

# VR 空間のバイノーラル可聴化における指向性反映方法に関する検討

03-230072 岸田 拓馬

## 1. はじめに

室内空間の VR 体験システムにおける簡易バイノーラル可聴化手法として、前後左右の水平 4ch 信号により指向性を反映させる手法が提案されている<sup>[1]</sup>。この手法では、直接音は実時間の理論計算により、反射音は点音源仮定に基づく事前の幾何音響解析により再現される<sup>[2]</sup>。また、4ch 信号の斜め方向への変換処理として、単純な重み付け和である音圧パンニングや擬似逆行列を用いた 4ch 分配など、複数の手法が検討されている<sup>[3]</sup>。本研究は、この可聴化手法の改善を目的とする。

VR 体験コンテンツへの実装が望まれる音源の中には、大型で複雑ゆえに、妥当かつ再現性のある中心点を定義しにくいものがある。また、収録時のマイク位置設定には誤差が生じうる。これらに起因するドライソースのチャンネル間位相差は、再現時に位相干渉を起こし再現精度を低下させる。そこで本研究では、収録音の方向別オクターブバンド振幅特性を反映した同位相ドライソースの再構成処理を提案する。再構成した同位相ドライソースはチャンネル間位相差を持たないため、中心点やマイク位置のずれに對してロバストであることが期待される。

## 2. 同位相ドライソースの再構成

再構成処理の方法について述べる。前後左右の 4ch 信号のうち、前方向収録音を基準信号とした。基準信号に対してオクターブバンドごとのゲイン調整を行い、基準信号と同位相で、かつ他方向収録音と同等のオクターブバンド振幅特性を持つ信号を生成した。基準信号と生成信号をチャンネル別に格納し、同位相ドライソースを再構成した。

## 3. 再現精度の評価

### 3.1 評価の概要

再構成処理について、A 特性音圧レベルの再現精度に着目して評価を行った。中心点のずれに対するロバスト性を確認すること、異なる音源に対するふるまいを観察することを主な目的とした。

自由空間における、音源中心点から距離 1 m、15 度刻みの 24 点（図 1）での無指向性受音を想定した。各点において、参考収録音と再現音の A 特性音圧レベルを比較した。

### 3.2 評価用音源の収録

HATS（女性朗読音）と目覚まし時計を対象に、無響室にて全指向性マイクによる収録を行った。

音源を回転させながら、計 24 点で参考収録音の収録を行った（図 2）。HATS は顔正面、目覚まし時計は文字盤正面を 0 度方向とした。参考収録音のうち前後左右 4ch 信号を受音再現用ドライソースとして抽出した。さらに HATS については、中心点を後方にずらした場合の 4ch ドライソースの収録も行った（図 3）。

参考収録音のオールパス A 特性音圧レベルを図 4 に示す。目覚まし時計の音源指向性の正面は 210 度から 225 度の方向を向いていたことがわかる。また、0 度方向収録音の A 特性音圧レベル（図 5）に基づき、バンドパスで観察する際の対象範囲は 250 Hz 以上の帯域とした。

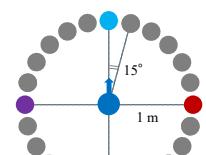


図 1: 受音点の設定

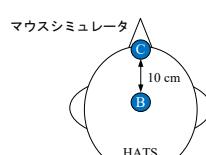


図 3: 中心点の設定



図 2: 収録の様子  
(上: HATS、下: 目覚まし時計)

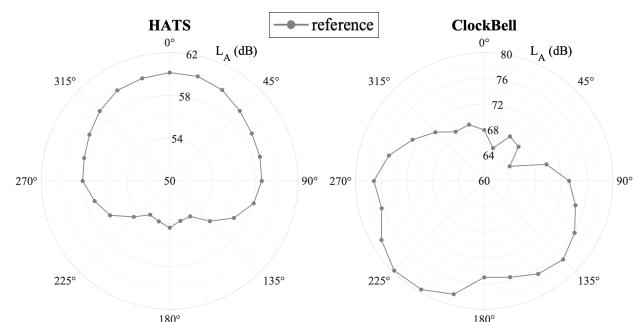


図 4: 参照収録音のオールパス A 特性音圧レベル

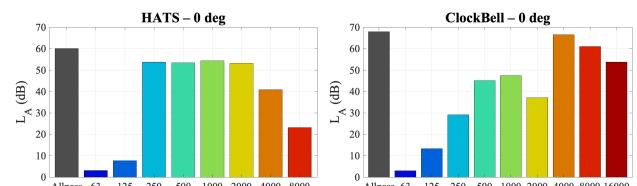


図 5: 0 度方向収録音の A 特性音圧レベル

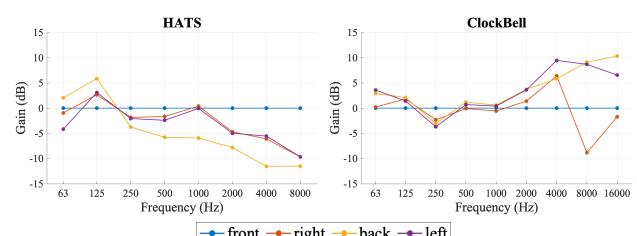


図 6: 方向・バンド別ゲイン

### 3.3 評価用ドライソースの再構成

収録したドライソースについて、前章で述べた方法によって再構成処理を行った。参考収録音から抽出した HATS・目覚まし時計のドライソースについて、処理過程で算出した方向・バンド別ゲインを図 6 に示す。

### 3.4 評価用再現音の計算

直接音のみ到来する自由空間を想定し、音源から各点までの距離減衰と斜め方向変換を反映した直接音再現計算を行った。各ドライソースについて再構成処理あり・なしの2種、斜め方向への変換処理については音圧パンニングと4ch分配の2方式<sup>[3]</sup>とし、計4パターンの計算を行った。

### 3.5 結果と考察

HATSの参考収録音および再現音のオールパスA特性音圧レベルについて、中心点をずらさずに収録した場合を図7に、後方にずらした場合を図8に示す。再構成処理を行わなかったドライソースでは、中心点のずれによって指向性が崩れることが確認された。一方、再構成処理を行った同位相ドライソースでは、指向性の崩れが抑制された。ただし斜め後方では、中心点のずれによらず、同位相ドライソースの再現音が参考収録音より最大3dB程度大きくなる傾向が見られた。これは、音の回り込みで生じる位相差が再構成処理によって無視されたため、実際に生じる位相干渉が反映されなかつたことが原因と考えられる。

続いて、後方にずらした場合のバンドパスA特性音圧レベルの絶対誤差を図9に示す。図5の周波数特性に基づき、250Hz以上の帯域を対象に観察した。2kHz帯域では、再構成処理により改善が見られた。同位相ドライソースの場合における斜め後方の乖離は、主に1kHz帯域で観察された。1kHz帯域の波長(34cm程度)はHATSの幾何的寸法と対応しているため、上記の位相干渉による説明を裏付ける結果である。また同位相ドライソースの4ch分配による再現計算では、後方8kHz帯域で乖離が見られた。

目覚まし時計の参考収録音および再現音のオールパスA特性音圧レベルを図10に示す。再構成処理の有無によらず、HATS(図7)に比べて目覚まし時計の再現精度は低いことがわかる。これは、音源指向性の正面が元々斜め方向を向いていたためである。斜め方向への変換処理では、直交方向の信号をもとに滑らかな補間を行うため、斜め方向に鋭い指向性の再現は原理的に難しいと考えられる。

## 4. おわりに

本研究では、水平4ch信号による簡易バイノーラル可聴化手法において、ドライソースのチャンネル間位相差に起因する再現精度の低下を防ぐため、同位相ドライソースの再構成処理を提案した。A特性音圧レベルの再現精度に基づく評価では、再構成処理によって、中心点のずれに起因する指向性の崩れが抑制された一方、斜め後方で本来よりも大きく再現される傾向が確認された。これは実際生じる位相干渉を無視したためであり、ロバスト性と斜め後方の再現精度はトレードオフの関係にあると考えられる。

今後の課題として、音色や定位感に関わる聴感評価や、4ch分配で観察された後方8kHz帯域の乖離に関する詳細な検証が挙げられる。

また本研究において、ドライソース収録時の方向設定が再現精度に影響することが示唆された。音源指向性の正面を定義しづらい音源の取り扱いに関する検討が望まれる。

## 参考文献

- [1]大林他, “音線法による室内音場の簡易バイノーラル可聴化に関する基礎的検討,” 日本建築学会大会, (2024).
- [2]小松他, “簡易バイノーラル可聴化における音源方向定位に関する聴感実験,” 音講論(春), (2025).
- [3]小松他, “簡易バイノーラル可聴化における直接音処理の検討,” 音講論(秋), (2025).

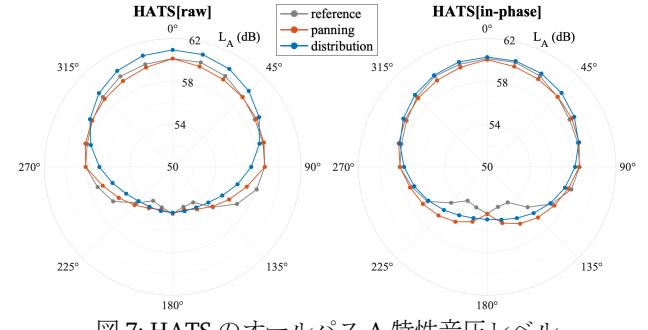


図7: HATSのオールパスA特性音圧レベル  
(中心点をずらさなかつた場合)

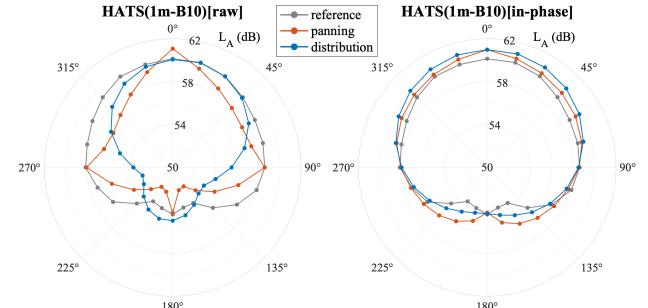


図8: HATSのオールパスA特性音圧レベル  
(中心点を後方にずらした場合)

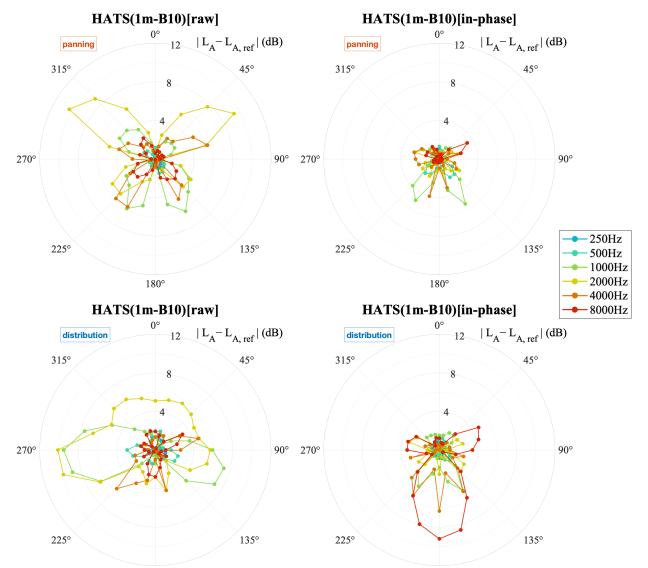


図9: HATSのバンドパスA特性音圧レベル絶対誤差  
(中心点を後方にずらした場合)

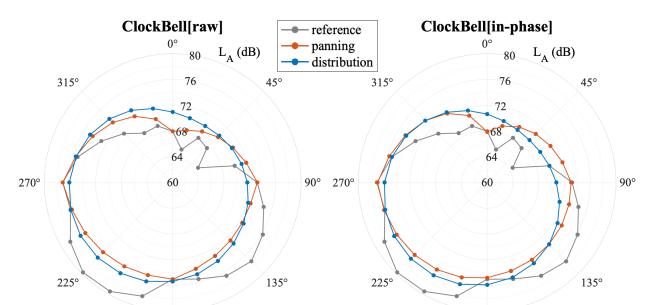


図10: 目覚まし時計のオールパスA特性音圧レベル