

伊勢 史郎

東京電機大学 情報環境学部  
教授

音楽を用いた創造・交流活動を支援する聴空間共有システムの開発

## §1. 研究実施体制

### (1) システムグループ

- ① 研究代表者:伊勢 史郎 (東京電機大学 情報環境学部 情報環境学科、教授)
- ② 研究項目
  - ・聴空間共有システムの開発

### (2) データベースグループ

- ① 主たる共同研究者:尾本 章 (九州大学 大学院芸術工学研究院、教授)
- ② 研究項目
  - ・聴空間共有データベースの開発

### (3) 物理評価グループ

- ① 主たる共同研究者:榎本 成悟 (独立行政法人 情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所、研究員)
- ② 研究項目
  - ・聴空間共有システムの物理評価

### (4) 心理評価グループ

- ① 主たる共同研究者:上野 佳奈子 (明治大学 理工学部 建築学科、准教授)
- ② 研究項目
  - ・聴空間共有システムの心理評価

## §2. 研究実施の概要

### ○ 最適化正則化パラメータ法による逆フィルタ設計方法の提案

安定した逆システムを設計する方法として正則化パラメータ法が知られているが、大規模な逆システムの正則化パラメータを合理的に計算する方法は提案されていない。そこで最適な正則化パラメータをオクターブバンド毎に求めて、逆システムを求める方法を提案し、従来法に比較して短時間で十分な音場再現精度を実現する逆フィルタが設計できることを確認した。

### ○ 音楽芸術としての録音・再生性能に関する実証実験

収録した音楽をどの程度の芸術性を保ちながら再生可能かを調べるため、東京藝大の録音スタジオにおいて 2 名のプロ演奏家による演奏を収録し、実音場、従来の収録・再生方法、BoSC (Boundary Surface Control) システムによる収録・再生をほぼ同時に比較する実験を行った。その結果、BoSC システムにより実音場に極めて近い音場を再生可能であり、従来のオーディオ技術に劣らない性能で音楽芸術の収録・再生が可能であることを確認した。

### ○ 96 ch 音場畳み込み用の遅延なしリアルタイム畳み込み機の開発

3 次元的な残響音を実時間で再現するために、多チャンネル実時間畳み込み信号処理を行う FPGA の開発を行い、計算機による畳み込み演算と組み合わせて使用することで、ほぼ無遅延 (1 サンプル  $20 \mu s$  の遅延) で 3 秒以上の実時間畳み込みが可能であることを確認した。

### ○ 3 次元音場シミュレータのフィードバックキャンセラの開発

音響樽内で自身が発した音に 3 次元的な残響を付加する音場シミュレータを実現するために、音響フィードバックの抑圧手法の開発を行った。建築音響指標による物理評価の結果、ホールの響きを十分に再現できることが確認された。

### ○ 音源の指向性を含めた音響樽内の音場収録手法の開発

音場シミュレータや音場共有システムにおいて、樽内で発した音を指向性も含めて収録する手法を提案した。計算機シミュレーションと無響室実験により、指向性まで含めた収録と伝送が可能であることを確認した。

### ○ 小型 BoSC 再生室の開発

家庭に設置可能な小型の BoSC 再生システムの設計を行い、再生室の外装の構築を行った。



図: 小型 BoSC 再生室の外装



図: 音響樽(右側)との比較

#### ○ コンテンツ・データベース構築

継続的に音響樽における再生コンテンツ収録を続けている。本年度はコンサートホールにおけるオーケストラ演奏に関してはマイクを移動しながらの収録を行った。さらに、航空機、バイクなど、動きが特徴的であるコンテンツを収録してデータベースの形式に整理している。

#### ○ 新型再生システムによるアウトリーチ

開放型の BoSC 再生システム(音積木)を用いて、1週間連続で延べ 1,000 人以上という多くのデモンストレーションの機会を作った。

#### ○ 音場再生システムに適したコンテンツの選定

デモンストレーションでは、コンテンツの種類による好みの違いが顕著に現れた。そこで様々な種類のコンテンツに対して主観評価実験を行い、どのような観点で好まれるのか、基礎的な検討を行った。結果としてコンテンツを 4 種類ほどに分類できる可能性が明らかになった。

#### ○ 逆フィルタ生成のためのアルゴリズムに関する検討

逆フィルタの性能は音場の再生性能に直接的に影響する。特に特異値分解を応用した生成法において有効な打ち切り次数を求めるための簡易的アルゴリズムの妥当性について検討した。

#### ○ 音場計測装置を用いた再原音場の計測

BoSC に基づいた 3 次元音場再現における正中面の波面の再現について、計算機シミュレーションと実測による波面の計測から検討を行った。結果から、スピーカが十分に存在しない下方からでも波面が合成されていることが確認された。

#### ○ 身体動作に対する音の遅延時間の許容範囲と順応メカニズムの解明

構築するシステムの必要性能について、身体運動に伴う音の遅延の許容範囲の検証を目的とし、遅延した音への順応メカニズムについて脳波計測を行った。その結果、遅延検出に伴う脳波成分の同定に成功し、3 分程度の順応によって遅延の許容範囲が延長することを生理学的に示した。

#### ○ 仮想音場に再現された人物の実在感に関する心理・生理実験

BoSC システムによる再生音場の評価について、“話者(発音体)の実在感”に着目し、動作音・非動作音に対する脳活動、音声の接近によるパーソナルスペースの侵害、の面から心理・生理実験を行った。その結果、発話体の実在感について客観的、間接的に評価できることが示された。

#### ○ 3 次元音場再現の付加価値に関する研究

3 次元音場再現システムでの試聴体験における付加価値、またデモなどに適したコンテンツを調べるために、音響の専門家と一般聴取者を対象に心理評価実験を行った。その結果、音響の専門家と一般聴取者では捉えている付加価値が異なり、評価者の属性によってデモコンテンツを変えることが有効であるとの知見を得た。

#### ○ BoSC システムの応用可能性に関する研究

昨年度に引き続き、演奏者及び楽器製作者による活用を想定した音場シミュレーションシステムの有用性について検討した。プロ奏者に実際に音響樽内で試奏させたところ、昨年度に比べ、再現性能の向上が確認されたが、客席の音質の向上の必要性など、実装に向けた更なる改善点について指針が得られた。

○ 代表的原著論文

- ・ Akira Omoto, Shiro Ise, Yusuke Ikeda, Kanako Ueno, Seigo Enomoto, and Maori Kobayashi, “Sound field reproduction and sharing system based on the boundary surface control principle”, *Acoustical Science and Technology* Vol.36, No.1, pp.1-11, 2015 (DOI: 10.1250).
- ・ Koichiro Tsuchida, Kanako Ueno, and Sotaro Shimada “Motor area activity for action-related and nonaction-related sounds in a three-dimensional sound field reproduction system”, *NeuroReport*, Vol.26, No.5, pp.291-295, 2015 (DOI: 10.1097)
- ・ 渡邊祐子, 吉田飛里, 池田雄介, 伊勢史郎, “没入型聴覚ディスプレイ装置を用いた音場シミュレータの開発”, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, vol.20, No.1, 2015.