

## 音場シミュレーションと選択式頭部伝達関数システムを用いた 2ch 立体音響システム\*

海野 沙弥香<sup>†</sup>, 伊藤 克亘<sup>†</sup>,

### 1 まえがき

簡易的に臨場感を体感できる方法として立体音響やVRのような技術があげられる。それらのなかでも、音場VR(virtual Reality)[1]とは音響空間を音場シミュレーションに基づき自由に構築することができるため、リアルな音響視聴を可能にするシステムである。音場VRの評価には、頭の中に音像ができ、不自然な音場再生となるヘッドホン再生より、多チャンネルのスピーカー再生のほうが適している。しかし、手軽に音場VRを手にするにはヘッドホンが優位であると考えられる。そこで、本研究では、音場VRの手法に着目し、実際にライブに参加しているように感じられる、簡易的であり現実感・臨場感の高い2ch立体音響システムの提案を目指す。そのために、正確な2ch再生を可能にする音場シミュレーション方法及びHRTFの個人性の問題解決を可能にすることを目標とする。

### 2 音場シミュレーション

音場VRシステムの原形である音場シミュレーション[1]の基本は、元の音場を聴感的に正しく再現できているかどうかである。音源から聴取者までの反射音のインパルス応答によって部屋という一種の伝送系の物理特徴を表すことができる。つまり、このインパルス応答を原音場と同じになるように正しくシミュレーションすることができれば、聴衆者は原音場にいるかのような臨場感をえられるといえる。今回、多方向インパルス応答をバイノーラル再生可能な2chインパルス応答に変換するため、受音領域を設定することのできる音線追跡法を採用し、インパルス応答を計算する。また、参考文献[1]で用いた音源は全方向に一律な指向性を持つと仮定してシミュレーションを行っているが、ステージで演奏される楽器は楽器固有の指向性を持っており、これを考慮する必要がある。また、複数の音源から客席までのインパルス応答を求める必要がある。よって、各音源に対応した響きのない音の収録も行って研究を進める必要がある。

### 3 音像定位

音源から鼓膜までの音の伝達をシステムとして捉えれば、周波数ごとのレベル差、位相差もすべて包含したシステム関数(伝達関数)を表現できる。これを頭部伝達関数(HRTF)と呼ぶ。HRTFは方向と距離の関数である。しかし、我々の頭部の大きさや、耳介のひだの形状や頭部への角度は個人ごとに異なる。特に、耳介に到達した音波の物理現象は複雑である。つまり、HRTFは個人性の高い関数であることが理解できる。よって、音像制御を正確にするにはHRTFを個人化する必要がある。HRTFの個人差の解決方法の1つが、耳介形状の平均値を用いて作成されたダミーヘッドによる“標準HRTF”である。しかし、これは結果的に誰とも一致しないHRTFとなってしまった。また、どの

受聴者にも適用可能なのか予想できないという問題がある。他には、すべての方向・距離における頭部伝達関数を個人ごとに取得する方法が挙げられる。しかしこれには膨大な測定が必要となり、現実的ではない。[4]さらには、HRTFの補正の必要性は先にも述べたが、本人のHRTF以上に、音像定位の効果が高まるHRTFが存在することが分かった。[2]よって、ユーザーは自分に最適なHRTFを生成又は選択することが、高い臨場感につながる可能性が高いと言える。そこで、本研究では聴取者に高い音像定位感を与える空間特性を与える頭部伝達関数を、あらかじめ用意されたものの中から選択する手法を検討する。

### 4 立体音響システムの実現

#### 4.1 システム概要

シミュレートしたインパルス応答が実際にどのように聞こえるか、音で評価・判断するための可聴化手法として、今回はヘッドホンによる2ch再生を用いる。図1は、シミュレーションによって得られたインパルス応答から再生音が得られるまでの流れを表す。

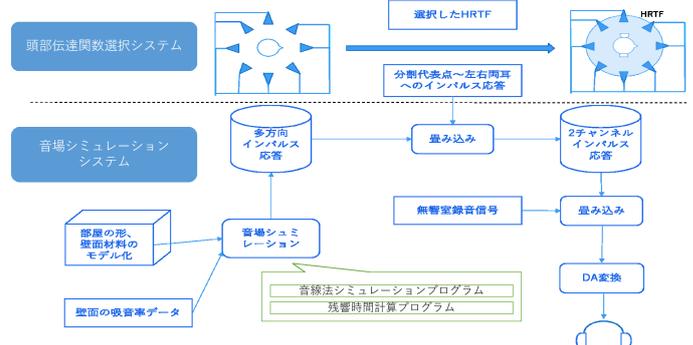


図1. 音場シミュレーションによって得られたインパルス応答からヘッドホン可聴化までの流れ

1 ユーザーは部屋のサイズの入力と、壁面材料の選択による吸音率の設定を行い、原音場であるモデル空間の詳細を決定する。

2 1. で決定したデータから、音線追跡法を用いて、聴取者を1点としたときの音源から1点への多方向インパルス応答を計算する。このとき、受音点は聴取者から1.0mの点とする。

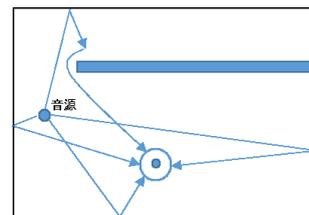


図2. 室内多方向インパルス応答を求める際のイメージ図

\*:2ch stereophonic sound system using sound field simulation and selective head related transfer function system Sayaka Unno (Hosei Univ.) et al.

<sup>†</sup>法政大学 情報科学部

- 3 多方向インパルス応答へ選択した HRTF を畳み込み、受音点から左右両耳への 2ch インパルス応答へ変換する。

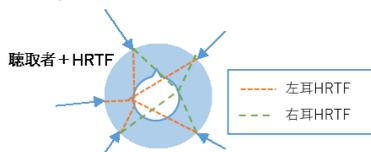


図 3. 多方向インパルス応答を HRTF を畳み込み 2ch インパルス応答へ変換するイメージ図

- 4 無響室録音した楽器の演奏音を信号として畳み込む。

- 5 DA 変換し最終的な 2ch 音を得てヘッドホンで再生する。

#### 4.2 選択式頭部伝達関数個人化システム

【刺激の作成】音はホワイトノイズ (SampleRate:44100[Hz]) を使用する。HRTF のデータベース [5] より 24 セットを使用し 2 種類の軌道を作成した。実際にシステムで使用する軌道は検討中で、どちらか一方を使用する。

- (1) 頭部周りを水平方向に反時計回りで移動していく、30 おきに 12 か所で離散的に再生される刺激 (一箇所につき持続時間 0.5s)
- (2) 頭部周りを水平方向に反時計回りで移動し連続的に再生される刺激 (2s で 1 周)

【選択方法】聴取者にはあらかじめ提示する軌道を伝えておく。そして、二つの異なる HRTF を畳み込んだ音像を聞かせ、軌道のイメージにより合う音像を選択させる。提示する 24 個の音像はあらかじめトーナメントを組んでおき、勝ち抜き戦をさせる。事前に HRTF のスペクトログラムを確認し、似たものは 1 回戦で当たらないように考慮する。また、定位間の優れた HRTF が 1 回戦で敗れてしまわないように、スイス式トーナメント法を一部用いることにする。スイス式トーナメント法とは、勝ち星が同じもの同士で対戦し、最終的に 1 番勝ち星が多かったものを優勝とする方式である。今回は 2 敗したのものについてはリストから外していく。以上のようにユーザーはシステムから提示された HRTF を畳み込んだ音像を 2 つずつ聞いて一対比較してフィードバックすることを繰り返す。フィードバックを繰り返していくことで、ユーザーに合った HRTF を選択することができるようにする。

### 5 評価実験

#### 5.1 音場シミュレーションの評価

##### 5.1.1 刺激

以下の二つの音を用意する。

- (1) 実際のホールで音源をダミーヘッドもしくは本人を聴取者としてバイノーラルで収録した音
- (2) 同一のホールを音場シミュレーションによって模擬し、音無響音室でモノラル録音した音源を畳み込んだ音

模擬するホールは法政大学小金井キャンパス東館体育館とする。音源は、ホワイトノイズ、バンドの演奏音 (ボーカル、エレキギター、エレキベース、ドラム) を用意する。音圧レベルは、原音場と近い値になるように再生システム内の頭部中心位置でそれぞれの刺激で設定する。

##### 5.1.2 手続き 1

音場シミュレーションで模擬し計算したインパルス応答を畳み込んだ音と原音場でバイノーラル録音した音源のスペクトログラムを比較する。

### 6 結果及び考察

(1) と (2) のスペクトログラムを比較した結果、ほぼ同じ特徴がみられた。よって、音場シミュレーションは正しく行えているかといえる。しかし、音場シミュレーションが正しくできているかをより細かく判断するには、それぞれのインパルス応答を比較する必要もあるのではないかと考えられる。

### 7 まとめ・今後の展望

本研究では、臨場感が高くかつ簡易的な 2ch 立体音響システムの提案のために、音場シミュレーション手法の検討と選択式を用いた HRTF の個人化システムを導入して評価実験を行った。音場シミュレーションの評価実験では、原音場と似たスペクトログラムが見られたことから、十分なシステムであることが言える。今後は、選択式 HRTF 個人化システムの評価実験並びに、音場シミュレーションに HRTF を畳み込み、立体音響システム全体の評価実験を行うものとする。また、目的だったアーティストのライブをより臨場感高く体感するには、次のような機能を考える必要がある。まず、動的立体音響システムの追加である。モーションセンサで頭部運動を取得し、それに応じて畳み込む HRTF を変えてバイノーラル信号を得ることで、頭部運動を反映させた動的バイノーラル信号を得ることができる。そうすることで、ユーザーはコンサートホール内を移動しあたかもその場にいるような感覚を高めることができる。次に、音場シミュレーション内の障害物の追加である。実際のコンサートホールでは、自分以外の観客や観客の声援からコンサートの臨場感を感じることができる。よって、システムの臨場感を向上させるためにも、観客などオブジェクト追加機能を考える必要がある。

#### 参考文献

- [1] 西隆司, “最近の音場バーチャルリアリティシステムについて”, 日本音響学会誌, 1995, pp.965-970.
- [2] 岩谷幸雄, “小特集一音と映像で体験できる聴覚の不思議な世界—バイノーラル録音と再生—いろいろな耳で聞いてみる—”, 日本音響学会誌 61 巻 5 号, 2005, pp.289-294.
- [3] 河野嘉憲, 長谷川光司, 阿山みよし, 春日正男, “動的マルチメディア環境での視覚と聴覚の相互作用”, 映像情報メディア学会技術報告 Vol25.No.64., 2001, pp.1-6.
- [4] Moller H., “Fundamentals of Binaural Technology”, Applied Acoustics, 1992, 36(3/4), pp171-218.
- [5] <https://github.com/TWOEARS/SOFA>