

**周波数変動係数を用いた矩形小空間の低音域における音圧分布の一様性評価に関する基礎的検討**  
**Basic Study of Evaluating the Spatial Uniformity of Sound Pressure Distribution in Low Frequency Bands**  
**using Frequency-domain Coefficient of Variation in a Rectangular Small Room**

○鈴木諒一<sup>1</sup>, 星和磨<sup>1</sup>, 羽入敏樹<sup>1</sup>

\*Ryoichi Suzuki<sup>1</sup>, Kazuma Hoshi<sup>1</sup>, Toshiki Hanyu<sup>1</sup>

1. はじめに

音楽スタジオのような小空間音場では、一般に空間内の音圧レベルが一様であることが求められる。しかし、竣工後の音響測定において音圧レベルの分布測定が行われることは少なく、その一様性の評価は実施されない事がほとんどである。これは、音圧分布の一様性を評価するためには、多点における音圧レベル測定が必要で、多大な労力と時間を要することが原因と考えられる。したがって、実務において簡便に測定して評価できる手法の確立が必要である。

そこで、少ない測定点でも安定して音圧分布の一様性を評価する手法を検討するため、減衰除去インパルス応答<sup>[1]</sup>のパワースペクトルの変動係数として定義されている周波数変動係数 (FCV) <sup>[2]</sup>に着目した。

本研究では、低音域において音圧の空間分布が大きく異なる矩形小空間の2室について数値シミュレーションを実施した。そして、本研究で提案するFCVに基づく評価方法によって、音圧分布の一様性を直接評価した空間的な音圧レベル分布の偏差 ( $\sigma_L$ ) と同様に2室の一様性の違いを評価できるか否か検討した。さらに、比較的少数の測定点を用いて評価する際に、FCVが音圧レベル分布の偏差 $\sigma_L$ と比べ、2室の一様性の違いを安定して評価できるか否かについても検討した。これらの結果について報告する。

2. 音圧分布の一様性の指標

本研究で音圧分布の一様性の評価指標として比較検討する音圧レベル分布の偏差 $\sigma_L$ とFCVについて述べる。

空間的な音圧レベル分布の偏差 $\sigma_L$ はN点で測定した音圧レベルから式(1)のように求める。

$$\sigma_L = \sqrt{\sum_{k=1}^N \frac{(L_k - \bar{L})^2}{N-1}} \quad (1)$$

ここで、 $L_k$ は測定点kにおける時間平均音圧レベルで、インパルス応答の2乗積分より求める。 $\bar{L}$ は $L_k$ の算術平均値である。

FCVは減衰除去インパルス応答<sup>[1]</sup>のパワースペクトル $P(f)$ より式(2)で求められる。

$$FCV = \sqrt{\frac{1}{f_2 - f_1} \int_{f_1}^{f_2} \{P(f) - \overline{P(f)}\}^2 df / \overline{P(f)}} \quad (2)$$

ここで、 $f_1$ と $f_2$ は評価帯域の下限周波数と上限周波数で、 $\overline{P(f)}$ は評価帯域内のパワースペクトルの平均値である。本研究ではN点で測定したFCVの算術平均値である $\overline{FCV}$ を求め、 $\sigma_L$ と比較する。

3. 解析対象の音場と数値シミュレーション手法

評価手法の検討のため、低音域の音圧の空間分布が大きく異なる矩形小空間についてC型CIP法<sup>[3]</sup>による数値シミュレーションを実施した。解析対象音場は、室形状(2パターン)と吸音率(4パターン)の組み合わせの8音場である。用いた室形状は図1に示すRoom-AとRoom-Bの2室である。吸音率は、全ての境界面に統計入射吸音率 $\alpha$ が0.00~0.15の0.05刻みとなるような反射係数をLondonの式<sup>[4]</sup>に基づき設定した。

室の隅角部に設置した音源点に標準偏差0.3msのガウシアンパルスを音圧の時間波形として与え、500mm間隔の立方格子点上に設置した受音点におけるインパルス応答を求めた。受音点数はRoom-Aで105点、Room-Bで125点である。また、時間離散化幅は40 $\mu$ s、空間離散化幅は50mm、空気密度は1.21kg/m<sup>3</sup>、音速は343m/sである。

本研究では $\sigma_L$ とFCVの算出にあたり、直接音到達時間を0msとして直接音と初期反射音を除く80ms~1391ms(32768データ)を解析対象とした。また、解析対象の周波数帯域は63Hzの1/3オクターブ帯域とした。

4. 音圧レベル偏差の $\overline{FCV}$ による評価の検討

各音場の $\sigma_L$ の違いを $\overline{FCV}$ を用いて評価できるか否か検討するため、図1に示した全受音点のインパルス応答を用い $\sigma_L$ と $\overline{FCV}$ を求めて比較する。

全受音点の音圧レベルから求めた $\sigma_L$ と、全受音点のFCVの算術平均値である $\overline{FCV}$ を図2に示す。なお、 $\alpha$

1 : 日大短大・教員・建築

=0.00 では減衰除去の必要がないため、 $FCV$ はインパルス応答のパワースペクトルから求めた。

図2を見ると、全ての吸音率でRoom-AよりRoom-Bの $\sigma_L$ が大きく、Room-Bの音圧レベル分布の偏差が大きいたことがわかる。また、 $\sigma_L$ は吸音率によってほとんど変化しないことがわかる。 $\overline{FCV}$ は全ての吸音率でRoom-AよりRoom-Bが大きく、 $\sigma_L$ と同様の傾向であった。これは、音圧レベルの空間偏差が大きいた空間においては、 $\sigma_L$ と同様に $\overline{FCV}$ も大きいたことを示している。以上より、Room-AとRoom-Bの $\overline{FCV}$ の差が $\sigma_L$ と同様の傾向を示したことから、 $\overline{FCV}$ によって $\sigma_L$ を評価できる可能性が示された。

### 5. 少ない受音点数による音圧レベル偏差の評価

音響測定において100点以上の受音点を設けることは実務上困難である。そこで本章では、図1に示した全ての受音点(Room-A:105点, Room-B:125点)から、乱数を用いてランダムに6点を選定し、これら受音点のインパルス応答から $\sigma_L$ と $\overline{FCV}$ を求める。この受音点の選定と指標の算出を1万回試行し、その際の各指標のばらつきについて調査し、音圧レベルの空間偏差の評価指標としての安定性について検討した。

ランダムに1万回選定した6点の受音点における音圧レベルとパワースペクトルから求めた $\sigma_L$ と $\overline{FCV}$ を図3に示す。図中の各点は指標の算出を1万回繰り返した際の平均値を、エラーバーはその標準偏差を示す。受音点間の最小間隔は1mとなるように選定した。

図3を見ると、6点抽出時の $\sigma_L$ と $\overline{FCV}$ の平均値は図2に示した全受音点の平均値とほぼ同じ値が得られてい

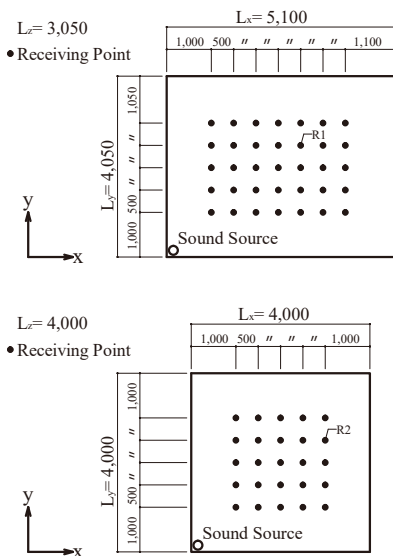


図1 音場の平面図と受音点位置 (上: Room-A, 下: Room-B)

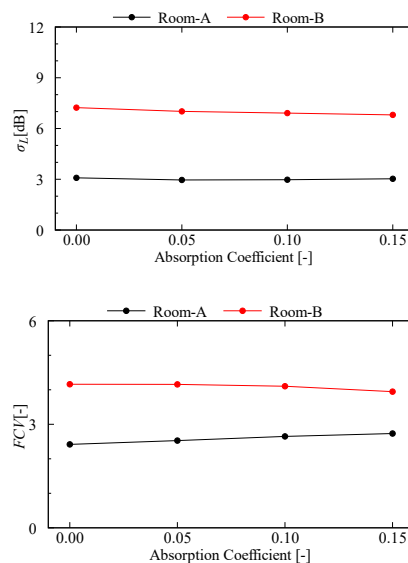


図2 全受音点から求めた指標値 (上:  $\sigma_L$ , 下:  $\overline{FCV}$ )

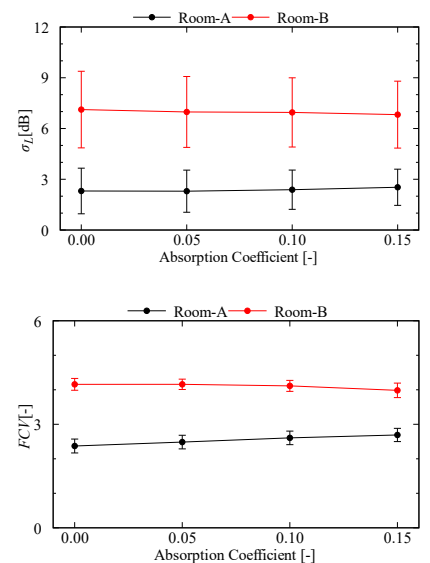


図3 6点抽出時の指標値 (上:  $\sigma_L$ , 下:  $\overline{FCV}$ )

る。次に標準偏差に着目してみる。6点抽出時の $\sigma_L$ の標準偏差は、 $\overline{FCV}$ の標準偏差と比較して相対的に大きい。この結果は、 $\sigma_L$ は受音点数が少ない場合には結果のばらつきが大きく結果の安定性、信頼性が低くなってしまうことを示している。この結果は、 $\overline{FCV}$ は受音点数が少ない場合においても結果のばらつきが小さく、結果の安定性と信頼性を確保できる可能性を示している。

### 6. まとめ

本研究では、音圧の空間分布の一様性を少ない測定点で評価するための指標について、シミュレーション音場を用いて検討した。その結果、減衰除去インパルス応答のパワースペクトルの変動係数である $\overline{FCV}$ を用いることで、 $\sigma_L$ と同様に音圧分布が異なる2室の違いを評価できる可能性を示した。さらに、 $\sigma_L$ と比べて少ない測定点でも安定して評価できることを示した。

### 謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP19K04743, JP20K22454の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] T. Hanyu, *Building Acoustics*, 21, 2, 125–133, 2014
- [2] T. Hanyu et al., *Euronoise*, 2011–2018, Crete, 2018
- [3] 日本建築学会, はじめての音響数値シミュレーション プログラミングガイド, コロナ社, 2012
- [4] A. London, *JASA*, 22, 2, 263–269, 1950