

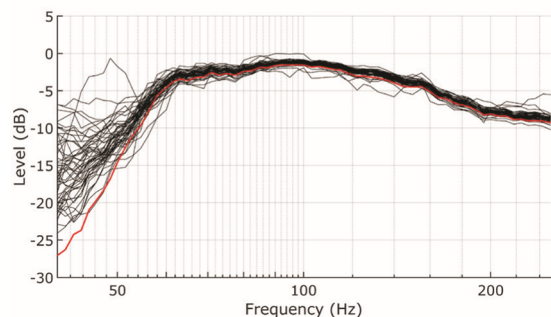


低い周波数領域に対する 測定品質を向上させるには？

- 考慮すべきはスイープ数：屋外 8 回 屋内 4 回
- スイープレベルはスピーカーシステムの動作を代表するレベルで
- スイープ時間はほとんど影響しない

低い周波数領域における測定の品質

バックグラウンドノイズは、測定したスピーカーシステムの周波数レスポンス*の品質に影響を与えます。測定を繰り返すことで、特に低い周波数領域では全く異なる結果が得られることがあり*、最適なシステムチューニングの決定（EQ*、タイムアライメントによるサミングの品質など）を妥協することになります。適切な試験信号パラメータと複数の測定を組み合わせることで、低い周波数領域に対して一貫性のある定性の高い測定が可能となります。



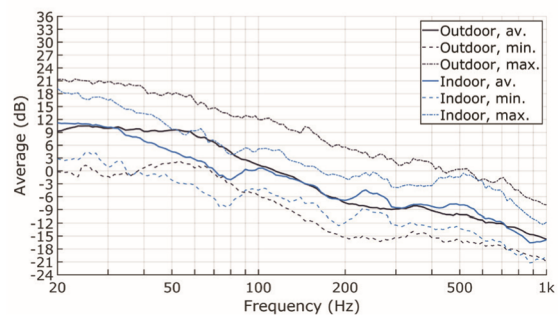
測定品質を向上させるための推奨事項

ノイズスペクトルと経時変化

典型的なノイズスペクトルは、 $-6\text{dB}/\text{Oct}$ のスロープを持つローパス特性を持っています。

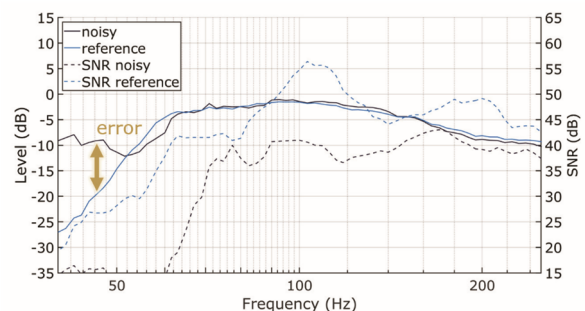
これは通常、作業者（話し声やインパルス性のノイズ）、環境騒音、マイクに当たる風（屋外）、暖房、換気、空調システム（屋内）などから発生します。

本来、測定におけるバックグラウンドノイズは非常に不安定で、特定の周波数において、屋外では最大 20dB、屋内では最大 12dB のレベル変動があります。



測定誤差と信号対雑音比との関係

測定中のバックグラウンドノイズの存在は、キャプチャした周波数特性の品質を低下させる可能性があります。低い周波数領域では、スピーカーシステムのカットオフ周波数（ -10dB ）*付近で測定誤差が増加する可能性があります。ここに表示されているように、フルレンジシステムでは一般的に低域側のカットオフ周波数が該当しますが、サブウーファーシステムを測定する場合は、低域側および高域側どちらのカットオフ周波数も該当します。実際、有用な信号レベルが低下してノイズレベルが高いままの場合、後者は測定値を破損します。誤差は信号対雑音比*（SNR、付属書 2 参照）によって間接的に評価します。



スイープ数を増やすことによる測定品質の向上

テスト信号として複数回のスイープのキャプチャを組み合わせることは、測定の品質と一貫性を向上させるために推奨されるソリューションです。M1 ツールではこれが可能です。

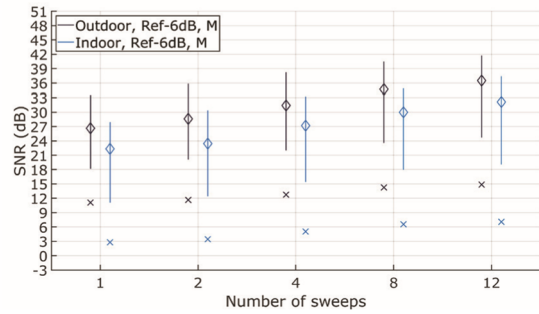
スイープ数、スイープ時間、スイープレベルが測定品質と一貫性に及ぼす影響を検証するために、屋内と屋外の両方で 50 スイープ*の複数のシリーズを取得しました。スイープは、M1 ツールと同様に、1、2、4、8、12 スイープの連続したグループにまとめて測定を行います。測定結果は、SNR、測定誤差（品質の指標）、測定不安定性（一貫性の指標、付属書 3 参照）の観点から分析します。統計分析は、すべての測定値を使用し、対応するスピーカーシステムの低いカットオフ周波数（屋外 40~110Hz、KARA、屋内 25~70Hz、K1）に焦点を当てて、各基準について実行されます。

すべての測定値を用いて、対応するスピーカーシステム（屋外・KARA・40~110 Hz、屋内・K1・25~70 Hz）の低いカットオフ周波数に焦点を当てて、各基準に対して統計分析を行いました。

SNR への影響

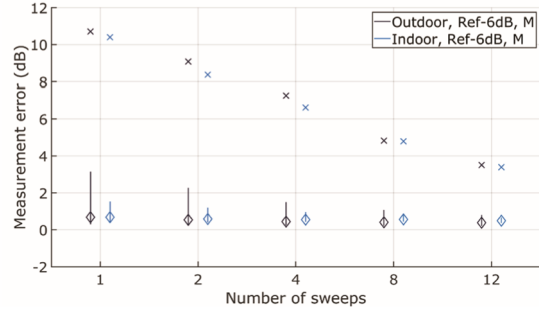
スイープ数を 1 から 8 に増やすと、低域側カットオフ周波数領域で平均 SNR（ダイヤモンド）が 8~9 dB も改善されます。

極端に低い SNR 値 (x) では、この改善はそれほど大きくなく、屋外では 4~5 dB しか改善されません。これらの SNR 値は通常、信号レベルが非常に低い「低域側カットオフ周波数以下」の周波数に対応しています。



マグニチュードエラーへの影響

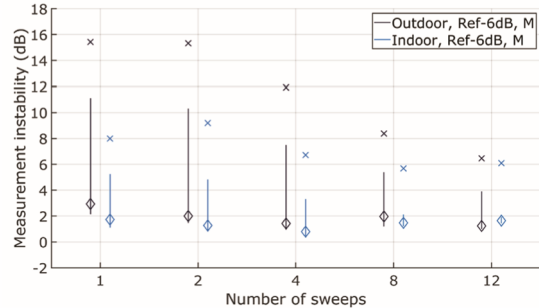
低域側カットオフ周波数領域の平均振幅誤差（ダイヤモンド）は、どの設定でも小さな値を示しています。極端な値(x)は、1 回スイープのケースで最大 10 dB に達し、スイープ数を 2 倍にすると約 2 dB 減少します。高い値（縦線の上点）も同様に減少します。屋内外ともにスイープ数を増やすことで、全体的に測定品質が向上しています。



測定の不安定性への影響

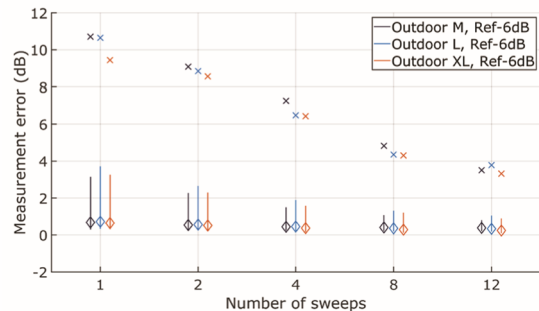
測定の不安定性は、1 つのテイクから別のテイクへの測定の一貫性の指標です（計算の詳細については付録 3 を参照）。

測定の不安定性は、一般に屋外より屋内で低く、スイープ数を増やすことで低減されます。数分間隔で実行される測定結果は、1 回スイープのみよりも、屋内の 4 回のスイープ、または屋外の 8 回のスイープから計算した結果に類似します。



スイープ時間の影響

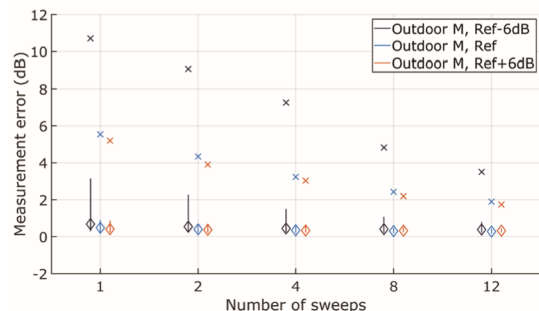
スイープ時間が測定誤差、ひいては品質に及ぼす明らかな影響はありません（詳細は付属 4 を参照）。ただし、スイープ数の増加による誤差の減少は非常に一貫しており、スイープ時間には依存しません。



スイープレベルの影響

スイープレベルを上げると、測定誤差は減るかもしれませんが、必ずしも期待した効果が得られるとは限りません（詳細は付属 4 を参照）。また、レベルを上げるときは、制限を避けることや、非線形性動作に達しないように注意しなければなりません。

スイープ数を増やすことは、すべてのスイープレベルで測定誤差を減少させる傾向があります。



用語集

カットオフ周波数 (-x dB) : レベルがシステムの振幅レスポンスの最大レベルより x dB 低くなる周波数。これにより、動作周波数範囲の下限または上限を定義する。

EQ / イコライゼーション : オーディオシステムの周波数レスポンスを電氣的に調整することを目的としたツールまたはプロセス。

周波数レスポンス : システムのエLEMENTによって信号に引き

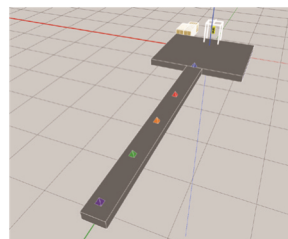
起こされる周波数依存の変動の特性。

高域周波数 : 聞こえる周波数範囲を3つ（低 / 中 / 高）に分けた場合の250 Hz以下の周波数。

スイープ : 対数正弦波スイープの略。指数関数的な速度で増加する周波数の正弦波で、信号の持続時間にわたって聴取周波数範囲全体をカバーする。

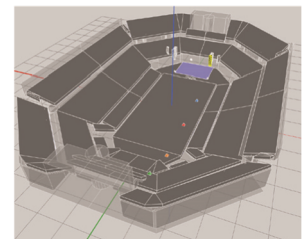
付録1：測定のセットアップと条件

測定は屋内と屋外の両方で行いました。マイクはスピーカーシステムのカバーレージに応じて、20 mから75 mの一定の距離に配置しましたが、この調査では40 mの測定のみを用いています。3つのスイープ時間（M = 1.36秒、L = 2.73秒、XL = 5.46秒）と3つのスイープゲイン（基準レベル、基準-6dB、基準+6dB）を使用して、50スイープを記録しました。基準レベルは、システムの通常の動作条件に対応するように設定しています。



屋外:L-Acoustics,
Paris, France

8 KARA



屋内: AccorHotels Arena,
Paris, France

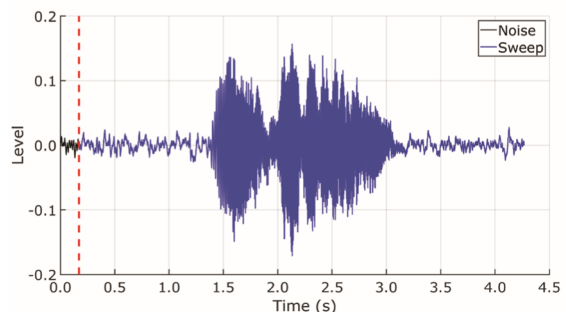
12 K1 + 4 K2 down

付録2：M1 ツールによるSNRの評価

SNRは、スイープ再生中のバックグラウンドノイズのエネルギーと、記録された信号のエネルギーを比較することによって評価されます。ただし、バックグラウンドノイズを抽出することはできません。スイープ再生中にノイズが発生することがあるため、M1 ツールはスイープを開始する前にノイズの小さなスナップショットを記録します。

M1 ツールは、記録したスイープのレベル（バックグラウンドノイズを含む）とノイズスナップショットのレベル（記録の長さにノーマライズした）を比較します。SNRは、ノイズスナップショットと記録された信号の両方について、広帯域またはFFTを使用して特定の周波数について計算できます。

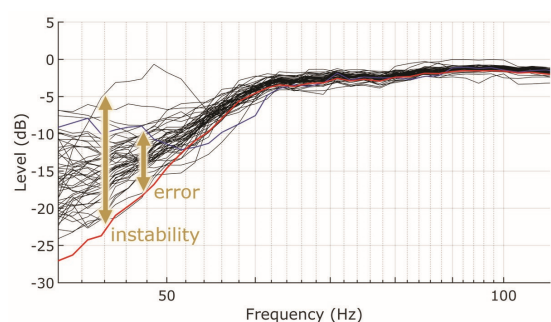
M1 ツールのSNR推定は、「信号+ノイズ」と「ノイズ」の比率の推定に対応していることに注意してください。0dBの値が観測されるのは、信号がなく、スナップショットと録音の間でノイズが同一の場合のみです。



付録3：測定誤差と不安定性の計算

測定は、N = 1、2、4、8、12の連続したスイープの組み合わせ（低域周波数領域における振幅平均）です。したがって、50回のスイープ記録の各シリーズで、50、49、47、43、39の測定結果がそれぞれ取得されます。

基準周波数レスポンスは、すべてのスイープのリニア平均として50スイープの各シリーズに対して計算します。このホワイトペーパーでは、1/3オクターブのスムージングを用いており、これは低域周波数での聴覚帯域幅に相当します。



測定誤差は、特定の測定値（青）と基準周波数レスポンス（赤）の差（dB）として各周波数で計算します。

測定の不安定性は、すべての測定のばらつき（dB）として計算します。

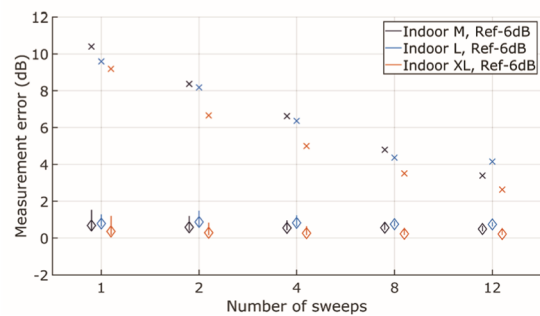
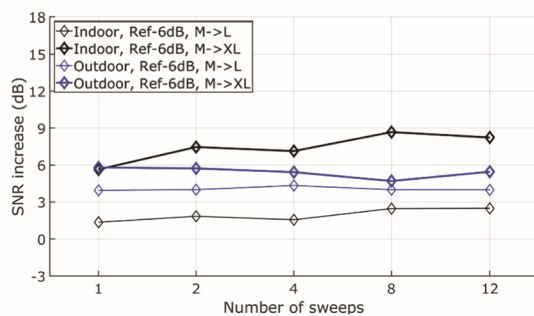
測定誤差と不安定性は、前の図の KARA (40~110Hz) で示すように、スピーカーシステムの低域側カットオフ周波数（1/2 オクターブ下と 1 オクターブ上）を中心に計算します。

図では、次の表示を使用します。

- ダイヤモンド：中央値、「平均値」と呼びます。
- 縦棒：25~75%のパーセンタイル、「低」と「高」の値と呼びます。
- x: メトリックに応じて 5 パーセンタイルまたは 95 パーセンタイル、「極端な値」と呼びます。

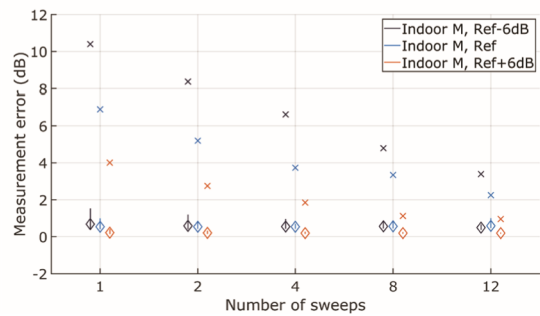
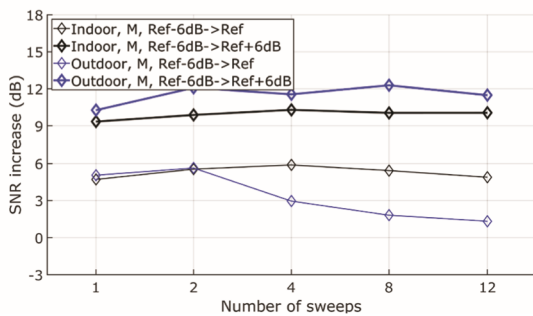


付録 4：レベルとスイープ時間が測定誤差に与える影響



バックグラウンドノイズが信号と完全に無関係である場合、スイープ時間を 2 倍にすると、理論上の SNR の増加は 3 dB になります。この傾向は、M から L (2 倍の長さ) まで 3 dB 増加し、M から XL (4 倍の長さ) まで平均で約 6 dB 増加する測定結果からグローバルに観察できます。

ただし、測定誤差の減少には制限があります。スイープ時間を長くすると、測定セッションの時間が増えるだけでなく、断続的なノイズを捉える可能性も高くなり測定品質が低下します。



SNR の点では、スイープレベルを上げることに明らかなメリットがあります。理論的には、レベルの変更は自動的に同等の SNR 変動に変換されるはずですが、バックグラウンドにはさまざまな性質があるため、この効果が常に観察されるとは限りません。レベルを上げると測定誤差が減る可能性があります、「スイープの回数を増やさない限り測定誤差がそれ以上減らない壁」に達することがあります。