

漸増刺激法による EV/HEV サイン音の音像定位とスピーカの関係

竹内大貴[†] 金子格[†]

EV/HEV は低速走行時に静穏性が高いため、安全性の面から接近を知らせるサイン音(報知音)を備えている。このサイン音については、様々な可能性があるが、音質や周囲の環境など、様々な影響によりその認知性が異なる。与えられたサイン音が、認知性の面で適切であるかどうかを判断するには、高精度で信頼性のある評価方法が必要と考えられる。我々は、漸増的に音量の上がる信号の音像定位を、瞬時に回答させることによる評価実験を行ってきた。今回、再生装置が実験結果に与える影響について考察と検証を行った。指向性の異なるスピーカ 2 種で比較実験を行い、この 2 種では差が大きいことを確認することができたので報告する。

Relationship of the speaker for sign signal using incremental stimulus of EV / HEV.

DAIKI TAKEUCHI[†] ITARU KANEKO[†]

It was verified with the discussion about the impact the playback device has on the experimental results. We report can then make a comparative experiment on two speakers having different directivity, it is confirmed that there is no difference in the two species.

1. 目的

EV/HEV(電気自動車/ハイブリッドカー)は低速走行時に特に静穏性が高く、歩行者に接近を知らせる為のサイン音が必要である 1)。我々はサイン音の認知性を高め歩行者の安全性を高めるためにはどのようなサイン音が適しているかという課題に取り組んでいる。その中でも周波数帯域と定位の認知に関する調査を重点的に行ってきた。

上下方向の定位に、7kHz と 9kHz のピークとノッチが寄与していることは広く知られている、しかし、それらの周波数帯域を持たない、刺激音を用いた実験でも、反射のある環境であれば定位の認知が可能であるという結果が山口らにより報告されている 2)。また、周波数帯域幅を狭めていき、定位の判断が困難になる帯域幅の閾値の調査や、再生装置を後方に置くことでの変化、騒音が認知にどれほど影響するか 3)など、これまで反射のある環境を前提とし、周波数帯域幅と上下方向の定位認知の関係を中心として、評価手法を検討してきた。

一方、左右方向の定位については、同条件での比較として簡単な実験しか行ってこなかった。その為、左右定位に関しては実験時のサイン音の音量や実験の回数などで、改善すべき点が残っていた。また EV/HEV サイン音を検討する場合、結果が安定していて信頼できるか否かという点も重要になる。

本研究では水平方向の定位に注目し、これまでの漸増刺激法を拡張し、左右方向の定位についても結果の安定性を確認した。また、これまででは暗黙にスピーカの種類による

差異はないと仮定し一種類のスピーカでのみ実験を行ってきたが、今回は指向性の異なるスピーカ 2 種で比較実験を行い、結果に大きな差が生まれないことを確認することができた。これらの結果について報告する。

2. 実験

2.1 漸増刺激音と実験方法

刺激音は我々のグループで漸増刺激法として採用している漸増刺激音を使った。漸増刺激音とは、EV/HEV のサイン音を検討するため、その動的特性を踏まえ、音量の増大で車両が接近する場面を簡素に再現した刺激音である。被験者がどの音量に達した時点で定位を判断できるかという数値を元に、その認知性を数値化した。

漸増刺激音は、0.5 秒毎に音量が 5dB ずつ上昇するシーケンスを含むホワイトノイズと、1kHz, 2.5kHz, 4kHz, 5.5kHz, 7kHz のローパスフィルターから、周波数帯域幅の異なるホワイトノイズ 5 種として生成されたモノラル音声ファイルである。

実験は、左右に設置されたスピーカの一方から刺激音が再生され、それに被験者が回答する形で行った。これまでの実験では最大まで増大した刺激音が 65dB になるよう音量を設定していたが、今回は刺激音が増大することで最終的に聞き取れる設定を各被験者にした。実験環境では最大まで増大した 7kHz 刺激音が 36dB 前後になった。その後に行った被験者毎の比較では、全員 42dB か 43dB になった。

2.2 実験環境

実験は防音室で行った。無響室ではないが反射率は 50% 程度と低い。図 1 に防音室内の実験機材配置図を示す。スピーカは Genelec 8130A と、Fostex NF01A の 2 機種を使っ

[†] 東京工芸大学
Tokyo Polytechnic University

た。スピーカスタンドを使い、床から 1000mm の位置に左右 300mm 離し設置した。スピーカから 1000mm 離して被験者用の椅子を設置した。(削除)

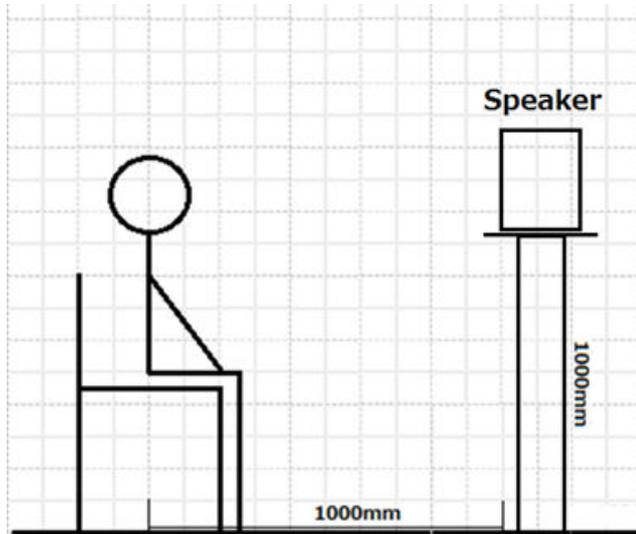


図1 東京工芸大学 AVM 研究室防音室における実験環境の側面図(左右のスピーカは同じ高さに中心を 300mm 離して設置)

2.3 被験者回答と定位実験用プログラム

図2に実験で使用した定位実験用プログラムのスクリーンショットを示す。このプログラムも今回の実験で改良を加えた。起動時に設定された数の音声を読み込み、発生させた乱数によって再生順がランダムに再配置されるという基本的な部分は変更していないが、OK ボタンを押してから、刺激音が再生されるまでの無音時間を 0.5 秒に短縮した。刺激音は 4.5 秒なので 5 秒で 1 つ回答を得られる。またこれまで次の刺激音を再生するために OK ボタンを押す必要もあったが、実験を効率よく行う為に自動化し、今回のように 250 の回答を得ることも可能になった。これは過去の実験で左右定位の正答率が 100%だった事から導入した。

また上下定位の実験で信頼できるデータを得る為に導入した自動やり直し機能と目的回答数に達するまで繰り返す機能の調整を行った。5 種類のローパスフィルターを通した刺激音が、左右それぞれから再生されるので 10 回答 1 セットとし、誤答があった場合 1 セットまとめて回答を無効とした。左右定位の実験ではほとんど使われないが、今後他の実験でも利用するためこの機能を残した。

被験者の回答は、左右どちらを選択させた回答と定位認知にかかった時間(定位に必要な音量に相当)が記録される。回答によって刺激音の再生が中断されることはなく。最大まで増大された後次の刺激音を再生した。設定された数の回答が得られるまでこれを繰り返した。



図2 Microsoft Visual Studio 2008 で作成した刺激音を再生するために汎用音声再生プログラム

3. 結果

図3に指向性の異なるスピーカ2種による比較実験の結果を示す、図4には左右定位の実験を被験者3名に対して行った結果の比較を示す。図5には参考に、左右定位実験の平均時間を過去3回分まとめたものを示す。過去の実験では一人当たり12回の標本しか得ていなかったが、今回の実験では2種類のスピーカを比較し、かつ複数の被験者を比較し、双方で各刺激音50回、合計250回の標本を得る事が出来た。前者は最大音量36dB、後者は42, 3dBの実験結果なので回答時間を直接比較する事は出来ないが、7dB差であれば700ミリ秒引くことで比較できる。

その上で4人の被験者を比較すると、被験者2を除いて最も狭い周波数帯域である1kHz刺激音での平均時間はほぼ一致する。そこから周波数帯域幅が広がるに連れ、個人差があるが反応時間が短くなり、定位を判断しやすくなっているように見える。しかし被験者3は殆ど反応時間に差が表れていない、被験者4は周波数帯域がより広い刺激音で平均回答時間がわずかながら遅くなるという現象も起こっている。過去の実験でも逆転する結果があったが、実験方法が未整備だった事や、標本数が少なく信頼区間が大きすぎた事から調査してこなかった。

被験者は聴力検査では異常とされたことがない聴覚を持つ学生である。ただし被験者2は自己申告として、実験前に耳はあまり良くないと表明した。結果もそれが顕著に出ているように思われる。音の聞き取りに自信のあるという被験者1はとても小さな音で周波数帯域幅の広い刺激音を回答しているが、1kHz刺激音では被験者3, 4と変わらない結果であった。個人差に関して興味深い結果が得られたと思われる。

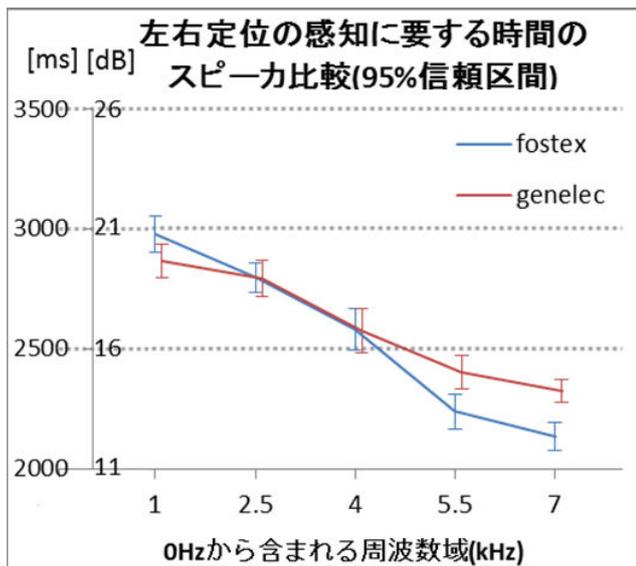


図4 95%信頼区間をもつ、被験者が左右定位の感知に必要な平均時間を2種のスピーカで比較したグラフ

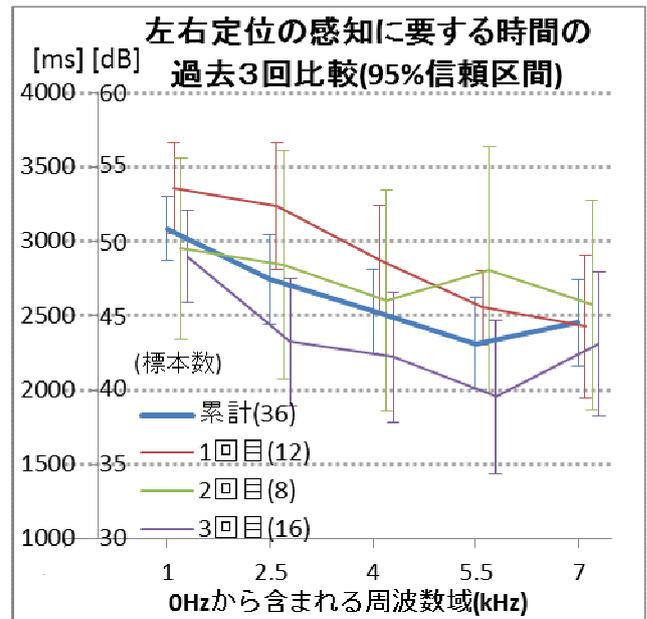


図7 これまでに行った左右定位の感知に要する時間の結果、過去3回分の累計と各実験結果での比較

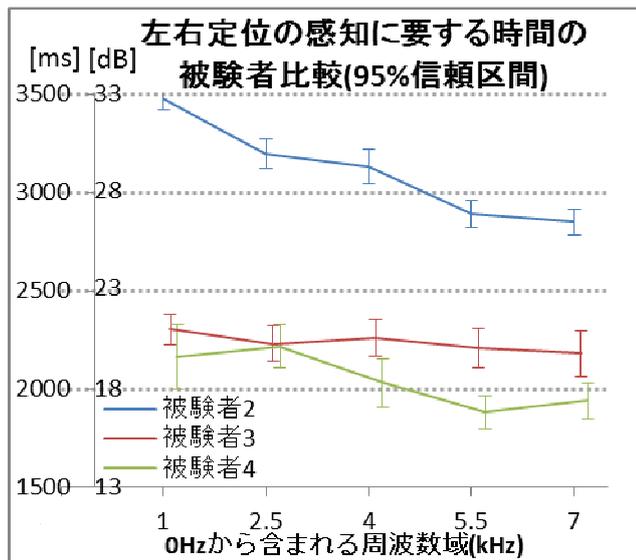


図5 95%信頼区間をもつ、被験者が上下定位の感知に必要な平均時間を3名の被験者で比較したグラフ

4. 考察

Genelec 8130A と fostex NF01A の比較実験では、平均時間の差は誤差の範囲内であった。スピーカの特性差の影響はこの2機種については結果に影響を与えるほど大きくはないと考えられる。しかし被験者間の比較では、個人差は結果に影響する程度に大きく出た。特に被験者間の比較実験からは、単に音量を上げれば定位を判断できるのではなく、被験者2のように定位を判断するのに時間がかかる場合もある。被験者3のように、全く周波数帯域幅の影響を受けず、一定の音量もしくは時間になれば定位を判断できる場合もある。これらの結果から、定位の実験を行う際には被験者に聴力以外の定位と周波数の関係においていくつかのパターンがある可能性がある。だとすれば、今後さらにデータを集積すれば、定位と周波数の関係において被験者を特徴付けるパターン分けが行える可能性も考えられる。今回実験方法の改良を行ったことで、被験者数が1名でも十分に精度の高い結果を得る事が出来るようになった。今後は被験者を増やし、各被験者の結果を比較することで、接近する物体から再生される音声の定位評価法として、漸増刺激法の有用性を示したい。

参考文献

- 1) 国土交通省, ハイブリッド車等の静音性に関する対策のガイドライン, <http://www.mlit.go.jp/common/000057372.pdf>
- 2) 金子 格, 土屋 慶多, 山口 隼人, 本人の HRTF から合成した仮想音源による有響室における音像定位の主観評価試験法 : 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 110(285), 49-54, 2010
- 3) EV/HEV の報知音を想定した漸増刺激音の定位の主観評価 (応用音響) 竹内 大貴, 大山 貴紀, 金子 格 : 電子情報通信学会技術研究報告 : 信学技報 112(347), 41-45, 2012-12-13