

## 共在感の実現を目指した音場共有システムの開発\*

○渡邊祐子 (東京電機大学)

### 1 はじめに

高臨場感を実現し、かつ移動可能な没入型の聴覚ディスプレイとして、境界音場制御の原理に基づいた音場再現システム (BoSC システム) が提案されており、その実用化システムとして内部に 96 個のスピーカを設置し、楽器演奏等が可能なスペースを有する没入型聴覚ディスプレイ装置“音響樽”が開発された [1]。音響樽は基本性能として高い音像定位精度を提供し、再生音場において受聴者がある程度、頭部を動かしても音場再現性能が保たれる特徴を有する。また小林らは BoSC システムを介して話者の微少な動きによる音場の変化が再現されることで話者の存在感が増すこと示しており [2]、従来システムと比較して BoSC システムによる高いリアリティの実現が期待できる。一方で、複数の音響樽をインターネットで接続することにより、遠隔に位置するヒトが同じ空間を感じ、かつ相手との“共在感”を感じながらコミュニケーションをすることができる音場共有システムが提案されている [3]。そこで我々はアンサンブル演奏や視覚障害者を対象とした音卓球など、音を媒介としたコミュニケーションが不可欠な分野を応用先として音場共有システムの開発とその有用性の検証を実施した。本稿では音場共有システムを概説すると共に、音場をリアルタイムで接続・共有することによって生じる音響フィードバックや演算遅延を低減するために提案した手法とそれらを導入した音場共有システムの実用例について紹介する。

### 2 音場共有システム

#### 2.1 システム構成

複数の BoSC システムを用いれば、互いに信号をやりとりすることにより遠隔に位置するユーザーが同じ音響空間を感じながら、相手が遠隔に位置することを意識せずに目の前に存在するものとした会話や楽器演奏を可能にするような音場共有システムを構築することができる。

Fig.1 に 2 者間のアンサンブル演奏を実現する音場共有システムの構成図を示す。図中の (1) は演奏者 A, B が共有する原音場であり、そこにおける音響特性を境界音場制御の原理に基づき図中 (5)(6) の音響樽内に実時間で再現することにより、遠隔に位置する人に (2) のような仮想共有音場を感じさせることができる。

システムである。

#### 2.2 音場共有システムの実装における問題点

音場共有システムを実現する場合、BoSC システムの再生系が 96ch で多チャンネルであることに起因したいくつかの問題が生じる。まず音場共有システムでは、音響樽内で話者や演奏者の発する音を収録するためのマイクロホン (楽音用マイクロホン) が必要であり、それによってフィードバックの問題が生じるが、再生系のチャンネル数が多いので、一般的な通信システムのように適応フィルタを用いてフィードバックキャンセラを実現することが難しい。そこで BoSC システムの逆システム設計において、音響樽内の楽音用マイクロホン位置を null 点として音圧が最小となるように制御する手法を採用しフィードバックの抑制を実現した [4]。一方、音場共有システムでは音響樽内に再生する信号生成の過程で、再現する原音場のインパルス応答と音響樽内のインパルス応答の逆システムを合成したフィルタによる実時間信号処理が必要となる。そこで処理フィルタを可変フレーム長に分割し、更にフィルタ初期部分の小さいフレームの畳み込み演算を FPGA に割当て等により、低遅延・実時間信号処理を多チャンネルシステムで実現するハードウェアを実装した [5]。また逆システムの因果性を保つためのフィルタ遅延の制御については、理想的に設計した処理フィルタの時間応答を調整が必要な時間だけ前方にシフトすることで再現精度を良好に保ちながら遅延を削減する手法を提案した [6]。

### 3 応用例

#### 3.1 アンサンブル演奏実験システム

麻生ら [7] は低遅延畳み込み演算装置を用いて実装したアンサンブル演奏用音場共有システムを用いて大小 2 つのホールの音響条件を仮想共有音場として再現し、プロ演奏家の協力を得て自分の演奏音や空間の特徴と相手からの演奏音の印象を評価させた。その結果、自分の演奏音や空間の印象、ホールの区別についての良好な回答に加え、「同じ環境で吹いている感じがする」など場に一緒に存在して演奏している感覚が得られていることを確認した。一方で相手からの音については距離感、音質の双方において違和感が確認され、遅延制御のためのフィルタ処理や楽音用マイクの指向性等に起因すると思われる検討課題が示された。

\*Development of a Sound-Field Sharing System for realization of the sensation of co-being. by Yuko WATANABE (Tokyo Denki University)

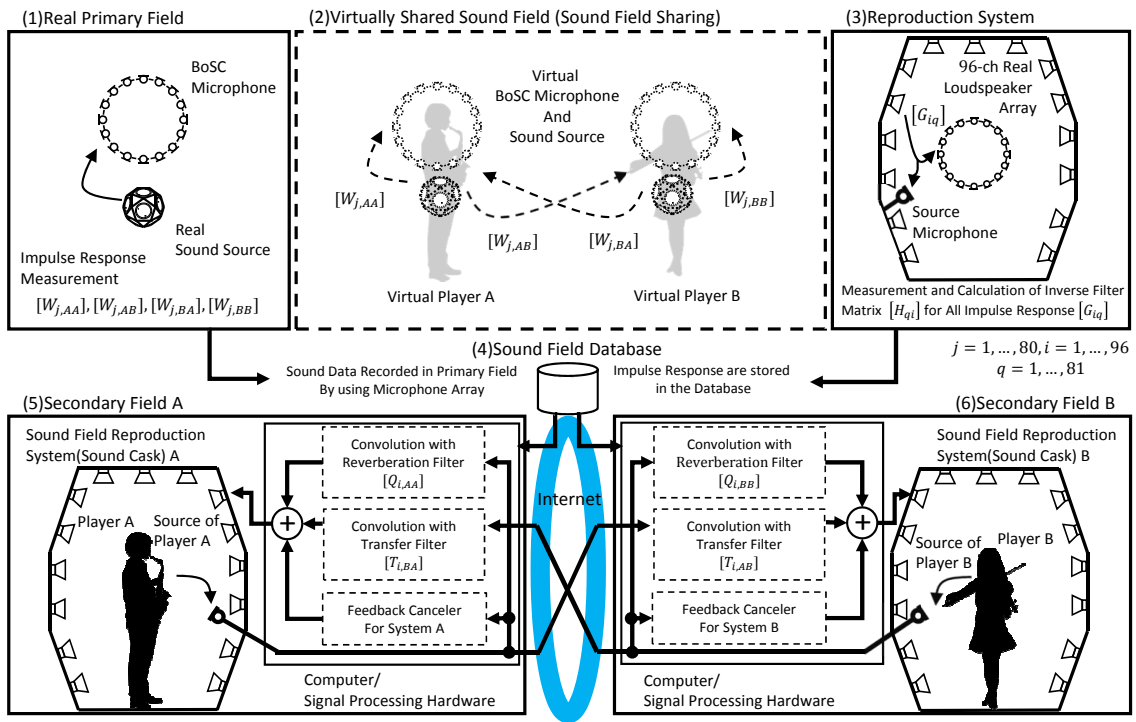


Fig. 1 アンサンブル演奏を可能とする音場共有システム



Fig. 2 アンサンブル演奏実験の様子

### 3.2 バーチャル音卓球システム

音響樽と kinect センサーを用い、視覚障害者向けに卓球をアレンジしたサウンドテーブルテニス（音卓球）を仮想的に行うことが可能な「バーチャル音卓球システム」を開発した [8]。音響樽を用いて仮想共有音場で卓球台を転がる打球音を再現することに加え、対戦相手がプレイヤーの前方面 3 m に位置するような対戦者音声の 3 次元波面を生成し、自然な音声コミュニケーションを行いながら音卓球を行うことができる音環境を実現した。また Kinect センサーにより検出された打球位置や動作方向に応じて再現する打球音の移動方向を変化させ、身体動作と再現音場をインタラクティブに変化させることで対人競技である音卓球が遠隔環境でも可能になり、その結果、対戦相手が実在することによって生じるコミュニケーションの楽しさや共感が主に音声を通して行われたことや、「どちらに打とうか考えたり、駆け引きがで

きていい」「相手に勝ちたいから頑張った」などの印象回答を通して勝つために相手の癖やプレースタイルを知ろうとする”駆け引き”が発話が存在しないラリー中に生じたことが推測でき、提案システムが対戦者の存在感を提供するだけでなく競争、共感といった感情を創出させる可能性があることが示唆された。

## 4 おわりに

本稿では音響樽を用いた音場共有システムによって仮想共有音場内のユーザー同士に”共感”を実現する試みについて紹介し、演奏実験における音場を共有している印象や、バーチャル音卓球システムにおいては相手の存在を感じることによる競争心や共感感情創出の可能性を確認した。次の課題として、80ch の BoSC マイクロホン信号に対してリアルタイム逆システム処理を施すことで実時間 BoSC システムを実現し、話者や演奏者の動きに関わる 3D 音響情報を再現する音場共有システムの開発と検証を進めている [9, 10]。

## 参考文献

- [1] 伊勢他, 計測と制御 51(12), 1110-1115, 2012.
- [2] 小林他, 聴覚研究会資料, 42(1)41-46, 2012
- [3] Omoto et al, Acoust Sci Tech. , 36, 1-11.
- [4] 河野他, 音講論 (春), 1-10-4, 2015.
- [5] 伊勢, 音学誌 73(9), 608-614, 2017.
- [6] 渡邊他, TVRSJ 20(1), pp.45-53, 2015.
- [7] 麻生他, 音講論 (秋), 2-P-46, 2016.
- [8] 渡邊他, TVRSJ 22(1), pp.91-101, 2017.
- [9] 岩井他, 音講論 (春), 3-6-4, 2019.
- [10] 中本他, 音講論, 3,6,5, 2019.