

音の漏れている微小穴の同定に関する基礎的検討

日大生産工（院）○島村 俊郎，ワイテクノ（株）瀬下 清，日大生産工 山崎 憲

1. はじめに

近年、6個のマイクロホンを対面に組み合わせたインテンシティプローブ⁽¹⁾や、4個のマイクロホンに正四面体の頂点に配置したインテンシティプローブ等を用いた音源の同定⁽²⁾⁽³⁾が行われている。しかしこれらは計測用マイクロホンを用いたものであり、一般に市販されているマイクロホンを用いた音源の同定についてはほとんど報告されていない。また、微小穴から漏れている音源の同定についての研究は見当たらない。

そこで、市販の安価なマイクロホンで構成したプローブを試作し、ドライバーユニットに取り付けた剛体のキャップに微小穴を開け、その穴から漏れる音を測定して微小穴の位置の同定を行ったので報告する。

2. 原理

音響インテンシティ I [W/m^2] は単位断面積を単位時間に通過する音のエネルギー流を表すベクトル量である。 r 方向成分の角周波数 ω [rad/s] の音響インテンシティ $I(\omega)$ は、 r 方向に微小距離 d 離れた2点間の音圧 $p_1(\omega)$ と $p_2(\omega)$ のクロススペクトルの虚数部 $I_m\{G_{p_1 p_2}(\omega)\}$ を用いて次式で表わすことができる。

$$I(\omega) = -(1/\rho_0 \omega d) I_m\{G_{p_1 p_2}(\omega)\} \quad (1)$$

2個のマイクロホンが音源と等距離にある場合は p_1 と p_2 の値が等しくなりそのクロススペクトルは0になる。したがって、音源の位置を同定することができる⁽⁴⁾

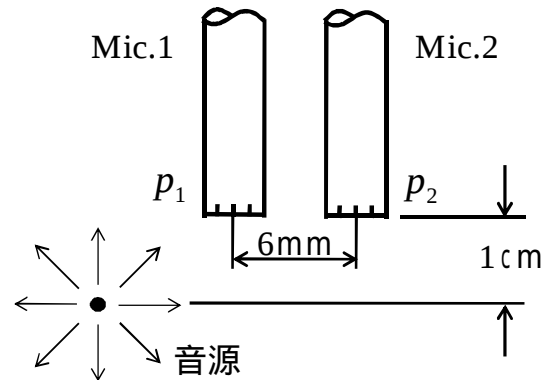


図 1. マイクロホンの構成 (side-by-side)

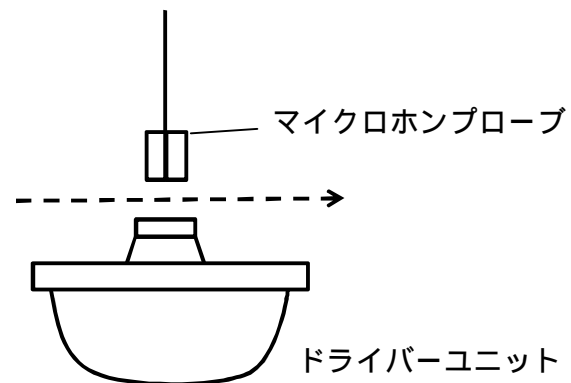


図 2. 掃引方向

3. 実験方法

3.1 マイクロホン2個のプローブを用いた検討(1次元での音源の位置の同定)

2個のコンデンサマイクロホンを組み合わせたp-p方式のプローブを用いて1次元での音源の同定を行った。マイクロホンの配置はside-by-side型(図1)を用いた。マイクロホンの中心間の間隔は6mmとした。微小穴は、ドライバーユニットの先端に微小穴のあいたキャップをはめることで、穴の大きさを変えられるようにした。

A basic study on the identification of micro-hole using sound

By Toshiro SHIMAMURA, Kiyoshi SESHIMO, Ken YAMAZAKI

音源は1kHzの正弦波を用いた。音源が設置されている面からプローブの先端までの高さを1cmとし、音源を通る直線状を掃引して音響インテンシティを測定した(図2)。

3.2 マイクロホン4個のプローブを用いた検討(2次元での音源の角度の同定)

平面内の音源の方向を同定するためにマイクロホンを4個組み合わせたプローブを用いて測定を行った(図3)。マイクロホン1-2から x 軸方向の音響インテンシティ α 、マイクロホン3-4から y 軸方向の音響インテンシティ β が求まる。そして α と β の合成ベクトル γ が求まり、 γ と α のなす角 θ が求まる。これによりプローブから見た音源の角度がわかり、音源の方向が推定できる。

音源は1kHzの正弦波を用いた。音源が設置されている面からプローブの先端までの高さを1cmとし、1対のマイクロホンが音源と並行になるように(図4)掃引した。また、音源を通る直線上を1対のマイクロホンが45°になるように(図5)掃引した。

3.3 マイクロホン4個のプローブを2個設置した場合の検討(2次元での音源の位置の同定)

平面内の音源の方向の同定に加えて、プローブから音源までの距離を同定するためにマイクロホンを4個組み合わせたプローブを2個用いて測定を行った(図6)。

音源は1kHzの正弦波を用い、音源が設置されている面からプローブの先端までの高さは1cmとした。プローブ1、プローブ2より θ_2 、 θ_3 を求め、三角形の内角より θ_1 が求まる。2つのプローブ間の距離と、 θ_1 より正弦定理が適用できるのでプローブと音源間の距離 x 、 y が求まる。測定点はランダムに8点の測定を行った。

4. 結果

4.1 1次元での音源の位置の同定

図7にマイクロホン2個のプローブ、穴の直

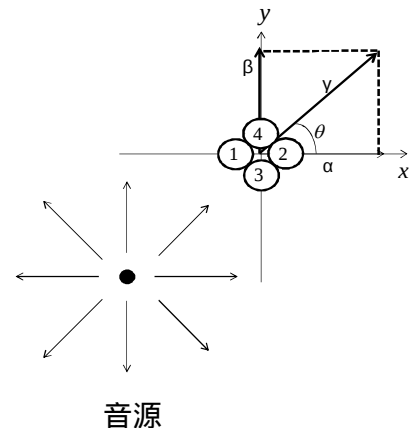


図 3. 音源の方向同定方法

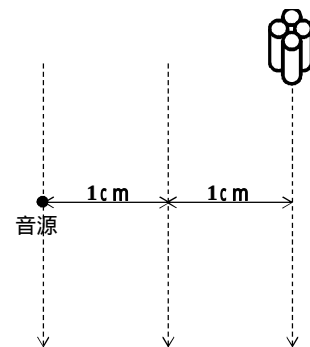


図 4. 音源の横を掃引した場合

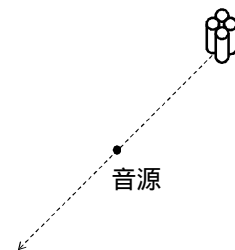


図 5. 音源の上を斜めに掃引した場合

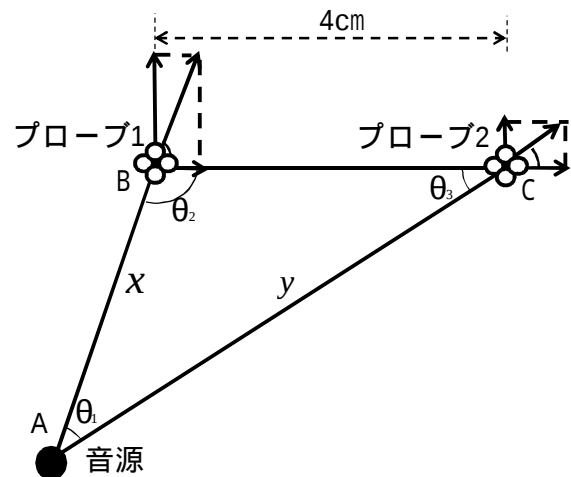


図 6. 2 個のプローブから距離を求める方法

径3mmの場合の結果を示す。図は最大値を1として基準化したものである。図より、音源の中心で音響インテンシティが0となり音源の位置が同定できていることがわかる。同様に図8に穴の直径20 μm の場合の結果を示す。図は最大値を1として基準化したものである。図より、音源の中心で音響インテンシティがゼロとなり音源の位置が同定できていることがわかる。

4.2 2次元での音源の角度の同定

マイクロホン4個のプロープで、図4に示すように、音源上を掃引した場合、音源横1cmを掃引した場合、音源横2cmを掃引した場合の幾何学的に求めた角度と実測値との角度差の結果を図9、10、11にそれぞれ示す。図より、音源横2cmの場合に誤差がやや大きくなるが、それぞれほとんど誤差なく測定できることがわかる。このことから4本のプロープに対してどの方向からでも2次元での音源の角度を求めることができる。

図12にマイクロホン4個のプロープで音源の上を斜めに掃引した場合の結果を示す。図より音源の中心で音響インテンシティが0となり音源位置が同定できていることがわかる。

4.3 2次元での音源の位置の同定

表1にマイクロホン4個のプロープを2個設置した場合のプロープから音源までの距離と角度を示す。

5. おわりに

音が漏れている微小穴の同定を目的としてマイクロホン2個のプロープ、マイクロホン4個のプロープ、マイクロホン4個のプロープを2個設置した場合について音響インテンシティの測定を行い音源位置の推定を行った。その結果マイクロホン2個のプロープ用いた場合に3mm、20 μm の微小穴の位置の同定ができた。これらのことから2個のプロープを用いて音が漏れている微小穴の同定を行うことができると考えられる。

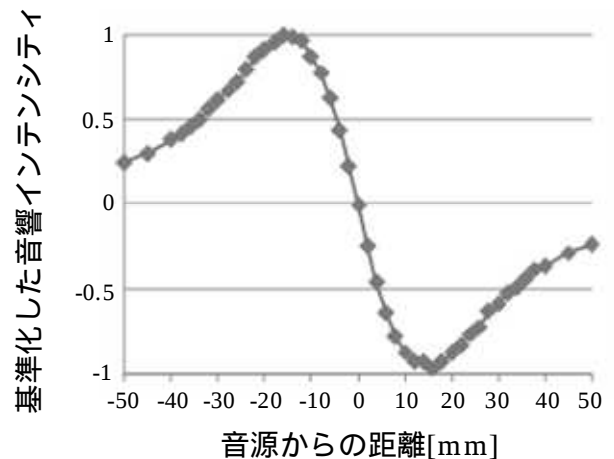


図 7. 音響インテンシティ(微小穴の直径 3mm)

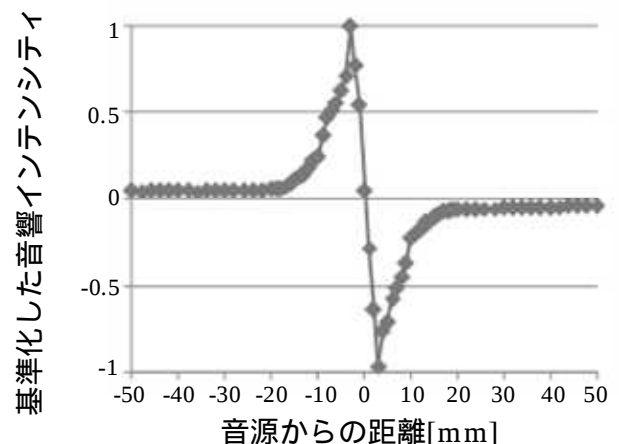


図 8. 音響インテンシティ(微小穴の直径 20 μm)

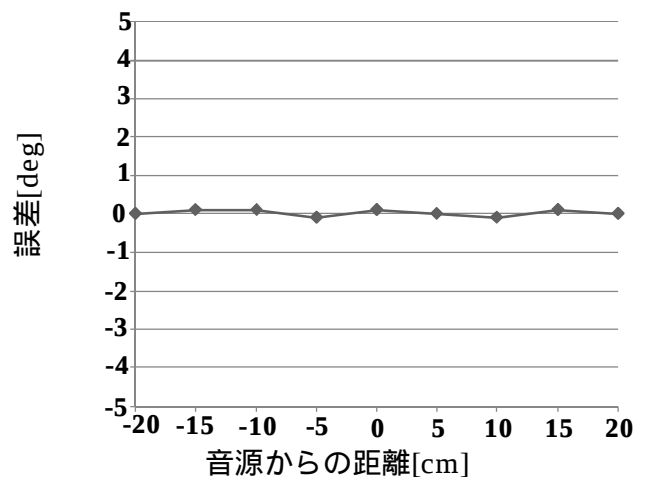


図 9. 幾何学的に求めた角度と実測値との角度差(音源を通る直線上を掃引した場合)

2次元での音源位置の同定では、図6に示すように θ_1 を確保するためにプローブの間隔を4cmにして測定を行った。今後はその他の間隔についても検討を行い、測定精度を上げる必要がある。また、3次元音響インテンシティを求めるために三角錐の各頂点にマイクロホンを設置したプローブについて検討を行う。

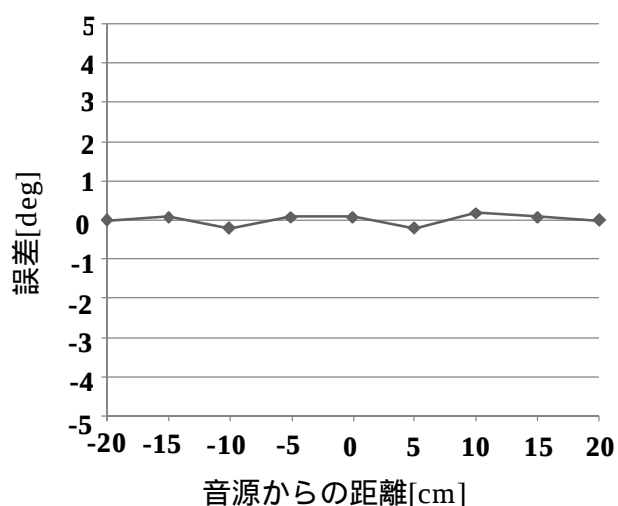


図 10. 幾何学的に求めた角度と実測値との角度差(音源横 1cm を掃引した場合)

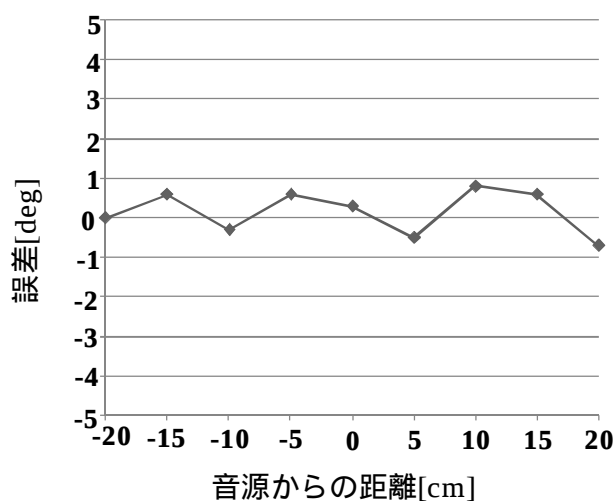


図 11. 幾何学的に求めた角度と実測値との角度差(音源横 2cm を掃引した場合)

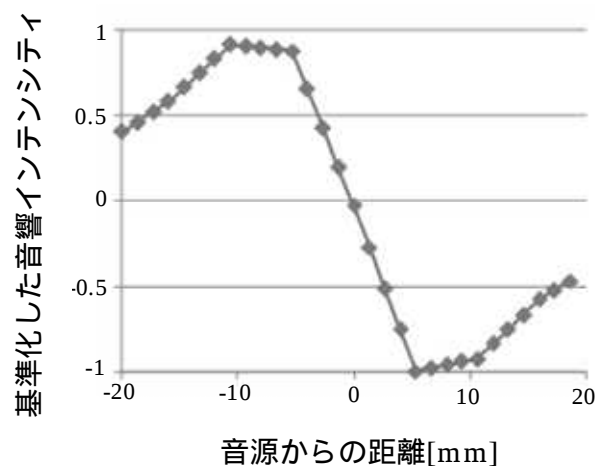


図 12. 音響インテンシティ(音源上を斜めに掃引)

表 1. 2次元での音源位置の同定

X		Y	
距離	角度	距離	角度
[mm]	[deg]	[mm]	[deg]
44.3	58.7	73.5	31
41.2	53.3	72.6	27.1
69	41.9	48	75.7
89.8	83.5	98.3	58.7
96.5	85.4	106	62.4
87.8	81.3	94	55.3
98	54.2	78.7	38.6
99.9	76.4	110.4	57.3

参考文献

- 1) 橘 秀樹「音響インテンシティによる音場の可視化,日本機械学会96 pp.504-508(895)
- 2) Hideo Suzuki, Shun Ogura, Masarou Anzai, Takatoshi Ono, 「Performance evaluation of a three dimensional intensity probe」 J. Acoust. Soc. Jpn (1995) pp233-238
- 3) 山田 和幸, 芝山 秀雄「音響インテンシティ測定法を用いた音源の位置推定」, 電子情報通信学会基礎・境界大会ソサイエティ大会, pp155-156(2003)
- 4) F.J. Fahy, 橘秀樹[訳]「サウンドインテンシティ理論と応用」 pp103-105, オーム社 (1998)