

単一指向性マイクロホンを用いた 音響インテンシティ測定に関する基礎的検討

日大生産工 〇識名 章博
日大生産工 山崎 憲

1. はじめに

我々の生活環境において不快な音環境の改善を図るためには騒音源の推定が注目されている¹⁾。しかし音源位置の推定は騒音源に限らず、音源の対象を人や動物に代えた場合は対象物の追跡や異常検出、車に対象を代えた場合は道路交通の無人監視システムなど、測定の対象物を代えることで無人システムの幅広い利用が可能となることが考えられる。

そこで本研究では、複数の単一指向性マイクロホンを組み合わせたマイクロホンシステムを試作しインテンシティ測定の実験による検証を行った。

2. 原理

2.1 音源の推定技術

現在、音源の推定技術としてマイクロホンアレーによる測定や音響インテンシティ測定法が広く用いられている。

2.1.1 マイクロホンアレー

マイクロホンアレーの測定では一般的に、

マイクロホン間の音波の伝搬時間差を用いるため近距離の推定に大きな誤差が生じる²⁾。

多数のマイクロホンが必要になることや、マイクロホンを固定するシステムが大型になるため低コスト化の障害となる。

などが挙げられる。

2.1.2 音響インテンシティ法

音響インテンシティ法のシステムは特性のそろった1対の無指向性マイクロホンを組み合わせた測定が一般的であり、測定の原理上次のような問題点が

挙げられる³⁾⁴⁾。

マイクロホン間位相が測定のバイアス誤差となり、測定可能な下限周波数が制限される。

マイクロホン間距離によって、測定可能な上限周波数が制限される。

精密なシステムなため、インテンシティプローブのシステム自体が非常に高価である。

などの問題点が挙げられる。これらの問題解決のためにマイクロホン間の位相差などによらず音圧のみで音響インテンシティを推定できる方法が羽入ら⁵⁾により提案されている。

2.2 インテンシティの測定原理

現在主流となっているインテンシティ測定には、無指向性マイクロホンを用いており、以下のような定義式に基づいて測定される。

$$I = pv \quad \dots (1)$$

p は音圧、 v は空気の振動に伴って生じる粒子の振動の速度である。粒子速度はマイクロホン間隔と音圧の勾配から求められるため、マイクロホン間の位相差による影響が大きい。本実験では、このような原理的に生じる問題点を解決するため、180度反対向きに単一指向性マイクロホンを2本組み合わせ、マイクロホン間の指向特性の違いを利用して方向情報を得ることができる。以下にその測定法について述べる。

簡単化のため、まずは1次元音場(x 軸)で考える。図1のようなマイクロホンの配置とし、 x 軸正面に

対し角度 θ で到来する音波 $p(t)$ が伝搬しているとした場合、1次元平面波における音圧 $p(t)$ と粒子速度 $v(t)$ の関係は次式で表される。ただし角度 θ の範囲は45~135度、225~315度である。

$$v(t) = \frac{p(t) \cos \theta}{\rho c} \quad \dots (2)$$

また、それぞれの単一指向性マイクロホン M_0, M_{180} の測定される音圧 $p_0(t), p_{180}(t)$ は

$$p_0(t) = p(t) \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \quad \dots (3)$$

$$p_{180}(t) = p(t) \frac{(1 - \cos \theta)}{2} \quad \dots (4)$$

と表すことができる。2つの式を加算させることで無指向性と同等の音圧が得られる。

$$p_0(t) + p_{180}(t) = p(t) \quad \dots (5)$$

また2つの式の差分は

$$p_0(t) - p_{180}(t) = p(t) \cos \theta \quad \dots (6)$$

となる。このように(2),(5)式より粒子速度は M_0, M_{180} の音圧差分から求めることができる。これらの式を(1)式に代入することで x 軸における瞬時音響インテンシティが次式のように求めることができる。

$$\begin{aligned} I_x(t) &= p(t)v(t) \\ &= \frac{\{p_0(t) + p_{180}(t)\} \{p_0(t) - p_{180}(t)\}}{\rho c} \\ &= \frac{\{p_0(t)^2 - p_{180}(t)^2\}}{\rho c} \quad \dots (7) \end{aligned}$$

このように粒子速度を測定することなく音圧のみでインテンシティを測定することが可能となる。(7)式は1次元での場合であるが、3次元に拡張する場合は x, y, z 軸それぞれで求めればよい。

3. 実験方法

3.1 音源1つの場合

実験による測定は周囲からの影響をできる限り少なくするため音響室を利用した。音波は発信器から正弦波信号を出力し音源へ供給して発生させた。音

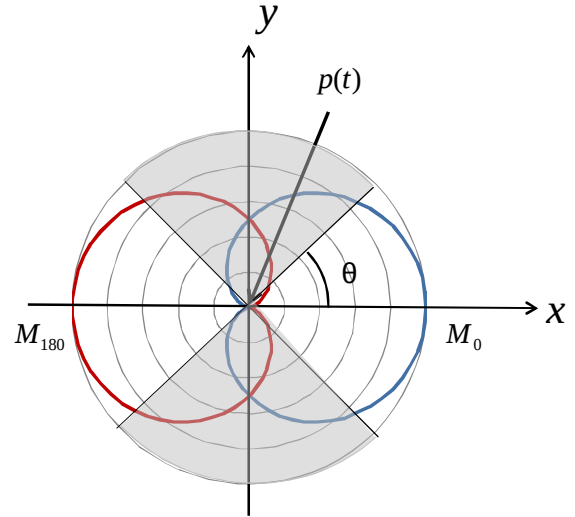


図1 0度-180度のマイクロホンの配置

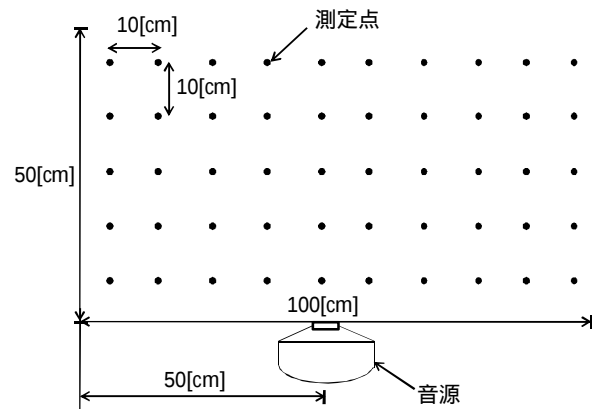


図2 音源1つの場合の測定図

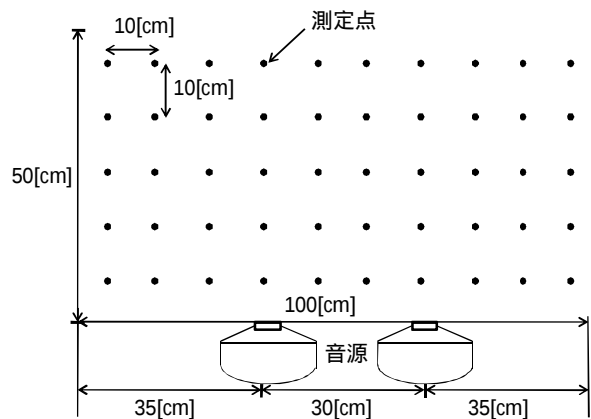


図3 音源2つの場合の測定図

源には開口部 1.8[cm]のドライバーユニットを使用し図2のように配置した。

音源の周波数は 250[Hz]、500[Hz]、1000[Hz]、4000[Hz]で行った。また測定点の間隔は横縦 10[cm]ごとに取り全部で 50 点測定を行い(7)式でインテンシティを求めた。

3.2 音源2つの場合

2 音源の場合のインテンシティ測定として 2 つの音波の位相を互いに同位相と逆位相になるように設置し測定を行った。そのときの測定図を図3に示す。音波の周波数は 1000[Hz]とし測定は音源 1 つの場合と同様にして行った。

4. 結果

4.1 音源1つの場合

図4～7に250[Hz]、1000[Hz]、4000[Hz]、8000[Hz]までのインテンシティの実験結果を示す。図のように音源から放射するようにベクトルが分布していることがわかる。しかし図4では音源近傍の1点においてベクトルの向きが180度反対に広がってしまっている。これについては現時点では検討ができないため今後の課題となるが他の点では他の周波数と同様にインテンシティのベクトルが分布していることがわかる。

4000[Hz]と8000[Hz]では音の広がりが他の周波数の結果と比べ狭くなっているがこれは今回用いたスピーカーのドライバーユニットの指向性は周波数が高くなると狭くなってしまいうことから起きているものだと考えられる。以上のことより250[Hz]から8000[Hz]までマイクロホン間位相差などによる影響なく音圧のみでインテンシティが測定できると考えられる。

4.2 音源2つの場合

図8,9に音源が2個の場合におけるインテンシティと等音圧線の実験結果を示す。図のようにイン

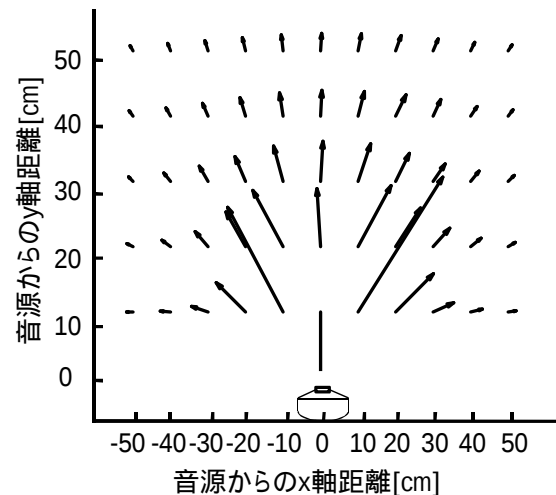


図4 250[Hz]の結果

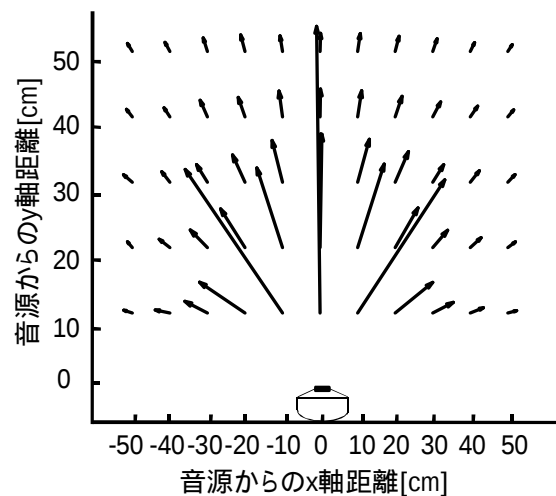


図5 1000[Hz]の結果

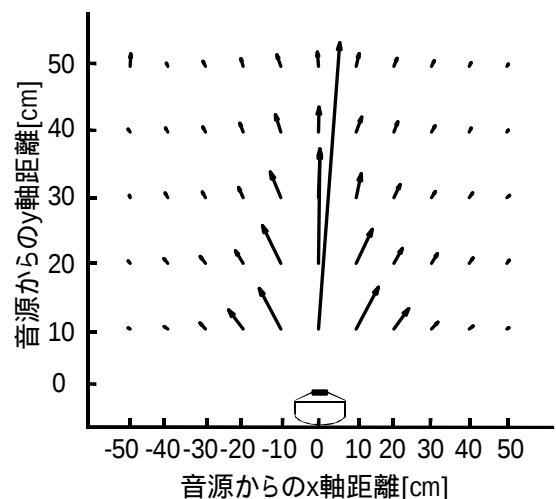


図6 4000[Hz]の結果

テンシティのベクトルが音源と音源の真ん中で同位相となり強めあうことでベクトルが大きくなり、逆位相となり弱めあうことでベクトルが小さくなっていくことがわかる。同位相の場合は音を強めあうため音源と音源の間の音圧が高くなっている。逆に逆位相の場合は音源と音源の間のインテンシティは 0 となっており音圧分布でも音源と音源で音が打ち消しあっていることが確認できる。以上より同位相、逆位相による特徴を捉えることができると考えられる。

5. まとめ

今回、複数の単一指向性マイクロホンで試作したマイクロホンシステムを用い音場で音響インテンシティを測定し検証を行った。その結果、音源近傍では 250[Hz]で 1 点だけ特異点がでてしまったが他の周波数ではマイクロホン間距離や位相差による影響がなくインテンシティの測定ができることがわかった。また音源を 2 つに増やすことでも同位相や逆位相による特徴を非常によく捉えられていることがわかった。

今後は、音源近傍の特異点の検討や、障壁があった場合のインテンシティ測定や実際に無指向性マイクロホンを用いたインテンシティとの比較、またはシミュレーションによる実験値との比較などを検討していく。

参考文献

- 1) 曽根敏夫、「くらしと音」 裳華堂 p20～32
- 2) 柴山秀雄、松永智敬、「近距離場における音波到来方向推定と音源位置推定に関する研究」電子情報通信学会技術研究報告 Vol.106 No.20(2006) p.13-18
- 3) F.J.Fahy[著]、橋秀樹[訳] 「サウンドインテンシティ：理論と応用」 オーム社 (1998)
- 4) 「音響インテンシティ」 Bruel & kjaer
- 5) 羽入敏樹,星和磨「カーディオイドマイクによる音響エネルギーおよびインテンシティ測定法」 日本音響学会講演論文集,pp.1149-1152(2008)

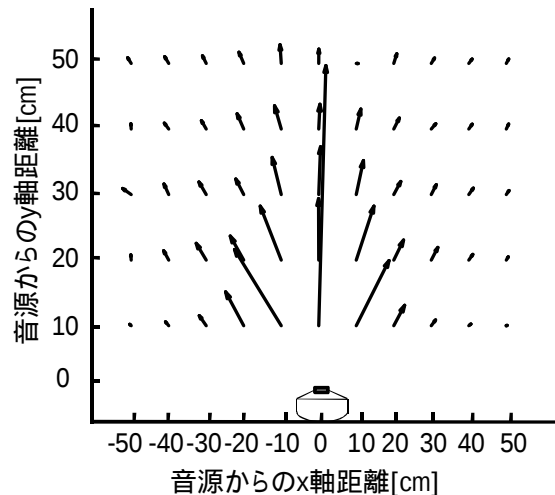


図7 8000[Hz]の結果

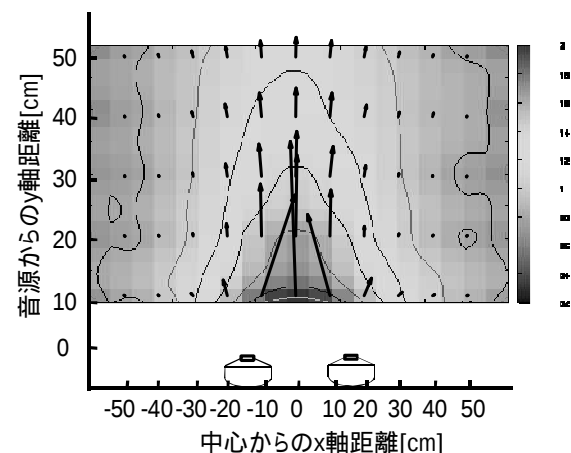


図8 音源2個同位相の結果

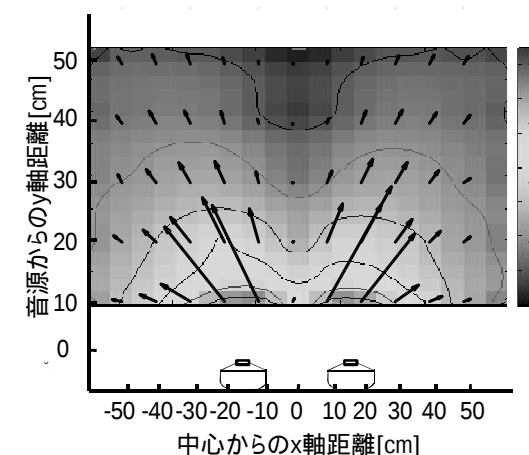


図9 音源2個逆位相の結果