

伊勢史郎

京都大学・工学研究科・准教授

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 (京都大学・工学研究科・准教授)

② 研究項目

- ・ 音場共有システムのための BoSC 再生システムの設計と試作
- ・ BoSC 再生システムのデモンストレーションと実証実験
- ・ 音響樽の再設計と設置

### (2) データベースグループ

① 主たる共同研究者:尾本 章 (九州大学芸術工学研究院, 准教授)

② 研究項目

- ・ 聴空間共有データベースの開発

### (3) 心理評価グループ

① 研究分担グループ長:上野佳奈子 (明治大学理工学部、准教授)

② 研究項目

- ・ 聴空間共有システムの心理評価

### (4) 物理評価グループ

① 研究分担グループ長:榎本成悟 (独立行政法人情報通信研究機構、研究員)

② 研究項目

- ・ BoSC 再生システムの再現精度に関する物理評価

## § 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

### (1) 音場共有システムのための BoSC 再生システムの設計と試作

前年度に調査したシステムの基本性能をもとに、4 秒×96ch のインパルス応答の実時間畳み込み演算(遅延 1ms 以下)を実現するため、インパルス応答の初期部分を FPGA で、残りの後半部分を PC で演算を行う BoSC 再生システムの設計と試作を行った。FPGA システムに MADI インターフェイスを装着し、PC と FPGA システム間の 96ch のオーディオ信号の伝送を行い、FPGA システムから各デジタルアンプへの伝送には少ないケーブルで伝送可能な独自プロトコルの高速伝送を行うことで 96ch の再生システムをハードウェアとして実現した。また 96ch 駆動すると無視できない白色性雑音を低減するためのデジタルアンプ用 LPF を開発し、高域ノイズを約 10dB 低減した。実際に本システムを用いて音響樽による音場再生の定位感・距離感の聴感実験を実施し、システムが問題無く動作することを確認した。

### (2) BoSC 再生システムのデモンストレーションと実証実験

音響樽の安定性と改善点を明らかにする目的で、実際に音響樽を分解・運搬し、仙台メディアテークにおける AES コンファレンス(2012.10.9-11、写真1)と科学未来館におけるサイエンスアゴラ(2012.11.10-11)において、音の専門家から一般の方までのべ 170 人以上にデモを行い、長時間のシステム動作に支障が生じないことを確認した。また、音響樽のデモンストレーションに際して行ったアンケート(音響関係者 62 名及び一般 116 名)を分析し、音響樽によって呈示される音場の特徴と人気の高いコンテンツの条件を整理した。



写真1：仙台メディアテークにおけるデモ

### (3) 音響樽の再設計と設置

デモ時の運搬などにおいて問題となった音響樽の構造の不安定さを解消するよう、開口部や床下の構造を変更するなど再設計を行った。また、デモ時にコンテンツによっては 100Hz 以下の低音が小さいという問題があったため、スピーカユニットの選定とエンクロージャの再設計を行った。再設計後のあたらしい音響樽を九州大学と情報通信研究機構(けいはんな)に設置を行った。

### (4) 旧 BoSC システムと音響樽の再現精度の比較検討

数値計算により、旧来の BoSC 音場再現システムと音響樽の再現精度を比較した。その結果、1)

両システム共にスピーカアレイの外側と比較して内側での再現精度が低いこと、2)音響樽では、旧システムと比較して遠距離場でも高い再現精度を維持していること、3)音響樽では 500Hz 程度までの帯域であればスピーカアレイのほぼ全域で音場を再現可能であることを示した。また、両システムを用いた音源定位実験により、水平・仰角・奥行き方向の定位性能を示した。

#### (5) マイクロホンアレイ移動装置を用いた音圧分布の測定

昨年度導入したマイクロホンアレイ移動装置を用いた音圧分布の測定装置を構築し、水平面内における音圧分布の計測を実施した。

#### (6) データベースの構築

継続的にコンテンツ収録を続けた。ホールにおけるオーケストラ演奏リハーサルの収録では 80ch マイクロホンを指揮者の直前に配置して収録を行い、一般的には聞くことの出来ない音を含んだ、特徴あるコンテンツを収録した。さらに心理実験グループとの共同作業として、音源がマイクに向かって進む音源など、試聴を行った被験者の反応が大きかったものを選択し、条件を整理した状態で再収録を行った。さらに、自転車などと連結して移動しながら収録できるシステムを開発し、実際の収録を試みた。特に交差点での視覚障害者用音の出る信号機や、壁などの近辺での音の様子を収録することで、将来的に視覚障害者の歩行訓練にも使えるようなコンテンツの基礎データを収録している。

#### (7) 新型音響樽の開発

開放型の BoSC 再生システムを開発し、設置した（写真 2 参照，仮称：音積み木）。これを用いてチャンネル数を効果的に減らすアルゴリズム作成に着手し、検討を進めている。いわゆるレゴブロック型のモジュールを組み合わせることで比較的簡単に組み立て可能なシステムであり、現在スピーカユニットの設置を行っているところである。



写真 2：新型の音響樽（仮称・音積み木）

(8) 音場再生時の残響感の制御に関して、被験者を取り囲む音源群から放射する残響成分のレベルを可変として、最適な値を模索する実験を行った。予想よりも大きな幅を持つ結果が得られており、今年度条件を整理して試行を繰り返すことで、上記開放型再生システムへの効果的な残響成分導入を試みたい。

(9) 音場再生に際して、音響樽のように忠実に情報を再生する方式と共に、開放型システムのように性能が劣ることが予測される場合には、特徴的なパラメータのみを制御する方式も考えられる。このために、特に室内の音場の拡散状況を再現する方式に関する考察を行っている。昨年度までに数式によるモデル化を行い、今年度成果を公表した（3-1，1）。

(10) 構築するシステムの必要性能について、音の遅延の許容範囲の検証として、バイノーラルシステムを用いた電子ドラム演奏実験を行い、心理評価及び演奏音の分析結果より

30ms 程度の遅延は許容されることを示した。また、身体動作に伴う聴覚刺激の同時性判断について、順応と遅延弁別閾値の関係を実験的に示した。

(11) BoSC システムによる再生音場の評価について、“話者（発音体）の实在感”に着目した心理・生理実験として、話者の微細動作を再現することの効果、音声に環境音を付加することの影響、接近する移動音源に対する生理反応、動作音・非動作音に対するミラーシステムの活動（脳波計測）の面から心理・生理実験を行った。

(12) BoSC システムの活用に関わる研究として、視覚障害者の障害物知覚訓練への応用可能性（物体の気配の再現可能性）を検討するとともに、演奏者及び楽器製作者がホールにおけるフルートの鳴りの評価に用いることを想定した実験に着手した。

(13) 音響樽内の照明として LED 光源を吸音材に埋め込んだ照明装置を実装して心理評価実験を行い、広さ感や空間の魅力の面で電球型（露出型）直接照明に対して利点があることを示した。

### §3. 成果発表等

#### (3-1) 原著論文発表

##### ● 論文詳細情報

1. Akira Omoto, ‘Comment on “A theoretical framework for quantitatively characterizing sound field diffusion based on scattering coefficient and absorption coefficient of walls” [J. Acoust. Soc. Am. 128, 1140-1148 (2010)] (L),’ J. Acoust. Soc. Am. 133 (1), pp. 9-12, 2013 (DOI: 10.1121/1.4768884)
2. Yoko LEE, Seigo ENOMOTO, Yusuke IKEDA, Satoshi NAKAMURA, and Shiro ISE, “Influence of the presence of a human head in the controlled area in the three-dimensional sound field recording and reproduction system based on the boundary surface control principle: Objective examination”, Acoustical Science and Technology, vol. 33, No. 3, 2012 (DOI:10.1250/ast.33.190)