

インテンシティープローブを用いた初期側方エネルギー率の測定

Measurement of early lateral energy fraction using intensity probe

○高須賀弘忠¹, 羽入敏樹², 星和磨², 鈴木諒一²

*Hirotsada Takasuka¹, Toshiki Hanyu², Kazuma Hoshi², Ryoichi Suzuki²

1. はじめに

コンサートホールの音場の空間印象を評価する重要な心理量の一つとして、音の“拡がり感”が挙げられ、それは少なくとも見かけの音源の幅(ASW)と、音に包まれた感じ(LEV)の二つの要素に分けられる[1]。

空間印象を評価する音響指標として、初期側方エネルギー率 LF と LFC がそれぞれ ISO3382-1[2]に定義されている。両指標の計測には、両指向性マイクロホンと全指向性マイクロホンを用いて測定したインパルス応答が必要である。しかし、ISO3382-1にはマイクロホンの規定があるが、指向特性のわずかな違いが LF や LFC に与える影響については明らかになっていない。

そこで今回は、側方エネルギー率を測定する際に用いるマイクロホンを複数用意して、マイクロホンの指向特性を測定した。また、測定に先立ち、インテンシティープローブを用いて初期側方エネルギー率を測定する方法を考察する。

2. インテンシティーと初期側方エネルギー率の関係

両指向性マイクロホンで測定される音圧 $p_L(t)$ は、式(1)より全指向性マイクロホンで測定される音圧 $p(t)$ に、両耳軸からの角度の余弦(cos)で重み付けしたものである。両耳軸方向を x 軸とし、 x 軸方向の粒子速度を u_x とすれば、式(1)は式(2)と書き換えられる。さらに LFC の分子である $p_L(t) \cdot p(t)$ は式(1)より式(3)が導かれ、さらに x 軸方向の音響インテンシティーを I_x とすれば、式(4)のように表現できる。

$$p_L(t) = p(t) \cos \theta \quad \dots(1)$$

$$p(t) \cos \theta = -u_x(t) \cdot \rho c \quad \dots(2)$$

$$p_L(t) \cdot p(t) = p(t) \cdot p(t) \cos \theta \quad \dots(3)$$

$$p(t) \cdot p(t) \cos \theta = -I_x(t) \cdot \rho c \quad \dots(4)$$

したがって、LF と LFC はそれぞれ式(5)、式(6)で表現できる

$$LF = \frac{\int_{5ms}^{80ms} \{-u_x(t) \cdot \rho c\}^2 dt}{\int_{0ms}^{80ms} p^2(t) dt} \quad \dots(5)$$

$$LFC = \frac{\int_{5ms}^{80ms} |-I_x(t) \cdot \rho c| dt}{\int_{0ms}^{80ms} p^2(t) dt} \quad \dots(6)$$

以上より両耳軸方向の粒子速度、および音響インテンシティーが測定できれば、ISO3382-1 で定義される LF と LFC は算出できると考えられる。

3. マイクロホンの指向特性の計測

3.1. 実験条件

無響室内に、スピーカーとマイクロホンを設置する。スピーカーからマイクロホンまでの距離は 1.9m、スピーカーとマイクロホンの高さは 1.21m である。

測定に用いたマイクロホンの一覧を表 1 に示す。マイクロホンは正面感度が最大となる方向を 1 番とし、左回りで 22.5° おきにマイクロホンを回転させ、スピーカーから放出した TSP 信号を録音した。なお、単一指向性マイクロホンは Syrp 社の Genie MINI で回転させ、それ以外のマイクロホンは手動で回転させた。また、単一指向性マイクロホンは、複数のマイクロホンを組み合わせて全指向性と両指向性で受音した信号を得る。そこで、マイク間隔の影響をみるために、音響中心が回転軸と一致しているパターンと、音響中心が回転軸から半径 10mm ずれているパターンの 2 種類を測定した。

表 1 測定に用いたマイクロホン

マイクロホンの特性	メーカー名	型番
全指向性・両指向性	AKG	C414 B-ULS
全指向性・両指向性	Warm Audio	WA-14
全指向性	小野測器	MI-1233
両指向性	audio technica	AT4081
PUセンサー	Microflown	PU Regular PR
単一指向性	audio technica	PRO 35x

3.2. 解析方法

録音した TSP 信号からインパルス応答を求め、1/1 オクターブバンドでフィルタリング、二乗応答の積分値を求めた。そこから最大値と最小値の関係を見やすくするために正規化し、エネルギーにおける指向特性を求めた。また、単一指向性は最初に C-C 法[3]を用いて、全指向性と両指向性の応答を求めて、同様に解析を行った。

3.3. 結果と考察

図 1 に全指向性の測定結果 (エネルギー比)、図 2 に両指向性の測定結果 (エネルギー比) を示す。

1 : 日大理工・大学院・建築 2 : 日大短大・教員・建築

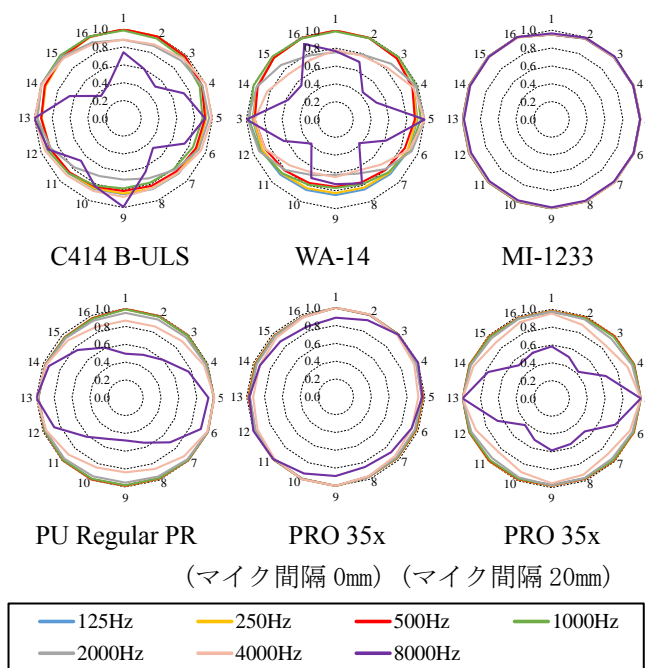


図1 全指向性の測定結果 (エネルギー比)

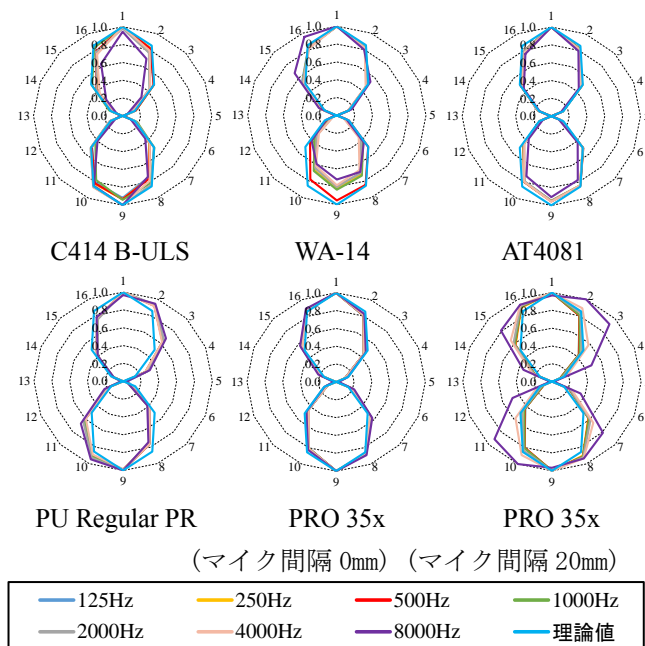


図2 両指向性の測定結果 (エネルギー比)

まず、図1に着目すると、指向特性が切り替えられるC414 B-ULSとWA-14は、8000Hzでは大きく円形からはずれているが、125Hzから4000Hzにおいても最大方向に比して約0.6から0.9と扁平している。一方、全指向性の計測用マイクロホンMI-1233は、全周波数帯域において最小値が約0.95と指向特性に大きな乱れは生じなかった。また、PRO 35x (マイク間隔0mm)も最小値が0.85と指向特性に大きな乱れは生じていない。PU Regular PRとPRO 35x (マイク間隔20mm)は

125Hzから4000Hzまでは最小値が0.85であるが、8000Hzは指向特性が大きく崩れてしまっている。

このように全指向性の指向特性に乱れがあると、初期側方エネルギー率の分母の値は実際よりも小さくなってしまふことが考えられる。よって、C414 B-ULSやWA-14のような指向性が切り替えられるマイクロホンは、指向性が全帯域で大きく乱れているため、LFやLFCの値が実際よりも大きく計測されてしまうことが考えられる。

次に図2に着目すると、C414 B-ULSとWA-14は、理論値の約0.7倍から1.3倍と指向特性の乱れが見られた。一方、両指向性の計測用マイクロホンAT4081の指向特性は、理論値の約0.8倍から1.1倍と指向特性の乱れは小さい。また、PRO 35x (マイク間隔0mm)も理論値の0.9倍から1.1倍と指向特性に大きな乱れは生じていない。PRO 35x (マイク間隔20mm)は125Hzから4000Hzまでは理論値の約1.0倍から1.3倍と指向特性に大きな乱れはないが、8000Hzは指向特性が大きく乱れている。PU Regular PRはすべての帯域で同じような指向特性となっているが、理論値とは少しずれ、傾いている。これはマイクロホンを手で回転していたために生じた誤差だと考えられる。両指向性マイクロホンの指向特性の乱れは、初期側方エネルギー率の分子の値に影響する。本測定から、指向性切替型のマイクロホンや、単一指向性マイクロホンの間隔は、LFやLFCへの影響が懸念されることがわかった。

4. まとめ

本研究で、指向特性が切り替えられるマイクロホンでは、全帯域で理想的な指向特性になっておらず、LFやLFCへの影響は少なからずあることがわかった。その一方で、全指向性・両指向性それぞれ独立したマイクロホンの指向特性は、理想に近い指向特性であることもわかった。またインテンシティプローブやCC法による指向特性を見ると、4000Hzまでは指向特性に乱れはほとんどないこともわかった。今後は、これらのデータをもとにLFやLFCを算出し、指向特性の影響を明らかにしていく予定である。

参考文献

- [1] 森本政之, 藤本久嘉, 前川純一, “みかけの音源の幅と音に包まれた感じの差異”, 日本音響学会誌, **46**, 449-457, 1990.
- [2] ISO 3382-1:2009, “Acoustics-Measurement of room acoustic parameters-Part1: Performance spaces”
- [3] 羽入他: “4ch カーディオイドマイクによる音場の方向情報計測”, 音講論 (春), pp1123-1126, 2008