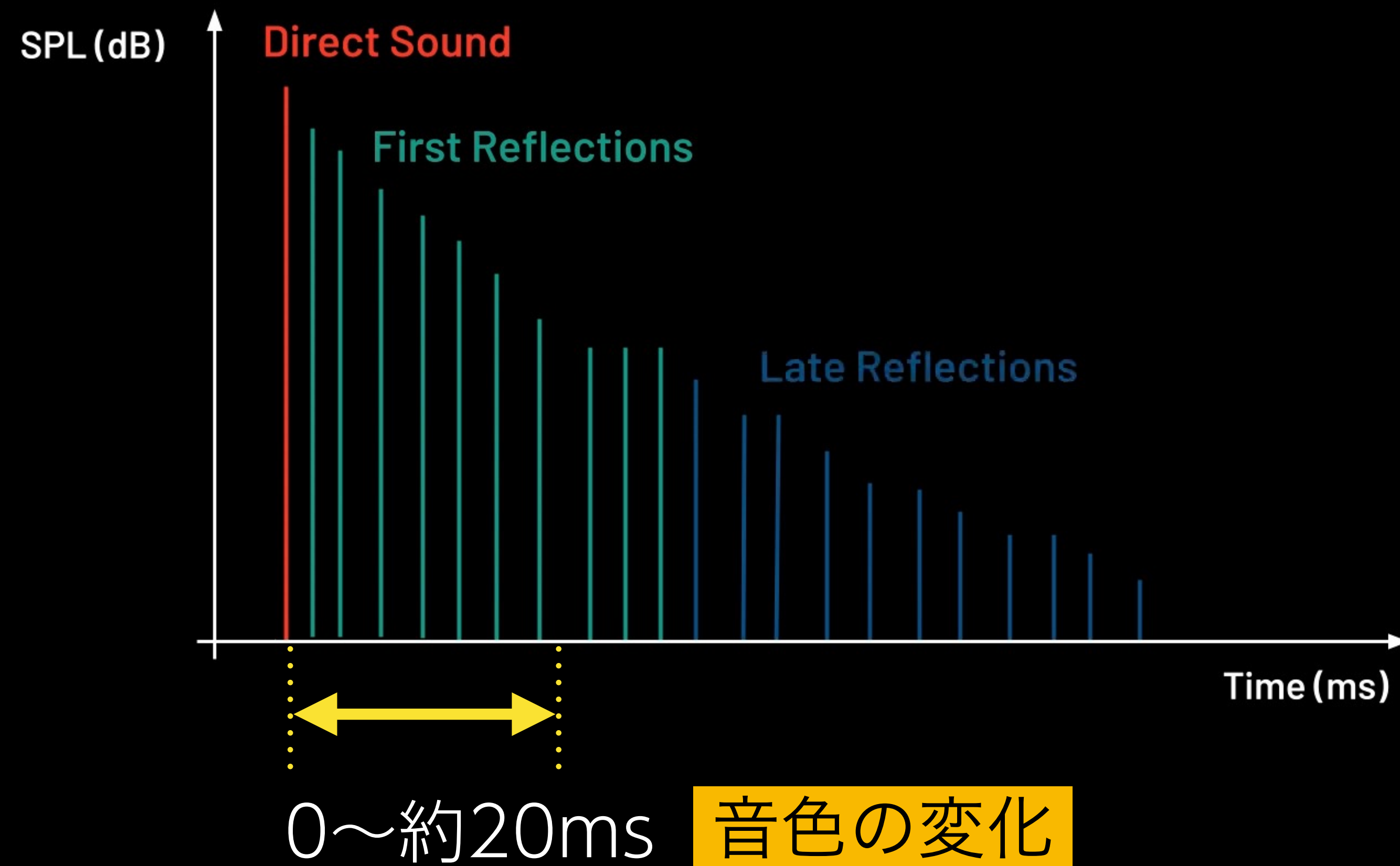
初期反射対策として壁にパネルを貼る位置の決め方

アーカイブ動画をYouTubeにてご覧いただけます

https://youtu.be/O0bIPE6u_Hk



なぜ初期反射の処置が大切なのか？

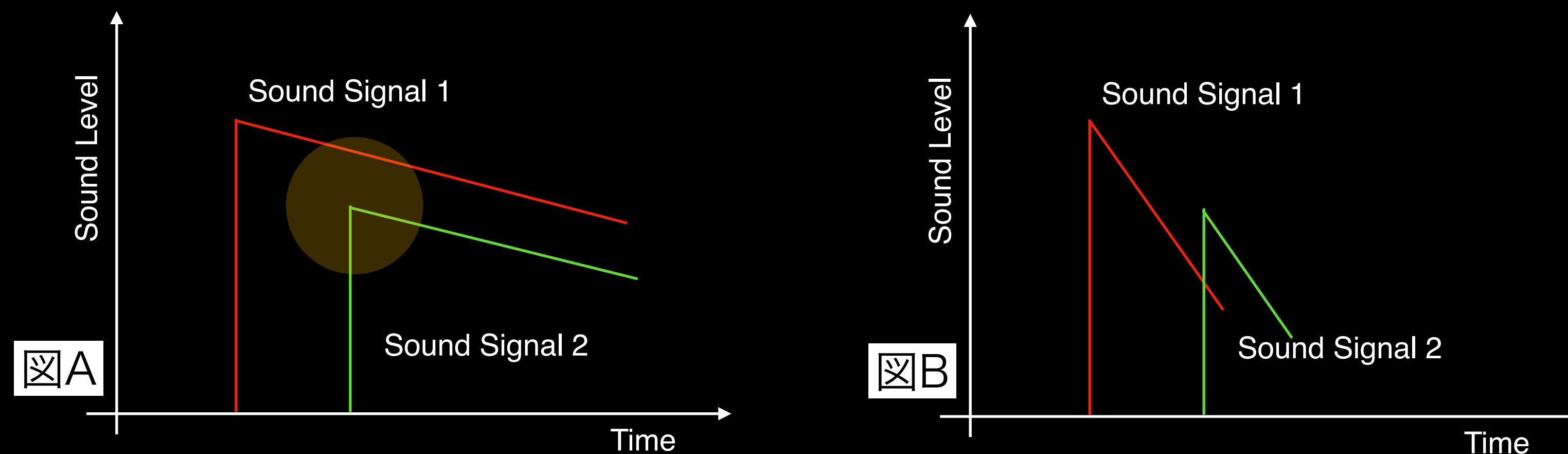


ステップ3／後期反射音の最適化

最後に、吸収されなかった音は、部屋の表面で反射し続け、より遅い段階でリスナーに到達します。

後期反射音は、一般的に「残響」とも呼ばれるものです。

数値は残響時間、英語の場合Reverberation Time (RT) として表されます。



RTが高く、後期反射が消えるまでに時間がかかる部屋では、上図に示すように、後期反射によって直接音がぼやけ、信号の知覚が損なわれることがあります。図Aは残響時間の長い部屋で2つの信号を再生したもので、Sound Signal1は消えるのに時間がかかり、結果、Sound Signal2をマスキングしてしまいます。図Bでは、残響時間がコントロールされた部屋で再生され、両方の音信号が明瞭に聞こえるようになっています。

ステップ3／後期反射音の最適化

RTの最適値

あくまでも簡易的な計算になりますが、実際に下記の条件の部屋でのRTの最適値を計算してみます。

部屋： 弊社のVicousticラボ

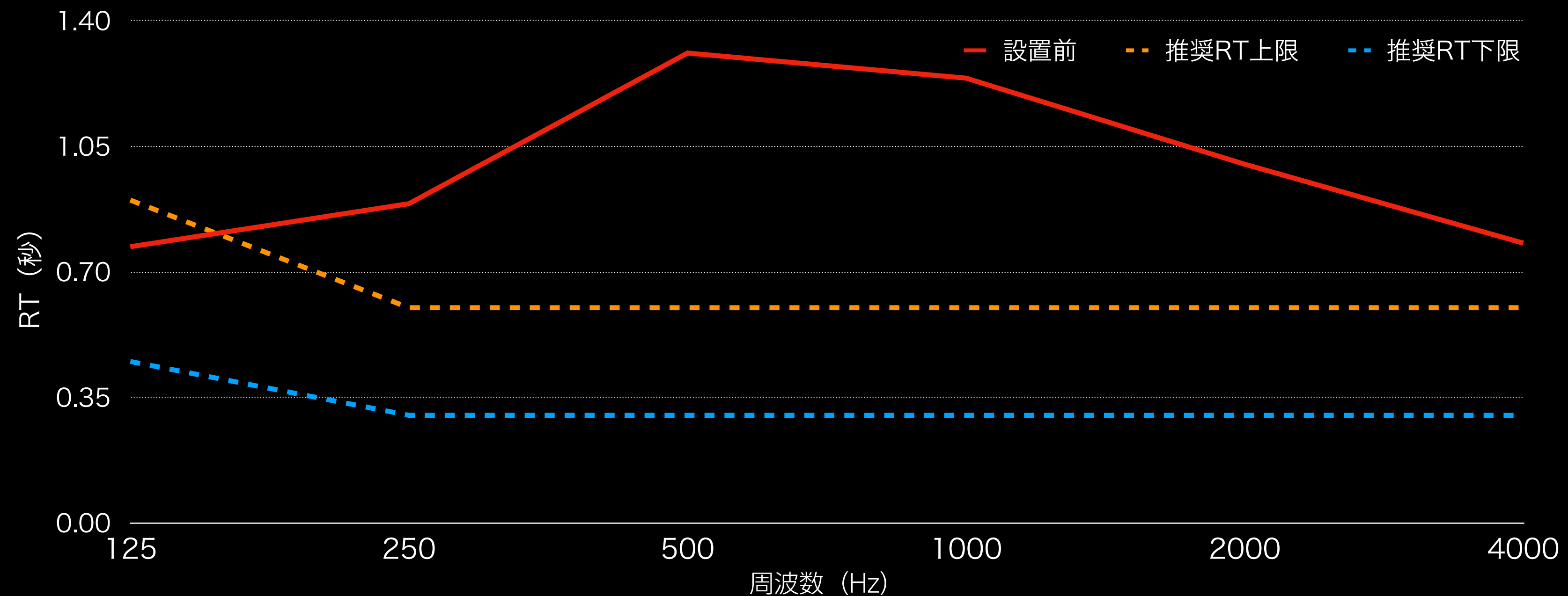
長さ [cm]	476
幅 [cm]	303
高さ [cm]	301
容積 [m3]	43.41
家具	家具なし

部屋の各面	素材	面積 [m2]
床	フローリング	14.42
天井	石膏ボード/ 木材パネル	14.42
壁	石膏ボード/ 木材パネル	46.90

ステップ3／後期反射音の最適化

RTの最適値 オーディオ鑑賞向けのお部屋

	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
設置前	0.77	0.89	1.31	1.24	1.00	0.78
推奨RT上限	0.90	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
推奨RT下限	0.45	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30



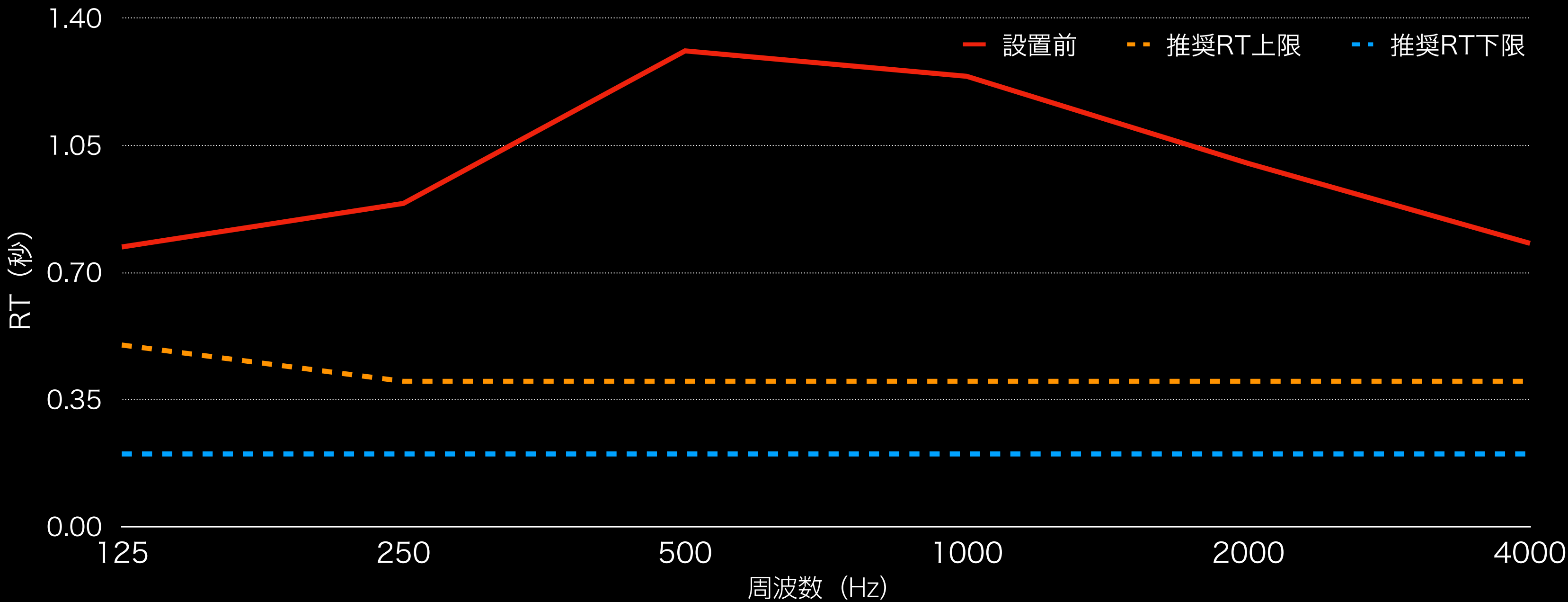
Tmf [s] - 目標値

0.60

ステップ3／後期反射音の最適化

RTの最適値 プロスタジオのコントロールルーム

	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
設置前	0.77	0.89	1.31	1.24	1.00	0.78
推奨RT上限	0.50	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
推奨RT下限	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20



Tmf [s] - 目標値

0.40

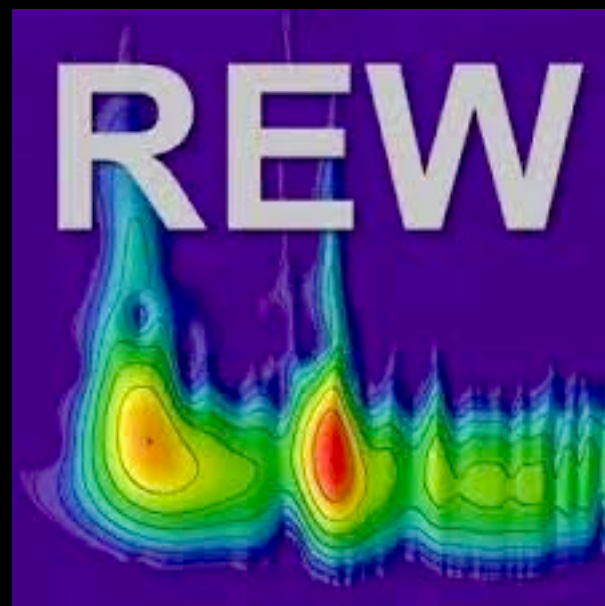
ステップ3／後期反射音の最適化

音楽制作者であれば、オーディオ鑑賞向けのお部屋の推奨RT上限：0.6秒は確実にクリアしたいところ。プロスタジオのコントロールルームの推奨RT下限：0.2秒を目指すのは実際問題かなりハードルが高い。自宅スタジオ環境であれば、0.4～0.5秒を目標に設定するのが無難か？



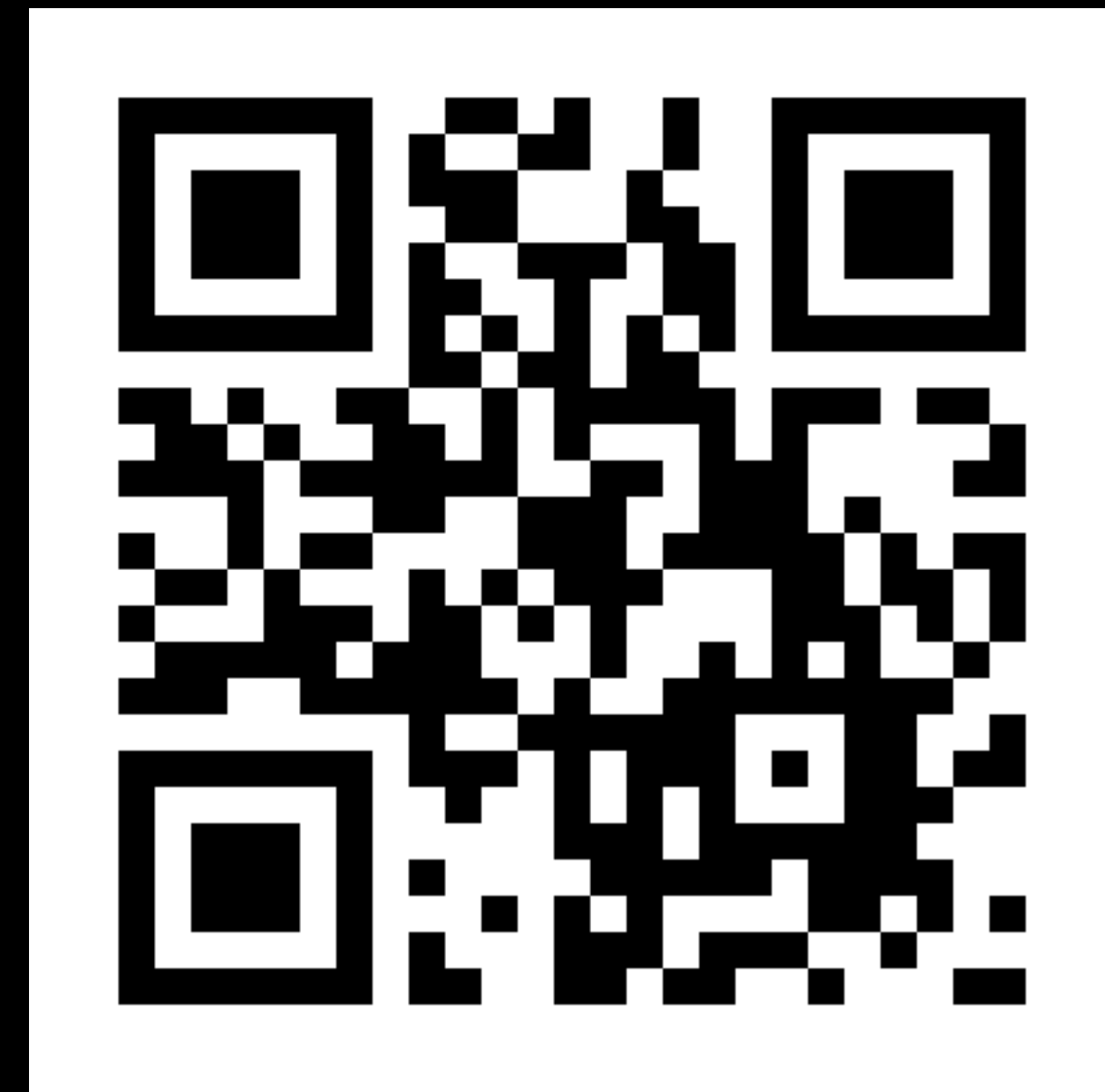
後期反射音には、吸音パネルと拡散パネルを組み合わせる使用するのがGOOD!

残響時間、Reverbration Time (RT) を測定してみましょう



使用するソフト：RoomEQ Wizard

<https://www.roomeqwizard.com/>



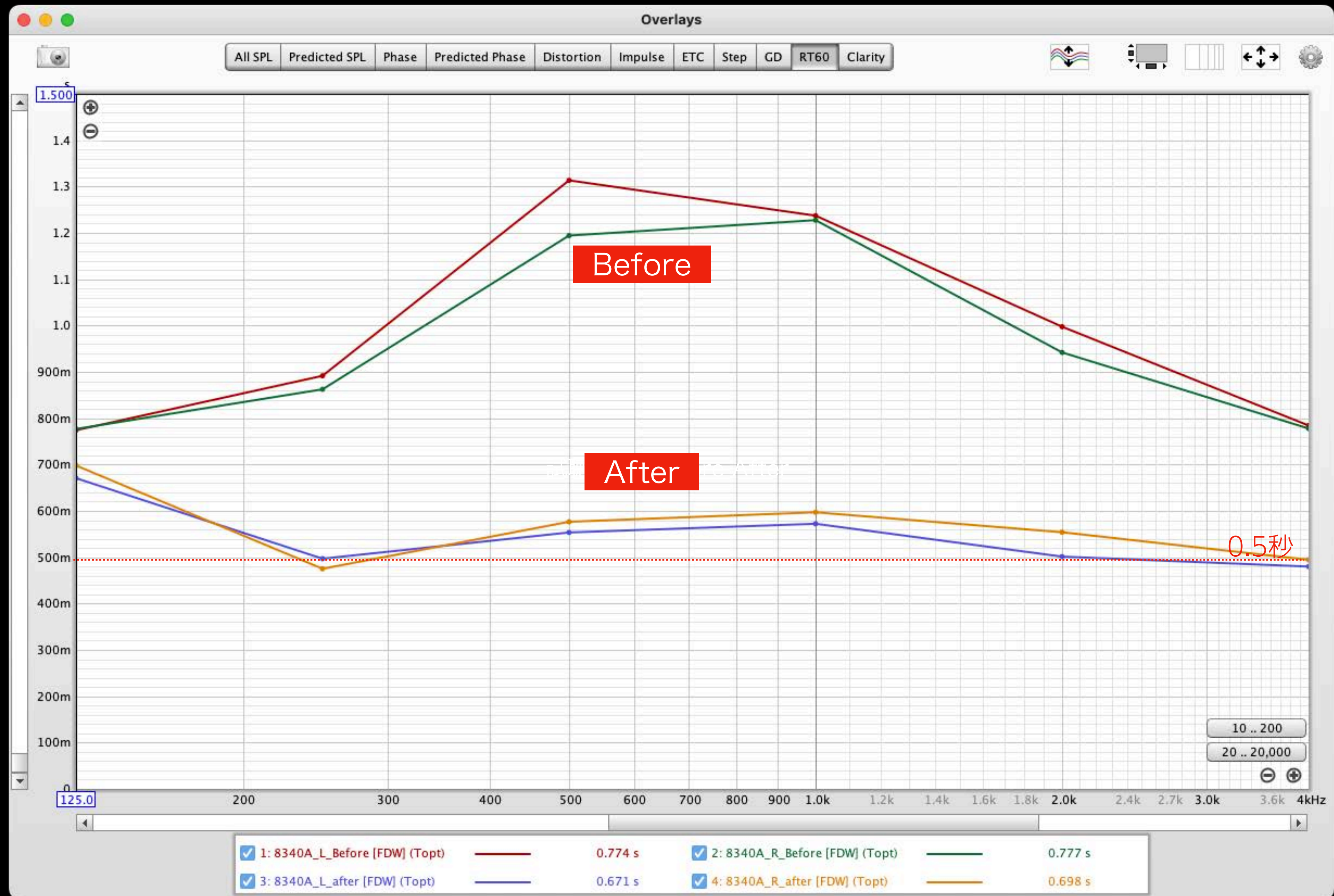
【ビデオ】

実際に弊社ラボにてRTを測定してみました

アーカイブ動画をYouTubeにてご覧いただけます

https://youtu.be/O0bIPE6u_Hk

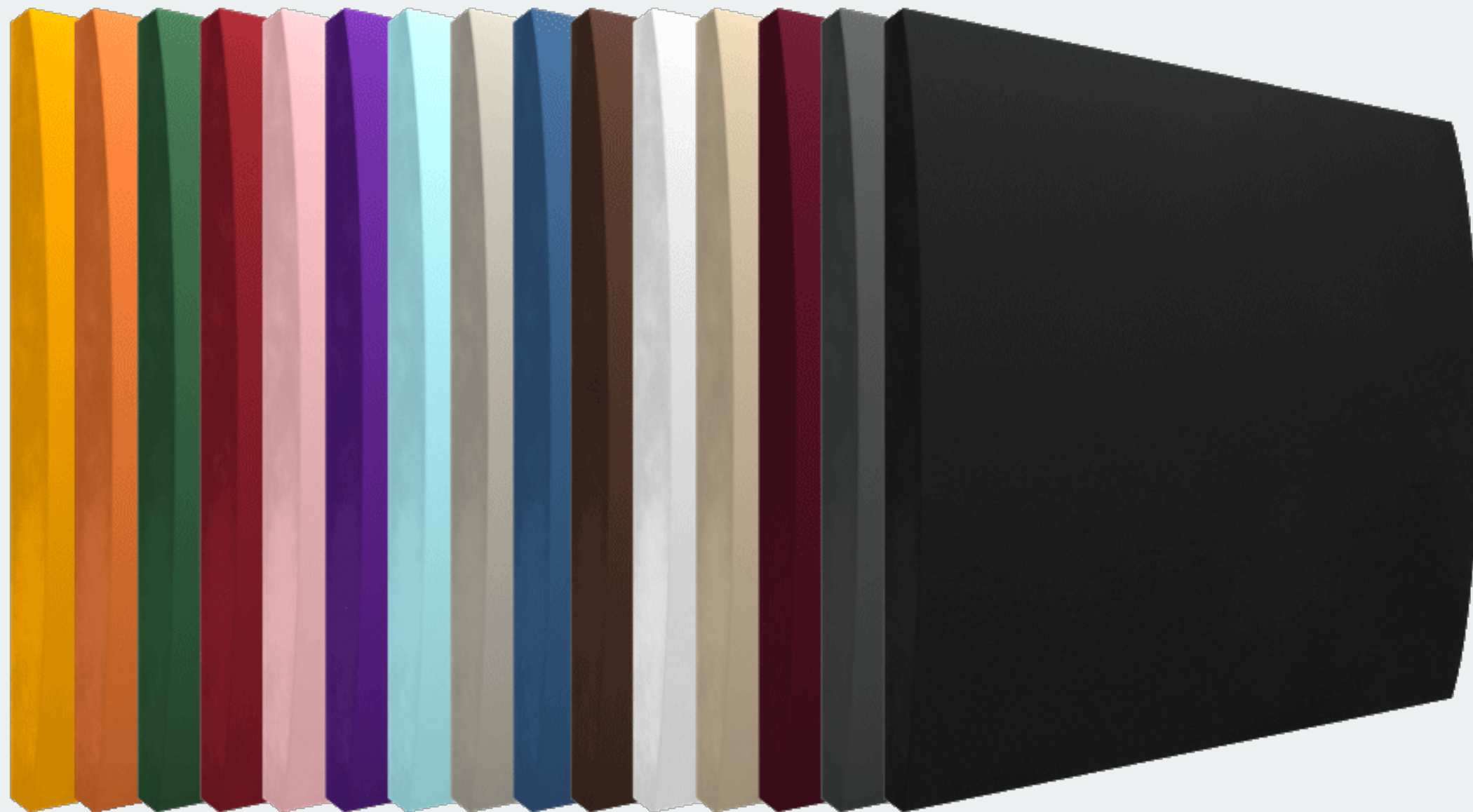




初期反射音/後期反射音 対策

Vicousticのおすすめ

Cinema Round Premium



吸音

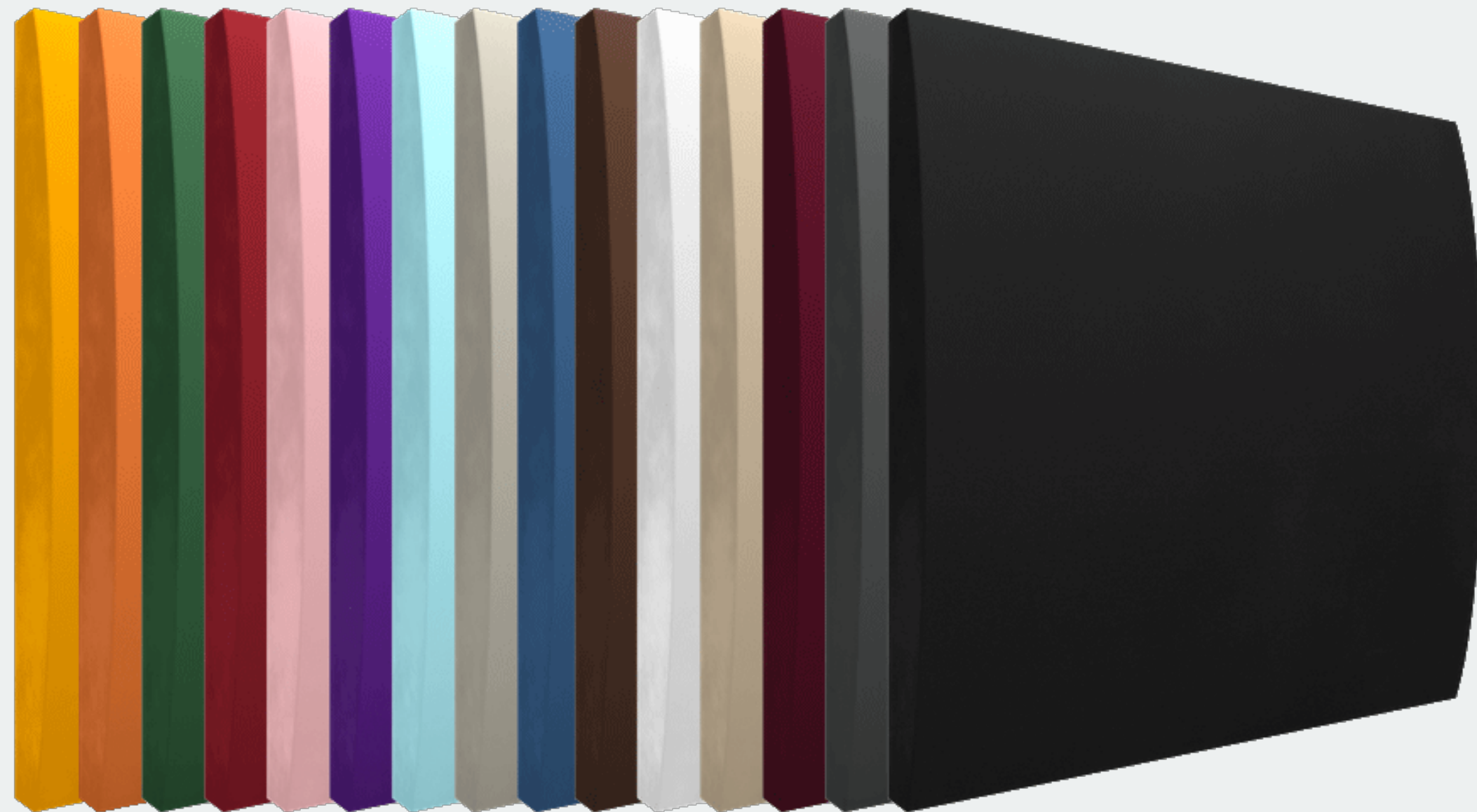
Cinema Round Premiumは、音を制御するための柔軟でエレガントなソリューションです。表面がファブリックで覆われており、音の反射や過剰な反響を制御するために理想的です。主に中高域の周波数に効果を発揮しますが、壁の表面から数センチのところに配置すると、中域周波数の抑制と低域周波数の改善に非常に効果的です。カラー・バリエーションも豊富で15色から選択可能です。

- ・ 効率的な吸音
- ・ 軽量で設置が容易
- ・ 高いコストパフォーマンス

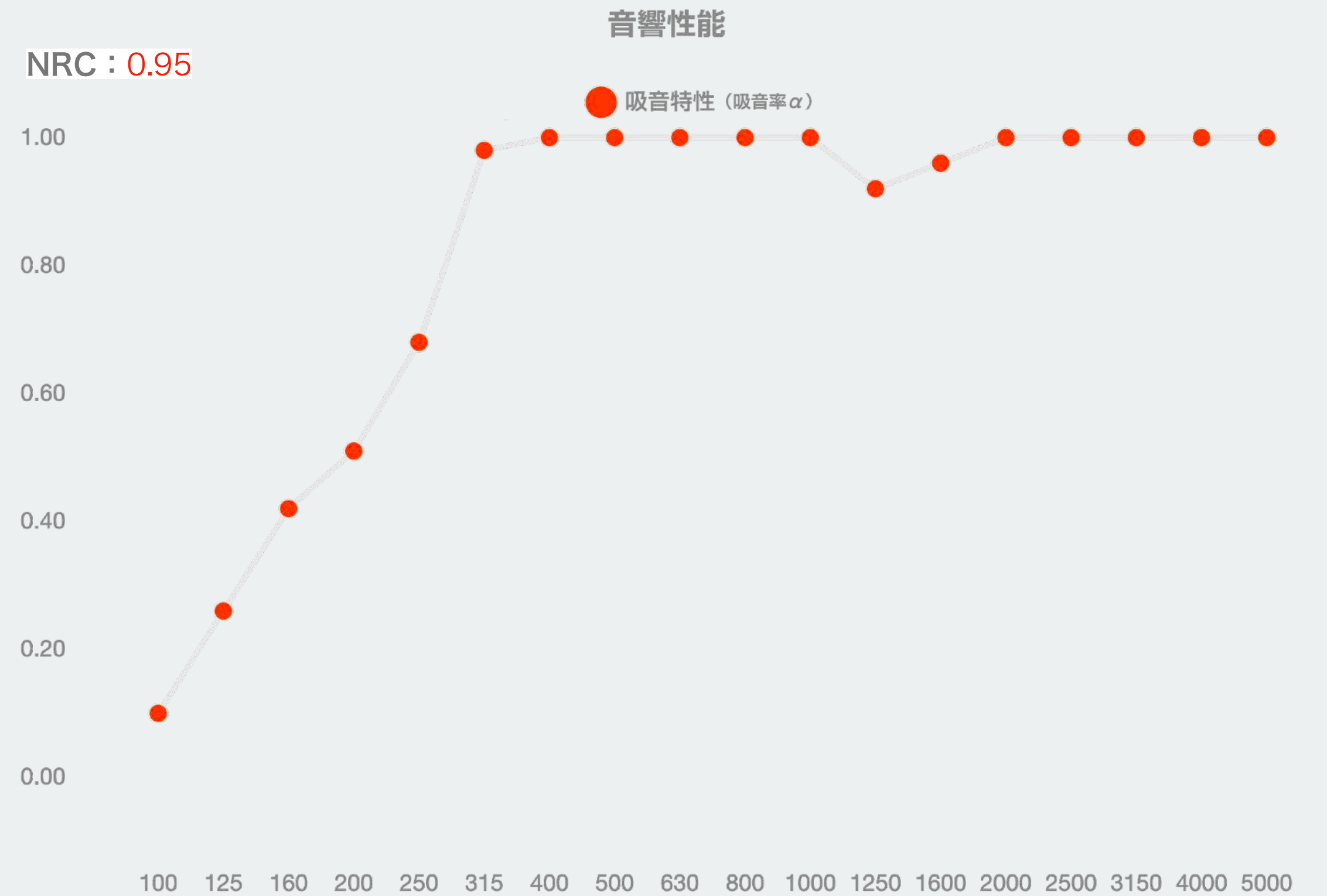
初期反射音/後期反射音 対策

Vicousticのおすすめ

Cinema Round Premium



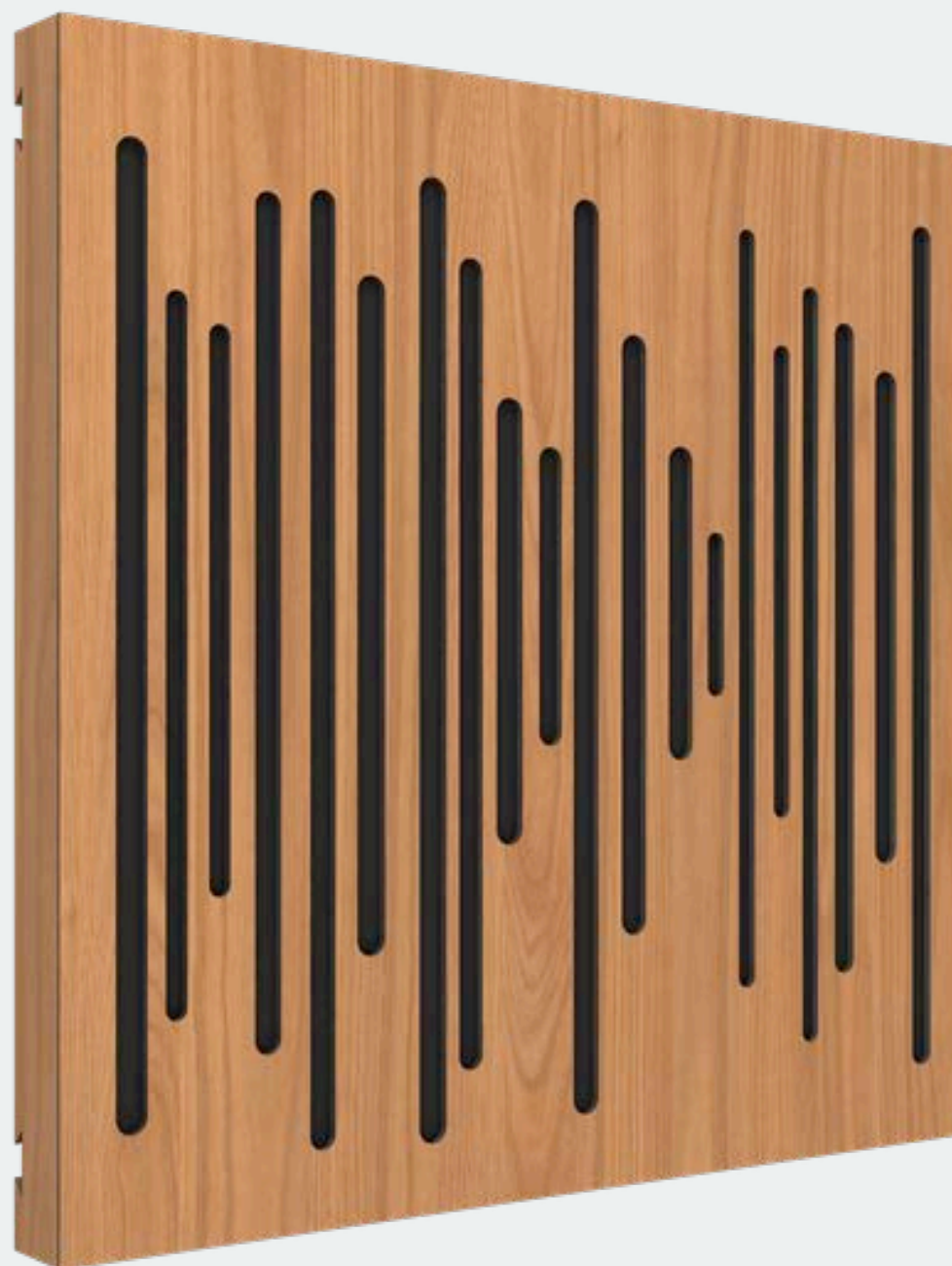
NRC : 0.95



初期反射音/後期反射音 対策

Vicousticのおすすめ

VicPattern Ultra Wavewood



吸音

吸音と反射をオールインワンで！

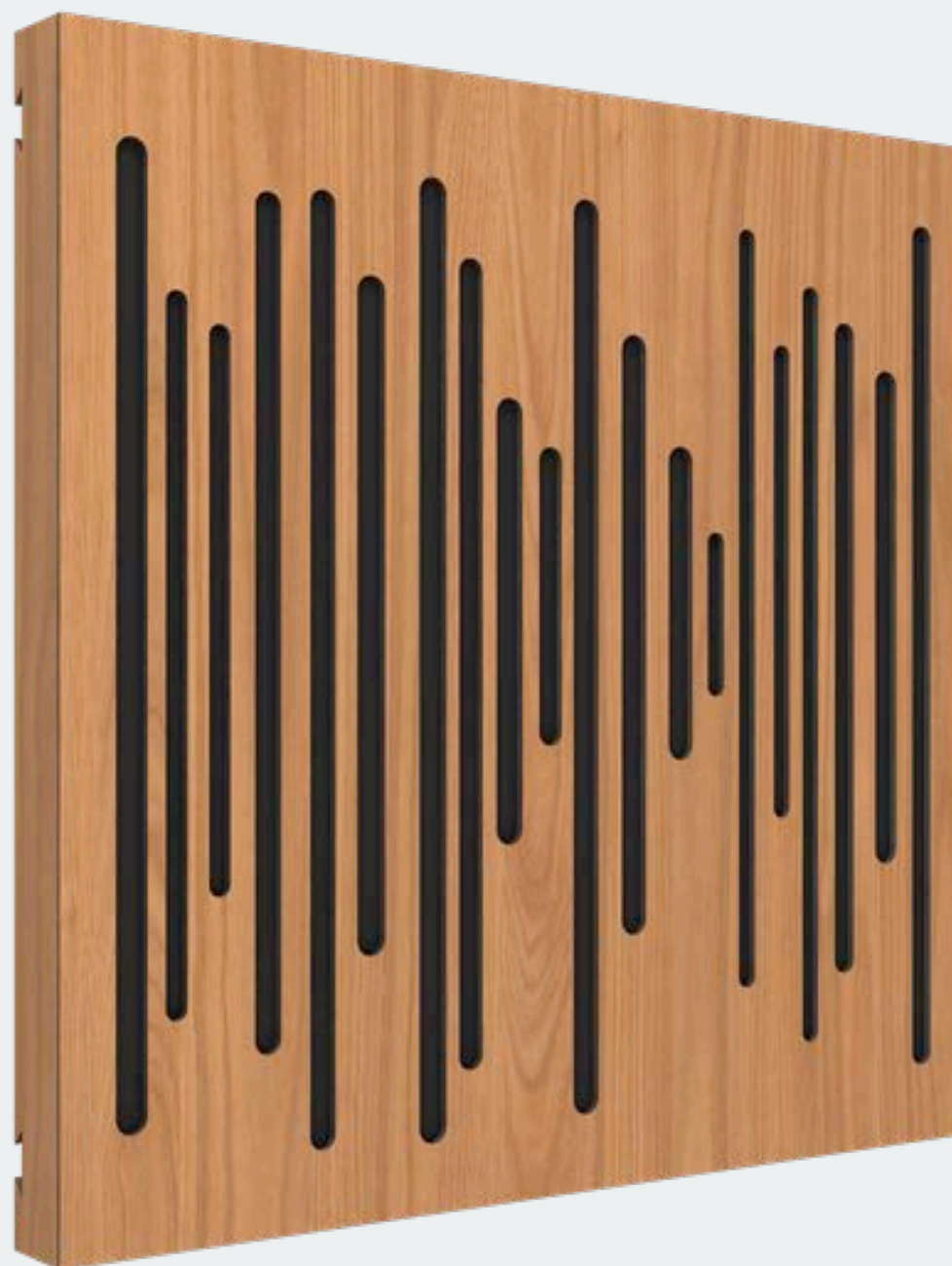
Wavewoodパネルの最高峰であるVicPattern Ultra Wavewoodは、吸収性能および反射制御のための先進的なソリューションであり、ノイズ・エネルギーを制御しつつ、ブライトなサウンドを得ることが可能。バランスの取れた室内サウンドを求めている方にとって理想的です。

VicPattern Ultra Wavewoodパネルは、耐久性の高い素材であるメラミンで製造されており、美しい8種類のカラーから選択可能です。特別に設計されたマテリアルは、パネルの吸音性能を最大化し、環境に優しくサステナブルなPETウールを採用しています。

初期反射音/後期反射音 対策

Vicousticのおすすめ

VicPattern Ultra Wavewood



NRC : 0.75

音響性能

● 吸音特性 (吸音率 α)

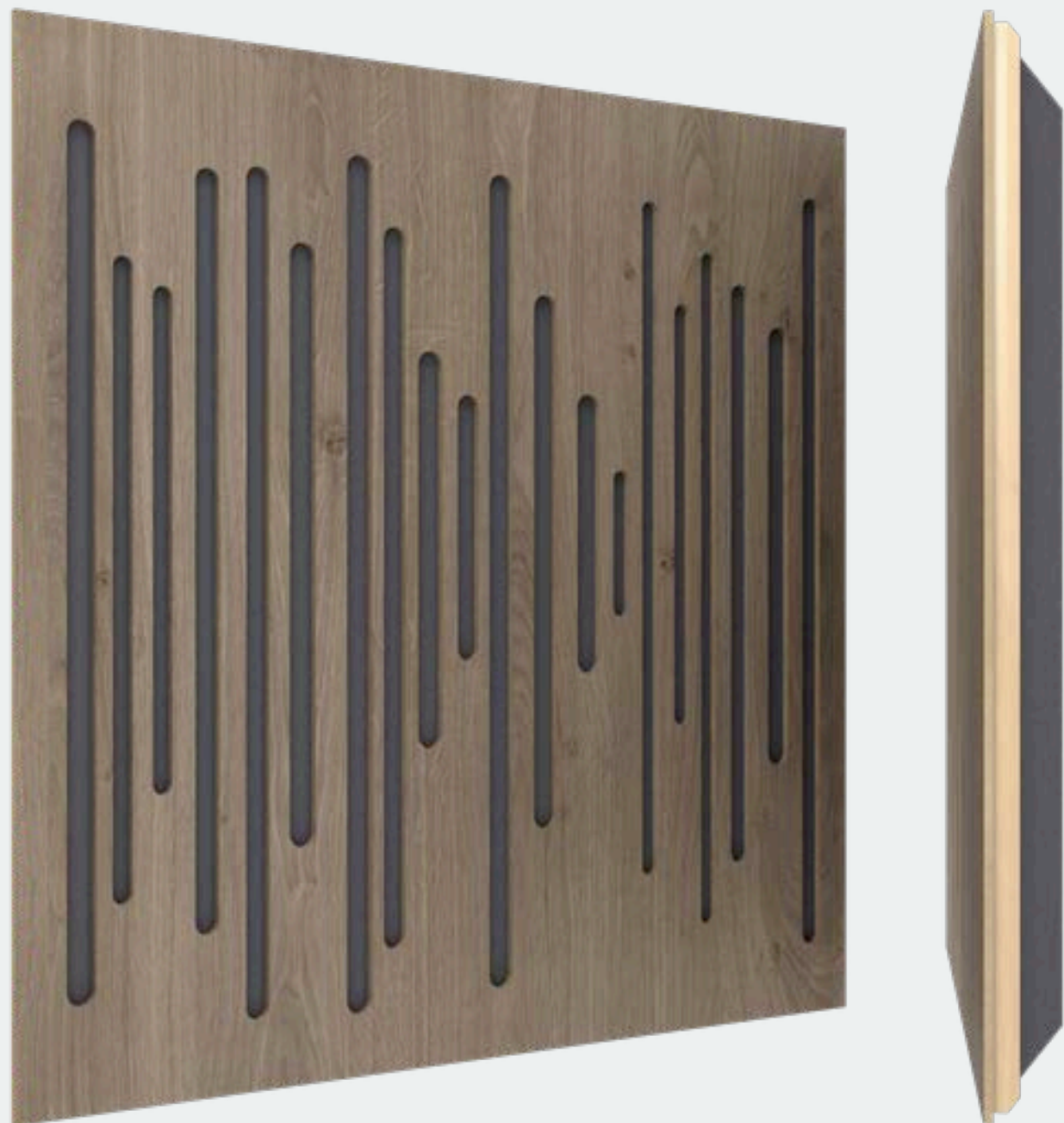
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00

100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150 4000 5000

初期反射音/後期反射音 対策

Vicousticのおすすめ

Wavewood Ultra Lite



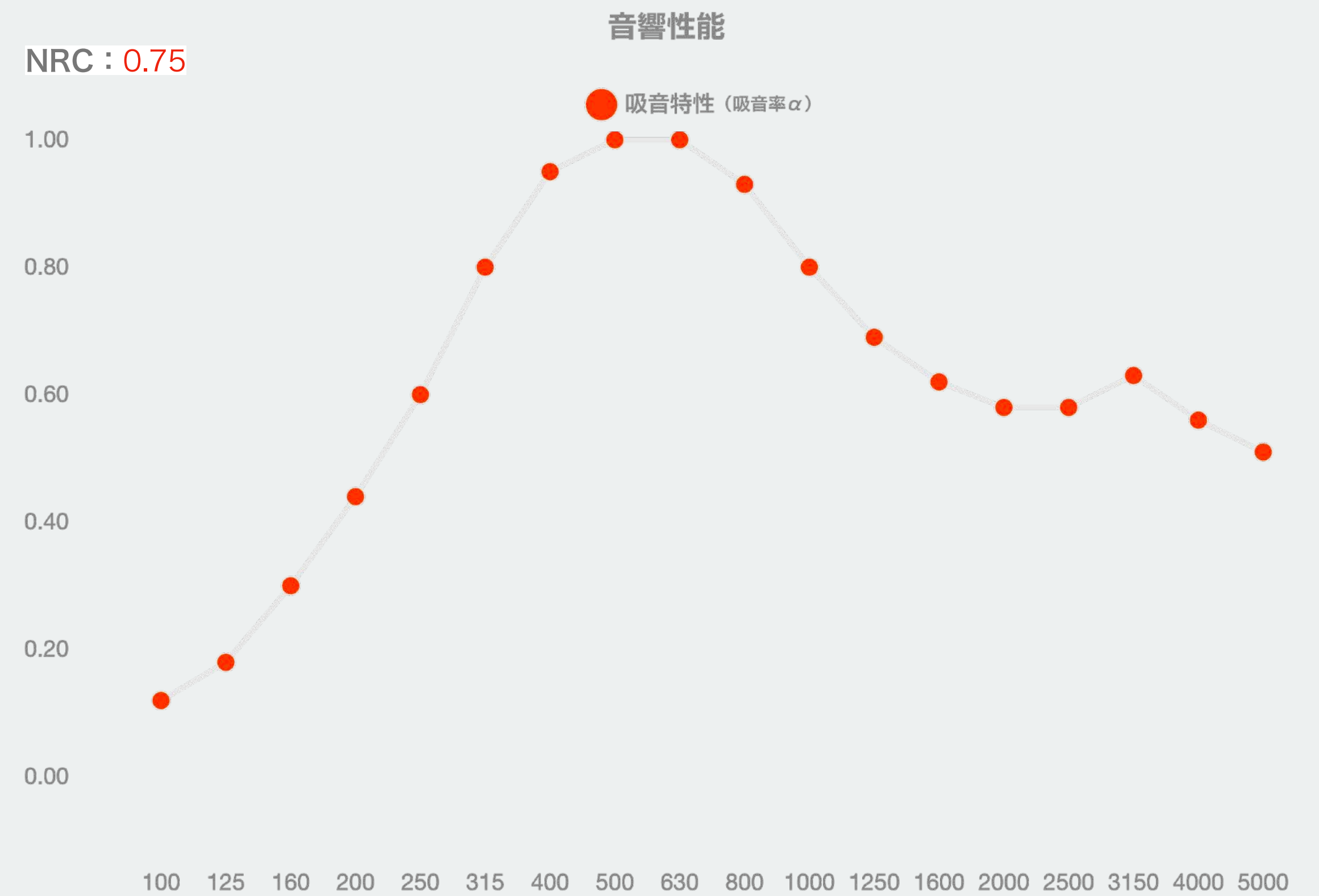
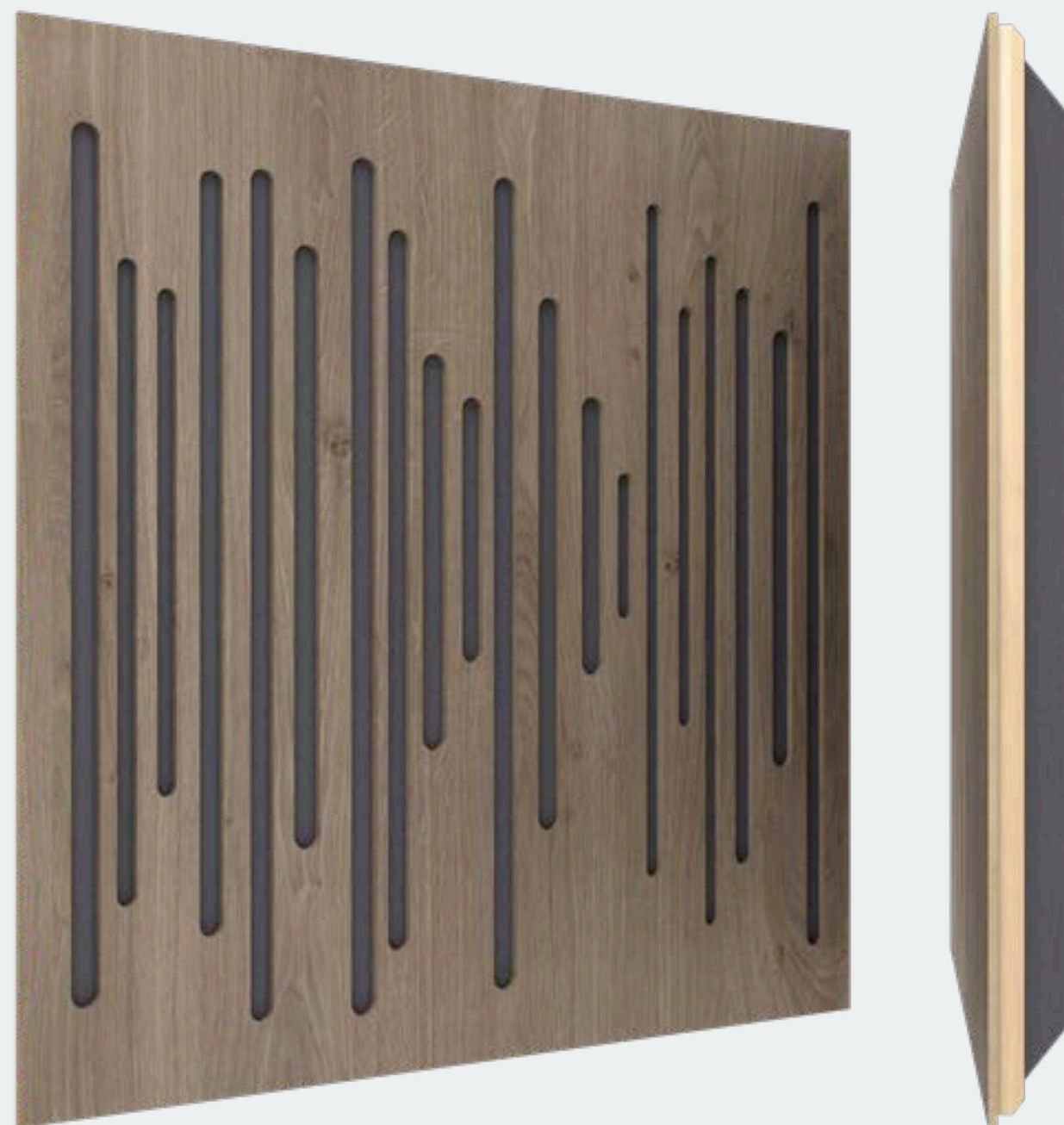
吸音

フォームとウッドを組み合わせたこの特徴的なデザインは、音響特性に基づく独自の研究と非線形の連続的な空洞を組み合わせたことによります。これらの空洞によって優れた吸音性能を有しており、特に中高域の周波数に対して効果を発揮し、フラッターエコーなどの問題の解決にも役立ちます。また、室内の隅に置いてベース・トラップとして使用すると低域周波数の制御にも効果的です。 6色展開。

初期反射音/後期反射音 対策

Vicousticのおすすめ

Wavewood Ultra Lite



初期反射音/後期反射音 対策

Vicousticのおすすめ

Wavewood Diffuser Ultra MKII



吸音

拡散

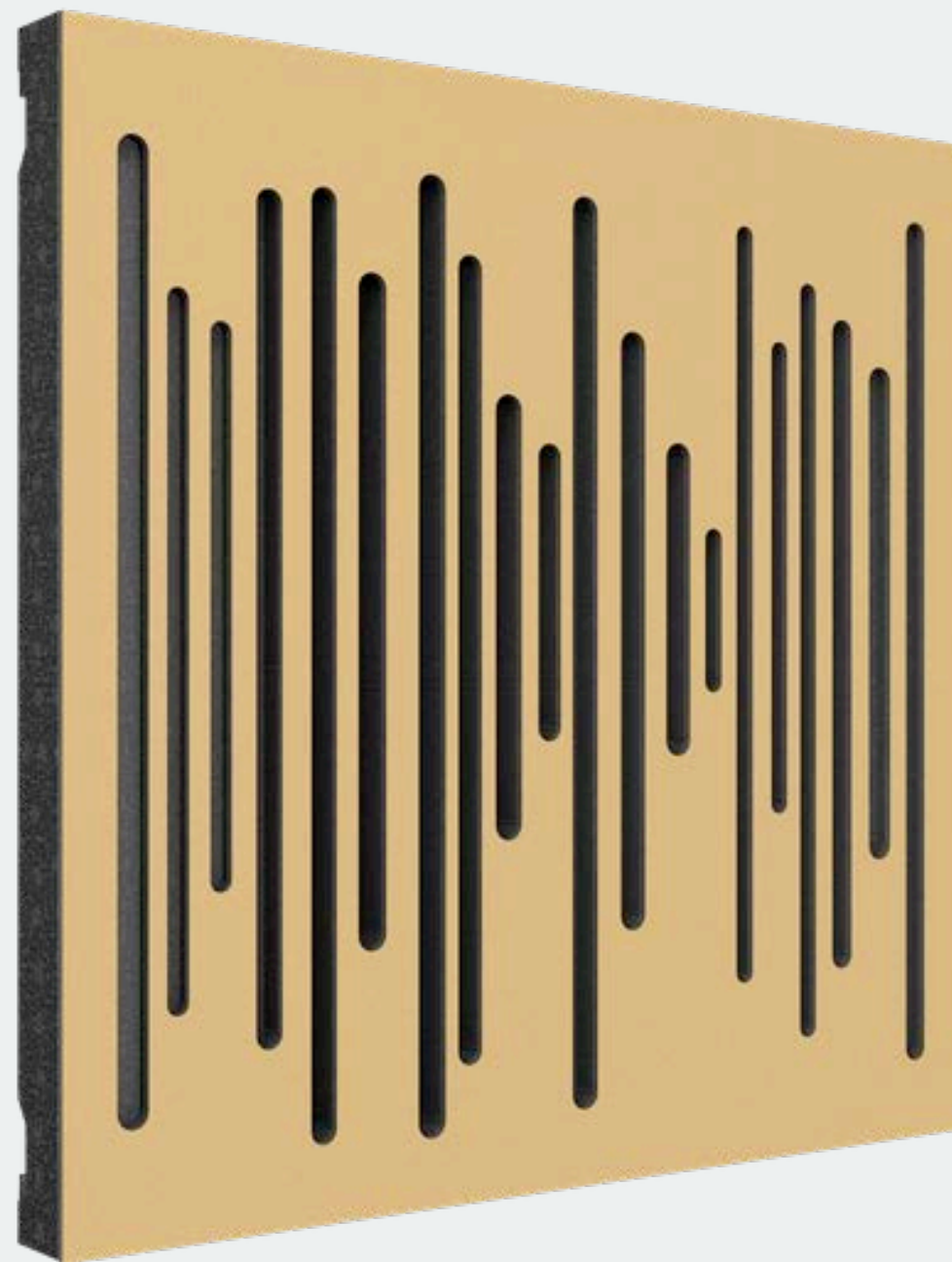
Wavewoodデザインを用いた拡散パネルWavewood Diffuser Ultraの最新モデルです。整数理論とM系列をシミュレートしたデザインによるバランスのとれた音響環境をお探しの方に最適なソリューション。過剰なエネルギーやフラッターエコーを抑えながらも明るいサウンドをキープし、特に中高域の周波数に効果的です。

このパネルの内部は高密度ポリスチレンが用いられており、外側は美しいウッドで仕上げられています。軽さと設置し易さを目指してデザインされ、Wavewoodシリーズとの連携は抜群で、見た目の美しさを損なうことなく拡散と吸音の両方の性能を得ることが可能です。 8色展開。

初期反射音/後期反射音 対策

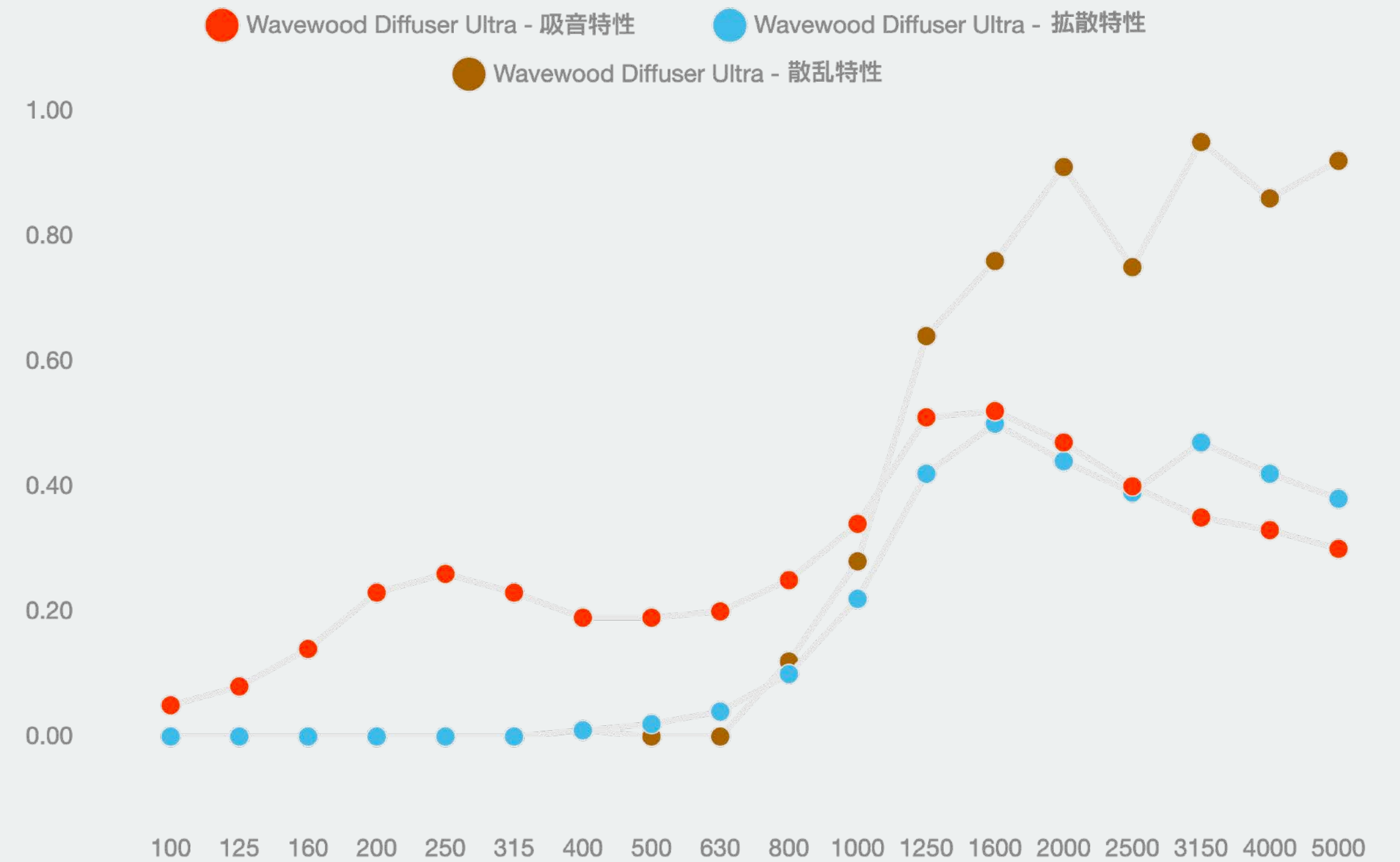
Vicousticのおすすめ

Wavewood Diffuser Ultra MKII



NRC : 0.3

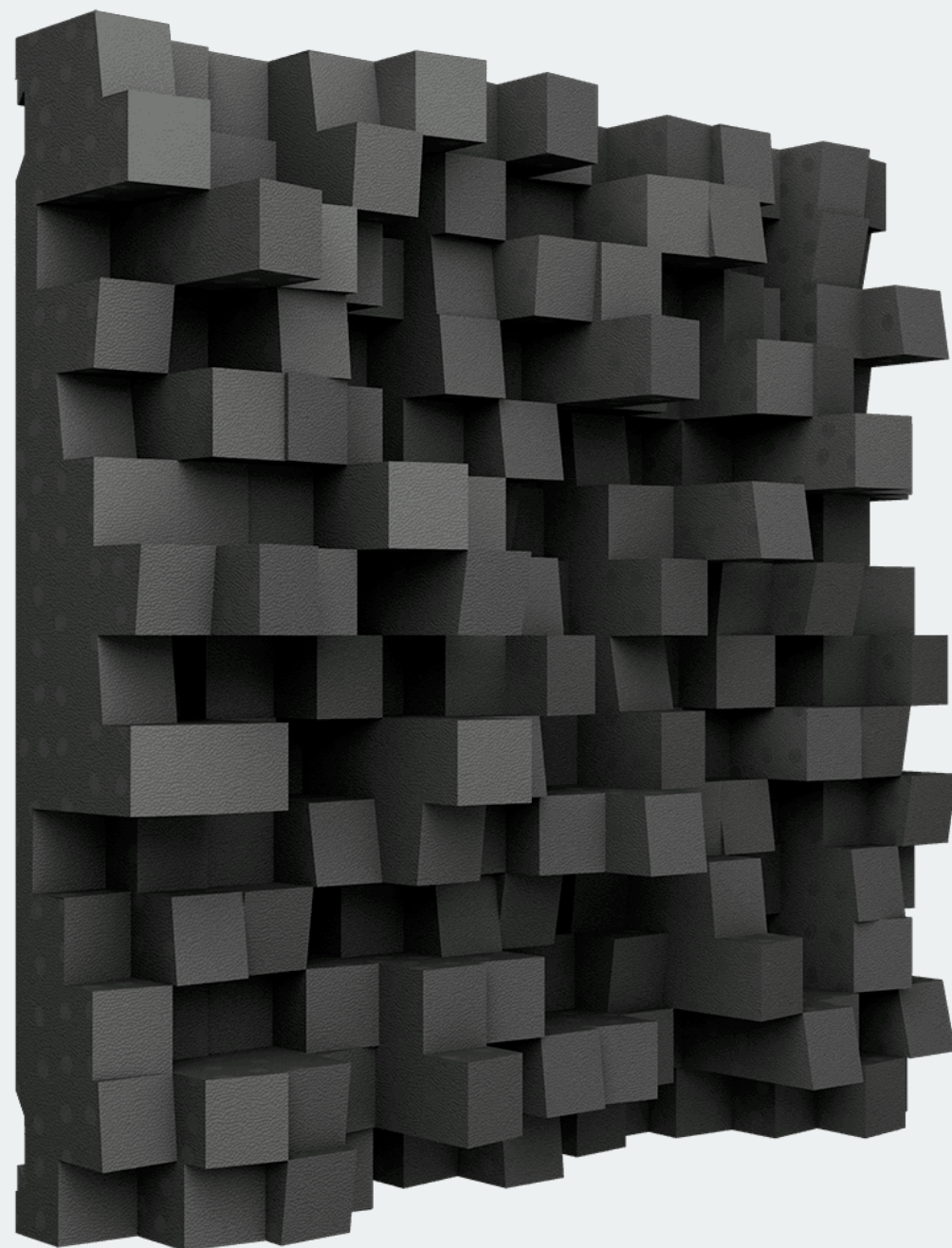
音響性能



初期反射音/後期反射音 対策

Vicousticのおすすめ

Multifuser DC3



拡散

吸音

音響が重要視される場所の壁または天井に設置し、垂直面と水平面の両方に音を多重反射させ、中高域の周波数に作用しサウンドを明るくハッキリさせます。

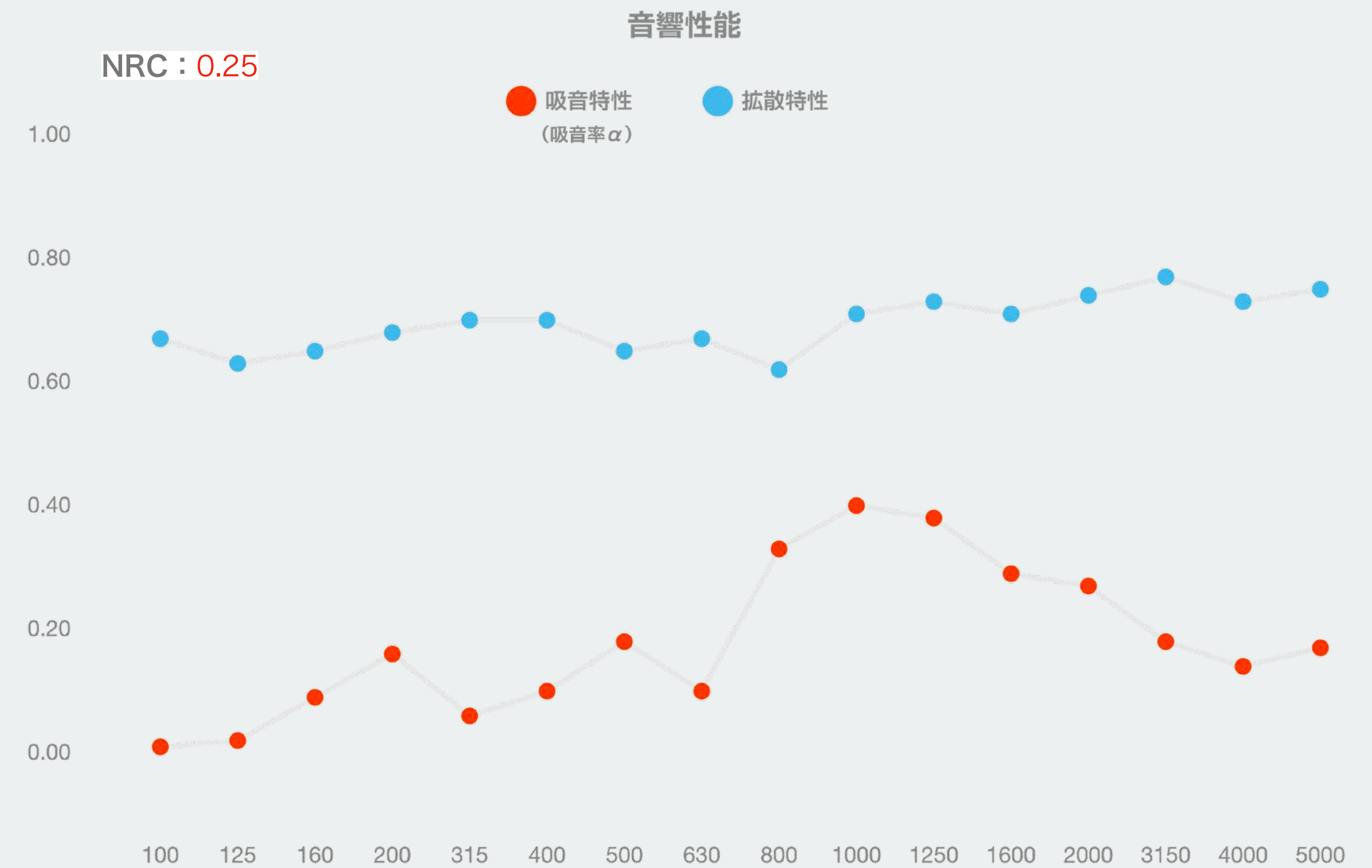
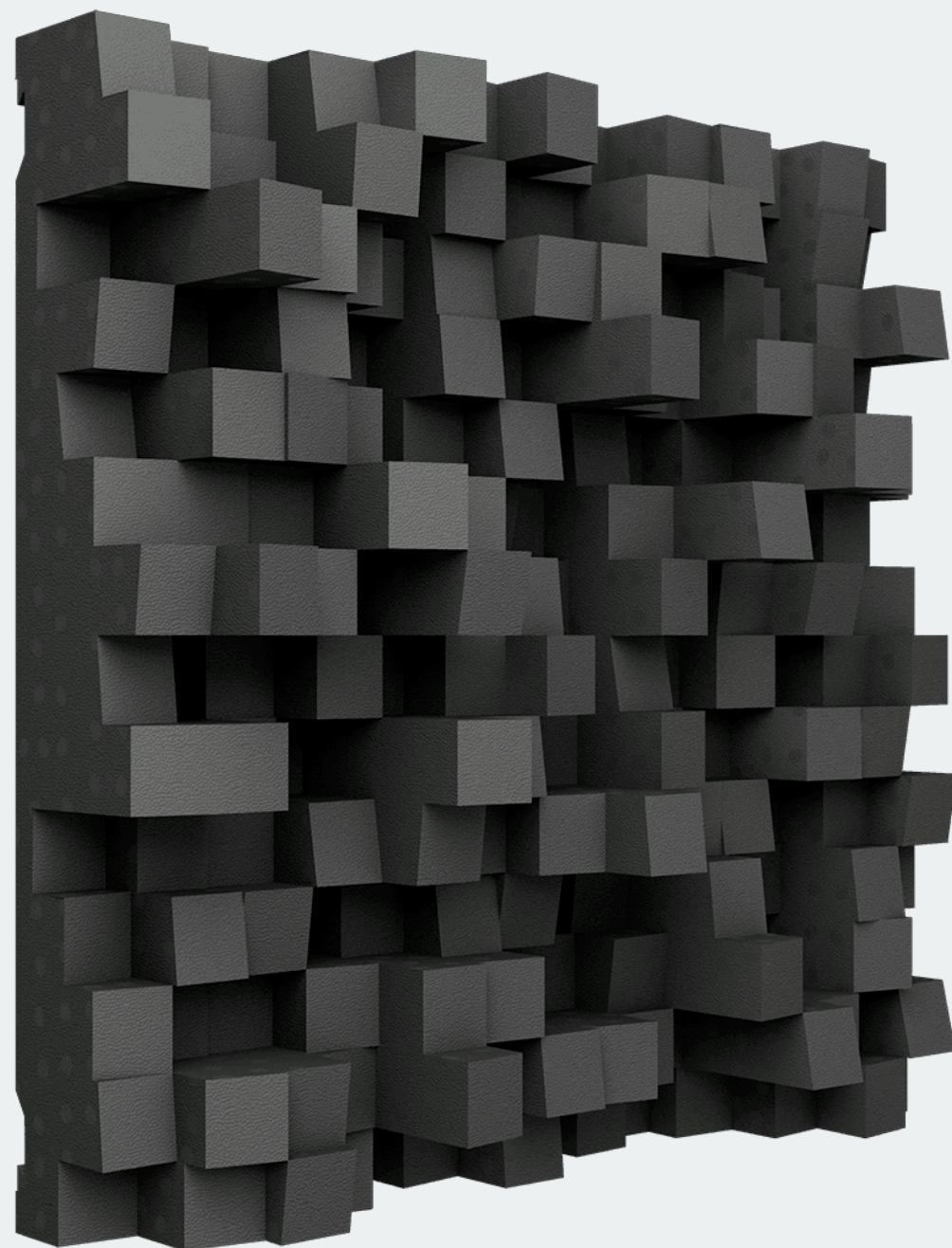
高品質なEPS（発泡スチロール）で製造され、音声明瞭度や音楽の鮮明さなどの問題の解決に優れた効果を発揮するだけでなく、その魅力的なデザインであらゆる室内空間にしっかりと溶け込みます。 2色展開。

- ・ 高効率な2次元の原始根形拡散 + 上面の角度
- ・ 設置が容易
- ・ 水性塗料での塗装が可能

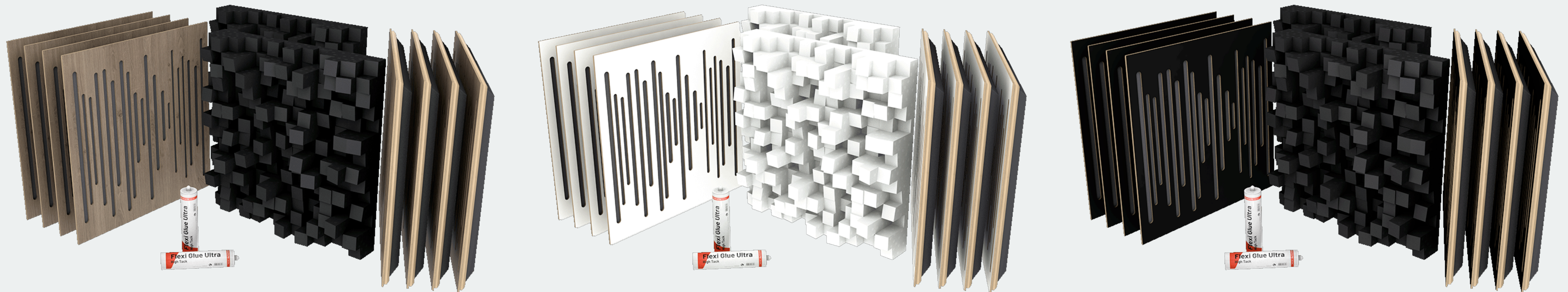
初期反射音/後期反射音 対策

Vicousticのおすすめ

Multifuser DC3

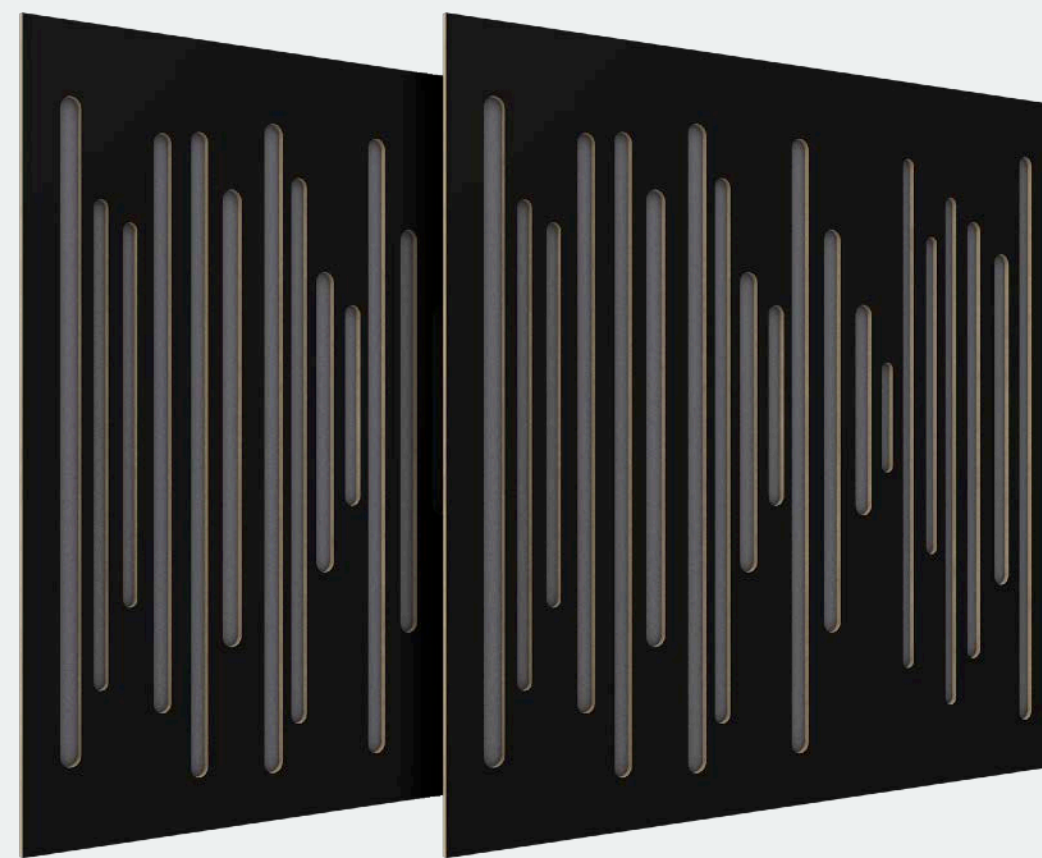


VicStudio Box

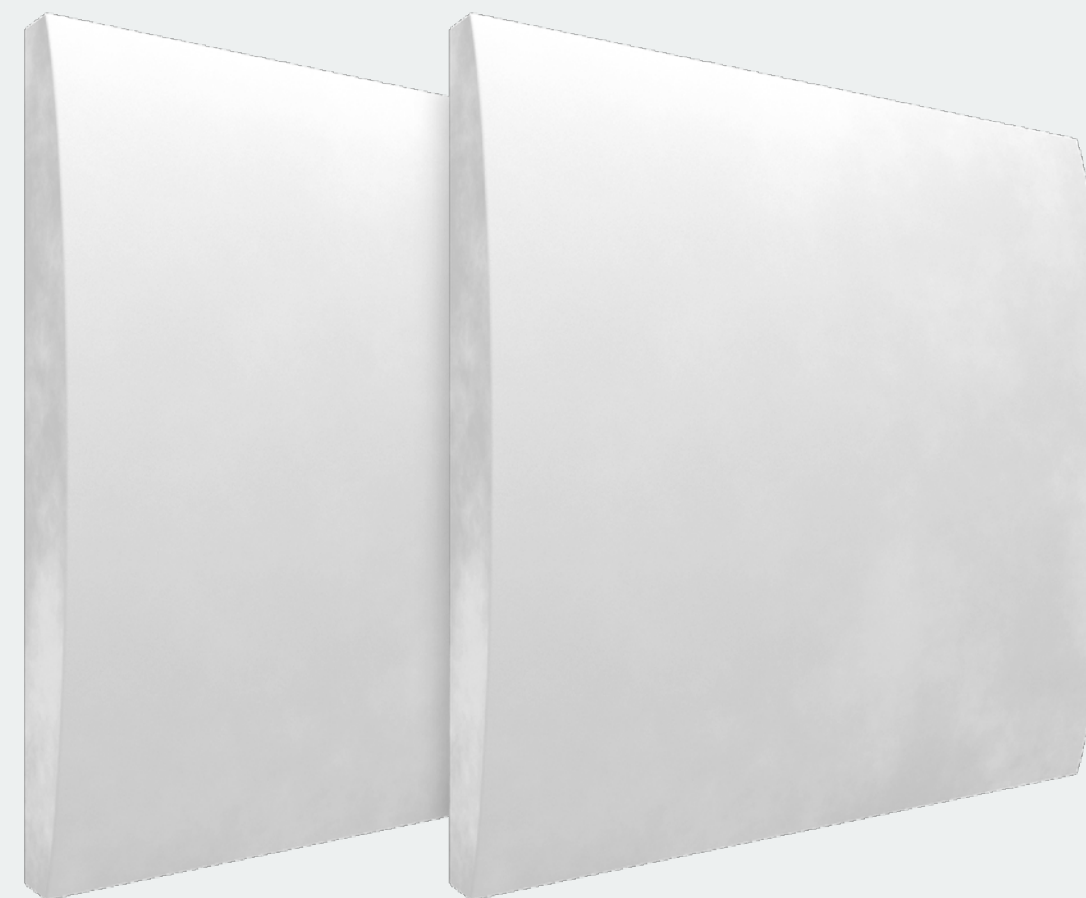


Wavewood Ultra Lite 8枚とMultifuser DC2 2枚のお得なバンドルパッケージ

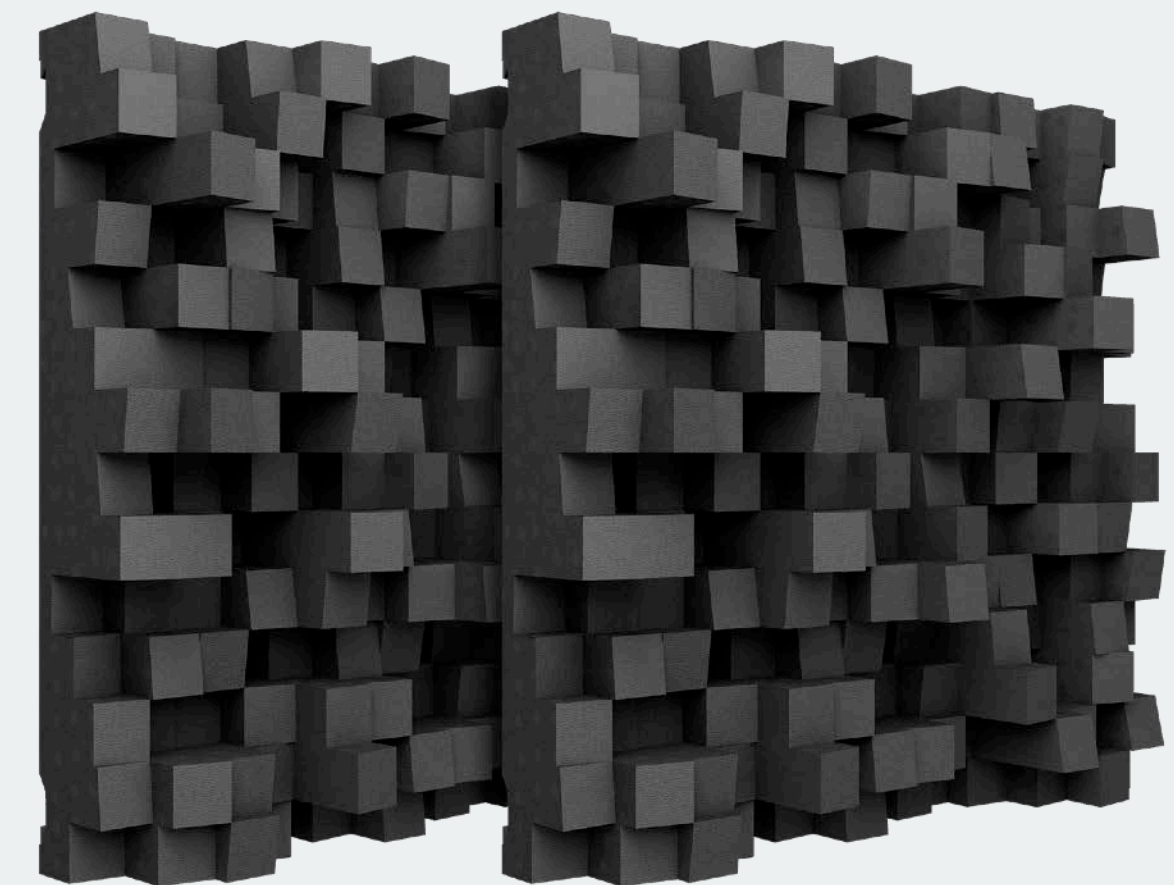
日本限定トライアル・パック



Wavewood Ultra Lite



Cinema Round Premium



Multifuser DC3

各モデル白黒2色展開

【ビデオ】

音源試聴 Before After

実際にVicousticパネルをつかってみました

アーカイブ動画をYouTubeにてご覧いただけます

https://youtu.be/O0bIPE6u_Hk

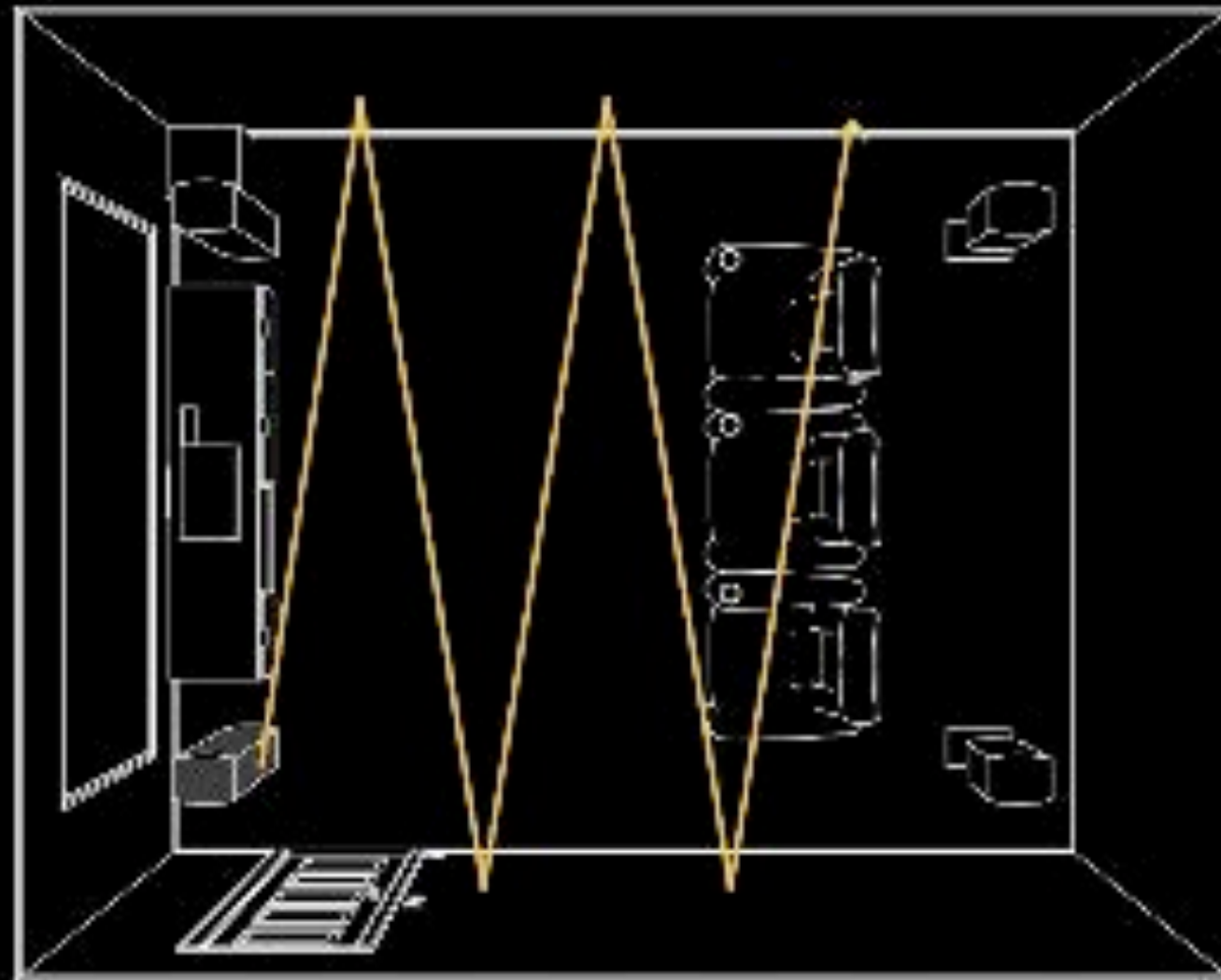


ステップ4／フラッターエコーと定在波

一般的な直方体の部屋では、フラッターエコーと定在波（ルームモード）というの2つの音場異常が発生しやすいので、その対策を行いましょう。

フラッターエコー

フラッターエコーとは、壁、床、天井などの平行な反射面間で発生する音の反射の繰り返しのことです。



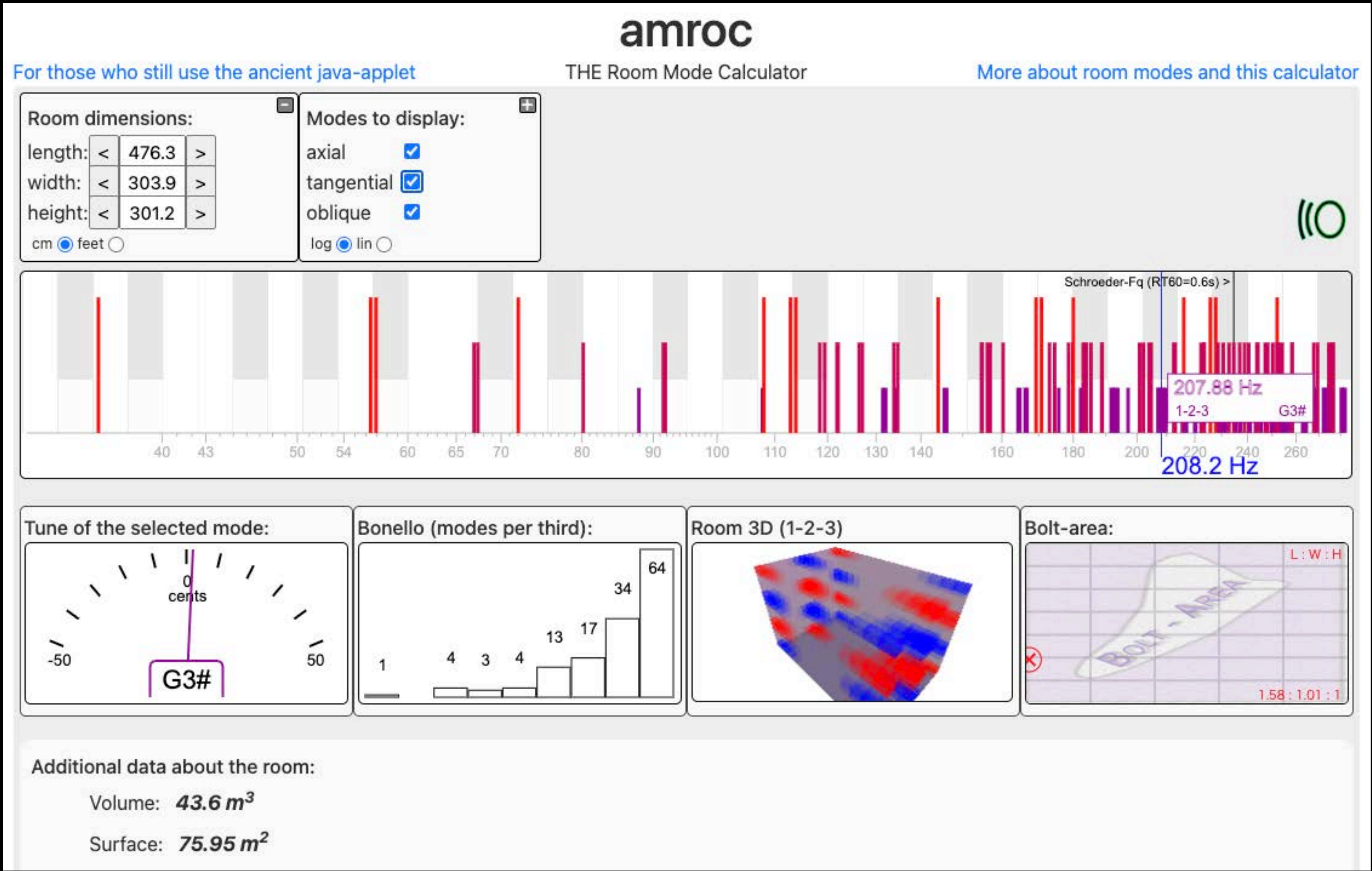
通常、フラッターエコーは、一次反射音や残響音を処理することによって、すでに対処されていることに留意してください。

定在波（ルームモード）

定在波も、壁、床、天井などの平行な反射面間で発生する音場異常のひとつで、音が平行面の間を反射して往復を繰り返すうちに特定の周波数が強調されてしまう現象です。フラッターエコーは高音域で認識されることが多いですが、定在波は低音域での知覚がメインとなり、一般的に最小音圧レベルと最大音圧レベルが15dBも異なる領域を発生し、リスニングルームにおける低域の聴感に大きな影響を与えます。

オーディオ愛好家だけではなく、特に音楽の制作を行う方は、当然、すべての周波数帯域で正しい低域を得たいと考えています。つまり、キックドラムのパンチ、ベースラインなど、楽曲の重要な要素において、本来の情報を失うことなく、また強調することなく正確にモニターできる環境を構築することが重要なのですが、特に狭い部屋では、この定在波の影響が顕著になるため、正確な低域のモニタリングが非常に難しく、リスニングポジションによって低域の音量が変化してしまいます。

定在波（ルームモード）



<https://amcoustics.com/tools/amroc>

【実演】 amrocデモンストレーション

アーカイブ動画をYouTubeにてご覧いただけます

https://youtu.be/O0bIPE6u_Hk



定在波（ルームモード）の測定方法

ステップ 1：スピーカーの1つを部屋の前面コーナーに設置する。これにより、ルームモードの発生を最大にすることができます。



定在波（ルームモード）の測定方法

ステップ 2： 部屋の寸法に基づいて、一次元モード（Axial）の一次モード～三次モードにおける、縦/横/高さ各方向（x、y、z）それぞれの周波数を計算します。

※ Axial（軸モード）に絞ってモードを表示しています

1	36.01 Hz	D1	1-0-0	ax	← Axial	縦	一次モード
2	56.43 Hz	A1	0-1-0	ax	← Axial	横	一次モード
3	56.94 Hz	A1#	0-0-1	ax	← Axial	高さ	一次モード
6	72.01 Hz	D2	2-0-0	ax	← Axial	縦	二次モード
12	108.02 Hz	A2	3-0-0	ax	← Axial	縦	三次モード
13	112.87 Hz	A2	0-2-0	ax	← Axial	横	二次モード
14	113.88 Hz	A2#	0-0-2	ax	← Axial	高さ	二次モード
26	144.03 Hz	D3	4-0-0	ax			
38	169.3 Hz	E3	0-3-0	ax	← Axial	横	三次モード
39	170.82 Hz	F3	0-0-3	ax	← Axial	高さ	三次モード
45	180.03 Hz	F3#	5-0-0	ax			
71	216.04 Hz	A3	6-0-0	ax			
80	225.73 Hz	A3	0-4-0	ax			
81	227.76 Hz	A3#	0-0-4	ax			

定在波（ルームモード）の測定方法

ステップ 3：部屋の縦方向の一次モードの正弦波を再生します。

理想的には使用する椅子に座ったまま、縦方向に移動し、正弦波を聴きます。

移動しながら、音の大きさが最大になる場所と最小になる場所を検出します。

正弦波の音量が最大でもなく、最小でもない、バランスの取れた場所を選び、そして、最も反応が良いと思われる場所に印をつけます。

ステップ 4：ステップ 3 を繰り返して、二次モードと三次モードでも同じ検証を行います。

【ビデオ】 定在波（ルームモード）の測定方法

アーカイブ動画をYouTubeにてご覧いただけます

https://youtu.be/O0bIPE6u_Hk



定在波（ルームモード）の測定方法

ステップ 5：正弦波のテストが終わったら、今度は実際の音楽を聴いてみて、同じ結果が得られるかどうかを見てみましょう。

キックドラムのある曲、ベースラインがある曲など、低音に関して熟知している曲を2、3曲選んでください。それらを再生し、ステップ3と同じ検証を、今度は実際の音楽で行ってみてください。

ステップ 6：最後に垂直軸方向の最適ポイントを探ります。リスニングチェアに座り、椅子の高さを変えながら、同じ作業を繰り返します。

設計上の制約などにより、最適なリスニングポジションを選ぶことができない場合があります（ほとんどの場合がそうだと思います）。慌てなくても、リスニングポジションを数センチ離すだけで十分な場合が多くあります。また、部屋の音響的な処理を行うことにより、最適な位置に座っていないことによる影響を最小限に抑えることができます。

定在波（ルームモード）制御方法

定在波対策には以下の2つのアプローチが有効です。

① 吸音

② スピーカー位置/リスニングポイントの調整

定在波の周波数は、その部屋のサイズによって決定されてしまいます。

定在波の周波数を変えたりすることはできません。

部屋を新たに建築することができれば良いのですが、既存の部屋の場合、適度な吸音と、スピーカー位置とリスニングポイントの調整で、**できるだけ定在波の影響を緩やかにすることが重要**となります。

定在波（ルームモード）制御方法

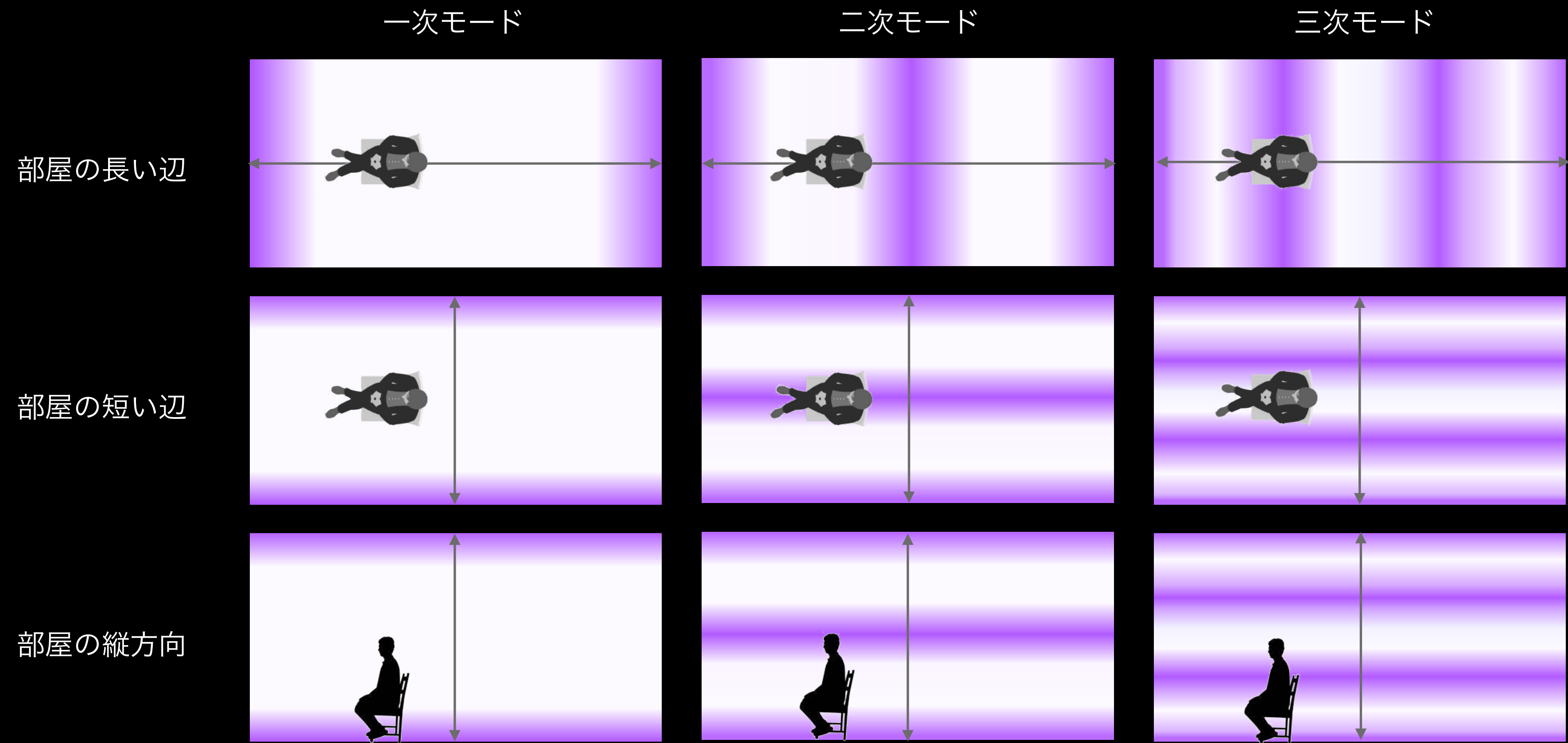
① 吸音



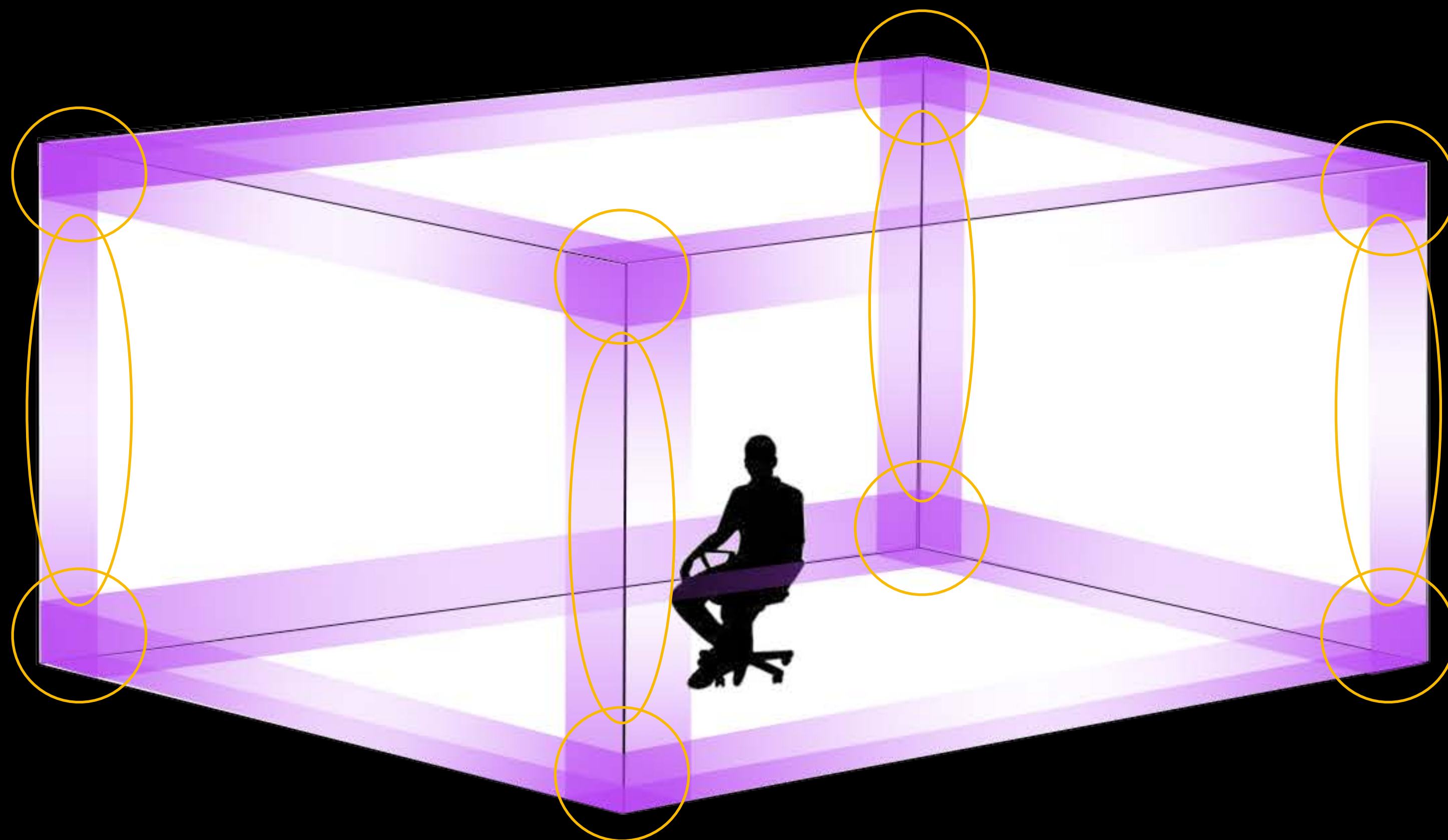
定在波対策には、ベーストラップを使用するのがGOOD!

吸音アプローチを行う場合、どこに吸音材を設置するのがよいのか？

Axial Mode (一次元モード)



Axial Mode (軸モード)



定在波（ルームモード）対策

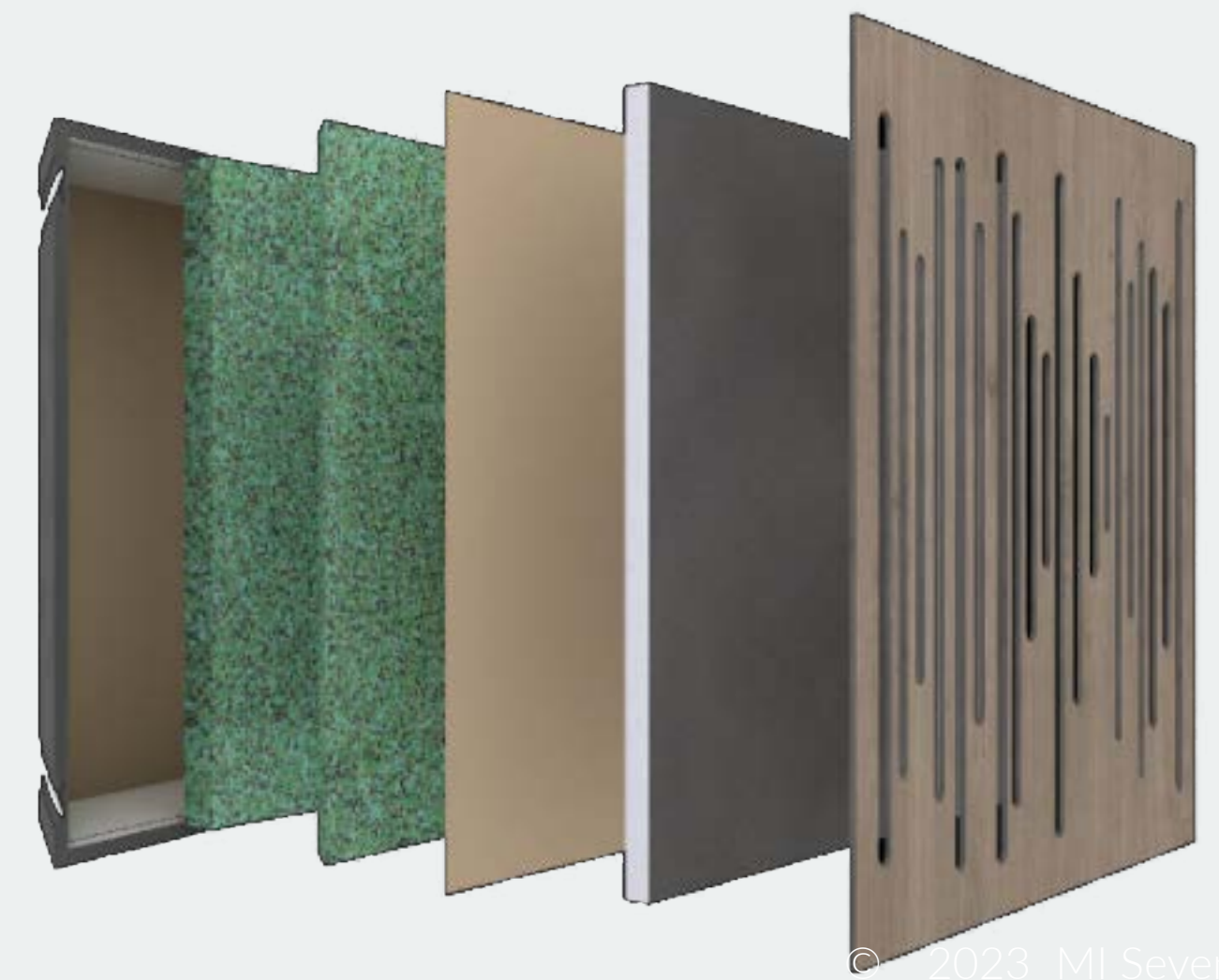
Vicousticのおすすめ

Super Bass Extreme Ultra



ベーストラップ

Super Bass Extreme Ultraは、低周波が問題となっている小さめの室内に強くお勧めします。コーナーマウントに最適で、60-125Hzで効果的な低域吸収を行い、75-100Hzで最大の効果を発揮します。木製フロントパネルは2つの機能を持ち、音をデッドニングすることなく、コーナー反射を抑制するために十分な中高域の吸収を提供します。



定在波（ルームモード）対策

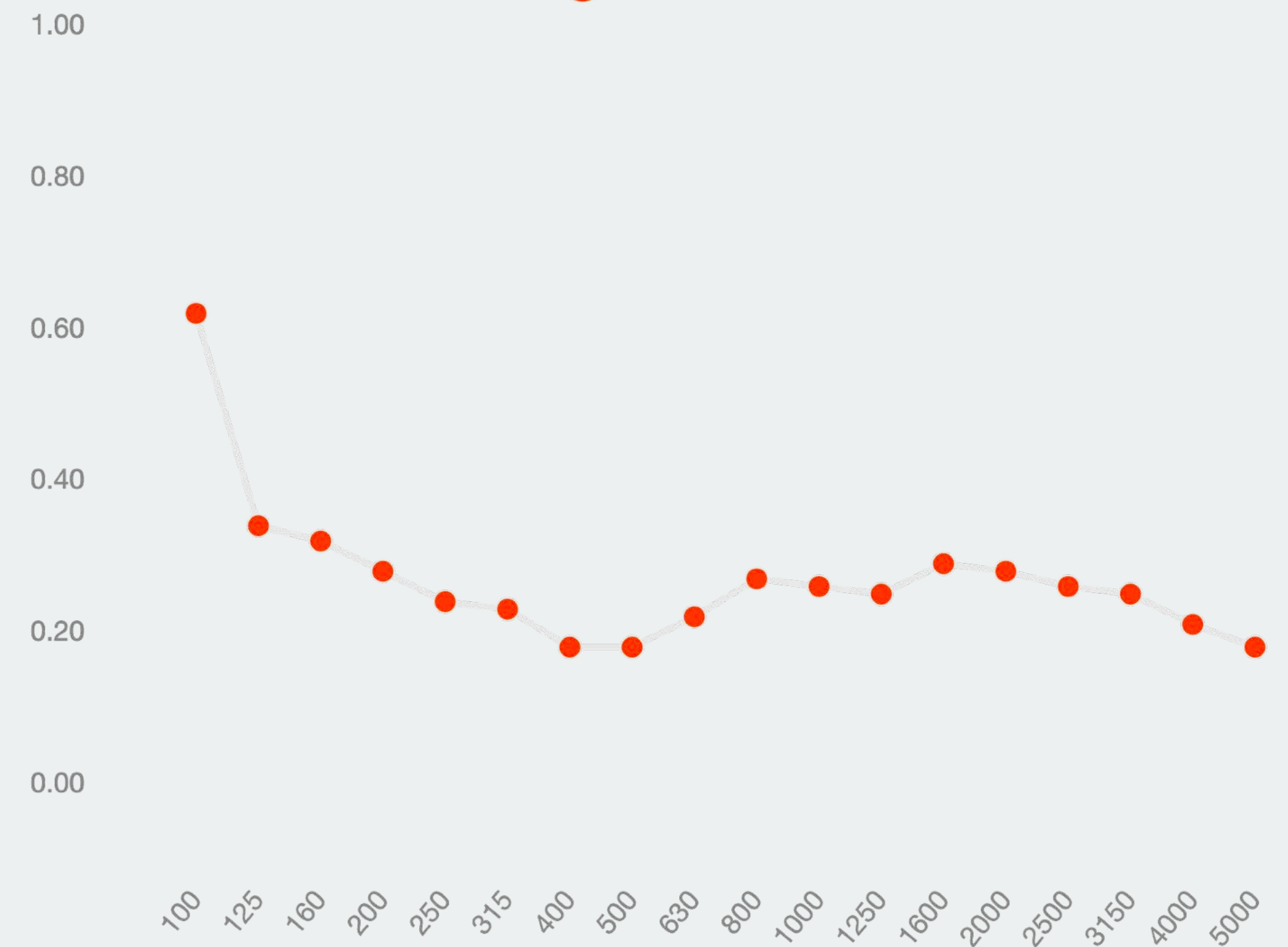
Vicousticのおすすめ

Super Bass Extreme Ultra



音響性能

● 吸音特性（等価吸音面積Aeq）



定在波（ルームモード）対策

Vicousticのおすすめ

Super Bass 90



ベーストラップ

独特な形状により、音波の反響が引き起こす激しい作用を最小限に抑えることが可能です。こうした作用は一般的に対策をとっていない室内でよく聴かれる「ブーミー」な音として現れますが、室内の低域周波数に対処するための複数テクニックが組み合わされています。

- ・ 革新的なデザイン
- ・ 高い吸音効率
- ・ 軽量で設置が容易

定在波（ルームモード）対策

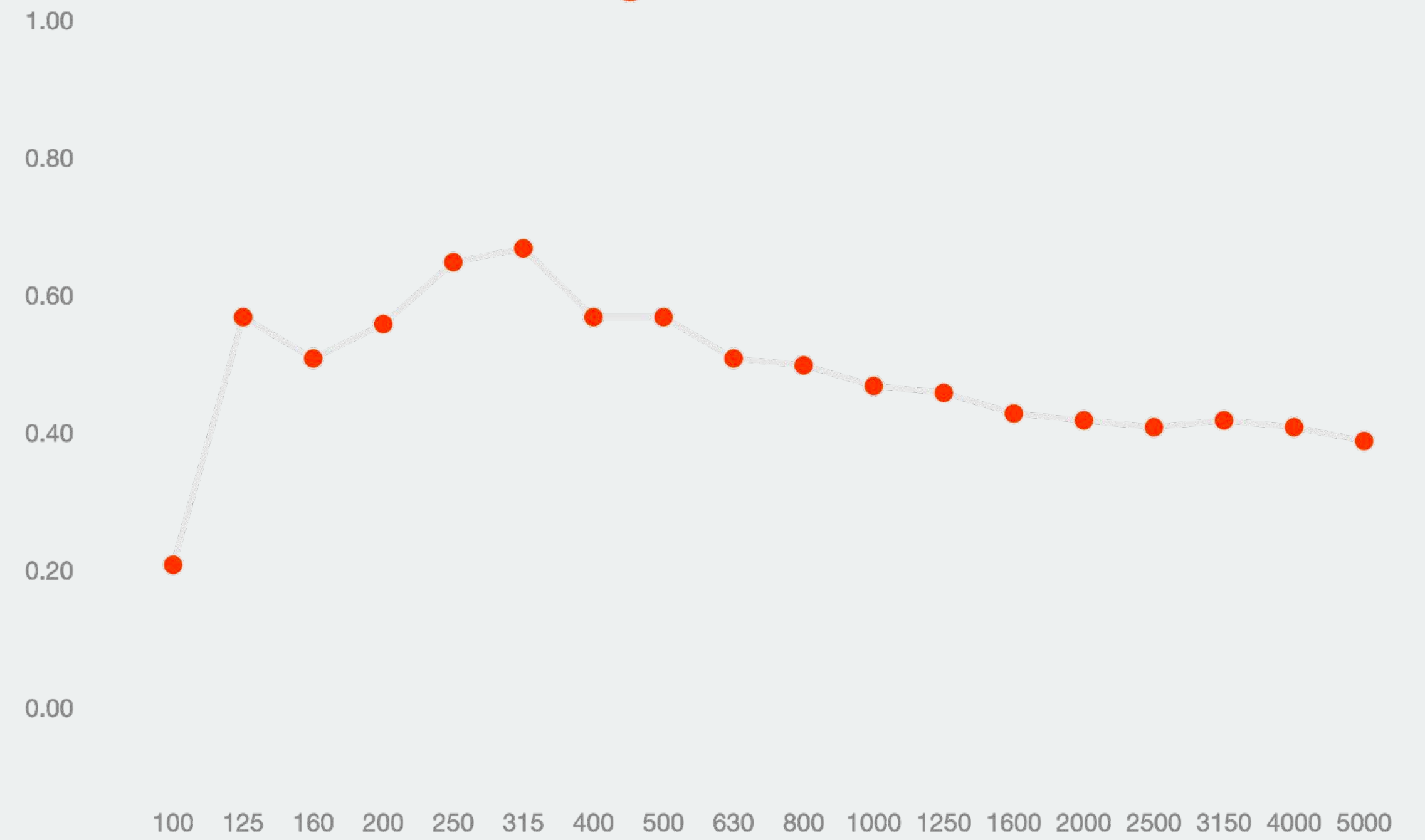
Vicousticのおすすめ

Super Bass 90



音響性能

● 吸音特性（等価吸音面積Aeq）



定在波（ルームモード）制御方法

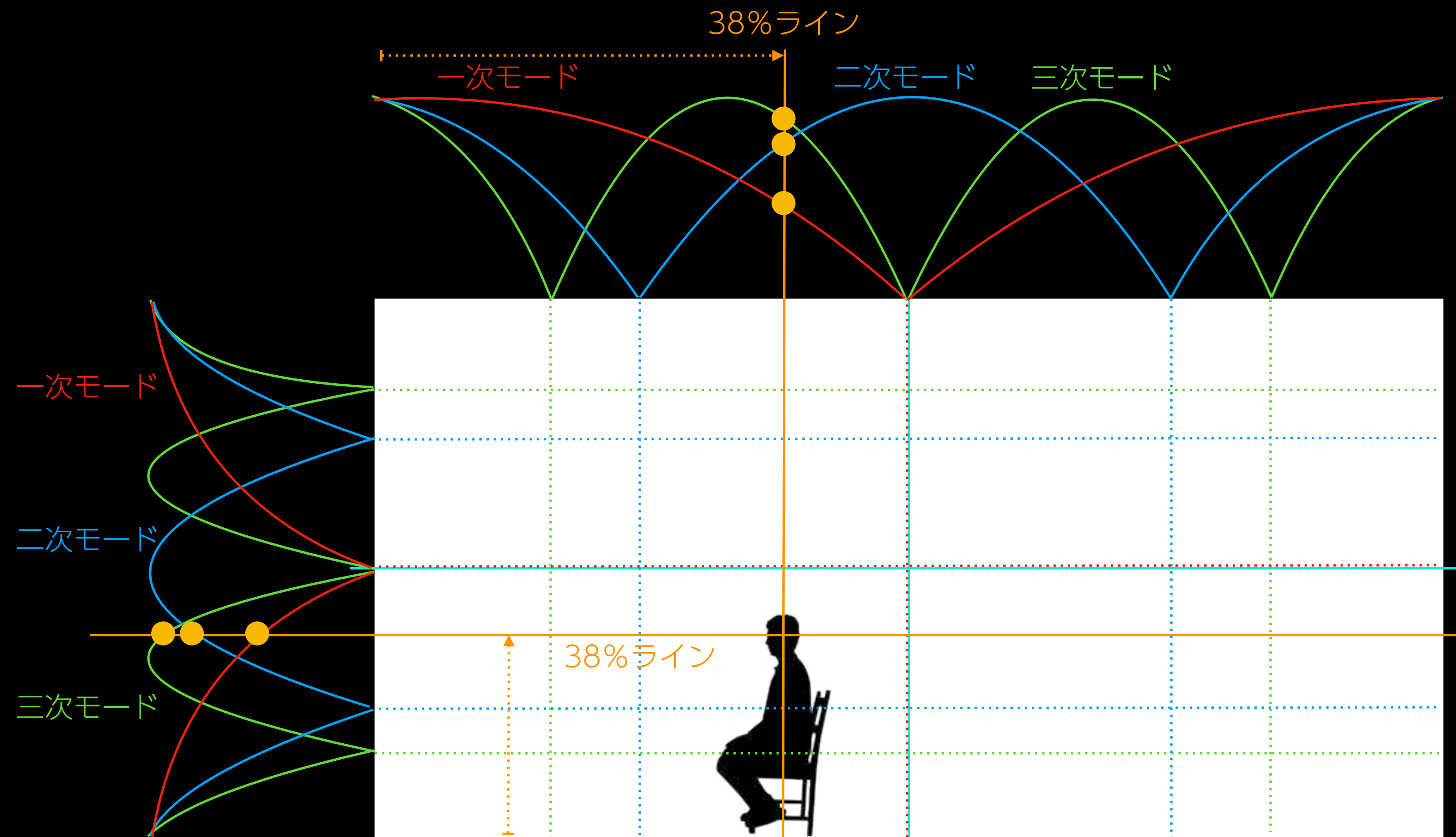
② スピーカー位置/リスニングポイントの調整



リスニングポイントは、モードの節や腹を（特に節）を避けるとGOOD。
モードの節にスピーカー（音源）をおくと、そのモードは発生しません。

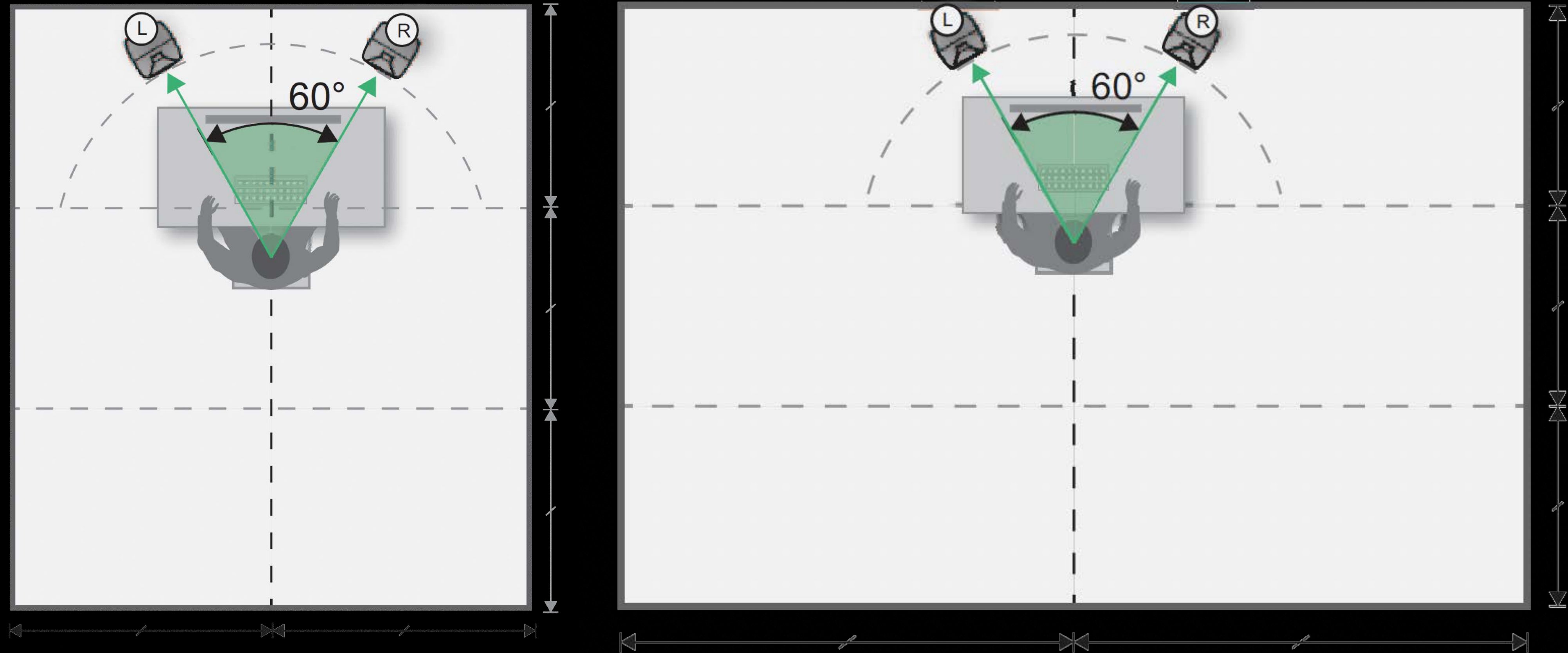
では、どこにスピーカーを設置し、
どこにリスニングポイントを設けるべきでしょうか？

定在波を回避する黄金律：38%ルール



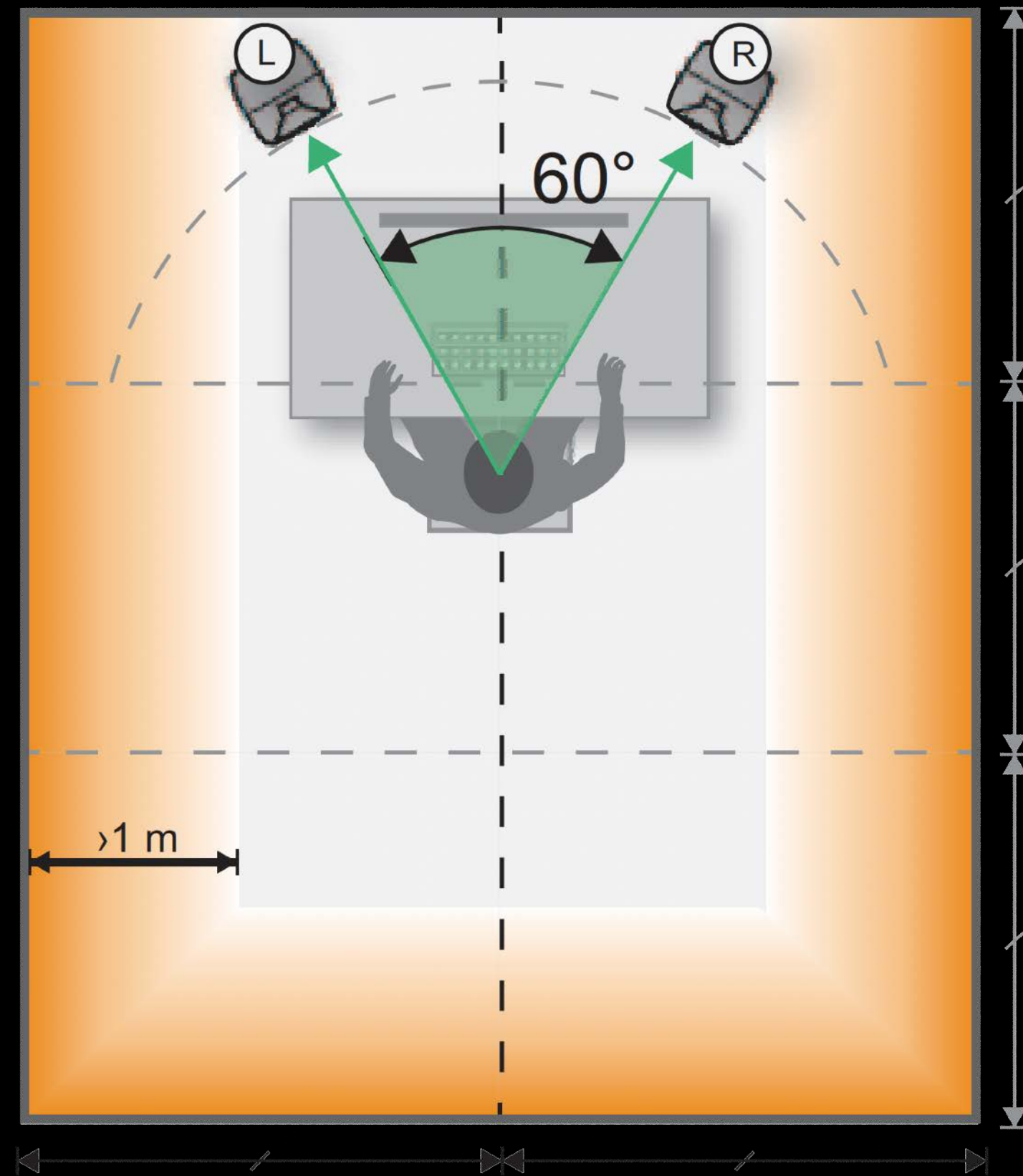
参照：The Art of Being Human/Vicoustic

スピーカーの配置を決める



部屋の対称軸（センターライン）を見つけ、スピーカーを左右対称に配置します。
スピーカーの設置角度は60° が基本です。
スピーカーとリスニングポジションが正三角形になるようにしましょう。

スピーカーの配置を決める

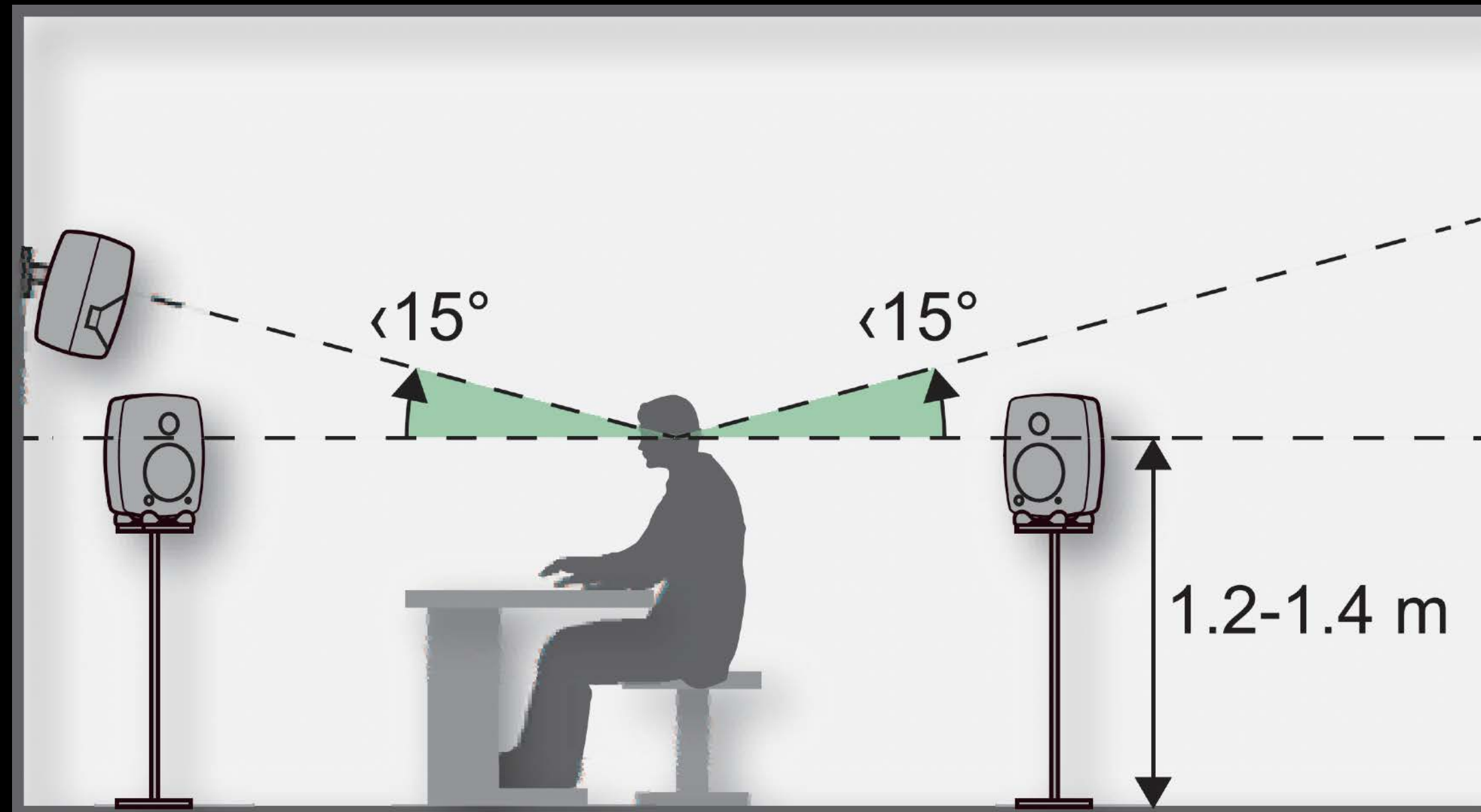


参照：Monitor Setup Guide/Genelec



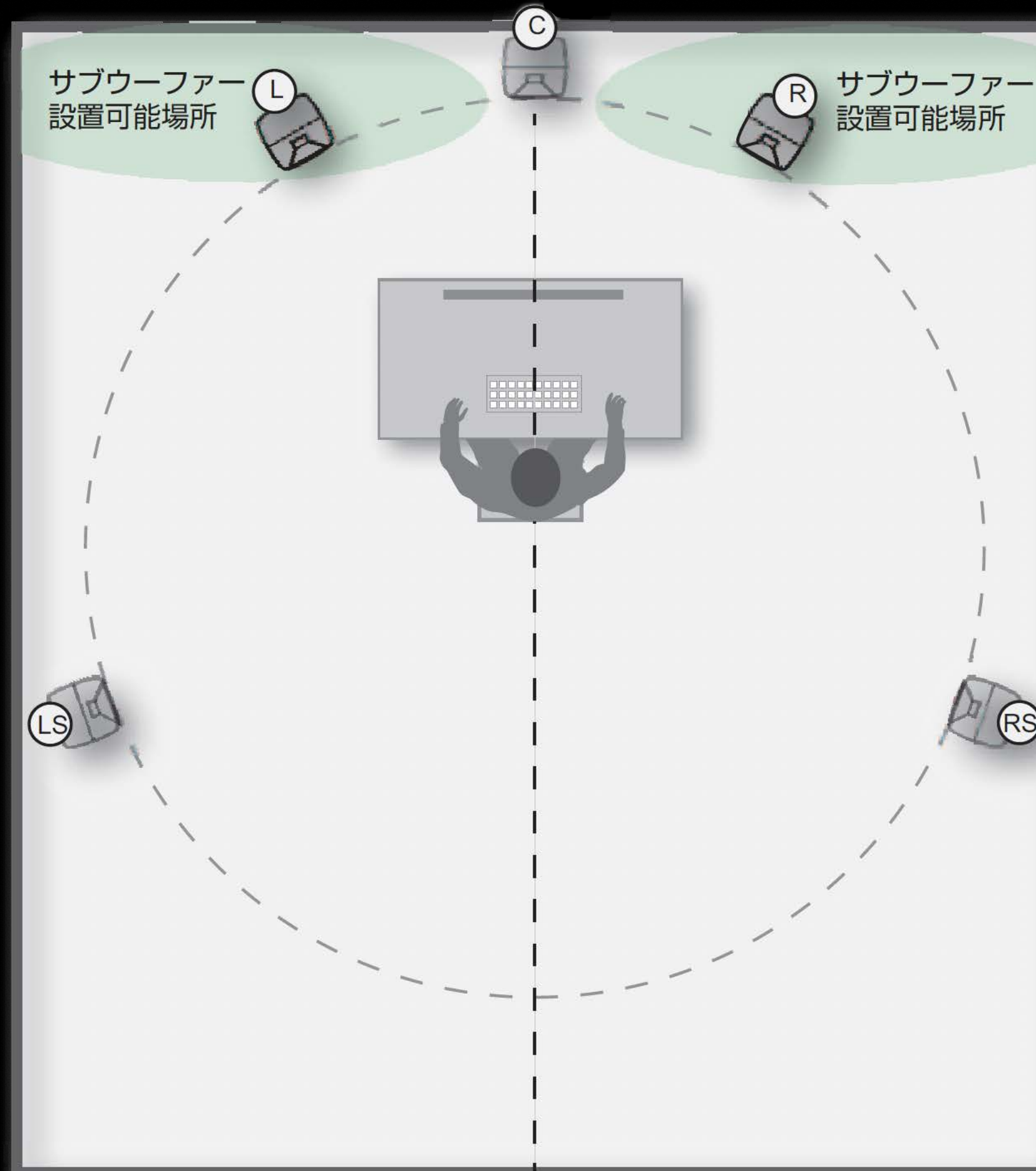
定在波の影響を避けるため、リスニング位置は、音圧極大圏を避けるために壁から少なくとも1メートル離れた場所に配置します。

スピーカーの配置を決める



一般的な2ウェイシステムの場合、**モニターの音響軸の高さを耳の高さに合わせる**ことをおすすめします。通常は床から1.2～1.4メートルの高さになります。モニターの設置位置を高くして少し傾けると、床からの反響を最小限に抑えることができます。標準ステレオ/マルチチャンネル制作では、モニターを高く設置しすぎて傾きが15度以上にならないようにしてください。各モニターは必ずリスニング位置に向くように設置します。モニターの床からの位置が高くなればなるほど、反響による周波数特性のずれが少なくなります。ただし、部屋の高さの半分の位置に配置するのは避けてください。低域では天井も反響面となるためです。

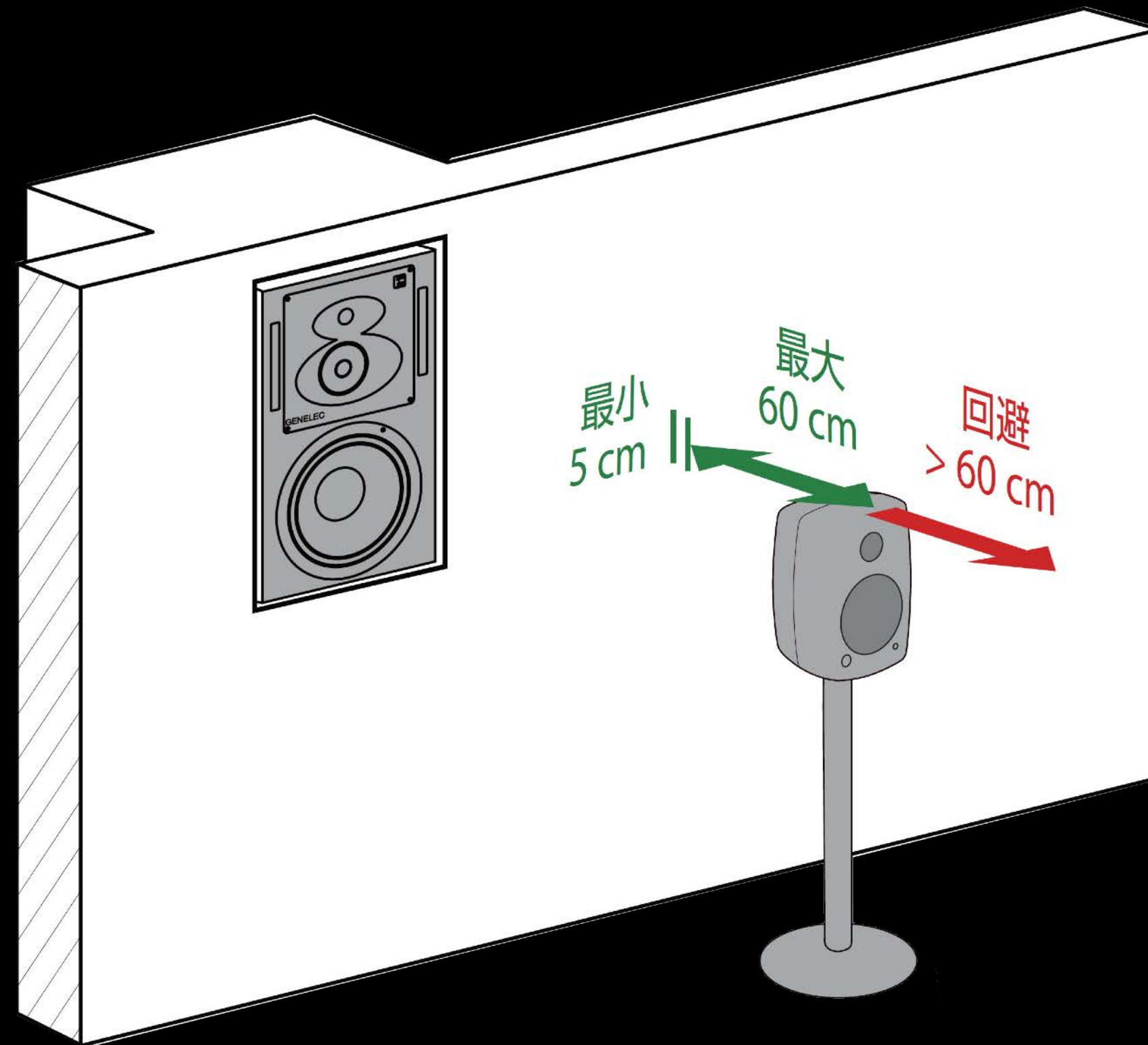
サブウーファアの配置を決める



低域では、定在波が均等に励起されることが重要です。1 台のサブウーファアを使用する場合、前壁に沿って、室内の中央軸から少しずつずらして配置することをおすすめします。室内を囲むように2 台または4 台のサブウーファアを使用すると、定在波の励起を安定させることができます。

参照：Monitor Setup Guide/Genelec

後壁のキャンセレーション



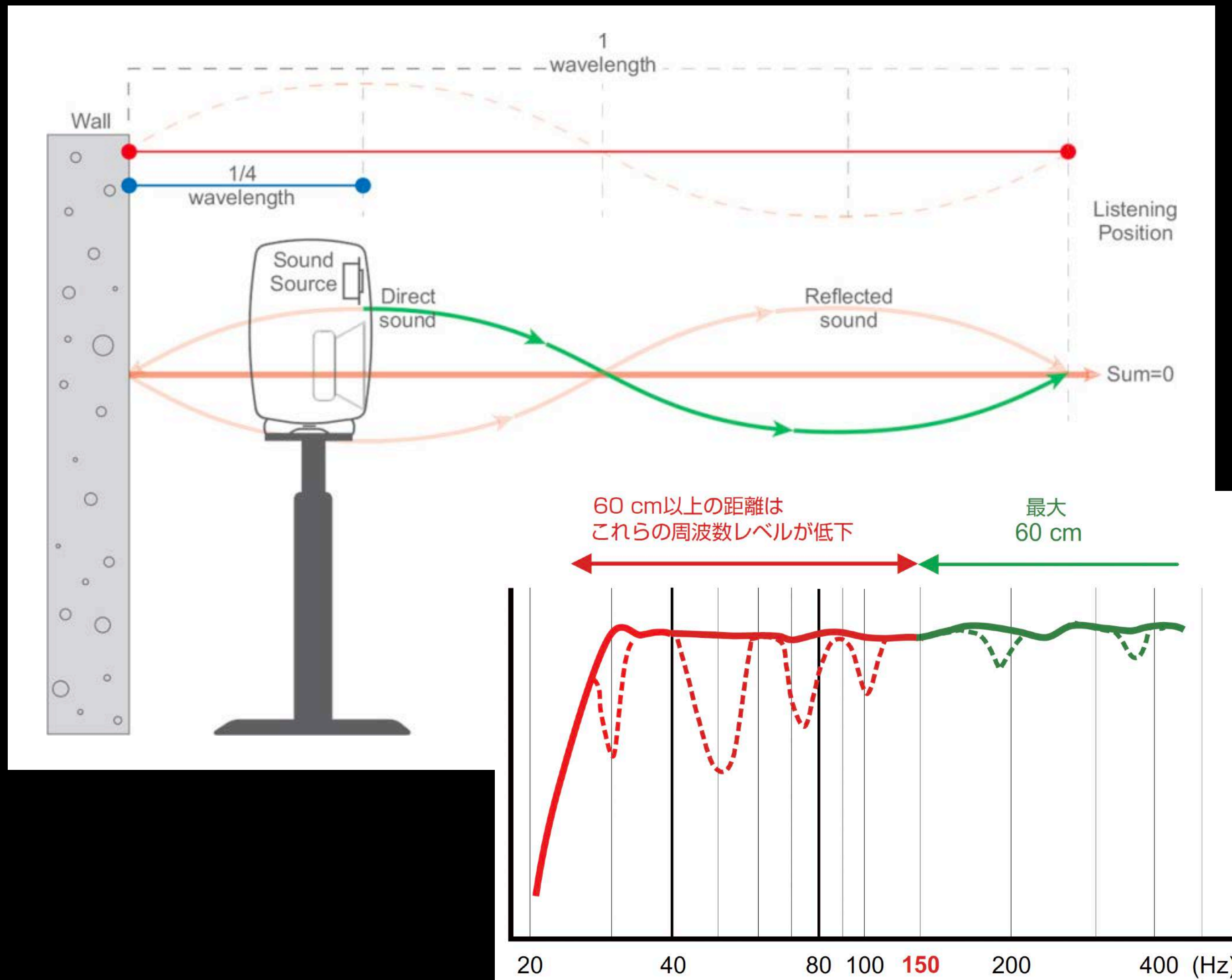
キャンセレーションを防ぐには、モニターを十分壁に近づけて配置してください。一般的に、**モニターの正面から壁までが60 cm未満**になるようにします。こうすることで、低周波出力の低下を避けられます。リアバスレフポートからのフル出力を確保するためにもモニターは**壁から少なくとも5 cm 離して配置**する必要があります。

参照：Monitor Setup Guide/Genelec

後壁のキャンセレーション



モニターを設置する壁面からの距離は、音質にとって非常に大きな意味を持ちます。モニターと壁の間に隙間があると、この距離が音の波長の1/4に相当する周波数で、壁の反射がモニターと位相がずれてしまい、反射した音声モニターからの音声を打ち消してしまうのです。この周波数では、音のレベルが低下します。どの程度低減するかは、距離とモニター背後の壁がどの程度音を反射するかで決まります。



V//COUSTIC

INNOVATIVE ACOUSTIC SOLUTIONS

【ビデオ】

Vicoustic CEOシーザー氏インタビュー

アーカイブ動画をYouTubeにてご覧いただけます

https://youtu.be/O0bIPE6u_Hk



VicBooth

Vicousticの高い音響性能とデザイン性を兼ね備えた次世代の防音ブース



 **GOOD DESIGN AWARD 2022**