

# 実世界情報システムプロジェクト

## — 音響研究グループ システム情報第三研究室 —

### ヤドリバエ模倣型超小型音源定位センサの開発

ヤドリバエ (*Ormia ochracea*) は聴覚を有する昆虫の一種であり、その鼓膜は非常に小さいながら、その独特な構造により (図 1 参照) 鋭い方向感覚を有することが知られている [1][2]。本研究の目的は、ヤドリバエの鼓膜を模倣することにより、従来のマイクロフォンアレイ技術では困難であった超小型音源定位センサを実現することである。

本研究の成果は以下の通りである [6][7][8][9]。

- 1) ヤドリバエの鼓膜を中央支持型振動板とモデル化し、これが音場勾配の最適検出機構となっていることを示した。
- 2) 中央支持型振動板を 2 次元的に実現するためにジンバル型の振動板を提案し、この振動モデルや、各部のサイズと共振周波数の関係を明らかにした (図 2)。
- 3) センサの設計理論に基づき、リン青銅板やシリコンによりセンサを試作した (図 3, 図 4)。
- 4) 試作したセンサを用いた実験により、提案したセンサ構造で音源定位が可能であることを示した (図 5)。

### 空間 2 階微分を用いた複数音源同時定位センサシステムの開発

マイクロフォンアレイを用いた音源定位研究の多くは、もともと狭帯域信号を扱う通信の分野で用いられていた DSA, MV, MUSIC 等の手法 [5] を元にしており、これを広帯域の音信号に対して用いるために FFT やフィルタバンクを用いた前処理が前提となっている。しかしこの狭帯域化は、時間分解能低下の一つの要因となっている。本研究はこれに対し時空間勾配法 [4] を拡張し、1) 高時間分解能, 2) 広帯域性, 3) 小規模アレイ, という特長を有する、新たな複数音源定位の理論と、そのセンサシステム設計理論を確立することを目的としている。

本研究の成果は以下の通りである [11][12]。

- 1) 2 音源が存在する場合、観測点近傍で成り立つ 2 階の時空間微分方程式を導出した。
- 2) 2 音源同時定位のための最小構成のマイクロフォンアレイについて考察し、十字型に配置した 5 本のマイクロフォンにより必要かつ十分な情報が得られることを示した。
- 3) 上記の理論に基づき、音源の数やその配置が未知である

場合に対して、音源の数やその配置を推定しつつ、最大 2 音源の方向までを定位するアルゴリズムを構築した。

- 4) 十字型に配置した 5 つのエレクトレットマイクロフォン, 増幅器, A/D 変換器, デスクトップ PC, からなるセンサシステムを構築し (図 6), 実験により、本センサシステムにより 2 音源同時定位が可能であることを示した (図 7)。

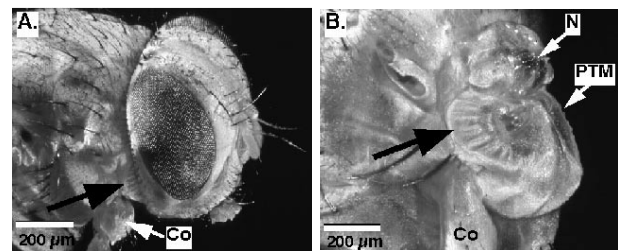


図 1: ヤドリバエの聴覚器官。(A) 頭部切除前, (B) 頭部切除後。ヤドリバエの聴覚器官は、図の黒矢印の先端で示されるように頭部の後ろ側の胸部に存在する。鼓膜の大きさは約  $500[\mu\text{m}]$  で、左右が分かれておらず一体となっており、中央部はほとんど振動せず支点として動く [3]。

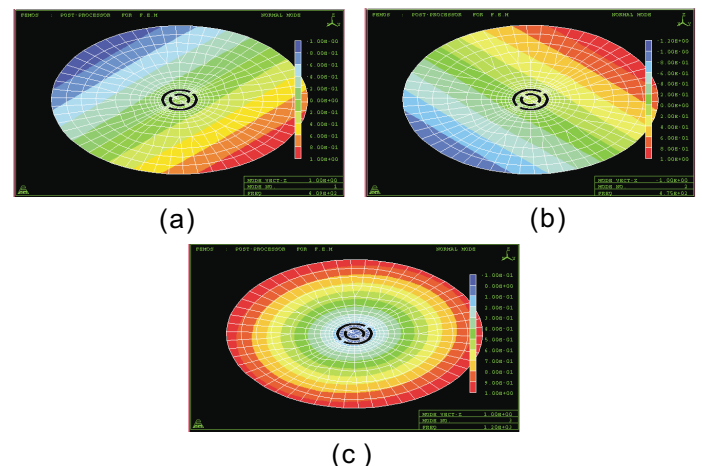


図 2: ジンバル型振動板の振動モードの FEM 解析結果: ジンバル型振動板は、1) 音圧勾配により駆動される 2 つの逆相振動モード (a)(b), 2) 音圧により駆動される同相振動モード (c) をもち、これらの各振動モードを検出することにより音源定位が可能となる。

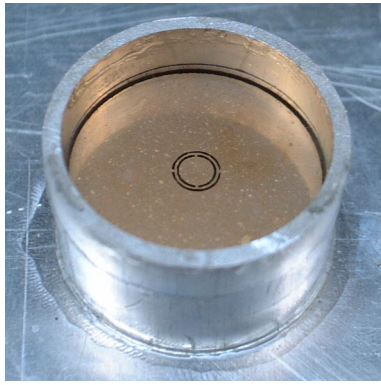


図 3: 厚さ 30[ $\mu$ m] のリン青銅箔をエッチングすることにより試作したセンサの写真。振動板半径は 20.6[mm]。振動板の中央部は軸に接着され、また背面への音圧のまわり込みをできるだけ小さくするために周囲をアルミパイプにより覆う構造とした。

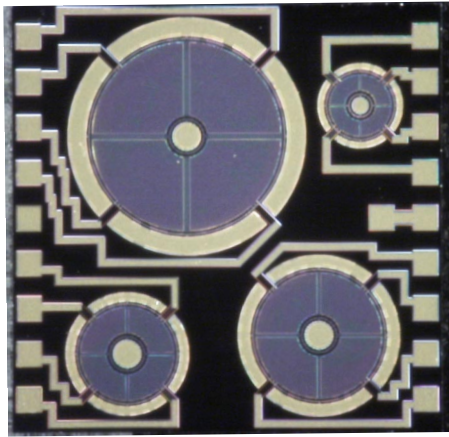


図 4: Si 表面微細加工のマルチチップサービスを利用して試作した容量検出型のセンサチップ写真。サイズの異なる 4 つのセンサを同一チップ内に試作した。振動板は poly-Si。チップサイズは 6.8[mm]×6.8[mm]。

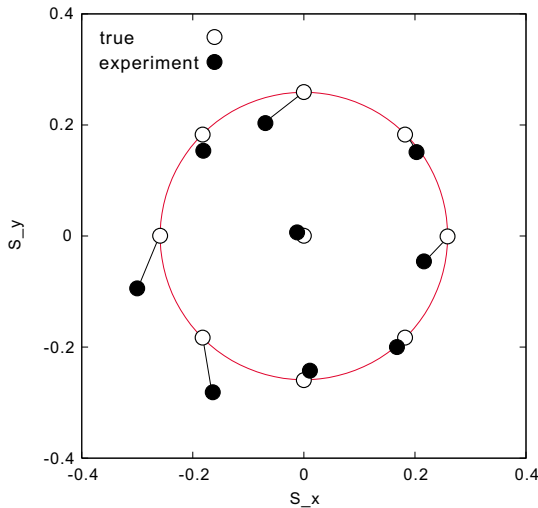


図 5: 試作したセンサ(図 3)を用いた音源定位実験の結果。白丸が正しい音源方向、黒丸が振動板の変位より定位された音源方向。音源は 400[Hz] の正弦波でセンサの直径が約 20[mm] であるから、センササイズの 1/150 以下という微小な位相差を検出し、音源定位を行なっている様子が示されている。

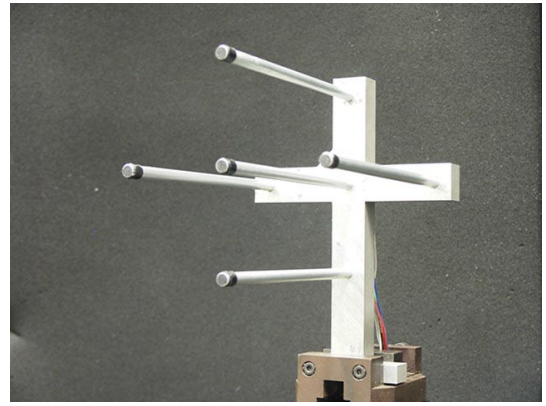


図 6: 試作した十字型マイクロフォンアレイ。各マイクロフォンで取得した信号の線形和により、音場の 1 階空間微分, 2 階空間微分信号を取得する。音声信号帯域を取得することを目的とし、マイクロフォン間隔は 50[mm] とした。

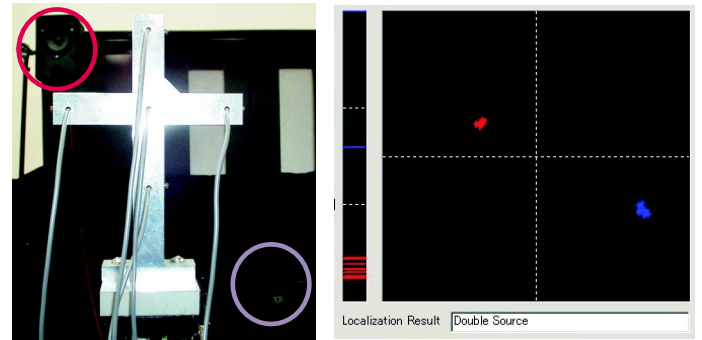


図 7: 試作したマイクロフォンアレイを用いた実験結果。左図がセンサ背面から見た実験系の概観であり、丸で囲われているのがスピーカーである。右図が定位結果。音源は独立な白色雑音で、2 音源が同時に定位されている様子が示されている。

## 参考文献

- [1] D. Robert, M. P. Read, and R. R. Hoy, *Cell Tissue Res.*, Vol. 275, pp. 63–78, Nov. 1994.
- [2] R. N. Miles, D. Robert, and R. R. Hoy, *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 98, No. 6, pp. 3059–3070, Dec. 1995.
- [3] “<http://www.me.binghamton.edu/NIH%20visit/sld002.htm>”
- [4] 安藤, 篠田, 小川, 光山, 計測自動制御学会論文集, vol.29, no.5, pp.520–528, 1993
- [5] H. Krim and M. Viberg, *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.13, no.4, pp.67-94, July, 1996
- [6] 小野, 齋藤, 安藤, 聴覚研究会資料, pp.187-192, 3月, 2002
- [7] N.Ono, A.Saito, and S.Ando, *Technical Digest of the 19th Sensor Symposium*, pp.441-446, 2002
- [8] A.Saito, N.Ono, and S.Ando, *Proc. Sice Annual Conference 2002*, pp.1640-1643, 2002
- [9] 小野, 齋藤, 安藤, 第 19 回センシングフォーラム, pp. 379–382, 2002
- [10] N.Ono, A.Saito, and S.Ando, *電気学会論文誌*, vol.123-E, no.3, pp.92-97, 2003
- [11] 栗原, 小野, 安藤, 平成 14 年度電気学会全国大会講演論文集, vol.3, pp.217-218, 2002
- [12] M.Kurihara, N.Ono, and S. Ando, *Proc. Sice Annual Conference 2002*, pp.353-354, 2002