

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. 研究実施の概要

研究のねらい：音楽という世界共通言語を違和感なく交換できる情報通信環境の構築を行うことを目的とする。演奏、建築音響エンジニアリング、音楽教育、音楽批評などの音楽の職能をもつ人々が、遠隔環境において三次元音場を共有しながら技能を実践することができ、従来よりも創造的な音楽活動を可能とする聴空間共有システムを開発する。

これまでの研究概要と進捗状況：没入型聴覚ディスプレイとして利用可能な唯一の方式である BoSC インターフェイスを用いた新たな演奏 VR 空間を構築する。(1) システムグループ：従来よりも、音場再生性能が優れ、ユーザーの可動範囲が大きく、組み立て分解が容易な、新型 BoSC 再生システムの外壁を試作した。C80 フラワーレン構造の接点上に 80 個のマイクロホンを設置した新型 BoSC 收音システムを開発した。演奏信号の伝送のためのネットワーク機能を備え、大規模演算（インパルス応答長 2～10 秒、96ch 分の実時間畳み込み演算、遅延なし）を可能とし、デジタルアンプと直接接続可能な信号処理装置のハードウェア部分、すなわち聴空間共有システムのための音場再生装置を開発した。(2) データベースグループ：新型 BoSC 收音システムを用いた音響測定を九州大学にて行い、その基本性能を確認した。(3) 物理評価グループ：新型 BoSC 再生システムを定量的に評価するための基礎データを得るため既存の BoSC 再生システムの性能を検証した。(4) 心理評価グループ：演奏行為という身体動作を伴うマルチモーダルな感覚事象に必要な信号の遅れ時間に関する条件を検討するため、視聴覚刺激の非同時性判断が生じる刺激呈示の遅れ時間を調べた。

研究成果：試作した新型 BoSC 再生システムの音響特性を評価することにより、演奏可能な広さをもつ空間で 3D 音場再現を可能とする見通しを得た。BoSC 再生システムにおける音場再現性能を高めるため、遺伝的アルゴリズムを用いた逆システム設計手法を提案した。新型 BoSC 收音システムを構築し、基本動作を確認した。新型 BoSC 再生システムの性能を既存のシステムと定量的に比較するための基礎データを得た。聴覚刺激呈示の遅れ時間は 210 ms 以内、感度が高いケース（判断確率 10%）に対応する場合には 130 ms 以内として、聴空

間共有システムを構築する必要があることがわかった。

今後の見通し：新型 BoSC システムによる音場再生実験を年度前半に二つの新型 BoSC システムを用いた音場共有実験を年度後半に行う。また、コンテンツを増やすため 4 か所以上で音響測定を行う。

§ 2. 研究実施体制

(1) システムグループ

① 研究分担グループ長:伊勢 史郎 (京都大学工学研究科、准教授)

② 研究項目

- ・ BoSC 再生システムの外壁形状の数値計算による検討および試作
- ・ BoSC 再生システムにおける逆システム設計アルゴリズムの提案
- ・ 聴空間共有システムのための音場再生装置の開発

(2) データベースグループ

① 研究分担グループ長:尾本 章 (九州大学芸術工学研究院、准教授)

② 研究項目

- ・ 80 チャンネル収録システムの構築
- ・ コンテンツ収録実験実施
- ・ コンテンツおよびインパルス応答データベース構築

(3) 物理評価グループ

① 研究分担グループ長:榎本成悟 (情報通信研究機構、専攻研究員)

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

(4) 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に関わる予備的検討

§3. 研究実施内容

(1) BoSC 再生システムの外壁形状の設計と試作

研究目的：従来の BoSC 再生システムを本研究で用いるためには次のような欠点がある。

1. 可動範囲が狭いため演奏ができない。
2. 周波数軸上における固有モードの偏りが大きく、反射音が多いため逆システムが不安定となる。
3. 分解・組み立てが難しいためアウトリーチ活動にコストがかかる

方法：これらの問題を全て解決するために 9 角形の断面形状をもつ樽型の音場再生室を試作した。

結論：上記目的の 1、2 の問題点についてはほぼ解決した。しかし、組み立て作業に職人二名で 1 時間かかるため、3 については改善する必要がある。



写真 1： 開発した音響樽

また、九角形断面の音響モードを数値計算により調べ、従来の正方形断面よりも低周波数域において音響モードを分散できることを確認した。

(2) BoSC システムにおける逆システム設計アルゴリズムの提案

研究目的:BoSC システムに限らず、多チャンネルの音響入出力を有する音場制御において、安定的な逆システムを設計する必要がある。逆システムの計算方法としては正規化パラメータを用いる方法がよく用いられるが、正規化パラメータの数値を決定する合理的な方法を提案する。

方法：遺伝的アルゴリズムを用いて、音場再現性能が高くなる正規化パラメータの数値を求める方法を提案し、その妥当性を実験的に検討した。

結論：既存の BoSC システムを用いて実験した結果、遺伝的アルゴリズムを用いて正規化パラメータを最適化することにより、音場再現性能を 6 dB 程度高めることができることを確認した。

(3) 音場伝送システムの実現方法の検討およびプロトタイプ的设计と試作

研究目的：演奏信号を実時間で BoSC 理論によって空間的に再生するためには大規模かつ高速な信号処理システムが必要となる。AD/DA 変換時、畳み込み演算時、ネットワーク伝送時において生じる遅延を最小に抑えながら遅延の状態を管理可能なハードウェア装置が必要となる。また大規模な音響信号処理計算を行うためにタスク・スケジューリング可能な演算装置を開発する必要がある。

方法：GPGPU、FPGA、汎用 DSP を比較し、計算能力、ネットワークおよびデジタルアンプとの整合性、遅延条件などについて長短所を検討した。

結論:GPGPU は大規模計算が可能だがデータが PC の OS を経由するため遅延の管理ができない。FPGA は浮動小数点演算ができず、また複雑な信号処理計算を行うためのタスク・スケ

チューリングができない。そこでデジタルアンプとの整合性の高い汎用 DSP の採用を決定し、プロトタイプシステムを設計、試作した。

(4) BoSC 收音システムによるコンテンツ収録実験

研究目的：新たに構築した BoSC 收音システムを用いて、実際の音楽演奏などの収録を試みる。PC をベースにした収録システムを構築しているが、ハードウェア、ソフトウェアの動作確認と共に今後継続的に行う収録に際しての問題点を抽出することも目的である。

方法：九州大学の中規模のホールを用いて、インパルス応答の測定および音楽演奏の収録を行う。その際、九州大学、京都大学、情報通信研究機構から持ち寄った 3 つのシステムを同時に稼働させ、各システムの安定性などを確認する。

結論：インパルス応答、音楽収録ともに大きなトラブルはなく行うことができ、得られたデータをデータベース化する準備が整った。また大規模なシステムであり、ケーブルの処理方法やマイクロホン感度の校正方法など、極めて現実的な問題に関する情報を全メンバーで共有することができた。ソフトウェア設定ミスにより一つのマイクロホンから収録できなかったという問題が生じた。システム動作のチェック方法を改善する必要がある。

(5) BoSC 再生システムの再現精度に関する物理評価

研究目的：音場再現性能を物理的に評価するための基礎的な検討を行う。

方法：既存の BoSC 再生システム内に新型 BoSC 收音システムを設置し、インパルス応答を測定する。インパルス応答から逆フィルタを計算し、ある音場を再現し、逆フィルタの条件数、再現信号の SD により音場再現性能を定量的に評価する。

結論：逆フィルタの条件数は 125Hz から 1kHz では高く、1kHz から 2kHz で徐々に減衰し、それ以上の周波数では低くなる。2 kHz 以下の帯域では吸音材の設置条件を変えることにより再現信号のスペクトル距離(SD)は大きく変動するが、2kHz 以上の帯域ではほとんど変化しない。次年度開発予定の新型 BoSC 再生システムの性能を既存のシステムと定量的に比較するための基礎データを得た。

(6) 聴空間共有システムの心理評価に関わる予備的検討

研究目的：聴空間共有システムの性能を心理的に評価するための予備的検討として、ユーザーの演奏室内における心理状態を表現するためのインターフェイス装置を開発するとともに、聴空間共有システムの性能に関わる基礎実験を行う。

方法：市販のタッチパッドを用いて、評定尺度法、多岐選択式回答、定型自由記述等の入力・記録に対応するインターフェイス装置を開発した。また、身体運動（スイッチの押下）と視聴覚刺激の非同時性判断が生じる刺激呈示の遅れ時間を調べた。

結論：身体運動とそれに付随する視覚及び聴覚刺激の非同時性判断について、判断確率が 50%となる遅延時間は、視覚刺激で約 220 ms、聴覚刺激で約 210 ms という結果が得られた。この結果によれば、聴覚刺激呈示の遅れ時間は 210 ms 以内、感度が高いケース（判断確率 10%）に対応する場合には 130 ms 以内として、聴空間共有システムを構築する必要がある。

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

(4-2) 知財出願

- ① 平成22年度特許出願件数(国内 0 件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 0 件)