

幾何音響解析を用いた室内音環境のバイノーラル可聴化に関する基礎的研究

03-220065 大林 紅音

1. はじめに

室内空間の VR 体験システムとして HMD を用いた視覚提示は既に実用に供されている^[1]が、それに連動する聴覚提示では室内音響特性の反映やシステムの手軽さに課題がある。本研究では音源系・受音系の指向性を考慮した室内音場の幾何音響解析に基づき、ヘッドホンを用いた簡易的なバイノーラル可聴化手法を提案する。実空間と VR 空間において可聴化に関する聴感実験を行い、実音との比較を通して再現音の違和感の有無を検証する。

2. 簡易バイノーラル可聴化システムの構築

音源のドライソースに室内インパルス応答(RIR)を畳み込み、頭部伝達関数(HRTF)を反映させる一連の可聴化手順において、音源系・受音系の水平方向の指向性を 4ch 信号により簡易的に反映する手法を構築する (図 1)。

2.1 ドライソースの録音

無響室に対象音源及び全指向性マイクを水平面内直交 4 方向の音源中心から 1m に設置し、4ch 同時録音を行う。今回は聴感実験用にダミーヘッドの人工ロスピーカから女声朗読音を再生し、前後左右のドライソースを作成した。

2.2 室内インパルス応答の計算

模擬空間では音源系・受音系 4x4=16ch の RIR を音線法により計算する。音源系ではエネルギー上のカージオイド特性を有する直交 4 方向の指向性音源を設定し、受音系では従来の音圧上のカージオイド特性の 4 方向受音を設定する。今回は聴感実験用の会議室 (6.0 m x 10.8 m x 2.7 m(H)) に音源 1 点、受音点 2 点(R1,2)を配置し (図 2)、図 3 に示す吸音率を各面に与え、汎用ソフト COMSOL Multiphysics の音線法解析モジュールを用いて RIR を算出した。図 4 に残響時間の実測値・計算値を示す。

2.3 音源系・受音系の指向性の反映

音源系では各方向のドライソースに対応する方向の指向性音源の RIR を直接畳み込む方法 (直接法) が考えられるが、その合成は原理的に元の指向性とは一致しない。元の指向性の再現には、設定した指向性音源の各方向の音圧寄与行列の逆行列を求め、その成分を重みとしたドライソースの合成を行う必要がある。エネルギーカージオイド特性の場合、逆行列が存在し、この方法を提案法とする。

一方、受音系でも同様に、RIR 畳み込み後の各方向の受音信号を同一方向の仮想音源に変換する際、直接法と提案法の適用が考えられる。ただし、音圧カージオイド特性の場合は逆行列が存在しないため、擬似逆行列を 4ch 受音信号の変換行列として用いる。さらに、最後のバイノーラル信号生成では頭部前後左右の HRIR (HRTF の時間応答) を畳み込むため、仮想音源への変換前に受音系を頭部方向に回転する必要があるが、受音信号に回転角に応じたカージオイド特性の変換行列を掛ければよい。なお、今回のバイノーラル信号生成では左 15 度の回転を行った。

音源系・受音系の指向性の再現性を図 5 に示す。直接法では音源系や近傍受音点で指向性が鈍くなり、遠方受音点ではレベル低下が生じているのに対して、提案法では高い再現性が確認できる。

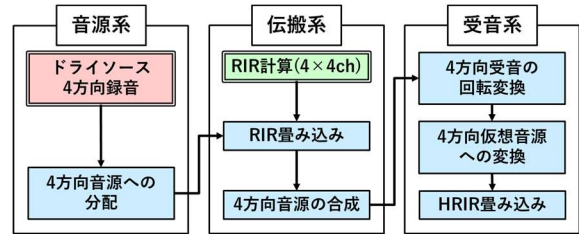


図 1 バイノーラル信号の生成フロー

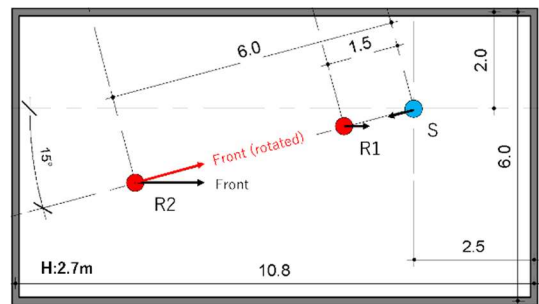


図 2 会議室における音源・受音点の配置

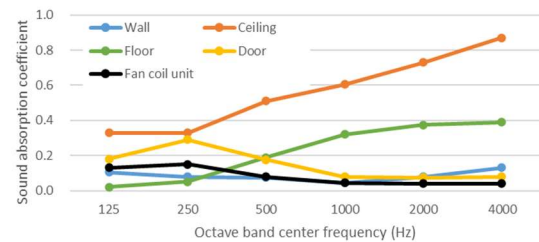


図 3 境界面の吸音率

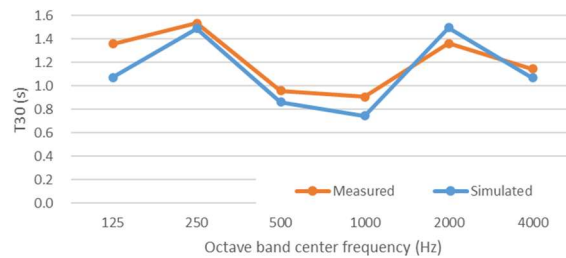


図 4 残響時間の実測値・計算値

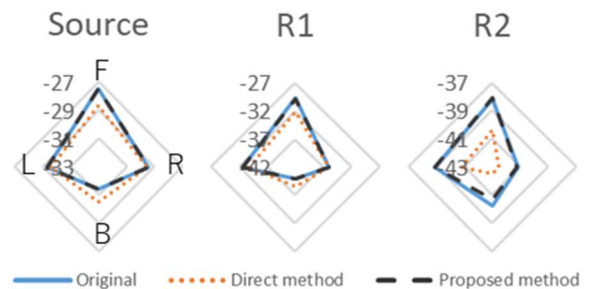


図 5 音源系・受音系の指向性の再現性

3. 実音と再現音の聴感比較実験

前節の可聴化システムで作成した再現音を被験者実験により評価することにより、再現音に感じる違和感の要素やその大小、また映像の有無による違和感への影響を検証する。

3.1 実験方法

1) 対象とする部屋条件・音源

部屋条件としては、図2と同様の会議室を使用する。

音源としては、朗読(女声)を正面方向1m点で録音したものをダミーヘッドから再生したものを実音、実音を2.のフローによりバイノーラル可聴化したものを再現音とする。

2) 実験条件

実験は、映像提示条件を変えて3つ行う。

実験1: 実空間-実音と実空間-再生音の比較

実験2: 仮想空間-実音と仮想空間-再生音の比較

実験3: 実空間-実音と仮想空間-再生音の比較

各実験において、実音と再生音を連続して再生し前者に対する後者の印象を表1の項目について評価する。これを座席位置2条件×座席方向4条件の計8回行う。音源・受音点(座席)位置は図2と同様である。また、受音点(座席)方向は音源に対して正面・右・後ろ・左の四方向とする(図2に示すように解析時の条件から左15度回転)。

3.2 実験結果と考察

被験者12人に対して実験を行ったうち、未回答の項目があった1人を除く11人(男女比7:4、20~50代)についての結果を分析した。平均評点の0に対する有意差をt検定により検定し、有意差が見られた4項目について、平均評点と標準偏差を図7に示す。また、全項目について、被験者・映像提示・座席位置・座席方向を要因とした四元配置分散分析を行い、映像提示についてはTukeyのHSD検定を行った。分散分析の結果を図8に示す。

傾向としては、概ね実音と一致している印象であることが読み取れる。しかし、音声の大きさについて、多くの条件、特にR2で音声が小さいと評価された。また、映像のはっきり感について、実験1と2では映像がはっきりしていると評価された。また一部の条件で映像が近い・映像が後ろにずれているという評価があったが、有意差のみ見られた条件に規則性はみられなかった。

4. まとめ

本研究では、水平4chに簡易化した手法での再現音作成・バイノーラル可聴化を行い、その再現性を被験者実験によって評価した。音声の印象・映像の印象ともに概ね実際の音と一致した印象であるという結果が得られた一方で、音声の大きさや映像の定位に有意差があることが分かった。

今後の課題としては、今回有意差のあった項目の原因を明らかにし改善すること、音源再生中の聴取者の移動や頭部の回転に対応したよりリアルタイム性のある手法を考案すること、室内音の吸音だけでなく室外音の遮音についても考慮すること、より適切に評価できるような実験方法の改善、などが挙げられる。

参考文献

[1] 奥村啓: "立体音響技術 ViReal を用いた音の可聴化", 騒音制御, vol.44, no.4, pp.198-201(2020).

表1 被験者実験の評価項目

		評定尺度						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
音声の印象	小さい	とても	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	とても
	こもった						すっきりした	
	響かない						響く	
映像の印象	近い						遠い	
	ぼんやりした						はっきりした	
	上にずれている						下にずれている	
	左手側にずれている			(正面・後ろ向きするとき)			右手側にずれている	
	前にずれている			(右・左向きするとき)			後ろにずれている	



図6 実験時の視点イメージ(左: 受音点2 正面実空間、右: 受音点2 正面仮想空間)

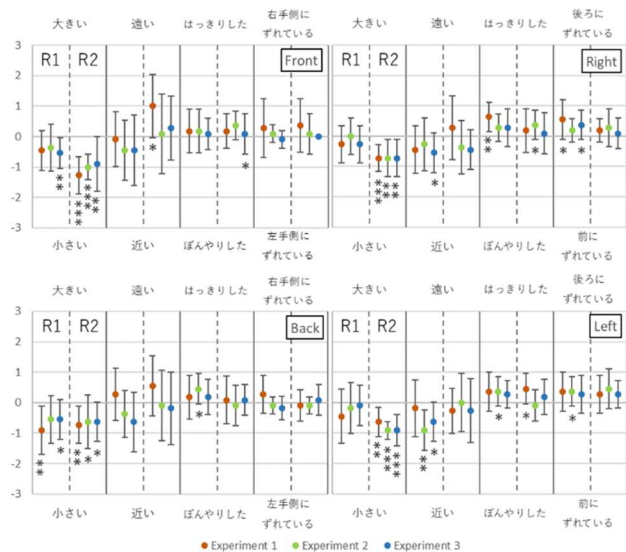


図7 有意差が見られた項目の平均評点と標準偏差 (*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001)

表2 四元配置分散分析結果 (*:p<0.05, **:p<0.01, ***:p<0.001)

評価項目		主効果				交互作用		
		被験者	映像提示	座席位置	座席方向	映像提示*座席位置	映像提示*座席方向	座席位置*座席方向
音声の印象	大きさ	***		***	*			**
	すっきり感	***						
	響き	**						
映像の印象	距離感	***	***	***	*			
	はっきり感	***						
	定位感(上下)	*						
	定位感(左右)	**						
	定位感(前後)							