



## 高い周波数領域に対して 安定した測定を行うには？

- 長距離（約 60 m 以上）での測定を避ける。特に風が強い状況での HF の最適化はシミュレーションを頼る
- スイープ数を増やす：屋外 8 回 屋内 4 回

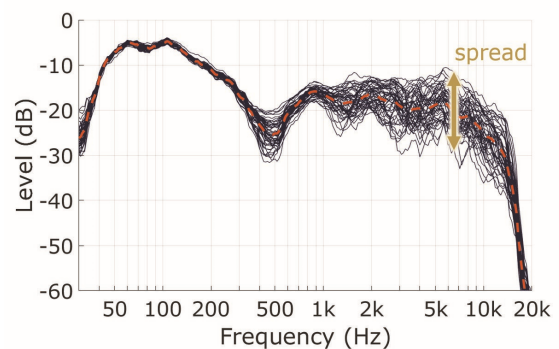
### マルチスイープアプローチ

スピーカーシステムの周波数レスポンス\*は、以下のような大気条件の変化により、時間の経過とともに変化します。

- 温度や湿度（ゆっくりとした変化）
- 風（急激な変化）。

複数回のデータ採取を実施すると、特に長距離において、HF 領域\*の周波数レスポンスに大きなばらつき（spread）が見られることがあります。このようなばらつきがあると、1 回の採取で得た結果に対しての EQ\*決定は無意味になります。

M1 ツールでは複数のスイープを記録して組み合わせることができます。このようにして得た測定結果は大気条件の変化の速さを考慮したものであり、スピーカーシステムの周波数レスポンスをより信頼性の高い形で表現します。



### 安定した測定結果を得るための推奨事項

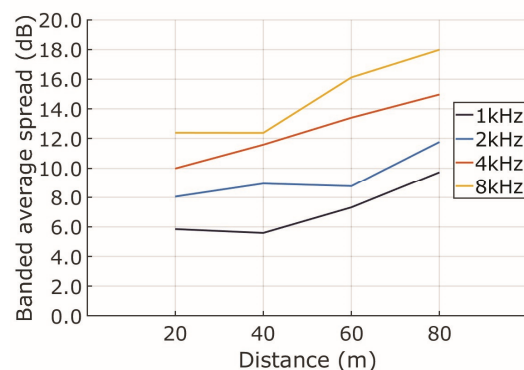
#### 距離と周波数の影響

周波数レスポンスの平均的なばらつきは、一般的にはつぎの要素で増加します。

- ソースまでの距離
- 周波数

したがって、**長距離（約 60m 以上）での測定は避け**、HF 領域のシステムパフォーマンスの最適化はシミュレーションに頼ることをおすすめします。

注：風の影響により、屋外では HF 領域に大きなばらつきが発生しますが、暖房・換気・空調システム（HVAC）が空気の循環を促進する大規模会場でも観察されることがあります。



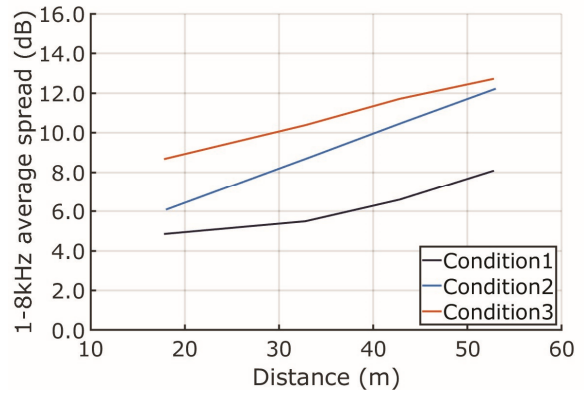
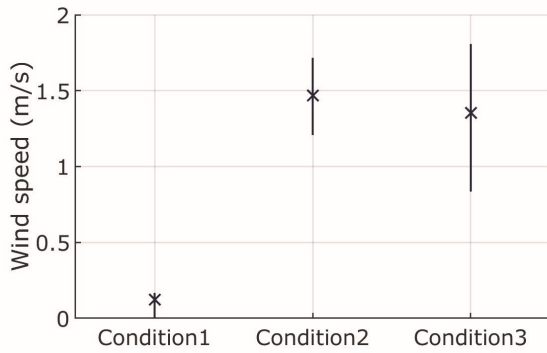
例：異なる周波数帯で測定した平均スプレッド  
米国カリフォルニア州ハリウッドボウル

#### 風の状態による影響

風速または時間の経過に伴う風の変動は平均的なばらつきに直接影響します。これは、さまざまな風の条件下で取得したデータで観察できます。

1\_ 最適化は Soundvision での設計中に行われ、ショーの最中には Auto Climate を提供します。

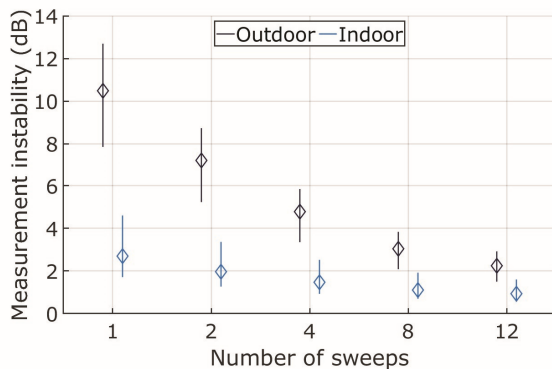
風速は2つの気象観測所で測定され、周囲の条件をより代表するように平均化しました（局所的な変動の平滑化）。



風速の平均値 (x) は、測定セッション中の風の強さを示します。縦棒は25パーセンタイル値と75パーセンタイル値の違いを示し、この期間の風速の変動性を示しています。条件1では風はありませんでした。これにより、条件2または3と比較してスプレッド値（ばらつき）が比較的低くなります。条件3では、条件2に比べて風が一定でなかったため、観測された平均スプレッドが高くなっています。

### スイープ数の影響

測定は、複数のスイープをキャプチャし平均化技術によって組み合わせた結果です。スイープ数が不十分な場合、測定した周波数レスポンスは、ある時間から別の時間に大きく変化することがあります。



屋外 (L-Acoustics、上述の風の条件2) と、屋内 (AccorHotels Arena、パリ、フランス) の40m地点、1~12スイープで得た測定不安定性の例。

スイープを繰り返すことは、時間の経過とともに測定をより安定したものにするための唯一の解決策です。それでもなお、測定的不安定性の値を見ると、屋外では8回を上回る、屋内では4回を上回るスイープを使用することの利点は限られています（レスポンスの安定性を参照）。

40mでは、1回のスイープで得られた屋外測定値は、数分間隔で実行した場合、一般的にHF領域で10dB変動します。8回のスイープを使用すると測定レスポンスの変化は3dBだけになります。垂直のバーは周波数間の25%と75%のパーセンタイル値の差を示しています。

注：60mを超えると、屋外での測定的不安定性はスイープの数に関係なく高いままです（80mで8スイープを使用した場合は $\approx 3\text{-}5\text{dB}$ ）。

### 用語集

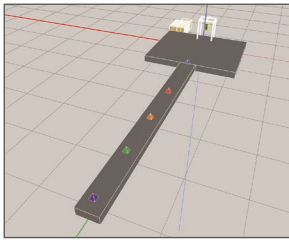
**EQ / イコライゼーション**：オーディオシステムの周波数レスポンスを電氣的に調整することを目的としたツールまたはプロセス。

**周波数レスポンス**：システムのエレメント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。

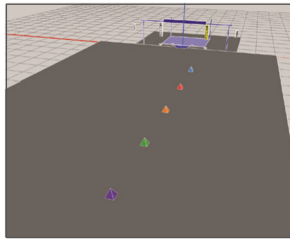
**高域周波数**：聞こえる周波数範囲を2つに分けた場合の1kHzを超える周波数（低/高）

## 付録 1 : 測定セットアップ

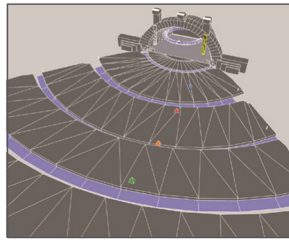
さまざまな環境での周波数レスポンスの安定性を評価するために屋内と屋外の両方で測定を行いました。マイクはスピーカーシステムのキャパリティに応じて、20 m~120 m の一定の距離に配置しました。大気データ（温度、湿度、風速、風向）と同期して、50 回のスイープを複数回測定することで大規模なデータセットを作成しました。



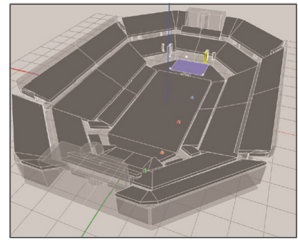
L-Acoustics R&D facilities,  
Paris, France  
8 KARA



Solidays open-air festival,  
Paris, France  
4 K1-SB + 12 K1  
+ 2 K2 (down)



Hollywood Bowl,  
Los Angeles, CA, USA  
4 K1-SB + 16 K1  
+ 4 K2 (down)

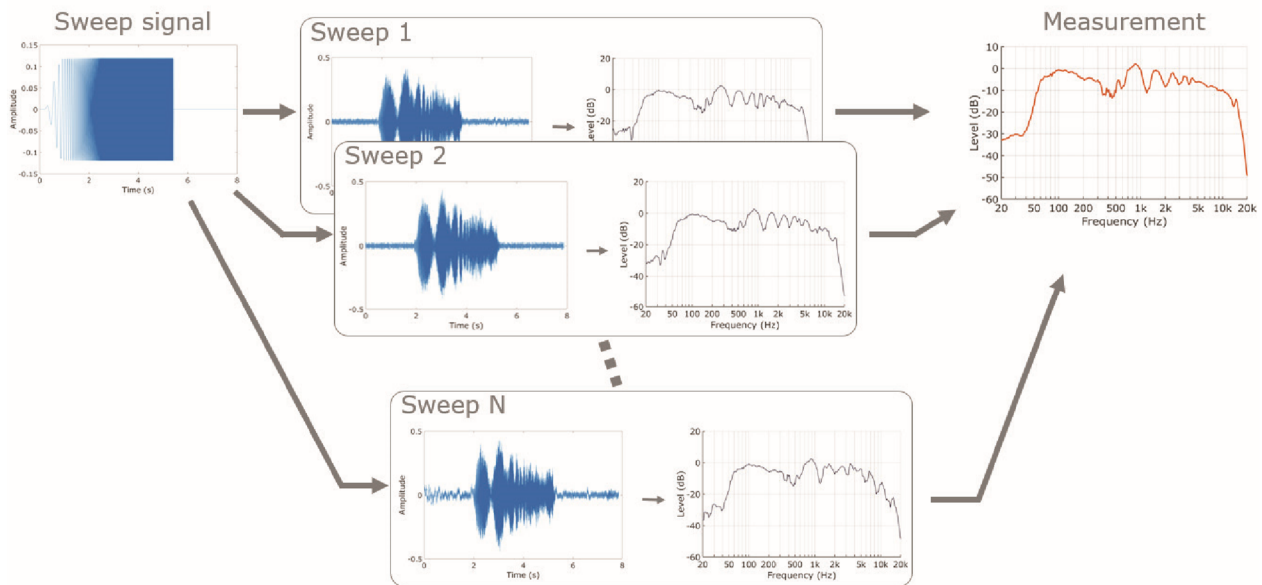


AccorHotels Arena, z Paris,  
France (indoor)  
12 K1 + 4 K2 (down)

## 付録 2 : レスポンスの安定性

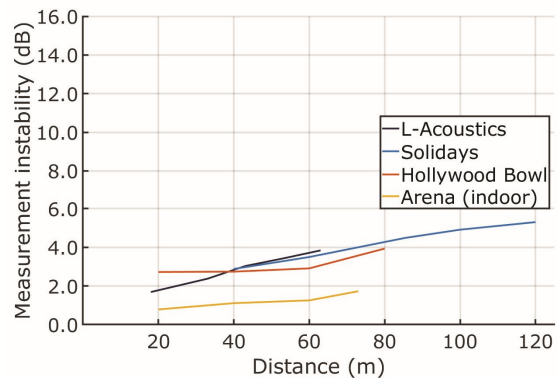
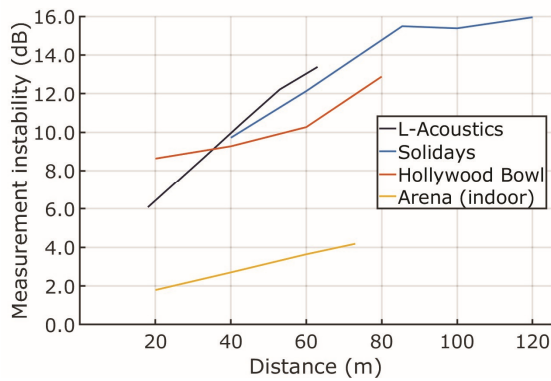
測定したレスポンスの安定性は 2 つの観点から評価できます。

- スイープを繰り返すことでどの程度違うのか？  
これはレスポンスの平均的なばらつきから推定します。
- 時間経過に対して測定がどれくらい安定しているのか？  
これは測定の不安定性から推定します。



レスポンスの**平均スプレッド**は次のように推定します。各周波数について平滑化した周波数レスポンス (1/6 オクターブ) の範囲 (最大-最小) を dB で計算します。「平均」スプレッドは、バンド制限 (1kHz、2kHz、4kHz、8kHz) または広帯域幅 (1-8kHz のオクターブバンド) のいずれかの周波数にわたる、この範囲の中央値に対応します。

測定は、N = 1、2、4、8、12 の連続したスイープ（平均値の単位は dB）の組み合わせです。**測定不安定性**は、数分間隔で実行された測定のばらつきとして計算します。不安定性の値は、広帯域（1~8kHz オクターブバンド）での推定です。

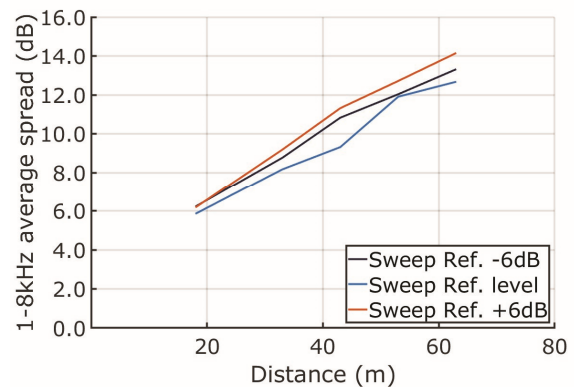
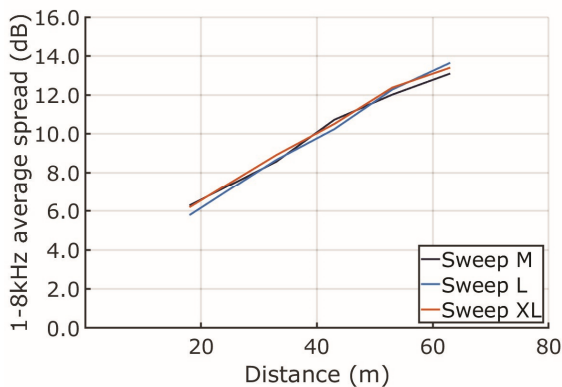


1回スイープ (左)、8回スイープ (右) における測定の不安定性 (中央値)

### 付録 3 : スイープ時間とスイープゲインの影響

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、基準レベル-6 dB、基準レベル +6 dB) を用いて、同じ環境 (L-Acoustics R&D 施設) で 50 回のスイープを繰り返しました。スイープ時間とスイープゲインの組み合わせから得られる 9 つの系列を 2 回測定しました (1 条件あたり 100 スイープ、合計 900 スイープ)。

システムのゲインは、信号対ノイズ比の観点から、最悪のシナリオでもデータを活用できるように設定しました。このことに基づき、システムのゲインは、最も遠い場所 (63m) のマイクで、最短のスイープ時間 (M) と最低のスイープゲイン (基準から-6dB) での測定において、信号対ノイズ比が 20dB を超えるように設定しました。



スイープ時間(左)とスイープゲイン(右)の平均スプレッドへの影響。

スイープ時間の影響を調べるために、データは3つのゲイン条件で平均化しました (例: スイープ M は、基準レベル・基準-6 dB・基準+ 6dB のすべてを平均化)。同様に、スイープゲインの影響を調べるために、3つのスイープ時間条件でデータを平均化しました。その結果、スイープ時間やスイープゲインの変更は、平均スプレッドや測定の不安定性に大きな影響を及ぼさないことがわかりました。