

アクティブ音場制御システムにおける初期反射音の再生に関する基礎的検討

03-210086 所 壮琉

1. 研究背景・目的

多チャンネル再生システムによるアクティブ音場制御は、三次元の音場を実験室内で再生する手法として知られている。制御を行うためのインパルス応答は、コンピュータ上の幾何音響シミュレーションで生成可能であるため、コンピュータの画面上でモデリングした仮想的な空間内における音の響きを、実空間でインタラクティブに確認することの出来るシステムを構築できる可能性がある。

空間内の音の響きは、初期反射音と後期残響音の二つに大別される。このうち初期反射音は、後期残響音と比較してエネルギーが大きく、壁面の配置や形状、材質によって構造が大きく変化するため、空間の形状認知や響きの聴感的印象への寄与度が高い。

本研究では、半無響室内に導入された多チャンネル再生システムを、幾何音響シミュレーションで生成したインパルス応答を用いて調整し、主に初期反射音の再生を行うためのアクティブ音場制御システムの構築手法を提案する。また、構成したシステム内で、ある仮想的な音場の再生を行い、インパルス応答測定によって得られたエネルギー波形の比較を行うことで、再生した音場の特徴について分析する。

2. システム構成

多チャンネル再生システムを使用した音場再現システムの構築には複数の既往研究がある。しかし、音場を再生する実験室の条件やマイク・スピーカーの位置、畳み込むインパルス応答の処理等は事例によって様々である。横山らは、6チャンネルの指向性マイクロホンを使用した收音-再生システムを無響室内に構築し、ホール音場の再生を対象としてシステムの検討を行った。

本研究では、まずコンピュータ上の仮想的なモデル内に、前・後・左・右・上の5方向にカージオイド特性の指向性を持った受音点を設置し、インパルス応答を幾何音響シミュレーションによって生成する。次に、得られたインパルス応答を半無響室内に設置したマイクから收音した信号に専用のプロセッサ（Yamaha AFC4）を用いて畳み込み、対応したスピーカーから再生を行う。（図1）

3. 調整方法

インパルス応答を畳み込んだ信号を正しく再生するため、チャンネル毎に音量の調整とディレイの付加を行った。これを校正と呼ぶ。校正は、既往研究にて様々な手法が提案されており、横山らは、畳み込むインパルス応答と再現音場で測定したインパルス応答の、直接音と床からの一次反射音を除いたエネルギーでの比較を行った。

本研究では、幾何音響シミュレーションにて校正用のインパルス応答を専用用意し、校正を行う手法を提案する。シミュレーションを行う室の寸法は、半無響室内に設置されたマイク・スピーカーの位置と畳み込みに必要なプロセッサの計算時間を踏まえて設定した。システムから再生される一次反射音が正しい時間遅れを持つために、各チャ

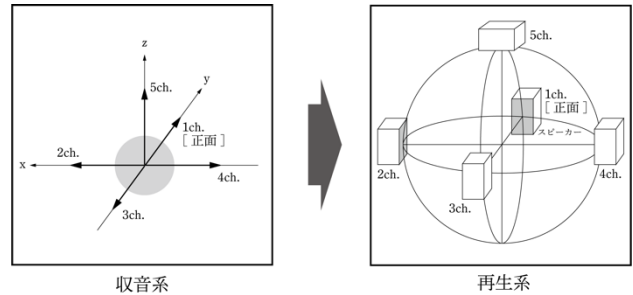
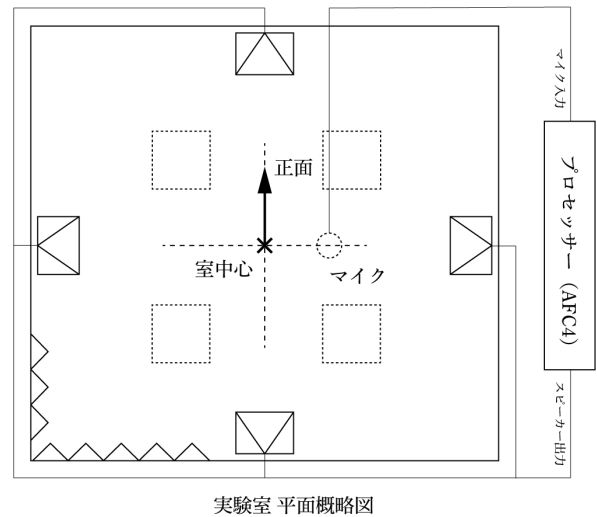
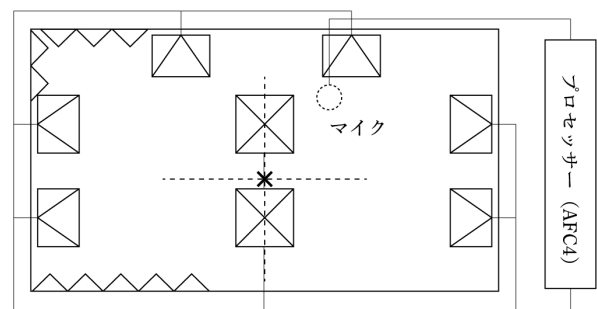


図1 收音系 - 再生系の対応概要



実験室 平面概略図



実験室 断面概略図

図2 半無響室内概略図

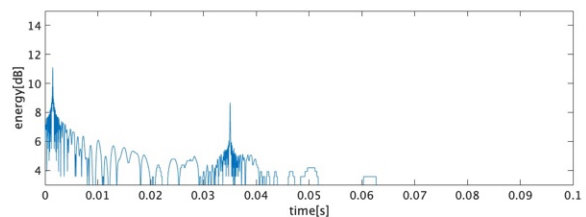


図3 校正用インパルス応答のエネルギー波形

ンネルに畳み込むインパルス応答（図 3）は、データの最初から 33ms 分を一律に削除したものをを用いた。

なお便宜上、チャンネル毎に行う校正を一次校正、システム全体の校正を二次校正と呼ぶ。

3.1 一次校正

一次校正では、各チャンネルに接続されているスピーカのゲインとディレイの調整を、プロセッサの操作ウィンドウ上で行った。調整は再生音場のインパルス応答の測定と波形分析の結果から値を調整することを繰り返して行い、各チャンネルの音量と時間遅れを平坦化した。

3.1.1 ゲインの調整

再現音場内で測定したインパルス応答の直接音と一次反射音のエネルギーの比を、距離減衰の式から算出した値に近づけることによってスピーカのゲインを調整した。それぞれのエネルギーの算出に用いる積分区間は、エネルギー波形のピークの立ち上がりを開始点とし、ピーク位置から 5ms 後までとした。

3.1.2 ディレイの調整

半無響室内のマイク・スピーカの位置関係と、プロセッサの計算時間を考慮し、システムによって再生される初期反射音の到達時刻が、直接音の到達時刻に対して正しい時間遅れを持つように調整した。

3.2 二次校正

シミュレーション上でインパルス応答を生成する際の受音点はカージオイド特性を持つため、向いている方向に対して垂直な方向からの音も一定の割合で集音している。この特性に由来して、反射音が実際よりも大きな音量で再生されてしまう問題を解決するため、システム全体の音量を調整する必要がある。本研究では、全てのチャンネルを使用した音場再生を行った状態で 3.1.1 と同様にエネルギーの測定を行い、全てのスピーカのゲインを一律に調整した。

4. 様々な音場の再生

校正結果の検証の為、寸法は共通で反射面が異なる 3 種類の仮想的な音場条件を設定し、シミュレーションによって生成したインパルス応答を用いて各音場の再生を行った。条件の一覧を下記の表 1 に示す。面の吸音率は、反射面で 0.1、吸音面で 1 とした。なお、床面（下）は反射面、天井（上）は吸音面で共通とした。

表 1 仮想音場の室条件

	A (口の字)	B (コの字)	C (L 字)
形状	シューボックス型		
寸法(m)	20×14×8		
反射面	前,後,左,右	後,左,右	後,左
吸音面	無し	前	前,右

5. 結果・考察

室条件 A で生成したインパルス応答ではハウリングが発生し、再生を行うことが出来なかった。ハウリングが発生しなかった室条件 B, C の再現音場内で、無指向性マイクで測定したインパルス応答と、畳み込みに使用したインパルス応答のエネルギー波形の比較を図 4 に示す。直接音の到達時刻を基準とし、測定開始後から 200ms までのインパルス応答の波形に着目することで、仮想音場と再生音場の初期反射音の構造について分析を行った。

室条件 B、室条件 C のどちらにおいても、半無響室の元々の初期反射音に対して、仮想音場内における初期反射音を

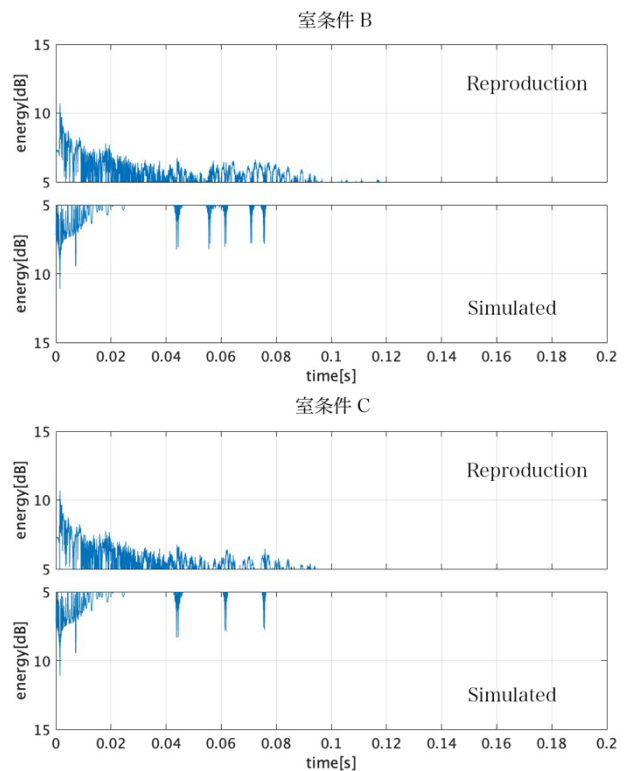


図 4 インパルス応答のエネルギー波形の比較 (室条件 B, C・再生音場[上] / 仮想音場[下])

付加できていることが、波形の類似性から確認できた。再生音場で測定したインパルス応答の 40ms 以降には、畳み込んだインパルス応答と時間的に対応した波形の立ち上がりが見られ、3.1 で行った一次校正による時間遅れの調整が有効であったと考えられる。一方で、畳み込んだインパルス応答では非常に顕著なピークが見られるのに対し、再現音場のインパルス応答の波形は比較的なだらかであり、本研究で提案する調整法ではややエネルギーが小さく再生されていることが予想される。

6. まとめ

本研究では、半無響室内の多チャンネル再生システムと AFC を組み合わせたアクティブ音場制御システムの構築プロセスを通じて、初期反射音に注目した校正法の提案を行い、その有効性について検証した。時間遅れの調整では概ね正しい結果が得られた一方で、エネルギー面では、畳み込んだインパルス応答に比べてやや小さく再生されていることが波形から確認できた。

再生音場の評価手法は、他にも様々な物理的・心理的指標が存在する。設計段階から実空間で音の響きを確認可能であることが期待される本システムの客観的な実用性を示すためには、他の物理指標の算出や、演奏者による直接的な使用感の調査などが求められる。

謝辞

本研究の機材使用に際しまして、Yamaha の橋本氏に機材協力や使用法のレクチャー等、多大なご助力を賜ったことに深く感謝いたします。

参考文献

[1] 横山他, 6 チャンネルの指向性マイクロホンを用いた集音・再生法による音場シミュレーション, 日本音響学会講演論文集 10 年度春季, 1998, p833-834