

没入型聴覚ディスプレイ“音響樽”を用いた 音場シミュレータにおけるフィードバックの抑制*

☆河野峻也, 井上裕介, 池田雄介, 渡邊祐子, 伊勢史郎 (東京電機大/JST, CREST)

1 はじめに

没入型聴覚ディスプレイ“音響樽”を用いて、演奏家が楽器を演奏した時にコンサートホールなどの室内音場を高い精度で再現する音場シミュレータの開発が行われている [1]。一般に音場シミュレータは楽器の演奏音にリアルタイムに残響を付加して再生するためフィードバックの問題が存在するが、多数のスピーカから音場再生するシステムに従来の適応フィルタを用いてフィードバックをキャンセルすることは難しい。そこで本研究では、演奏音を收音するマイクロホン位置で音圧が最小になるように逆システムを設計する手法 [2] を採用し、音場シミュレータにおけるフィードバックを抑制することを目的とする。

2 音場シミュレータの概要

音場シミュレータの概略図を Fig.1 に示す。図中の $[R_j](\in \mathbb{C}^{1 \times M})$ は原音場において測定した音源からマイクロホンアレイまでの反射音成分の伝達関数ベクトル, $[G_{ij}](\in \mathbb{C}^{N \times M})$ は音響樽のスピーカから制御点までの伝達関数ベクトル, $[H_{ji}](\in \mathbb{C}^{M \times N})$ は $[G_{ij}]$ の逆システムである。なお, $i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M$ であり, M は制御点数, N は音響樽内のスピーカ数である。音響樽の壁面には演奏音を收音するマイクロホン (以下, 楽音用マイクロホンおよび Source Microphone) が設置されており, その出力信号と原音場の反射音成分 $[R_j]^T$ および逆システム $[H_{ji}]$ を畳み込みスピーカから出力することで原音場と同じ音場を再現する。ところで音響樽内のスピーカから楽音用マイクロホンへの音響経路がフィードバックを形成するため, システムを不安定にしてハウリングが生じたり, 音場再生の精度が低下する原因となる。そこで本研究では, 楽音用マイクロホン位置で音波がキャンセルされるように逆システムを設計する手法を採用することによりフィードバックの抑制を目指す。

3 音場シミュレータへの実装と評価

3.1 実験条件

原音場として残響時間約 1.5 秒の多目的ホールを再現する音場シミュレータに逆システム設計

によるフィードバックキャンセラを実装し抑圧量を測定する。実験条件を Fig.2 に示す。測定した原音場の伝達関数の反射音成分の開始時刻を 25 ms として, それ以前の信号を消去し $[R_j]$ とした。楽音用マイクロホンとして, 小型の無指向性マイクロホン (DPA 4060) を床面から 145 cm の音響樽壁面に設置した。またリアルタイム畳み込みシステムとして DAW ソフトウェア (Steinberg Nuendo 6) を使用し, 信号の入出力はオーディオインターフェース (RME HDSPe MADI FX) を用いて行った。DAW ソフトウェアは動作周波数 3.6 GHz, コア数 6 の CPU (Intel Core i7 4960X) と 64 GB のメモリを搭載した PC で実行した。

音響樽内に原音場の測定と同じ音源用スピーカ (B&K Type4292) と 80ch のマイクロホンアレイを設置し, インパルス応答の測定を行った。逆システムは正則化パラメータ法 [3] を用いて周波数領域にて設計した 4096 点 (サンプリング周波数: 48 kHz) の逆システムを用いた。

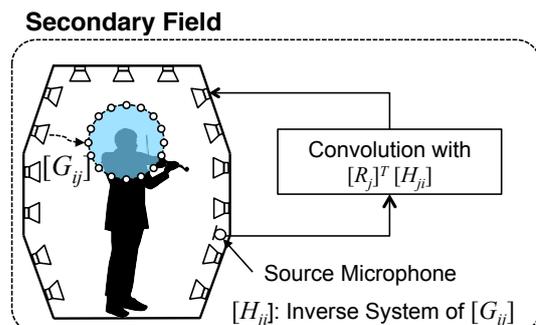


Fig. 1 Sound field simulator using a sound cask.

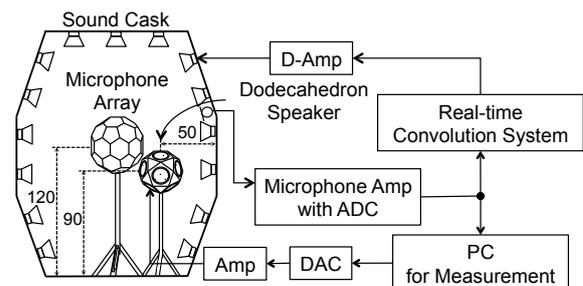


Fig. 2 Block diagram of the measurement system.

* Acoustic Feedback Cancellation for a Sound-Field Simulation System Based on Boundary-Surface Control Principle. by KOHNO Syunya, INOUE Yusuke, IKEDA Yusuke, WATANABE Yuko, ISE Shiro (Tokyo Denki University/CREST, JST)

3.2 実験結果

3.2.1 フィードバック抑制量の評価

楽音用マイクロホンにおいて測定したインパルス応答から切り出した反射音成分を Fig.3 に示す。なお、反射音成分の開始時刻は 50 ms とした。Null Space 非生成時に対して Null Space 生成時の波形は反射音成分は完全にキャンセルされていないが、大幅に抑圧されていることがわかる。反射音成分 (0.05~2 秒) の抑圧量は 16.3 dB であった。次に周波数応答を Fig.4 に示す。Null Space 非生成時には 200~400 Hz に鋭いピークが複数存在することから、特に低域において大きなフィードバックが生じていることがわかる。一方 Null Space 生成時の周波数応答には鋭いピークがなく、フィードバック信号のピークを 30~40 dB 抑圧していることがわかる。

3.2.2 再現音場における残響特性の評価

音場再現精度を評価するためのマイクロホンアレイ (80ch) の中で測定用スピーカから最も近い位置のマイクロホンにより測定したインパルス応答から 1 オクターブバンド毎に残響時間を計算した結果を Fig.5 に示す。Null Space 非生成時には中心周波数 125~500 Hz の帯域で残響時間が原音場よりも 4 秒以上長くなっているが、Null Space 生成時にはフィードバックが抑制され原音場との誤差が約 0.3 秒以内となった。

残響時間の誤差が顕著な中心周波数 250 Hz の帯域におけるインパルス応答を 0.5 ms 毎に平均化したエネルギーを Fig.6 に示す。Null Space 非生成時にエネルギーが減衰しないのはフィードバックが抑制されていないためと考えられる。一方、Null Space 生成時にはエネルギーが原音場と同様の減衰をしている。これらの結果から、フィードバック抑制により原音場の残響特性を再現可能であるといえる。

4 まとめ

楽音用マイクロホンの位置で音圧がキャンセルされるように逆システムを設計することによりフィードバックを抑制する手法を音場シミュレータに適用し、フィードバック抑制性能の評価を行った。その結果、本手法で音場シミュレータにおけるフィードバックの十分な抑制が可能であることが明らかとなった。

参考文献

- [1] 渡邊 他, 音講論 (秋), 1-Q-27, 2014.
- [2] 三野 他, 信学技報, EA, 101(479), 67-74, 2001.
- [3] 伊勢, 音講論 (秋), 1-1-2, 2014.

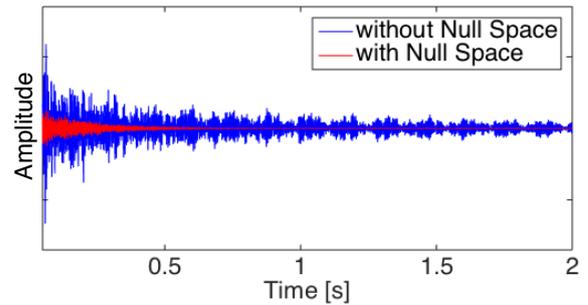


Fig. 3 Time waveform of the measured impulse responses at a source microphone.

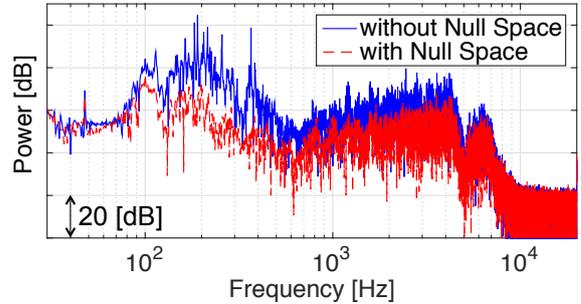


Fig. 4 Frequency response of the measured impulse responses at a source microphone.

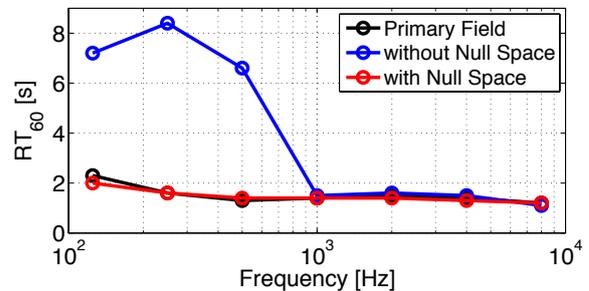


Fig. 5 Reverberation time.

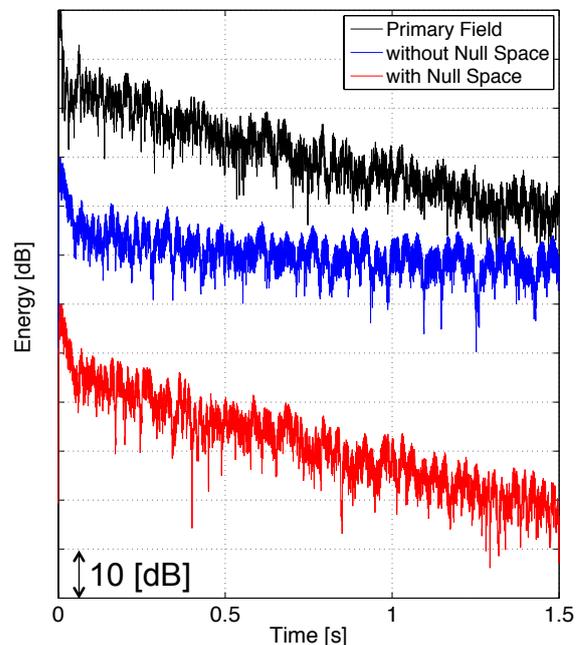


Fig. 6 Short-term energy at a control point (center frequency: 250 Hz).