

応用音響

研究代表者 及川 靖広
(基幹理工学部 表現工学科 教授)

1. 研究課題

本プロジェクトでは、人間にとって最も基本的な意思／情報伝達手段である音コミュニケーションを、円滑／快適に行うことができる環境の実現を目標としている。そのためには、我々を取り囲んでいる音波動場とその中で行っている音コミュニケーションを十分に理解し、その知識に基づく応用が重要となる。今年度は、光学的音響計測技術の高度化、AR 技術を用いた音響インテンシティ可視化、高速 1bit 信号処理を用いた大規模音場創生システム、補聴システムにおける音響信号処理等に関する研究を行った。

2. 主な研究成果

2.1 光学的音響計測技術の高度化

我々はこれまで、偏光高速度干渉計を用いた音場可視化計測手法を提案してきた。光学干渉計と偏光高速度カメラにより、非接触かつサブミリメートル間隔での高密度音場イメージングを実現するものである。本年度は提案手法を楽器放射音の非接触イメージング計測、流れと音の同時計測に適用し、その有効性を示した。計測結果の一例を図-1 に示す。また、偏光高速度カメラにより記録され画像から音の情報を取り出すには、ノイズが多い記録データに対して位相アンラップ処理等の信号処理を必要とする。音が波動方程式という物理モデルに基づくという特徴を利用した信号処理を導入し、その高度化を実現した。

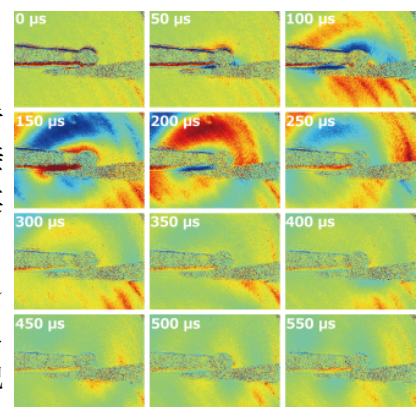


図-1 偏光高速度カメラを用いた楽器放射音の非接触イメージング計測

2.2 AR 技術を用いた音響インテンシティ可視化

音場の把握に役立つ可視化手法の一つは、カメラで撮影した映像に音情報を重ねる手法である。その場所の視覚的な情報と音情報の関連を直感的に理解できるという利点がある。頭部に装着する三次元ディスプレイ装置であるヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display:HMD) が急速に展している。特にステレオカメラと組み合わせたビデオスルーHMD は、容易に観測者が移動でき、自然な拡張現実 (Augmented Reality:AR) の実現に役立つ。さらに、オプティカルスルーHMD も利用可能となってきた。ビデオスルーHMD やオプティカルスルーHMD を用いて三次元音場情報を AR で可視化するシステムを構築した。手持ち四点マイクロホンを用いて三次元音響イ

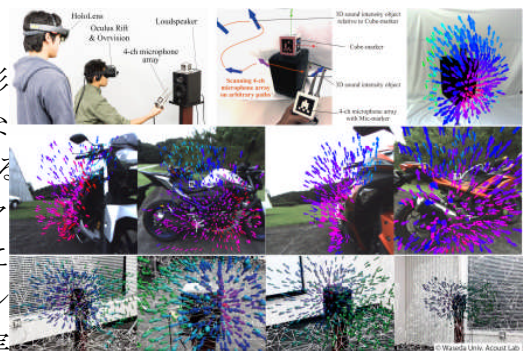


図-2 ビデオスルーHMD やオプティカルスルーHMD に可視化した三次元音響インテンシティマップ

ンテンシティを計測、ビデオシースルーHMD やオプティカルシースルーHMD に可視化した結果を図-2に示す。

2.3 高速 1bit 信号処理を用いた大規模音場創生システム

物理的に正確な音場を実現する目的で、Wave Field Synthesis (WFS)、Boundary Surface Control など、様々な手法が提案、研究されている。このような音場を制御するシステムは、新たな芸術表現への応用でも着目されており、任意の音場を創り出すことが求められている。一般に、高い周波数の波面を制御するには、空間標本化定理を満たすように高密度に音場を制御する必要があり、また、波面を制御する範囲の拡大に伴いスピーカシステムを広範囲に設置する必要がある。これらの制御を可能とするシステムは、ハードウェアの煩雑化および肥大化が懸念される。本研究では、高解像度かつ広帯域の音場創生を目的とした大規模スピーカレイのための高速 1bit 信号処理を用いたスピーカシステムを提案し、4 MHz 1 bit の信号を用いた 256 ch スピーカレイシステムを非常に小型のハードウェアで構築した。実装したスピーカレイを図-3に示す。また、システムを用いた基礎的な実験として、遅延和と WFS による波面制御を実施し 1 kHz までの波面が制御可能であることを確認した。シミュレーションと実測結果の比較を図-4に示す。

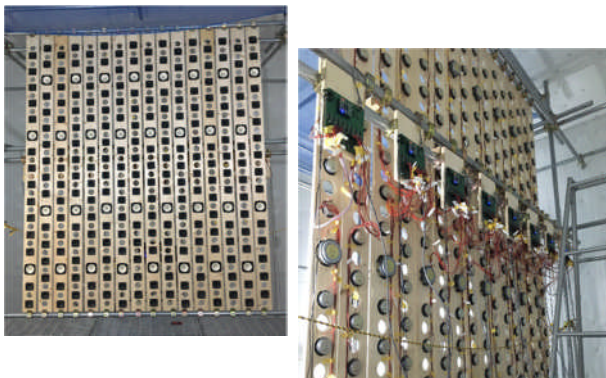


図-3 実装したスピーカレイ
(左：前面、右：背面)

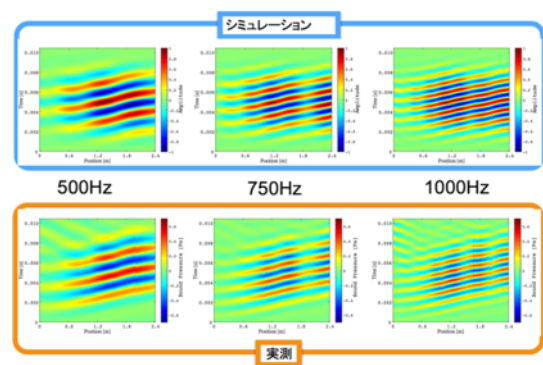


図-4 遅延和アレイの実験結果
(上段：シミュレーション、下段：実測)

2.4 補聴システムにおける音響信号処理

マルチビット信号と比較し高い周波数で標本化される 1bit 信号を用いることで、空間分解能の高いマイクロホンアレイシステムを構築できる。設置面積の広い帽子に 1bit 出力の 48 個の小型 MEMS マイクをアレイ上に設置し、シンプルな回路ながら鋭い指向性と高い自由度を持つ補聴システムを実現した。その指向性をスマートホンから無線で操作することを可能とした。本システムを用いた実験の様子を図-5に示す。また、Frequency-Warped Filterbank を用いた補聴器のための残響抑圧手法を提案し、音声のエンベロープ回復が残響抑圧に非常に有効であること、それを行うためのパラメータ決定が重要であることを明らかにした。



図-5 帽子型補聴システムを用いた実験

3. 共同研究者

白井 克彦 (放送大学学園 理事長／早稲田大学 名誉教授)

山崎 芳男 (東京都市大学総合研究所 特任教授／早稲田大学 名誉教授)

小林 哲則 (理工学術院 教授)

菊池 英明 (人間科学学術院 教授)

池田 雄介 (理工学術院 助教)

小野 隆彦 (総合研究機構 波動場・コミュニケーション科学研究所 客員上級研究員／研究院 教授)

大内 康裕 (総合研究機構 波動場・コミュニケーション科学研究所 客員主任研究員)

小西 雅 (総合研究機構 波動場・コミュニケーション科学研究所 客員次席研究員)

藤森 潤一 (総合研究機構 波動場・コミュニケーション科学研究所 招聘研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

[1] Kohei Yatabe, Kenji Ishikawa, Yasuhiro Oikawa, "Simple, flexible and accurate phase retrieval method for generalized phase-shifting interferometry," *Journal of the Optical Society of America A*, vol.34, no.1, pp.87-96, 2017.1. DOI:<https://doi.org/10.1364/JOSAA.34.000087>

[2] Nachanant Chitanont, Kohei Yatabe, Kenji Ishikawa, Yasuhiro Oikawa, "Spatio-temporal filter bank for visualizing audible sound field by Schlieren method," *Applied Acoustics*, vol.115, pp.109-120, 2017.1. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.028>

[3] Kohei Yatabe, Kenji Ishikawa, Yasuhiro Oikawa, "Improving principal component analysis based phase extraction method for phase-shifting interferometry by integrating spatial information," *Optics Express*, Vol.24, No.20, pp.22881-22891, Oct.2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/OE.24.022881>

[4] Yusuke Ikeda, Naoki Okamoto, Tadashi Konishi, Yasuhiro Oikawa, Yasuhiro Tokita and Yoshio Yamasaki, "Observation of traveling wave with laser tomography," *Acoust. Sci. & Tech.*, Vol.37, No.5, pp.231-238, 2016.9. (Translated paper) DOI: <http://doi.org/10.1250/ast.37.231>

[5] 小森智康, 今井篤, 清山信正, 田高礼子, 都木徹, 及川靖広, "高齢者に聞きやすい番組背景音レベル調整装置," *電子情報通信学会論文誌 D*, Vol.J99-D, No.9, pp.940-949, Sep.2016. DOI:10.14923/transinfj.2016JDP7005

[6] Kohei Yatabe, Kenji Ishikawa, Yasuhiro Oikawa, "Compensation of fringe distortion for phase-shifting 3D shape measurement by inverse map estimation," *Applied Optics*, Vol.55, No.22, pp.6017-6024, 2016.7. DOI: 10.1364/AO.55.006017

[7] Kenji Ishikawa, Kohei Yatabe, Nachanant Chitanont, Yusuke Ikeda, Yasuhiro Oikawa, Takashi Onuma, Hayato Niwa, and Minoru Yoshii, "High-speed imaging of sound using parallel phase-shifting interferometry," *Optics Express*, Vol.24, No.12, pp.12922-12932, 2016.6. DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.24.012922>

[8] Kohei Yatabe and Yasuhiro Oikawa, "Convex optimization based windowed Fourier filtering with multiple windows for wrapped phase denoising," *Applied Optics*, Vol.55, No.17, pp.4632-4641, 2016.6. DOI:10.1364/AO.55.004632

4.2 総説・著書

- [1] 及川靖広, 石川憲治, 大沼隼志, “偏光高速度カメラによる音のイメージング計測,” OplusE, Vol.39, No.3, pp.264-268, 2017.3.
- [2] 石川憲治, 矢田部浩平, 池田雄介, 及川靖広, “光を用いた音場可視化装置,” 日本音響学会誌, vol.72, no.7, pp.430-431, 2016.7.

4.3 招待講演

- [1] Kenji Ishikawa, Kohei Yatabe, Yusuke Ikeda, Yasuhiro Oikawa, Takashi Onuma, Hayato Niwa, Minoru Yoshii, “Optical sensing of sound fields: Non-contact, quantitative, and single-shot imaging of sound using high-speed polarization camera,” 5th Joint Meeting ASA/ASJ, J. Acoust. Soc. Am., Vol.140, No.4, Pt.2, p.3087, Nov.2016.
- [2] Jun Kuroda, Shota Minami, Yasuhiro Oikawa, “Study to fabricate high-quality and portable parametric speakers,” 5th Joint Meeting ASA/ASJ, J. Acoust. Soc. Am., Vol.140, No.4, Pt.2, p.3087, Nov.2016.
- [3] Kohei Yatabe, Kenji Ishikawa, Yasuhiro Oikawa, “Signal processing for optical sound field measurement and visualization,” 5th Joint Meeting ASA/ASJ, J. Acoust. Soc. Am., Vol.140, No.4, Pt.2, p.3417, Nov.2016.

4.4 受賞・表彰

- [1] 日本音響学会学会活動貢献賞受賞 (及川靖広)
- [2] 指導した学生 1 名が 5th Joint Meeting of The Acoustical Society of America and The Acoustical Society of Japan にて Best Paper Awards for Students and Young Presenters を受賞
- [3] 指導した学生 1 名が日本音響学会第 15 回学生優秀発表賞、4 名が日本音響学会第 14 回学生優秀発表賞を受賞

4.5 学会および社会的活動

- [1] 第 13 回 1 ビット研究会開催 (2016.6.22)
- [2] 第 14 回 1 ビット研究会開催 (2016.12.7)
- [3] 日本音響学会 理事 (及川靖広)
- [4] 日本音響学会サマーセミナー実行委員長 (及川靖広)
- [5] 国際会議実行委員・プログラム編成委員、5th Joint Meeting of The Acoustical Society of America and The Acoustical Society of Japan (及川靖広)

5. 研究活動の課題と展望

本プロジェクトにおいて研究開発した物理音響信号処理、光学的音響計測手法、1bit 信号処理は、世界的にもユニークな研究成果を上げてきた。今後は実環境下における諸問題への適用にむけ、諸特性の向上をめざす。