

調整法を用いた垂直パニングの有効範囲の閾値測定

東北学院大学大学院 工学研究科電気工学専攻 増田 光新
東北学院大学 工学部情報基盤工学科 木村 敏幸

1. はじめに

Multiple Vertical Panning を用いた立体音響技術[1]は、ディスプレイの上下に配置した 2 個のスピーカから音量差をつけた音を同時に再生するとスピーカの間で音が鳴っているように聞こえる心理学的現象（以降「垂直パニング」と呼ぶ）を利用している。ディスプレイの上下に複数のスピーカ対を配置し、音源ごとに再生するスピーカ対を選択することで、視聴者はどこにいても常に映像位置で音が鳴っているように感じることができる。しかしながら、垂直パニングを用いた音像定位の知覚詳細は未だに解明されていない点が多い。

本論文では、垂直パニングによる音像定位が可能な有効距離[2]や高さ[3]の閾値を測定することで、垂直パニングの有効範囲を検討する。

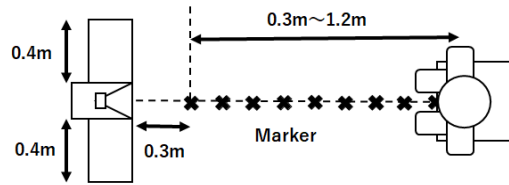
2. 垂直パニングの有効距離の検討

2.1. 実験環境・条件

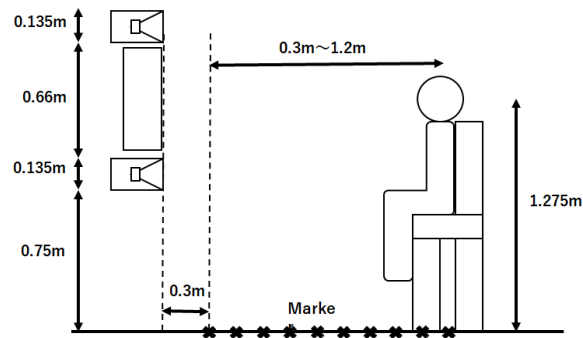
測定は防音室内（暗騒音レベル 30.2 dBA，残響時間 80 ms）において行った。Fig. 1 に示すように、40 インチディスプレイ (Philips: BDM4065UC/11) の上下にスピーカ 2 台を配置した。スピーカは市販のスピーカユニット（ダイトーボイス：AR-10N）を市販の密閉型エンクロージャ（ダイトーボイス：EX-10 BK）に取り付けたものを用いた。ディスプレイから 0.3~1.2 m 離れた地点の床に 0.1 m 間隔で印を付け、印の位置に視聴位置を設定した。視聴位置の高さは視聴者の耳の位置において 1.275 m とした。

Table 1 に示すように、音の種類（白色雑音，音声），音像位置（上，中央，下），映像の有無（有り，無し）の 12 種類（ $=2 \times 3 \times 2$ ）を測定条件として設定した。過去の研究[1]に基づいて音量差を調整した音源信号を Fig. 1 に示した 2 個のスピーカから同時に再生した。映像無しの条件においては、Fig. 2 の上部に示すようなグリッド映像を提示した。音と同時に映像を提示する条件においては、音が白色雑音の場合には Fig. 2 の中央部に示すようなスピーカ映像をグリッド映像に、音が音声の場合には Fig. 2 の下部に示すようなエイリアン映像をグリッド映像に提示し、音像の位置と映像の位置は一致させた。

平面図



側面図



正面図

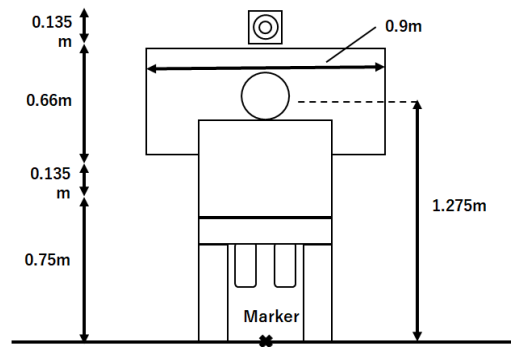
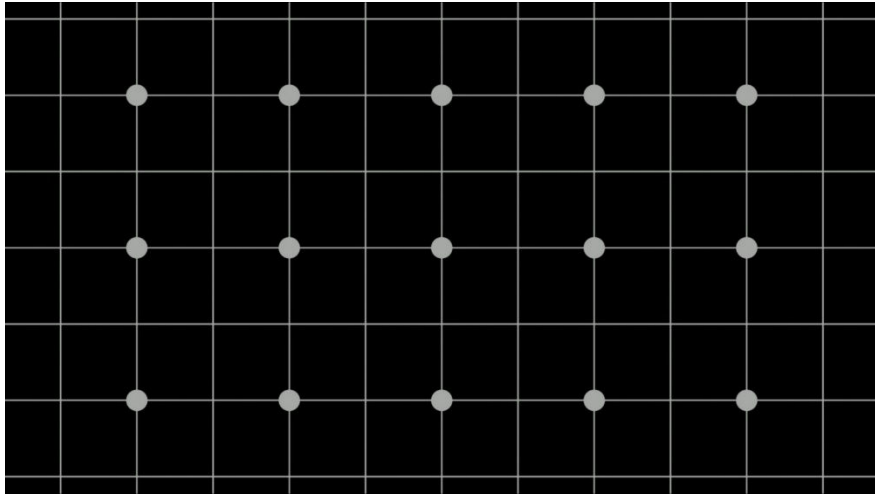


Fig. 1 実験配置図

Table 1 測定条件

	音の種類	音像位置	映像の有無
1	白色雑音	上	無し
2	音声	上	無し
3	白色雑音	中央	無し
4	音声	中央	無し
5	白色雑音	下	無し
6	音声	下	無し
7	白色雑音	上	有り
8	音声	上	有り
9	白色雑音	中央	有り
10	音声	中央	有り
11	白色雑音	下	有り
12	音声	下	有り

グリッド映像



白色雑音



音声

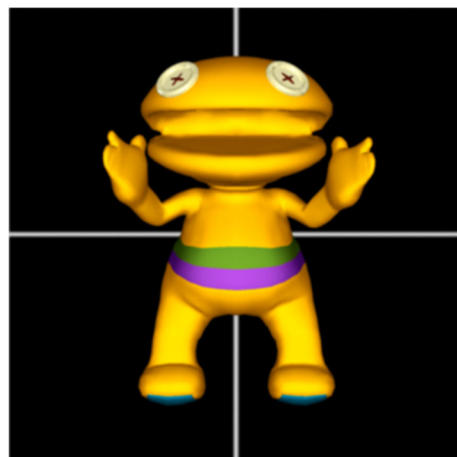


Fig. 2 実験映像

2.2. 実験手順

視聴者 20 人に対して測定した。各測定条件において、練習 1 試行のあとに本番を 1 試行実施した。測定条件の提示順序は視聴者ごとにランダム化した。まず、視聴者を垂直パニングによる音像定位が必ず発生する距離である 1.2 m に配置し、音を提示した。その後、視聴者に垂直パニングによる音像定位が発生しないと感じられる視聴位置まで、マーカを基準に前進させた。前進しすぎた場合、垂直パニングによる音像定位が発生したと感じられる位置まで後退させ、行き過ぎた場合は再び前進させた。前進と後退を繰り返し、閾値が確定するまで、視聴者に視聴距離を調整させた。

2.3. 実験結果

測定結果を Fig. 3 に示す。エラーバーは 95%信頼区間を表す。映像の有無 (2 水準)、音像位置 (3 水準) 及び音の種類 (2 水準) を要因とする三要因分散分析 (全て被験者内要因) を実施したところ、映像の有無と音像位置の主効果に有意差が見られる一方で、音の種類の主効果、1 次交互作用、2 次交互作用に関して有意差は見られなかった。さらに音像位置に関する多重比較を実施したところ、音像位置が上と中央、上と下のときに有意差が見られた。従って、映像が加わった場合や音像位置が上側の場合に有効距離の閾値が短くなると言える。

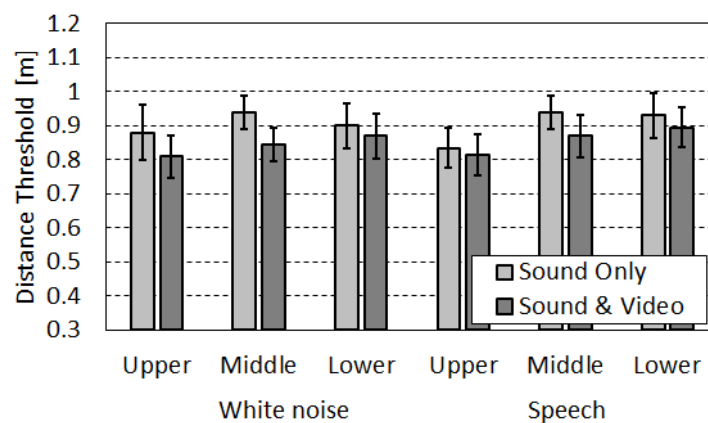


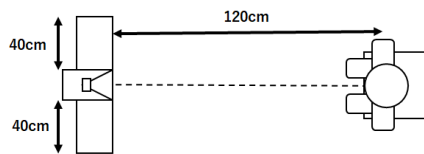
Fig. 3 実験結果

3. 垂直パニングの有効高さの検討

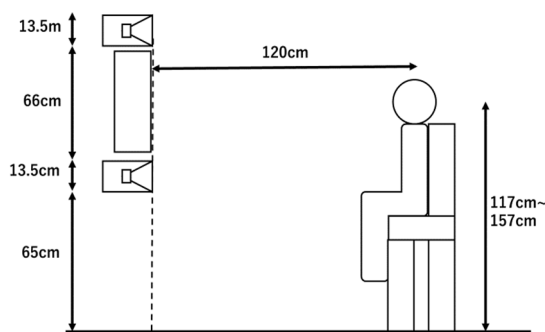
3.1. 実験環境・条件

実験は防音室内（暗騒音レベル 30.2 dBA，残響時間 80 ms）において行った．Fig. 4 に示すように 40 インチディスプレイ（Philips：BDM4065UC/11）の上下にスピーカ 2 台を配置した．スピーカは市販のスピーカユニット（ダイトボイス：AR-10N）を市販の密閉型エンクロージャ（ダイトボイス：EX-10 BK）に取り付けたものを用いた．ディスプレイから 120 cm 離れた地点に視聴位置を設定した．視聴位置の高さは視聴者の耳の位置において 117 cm～157 cm の間で変化させた．

平面図



側面図



正面図

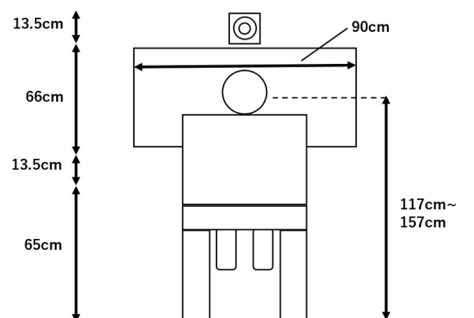


Fig. 4 実験配置図

実験条件は垂直パニングの有効距離の測定と同様に，Table 1 に示すように，音の種類（白色雑音，音声），音像位置（上，中央，下），映像の有無（有り，無し）の 12 種類（ $=2 \times 3 \times 2$ ）を測定条件として設定した．過去の研究 [1] に基づいて音量差を調整した音源信号を Fig. 1 に示した 2 個のスピーカから同時に再生した．映像無しの条件においては，Fig. 2 の上部に示すよう

なグリッド映像を提示した．音と同時に映像を提示する条件においては，音が白色雑音の場合には Fig. 2 の中央部に示すようなスピーカ映像をグリッド映像に，音が音声の場合には Fig. 2 の下部に示すようなエイリアン映像をグリッド映像に提示し，音像の位置と映像の位置は一致させた．

3.2. 実験手順

視聴者 20 人に実験を行った．視聴者は実験開始前に実験内容に関する説明を受けた．説明終了後，視聴者が同意した場合は，視聴者は用意した同意書に署名した．

まず，視聴者を垂直パニングによる音像定位が必ず発生する視聴高さである床から 117 cm に配置し，音を提示した．その後，視聴者に垂直パニングによる音像定位が発生しないと感じられる視聴高さまで，5 cm 刻みに椅子の高さを上昇させた．上昇しすぎた場合は垂直パニングによる音像定位が発生したと感じられる位置まで椅子の高さを下降させ，下降しすぎた場合は再び上昇させた．上昇と下降を繰り返し，閾値が求められるまで，視聴者に視聴高さを調整させた．

各実験条件において，練習 1 試行のあとに本番を 1 試行実施した．実験条件の提示順序は視聴者ごとにランダム化した．

3.3. 実験結果

実験結果を Fig. 5 に示す．エラーバーは 95% 信頼区間を表す．映像の有無（2 水準），音像位置（3 水準）及び音の種類（2 水準）を要因とする三要因分散分析（全て被験者内要因）を実施したところ，映像の有無，音像位置，音の種類の主効果，映像の有無と音像位置の一次交互作用に有意差があった．映像の有無と音像位置の一次交互作用の単純主効果では，映像位置が中と下のときに映像の有無による有意差があった．さらに，多重比較を実施したところ，音像位置が上とそれ以外で有意差があった．

従って，音声を用いた場合や音像位置が上側の場合，音像位置が上側以外

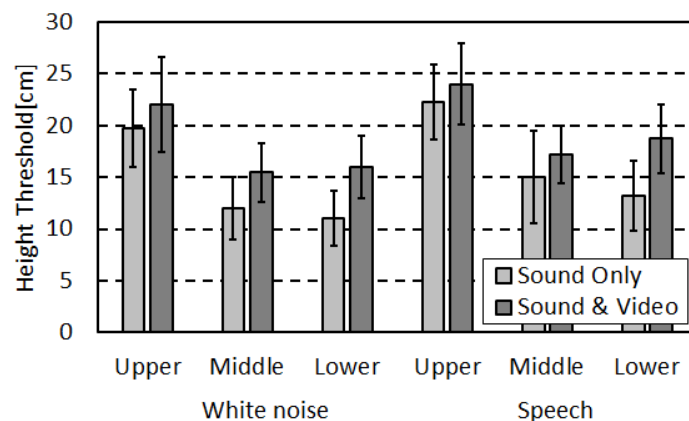


Fig. 5 実験結果

では映像が加わると有効高さの閾値が高くなると言える。

4. まとめと今後の検討

本研究では垂直パニングによる音像定位が有効に作用する有効範囲の閾値を調整法によって測定した。

有効距離の測定は、音と同時に映像を提示した場合や、音像位置が上側の場合に有効距離の閾値が短くなり、ディスプレイのより手前で垂直パニングによる音像定位が作用していることが分かった。

有効高さの測定は、色雑音よりも音声を用いた場合や音像位置が上の場合、上以外の音像位置では映像が有るときに、有効高さの閾値が高くなり、ディスプレイのより上方で垂直パニングによる音像定位が作用していることが分かった。

今後は、垂直パニングによる音像定位の反応時間を測定し、音の再生手法(ステレオ方式, MVP 方式, 直接方式)による影響を検討していきたい。

参考文献

- [1] T. Kimura and H. Ando, "3D Audio System Using Multiple Vertical Panning for Large-screen Multiview 3D Video Display," *ITE Trans. on Media Tech. and App.*, Vol. 2, No. 1, pp. 33-45 (2014).
- [2] 増田光新, 木村敏幸, "調整法を用いた垂直パニングの有効距離の閾値測定," *日本音響学会春季研究発表会講演論文集*, No. 1-12-1, pp. 1463-1464 (2022).
- [3] 増田光新, 木村敏幸, "調整法を用いた垂直パニングの有効高さの閾値測定," *日本音響学会秋季研究発表会講演論文集*, No. 1-R-3, pp. 391-392 (2022).