

小型カーディオイドマイクを用いたC-C法の測定精度に関する実験的検討

An experimental study on measurement accuracy of the C-C method using small cardioid microphones

○横田雅人¹, 鈴木諒一², 星和磨², 羽入敏樹²Masato Yokota¹, Ryoichi Suzuki², Kazuma Hoshi², Toshiki Hanyu²

1. はじめに

室内音場評価において、音の方向情報は重要な要素の一つであり、筆者らは音響インテンシティによる評価指標について検討している[1,2]. 羽入らは音響インテンシティの測定手法として、カーディオイドマイクを複数用いたC-C法を提案している[3]. C-C法ではマイク間隔の影響によって高音域で測定誤差が生じる.

本報では、小型のカーディオイドマイクを用いて、マイク間隔を狭めることにより、高音域における音響インテンシティの測定精度を向上させることができるか否か実験によって検討した.

2. C-C法の概要

カーディオイドマイクの応答を $M_1(t)$, それと180度対向したマイクの応答を $M_2(t)$ とする. 音圧 $p(t)$ と粒子速度 $u(t)$, 瞬時音響インテンシティ $I(t)$ は式(1)~(3)のように求められる.

$$p(t) = M_1(t) + M_2(t) \quad (1)$$

$$u(t) = -\{M_1(t) - M_2(t)\}/\rho c \quad (2)$$

$$I(t) = p(t) \cdot u(t) \\ = -\{M_1(t) + M_2(t)\} \cdot \{M_1(t) - M_2(t)\}/\rho c \quad (3)$$

ここで、 ρ は空気の密度、 c は音速である.

3. 実験方法

実験は無響室で行った. 室内にスピーカとマイクを設置する. スピーカからマイクまでの距離は2.0mとし、スピーカとマイクの高さは1.2mとした. 使用したカーディオイドマイクはAKGのLC81MDである.

マイクを感度が最大となる正面方向をスピーカに向け0度とし、10度毎に水平に回転させ、スピーカから放出したTSP信号により36方向のインパルス応答を求めた.

実験は1本のマイクの先端を回転軸と一致させ対向するマイクの間隔が0mmになるように回転させたパターンと、回転軸を中心にマイク間隔が7.5mmになるように回転させたパターンについて実施した. また、2本のマイクを対向させて設置(マイク間隔:7.5mm)し、同時に測定するパターンについても同様の実験を行った.

4. 解析方法

対向したマイク対で測定したインパルス応答を、1/1オクターブバンドでフィルタリングし、音圧 $p(t)$ と粒子速度 $u(t)$ 及び瞬時インテンシティ $I(t)$ を求め、 $p(t)$ と $u(t)$ に関してはエネルギー積分値、 $I(t)$ については平均インテンシティを算出した. なお、2本のマイクを同時に測定したパターンについては2本のマイクの感度差をそれぞれのマイクの正面感度で補正した.

また、対向したマイク対とそれに直交したマイク対からインテンシティの水平角を求め、実際の音の到来角度と比較する.

5. 結果と考察

図1にマイクを1本使用し、マイク間隔を0mmとした音圧と粒子速度の指向特性、図2にマイクを1本使用し、マイク間隔を7.5mmとした音圧と粒子速度の指向特性、図3にマイクを2本使用し、マイク間隔を7.5mmとした音圧と粒子速度の指向特性、図4に各パターンで算出したインテンシティの水平角と実際の音の到来角度との比較を示す. 図1~図3は全て最大値で正規化した相対エネルギーで表示した.

図1を見ると、マイク間隔を0mmとしたときの音圧は、125Hz~4000Hzまでは概ね理論値と一致していることが分かる. しかし、8000Hz帯域には指向性の歪みがあり、扁平したような指向特性になっている. これは、今回使用したカーディオイドマイクの音響中心がマイクの先端ではなく、音響中心と回転軸のわずかなずれが高音域の指向特性に影響を与えた可能性が考えられる. また、粒子速度を見ると、マイク間隔が0mmでは125Hz~8000Hz帯域まで、理論値と概ね一致していることが分かる.

図2を見ると、マイク間隔7.5mmの音圧の指向特性はマイク間隔0mmに比べて、全帯域において理論値との差が見られ、4000Hz以上の高音域においてその差が顕著である. 粒子速度の指向特性も同様に、理論値との差が見られる. このことからマイク間隔の影響でそれぞれのマイクに入射する音波の位相がずれることで、特に高音域の指向特性に誤差が生じることが分かる.

1: 日大理工・院(前)・建築 2: 日大短大・教員・建築

図3を見ると、音圧と粒子速度の指向性が共に全帯域で理論値との差があり、その差はマイク1本で測定したパターンよりも大きい。マイクの個体差が要因であると考えられる。

図4を見ると、マイクを1本使用した時のマイク間隔0mmと7.5mmでは、実際の音の到来角度と測定値がよく一致しているのに対して、2本同時に測定した結果は実際の音の到来角度との差が見られ、最大の角度誤差は125Hzの角度30度の点で、6.05度である。これはやはりマイクの個体差が原因であると思われる。

6. まとめ

小型マイクを用いたC-C法によって音圧、粒子速度、インテンシティの測定を行った。同一のマイクを回転させ、音響中心を一致させて測定することで、音圧と粒子速度は4000Hz帯域まで精度よく測定が可能であることが分かった。また、インテンシティは同一のマイクで測定することで、8000Hzまで測定が可能である。しかし、マイクを2本同時に測定する場合には各々のマイクの個体差が影響し、結果に誤差が生じる。

そのため、複数マイクで同時にインテンシティを高音域まで正確に測定するため、マイクの個体差の較正や多チャンネル化する必要があることが分かった。今後は、小型マイクによる測定精度を向上させることで、縮尺模型実験ができるか否かを検討する予定である。

7. 参考文献

- [1] 高須賀他：“インテンシティプローブを用いた初期側方エネルギー率の測定”，日本大学理工学部学術講演会,D-9,p157-158,2020
- [2] 横田他：“室内音場における指向拡散度の音響インテンシティによる算出方法の基礎的検討” 日本大学理工学部学術講演会,D-9,p155-156,2020
- [3] 羽入他：“カーディオイドマイクロホンを用いた音響測定法 -対向2マイクロホンによる音圧と粒子速度の測定原理と較正方法-”,音講論(春),pp677-680,2019

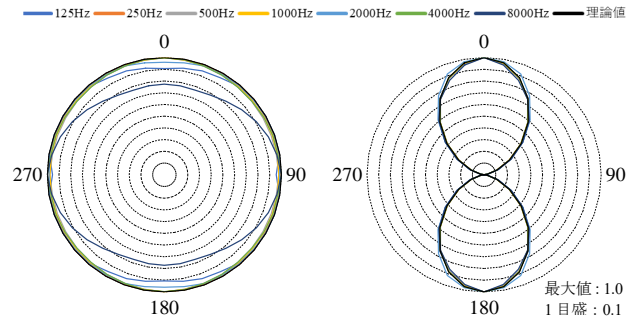


図1 マイク間隔を0mmとした音圧と粒子速度の指向特性 (マイク1本)

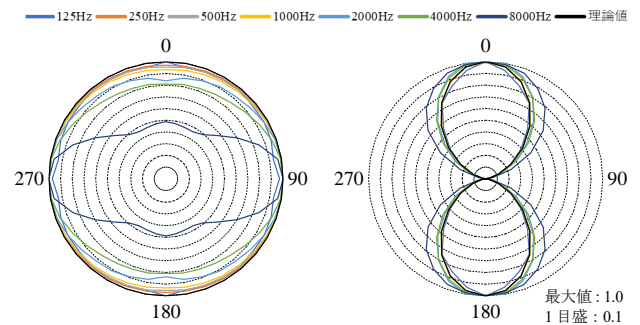


図2 マイク間隔を7.5mmとした音圧と粒子速度の指向特性 (マイク1本)

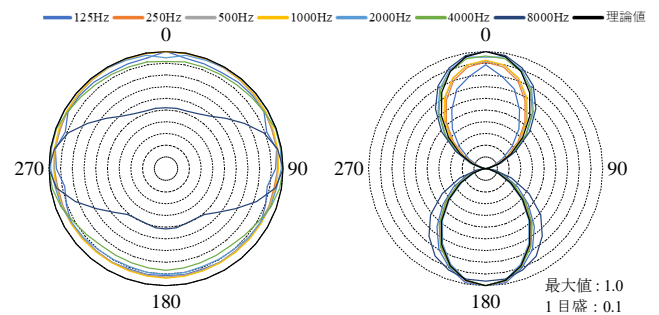


図3 マイク間隔を7.5mmとした音圧と粒子速度の指向特性 (マイク2本)

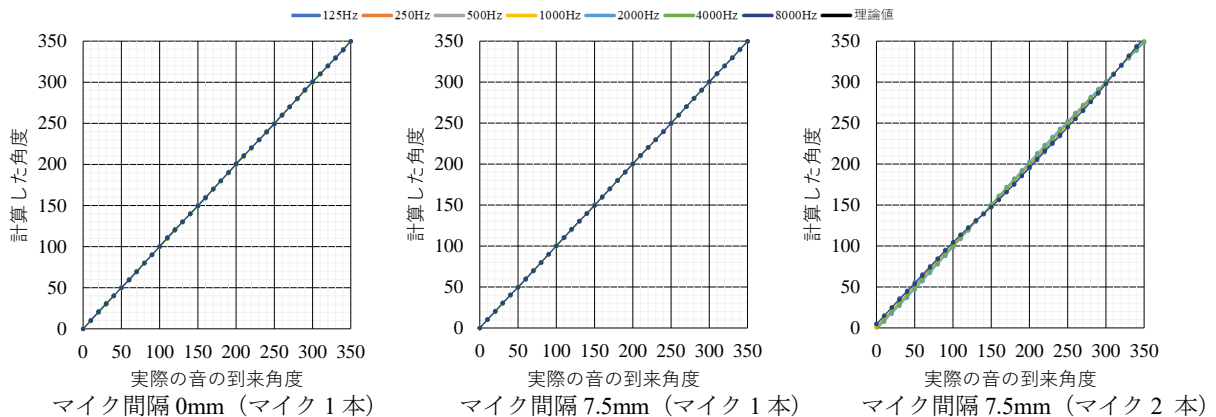


図4 各パターンのインテンシティによる音の到来方向の検出結果