

## 個人用音場再生システムによる反応速度の比較実験\*

○繁泉宥斗, 木村敏幸 (東北学院大学)

### 1 はじめに

木村研究室では遠隔操作への応用を目的とした個人用音場再生技術を提案し[1], これまでにキューブ型スピーカアレイとヘッドマウントディスプレイ (以下「HMD」) を用いた視聴覚提示システムの開発を行い, VR ゲームによる性能評価を行ってきた[2]. 本研究では, 個人用音場再生技術の性能評価を進めるべく, 提示情報への反応速度が音提示手法によって変化するのかを比較検討した.

### 2 個人用音場再生技術[1]

個人用音場再生技術とは, Fig. 1 に示すように立方体の頂点の位置に指向特性を外向きで配置した8個の指向性マイクロホンで収録した音を, 聴取者の頭部の周りに指向性マイクロホンと同じ形で配置した8個のスピーカで再生することで, 制御領域内の三次元音場を聴取領域内に再現する技術である.

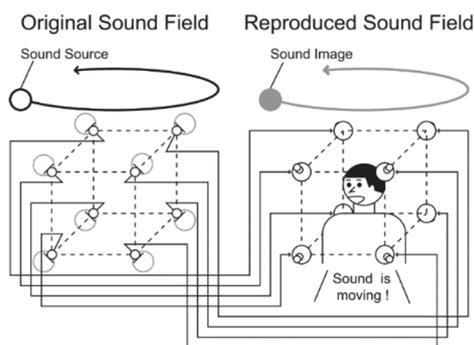


Fig. 1 個人用三次元音場再生技術の構成

### 3 音像定位実験

ゲームエンジンである Unreal Engine 4 [3] (以下, UE4) によって提示されるバイノーラル再生の性能を評価するため, バイノーラル再生を用いた音像定位実験を行った.

#### 3.1 実験環境

以下に使用した機材とソフトウェアを示す.

- OS : Windows10 Pro

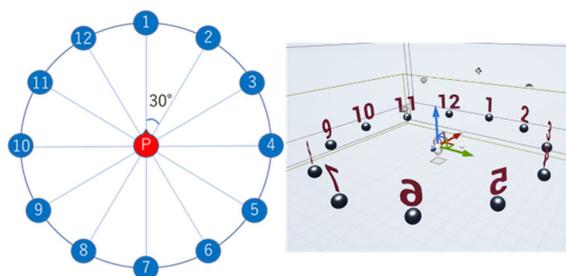


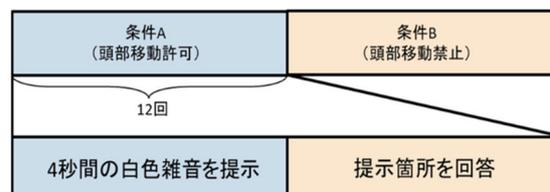
Fig. 2 提示方向と作成した三次元仮想空間

- 音提示 : Oculus rift CV1 付属ヘッドホン
- HMD : Oculus rift CV1 [4]
- ソフトウェア : Unreal Engine Ver. 4.16.2

#### 3.2 実験手順

Fig. 2 に示すように, 被験者の周りに30度間隔で12個のオブジェクトが存在する三次元仮想空間を UE4 で作成した. 番号が振られた12個のオブジェクトのうち, ランダムなど何か1つから白色雑音を4秒間提示した.

Fig. 3 に実験の流れ図を示す. 被験者には白色雑音を聞いた後, それかどのオブジェクトから聞こえた音なのかを番号で回答させた. 実験は, 頭部移動を禁止し, 音を聴く際には視点を1番に固定して視聴する条件 (以下「頭部移動禁止」条件) と, 頭部移動を許可して提示音を視聴する条件 (以下「頭部移動許可」条件) との2条件で行った. 被験者は20名で, 1被験者あたり1条件12方向の音提示を行った. 条件および提示方向の順番は被験者ごとにランダム化した.



・条件A,Bの順番は被験者ごとランダム化

Fig. 3 音像定位実験の流れ図

\*Comparative Experiment of Reaction Velocity by Personal 3D Sound Field Reproduction, by SHIGEIZUMI, Yuto and KIMURA, Toshiyuki (Tohoku Gakuin University).

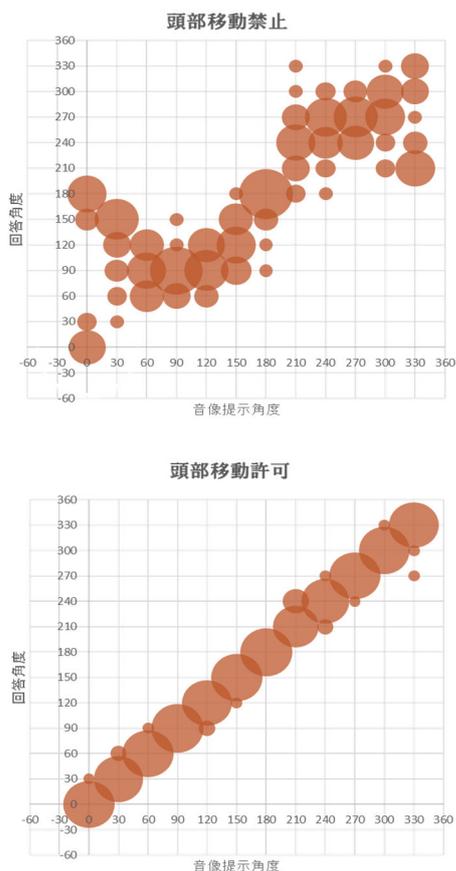


Fig. 4 音像定位実験の実験結果  
(上：頭部移動禁止，下：頭部移動許可)

### 3.3 実験結果，考察

実験結果を Fig. 4 に示す. 今回の実験では, UE4 のバイノーラル再生を用いて音提示を行った場合, 頭部の移動を許可しないと, 提示位置と完全に同じ位置を回答できたのは 36.25% と決して高くない値となった. また, 多くのバイノーラル再生での音像定位の際に見られる音像位置の前後誤りも見られた.

一方, 頭部の移動を許可した場合はほぼ 100% に近い正答率となった. これらの結果か

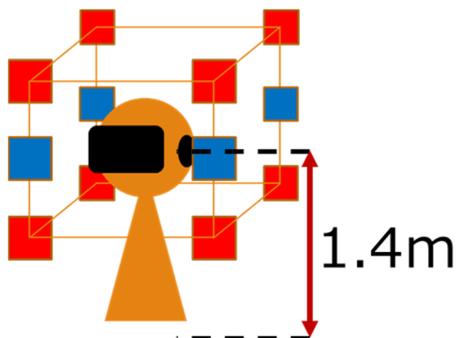


Fig. 5 反応速度比較実験の実験環境

ら, UE4 で提示されるバイノーラル再生の性能は, 頭部移動を許可する条件においては, 個人用音場再生との比較対象として適していると考えられる.

## 4 反応速度比較実験

4 種類の音提示手法 (キューブ型スピーカアレイを用いた個人用音場再生 (以下「キューブ型スピーカアレイ」), バイノーラル再生, 4ch サラウンド再生, 音提示なし) について, 視覚情報とともに情報を提示した場合の提示情報への反応速度を比較する.

### 4.1 実験環境

Fig. 5 に実験環境を, 以下に使用した機材とソフトウェアを示す.

- OS : Windows10 Pro
- 音提示 :  
キューブ型スピーカアレイ (赤色),  
Oculus rift CV1 付属ヘッドホン,  
サラウンドスピーカアレイ (青色)
- HMD : Oculus rift CV1
- ソフトウェア : Unreal Engine Ver. 4.16.2,  
Max [5] Ver. 7.3.5

### 4.2 実験手順

UE4 で作成した三次元仮想空間内にターゲット

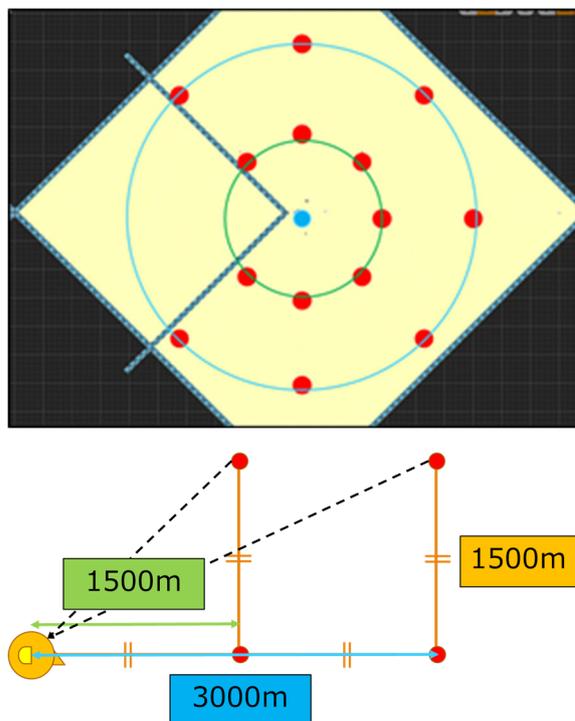


Fig. 6 反応速度比較実験における出現位置の配置図

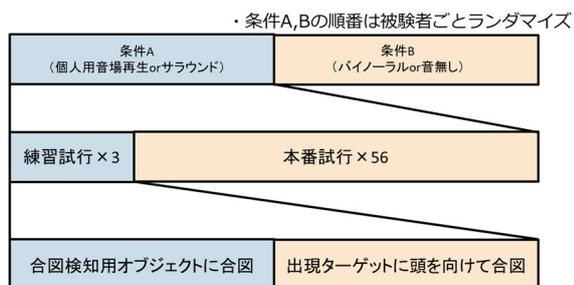


Fig. 7 反応速度比較実験の流れ図

ットの出現位置を計 27 箇所設定した。Fig. 6 に出現位置の配置図を示す。出現位置は、被験者の周りに 45 度間隔で遠近 2 箇所とそれぞれの直上に設定している。実験前に被験者は HMD を装着し、ゲームコントローラを手を持つ。被験者はゲームコントローラのボタンを押すと、視界中心に向けて合図を送ることができる。

Fig. 7 に実験の流れ図を示す。被験者は 16 名で、実験はキューブ型スピーカアレイと 4ch サラウンドによる音提示のみの条件と、バイノーラル再生と音提示なしのみの条件の 2 条件に分割した。被験者には各条件において、3 回の練習試行の後に 56 回の本番試行を行わせた。条件およびターゲット方向の順番は被験者ごとにランダム化した。

被験者には試行ごとに「合図感知用オブジェクトに合図を送り、その後出現したターゲットに顔を向けて合図を送る」という操作をさせた。まず、Fig. 8 に示すような正面に設置された合図感知用オブジェクトに被験者が合図を送ると、一定時間後にランダムなターゲット出現位置から 1 つのターゲットが出現する。その際、音が提示される条件の場合には

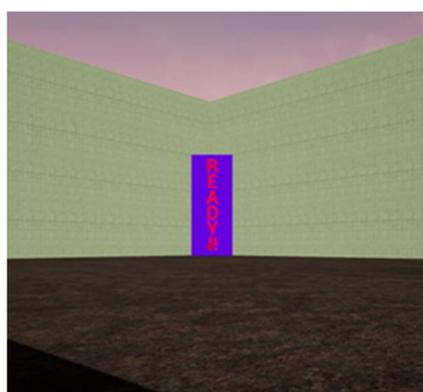


Fig. 8 反応速度比較実験における合図感知用オブジェクト

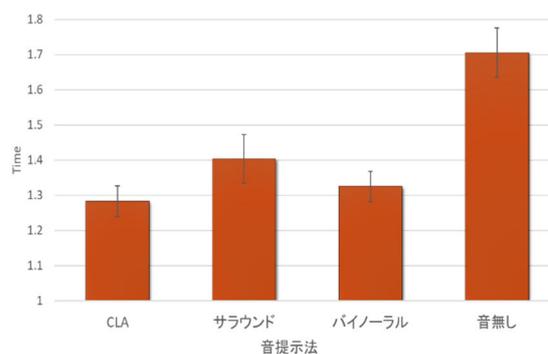


Fig. 9 反応速度比較実験における反応時間の結果

ターゲットから白色雑音も再生される。被験者はできる限り早く出現したターゲットに対しターゲットの方向に顔を向けて合図を送る。そして、ターゲット出現から合図を送るまでの時間を反応時間として記録した。

#### 4.3 実験結果

音提示手法ごとの反応時間の結果を Fig. 9 に示す。ただし、図中の「CLA」はキューブ型スピーカアレイを表す。Fig. 9 の結果に対し分散分析を行ったところ、有意な差が認められた。その後多重比較を行ったところ、Table 1 に示す結果となった。

音提示なしに関してはその他の全ての音提示手法と反応時間に 5%水準で有意な差が認められたため、音提示によって反応速度が速くなることが認められた。一方で、キューブ型スピーカアレイは 4ch サラウンド再生に対しては 5%水準で有意差があり、バイノーラル再生に対しては有意差が認められなかった。従って、個人用音場再生技術は反応速度に関しては 4ch サラウンド再生より速くなり、バイノーラル再生と同等であるということが言える。

ターゲットの方位角、仰角ごとの反応時間

Table 1 反応速度比較実験における多重比較結果

組み合わせ	p	sig.
CLA-サラウンド	0.004	s.
CLA-バイノーラル	0.308	n.s.
CLA-音無し	0.000	s.
サラウンド-バイノーラル	0.058	n.s.
サラウンド-音無し	0.000	s.
バイノーラル-音無し	0.000	s.

を Fig. 10 に示す. キューブ型スピーカアレイとバイノーラルは上下方向の音が表現でき、ターゲットの高低差が音によって判別できる

ため、振り向くための時間が必要な後方以外はほぼ均一な反応時間である. それに対し、サラウンド及び音提示なしは被験者の視界の外側である後方かつ仰角が大きいターゲットに対する反応時間が大きく遅れている. これは視覚でしか対応することが出来ないためであると考えられる.

## 5 まとめ

本研究では、提示情報への反応速度が音の提示手法によって変化するかを比較検討するために、ターゲットに顔を向けて合図を送るという評価実験を実施した. その結果、提案している個人用音場再生技術は反応速度に関しては4chサラウンド再生より速く、バイノーラル再生と同等であることが示された.

さらにターゲットの方向ごとに反応時間を検討したところ、どの音提示手法についても正面方向に対しては反応時間の差は見られないが、視界の外側に対しては反応時間に差が見て取れることが分かった.

今回は方向ごとのデータ数が足りていないため、今後はデータの収集と分析を行い、さらに性能評価を勧めていく予定である.

## 参考文献

- [1] 木村敏幸, “8 個の指向性マイクロホンを用いた波面合成技術のコンセプトに基づいた個人用コンパクト三次元音場再生システム,” 信学論(A), Vol. J97-A, No. 4, pp. 284-294 (2014).
- [2] 繁泉宥斗, 木村敏幸, “VR ゲームによる個人用三次元音場再生システムの性能評価,” 信学技報, No. EA2018-37, pp. 57-62 (2018).
- [3] Unreal Engine 4, <https://www.unrealengine.com/ja/blog>.
- [4] Oculus Rift, <http://www.oculus.com/rift/>.
- [5] Max, <http://cycling74.com/products/max/>.

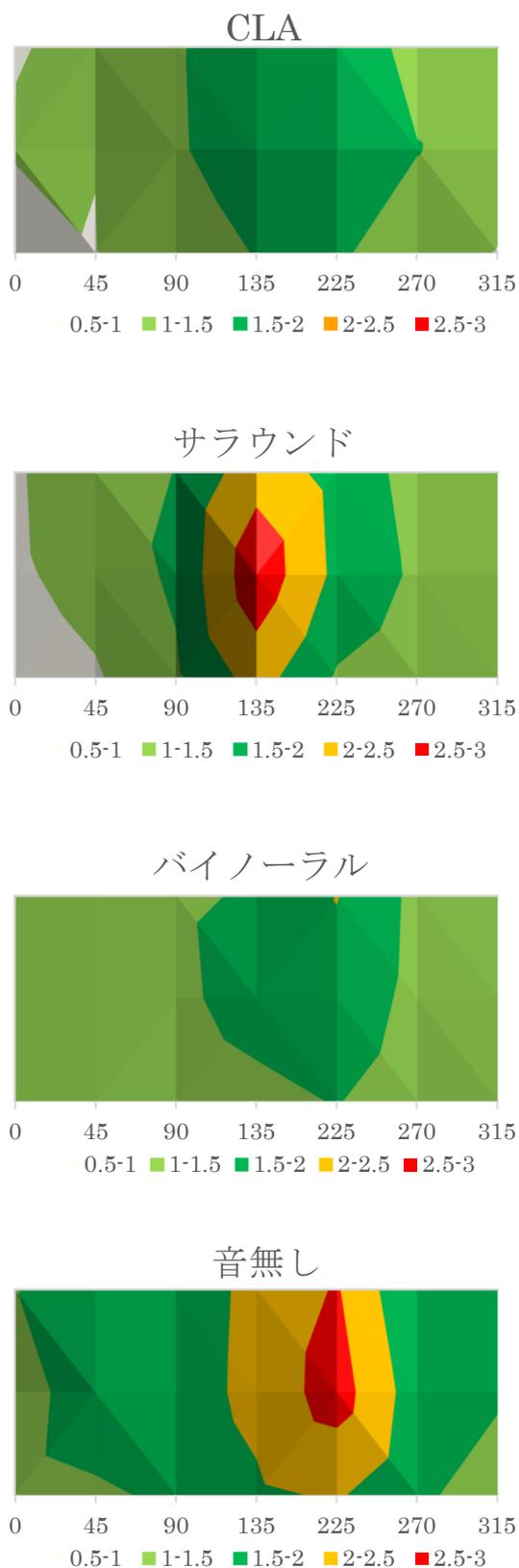


Fig. 10 方位角, 仰角ごとの反応時間結果